# 可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケース
# のリスク評価報告書

**2022 年 9 月**

**一般社団法人日本冷凍空調工業会**

**環境企画委員会**

**内蔵ショーケースリスクアセスメント WG3**

**【メンバー（報告書作成時）】**

| | | |
|---|---|---|
| 主査 | 山下　浩司 | （三菱電機株式会社） |
| 副主査 | 加藤　俊匡 | （株式会社オカムラ） |
| 委員 | 池田　真治 | （サンデン・リテールシステム株式会社） |
| | 阪江　覚 | （ダイキン工業株式会社） |
| | 石原　茂樹 | （東芝キヤリア株式会社） |
| | 小林　章 | （中野冷機株式会社） |
| | 海沼　秀和 | （パナソニック株式会社） |
| | 長谷川　敬春 | （フクシマガリレイ株式会社） |
| | 出野　裕 | （富士電機株式会社） |
| | 永井　洋 | （ホシザキ株式会社） |
| | 保坂　恵子 | （三菱電機冷熱応用システム株式会社） |
| オブザーバー | 堀　和貴 | （ダイキン工業株式会社） |
| | 半田　誠 | （東芝キヤリア株式会社） |
| | 小野口　昌宏 | （日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社） |
| | 堀田　丈智 | （フクシマガリレイ株式会社） |
| | 前山　英明 | （三菱電機株式会社） |
| 事務局 | 長谷川　一広 | （日本冷凍空調工業会） |
| | 川原　忍 | （日本冷凍空調工業会） |

**【上記以外の参加メンバー】**

| | | |
|---|---|---|
| 委員 | 坂本　圭久 | （サンデン・リテールシステム株式会社）（旧主査） |
| | 大塚　千明 | （株式会社オカムラ） |
| | 佐藤　誠 | （フクシマガリレイ株式会社） |
| | 大澤　克之 | （富士電機株式会社） |
| | 安西　洋一 | （三菱電機冷熱応用システム株式会社） |
| | 中川　昌彦 | （三菱電機冷熱応用システム株式会社） |
| | 山下　哲也 | （三菱電機冷熱応用システム株式会社） |
| オブザーバー | 平良　繁治 | （ダイキン工業株式会社） |
| | 山口　広一 | （東芝キヤリア株式会社） |
| | 秋山　達也 | （パナソニック株式会社） |
| | 白井　瑛一 | （パナソニック株式会社） |
| | 高市　健二 | （パナソニック株式会社） |
| | 大木　章生 | （日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社） |
| | 新名　猛 | （フクシマガリレイ株式会社） |
| 事務局 | 河村　治雄 | （日本冷凍空調工業会） |

**【各ライフステージ担当】**

| | |
|---|---|
| 輸送 | （富士電機） |
| 保管 | （オカムラ） |
| 設置 | （東芝キヤリア）（サンデン・リテールシステム） |
| 使用 | （パナソニック） |
| 修理（屋外） | （中野冷機） |
| （店内） | （ホシザキ） |
| 撤去（廃棄） | （フクシマガリレイ） |

**【解析担当】**

| | |
|---|---|
| A3・A2 冷媒 | （三菱電機） |
| A2L 冷媒 | （ダイキン工業） |

【免責事項】
本報告書は，最新の技術情報に基づき万全を期して作成しておりますが，掲載された情報の正確性を保証するものではありません．また，本報告書に掲載された情報・資料を利用，使用するなどの行為に関連して生じたいかなる損害についても，日本冷凍空調工業会並びに著者は何ら責任を負いません．

【著作権】
本報告書の著作権は日本冷凍空調工業会並びに著者が有しています．許可なく全体あるいは一部の転載，複製はお断りします．

# 目　次

ページ
1　はじめに …… 1
2　可燃性冷媒及び内蔵ショーケースの特徴 …… 3
2.1　可燃性冷媒の物性 …… 3
2.2　内蔵ショーケース …… 3
2.3　リスクアセスメントモデル …… 4
2.4　ライフステージ …… 6
3　リスクアセスメントの前提 …… 7
3.1　リスクアセスメントのプロセスと安全の定義 …… 7
3.2　許容値 …… 10
3.2.1　国内普及台数及び寿命 …… 10
3.2.2　各業態の普及台数に占める割合 …… 11
3.2.3　許容値の設定 …… 14
3.3　冷媒漏えい速度 …… 15
3.4　冷媒漏えい発生確率 …… 16
3.4.1　使用時冷媒漏えい発生確率 …… 16
3.4.2　初期設置時漏えい発生確率 …… 16
3.4.3　作業時冷媒漏えい発生確率 …… 17
3.5　ヒューマンエラー発生確率 …… 17
4　着火確率の計算方法及び着火源 …… 21
4.1　着火確率の算出方法 …… 21
4.1.1　概要 …… 21
4.1.2　時間的遭遇確率 …… 22
4.2　着火源 …… 25
4.2.1　概要 …… 25
4.2.2　静電気 …… 26
4.2.3　喫煙 …… 29
4.2.4　その他の着火源 …… 29
4.3　安全対策 …… 31
5　冷媒漏えい解析 …… 34
5.1　リーチインショーケース …… 34
5.1.1　庫内漏えい解析（2 枚扉・庫内容積 1.08 $m^3$・床面積変化） …… 34
5.1.2　安全係数固定時の庫内濃度の影響（安全係数 0.25） …… 52
5.1.3　扉急開放枚数変化及びドア上下隙間の影響 …… 56
5.1.4　微風速の取り扱い …… 67
5.2　平形ショーケース …… 68
5.2.1　庫外漏えい解析（下ユニット） …… 68
5.2.2　漏えい速度の影響 …… 70
5.2.3　ドア上下隙間の影響 …… 72
5.2.4　冷媒種の影響 …… 77
5.2.5　可燃域を生成しない限界風量式の検証 …… 78
5.3　多段形オープンショーケース …… 79
5.3.1　庫内漏えい解析 …… 79
5.3.2　冷媒種の影響 …… 93

5.4　コンビニエンスストア実店舗モデルでの漏えい解析 …… 106
5.4.1　解析モデル …… 106
5.4.2　解析結果 …… 108
5.5　A2L 冷媒に関する漏えい解析 …… 114
5.5.1　リーチインショーケースの庫内漏えい解析 …… 114
5.5.2　平形ショーケースの庫外漏えい解析 …… 115
5.5.2.1　A2L 冷媒の漏えい速度の影響 …… 115
5.5.2.2　A2L 冷媒の凝縮器ユニット必要風量 …… 119
5.6　漏えい解析結果のまとめ …… 120
6　リスクアセスメント及び安全対策 …… 122
6.1　輸送時 …… 123
6.1.1　輸送ステージの定義 …… 123
6.1.2　着火源と冷媒漏えい …… 126
6.1.3　FTA と着火確率 …… 130
6.1.4　安全対策 …… 130
6.1.5　安全対策後の FTA と着火確率 …… 132
6.2　保管時 …… 134
6.2.1　設定条件 …… 134
6.2.2　着火源と冷媒漏えい …… 134
6.2.3　安全対策 …… 140
6.2.4　安全対策後の着火確率 …… 141
6.3　設置時 …… 142
6.3.1　設定条件 …… 142
6.3.2　着火源と冷媒漏えい …… 143
6.3.3　FTA と着火確率 …… 153
6.3.4　安全対策 …… 154
6.4　使用時 …… 159
6.4.1　設定条件 …… 159
6.4.2　着火源と冷媒漏えい …… 159
6.4.3　ファンの停止率 …… 165
6.4.4　リーチイン上ユニットの時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積 …… 165
6.4.5　FTA と着火確率 …… 167
6.4.6　安全対策 …… 171
6.5　修理時 …… 172
6.5.1　修理ステージの定義 …… 172
6.5.2　着火源と冷媒漏えい …… 172
6.5.3　FTA と着火確率 …… 179
6.5.4　安全対策 …… 181
6.6　撤去時（廃棄時） …… 184
6.6.1　概要 …… 184
6.6.2　シナリオ・着火源・冷媒漏えい・撤去作業 …… 184
6.6.3　FTA と着火確率 …… 193
6.6.4　安全対策 …… 194
6.7　コンビニエンスストアの R290 リスクアセスメントまとめ …… 195
6.7.1　着火源 …… 195
6.7.2　安全対策 …… 197
6.7.3　リスクアセスメント結果 …… 198
6.8　狭小店舗のリスクアセスメント …… 199

6.8.1　想定モデル及び着火源 …… 199
6.8.2　リスクアセスメント結果 …… 200
6.9　A2L 冷媒使用時のコンビニエンスストアのリスクアセスメント …… 201
6.9.1　想定モデル …… 201
6.9.2　着火源 …… 202
6.9.3　リスクアセスメント結果 …… 203
6.10　最大冷媒充填量の緩和対応検討 …… 204
7　内蔵ショーケースに関する国際規格 …… 206
7.1　概要 …… 206
7.2　IEC 60335-2-89 …… 206
7.2.1　最大冷媒充填量 …… 206
7.2.2　最小設置床面積 …… 207
7.2.3　冷媒漏えい試験 …… 207
7.2.4　機器への表示 …… 209
8　日本の法律及び日本の規格 …… 210
8.1　高圧ガス保安法における充填・回収・廃棄の規定 …… 210
8.2　内蔵ショーケースに関する日本の規格 …… 211
8.2.1　概要 …… 211
8.2.2　使用時の安全対策 …… 211
8.2.3　最大冷媒充填量 …… 212
8.2.4　表面温度 …… 212
8.2.5　測定免除時間削除及び可燃域生成防止対策 …… 212
8.2.6　漏えい速度 …… 212
8.2.7　機器への表示及び作業時の安全担保 …… 213
8.2.8　チャージポートのねじ形状（冷媒誤封入防止） …… 215
9　まとめ及び追記事項 …… 218
9.1　まとめ …… 218
9.2　追記事項 …… 219
10　対外発表文献リスト …… 220

【附属書】

A. 可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースの FTA 及び確率数値割付表
B. 可燃性冷媒を使用した冷機応用製品のリスク評価報告書
C. 可燃性冷媒を使用した冷機応用製品の FTA 及び確率数値割付表

【参考文献】

各章・節の末に記載

## 1　はじめに

一般社団法人日本冷凍空調工業会（日冷工）では，2011 年から A2L 冷媒を使用した家庭用ルームエアコン，店舗用パッケージエアコン，ビル用マルチエアコン，設備用エアコン，チラー，GHP，別置ショーケースなどの各種機器のリスクアセスメントを行い，安全に運用する方法を確立した．その後，順次製品展開を行っているが，2016 年 10 月 15 日に採択されたモントリオール議定書のキガリ改正を受け，さらに GWP の小さい冷媒への転換が望まれている．飲食店，食料品販売店，スーパーマーケットなどで使用されている圧縮機を内蔵したショーケース（内蔵ショーケース）は， R404A，R134a などの地球温暖化係数（GWP）が高い不燃性の冷媒が使われ，その使用量は数十 g から 1 kg を超えるものまであり，使用時漏えいや廃棄時漏えいなどによる冷媒の大気への漏えいは地球温暖化に大きな影響を及ぼす．そこで，GWP が小さい冷媒への転換が重要となる．GWP の小さい冷媒には LFL（Lower Flammability Limit，燃焼下限界）が低く燃焼性が強い A3 冷媒が多いが，内蔵ショーケースなどの一体形の冷凍冷蔵機器は，設置時の現地配管工事が不要であり，かつ，冷媒量も比較的少ないため，スプリット形の機器に比べると A3 冷媒が適用しやすいと考えられ，A3 冷媒化の要望が特に強い．業務用冷凍冷蔵機器の国際規格 IEC 60335-2-89[1-1)]では，従来，A3 冷媒の冷媒量は 150 g 以下に制限されていたが，2019 年 6 月に Edition 3.0 に改正され，冷媒の最大充塡量が LFL の 13 倍（R290 の場合 494 g）に緩和された．しかし，この改正は，各国の冷媒規制に対応するために早急な改正が求められていたという側面もあり，実際の使用に際しては，安全運用面での評価を慎重に行う必要がある．

A3 冷媒を使用した機器を安全に使用するためには，リスクアセスメントを行い，冷媒の着火リスクを許容可能なレベルにするための安全対策を明確にし，安全運用方法を規定した規格を作成する必要がある．2015 年に発足した IEC 60335-2-89 の Edition 3.0 への改正を検討する専門 WG である IEC/61C/WG4 における可燃性冷媒の最大充塡量の緩和の検討に対し，日冷工では，2016 年 7 月に環境企画委員会の傘下に内蔵ショーケース リスクアセスメント WG3（当 RA-WG）を発足させ，過去の検討[1-2)–1-4)]を参考に，R290 などの A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメントを行った．また，IEC/61C/WG4 にも日冷工から代表者を派遣して意見出しをしたが，日本としての IEC/61C/WG4 への参加が途中からであったため日冷工が参加する前に多くの内容が決まってしまっていたこと，及び，日冷工での A3 冷媒に対する検討が国際規格の検討の進捗に対して遅れたため検討が不十分な段階での対応を余儀なくされてしまったことなどにより，日冷工の意見を IEC 60335-2-89 の改正に充分に反映できたとはいい難い状況であった．それでも，漏えい解析結果など，検討結果を適宜 IEC に提示し，採用された日本の意見も幾つかある．また，日冷工としては，当 RA-WG でのリスクアセスメントの検討結果に基づき，次の IEC 60335-2-89 の改正（Edition 4.0）に向け，IEC に幾つかの提案文書（DC）も提出し，その採用に向けて IEC/61C/WG4 で討議を進めている．日冷工では 2000 年に R290 を用いた家庭用エアコンのリスクアセスメント[1-5)]を行ったが，当時は R-Map の概念が確立されておらず許容値の設定も行われていなかった．Goetzler ら[1-6)]は A2L 冷媒である R 32 及び R 32/R 134a を用いた家庭用のユニタリーエアコンに対するリスクアセスメントを行い，A2L 冷媒の着火源に対する有効な知見を得た．日冷工では，Goetzler らの検討結果も参考に，A2L 冷媒を用いた家庭用エアコン[1-2)]，店舗用パッケージエアコン[1-7)]，ビル用マルチエアコン[1-3), 1-8)]，別置ショーケース[1-9)]，チラー[1-4), 1-10)]，設備用エアコン[1-11)]，GHP[1-12)]などの各機器に対してリスクアセスメントを行った．この活動は，2011 年度から 6 年間実施され，この一連の活動によってリスクアセスメントの手法もかなり発展した．

可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメントでは，可燃空間を定量化するための冷媒漏えい解析を行い，内蔵ショーケースの各ライフステージのシナリオを想定して着火源を抽出し，着火確率を計算した．そして，リスクアセスメント結果に基づいて安全対策を明確にし，日冷工規格を策定した．規格で定められた可燃性冷媒の最大充塡量は LFL の 13 倍であり，小型の内蔵ショーケースでは A3 冷媒の冷媒量（R290 の LFL の 13 倍は 494 g）で十分対応可能であり，A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメントも行

い，A3 冷媒使用時の安全対策を明確にし，対応する日本の規格（JIS C 9335-2-89[1-13]及び日冷工規格（JIS 4078[1-14], JRA GL-21[1-15]））を作成した．一方，大型の内蔵ショーケースの場合，A3 冷媒（R290 の LFL の 13 倍は 494 g）では必要とする冷媒量を賄うことができない．そこで，A2L 冷媒（R1234yf の LFL の 13 倍は 3.757 kg）を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメントも行い，A2L 冷媒使用時の安全対策を明確にし，対応する日冷工規格（JRA 4084[1-16], JRA GL-23[1-17]）を作成した．

本報告では，これらの検討内容をまとめた．**2** 章で機器に充塡する可燃性冷媒及びリスクアセスメントの対象である内蔵ショーケースについて説明し，**3** 章でリスクアセスメントの方法，許容値，冷媒の漏えい速度，ヒューマンエラーの発生確率などについて説明する．次いで，**4** 章で着火確率の算出方法，可燃性冷媒の着火源，着火確率が許容値を超えた時に施す安全対策について説明し，**5** 章で各種ショーケースから冷媒が漏えいした時に生成される可燃域の継続時間と体積を求めるために行った冷媒漏えい解析について説明する．そして，**6** 章で実施したリスクアセスメントをライフステージ毎に説明し，**7** 章で内蔵ショーケースの国際規格，**8** 章で日本の法律及び作成した日冷工規格を説明する．最後に **9** 章で全体のまとめを行う．なお，当 RA-WG では各種対外発表を行ったため，**10** 章にそのリストを示す．

**参考文献**


1-1) IEC 60335-2-89:2019, “Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor”, (2019.6).

1-2) 高市健二，平良繁治：「微燃性冷媒使用の家庭用エアコンリスク評価手法と結果」，日本冷凍空調工業会論文集, 33(1), pp. 13-21 (2016).

1-3) 矢嶋龍三郎，木口行雄，関根卓，佐々木俊二，伊藤俊太郎，山下浩司，観音立三：「微燃性冷媒を用いたビル用マルチエアコンのリスクアセスメント」，日本冷凍空調学会論文集, 33(1), pp. 23-39 (2016).

1-4) 上田憲治：「微燃性冷媒を使用したチラーのリスクアセスメントー許容可能な火災・火傷事故発生確率に抑えるための安全対策ー」，日本冷凍空調学会論文集, 33(1), pp. 41-55 (2016).

1-5) K. Yao: “Risk Assessment of Room Air Conditioner using R290”,The International Symposium on New refrigerants and Environmental Technology 2000, Kobe, Japan, pp.184-189 (2000).

1-6) W. Goetzler, L. Bendixen and P. Bartholomew: “Risk Assessment of HFC-32 and HFC-32/134a (30/70 wt. %) in Split System Residential Heat Pumps”, Arthur D. Little. inc., United States (1998).

1-7) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したスプリットエアコン（店舗用パッケージエアコン）のリスク評価報告書」(2017.4).

1-8) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).

1-9) 日冷工：「微燃性冷媒を使用した低温機器のリスク評価報告書」(2017.11).

1-10) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したチラーのリスク評価報告書」(2017.1).

1-11) 日冷工：「微燃性冷媒を使用した設備用エアコンのリスク評価報告書」(2017.1).

1-12) 日冷工：「微燃性冷媒を使用した GHP のリスク評価報告書」(2017.12).

1-13）JIS C 9335-2-89:2021, “家庭用及びこれに類する電気機器の安全性 - 第 2-89 部：業務用冷凍冷蔵機器及び製氷機の個別要求事項”, (2021.3).

1-14) JRA 4078:2021, “可燃性冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全機能要求事項”，日冷工, (2021.3).

1-15）JRA GL-21:2021, “可燃性冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン”，日冷工, (2021.3).

1-16) JRA 4084:2022, “微燃性（A2L）冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全機能要求事項”，日冷工, (2022.9).

1-17）JRA GL-23:2022, “微燃性（A2L）冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン”，日冷工, (2022.9).

## 2　可燃性冷媒及び内蔵ショーケースの特徴

### 2.1　可燃性冷媒の物性

内蔵ショーケースでは従来 R404A，R134a などの不燃性冷媒（A1 冷媒）が使用されており，これを可燃性冷媒に置き換える検討を行う．Table 2-1 に代表的な可燃性冷媒の物性を示す．このうち，最も燃焼性が高い A3 冷媒（強燃性冷媒）は A2L 冷媒（微燃性冷媒）と比べて，LFL が低いため冷媒漏えい量が少なくても可燃域が生成されやすく，最小着火エネルギーが小さく自己着火温度が低いため，小さいエネルギー，低い表面温度でも容易に着火し，燃焼速度が大きいため着火時の危害度が大きくなる可能性が高い．なお，A2L 冷媒は，表面温度が自己着火温度を超えても最高許容表面温度以下であれば着火には至らない（空調機の国際規格 IEC 60335-2-40 の規定）．A2 冷媒（弱燃性冷媒）は A3 冷媒と A2L 冷媒の中間の燃焼特性を示すが，国際規格などでは A2 冷媒は A3 冷媒と同様の扱いとなっている．リスクアセスメントは，A3 冷媒の代表として最もポピュラーな R290 を，A2L 冷媒の代表として A2L 冷媒の中で最も分子量が大きく可燃域が大きくなる R1234yf を想定して行った．

Table 2-1　冷媒の種類及び主要物性

| 項　　目 | | 参照規格 | R290 | R170 | R1270 | R600a | R152a | R1234yf | R32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 名称 | | | propane | ethane | propylene | iso-butane | – | – | – |
| 分子式 | | | $C_3H_8$ | $C_2H_6$ | $C_3H_6$ | $C_4H_{10}$ | $C_2H_4F_2$ | $C_3H_2F_4$ | $CH_2F_2$ |
| 安全等級 | | ISO 817 | A3 | A3 | A3 | A3 | A2 | A2L | A2L |
| 高圧ガス保安法での適用省令 | | | 冷凍則・液石則 | 冷凍則・一般則 | 冷凍則・液石則 | 冷凍則・液石則 | 冷凍則・一般則 | 冷凍則・液石則 | 冷凍則・一般則 |
| 分子量 | | – | 44.1 | 30.0 | 42.1 | 58.1 | 66.0 | 114.0 | 52.0 |
| GWP | | – | 3 | 6 | 3 | 3 | 124 | 4 | 675 |
| 沸点　（℃） | | – | –42.1 | –88.6 | –47.6 | –11.8 | -24.0 | –29.0 | –51.7 |
| 自己着火温度（℃） | | ISO 817 | 470 | 515 | 455 | 460 | 455 | 405 | 648 |
| 最高許容表面温度（℃） | | IEC60335-2-40 | – | – | – | – | – | 700 | 700 |
| 最小着火ｴﾈﾙｷﾞｰ（mJ） | | – | 0.25 | – | – | – | – | 780 | 29 |
| 燃焼速度　（cm/s） | | ISO 817 | 46 | 47 | – | 41 | 23 | 1.5 | 6.7 |
| LFL | （vol%） | ISO 817 | 2.1 | 3.1 | 2.7 | 1.8 | 4.8 | 6.2 | 14.4 |
| | （kg/m$^3$） | ISO 5149 | 0.038 | 0.038 | 0.046 | 0.043 | 0.130 | 0.289 | 0.307 |
| UFL | （vol%） | – | 9.5 | 15.5 | 11.1 | 9.6 | 16.9 | 12.3 | 29.3 |
| | （kg/m$^3$） | – | 0.171 | 0.190 | 0.191 | 0.228 | 0.456 | 0.573 | 0.623 |

※UFL: Upper Flammability Limit

### 2.2　内蔵ショーケース

ショーケースには，内蔵ショーケースと別置ショーケースがある．内蔵ショーケースは，食品を保冷状態で販売・陳列するケースのうち，圧縮機を本体に内蔵しているショーケースであり，圧縮機，凝縮器，凝縮器ファンなどを内蔵するユニット（凝縮器ユニット又はユニット）と冷却器を内蔵し食品を陳列する陳列室を接続して構成される．別置ショーケースは，コンデンシングユニットを屋外などに設置し，コンデンシングユニットとは別の場所（店舗内など）に設置するショーケースである．

内蔵ショーケースは，陳列室の構造と外気を遮断する方法で分類することができ，開閉可能な扉や蓋で遮断するクローズドタイプ（Fig. 2-1(a)）と，エアカーテンで遮断するオープンタイプがある．さらにオープンタイプには，ショーケースの前面が開口している多段形ショーケース（Fig. 2-1(b)）と，ショーケースの上面が開口している平形ショーケース（Fig. 2-1(c)）がある．多段形ショーケースには，開口部の前面にエアカーテンを形成するエアカーテン方式，庫内の背面から前面に冷気を吹き出す背面吹き出し方式，エアカーテンと背面吹き出しを組み合わせた方式など，庫内の気流が異なる幾つかの種類がある．エアカーテン方式においても，エアカーテンが庫内前面上部から下部に向けて生成されているものの他，エ

アカーテンが庫内前面下部から上部に向けて生成されているものもある．庫内前面のエアカーテンは，内蔵ショーケースでは，一重エアカーテンのものが主であるが，二重エアカーテンのものもある．また，ユニットを陳列室の下部に設置する下ユニットと陳列室の上部に設置する上ユニットに分けられる．また，内蔵ショーケースには，ユニットとケースに組み込まれた蒸発器とを配管接続して構成されるタイプと，冷媒回路を一体化しそのままケースから取り外せるカセット型がある．

(a)クローズドショーケース　(b)多段形ショーケース　(c)平形ショーケース

Fig. 2-1　代表的な内蔵ショーケース

### 2.3　リスクアセスメントモデル

リスクアセスメントを行うためにはモデル店舗とその店舗で使用するショーケースを設定する必要がある．内蔵ショーケースを設置する店舗には，狭小店舗（駅ナカコンビニなど），中型店舗（コンビニエンスストア），大型店舗（スーパー），飲食店などがある．

このうち，揚げ物などの簡単な調理が可能な中型店舗であるコンビニエンスストアをモデル店舗とした．コンビニエンスストアは店舗数が多い（約 5.6 万店舗）ため内蔵ショーケースの普及台数に占める割合が多く，さらに，A3 冷媒は静電気や店舗内の電気機器のリレーなどでも着火するため，A3 冷媒にとってはコンビニエンスストアが最も着火源が多く，A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースを設置する場所のうち最も危険な場所であると想定される．Fig. 2-2 にコンビニエンスストア店舗内のショーケースの設置例，Fig. 2-3 にコンビニエンスストアに設置されている主な内蔵ショーケースを示す．

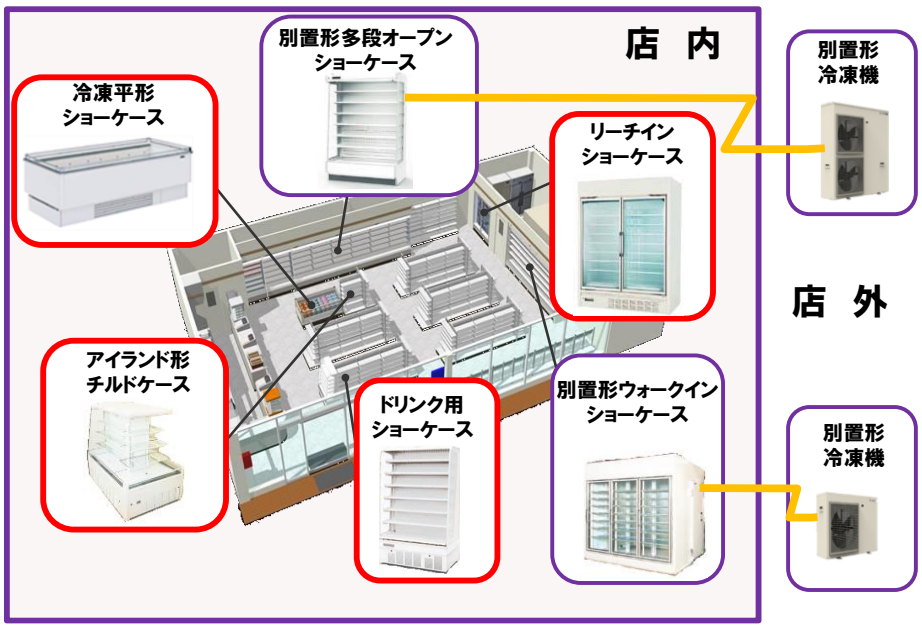



Fig. 2-2　コンビニエンスストアのショーケース設置例（赤枠が内蔵ショーケース）

Fig. 2-3　コンビニエンスストアに設置されている主な内蔵ショーケース

リスクアセスメントでは，冷媒回路内の冷媒量は R290 が 500 g 又は R1234yf が 3.8 kg とし（R290 の LFL の 13 倍は 494 g，R1234yf の LFL の 13 倍は 3.757 kg であり，これらをきりのいい数値にした），店舗内の床面積は 84.7 $m^2$，天井高さは 2.2 m とした．この床面積は，コンビニエンスストアの標準的な寸法を想定し，店舗内の別置クローズドショーケース，事務所，トイレなどを除く床面積（レジ内は含む）として求めたものであり．Fig. 2-4 の赤枠内の床面積である．なお，R290 500 g は規格上の内蔵ショーケースの最大冷媒充塡量であり，コンビニエンスストア内の多くのショーケースはもっと少ない冷媒量である．本来リスクアセスメントは，コンビニエンスストア内の各冷媒量のショーケースの存在比率を考慮（各存在比率と各着火確率を加重平均）すべきものであるが，ここでは，安全のため，規格上の最大冷媒充塡量（R290 500 g など）のショーケースの存在比率を 100 %とする．

なお，この他に，狭小店舗として駅の構内にある狭いコンビニエンスストア（駅ナカコンビニ）を想定し，店舗は床面積 24.01 $m^2$（≒0.5/(2.2×0.25×0.038)），天井高さ 2.2 m，冷媒量は R290 が 500 g とした場合のリスクアセスメントも行った（**6.8** 節参照）．

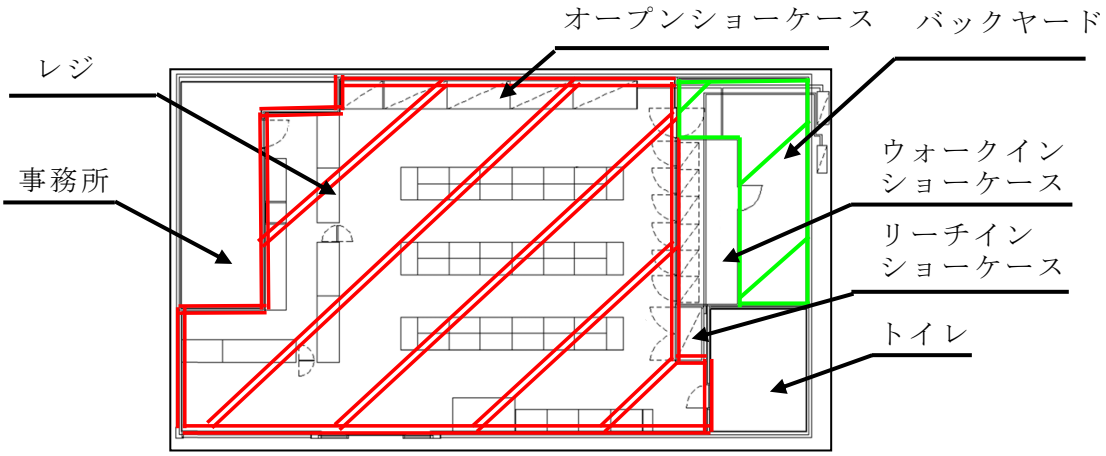



Fig. 2-4　コンビニエンスストアの標準的なレイアウト（赤枠が RA 対象床面）

## 2.4　ライフステージ

内蔵ショーケースのライフサイクルを Fig. 2-5 及び Table 2-2 に示す．

一般に内蔵ショーケースは工場で生産された後，冷媒回路に冷媒が入った状態で，倉庫で一時保管されてから使用される店舗などに輸送され，店舗内の適切な場所に設置されて使用する．使用時に不具合が生じた時は，設置場所で修理する（現地修理）か，その場所では十分な作業が出来ないと判断された場合には，ショーケースをメーカーのサービス拠点などに持ち帰って不具合部分を修理（持帰り修理）した後，再設置される．現地修理は店舗内の設置された場所で修理する場合（店内修理）と店舗の外に持ち出して修理する場合（屋外修理）がある．ショーケースが不要になった場合は設置先から撤去・回収し，一時的に倉庫に保管してから廃棄処理されるか，一部のショーケースは再生又は整備後に中古品として再設置される．

日冷工のリスクアセスメントでは，輸送，保管，設置，使用，修理，撤去までをライフステージとして設定する．内蔵ショーケースは，輸送・設置から撤去まで，冷凍サイクルに冷媒が入った状態で行われ，冷凍サイクルに不具合が発生した時の現地修理の場合にのみ，冷媒回路が開放される．

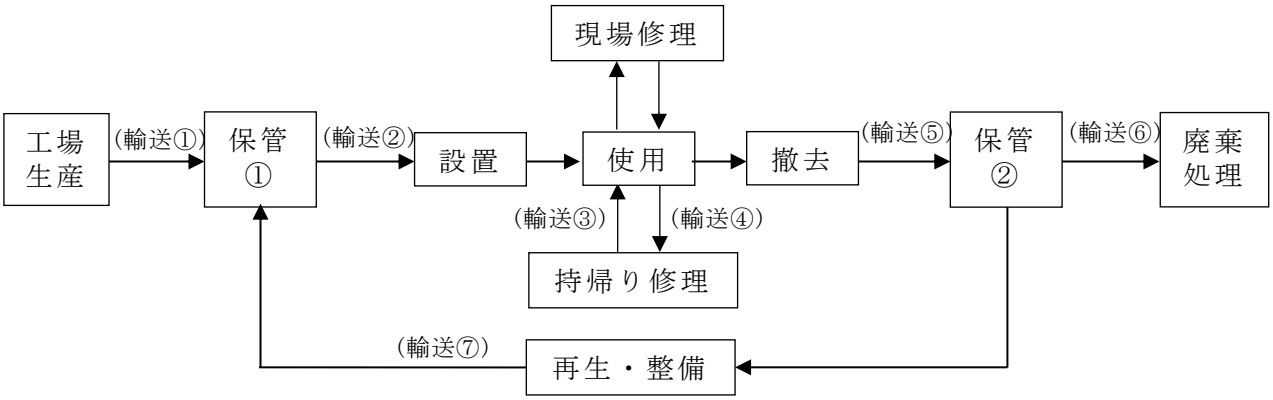



Fig. 2-5　内蔵ショーケースのライフサイクル

Table 2-2　内蔵ショーケースのライフステージ

| ステージ | ステージ小区分 | 内容 | 製品の状態 |
|---|---|---|---|
| 輸送 | 輸送① | 工場から倉庫 | 新製品 |
| | 輸送② | 倉庫から設置先 | 新製品 |
| | 輸送③ | 持帰り修理 | 不具合品 |
| | 輸送④ | 修理後の返却 | 修理品 |
| | 輸送⑤ | 設置先からの回収 | 使用済品 |
| | 輸送⑥ | 保管先から廃棄処置場 | 使用済品 |
| | 輸送⑦ | 再生先から設置先 | 再生品 |
| 保管 | 保管① | 新製品の保管 | 新製品 |
| | 保管② | 回収品の保管 | 使用済品 |
| 設置 | 設置 | トラックからの積み出し，製品設置 | 新製品，再生品 |
| 使用 | 使用 | 通常使用 | 通常品 |
| 修理 | 現場修理 | 現場での修理（店内修理，屋外修理） | 不具合品 |
| | 持帰り修理 | サービスステーションなどでの修理 | 不具合品 |
| 撤去 | 撤去 | 設置先からトラックへの積み込み | 使用済品 |
| 再生 | 再生 | 使用済品を再生品として整備する | 再生品 |
| 廃棄 | 廃棄処理 | 廃棄 | 使用済品 |

## 3　リスクアセスメントの前提

### 3.1　リスクアセスメントのプロセスと安全の定義

可燃性冷媒を使用した機器の着火リスクは，冷媒が漏えいした時の着火事故の発生確率（着火確率）であり，着火確率は，冷媒漏えいが発生する確率，冷媒漏えいによって生成される可燃空間の体積及び可燃空間が持続する時間，可燃空間内の着火源の存在度合いを考慮して算出する（Fig. 3-1）．可燃性冷媒を使用した機器を安全に使用するためには，リスクアセスメントで着火確率が許容される値（許容値）以下となる必要があり，未対策時の着火確率が許容値を超えた場合，着火確率が許容値以下になるまで安全対策を施す必要がある．

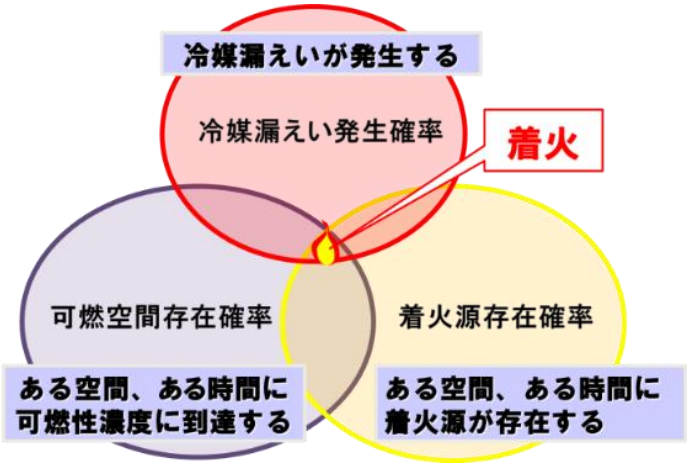



Fig. 3-1　着火するための 3 条件

製品安全は，リスク（事故の発生確率と事故によって生じる危害の大きさ）の許容可能なレベルを設定し，リスクを許容可能なレベルまで低減することによって達成される．リスクが許容可能なレベルに達したか否かはリスクアセスメントを行って判断する．リスクアセスメント及びリスク低減の反復プロセスは，Fig. 3-2 及び次に示す ISO/IEC Guide 51[3-1)]の考え方に従って実施する．

i) 使用者，使用意図及び合理的に予見可能な誤使用の特定
・リスクアセスメントにおける対象製品を用途，容量，構造，形式，設置場所から設定する．
・リスクアセスメントにおけるライフステージを設定する．
・設置環境と用途を特定し，正常・安全である事象及び異常・危険である事象を明確にする．
・合理的に予見可能な誤使用を特定する．

ii ) 危険源の特定
・異常・危険な事象をもたらすと推定される要因を分析し，危険源を特定する．

iii) リスクの見積
・各ステージにて危険源の存在によってもたらされる事象の危害程度とその事象が発生する頻度を見積もる．

iv) リスクの評価
・事象発生頻度と危害の程度より，総合的な事象の重大性を評価する．

v) 残留リスクの可否判断
・リスクが許容可能な場合は，妥当性確認及び文書化を行いリスクアセスメントを終了する．
・リスクが許容可能でない場合は，リスクの低減策を検討した上で，残留リスクが許容可能になるまで，i)～iv)を繰り返す．

vi) リスクの低減
・発生頻度と危害の程度を軽減する安全対策を立案する．

vii) 妥当性確認，文書化
・安全対策の妥当性を確認し文書化する．

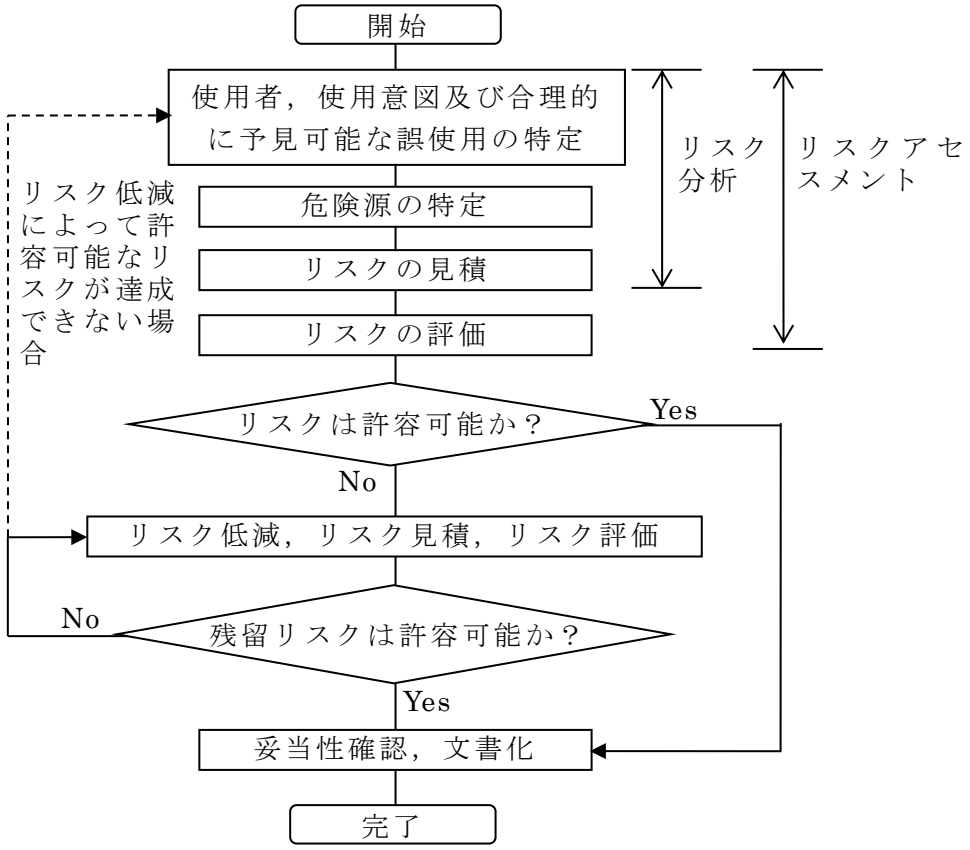



Fig. 3-2　基本リスクアセスメントフロー[3-1)]

リスクアセスメント手法には，FTA (Fault Tree Analysis)，ETA (Event Tree Analysis)，FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)などの様々な方法がある．ここで行うリスクアセスメントは，燃焼性を有する冷媒を使用する場合の着火に関するリスク評価であるため，着目すべきは着火源の存在度合い，可燃域形成の要因となる冷媒漏えい事象の存在確率及び冷媒漏えい時の可燃域の生成状態であり，事象間の独立性が高い点及び発生確率の計算が容易である点から FTA を使用して着火事故が発生する確率を導き出す（Fig. 3-3）．その際，各事故事象は，それぞれ独立していると考え，確率を合算して 1 台あたりの年間事故発生頻度として示す．

また，リスクアセスメントにおいては，「発生頻度」と「危害の程度」を組み合わせて評価することが必要であり，その評価には R-Map 手法[3-2)]（Fig. 3-4）を用いる．R-Map では，発生頻度と危害の程度でリスク領域が A 領域（受け入れられないリスク領域），B 領域（基本的には許容不可だがリスクを大きく上回る便益などがあれば許容可能な領域），C 領域（無視できると考えられるリスク領域）の 3 つに分けられている．製品安全のためにはリスクを C 領域まで低減する必要があり，危害の程度が致命的であっても，発生頻度が $10^{-8}$(件/(台・年))であれば安全となる．

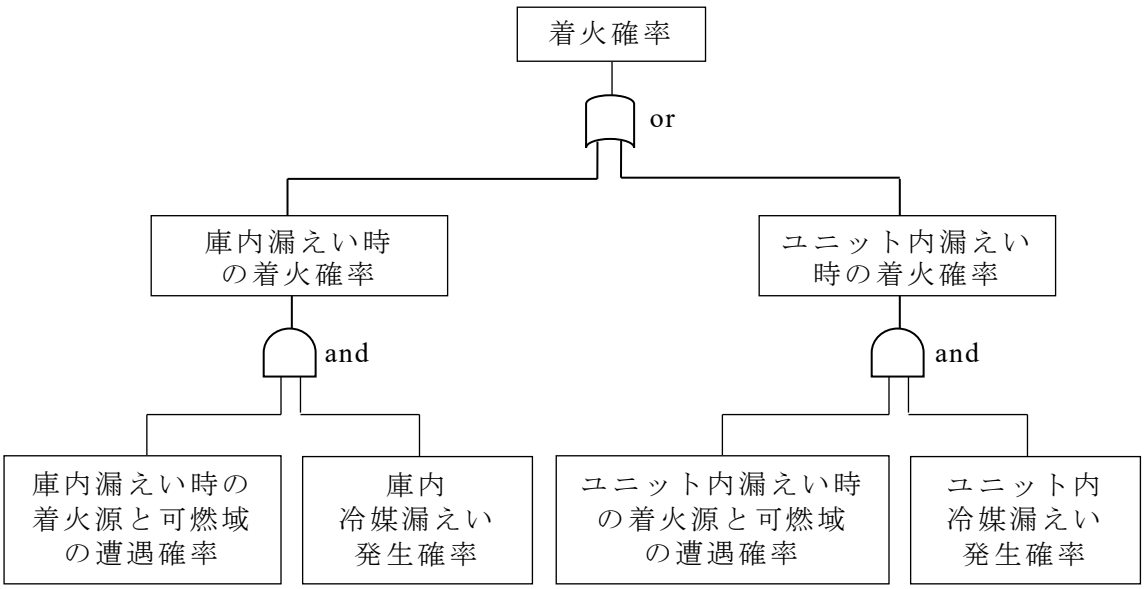



Fig. 3-3　FTA の例

件/(台・年)

| 発生頻度 | | なし | 軽微 | 中程度 | 重大 | 致命的 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | I | II | III | IV | |
| $10^{-4}$ 超 | 頻発する | C | B3 | A1 | A2 | A3 | A 領域 |
| $10^{-5}$ 超 $10^{-4}$ 以下 | しばしば発生する | C | B2 | B3 | A1 | A2 | A 領域 |
| $10^{-6}$ 超 $10^{-5}$ 以下 | 時々発生する | C | B1 | B2 | B3 | A1 | A 領域 |
| $10^{-7}$ 超 $10^{-6}$ 以下 | 起こりそうにない | C | C | B1 | B2 | B3 | B 領域 |
| $10^{-8}$ 超 $10^{-7}$ 以下 | まず起り得ない | C | C | C | B1 | B2 | B 領域 |
| $10^{-8}$ 以下 | 考えられない | C | C | C | C | C | C 領域 |

危害の程度

Fig. 3-4　消費生活用品に用いる R-Map[3-2)]

### 3.2　許容値

#### 3.2.1　国内普及台数及び寿命

リスクアセスメントの対象とする内蔵ショーケースの 2014 年度時点での国内普及台数は 190 万台[3-3)]であった．日冷工の年度別内蔵ショーケース国内出荷台数推移（Fig. 3-5）から，2014 年度以降の出荷台数の増減幅は非常に小さいため，2016 年度の国内普及台数も 2014 年度と同等と考え，190 万台とした．

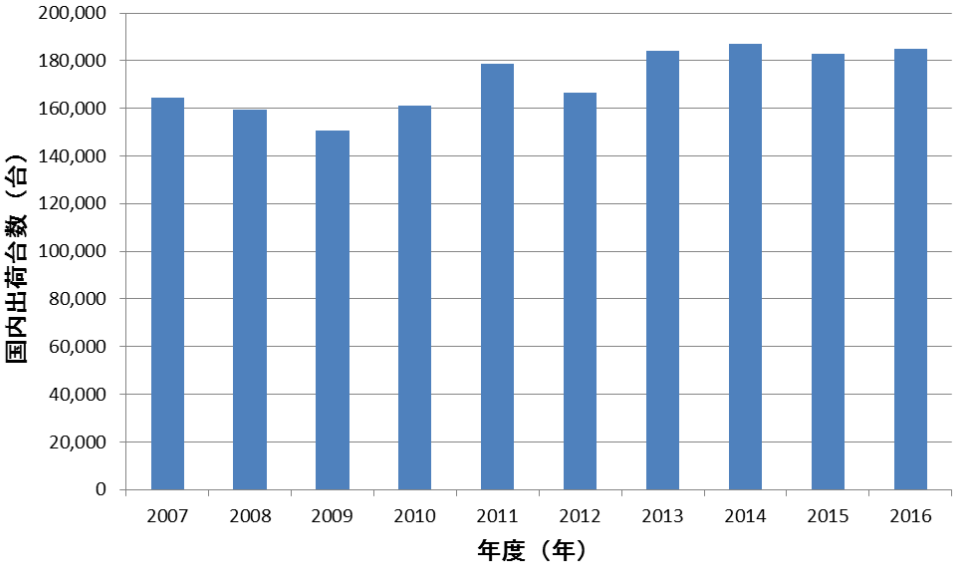



Fig. 3-5　ショーケースの国内出荷台数の推移（日冷工　集計結果より）

また，内蔵ショーケースのサービス部品の保管年数は調査の結果 10 年～15 年程度であり，省エネ法のトップランナーでの議論でも内蔵ショーケースの使用年数が 10 年～15 年となっていることから，内蔵ショーケースの市場での寿命（使用年数）は 13 年とした．この年数は，内蔵ショーケースと同様に食品を冷却・保管する家庭用冷蔵庫の平均使用年数 12.9 年[3-4)]と同様の年数であり妥当性がある．

なお，リスクアセスメントで使用する各種統計値は，基本的には，リスクアセスメントを開始した 2016 年度又は 2017 年度の値を使用した．

### 3.2.2　各業態の普及台数に占める割合

#### 1) コンビニエンスストアに設置されている台数と市場における割合

ショーケースの主な用途[3-5]を Table 3-1 に示す.

Table 3-1　ショーケースの用途[3-5]

| | 業　態 | 用途と目的 | 商品形態 |
|---|---|---|---|
| 販売 | スーパーマーケット | 食品（精肉・鮮魚・野菜・その他）・飲料・アイスクリーム等の販売 | 多段形、平形、リーチイン、スポット形 |
| | コンビニエンスストア | 食品（弁当・サンドイッチ・乳製品・その他）・飲料・アイスクリーム等の販売 | 多段形、リーチイン、ガラストップ式 |
| | デパート食品売場 | 食品（精肉・鮮魚・野菜・弁当・サンドイッチ・乳製品・その他）・飲料等の販売 | 多段形、平形、対面形、リーチイン |
| | 駅　売　店 | 飲料の販売 | 四面ガラス式、多段形 |
| | 学校生協 | 食品（弁当・サンドイッチ・乳製品・その他）・飲料・アイスクリームの販売 | 多段形、ガラストップ式 |
| | パン屋 | パン・飲料の販売 | 多段形、四面ガラス式 |
| | ケーキ屋 | ケーキ・飲料の販売 | 対面形、四面ガラス式 |
| | アイスクリームショップ | アイスクリームの販売 | ディッピング形 |
| | 酒販店 | 酒・飲料の販売 | リーチイン |
| | ドラッグストア | 栄養剤・飲料の販売 | 多段形、平形 |
| | 肉屋 | 精肉等の販売 | 対面形 |
| | 魚屋 | 鮮魚・加工品等の販売 | 平形 |
| | 八百屋 | 生鮮野菜・果物等の販売 | 多段形 |
| 飲食 | レストラン・飲食店 | ケーキ販売、食材の販売 | 対面形、リーチイン |
| | 喫茶店（コーヒーショップ） | ケーキ・飲料の販売 | 対面形、四面ガラス式 |
| | 弁当屋 | 惣菜・飲料販売 | 多段形、四面ガラス式 |
| その他 | カメラ屋 | フィルム販売 | 多段形 |
| | 花屋 | 生花の販売 | 多段形、リーチイン |
| | 釣具屋 | 釣り餌の販売 | 四面ガラス式 |

内蔵ショーケースを設置してある業態のうち，代表的なものとして食品小売があげられる．その中でも最も多くの割合を占めると思われるコンビニエンスストアについて詳細検討をする．

国内のコンビニエンスストア店舗数は 56,948 店舗（2021 年 1 月）[3-6]である．コンビニエンスストアにおける内蔵ショーケースの店内設置台数は，日冷工の会員企業からのヒアリングをもとに Table 3-2 とした．

Table 3-2　コンビニエンスストアの内蔵ショーケース

| 種別 | 台数 |
|---|---|
| デザートケース | 2 台 |
| アイスクリームケース | 1 台 |
| リーチインショーケース | 1 台 |
| ドリンクケース | 1 台 |
| 合計 | 5 台 |

これより，コンビニエンスストアに設置されている内蔵ショーケースの台数求めると，次のように 284,740 台となった．

コンビニエンスストアに設置されている内蔵ショーケース
= 56,948 店舗×5 台/店舗
= 284,740 台

次に，Table 3-3 に 2019 年度及び 2020 年度の日冷工の内蔵ショーケースの出荷台数の自主統計結果を示す．なお，Table 3-3 に示しているクローズド／冷蔵／その他，オープン／冷凍／1800mm 未満，リーチイン／冷蔵／1000mm 未満，オープン／冷蔵／多段／1000mm 未満の 4 機種は，Table 3-2 に示す 4 機種と対応するものである．

Table 3-3　日冷工の内蔵ショーケースの出荷台数の自主統計（2019～2020 年度）［台］

| 内蔵ショーケースの出荷台数の自主統計 | 2019 年度 | 2020 年度 | 2019～2020 年度の平均 | 市場設置台数 |
|---|---|---|---|---|
| クローズド／冷蔵／その他 | 14,817 | 11,290 | 13,054 | 169,702 |
| オープン／冷凍／1800mm 未満 | 2,111 | 2,677 | 2,394 | 31,122 |
| リーチイン／冷蔵／1000mm 未満 | 13,513 | 11,659 | 12,586 | 163,618 |
| オープン／冷蔵／多段／1000mm 未満 | 12,189 | 16,905 | 14,547 | 189,111 |
| 小計 | 42,630 | 42,531 | 42,581 | 553,553 |
| 上記以外の内蔵ショーケース | 121,211 | 95,406 | 108,309 | 1,408,017 |
| 合計 | 163,841 | 137,937 | 150,889 | 1,961,557 |

Table 3-3 の最右欄に，2019～2020 年度の平均出荷台数に機器寿命である 13 年を乗じて求めた各ショーケースの市場設置台数を記載した．内蔵ショーケースの市場設置台数は 1,961,557 台となり，**3.2.1** 項に記載した市場の普及台数 190 万台とほぼ一致する．

また，Table 3-2 に示す 4 種のショーケースの 2019～2020 年度の出荷台数の平均値は 42,581 台であり，これに機器寿命の 13 年を乗じて求めた市場設置台数は 553,553 台となった．これらは比較的冷媒量が多く着火リスクが大きい機種であり，これらのうちコンビニエンスストアに設置される割合を求めると次のようになる．

4 種類のショーケースのうちコンビニエンスストアに設置される割合
= 284,740 台/553,553 台
= 0.514

すなわち，比較的冷媒量が多く着火リスクが大きい機種のうち 51.4 %がコンビニエンスストアに設置されていることが分かる．なお，内蔵ショーケース全機種のうちコンビニエンスストアに設置されている割合は次のように 14.5 %となった．

内蔵ショーケースのうちコンビニエンスストアに設置されている割合
= 284,740 台/1,961,557 台
= 0.145

**2) 他の業態の店舗に設置されている内蔵ショーケースの台数と市場における割合**

コンビニエンスストア以外の業態の店舗に設置されている内蔵ショーケースの割合を算出する．内蔵ショーケースが設置してあるコンビニエンスストア以外の業態は，Table 3-1 を参考に，チェーンストアとして店舗数も多いドラッグストアとスーパーマーケットを選定した．

**a）ドラッグストア**

ドラッグストアに設置されている内蔵ショーケースの台数を，コンビニエンスストアの場合と同様の方法で算出する．

国内のドラッグストア店舗数は 22,136 店舗（2021 年 1 月）[3-7]とする．ドラッグストアにおける内蔵ショーケースの店内設置台数は，日冷工の会員企業からのヒアリングから，Table 3-4 とした．

Table 3-4　ドラッグストアの内蔵ショーケース

| 種別 | 台数 |
|---|---|
| ドリンクケース | 1 台 |
| 平形ケース | 1 台 |
| 合計 | 2 台 |

これより，ドラッグストアに設置されている内蔵ショーケースの台数は 44,272 台，内蔵ショーケース全体に占める割合は 2.3 %となった．

ドラッグストアに設置されている内蔵ショーケース
= 22,136 店舗×2 台/店舗
= 44,272 台

内蔵ショーケースのうちドラッグストアに設置されている割合
= 44,272 台/1,961,557 台
= 0.0226

**b）スーパーマーケット**

同様の方法で，スーパーマーケットに設置されている内蔵ショーケースの割合を算出する．国内のスーパーマーケット店舗数を 16,953 店舗（2021 年 1 月）[3-8]とする．スーパーマーケットにおける内蔵ショーケースの店内設置台数は，Fig. 3-6 に示す西薗らの群馬県内の調査[3-9]を基に，店内設置台数を加重平均して求める．なお，加重平均の台数は中央値を用いる．

5 台×0.336＋15 台×0.089
＋25 台×0.044 = 4.1 台

よって，設置台数は 4 台とする．

これより，次に示すように，スーパーマーケットに設置されている内蔵ショーケースの台数は 67,812 台，内蔵ショーケース全体に占める割合は 3.5 %となった．

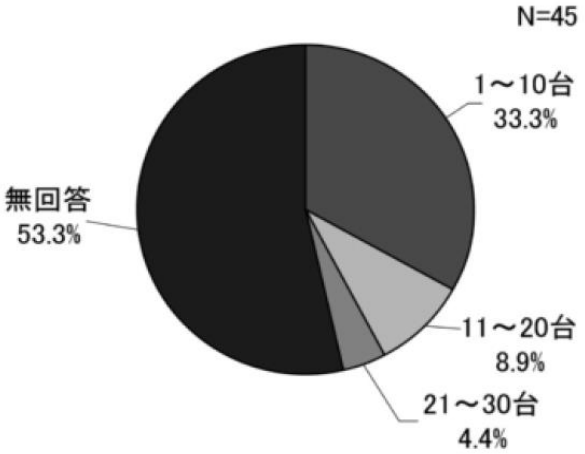



Fig. 3-6　アンケート結果：群馬県内のスーパーマーケットの店内に設置されている内蔵ショーケースの台数[3-9]

スーパーマーケットに設置されている内蔵ショーケース
= 16,953 店舗×4 台/店舗

= 67,812 台

内蔵ショーケースのうちスーパーマーケットに設置されている割合

= 67,812 台/1,961,557 台

= 0.0346

**c）その他の業態のチェーンストア**

ドラッグストア，スーパーマーケットのいずれも，内蔵ショーケース全体に占める割合は，コンビニエンスストアに比べて小さい値となった．

また，駅ナカコンビニの店舗数の割合は，日冷工での調査によると 0.2 %であった．

その他のチェーンストアの業態としては，ファミリーレストランがあるが，同様の調査データ[3-10)]によれば，店舗数は 6,910 店舗（2021 年 1 月）であり，大きな比率とはなりえない．また，飲食店のような業態でも，大半の店舗に内蔵ショーケースが 1 台は設置されていると思われる．その店舗数は厚労省のデータ[3-11)]によると 1,424,920 店舗（2019 年）であり，内蔵ショーケースが設置されている業態では，飲食店が最も多い割合を占めるものと思われる．しかし，これらの店舗の多くが利用しているショーケースは，Table 3-3 の日冷工の自主統計のうち冷媒量が少ない小形のものであり，食品小売の業態に比べて着火リスクは小さい．

**3) まとめ**

以上のことから，リスクアセスメントの対象には，着火リスクが大きい食品小売の業態が適していると思われ，そのうち最も内蔵ショーケースに占める割合が多いコンビニエンスストアを対象とするのが妥当と考える．

本来，リスクアセスメントでは，各店舗のシナリオに基づいて計算した着火確率と普及台数に占める各店舗の存在率を乗じたものを合計して，最終的な着火確率とする．しかし，コンビニエンスストアは，食品小売の業態の中で内蔵ショーケースの設置率が最も多く，冷媒量が多く冷媒が漏れると危険なショーケースに限ると全体の 51.4 %を占めている．また，内蔵ショーケースの市場の普及台数はあまり変化していないが，コンビニエンスストアの店舗数は年々増加しており，内蔵ショーケースの使用用途に占めるコンビニエンスストアの割合は年々増えている（Fig. 3-7）[3-12)]．そこで，安全のため，全ての内蔵ショーケースがコンビニエンスストアで使用されていることを想定し，内蔵ショーケースの使用用途に占める割合を 100 %として，リスクアセスメントを行った．

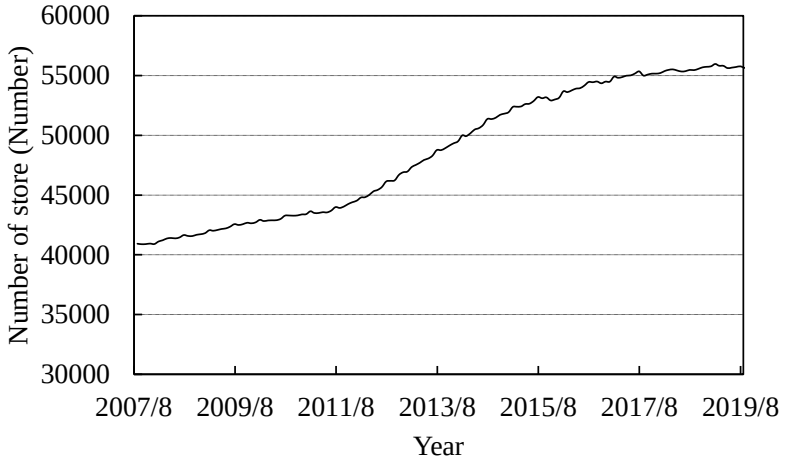



Fig. 3-7　コンビニエンスストアの店舗数の推移（文献[3-12)]のデータから作図）

### 3.2.3　許容値の設定

安全のため着火事故は全て致命的な事故であると考えると，許容できる事故の発生確率は，R-MAP[3-2)]から $10^{-8}$ 件/(台・年)以下となり，着火事故の発生確率をこの値以下に抑えること

が重要である．これを市場の普及台数に対して 100 年に一度の事故が発生するレベルと考え[3-13]，$5.26\times10^{-9}$（1/190 万台/100 年）を許容値とした．また，使用時以外は，消費者ではなく，職業として常に機器を取り扱い，作業に関する専門的な教育を受けている作業者が携わっているため，許容値は使用時よりも 1 桁上げることができると考え[3-13]，$5.26\times10^{-8}$ を許容値とした（Table 3-5）．

Table 3-5　リスクアセスメントにおける許容値

| ステージ | 許容値 |
|---|---|
| 使用時 | $5.26\times10^{-9}$ |
| 使用時以外 | $5.26\times10^{-8}$ |

### 3.3　冷媒漏えい速度

冷媒漏えい速度について，過去の検討結果[3-13]を基に説明する．冷媒の漏えい速度は，配管の損傷状況によって異なり，噴出漏れ，急速漏れ，微少漏れの 3 つに区分される．噴出漏れは圧縮機の振動や蒸発器の氷結による配管折損が起きる場合の漏えい速度，微少漏れは俗にいうスローリークで腐食などによって微小な孔が形成された場合や継手の締付不良などの場合の漏えい速度，そしてその中間的な漏えい速度が急速漏れであり，圧縮機や蒸発器の凍結がない場合の最大漏えい速度で配管亀裂などの場合に発生する．市場から回収した冷媒漏れが発生した空調機の部品に常温の窒素ガスを流して流量を測定し，差圧と窒素ガスの流量との関係から漏れ箇所の等価直径を算出し，次いで，漏れ箇所をオリフィスとし，ベルヌーイの定理に従って流れると仮定して，式(3-1)[3-13), 3-14]を用いて，R-32 の漏えい速度を算出した．この時，オリフィスの入口冷媒圧力を R32 の 63 ℃の飽和圧力（飽和液）とした．その結果，室内機の最大漏えい速度は 4 kg/h であり，余裕を見て，R32 の最大漏えい速度を 10 kg/h とし，これを R32 における急速漏れ，漏えい速度 1 kg/h を微少漏れとした[3-13]．また，空調機の室外機の部品を分析した結果，室外機の最大漏えい速度は 45 kg/h であり，余裕を見て最大漏えい速度を 75 kg/h とし，これを R32 における噴出漏れとした[3-13]．A2L 冷媒である R1234yf の漏えい速度は R32 と同じとした[3-13]．

次に，式(3-1)を用い，物性を R290 の物性に置き換えて，R290 の漏えい速度を求めると Table 3-6 のようになる．この時，R290 の漏えい速度は 63 ℃の飽和圧力（飽和液）に対するもの（高圧側）と 35 ℃の飽和圧力（飽和液）に対するもの（低圧側）の双方を算出した．

$$w = C \times \left(\frac{2 \times \Delta p}{\rho_1}\right)^{0.5} \times S \times \rho_1 \tag{3-1}$$

ここで，
$C$　：　流量係数（＝0.6）　(-)
$\Delta p$　：　差圧（63℃飽和圧力又は 35℃飽和圧力と大気圧の差圧）　(Pa)
$S$　：　孔面積　($m^2$)
$w$　：　漏えい速度　(kg/s)
$\rho_1$　：　入口冷媒密度（63℃飽和液又は 35℃飽和液）　($kg/m^3$)

Table 3-6　漏えい速度の比較

| 冷媒 | 噴出漏れ (kg/h) | 急速漏れ (kg/h) | 微少漏れ (kg/h) |
|---|---|---|---|
| R32（63 ℃飽和液） | 75 | 10 | 1 |
| R1234yf | 75 | 10 | 1 |
| R290（63 ℃飽和液・高圧側） | 40.71 | 5.43 | 0.54 |
| R290（35 ℃飽和液・低圧側） | 31.2 | 4.16 | 0.42 |
| 冷媒量 500 g の 4 分全量漏れ | 7.5 | | |

冷媒が漏えいする孔径は，腐食などの漏えい発生原因によって異なる．そして，冷媒の漏えい初期には，漏えい発生原因によって決まる孔径での最大の漏えい速度（急速漏れ速度，噴出漏れ速度など）で漏えいするが，漏えいが進むと冷媒回路内の圧力が低下し，漏えい箇所の前後差圧が下がるため漏えい速度が低下し，最後は差圧がなくなって漏えいが停止する．内蔵ショーケースでは，冷媒量が比較的少ないため，漏えいによる冷媒回路内の圧力の低下が早く起こり，漏えい速度も早めに小さくなる．そこで，内蔵ショーケースのリスクアセスメントでは，漏えい速度として 4 分全量漏れ（4 分で冷媒回路内の全冷媒量が漏えいするとした場合の漏えい速度）を採用した．4 分全量漏れは，空調機の国際規格 IEC 60335-2-40[3-15)] での考え方である．Table 3-6 には冷媒量が 500 g の時の 4 分全量漏れの値も記載した．500 g の R290 においては，4 分全量漏れは 7.5 kg/h であり，急速漏れより速く，噴出漏れより遅い漏えい速度となっており，4 分全量漏れで扱っておけば，十分安全目に扱えるといえる．4 分全量漏れで R290 のリスクアセスメントを行うことについては，**5.2.2** 項での検討の結果から，大きな問題はないと判断した．なお，IEC 60335-2-89[3-16)]では，漏えい速度を計算する別の式が規定されており，その式で R290 の漏えい速度を計算すると，4 分全量漏れに対して，1/2～1/3 の漏えい速度となる．

### 3.4　冷媒漏えい発生確率

#### 3.4.1　使用時冷媒漏えい発生確率

当 RA-WG 参加メーカーの協力により，各社のアフターサービスデータから内蔵ショーケースの使用時の冷媒漏えい発生件数を求め，市場普及台数から冷媒漏えい発生確率を算出した（Table 3-7）．年間漏えい発生件数は，2011～2015 年度の 5 年間におけるメーカー毎の年間漏えい発生件数を調査し，それに調査対象メーカー数を乗じて算出した．

Table 3-7　年間冷媒漏えい発生確率

| | 冷媒漏えい発生件数（件/年） | 冷媒漏えい発生確率 | 割合 |
|---|---|---|---|
| 噴出漏れ | 1 | $5.26\times10^{-7}$ | 0.05 % |
| 急速漏れ | 36 | $1.89\times10^{-5}$ | 1.89 % |
| 微少漏れ | 1866 | $9.82\times10^{-4}$ | 98.06 % |
| 合計 | 1903 | $1.00\times10^{-3}$ | － |

次に，漏えい速度を 0.1～40.71 kg/h の間で変化させて，平形ショーケースの下ユニットから R290 が漏えいする解析を行った結果，R290 の微少漏れの漏えい速度である 0.54 kg/h 以下でも大きな可燃域が生成されることが分かった（**5.2.2** 項参照）．そこで，今回行う R290 のリスクアセスメントでは，微少漏れ，急速漏れ，噴出漏れの全ての漏えい発生確率を合計した $1.0\times10^{-3}$ を使用時の冷媒漏れ発生確率とした．A2L 冷媒である R1234yf においては，平形ショーケースの下ユニットからの漏えい解析を行った結果，冷媒量 1.0 kg・床面積 24.01 $m^2$ の密閉空間の場合に微少漏れで可燃域が生成されるが，可燃空間時空積は急速漏れと比べてかなり小さい値となること，床面積が 84.7 $m^2$ の場合は，冷媒量が 3.8 kg であっても微少漏れでは可燃域が生成されないことが分かった（**5.5** 節参照）．A2L ではこれを踏まえて冷媒漏えい発生確率を設定し，リスクアセスメントを行った（**6.9** 節参照）．

#### 3.4.2　初期設置時漏えい発生確率

初期不良のうち，冷媒漏えいが発生した機器の件数を出荷台数で除して初期設置時漏えい発生確率を求める．2011～2015 年度の 5 年間における各製品形態の出荷台数と設置時漏えい件数を Table 3-8 に示す．これより，初期設置時漏えい発生確率は，5 年間の設置時漏えい件数 58 件を 5 年間の総出荷台数 274,599 台で除して $2.11\times10^{-4}$ となる．

これを工場出荷後から設置まで（輸送，保管，設置）の冷媒漏えい発生確率とし，輸送時と設置時はこれを 1/3 にした値を使用し，保管時は長期保管も想定し安全のためこの値をそ

のまま使用する．

なお，Table 3-8 には各ショーケースの割合も示している．庫内漏れに関してはリーチインショーケースが最も危険と想定されるが，リーチインショーケースの割合は 29.7 %であり，**6** 章で示すリスクアセスメントではこの割合を考慮する．

Table 3-8　内蔵ショーケースの 5 年間の出荷台数と設置時漏えい件数

| 日冷工統計 | 出荷台数（台） | | | 合計（台） | 設置時漏えい件数（件） |
|---|---|---|---|---|---|
| | リーチイン | 平形 | 多段形 | | |
| 2011 年度 | 13,830 | 7,045 | 37,222 | 58,097 | 8 |
| 2012 年度 | 14,677 | 6,341 | 31,539 | 52,557 | 7 |
| 2013 年度 | 16,534 | 7,515 | 29,485 | 53,534 | 11 |
| 2014 年度 | 17,634 | 6,995 | 27,781 | 52,410 | 20 |
| 2015 年度 | 18,881 | 8,571 | 30,549 | 58,001 | 12 |
| 合計 | 81,556 | 36,467 | 156,576 | 274,599 | 58 |
| 構成割合 | 29.70 % | 13.28 % | 57.02 % | 100.00 % | – |
| 漏えい率 | – | – | – | – | $2.11\times10^{-4}$ |

### 3.4.3　作業時冷媒漏えい発生確率

作業に起因する冷媒漏えいは作業ミスにより発生する．修理時及び撤去時（廃棄時）の作業起因の冷媒漏えい発生確率は，各作業のシナリオからヒューマンエラーが発生するものを想定しその発生頻度から算出する．

## 3.5 ヒューマンエラー発生確率

ヒューマンエラーの発生確率に関する4つの文献[3-17)–3-20)]の値をTable 3-9～Table 3-12に示す．ショーケースの設置，修理，撤去などの作業は，基本的には教育訓練された技術レベルの高い専門業者が行うが，作業環境は一様ではなく，特に，ショーケースが食品保管に使用されている場合は，食品の保管温度の関係から，修理作業に時間的な制約を設けられることも多い．そのためヒューマンエラーが発生する．

Table 3-9　意識のモードとヒューマンエラー発生率 [3-17),3-18)]

| フェーズ | 意識モード | 生理的状態 | エラー発生確率 |
|---|---|---|---|
| 0 | 無意識，失神 | 睡眠 | 1.0 |
| I | 意識ぼけ | 疲労，居眠り | 0.1 以上 |
| II | 正常，リラックッスした状態 | 休息時，定例作業時 | 0.01～0.00001 |
| III | 正常，明晰な状態 | 積極活動時 | 0.00001 以下 |
| IV | 興奮状態 | 慌てている時，パニック時 | 0.1 以上 |

Table 3-10　作業内容とヒューマンエラー発生率 [3-17)]

| 作業の内容 | エラー発生率 |
|---|---|
| 表示板の警報を見逃す | 0.0001 |
| 数字を誤って記録する（数時の数＞3） | 0.001 |
| 2 つ以上の隣り合ったバルブから誤ったバルブを選択する | 0.005 |
| アナログメータを読み間違える | 0.003 |

Table 3-11　ヒューマンエラー発生確率 [3-19)]

| 注意レベル | 状態 | エラーレート | 持続時間 |
|---|---|---|---|
| マイナス | 慌て，パニック | 0.1 以上 | |
| 0 | 居眠り | | |
| I | 単純作業による飽き・疲労 | 0.01 以上 | |
| II | 通常作業時 | 0.01～0.0001 | |
| III | 積極作業時 | 0.00001 以下 | 15～20 分 |

Table 3-12　ヒューマンエラー発生確率 [3-20)]

(a) ヒューマンエラー発生確率の例

| Task | Assessed Error Probability |
|---|---|
| Fail to respond to a normal temp/pressure/level alarm | 0.02 |
| Close or open manual valve in error | 0.02 |
| Re-open a valve at the wrong time | 0.03 |
| Open wrong or too many valves | 0.04 |
| Tanker driver drives-off despite SO2 delivery incomplete | 0.0005 |
| Fail to react to jet fire on slug catcher | 0.2 |
| Supervisor does not notice a subordinate technician's error (e.g. failure to close a valve) | 0.5 |
| Fail to carry out 2 yearly maintenance as planned to the vessel | 0.006 |
| Fail to continue to hold open the oil delivery arm valve by deliberate inhibit | 0.2 |
| Fail to dip tank prior to new distillation run | 0.2 |
| Fail to select goggles prior to entering laser laboratory (regular visitor) | 0.01 |
| Pass rail signal at red | 0.0002 |

(b) 広い範囲でのヒューマンエラー発生確率

| | Error Probability (per task) | | |
|---|---|---|---|
| | Read/ reason | Physical operation | Everyday yardstick |
| Simplest Possible Task | | | |
| Read single alphanumeric wrongly | 0.0002 | | |
| Read 5-letter word with good resolution wrongly | 0.0003 | | |
| Select wrong switch (with mimic diagram) | | 0.0005 | |
| Fail to notice major cross-roads | | | 0.0005 |
| Routine Simple Task | | | |
| Read a checklist or digital display wrongly | 0.001 | | |
| Set switch (multiposition) wrongly | | 0.001 | |
| Check for wrong indicator in an array | 0.003 | | |
| Wrongly carry out visual inspection for a defined criterion (e.g. leak) | 0.003 | | |
| Fail to correctly replace PCB | | 0.004 | |
| Select wrong switch among similar | | 0.005 | |
| Read analogue indicator wrongly | 0.005 | | |
| Read 10-digit number wrongly | 0.006 | | |
| Leave light on | | | 0.003 |
| Routine Task with Care Needed | | | |
| Mate a connector wrongly | | 0.01 | |
| Fail to reset valve after some related task | | 0.01 | |
| Record information or read graph wrongly | 0.01 | | |
| Let milk boil over | | | 0.01 |
| Type or punch character wrongly | | 0.01 | |
| Do simple arithmetic wrongly | 0.01-0.03 | | |
| Wrong selection – vending machine | | | 0.02 |
| Wrongly replace a detailed part | | 0.02 | |
| Do simple algebra wrongly | 0.02 | | |
| Read 5-letter word with poor resolution wrongly | 0.03 | | |
| Put 10 digits into calculator wrongly | 0.05 | | |
| Dial 10 digits wrongly | 0.06 | | |

(c) ヒューマンエラー発生確率の全体像

| Activity | Error Probability |
|---|---|
| Activity performed under extreme stress (e.g. a major incident in a plant or refinery) | 0.99 |
| Skilled task or task performed under some moderate stress factors | 0.1 |
| Average scenario | 0.01 |
| Highly practiced straightforward task, well documented, well motivated, etc. | 0.001 |
| Approximately the minimum error probability to be assumed (e.g. signal passed at red) | 0.0001 |

リスクアセスメントにおけるヒューマンエラー発生確率を Table 3-13 のように設定した．一般的に，リスクアセスメントは，正常な状態を想定して行うものであり，通常作業のヒューマンエラーは，Table 3-9～Table 3-11 を基に，リラックスした精神状態での値である $10^{-3}$ を使用する．可燃性冷媒への着火を防ぐために新たに実施する作業は注意を要する作業であるとし，Table 3-12(a)・(b)を基に $1.0\times10^{-2}$～$5.0\times10^{-2}$ とし，リスクアセスメントでは安全のため $5.0\times10^{-2}$ を使用する．また，教育や表示などのヒューマンエラーを低減させる安全対策を講じた後でも，ヒューマンエラーは $1.0\times10^{-4}$ を下回らない（Table 3-12 (c)）ものとする．

Table 3-13　ショーケースに係る作業時のヒューマンエラー発生確率

| 項目 | 発生確率 |
|---|---|
| 一般的な作業のヒューマンエラー発生確率 | $1.0\times10^{-3}$ |
| 注意を要する作業※のヒューマンエラー発生確率<br>※可燃性冷媒への着火を防ぐために新たに実施する作業など | $1.0\times10^{-2}$～$5\times10^{-2}$（リスクアセスメントでは $5\times10^{-2}$ を使用） |
| ヒューマンエラーの最小値 | $1.0\times10^{-4}$ |

**参考文献**


3-1) ISO/IEC Guide51: “Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards” (2014).

3-2) 経産省：「リスクアセスメント・ハンドブック　実務篇」(2011.6).

3-3) (株)三菱総合研究所　環境・エネルギー研究本部：「平成 27 年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（機械器具等の省エネルギー対策の検討に係る調査）報告書」(2016.2).

3-4) 内閣府経済社会総合研究所景気統計部：「消費動向調査 令和 3 年 3 月実施調査結果」(2021.4) (https://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/shouhi.html).

3-5) 産構審 統合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 業務用冷蔵庫及びショーケース等判断基準ワーキンググループ　第 1 回 資料 3 (2015.4.21).

3-6) 日本ソフト販売の WEB（データ活用ブログ【2021 年版】コンビニエンスストアの店舗数ランキング） (https://www.nipponsoft.co.jp/blog/analysis/chain-conveniencestore2021/).

3-7) 日本ソフト販売の WEB（データ活用ブログ【2021 年版】ドラッグストアチェーンの店舗数ランキング） (https://www.nipponsoft.co.jp/blog/analysis/chain-drugstore2021/).

3-8) 日本ソフト販売の WEB（データ活用ブログ【2021 年版】スーパーマーケット，総合スーパーの店舗数ランキング） (https://www.nipponsoft.co.jp/blog/analysis/chain-supermarket2021/).

3-9) 西薗大実，冨田郁美:「群馬県のスーパーマーケットにおける低温流通の環境マネジメントについて」，群馬大学教育学部紀要，第 49 巻，pp.169-174 (2014).

3-10) 日本ソフト販売の WEB（データ活用ブログ【2021 年版】飲食店チェーンの店舗数ランキング） (https://www.nipponsoft.co.jp/blog/analysis/chain-restaurant2021/).

3-11) 厚生労働省の WEB（令和元年度衛生行政報告例の概況より食品衛生関係から飲食店舗数のデータを引用） (https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/eisei_houkoku/19/).

3-12) 日本フランチャイズチェーン協会の WEB (https://www.jfa-fc.or.jp/particle/320.html).

3-13) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).

3-14) JIS Z 8762-2：「円形管路の絞り機構による流量測定方法− 第 2 部：オリフィス板」.

3-15）IEC 60335-2-40:2018, “Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers”, (2018.1).

3-16) IEC 60335-2-89:2019, “Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-89:

Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor”, (2019.6).
3-17) 中條武志：「人間信頼性工学：エラー防止への工学的アプローチ」 (2008).
3-18) 森山哲：「人間と安全　ヒューマンエラーとリスクアセスメント」 (2008).
3-19) 鈴木, 田中, 伊藤：「品質管理」, 日科技連出版社, No.9 (2001.9).
3-20) David J. Smith: “Reliability, Maintainability and Risk 8th Edition: Practical Methods for Engineers”, Eighth Edition, Elsevier, p. 395-397 (2011).

## 4　着火確率の計算方法及び着火源

### 4.1　着火確率の算出方法

#### 4.1.1　概要

リスクアセスメントにおける冷媒の着火確率の算出方法を説明する．着火確率（$P$）は，冷媒漏えい発生確率（$P_r$），着火源が可燃域と接触する時間率である時間的遭遇確率（$P_t$）及び可燃空間の体積が空間全体の体積に占める割合を表す空間的遭遇確率（$P_s$）を乗じて式(4-1)で算出する．

冷媒濃度が LFL と UFL の間にある領域が可燃域であり，可燃域と着火源が遭遇すると着火に至る．この可燃域の体積が可燃空間体積（$m^3$），可燃域が持続する時間が可燃域継続時間（min），可燃域継続時間内での時々刻々の可燃空間体積の平均値が平均可燃空間体積であり（Fig. 4-1），平均可燃空間体積と可燃域継続時間の積が可燃空間時空積（$m^3$・min）である．

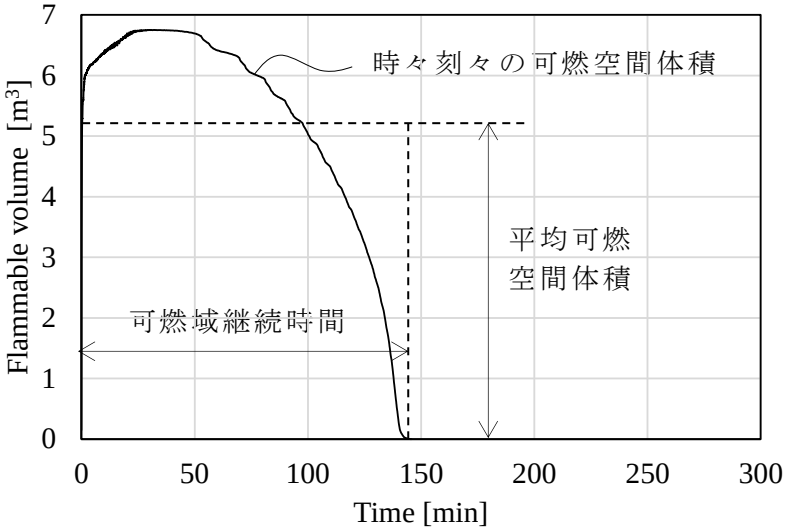



Fig. 4-1　可燃空間体積の経時変化（例）

時間的遭遇確率は，対象とするステージの総時間，可燃域継続時間，着火源存在時間及び着火源使用回数などを用いて算出する．時間的遭遇確率の算出方法は **4.1.2** 項で説明する．空間的遭遇確率は平均可燃空間体積（$V_v$）と対象空間の体積（$V_g$）を用いて式(4-2)で算出する．冷媒漏えい発生確率は **3.4** 節に示した値を使用し，平均可燃空間体積及び可燃域継続時間は冷媒漏えい解析で算出する（詳細は **5** 章に記載する）．

$$P = P_t \times P_s \times P_r \tag{4-1}$$

$$P_S = \frac{V_v}{V_g} \tag{4-2}$$

ここで，

| | | | |
|---|---|---|---|
| $P$ | : | 着火確率 | (-) |
| $P_r$ | : | 冷媒漏えい発生確率 | (-) |
| $P_s$ | : | 空間的遭遇確率 | (-) |
| $P_t$ | : | 時間的遭遇確率 | (-) |
| $V_g$ | : | 空間体積 | ($m^3$) |
| $V_v$ | : | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) |

### 4.1.2　時間的遭遇確率

**1）時間的遭遇確率に関する従来の考え**

漏えいした冷媒が着火するには，着火源と可燃域が存在しなければならない．これらが時間的に同時に発生する確率を時間的遭遇確率としてリスク評価に用いる．過去の検討[4-1)]では，時間的遭遇確率 $P_t$ を式(4-3)に示す算出式によって求めた．

$$P_t = N \times (T_v + T_{ic}) \tag{4-3}$$

ここで，$N$：単位時間あたりの着火源作動回数 (回/h)

$T_v$：可燃域継続時間 (h)

$T_{ic}$：着火源の 1 動作当たりの作動時間 (h)

この式は着火源の作動回数が少なくかつ着火源の作動間隔が均一の場合は問題ないが，可燃域継続時間が長くかつ着火源の作動回数が多い場合又は着火源の作動が特定の時間帯に集中する場合は正確に求めることができない．R290 では静電気や電気スパークでも着火する可能性があり精度よく時間的遭遇確率を求めるために，作動回数が多い又は作動が特定の時間帯に集中する着火源にも対応した時間的遭遇確率の算出方法を検討した．なお，使用ステージと作業（輸送・保管，据付，修理，撤去（廃棄））ステージでは基準となる時間などが異なるため，算出式もステージ毎に検討した．

**2）使用ステージにおける時間的遭遇確率**

幾何学的確率[4-2), 4-3)]の考え方に基づき，まず，使用ステージにおいて着火源作動回数を 1 回/日で，着火源の存在する時間と作動する時間が等しい場合の時間的遭遇確率 $P_1$ を検討する．着火源の発生時刻を $x$，可燃域の発生時刻を $y$ とすると，着火源と可燃域が遭遇しない条件は，式(4-4)及び式(4-5)に示す範囲となる．これらの関係を Fig. 4-2 に示す．

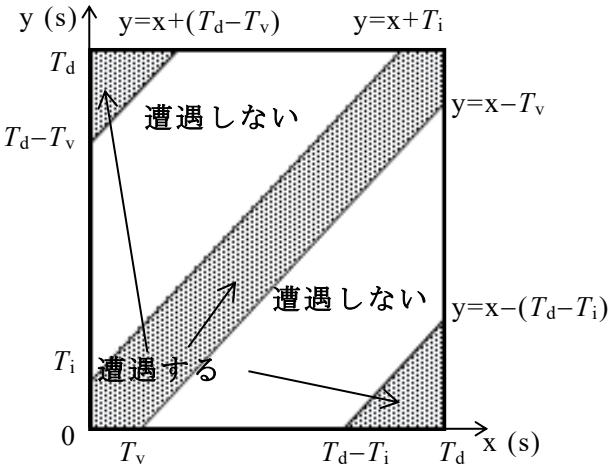



Fig. 4-2　着火源と可燃域の遭遇イメージ図

$$T_v < x - y < 24 - T_i \quad (x \geq y) \tag{4-4}$$

$$T_i < y - x < 24 - T_v \quad (x < y) \tag{4-5}$$

ここで，$T_i$：着火源存在時間 (h)

Fig. 4-2 における遭遇する領域と遭遇しない領域の面積比から導出した $P_1$ を式(4-6)に示す．この式から，時間的遭遇確率は着火源存在時間と可燃域継続時間の和を基準となる時間（使用ステージでは 24 h）で除することで算出できることが分かる．これは，着火源作動回数が 1 回/日であり，着火源の存在時間と作動時間が等しいため，式(4-4)において n = 1/24，$T_{ic} = T_i$ となることより，式(4-3)からも式(4-6)が導出できることが分かる．

$$P_1=\frac{\frac{T_i{}^2+T_v{}^2}{2}+24^2-\frac{(24-T_i)^2+(24-T_v)^2}{2}}{24^2}=\frac{T_i+T_v}{24} \tag{4-6}$$

ここで，　$P_1$：着火源作動回数を 1 回/日とした場合の時間的遭遇確率（-）
　　$T_i$：着火源存在時間（h）
　　$T_v$：可燃域継続時間（h）

次に，1 日に複数回作動する着火源との時間的遭遇確率 $P_n$ を検討する．着火源作動回数を $n$ 回/日とすると少なくとも 1 回も遭遇しない確率は$(1-P_1)^n$となる．このため，$P_n$ は式(4-7)で表すことができる．なお，時間的遭遇確率は 1 年あたりの値として求める必要があるが，着火源は毎日（365 日）同様に発生することを前提としているため，分母は 1 日の時間である 24 時間となる．また，ここで，係数 $k$ は着火源の存在率（普及率など）を表す係数である．

$$P_n=k\{1-(1-P_1)^n\}=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{24}\right)^n\right\} \tag{4-7}$$

ここで，　$k$ ：着火源存在係数（-）
　　$n$ ：1 日の着火源作動回数（回/日）
　　$P_1$：着火源作動回数を 1 回/日とした場合の時間的遭遇確率（-）
　　$P_n$：1 日に複数回発生する着火源との時間的遭遇確率（-）
　　$T_i$：着火源存在時間（h）
　　$T_v$：可燃域継続時間（h）

なお，式(4-7)は，$T_i$ と $n$ のどちらも大きい場合に正値からのずれが発生する．本来は，着火源の発生に応じて基準時間を 24 h から $T_i$ を引いていく式とすべきと思われるが，このようにすると，式が複雑になり，実用的な式ではなくなる．また，A3 冷媒に特有な着火源では $n$ は大きいが $T_i$ が小さく，A3 冷媒と A2L 冷媒の共通の着火源では $T_i$ は大きいが $n$ が小さいため，式(4-7)を使用しても実用上の影響が小さいことからこの式を用いることとする．

さらに，1 日に複数回発生する着火源が特定の時間帯に集中する場合の時間的遭遇確率 $P_t$ を検討する．これは，着火源が存在し得る時間帯が複数回あり，その存在時間内で着火源が複数回作動する場合を想定している．これは，機器に搭載されるリレーでの電気スパークのように，存在する時間は機器の運転時のみであり，さらにその運転時間内に複数回作動するものである．例えば，ドライヤーにおけるリレーでは，1 回の平均使用時間は 3 分程度と想定されるが，この間に常時電気スパークが発生しているわけではなく，1 回の使用で発生する電気スパークは接点の切り替え時（ON/OFF）の 2 回のみである．電気スパークが存在する時間は 1 回の電気スパークで 5 ms 程度である．つまり，ドライヤーを使用する 3 分間に 5 ms の電気スパークが 2 回発生することになる．さらに，ドライヤーでは 1 日に複数回使用されることを考慮しなければならない．$P_t$ は，“着火源が存在し得る時間と可燃域が遭遇する前提で着火源と可燃域の遭遇率”と“着火源が存在し得る時間と可燃域の遭遇率”の積で求めることができる．なお，$T_i$ 内に集中して存在する着火源の 1 動作当たりの時間 $T_{ic}$，$T_i$ 内で着火源が作動する回数 $n$，着火源が存在し得る時間帯の回数 $nc$，となる．各遭遇率を前述までと同様の手法を用いることで式(4-8)が得られる．

使用ステージにおいては，式(4-8)を用いて時間的遭遇確率を算出する．燃焼暖房機などのように着火源が特定の時間帯に集中しない場合は，$T_{ic}=T_i$，$nc=1$ となり，式(4-8)は式(4-7)と等しくなる．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_{ic}+T_v}{T_i+T_v}\right)^{nc}\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{24}\right)^{n}\right\} \quad (4\text{-}8)$$

ここで，　$k$ ：着火源存在係数　(-)

$n$ ：1 日の着火源作動回数　(回/日)

$nc$：着火源が存在し得る時間帯の回数　(回/日)

$P_t$：1 日に複数回発生する着火源が特定の時間帯に集中することも考慮した時間的遭遇確率　(-)

$T_i$ ：着火源存在時間　(h)

$T_{ic}$: $T_i$ 内に集中して存在する着火源の 1 動作当たりの時間　(h)

$T_v$ ：可燃域継続時間　(h)

式(4-3)と式(4-8)を用いた時間的遭遇確率の算出例を Table 4-1 に示す．Table 4-1 における Case 1 はブラシモーター（電気シェーバー）の電気スパーク，Case 2 はコンセント挿抜（電気ポット）による電気スパーク，Case 3 は静電気，Case 4 はドライヤーのリレーによる電気スパークを想定している．式(4-3)での $n$ は，式(4-8)での $n$ 及び $nc$ から発生回数が等しくなるように換算した．着火源作動回数が少ない場合（Case 1）は，式(4-3)と式(4-8)での算出結果はほぼ等しくなる．しかし，複数回使用する着火源（Case 3），や作動回数が複数回でかつ特定の時間帯に集中する着火源（Case 4）の場合は，式(4-3)と式(4-8)とで結果が異なる．これは，式(4-3)では，複数回使用する着火源の作動間隔が平均化されてしまうことが原因と考えられる．例えば，Case 3 のように 1 時間に 1 回作動する着火源が 1 日に 24 回発生する場合，式(4-3)では 1 日の可燃域継続時間と着火源存在時間が合計されるため，可燃域継続時間は 1 時間のみであるにも関わらず，可燃域が 24 時間存在する場合と同じ扱いになり，存在時間が短く作動回数が多い着火源が過大に評価されてしまう欠点がある．式(4-8)では少なくとも 1 回も遭遇しない確率としているため発生する間隔の偏りも考慮できている．A3 冷媒では電気スパークや静電気などの存在時間が短く作動回数が多い着火源が多く，式(4-8)はこのような着火源の場合に精度よく計算できる．

Table 4-1　時間的遭遇確率の算出例

| Case | $T_v$ | $T_i$ | $T_{ic}$ | $N$ | $n$ | $nc$ | 式(4-3) | 式(4-8) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | h | h | h | 回/h | 回/日 | 回/日 | — | — |
| 1 | 1 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.5 | 1 | $2.10\times10^{-2}$ | $2.21\times10^{-2}$ |
| 2 | 1.4 | 0.05 | $1.39\times10^{-6}$ | 0.05 | 1.2 | 1 | $7.00\times10^{-2}$ | $6.96\times10^{-2}$ |
| 3 | 1 | $2.78\times10^{-10}$ | $2.78\times10^{-10}$ | 1 | 24 | 1 | 1 | 0.64 |
| 4 | 1.4 | 0.05 | $1.39\times10^{-6}$ | 0.21 | 2.55 | 2 | 0.29 | 0.15 |

**3）作業ステージにおける時間的遭遇確率**

作業（輸送，保管，設置，修理，撤去）ステージでの時間的遭遇確率 $P_t$ は，

(i) 作業と漏えい冷媒の遭遇率

(ii) 作業と着火源の遭遇率

(iii) 作業中に着火源と漏えいが発生する前提での着火源と漏えい冷媒の遭遇率

の 3 つの積により求める．作業ステージにおける着火源と漏えいの発生には，それぞれ作業に起因する場合と起因しない場合が考えられるため，次の考え方に基づき，$P_t$ は①～④の 4 つに場合分けした．

(a) 漏えいが作業に起因しない場合（使用時漏えいなど）は，漏えい発生確率は市場の機器での 1 年間の漏えい発生頻度として求めた値であるため，作業時間内での漏えい発生頻度に換算する必要があり，(i)として $T_s$／(24×365)を乗じる．漏えいが作業

に起因する場合は，(i)は 1 とする．

(b) 着火源の発生が作業に起因しない場合（室内の電気機器など），着火源存在時間を算出する基準時間は 24 h であるため，作業時間内での着火源存在時間に換算する必要があり，(ii)として$[1-\{1-(T_i+T_s)/24\}^n]$を乗じ，(iii)で着火源発生回数 $n$ の代わりに作業時間中の着火源の発生回数 $n\times T_s/24$ を使用する．着火源が作業に起因する場合は，(ii)は 1 とする．

なお，式(4-11)～式(4-12)において，作業に起因しない着火源が 1 日に複数回発生する場合，作業時間中に全数が発生するわけではないため，回数 $n$ に作業時間 $T_s$(h)と 1 日 24(h)の比を乗じ，$n\times T_s/24$ 回遭遇するものとした．回数 $n$ が多く着火源存在時間 $T_i$ が小さい場合は，この計算方法が現実に近いと思われるが，回数 $n$ が少なく着火源存在時間 $T_i$ が長い場合は，回数ではなく着火源存在時間 $T_i$ に $T_s/24$ を乗じた方が現実に近い値になると思われる．しかし，場合分けをするのは困難であるため，全ての場合において，回数 $n$ に $T_s/24$ を乗じることとした．導出した $P_t$ を式(4-9)～式(4-12)に示す．

①作業に起因する漏えいと作業に起因する着火源（＝(iii)）

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_{ic}+T_v}{T_i+T_v}\right)^{nc}\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n}\right\} \tag{4-9}$$

②作業に起因しない漏えいと作業に起因する着火源（＝(i)×(iii)）

$$P_t=k\left(\frac{T_s}{24\times365}\right)\left\{1-\left(1-\frac{T_{ic}+T_v}{T_i+T_v}\right)^{nc}\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n}\right\} \tag{4-10}$$

③作業に起因しない漏えいと作業に起因しない着火源（＝(i)×(ii)×(iii)）

$$P_t=k\left(\frac{T_s}{24\times365}\right)\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^{n}\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_{ic}+T_v}{T_i+T_v}\right)^{nc}\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\} \tag{4-11}$$

④作業に起因する漏えいと作業に起因しない着火源（＝(ii)×(iii)）

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^{n}\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_{ic}+T_v}{T_i+T_v}\right)^{nc}\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\} \tag{4-12}$$

ここで，

| | | |
|---|---|---|
| $k$ | ：着火源存在係数 | (-) |
| $n$ | ：着火源使用回数（1 日当たり） | (回/日) |
| $nc$ | ：着火源作動回数（着火源が存在し得る時間帯の回数） | (回/日) |
| $P_t$ | ：時間的遭遇確率 | (-) |
| $T_i$ | ：着火源存在時間 | (h) |
| $T_{ic}$ | ：着火源作動時間（$T_i$ 内に集中して存在する着火源の 1 動作当たりの時間） | (h) |
| $T_s$ | ：作業時間 | (h) |
| $T_v$ | ：可燃域継続時間 | (h) |

## 4.2 着火源

### 4.2.1 概要

着火源には，裸火，電気スパーク，静電気スパークなどがある．A3 冷媒及び A2L 冷媒がこれらの着火源で着火する可能性がある（○）か否（×）かを Table 4-2 に示す．A2 冷媒は国際規格などで A3 冷媒と同等の扱いとなっているため，A2 冷媒での着火源の取り扱いは A3 冷媒と同等とする．**4.2.2** 項以降に，各ステージに共通する A3 冷媒の代表的な着火源について説明する．A3 冷媒の着火源の設定は，新しい知見が得られる度に見直し，2021 年 6 月時点での知見 [4-5]を最後の情報とし，

その時点で着火源にならないことが証明されているもの以外は着火源とした．なお，その後の研究で着火源の知見が変わっても，現在よりも危険側にはならないと思われ，リスクアセスメントをやり直す必要はないと考える．

Table 4-2　着火源の種類

| 種類 | | | A3 | A2L |
|---|---|---|---|---|
| 裸火 | マッチ（点火後） | | ○ | ○ |
| | 石油ライター・電子ライター（点火後） | | ○ | ○ |
| | 燃焼式機器（ボイラー・暖房機・給湯器など） | | ○ | ○ |
| | ろう付けバーナー | | ○ | △ |
| 電気スパーク | 電気機器（火災原因，NITE 調査結果）<br>※NITE（National Institute of Technology and Evaluation）：製品評価技術基盤機構 | | ○ | ○ |
| | 所定の電気容量（R32 では 5 kVA）を超える遮断器，電磁開閉器及び接触器 | | ○ | ○ |
| | 機器内電気リレー・サーモスタット | | ○ | × |
| | 電源コンセントからの抜き差し | | ○ | × |
| | 照明用スイッチの ON/OFF | | ○ | × |
| | マッチ（点火） | | ○ | ○ |
| | 石油ライター（点火）（ライターに占める割合 5 %） | | ○ | ○ |
| | 電子ライター（点火） | | ○ | × |
| | 電動ドライバー | ブラシ式 | ○ | × |
| | | ブラシ式以外 | × | × |
| | モーター | ブラシ式 | ○ | × |
| | | ブラシ式以外 | × | × |
| | 冷媒回収機（非防爆・電源スイッチの ON/OFF） | | ○ | × |
| 静電気スパーク | 人体からの静電気 | | ○ | × |
| | 衣類の脱衣 | | × | × |
| 高温表面<br>(Table 2-1 参照) | ヒーターなど | | ○(自己着火温度−100℃超) | ○(700 ℃超) |
| | たばこの赤火 | | ○ | × |
| | 置きたばこ | | × | × |
| 機械的スパーク | フォークリフト作業中の金属接触で生じる火花など | | ○ | ○ |

（○：着火の可能性あり，×：着火しない，△：A2L 冷媒は冷媒噴出部ではバーナーで着火せず[4-4)]）

### 4.2.2　静電気

#### 1) 静電気の放電エネルギー

Table 4-3[4-6)]は，人体に帯電した時の帯電量とその電撃について示したものである．これより，人体起因の静電気は 3.0～5.0 kV 程度であることが分かる．人体に静電気が帯電すると，蓄積された静電気エネルギー$W$（J）は，帯電電位 $V$（V），静電容量 $C$（F）を用いて，式(4-13)で表される．人体の静電容量は約 100（pF）であり，静電気エネルギーを計算すると 0.45～1.25（mJ）となり，人体起因の静電気は高々1（mJ）程度の放電エネルギーであることが分かる．

Table 4-3　人体の帯電電位と電撃の強さ[4-6)]

| 人体の電撃電位[kV] | 電撃の強さ |
|---|---|
| 1.0 | まったく感じない |
| 2.0 | 指の外側に感じるが痛まない |
| 3.0 | 針で刺された感じを受け，チクリと痛む |
| 5.0 | 手のひらから前腕まで痛む |
| 6.0 | 指が強く痛み，後腕が重く感じる |
| 7.0 | 指，手のひらに強い痛みとしびれを感じる |
| 8.0 | 手のひらから前腕まで，しびれた感じを受ける |
| 9.0 | 手首が強く痛み，手がしびれた感じを受ける |
| 10.0 | 手全体に痛みと電気が流れた感じを受ける |
| 11.0 | 指が強くしびれ，手全体に強い電撃を感じる |
| 12.0 | 手全体に強打された感じを受ける |

$$W = C \times V^2/2 \tag{4-13}$$

ここで，$C$ ：静電容量　　（F）
　　$V$ ：帯電電位　　（V）
　　$W$ ：静電気エネルギー　　（J）

Moorhouse ら [4-7], Lewis & von Elbe[4-8], Eckhoff ら [4-9]は，プロパン（R290）と空気の混合気を対象に，最小着火エネルギーを求める実験を行った．彼らの研究結果の比較を Fig. 4-3（文献 [4-7]を基に作図）に示す．値が最も小さくなる濃度での最小着火エネルギーは，Moorhouse らによると 0.46 mJ，Lewis & von Elbe によると 0.25 mJ，Eckhoff らによると 0.48 mJ である．このうち，最小着火エネルギーが最も小さいのは，Lewis & von Elbe の研究結果であるため，ここではこれを採用する．

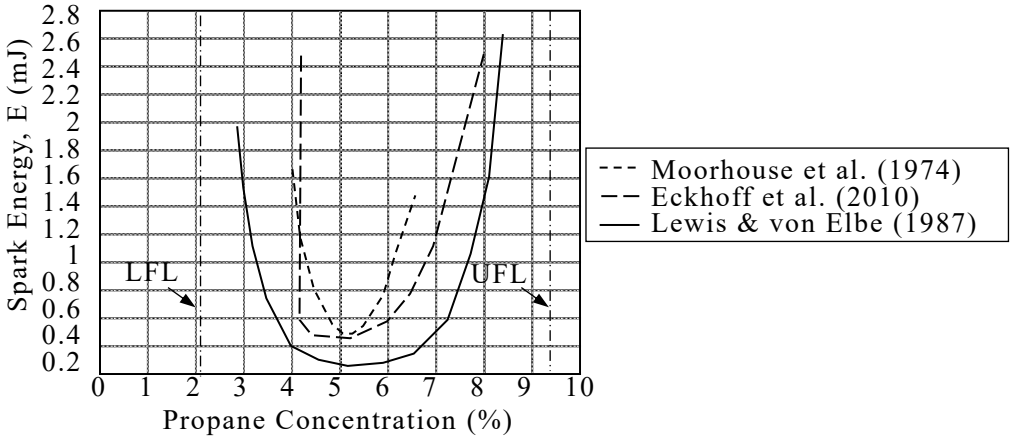



Fig. 4-3　R290 の最小着火エネルギー（文献 [4-9]を基に作図）

Fig. 4-3 には R290 の LFL と UFL も一点鎖線で示している．人体起因の静電気の放電エネルギーは高々1.0 mJ 程度（Fig. 4-3 の二点鎖線）であるため，Fig. 4-3 より，静電気放電で R290 に着火する領域（Fig. 4-3 の曲線の上の領域）は LFL–UFL 間の約 1/2 以下の領域であることが分かる．そこで，静電気放電による A3 冷媒の着火確率を計算する際，**5** 章に示す可燃空間時空積を 2 で除して（平均可燃空間体積及び可燃域継続時間のそれぞれを $2^{0.5}$ で除して）使用することとする．

**2) 静電気の放電時間**

Fig. 4-4（文献 [4-10]を基に作図）に静電気の放電波形を示す．静電気は，放電開始当初は R290 を着火させるだけのエネルギーがあるが，放電が進むと流れる電流が減ってくる．別の研究 [4-11]からも同様のことがいえる．これらの研究 [4-10)–4-11)]から，R290 の着火源としての静電気の放電時間は，1 μs も見ておけば十分に安全目に扱えるといえ，これを静電気の放電時間とする．

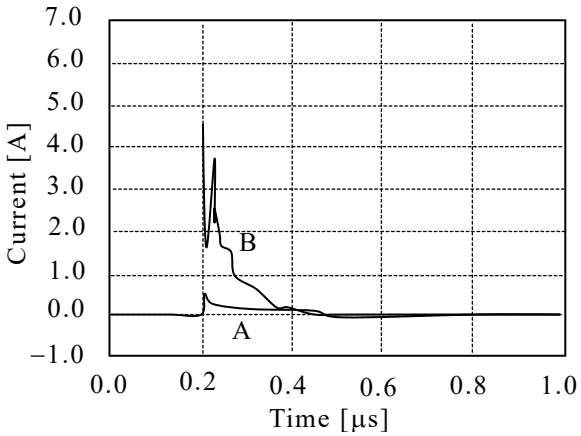



Fig. 4-4　静電気の放電電流波形 1（文献 [4-10]を基に作図）

### 3) 静電気の発生率

文献[4-12]より，湿度 30 %以下を静電気発生の危険ゾーンとみなす．

気象庁のデータから 2016 年度の湿度 30 %以下の発生時間を求め，年間時間に対する割合を算出し発生頻度を求めると，3.2 %となる（Table 4-4）．これを屋外（店外）での静電気発生確率とする．

また，JIS C 9612:2013 より，エアコンの設定温度を冷房時 27 ℃（5/23～10/4），暖房時 20 ℃（11/8～4/16）とし，室内の湿度を換算し直すと，30 %以下の発生率は 18.7 %となる．これを屋内（店舗内）での静電気発生確率とする．

Table 4-4 2016 年の東京の気象データを基にした湿度 30 %以下の発生確率

気温ベース

| | | 湿度 30 %以下の発生時間(h) | 1 ヶ月の時間(h) | 湿度 30 %以下の発生率(%) |
|---|---|---|---|---|
| 2016 年 | 1 月 | 70 | 744 | 9.4 |
| | 2 月 | 57 | 696 | 8.2 |
| | 3 月 | 50 | 744 | 6.7 |
| | 4 月 | 45 | 720 | 6.3 |
| | 5 月 | 37 | 744 | 5.0 |
| | 6 月 | 12 | 720 | 1.7 |
| | 7 月 | 0 | 744 | 0.0 |
| | 8 月 | 0 | 744 | 0.0 |
| | 9 月 | 0 | 720 | 0.0 |
| | 10 月 | 0 | 744 | 0.0 |
| | 11 月 | 0 | 720 | 0.0 |
| | 12 月 | 7 | 744 | 0.9 |
| | 合計 | 278 | 8,784 | 3.2 |

➡

室温換算

| | | 湿度 30 %以下の発生時間(h) | 1 ヶ月の時間(h) | 湿度 30 %以下の発生率(%) |
|---|---|---|---|---|
| 2016 年 | 1 月 | 462 | 744 | 62.1 |
| | 2 月 | 390 | 696 | 56.0 |
| | 3 月 | 264 | 744 | 35.5 |
| | 4 月 | 55 | 720 | 7.6 |
| | 5 月 | 33 | 744 | 4.4 |
| | 6 月 | 10 | 720 | 1.4 |
| | 7 月 | 0 | 744 | 0.0 |
| | 8 月 | 0 | 744 | 0.0 |
| | 9 月 | 0 | 720 | 0.0 |
| | 10 月 | 0 | 744 | 0.0 |
| | 11 月 | 91 | 720 | 12.6 |
| | 12 月 | 337 | 744 | 45.3 |
| | 合計 | 1,642 | 8,784 | 18.7 |

なお，作業ステージにおいて，連続した作業の場合は最初の 1 回のみ放電するものとし，間に時間が少しあいた作業の場合は触った回数分放電するものとする．

### 4) 脱衣時の放電による着火性

衣服脱衣時の放電はブラシ放電に相当する．ブラシ放電は，主に絶縁物が帯電し，曲率のある接地金属や指先などが近づく時に起きる放電である．絶縁体表面の平均電位とブラシ放電の放電エネルギーとの関係を Fig. 4-5（文献[4-6]を基に作図）に示す．衣服脱衣時の帯電電位は約 4.0～5.0 kV とされている[4-5]．この場合，Fig. 4-5 から放電エネルギーは $10^{-5}$ J 未満のオーダーとなり，R290 を着火させるには至らない（R290 の最小着火エネルギー未満）ため，衣服脱衣時の静電気放電では着火しないものとする[4-5]．

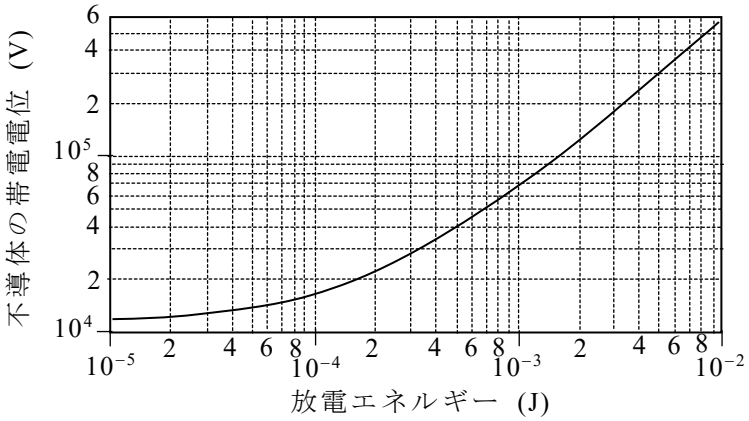



Fig. 4-5 不導体表面の平均電位とブラシ放電の放電エネルギーとの関係（文献[4-6]を基に作図）

### 4.2.3　喫煙

#### 1) たばこ・ライター

**①たばこ**

Li et al.[4-13]及び樫村ら[4-14]の研究によると，たばこを吸引している赤火（吸い込んで先端に炎が発生）の表面温度は最高約 700 ℃，周辺部の温度は約 300 ℃である．従って，たばこ吸引時の赤火の最高表面温度は R290 の自己着火温度（470 ℃）を超えているため着火する可能性があり，置きたばこの時の最高表面温度は周辺部の温度の約 300 ℃であり R290 の自己着火温度よりも低いため着火する可能性はない．実際にたばこでの着火実験を行った研究では，プロパン及びメタン存在下で吸引しても着火しなかったという報告[4-15]もなされており着火しない可能性が高いが，原理的に着火しないという確証が得られているわけではない．そこで，たばこは吸引時の赤火の時のみ R290 に着火することとする．なお，たばこの赤火は A2L 冷媒では着火源とはならない．

**②ライター**

ライターの炎は裸火であり，A3 冷媒ではライターで火をつけている間は着火する可能性がある．しかし，A2L 冷媒存在下では電子ライターには火がつかない[4-4),4-16]ため，A2L 冷媒では，ライターのうち石油ライター（ライターに占める割合は 5 %）のみを着火源とする[4-1]．ただし，A2L 冷媒存在下での使用時の店舗内のライターの試し着火はこれとは異なる取り扱いをする（**6.9.1** 項参照）．

#### 2) 喫煙時間

1 本あたりの喫煙時間を 5 min[4-1]とし，そのうち，赤火になる時間は約 40 s（当 RA-WG 委員実測時）とした．これにライターの着火時間 5 s[4-1]を加え，45 s 間着火する可能性があるとし，これを喫煙の着火源存在時間とする．A2L 冷媒では，たばこの赤火は着火源にはならず，石油ライターのみ着火源となるため，喫煙の着火源存在時間はライターの着火時間 5 s とする．

#### 3) 喫煙率・喫煙本数

2017 年のデータで，日本人の喫煙率は男性 28.2 %，女性 9.0 %，男女平均で 18.2 %[4-17]，1 日当たりの平均喫煙本数は男性 18.1（本/日），女性 14.7（本/日）[4-17]である．喫煙人口は，男性 1426 万人，女性 491 万人，合計 1917 万人[4-17]であり，男女平均喫煙本数は 17.2 本/日（＝{(18.1 本/日×1426 万人)+(14.7 本/日×491 万人)}/1917 万人）となる．

使用ステージでは男女平均の値を使用し（実際は店舗内では喫煙しないため使用ステージでは使用せず），作業ステージでは作業者には男性が多いとして男性の値を使用する．

なお，喫煙は睡眠時間 7.25（h）（20 歳～64 歳までの男性の平均睡眠時間）[4-18]を除いた時間に行われるため，作業ステージにおける喫煙本数は，式(4-14)で計算した値を用いる．

$$
\begin{aligned}
\text{作業時の喫煙本数} &= \text{作業時間(h)} \times \text{平均喫煙本数(本/日/人)}/(24-\text{睡眠時間(h)}) \\
&= \text{作業時間(h)} \times 18.1/(24-7.25) \\
&= \text{作業時間(h)} \times 1.08\text{(本/h)} \qquad (4\text{-}14)
\end{aligned}
$$

時間的遭遇確率の計算において，喫煙本数は着火源使用回数，喫煙率×作業人数は着火源存在係数として使用する．

### 4.2.4　その他の着火源

#### 1) 電源コンセントの抜き差し

動作している機器のスイッチを切らずに電源コンセントから引き抜く場合はスパークが発生し着火源となる可能性がある．一方，機器を電源コンセントにさす場合は，電源をさす前に機器の中のコンデンサなどに十分な電力が蓄えられていない限り，着火源にはならない．電源コンセントの抜き差しが発生する機器としては，掃除に際しての掃除機（使用ステージ），作業対象である内蔵ショーケース（修理

ステージ，撤去ステージ）を想定した．これらの電源をコンセントにさす場合は着火源にはならない．また，電源コンセントを抜く際，スイッチを切らずに電源コンセントから引き抜く確率も想定した．

次に放電時間を考える．交流の場合，正弦波であり半周期でゼロとなり，このタイミングで放電も止まると考えられる．よって，電流が最大の時に放電が開始されたと仮定すると，50 Hz 電源を想定し，放電時間は最大でも 1/4 周期の 5 ms（=1/50Hz/4）となる（Fig. 4-6）．

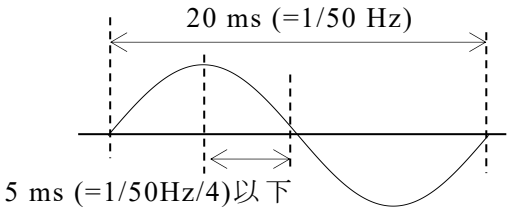



Fig. 4-6 電気スパークの放電時間

**2) スイッチ・リレー・サーモスタット**

スイッチ，リレー，サーモスタットなどの電力を入切又は切り替える場合に着火源となる可能性があるこの場合の電気スパークの放電時間は 5 ms とする．着火源となる店舗内の機器としては，照明スイッチ，フライヤースイッチ，電子レンジ，デフロストヒーター，コピー機・プリンター，中華まん加湿装置，おでん加熱装置，コーヒーディスペンサーを想定した．なお，照明スイッチに関しては，ON から OFF に切り替える時に発生する火花エネルギーは最小着火エネルギーより大きいと推定し [4-19]，OFF から ON に切り替える時は着火源にはならないものとする．

**3) ブラシモーター**

モーターのうち，ブラシモーターはブラシで放電が発生するため着火源となる可能性がある．ブラシモーターを使用する機器としては，電動ドライバー，可燃性冷媒を使用しているショーケース以外のショーケースのファンモーターなどを想定した．日冷工での調査結果から，電動ドライバーにおいて，ブラシモータータイプのものを使用する割合は，全体の 5 %とする．放電時間は 5 ms とする．ただし，掃除機やショーケースのファンなど，運転中にブラシモーターの周囲に冷媒の燃焼速度よりも十分に速い（10 倍以上など）気流が流れている場合は着火源とはならないとものとし，その場合は，モーターが起動される時のみ着火源となるものとした．なお，ブラシモーターも放電エネルギーが小さいとして，**4.2.2** 項の 1)の静電気と同様に，可燃空間時空積を 2 で除して（平均可燃空間体積及び可燃域継続時間のそれぞれを $2^{0.5}$ で除して）使用することとする．

**4) ろう付けバーナー**

冷媒回路の部品交換時に使用するろう付けバーナーは，裸火であるため，A3 冷媒においては，着火源となる．しかし，A2L 冷媒においては，冷媒噴出部では冷媒の噴出速度が冷媒の燃焼速度よりもはるかに速いため，着火源とはならない [4-4]．なお，A2L 冷媒においても，冷媒噴出部以外（周囲の可燃域の領域）ではろう付けバーナーは着火源となる．

### 4.3　安全対策

リスクアセスメントを行い，未対策時の着火確率が許容値を超えた場合は，着火確率が許容値以下になるまで安全対策を施す必要がある．各安全対策のリスク低減効果を Table 4-5 [4-20)]に示す．表中のリスク低減効果は 10 のべき乗の数字を表している．

Table 4-5　リスク低減方法とその効果（リスク低減の原則）[4-20)]

| リスク低減レベル | 具体的な方法 | 低減効果 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 最大 | 通常 | 最小 |
| ①リスクの低減（本質安全：製品自身でリスク除去） | – 運動，位置，熱，機械，電気，化学，電磁波，音，磁気などのエネルギーや放射性物質，有害物質，微生物，シャープエッジなどが及ぼす影響が，人体に危害を加えるレベル以下にする． | −4 | −3 | −2 |
| ②リスクの低減（本質安全：製品自身でリスク除去） | a．発生頻度の低減<br>– 故障やミスをしても直ちに危険状態に至らない設計（フェイルセーフ，冗長性，多重化，安全確認型）<br>– 誤操作の確率低減（フールプルーフ，タンパープルーフ，人間工学）<br>– 隔離（立入禁止，保護カバー，操作部との分離，インターロック，分離固定）<br>– 安全率，ディレーティング，信頼性，難燃・断熱・絶縁・防水・防音材料<br>– 保守点検，受入検査，評価試験，重要部品・重要工程管理<br>b．危害・障害の程度の低減<br>– 使用／発生エネルギーの低減<br>– 作用するエネルギーの低減（保護接地，フィルター，距離） | −3 | −2 | −1 |
| ③安全装置・防護装置 | – 危険状態を早期に検出して遮断する<br>・・・ 停止による拡大防止<br>（過電流保護装置，各種検出保護装置などの安全装置）<br>– 防護装置，保護眼鏡，防護服<br>・・・ 防護による拡大防止 | −2 | −1 | −1 |
| ④警報 | – 警報装置 ・・・ 装置による異常検出<br>– 異常状態の人による発見のしやすさと危険回避行動の容易性（速度の低減，非常停止装置） | −1 | −1 | 0 |
| ⑤取扱説明書・注意銘板 | – 使用者，管理・監督者，周囲の人などに対する注意，警告<br>– 教育・訓練 | −1 | 0 | 0 |

以下に各安全対策による対策効果を記載する．以下の番号は Table 4-5 内の番号と対応している．なお，各ステージにおける安全対策によるリスク低減方法の詳細は **6** 章に記載する．

Table 4-5 を基にした安全対策の効果を以下とする．

- 教育又は表示（火災の警告表示，禁煙表示など）
  ・・・ ⑤（対策効果：$10^{-1}$）

- 警報
  ・・・ ④（対策効果：$10^{-1}$）
- 携帯形漏えい検知器
  ・・・ ②（保守点検，対策効果：$10^{-2}$）
  ただし，携帯形漏えい検知器で漏えいを検知するだけでは着火確率は下がらず，漏えい検知後，作業を中止する又は換気を行うことを前提とする．

また，この他の安全対策の効果の例を以下に示す．

- 凝縮器ユニットのファンにより滞留冷媒の撹拌をする．
  ・・・ 撹拌により可燃域が無くなる場合（後述の式(5-2-5)を満足する風量の場合），対策後の着火確率はゼロとする．ただし，ファンの故障率を 0.025 %（$2.5\times10^{-4}$）[4-1)]とし，この確率で可燃域が生成されるものとする．
- 遮断装置（遮断弁）により冷媒回路を遮断する．
  ・・・ 遮断装置での冷媒回路遮断後は可燃域が生成されないものとし，対策後の着火確率はゼロとするする．なお，遮断装置の故障率は，A2L のリスクアセスメント実施時に調査した弁の故障率 [4-1)] $4.05\times10^{-4}$ から，弁が開状態で故障する確率は閉状態で故障する確率よりも少ないため $1.0\times10^{-4}$ とし，対策時もこの確率で冷媒回路の遮断がなされないものとする．
- 作業時に静電気を防止するための手袋（軍手など）を着用する．
  ・・・ 軍手を使うことを想定する．静電気発生防止効果が十分であれば，静電気が発生することがなく，時間的遭遇確率がゼロとなる．しかし，通常の軍手には隙間もあり，完全に静電気を防止できる程の効果はないと思われ，日冷工での調査結果から，対策効果を 1/100 とする．
- ヒューマンエラーが影響する安全対策
  ・・・ 人が実施する安全対策であって対策を実施した後は確実に着火を防止できるものである場合，安全対策を施した後の着火確率をゼロとする．ただし，ヒューマンエラーの確率（$10^{-3}$）で安全対策が実施されないものとする．

**参考文献**


4-1) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).
4-2) 髙倉亘：「幾何学的確率に関する教材について」, http://izumi-math.jp/W_Takakura/k_kakuritu/k_kakuritu.pdf.
4-3) 岡部靖憲：「確率・統計－文章題のモデル解法－」, 朝倉書店, pp. 131-133 (2010)
4-4) 日本冷凍空調学会：「微燃性冷媒リスク評価研究会　最終報告書　（3. 事故シナリオに基づく安全評価）」(2016.8).
4-5) 今村友彦, “公立諏訪東京理科大の進捗”, 2020 年度プログレスレポート　第 2 部　次世代冷媒の安全性・リスク評価, 日本冷凍空調学会, pp. 29-46, (2021.6).
4-6) 労働安全衛生総合研究所技術指針, 「静電気安全指針 2007」, JNIOSH−TR−NO.42, アトミ (2007).
4-7) J. Moorhouse, A. William, T. E. Maddison, “An investigation of the minimum ignition energies of some C1 to C7 hydrocarbons”, Combustion Flame, Vol. 23 (Issue 2), pp. 203–213 (1974).
4-8) B. Lewis, G. von Elbe, “Combustion, Flames and Explosions of Gases”, 3rd edition, Academic Press, Orlando, Florida, pp. 333–361 (1987).
4-9) R. K. Eckhoff, M. Ngo, W. Olsen: “On the minimum ignition energy (MIE) for propane/air,

Journal of Hazardous Materials", Vol. 175 (Issues 1-3), pp. 293–297 (2010).
4-10) 増井典明, 村上晋也, 谷辰夫:「帯電した人体からの初期放電電荷量」, 静電気学会誌, Vol. 23 (No. 4), pp. 191-197 (1999).
4-11) 吉田孝博, 久保田啓吾, 澤井丈徳, 増井典明:「帯電した人体からの放電電流波形の時間－周波数解析」, 静電気学会誌, Vol. 31 (No. 3), pp. 113-118 (2007).
4-12) 磯野紀夫:「気象データの車室内環境への適用」, PIONEER R&D, Vol.18 (No.2), pp. 39-47 (2008).
4-13) B. Li, H.R. Pang, J. Xing, B. Wang, C. Liu, K.G. McAdam, J.P. Xie: "Effect of reduced ignition propensity paper bands on cigarette burning temperatures", Thermochimica Acta, Vol. 579, pp. 93–99 (2014).
4-14) 樫村利明, 後藤繁, 伏見英:「たばこによる着火機構について」, 消防科学研究所報, 7号, pp. 34-45 (1970).
4-15) 中山隆裕, 中田季位, 望月真, 鳥谷淳:「各種可燃性ガスの着火性状に関する検証」, 東京消防庁　消防技術安全所　消防技術安全所報, 53 号, pp. 86-94 (1953).
4-16) 今村友彦, 須川修身, 宮下達也, 上矢恭子:「A2L 冷媒滞留雰囲気下における市販電子ライターでの着火危険性評価」, 安全工学, 52 (2), pp. 91-98 (2013).
4-17) JT：https://www.jti.co.jp/investors/library/press_releases/20170727_01.html
4-18) 総務省データ：http://www.stat.go.jp/data/shakai/2016/kekka.html
［総務省データ＞生活時間に関する結果（平成 29 年 9 月 15 日）＞主要統計表＞1-2 の睡眠時間（20 歳～64 歳の男性の平均）］.
4-19) K. Tamura, K. Takaichi, S. Taira, A. Baba, S. Itakura, H. Mori, H. Makino: "Ignition Sources at the stage of Usage for mini-split air-conditioner using A3 Refrigerant: 1st report", 14th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Tokyo, Japan, 1069 (2020).
4-20) 経産省：「リスクアセスメント・ハンドブック　実務篇」(2011.6).

## 5　冷媒漏えい解析

着火確率の計算には，可燃域継続時間，平均可燃空間体積及び可燃空間時空積が必要であり，これらを冷媒漏えい解析で求める．解析では，ソルバーは STAR CCM+，乱流モデルは Realizable k–εモデルを用いる．なお，解析コードはルームエアコンに対する $CO_2$ 漏えい測定結果 [5-1)]を用いて検証済みである．解析に使用する物性は，REFPROP Ver.8.0 を用いて計算した．A3 冷媒である R290 の解析を **5.1** 節～**5.4** 節に，A2L 冷媒である R1234yf の解析を **5.5** 節に記載する．なお，本章の濃度分布図では赤色の領域が可燃域の領域を示している。

### 5.1　リーチインショーケース

#### 5.1.1　庫内漏えい解析（2 枚扉・庫内容積 1.08 m$^3$・床面積変化）

リーチインショーケースの庫内に全冷媒量が漏えい後，扉を急開放する解析を行った．リーチインショーケースの解析モデルを Fig. 5-1-1 に示す．ショーケースは，高さ 2.0 m，幅 1.542 m，奥行き 0.7 m で，庫内容積は 1.08 m$^3$（W1.462 m×D0.5 m×H1.478 m，2 枚扉）であり，下部には圧縮機，凝縮器及びファンが内蔵された凝縮器ユニットがある下ユニットが設置されているものを想定した．周囲空気は，ショーケースの前面から凝縮器ユニットに吸気され，ショーケースの背面ダクト（D0.09 m）を通って，上部に排気される．凝縮器ユニットは，開口部面積を $8.3\times10^{-2}$ m$^2$（W1.206 m×H0.0689 m）とし，風速（風量）を 0 m/s，1 m/s（4.98 m$^3$/min），2 m/s（9.96 m$^3$/min），2.5 m/s（12.45 m$^3$/min），3 m/s（14.94 m$^3$/min）及び 3.5 m/s（17.43 m$^3$/min）と変化させた．正方形店舗内の壁際中央にショーケースを設置し，その対面側の天井両隅に 0.4 m×0.4 m の圧力境界を設けた．庫内均一の冷媒濃度の状態から解析を開始し，扉はないものとして解析を行った．スライドドアがこの状態に近いと思われる．庫内の前面の上部から下部に向かって流れるエアカーテンは，一重エアカーテンとし，吹出部は，開口部面積 $6.58\times10^{-2}$（1.462 m×0.045 m），風速 2.08 m/s，風量 8.21 m$^3$/min で真下に吹き出すものとし，エアカーテンが有る場合と無い場合の解析を行った．ショーケースの背面吹き出し（背面から前面に向けての吹き出し）は無いものとする．店舗は，天井高さを 2.2 m とし，床面積を 17.14 m$^2$（4.14 m×4.14 m），24.01 m$^2$（4.9 m×4.9 m），36.0 m$^2$（6.0 m×6.0 m），64.0 m$^2$（8.0 m×8.0 m）及び 100.0 m$^2$（10.0 m×10.0 m）と変化させた．冷媒は R290 とし，冷媒量は 358 g 又は 500 g とした．Fig. 5-1-2 に 24.01 m$^2$ の店舗内にリーチインショーケースを設置した時の店舗モデルを示す．物性値は Table 5-1-1 に示す 25 ℃・大気圧の値を用い，LFL は 2.1 vol%，UFL は 9.5 vol%とし，拡散係数は Table 5-1-1 に記載の分子拡散の式を用いて計算し $1.12\times10^{-5}$ m$^2$/s とした．

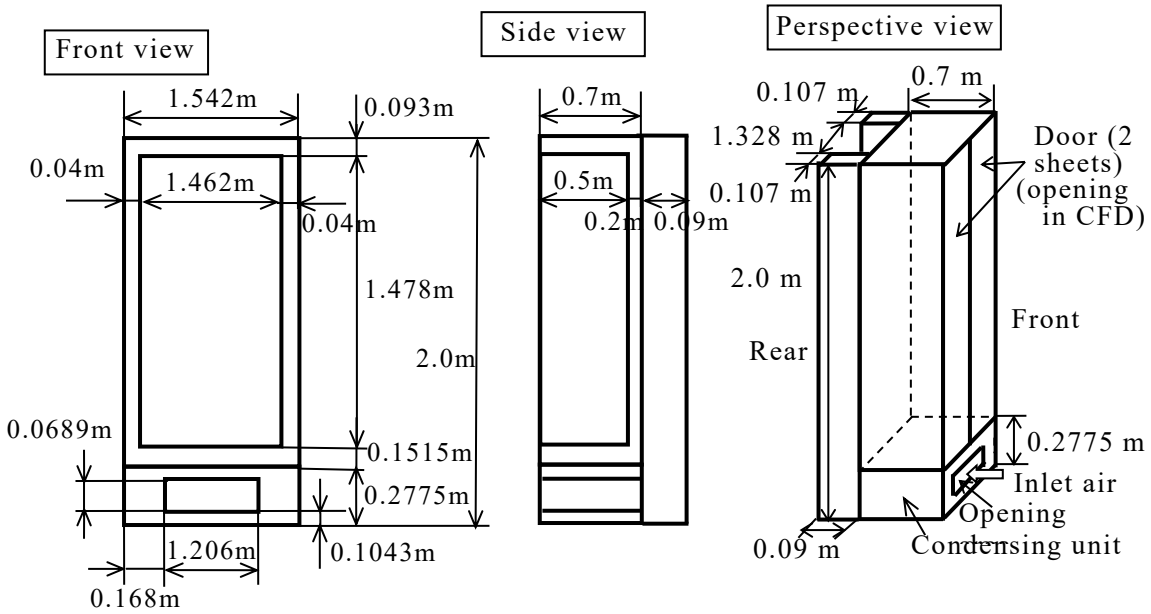



Fig. 5-1-1　リーチインショーケースの解析モデル

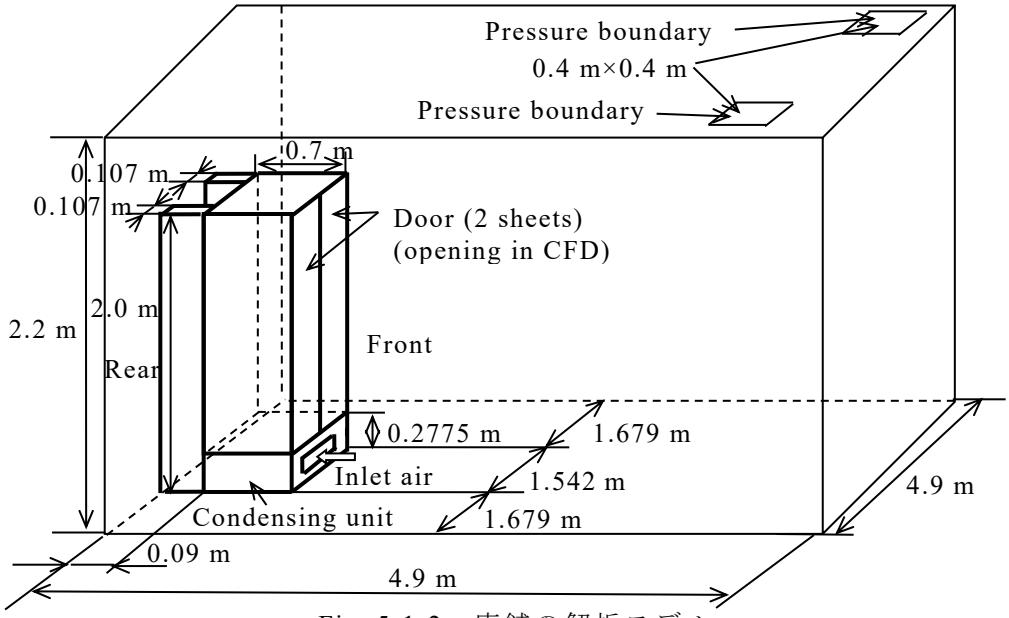



Fig. 5-1-2　店舗の解析モデル

Table 5-1-1　解析に使用した冷媒物性値

| 物質 | 分子量 | 温度 (℃) | 圧力 (MPa) | 密度 (kg/m$^3$) | 比熱 (J/kg・K) | 熱伝導率 (W/m・K) | 粘性係数 (Pa・s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| air | 29.0 | 25 | 0.1013 | 1.184 | 1006.6 | $2.585\times10^{-2}$ | $1.849\times10^{-5}$ |
| propane　(R290) | 44.1 | 25 | 0.1013 | 1.832 | 1684.7 | $1.831\times10^{-2}$ | $8.146\times10^{-6}$ |

| 物質 | 動粘度 (m$^2$/s) | 臨界温度 (K) | 臨界圧力 (MPa) | 臨界密度 (kg/m$^3$) | 臨界容積 (cm$^3$/mol) | 拡散係数※ (m$^2$/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| air | $1.562\times10^{-5}$ | 132.30 | | | 96.53 | |
| propane　(R290) | $4.448\times10^{-6}$ | 369.89 | 4.251 | 220.48 | 200.00 | $1.12\times10^{-5}$ |

※拡散係数は次式で算出した．

$$D_{\mathrm{AB}} = \frac{0.0150\cdot T^{1.81}}{P\cdot(T_{\mathrm{CA}}\cdot T_{\mathrm{CB}})^{0.1405}\cdot\left(V_{\mathrm{CA}}{}^{0.4}+V_{\mathrm{CB}}{}^{0.4}\right)^2}\cdot\sqrt{\frac{1}{M_{\mathrm{A}}}+\frac{1}{M_{\mathrm{B}}}}$$

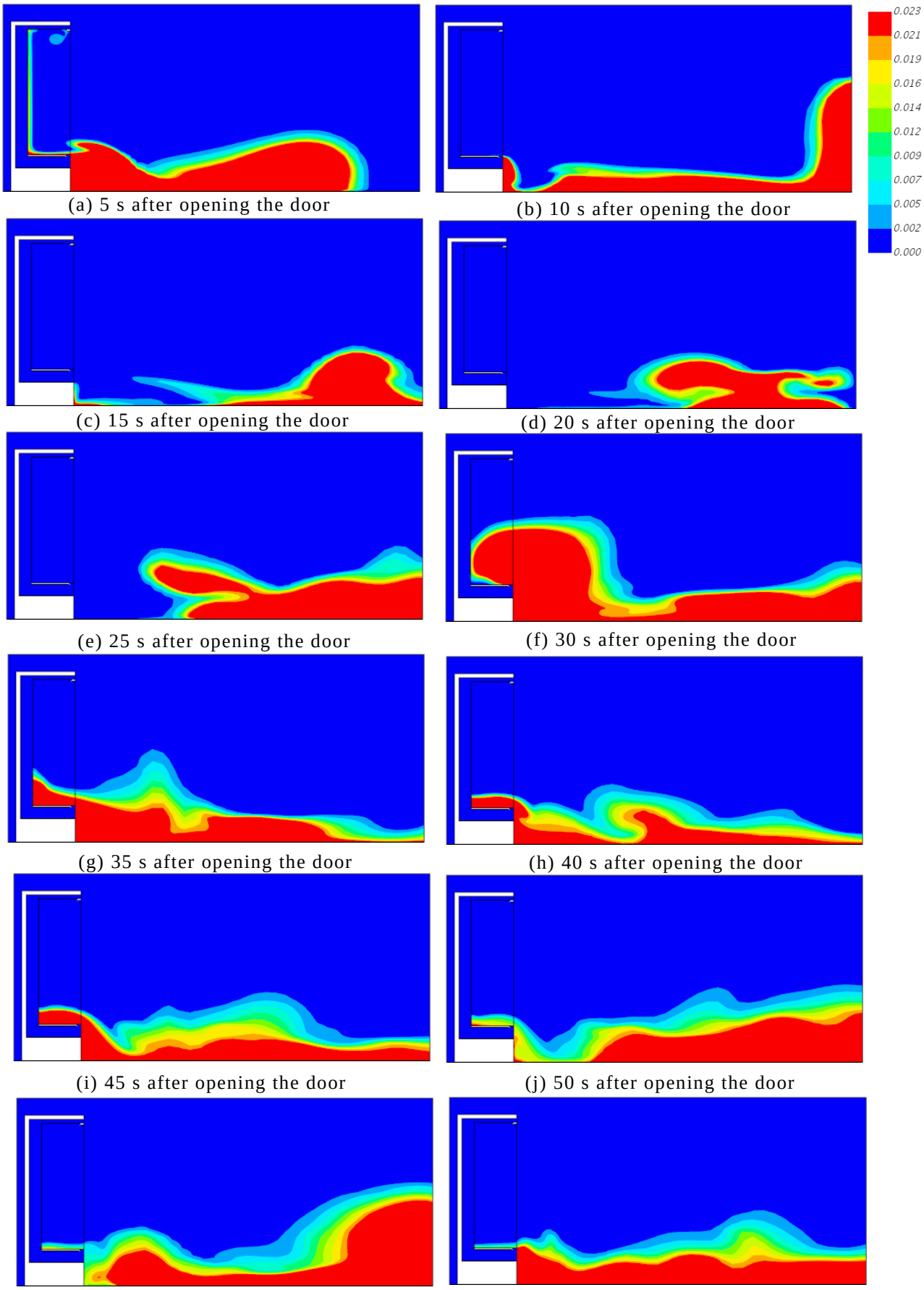
ここで，$P$ ： 圧力 (atm)，　$T$ ： 温度 (K)

$T_{\mathrm{CA}}$，$T_{\mathrm{CA}}$：臨界温度 (K)

$V_{\mathrm{CA}}$，$V_{\mathrm{CA}}$：臨界容積 (cm$^3$/mol)

$M_{\mathrm{A}}$，$M_{\mathrm{B}}$：分子量

Fig. 5-1-3～Fig. 5-1-10 に，冷媒量 500 g，床面積 24.01 m$^2$ の時の凝縮器ユニット風速が 0 m/s～2.5 m/s（12.45 m$^3$/min），かつエアカーテン有及び無の時の冷媒濃度分布の経時変化を示す．Fig. 5-1-3～Fig. 5-1-6 はエアカーテン無時の凝縮器ユニット風速 0 m/s～2.5 m/s（Case 5-1-7～Case 5-1-10）の時の 5 秒毎の濃度分布図，Fig. 5-1-7～Fig. 5-1-10 はエアカーテン有時の凝縮器ユニット風速 0 m/s～2.5 m/s（Case 5-1-57～Case 5-1-60）の時の 5 秒毎の濃度分布図である．なお，Case 番号は後に示す Table 5-1-2～Table 5-1-3 に記載の番号である．風速 0 m/s の時は，漏えい冷媒がショーケースから直線的に対面壁まで移動し，壁に可燃域が到達後，揺り返してショーケースまで戻る様子が見て取れる．エアカーテンの有無及び風速（風量）の大小によらず，いずれの場合も，床面又は天井面の広い領域に数秒で可燃域が広がっている．リーチインショーケースの庫内に漏えいした全冷媒が扉の開放によって庫外に一気に漏えいするため，漏えい速度が速く，周囲への冷媒の拡散が速度的に間に合わないことが原因と考えられる．




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

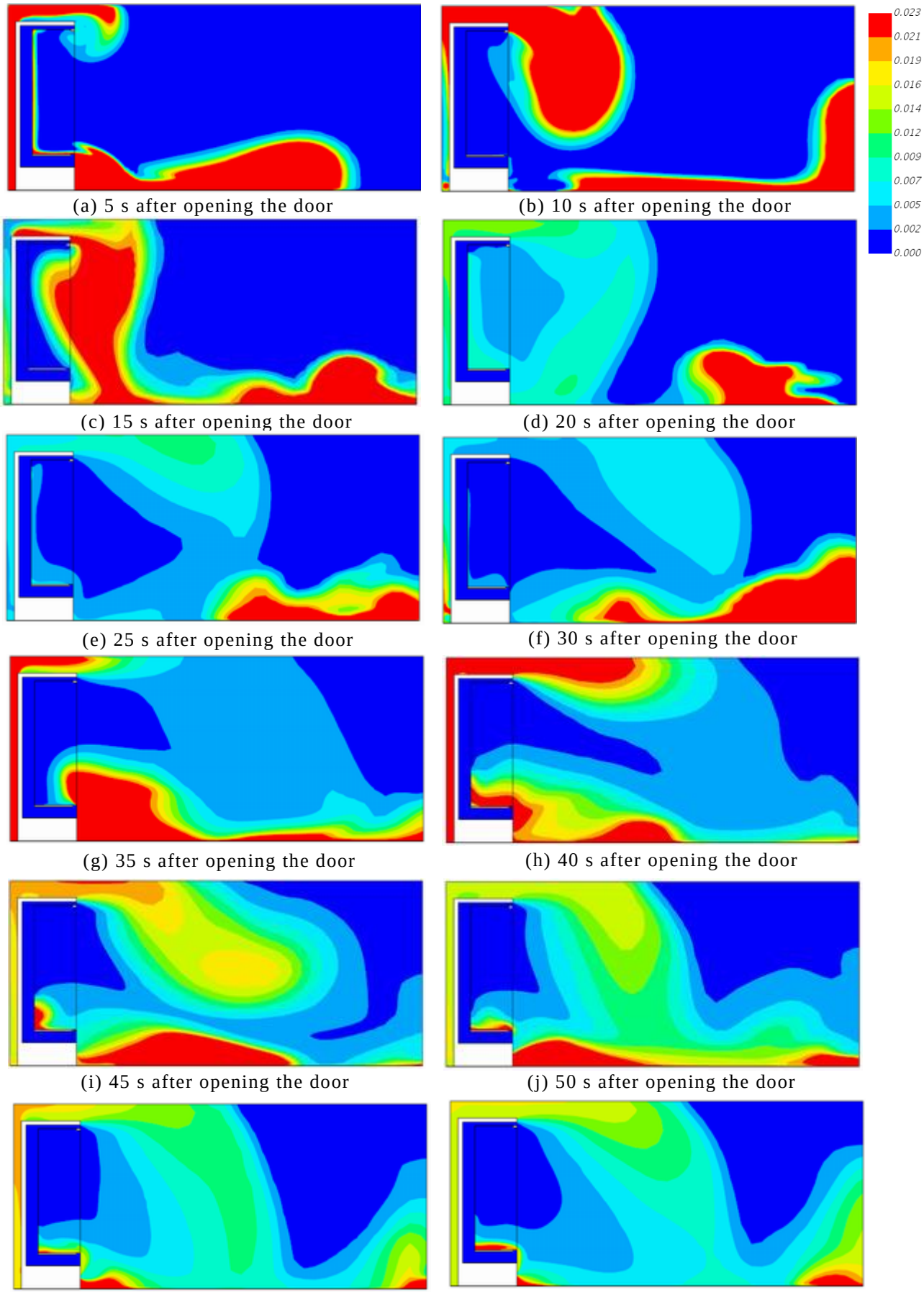
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

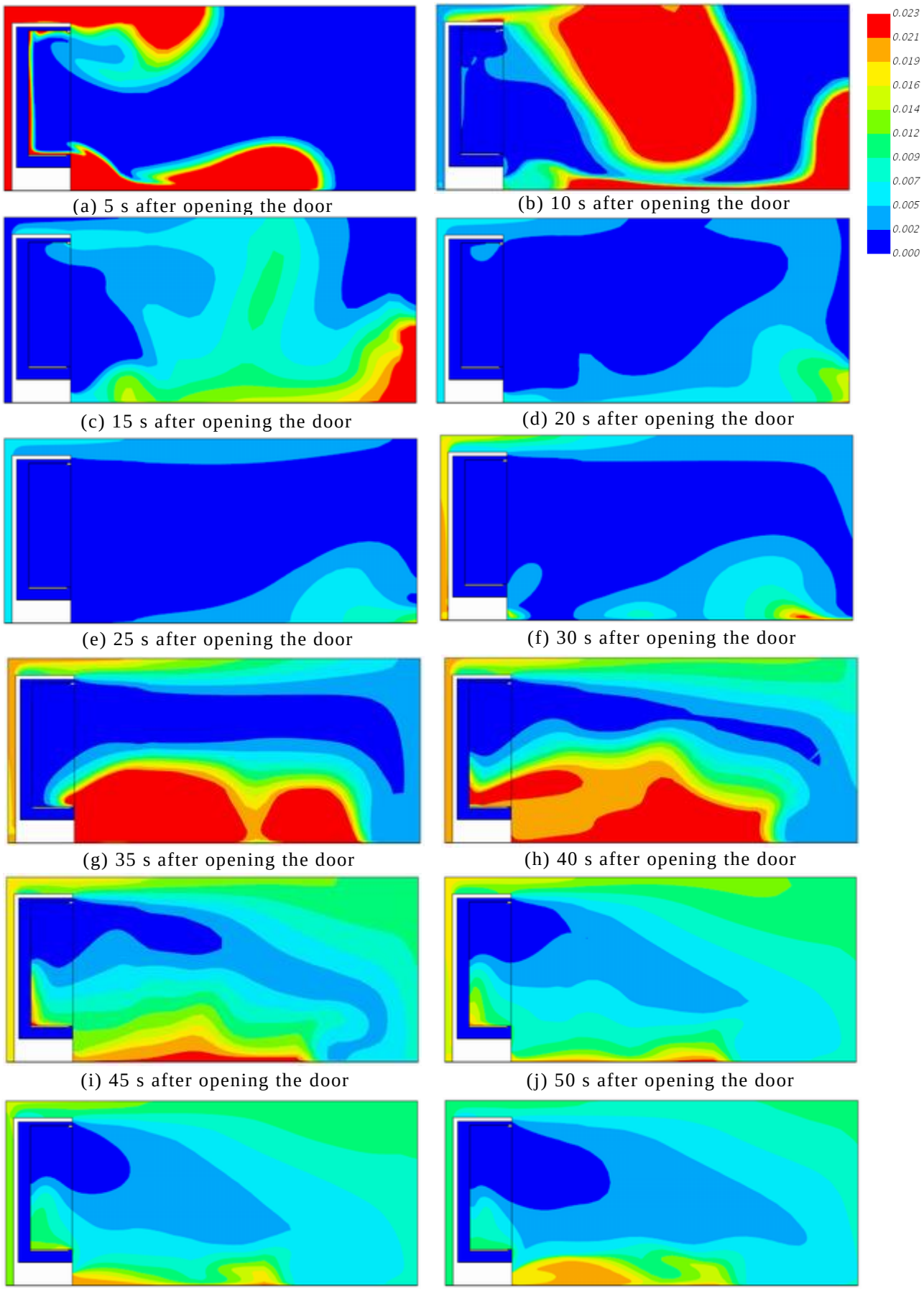
(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-3　Case 5-1-7 の濃度分布（エアカーテン無・風速 0 m/s）




(a) 5 s after opening the door
(b) 10 s after opening the door
(c) 15 s after opening the door
(d) 20 s after opening the door
(e) 25 s after opening the door
(f) 30 s after opening the door
(g) 35 s after opening the door
(h) 40 s after opening the door
(i) 45 s after opening the door
(j) 50 s after opening the door
(k) 55 s after opening the door
(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-4　Case 5-1-8 の濃度分布（エアカーテン無・風速 1.0 m/s (4.98 $m^3$/min)）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

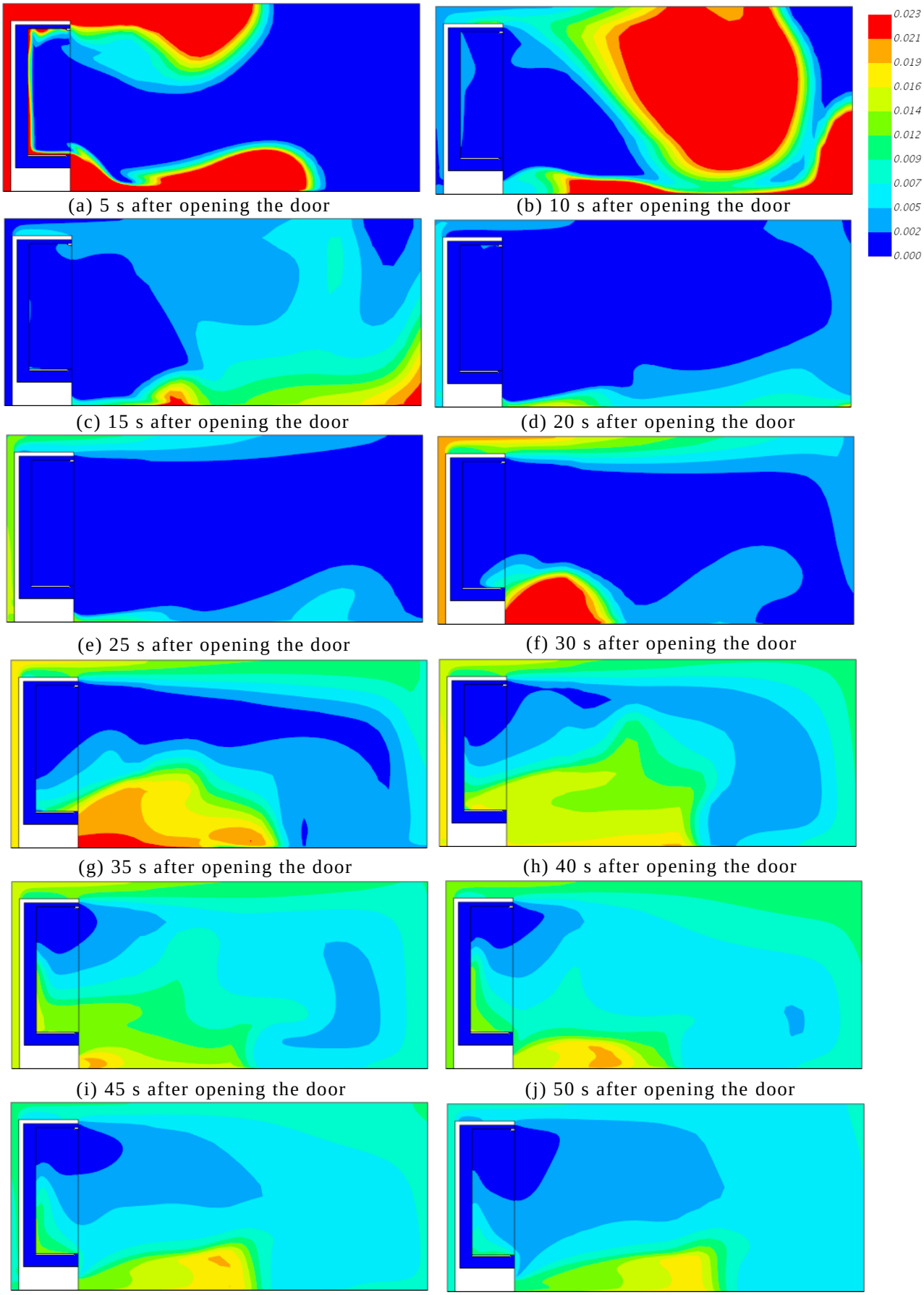
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-5　Case 5-1-9 の濃度分布（エアカーテン無・風速 2.0 m/s (9.96 $m^3$/min)）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

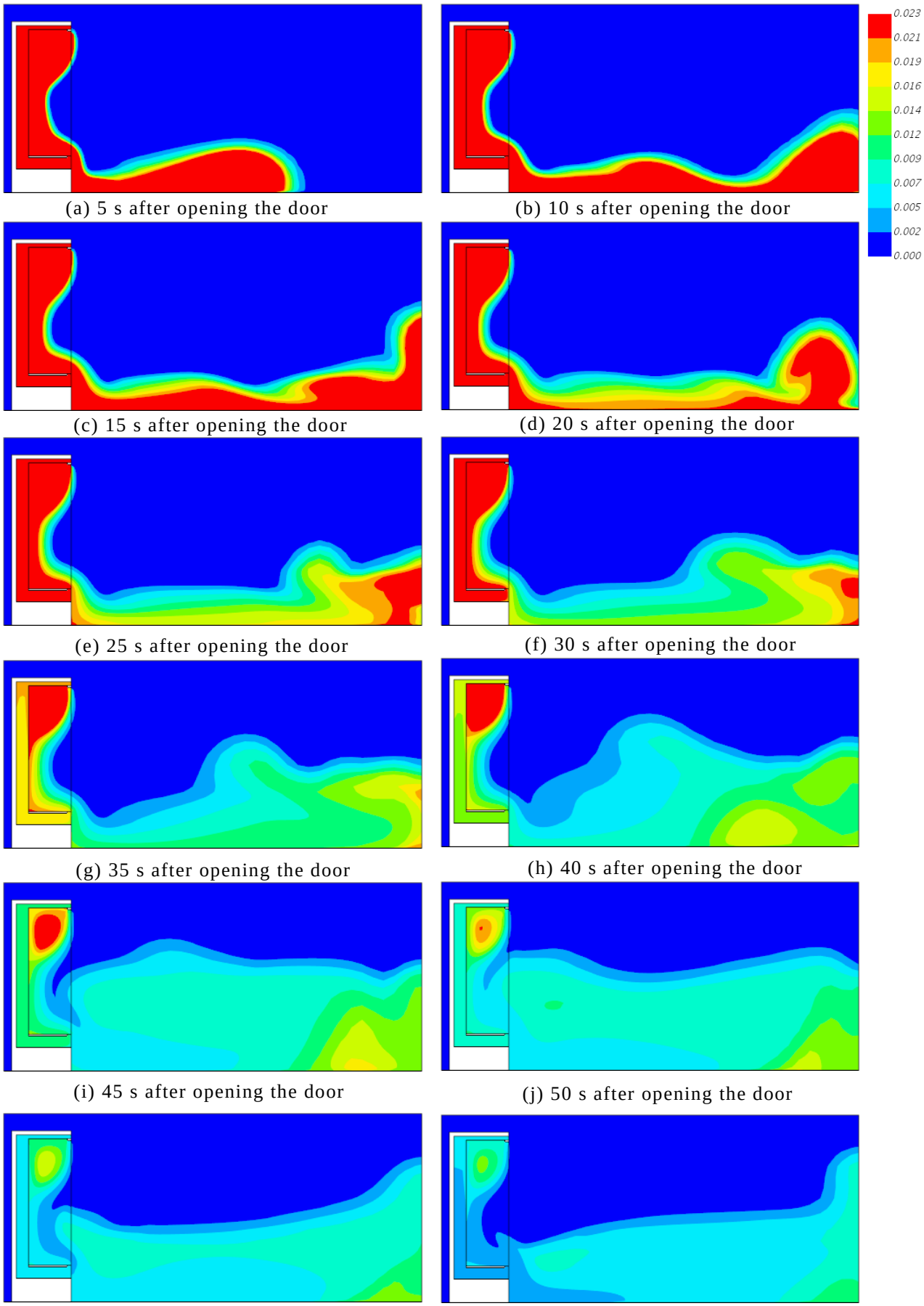
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-6　Case 5-1-10 の濃度分布（エアカーテン無・風速 2.5 m/s (12.45 $m^3$/min)）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

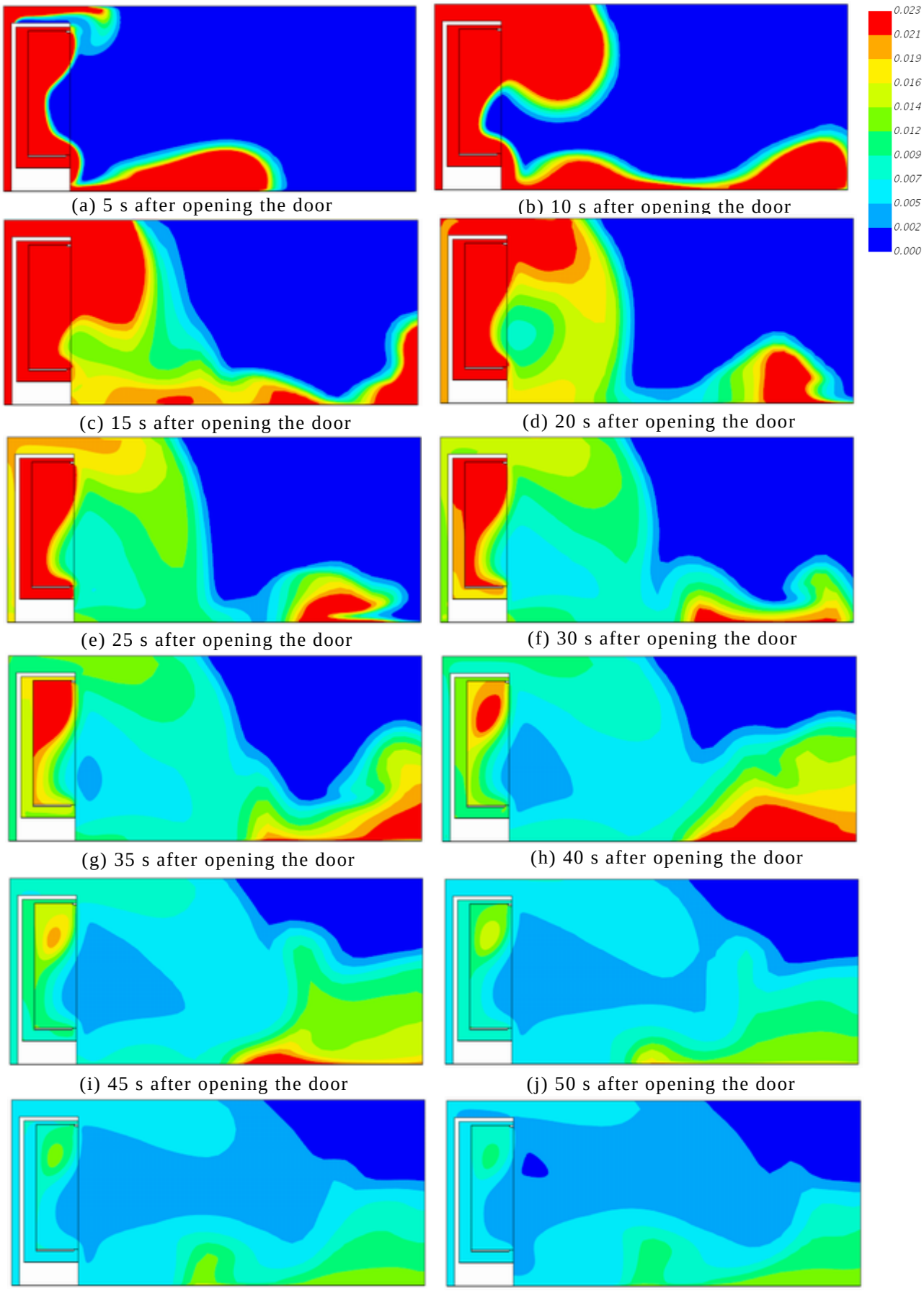
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-7　Case 5-1-57 の濃度分布（エアカーテン有・風速　0 m/s）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

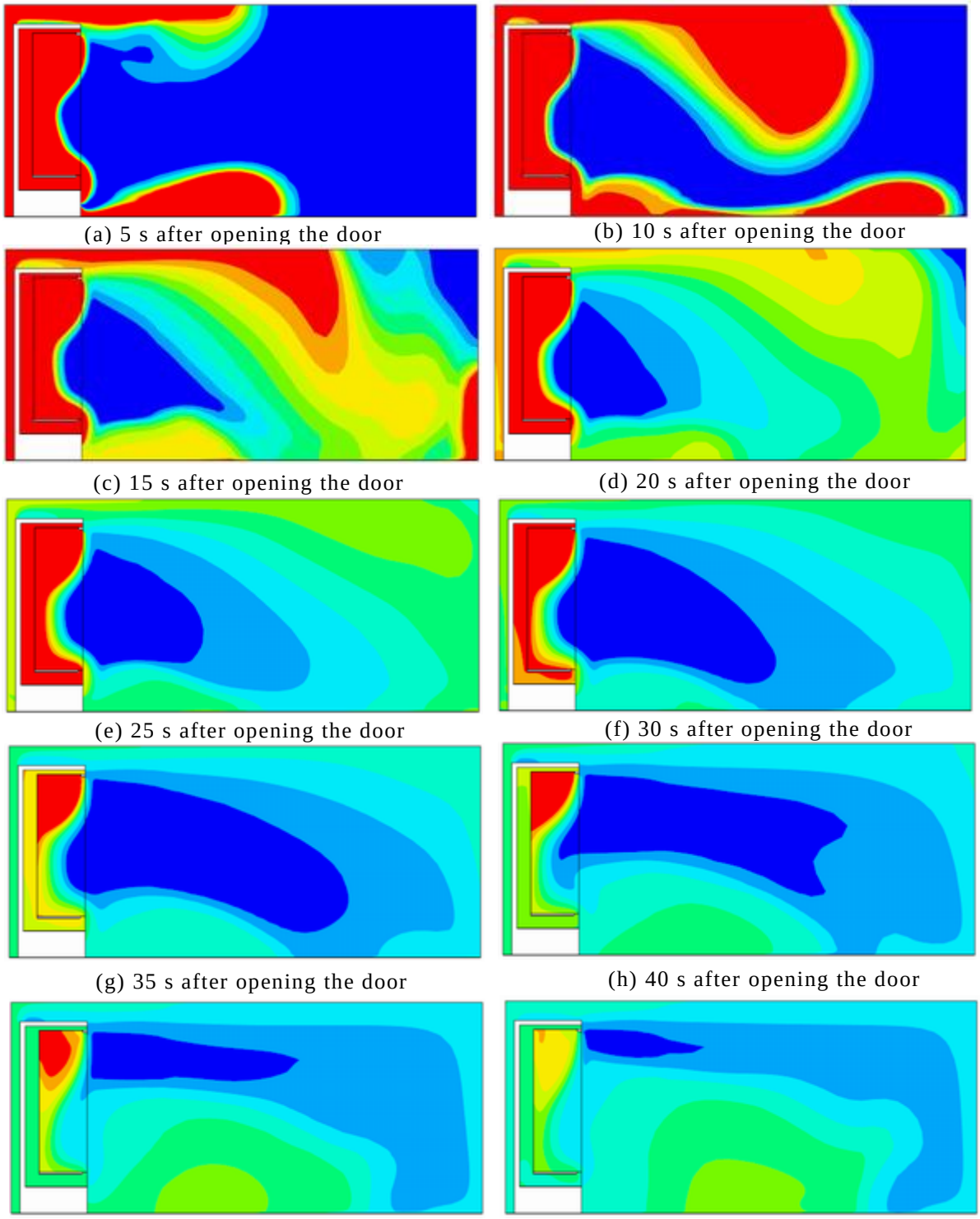
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-8　Case 5-1-58 の濃度分布（エアカーテン有・風速 1 m/s (4.98 $m^3$/min)）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

Fig. 5-1-9　Case 5-1-59 の濃度分布（エアカーテン有・風速 2 m/s (9.96 $m^3$/min)）

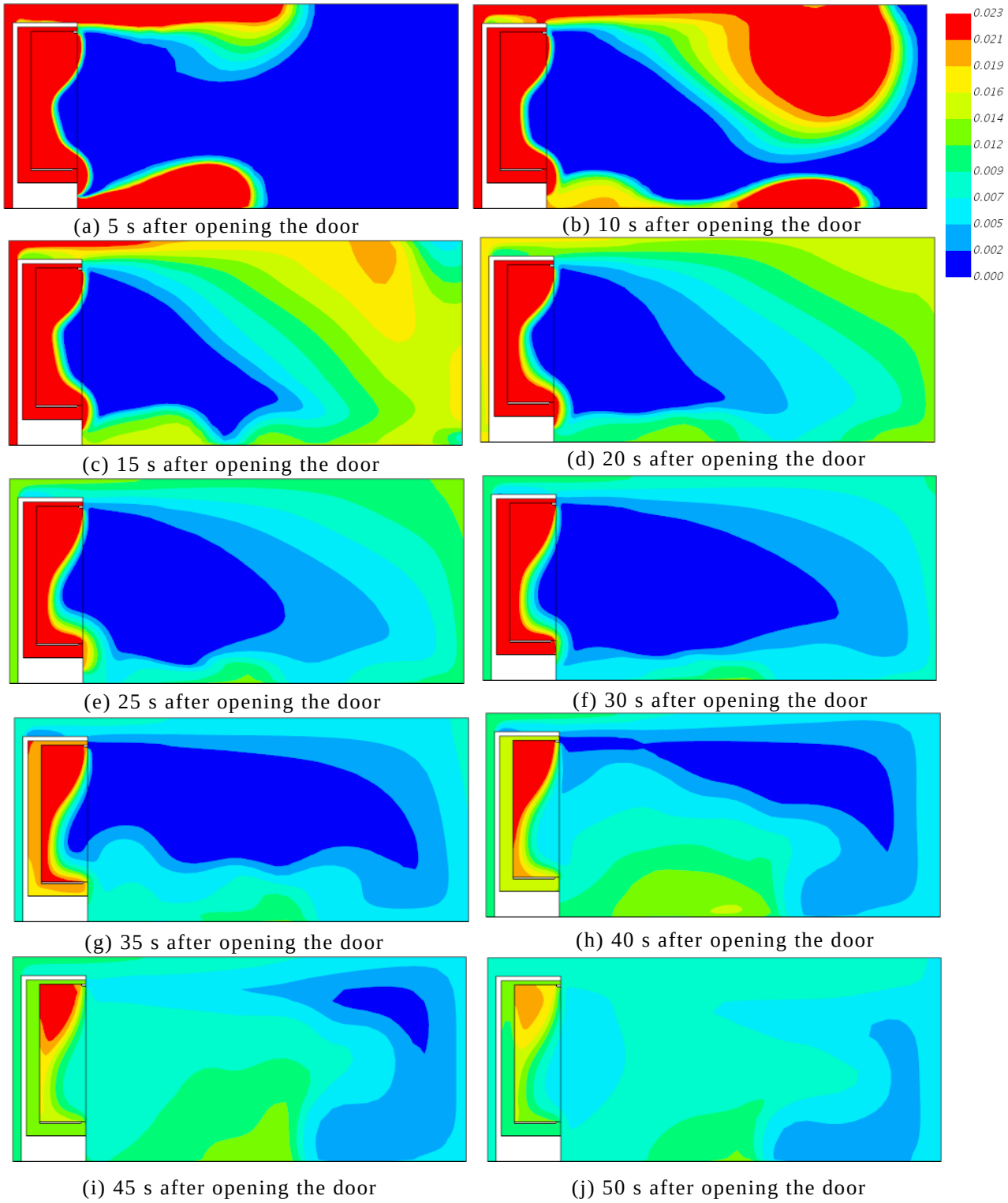
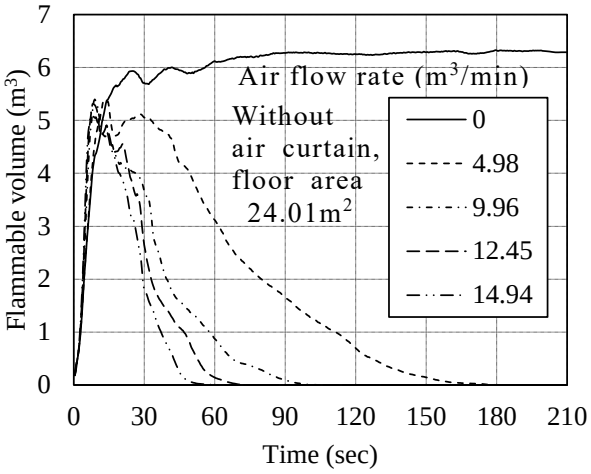



Fig. 5-1-10　Case 5-1-60 の濃度分布（エアカーテン有・風速 2.5 m/s (12.45 $m^3$/min)）

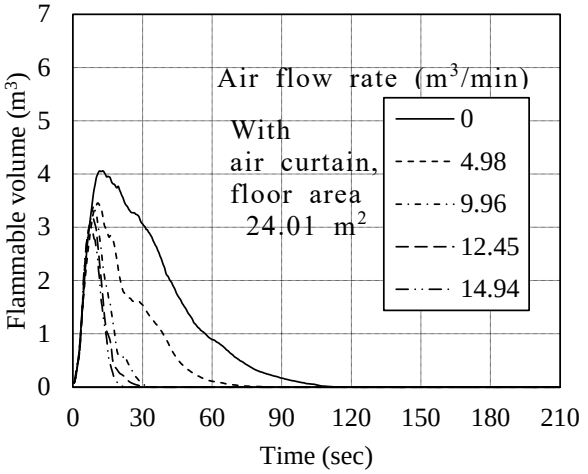
なお，エアカーテンが有る場合は庫内に一部の冷媒が残っているのも分かる．

次に，冷媒量 500 g において，エアカーテンの有無及び凝縮器ユニットの風量を変化させた場合の可燃空間体積の経時変化を Fig.5-1-11 に示す．Fig.5-1-11 の(a)はエアカーテン無かつ床面積 24.01 $m^2$ の場合，(b)はエアカーテン有かつ床面積 24.01 $m^2$ の場合，(c)はエアカーテン無かつ床面積 36 $m^2$ の場合，(d)はエアカーテン有かつ床面積 36 $m^2$ の場合，(e)はエアカーテン無かつ床面積 100 $m^2$ の場合，(f)はエアカーテン有かつ床面積 100 $m^2$ の場合である．Fig.5-1-11 の(a)・(c)・(e)と(b)・(d)・(f)を比較すると，エアカーテンが有る場合，庫内に一

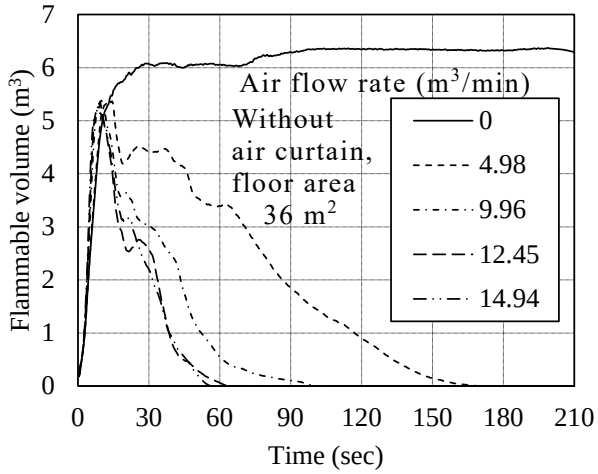
部の冷媒が残るため，エアカーテン無の場合よりも可燃域継続時間が短くなり，可燃空間体積が小さくなる傾向にあるが，凝縮器風量が 0 $m^3$/min の場合以外では，エアカーテン有無による値の違いはそれほど大きくない．凝縮器ユニットの風量を大きくした場合，気流の影響で冷媒の拡散が速くなるため，エアカーテンの有無によらず可燃域継続時間は小さくなるが，可燃空間体積の最大値は殆ど減らない．しかし，気流があると，ショーケースの幅方向（Fig. 5-1-7～Fig. 5-1-10 の奥行方向）への拡散も少なくなるため，平均可燃空間体積は小さくなる．また，Fig.5-1-11 の(a)，(c)，(e)を比較すると，風量が 0 $m^3$/min の時は，床面積によって可燃空間体積の経時変化が大きく異なるが，風量が 4.98 $m^3$/min（風速 1 m/s）以上の時は，床面積の影響はそれほど大きくなく，床面積の増加に応じて可燃空間体積の減衰率が若干速くなる．可燃空間体積の最大値は，エアカーテンの有無，床面積の大小，凝縮器風量の大小によらず，あまり変わらない．風量 0 $m^3$/min の時は，気流が発生しないため可燃域継続時間が最も長く，冷媒が対面壁に衝突後はショーケースの幅方向（Fig. 5-1-3～Fig. 5-1-6 の奥行方向）にも冷媒が拡散し平均可燃空間体積も大きくなる．R290 などの A3 冷媒においては，静電気，店舗内の電気機器のリレーやサーモスタット，照明などのスイッチの ON/OFF，電気機器のコンセントの抜き差し，ヒーターなどの高温表面などが着火源となるため，可燃域の生成が短時間であっても，可燃域内に着火源が存在すれば容易に着火に至る可能性がある．しかし，床面積 24.01 $m^2$ 又は 36 $m^2$ かつ凝縮器風量 0 $m^3$/min の場合以外では，可燃域は店舗内の床面又は天井面の広い領域に広がっているが，可燃空間継続時間が 5 分（300 秒）以内であるため，国際規格 IEC 60335-2-89 では可燃域が生成されないとみなされてしまう（**7.2** 節 3)参照）．



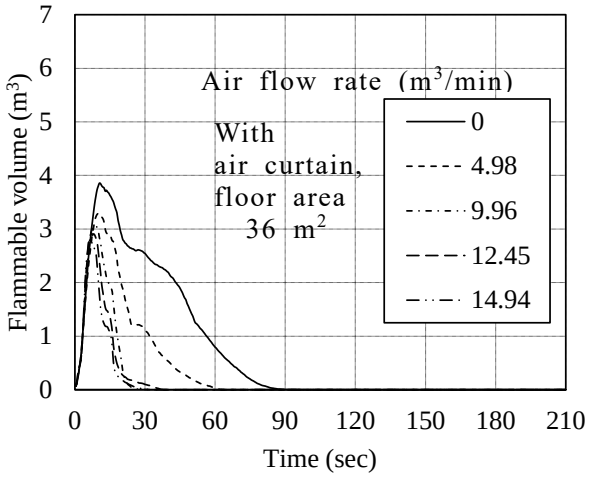

(a) Case 5-1-7～5-1-11（ｴｱｶｰﾃﾝ無・24.01 m$^2$）



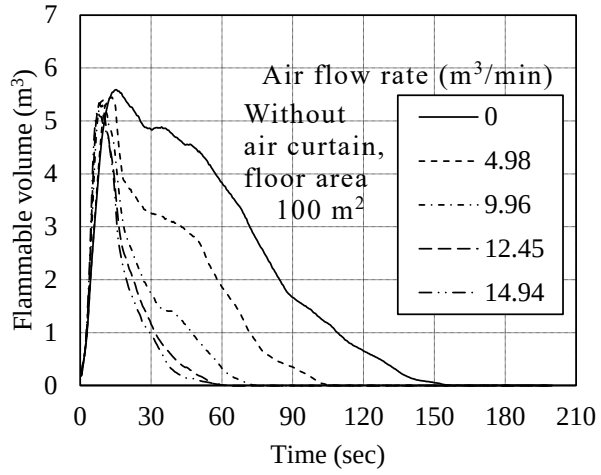

(b) Case 5-1-57～5-1-61（ｴｱｶｰﾃﾝ有・24.01 m$^2$）



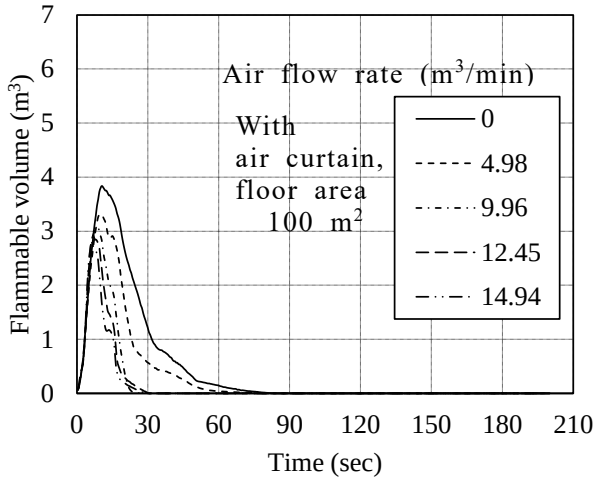

(c) Case 5-1-13～5-1-17（ｴｱｶｰﾃﾝ無・36 m$^2$）




(d) Case 5-1-63～5-1-67（ｴｱｶｰﾃﾝ有・36 m$^2$）




(e) Case 5-1-20～5-1-24（ｴｱｶｰﾃﾝ無・100 m$^2$）




(f) Case 5-1-69～5-1-73（ｴｱｶｰﾃﾝ有・100 m$^2$）

Fig. 5-1-11　風速・床面積変化時の可燃空間体積の変化

次に，可燃域継続時間，可燃空間時空積（時空積）及び平均可燃空間体積の解析結果を Table 5-1-2 及び Table 5-1-3 に示す．Table 5-1-2 はエアカーテン無時の解析結果，Table 5-1-3 はエアカーテン有時の解析結果である．リーチインショーケースの庫内に全冷媒量が漏えいした後に扉を急開放すると，エアカーテンの有無によらず，床面積を 100 m$^2$ まで大きくし，凝

縮器ユニットの風速（風量）を 3.5 m/s（17.43 $m^3$/min）まで大きくしても，庫外の可燃域が無くならなかった．

エアカーテン無時の凝縮器ユニット風速 0 m/s～2.5 m/s（12.45 $m^3$/min）の時の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積の解析結果を Fig. 5-1-12～Fig. 5-1-15 に，エアカーテン有時の凝縮器ユニット風速 0 m/s～2.5 m/s（12.45 $m^3$/min）の時の解析結果を Fig. 5-1-16～Fig. 5-1-19 に示す．なお，庫内及び背面風路内は可燃空間体積には含めていない．Fig. 5-1-12～Fig. 5-1-19 の横軸は冷媒量 M を床面積 A で除した値であり，可燃域継続時間，平均可燃空間体積ともに，冷媒量を店舗内床面積で除した値（M/A）の関数で表現した．Fig. 5-1-12～Fig. 5-1-19 の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積の値から求めた最小二乗近似式を式(5-1-1)～式(5-1-16)及び Fig. 5-1-12～Fig. 5-1-19 の実線で示す．

Table 5-1-2　エアカーテン無時の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積

(a) 冷媒量 500 g

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | 凝縮器ユニット風速(m/s)（風量($m^3$/min)） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0.0 | 1.0 (4.98) | 2.0 (9.96) | 2.5 (12.45) | 3.0 (14.94) | 3.5 (17.43) |
| 5-1-1～5-1-6 | 17.14 | 可燃域継続時間 (min) | 267.42 | 3.22 | 1.67 | 1.14 | 0.91 | 0.73 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 1402.28 | 6.35 | 3.31 | 2.87 | 1.94 | 1.78 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 5.24 | 1.98 | 1.99 | 2.52 | 2.14 | 2.42 |
| 5-1-7～5-1-12 | 24.01 | 可燃域継続時間 (min) | 122.13 | 3.04 | 1.79 | 1.25 | 1.11 | 0.82 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 617.10 | 6.11 | 3.04 | 2.47 | 2.05 | 1.71 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 5.05 | 2.01 | 1.70 | 1.98 | 1.85 | 2.09 |
| 5-1-13～5-1-18 | 36.0 | 可燃域継続時間 (min) | 43.79 | 2.86 | 1.70 | 1.08 | 1.13 | 0.87 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 181.47 | 6.23 | 2.79 | 1.99 | 2.00 | 1.49 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 4.14 | 2.18 | 1.64 | 1.85 | 1.78 | 1.72 |
| 5-1-19 | 64.0 | 可燃域継続時間 (min) | 6.38 | | | | | |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 14.75 | | | | | |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 2.31 | | | | | |
| 5-1-20～5-1-25 | 100.0 | 可燃域継続時間 (min) | 2.64 | 1.85 | 1.30 | 1.07 | 1.07 | 1.01 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 6.50 | 3.69 | 2.11 | 1.61 | 1.45 | 1.25 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 2.46 | 2.00 | 1.62 | 1.51 | 1.36 | 1.24 |

(b) 冷媒量 358 g

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | 凝縮器ユニット風速(m/s)（風量($m^3$/min)） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0.0 | 1.0 (4.98) | 2.0 (9.96) | 2.5 (12.45) | 3.0 (14.94) | 3.5 (17.43) |
| 5-1-26～5-1-31 | 17.14 | 可燃域継続時間 (min) | 107.00 | 1.98 | 0.98 | 0.88 | 0.69 | 0.44 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 367.92 | 3.18 | 1.45 | 1.30 | 1.01 | 0.72 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 3.44 | 1.61 | 1.48 | 1.48 | 1.46 | 1.63 |
| 5-1-32～5-1-37 | 24.01 | 可燃域継続時間 (min) | 40.96 | 2.01 | 0.99 | 0.74 | 0.66 | 0.44 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 117.14 | 2.90 | 1.23 | 1.00 | 0.84 | 0.67 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 2.86 | 1.45 | 1.24 | 1.35 | 1.27 | 1.51 |
| 5-1-38～5-1-43 | 36.0 | 可燃域継続時間 (min) | 8.00 | 1.95 | 0.98 | 0.91 | 0.73 | 0.60 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 14.79 | 2.42 | 1.15 | 0.95 | 0.77 | 0.65 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 1.85 | 1.24 | 1.17 | 1.04 | 1.05 | 1.08 |
| 5-1-44 | 64.0 | 可燃域継続時間 (min) | 1.91 | | | | | |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 3.77 | | | | | |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 1.97 | | | | | |
| 5-1-45～5-1-50 | 100.0 | 可燃域継続時間 (min) | 1.57 | 1.53 | 1.13 | 0.73 | 0.62 | 0.56 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 2.95 | 1.77 | 1.11 | 0.81 | 0.70 | 0.59 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 1.88 | 1.16 | 0.98 | 1.11 | 1.13 | 1.05 |

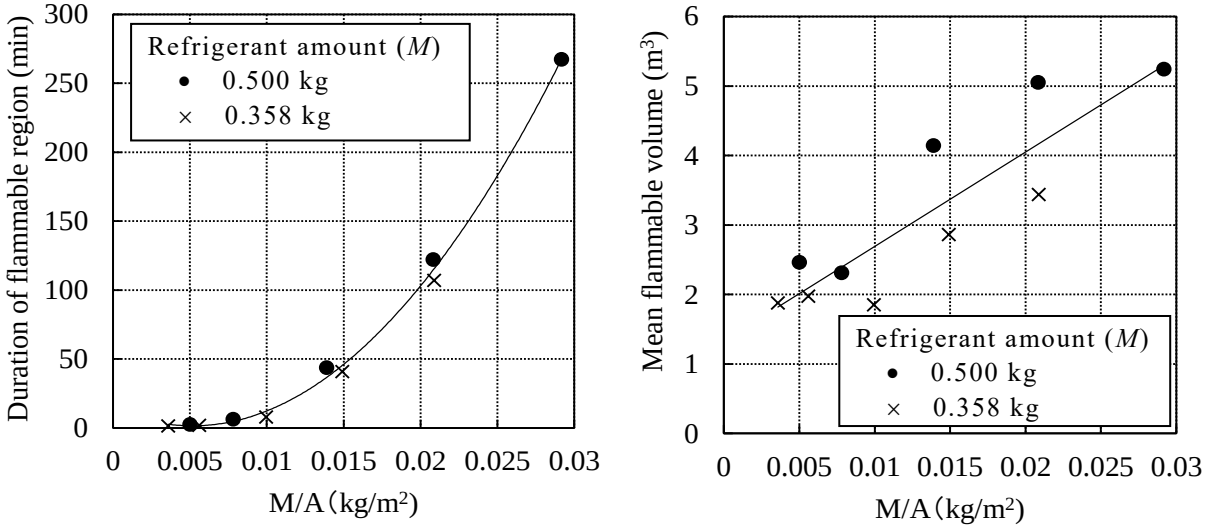
Table 5-1-3　エアカーテン有時の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積

(a) 冷媒量 500 g

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | 凝縮器ユニット風速(m/s)（風量($m^3$/min)） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0.0 | 1.0 (4.98) | 2.0 (9.96) | 2.5 (12.45) | 3.0 (14.94) | 3.5 (17.43) |
| 5-1-51～5-1-56 | 17.14 | 可燃域継続時間 (min) | 2.66 | 2.03 | 0.59 | 0.62 | 0.67 | 0.66 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 4.26 | 1.93 | 0.76 | 0.60 | 0.44 | 0.35 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 1.60 | 0.95 | 1.28 | 0.98 | 0.66 | 0.53 |
| 5-1-57～5-1-62 | 24.01 | 可燃域継続時間 (min) | 2.00 | 1.48 | 0.56 | 0.57 | 0.45 | 0.48 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 2.72 | 1.42 | 0.67 | 0.53 | 0.46 | 0.37 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 1.36 | 0.96 | 1.21 | 0.94 | 1.02 | 0.78 |
| 5-1-63～5-1-68 | 36.0 | 可燃域継続時間 (min) | 1.63 | 1.05 | 0.57 | 0.65 | 0.58 | 0.53 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 2.36 | 1.20 | 0.62 | 0.54 | 0.45 | 0.40 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 1.45 | 1.14 | 1.09 | 0.83 | 0.77 | 0.74 |
| 5-1-69～5-1-74 | 100.0 | 可燃域継続時間 (min) | 1.43 | 1.38 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 1.49 | 1.05 | 0.60 | 0.52 | 0.44 | 0.38 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 1.04 | 0.76 | 1.17 | 1.01 | 0.86 | 0.73 |

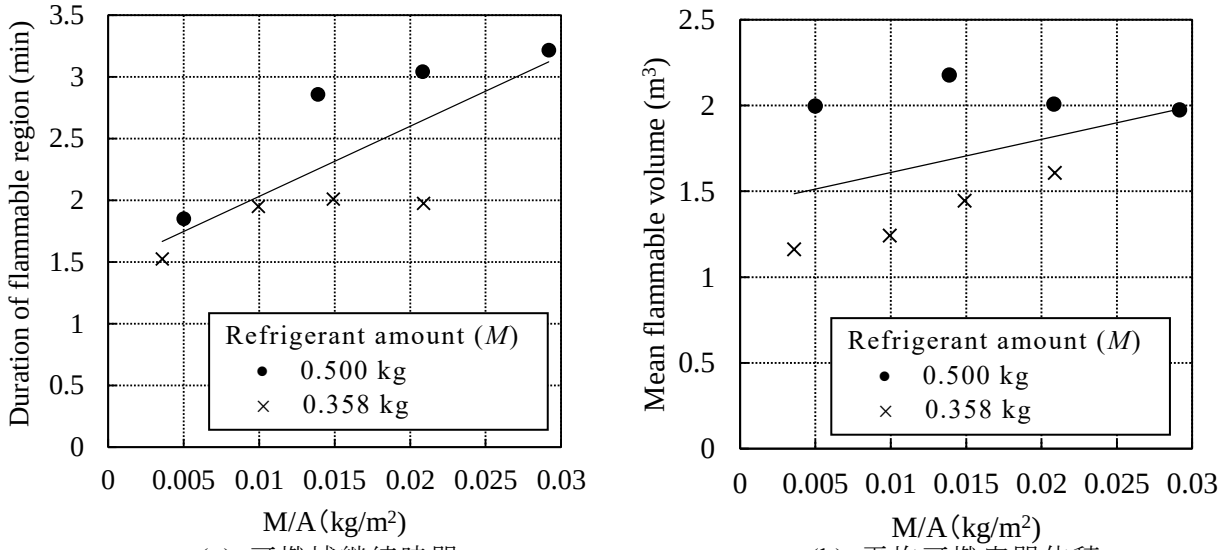
(b) 冷媒量 358 g

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | 凝縮器ユニット風速(m/s)（風量($m^3$/min)） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0.0 | 1.0 (4.98) | 2.0 (9.96) | 2.5 (12.45) | 3.0 (14.94) | 3.5 (17.43) |
| 5-1-75～5-1-80 | 17.14 | 可燃域継続時間 (min) | 1.18 | 0.94 | 0.52 | 0.48 | 0.45 | 0.53 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 1.07 | 0.68 | 0.39 | 0.29 | 0.23 | 0.19 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 0.90 | 0.72 | 0.75 | 0.61 | 0.50 | 0.36 |
| 5-1-81～5-1-86 | 24.01 | 可燃域継続時間 (min) | 0.91 | 0.83 | 0.49 | 0.39 | 0.41 | 0.41 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 0.88 | 0.62 | 0.37 | 0.29 | 0.24 | 0.19 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 0.97 | 0.76 | 0.75 | 0.75 | 0.58 | 0.47 |
| 5-1-87～5-1-92 | 36.0 | 可燃域継続時間 (min) | 1.03 | 1.02 | 0.52 | 0.49 | 0.52 | 0.53 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 0.78 | 0.59 | 0.35 | 0.29 | 0.24 | 0.19 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 0.76 | 0.58 | 0.67 | 0.59 | 0.46 | 0.36 |
| 5-1-93～5-1-98 | 100.0 | 可燃域継続時間 (min) | 1.33 | 1.06 | 0.48 | 0.47 | 0.50 | 0.52 |
| | | 時空積 ($m^3$・min) | 0.72 | 0.56 | 0.35 | 0.29 | 0.24 | 0.18 |
| | | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 0.54 | 0.53 | 0.73 | 0.62 | 0.47 | 0.36 |



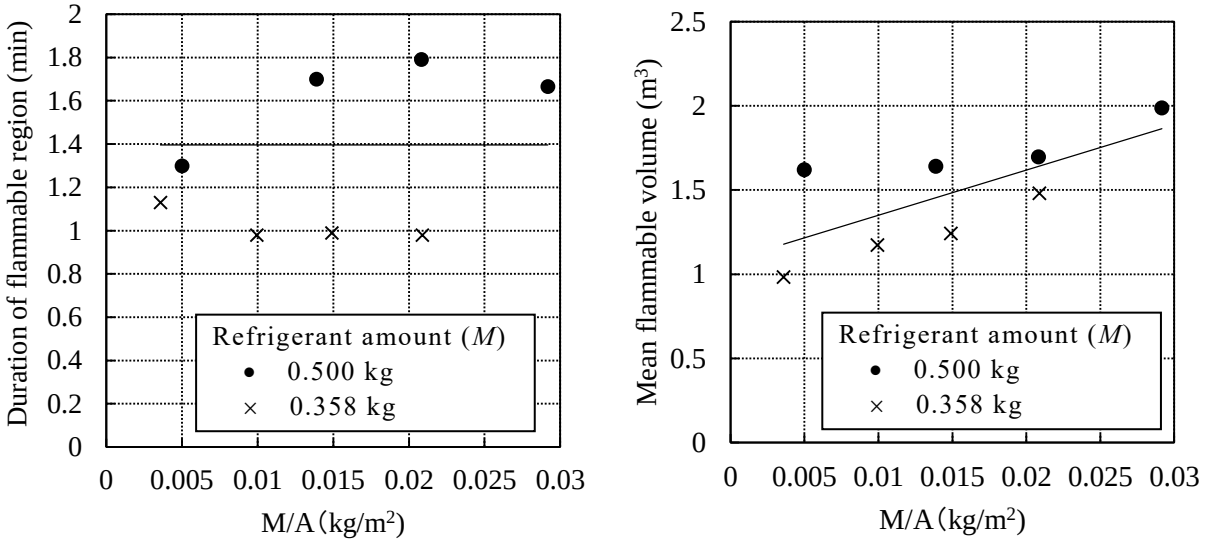

(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-12　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン無・風量 0 $m^3$/min）



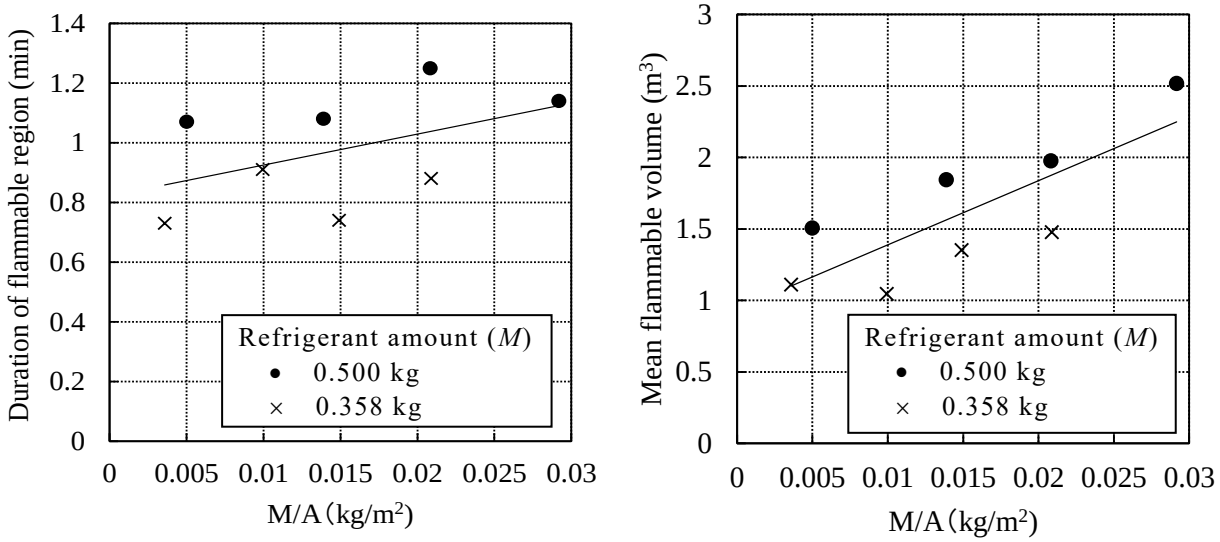

(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-13　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン無・風量 4.98 $m^3$/min）



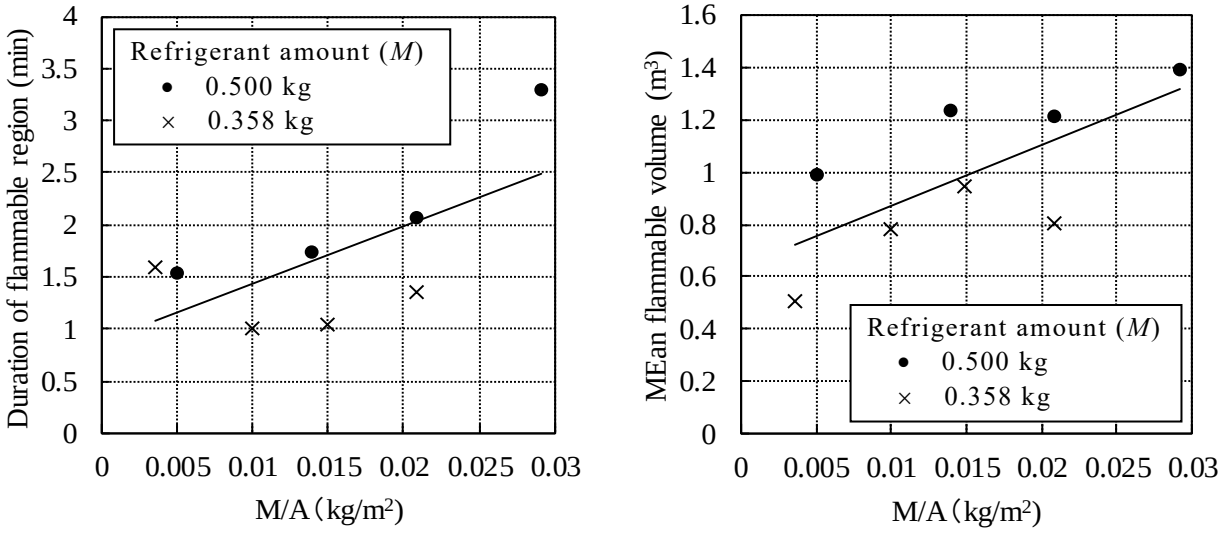

(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-14　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン無・風量 9.96 $m^3$/min）



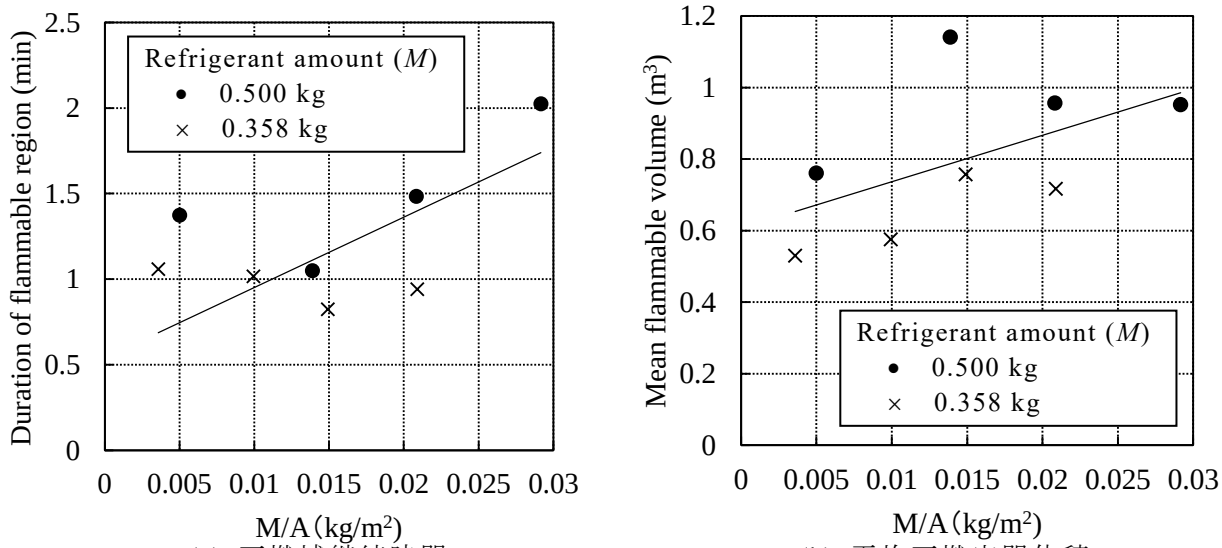

(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-15　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン無・風量 12.45 $m^3$/min）



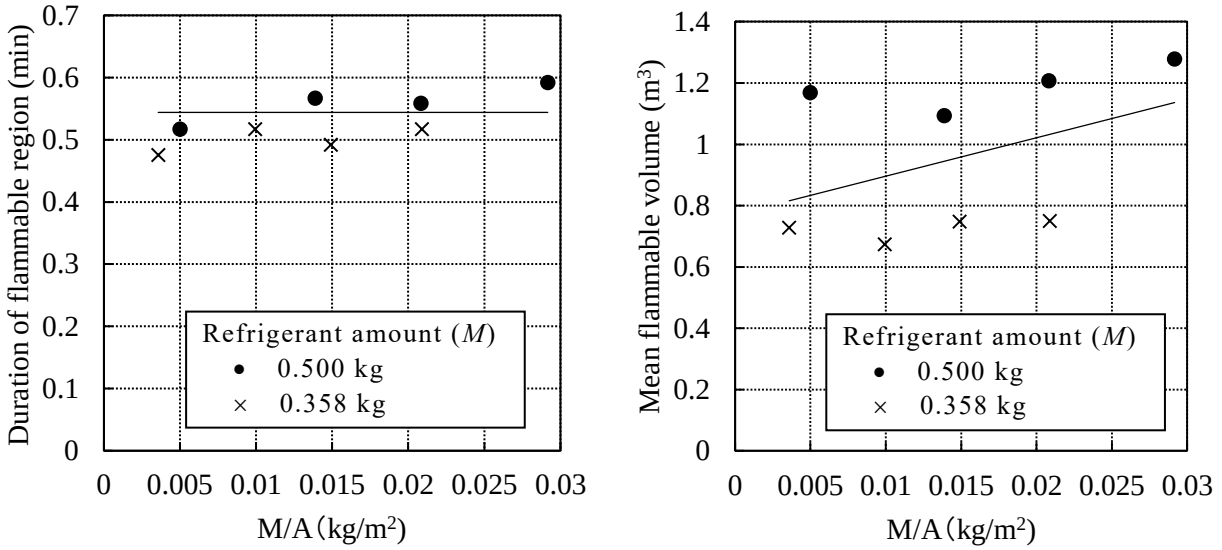

(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-16　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン有・風量 0 $m^3$/min）



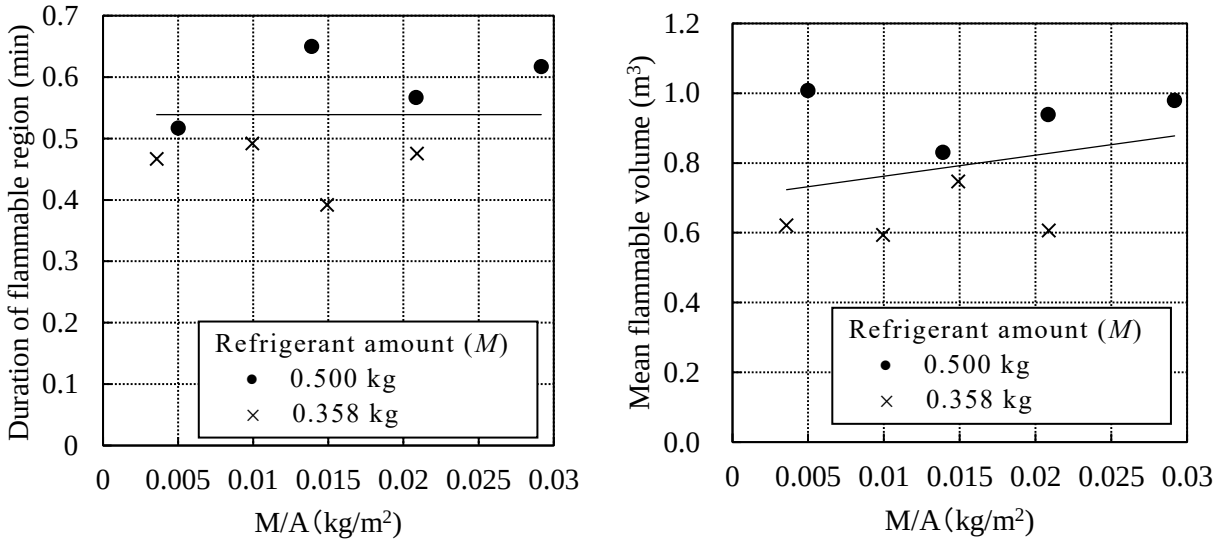

(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-17　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン有・風量 4.98 $m^3$/min）




(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-18　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン有・風量 9.96 $m^3$/min）




(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-1-19　可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（エアカーテン有・風量 12.45 m$^3$/min）

《エアカーテン無》

$T_V=4.61\times10^5\times\left(\frac{M}{A}\right)^2-4.76\times10^3\times\left(\frac{M}{A}\right)+1.38\times10^1$　（風量 0 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-1)

$V_V=1.36\times10^2\times\left(\frac{M}{A}\right)+1.34$　（風量 0 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-2)

$T_V=5.69\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+1.46$　（風速 1 m/s・風量 4.98 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-3)

$V_V=1.93\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+1.42$　（風速 1 m/s・風量 4.98 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-4)

$T_V=1.40$　（風速 2 m/s・風量 9.96 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-5)

$V_V=2.68\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+1.08$　（風速 2 m/s・風量 9.96 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-6)

$T_V=1.04\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+8.22\times10^{-1}$　（風速 2.5 m/s・風量 12.45 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-7)

$V_V=4.48\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+9.40\times10^{-1}$　（風速 2.5 m/s・風量 12.45 m$^3$/min,　エアカーテン無）　(5-1-8)

《エアカーテン有》

$T_V=4.27\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+8.89\times10^{-1}$　（風量 0 m$^3$/min,　エアカーテン有）　(5-1-9)

$V_V=3.00\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+6.37\times10^{-1}$　（風量 0 m$^3$/min,　エアカーテン有）　(5-1-10)

$T_V=4.11\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+5.40\times10^{-1}$　（風速 1 m/s・風量 4.98 m$^3$/min,　エアカーテン有）　(5-1-11)

$V_V=1.29\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+6.08\times10^{-1}$　（風速 1 m/s・風量 4.98 m$^3$/min,　エアカーテン有）　(5-1-12)

$T_V=5.44\times10^{-1}$　（風速 2 m/s・風量 9.96 m$^3$/min,　エアカーテン有）　(5-1-13)

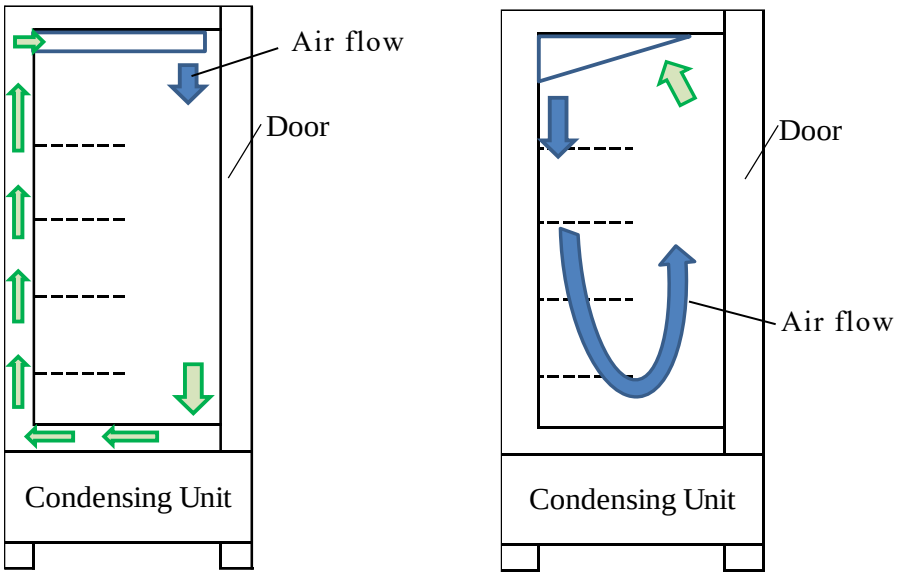
$V_V=1.25\times10^{1}\times\left(\frac{M}{A}\right)+7.71\times10^{-1}$ （風速 2 m/s・風量 9.96 m³/min, エアカーテン有） (5-1-14)

$T_V=5.39\times10^{-1}$ （風速 2.5 m/s・風量 12.45 m³/min, エアカーテン有） (5-1-15)

$V_V=6.01\times\left(\frac{M}{A}\right)+7.02\times10^{-1}$ （風速 2.5 m/s・風量 12.45 m³/min, エアカーテン有） (5-1-16)

ここで, $A$ : 床面積 (m²)
$M$ : 冷媒量 (kg)
$T_V$ : 可燃空間継続時間 (min)
$V_V$ : 平均可燃空間体積 (m³)

リーチインショーケースには，上部前面吹出・底部前面吸込方式（エアカーテン方式），上部背面吹出・上部前面吸込方式（背面吹出方式）など，庫内の気流が異なる幾つかの種類がある（Fig. 5-1-20）．エアカーテン方式では，エアカーテンによって庫内漏えい冷媒の庫外への流出が低減されるが，エアカーテンが庫内前面上部から下部に向けて生成されている場合の他，エアカーテンが庫内前面下部から上部に向けて生成されている場合や背面から前面に向けた吹き出しとエアカーテンが組み合わされている場合などもあり，さらに，サーモオフやデフロスト時などにエアカーテンが停止する可能性も想定すると，エアカーテンによる庫内漏えい冷媒の庫外への流出低減効果を定量化するのは非常に困難である．また背面吹出方式では庫内の気流により庫内漏えい冷媒の庫外への排出が促進される可能性もあるが，これが可燃空間体積及び時空積を増加させる方向に作用するのか可燃域継続時間及び時空積を低減させる方向に作用するか不明である．そこで，リスクアセスメントでは，想定可能な最悪状態を考え，エアカーテン方式でのエアカーテン無の時の解析結果を用いることとする．使用時の着火確率は，凝縮器ユニットのファン運転時及びファン停止時の着火確率を加重平均して求める．リーチインショーケースの庫内漏れには，停止時は式(5-1-1)及び式(5-1-2)，運転時は式(5-1-5)及び式(5-1-6)を用いる．作業時の値は停止時の式を用いて求める．




(a)上部前面吹出・底部前面吸込方式（エアカーテン方式）　(b)上部背面吹出・上部前面吸込方式（背面吹出方式）

Fig. 5-1-20 リーチインショーケース種類のイメージ図（side view）

### 5.1.2　安全係数固定時の庫内濃度の影響（安全係数 0.25）

安全係数［＝冷媒量 M(kg)／{LFL(kg/m$^3$)×天井高さ H(m)×床面積 A(m$^2$)}］を 0.25 に固定して，冷媒量及びショーケース庫内冷媒濃度を変化させた解析を行った．床面積・冷媒量を 9.61 m$^2$（3.1 m×3.1 m）・200 g，17.14 m$^2$（4.14 m×4.14 m）・358 g，24.01 m$^2$（4.9 m×4.9 m）・500 g とし，ショーケースの扉枚数をそれぞれの場合に 1 枚，2 枚，4 枚と変化させ，ショーケースの高さは同一とし庫内容積（庫内幅(W)寸法）を扉枚数に応じて線形的に変化させた（1 枚→0.54 m$^3$（W0.731 m），2 枚→1.08 m$^3$（W1.462 m），4 枚→2.16 m$^3$（W2.924 m））．この時，LFL に対する庫内濃度の倍率［＝{冷媒量 M(kg)/庫内容積 V(m$^3$)}/LFL (kg/m$^3$)］は 2.44～24.37 の間で変化する．凝縮器ユニット風速（風量）は 0 m/s，1 m/s（4.99 m$^3$/min），2 m/s（9.97 m$^3$/min）及び 3 m/s（14.96 m$^3$/min）と変化させた．エアカーテン無時の解析結果を Table 5-1-4 に示す．なお，庫内及び背面風路内は可燃空間体積には含めていない．全ての条件において庫外に可燃域が生成された．凝縮器ユニット風速 0 m/s 時の LFL に対する庫内濃度の倍率［＝{冷媒量 M(kg)/庫内容積 V(m$^3$)}/ LFL (kg/m$^3$)］と可燃域継続時間，平均可燃空間体積及び時空積の関係を Fig. 5-1-21 に示す．

Table 5-1-4　可燃域の継続時間と体積・安全係数 0.25・エアカーテン無

(a) 可燃域継続時間

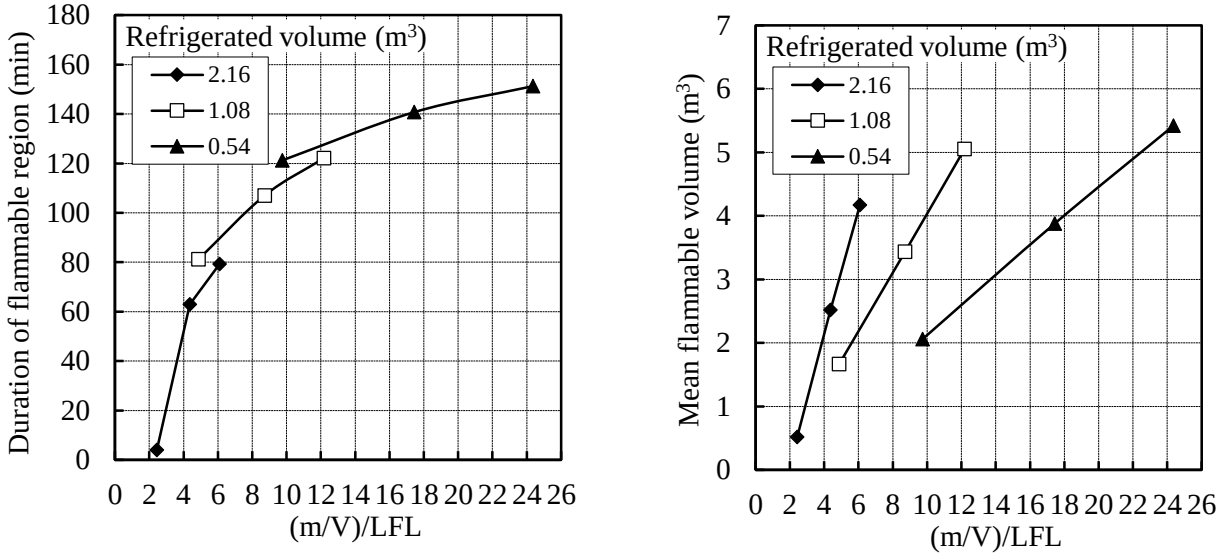
| Case | 床面積 A(m$^2$) | 冷媒量 M(g) | 扉枚数 | 庫内容積 V(m$^3$) | (m/V) /LFL | 可燃域継続時間 (min) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 0.0 m/s | 1.0 m/s | 2.0 m/s | 3.0 m/s |
| 5-1-99～102 | 9.61 | 200 | 4 | 2.16 | 2.44 | 4.06 | 1.06 | 1.08 | 0.92 |
| 5-1-103～106 | 17.14 | 358 | | | 4.36 | 63.00 | 2.10 | 1.20 | 0.98 |
| 5-1-107～110 | 24.01 | 500 | | | 6.09 | 79.29 | 2.64 | 1.61 | 1.19 |
| 5-1-111～114 | 9.61 | 200 | 2 | 1.08 | 4.87 | 81.21 | 1.10 | 0.78 | 0.47 |
| 5-1-115～118 | 17.14 | 358 | | | 8.72 | 107.00 | 1.98 | 0.98 | 0.69 |
| 5-1-119～122 | 24.01 | 500 | | | 12.18 | 122.13 | 3.04 | 1.79 | 1.11 |
| 5-1-123～126 | 9.61 | 200 | 1 | 0.54 | 9.75 | 121.21 | 1.45 | 0.64 | 0.34 |
| 5-1-127～130 | 17.14 | 358 | | | 17.45 | 140.75 | 2.93 | 1.02 | 0.58 |
| 5-1-131～134 | 24.01 | 500 | | | 24.37 | 151.25 | 3.20 | 1.72 | 0.84 |

(b) 時空積

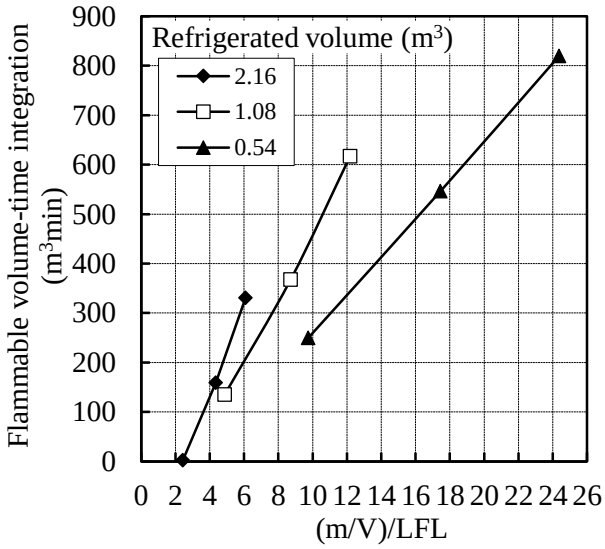
| Case | 床面積 A(m$^2$) | 冷媒量 M(g) | 扉枚数 | 庫内容積 V(m$^3$) | (m/V) /LFL | 時空積 (m$^3$・min) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 0.0 m/s | 1.0 m/s | 2.0 m/s | 3.0 m/s |
| 5-1-99～102 | 9.61 | 200 | 4 | 2.16 | 2.44 | 2.11 | 0.95 | 0.59 | 0.36 |
| 5-1-103～106 | 17.14 | 358 | | | 4.36 | 158.87 | 2.61 | 1.45 | 1.14 |
| 5-1-107～110 | 24.01 | 500 | | | 6.09 | 330.68 | 4.51 | 2.57 | 1.94 |
| 5-1-111～114 | 9.61 | 200 | 2 | 1.08 | 4.87 | 135.34 | 0.91 | 0.57 | 0.25 |
| 5-1-115～118 | 17.14 | 358 | | | 8.72 | 367.92 | 3.18 | 1.45 | 1.01 |
| 5-1-119～122 | 24.01 | 500 | | | 12.18 | 617.10 | 6.11 | 3.04 | 2.05 |
| 5-1-123～126 | 9.61 | 200 | 1 | 0.54 | 9.75 | 249.92 | 1.08 | 0.46 | 0.16 |
| 5-1-127～130 | 17.14 | 358 | | | 17.45 | 546.15 | 3.44 | 1.29 | 0.60 |
| 5-1-131～134 | 24.01 | 500 | | | 24.37 | 819.68 | 6.21 | 2.36 | 1.53 |

(c) 平均可燃空間体積

| Case | 床面積 A(m$^2$) | 冷媒量 M(g) | 扉枚数 | 庫内容積 V(m$^3$) | (M/V) /LFL | 平均可燃空間体積 (m$^3$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 0.0 m/s | 1.0 m/s | 2.0 m/s | 3.0 m/s |
| 5-1-99～102 | 9.61 | 200 | 4 | 2.16 | 2.44 | 0.52 | 0.90 | 0.55 | 0.39 |
| 5-1-103～106 | 17.14 | 358 | | | 4.36 | 2.52 | 1.24 | 1.21 | 1.16 |
| 5-1-107～110 | 24.01 | 500 | | | 6.09 | 4.17 | 1.71 | 1.60 | 1.63 |
| 5-1-111～114 | 9.61 | 200 | 2 | 1.08 | 4.87 | 1.67 | 0.83 | 0.73 | 0.53 |
| 5-1-115～118 | 17.14 | 358 | | | 8.72 | 3.44 | 1.61 | 1.48 | 1.46 |
| 5-1-119～122 | 24.01 | 500 | | | 12.18 | 5.05 | 2.01 | 1.70 | 1.85 |
| 5-1-123～126 | 9.61 | 200 | 1 | 0.54 | 9.75 | 2.06 | 0.74 | 0.72 | 0.47 |
| 5-1-127～130 | 17.14 | 358 | | | 17.45 | 3.88 | 1.17 | 1.26 | 1.02 |
| 5-1-131～134 | 24.01 | 500 | | | 24.37 | 5.42 | 1.94 | 1.38 | 1.82 |




(a)可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積




(c) 時空積

Fig. 5-1-21　庫内濃度に対する可燃域の変化（エアカーテン無）

LFL に対する庫内濃度の倍率（横軸）が小さくなると，可燃域継続時間，平均可燃空間体積，時空積のいずれも値が小さくなる．ここで，可燃域継続時間は LFL に対する庫内濃度の倍率が大きいと値の増加量が小さくなり，かつ，LFL に対する庫内濃度の倍率によって一意な値を取るのに対して，平均可燃空間体積は LFL に対する庫内濃度の倍率が同じでも庫内容積によって異なる値を取り，庫内容積にほぼ比例した値となる．このことより，解析ではリーチインショーケースの扉が急に無くなる（消滅する）ことを仮定しており，かつ庫外への冷媒漏えい速度が速いため，扉に対して垂直な方向の面内でほぼ 2 次元的に冷媒が流出し可燃域が成長していることが想定される．そのため，冷媒の流出方向に対して垂直な方向であるショーケースの幅寸法が変わっても，冷媒の流出・可燃域の成長が起こる 2 次元面内の挙動には殆ど影響しないため，可燃域継続時間は殆ど変わらず，平均可燃空間体積はショーケースの幅寸法（庫内容積）に比例して変化するものと思われる．また，平均可燃空間体積と可燃域継続時間を乗じた時空積も，LFL に対する庫内濃度の倍率が同じでも庫内容積によって異なる値を取り，LFL に対する庫内濃度の倍率が 2.44 倍（Case 5-1-99～Case 5-1-102）でも庫外には可燃域が生成されている．

次に，エアカーテンが有る場合に同様の解析を行った．解析結果を Table 5-1-5 に示す．エアカーテン無時と同様，全ての条件において庫外に可燃域が生成され，LFL に対する庫内濃度の倍率が 2.44 倍（Case 5-1-135～Case 5-1-138）でも，庫外には可燃域が生成された．また，凝縮器ユニット風速 0 m/s の時の LFL に対する庫内濃度の倍率と可燃域継続時間，平均可燃空間体積及び時空積の関係を Fig. 5-1-22 に示す．エアカーテン無時と同様の傾向を示し，可燃域継続時間は LFL に対する庫内濃度の倍率によって一意な値を取るが，平均可燃空間体積及び時空積は LFL に対する庫内濃度の倍率が同じでも庫内容積によって異なる値を取り，庫内容積にほぼ比例した値となった．

Table 5-1-5　可燃域の継続時間と体積・安全係数 0.25・エアカーテン有

(a) 可燃域継続時間

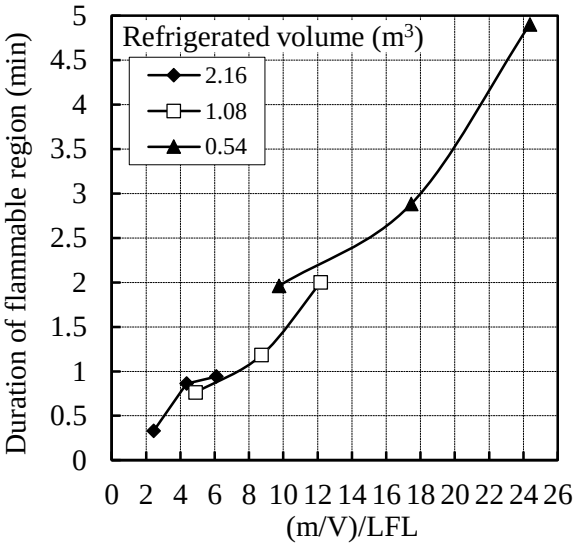
| Case | 床面積 A($m^2$) | 冷媒量 M(g) | 扉枚数 | 庫内容積 V($m^3$) | (m/V) /LFL | 可燃域継続時間 (min) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 0.0 m/s | 1.0 m/s | 2.0 m/s | 3.0 m/s |
| 5-1-135～138 | 9.61 | 200 | 4 | 2.16 | 2.44 | 0.33 | 0.33 | 0.26 | 0.23 |
| 5-1-139～142 | 17.14 | 358 | | | 4.36 | 0.86 | 0.66 | 0.78 | 0.52 |
| 5-1-143～146 | 24.01 | 500 | | | 6.09 | 0.94 | 0.88 | 0.91 | 0.95 |
| 5-1-147～150 | 9.61 | 200 | 2 | 1.08 | 4.87 | 0.76 | 0.52 | 0.42 | 0.42 |
| 5-1-151～154 | 17.14 | 358 | | | 8.72 | 1.18 | 0.94 | 0.52 | 0.45 |
| 5-1-155～158 | 24.01 | 500 | | | 12.18 | 2.00 | 1.48 | 0.56 | 0.45 |
| 5-1-159～162 | 9.61 | 200 | 1 | 0.54 | 9.75 | 1.96 | 0.84 | 0.55 | 0.63 |
| 5-1-163～166 | 17.14 | 358 | | | 17.45 | 2.88 | 0.98 | 0.68 | 0.66 |
| 5-1-167～170 | 24.01 | 500 | | | 24.37 | 4.90 | 1.35 | 0.71 | 0.73 |

(b) 時空積

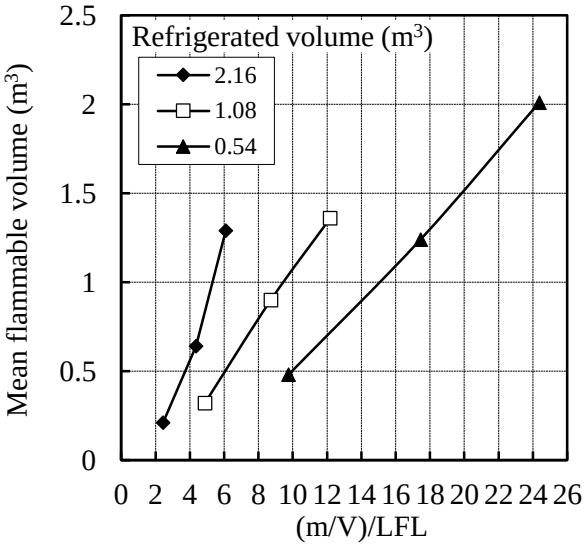
| Case | 床面積 A($m^2$) | 冷媒量 M(g) | 扉枚数 | 庫内容積 V($m^3$) | (m/V) /LFL | 時空積 ($m^3$･min) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 0.0 m/s | 1.0 m/s | 2.0 m/s | 3.0 m/s |
| 5-1-135～138 | 9.61 | 200 | 4 | 2.16 | 2.44 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| 5-1-139～142 | 17.14 | 358 | | | 4.36 | 0.55 | 0.52 | 0.41 | 0.28 |
| 5-1-143～146 | 24.01 | 500 | | | 6.09 | 1.21 | 1.09 | 0.95 | 0.63 |
| 5-1-147～150 | 9.61 | 200 | 2 | 1.08 | 4.87 | 0.24 | 0.19 | 0.12 | 0.07 |
| 5-1-151～154 | 17.14 | 358 | | | 8.72 | 1.07 | 0.68 | 0.39 | 0.23 |
| 5-1-155～158 | 24.01 | 500 | | | 12.18 | 2.72 | 1.42 | 0.67 | 0.46 |
| 5-1-159～162 | 9.61 | 200 | 1 | 0.54 | 9.75 | 0.94 | 0.29 | 0.08 | 0.05 |
| 5-1-163～166 | 17.14 | 358 | | | 17.45 | 3.57 | 0.71 | 0.25 | 0.14 |
| 5-1-167～170 | 24.01 | 500 | | | 24.37 | 9.85 | 1.39 | 0.54 | 0.32 |

(c) 平均可燃空間体積

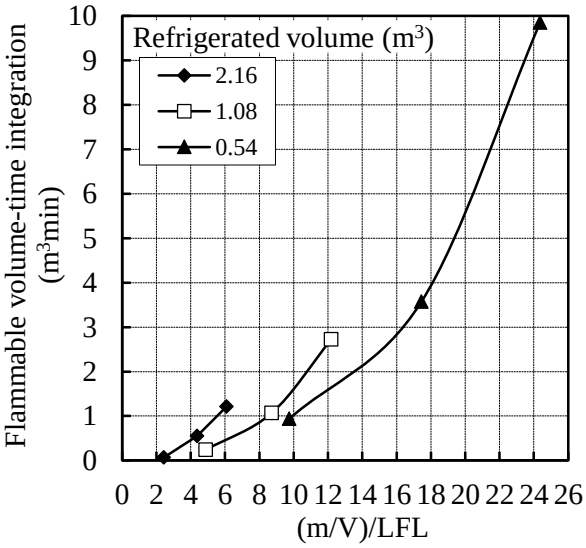
| Case | 床面積 A($m^2$) | 冷媒量 M(g) | 扉枚数 | 庫内容積 V($m^3$) | (M/V) /LFL | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 0.0 m/s | 1.0 m/s | 2.0 m/s | 3.0 m/s |
| 5-1-135～138 | 9.61 | 200 | 4 | 2.16 | 2.44 | 0.21 | 0.21 | 0.23 | 0.22 |
| 5-1-139～142 | 17.14 | 358 | | | 4.36 | 0.64 | 0.79 | 0.53 | 0.54 |
| 5-1-143～146 | 24.01 | 500 | | | 6.09 | 1.29 | 1.24 | 1.04 | 0.66 |
| 5-1-147～150 | 9.61 | 200 | 2 | 1.08 | 4.87 | 0.32 | 0.37 | 0.29 | 0.17 |
| 5-1-151～154 | 17.14 | 358 | | | 8.72 | 0.90 | 0.72 | 0.75 | 0.50 |
| 5-1-155～158 | 24.01 | 500 | | | 12.18 | 1.36 | 0.96 | 1.21 | 1.02 |
| 5-1-159～162 | 9.61 | 200 | 1 | 0.54 | 9.75 | 0.48 | 0.35 | 0.15 | 0.08 |
| 5-1-163～166 | 17.14 | 358 | | | 17.45 | 1.24 | 0.72 | 0.37 | 0.21 |
| 5-1-167～170 | 24.01 | 500 | | | 24.37 | 2.01 | 1.03 | 0.76 | 0.44 |




（a）可燃域継続時間




（b）平均可燃空間体積




（c）時空積

Fig. 5-1-22　庫内濃度に対する可燃域の変化（エアカーテン有）

### 5.1.3　扉急開放枚数変化及びドア上下隙間の影響

リーチインショーケースの扉急開放に関して，扉 2 枚を急開放した場合と扉 1 枚を急開放した場合の違い，及び，正方形店舗内のショーケースの対面にドアを設置しドア上下隙間を考慮した場合と考慮しなかった場合の違いを解析によって比較する．リーチインショーケース及び店舗内空間のモデル図を Fig. 5-1-23 に示す（リーチインショーケース及び空間サイズは Fig. 5-1-1 及び Fig. 5-1-2 と同様）．リーチインショーケースの対面側の天井両隅に 0.4 m×0.4 m の圧力境界を設置した．店舗内のドアは幅 1.8 m，高さ 1.875 m（隙間含む），ドア上隙間 10 mm，ドア下隙間 10 mm とし，リーチインショーケースの対面側の壁の中央に配置した．解析では，扉の急開放枚数を変化させ，扉急開放枚数が 1 枚の時は，向かって右側の扉を急開放した（右側の扉が急に無くなる）．冷媒は R290 が 500 g，店舗の天井高さは 2.2 m とし，床面積を 17.14（4.14 m×4.14 m），24.01（4.9 m×4.9 m），36.0（6.0 m×6.0 m），64.0（8.0 m×8.0 m），73.96（8.6 m×8.6 m），100.0 m$^2$（10.0 m×10.0 m）と変化させた．

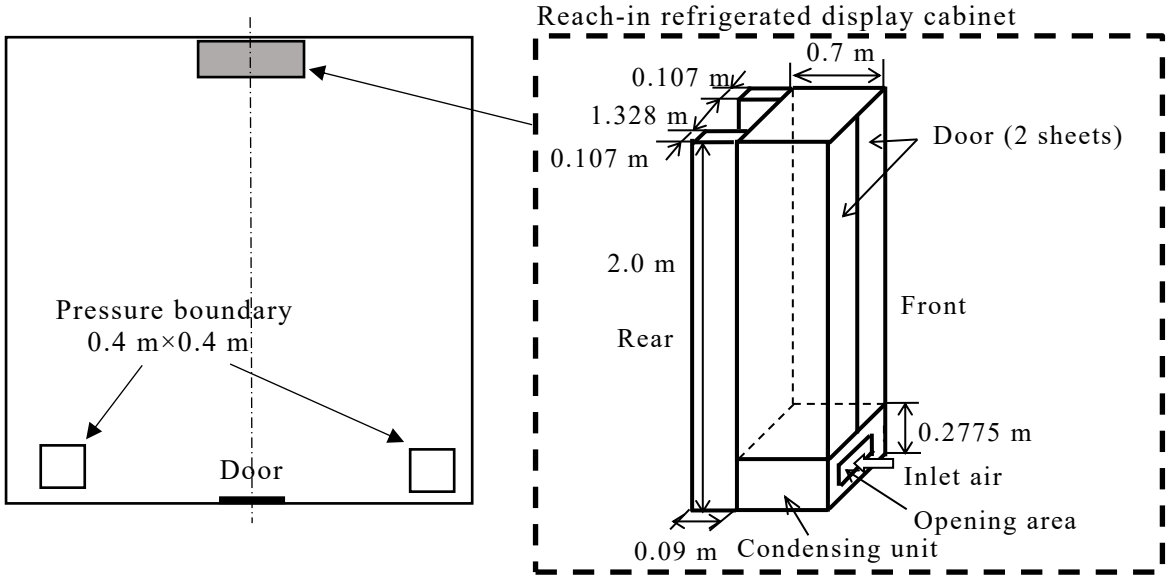



Fig. 5-1-23　ドア付き店舗の解析モデル（リーチインショーケース）

床面積，扉急開放枚数，ドア上下隙間有無を変化させた場合のリーチインショーケースの解析結果を Table 5-1-6 に示す．扉急開放枚数 2 枚・ドア上下隙間無に対する解析結果は Table 5-1-2 に記載のものを転記した．Table 5-1-6 にはドア上下隙間有時の値に対するドア上下隙間無時の値の比率も記載した．

これより以下のことが分かる．

①扉急開放枚数 1 枚の時の方が扉急開放枚数 2 枚の時よりも可燃域継続時間・時空積ともに大きくなる（ドア上下隙間無時の方が時空積で 24.01 m$^2$ の時に 10 %，100 m$^2$ の時に 13 % 大きくなる）．これは，扉を 1 枚だけ開放すると，その開放された扉からしか冷媒が外部に流出できず，高濃度冷媒が外部に流出する際の開口部の面積，外部に流出した後の高濃度冷媒の拡散状況などが異なるため，と考えられる．この現象は，Fig. 5-1-3 及び Fig. 5-1-30 の濃度分布図にも表れている．

②ドア上下隙間有の時はドア上下隙間無の時に比べて，可燃域継続時間・時空積・平均可燃空間体積ともに小さくなる．床面積が小さい方が差が大きくなり，ドア上下隙間無時の値に対するドア上下隙間有時の値の比率は，24.01 m$^2$ の時で，扉急開放枚数 2 枚の時に可燃域継続時間は 33.2 %，時空積は 24.2 %，平均可燃空間体積は 72.9 %，扉急開放枚数 1 枚の時に可燃域継続時間は 31.9 %，時空積は 23.1 %，平均可燃空間体積は 72.3 %であった．床面積が小さくなると，ドア上下隙間が有る時，可燃域継続時間はかなり小さくなるが，平均可燃空間体積は大きくは減らない．床面積が 64 m$^2$ になると，扉急開放枚数 2 枚の時

に可燃域継続時間は 97.3 %，時空積は 98.0 %，平均可燃空間体積は約 100 %，扉急開放枚数 1 枚の時に可燃域継続時間は 88.9 %，時空積は 90.5 %，平均可燃空間体積は約 100 %になり，100 $m^2$ の時はドア上下隙間有無による値の違いは殆ど無かった．

Table 5-1-6　リーチインショーケース扉開放回数・ドア上下隙間変化

(a) 可燃域継続時間

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | 扉急開放枚数 | 2 枚 | | | 1 枚 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ドア上下隙間 | 無 | 有 | (比率) | 無 | 有 | (比率) |
| (5-1-1) | 17.14 | 可燃域継続時間 | (min) | 267.42 | | | | | |
| (5-1-7), 5-1-171～173 | 24.01 | 可燃域継続時間 | (min) | 122.13 | 40.54 | (0.332) | 131.08 | 41.79 | (0.319) |
| (5-1-13), 5-1-174～176 | 36.0 | 可燃域継続時間 | (min) | 43.79 | 26.42 | (0.603) | 49.96 | 29.79 | (0.596) |
| (5-1-19), 5-1-177～179 | 64.0 | 可燃域継続時間 | (min) | 6.38 | 6.21 | (0.973) | 9.00 | 8.00 | (0.889) |
| 5-1-180～181 | 73.96 | 可燃域継続時間 | (min) | | | | 6.17 | 5.92 | (0.959) |
| (5-1-20), 5-1-182～184 | 100.0 | 可燃域継続時間 | (min) | 2.64 | 2.70 | (1.023) | 3.88 | 3.88 | (1.0) |

(b) 時空積

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | 扉急開放枚数 | 2 枚 | | | 1 枚 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ドア上下隙間 | 無 | 有 | (比率) | 無 | 有 | (比率) |
| (5-1-1) | 17.14 | 時空積 | ($m^3$min) | 1402.28 | | | | | |
| (5-1-7), 5-1-171～173 | 24.01 | 時空積 | ($m^3$min) | 617.10 | 149.26 | (0.242) | 681.10 | 157.00 | (0.231) |
| (5-1-13), 5-1-174～176 | 36.0 | 時空積 | ($m^3$min) | 181.47 | 102.55 | (0.565) | 225.92 | 118.75 | (0.526) |
| (5-1-19), 5-1-177～179 | 64.0 | 時空積 | ($m^3$min) | 14.75 | 14.46 | (0.980) | 25.88 | 23.42 | (0.905) |
| 5-1-180～181 | 73.96 | 時空積 | ($m^3$min) | | | | 15.98 | 15.23 | (0.953) |
| (5-1-20), 5-1-182～184 | 100.0 | 時空積 | ($m^3$min) | 6.50 | 6.48 | (0.997) | 7.37 | 7.36 | (0.999) |

(c) 平均可燃空間体積

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | 扉急開放枚数 | 2 枚 | | | 1 枚 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ドア上下隙間 | 無 | 有 | (比率) | 無 | 有 | (比率) |
| (5-1-1) | 17.14 | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 5.24 | | | | | |
| (5-1-7), 5-1-171～173 | 24.01 | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 5.05 | 3.68 | (0.729) | 5.20 | 3.76 | (0.723) |
| (5-1-13), 5-1-174～176 | 36.0 | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 4.14 | 3.88 | (0.937) | 4.52 | 3.99 | (0.883) |
| (5-1-19), 5-1-177～179 | 64.0 | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 2.31 | 2.33 | (1.009) | 2.88 | 2.93 | (1.017) |
| 5-1-180～181 | 73.96 | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | | | | 2.59 | 2.57 | (0.992) |
| (5-1-20), 5-1-182～184 | 100.0 | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 2.46 | 2.40 | (0.976) | 1.90 | 1.90 | (1.0) |

床面積 24.01m$^2$，36 m$^2$，64 m$^2$，100 m$^2$ の時のドア上下隙間有／無・扉急開放枚数 2 枚／1 枚の時の可燃空間体積の経時変化をそれぞれ Fig. 5-1-24～Fig. 5-1-27 に，床面積と可燃域継続時間，平均可燃空間体積及び時空積の関係を Fig. 5-1-28 に示す．

床面積が変化しても，可燃空間体積の最大値は殆ど変化しない．24.01 m$^2$ 及び 36 m$^2$ の時は，可燃域継続時間はドア上下隙間無の方が長く，急開放枚数 1 枚の方が長くなっている．

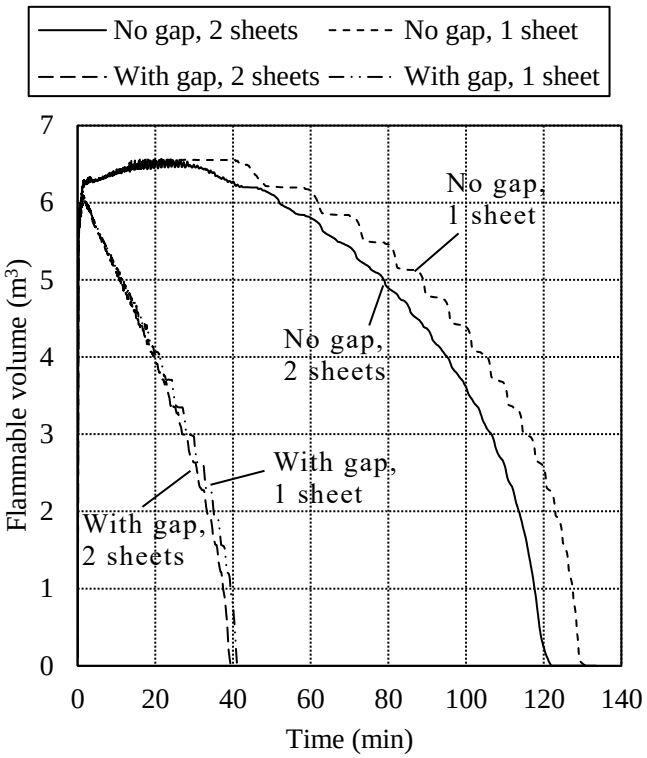



Fig. 5-1-24　可燃空間体積の経時変化（リーチインショーケース・24.01 m$^2$）

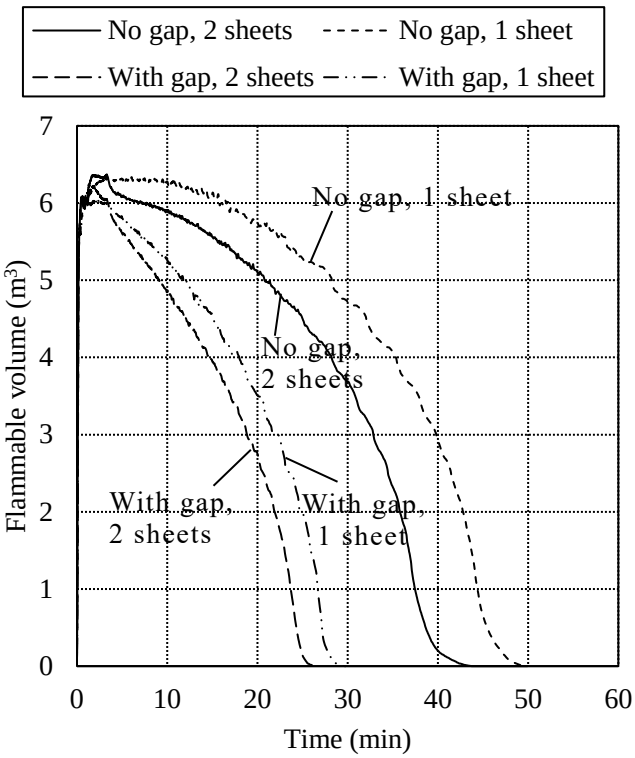



Fig. 5-1-25　可燃空間体積の経時変化（リーチインショーケース・36 m$^2$）

64 $m^2$ になると急開放枚数が 2 枚の時はドア上下隙間有無による差が殆ど無くなり，1 枚の時のドア上下隙間有無による差も微小になる．

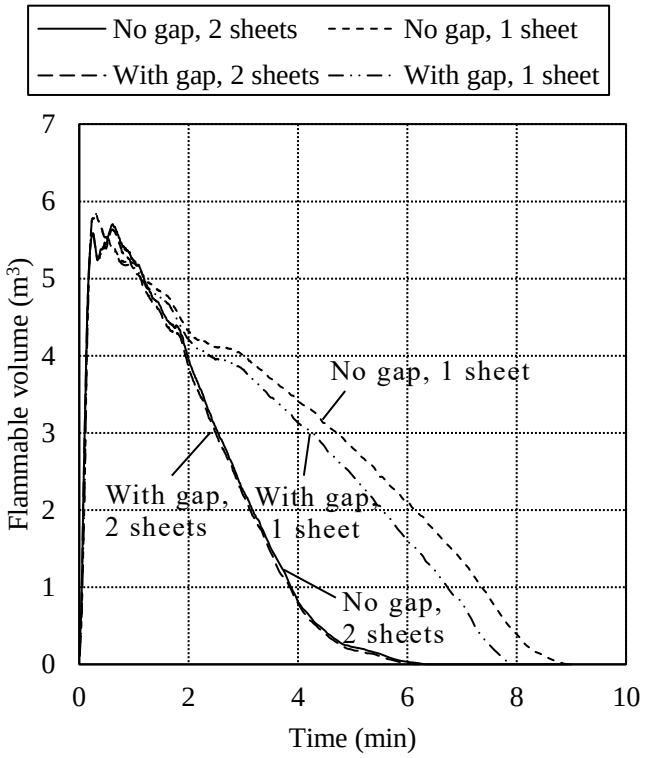



Fig. 5-1-26　可燃空間体積の経時変化（リーチインショーケース・64 $m^2$）

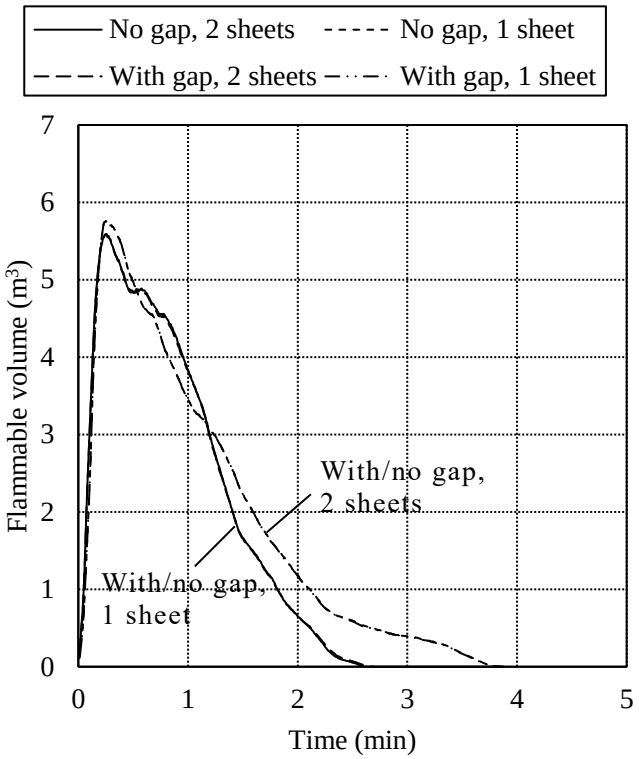
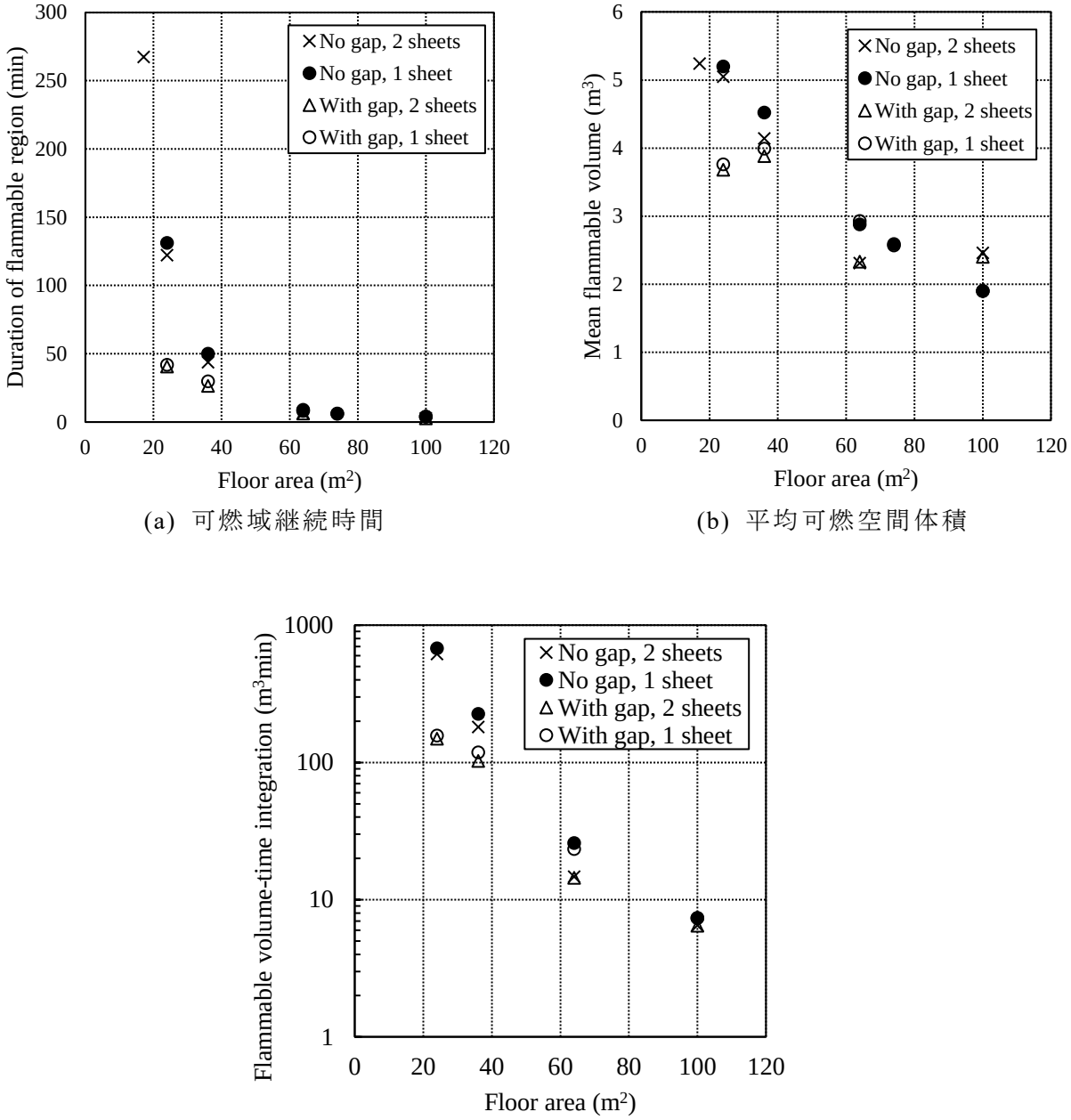



Fig. 5-1-27　可燃空間体積の経時変化（リーチインショーケース・100 $m^2$）

床面積が 100 m$^2$ になると，ドア上下隙間有無及び急開放枚数による時空積の差は殆ど無くなる．リスクアセスメントを行うコンビニエンスストアは，床面積が 84.7 m$^2$ であり，リーチインショーケースの庫内からの冷媒漏えいにおいては，この面積では，ドア上下隙間の影響が少なく，密閉空間に対して求めた値を使用してリスクアセスメントを行っても問題ないといえる．

また，詳細を載せていないが，ドア上下隙間有の場合のドア下隙間及びドア上隙間のそれぞれから外部に漏えいする時々刻々の冷媒の質量流量を分析した結果，殆ど全てドア下隙間からの漏れであることが分かった．これは店舗内の下部にしか高濃度の冷媒塊がないためと思われる．




(a) 可燃域継続時間　(b) 平均可燃空間体積

(c) 時空積

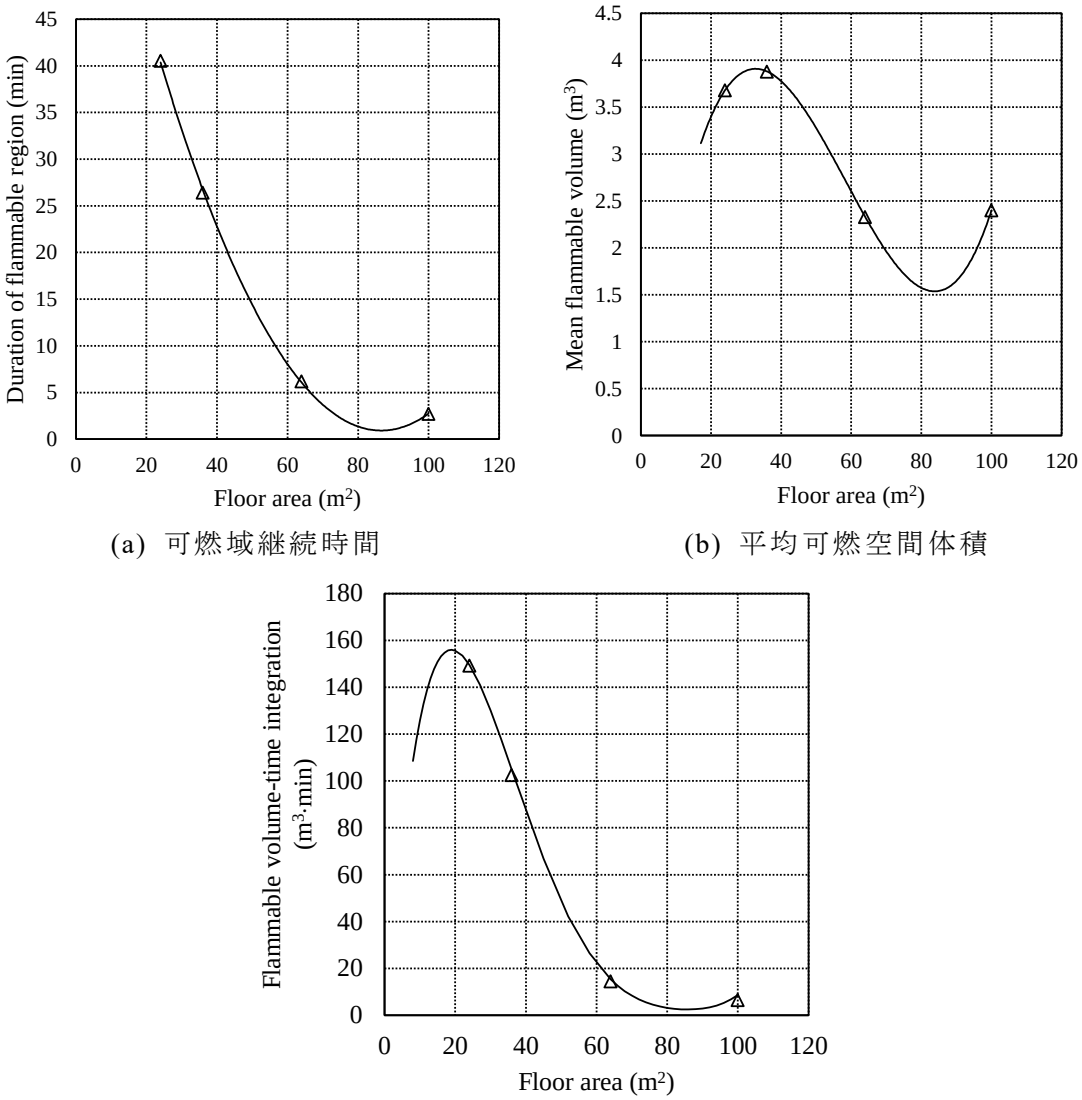
Fig. 5-1-28　店舗ドア上下隙間有無による可燃域の違い（リーチインショーケース）

扉急開放枚数 2 枚，凝縮器ユニット風量ゼロ，ドア上下隙間有の場合の解析結果を Fig. 5-1-29 に示す．また，解析結果から求めた最小二乗近似式をそれぞれ式(5-1-17)，式(5-1-18)及び Fig. 5-1-29 の実線で示す．なお，式(5-1-17)及び式(5-1-18)は床面積が 64 m$^2$ 以下でのみ使用できるものとする．また，Fig. 5-2-10 の時空積に記載の実線は式(5-1-17)と式(5-1-18)を乗じたものである．

$$T_V=1.01\times10^{-2}\times A^2-1.74\times A+7.65\times10^{1} \quad (0\ \mathrm{m^3/min,\ 2\ sheets\ with\ gaps}) \tag{5-1-17}$$

$$V_V=3.55\times10^{-5}\times A^3-6.20\times10^{-3}\times A^2+2.92\times10^{-1}\times A-2.41\times10^{-1} \quad (0\ \mathrm{m^3/min,\ 2\ sheets\ with\ gaps}) \tag{5-1-18}$$

ここで，　$A$　：　床面積　(m$^2$)
　　$T_V$　：　可燃空間継続時間　(min)
　　$V_V$　：　平均可燃空間体積　(m$^3$)



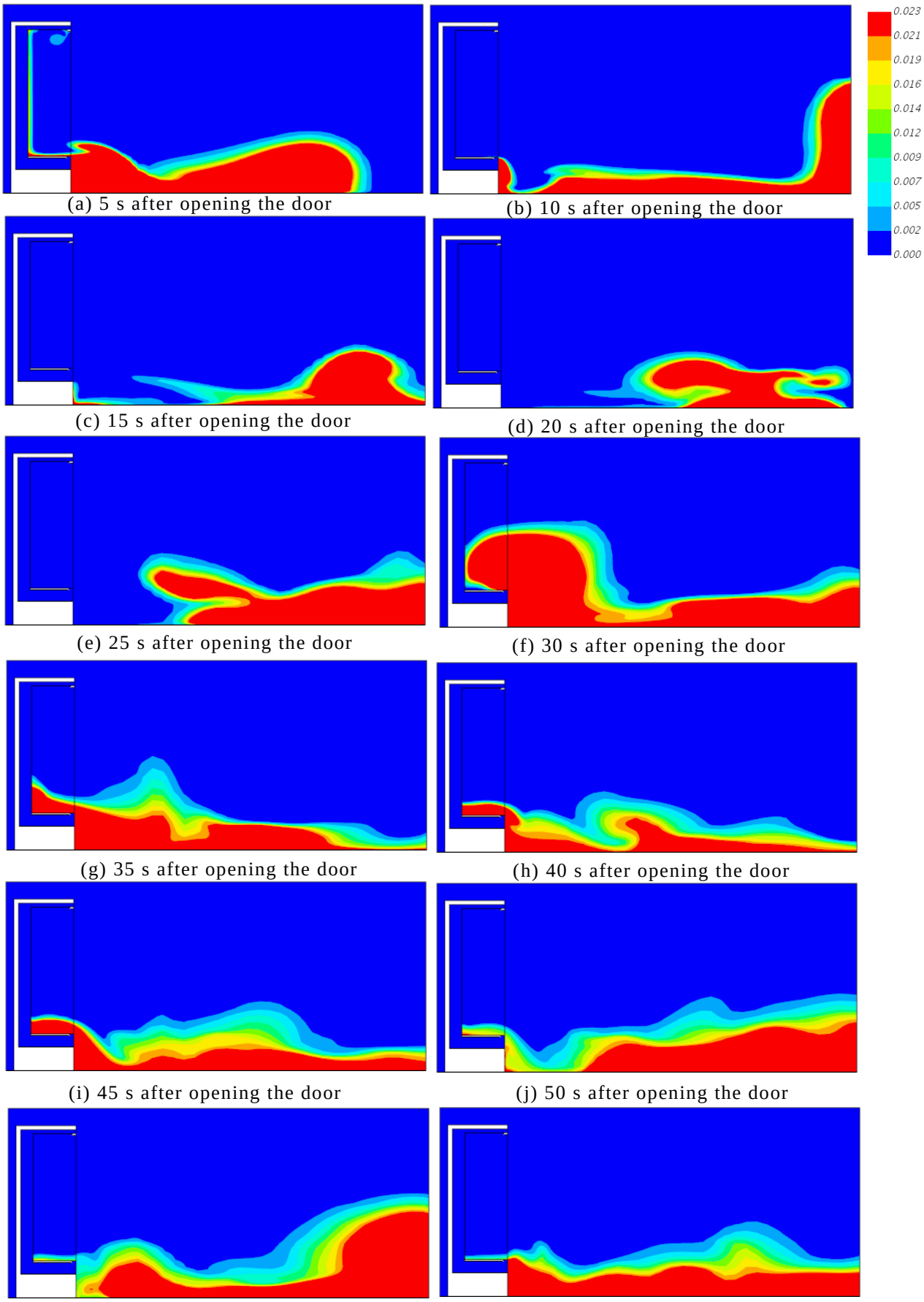

(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

(c) 時空積

Fig. 5-1-29　床面積に対する値の変化（リーチインショーケース）

床面積が大きい場合（コンビニエンスストア店舗内など）は，ドア上下隙間の影響が小さいため，リスクアセスメントには，密閉空間に対する近似式（式(5-1-1)，式(5-1-2)，式(5-1-5)，式(5-1-6)）を使用する．狭小店舗（駅ナカコンビニ）では，24.01 $m^2$ と床面積が小さいためドア上下隙間の影響が大きく，リスクアセスメントには，ドア上下隙間有に対する近似式（式(5-1-17)，式(5-1-18)）を使用する．しかし，リーチインショーケースの庫内漏れ時の使用ステージの対策時（ファン撹拌時）では，ドア上下隙間有時の解析を行っていないため，密閉空間に対する解析結果を使用する．なお，保管時の狭小倉庫は，床面積は 15 $m^2$ と小さいが，安全のため，密閉空間に対する近似式（式(5-1-1)，式(5-1-2)）を使用する．

Fig. 5-1-3 及び Fig. 5-1-30～Fig. 5-1-32 に，床面積 24.01 $m^2$ 無の時の冷媒濃度分布の経時変化を示す．Fig. 5-1-3 はドア上下隙間無・扉急開放枚数 2 枚の時，Fig. 5-1-30 はドア上下隙間無・扉急開放枚数 1 枚の時，Fig. 5-1-31 はドア上下隙間有・扉急開放枚数 2 枚の時，Fig. 5-1-32 はドア上下隙間有・扉急開放枚数 1 枚の時のドア開放 60 秒後までの濃度分布図である．最初の 60 秒では，ドア上下隙間の有無による違いは殆ど見られない．これは，冷媒漏えい初期の可燃空間体積に差が無い（Fig. 5-1-24 参照）ためと思われる．また，扉急開放枚数が 1 枚の時，扉開放後，20 秒程度の間，庫内に冷媒が残っていることが分かる（Fig. 5-1-30 及び Fig. 5-1-32）．扉急開放枚数 1 枚の時の可燃域継続時間が扉急開放枚数 2 枚の時よりも長いのは，これが起因していると思われる．




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

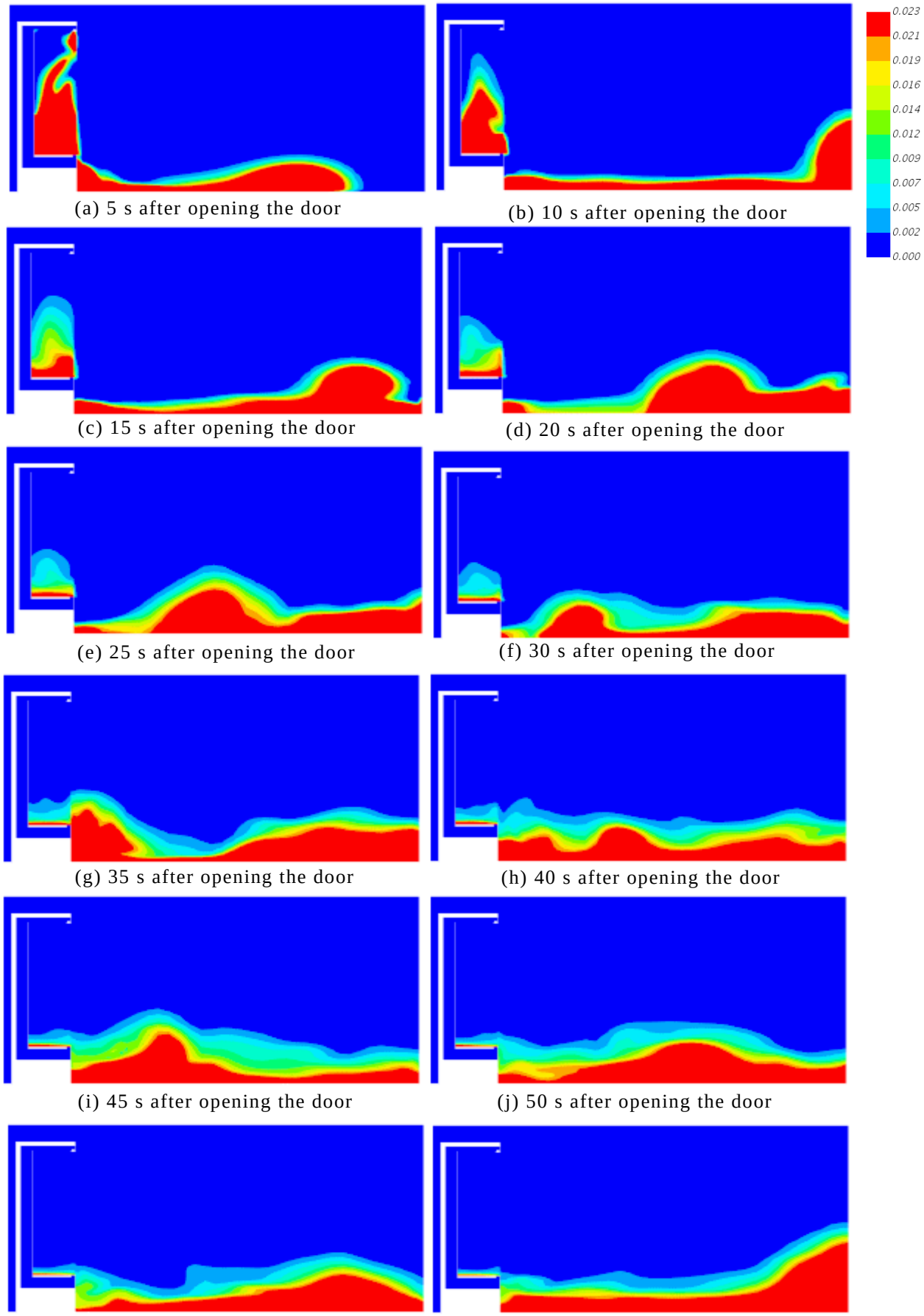
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-3（再掲）濃度分布図（リーチイン・24.01m$^2$・ドア上下隙間無・扉急開放枚 2 枚）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

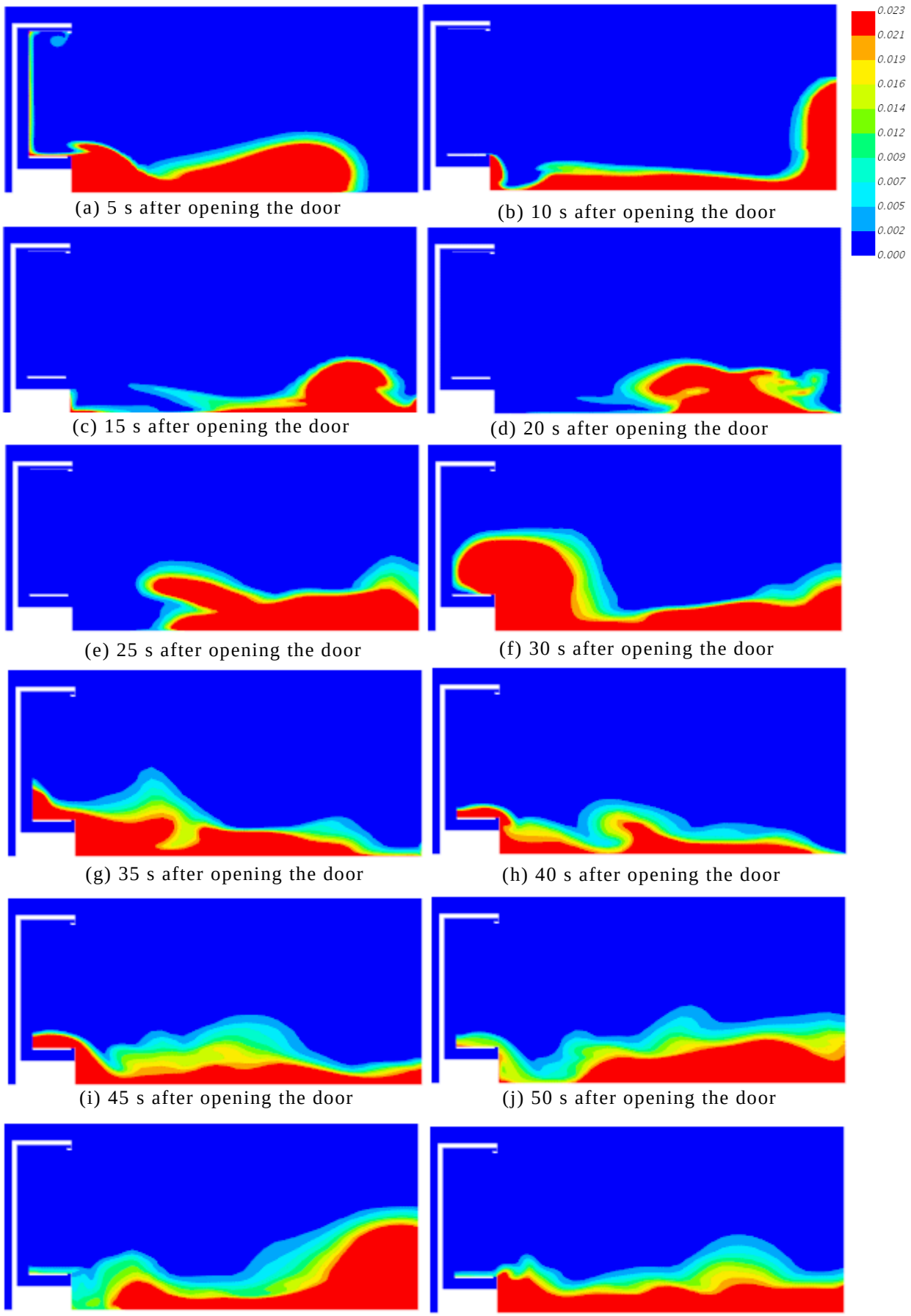
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-30　濃度分布図（リーチイン・24.01m$^2$・ドア上下隙間無・扉急開放枚数 1 枚）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

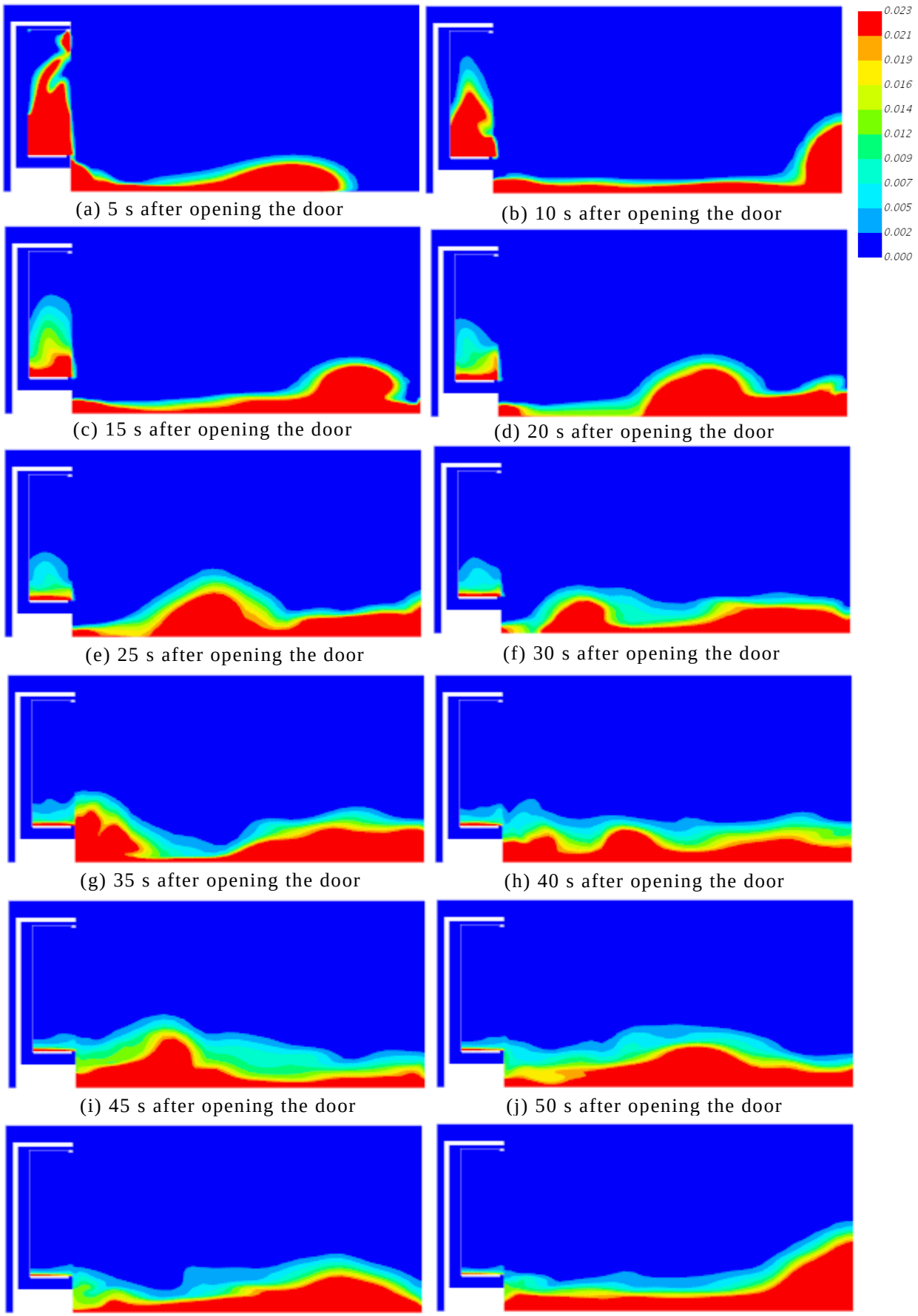
(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-31　濃度分布図（リーチイン・24.01m$^2$・ドア上下隙間有・扉急開放枚数 2 枚）




(a) 5 s after opening the door

(b) 10 s after opening the door

(c) 15 s after opening the door

(d) 20 s after opening the door

(e) 25 s after opening the door

(f) 30 s after opening the door

(g) 35 s after opening the door

(h) 40 s after opening the door

(i) 45 s after opening the door

(j) 50 s after opening the door

(k) 55 s after opening the door

(l) 60 s after opening the door

Fig. 5-1-32　濃度分布図（リーチイン・24.01m$^2$・ドア上下隙間有・扉急開放枚数 1 枚）

### 5.1.4　微風速の取り扱い

リーチインショーケースの庫内漏れ時のエアカーテン無，下ユニットの風速 0.1 m/s の時の解析を行った．その他の条件は **5.1.1** 項と同様とした．結果を Table 5-1-7 に示す．床面積は 17.14（4.14 m×4.14 m），24.01（4.9 m×4.9 m），36 $m^2$（6.0 m×6.0 m）と変化させた．Table 5-1-7 に記載の%は同じ条件における凝縮器風速 0 m/s での値（Table 5-1-2）に対する比率を示す．

調理を行う厨房などでは，建築基準法（第 20 条の 3 第 2 項，昭和 45 年建設省告示第 1826 号）によって，換気回数は 30 回/h 以上に設定されており，着火源の周囲には最低限 0.1 m/s 程度の微風が存在する．このような場合には，Table 5-1-7 に記載の値を，対応する床面積に換算した値を用いる．ショーケースの周囲に微風がある場合とショーケースの凝縮器ユニットに微風で吸い込まれる場合とでは状況が異なる可能性はあるが，この解析結果で当該状態を表せるものと仮定する．

Table 5-1-7　微風速（風速 0.1 m/s）時の解析結果

| Case | 床面積 ($m^2$) | 冷媒量 (g) | 可燃域継続時間 | | 時空積 | | 平均可燃空間体積 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (min) | (%) | ($m^3$・min) | (%) | ($m^3$) | (%) |
| 5-1-187 | 17.14 | 500 | 24.90 | 9.31 | 64.82 | 4.62 | 2.61 | 49.68 |
| 5-1-188 | | 358 | 18.16 | 16.97 | 36.87 | 10.02 | 2.03 | 59.07 |
| 5-1-189 | 24.01 | 500 | 23.59 | 19.31 | 72.43 | 11.74 | 3.07 | 60.78 |
| 5-1-190 | | 358 | 15.02 | 36.66 | 33.42 | 28.53 | 2.23 | 77.93 |
| 5-1-191 | 36 | 500 | 17.71 | 40.44 | 62.78 | 34.59 | 3.55 | 85.63 |
| 5-1-192 | | 358 | 6.45 | 80.66 | 11.05 | 74.69 | 1.72 | 92.83 |

## 5.2　平形ショーケース

### 5.2.1　庫外漏えい解析（下ユニット）

平形ショーケースの下部の凝縮器ユニットからの冷媒漏えい解析を行った．平形ショーケースの解析モデルを Fig. 5-2-1 に示す．平形ショーケースは，高さ 0.81 m，幅 1.8 m，奥行き 1.09 m とした．ショーケースの下部には凝縮器ユニットがあり，ショーケースの一方の開口部から吸気し他方の開口部から排気する．凝縮器ユニットの空気の入出口の開口部の面積は双方とも $6.89\times10^{-2}$ $m^2$（0.733 m×0.094 m）とし，解析では開口部の風量を 0～12.40 $m^3$/min（風速 0～3 m/s）の間で変化させた．ショーケースは正方形の店舗内の中央に設置し，店舗内の一面の天井両隅に 0.4 m×0.4 m の圧力境界を設置した．凝縮器ユニット開口部では，風量 0 $m^3$/min の時は，開口部の吸込口及び吹出口の双方から均等に漏えいさせ，開口部の冷媒濃度は 100 %，70 %及び 30 %と変化させ，風量が 0 $m^3$/min よりも大きい時は吹出口から漏えいさせ，開口部の冷媒濃度は計算値を使用した．漏えい速度は 4 分で全冷媒量を漏えいさせる値（4 分全量漏れ）とした．店舗内の床面積を 15.21 $m^2$（3.9 m×3.9 m），24.01 $m^2$（4.9 m×4.9 m），36.0 $m^2$（6.0 m×6.0 m），64.0 $m^2$（8.0 m×8.0 m）及び 100.0 $m^2$（10.0 m×10.0 m）と変化させ，店舗内の天井高さは 2.2m とした．**5.2.1**～**5.2.3** 項においては，冷媒は R290 で，冷媒量は 358 g 又は 500 g，LFL は 2.1 vol%，UFL は 9.5 vol%とし，物性値は Table 5-2-1 に示す 25 ℃・大気圧の値を用い，拡散係数は Table 5-2-1 に記載の分子拡散の式を用いて計算し $1.12\times10^{-5}$ $m^2$/s とした．Realizable k-εモデルにおける凝縮器ユニット開口部での k 及びεの境界条件は $1.0\times10^{-4}$ に設定した．

凝縮器ユニットの風量が 0 $m^3$/min の時，開口部の冷媒濃度を 100 %，70% 及び 30 %と変化させて解析を行ったが，可燃域継続時間及び可燃空間体積の計算値に大きな違いはなかったため，これ以降の解析では，凝縮器ユニット開口部での冷媒濃度を 100 %として行った．

Table 5-2-2 及び Fig. 5-2-2 は，平形ショーケースの凝縮器ユニットの風量が 0 $m^3$/min の時の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積の解析結果である．図の横軸は冷媒量 M を床面積 A で除した値（M/A）であり，可燃域継続時間（$T_v$）及び平均可燃空間体積（$V_v$）ともに，M/A の関数で表現した．解析結果から求めた最小二乗近似式をそれぞれ式(5-2-1)，式(5-2-2)及び Fig. 5-2-2 の実線で示す．

なお，凝縮器ユニットからの漏えいでは，凝縮器ユニットの風量を大きくすると，庫外には可燃域が生成されなくなった．その詳細については **5.2.5** 項に記載する．

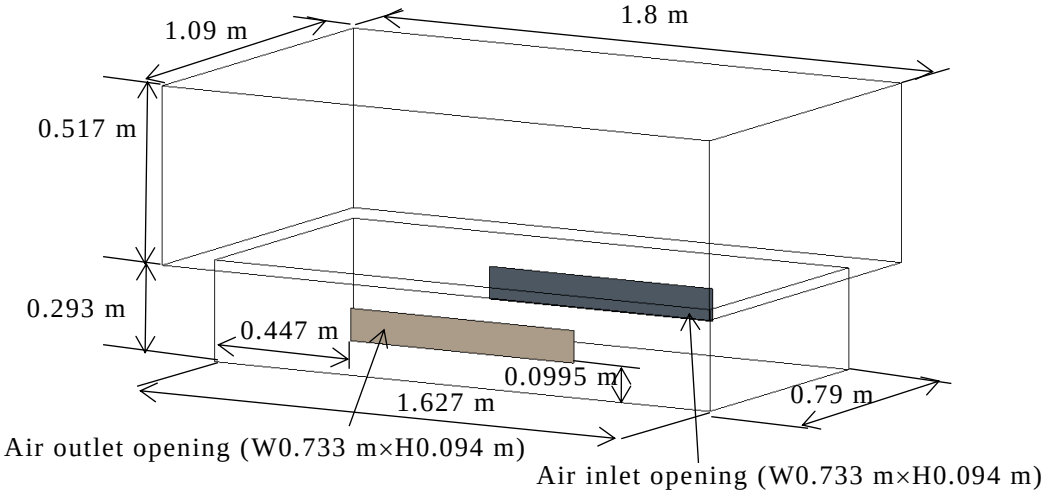



Fig. 5-2-1　平形ショーケースの解析モデル

Table 5-2-1　解析に使用した冷媒物性値

| 物質 | 分子量 | 温度 (℃) | 圧力 (MPa) | 密度 (kg/m$^3$) | 比熱 (J/kg・K) | 熱伝導率 (W/m・K) | 粘性係数 (Pa・s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| air | 29.0 | 25 | 0.1013 | 1.184 | 1006.6 | $2.585\times10^{-2}$ | $1.849\times10^{-5}$ |
| propane (R290) | 44.1 | 25 | 0.1013 | 1.832 | 1684.7 | $1.831\times10^{-2}$ | $8.146\times10^{-6}$ |
| ethane (R170) | 30.1 | 25 | 0.1013 | 1.238 | 1757.2 | $2.098\times10^{-2}$ | $9.354\times10^{-6}$ |
| propylene (R1270) | 42.1 | 25 | 0.1013 | 1.745 | 1548.2 | $1.710\times10^{-2}$ | $8.560\times10^{-6}$ |
| isobutan (R600a) | 58.1 | 25 | 0.1013 | 2.440 | 1692.3 | $1.689\times10^{-2}$ | $7.498\times10^{-6}$ |
| R152a | 66.0 | 25 | 0.1013 | 2.758 | 1050.8 | $1.416\times10^{-2}$ | $1.008\times10^{-5}$ |

| 物質 | 動粘度 (m$^2$/s) | 臨界温度 (K) | 臨界圧力 (MPa) | 臨界密度 (kg/m$^3$) | 臨界容積 (cm$^2$/mol) | 拡散係数※ (m$^2$/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| air | $1.562\times10^{-5}$ | 132.30 | | | 96.53 | |
| propane (R290) | $4.448\times10^{-6}$ | 369.89 | 4.251 | 220.48 | 200.00 | $1.12\times10^{-5}$ |
| ethane (R170) | $7.555\times10^{-6}$ | 305.32 | 4.872 | 206.18 | 145.84 | $1.44\times10^{-5}$ |
| propylene (R1270) | $4.906\times10^{-6}$ | 364.21 | 4.555 | 230.08 | 182.89 | $1.18\times10^{-5}$ |
| isobutan (R600a) | $3.073\times10^{-6}$ | 407.81 | 3.629 | 225.50 | 257.75 | $9.32\times10^{-6}$ |
| R152a | $3.655\times10^{-6}$ | 386.41 | 4.517 | 368.00 | 179.49 | $1.09\times10^{-5}$ |

※拡散係数は次式で算出した.

$$D_{\mathrm{AB}} = \frac{0.0150 \cdot T^{1.81}}{P \cdot (T_{\mathrm{CA}} \cdot T_{\mathrm{CB}})^{0.1405} \cdot \left(V_{\mathrm{CA}}{}^{0.4} + V_{\mathrm{CB}}{}^{0.4}\right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{\mathrm{A}}} + \frac{1}{M_{\mathrm{B}}}}$$

ここで，$P$ ： 圧力 (atm)，　$T$ ： 温度 (K)

$T_{\mathrm{CA}}$，$T_{\mathrm{CA}}$：臨界温度 (K)

$V_{\mathrm{CA}}$，$V_{\mathrm{CA}}$：臨界容積 (cm$^3$/mol)

$M_{\mathrm{A}}$，$M_{\mathrm{B}}$ ：分子量

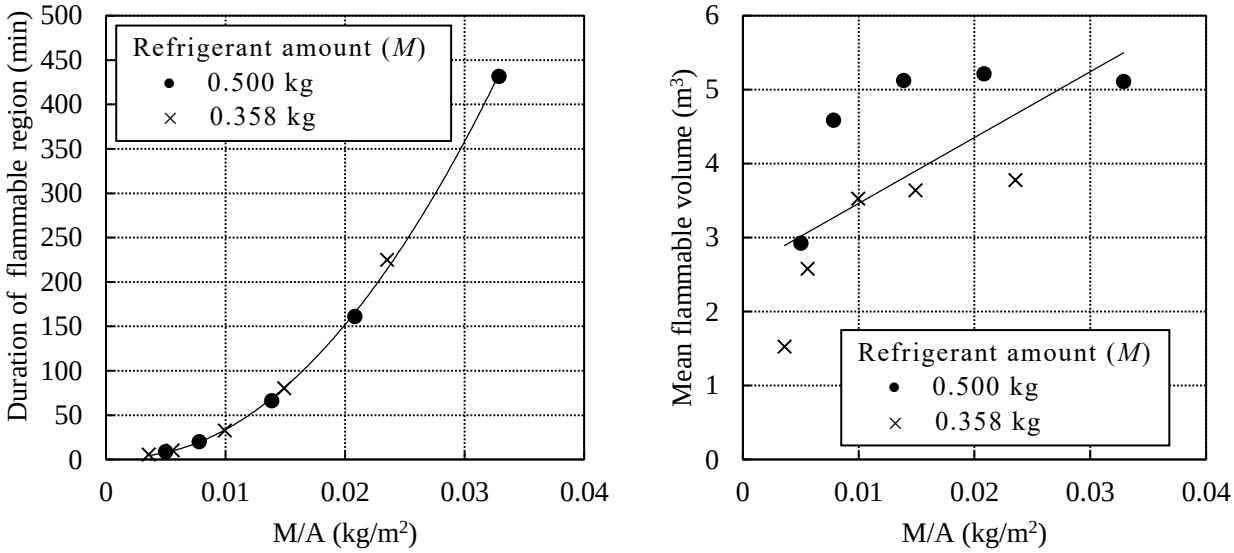
Table 5-2-2　庫外漏れ時の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積（風量 0 m$^3$/min）

(a) 冷媒量 500 g

| Case | 床面積 (m$^2$) | 冷媒量/床面積 (kg/m$^2$) | 可燃域継続時間 (min) | 時空積 (m$^3$・min) | 平均可燃空間体積 (m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5-2-1 | 15.21 | 0.03287 | 431.63 | 2207.3 | 5.114 |
| 5-2-2 | 24.01 | 0.02082 | 160.83 | 838.77 | 5.215 |
| 5-2-3 | 36.00 | 0.01389 | 66.13 | 338.96 | 5.126 |
| 5-2-4 | 64.00 | 0.007813 | 19.79 | 90.86 | 4.591 |
| 5-2-5 | 100.00 | 0.005 | 8.75 | 25.62 | 2.928 |

(b) 冷媒量 358 g

| Case | 床面積 (m$^2$) | 冷媒量/床面積 (kg/m$^2$) | 可燃域継続時間 (min) | 時空積 (m$^3$・min) | 平均可燃空間体積 (m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5-2-6 | 15.21 | 0.02354 | 224.88 | 850.3 | 3.781 |
| 5-2-7 | 24.01 | 0.01491 | 80.08 | 291.57 | 3.641 |
| 5-2-8 | 36.00 | 0.009944 | 32.67 | 115.23 | 3.527 |
| 5-2-9 | 64.00 | 0.005594 | 10.13 | 26.13 | 2.579 |
| 5-2-10 | 100.00 | 0.00358 | 5.35 | 8.18 | 1.529 |




(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

Fig. 5-2-2　庫外漏れ時の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積（風量 0 m$^3$/min）

$$T_V=4.41\times10^5\times\left(\frac{M}{A}\right)^2-1.42\times10^3\times\left(\frac{M}{A}\right)+3.94 \quad \text{(風量 0 m}^3\text{/min, leak outside)} \tag{5-2-1}$$

$$V_V=8.90\times10^1\times\left(\frac{M}{A}\right)+2.58 \quad \text{(風量 0 m}^3\text{/min, leak outside)} \tag{5-2-2}$$

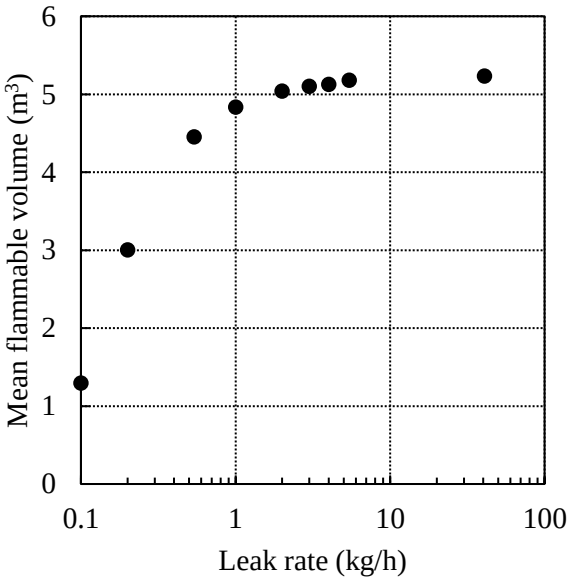
リスクアセスメントにおいて，使用時の着火確率は，凝縮器ユニットのファン運転時及びファン停止時の着火確率を加重平均して求める．ショーケースの下部の凝縮器ユニットからの漏えいには，ショーケースの種類によらず，平形ショーケースの式を適用できるものとし，停止時は式(5-2-1)及び式(5-2-2)を用いる．運転時は後述の式(5-2-5)を満足する風量以上になっており可燃域は生成されないものとする．作業時の値は停止時の式を用いて求める．

### 5.2.2　漏えい速度の影響

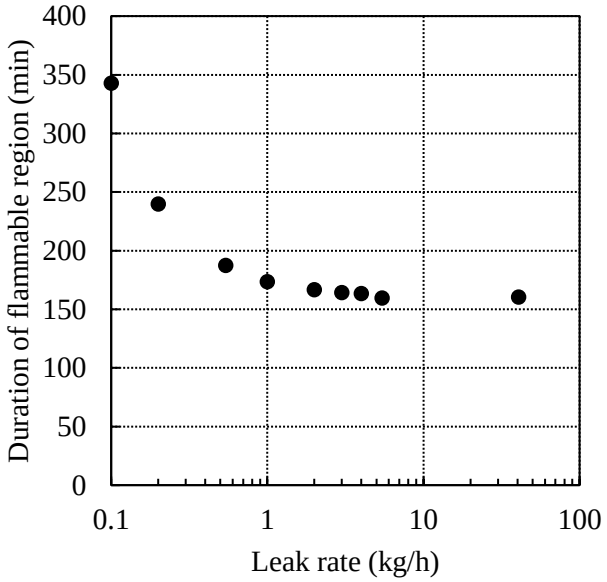
次に，漏えい速度が可燃域に与える影響を検討する解析を行った．部屋の大きさ 24.01 m$^2$（4.9 m×4.9 m），冷媒量 500 g，凝縮器ユニット風速 0 m/s の時，漏えい速度を 0.1～40.71 kg/h の間で変化させて解析を行った．結果を Table 5-2-3 及び Fig. 5-2-3 に示す．漏えい速度が 2 kg/h 以上の場合は，可燃域継続時間，平均可燃空間体積及び時空積の計算結果には殆ど違いはなく，漏えい速度が 2 kg/h を下回ると，平均可燃空間体積が徐々に低下し始め，漏えい速度が 2 kg/h の時に対して 0.2 kg/h では約 60 %になり，0.1 kg/h では約 25 %になった．しかし，冷媒量が同一のため，漏えい速度が低下すると漏えい終了までの時間が長くなり，可燃域継続時間が増加する．そのため，結果的に，時空積としては，漏えい速度が 0.54 kg/h 以上の場合は殆ど変わらず，0.2 kg/h では少し値が小さくなるが，0.1 kg/h でも漏えい速度が大きい時の約 50 %の値がある．このことより，ショーケースの下部にある凝縮器ユニットからの冷媒漏えいにおいては，漏えい速度が 0.1～0.2 kg/h 位まで小さくならない限り，漏えい速度が変化しても可燃域の生成状況（時空積）にはあまり影響がなく，微少漏れ（R290 の場合は 0.54 kg/h）でも十分に大きな可燃域が生成されるといえる．よって，リスクアセスメントでは，微少漏れを含む全ての漏えいを考慮して着火確率を計算する必要がある．なお，リスクアセスメントは 4 分全量漏れ（R290 の場合は 7.5 kg/h）の時の時空積を用いて行うが，解析結果からこの設定に大きな問題はないことも分かった．

Table 5-2-3　漏えい速度変化時の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積（風量 0 m³/min）

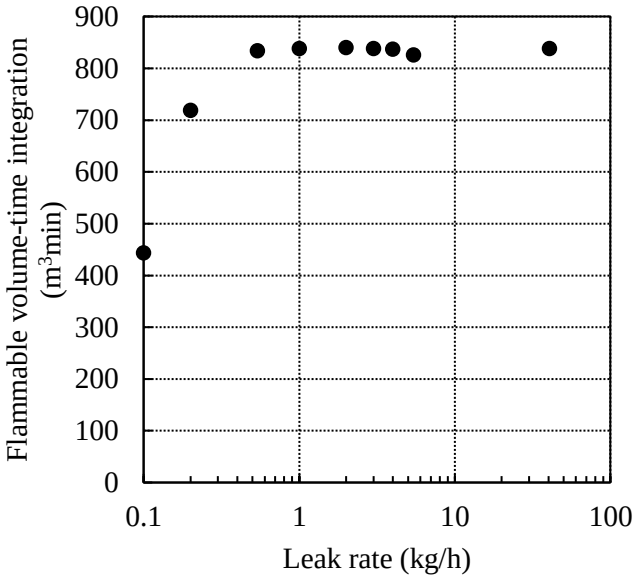
| Case | 漏えい速度 (kg/h) | 可燃域継続時間 (min) | 時空積 (m³・min) | 平均可燃空間体積 (m³) |
|---|---|---|---|---|
| 5-2-11 | 40.71 | 160.29 | 838.48 | 5.23 |
| 5-2-12 | 5.43 | 159.58 | 826.26 | 5.18 |
| 5-2-13 | 4.0 | 163.33 | 837.22 | 5.13 |
| 5-2-14 | 3.0 | 164.33 | 838.09 | 5.10 |
| 5-2-15 | 2.0 | 166.75 | 840.46 | 5.04 |
| 5-2-16 | 1.0 | 173.50 | 838.39 | 4.83 |
| 5-2-17 | 0.54 | 187.29 | 834.12 | 4.45 |
| 5-2-18 | 0.2 | 239.67 | 719.13 | 3.00 |
| 5-2-19 | 0.1 | 342.83 | 443.85 | 1.29 |




(a) 平均可燃空間体積




(b) 可燃域継続時間




(c) 時空積

Fig. 5-2-3　漏えい速度変化時の計算結果

### 5.2.3　ドア上下隙間の影響

平形ショーケースを設置した部屋にドアを設置しドア上下隙間を考慮した場合と考慮しなかった場合の違いを解析した．店舗内空間のモデル図を Fig. 5-2-4 に示す．正方形店舗にはドアを設置し，ドアは平形ショーケースの長手方向に平行に配置し，部屋の一面の壁の天井両隅に 0.4 m×0.4 m の圧力境界を設置した．店舗内のドアは幅 1.8 m，高さ 1.875 m（隙間含む），ドア上隙間 10 mm，ドア下隙間 10 mm とした．冷媒は R290 が 500 g，店舗の天井高さは 2.2 m とし，床面積を 24.01（4.9 m×4.9 m），36.0（6.0 m×6.0 m），64.0（8.0 m×8.0 m），100.0 $m^2$（10.0 m×10.0 m）と変化させた．

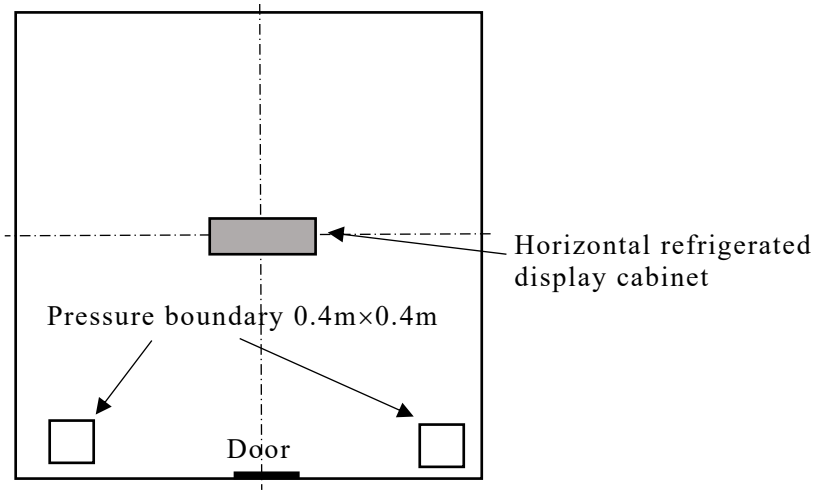



Fig. 5-2-4　ドア付き店舗の解析モデル（平形ショーケース）

床面積，ドア上下隙間有無を変化させた場合の解析結果を Table 5-2-4 に示す．ドア上下隙間無に対する解析結果（Case 5-2-1～5-2-5）は Table 5-2-2 に記載のものを転記した．

これより以下のことが分かる．

①ドア上下隙間有の時はドア上下隙間無の時に比べ，可燃域継続時間・時空積・平均可燃空間体積ともに小さくなる．床面積が小さい方がより差が大きく，ドア上下隙間無の時の値に対するドア上下隙間有の時の値の比は，24.01 $m^2$ の時で，可燃域継続時間は 25.0 %，時空積は 13.8 %，平均可燃空間体積は 55.4 %であり，リーチインショーケースの時よりも値の差が大きくなった．一方，床面積が 100 $m^2$ の時は，可燃域継続時間は 97.9 %，時空積は 92.2 %，平均可燃空間体積は 93.9 %であり，ドア上下隙間有の方が若干値が小さいが大きな差はない．

Table 5-2-4　解析結果（平形ショーケース）

| Case | 床面積 ($m^2$) | ドア上下隙間 | 可燃域継続時間 (min) | 時空積 ($m^3$・min) | 平均可燃空間体積 ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| (5-2-2) | 24.01 | 無 | 160.83 | 838.77 | 5.22 |
| 5-2-20 | | 有 | 40.17 | 115.97 | 2.89 |
| － | | (比率) | (0.2498) | (0.1383) | (0.5536) |
| (5-2-3) | 36 | 無 | 66.13 | 338.96 | 5.13 |
| 5-2-21 | | 有 | 33.75 | 124.86 | 3.70 |
| － | | (比率) | (0.5104) | (0.3684) | (0.7212) |
| (5-2-4) | 64 | 無 | 19.79 | 90.86 | 4.59 |
| 5-2-22 | | 有 | 16.95 | 70.81 | 4.18 |
| － | | (比率) | (0.8565) | (0.7793) | (0.9107) |
| (5-2-5) | 100 | 無 | 8.75 | 25.62 | 2.93 |
| 5-2-23 | | 有 | 8.57 | 23.61 | 2.75 |
| － | | (比率) | (0.9794) | (0.9215) | (0.9386) |

次に，床面積 24.01 m$^2$，36 m$^2$，64 m$^2$ 及び 100 m$^2$ の時のドア上下隙間有／無の時の可燃空間体積の経時変化をそれぞれ Fig. 5-2-5～Fig. 5-2-8 に，床面積と可燃域継続時間・平均可燃空間体積・時空積の関係を Fig. 5-2-9 に示す.

平形ショーケースではリーチインショーケースとは異なり，床面積が小さい時はドア上下隙間有無により最大可燃空間体積に差がみられる.

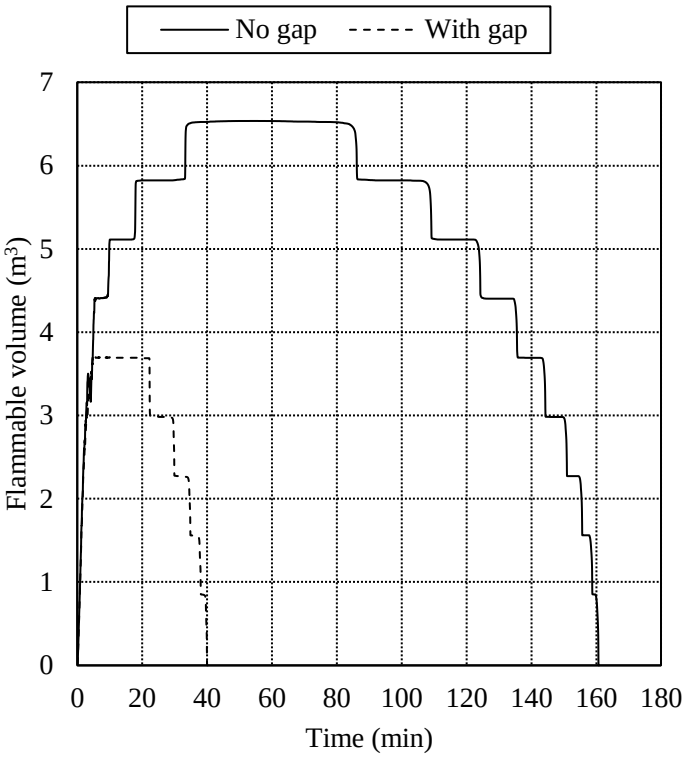



Fig. 5-2-5　可燃空間体積の経時変化（平形ショーケース・24.01 m$^2$）

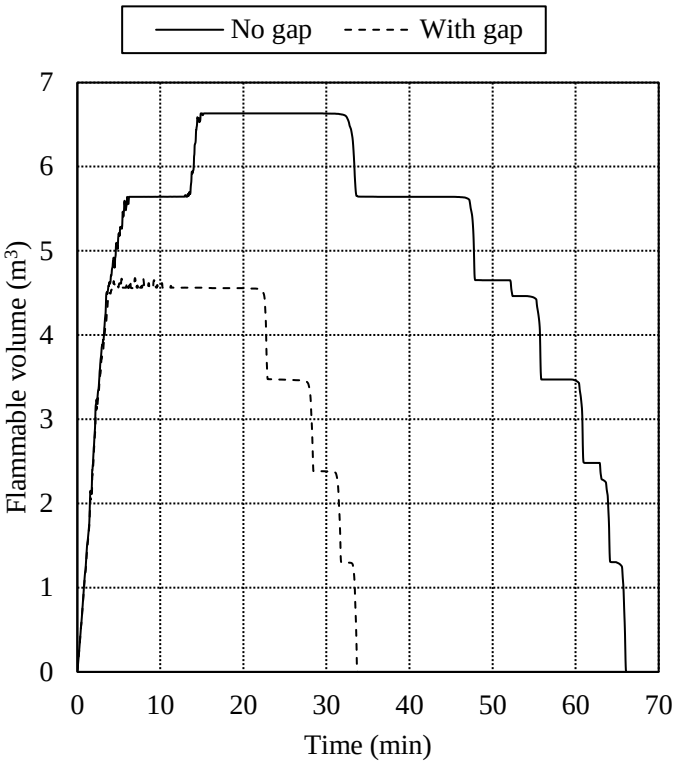



Fig. 5-2-6　可燃空間体積の経時変化（平形ショーケース・36 m$^2$）

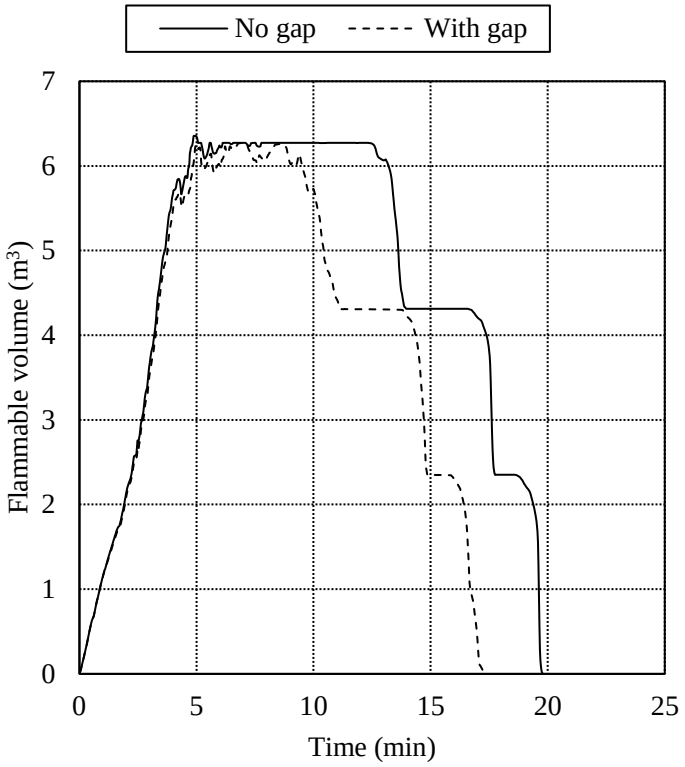



Fig. 5-2-7　可燃空間体積の経時変化（平形ショーケース・64 $m^2$）

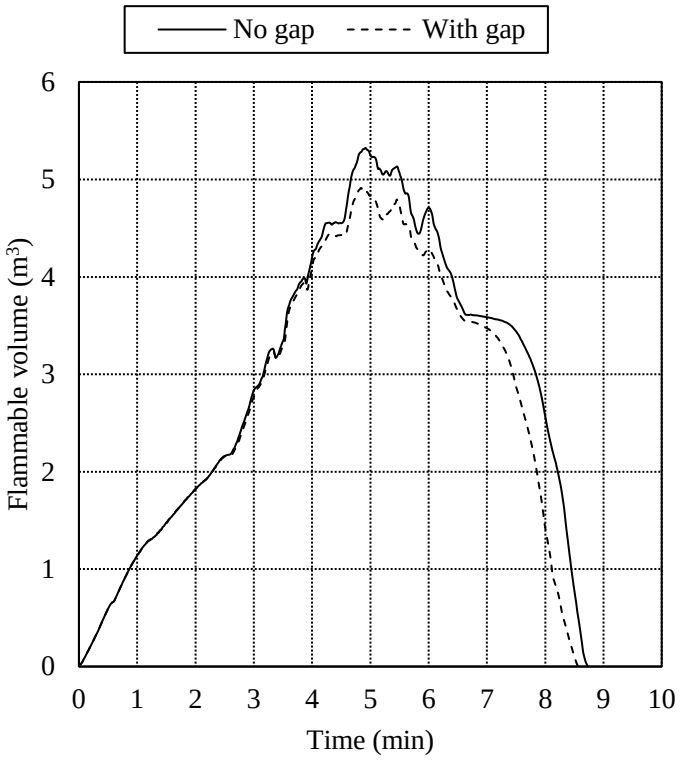
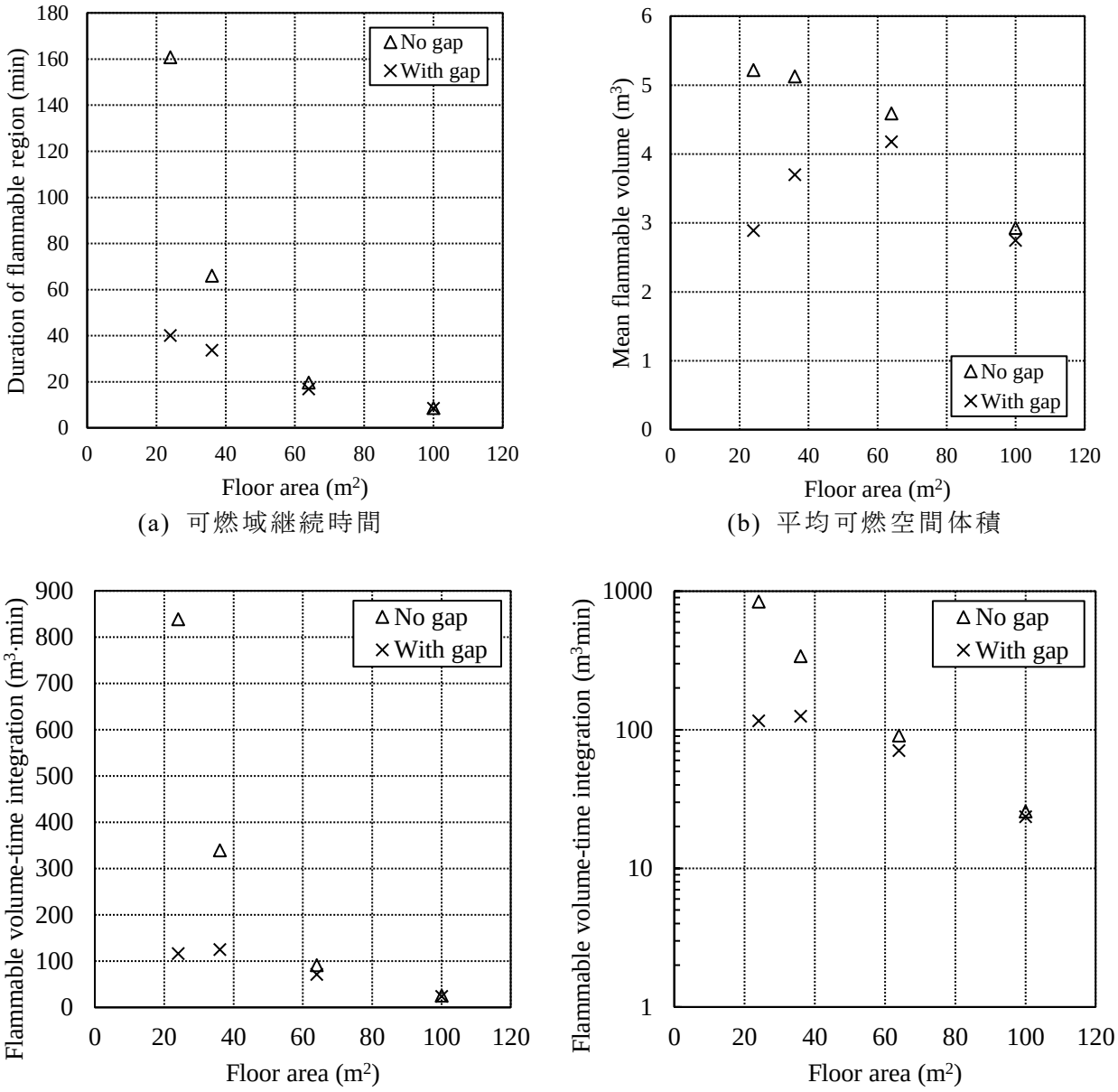



Fig. 5-2-8　可燃空間体積の経時変化（平形ショーケース・100 $m^2$）

ドア上下隙間無の時の値に対するドア上下隙間有の時の値の比は 24.01 $m^2$ で 55.4 %，36 $m^2$ で 72.1 %であったが，床面積が 64 $m^2$ 又は 100 $m^2$ になるとドア上下隙間有無による値の差が殆ど無くなる．可燃域継続時間に関しては，床面積が大きくなるにつれてドア上下隙間有無による値の差が徐々に小さくなり，ドア上下隙間無の時の値に対するドア上下隙間有の

時の値の比は，24.01 m$^2$ で 25.0 %，36 m$^2$ で 51.0 %，64 m$^2$ で 85.6 %，100 m$^2$ で 97.9 %となった．従って，店舗内床面積が 84.7 m$^2$ であるコンビニエンスストアにおいては，ドア上下隙間の影響が少なく，密閉空間に対して求めた値を使用してリスクアセスメントを行っても問題ない．リスクアセスメントを行うコンビニエンスストアは，床面積が 84.7 m$^2$ であり，リーチインショーケースの庫内からの冷媒漏えいと同様，平形ショーケースの凝縮器ユニットからの漏えいにおいても，この面積では，ドア上下隙間の影響が少なく，密閉空間に対して求めた値を使用してリスクアセスメントを行っても問題ないといえる．

ドア上下隙間有時の解析結果から求めた最小二乗近似式をそれぞれ式(5-2-3)，式(5-2-4)及び Fig. 5-2-10 の実線で示す．なお，Fig. 5-2-10 の時空積に記載の実線は式(5-2-3)と式(5-2-4)を乗じたものである．




(a) 可燃域継続時間　(b) 平均可燃空間体積

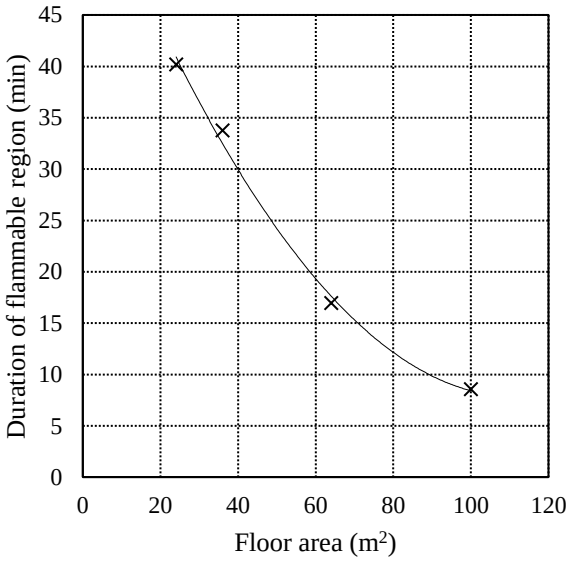
(c) 時空積　(d) 時空積（片対数）

Fig. 5-2-9　M/A に対する値の変化（平形ショーケース）

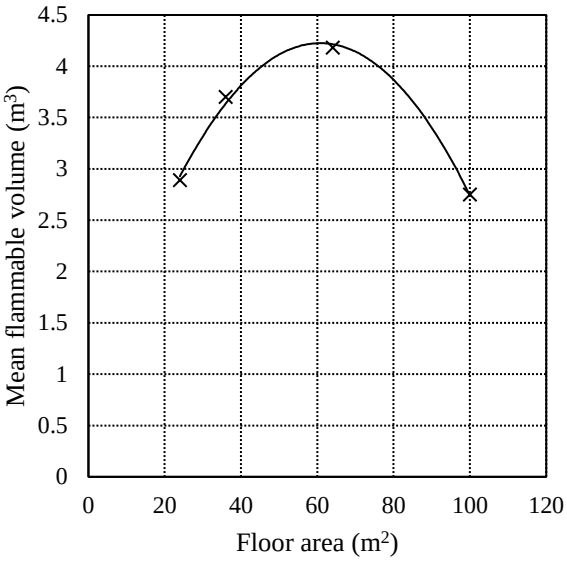
$$T_V = 4.30\times10^{-3}\times A^2 - 9.61\times10^{-1}\times A + 6.15\times10^{1} \quad (0\ \mathrm{m^3/min,\ leak\ outside}) \quad (5\text{-}2\text{-}3)$$

$$V_V = -9.61\times10^{-4}\times A^2 + 1.17\times10^{-1}\times A + 6.78\times10^{-1} \quad (0\ \mathrm{m^3/min,\ leak\ outside}) \quad (5\text{-}2\text{-}4)$$

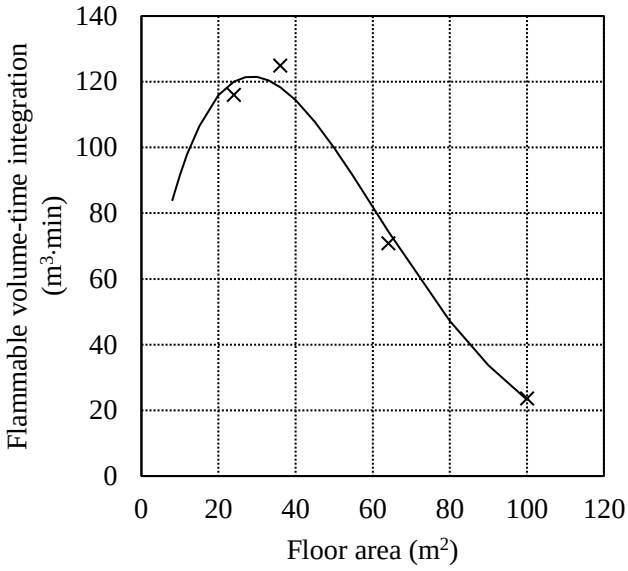
ここで，　$A$　：　床面積　($m^2$)
　　$T_V$　：　可燃空間継続時間　(min)
　　$V_V$　：　平均可燃空間体積　($m^3$)




(a) 可燃域継続時間




(b) 平均可燃空間体積




(c) 時空積

Fig. 5-2-10　床面積に対する値の変化（平形ショーケース）

床面積が大きい場合（コンビニエンスストア店舗内など）は，ドア上下隙間の影響が小さいため，リスクアセスメントには，密閉空間に対する近似式（式(5-2-1)，式(5-2-2)）を使用する．狭小店舗（駅ナカコンビニ）では 24.01 $m^2$ と床面積が小さいためドア上下隙間の影響が大きく，リスクアセスメントには，ドア上下隙間有に対する近似式（式(5-2-3)，式(5-2-4)）を使用する．運転時は後述の式(5-2-5)を満足する風量以上になっており可燃域は生成されないものとする．なお，保管時の狭小倉庫は，15 $m^2$ と床面積は小さいが，安全のため，密閉空間に対する近似式（式(5-2-1)，式(5-2-2)）を使用する．

### 5.2.4　冷媒種の影響

冷媒の種類を変化させた場合の平形ショーケースの凝縮器ユニットからの漏えい解析を行った．冷媒量は 13×LFL kg，漏えい速度は 4 分全量漏れ，部屋の高さは 2.2 m とし，部屋の床面積は安全係数［＝冷媒量 M(kg)／{LFL(kg/m$^3$)×天井高さ H(m)×床面積 A(m$^2$)}］が 0.25 になる値に設定し，凝縮器ユニットの風速は 0 m/s とした．解析条件及び解析結果を Table 5-2-5 に示す．冷媒の物性は Table 5-2-1 の値を使用し，冷媒の LFL は R290 : 2.1 vol%，R170 : 3.1 vol%，R1270 : 2.7 vol%，R600a : 1.8 vol%，R152a : 4.8 vol%とした．なお，R290 の計算結果（Case 5-2-1～5-2-5）は Table 5-2-2 に記載のものを比較のために転記した．

解析の結果，分子量が R290 よりも小さい R170 及び R1270 では，R290 よりも可燃域継続時間及び平均可燃空間体積が殆どの条件で小さくなったが，分子量が R290 よりも大きい R600a では，R290 に対して可燃域継続時間が 4～20 %程度，平均可燃空間体積が 1～3 %程度大きくなった．また，分子量は R290 よりも大きいが A2 冷媒である R152a では，殆どの条件で R290 よりも可燃域継続時間及び平均可燃空間体積が小さくなった.以上の結果より，R600a においては，R290 よりも未対策時の着火確率が若干大きくなる可能性がある．

Table 5-2-5　庫外漏れ時の計算条件及び計算結果（R290 以外の冷媒）

| Case | 冷媒 | LFL(% (kg/m$^3$)) | 冷媒量(g) | 漏えい速度(kg/h) | 部屋サイズ (m$^2$(m×m)) | 可燃域継続時間(min) | 時空積 (m$^3$･min) | 平均可燃空間体積(m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (5-2-1) | R290 | 2.1 (0.038) | 500 | 7.5 | 15.21 (3.9×3.9) | 431.63 | 2207.3 | 5.11 |
| (5-2-2) | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 24.01 (4.9×4.9) | 160.83 | 838.77 | 5.22 |
| (5-2-3) | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 36 (6×6) | 66.13 | 338.96 | 5.13 |
| (5-2-4) | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 64 (8×8) | 19.79 | 90.86 | 4.59 |
| (5-2-5) | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 100 (10×10) | 8.75 | 25.62 | 2.93 |
| 5-2-24 | R170 | 3.1 (0.038) | 500 | 7.5 | 15.21 (3.9×3.9) | 332.83 | 1447.88 | 4.35 |
| 5-2-25 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 24.01 (4.9×4.9) | 131.50 | 530.68 | 4.04 |
| 5-2-26 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 36 (6×6) | 51.33 | 219.72 | 4.28 |
| 5-2-27 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 64 (8×8) | 17.21 | 63.07 | 3.67 |
| 5-2-28 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 100 (10×10) | 9.92 | 26.07 | 2.63 |
| 5-2-29 | R1270 | 2.7 (0.038) | 598 | 8.97 | 15.21 (3.9×3.9) | 382.71 | 1878.15 | 4.91 |
| 5-2-30 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 24.01 (4.9×4.9) | 144.79 | 734.93 | 5.08 |
| 5-2-31 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 36 (6×6) | 59.50 | 293.86 | 4.94 |
| 5-2-32 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 64 (8×8) | 17.79 | 78.75 | 4.43 |
| 5-2-33 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 100 (10×10) | 8.05 | 21.37 | 2.66 |
| 5-2-34 | R600a | 1.8 (0.043) | 559 | 8.385 | 15.21 (3.9×3.9) | 507.29 | 2606.57 | 5.14 |
| 5-2-35 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 24.01 (4.9×4.9) | 187.29 | 969.56 | 5.18 |
| 5-2-36 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 36 (6×6) | 75.88 | 386.25 | 5.09 |
| 5-2-37 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 64 (8×8) | 22.25 | 104.00 | 4.67 |
| 5-2-38 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 100 (10×10) | 9.08 | 27.41 | 3.02 |
| 5-2-39 | R152a | 4.8 (0.130) | 1690 | 25.35 | 15.21 (3.9×3.9) | 424.07 | 2183.60 | 5.15 |
| 5-2-40 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 24.01 (4.9×4.9) | 155.84 | 801.63 | 5.14 |
| 5-2-41 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 36 (6×6) | 63.46 | 322.71 | 5.09 |
| 5-2-42 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 64 (8×8) | 18.20 | 81.67 | 4.49 |
| 5-2-43 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 100 (10×10) | 7.19 | 16.05 | 2.23 |

### 5.2.5　可燃域を生成しない限界風量式の検証

凝縮器ユニットからの漏えい冷媒の撹拌については，可燃域を生成しない風量として，Colbourne ら[5-2)]によって式(5-2-5)が提案されている．この式は，速度の速い噴流が，動圧分，周囲空気よりも負圧になり，周囲空気が噴流に巻き込まれるエントレインメントが発生することに基づいて作成されている．

$$Q = 60 \times \frac{5 \times \sqrt{A_0} \times (w/3600)^{3/4}}{h_0^{\ 1/8} \times [G \times (1-F)]^{5/8}} \tag{5-2-5}$$

ここで，　$A_o$　：　吹出口面積　（$m^2$）
　　$F$　：　係数（＝0.25）
　　$G$　：　LFL　（$kg/m^3$）
　　$h_o$　：　吹出口の中心線の高さ　（m）
　　$Q$　：　吹出風量　($m^3/min$)
　　$w$　：　冷媒漏えい速度　（kg/h）

ここで，安全係数 F［＝冷媒量 M(kg)／{LFL($kg/m^3$)×天井高さ H(m)×床面積 A($m^2$)}］を 0.25 とし，床面積 24.01 $m^2$（4.9 m×4.9 m），天井高さ 2.2 m の部屋に置かれた平形ショーケースの下部の凝縮器ユニットからの冷媒漏えいの解析を行った．平形ショーケースの吹出口面積 $A_0$ は $6.89\times10^{-2}$ $m^2$（W0.733 m×H0.094 m），吹出口の中心線高さ $h_0$ は 0.1465 m（=0.293/2），冷媒量は 13×LFL kg，漏えい速度は 4 分全量漏れとして，R290 では冷媒量 500 g・漏えい速度 7.5 kg/h，R600a では冷媒量 559 g・漏えい速度 8.385 kg/h，R152a では冷媒量 1690 g・漏えい速度 25.35 kg/h とした．なお，各冷媒の LFL は，R290 は 0.038 $kg/m^3$（2.1 vol%），R600a は 0.043 $kg/m^3$（1.8 vol%），R152a は 0.13 $kg/m^3$（4.8 vol%）とした．

解析結果を Table 5-2-6 に示す．R290 では，式(5-2-5)での計算風量に相当する風速 2.182 m/s（風量 9.022 $m^3/min$）では可燃域は生成されず，それよりも風量が 8.4 %小さい 2.0 m/s（風量 8.268 $m^3/min$）でも可燃域が生成されなかった．R600a では，式(5-2-5)での計算風量に相当する風速 2.196 m/s（風量 9.080 $m^3/min$）では可燃域は生成されず，それよりも風量が 8.9 %小さい 2.0 m/s（風量 8.268 $m^3/min$）でも可燃域が生成されなかった．R152a では，式(5-2-5)での計算風量に相当する風速 2.522 m/s（風量 10.426 $m^3/min$）では可燃域は生成されず，それよりも風量が 20.7 %小さい 2.0 m/s（風量 8.268 $m^3/min$）でも可燃域が生成されなかった．いずれの冷媒も風速が 1 m/s（風量 4.134 $m^3/min$）の時は可燃域が生成された．

以上より次のことがいえる．

i) 式(5-2-5)での計算風量では R290, R600a, R152a のいずれも可燃域が生成されなかった．

ii) 式(5-2-5)での計算風量は，実際に可燃域が生成されない風量に対して，8～20 %以上，尤度があるものと思われる（尤度は正確に求めたものではない）．

Table 5-2-6　風量限界検証計算結果

| Case | 冷媒種 | 風量 ($m^3/min$) | | 風速 (m/s) | 可燃域継続時間 (min) | 時空積 ($m^3$・min) | 平均可燃空間体積 ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| － | R290 | 4.134 | | 1.0 | | | |
| 5-2-44 | R600a | | | | 4.18 | 0.33 | 0.080 |
| 5-2-45 | R152a | | | | 6.08 | 8.95 | 1.471 |
| － | R290 | 8.268 | | 2.0 | | | |
| 5-2-46 | R600a | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-2-47 | R152a | | | | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-2-48 | R290 | 式(5-2-1)での計算値 | 9.022 | 2.182 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-2-49 | R600a | | 9.080 | 2.196 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-2-50 | R152a | | 10.426 | 2.522 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

## 5.3　多段形オープンショーケース

### 5.3.1　庫内漏えい解析

多段形オープンショーケースの解析モデルを Fig. 5-3-1 に示す．多段形オープンショーケースは，高さ 1.9 m，幅 1.8 m，奥行き 0.76 m で，下部には凝縮器ユニットがあり，ショーケースの前面から吸気し，ショーケースの背面を通って，上部に排気する風路構造となっている．背面ダクトは，左右端厚み 0.107 m，ダクト幅 1.586 m，奥行 0.090 m とした．凝縮器ユニットは，開口部面積を $9.66\times10^{-2}$ $m^2$（W1.022 m×H0.0945 m），開口部の中心の高さを 0.154 m とし，風量を 0～17.38 $m^3$/min（風速 0～3 m/s）の間で変化させた．ショーケース庫内の前面の上部から下部に向かって流れるエアカーテンが有る場合の庫内漏えい解析を行った．エアカーテンは，一重エアカーテンとし，吹出部は，開口面積 0.1296 $m^2$（1.8 m×0.072 m），風速 0.88 m/s，風量 6.84 $m^3$/min とした．ショーケースは，背面吹き出し（庫内の背面から前面に向けての吹き出し）が無いタイプのものとする．Fig. 5-3-2 に店舗モデル（ハーフモデル）を示す．店舗は高さ 2.7 m×幅 5.487 m×奥行き 3.35 m で，ショーケースを店舗の幅方向の壁面中央に設置し，ショーケース中央に対称境界を設置し，ショーケースの対面側の壁面一面を圧力境界に設定した．冷媒は R290 とし，冷媒量は 358 g 又は 500 g とした．物性値は Table 5-2-1 に示す 25 ℃・大気圧の値を用い，LFL は 2.1 vol%，UFL は 9.5 vol%とし，拡散係数は Table 5-2-1 に記載の分子拡散の式を用いて計算し $1.12\times10^{-5}$ $m^2$/s とした．漏えい速度と凝縮器ユニット風速を Table 5-3-1 のように変化させて解析を行い，濃度分布図によって庫外に可燃域が生成されるか否かを判断した．なお，凝縮器ユニット風速 1 m/s は 5.79 $m^3$/min，2 m/s は 11.59 $m^3$/min，3 m/s は 17.38 $m^3$/min に相当する．

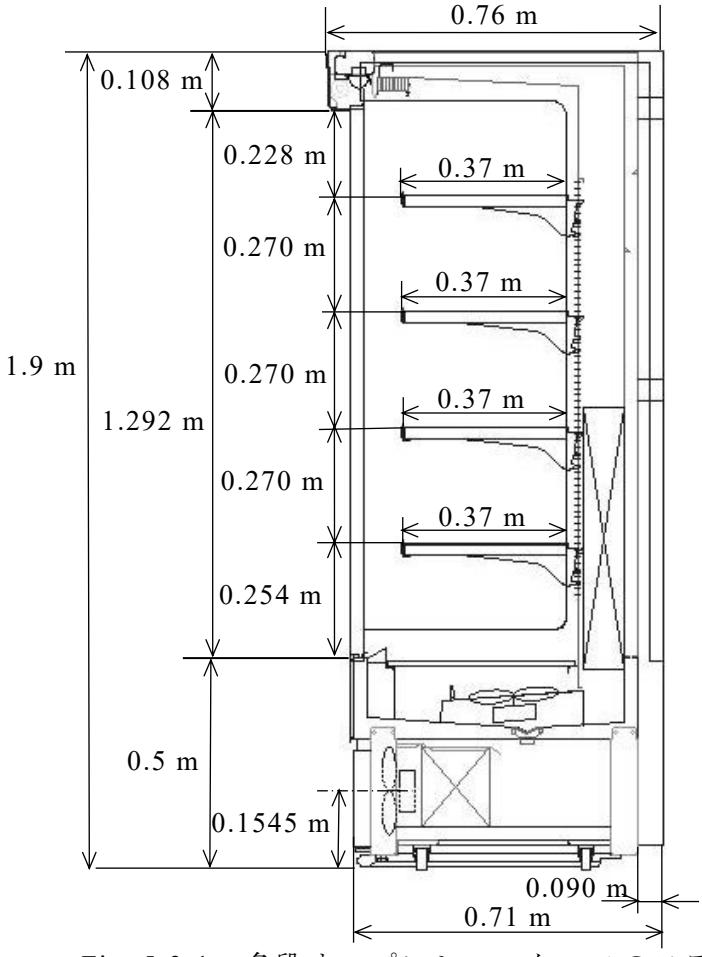



Fig. 5-3-1　多段オープンショーケースのモデル

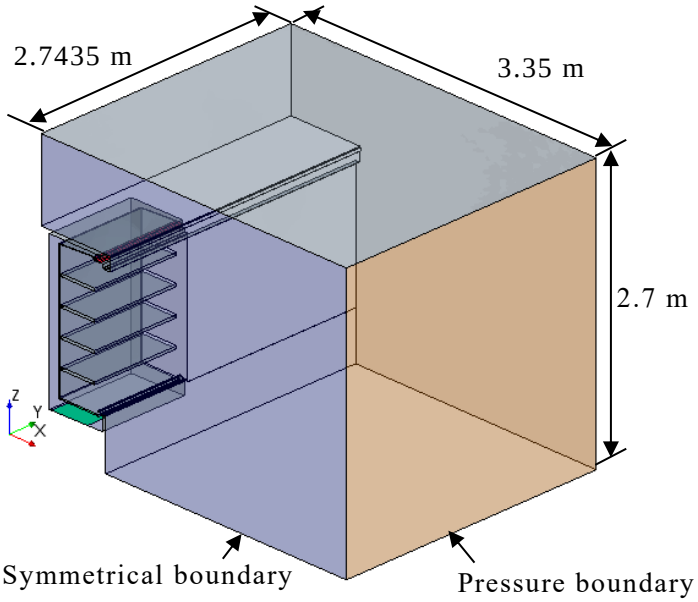


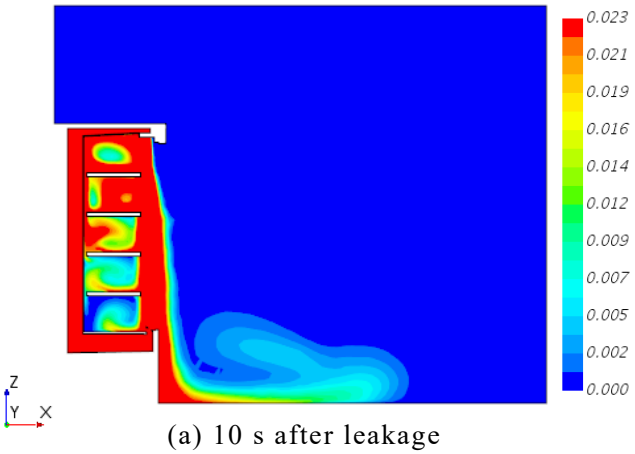

Fig. 5-3-2　店舗モデル

Table 5-3-1　計算条件（R290・庫内漏れ）

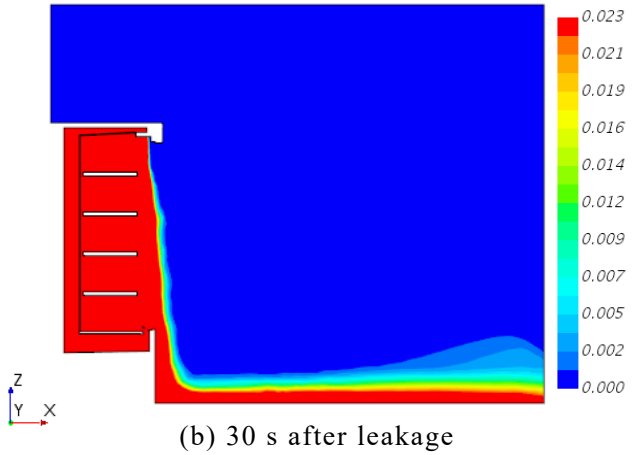
| Case | 冷媒 | 冷媒量 (g) | 漏えい速度 (kg/h) | ユニット風速 (m/s) | ユニット風量 ($m^3$/min) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5-3-1 | R290 | 500 | 31.2（噴出漏れ） | 0.0 | 0.0 |
| 5-3-2 | ↑ | ↑ | 7.5（4 分全量漏れ） | 0.0 | 0.0 |
| 5-3-3 | ↑ | ↑ | 4.16（急速漏れ） | 0.0 | 0.0 |
| 5-3-4 | ↑ | ↑ | 31.2 | 1.0 | 5.79 |
| 5-3-5 | ↑ | ↑ | ↑ | 2.0 | 11.59 |
| 5-3-6 | ↑ | ↑ | ↑ | 3.0 | 17.38 |
| 5-3-7 | ↑ | ↑ | 7.5 | 1.0 | 5.79 |
| 5-3-8 | ↑ | ↑ | ↑ | 2.0 | 11.59 |
| 5-3-9 | ↑ | ↑ | ↑ | 3.0 | 17.38 |
| 5-3-10 | ↑ | ↑ | 4.16 | 1.0 | 5.79 |
| 5-3-11 | ↑ | ↑ | ↑ | 2.0 | 11.59 |
| 5-3-12 | ↑ | ↑ | ↑ | 3.0 | 17.38 |

解析結果である濃度分布図を以下に示す．図では可燃域を赤色で示している．

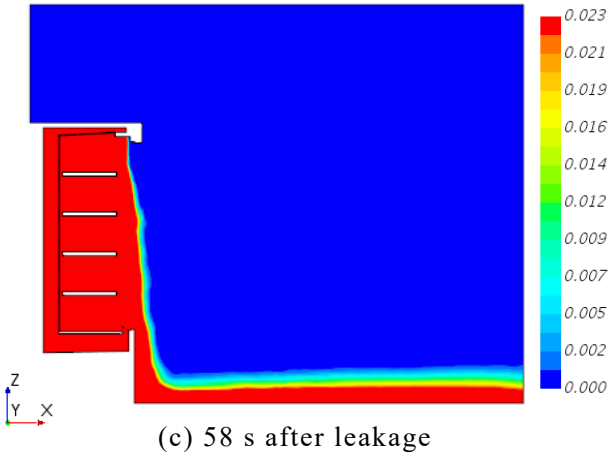
凝縮器ユニット風速 0 m/s における解析結果を Fig. 5-3-3～Fig. 5-3-5 に示す．全ての条件で庫外に可燃域が生成された．




(a) 10 s after leakage

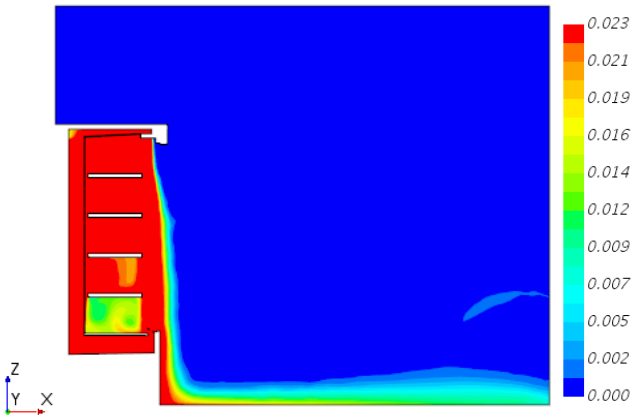



(b) 30 s after leakage

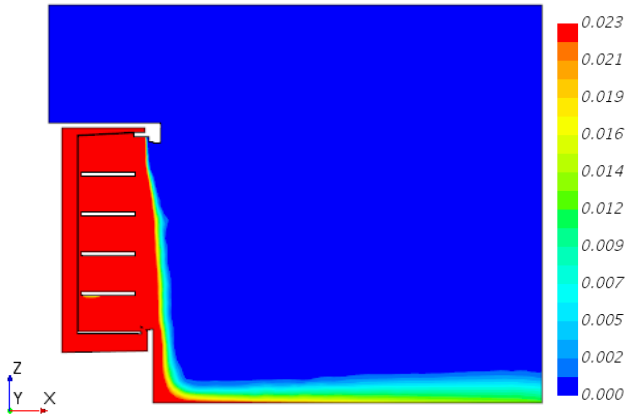



(c) 58 s after leakage

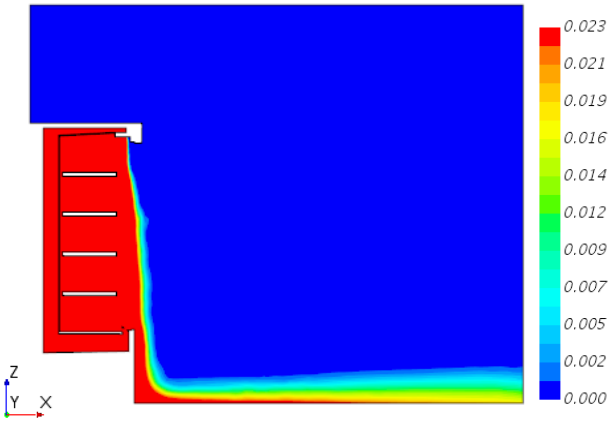
Fig. 5-3-3　Case 5-3-1 の濃度分布（R290, 500 g, 31.2 kg/h, 0 m/s)




(a) 30 s after leakage

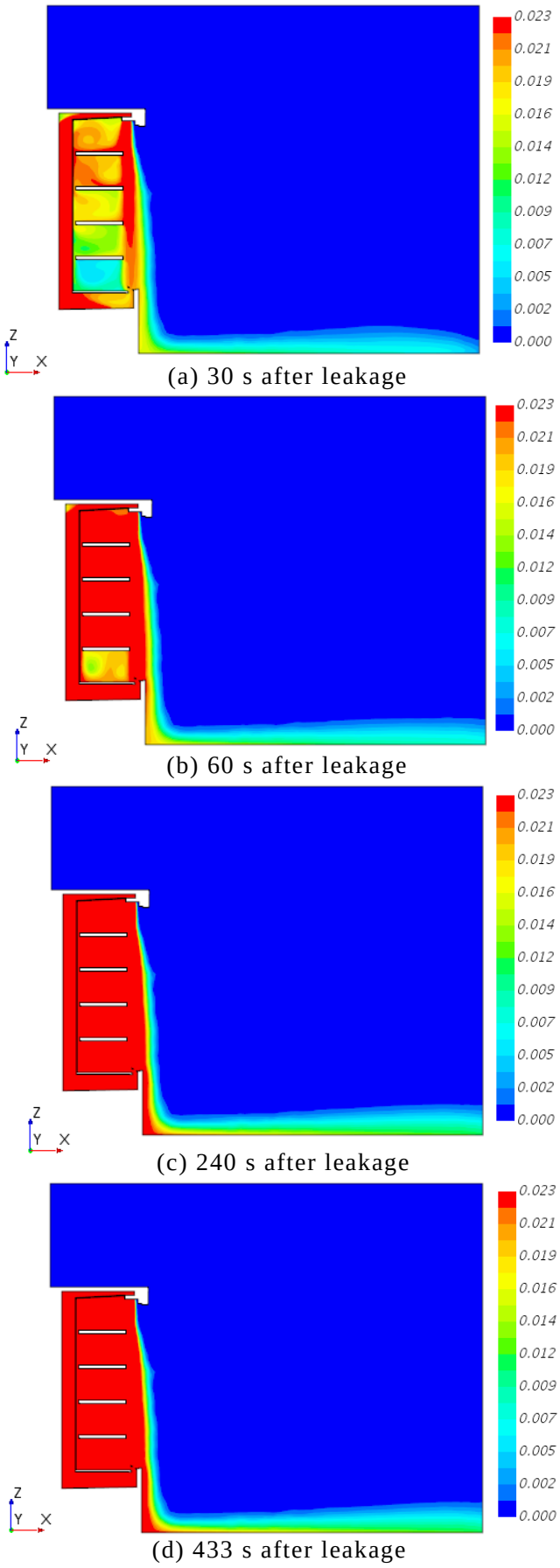



(b) 60 s after leakage




(c) 240 s after leakage

Fig. 5-3-4　Case 5-3-2 の濃度分布（R290, 500 g, 7.5 kg/h, 0 m/s）




(a) 30 s after leakage

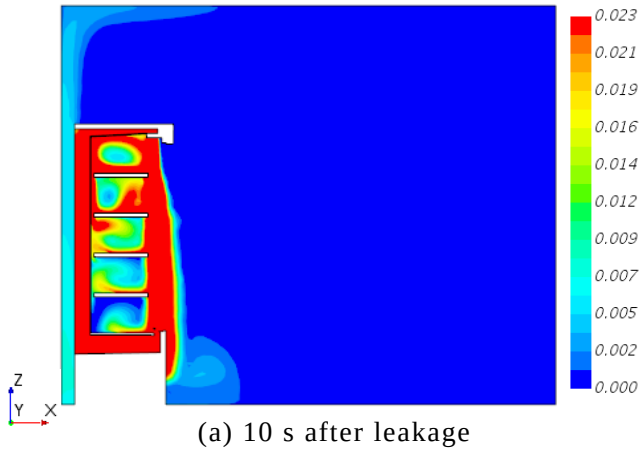
(b) 60 s after leakage

(c) 240 s after leakage

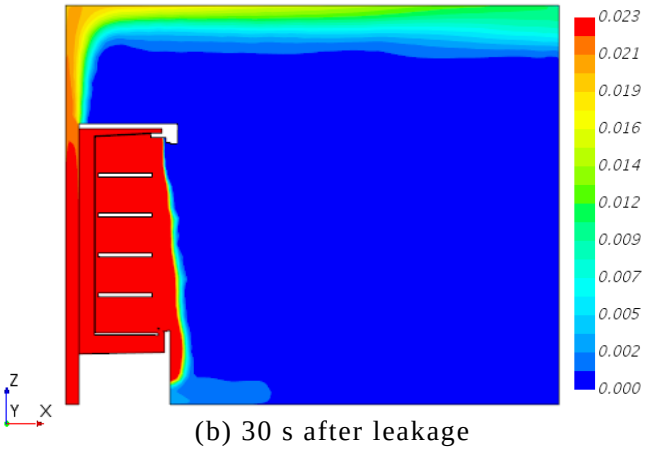
(d) 433 s after leakage

Fig. 5-3-5　Case 5-3-3 の濃度分布（R290, 500 g, 4.16 kg/h, 0 m/s）

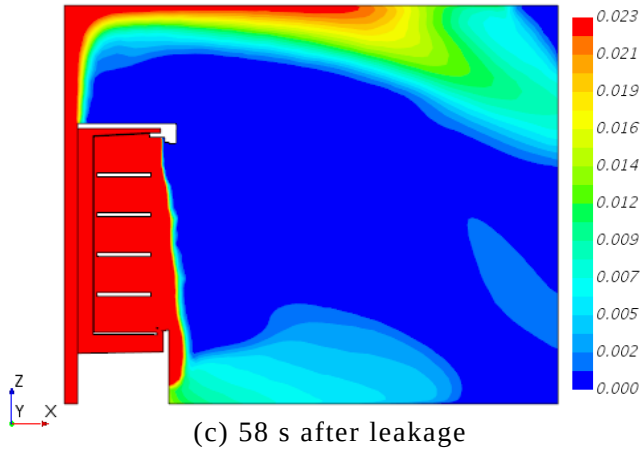
漏えい速度 31.2 kg/h（噴出漏れ）において，凝縮器ユニット風速を 1～3 m/s とした場合の解析結果を Fig. 5-3-6～Fig. 5-3-8 に示す．凝縮器ユニット風速 1 m/s（5.79 $m^3$/min）ではショーケース上部に可燃域が生成された．ショーケースの前面側では，庫外には殆ど可燃域は生成されず，庫内のエアカーテン下部とユニット空気吸込部との間にのみ可燃域が生成されたが，この間には着火源がないため，この箇所の可燃域は問題にはならない．凝縮器ユニット風速 2 m/s（11.59 $m^3$/min）以上では，庫外には殆ど可燃域は生成されなかった．



(a) 10 s after leakage

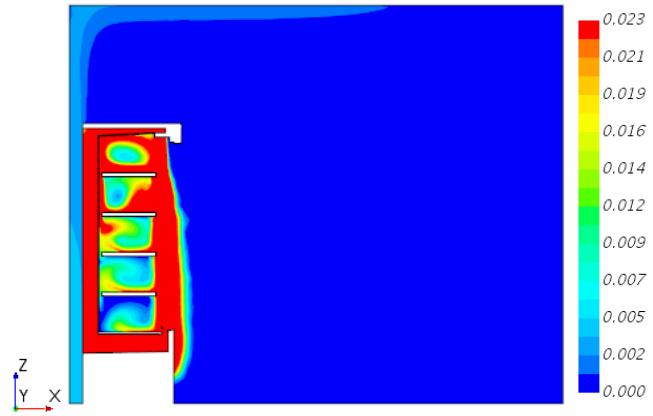


(b) 30 s after leakage

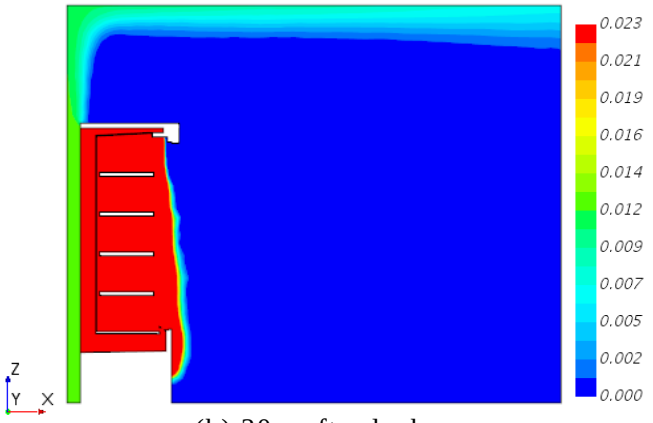


(c) 58 s after leakage

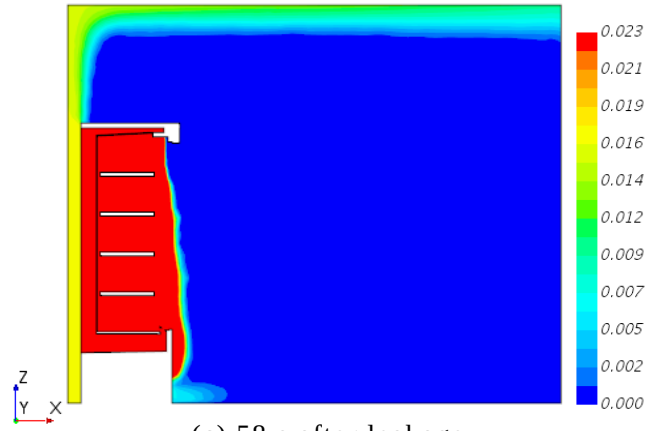
Fig. 5-3-6　Case 5-3-4 の濃度分布（R290, 500 g, 31.2 kg/h, 1 m/s (5.79 $m^3$/min)）




(a) 10 s after leakage

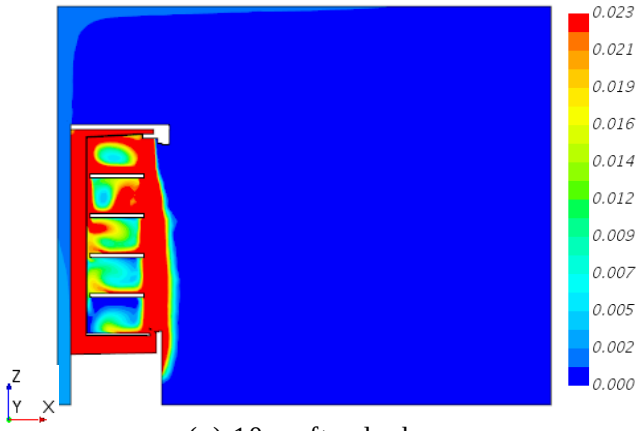



(b) 30 s after leakage

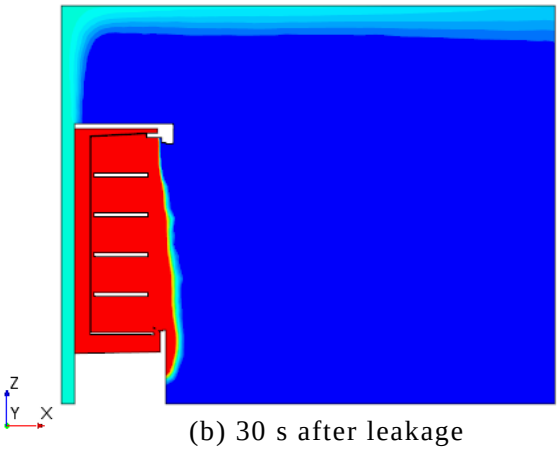



(c) 58 s after leakage

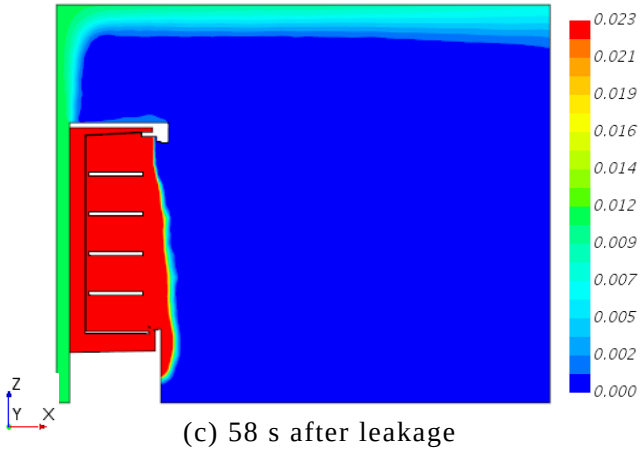
Fig. 5-3-7　Case 5-3-5 の濃度分布（R290, 500 g, 31.2 kg/h, 2 m/s (11.59 $m^3$/min)）




(a) 10 s after leakage



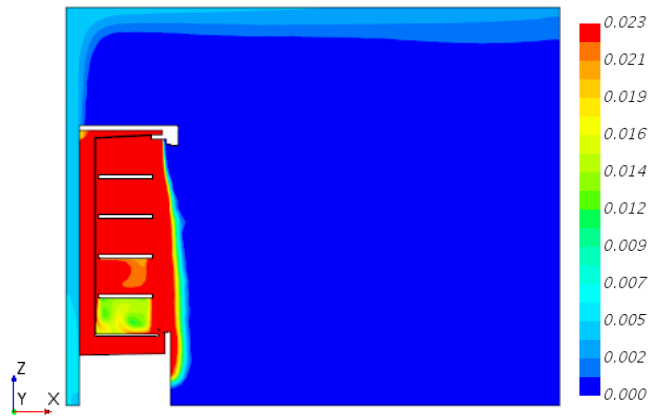

(b) 30 s after leakage



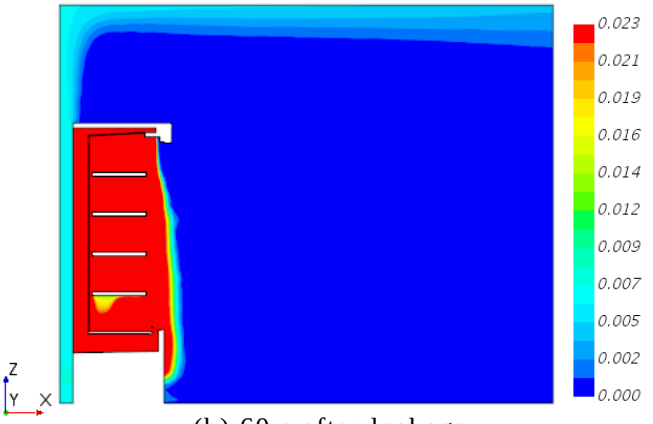

(c) 58 s after leakage

Fig. 5-3-8　Case 5-3-6 の濃度分布（R290, 500 g, 31.2 kg/h, 3 m/s (17.38 $m^3$/min)）

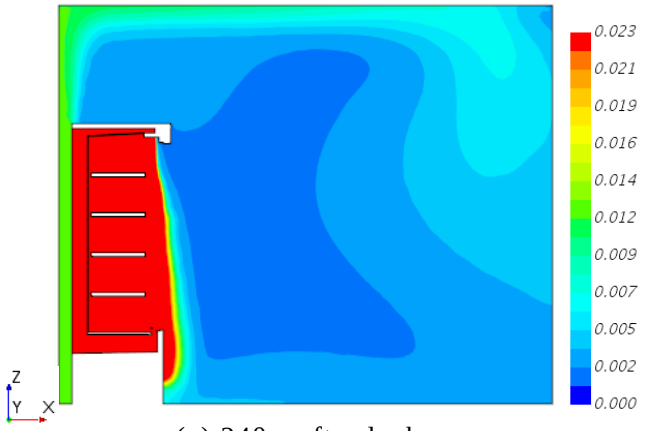
漏えい速度 7.5 kg/h（4 分全量漏れ），4.16 kg/h（急速漏れ）において，凝縮器ユニット風速を 1～3 m/s とした場合の解析結果をそれぞれ Fig. 5-3-9～Fig. 5-3-14 に示す．漏えい速度が 7.5 kg/h，4.16 kg/h の時は凝縮器ユニット風速 1 m/s（5.79 $m^3$/min）以上で，庫外には殆ど可燃域が生成されなかった．




(a) 30 s after leakage

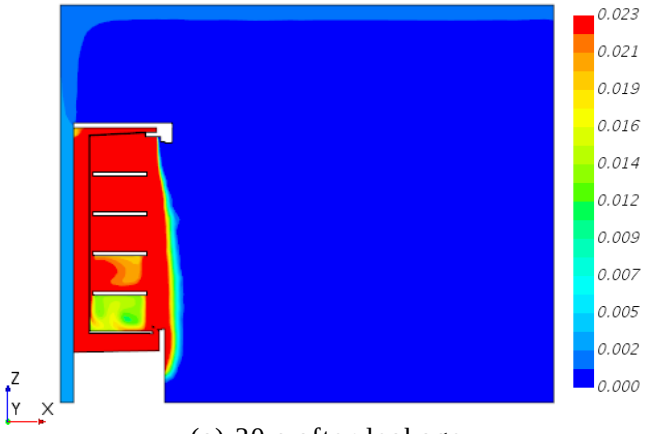



(b) 60 s after leakage

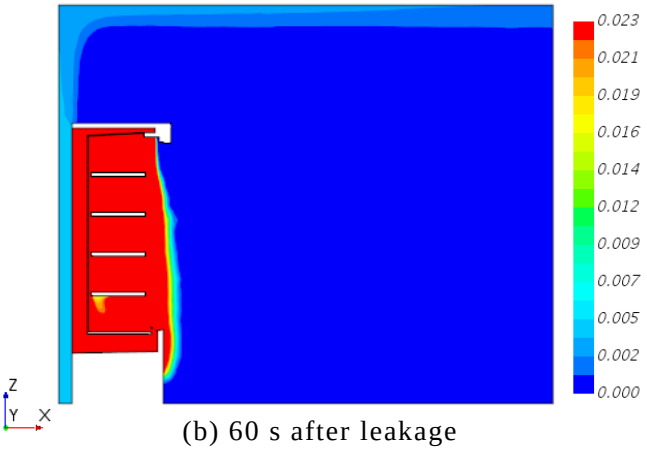



(c) 240 s after leakage

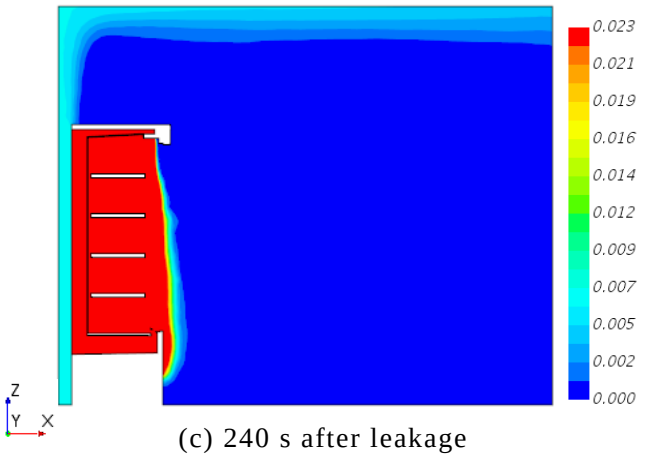
Fig. 5-3-9　Case 5-3-7 の濃度分布（R290, 500 g, 7.5 kg/h, 1 m/s (5.79 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage

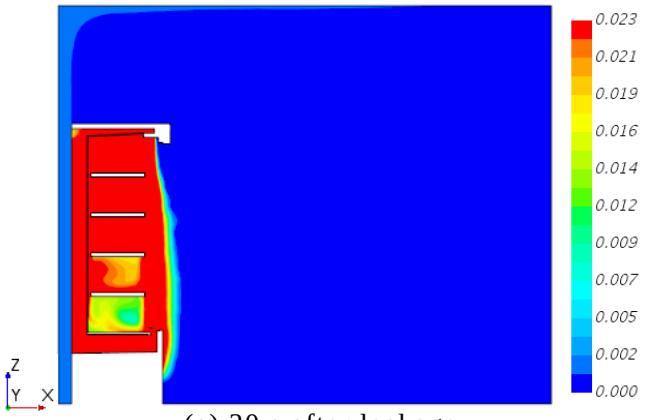



(b) 60 s after leakage

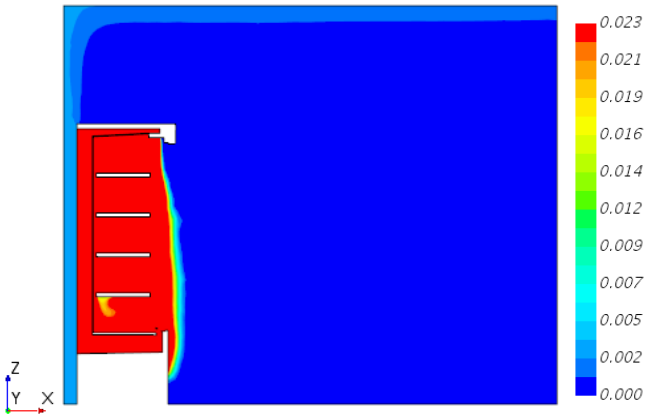



(c) 240 s after leakage

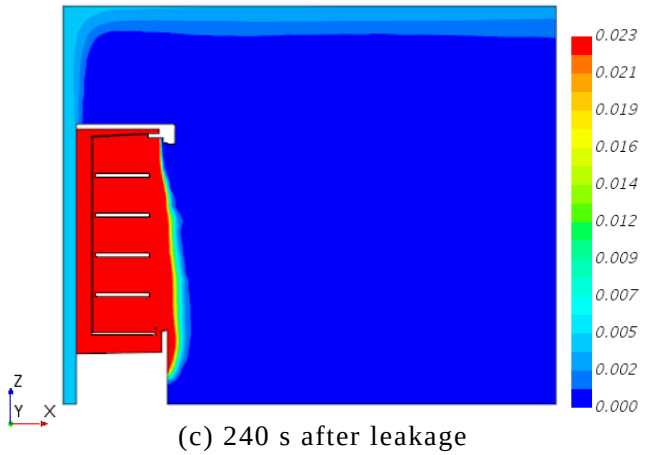
Fig. 5-3-10　Case 5-3-8 の濃度分布（R290, 500 g, 7.5 kg/h, 2 m/s (11.59 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage

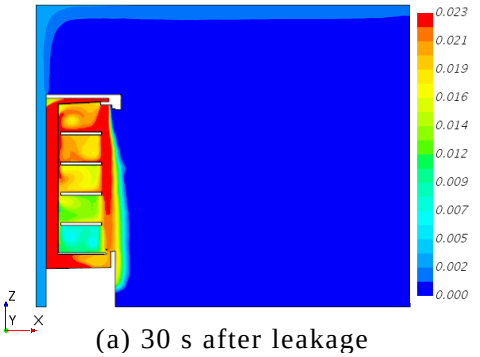



(b) 60 s after leakage

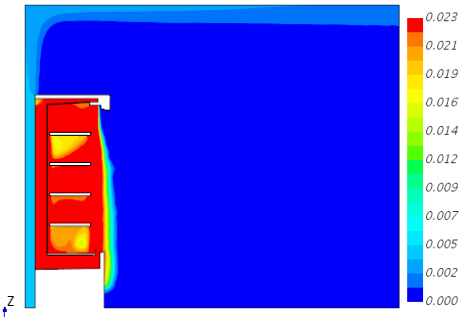



(c) 240 s after leakage

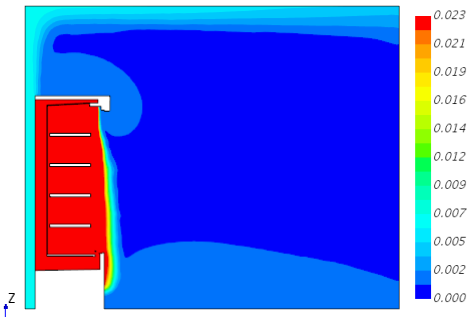
Fig. 5-3-11　Case 5-3-9 の濃度分布（R290, 500 g, 7.5 kg/h, 3 m/s (17.38 $m^3$/min)）



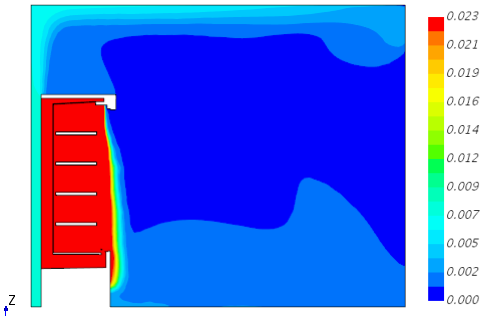

(a) 30 s after leakage




(b) 60 s after leakage

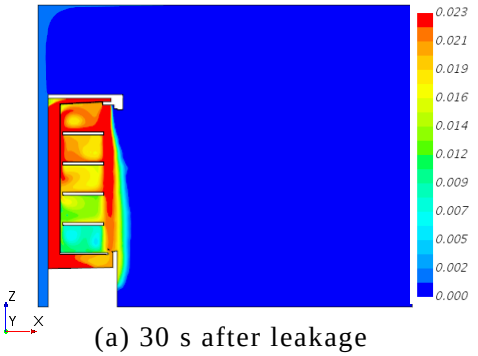



(c) 240 s after leakage

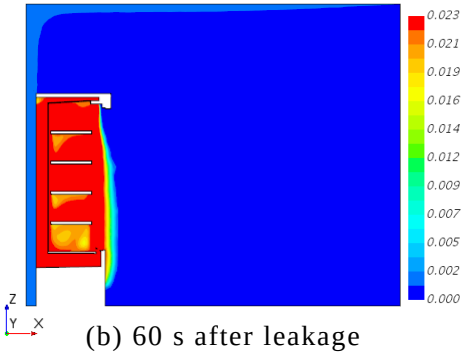



(d) 433 s after leakage

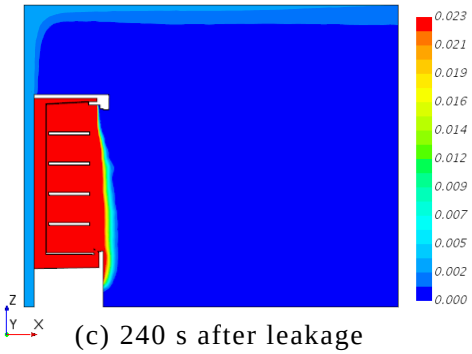
Fig. 5-3-12　Case 5-3-10 の濃度分布（R290, 500 g, 4.16 kg/h, 1 m/s (5.79 $m^3$/min)）



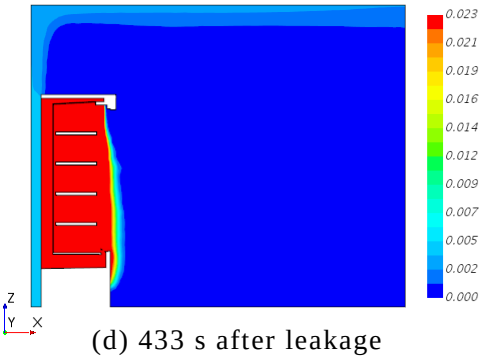

(a) 30 s after leakage




(b) 60 s after leakage




(c) 240 s after leakage




(d) 433 s after leakage

Fig. 5-3-13　Case 5-3-11 の濃度分布（R290, 500 g, 4.16 kg/h, 2 m/s (11.59 $m^3$/min)）

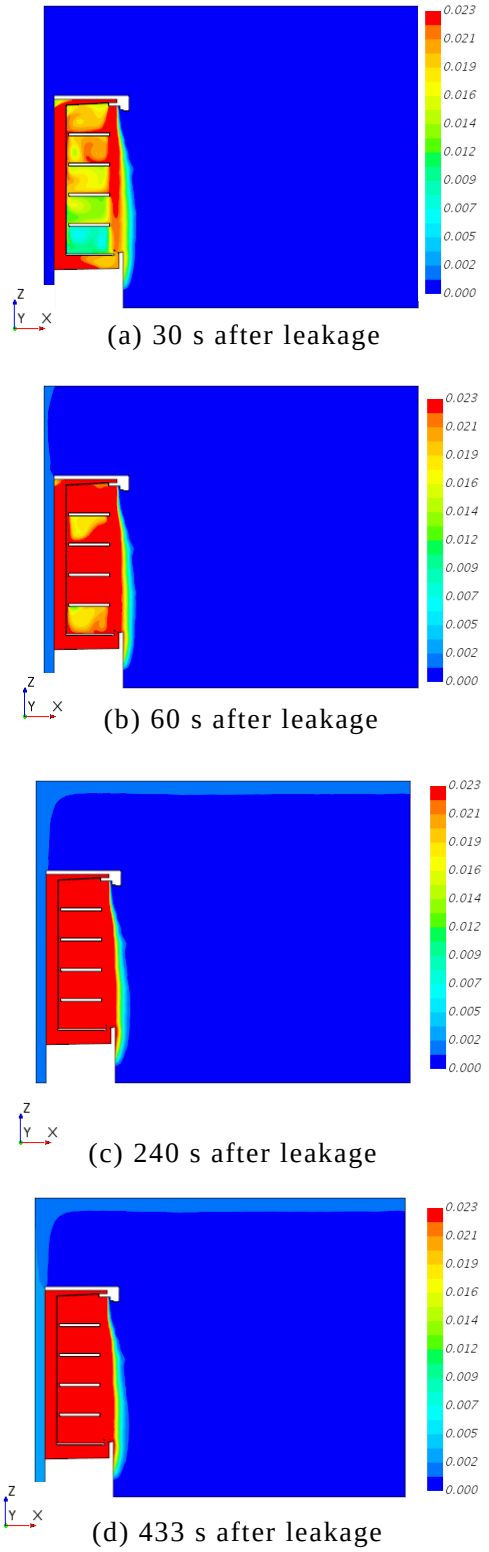



Fig. 5-3-14　Case 5-3-12 の濃度分布（R290, 500 g, 4.16 kg/h, 3 m/s (17.38 $m^3$/min)）

以上から，下ユニットで，かつ，庫内前面に風速 0.88m/s 以上のエアカーテンがある背面吹き出しがない多段形オープンショーケースでは，凝縮器ユニットの風速を 2 m/s 以上にすれば，漏えい速度によらず庫外に着火に至る有意な可燃域は生成されないといえる．

### 5.3.2　冷媒種の影響

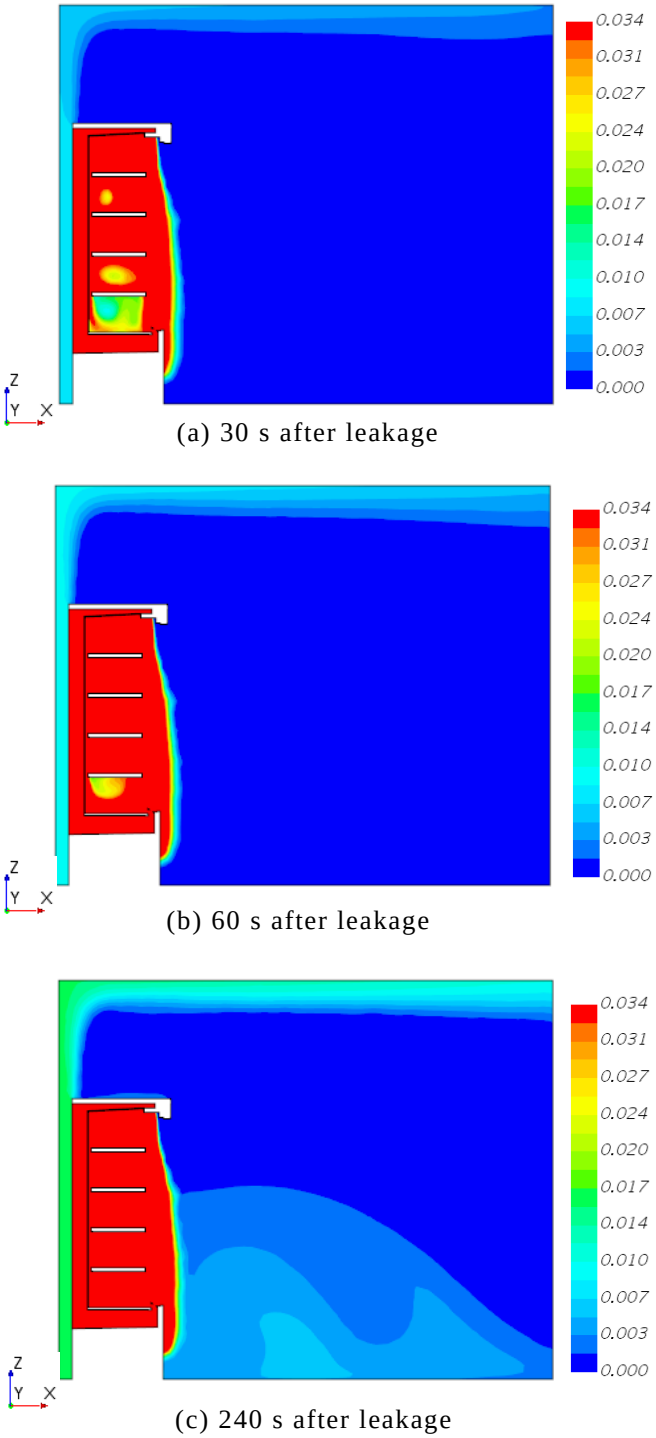
R290 以外の冷媒において，多段形オープンショーケースの庫内漏れ時に庫外に可燃域が生成されるか否かを確認する解析を行った．冷媒の LFL は R170：3.1 vol%, R1270：2.7 vol%, R600a：1.8 vol%，R152a：4.8 vol%とし，冷媒量は 13×LFL kg，漏えい速度は 4 分全量漏れとし，凝縮器ユニット風速を 1～3 m/s と変化させた（1 m/s：5.79 $m^3$/min，2 m/s：11.59 $m^3$/min，3 m/s：17.38 $m^3$/min）．冷媒の物性は Table 5-2-1 に示す 25℃・大気圧の値を使用した．R170 は分子量が 30 と小さい冷媒，R600a は分子量が 58.1 と大きい冷媒であり，R1270 は R290 に物性が近い冷媒である．R152a は A2 冷媒であり， A3 冷媒よりも分子量が大きく，LFL も大きい．なお，IEC 60335-2-89 では，可燃性冷媒の分子量は 30 以上であればよい規定となっている．

計算条件を Table 5-3-2 に示す．

Table 5-3-2　庫内漏れの計算条件（R290 以外の冷媒）

| Case | 冷媒 | 分子量 | LFL (% (kg/$m^3$)) | 冷媒量 (g) | 漏えい速度 (kg/h) | ユニット風速 (m/s) | ユニット風量 ($m^3$/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5-3-13 | R170 | 30.0 | 3.1 (0.038) | 500 | 7.5 | 1.0 | 5.79 |
| 5-3-14 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 2.0 | 11.59 |
| 5-3-15 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 3.0 | 17.38 |
| 5-3-16 | R1270 | 42.1 | 2.7 (0.038) | 598 | 8.97 | 1.0 | 5.79 |
| 5-3-17 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 2.0 | 11.59 |
| 5-3-18 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 3.0 | 17.38 |
| 5-3-19 | R600a | 58.1 | 1.8 (0.043) | 559 | 8.385 | 1.0 | 5.79 |
| 5-3-20 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 2.0 | 11.59 |
| 5-3-21 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 3.0 | 17.38 |
| 5-3-22 | R152a | 66.0 | 4.8 (0.130) | 1690 | 25.35 | 1.0 | 5.79 |
| 5-3-23 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 2.0 | 11.59 |
| 5-3-24 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | 3.0 | 17.38 |

R170 における解析結果を Fig. 5-3-15～Fig. 5-3-17 に示す．R170 は分子量が 30 と軽いため，撹拌されやすく，凝縮器ユニット風速 1 m/s（5.79 $m^3$/min）以上で庫外には殆ど可燃域が生成されなかった．

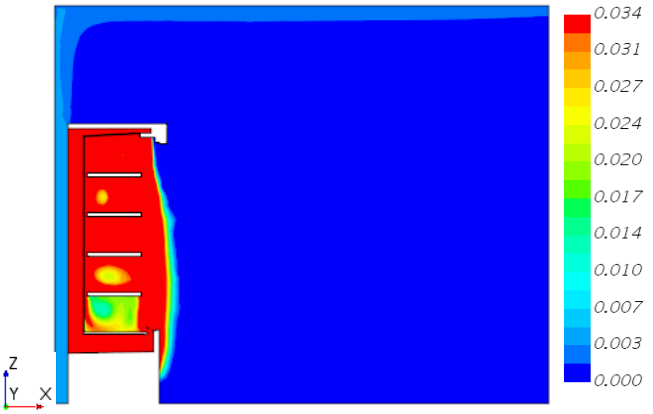



(a) 30 s after leakage

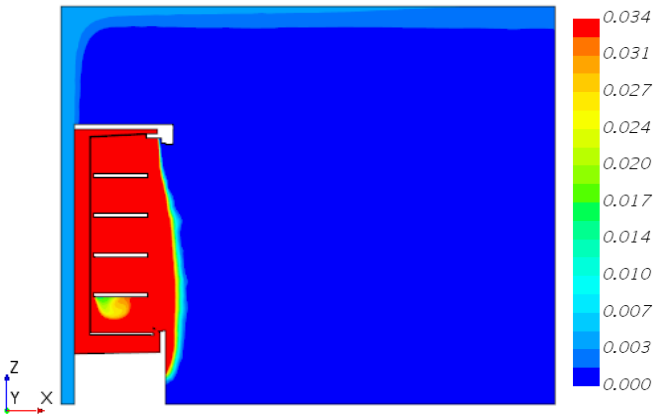
(b) 60 s after leakage

(c) 240 s after leakage

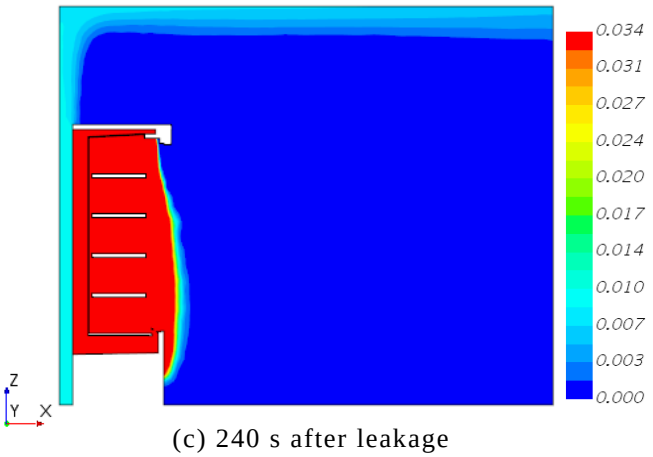
Fig. 5-3-15　Case 5-3-13 の濃度分布（R170, 500 g, 7.5 kg/h, 1 m/s (5.79 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage

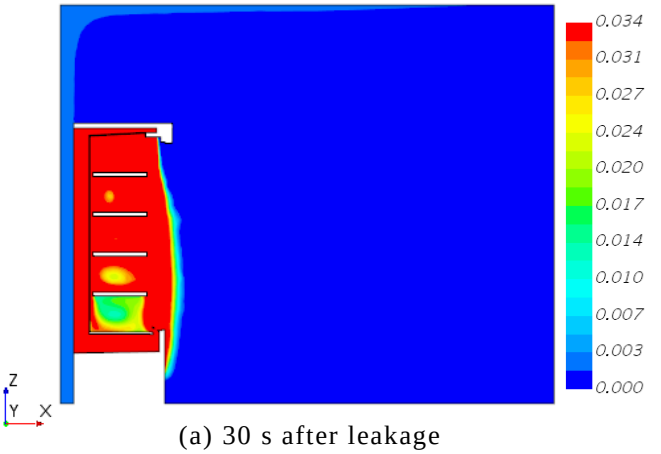



(b) 60 s after leakage

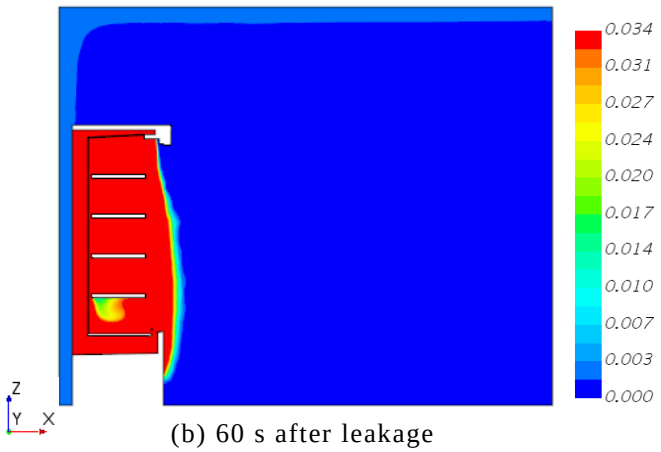



(c) 240 s after leakage

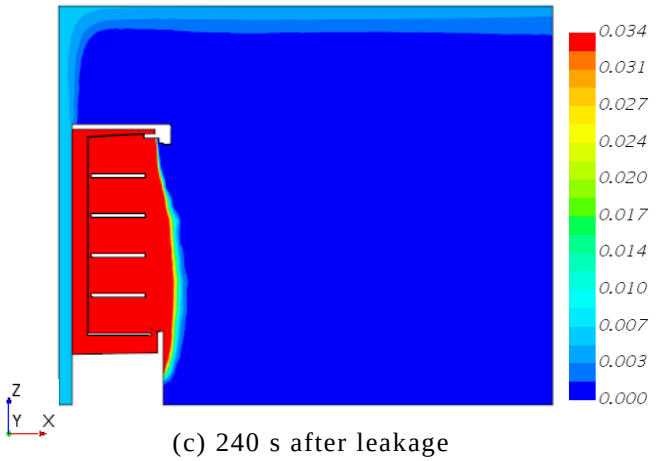
Fig. 5-3-16　Case 5-3-14 の濃度分布（R170, 500 g, 7.5 kg/h, 2 m/s (11.59 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage



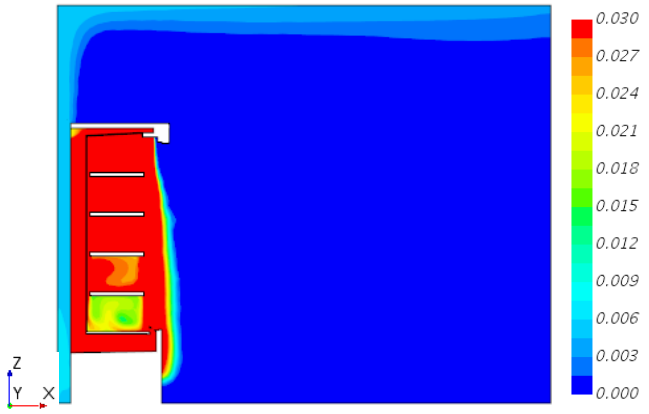

(b) 60 s after leakage



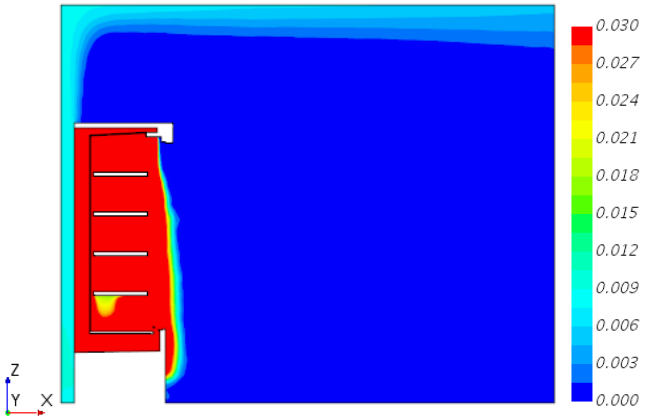

(c) 240 s after leakage

Fig. 5-3-17　Case 5-3-15 の濃度分布（R170, 500 g, 7.5 kg/h, 3 m/s (17.38 $m^3$/min)）

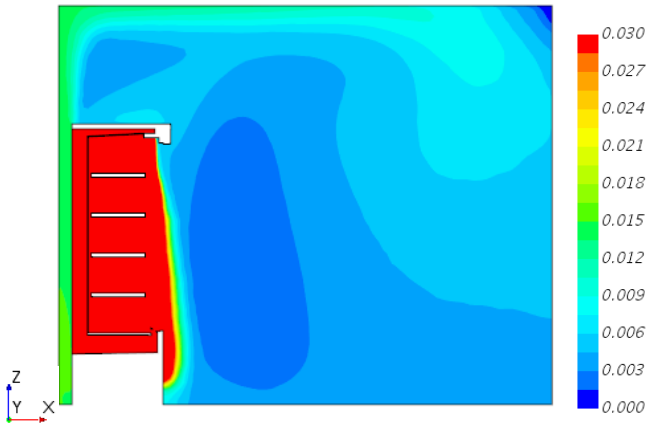
R1270 における解析結果を Fig. 5-3-18～Fig. 5-3-20 に示す．R1270 でも，凝縮器ユニット風速 1 m/s（5.79 $m^3$/min）以上では庫外に殆ど可燃域が生成されなかった．




(a) 30 s after leakage

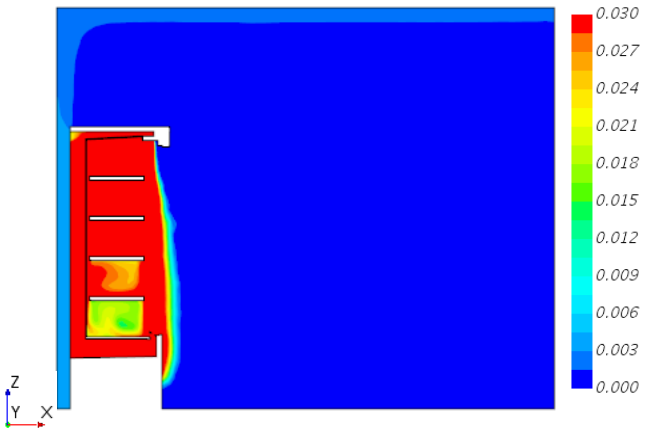



(b) 60 s after leakage

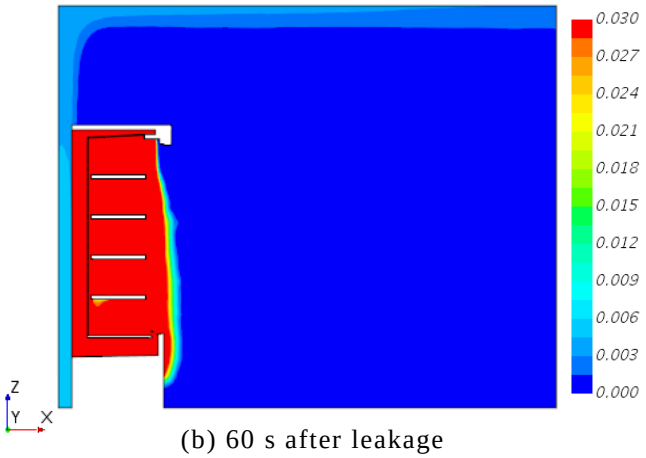



(c) 240 s after leakage

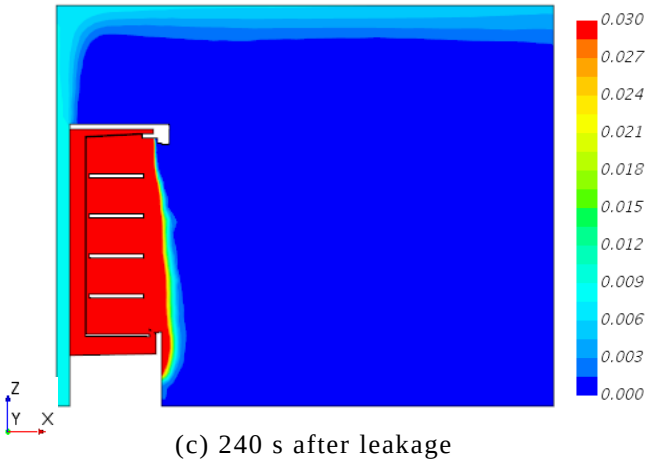
Fig. 5-3-18　Case 5-3-16 の濃度分布（R1270, 598 g, 8.97 kg/h, 1 m/s (5.79 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage

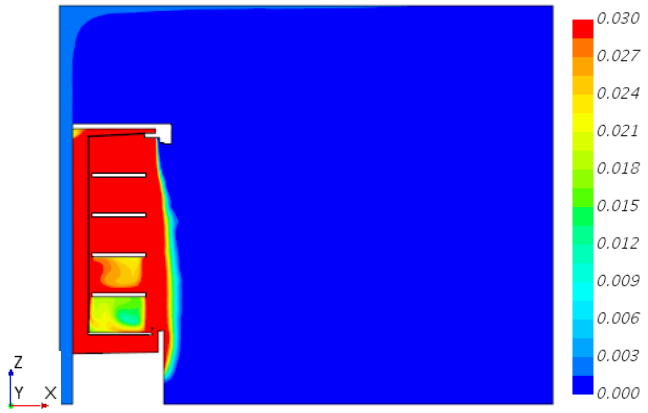



(b) 60 s after leakage

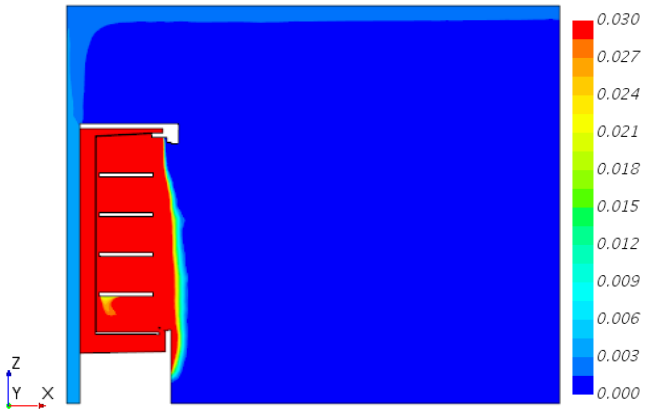



(c) 240 s after leakage

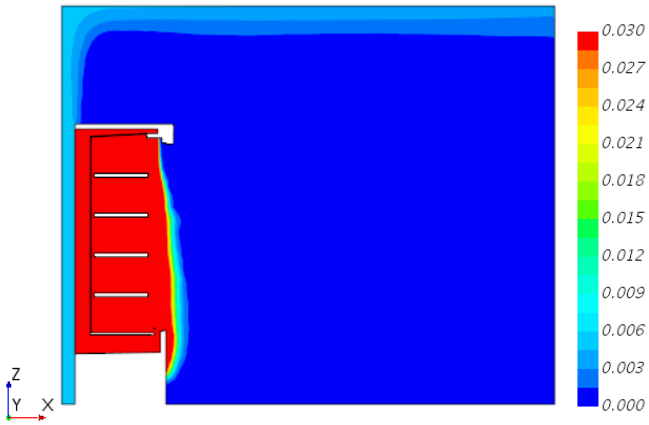
Fig. 5-3-19　Case 5-3-17 の濃度分布（R1270, 598 g, 8.97 kg/h, 2 m/s (11.59 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage



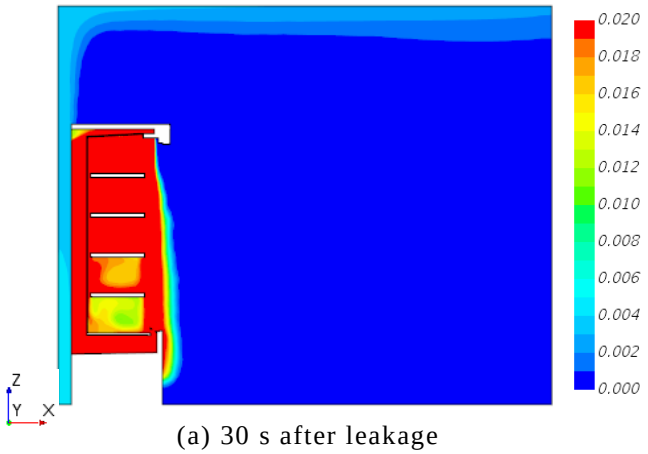

(b) 60 s after leakage



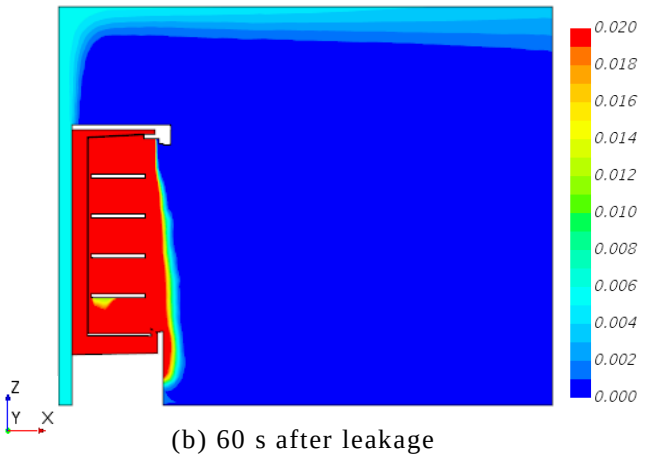

(c) 240 s after leakage

Fig. 5-3-20　Case 5-3-18 の濃度分布（R1270, 598 g, 8.97 kg/h, 3 m/s (17.38 $m^3$/min)）

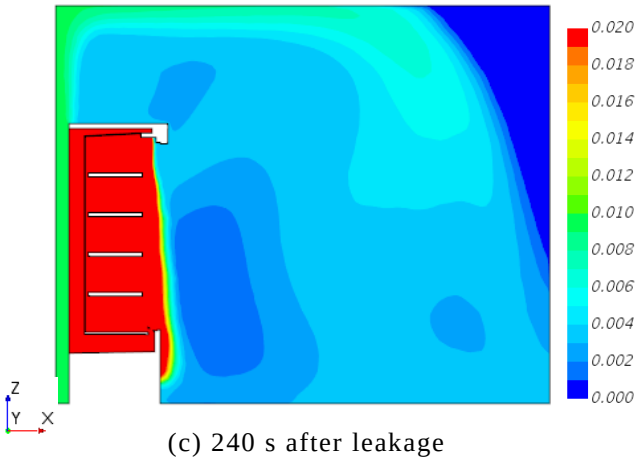
R600a における解析結果を Fig. 5-3-21～Fig. 5-3-23 に示す．R600a は，分子量が 58.1 と大きいため，検討した A3 冷媒の中では最も撹拌され難いが，凝縮器ユニット風速 1 m/s（5.79 $m^3$/min）以上で庫外に殆ど可燃域が生成されなかった．




(a) 30 s after leakage

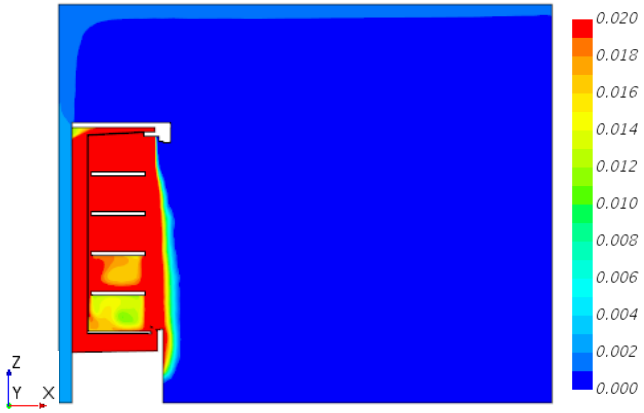



(b) 60 s after leakage

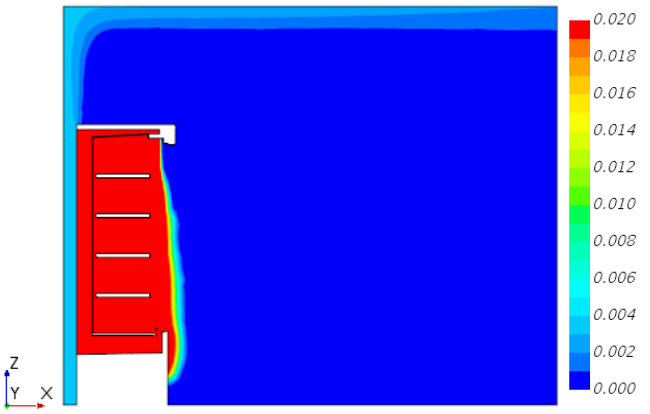



(c) 240 s after leakage

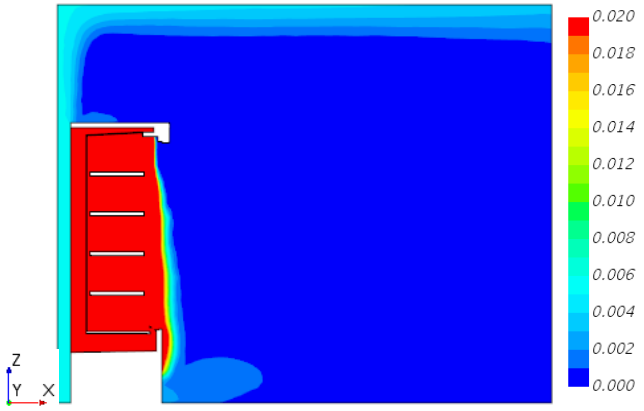
Fig. 5-3-21　Case 5-3-19 の濃度分布（R600a, 559 g, 8.385 kg/h, 1 m/s (5.79 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage

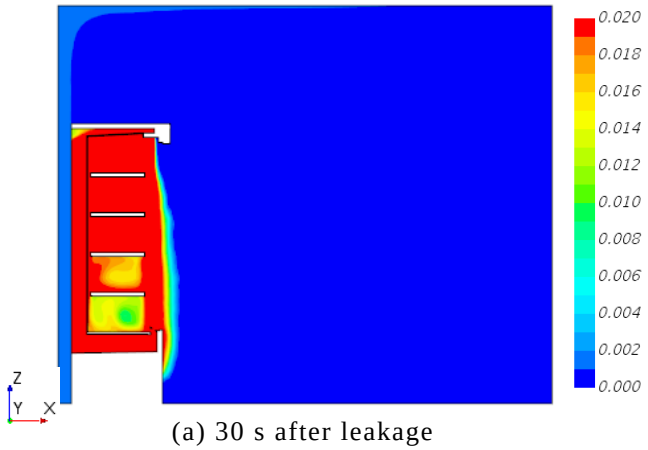



(b) 60 s after leakage

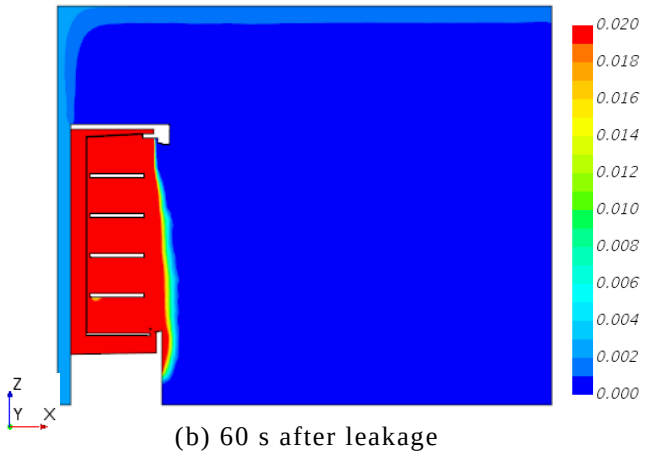



(c) 240 s after leakage

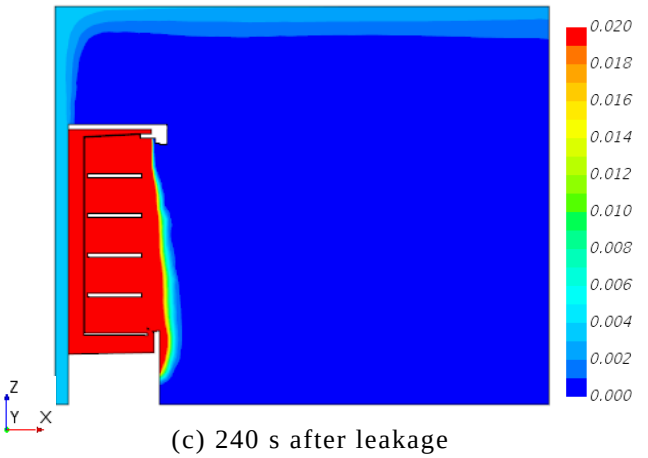
Fig. 5-3-22　Case 5-3-20 の濃度分布（R600a, 559 g, 8.385 kg/h, 2 m/s (11.59 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage



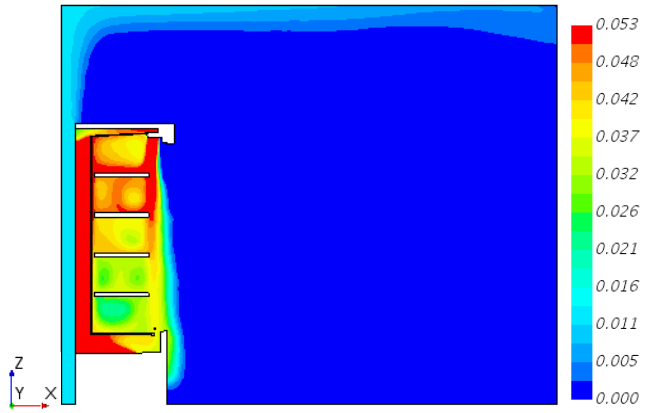

(b) 60 s after leakage



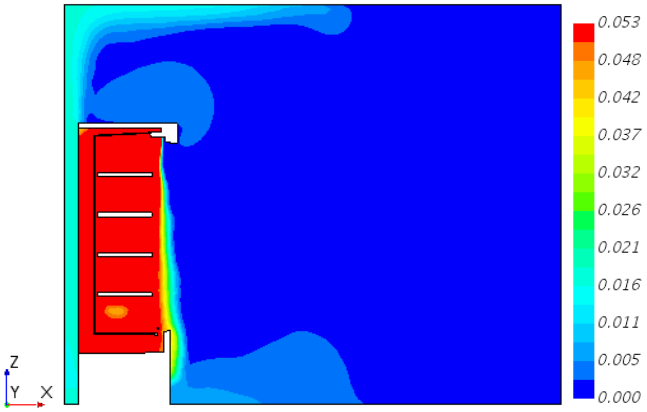

(c) 240 s after leakage

Fig. 5-3-23　Case 5-3-21 の濃度分布（R600a, 559 g, 8.385 kg/h, 3 m/s (17.38 $m^3$/min)）

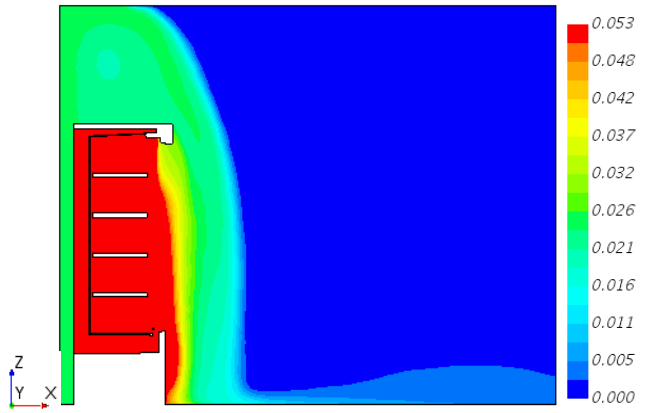
R152a における解析結果を Fig. 5-3-24～Fig. 5-3-26 に示す．R152a は，さらに分子量が大きいため，凝縮器ユニット風速 1 m/s（5.79 $m^3$/min）の時には，凝縮器ユニット前面のエアカーテン下部とユニット空気吸込の間の可燃域の大きさが，他の場合よりも若干大きくなった．しかし，その他の箇所には可燃域が生成されていないので，問題になるレベルではない．また，凝縮器ユニット風速 2 m/s（11.59 $m^3$/min）以上では庫外に殆ど可燃域が生成されなかった．




(a) 30 s after leakage

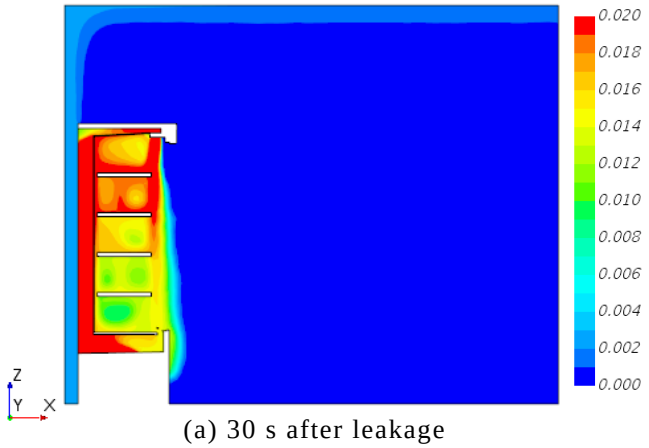



(b) 60 s after leakage

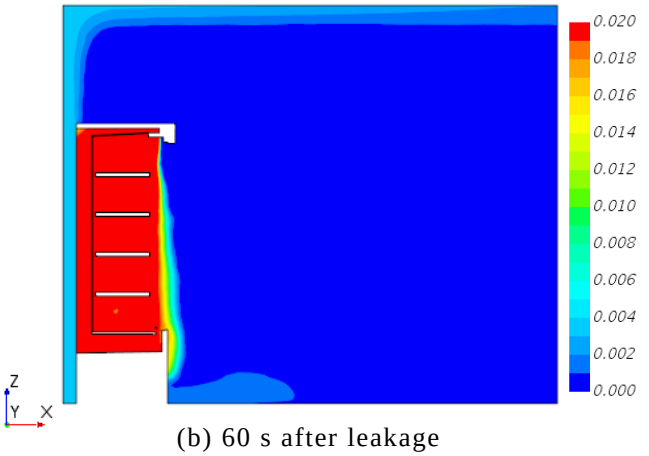



(c) 240 s after leakage

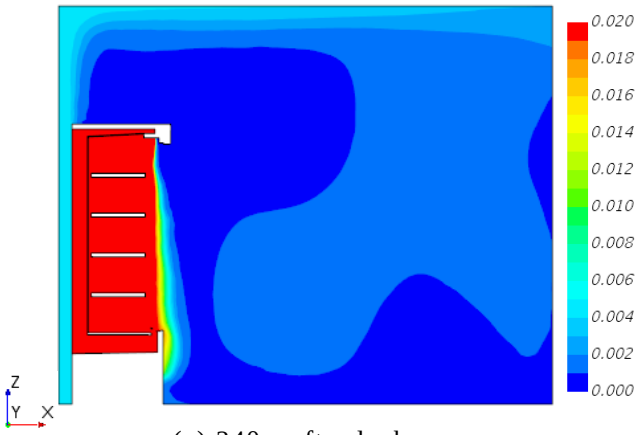
Fig. 5-3-24　Case 5-3-22 の濃度分布（R152a, 1690 g, 25.35 kg/h, 1 m/s (5.79 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage

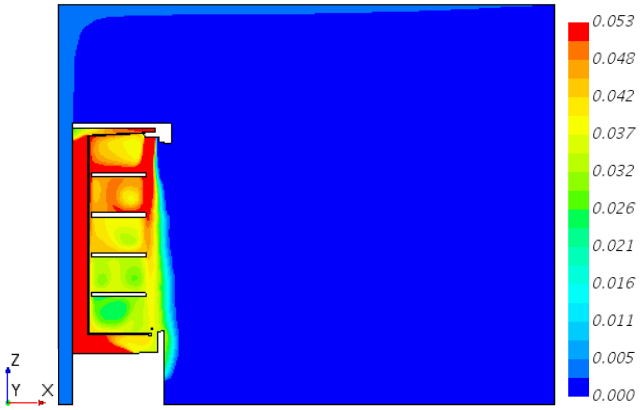



(b) 60 s after leakage

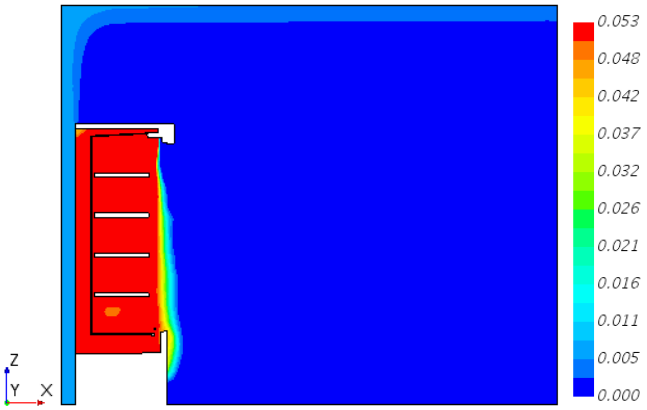



(c) 240 s after leakage

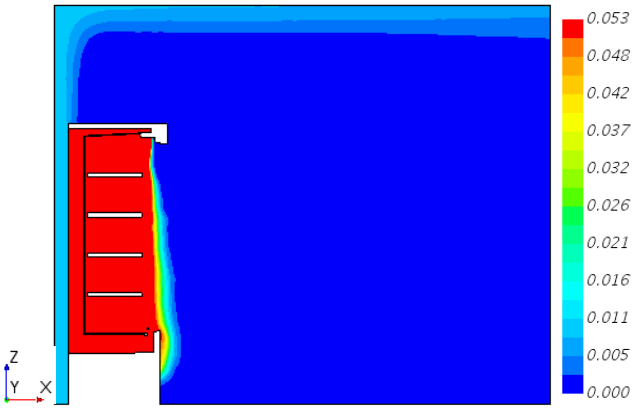
Fig. 5-3-25　Case 5-3-23 の濃度分布（R152a, 1690 g, 25.35 kg/h, 2 m/s (11.59 $m^3$/min)）




(a) 30 s after leakage




(b) 60 s after leakage




(c) 240 s after leakage

Fig. 5-3-26　Case 5-3-24 の濃度分布（R152a, 1690 g, 25.35 kg/h, 3 m/s (17.38 $m^3$/min)）

以上の多段形オープンショーケースの庫内冷媒漏えい解析の結果，下ユニットの多段形オープンショーケースにおいて，ショーケース庫内の前面の上部から下部に向かって流れるエアカーテンが有り，庫内前面のエアカーテンの吹出部での風速が 0.88 m/s 以上であり，ショーケースの背面吹き出しがない場合，冷媒種によらず，風速 1 m/s 以上の風速であれば庫外に可燃域が殆ど生成されないことが分かった．ただし，凝縮器ユニットの風速が 0 m/s では可燃域が生成され，そのことから，上ユニットの多段形オープンショーケースにおいては，ショーケース下部に気流がないため，庫外に可燃域が生成されるといえる．また，エアカーテンの吹き出し風速が 0.88 m/s 未満の場合及び背面吹き出しがある機種の場合は，可燃域が生成される可能性がある．

## 5.4　コンビニエンスストア実店舗モデルでの漏えい解析

### 5.4.1　解析モデル

コンビニエンスストアの実店舗を想定した場合の漏えい解析を行った．

店舗モデル図（実店舗モデル１）を Fig. 5-4-1 に示す．Fig. 5-4-1 の左側には，高さ 850 mm のレジカウンター（厚み無しに設定）がある．Fig. 5-4-1 に図示した店舗内全領域の床面積は 119.97 $m^2$ であり，そのうちレジ内（レジカウンター内）を除いた領域の面積は 102.0 $m^2$ である．店舗にはドア（図の太線の箇所，Door 1～Door 5）が 5 箇所あり次のようになっている．ドアの寸法及び隙間の大きさは，実際のコンビニエンスストアの仕様を調査し，決定した．

【Door 1】事務所のドア　　＝ W0.8 m×H1.875 m［隙間： 6 mm（ドア上），15 mm（ドア下）］
【Door 2】バックヤードのドア＝ W0.8 m×H1.875 m［隙間：10 mm（ドア上），20 mm（ドア下）］
【Door 3】トイレのドア　　＝ W0.7 m×H1.875 m［隙間： 6 mm（ドア上），15 mm（ドア下）］
【Door 4】店舗の入口ドア　　＝ W1.6 m×H1.875 m［隙間：無］（実質ドア無しと同じ）
【Door 5】レジカウンターのドア＝W0.6 m×H0.8 m［隙間：75 mm（ドア下）］

店舗内の中央左側に 0.25 m×0.25 m の圧力境界（換気口）を設定した．ショーケースは Fig. 5-4-1 で灰色に塗り潰している箇所に設置し，リーチインショーケースを店舗内の図右下外側（リーチインショーケース a）及び店舗内の図右上外側（リーチインショーケース b）に，平形ショーケースを店舗内の中央付近に店舗入口ドアと平行な方向に長手方向を設置した．解析ではいずれかのショーケースのみを設置した．実店舗モデル 1 の解析モデル図を Fig. 5-4-2 に示す．

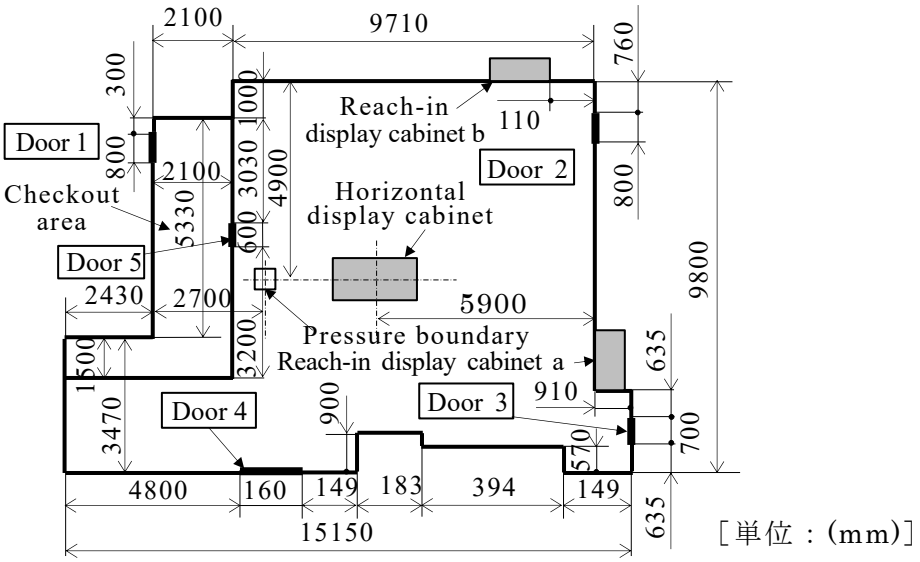



Fig. 5-4-1　コンビニエンスストア実店舗モデル 1

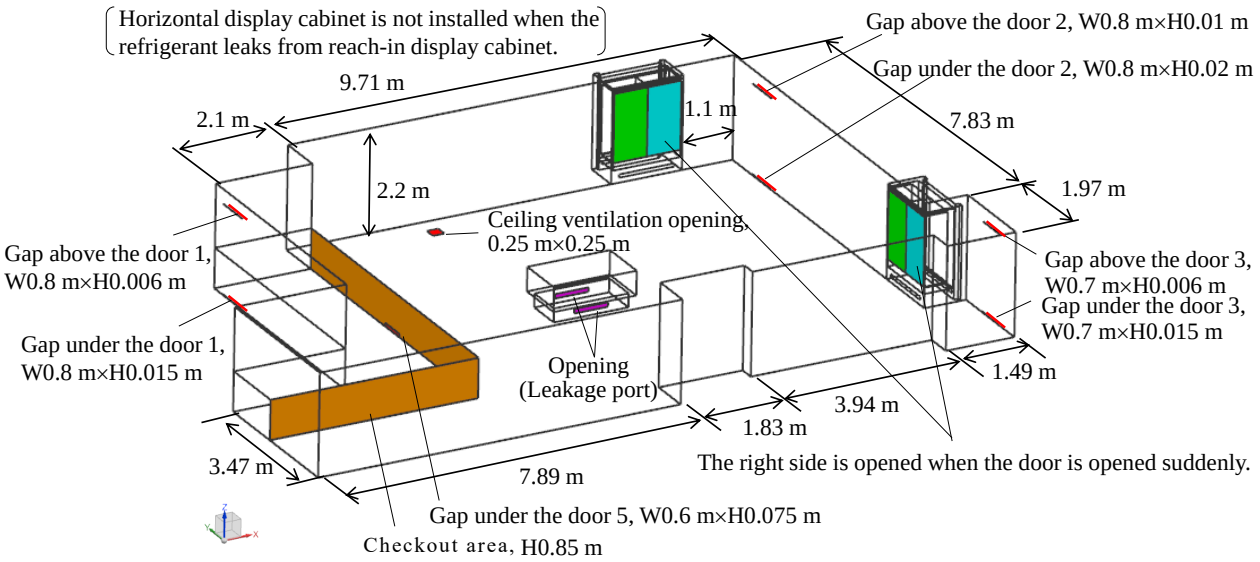



Fig. 5-4-2　実店舗モデル 1 の解析モデル図

また，Fig. 5-4-1 から全体の寸法を変化させて店舗内面積を小さくした店舗モデル（実店舗モデル 2）の解析も行った．その店舗モデルを Fig. 5-4-3 に示す．Fig. 5-4-3 に図示した全領域の面積は 75.4 $m^2$ であり，そのうちレジ内を除いた領域の面積は 57.4 $m^2$ である．なお，Fig. 5-4-3 のモデルは，Fig. 5-4-1 から一部の数値のみを強制的に変化させたもので，線の長さと図に記載している寸法との対応関係は取れていない．実店舗モデル 2 の解析モデル図を Fig. 5-4-4 に示す．

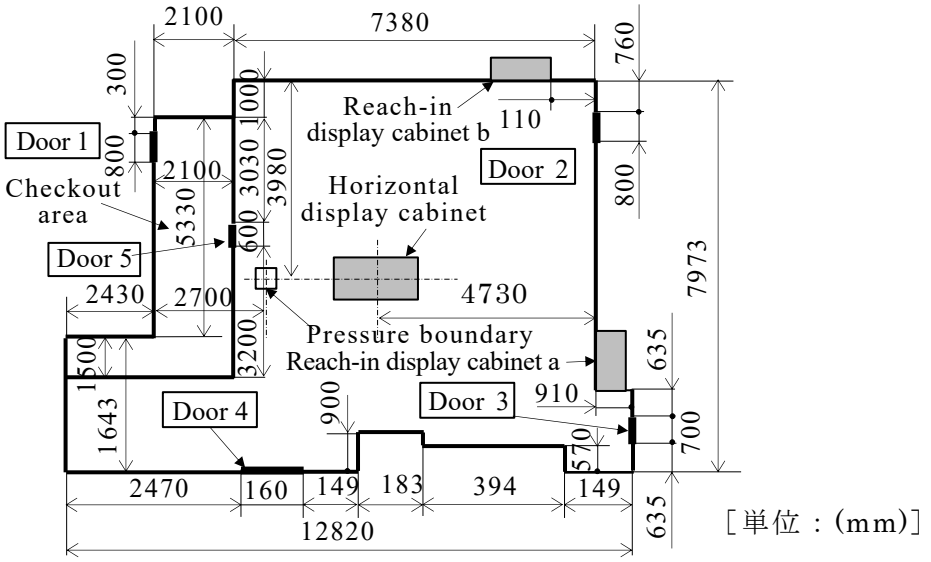



Fig. 5-4-3　コンビニエンスストア実店舗モデル 2

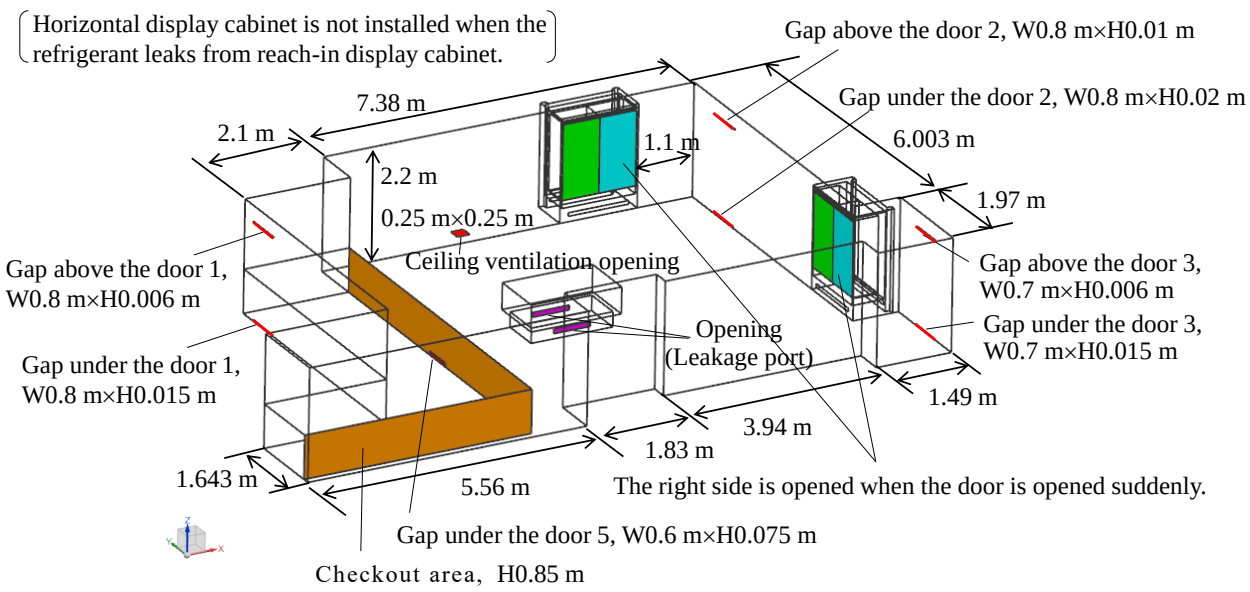



Fig.5-4-4　実店舗モデル２の解析モデル図

冷媒は R290 で 500 g とし，Table 5-1-1 に示す 25 ℃・大気圧の値を物性値として用い，拡散係数は $1.12\times10^{-5}$ $m^2/s$，LFL は 2.1 vol%，UFL は 9.5 vol%とした．リーチインショーケースは Fig. 5-1-1 に示すものを使用し，エアカーテン無，凝縮器ユニット風量 0 $m^3$/min とし，庫内に全冷媒量漏えい後，2 枚扉のうちショーケースに向かって右側の扉 1 枚を急開放（右側の扉が急に無くなる）させた．この時，リーチインショーケース a では Fig. 5-4-1 及び Fig.5-4-3 の左向きに扉を開放し，リーチインショーケース b では Fig. 5-4-1 及び Fig. 5-4-3 の下向きに扉を開放した．平形ショーケースは Fig. 5-2-1 に示すものを使用し，凝縮器ユニット風量 0 $m^3$/min とし，漏えい速度は 4 分全量漏れ（7.5 kg/h）とした．Door 1～4 についてドア上下隙間を無くした場合（隙間無）及びそれぞれの設定隙間とした場合（隙間有）の解析を行った．

### 5.4.2　解析結果

#### 1) リーチインショーケース

実店舗モデル 1 及び実店舗モデル 2 において，ドア上下隙間有／無の時にリーチインショーケース a，リーチインショーケース b のそれぞれから冷媒を漏えいさせた場合の解析結果を Table 5-4-1 に示す．Table 5-4-2 には，正方形空間での扉急開放枚数 1 枚の時のドア上下隙間有無の解析結果（Table 5-1-6）の抜粋を比較のために載せた．なお，Table 5-4-2 の店舗床面積 119.9 $m^2$ のものは別途解析を行ったものである．

①リーチインショーケース b の扉急開放時の方がリーチインショーケース a の扉急開放時よりも時空積が大きく，隙間有の時は実店舗モデル 1 で 16.5 %，実店舗モデル 2 で 7.6 %，隙間無の時は実店舗モデル 1 で 22.1 %，実店舗モデル 2 で 15.0 %の差があった．これは，リーチインショーケース b の方がリーチインショーケース a よりも対面の壁までの距離が短いためと思われる．また，実店舗モデル 1 の方がこの距離の差（比率）が大きいため，より値の差が大きくなったものと思われる．このことより，リスクアセスメントには正方形空間モデルを対象にした解析で得られた時空積を使用するが，実際の店舗の形によって多少値が変わるものと思われる．

②隙間有の時は隙間無の時よりも時空積が小さくなった．実店舗モデル 1 では，リーチインショーケース a の扉急開放で 8.8 %，リーチインショーケース b の扉急開放で 10.2 %，実店舗モデル 2 では，リーチインショーケース a の扉急開放で 27.7 %，リーチインショーケース b の扉急開放で 32.3 %の差であり，床面積が小さい実店舗モデル 2 の方が値の差が大きくなった．これは，正方形空間モデルでの傾向と同じである．

Table 5-4-1　実店舗モデルでのリーチインショーケースの解析結果

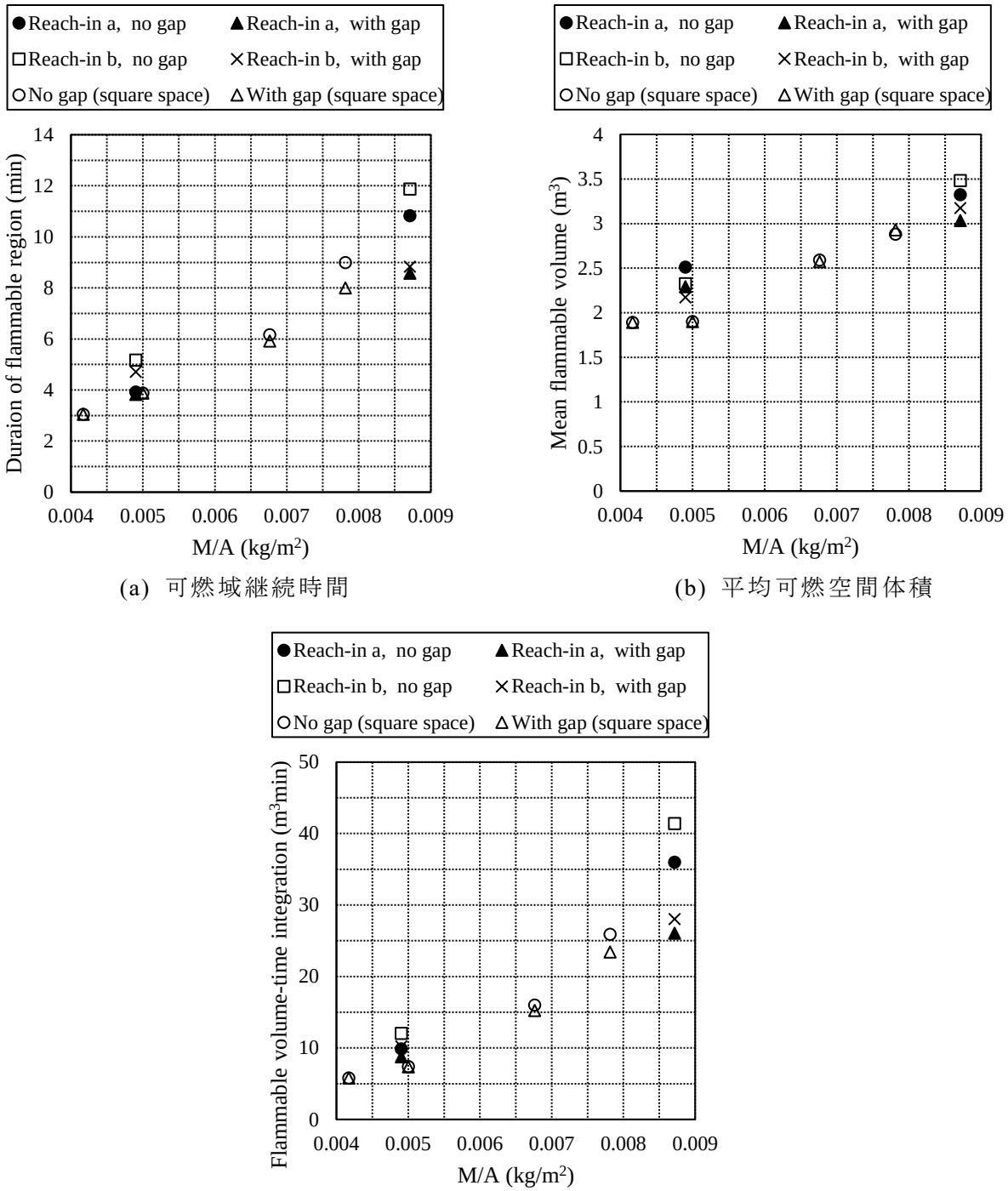
| Case | 店舗モデル | 項目 | | リーチインショーケース a | | リーチインショーケース b | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ドア上下隙間 | | ドア上下隙間 | |
| | | | | 無 | 有 | 無 | 有 |
| 5-4-1 | 実店舗モデル 1 (全体 120.0 $m^2$, ﾚｼﾞ以外 102.0 $m^2$) | 可燃域継続時間 | (min) | 3.92 | 3.83 | 5.17 | 4.71 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | 9.84 | 8.77 | 12.01 | 10.22 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 2.51 | 2.29 | 2.32 | 2.17 |
| 5-4-2 | 実店舗モデル 2 (全体 75.4 $m^2$, ﾚｼﾞ以外 57.4 $m^2$) | 可燃域継続時間 | (min) | 10.83 | 8.58 | 11.88 | 8.83 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | 35.98 | 26.02 | 41.38 | 28.01 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 3.32 | 3.03 | 3.48 | 3.17 |

Table 5-4-2　正方形空間でのリーチインショーケースの解析結果
（床面積 36～100 $m^2$ のドア上下隙間無の値は Table 5-1-6 の扉急開放枚数 1 枚の値を引用）

| Case | 面積 ($m^2$) | 項目 | | 店舗モデル | 正方形空間 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ドア上下隙間 | 無 | 有 |
| (5-1-175) | 36.0 | 可燃域継続時間 | (min) | | 49.96 | 29.79 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | | 225.92 | 118.75 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | | 4.52 | 3.99 |
| (5-1-178) | 64.0 | 可燃域継続時間 | (min) | | 9.00 | 8.00 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | | 25.88 | 23.42 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | | 2.88 | 2.93 |
| (5-1-180) | 73.96 | 可燃域継続時間 | (min) | | 6.17 | 5.92 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | | 15.98 | 15.23 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | | 2.59 | 2.57 |
| (5-1-183) | 100.0 | 可燃域継続時間 | (min) | | 3.88 | 3.88 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | | 7.37 | 7.36 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | | 1.90 | 1.90 |
| 5-4-3 | 119.9 | 可燃域継続時間 | (min) | | 3.05 | 3.05 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | | 5.77 | 5.77 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | | 1.89 | 1.89 |

実店舗モデルのレジ内を除いた床面積を A とした場合の実店舗モデルの解析結果（Table 5-4-1）と正方形空間の解析結果（Table 5-4-2）の比較を Fig. 5-4-5 に示す. 横軸は冷媒量 M(kg) を床面積 A($m^2$)で除した値である．概ね正方形空間と実店舗モデルは同様の傾向を示しており，リーチインショーケースの庫内からの漏えいでは，床面積としてレジ内を除いた床面積を使用するのが適切と思われる．リーチインショーケースでは，庫内に漏えいした冷媒が扉急開放によって一気に庫外に漏えいするため，実質の漏えい速度が速く，漏えい冷媒が周囲に拡散するよりも直進する方が速く，レジ内に冷媒が流れ込まないものと思われる.

なお, 凝縮器ユニットのファンで冷媒を撹拌した場合は, 冷媒が店舗内に拡散されるため, レジ内も含めた床面積を使用するのが適切である.




(a) 可燃域継続時間

(b) 平均可燃空間体積

(c) 時空積

Fig. 5-4-5　M/A に対する値の変化（リーチインショーケース・扉急開放枚数 1 枚）

**2)　平形ショーケース**

実店舗モデル 1 及び実店舗モデル 2 において，ドア上下隙間有／無の時の平形ショーケースの凝縮器ユニットからの冷媒漏れの解析結果を Table 5-4-3 に示す．Table 5-4-4 には，正方形空間モデルでのドア上下隙間有無の解析結果（Tale 5-2-4）を比較のために載せた．これより次のことが分かる．

①隙間有の時は隙間無の時よりも時空積が小さくなった．平形ショーケースは，実店舗モデル 1 では 4.3 %，実店舗モデル 2 では 35.6 %の差であり，床面積が小さい実店舗モデル 2 の方が値の差が大きくなった．これは，正方形空間モデルでの傾向と同じである．

Table 5-4-3　実店舗モデルでの平形ショーケースの解析結果

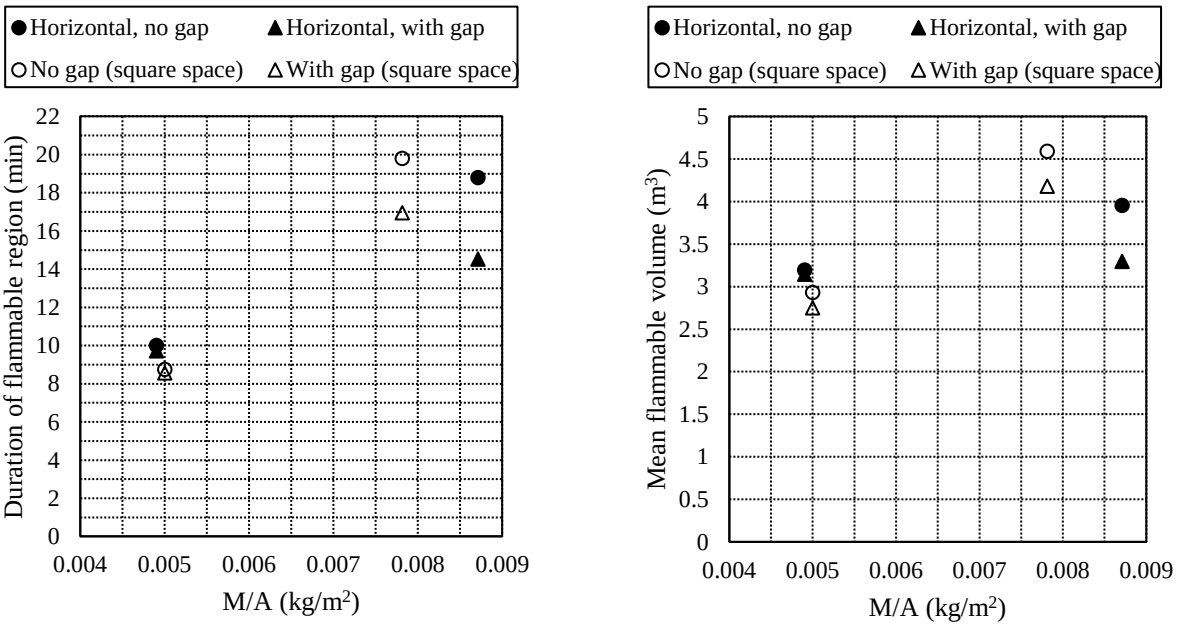
| Case | 店舗モデル | 項目 | 平形ショーケース ドア上下隙間 無 | 平形ショーケース ドア上下隙間 有 |
|---|---|---|---|---|
| 5-4-4 | 実店舗モデル 1 (全体 120.0m$^2$, ﾚｼﾞ以外 102.0m$^2$) | 可燃域継続時間 (min) | 10.00 | 9.72 |
| | | 時空積 (m$^3$･min) | 31.94 | 30.57 |
| | | 平均可燃空間体積 (m$^3$) | 3.19 | 3.15 |
| 5-4-5 | 実店舗モデル 2 (全体 75.4m$^2$, ﾚｼﾞ以外 57.4m$^2$) | 可燃域継続時間 (min) | 18.79 | 14.52 |
| | | 時空積 (m$^3$･min) | 74.33 | 47.86 |
| | | 平均可燃空間体積 (m$^3$) | 3.96 | 3.30 |

Table 5-4-4　正方形空間での平形ショーケースの解析結果
（ドア上下隙間無の値は Table 5-2-4 の値を引用）

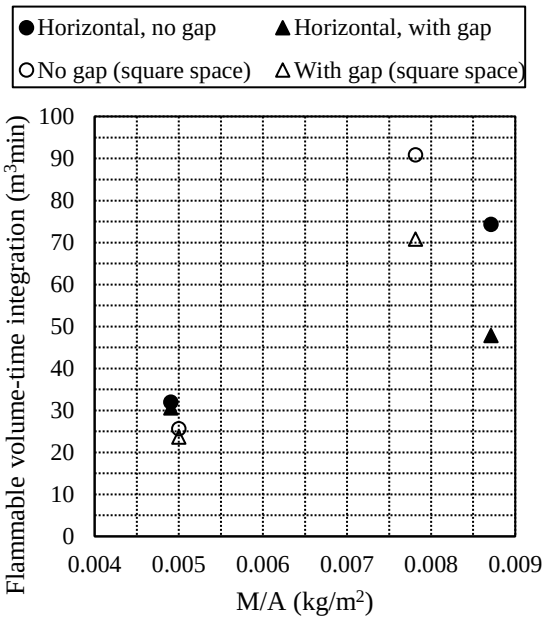
| Case | 面積 (m$^2$) | 項目 | ドア上下隙間 無 | ドア上下隙間 有 |
|---|---|---|---|---|
| (5-2-2), (5-2-20) | 24.01 | 可燃域継続時間 (min) | 160.83 | 40.17 |
| | | 時空積 (m$^3$･min) | 838.77 | 115.97 |
| | | 平均可燃空間体積 (m$^3$) | 5.22 | 2.89 |
| (5-2-3), (5-2-21) | 36 | 可燃域継続時間 (min) | 66.13 | 33.75 |
| | | 時空積 (m$^3$･min) | 338.96 | 124.86 |
| | | 平均可燃空間体積 (m$^3$) | 5.13 | 3.70 |
| (5-2-4), (5-2-22) | 64.0 | 可燃域継続時間 (min) | 19.79 | 16.95 |
| | | 時空積 (m$^3$･min) | 90.86 | 70.81 |
| | | 平均可燃空間体積 (m$^3$) | 4.59 | 4.18 |
| (5-2-5), (5-2-23) | 100.0 | 可燃域継続時間 (min) | 8.75 | 8.57 |
| | | 時空積 (m$^3$･min) | 25.62 | 23.61 |
| | | 平均可燃空間体積 (m$^3$) | 2.93 | 2.75 |

実店舗モデルのレジ内を除いた床面積を A とした場合の実店舗モデルの解析結果（Table 5-4-3）と正方形空間の解析結果（Table 5-4-4）の比較を Fig. 5-4-6 に示す．また，実店舗モデルのレジ内も含めた床面積を A とした場合の実店舗モデルの解析結果（Table 5-4-3）と正方形空間の解析結果（Table 5-4-4）の比較を Fig. 5-4-7 に示す．横軸は冷媒量 M(kg)を床面積 A(m$^2$)で除した値である．これらより，Fig. 5-4-7 の実店舗モデルのレジ内も含めた床面積を A とした場合の方が，Fig. 5-4-6 の実店舗モデルのレジ内を除いた床面積を A とした場合よりも，正方形空間と実店舗モデルが近い傾向を示していると思われ，平形ショーケースの凝縮器ユニット漏れでは，レジ内も含めた床面積を使用するのが適切と思われる．これは，漏えい速度が 4 分全量漏れであり，リーチインショーケースの庫内漏れの場合よりも遅く，冷媒が周囲に拡散し，レジ内にも流れ込んだためと思われる．

なお，評価では統一した床面積とする必要があり，以上の結果から，リスクアセスメント及び安全規格では店舗のレジ内も含めた値を床面積とすることとした．

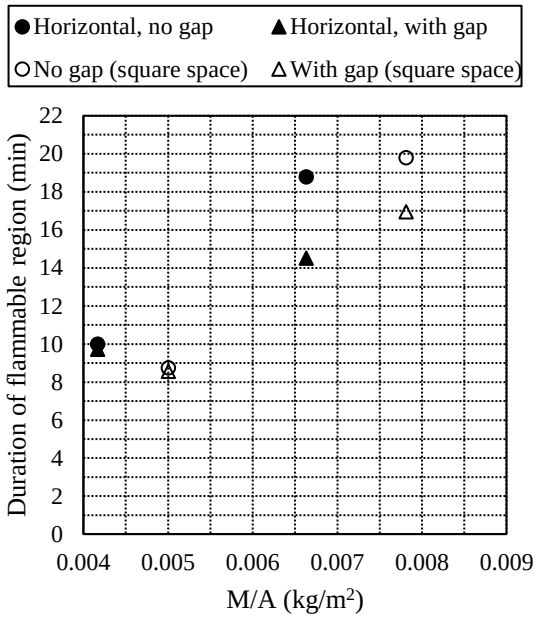



(a) 可燃域継続時間　　(b) 平均可燃空間体積

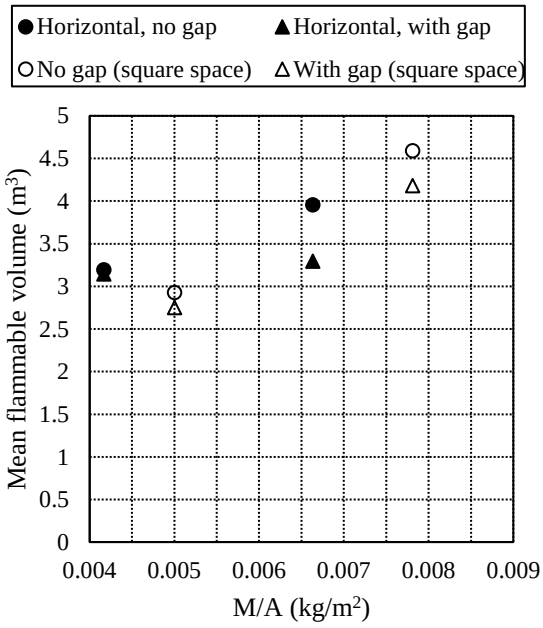



(c) 時空積

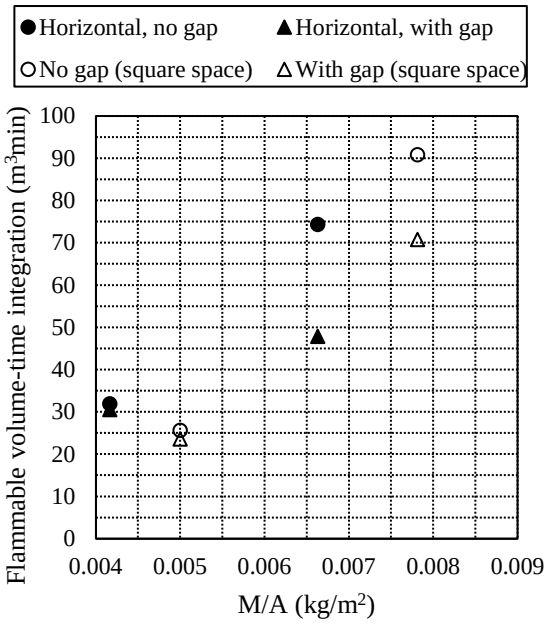
Fig. 5-4-6　M/A に対する値の変化（平形ショーケース・床面積からレジ内を除いた場合）




(a) 可燃域継続時間




(b) 平均可燃空間体積




(c) 時空積

Fig. 5-4-7　M/A に対する値の変化（平形ショーケース・床面積にレジ内も含めた場合）

### 5.5　A2L 冷媒に関する漏えい解析

A2L 冷媒のうち内蔵ショーケースで使用する可能性があり，かつ，分子量が最も大きいため時空積が最も大きくなる R1234yf での漏えい解析を行った．解析は密閉空間にて行った．

#### 5.5.1　リーチインショーケースの庫内漏えい解析

リーチインショーケースの庫内に R1234yf が全冷媒量漏えい後，扉を急開放する解析を行った．リーチインショーケース及び店舗の解析モデルはともに **5.1** 節と同様とした．凝縮器ユニットの風量は 0 $m^3$/min，エアカーテン無しとした．冷媒量は LFL の 13 倍とし，R1234yf が 3.8 kg とした．正方形の密閉空間とし，床面積 24.01 $m^2$（4.9 m×4.9 m），天井高さ 2.2 m とした．物性値は Table 5-5-1 に示した値を使用し，R1234yf の LFL は 0.289 kg/$m^3$ とした．記載していない条件は，**5.1** 節と同様とした．R290 500 g の解析も行い，その結果と比較した．

Table 5-5-1 解析に使用した冷媒物性値

| 物質 | 分子量 | 温度 (℃) | 比熱 (J/kg・K) | 熱伝導率 (W/m・K) | 粘性係数 (Pa・s) | 拡散係数 ($m^2$/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| air | 29.0 | 25 | 1006.6 | $2.585\times10^{-2}$ | $1.849\times10^{-5}$ | |
| propane　(R290) | 44.1 | 25 | 1684.7 | $1.831\times10^{-2}$ | $8.146\times10^{-6}$ | $1.12\times10^{-5}$ |
| (R1234yf) | 114.0 | 25 | 905.2 | $1.384\times10^{-2}$ | $1.147\times10^{-5}$ | $8.96\times10^{-6}$ |

Fig. 5-5-1，Fig. 5-5-2 に，R290 と R1234yf の冷媒濃度分布の経時変化を 5 秒毎に示す．なお，Case 番号は後に示す Table 5-5-2 に記載の番号である．A2L 冷媒である R1234yf でも，R290 と同様に，漏えい後の扉急開放によって庫外に短時間で可燃域が生成される様子が見て取れる．A2L 冷媒でも可燃域が生成されたのは，漏えい高さ（扉の下部の高さ）が 0.2775 m と低く，かつ，漏えい速度（庫内からの冷媒の落下・拡散速度）が速いためと思われる．

可燃空間体積の経時変化を Fig. 5-5-3 に，可燃域継続時間，時空積及び平均可燃空間体積の解析結果を Table 5-5-2 に示す．可燃空間体積は，R1234yf を 3.8 kg 漏えいさせた方が R290 を 500 g 漏えいさせた場合よりも，少し小さい値を示した．可燃域継続時間も若干短くなり，可燃空間時空積は R1234yf/R290 比で 85.56 %となった．双方の時空積に大きな違いはないため，リスクアセスメントでは，安全のため，リーチインショーケースの庫内漏れに関しては R1234yf の時空積を R290 の時空積と同じとして扱う．なお，Case 5-5-1 の解析結果は Case 5-1-1 の解析結果と若干値が異なる．この項の解析は，R290 と R1234yf の相対比較を行うことと主眼として行ったため，合わせ込みが十分には行えていないが，大きな問題はないと考える．**5.5.2** 項以降の解析は，R290 で **5.2** 節との合わせ込みを十分行った上で実施した．

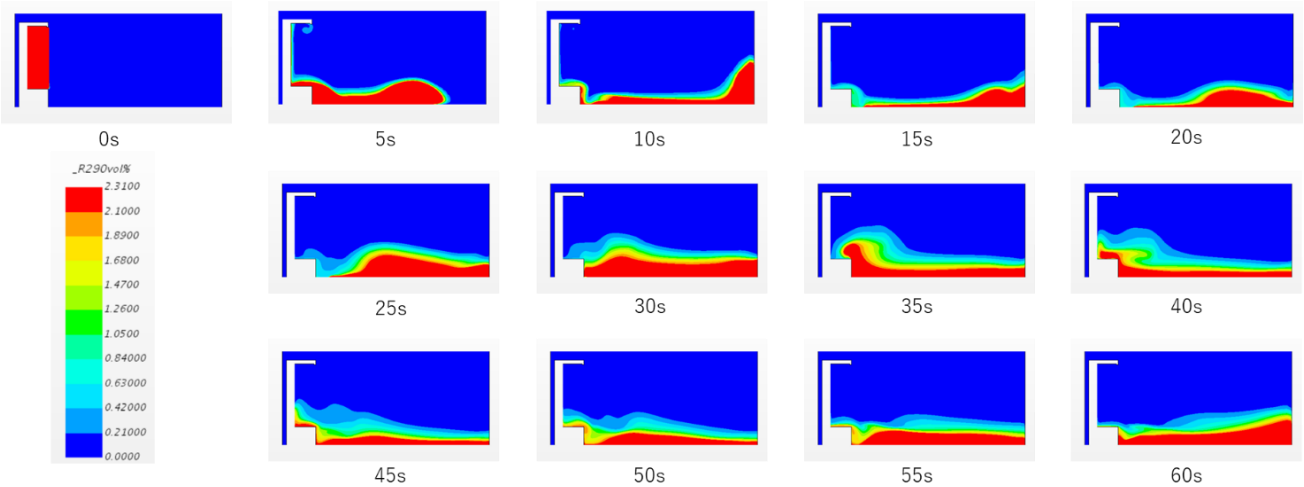



Fig. 5-5-1　Case 5-5-1 の濃度分布(R290)

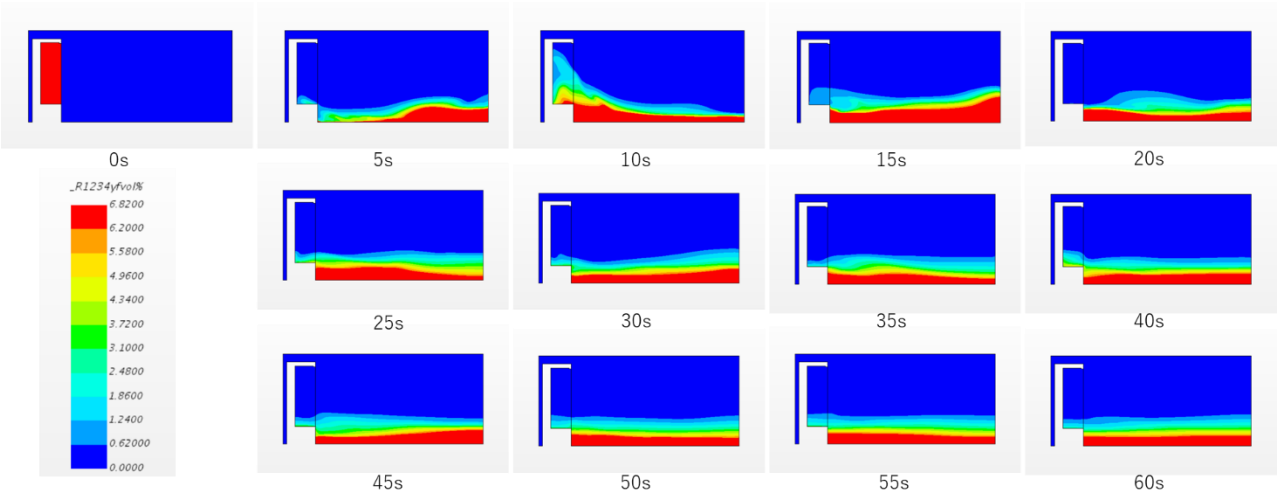
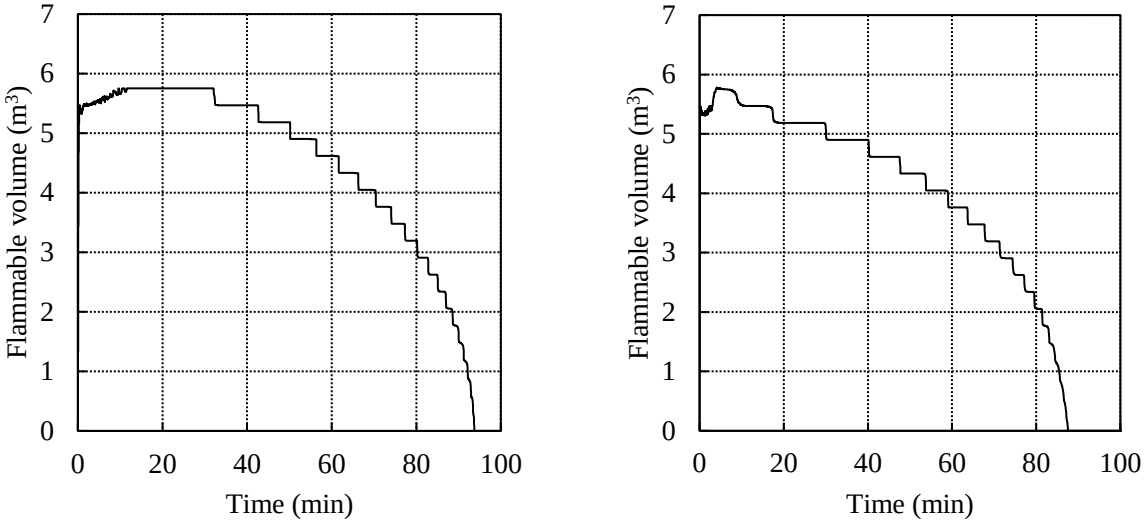



Fig. 5-5-2　Case 5-5-2 の濃度分布(R1234yf)




(a) R290（Case 5-5-1）　(b) R1234yf（Case 5-5-2）

Fig. 5-5-3　リーチインショーケース庫内漏れ時の R290 と R1234yf の可燃空間体積の変化

Table 5-5-2　リーチインショーケース庫内漏れ時の R290 と R1234yf の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積

| Case | 冷媒種 | 項目 | | リーチインショーケース |
|---|---|---|---|---|
| 5-5-1 | R290 | 可燃域継続時間 | (min) | 93.78 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | 432.08 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 4.61 |
| 5-5-2 | R1234yf | 可燃域継続時間 | (min) | 87.65 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | 369.70 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 4.22 |

### 5.5.2　平形ショーケースの庫外漏えい解析

#### 5.5.2.1　A2L 冷媒の漏えい速度の影響

平形ショーケース下部の凝縮器ユニットからの漏えい解析を行った．ケース幅及び凝縮器ユニット開口部面積を Fig. 5-2-1 の 3.8 倍である 6.84 m 及び $26.2\times10^{-2}$ $m^2$(2.785 m×0.094 m)とした平形ショーケースの解析モデルを Fig. 5-5-4 に示す．このショーケースを天井高さ 2.2 m，床面積 84.7 $m^2$ の正方形密閉空間の中央に設置した．この大きさのショーケースを large cabinet と呼び，Fig. 5-2-1 の大きさのショーケースを small cabinet と呼ぶこととする．冷媒量を R1234yf の LFL の約 13 倍である 3.8 kg，凝縮器ユニット風速 0 $m^3$/min とし，漏えい速度を 2～57 kg/h で変化させ解析を行った．解析結果を Fig. 5-5-5 及び Table 5-5-3 に示す．

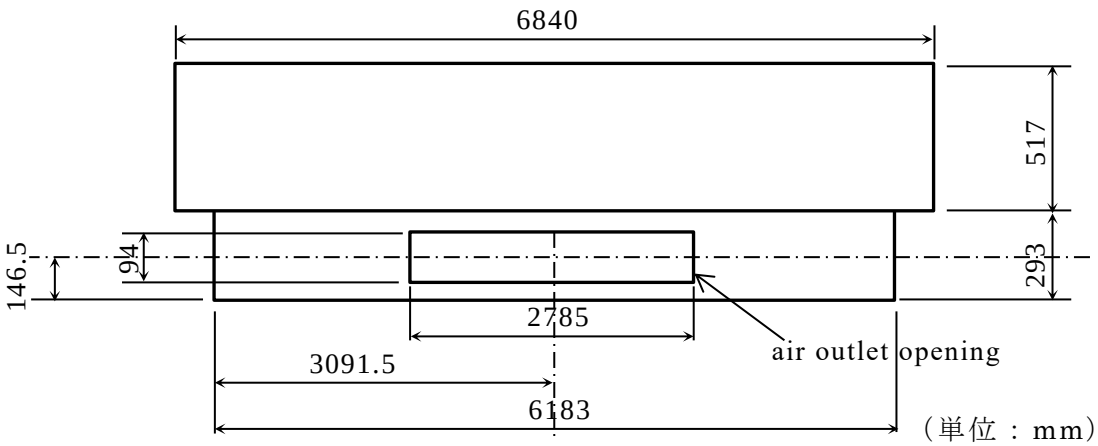
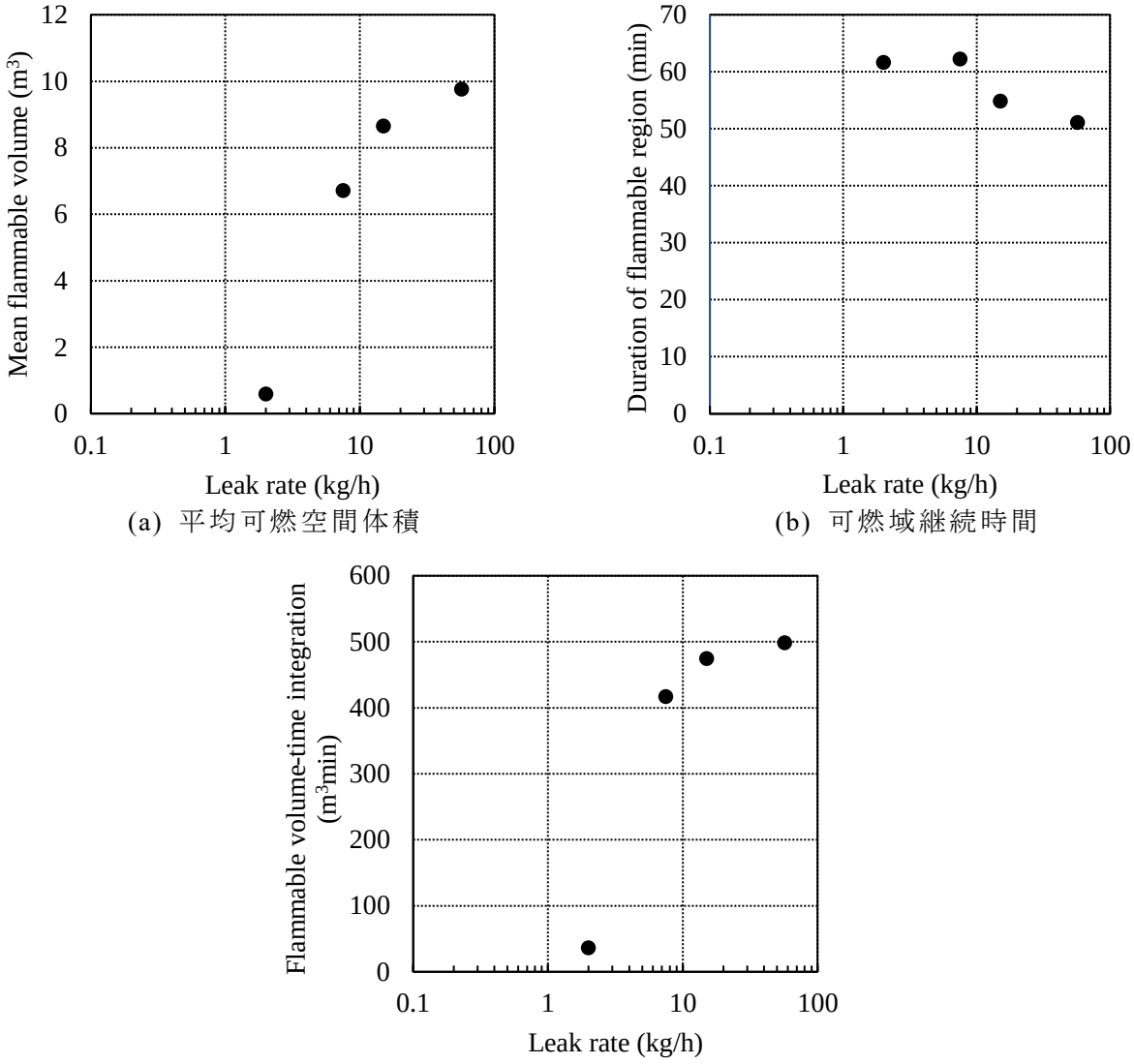



Fig. 5-5-4 平形ショーケース（large cabinet）のモデル




(a) 平均可燃空間体積　(b) 可燃域継続時間

(c) 時空積

Fig. 5-5-5　R1234yf 3.8 kg の large cabinet を床面積 84.7 $m^2$ に設置した場合の漏えい速度変化時の計算結果

Table 5-5-3　R1234yf 3.8 kg の large cabinet を床面積 84.7 $m^2$ に設置した場合の漏えい速度変化時の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積・最大床面被覆時刻

| 冷媒種 | 漏えい速度 (kg/h) | 可燃域継続時間 (min) | 時空積 ($m^3$・min) | 平均可燃空間体積 ($m^3$) | 最大床面被覆時刻 (min) | 最大床面被覆時刻 床面被覆状態 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R1234yf | 2 | 61.6 | 36.1 | 0.59 | 114 | 全体が覆われない |
| | 7.5 | 62.2 | 416.9 | 6.71 | 18 | 全体が覆われる |
| | 15 | 54.8 | 474.6 | 8.65 | 8 | |
| | 57 | 51.1 | 498.4 | 9.76 | 2 | |

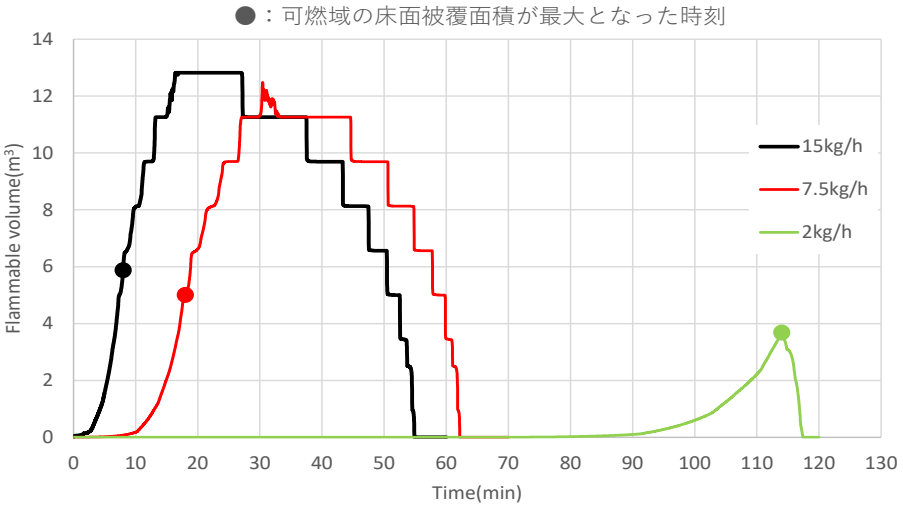



Fig. 5-5-6　R1234yf 3.8 kg の large cabinet を床面積 84.7 $m^2$ に設置した場合の漏えい速度変化時の可燃空間体積の変化

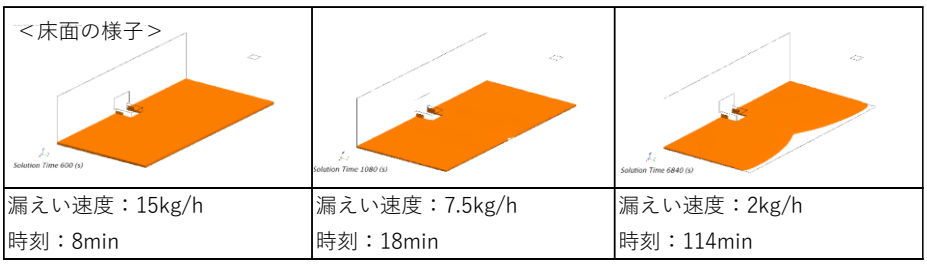



Fig. 5-5-7　R1234yf 3.8 kg の large cabinet を床面積 84.7 $m^2$ に設置した場合の漏えい速度変化時の最大床面被覆時刻時の床面の様子

可燃空間時空積は，漏えい速度 7.5 kg/h では 57 kg/h の 83.6 %，2 kg/h では 7.2 %の値であり，微少漏れの 1 kg/h 以下では可燃域が生成されなかった．R290 の場合（**5.2.2** 項）とは異なり，R1234yf では漏えい速度が遅くなると急激に時空積の値が小さくなる結果となった．R1234yf が床面近くで漏えいした場合，可燃域は A2L 冷媒で最も大きくなるため，A2L 冷媒では，床面に近い 0.0995 m の高さから漏えいしても，床面積が 84.7 $m^2$ 以上では可燃域が生成されない．よって，A2L 冷媒のリスクアセスメントにおいては，漏えい高さが非常に低い場合でも，店舗内での凝縮器ユニットからの冷媒漏えい発生確率を微少漏れを除いた値（$1.94\times10^{-5}=5.26\times10^{-7}+1.89\times10^{-5}$（**3.4.1** 項の Table 3-7 より））とする．なお，急速漏れ，噴出漏れ時の R1234yf の可燃空間時空積は，安全のため，R 290 と同じ値とする．Fig.5-5-6 は，R 1234yf の漏えい速度が 15 kg/h，7.5 kg/h，2 kg/h の場合の可燃空間体積の経時変化である．漏えい速度が速い場合は漏えい初期に可燃域が生成されるが，漏えい速度が遅い場合は可燃域の生成が遅れる（2 kg/h の場合，漏えいから約 90 分後）．解析は密閉店舗に対して行ったが，実際には，店舗のドア下隙などの開口部から冷媒が店舗外に流出するため，2 kg/h でも

可燃域は生成しないと思われる．また，Fig. 5-5-7 は最大床面被覆時刻の床面の様子である．最大床面被覆時刻とは床面に形成される可燃域が最大となる時刻もしくは床面全体に可燃域が形成された時刻を示したものである．床面積に対して相対的に漏えい速度が速く，かつ，漏えい量が相当量以上であれば，漏えい途上で床面全体が可燃域で覆われる状況が発生するが，漏えい途中で床面全体が可燃域で覆われると，低濃度空気との拡散境界面が床面積（=室の水平断面積）で制約され，その後の冷媒漏えいによって可燃域体積は増加するが拡散境界面は増加しないため可燃域体積が急激に増加に至るものと想定する．

次に，凝縮器ユニット風量 0 $m^3$/min の時，R 1234yf 1.0 kg の small cabinet（Fig. 5-2-1 と同じ高さ 0.81 m，幅 1.8 m，奥行き 1.09 m の平形ショーケース）を天井高さ 2.2 m，床面積 24.01 $m^2$（4.9 m×4.9 m）の正方形密閉空間の中央に設置し，漏えい速度 1 kg/h の場合の解析結果を Table 5-5-4 に，可燃空間体積の変化を Fig. 5-5-8 に示す．R290・500 g・24.01 $m^2$・4 分全量漏れの場合（**5.2.1** 項の Table 5-2-2 の Case 5-2-2）と比べて値は小さいが，微少漏れの 1 kg/h の場合でも可燃域が生成された．過去の研究 [5-3)]から，A2L 冷媒では，漏えい高さ（開口部の下端）が高い時には可燃域が生成されないことが分かっており，今回の解析で可燃域が生成されたのは，漏えい高さが 0.0995 m と非常に低く，床面積が小さく，かつ，密閉空間であるためと思われる．可燃域が生成されるのは漏えいから約 45 分後であり，密閉空間でなければ漏えいした冷媒が部屋のドア下隙間などの開口部から店舗外に流出するため，可燃域は生成されないと思われる．狭小倉庫などの小部屋で A2L 冷媒が凝縮器ユニットから漏えいする場合の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積は，急速漏れ，噴出漏れ時は R 290 の時と同じ値，微少漏れ時は Table 5-5-4 の解析結果とし，これらを各漏えい速度の発生確率で加重平均し，更に **5.2.3** 項の Table 5-2-4 に記載のドア下隙間の影響を考慮する係数（比率）を乗じた値を用いてリスクアセスメントを行う．具体的には，全冷媒漏えいに占める微少漏れ発生割合を R とした場合に，式(5-5-1)で計算した値とする．

小部屋での値={(**5.2.1** 項の式(5-2-1)・式(5-2-2)の値)×(1−R)+(Case 5-5-9 の値)×R}
×(**5.2.3** 項の Table 5-2-4 の比率)　　(5-5-1)

※**5.2.3** 項の Table 5-2-4 の比率は，床面積 24.01 $m^2$ 以下では 24.01 $m^2$ の値を用いる．

Table 5-5-4　R1234yf 1.0 kg の small cabinet を床面積 24.01 $m^2$ に設置した場合の微少漏れ(1 kg/h)時の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積

| Case | 冷媒種 | 項目 | | 平形ショーケース |
|---|---|---|---|---|
| 5-5-9 | R1234yf | 可燃域継続時間 | (min) | 29.32 |
| | | 時空積 | ($m^3$・min) | 31.57 |
| | | 平均可燃空間体積 | ($m^3$) | 1.08 |

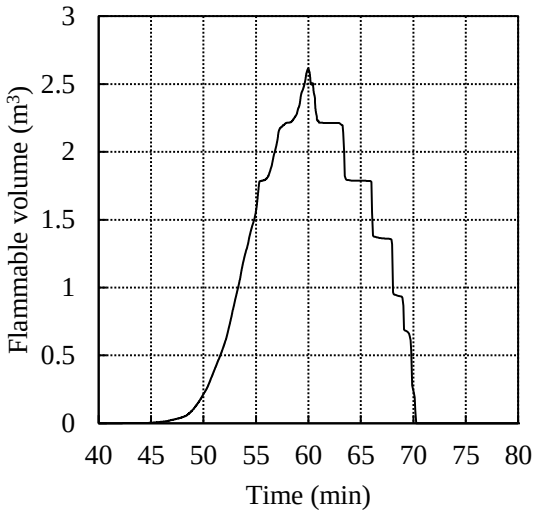



Fig. 5-5-8　R1234yf 1.0 kg の small cabinet を床面積 24.01 $m^2$ に設置した場合の微少漏れ(1 kg/h)時の可燃空間体積の変化

#### 5.5.2.2　A2L 冷媒の凝縮器ユニット必要風量

凝縮器ユニットからの漏えい冷媒を撹拌する風量について，Colbourne ら[5-2)]の提案式である式(5-2-5)がある．A3 及び A2 冷媒についてはこの提案式の検証を行った（**5.2.5** 項）が，分子量の大きい A2L 冷媒でもこの式を適用できるか検証した．凝縮器ユニットは，ショーケースの下部にあり，ショーケースの一方の開口部から吸気し他方の開口部から排気する．解析空間としては安全係数 F[＝冷媒量 M(kg)／{LFL(kg/m$^3$)×天井高さ H(m)×床面積 A(m$^2$)}] を 0.25 とし，R 1234yf 3.8 kg の large cabinet を天井高さ 2.2 m，床面積 24.01 m$^2$ の正方形密閉空間の中央に設置した．漏えい速度は 4 分全量漏れである 57 kg/h として，開口部の風量を Colbourne らの提案式である式(5-2-5)から求めた風量に設定した解析と，計算風量に対してどの程度尤度があるかを検証する解析を行った．R1234yf の LFL は，0.296 kg/m$^3$（6.2 vol%）とした．

解析結果を Table 5-5-5 に示す．R1234yf では，式(5-2-5)での計算風量に相当する風量 22.314 m$^3$/min（風速 1.42 m/s）では可燃域は生成されず，それよりも風量が 30～40 %程度小さい 13.388～15.620 m$^3$/min（風速 0.853～0.995 m/s）でも可燃域が生成されなかった．風量が式(5-2-5)での計算風量よりも 50 %小さい 11.157 m$^3$/min（風速 0.711 m/s）の時は可燃域が生成された．

以上より次のことがいえる．

i) 式(5-2-5)での計算風量では A2L 冷媒である R1234yf においても可燃域が生成されなかった．このことより，式(5-2-5)は A2L 冷媒でも有効であることが確認された．

ii) 式(5-2-5)での計算風量は，実際に可燃域が生成されない風量に対して，30～40 %以上，尤度があるものと思われる．なお，**5.2.5** 項の解析では風量を細かくふらなかったため尤度の分析が十分には行えておらず，R1234yf（A2L 冷媒）と R290（A23 冷媒）でどちらの尤度が大きいかについては言及できない．

Table 5-5-5　A2L 冷媒の風量限界検証結果

| Case | 冷媒種 | 風量 (m$^3$/min) | | 風速 (m/s) | 可燃域継続時間 (min) | 時空積 (m$^3$・min) | 平均可燃空間体積 (m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5-5-3 | R1234yf | 式(5-2-5)での計算値 | 22.314 | 1.421 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-5-4 | | 式(5-2-5)の計算値の 90 % | 20.083 | 1.279 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-5-5 | | 式(5-2-5)の計算値の 80 % | 17.861 | 1.137 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-5-6 | | 式(5-2-5)の計算値の 70 % | 15.620 | 0.995 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-5-7 | | 式(5-2-5)の計算値の 60 % | 13.388 | 0.853 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-5-8 | | 式(5-2-5)の計算値の 50 % | 11.157 | 0.711 | 0.6425 | 0.1864 | 0.2902 |

### 5.6 漏えい解析結果のまとめ

内蔵ショーケースのリスクアセスメントを行うために冷媒漏えい解析を行い，以下の知見を得た．

1) リーチインショーケースの庫内漏れは，A3 冷媒（R290），A2L 冷媒（R1234yf）ともに，漏えい後の扉急開放によって庫外に短時間で必ず可燃域が生成され，凝縮器ユニットの風量及び床面積を変化させても，可燃空間体積の最大値は殆ど変わらない．特に，A3 冷媒では，可燃域の生成が短時間であっても，可燃域に着火源が存在すれば容易に着火に至る可能性がある．しかし，IEC 60335-2-89 では，扉開放開始から 5 分以内に大きな可燃域が生成されても，可燃域は生成されないとみなされてしまう．また，R1234yf の冷媒量が 13×LFL（3.8 kg）における時空積は R290 の 13×LFL（500 g）における時空積よりも少し小さいが，安全目に扱うため，これを同じとしてリスクアセスメントを行う．なお，R1234yf は A2L 冷媒のうちで最も時空積が大きくなる冷媒である．
2) 平形ショーケースの凝縮器ユニット漏えいでは，A3 冷媒（R290，R170，R1270，R600a），A2 冷媒（R152a），A2L 冷媒（R1234yf）のいずれにおいても，風量を Colbourne らの提案式である式(5-2-5)以上にすると可燃域が生成されない．
3) 密閉空間におけるリーチインショーケースの庫内からの R290 の漏えいに関し，庫内エアカーテン無かつ凝縮器ユニットの風量有無の時の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積の近似式を冷媒量／床面積の関数として導出した．
4) 密閉空間における平形ショーケース下部の凝縮器ユニットからの R290 の漏えいに関し，凝縮器ユニットの風量無の時の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積の近似式を冷媒量／床面積の関数として導出した．使用ステージの未対策ケース及び輸送ステージ以外の作業ステージでは，可燃域継続時間は式(5-2-1)，平均可燃空間体積は式(5-2-2)を用いて算出する．
5) 冷媒量 500 g の R290 の場合に，店舗内のドア上下隙間が有る場合のリーチインショーケースの庫内からの漏えい及び平形ショーケースの凝縮器ユニットからの漏えいの際の凝縮器ユニットの風量無の時の可燃域継続時間及び平均可燃空間体積の近似式を床面積の関数として導出した．
6) 密閉空間における平形ショーケース下部の凝縮器ユニットからの漏えいにおいて，R290 の場合，漏えい速度がかなり遅くなっても可燃空間時空積の値に殆ど変化はなく，微少漏れ（0.54 kg/h 以下）を含む全ての漏えいを考慮して着火確率を計算する必要があることが分かった．そのため，リスクアセスメントは 4 分全量漏れ（4 分間で全冷媒量を漏えいさせる場合）の時空積を用いて行うこととした．
7) 密閉空間における平形ショーケース下部の凝縮器ユニットからの漏えいにおいて，漏えい高さが低いため，R1234yf の場合も，床面積 24.01 $m^2$ では，微少漏れ（1 kg/h 以下）でも可燃域が生成される．しかし，床面積 84.7 $m^2$ では，漏えい速度が速い時と遅い時では時空積の値に大きな違いがあり（漏えい速度が遅いと時空積が急激に小さくなる），微少漏れ（1 kg/h 以下）では，可燃域が生成されない．そのため，A2L 冷媒のリスクアセスメントにおいては，凝縮器ユニット漏れに関して，狭小倉庫などの小部屋では，微少漏れ時は R1234yf の時空積，それ以外の漏えい速度では R290 の時空積とし，全冷媒漏えいに占める微少漏れの発生割合で加重平均した値を用いる．また，84.7 $m^2$ 以上の床面積（店舗内など）では，凝縮器ユニット漏れの漏えい発生確率を微少漏れを除く値（急速漏れ確率＋噴出漏れ確率）とする．なお，リーチインショーケースなどの庫内漏れに関しては，全冷媒量が庫内に漏えい後に扉を開くことを想定し，R290 と同様，微少漏れも含む値を漏えい発生確率とする．
8) 冷媒量 500 g の R290 において，ドア上下隙間有無の時のリーチインショーケースの庫内からの漏えい及び平形ショーケースの凝縮器ユニットからの漏えいの解析を行った結果，標準面積（84.7 $m^2$）のコンビニエンスストアにおいては，ドア上下隙間の影響が少ないため，密閉空間に対して求めた近似式を使用してリスクアセスメントを行うこととした．

使用ステージの未対策ケース及び輸送ステージ以外の作業ステージでは，可燃域継続時間は式(5-1-1)及び式(5-2-1), 平均可燃空間体積は式(5-1-2)及び式(5-2-2)を用いて算出する．また，リーチインショーケースの庫内からの漏えいの使用ステージの対策時では，可燃域継続時間は式(5-1-5)，平均可燃空間体積は式(5-1-6)を用いて算出する．

9) 狭小店舗（駅ナカコンビニ）のリスクアセスメントは，ドア上下隙間有の時の時空積を用いて行うこととした．使用ステージの未対策ケース及び作業ステージでは，可燃域継続時間は式(5-1-17)及び式(5-2-3), 平均可燃空間体積は式(5-1-18)及び式(5-2-4)を用いて算出する．ただし，リーチインショーケースの庫内からの漏えいの使用ステージの対策時では，対応する解析を行っていないため，密閉空間に対する解析結果を使用する．

10)冷媒量 500 g の R290 において，コンビニエンスストア実店舗を想定した漏えい解析を行い，リーチインショーケースの庫内漏れで凝縮器ユニットのファンで冷媒を撹拌した場合及び平形ショーケースの凝縮器ユニット漏れの場合は，レジ内を含めた値を床面積とし，リーチインショーケースの庫内漏れで凝縮器ユニットのファンで冷媒を撹拌しない場合はレジ内を除いた値を床面積とするのが適切であることが分かった．しかし，評価では床面積を統一した方がよいため，リスクアセスメント及び安全規格では店舗のレジ内も含めた値を床面積とすることとした．

11)背面吹き出しがなく庫内前面に風速 0.88 m/s の一重エアカーテンを持つ多段形オープンショーケースにおいて，A3 冷媒（R290，R170，R1270，R600a），A2 冷媒（R152a）の庫内からの漏えい解析を行った結果，下部の凝縮器ユニットの風速 0 m/s の場合，漏えい速度によらず庫外に可燃域が生成された．また，風速が 2 m/s（11.59 $m^3$/min）以上では，冷媒種・漏えい速度によらず庫外に殆ど可燃域が生成されず，漏えい速度が 4 分全量漏れの場合は，風速 1 m/s 以上では，冷媒種によらず庫外に可燃域が生成されなかった．なお，これらの解析において，庫内のエアカーテンの下部と凝縮器ユニットの空気吸込部との間にのみわずかに可燃域が生成されたが，この領域には着火源がないため問題にはならない．すなわち，多段形オープンショーケースの庫内漏れに対しては，下部に設置した凝縮器ユニットの風量がある程度確保されていれば，着火に至る有意な可燃域が庫外に生成されることはない．

## 参考文献


5-1) N. Ashihara, M. Ito, C. Dang, E. Hihara and Y. Chen: “Numerical Simulation of Strongly Flammable Refrigerant Leakage from a Split Air Conditioner”, Proc. 14th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Tokyo, Japan, 1202 (2020).

5-2) D. Colbourne, K. O. Suen: “Minimum Airflow Rates to Dilute R290 Concentrations Arising from Leaks in Room Air Conditioners”, 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Valencia, Spain 1104 (2018).

5-3) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).

## 6　リスクアセスメント及び安全対策

R290 における各ステージのリスクアセスメントの内容及び安全対策を **6.1** 節～**6.6** 節で説明する．なお，時間的遭遇確率は式(4-9)～式(4-12)で計算するが，このうち作業に起因しない漏えいに関する式(4-10)，式(4-11)に含まれる $T_s/(365\times24)$は，FTA では，構造上，作業に起因しない漏えいが作業時間内に発生する確率として，（時間的遭遇確率ではなく）使用時の漏えい発生確率に乗じて使用しており，本章ではその前提で説明している．また，時間的遭遇確率の計算式である式(4-9)～(4-12)において，特定の時間帯に集中しない着火源の場合は，$T_{ic}=T_i$，nc=1 であり，集中係数（式(4-9)では k の次の{}内の値）は 1 となるため，本章ではその場合の $T_{ic}$，nc についての説明を省略した．**6.7** 節には **6.1** 節～**6.6** 節のまとめを示し，狭小店舗（駅ナカコンビニ）に関するリスクアセスメントを **6.8** 節，A2L 冷媒である R1234yf に関するリスクアセスメントを **6.9** 節で説明する．

なお，日本での可燃性冷媒を使用した機器の取り扱いは高圧ガス保安法に基づかなければならない．詳細は **8.1** 節で説明するが，冷媒回収に関して，A2L 冷媒（特定不活性ガス）の回収機による回収は高圧ガス保安法の適用除外となっているため届け出は不要であるが，A3 又は A2 冷媒の回収機による回収は高圧ガス保安法の適用除外にならないため，20 日前までの届け出が必要となる．そのため，現地で冷媒回路を修理する場合，A2L 冷媒を充塡した内蔵ショーケースは，従来の内蔵ショーケースとほぼ同様の手順で修理を行えるが，A3 又は A2 冷媒を充塡した内蔵ショーケースでは，実質，回収機による回収はできず，機器内の冷媒を大気に放出（冷媒廃棄）してから，修理作業を行うことになる．内蔵ショーケースが設置されるコンビニエンスストアやスーパーマーケットなどの店舗は，平屋建ての建物内に設置されることもあるが，ショッピングセンターやデパートなどのビルの中にテナントとして出店するビルイン型店舗が多い．内蔵ショーケースの店内修理を行う場合，平屋型店舗であれば冷媒回路内の冷媒を直接チャージホースで大気に放出することもできるが，ビルイン型店舗においては，屋外までチャージホースを伸ばすことはできないため，冷媒回路内の冷媒を一旦回収袋に移し，その回収袋を屋外に持っていき，回収袋内の冷媒を大気に放出する方法をとることとする．なお，フロン排出抑制法（フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律）で回収が義務付けられている冷媒に関しては，みだり大気放出が禁じられており，修理時に冷媒を大気放出できない．フロン排出抑制法で回収が義務付けられていない冷媒は，自然冷媒（R290,R600a など）と大気寿命が短くノンフロンに位置づけられている HFO 冷媒（HFO1234y，HFO1234ze(E)など）に限られ，R152a や R32 などのフロン類は大気放出できない．

## 6.1　輸送時

### 6.1.1　輸送ステージの定義

**1) 概要**

コンビニエンスストアに設置する内蔵ショーケースの輸送形態を Table 6-1-1 に示す．輸送は，一般的にトラックを使用して行われるが，トラック輸送の場合，荷室には着火源が存在しない．そこで輸送時のリスクアセスメントでは，小型であるが，荷室と運転室が同じ空間にあるワゴン車による輸送を想定した．

Table 6-1-1　輸送形態のまとめ

| 車種 | | トラック | | | | | | ワゴン | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 製品形態 | | ケース全体 | | | | | | ユニット単体 | | | | | |
| 状況 | | 新品設置 | | | 中古回収 | | | 新品設置 | | | 中古回収 | | |
| | | 往路 | | | 復路 | | | 往路 | | | 復路 | | |
| ユニット形状 | ①三方弁 | あり | ― | ― | あり | ― | ― | あり | ― | ― | あり | ― | ― |
| | ②サービスポート | ― | あり | ― | ― | あり | ― | ― | あり | ― | ― | あり | ― |
| 冷媒封入状態 | ①冷媒あり | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ― | ● | ● | ● | ● |
| | ②冷媒なし | ― | ― | ― | ● | ● | ● | ― | ● | ― | ● | ● | ● |
| 木枠梱包 | | ● | ● | ● | ― | ― | ― | ● | ― | ● | ― | ― | ― |
| 輸送FTA対象 | | ― | ― | ― | ― | ― | ― | ― | ― | ― | ● | ● | ● |
| 備考 | | | | | | | | 冷媒封入済み新品を搬入して現地で真空引きのみして取付け | 真空引きと冷媒封入を現地で行う | ユニット・エバが一体の場合 | | | ユニット・エバが一体の場合 |

ワゴン車による輸送は，現地の修理でユニット（凝縮器ユニット）交換を行う場合に行われる．往路は全て新品の木枠梱包有，復路は全て旧品の木枠梱包無しである．ただし，旧品でユニット交換前に冷媒漏れしているものは交換時には全冷媒量が漏えい済みのため，対象としない．従って，リスクアセスメントでは，ユニット単体を冷媒が入った状態で輸送する場合を対象とし，Table 6-1-1 のうち，黄色網掛け部で示す，ユニット単体を冷媒が入った状態で木枠梱包無しで輸送する状況が対象となる．普及台数 190 万台（**3.2.1** 項参照）のうち，冷媒回路修理を伴う故障発生時には，ろう付けが必要となるため，旧品としてユニット交換作業が発生するとした．その台数は，Table 6-1-2 に示す日冷工の調査結果から 2011～2015 年度の平均値である 1595 台とし，これを普及台数で除すことによってユニット交換頻度が算出でき，$8.39\times10^{-4}$（=1595/190 万）となる．

Table 6-1-2　故障発生台数調査結果

| 年度 | 冷媒回路修理を伴う故障発生件数(台) | 冷媒回路修理を伴わない故障発生件数(台) |
|---|---|---|
| 2011 | 1354 | 14887 |
| 2012 | 1512 | 15832 |
| 2013 | 1584 | 17634 |
| 2014 | 1690 | 18726 |
| 2015 | 1834 | 20001 |
| 平均 | 1595 | 17416 |

ここで，年間の出荷台数に対して，ユニット交換される旧品の中でユニット交換時に冷媒回路に冷媒が入っている確率は 0.5 %（日冷工調査結果）とした．よって，ワゴン車輸送率はユニット交換頻度に 0.5 %を乗じた $4.2\times10^{-6}$（=1595×0.005/190 万）となる．ここで，冷媒回路修理を伴う故障発生時のユニットの輸送は，（実際はトラック輸送もあるが，最大を想定し）全てワゴン車で行われるものとした．

なお，本来は，実際のワゴン車輸送率を考慮した状態で着火確率が許容値以下になれば安全に使用できる．しかし，A3 冷媒の場合，燃焼性が強いため，万一着火事故が起きると爆発に至り，人命に関わる可能性がある．そこで，安全のため，ワゴン車輸送率を 1 とした場合についてもリスクアセスメントを行い，ワゴン車輸送率が 1 の場合でも着火確率が許容値

以下になることを目標とする.

ワゴン車によるユニット単体輸送が発生するショーケースを Table 6-1-3 に示す. 内蔵ショーケースには, 冷却器がユニットと一体になっているタイプと冷却器がユニットと一体になっていないタイプがある. 前者ではユニット全体を脱着可能であるためユニット単体交換の対象となり, 後者の場合は, 三方弁やフレアでユニットと冷却器を切り離せるもののみユニット単体交換の対象となるが, 最大を想定してこの割合を 100 %とした.

Table 6-1-3　対象ショーケースの種類

| 種類 | ユニット位置 |
|---|---|
| リーチイン | 下 |
| ドリンク | 下 |
| デザート | 下 |
| チルド他多段形ケース | 下・上 |
| 平形 | 下 |

**2) ワゴン車の想定**

ワゴン車の代表例として, トヨタ社のプロボックス（NCP59G）のデータを使用した.

車内空間容積： 2877.5 L（≒2.9 $m^3$. 座席＋荷室）
下記 WEB ページからデータを引用
引用）https://rank.greeco-channel.com/capacity_large_1500cc/?pg=29

乗車人員は積み下ろし作業に必要な人数として 2 名, ユニット単体の積載台数は 2 台を想定する.

**3）換気条件**

車内に空気流動が少ない（エアコン未使用・喫煙時に窓を開けない）場合に, 漏えい冷媒が滞留しリスクが発生すると考えた. なお, ワゴン車は車内が狭いため, 漏えい時に白煙や漏えい音が生じることで乗車人が異常に気付く可能性が高いと考えられるが, 安全のため, それは想定しない.

**4）輸送時間**

ワゴン車輸送の可能性として, 陸路を使う最大距離として名古屋から鹿児島までの輸送を想定する（北海道・沖縄は空路). 高速道路使用した場合を想定し, 一般的に名古屋から鹿児島までを 12 時間とする（Fig. 6-1-1 参照).

(a)名古屋から青森までの輸送

(b)名古屋から鹿児島までの輸送

Fig. 6-1-1　自動車による輸送時間例（名古屋から青森・鹿児島 Google Map より）

ここで，各輸送時間の発生頻度は不明のため，輸送時間が長い程，頻度が少ないと考え，Fig. 6-1-2 及び Table 6-1-4 から平均 2 h とした．

Table 6-1-4　輸送時間と発生頻度の想定

| | 回数 | 輸送時間 | 回数×時間 | |
|---|---|---|---|---|
| | 30 | 0.4 | 12 | |
| | 12 | 1 | 12 | |
| | 6 | 2 | 12 | |
| | 4 | 3 | 12 | |
| | 3 | 4 | 12 | |
| | 2.4 | 5 | 12 | |
| | 2 | 6 | 12 | |
| | 1.71 | 7 | 12 | |
| | 1.5 | 8 | 12 | |
| | 1.33 | 9 | 12 | |
| | 1 | 12 | 12 | |
| 合計 | 64.9 | 合計 | 132 | ･･･(b) |
| | ･･･(a) | 平均 | 2.0 hr | ･･･(b)/(a) |

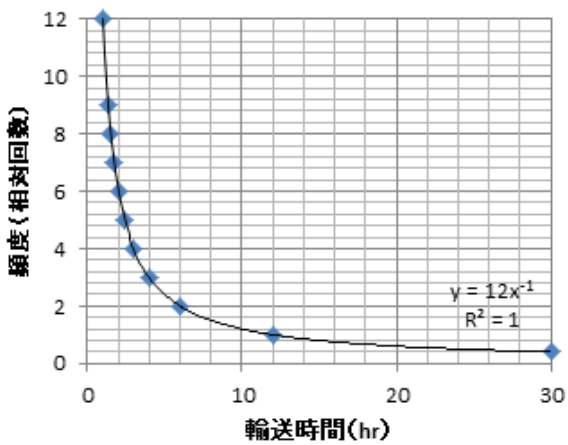



Fig. 6-1-2　輸送発生頻度の輸送時間特性（想定）

### 6.1.2　着火源と冷媒漏えい

#### 1）可燃域継続時間

漏えい発生時にワゴン車内で換気策をとらない場合，どの位の時間，可燃域が継続するかを考える．ワゴン車内は狭い空間であるため，冷媒が漏えいすると車内が均一濃度になるものと考え，式(6-1-1)及び式(6-1-2)[6-1-1)] を用いて Table 6-1-5 の条件の時の冷媒濃度の経時変化を算出した．結果を Fig. 6-1-3 及び Fig. 6-1-4 に示す．1 回の漏えいで 2 h のうち R290 の LFL を上回る時間は，未換気の場合に 67.1 分となった．これは，エアコンをかけない場合にワゴン車の隙間から換気される量による可燃域の継続時間である．なお，この計算において，車の隙間風の換気量は 4 $m^3/h$[6-1-2)]とした．また，車内の冷媒濃度は均一であると想定しているため，着火源と可燃域の空間的遭遇確率は 1 とする．換気が有る場合，換気量を 100 $m^3/h$[6-1-3), 6-1-4)]とすると，可燃域継続時間は 2.7 分となった．よって，換気がある場合は可燃域が殆ど生成されないとみなし，換気をしない率を想定し，リスクアセスメントを行った．

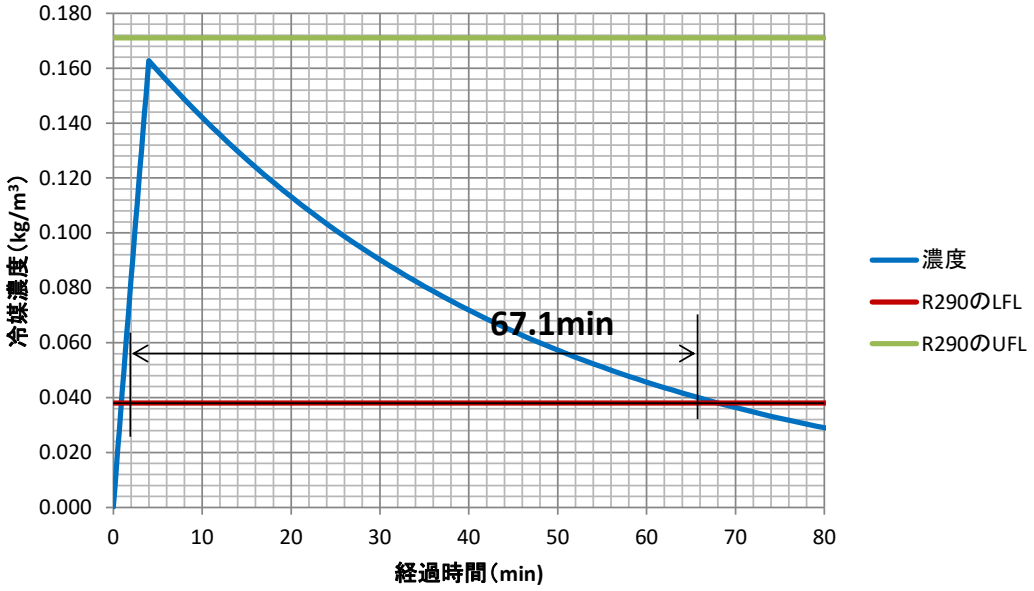



Fig. 6-1-3　冷媒濃度の経時変化（R290 ワゴン車内 500 g/4 分全量漏れ想定（未換気））

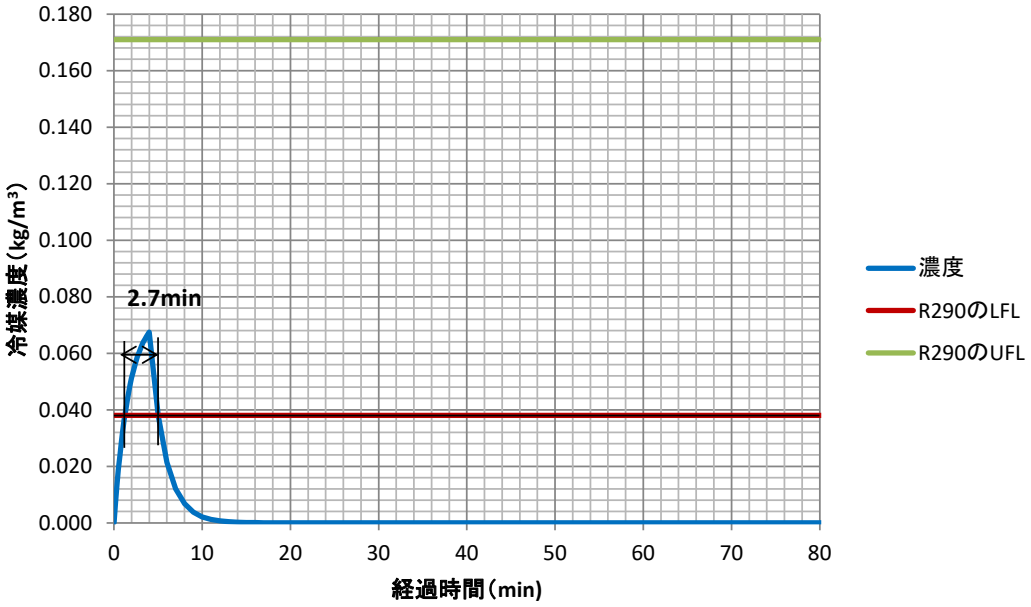



Fig. 6-1-4　冷媒濃度の経時変化（R290 ワゴン車内 500 g/4 分全量漏れ想定（換気有））

$$C(t) = \frac{w}{Q} \cdot \{1 - \exp(-\lambda t)\} \quad \text{（漏えい開始から終了まで：} 0 \le t \le M/w\text{）} \tag{6-1-1}$$

$$C(t) = \frac{w}{Q} \cdot \left\{1 - \exp\left(-\lambda \frac{M}{w}\right)\right\} \cdot \exp\left\{-\lambda\left(t - \frac{M}{w}\right)\right\} \quad \text{（漏えい終了以降：} M/w < t\text{）} \tag{6-1-2}$$

ここで，

| | | | |
|---|---|---|---|
| $C$ | : | 冷媒濃度 | (kg/m$^3$) |
| $M$ | : | 冷媒漏えい量 | (kg) |
| $Q$ | : | 換気量 | (m$^3$/h) |
| $t$ | : | 時刻 | (h) |
| $V$ | : | 内容積 | (m$^3$) |
| $w$ | : | 冷媒漏えい速度 | (kg/h) |
| $\lambda$ | : | 換気回数 | (回/h) |

Table 6-1-5　冷媒濃度経時変化試算条件

| | 記号 | 換気無 | 換気有 | 単位 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|
| 冷媒漏えい量 | M | 0.5 | 0.5 | kg | 1 台あたりの封入量 |
| 冷媒漏えい速度 | E | 7.5 | 7.5 | kg/h | 4 分間全量漏れ |
| 容積（ワゴン車内） | V | 2.9 | 2.9 | m$^3$ | |
| 換気量 | Q | 4[6-1-2)] | 100[6-1-3)，6-1-4)] | m$^3$/h | |
| 換気回数 | λ | 1.36 | 34.48 | 回/h | ＝換気量/車内体積 |
| 漏えい終了時間 | M/E | 0.067 | 0.067 | h | |
| R290 の LFL | | 0.038 | 0.038 | kg/m$^3$ | |
| R290 の UFL | | 0.171 | 0.171 | kg/m$^3$ | |

**2) 着火源**

着火源は，Table 6-1-6 に示すように輸送者による喫煙，静電気（キー接触・衣類）を想定した．

Table 6-1-6　輸送時の着火源

| 着火源 | 判定 | 備考 |
|---|---|---|
| 輸送者による喫煙 | ○ | |
| 静電気：キー接触 | ○ | |
| 静電気：衣類 | × | 放電エネルギー小 |

**2.1）喫煙による着火確率**

喫煙による着火確率を考える（詳細は **4.2.3** 項参照）．作業者は男性が多いとし男性の値を使用する．タバコを毎日吸う人の 1 日の平均喫煙本数は 18.1 本/人，喫煙率は 28.2 %．輸送時間は 2 h．1 本あたりの喫煙時間 5 min のうち，赤火になる時間は約 40 s．タバコの赤火が着火する確率を最悪条件の 100 %とし，ライターの着火時間 5 s を加え，45 s 間着火する可能性があるとする．

着火源存在時間 $T_i$(h)=着火源作動時間 $T_{ic}$(h)= 45(s)/3600(s/h)=0.0125(h)
可燃域継続時間 $T_v$=67.1(min)=1.1193(h)　　→　**6.1.2** 項の 1)参照
作業時間 $T_s$=輸送時間=2(h)
着火源使用回数 n=輸送時間 2×1 日の平均喫煙本数 18.1/(24−睡眠時間 7.25 h)
着火源作動回数 nc=n
作業中の着火源使用回数 ns=n
着火源の存在係数=人数 2×喫煙率 0.282

喫煙の時間的遭遇確率

$=1\times1\times[1-\{1-(T_{ic}+T_v)/(T_i+T_v)\}^{nc}]\times[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s)\}^{ns}]\times$着火源の存在係数$=4.71\times10^{-1}$

**2.2）着火前に換気をする確率**

車内の換気の有無は車の実際の使用シーンを想定し，換気機能として外気取入れ機能の利用の有無や窓を開けているかについてアンケート（A2L に対する店舗用パッケージエアコンのリスク評価[6-1-5)]を行った時に実施したもの）を行い，その結果を基に換気確率を算出して FTA に組み込んだ．

アンケートの内容は以下の通り．

Q1：日頃，車内で喫煙する際，以下の何れですか？

a. 窓を開ける

b1. エアコンを付ける＜外気取り入れモード＞

b2. エアコンを付ける＜内部循環モード＞

c. 換気しない（窓も開けない，エアコンも使わない）

Q2：（Q1 で a/b1/b2 と回答した方に対して）喫煙（換気と着火）の手順は，以下の何れですか？

イ. 換気（窓開け／エアコン On）が先

ロ. タバコへの着火が先

以上のアンケートによる調査結果から，車内換気の確率は以下のようになった．

車内換気あり：0.91

車内換気無し：0.09

タバコへの着火時に換気を先にするか後にするかについては以下のようになった．

換気が先：0.71

着火が先：0.29

従って，着火前に換気をする確率は，以下のようになる．

着火前に換気をする確率=換気をする確率×着火前に換気をする確率

=0.91×0.71

=0.646

**2.3) キー接触の静電気による着火確率**

キー接触の静電気によるスパークが輸送中に発生する確率と考える．輸送時間を 2 h，キー接触は乗車時のエンジンスタート時と降車時のエンジン停止時に発生するとした．放電割合は，キーが金属製である確率を 50 %と想定し，金属製の場合，そのうちの 50 %で放電が発生するとし，放電する割合を 25 %（=0.5×0.5）とした．ここで，車内での静電気による放電が発生する危険性がある湿度 30 %以下の発生時間割合は，18.7 %（**4.2.2** 項の 3)参照）であり，着火源存在係数は以下のようになる．

着火源存在係数＝0.5×0.5×18.7 %=0.04675

2 時間の輸送中で 10 %の確率で休憩をとるとした．

静電気帯電している人が乗車する際，ドアは金属であるため，乗車時にドアを開ける時に放電し，乗車後にキーをさす際は，放電後で除電されているため放電回数は次式より 1.1 回とする．

放電回数＝0(乗車)＋1(降車)＋0.1×[1(休憩時降車)＋0(休憩時乗車)]＝1.1 回

従って，着火源存在係数は 0.5×0.5×18.7 %で 0.0468 となる．
放電時間 1 μs，1 回の漏えいで 24 h のうち R290 の LFL を上回る時間は 67.1 分であり，静電気の放電エネルギーは小さいため，時空積を 1/2 として扱う（**4.2.2** 項の 1)参照）．ただし，ワゴン車内の空間容積は小さいため，冷媒が漏えいすると車内の冷媒濃度は均一になるものとし，空間的遭遇確率は 1 とし，可燃域継続時間のみ 1/2 にする．

$T_v$＝67.1/60/2=0.5597

キー接触静電気の時間的遭遇確率

$$=[1-\{1-(T_{ic}+T_v)/(T_i+T_v)\}^{nc}]\times[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s)\}^{ns}]$$

**2.4) 衣類の静電気について**

衣類脱衣時の静電気によるスパークは輸送中にランダムに発生するが，放電エネルギーが小さい[6-1-6]ので着火源ではないと判断した（**4.2.2** 項の 4)参照）．

以下，参考までに着火源と想定した場合の確率について記述する．冬場，車内の暖房時に着たまま乗車していたが暖房が効きすぎた時に脱ぐとして，多くても 2 回（2 名が暖房が効くまでに各 1 回）とおく．静電気を帯びるアクリルセーターを着用する期間を 12～2 月とし，その期間に静電気による放電が発生する危険性がある湿度 30 %以下の期間は 54.5 %（2016 年気象庁データよりエアコン動作時想定で換算）．さらにその期間の半分はアクリルセーターを選んで着用したとすると，その時期にあたり，かつアクリルセーターを着用する確率は，以下のようになった．

3 ヶ月/12 ヶ月×54.5 %×0.5=0.068125×2 名

衣類静電気の時間的遭遇確率

$$=[1-\{1-(T_{ic}+T_v)/(T_i+T_v)\}^{nc}]\times[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s)\}^{ns}]\times 2\text{ 名}$$

**3) 冷媒漏えい発生確率について**

冷媒漏えい発生確率は，輸送中に転倒や落下が起きた場合，又は事故が発生した場合を想定した．なお，前述の通り，新品のユニットは木枠梱包されているため，転倒や落下レベルで冷媒漏えいは発生しないと考えられることから，木枠無で輸送される旧品が冷媒入りで返品されるケースを想定した．2 つのシナリオを想定した．

(a) 事故が発生して冷媒が漏れる確率は，輸送中に事故が発生しかつ冷媒が漏えいする場合である．免許保有者における事故発生確率は，53.7 万人/8,215 万人＝0.654 %[6-1-7]

警察庁が公表する免許保有者の約 8,215 万人（H27 年）

1 年間の自動車事故発生件数約 53.7 万件（H27 年）

年間 53.7 万件の事故のうち，死亡・重傷事故発生件数は 4.1 万件．うち，死亡事故は 4,028 件[6-1-8]．職業で運転している人は運転技量が高いことを鑑み，その 1/10 とすると，冷媒漏えい発生確率は死亡事故が起きる程に激しい事故が発生した場合に冷媒が漏えいすると想定すると以下になる．

4,028/8,215 万/10＝$4.95\times10^{-6}$ ･･･(a)

(b) 初期不良のうちの冷媒漏えいが発生する率である初期設置時漏えい発生確率 $2.11\times10^{-4}$（**3.4.2** 項参照）は，輸送⇒保管⇒設置の 3 工程の積上げであるため，輸送時漏えい発生確率はその 1/3 とおくと，以下のようになる．

$2.11\times10^{-5}/3=7.03\times10^{-5}$ ･･･(b)

(a)＜(b)であることより，FTA として安全方向の(b)を選択した．

### 6.1.3　FTA と着火確率

1）FTA

FTA を Fig. 6-1-5 に示す．

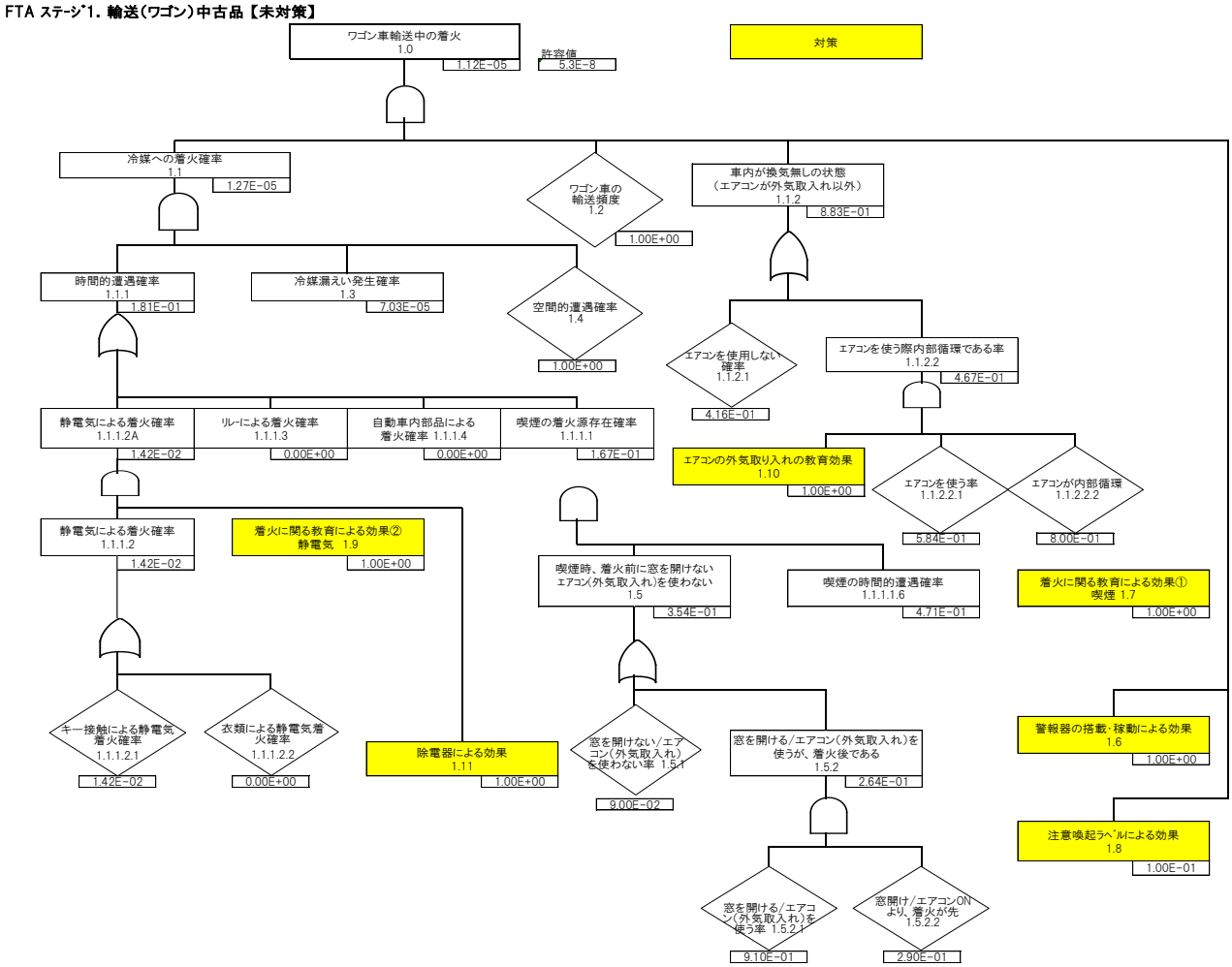



Fig. 6-1-5　輸送時の FTA

**2）着火確率**

前述の条件により着火確率を算出した結果，ワゴン車輸送率を 1 とした場合に，着火確率が $1.12\times10^{-5}$ となり，輸送時の許容値の $5.26\times10^{-8}$ を上回った．なお，ワゴン車輸送率を $4.20\times10^{-6}$ とした場合の着火確率は $4.72\times10^{-11}$ と許容値を下回った．

### 6.1.4　安全対策

ワゴン車輸送率を 1 とした場合の着火確率が輸送時の許容値を上回ったため，安全のため，着火確率を下げることができる対策案を検討した．換気による可燃空間減のため，換気を促す 4 つの対策案の効果を以下に想定する．

**1) 警報器の搭載・稼動後の換気による効果**

作業時に携帯形漏えい検知器を携行し，警報により着火源を排除する効果は 1/10～1/1000 で通常は 1/100 を使用する．ワゴン車輸送の場合は以下と考え，通常値を使用して問題無しと判断する．

・警報によって換気を行うことにより，可燃域はほぼ確実になくなる．

・狭い車の中での漏えいであり，換気しないと間違いなく自身が危険な状態になるため，教

育を受けた場合は確実に対策を実施すると想定した．
教育が業者に行きわたる率を 0.8 とすると，乗車人が 2 名の場合，2 人が同じ車に乗っているので，ある程度の相乗効果が発生すると考え，次式で確率を算出した．

教育が行き渡る確率=1−(1−"1 名の確率")$^{1.5}$
=1−(1−0.8)$^{1.5}$
=0.91
効果=教育が行き渡る確率×効果＋(1−教育が行き渡る確率)×1
=0.91×0.01＋(1−0.91)×1
=9.91×10$^{-2}$

**2) 着火に関る教育による効果**

着火源として，喫煙による①たばこと②静電気を想定した．

① ワゴン車は狭い空間であり，そこでの着火は自身の安全に大きく影響するため，禁煙の指示を無視する確率 0.1 とする．着火源に関する教育を行った結果，喫煙をしない確率は，自身の安全に関することなので 0.1 の 1/10 とし，0.01 とした．

効果=教育が行き渡る確率×効果＋(1−教育が行き渡る確率)×1
=0.91×0.01+(1−0.91)×1
=9.91×10$^{-2}$

② 車中では静電気の発生に注意することの教育を行う．教育効果は 0.01 とした（4.3 項参照）．

効果＝教育が行き渡る確率×効果＋(1−教育が行き渡る確率)×1
＝0.91×0.01＋(1-0.91)×1
＝9.91×10$^{-2}$

**3) 注意喚起ラベルによる効果**

可燃性冷媒に対する注意喚起ラベルによる効果は教育の有無とは無関係で 0.1 とした（4.3 項参照）．

効果=0.1

**4) 除電器による効果**

除電器により静電気がキーを介して放電することを想定した．静電気事故原因の約 70 % は非接地導体によるものであり [6-1-9]，除電器で防げる確率は 0.7 と推定される．除電器による効果は教育と同等とし，乗車員が 2 名いることによる相乗効果を踏まえ，次式とした．

効果＝0.7×{教育が行き渡る確率×効果＋(1−教育が行き渡る確率)×1}+0.3

ただし，他の対策実施後は，静電気よりも喫煙の方が着火確率への影響が大きいため，除電器を使用しなくても着火確率は許容値以下となる．

### 6.1.5　安全対策後の FTA と着火確率

**1) FTA**

FTA を Fig. 6-1-6 に示す.

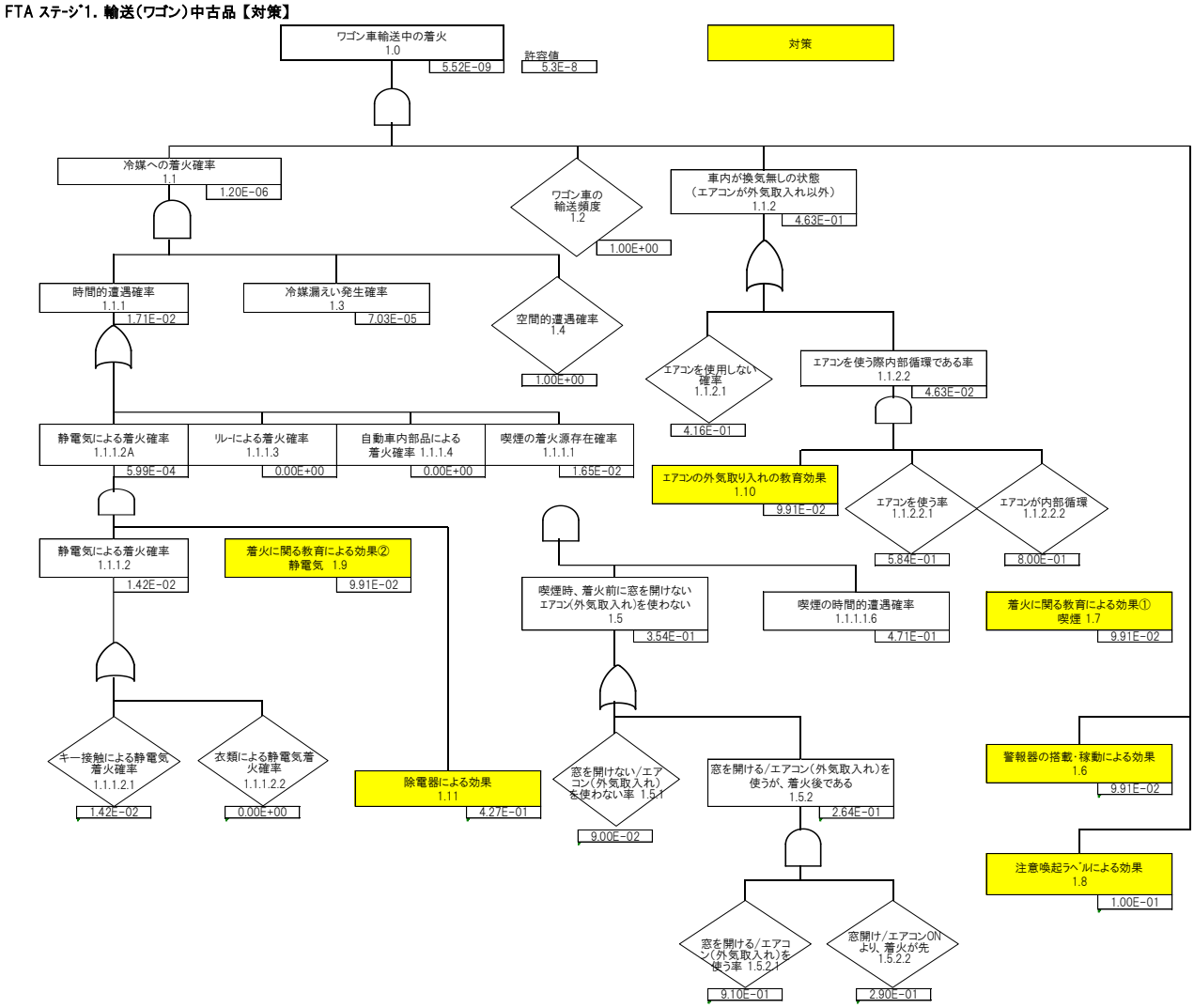



Fig. 6-1-6　安全対策後の輸送時の FTA

**2) 安全対策後の着火確率**

前述の安全対策を行った場合の着火確率を算出した結果，ワゴン車輸送率を 1 とした場合に，着火確率が $5.52\times10^{-9}$ となり，輸送時の許容値の $5.26\times10^{-8}$ を下回った．なお，ワゴン車輸送率を $4.20\times10^{-6}$ とした場合の着火確率は $2.32\times10^{-14}$ と許容値を下回った．

### 参考文献


6-1-1) 日冷工:「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).

6-1-2) 大西由哲，奥山博康，永山啓樹，大井元：「車室内の上下温度分布の工学モデル」，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 333-336 (2007.9).

6-1-3) 横山雄樹，岩下剛，吉浪譲，永山啓樹，仲川純子：「自動車車室内の空気質に関する基礎的研究（第 1 報）粉塵，超微粒子およびオゾンに関する報告」，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 533-536 (2007.9).

6-1-4) 仲川純子，岩下剛，吉浪譲，永山啓樹，横山雄樹：「自動車車室内の空気質に関する基

礎的研究（第 2 報）換気量，VOC に関する報告」，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 537-540 (2007.9).
6-1-5) 日冷工 :「微燃性冷媒を使用したスプリットエアコン（店舗用パッケージ）のリスク評価報告書」 (2017.4).
6-1-6) 労働安全衛生総合研究所技術指針，「静電気安全指針 2007」, JNIOSH–TR–NO.42，アトミ (2007).
6-1-7) https://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/index.htm
［警視庁ホームページ統計の平成 27 年度データ］.
6-1-8) https://www.itarda.or.jp/materials/traffic/free
［公益財団法人交通事故総合分析センターホームページの交通事故発生状況平成 27 年度データより（警視庁ホームページの統計の平成 27 年度交通事故状況から引用したデータ)］.
6-1-9) 松倉邦夫:「化学産業における静電気事故の再発防止手法」，安全工学, Vol.52 No.5, pp.318-323 (2013).

## 6.2　保管時

### 6.2.1　設定条件

ショーケースの保管場所は，工場生産後や海外生産拠点から持ち込まれたショーケースを一時的に保管する中型倉庫と各販売拠点で保有する狭小倉庫に分類され，中型倉庫は 1000 $m^2$，狭小倉庫は 15 $m^2$ とする．天井高さはともに 2.5 m とする．倉庫内でのショーケースの運搬は，倉庫に保管しているショーケースを輸送車に積むために，フォークリフトや作業員が直接操作する台車などで行う．作業員は休憩時に喫煙を行う．ショーケースの段積み保管は行わない．

倉庫に保管するショーケースは「新品」「中古品」の２つの状態があり，「新品」はビニール梱包又はビニール梱包+木枠の状態となっており，ビニール梱包は底面が解放されており外気との空気流動がある．梱包表面には荷扱い注意の施工者向け貼紙がされており，クローズドケースの場合の扉は PP バンドや緩衝剤で開かないよう固定されているとする．「中古品」は梱包無し又はビニール梱包を想定した．中古品のクローズドケースの扉についても，開かないように固定されているとした．

### 6.2.2　着火源と冷媒漏えい

着火源は，各倉庫で Table 6-2-1 を想定した．

Table 6-2-1　倉庫の種類と着火源

| 倉庫大きさ | 着火源 |
|---|---|
| 中型倉庫 | 喫煙<br>フォークリフト<br>静電気 |
| 狭小倉庫 | 喫煙<br>静電気<br>燃焼式暖房機 |

#### 1) 着火源

着火源は，倉庫内での喫煙，静電気，フォークリフト，燃焼式暖房機を想定した．

#### 1.1) 可燃域継続時間及び平均可燃空間体積について

保管時では製品下部から冷媒漏えいが起こると想定されるため，平形ショーケースでの冷媒漏えい解析結果（**5.2.1** 項参照）を使用した．

中型倉庫での可燃域継続時間は 8.75 min，平均可燃空間体積は 2.93 $m^3$ とした．この値は 100 $m^2$ での解析結果である．中型倉庫の設定面積は 1000 $m^2$ であるが，安全のため，解析結果の最大床面積 100 $m^2$ での値を使用した．

狭小倉庫での可燃域継続時間は 431.63 min，平均可燃空間体積は 5.11 $m^3$ とした．この値は 15.21 $m^2$ での解析結果であり，狭小倉庫の設定面積である 15 $m^2$ とほぼ等しいものである．

#### 1.2) 喫煙の時間的遭遇確率　（詳細は **4.2.3** 項参照）

・喫煙本数：「毎日吸う人」の平均喫煙本数
2017 年の 1 日当たりの平均喫煙本数は，男性 18.1(本/日)，女性 14.7(本/日) [6-2-1)]となっており，作業者は男性を想定し，男性平均喫煙本数を使用する．

・喫煙者率：28.2(%)
2017 年「全国たばこ喫煙者率調査」，男性 28.2 %，女性 9.0 %[6-2-1)]となっており，作業者は男性を想定し，男性喫煙者率を使用する．

・男性喫煙率：(本/日/人)

18.1(本/日)×28.2/100(人) = 5.1(本/日/人)
・１日のうち，喫煙をする時間は睡眠時間 7.25 時間 [6-2-2)]を除いた時間とする．
・1 本あたりの喫煙時間 5 min のうち，赤火になる時間は 40 s，ライターの着火時間 5 s であり，45 s 間着火する可能性があるとする．

・1 倉庫当たりの作業者数，勤務体系，倉庫内全体積については，以下の通りとする．
【中型倉庫】5(人)，8(h/日)，20(日/月)勤務　【狭小倉庫】2(人)，2(h/日)，20(日/月)勤務

喫煙本数 n(回)：作業時間(h)×平均喫煙本数/(24(h)−睡眠時間(h))
【中型倉庫】
→8(h)×18.1(本)/(24(h)−7.25(h))=8.64(回)
【狭小倉庫】
→2(h)×18.1(本)/(24(h)−7.25(h))=2.16(回)

着火源存在時間 $T_i$(h)：45(s)/3600(s/h)=0.0125(h)
可燃域継続時間 $T_v$(h): 8.75(min)=0.1458(h)（中型倉庫），431.63(min)=7.1938(h)（狭小倉庫）
喫煙本数 n(回)

時間的遭遇確率 $P_t$ は
【中型倉庫】
⇒$[1-\{1-(T_i(h)+T_v(h))/作業時間(h)\}^n]\times k = [1-\{1-(0.0125+0.1458)/8\}^{8.64}]\times 5\times 0.282 = 0.2236$
【狭小倉庫】
⇒$[1-\{1-(T_i(h)+T_v(h))/作業時間(h)\}^n\}\times k = [1-\{1-(0.0125+7.1938)/2\}^{2.16}]\times 2\times 0.282 = 0.564$

**1.3) フォークリフトの時間的遭遇確率**

フォークリフトの使用は，中型倉庫のみとする．
フォークリフトの存在確率：フォークリフト 2 台が，8 h/日稼働し，1 時間に 1 回始動時にスパークが発生
スパークの発生時間は着火原存在時間 $T_i(h)=5\times10^{-3}(s)/3600$　とした
床面積を 1000 $m^2$，高さ 2.5 m とした．実際の倉庫内高さは 8 m が一般的だが FTA 上は 2.5 m として計算を行う．
フォークリフトは動き回るため，時空積を 1/10 とする．
可燃域継続時間 $T_v$(h) を 1/10 したものを使用する
着火源存在時間 $T_i$(h)：$5\times10^{-3}(s)/3600$
可燃域継続時間 $T_v$(h)：可燃域継続時間 8.75(min)/60/10=0.0146(h)（中型倉庫）
スパーク発生回数 n(回)：8
時間的遭遇確率 $P_t$ は
【中型倉庫】
⇒$[1-\{1-(T_i(h)+T_v(h))/作業時間(h)\}^n]\times 2(台) = [1-\{1-((5\times10^{-3}/3600)+0.0146)/8\}^8]\times 2 = 0.029$

**1.4) 静電気の時間的遭遇確率**

・新品についてはビニール梱包されているので，静電気は発生しないものとする
・中古品については，ビニール梱包されずに製品がそのまま保管され，人が製品外装金属面に接した時に静電気が発生するものとする
・静電気が発生する確率について，
【室温空調時】18.7 %，【外気（非空調時）】3.2 %　（**4.2.2** 項の 3)参照）
ショーケース用の倉庫は通常，狭小・中型ともに空調はかかっていないので 3.2 %とする
・1 倉庫当たりの作業者数，勤務体系，空間体積については，以下の通りとする．

【中型倉庫】5(人)，20(日/月)，8(h/日)勤務，床面積 1000($m^2$)，高さ 2.2(m)
【狭小倉庫】2(人)，20(日/月)，2(h/日)勤務，床面積 15($m^2$)，高さ 2.2(m)
・着火源存在時間 $T_i=1\times10^{-6}$(s)/3600
・静電気の放電回数は，作業者が製品に触った時，一度だけを想定
・可燃域継続時間 $T_v$ は喫煙時のもの（1.1)）に対して $2^{0.5}$ で除したものを使用する
【中型倉庫】8.75(min)/$2^{0.5}$/60=0.103(h)
【狭小倉庫】431.63(min)/$2^{0.5}$/60=5.087(h)

静電気が発生するとして，作業時間に重なる時間的遭遇確率 $P_t$ は
【中型倉庫】(新品)
→静電気発生せず
【中型倉庫】(中古)
→[1−{1−((0.000001(s)/3600(s/h)+0.103(h))/8(h))}$^{1(回)}$]×5(人)×0.032(回)=0.00206
【狭小倉庫】(新品)
→静電気発生せず
【狭小倉庫】(中古)
→[1−{1−((0.000001(s)/3600(s/h)+5.087(h))/2(h))}$^{1(回)}$]×2(人)×0.032(回)=0.0407

**1.5) 燃焼式暖房機の時間的遭遇確率**

狭小倉庫では事務所以外でも燃焼式暖房機を使用する可能性があり着火源とする．中型倉庫では事務所以外では燃焼式暖房機を使用しないと考えられ着火源とはしない．

・1 倉庫当たりの勤務時間，空間体積については，以下の通りとする．
【狭小倉庫】2(h/日)勤務，床面積 15($m^2$)，高さ 2.5(m)
・勤務時間中全てにおいて燃焼式暖房機を使用すると想定 → 着火原存在確率 $T_i$：2(h)
・可燃域継続時間 $T_v$(h)：431.63(min)
・暖房器具の使用期間を 120(日/年)（11 月～3 月想定）と想定
・暖房器具の使用率を 50 %と想定
・暖房器具のうち，燃焼式暖房機を使用する割合を 50 %と想定
（暖房器具は，エアコン，ファンヒーター，電気ストーブ，石油ストーブなどが考えられるがその中で燃焼式暖房機の割合を多めに見積もり 50 %とした）

時間的遭遇確率 $P_t$ = ($T_i$(h)+$T_v$(h))/作業時間(h)=(作業時間+$T_v$(h))/作業時間(h) > 1
のため，$P_t$=1 となる

燃焼式暖房機使用時で想定している冷媒漏えいは，作業に起因するものでないので，漏えいした冷媒が作業時間と遭遇する確率=時間的遭遇確率 $P_t$'を算出する

$P_t$' = $P_t$×使用割合×使用率×使用期間率 = 1×0.5×0.5×(120/365) = 0.082

**1.6) 空間的遭遇確率**

空間的遭遇確率は，以下となる．
【中型倉庫】
$P_s$=平均可燃空間体積($m^3$)/(床面積($m^2$)×天井高さ(m))=2.93/(1000×2.5)
【狭小倉庫】
$P_s$=平均可燃空間体積($m^3$)/(床面積($m^2$)×天井高さ(m))=5.11/(15×2.5)

**2) 冷媒漏えい発生確率**

冷媒漏えいについて，保管中での件数が登録されていないので製造～設置の間で発生した冷媒漏えい発生確率である初期設置時漏えい発生確率 $2.11\times10^{-4}$（**3.4.2** 項参照）を使用する．本来，保管中に急に冷媒が漏れ始めることは想定し難いため，保管時の冷媒漏えい発生確率は，最大でも初期設置時漏えい発生確率の 1/3 とすべきところではあるが，長期保管の場合も想定されるので，安全のため，この値をそのまま使用する．

中古品の保管についても冷媒漏えいのデータが無いため，新品の冷媒漏えい発生確率を使用する．

中型倉庫新品保管時の FTA を Fig. 6-2-1 に示す．

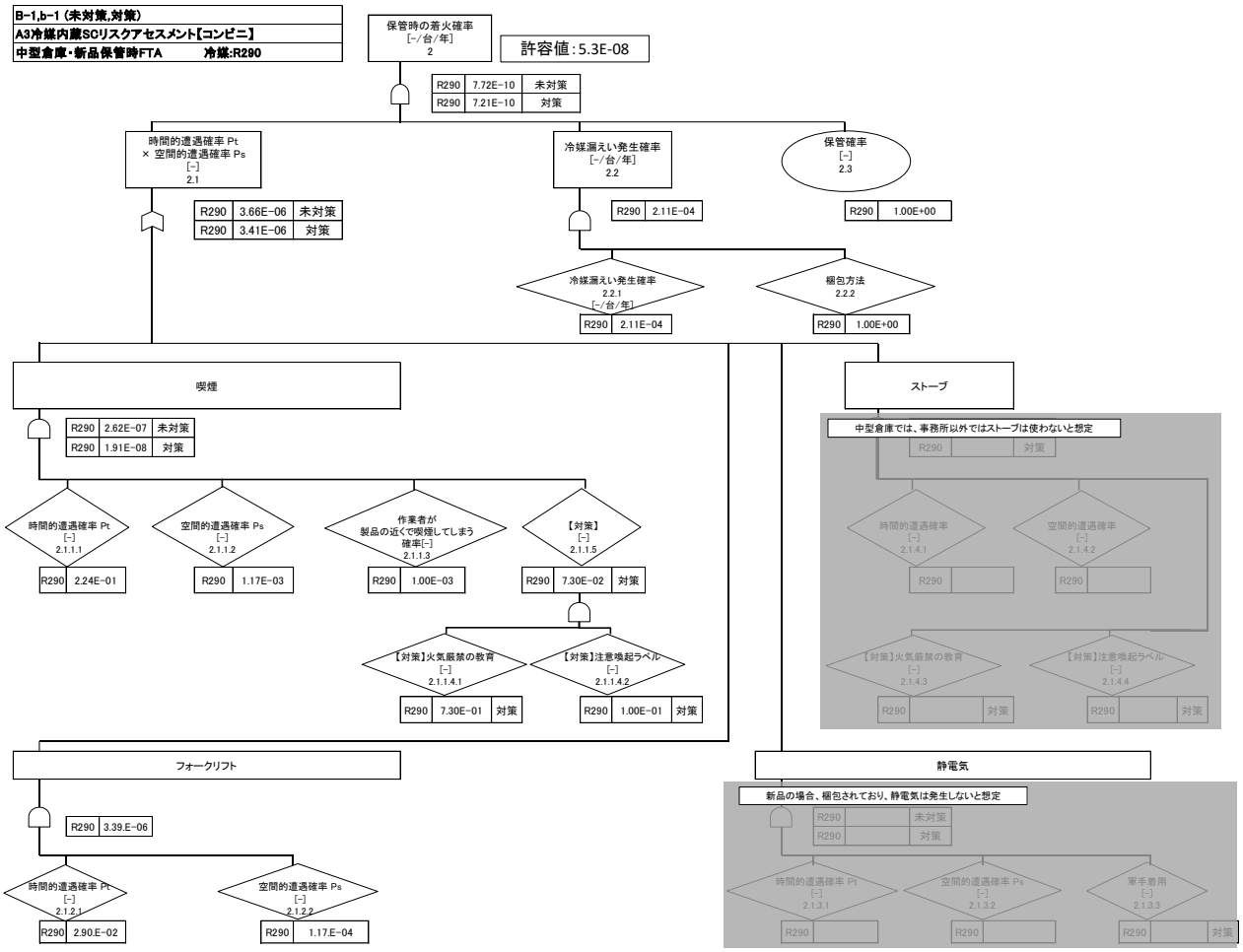



Fig. 6-2-1　中型倉庫新品保管時の FTA

着火確率は $7.72\times10^{-10}$ となり，許容値 $5.26\times10^{-8}$ を下回る結果となった．

中型倉庫中古品保管時の FTA を Fig. 6-2-2 に示す.

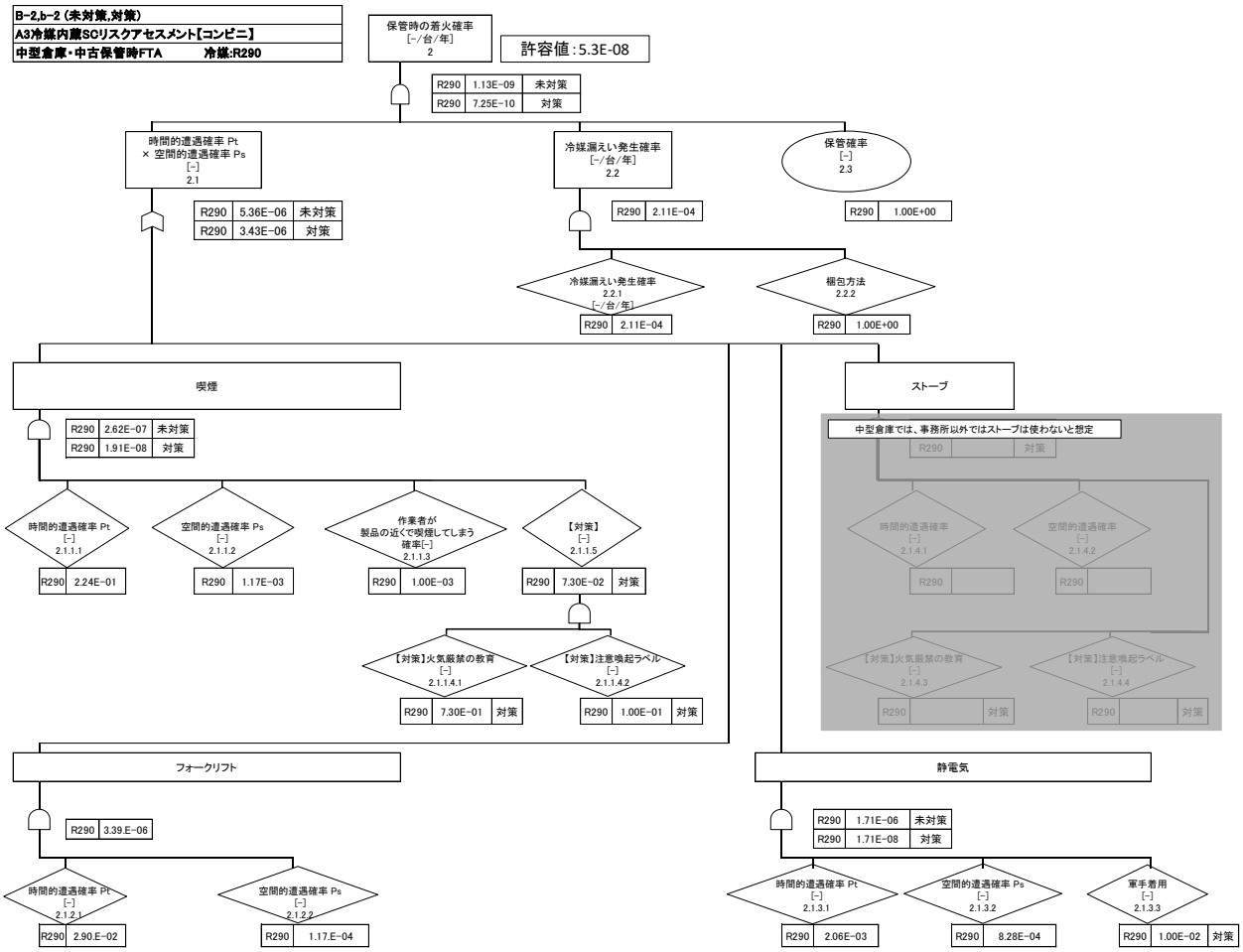



Fig. 6-2-2　中型倉庫中古品保管時の FTA

着火確率は $1.13\times10^{-9}$ となり，許容値 $5.26\times10^{-8}$ を下回る結果となった.

狭小倉庫新品保管時の FTA を Fig. 6-2-3 に示す.

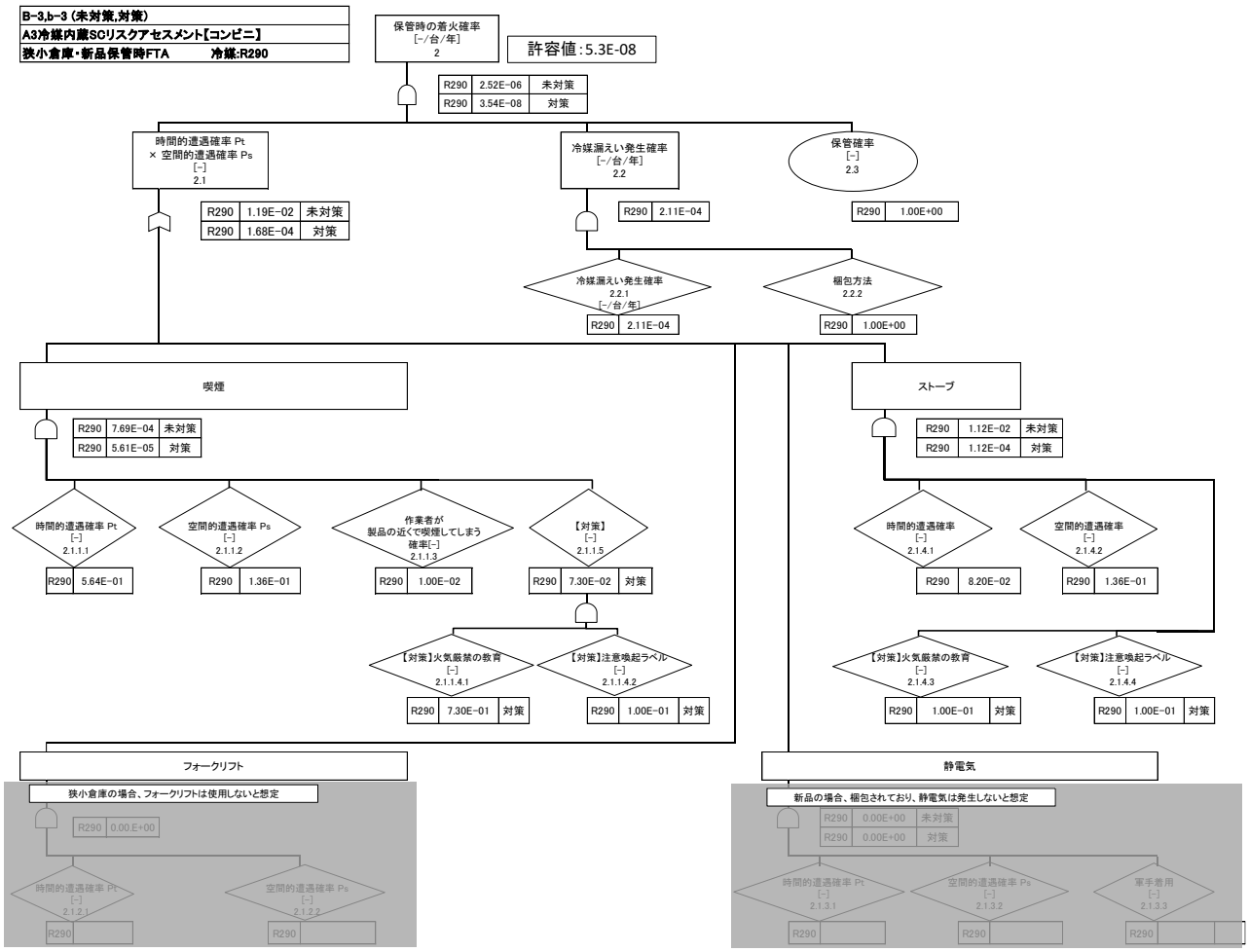



Fig.6-2-3　狭小倉庫新品保管時の FTA

着火確率は $2.52\times10^{-6}$ となり，許容値 $5.26\times10^{-8}$ を上回る結果となった.

狭小倉庫中古保管時の FTA を Fig. 6-2-4 に示す.

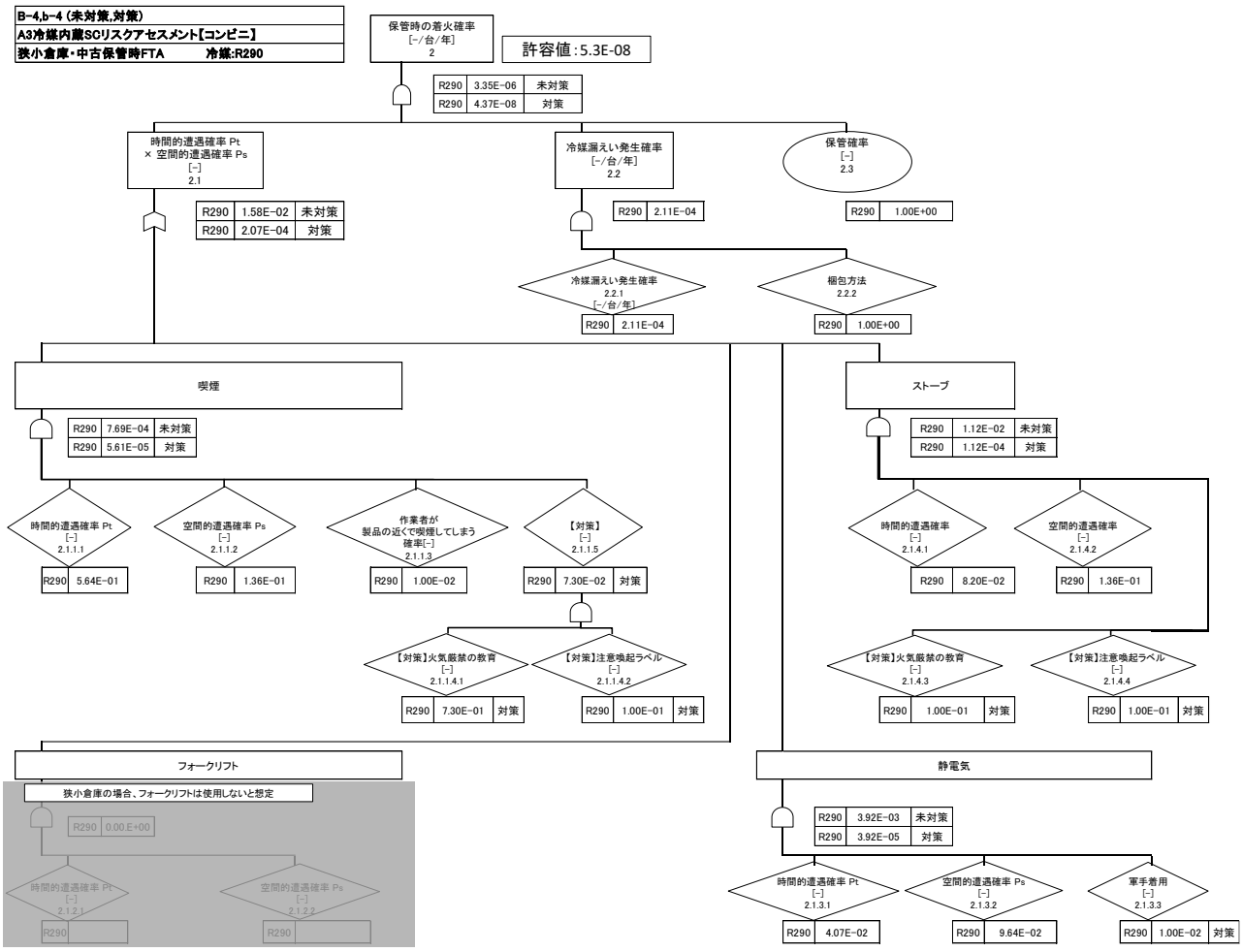



Fig.6-2-4　狭小倉庫中古保管時の FTA

着火確率は $3.35\times10^{-6}$ となり，許容値 $5.26\times10^{-8}$ を上回る結果となった．狭小倉庫における中古保管時の着火確率が最も大きい値となった．

### 6.2.3　安全対策

着火確率を低減する対策案として以下を想定した．

**1)　火気厳禁の教育**

“事務所又は喫煙室以外で，燃焼式暖房機などの火気類を使用してはならない”ことについて，メーカーや業界団体から各倉庫業者への教育を行うことで倉庫作業に従事するものに対して効果が期待できるものとする．

**1.1)　喫煙防止の効果**

狭小倉庫で働く人のうち，リーダー（作業者の責任者）と作業者の比率を 3 : 7 とする（責任者１人，作業者２人の想定）．教育については少なくともリーダー（作業者の責任者）に対して効果が期待できるものとする．

→ 教育の効果＝教育を受けた作業者の率×教育の効果＋教育を受けていない作業者の率×1

$=0.3\times0.1+(1-0.3)\times1$

$=0.73$

**1.2)　暖房器具の選定**

暖房器具を燃焼式暖房機でないものにする教育を行う.
暖房器具の選定・設置は倉庫の責任者が行うものとし，教育は全体に行き届くものとする
→ 教育の効果 ＝0.1

**2) 注意喚起ラベル**

製品銘版や背面に「火気を近づけないこと」の注意喚起ラベルを掲示することにより，教育を受けているいないに関わらず，確率 1/10 の効果があるとする.
→ 注意喚起ラベルの効果＝0.1

**3) 作業者の軍手着用**

作業者は通常，軍手をはめて作業するものとする.
→ 軍手の対策効果は 1/100 とする（**4.3** 節参照）.

### 6.2.4 安全対策後の着火確率

**6.2.3** 項に示す安全対策を行うことで，着火確率を許容値以下に抑えることができた．安全対策を施す前後の着火確率を Table 6-2-2 に示す.

Table 6-2-2 安全対策施工前後の着火確率

| | 対策前 | 対策後 |
|---|---|---|
| 中型倉庫新品保管時 | $7.72\times10^{-10}$ | $7.21\times10^{-10}$ |
| 中型倉庫中古保管時 | $1.13\times10^{-9}$ | $7.25\times10^{-12}$ |
| 狭小倉庫新品保管時 | $2.52\times10^{-6}$ | $3.54\times10^{-8}$ |
| 狭小倉庫中古保管時 | $3.35\times10^{-6}$ | $4.37\times10^{-8}$ |

**参考文献**

6-2-1) JT ウェブサイト
URL:https://www.jti.co.jp/investors/library/press_releases/2017/0727_01.html.
6-2-2) 総務省 生活時間に関する結果（平成 29 年 9 月 15 日）＞主要統計表＞1-2 の睡眠時間（20 歳～64 歳の男性の平均）
URL:http://www.stat.go.jp/data/shakai/2016/kekka.html.

## 6.3　設置時

### 6.3.1　設定条件

#### 1）概要

内蔵ショーケースのライフサイクルにおける設置の位置づけを Fig. 6-3-1 に，コンビニエンスストアに設置する内蔵ショーケースの設置形態を Table 6-3-1 に示す．設置は，屋外でトラックの荷台にあるショーケースを地面に降ろすまでの荷下ろし作業，荷下ろしされたショーケースを店舗内の設置場所まで運搬する運搬作業，設置場所で開梱や付属品の取付けを行う据付作業までの作業工程を想定した．設置する製品の状態は，ビニール梱包又はビニール梱包＋木枠で梱包された新品の場合と，梱包無し又はビニール梱包された中古品の場合があるが，今回の検討では製品台数が多く，かつ着火確率も大きくなる新品を想定した．設置時の店舗状態には，店舗工事や別置ショーケースの設置工事が行われている新店工事の場合と，営業中における製品の増設や入れ替えなどの場合があり，新店工事と営業中の両方の店舗状態を想定した．製品形態は，最も危険な状態と想定されるリーチインショーケースについて検討を行った．

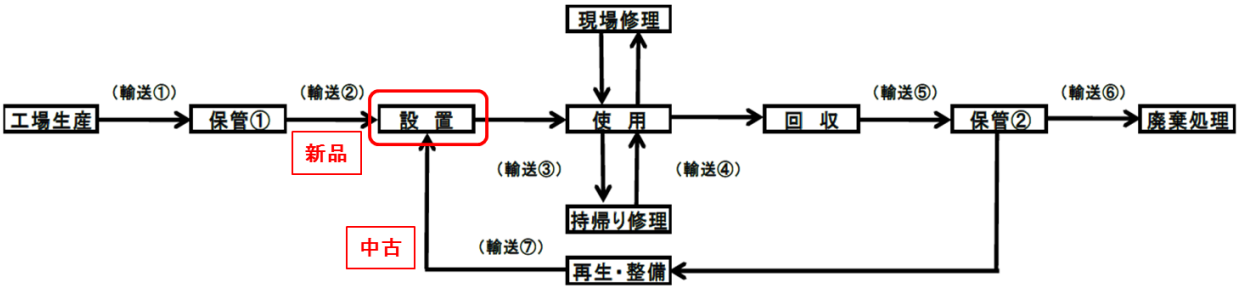



Fig. 6-3-1　内蔵ショーケースのライフサイクル

Table 6-3-1　設置形態のまとめ

| 店舗サイズ | | | 狭小 | | | | 中型 | | | | 大型 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 製品状態 | | | 新品 | | 中古 | | 新品 | | 中古 | | 新品 | | 中古 | |
| 店舗状態 | | | 新店工事 | 営業中 | 新店工事 | 営業中 | 新店工事 | 営業中 | 新店工事 | 営業中 | 新店工事 | 営業中 | 新店工事 | 営業中 |
| 製品形態 | クローズド | リーチイン（上ユニット） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | リーチイン（下ユニット） | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | リーチイン（横ユニット） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 平形 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | オープン | 多段形（上ユニット） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 多段形（下ユニット） | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 平形 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

（●：設置 FTA の対象）

**2）作業時間**

設置作業全体の作業時間を設置するショーケース 1 台あたり 1 h とし，各作業工程の作業時間は，荷下ろし作業を 0.2 h，運搬作業を 0.1 h，据付作業を 0.7 h とした．

**3）年間設置率**

年間設置率は年間撤去率（**6.6** 節参照）と同じとし，設置率 = 寿命による撤去率 + 店舗の閉店率とした．寿命による撤去率は，内蔵ショーケースの寿命を 13 年とし，$1/13 = 7.69 \times 10^{-2}$ とした．店舗の閉店率は，大手コンビニエンスストアチェーンの 2014～2016 年度の開店・閉店・店舗数の平均値から年あたりの閉店率を算出し，$4.7\times10^{-2}$ とした．以上から設置率は $7.69 \times 10^{-2} + 4.7\times10^{-2} = 1.24 \times 10^{-1}$ とした．

**4）リーチインショーケースの割合**

リーチインショーケースの割合は 29.7 %とする（**3.4.2** 項参照）．

### 6.3.2　着火源と冷媒漏えい

**1）着火源の種類**

想定する着火源について，作業工程・店舗状態・着火エネルギーで分けた結果を Table 6-3-2 に示す．着火エネルギー区分が小である着火源においては **4.2.2** 項の 1)の静電気放電の場合と同様に，可燃域継続時間及び平均可燃空間体積のそれぞれを $2^{0.5}$ で除した値を用いる．

Table 6-3-2　設置時における着火源

| 着火源 | | | 作業工程 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 荷下ろし | | 運搬 | | 据付 | |
| 区分 | 名称 | 着火エネルギー区分 | 新店工事 | 営業中 | 新店工事 | 営業中 | 新店工事 | 営業中 |
| 作業に伴う着火源 | たばこ（作業者） | 大 | ○ | ○ | ○ | | ○ | |
| | 静電気（作業者-製品） | 小 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 作業に伴わない着火源 | ろう付けバーナー | 大 | | | ○ | | ○ | |
| | 電動ドライバー | 小 | | | ○ | | ○ | |
| | 電動グラインダー | 大 | | | ○ | | ○ | |
| | 静電気（客-店内） | 小 | | | | ○ | | ○ |
| | 電源コンセント（製品） | 大 | | | | | | |
| | 電源コンセント（掃除機） | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | 照明スイッチ | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | 換気扇スイッチ | 大 | | | | | | |
| | フライヤースイッチ | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | 電子レンジ | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | 電灯 | 大 | | | | | | |
| | 白熱球 | 大 | | | | | | |
| | 電子ライター | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | デフロストヒーター | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | コピー機・プリンター（発火事故） | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | コピー機・プリンター（使用） | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | 加温装置（中華まん） | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | 加温装置（おでん） | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | 燃焼式暖房機 | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | コーヒーディスペンサー | 大 | | | | ○ | | ○ |
| | ブラシモーター（製品外） | 大 | | | | ○ | | ○ |

**2）時間的遭遇確率 $P_t$ の算出**

時間的遭遇確率の計算に用いる可燃域継続時間 $T_V$ は，**5** 章の解析結果の値を使用した．運搬時の可燃域継続時間は，製品を台車で移動している状態であり，漏えいした冷媒は周囲に拡散しやすいと想定し，0.7 を乗じた値を用いた．

荷下ろし（庫外漏えい）　$T_V$ = 8.75（min）
運搬（庫外漏えい）　$T_V$ = 10.93 × 0.7 = 7.65（min）
据付（庫外漏えい）　$T_V$ = 10.93（min）
据付（庫内漏えい）　$T_V$ = 1.77（min）

**2.1) たばこ（喫煙器具含む）**

設置作業者がたばこを吸いながら作業していることを想定し，たばこの赤火又はたばこの着火に用いるライターの裸火を着火源と想定した．時間的遭遇確率 $P_t$ は，以下の式から計算した．

$$P_t = k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^n\right\}$$

着火源存在係数 $k$

喫煙率と訓練を無視する確率，設置作業者数を乗じて算出する．喫煙率は，設置作業者を男性と想定し，**4.2.3** 項の 3)から 28.2 %を用いた．訓練を無視する確率は，通常，設置作業者が喫煙しながら作業をすることは考えにくいため，ADL レポート [6-3-1)]の訓練を無視する確率 10 %を用いた．設置作業者の数は 2 人とした．以上から，着火源存在係数 $k$ は，
喫煙率 0.282（-）×訓練を無視する確率 0.1（-）×設置作業者の数 2（人）　= 0.0564（-）
とした．

着火源使用回数 $n$

作業者を男性と想定し，式（4-14）で計算した値を用いる．各作業工程の着火源使用回数は以下．

荷下ろし　作業時間(h)×1.08(回/h)＝0.2（h）×1.08（回/h）＝0.216（回）
運搬　作業時間(h)×1.08(回/h)＝0.1（h）×1.08（回/h）＝0.108（回）
据付　作業時間(h)×1.08(回/h)＝0.7（h）×1.08（回/h）＝0.756（回）

着火源存在時間 $T_i$

**4.2.3** 項の 2)から 45 s とした．

以上から，時間的遭遇確率は

荷下ろし　$P_t$ = $1.62\times10^{-2}$（-）
運搬　$P_t$ = $5.64\times10^{-2}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t$ = $2.57\times10^{-3}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t$ = $1.23\times10^{-2}$（-）
となった．

**2.2) ろう付けバーナー**

新店時，店内で別置ショーケースの配管ろう付け作業があり，ろう付けバーナーの裸火を着火源と想定した．別置ショーケースの設置作業は，その日の朝 6 時から夕方 6 時までの 12 時間に行われるとし，式(4-12)の 24 時間を 12 時間に置き換え，時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{12}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/12}\right\}$$

着火源存在係数 $k$

別置ショーケースの設置と内蔵ショーケースの設置が同じ日にある確率を 50 %と想定する．また別置ショーケースの設置は，その日の朝 6 時から夕方 6 時の 12 時間の間に行われるとし，別置ショーケースの設置と内蔵ショーケースの運搬作業が同じ時間帯にある確率は（0.1（h）+6（h））/12（h） = 0.508（-）とする．以上から着火源存在係数は，0.5（-）×0.508（-）=0.254（-）とする．

着火源使用回数 $n$

ろう付けバーナーの使用回数を 4 回/店と想定する．

着火源存在時間 $T_i$

ろう付け 1 回あたりのバーナーの点火時間を 2 min と想定した．

以上から，時間的遭遇確率は

運搬　　$P_t = 1.11\times10^{-2}$（-）

据付（庫内漏えい）　$P_t = 1.34\times10^{-3}$（-）

据付（庫外漏えい）　$P_t = 5.10\times10^{-3}$（-）

となった．

**2.3) 電動ドライバー**

新店時，別置ショーケースの設置工事に使用されるブラシモーター仕様の電動ドライバーから発せられる火花を着火源と想定した．別置ショーケースの設置作業は，その日の朝 6 時から夕方 6 時までの 12 時間に行われるとし，式(4-12)の 24 時間を 12 時間に置き換え，時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{12}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/12}\right\}$$

着火源存在係数 $k$

電動ドライバーがブラシモーター仕様である割合を 5 %と想定する．別置ショーケースの設置と内蔵ショーケースの設置が同じ日にある確率を 50 %と想定する．また店舗工事は，その日の朝 6 時から夕方 6 時の 12 時間の間に行われるとし，別置ショーケースの設置と内蔵ショーケースの運搬作業が同じ時間帯にある確率は（0.1（h）+6（h））/12（h） = 0.508（-）とする．以上から着火源存在係数は，

0.05（-）×0.5（-）×0.508（-）=0.0127（-）

とする．

着火源使用回数 $n$

ショーケース同士の連結や化粧板の取り付けなどに使用し，1 店舗あたり 100 回を想定する．

着火源存在時間 $T_i$

電動ドライバーを 1 回あたり 3 s 使用すると想定した．

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 6.26\times10^{-3}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 2.34\times10^{-3}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 9.74\times10^{-3}$（-）
となった．

**2.4) 電動グラインダー**

店舗工事で電動グラインダーが使用されて発生する火花を着火源と想定した．店舗工事は，その日の朝 6 時から夕方 6 時までの 12 時間に行われるとし，式(4-12)の 24 時間を 12 時間に置き換え，時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{12}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/12}\right\}$$

着火源存在係数 $k$

電動グラインダーが使用される確率を 50 %と想定する．店舗工事と内蔵ショーケースの設置が同じ日にある確率を 50 %と想定した．また店舗工事は，その日の朝 6 時から夕方 6 時の 12 時間の間に行われるとし，別置ショーケースの設置と内蔵ショーケースの運搬作業が同じ時間帯にある確率は（0.1（h）+8（h））/12（h）　= 0.675（-）とした．以上から着火源存在係数は，
0.5（-）×0.5（-）×0.675（-）=0.169（-）とした．

着火源使用回数 $n$

1 店舗あたり 10 回を想定した．

着火源存在時間 $T_i$

電動グラインダーを 1 回あたり 15 s 使用すると想定した．

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 1.41\times10^{-2}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 2.32\times10^{-3}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 1.36\times10^{-2}$（-）
となった．

**2.5) 電源コンセント**

営業中の店内清掃で使用する掃除機のコンセントの抜き差し作業により発生する放電を着火源と想定した．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数 $k$

掃除機本体のスイッチ操作をせずにコンセントを抜き差しする確率を 50 %と想定した．

着火源使用回数 $n$

清掃回数を 2 回/日とし，スイッチ操作せずにコンセントの抜く回数を 2 回とした．

着火源存在時間 $T_i$

コンセントの抜き出し時の放電が 5 ms 間発生すると想定した.

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 4.16\times10^{-3}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 7.19\times10^{-5}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 5.01\times10^{-4}$（-）
となった.

**2.6) 照明スイッチ**

営業中に照明スイッチを操作し，スイッチの接点が離れる時に発生する火花を着火源と想定した．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した.

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数 $k$
1（-）とした.

着火源使用回数 $n$
1 日に 2 回/日スイッチの ON・OFF 操作を行うとし，ON→OFF 時のみ火花放電が発生すると想定し，2 回とした.

着火源存在時間 $T_i$
コンセントの抜き出し時の放電が 5 ms 間発生すると想定した.

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 8.32\times10^{-3}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 1.44\times10^{-4}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 1.00\times10^{-3}$（-）
となった.

**2.7) 換気扇スイッチ**

新店工事では使用しないと想定し，営業中店舗では常時運転のため，着火源にならないと想定する.

**2.8) フライヤースイッチ**

営業中にからあげなどの揚げ物商品の調理を行う際のフライヤースイッチ操作による放電を着火源と想定した．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した.

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数 $k$
1（-）とした.

着火源使用回数 $n$
4 時から 24 時の間の 20 時間に 4 時間毎に調理すると想定し，ON/OFF 回数を 10 回と想定した.

着火源存在時間 $T_i$
スイッチ操作による放電が 5 ms 間発生すると想定した.

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 4.09\times10^{-2}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 3.19\times10^{-3}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 2.16\times10^{-2}$（-）
となった.

**2.9) 電子レンジ**
営業中に使用されることを想定し，1 店舗あたり 2.5 台設置されているとし，事故件数 17 件/年（NITE 調査結果），市場普及台数 376,406 台（JEMA 調査数値（2016 年））から時間的遭遇確率 $P_t$ は
$P_t = T_v \times 2.5 \times 17 \times 376406 \div 365 \div 24 \div 60 = 6.60 \times 10^{-10}$
となった.

**2.10) 電灯**
蛍光灯及び LED 表面温度が 100 ℃以下のため，着火源とならないとした.

**2.11) 白熱球**
白熱球の表面温度は 180 ℃程度であり，着火源とならないとした.

**2.12) 電子ライター**
営業中にお客によるライターの試し着火により発生する裸火を着火源と想定した. 時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した.

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数：$k$
1（-）とした.

着火源使用回数：$n$
1 店舗あたり，5 回の試し着火があると想定した.

着火源存在時間：$T_i$
1 回あたり 5 s 試し着火すると想定した.

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 2.09\times10^{-2}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 9.02\times10^{-4}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 5.98\times10^{-3}$（-）
となった.

**2.13) デフロストヒーター**
通常使用時の表面温度は R290 の自己着火温度以下であり着火源にならない. 100 年に 1 回事故発生し着火することを想定した. 時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した.

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数 $k$
100 年に 1 回の事故を想定し，0.01（-）とした．

着火源使用回数 $n$
1（回）とした．

着火源存在時間 $T_i$
2.3（h）とした．

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 1.00\times10^{-3}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 1.25\times10^{-3}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 1.25\times10^{-3}$（-）
となった．

**2.14) コピー機・プリンター（発火事故）**

営業中に使用されることを想定し，1 店舗あたり 1 台設置されているとし，事故件数 25 件/5 年（NITE 調査結果），市場普及台数 2,892,872 台（JEMA 調査数値（2021-2016 年））から時間的遭遇確率 $P_t$ は

$$P_t = T_v \times 1 \times 25 \times 2892872 \div 365 \div 24 \div 60 = 1.01 \times 10^{-11}$$

となった．

**2.15) コピー機・プリンター（使用）**

営業中にお客が使用したコピー機内の接点が動作した時の放電を着火源と想定した．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数：$k$
1（-）

着火源使用回数：$n$
1 店舗あたり，50 回使用されることを想定した．

着火源存在時間：$T_i$
1 回のコピー時間を 3 min と想定した．

以上から，時間的遭遇確率は
運搬　　$P_t = 2.69\times10^{-1}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 1.28\times10^{-1}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 3.53\times10^{-1}$（-）
となった．

**2.16) 加温装置（中華まん）**

フライヤースイッチと同じ値を使用する.

**2.17) 加温装置（おでん）**

フライヤースイッチと同じ値を使用する.

**2.18) コーヒーディスペンサー**

営業時にお客がコーヒーディスペンサーを操作した際に，コーヒーディスペンサー内部のリレーが動作した時に発生する放電を着火源と想定した．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した.

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数 $k$

1（-）とした.

着火源使用回数 $n$

特定のコンビニチェーン全体でのコーヒー販売数が年間 9 億杯，その店舗数が約 2 万店であり，1 日あたり 124 杯と想定する．また，コーヒー1 杯作る際の内部リレーの動作か回数を 1.5 回と想定した.

着火源存在時間 $T_i$

内部リレー動時に 5 ms 放電が発生すると想定した.

以上から，時間的遭遇確率は

運搬　　$P_t = 5.40\times10^{-1}$（-）

据付（庫内漏えい）　$P_t = 2.07\times10^{-1}$（-）

据付（庫外漏えい）　$P_t = 8.02\times10^{-1}$（-）

となった.

**2.19) 燃焼式暖房機**

燃焼式暖房機が使用されている店舗を想定し，営業中に使用し，燃焼式暖房機内の裸火を着火源と想定した．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した.

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数 $k$

普及率を 0.01 %とした.

着火源使用回数 $n$

1 回とした.

着火源存在時間 $T_i$

1 日の使用時間を 10 h と想定した.

以上から，時間的遭遇確率は

運搬　　$P_t = 9.96\times10^{-5}$（-）
据付（庫内漏えい）　$P_t = 9.97\times10^{-5}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 9.97\times10^{-5}$（-）
となった．

**2.20) 静電気（作業者-製品）**

作業者が製品の金属部分に触れた時の静電気放電による着火を想定する．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v/2^{0.5}}{T_s}\right)^n\right\}$$

着火源存在係数 $k$

**4.2.2** 項の 3)から，新店工事における店内は空調されていないことを想定し，店外（屋外）の静電気の発生率 3.2 %を用いた．

着火源使用回数 $n$

静電気発生タイミングは，据付作業における製品の開梱作業時で帯電し，台車から製品を下ろす時に放電した時と，付属品の棚の保護フィルムを取り外すことで帯電した後，棚を設置する際に放電する時の 2 回とした．

着火源存在時間 $T_i$

**4.2.2** 項の 2)の静電気の放電時間 1 μs とした．

以上から，時間的遭遇確率は
据付（庫内漏えい）　$P_t = 3.75\times10^{-3}$（-）
据付（庫外漏えい）　$P_t = 2.14\times10^{-2}$（-）
となった．

**2.21) 静電気（客-店内）**

客が店内の扉，ショーケースのハンドレール，棚などの金属部分に触れた時の静電気放電による着火を想定する．時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した．

$$P_t=k\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_s}{24}\right)^n\right\}\left\{1-\left(1-\frac{T_i+T_v}{T_s}\right)^{n\times T_s/24}\right\}$$

着火源存在係数 $k$

**4.2.2** 項の 3)の静電気の発生率 18.7 %を用いた．

着火源使用回数 $n$

特定のコンビニチェーン全体でのコーヒー販売 9 億杯で半数がアイスコーヒー．特定のコンビニチェーンの店舗数が約 2 万店であり 1 日当たりの開閉を想定すると 9 億杯/2 万店/365 日/2＝62 回．よって冷凍リーチイン 1 枚扉 1 日あたりの開閉回数を 62 回とする．他冷蔵リーチイン 6 枚扉についても扉 1 枚当たり同じ回数開閉するものと想定．
62 回×(6+1)＝434 回（1 日当たりの最多放電回数と仮定）

しかし，庫内漏えいしている時に扉をあけても最初にドアに触れる時は製品外に漏えいしないため，1 人目のお客が扉を開け，直後に 2 人目のお客が扉を開ける確率を 10 %とすると 434 回×0.1=43.4 回⇒44 回．

着火源存在時間 $T_i$

**4.2.2** 項の 2)の静電気の放電時間 1 μs とした.

以上から，時間的遭遇確率は

運搬　　$P_t = 5.43\times10^{-3}$（-）

据付（庫内漏えい）　$P_t = 2.59\times10^{-3}$（-）

据付（庫外漏えい）　$P_t = 1.56\times10^{-2}$（-）

となった.

**3）冷媒漏えい発生確率**

設置時の冷媒漏えい発生確率は，**3.4.2** 項の初期設置時漏えい発生確率 $2.11\times10^{-4}$ が輸送・保管・設置の 3 つのライフステージを含んだ漏えい確率であり，設置ステージにおける冷媒漏えい発生確率を $2.11\times10^{-4}$ の 1/3 の $7.03\times10^{-5}$ とした．設置作業の各作業工程の冷媒漏えい発生確率は，設置ステージにおける冷媒漏えい発生確率に各作業工程の作業時間割合を乗じて計算し，荷下ろし時は $1.41\times10^{-5}$，運搬時は $7.03\times10^{-6}$，据付時は $4.92\times10^{-5}$ とした．また据付時における庫内漏えい時と庫外漏えい時の冷媒漏えい発生確率は同じとし，それぞれ $4.92\times10^{-5}$ の 1/2 の $2.46\times10^{-5}$ とした．冷媒漏えい発生確率を Table 6-3-3 にまとめた.

Table 6-3-3　冷媒漏えい発生確率

| | 冷媒漏えい発生確率 |
|---|---|
| 設置ステージ全体 | $7.03\times10^{-5}$ |
| 荷下ろし作業 | $1.41\times10^{-5}$ |
| 運搬作業 | $7.03\times10^{-6}$ |
| 据付作業（庫内漏えい） | $2.46\times10^{-5}$ |
| 据付作業（庫外漏えい） | $2.46\times10^{-5}$ |

**4）空間的遭遇確率**

空間的遭遇確率 $P_S$ は式(4-2)から算出する．平均可燃空間体積 $V_v$ は，**5** 章の漏えい解析結果の値を使用した．ただし，運搬時は製品を台車で移動している状態であるため，漏えいした冷媒は周囲に拡散しやすいと想定し，0.8 を乗じた値を用いた．また，荷下ろし作業は屋外で行われるが，安全のため，解析結果の最大床面積 100 $m^2$ での値を使用した．空間体積 $V_g$ は，各作業工程の床面積に高さ 2.2 m を乗じた値を使用した．各作業工程の空間的遭遇確率を Table 6-3-4 に示す.

Table 6-3-4　各作業工程の空間的遭遇確率

| | 着火<br>エネルギー | 空間的<br>遭遇確率 | 床面積<br>（$m^2$） | 平均可燃空間<br>体積（$m^3$） |
|---|---|---|---|---|
| 荷下ろし作業 | 小 | $9.41\times10^{-3}$ | 100 | 2.928 |
| | 大 | $1.38\times10^{-2}$ | | |
| 運搬作業 | 小 | $9.43\times10^{-3}$ | 84.7 | 2.48 |
| | 大 | $1.33\times10^{-2}$ | | |
| 据付作業（庫内漏えい） | 小 | $8.13\times10^{-3}$ | 84.7 | 3.11 |
| | 大 | $1.15\times10^{-2}$ | | |
| 据付作業（庫外漏えい） | 小 | $1.18\times10^{-2}$ | 84.7 | 2.14 |
| | 大 | $1.67\times10^{-2}$ | | |

### 6.3.3　FTA と着火確率

新店工事における設置作業時の FTA を Fig. 6-3-2 に，営業中における設置作業時の FTA を Fig. 6-3-3 に示す．新店工事の場合は，着火確率は $4.19\times10^{-9}$ となり，設置時の許容値の $5.26\times10^{-8}$ を下回る結果となったが，営業中の場合は，着火確率 $7.25\times10^{-8}$ となり，許容値を超えるため対策が必要であることが分かった．

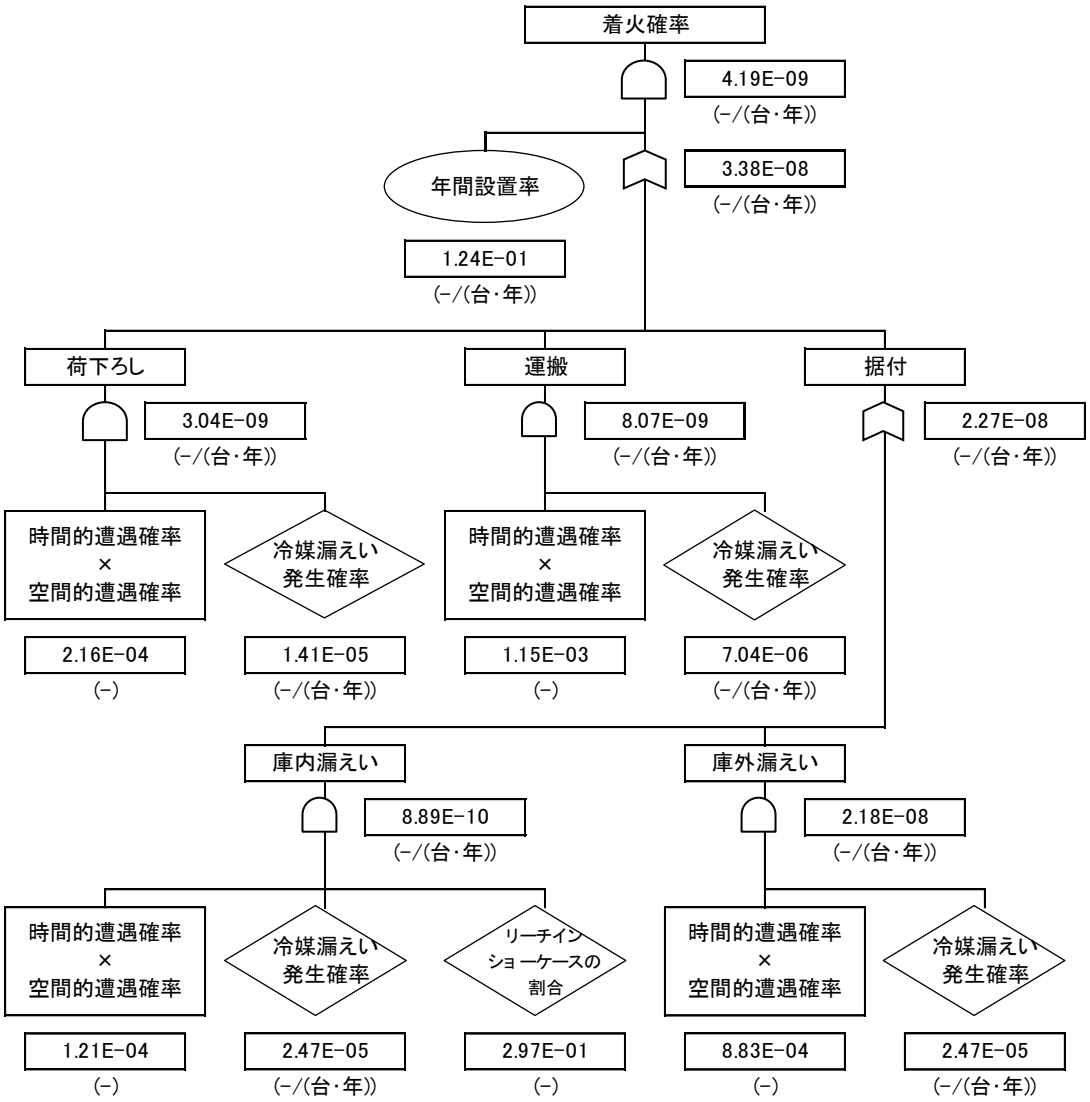



Fig. 6-3-2　新店工事における設置時の FTA（未対策）

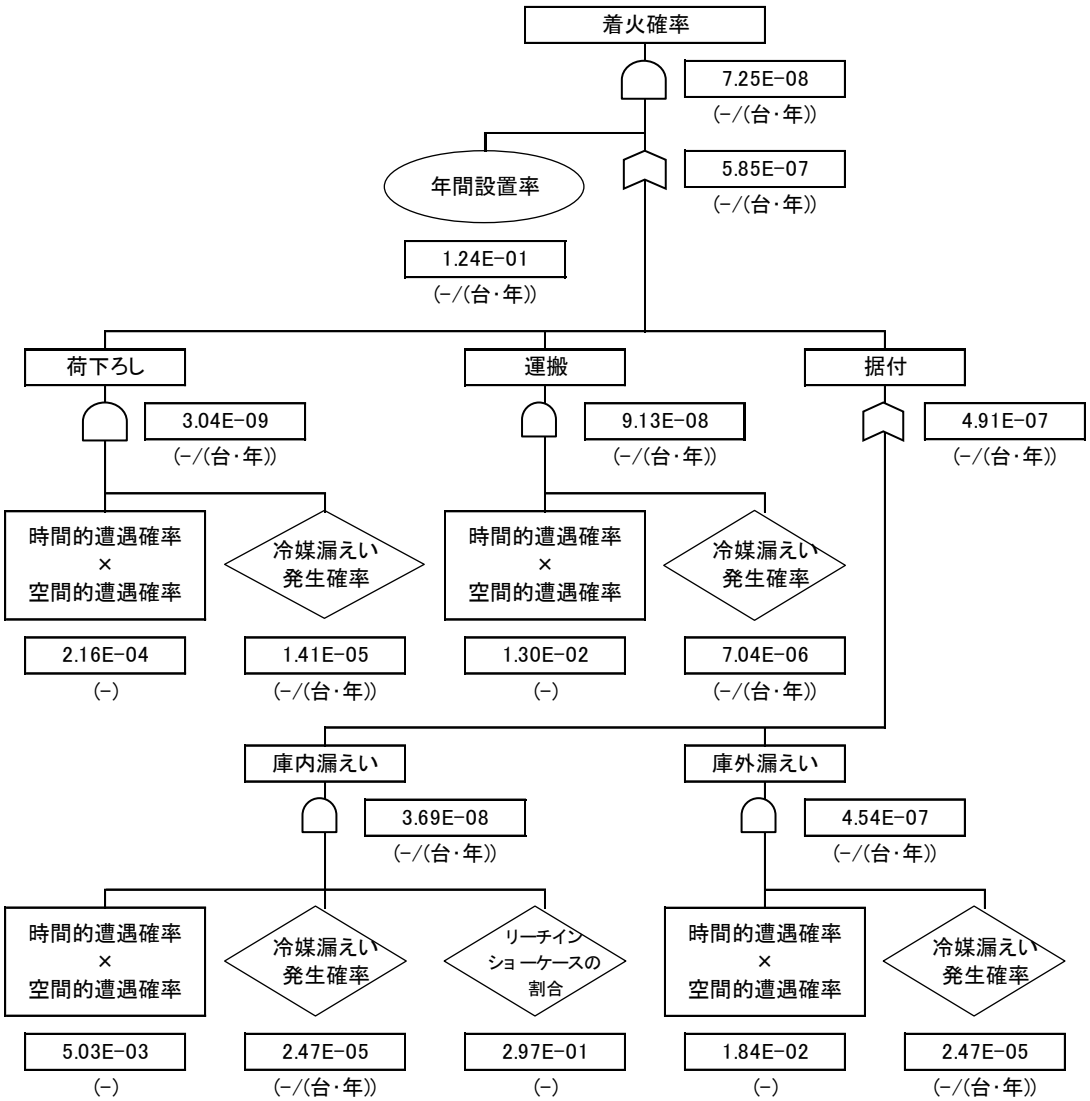



Fig. 6-3-3　営業中における設置時の FTA（未対策）

### 6.3.4　安全対策

リスクアセスメントの結果から，以下の対策を提案した．

**1）注意ラベル**

製品の外周及び製品こん包材表面の注意ラベルにより，設置作業者による喫煙行為を抑制することを想定し，その効果を 0.1（-）とする．

**2）教育**

各製造メーカー及び業界団体は，設置業者に対して直接又は販売店を通して可燃性冷媒を使用した機器を取り扱う場合は着火源の発生につながる行為に注意する旨の教育を行うこととする．内蔵ショーケースの設置業者のうち，低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割合を同じとし，教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し，その割合を 70 %と想定する．よって，教育の対策効果は，$0.1\times0.7+1\times(1-0.7) = 0.37$（-）とする．

**3）漏えい検知器を使用することの教育**

作業時は，携帯形漏えい検知器を常に携行し，作業前又は作業中も含めて作動状態にして，

冷媒が漏えいしていないことを確認しなければならず，漏えい検知後は作業を中断することを教育する．この対策により，設置作業者による着火源発生の防止と，設置作業者から他の店内作業者に対する作業中断の指示を行うことで，時間的遭遇確率を低減することができる．漏えい検知器を使用することによる対策効果は 0.01（-）とする．他の店内作業者による着火源については，内蔵ショーケースの設置作業者からの指示により 10 人中 1 人が作業を中断することを想定し，対策が有効となる割合 0.1（-）を考慮した．教育が行き渡る割合は，機器の設置作業者のうち，低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割合を同じとし，教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し，その割合を 0.7 とした．よって，対策効果は，以下．

【設置作業者による着火源の場合】(漏えい検知器使用による効果)×(教育が行き渡る割合)
+（1 –（教育が行き渡る割合））
= 0.01 × 0.7 +(1 – 0.7) = 0.307

【設置作業者以外の作業者による着火源の場合】
((漏えい検知器使用による効果）×（対策が有効となる割合）+（1 -（対策が有効となる割合））×（教育が行き渡る割合）+（1 –（教育が行き渡る割合））
=（0.01 × 0.1 +（1 – 0.1））× 0.7 +（1 – 0.7）= 0.9307

**4）軍手を使用することの教育**

作業時は，軍手などで静電気放電の発生を防止することが可能な手袋を必ず着用しなければならないことを教育する．この対策により，作業者が機器に触れた際の静電気放電を防止し，時間的遭遇確率を低減することができる．軍手着用による対策効果は 0.01（－）とした（**4.3** 節参照）．教育が行き渡る割合は，機器の設置作業者のうち，低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割合を同じとし，教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し，その割合を 0.7 とした．よって，対策効果は，以下．

（軍手着用による効果）×（教育が行き渡る割合）+（1 –（教育が行き渡る割合））
= 0.01 × 0.7 +(1 – 0.7)= 0.307

**5）扉をゆっくり開けることの教育**

扉又は蓋付きの機器において据付作業前に冷媒が庫内に漏えいした場合，扉又は蓋を急開放すると庫外に可燃域が生成されるため，扉又は蓋の開放をゆっくり行うことを教育する．この対策により，空間的遭遇確率を低減できる．教育による対策効果は 0.1（－）とした．教育が行き渡る割合は，機器の設置作業者のうち，低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割合を同じとし，教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し，その割合を 0.7 とした．よって，対策効果は，以下．

（教育による効果）×（教育が行き渡る割合）+（1 –（教育が行き渡る割合））
= 0.1 × 0.7 + (1 – 0.7)= 0.37

各ケースの着火確率を Table 6-3-5 に，対策後の FTA を Fig. 6-3-4，Fig. 6-3-5 に示す．対策実施により，新店工事及び営業中ともに着火確率は許容値以下となった．

Table 6-3-5　設置ステージの着火確率計算結果

| | 着火確率（–/（台･年）） | |
|---|---|---|
| | 未対策 | 対策後 |
| 新店工事 | $4.19\times10^{-9}$ | $1.64\times10^{-10}$ |
| 営業中 | $7.25\times10^{-8}$ | $6.49\times10^{-9}$ |

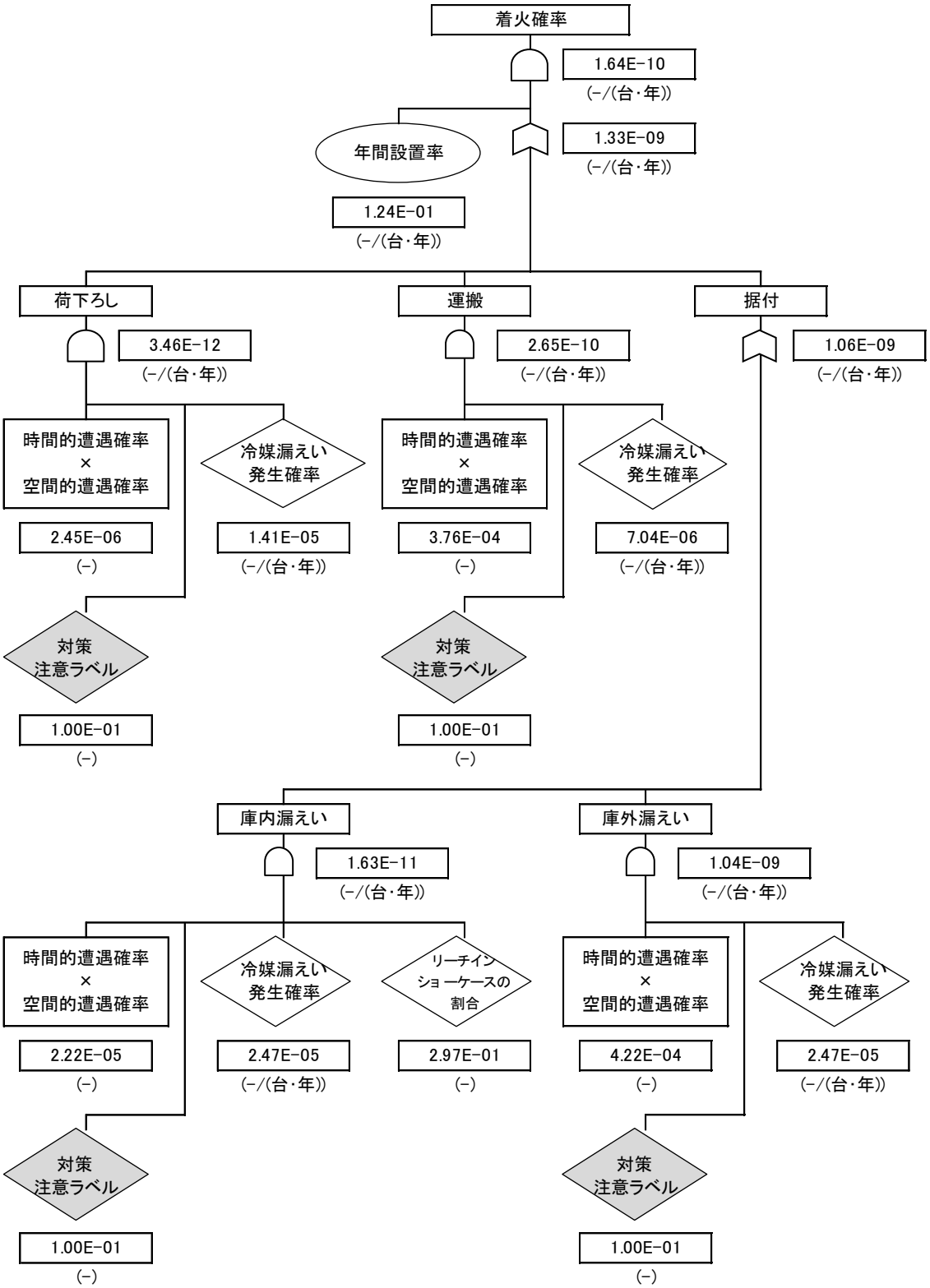



Fig. 6-3-4　新店工事における設置時の FTA（対策後）

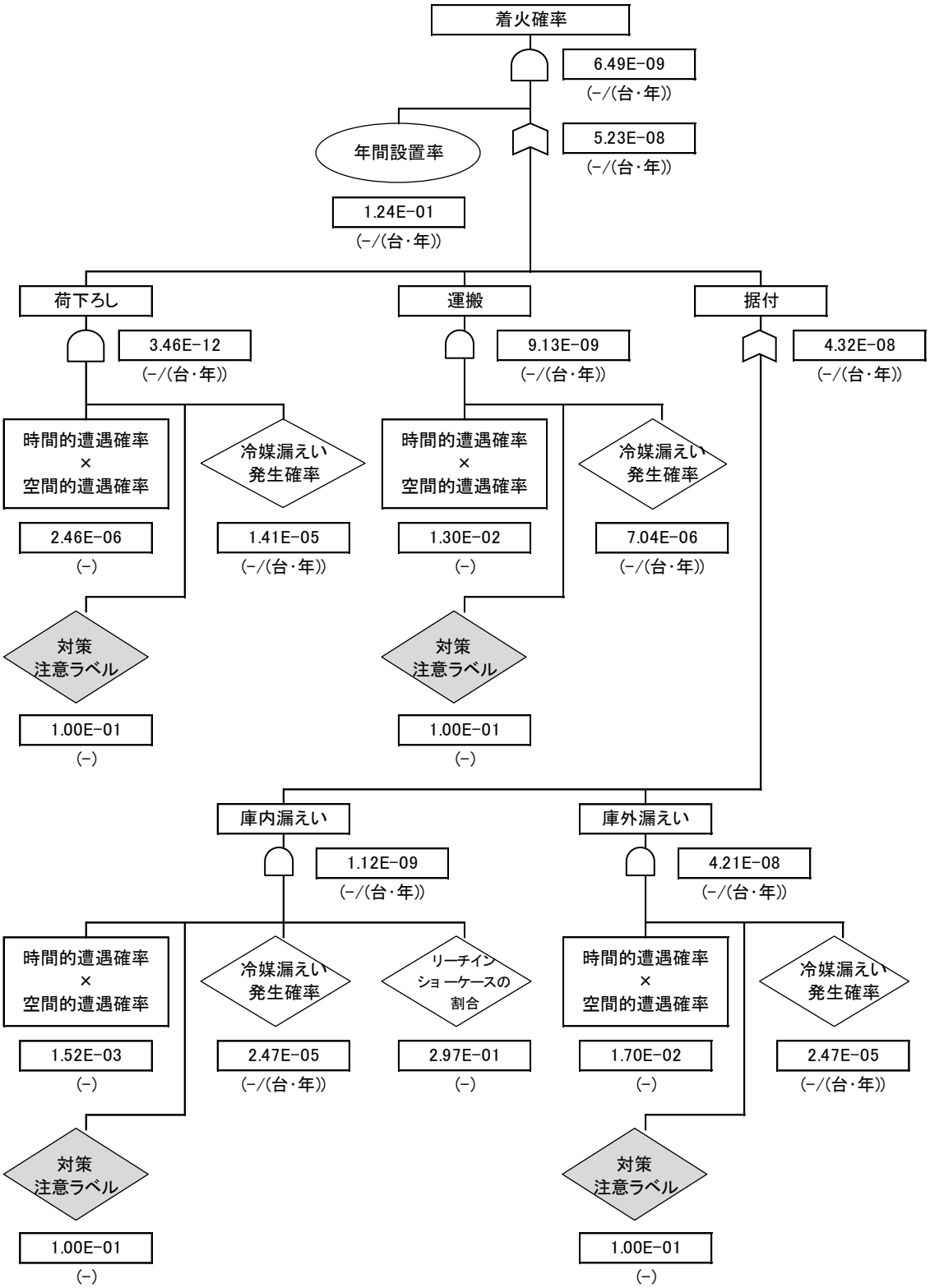



Fig. 6-3-5　営業中における設置時の FTA（対策後）

**参考文献**

6-3-1) W. Goetzler, L. Bendixen and P. Bartholomew: “Risk Assessment of HFC-32 and HFC-32/134a (30/70 wt. %) in Split System Residential Heat Pumps”, Arthur D. Little. inc., United States (1998).

6-3-2) 一般社団法人日本フランチャイズチェーン協会「コンビニエンスストア統計調査年間集計(2018 年 1 月から 12 月)」 https://www.jfa-fc.or.jp/folder/1/img/20190123111840.pdf.

### 6.4　使用時

#### 6.4.1　設定条件

コンビニエンスストアの売り場である店舗内と，倉庫や事務所として使用されるバックヤードにショーケースを設置して使用される場合を想定する．

なお，店舗内に設置したショーケースから冷媒漏えいした際，漏えいした冷媒はバックヤードへは影響しないものとする．バックヤード内に設置したショーケースからの漏えいも同様に店舗内へは影響しないものとする．なお，バックヤードの床面積は 24.01 $m^2$ とし，密閉空間に対する近似式を使用した．

リスクアセスメントを行うショーケースの製品形態としては Table 6-4-1 のリーチインショーケース・多段形オープンショーケース・平形オープンショーケースについて検討を実施した．リーチインショーケースについては凝縮器ユニットが製品下にあるものと，製品上にあるものがあり，冷媒漏えい時の周囲への影響度が異なることが予測されたため，それぞれのリーチインショーケースについて検討した．

Table 6-4-1　店舗形態とショーケースの関係

| | FTA 検討（○:作成・△:床面積を変更して算出） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 製品形態 | 極小<br>（JR ホーム，売店など） | 中型<br>（コンビニ） | 大型<br>（スーパー） | 飲食店 | 店舗<br>バックヤード |
| リーチイン・下ユニット | △ | ○ | △ | – | ○ |
| リーチイン・上ユニット | △ | ○ | △ | – | ○ |
| 多段形オープン | △ | ○ | △ | – | – |
| 平形オープン | △ | ○ | △ | – | – |

#### 6.4.2　着火源と冷媒漏えい

使用時の着火源として，設置空間である店舗内とバックヤード内のそれぞれに存在する着火源として以下のものを想定する．

**1）店舗内着火源**

**1.1) 電源コンセント**

店舗内の清掃のための機器の電源コンセントの脱着を 1 日 2 回抜き差しする．さす時，スパークは発生しない．50 %の確率で掃除機本体のスイッチ操作をせずにコンセントを抜き差しすると想定する．コンセント脱着時に発生するアークの放電の時間を各 5 ms とする．

着火源存在時間：$T_i(h)$　（1 日のうちランダムに作動させる着火源の 1 回の使用時間）

可燃域継続時間：$T_V(h)$　（1 日のうち可燃域が継続する時間）

着火源使用回数：n(回)　（1 日のうちランダムに作動させる着火源の作動回数）＝4(回)

$$T_i(h) = \frac{5(ms)}{1000 \times 60 \times 60} = 1.4 \times 10^{-6}(h)$$

着火源の存在係数$\mathrm{k} = 0.5$とする．

電源コンセントの時間的遭遇確率$\mathrm{P}_t$は

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.2) 照明スイッチ**

店舗内 ON→OFF 時のみ着火する可能性があり，放電時間を各 5 ms とする．照明スイッチを 1 日 2 回スイッチ ON・OFF するものとする．

着火源使用回数：n(回)＝2(回)

$$T_i(h) = \frac{5(ms)}{1000 \times 60 \times 60} = 1.4 \times 10^{-6}(h)$$

着火源の存在係数k = 1とする.
照明スイッチの時間的遭遇確率$P_t$は

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.3) 換気扇スイッチ**

店舗の換気扇は一般的に常時運転のため，ON・OFF 無しのため，着火源にならない.

**1.4) フライヤースイッチ**

コンビニエンスストアで調理して販売するからあげの賞味期限が 4 時間, 4 時～24 時の間の 20 時間の間に 4 時間毎に調理すると想定してフライヤースイッチの ON・OFF 計 10 回, ON・OFF 時の放電時間を各 5 ms とする.
n(回)＝10(回)

$$T_I(h) = \frac{5(ms)}{1000 \times 60 \times 60} = 1.4 \times 10^{-6}(h)$$

着火源の存在係数はk = 1とする.
フライヤースイッチの時間的遭遇確率$P_t$は

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.5) 電子レンジ**

電子レンジは発火事故による着火を想定する．1 店舗当たりの設置台数を 2.5 台とする. NITE 調査結果より 1 年間の事故件数が 17 件，市場普及台数を JEMA 2016 年調査数値より 376,406 台として算出する.
可燃域継続時間：$T_V(min)$
電子レンジの時間的遭遇確率$P_t$は

$$P_t = \frac{T_v(min) \times 2.5 \times 17}{376{,}406 \times 365 \times 24 \times 60}$$

**1.6) 電灯**

蛍光灯・LED の点灯時表面温度は 100 ℃以下となり，R290 の自己着火温度よりも低い. よって着火源とならない.

**1.7) 白熱球**

白熱球の点灯時表面温度は 180 ℃程度あり，R290 の自己着火温度よりも低い．よって着火源とならない.

**1.8) 電子ライター**

店舗に陳列しているライターを客が試しに使用する場合を想定．1 日 5 人が使用，試し使用 1 回あたり 5 秒とする.
着火源使用回数：n(回) ＝5(回)

$$T_I(h) = \frac{5(s)}{60 \times 60} = 1.39 \times 10^{-3}(h)$$

着火源の存在係数はk = 1とする.
電子ライターの時間的遭遇確率$P_t$は

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.9) デフロストヒーター**

通常使用時の表面温度は R290 の自己着火温度以下であり着火源にならない．
100 年に 1 回事故が発生し着火することを想定し，着火源の存在係数 k = 0.01,
$T_I(h) = 2.3(h)$

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.10) コピー機・プリンター**

**① 発火事故による着火**

1 店舗当たり 1 台設置されると想定．NITE 調査結果より 5 年間の事故件数が 25 件，市場普及台数を JBMIA(一般社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会) 調査数値 2012-2016 年より 2,892,872 台
可燃域継続時間：$T_V(min)$

$$P_t = \frac{T_v(min) \times 1 \times 25}{2{,}892{,}872 \times 5 \times 365 \times 24 \times 60}$$

**② 使用による着火**

コピー機使用による着火確率を想定．コピー機の使用回数を 1 日 50 回，1 回のコピー時間 3 分とし，業務用コピー機は家庭用プリンターとの違いが不明なので，安全のためコピーをすると必ず着火するものとする．
着火源の存在係数はk = 1とする．

$T_I(h) = \frac{3(min)}{60} = 0.05(h)$

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.11) 加湿装置　中華まん**

NITE 調査結果に事故登録なし．フライヤースイッチの数値と同等とする．

**1.12) 加熱装置　おでん**

NITE 調査結果に事故登録なし．フライヤースイッチの数値と同等とする．

**1.13) 静電気**

**①リーチインショーケース扉**

リーチインショーケースの扉開閉時，扉の取っ手を持つ時に発生する静電気を想定する．アイスコーヒーの氷入りカップを冷凍リーチインで保冷することを想定する．特定のコンビニチェーン全体でのコーヒー販売 9 億杯で半数がアイスコーヒー．特定のコンビニチェーンの店舗数が約 2 万店であり 1 日当たりの開閉を想定すると 9 億杯/2 万店/365 日/2＝62 回．よって冷凍リーチイン 1 枚扉 1 日あたりの開閉回数を 62 回とする．他冷蔵リーチイン 6 枚扉についても扉 1 枚当たり同じ回数開閉するものと想定．
62 回×(6+1)＝434 回（1 日当たりの最多放電回数と仮定）

しかし，庫内漏えいしている時に扉をあけても最初にドアに触れる時は製品外に漏えいしないため，1 人目のお客が扉を開け，直後に 2 人目のお客が扉を開ける確率を 10 %とすると 434 回×0.1=43.4 回⇒44 回，放電時間を 1 μs⇒$T_I(h) = 2.8 \times 10^{-10}(h)$

店舗入口が手動式扉で，入店時放電すると店舗内では静電気は発生しないものとする．入口が自動扉の場合，入店時は放電しないとし，手動扉と自動扉の比率を 1：1 とする．

また，静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率の年間平均 18.7 %のデータ

より，着火源の存在係数$k = 1 \times 0.187 \times 0.5 = 0.0935$とする．

静電気の放電エネルギーが小さく着火領域が可燃空間の 1/2 となるため可燃域継続時間と平均可燃空間体積双方を$2^{0.5}$で除して算出する（**4.2.2** 項の 1)参照）．

リーチインショーケース扉の静電気の時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + \frac{T_v}{2^{0.5}}}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**②オープンショーケース外装**

買い物するお客がハンドレールや棚などの金属部分に触れる確率をリーチインの回数基準で 5 %と想定する．434 回×0.05=21.7⇒22 回

着火源の存在係数はリーチインショーケースと同様に$k = 1 \times 0.187 \times 0.5 = 0.0935$とする．

静電気の放電エネルギーが小さく着火領域が可燃空間の 1/2 となるため可燃域継続時間と平均可燃空間体積双方を$2^{0.5}$で除して算出する．

オープンショーケース外装の静電気の時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + \frac{T_v}{2^{0.5}}}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**③店舗入口扉**

店舗入口扉開閉時，着火に影響が有るのは退店時である．入店時に放電されるため，退店時は放電しないと想定し，店舗入口扉の静電気の時間的遭遇確率 $P_t = 0$

**④その他扉**

オープンショーケース外装と同等の回数とする．

着火源の存在係数はリーチインショーケースと同様に$k = 1 \times 0.187 \times 0.5 = 0.0935$とする．

静電気の放電エネルギーが小さく着火領域が可燃空間の 1/2 となるため可燃域継続時間と平均可燃空間体積双方を$2^{0.5}$で除して算出する．

その他扉の静電気の時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + \frac{T_v}{2^{0.5}}}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.14) コーヒーディスペンサー**

コーヒーディスペンサー使用時の着火確率を想定する．特定のコンビニチェーン全体でのコーヒー販売 9 億杯・店舗数約 2 万店より 1 店舗あたり年間 45000 杯，内部リレー 1 回動作時の放電時間を各 5 ms とする．

$$T_i(h) = \frac{5(ms)}{1000 \times 60 \times 60} = 1.4 \times 10^{-6}(h)$$

コーヒー一杯販売当りのリレー動作回数が 1.5 回で 1 日の販売が 124 杯のため

着火源使用回数$\mathrm{n} = 1.5 \times 124 = 186$，着火源の存在係数は$\mathrm{k} = 1$とする．

コーヒーディスペンサーのリレーの放電の時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.15) ブラシモーター**

防爆対応されていない他のショーケースに内蔵されたブラシモーターを想定する．ブラシモーターの周囲に燃焼速度よりも十分に速い気流が流れているため，運転中は着火源にならないとし，モーターが起動される時のみを想定する．一般的なコンプレッサーの使用基準が運転 5 分以上・停止 5 分以上が規定されていることから，コンプレッサーの発停頻度が 1 時間あたり最大 ON6 回・OFF6 回とし，合わせてモーターも ON・OFF すると想定し 1 時間で ON 計 6 回，1 日あたり 144 回．各放電時間を 5 ms とした．
静電気の放電エネルギーが小さく着火領域が可燃空間の 1/2 となるため可燃域継続時間と平均可燃空間体積双方を $2^{0.5}$ で除して算出する（**4.2.4** 項の 3)参照）．

$$T_i(h) = \frac{5(ms)}{1000 \times 60 \times 60} = 1.4 \times 10^{-6}(h)$$

ブラシモーターの普及率を 1 %とする
ブラシモーターの時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + \frac{T_v}{2^{0.5}}}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**1.16) 燃焼式暖房機**

燃焼式暖房機の普及率を 0.01 %，1 日 10 時間使用すると想定．$T_{ic}(h) = T_i(h) = 10(h)$
燃焼式暖房機の時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**2）バックヤード内着火源**

**2.1) 電源コンセント**

電気器具 1 日 2 回使用と想定し，さす時スパークは発生しないとする．コンセント脱着時に発生するアークの放電時間を各 5 ms とする．
アーク各 5 ms $\Rightarrow T_i(h) = 1.4 \times 10^{-6}(h)$
着火源の存在係数は 1 とする．
電源コンセントの時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**2.2) 照明スイッチ**

照明スイッチを 1 日 2 回スイッチ ON・OFF するものとし，ON⇒OFF 時のみ着火する可能性があるとし，放電時間を各 5 ms とする．放電時間各 5 ms $\Rightarrow T_i(h) = 1.4 \times 10^{-6}(h)$
着火源の存在係数は 1 とする．
照明スイッチの時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_i + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**2.3) 電灯**

蛍光灯・LED の点灯時表面温度は 100 ℃以下となり，R290 の自己着火温度よりも低い．よって着火源とならない．

**2.4) 白熱球**

白熱球の点灯時表面温度は 180 ℃程度となり，R290 の自己着火温度よりも低い．よって着火源とならない．

**2.5) 静電気**

店員のバックヤードでの静電気放電を 10 回と想定する．1 μs⇒$T_i(h) = 2.8 \times 10^{-10}(h)$

また，静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率の年間平均 18.7 %のデータより，着火源の存在係数$k = 1 \times 0.187 = 0.187$

静電気の放電エネルギーが小さく着火領域が可燃空間の 1/2 となるため可燃域継続時間と平均可燃空間体積双方を$2^{0.5}$で除して算出する（**4.2.2** 項の 1)参照）.

静電気の時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + \frac{T_v}{2^{0.5}}}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**2.6) 燃焼式給湯器**

給湯器のうち，ガス器具である確率 90 %と想定，1 日 10 時間運転のうち稼働率 50 %とする.

6 分運転⇒$T_i(h) = 0.1(h)$ を 50 回運転し合計 5 時間運転することを想定.

n=50(回)，k=0.9

燃焼式給湯器の時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_i + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**2.7) 燃焼式ボイラー**

ボイラーのうち，ガス器具である確率 90 %と想定，1 日 10 時間運転のうち稼働率 50 %とする.

6 分運転⇒$T_i(h) = 0.1(h)$を 50 回運転し合計 5 時間運転することを想定.

n=50(回)，k=0.9

燃焼式ボイラーの時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_i + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**2.8) 燃焼式調理器**

店舗内部での調理率を 80 %，その調理器具のガス比率 50 %とする．1 日 10 時間運転のうち稼働率 50 %とする.

6 分運転⇒$T_i(h) = 0.1(h)$ を 50 回運転し合計 5 時間運転することを想定.

n=50(回)，k=0.4

燃焼式ボイラーの時間的遭遇確率

$$P_t = \left\{1 - \left(1 - \frac{T_I + T_v}{24}\right)^n\right\} \times k$$

**3) ファン停止時の着火源除外**

凝縮ファン停止時，漏えいした冷媒は床面に近い高さに堆積する．その可燃域より高い位置にある着火源は冷媒と接触しないため，着火源とはならない.

狭小店舗内の想定する最小設置床面積 24.01[$m^2$]及びバックヤードの床面積 24.01[$m^2$]における平形ショーケースユニット漏れ・冷媒 500 g・4 分全量漏れ時の平均可燃空間体積は 4.433[$m^3$]であり，これを床面積 24.01[$m^2$]で除して，可燃域高さを算出する.

4.433[$m^3$]／24.01[$m^2$]＝0.185[m]

この結果より，凝縮器ファン停止時は 19 cm より高い位置にある以下の着火源では着火しな

いものとした.
【店舗内】
フライヤースイッチ・電子レンジ・電子ライター・デフロストヒーター・加湿装置中華まん・加温装置おでん・静電気・コーヒーディスペンサー（各着火源想定高さ 70 cm 以上）・照明スイッチ（想定高さ 1 m 以上）
【バックヤード内】
照明スイッチ（想定高さ 1 m 以上）・燃焼式給湯器（想定高 80 cm 以上）・燃焼式ボイラー（想定高さ 80 cm 以上）

**4) 冷媒漏えい発生確率**

冷媒漏えいについては, **3.4.1** 項に記載した使用時冷媒漏えい発生確率を使用し, $1.00\times10^{-3}$ とした.

### 6.4.3　ファンの停止率

冷媒漏えい時の可燃域継続時間及び時空積は風速により大きく変化する.

ショーケースは圧縮機の停止や除霜に合わせてユニットのファンを停止するものがあるが, ファン停止時に冷媒漏えいが発生すると, 漏えいした冷媒が店舗内の下部に滞留し, 可燃域継続時間と時空積が大きくなる.

除霜時のファンの停止時間を 1 日あたり 2 時間停止するとして停止率 8.333 %（2/24）. 他に A2L ビル用マルチのリスクアセスメント [6-4-1)]での業務用換気扇の故障率よりファン故障率 0.025 %とし, 合計のファン停止率を 8.358 %とする.

### 6.4.4　リーチイン上ユニットの時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積

リーチインショーケース・上ユニットの時空積, 可燃域継続時間, 平均可燃空間体積についてはリーチインショーケース・下ユニットの庫内漏れ及び平形ショーケースの凝縮器漏れの数値より考察の上算出した.

**1）庫内漏れ　対策時・遮断弁正常動作時**

対策時の遮断弁が正常動作している場合は, リーチインショーケース・下ユニットと同様に庫内濃度も可燃濃度にならないため, 可燃域は生成されないものとした.

**2）庫内漏れ　未対策時・対策時遮断弁故障時**

未対策時と遮断弁故障時について, 凝縮器ユニットはショーケースの上部に有り, 扉開放後の漏えいについては凝縮器ファンの影響が無く, 単純に冷媒が外に漏れ出すため, リーチインショーケース・下ユニットの庫内エアカーテン無し・風速 0.0 m/s の庫内漏れ時の近似式の数値を使用することとした.

**3）庫外漏れ　対策時・ファン稼働時**

対策時・ファン稼働時は下ユニット時と同様可燃域は生成されないものとした.

**4）庫外漏れ　未対策時・ファン停止時**

**5** 章冷媒漏えい解析の Fig. 5-1-3 の Case 5-1-7 の濃度分布（エアカーテン無・風速 0m/s）を見ると漏えいしたガスは床に落下し, 床に近い高さに滞留しているのがわかる. 上ユニットの庫外漏れについても, 床に落下する傾向で, 最終的に床に近い部分に滞留するものと考えられる.

高い位置からの漏えいのため, 落下時若干拡散すると考えられるが安全方向に考え, 平形ショーケースの庫外漏れ 4 分全量漏れの解析・近似式の数値を使用して算出した.

**5）ファン停止時の着火源**

下ユニットのファン停止時は可燃域が床面から 21 cm より高い着火源は着火しないものとしていたが，上ユニットについては冷媒が漏れて床に落下する際に着火源に触れる可能性がある．そのため，凝縮器ユニット高さより低い着火源は着火するものとする．

しかし，着火源が必ずしも近くにあるわけではなく，離れている着火源は漏れた冷媒に触れる恐れはないため，近くに有り触れる可能性を 10 %とし，FTA では着火源の存在係数に 0.1 をかけて算出した．

【着火源とならないとしていたものを着火源対象とするもの】

照明スイッチ・フライヤースイッチ・電子レンジ・デフロストヒーター・加湿装置中華まん・加温装置おでん・静電気・コーヒーディスペンサー・燃焼式給湯器・燃焼式ボイラー

### 6.4.5　FTA と着火確率

**1）FTA**

代表してリーチインショーケース・下ユニットの店舗内使用時の FTA を Fig. 6-4-1・Fig. 6-4-2 に示す.

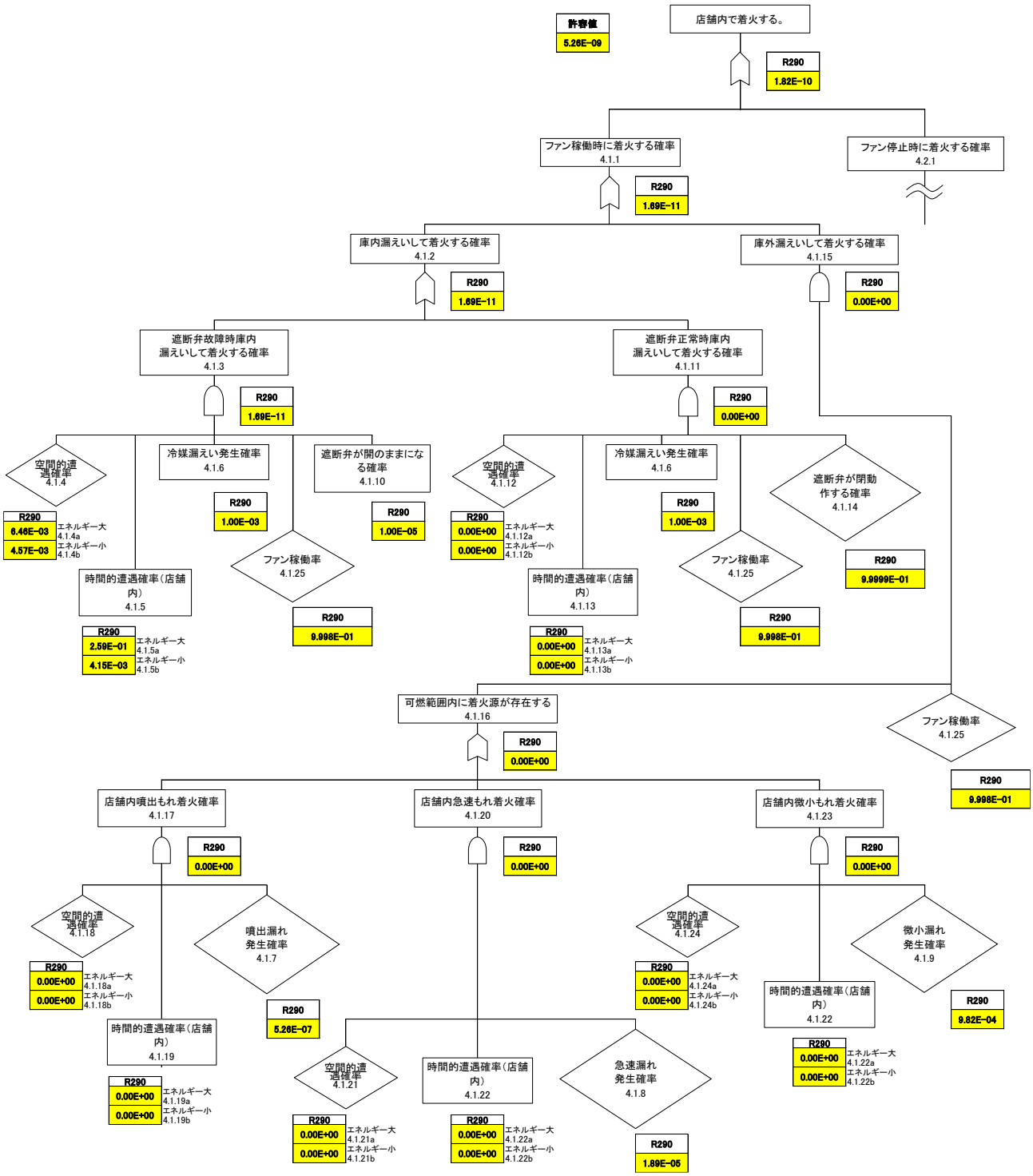



Fig. 6-4-1　店舗内使用時の FTA（ファン稼働時）

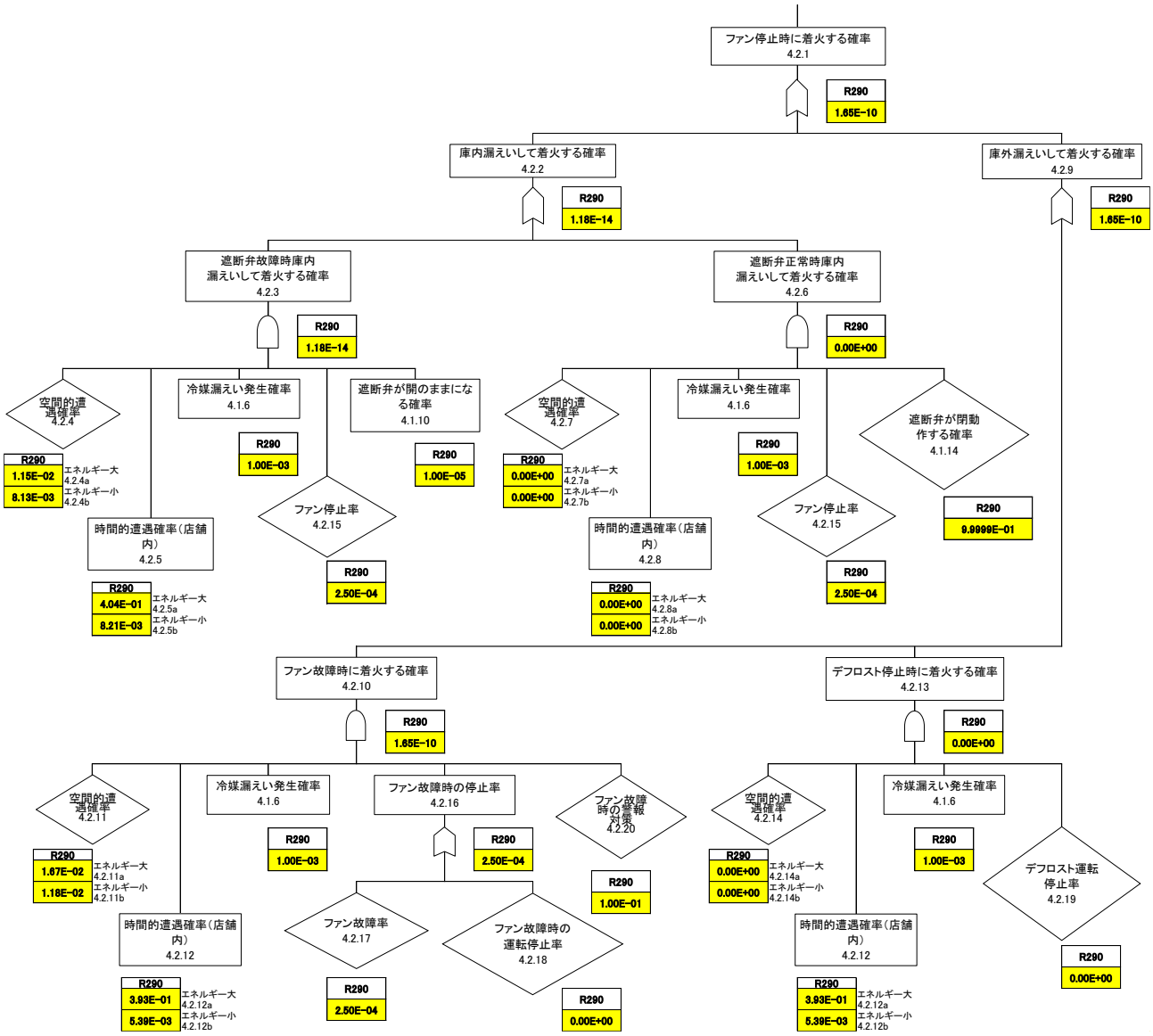



Fig. 6-4-2　店舗内使用時の FTA（ファン故障時）

リーチインショーケース・下ユニットのバックヤード内使用時の FTA を Fig. 6-4-3・Fig. 6-4-4 に示す.

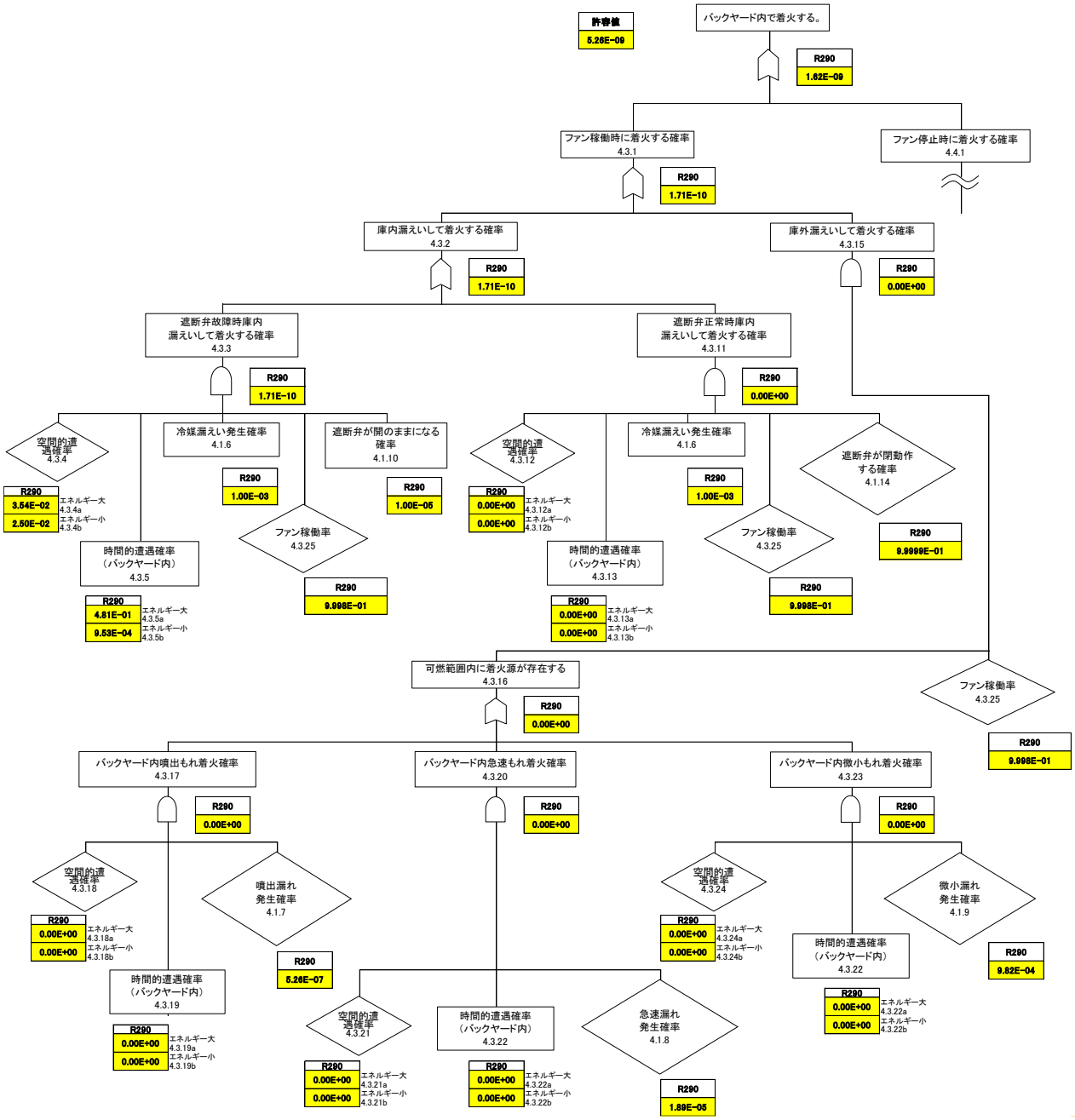



Fig. 6-4-3　バックヤード内使用時の FTA（ファン稼働時）

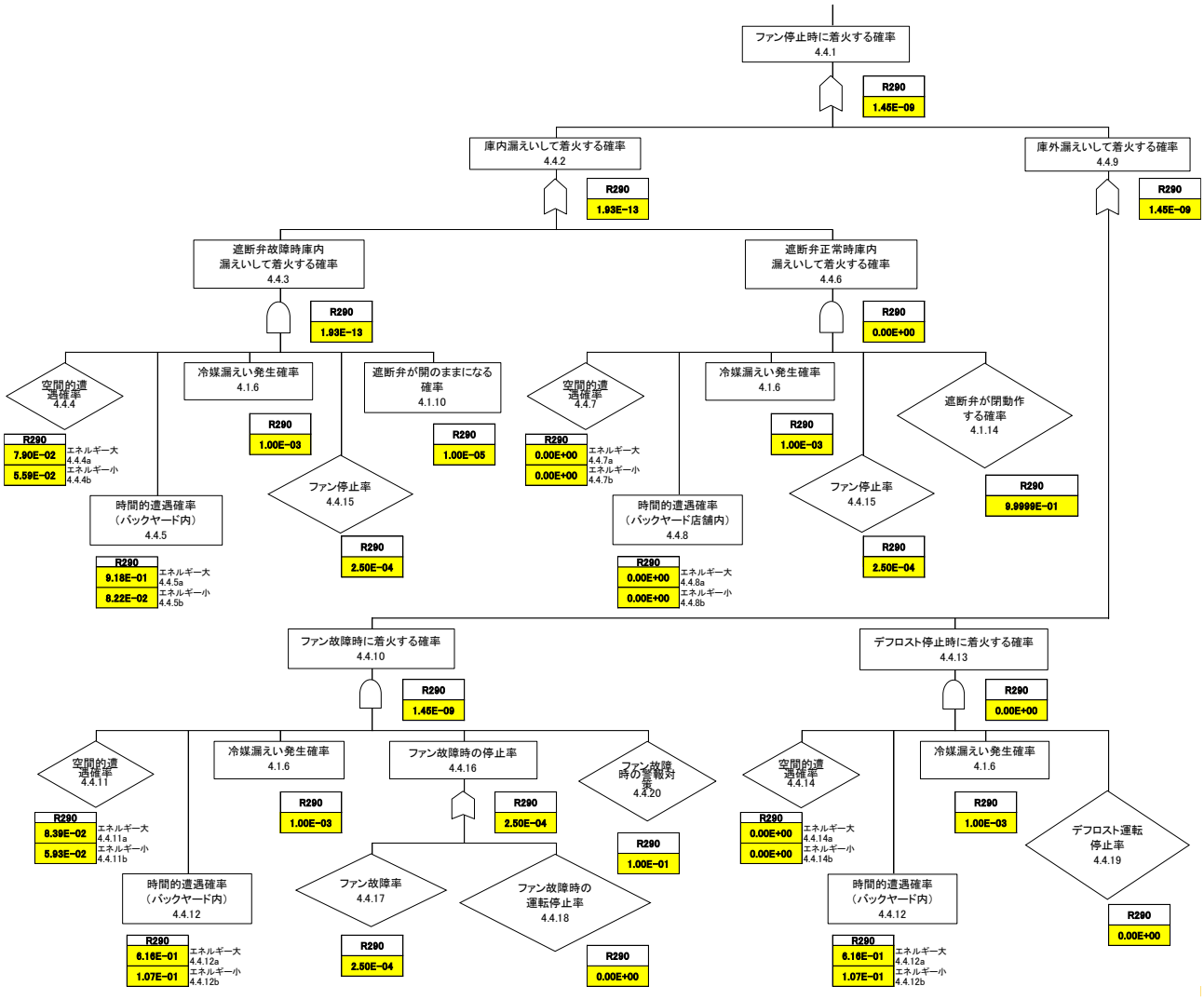



Fig. 6-4-4　バックヤード内使用時の FTA（ファン故障時）

**2）着火確率**

店舗内使用時とバックヤード内使用時の着火確率はケース別，対策の有無で Table 6-4-2 の通りになる．各ケースで未対策にて許容値を超えたものが，対策をすることにより全て許容値以下となる一結果となった．

Table 6-4-2　使用時着火確率

| | 店舗内着火確率 | | バックヤード内着火確率 | |
|---|---|---|---|---|
| | 未対策 | 対策 | 未対策 | 対策 |
| リーチイン・下ユニット | $2.50 \times 10^{-6}$ | $1.82 \times 10^{-10}$ | $2.72 \times 10^{-5}$ | $1.62 \times 10^{-9}$ |
| リーチイン・上ユニット | $5.42 \times 10^{-6}$ | $2.55 \times 10^{-10}$ | $8.37 \times 10^{-5}$ | $2.65 \times 10^{-9}$ |
| 多段形オープン | $5.53 \times 10^{-7}$ | $1.65 \times 10^{-10}$ | – | – |
| 平形オープン | $5.53 \times 10^{-7}$ | $1.65 \times 10^{-10}$ | – | – |

### 6.4.6　安全対策

**1）ファンの連続運転**

**6.4.3** 項（ファンの停止率）で述べたように冷媒漏えい時の可燃域継続時間及び時空積は風速により大きく変化する．ファン停止時に冷媒漏えいが発生すると，漏えいした冷媒が店舗内の下部に滞留し，可燃域継続時間と時空積が大きくなるため，圧縮機の運転・停止，除霜の有無にかかわらず，ユニットのファンを常に運転することにより，可燃域継続時間及び時空積を低減して着火確率をさげる．

なお，この時のファン風量は Colbourne の式（**5.2.5** 項の式(5-2-5)）以上とする．

ただし，ファンが故障する場合を考慮し，故障率を入れて確率を算出する．ファンの故障率は，**6.4.3** 項（ファンの停止率）と同じ 0.025 %とする．

**2）ファン故障時の警報**

ファンの連続運転での安全対策でファン故障時に着火確率が高くなるため，ファン故障時に警報を鳴らし着火確率を低減する．

警報効果は，通常効果（**4.3** 節参照）である 1/10 とする．

**3）庫内漏えい検知機能**

リーチインショーケースの庫内で冷媒漏えいした場合，扉で遮断されているため漏れた冷媒が庫内に留まる．それが扉を開けると一気に製品前に流れて可燃域を形成し，その部分に着火源があると着火する．この場合，風で拡散しても可燃域を無くすことはできない（**5.1** 節参照）．

対策として庫内での冷媒漏えいを検知し，庫内に設置された冷却器への冷媒の流れを遮断し，庫内を可燃濃度にならないようにすることが考えられる．遮断弁が正常に動作する場合は，庫外に可燃域が生成されないため，可燃域継続時間及び時空積は 0 とする．遮断弁が故障する確率を A2L ビル用マルチのリスクアセスメント[6-4-1)]での調査結果である $4.05\times10^{-4}$ とし，そのうち開いたまま故障する確率は少ないと考え $1.0\times10^{-4}$ とする．冷媒漏えい時に警報を発することとし，その対策効果で 1/10（**4.3** 節参照）の効果を見込み，弁が開のまま故障する確率を合わせて，対策効果は $1.0\times10^{-5}$ となる．なお，この遮断機能は，通電していれば働く機能であるため，遮断機能により可燃域が生成されないようにすることは IEC 60335-2-89 の規定に反する内容ではないと考える．

なお，遮断機能以外に，警報機能を作動させ，扉を開けないようにすることによって，着火確率を低減することもできる．この機能によっても同等のリスク低減効果が見込めるとは思われるが，この機能は IEC 60335-2-89 の規定には反すると思われるため，必須機能とはしない．

**参考文献**

6-4-1) 日冷工:「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).

### 6.5　修理時

#### 6.5.1　修理ステージの定義

**1）概要**

修理には，メーカーやメンテナンス業者のサービス拠点などで修理を行う持帰り修理，一時的に屋外に移動して修理を行う屋外修理，大型などの移動が困難なショーケースで店舗内に設置したまま修理を行う店内修理があるが，ここでは修理作業時に周辺に着火源となり得る機器，コンビニエンスストアの使用者が存在する営業中の店内修理及び屋外修理を想定した．

修理はショーケースに充塡されている冷媒の大気への放出（冷媒の廃棄），冷媒回路部品交換，冷媒充塡などを行う冷媒回路修理を伴う修理と冷媒回路修理を伴わない修理を想定した．

**2）修理確率**

内蔵ショーケースの故障発生時に修理が発生するとし，内蔵ショーケースの修理確率は，ろう付けが必要となる冷媒回路修理を伴う修理と冷媒回路修理を伴わない修理の調査結果を基に算出した．

普及台数：190 万台（**3.2.1** 項参照）

冷媒回路修理を伴う故障発生件数の 2011～2015 年度の平均：1595 台（**6.1.1** 項の Table 6-1-2）

冷媒回路修理を伴わない故障発生件数の2011～2015年度の平均：17416台（**6.1.1**項のTable 6-1-2）

よって，内蔵ショーケースの修理確率は以下のようになった．

内蔵ショーケースの修理確率=(1595+17416)/190万=$1.00\times10^{-2}$

また，内蔵ショーケースの修理のうち，冷媒回路修理を伴う修理と冷媒回路修理を伴わない修理の割合は以下のようになった．

冷媒回路修理を伴う修理割合=1595/(1595+17416) =$8.39\times10^{-2}$

冷媒回路修理を伴わない修理割合=17416/(1595+17416)=$9.16\times10^{-1}$

**3）作業時間**

修理作業は「冷媒回路修理を伴う修理」と「冷媒回路修理を伴わない修理」に場合分けした．「冷媒回路修理を伴う修理」は「冷媒回路修理を伴わない作業」，「冷媒放出，真空引き作業」，「冷媒回路部品交換作業」，「冷媒充塡作業」，「屋外へのケース移動作業」（屋外修理の場合）に分割し，「冷媒回路修理を伴わない修理」の場合は「冷媒回路修理を伴わない作業」のみ発生すると想定し，各作業の作業時間を下記の様に設定した．

「冷媒回路修理を伴う修理」

「冷媒回路修理を伴わない作業」・・・1 時間

「冷媒放出，真空引き作業」・・・・・1 時間

「冷媒回路部品交換作業」・・・・・・1 時間

「冷媒充塡作業」・・・・・・・・・・1 時間

「屋外へのケース移動時間」・・・・・0.1 時間（屋外修理の場合）

「冷媒回路修理を伴わない修理」

「冷媒回路修理を伴わない作業」・・・1 時間

#### 6.5.2　着火源と冷媒漏えい

**1）着火源の種類**

修理作業中は使用時の店舗内着火源（**6.4.2** 項参照）が存在するほか，修理作業に伴う着火源が存在する．店内修理時における着火源を Table 6-5-1 に示す．各作業工程で想定する着火源を表中に〇印で示す．また，着火源のエネルギーの大小も示す．

**2）作業に伴う店舗内着火源**

以下に修理作業に伴う着火源の時間的遭遇確率を示す．時間的遭遇確率を算出するための可燃域継続時間は **5** 章の冷媒漏えい解析結果による．また，Table 6-5-1 にて着火エネルギー区分が小である着火源においては可燃域継続時間を $2^{0.5}$ で除して使用する．

Table 6-5-1　店内修理における着火源

| 着火源 | | | 作業工程 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 区分 | 名称 | 着火エネルギー区分 | 冷媒回路修理を伴わない作業 | 冷媒放出，真空引き作業 | 冷媒回路部品交換作業 | 冷媒充塡作業 |
| 作業に伴う着火源 | コンセント | 大 | ○ | | | |
| | 作業起因静電気 | 小 | ○ | | | |
| | 電動ドライバー | 小 | ○ | | ○ | |
| | 冷媒回収機(誤使用) | 大 | | ○ | | |
| | 真空ポンプ | 大 | | ○ | | ○ |
| | バーナー | 大 | | | ○ | |
| 作業に伴わない着火源 | 使用時の店舗内着火源 | 大，小 | ○ | ○ | ○ | ○ |

**2.1）コンセント (庫内漏えい/庫外漏えい)**

ショーケースに電圧が印加された状態で電源コンセントを抜いた時に発生するスパークを想定する.ショーケースの上部にコンセントがある場合と，下部にコンセントがある場合をそれぞれ 50 %とし，下部にコンセントがある場合に下部に生成される可燃域にさらされるとした．また，50 %がブレーカを切らずにコンセントを外すとした．ブレーカを切らずにコンセントを外す理由としてはブレーカが不明な場合や，100 V 機種はブレーカを切ると同ブレーカに接続されている他の機器の電源も切れてしまうためブレーカを切れない場合，不注意などがある．よって，着火源の存在係数 k は 50 %×50 %=25 %とする．

スパーク発生時間は 5 ms とする．

作業時間 Ts(h)=1(h)

着火源存在時間 $T_I$(h)= 5(ms)/3,600,000(s/h)=$1.39\times10^{-6}$ (h)

着火源使用回数 n=1(回)

着火源の存在係数 k=0.25

可燃域継続時間

庫内漏えい時：$T_V$(h)=$2.94\times10^{-2}$ (h)(風速 0 m/s)

庫外漏えい時：$T_V$(h)=$1.82\times10^{-1}$ (h)(風速 0 m/s)

時間的遭遇確率 $P_t= [1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$

庫内漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=7.36\times10^{-3}$

庫外漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=4.55\times10^{-2}$

**2.2）作業起因静電気 (庫内漏えい/庫外漏えい)**

静電気の放電は作業の最初に修理するショーケースに触った時と修理後にショーケースのパネルをつける時に起きるとし，合計 2 回強い放電を放つとした．想定する作業は，ケー

ス下のアジャストボルトを手回しであげる，スカートパネルを触るなどの作業となる．
静電気によるスパーク時間を 1 μs とする．
静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率の年間平均 18.7 %（**4.2.2** 項の 3)参照）より，着火源の存在係数 k=1×0.187=0.187 とする．
静電気の放電エネルギーは 1 mJ 程度であり，着火する領域はグラフから可燃空間の約 1/2 となるため,可燃域継続時間と平均可燃空間体積の双方を $2^{0.5}$ で除する(**4.2.2** 項の 1)参照)．
作業時間 $T_s$(h)=1(h)
着火源存在時間 $T_i$(h)=1(μs)/3,600,000,000(μs /h)=2.78×$10^{-10}$ (h)
着火源使用回数 n=2(回)
着火源の存在係数 k=1.87×$10^{-1}$
可燃域継続時間
　庫内漏えい時：$T_V$(h)=2.94 ×$10^{-2}$ (h)/ $\sqrt{2}$ = 2.08 ×$10^{-2}$ (h) (風速 0 m/s)
　庫外漏えい時：$T_V$(h)=1.82 ×$10^{-1}$ (h)/ $\sqrt{2}$ = 1.29 ×$10^{-1}$ (h) (風速 0 m/s)
時間的遭遇確率 $P_t$= $[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$
　庫内漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t$ =7.70×$10^{-3}$
　庫外漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t$ =4.51×$10^{-2}$

**2.3）電動ドライバー　(庫内漏えい/庫外漏えい)**

作業時に電動ドライバーにて，ショーケースのスカートパネルやカバーを取り外したり，交換部品の取外し，取付けを行うことを想定する．電動ドライバーの使用率を 50 %とする．着火源となる電動ドライバーはブラシモーター式のみであり，その存在確率を 5 %とする．よって，着火源の存在係数 k は 50 % × 5 %=2.5 %とする．
電動ドライバーの使用は 1 回あたり 3 秒，10 回使用とする．
ブラシモーターの放電エネルギーは小さいため，可燃域継続時間と平均可燃空間体積の双方を $2^{0.5}$ で除する（**4.2.4** 項の 3)参照）．
作業時間 $T_s$(h)=1(h)
着火源存在時間 $T_i$(h)= 3(s)/3,600 (s/h)=8.33×$10^{-4}$ (h)
着火源使用回数 n=10(回)
着火源の存在係数 k=2.50×$10^{-2}$
可燃域継続時間
　庫内漏えい時：$T_V$(h)=2.94 ×$10^{-2}$ (h)/ $\sqrt{2}$ = 2.08 ×$10^{-2}$ (h) (風速 0 m/s)
　庫外漏えい時：$T_V$(h)=1.82 ×$10^{-1}$ (h)/ $\sqrt{2}$ = 1.29 ×$10^{-1}$ (h) (風速 0 m/s)
時間的遭遇確率 $P_t$=$[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$
　庫内漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t$ =4.91×$10^{-3}$
　庫外漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t$ =1.88×$10^{-2}$

**2.4）冷媒回収機(誤使用) (庫内漏えい/庫外漏えい)**

R290 などの A3 又は A2 冷媒を 20 日前までの届け出なしに冷媒回収機により回収することは高圧ガス保安法で禁止されている（**8.1** 節参照）が，誤って非防爆形の冷媒回収機を使用してしまうことを想定する．冷媒回収機の電源スイッチが着火源となる．誤って冷媒回収機を使用してしまう確率を 50 %と想定する．よって，着火源存在係数 k=0.5 とする．
電源スイッチの ON・OFF は作業開始，終了時の合計 2 回，放電時間各 5 ms とする．
作業時間 $T_s$(h)=1(h)
着火源存在時間 $T_i$(h)=着火源作動時間 $T_{ic}$(h)= 5(ms)/3,600,000(s/h)=1.39×$10^{-6}$ (h)
着火源使用回数 n=2(回)
着火源の存在係数 k=0.5
可燃域継続時間
　庫内漏えい時：$T_V$(h)=2.94 ×$10^{-2}$ (h)(風速 0 m/s)

庫外漏えい時：$T_V(h)=1.82\times10^{-1}$ (h)(風速 0 m/s)
時間的遭遇確率 $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$
庫内漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=2.90\times10^{-2}$
庫外漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=1.66\times10^{-1}$

**2.5）真空ポンプ (庫内漏えい/庫外漏えい)**

非防爆形真空ポンプの使用を想定する．非防爆形真空ポンプの電源スイッチが着火源となる．電源スイッチの ON・OFF は作業開始，終了時の合計 2 回，放電時間各 5 ms とする．
作業時間 $T_s(h)=1(h)$
着火源存在時間 $T_i(h)=5(ms)/3{,}600{,}000(s/h)=1.39\times10^{-6}$ (h)
着火源使用回数 n=2(回)
着火源の存在係数 k=1
可燃域継続時間
庫内漏えい時：$T_V(h)=2.94\times10^{-2}$ (h)(風速 0 m/s)
庫外漏えい時：$T_V(h)=1.82\times10^{-1}$ (h)(風速 0 m/s)
時間的遭遇確率 $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$
庫内漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=5.80\times10^{-2}$
庫外漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=3.31\times10^{-1}$

**2.6）バーナー (庫内漏えい/庫外漏えい)**

バーナーによる冷媒回路部品の交換を想定する．故障部品交換のため，2 ヶ所の部品の取り外しと取り付けの計 4 回バーナーにより熱すると想定し，バーナーの使用回数は 4 回，1 回の使用時間を 2 min と想定する．
作業時間 $T_s(h)=1(h)$
着火源存在時間 $T_i(h)=2(min)/60(min/h)=3.33\text{x}10^{-2}$ (h)
着火源使用回数 n=4(回)
着火源の存在係数 k=1
可燃域継続時間
庫内漏えい時：$T_V(h)=2.94\times10^{-2}$ (h)(風速 0 m/s)
庫外漏えい時：$T_V(h)=1.82\times10^{-1}$ (h)(風速 0 m/s)
時間的遭遇確率 $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$
庫内漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=2.28\times10^{-1}$
庫外漏えい時：時間的遭遇確率 $P_t=6.21\times10^{-1}$

**2.7）バーナー (冷媒回路内残存冷媒)**

冷媒回路内に冷媒が残存した状態でバーナーにより冷媒回路部品を取り外すことを想定する．バーナーで冷媒回路部品を外すと同時に冷媒漏えいし，バーナーの炎と接触するため時間的遭遇確率は 1 とする．
時間的遭遇確率 $P_t=1.00$

**3）冷媒漏えい発生確率**

**3.1）冷媒漏えいの種類**

修理作業中は使用時冷媒漏えい（**3.4.1** 項参照）が存在するほか，修理作業に伴う冷媒漏えいが存在する．修理作業に伴う冷媒漏えいを Table 6-5-2 に示す．各作業工程で想定する冷媒漏えいを表中に○印で示す．

なお，R290 などの A3 又は A2 冷媒を 20 日前までの届け出なしに冷媒回収機により回収することは高圧ガス保安法で禁止されている（**8.1** 節参照）ため，冷媒回路内の冷媒は，ホースを介して大気に放出する（**8.2** 節の 5)の Fig. 8-2 参照）又は冷媒回収袋を介して大気に

放出する（**8.2** 節の 5)の Fig. 8-3 参照）ことを想定する．

Table 6-5-2　店内修理における冷媒漏えい

| 冷媒漏えい | | 作業工程 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 区分 | 名称 | 冷媒回路修理を伴わない作業 | 冷媒放出，真空引き作業 | 冷媒回路部品交換作業 | 冷媒充塡作業 |
| 修理作業に伴う冷媒漏えい | 配管破損 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 冷媒回収袋の破損 | | ○ | | |
| | ホース取外し時の漏えい(回収袋，冷媒充塡) | | ○ | | ○ |
| | ホース取外し時の漏えい(ホースによる屋外放出) | | ○ | | |
| | ホース接続不良(回収袋) | | ○ | | |
| | ホース接続不良(機器) | | ○ | | |
| | 回収袋内の冷媒放出位置が不適切 | | ○ | | |
| | ホースによる屋外放出時のホース先端の設置場所が不適切 | | ○ | | |
| | 真空ポンプからの排気 | | ○ | | |
| | 閉回路内に残存した冷媒を放出 | | | ○ | |
| | 冷媒放出不足 | | | ○ | |
| | 冷媒放出忘れ | | | ○ | |
| | ろう付け不良 | | | | ○ |
| | 充塡ホース接続不良 | | | | ○ |
| | バルブ誤操作 | | | | ○ |
| 修理作業に伴わない冷媒漏えい | 使用時冷媒漏えい | ○ | ○ | ○ | ○ |

**3.2）修理作業に伴わない冷媒漏えい発生確率**

修理作業に伴わない冷媒漏えいについては **3.4.1** 項に示した使用時冷媒漏えい発生確率を使用し，以下のように算出した．各作業時間はいずれも 1 時間とし，作業時間内に修理作業に伴わない冷媒漏えいが発生する確率(修理作業の時間率)は
1(h)/24(h)/365(day)= $1.14\times10^{-4}$ とする．

**3.2.1）修理作業に伴わない庫内冷媒漏えい発生確率**

リーチインショーケース以外のショーケース（平形と多段形オープン）の庫内漏えいに関しては，時空積が小さく，着火確率に与える影響が小さいと判断し，リーチインショーケース以外からの庫内漏えいは評価から除外する．よって庫内漏えいの対象とするのはリーチインショーケースのみとする．リーチインショーケースの割合は内蔵ショーケース全体の 29.7 %とする（**3.4.2** 項参照）．
冷媒漏えいのうち，庫内冷媒漏えい割合を 50 %と想定する．

使用時冷媒漏えい発生確率＝$1.00\times10^{-3}$

修理作業の時間率=$1.14\times10^{-4}$

リーチインショーケースの割合=$2.97\times10^{-1}$
庫内冷媒漏えい割合=0.5
上記 4 点の積により修理作業に伴わない庫内冷媒漏えい発生確率を算出する.
修理作業に伴わない庫内冷媒漏えい発生確率=$1.70\times10^{-8}$

**3.2.2）修理作業に伴わない庫外冷媒漏えい発生確率**

冷媒漏えいのうち，庫外冷媒漏えい割合を 50 %と想定する.
使用時冷媒漏えい発生確率＝$1.00\times10^{-3}$
修理作業の時間率=$1.14\times10^{-4}$
庫内冷媒漏えい割合=0.5
上記 3 点の積により修理作業に伴わない庫外冷媒漏えい発生確率を算出する.
修理作業に伴わない庫外冷媒漏えい発生確率=$5.72\times10^{-8}$

**3.3）修理作業に伴う冷媒漏えい発生確率**

**3.3.1）配管破損**

作業中に誤って配管を破損させてしまい冷媒漏えいが発生することを想定する.
ヒューマンエラー発生確率=$1.00\times10^{-3}$
近くに露出配管がある確率=$1.00\times10^{-1}$
配管と接触した場合に冷媒漏えいに至る確率=$1.00\times10^{-2}$
上記を乗じて算出する.
配管破損による冷媒漏えい発生確率=$1.00\times10^{-6}$

**3.3.2）冷媒回収袋の破損**

冷媒回収袋を介した冷媒放出の時に，冷媒回収袋が破損していることを想定する．値が不明なため，ヒューマンエラーと同程度(1/1000)で発生すると仮定する.
冷媒回収袋の破損による冷媒漏えい発生確率=$1.00\times10^{-3}$

**3.3.3）ホース取外し時の漏えい(回収袋，冷媒充填)**

回収袋を介した冷媒放出時又は冷媒充填時に，ホース内に残った冷媒が店内に流出することを想定する．使用するホースを 1/4 インチ・内径は 5 mm と想定すると断面積 S は $S=\pi\times(5/2)^2\times10^{-6}=1.96\times10^{-5}$ ($m^2$)となる.
ホース長さは 1m を想定する.
20 ℃の飽和液冷媒の場合，密度 ρ は 500.1 kg/$m^3$ となり，
ホース内冷媒量=S×ホース長さ×ρ=1.96($m^2$)×$10^{-5}$($m^2$)×1(m)×500.1 (kg/$m^3$)×1000 (g/kg)=9.8 (g)
となる.
20 ℃の飽和ガス冷媒の場合，密度は 18.1 kg/ $m^3$ となり
ホース内冷媒量=S×ホース長さ×ρ=1.96($m^2$)×$10^{-5}$($m^2$)×1(m)×18.1 (kg/$m^3$)×1000 (g/kg)=0.35 (g)
となる.
ホース内の冷媒が平均的に液 20 %，ガス 80 %であるものと想定すると，ホース内冷媒量=9.8×0.2+0.35×0.8=2.24 g
ショーケースへの冷媒充填量 500 g に対してホース内冷媒量 2.24 g となるので，
ホース取外し時の冷媒漏えい発生確率を 2.24/500≒$5.00\times10^{-3}$ とする.

**3.3.4）ホース取外し時の漏えい(ホースによる屋外放出)**

ホースによる冷媒放出時に，ホース内に残った冷媒が店内に流出することを想定する．使用するホースを 1/4 インチ･内径は 5 mm と想定すると断面積 S は $S=\pi\times(5/2)^2\times10^{-6}=1.96\times10^{-5}$ ($m^2$)となる.
ホース長さは 10 m を想定する.

20 ℃の大気圧ガス冷媒の場合，密度は 1.8 kg/ $m^3$ となり
ホース内冷媒量=S×ホース長さ×ρ=1.96($m^2$)×$10^{-5}$($m^2$)×10(m)×1.8(kg/$m^3$)×1000 (g/kg)=0.35 (g)
となる.
ショーケースへの冷媒充塡量 500 g に対してホース内冷媒量 0.35 g となるので,
ホース取外し時の冷媒漏えい発生確率を 0.35/500=7.00×$10^{-4}$ とする.

**3.3.5）ホース接続不良(回収袋)**

冷媒回収袋へのホース接続不良による冷媒漏えいを想定する. 冷媒回収袋へのホース接続作業は可燃性冷媒機器特有の作業となるため，ヒューマンエラー5.00×$10^{-2}$ とする（**3.5** 節参照）.

**3.3.6）ホース接続不良(機器)**

機器へのホース接続不良による冷媒漏えいを想定する. 機器へのホース接続は従来から行っている作業であるため，ヒューマンエラー1.00×$10^{-3}$ とする.

**3.3.7）回収袋内の冷媒放出位置が不適切**

誤って店内にて冷媒回収袋から冷媒を放出してしまった場合を想定する.
冷媒回収袋からの冷媒放出作業は可燃性冷媒機器特有の作業となるため, ヒューマンエラー 5.00×$10^{-2}$ とする.

**3.3.8）ホースによる屋外放出時のホース先端の設置場所が不適切**

冷媒のホースによる屋外放出時に放出されるホース先端が屋外まで伸びていない場合や, ホースから冷媒を放出した際にホース先端が固定されておらずホースがあばれて店内に冷媒が漏れてしまう場合を想定する. 冷媒のホースによる屋外放出作業は可燃性冷媒機器特有の作業となるため，ヒューマンエラー5.00×$10^{-2}$ とする.

**3.3.9）真空ポンプからの排気**

店内での真空ポンプによる真空引きにより, 機械内に残った冷媒が放出することを想定する．機器内の冷媒は大気圧となっており，微量と考え，1.00×$10^{-2}$ とする.

**3.3.10）閉回路内に残存した冷媒を放出**

冷媒放出時に冷媒回路内に閉回路が存在し，その閉回路内に冷媒が残存し，さらにその閉回路内の部品を交換することを想定する.

機器に閉回路が存在する確率を 1.00×$10^{-3}$ と想定する．閉回路内にある部品は膨張弁・電磁弁と想定し（弁が閉じた状態で機械が停止し，弁の間の配管に冷媒が残存する），
膨張弁・電磁弁交換比率（低温機器のデータ [6-5-1)]を使用）は 130(回/年)÷ストック台数 49,000(台/10 年)≒2.65×$10^{-3}$ となる. よって, 閉回路部品を交換する確率を 2.65×$10^{-3}$ とする.
閉回路存在に気付かない確率をヒューマンエラー1.00×$10^{-3}$ とする.

機器に閉回路が存在する確率＝1.00×$10^{-3}$

閉回路部品を交換する確率＝2.65×$10^{-3}$

閉回路存在に気付かない確率＝1.00×$10^{-3}$

上記を乗じて算出すると，閉回路内に残存した冷媒を放出する確率＝2.65×$10^{-9}$ とする.

**3.3.11）冷媒放出不足**

冷媒をホースを介して大気放出又は冷媒回収袋を介して大気放出した際に機器内に冷媒が残ってしまっていたことを想定する. 冷媒のホースによる屋外放出作業, 冷媒回収袋での放出作業はいずれも可燃性冷媒機器特有の作業となるため，ヒューマンエラー5.00×$10^{-2}$ とする.

**3.3.12）冷媒放出忘れ**

部品交換作業前に冷媒放出を実施しなかったことを想定する．部品交換作業は冷媒放出，真空引き，窒素パージを行った後の作業となる．冷媒放出忘れによる冷媒漏えいが発生するのは全ての工程を実行しなかった場合となる．

よって冷媒放出をしていない状態で部品交換作業をしてしまう確率はヒューマンエラー $1.00\times10^{-3}$ とし，更に真空引き，窒素パージをし忘れる確率を各 $1.00\times10^{-1}$ とする．

よって

$(1.00\times10^{-3})\times(1.00\times10^{-1})\times(1.00\times10^{-1})=1.00\times10^{-5}$

とする．

**3.3.13）ろう付け不良**

ろう付けによる部品取付部からの冷媒漏えいを想定する．ろう付け不良の発生確率はヒューマンエラー $1.00\times10^{-3}$ とする．

**3.3.13.1）ろう付け不良(庫内漏えい)**

リーチインショーケース以外のショーケース（平形と多段形オープン）の庫内漏えいに関しては，時空積が小さく，着火確率に与える影響が小さいと判断し，リーチインショーケースのみを庫内漏えいの評価対象とする．内蔵ショーケースのうちのリーチインショーケースの割合は 29.7 %とする（**3.4.2** 項参照）．冷媒回路修理の 50 %が庫内冷媒回路修理と想定する．よって，

ろう付け不良の発生確率＝$1.00\times10^{-3}$

リーチインショーケースの割合＝$2.97\times10^{-1}$

庫内冷媒漏えい割合＝0.5

上記を乗じて計算し，ろう付け不良(庫内漏えい)による冷媒漏えい発生確率＝$1.49\times10^{-4}$ とする．

**3.3.13.2）ろう付け不良(庫外漏えい)**

冷媒回路修理の 50 %が庫外冷媒回路修理と想定する．よって，

ろう付け不良の発生確率＝$1.00\times10^{-3}$

庫外冷媒漏えい割合＝0.5

上記を乗じて計算し，ろう付け不良(庫外漏えい)による冷媒漏えい発生確率＝$5.00\times10^{-4}$ とする．

**3.3.14）充塡ホース接続不良**

冷媒充塡時のホース接続不良による冷媒漏えいを想定する．冷媒充塡時のホース接続は従来から行っている作業であるため，ヒューマンエラー $1.00\times10^{-3}$ とする．

**3.3.15）バルブ誤操作**

冷媒充塡後にバルブを閉じずにホースを外してしまうことを想定する．冷媒充塡後にバルブを閉じる作業は従来から行っている作業であるため，ヒューマンエラー $1.00\times10^{-3}$ とする．

**6.5.3　FTA と着火確率**

FTA を以下に示す．着火確率は店内修理 $2.18\times10^{-5}$，屋外修理 $2.10\times10^{-5}$ となり，修理時の許容量値の $5.26\times10^{-8}$ を上回る結果となった．冷媒放出，真空引き作業，冷媒回路部品交換作業，冷媒充塡作業での着火確率が高く，特にバーナーによる冷媒回路部品交換による着火確率が高いことが分かる．

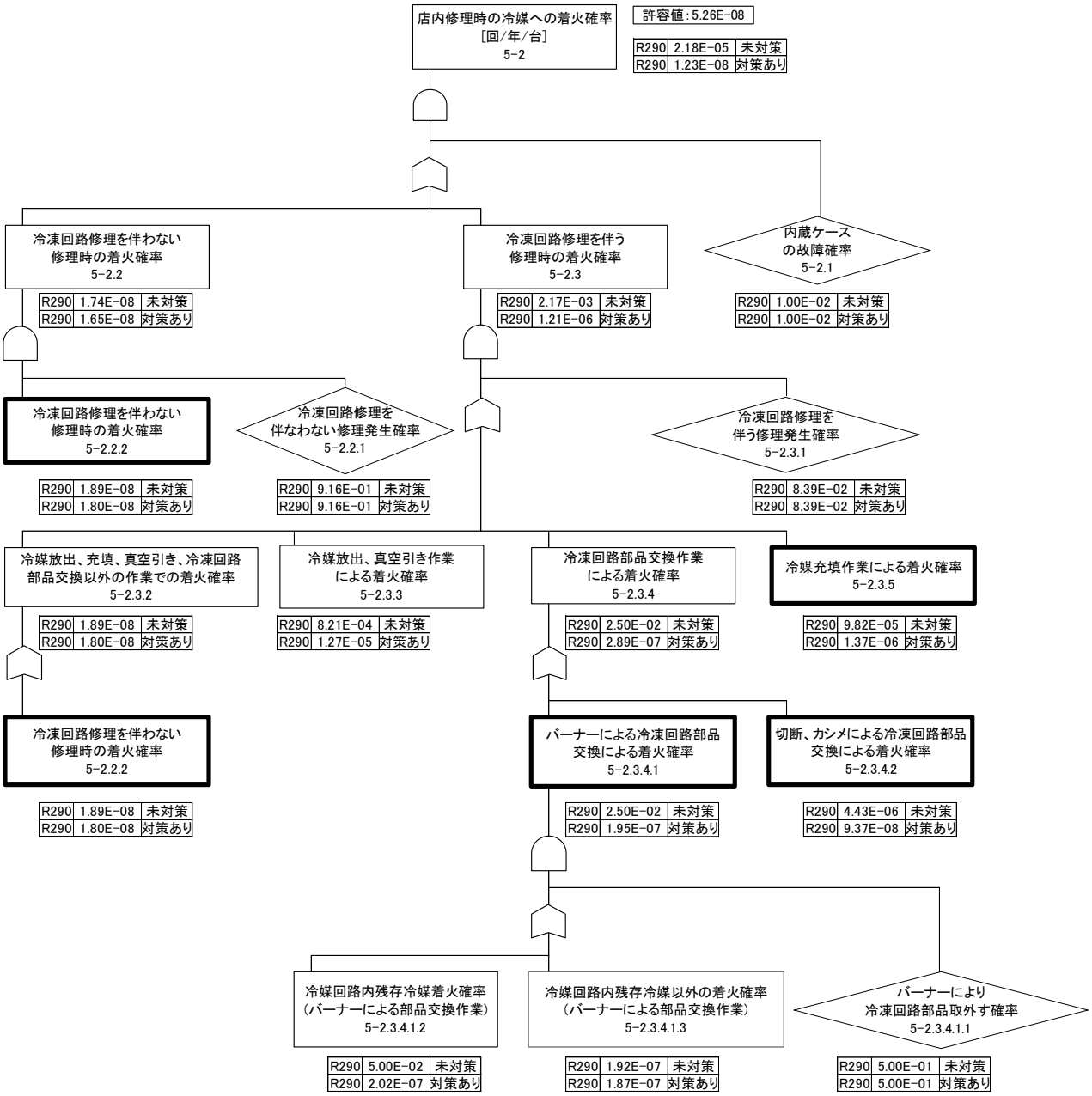



Fig. 6-5-1　店内修理時の FTA

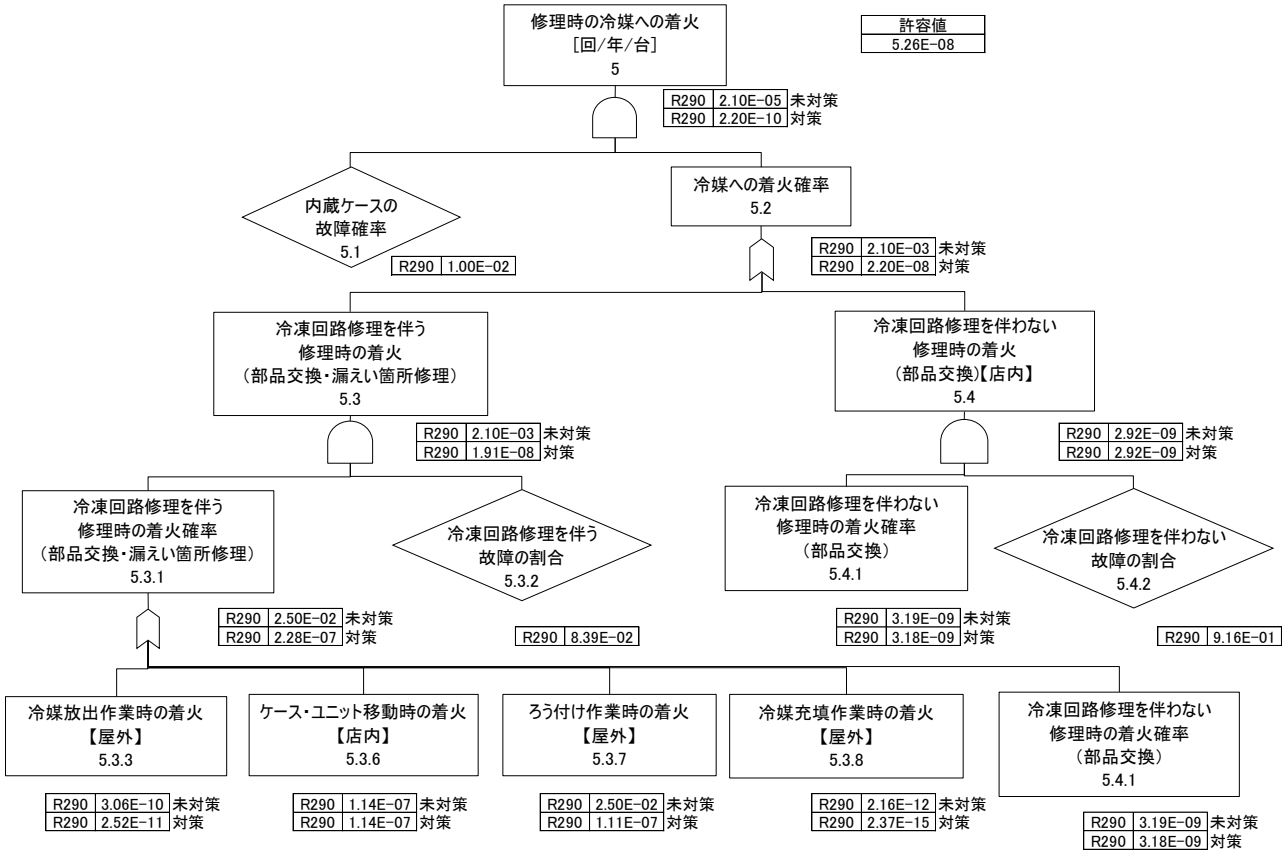



Fig. 6-5-2　屋外修理時の FTA

### 6.5.4　安全対策

リスクアセスメントの結果から，以下の対策を提案した．全ての対策を実施することで，着火確率は店内修理 $1.23\times10^{-8}$，屋外修理 $2.20\times10^{-10}$ となり，修理時の許容量値の $5.26\times10^{-8}$ 内に収まることとなった．

対策効果は下記により算出する．

対策効果＝

対策を実施しない人の割合＋対策の効果の割合×(1−対策を実施しない人の割合)

**1) 防爆形真空ポンプによる残存冷媒の排除**

残存冷媒を排除するため冷媒放出後，防爆形の真空ポンプで冷媒回路を真空引きすることを教育する．

・対策を実施しない人の割合：$1.00\times10^{-3}$

(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き，全ての修理業者が教育を受けると考えるが，実施しない人がヒューマンエラー1/1000 の確率でいると想定する)

・対策の効果の割合：$1.00\times10^{-3}$

(対策を行なっても，ヒューマンエラー1/1000 の確率で冷媒が残存すると想定)

よって，対策効果は以下となる．

対策効果= $1.00\times10^{-3}+1.00\times10^{-3}\times(1-1.00\times10^{-3}) = 2.00\times10^{-3}$

**2) 冷媒放出，充塡作業時の店内着火源の排除**

冷媒放出，充塡作業時には店舗内の修理対象機器以外の着火源となる可能性のある全ての機器への通電を遮断した状態にすることを教育する．

・対策を実施しない人の割合：$1.00\times10^{-3}$

(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き，全ての修理業者が教育を受けると考え

るが，実施しない人がヒューマンエラー1/1000 の確率でいると想定する．)
・対策の効果の割合：0　(対策を行えば着火源は排除される．)
よって，対策効果は以下となる．
対策効果=$1.00\times10^{-3}+0\times(1-1.00\times10^{-3})= 1.00\times10^{-3}$

**3) 漏えい検知器の携帯検知器作動による作業の中断**

漏えい検知器を携帯し，検知器が作動した場合に作業を中断し，検知器が冷媒を検知しなくなるまで，作業を再開してはいけないことを教育する．効果として着火源存在確率が低下する．
・対策を実施しない人の割合：$1.00\times10^{-3}$
(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き，全ての修理業者が教育を受けると考えるが，実施しない人がヒューマンエラー1/1000 の確率でいると想定する．)
・対策の効果の割合：$1.00\times10^{-2}$ (保守点検の標準効果と同等とする．)
よって，対策効果は以下となる．
対策効果=$1.00\times10^{-3}+1.00\times10^{-2}\times(1-1.00\times10^{-3})=1.10\times10^{-2}$

**4) 軍手の使用**

修理時には軍手などで静電気を防止することが可能な手袋を着用し，静電気の発生を防止しなければいかないことを教育する．
・対策を実施しない人の割合：$1.00\times10^{-3}$
(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き，全ての修理業者が教育を受けると考えるが，実施しない人がヒューマンエラー1/1000 の確率でいると想定する．)
・対策の効果の割合：$1.00\times10^{-2}$（**4.3** 節参照）
よって，対策効果は以下となる．
対策効果=$1.00\times10^{-3}+1.00\times10^{-2}\times(1-1.00\times10^{-3})=1.10\times10^{-2}$

**5) ブラシモーターの使用禁止**

電動ドライバーを使用する場合にはブラシモーターを使用する電動ドライバーを使用しないことを教育する．
教育と同様の対策効果とし，対策効果を $1.00\times10^{-1}$ とする．

**6) 非防爆形真空ポンプ，冷媒回収機の使用禁止**

非防爆形真空ポンプ，冷媒回収機を使用しないことを教育する．
教育と同様の対策効果とし，対策効果を $1.00\times10^{-1}$ とする．

**7) ろう付け後のリークテスト実施**

経産省のマニュアル（**4.3** 節の Table 4-5）の検査・評価試験と同等とし，$1.00\times10^{-2}$ とする．

**8) 窒素パージによる残存冷媒の排除**

残存冷媒の排除するため冷媒放出後，窒素ガスで冷媒回路をパージすることを教育する
・対策を実施しない人の割合：$1.00\times10^{-3}$
(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き，全ての修理業者が教育を受けると考えるが，実施しない人がヒューマンエラー1/1000 の確率でいると想定する)
・対策の効果の割合：$1.00\times10^{-3}$
(対策を行なっても，1/1000 程度の冷媒が残存すると想定する)
よって，対策効果は以下となる．
対策効果=$1.00\times10^{-3}+1.00\times10^{-3}\times(1-1.00\times10^{-3})=2.00\times10^{-3}$

**9) 換気による静電気発生確率低減**

作業中は店舗内の換気を作動状態にし，屋外に繋がる扉を開放状態にして通風をよくすることを教育する．静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率は店内 18.7 %，屋外 3.2 %と想定しているが，通風を良くすることにより，店内湿度は店内，屋外の平均湿度となるものと仮定し，静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる確率は 10.95 %［=(18.7+3.2)/2］となるとする．

よって，対策効果は以下となる．

対策効果＝10.95/18.7＝$5.86\times10^{-1}$

**10) 店内機器停止による静電気の発生確率低減**

冷媒放出，充塡作業時にはリレーなどが着火源となるため 2)に記載の店内機器への通電を遮断する安全対策を実施し，店内機器への通電が遮断されるため，通常時に比べ，客が機器に触れ，静電気が発生する確率が低下することを想定し，その低下率は 50 %とする．

**参考文献**

6-5-1) 日冷工：「微燃性冷媒を使用した 低温機器のリスク評価報告書」(2017.11).

### 6.6　撤去時（廃棄時）

#### 6.6.1　概要

ショーケース廃棄の全体の流れを Fig. 6-6-1 に示す.

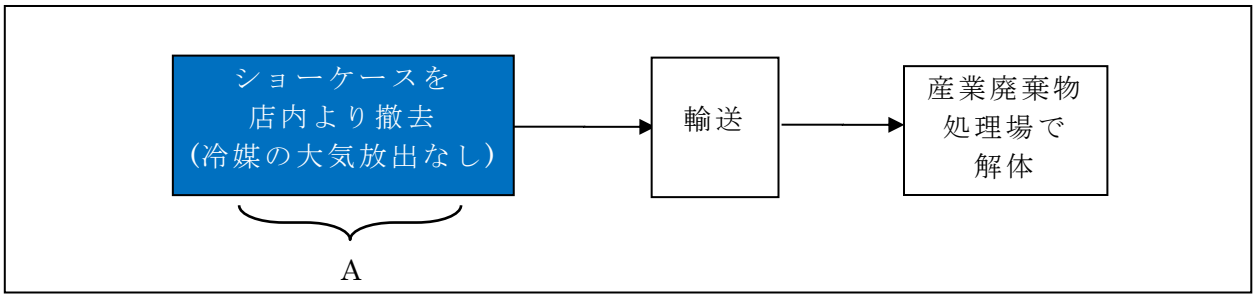



Fig. 6-6-1　ショーケース廃棄の流れ

ショーケースを廃棄する際は撤去業者などが店舗内から撤去し，廃棄場所まで輸送して，そこで廃棄処理を行う．この廃棄段階の各工程のうち，輸送については輸送ステージで考慮されており，処理場での解体については日冷工が行っているものではないため，別途機器の廃棄手順を規定した廃棄ガイドラインを作成し，関係省庁とも連携して適切に廃棄処理されるように啓もうすることとし，ここでは，Fig. 6-6-1 の A の部分，すなわち，撤去業者などが店舗内からショーケースを撤去する作業に絞って，リスク評価を行った．この時，内蔵ショーケースは冷媒回路に冷媒が入った状態で撤去される．

撤去場所は代表してコンビニエンスストアを想定する．リスクアセスメントを行うショーケースの製品形態としてはリーチインショーケースについて検討を実施した．リーチインショーケースについては圧縮機を内蔵したユニットが製品下にある下ユニットと，製品上にある上ユニットがあり，冷媒漏えい時の周囲への影響度などが異なることが予測されるため，リーチインショーケースの導入率をそれぞれ 50 %として検討した．

#### 6.6.2　シナリオ・着火源・冷媒漏えい・撤去作業

**1）撤去時のシナリオ**

**1.1) 撤去率**

内蔵ショーケースの寿命を 13 年とすると，13 年使用後に撤去される率は，$1/13=7.69\times10^{-2}$．大手コンビニエンスストアチェーンの 2014～2016 年度の開店・閉店・店舗数の平均より閉店率を算出すると，年あたりの閉店率は $4.7\times10^{-2}$．これを合計して，年間の撤去率は $1.24\times10^{-1}$ とする．

**1.2) 作業時間**

撤去に要する作業時間は 1 時間とする．撤去は，営業廃止店舗から撤去する場合と営業中の店舗から撤去する場合を想定する．

**1.3) 着火源の種類**

営業中の店舗では作業時の着火源の他に使用時の着火源が存在し，営業廃止した店舗では主に作業時の着火源が存在する．撤去時（廃棄時）の着火源を Table 6-6-1 に示す．営業中の店舗と営業廃止した店舗で想定される着火源を表中に○印で示す．また，着火源のエネルギーの大小も示す．

**2）作業に伴う店舗内着火源**

以下に撤去作業に伴う着火源の時間的遭遇確率を示す．時間的遭遇確率を算出するための可燃域継続時間は **5** 章の冷媒漏えい解析結果による．また，Table 6-6-1 にて着火エネルギー区分が小である着火源においては可燃域継続時間を $2^{0.5}$ で除して使用する（**4.2.2** 項の 1)及

び **4.2.4** 項の 3)参照）.

Table 6-6-1　撤去（廃棄）における着火源

| 区分 | 着火源 | | 着火エネルギー区分 | 店舗の状況 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 営業中 | 営業廃止 |
| 作業に伴う着火源 | 解体バーナー | | 大 | | ○ |
| | 解体バーナーを除く撤去作業 | コンセント | 大 | | ○ |
| | | 電動カッター・グラインダ | 大 | ○ | ○ |
| | | 電動工具 | 小 | ○ | ○ |
| | | 静電気 | 小 | ○ | ○ |
| | 喫煙 | | 大 | ○ | ○ |
| 作業に伴わない着火源 | 使用時の店舗内着火源 | 燃焼式機器 | 大 | ○ | ○ |
| | | 電源コンセント | 大 | ○ | ○ |
| | | 照明スイッチ | 大 | ○ | ○ |
| | | 換気扇スイッチ | 大 | ○ | ○ |
| | | フライヤースイッチ | 大 | ○ | |
| | | 電子レンジ | 大 | ○ | |
| | | 電灯 | 大 | ○ | ○ |
| | | 白熱球 | 大 | ○ | ○ |
| | | 電子ライター | 大 | ○ | |
| | | デフロストヒーター | 大 | ○ | |
| | | コピー機・プリンター | 大 | ○ | |
| | | コピー機・プリンター(使用による着火) | 大 | ○ | |
| | | 加湿装置 中華まん | 大 | ○ | |
| | | 加温装置 おでん | 大 | ○ | |
| | | コーヒーディスペンサー | 大 | ○ | |
| | | ブラシモーター(製品外） ※ON･OFF 時に着火 | 小 | ○ | ○ |
| | | ブラシモーター（製品外） ※常時着火源 | 小 | ○ | |
| | | 静電気人体 | 小 | ○ | |

**2.1）解体バーナーに伴う着火確率**　※営業中の店舗においては想定しない

バーナーを使用する撤去の割合はビル内店舗など設置環境が特異なものが「駅ビル・商業ビル・飲食ビル」が 19 %[6-6-1)]とあり，値を繰り上げて 0.2 とした.
バーナー使用時間を 2 分とし，10 回使用したとして，作業時間を 1 時間とした.
バーナーを 10 回使用するのは，店舗内のウォークイン，多段形ショーケース，ラウンドケース，空調機 2 台の配管を液管とガス管をそれぞれバーナーで外すことを想定.

着火源存在時間$T_i$(h)＝着火源作動時間$T_{ic}$(h)＝ 2(m)/60(m/h)=0.033(h)
可燃域継続時間$T_v$(庫内漏れ)＝1.89/60＝0.037(h)
可燃域継続時間$T_v$(庫外漏れ)＝10.93/60＝0.182(h)
作業時間$T_s$＝1(h)

着火源使用回数n=10(回)
作業中の着火源使用回数ns=n
着火源の存在係数＝人数1(人)
喫煙の時間的遭遇確率
$P_t' = 1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n$
1日の着火源遭遇確率$P_t = P_t' \times k = P_t' \times 1$

遭遇率：ある時間帯に集中して複数回作動する着火源と可燃域の遭遇率
着火源存在時間：$T_i$(h)（着火源が1回作動する時の時間）
可燃域継続時間：$T_v$(h)　（1回の漏洩で可燃域が継続する時間）
着火源使用回数：n(回)（1日のうち着火源を作動する回数）
作業時間：$T_s$(h)（作業を行っている時間）
作業中における着火源使用回数：ns(回)（作業時間のうち着火源を作動する回数 n）

**2.2）コンセント取外しによるスパーク**

ショーケースの電源には動力/電灯の両電源，動力+電灯の単一電源があり，どちらにおいても着火源となるスパークが発生するコンセントは 1 個のため，ケース 1 台当たりのコンセント数を 1 個とした．コンセントの抜き出し時の放電が 5 ms と想定，作業時間は 1 時間とした．

また，50 %がブレーカを切らずにコンセントを外すとした．理由はブレーカが不明や，100 V 機種はブレーカを切ると他の機器の電源も切る可能性があるためである．

上部にコンセントがある場合と，下部にコンセントがある場合をそれぞれ 50 %とし，下部にコンセントがある場合に下部に生成される可燃域にさらされるとした．

・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率 $P_t'$
$P_t' = 1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n$
1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.25$

**2.3）電動グラインダーの使用**

ショーケース上部に垂れ壁があった際や，下部の配管が邪魔をしてケースを引き出せない場合に，電動グラインダーを用いて撤去する場合を前提とし，店舗にあるショーケースのうち垂れ壁と干渉するショーケースの存在を 30 %，撤去に伴い干渉する壁を壊す際に電動グラインダーを用いる使用率を 10 %，1 回あたり 15 秒，4 回使用とし，作業時間を 1 時間とした．

想定する作業は，ケース上の垂れ壁の軽天を電動グラインダーで切る，又はケース下の配管を電動グラインダーで切断したりする作業．

・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率
$P_t' = 1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n$
着火源存在係数 k = 0.03
1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.03$

**2.4）電動工具の使用**

撤去作業時に電動ドライバーを用いてショーケースのスカートパネルやカバーを取り外したり，警報線などの電線取り外しを行う．使用率を 50 %として，1 回あたり 3 秒，10 回使用とする．

想定する作業は，ショーケース下のスカートパネルや端子台のねじをドライバーで緩めた

り閉めたりする作業.
なお，着火源となる電動ドライバーはブラシ式のみであり，その存在確率を 5 %とする.

$P_t' = 1-\{1-(T_v/2^{0.5}+T_i)/T_s\}^n$
着火源存在係数 $k = 0.5 \times 0.05 = 0.025$
1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.25$

**2.5）作業者からの静電気の発生**

静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率の年間平均は 18.7 %（**4.2.2** 項の 3)参照）．静電気によるスパーク時間を 1 μs（**4.2.2** 項の 2)参照）として，静電気の放電が撤去するショーケースを触った際に起きるとし，撤去をする際に作業者がショーケースに触れる場合を以下と考えた.

・扉が開かないよう養生する作業か付属部品の取り外し
・電源プラグを 2 個外し，本体に止める作業
・扉の開け閉め
・ショーケースを引き出す作業
・ショーケースを台車に乗せる作業
・ショーケースを搬出する際の持ち替え

上記の作業時間を合計 1 時間として計算.
この際，静電気は最初の養生する作業で 1 回起きると想定し，その後の作業時間である 1 時間においてはショーケースがすでに養生されているため静電気放電は発生しないとした.

・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率
$P_t' = 1-\{1-(T_v/2^{0.5}+T_i)/T_s\}^n$
着火源存在係数 $k = 0.187$
1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.187$

**2.6）喫煙**　※営業中の店舗においては想定しない.

営業中の店舗で撤去作業員が店内で喫煙することは考えにくいが，店舗が営業廃止となり閉店した店舗内で回収作業員が喫煙する確率を ADL レポート [6-6-2)]の訓練を無視する確率を参考に 10 %の確率で喫煙することとした.
2017 年のデータで，日本人の喫煙率は男性 28.2 %，女性 9.0 %，男女平均で 18.2 %，1 日当たりの平均喫煙本数は男性 18.1 本/日，女性 14.7 本/日である．喫煙人口は，男性 1426 万人，女性 491 万人，合計 1917 万人であり，男女平均喫煙本数は 17.2 本/日（＝{(18.1 本/日×1426 万人)+(14.7 本/日×491 万人)}/1917 万人）となる.
使用ステージでは男女平均の値を使用し（実際は店舗内では喫煙しないため使用ステージでは使用せず），作業ステージでは作業者には男性が多いとし男性の値を使用する.
なお，喫煙は睡眠時間 7.25（h）（20 歳～64 歳までの男性の平均睡眠時間）を除いた時間に行われるため，作業ステージにおける喫煙本数は，**4.2.3** 項の式(4-14)で計算した値を用いる.

作業時の喫煙本数＝作業時間(h)×平均喫煙本数(本/日/人)/(24−睡眠時間(h))
＝作業時間(h)×18.1/(24−7.25)
＝作業時間(h) ×1.08(本/h)

時間的遭遇確率の計算において，喫煙本数は着火源使用回数，喫煙率は着火源存在係数として使用する．たばこ 1 本当たりの喫煙時間を 5 分，このうち着火源となるタバコが赤火に時

間を 40 秒とした．ライターの点火時間を 5 秒とし，着火源作動時間($T_{ic}$)=赤火時間＋ライター点灯時間=45 秒(0.0125 h)とした．

・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率

$P_t' = 1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n$

着火源存在係数 k =喫煙率×作業人数

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3) 作業に伴わない着火源（店内着火源）**

**3.1）燃焼式機器の使用**

店内に燃焼式暖房機を設置した場合を考慮し，24 時間稼働とした．普及率 0.01 %．$T_i(h)=24(h)$

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.2）電源コンセント**

清掃のため 1 日 2 回で計 4 回，掃除機を抜き差し，ただし着火に関わる回数は 2 回（さす時は着火源にならない）．50 %の確率で掃除機本体のスイッチ操作をせずにコンセントを抜き差しする．

放電各 5 ms⇒$T_i(h)=1.4\times10^{-6}$

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.3）照明スイッチ**

1 日/2 回スイッチ ONOFF，ただし着火に関わる回数は 2 回（ON→OFF のみ着火源になる）．放電時間各 5 ms⇒$T_i(h)=1.4\times10^{-6}$

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.4）換気扇スイッチ**

商店の換気扇は一般的に常時運転，ON・OFF 無しのため，着火源にならない．

**3.5）フライヤースイッチ**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

からあげの賞味期限 4 時間　4 時～24 時の間の 20 時間の間に 4 時間毎に調理するとして ON・OFF 計 10 回，放電時間各 5 ms⇒$T_i(h)=1.4\times10^{-6}$

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.6）電子レンジ**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

1 店舗当たり 2.5 台，事故件数 17 件/年（NITE 調査結果），市場普及台数 376,406 台（JEMA 調査数値（2016 年））

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.7）電灯**

蛍光灯・LED の点灯時表面温度は 100 ℃以下となる．よって発火源とならない．

**3.8）白熱球**

白熱球の点灯時表面温度は 180 ℃程度となる．よって発火源とならない．

**3.9）電子ライター**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

店舗に陳列しているライターを客が試しに使用する場合を想定．1 日 5 人が使用，試し使用 1 回あたり 5 秒とする．

$T_i(h)=5/60/60=1.39\times10^{-3}$

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.10）デフロストヒーター**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

$T_i(h)=2.3(h)$

100 年に 1 回の事故が発生するとする⇒着火源の存在係数 k＝0.01

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.11）コピー機・プリンター(発火事故による着火)**※営業廃止した店舗においては想定しない．

1 店舗当たり 1 台設置されると想定．NITE 調査結果より 5 年間の事故件数が 25 件 市場普及台数を JBMIA 調査数値 2012～2016 年より 2,892,872 台

炎は 10 分間出ていると想定⇒着火源存在時間 Δ TI[h]＝10/60

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.12)コピー機･プリンター(使用による着火）**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

コピー機の使用回数を 1 日 50 回，1 回のコピー時間 3 分とし，コピーをすると必ず着火するものとする．

3 min⇒$T_i(h)= 5\times10^{-2}$

n=50

k=1

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.13）加温装置 中華まん**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

NITE 調査結果に事故登録なし．　フライヤースイッチの数値と同等とする．

**3.14）加湿装置 おでん**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

NITE 調査結果に事故登録なし．　フライヤースイッチの数値と同等とする．

**3.15）コーヒーディスペンサー**　※営業廃止した店舗においては想定しない．

特定のコンビニチェーン全体でのコーヒー販売 9 億杯・店舗数：約 2 万店⇒ 1 店舗あたり 45000 杯/年，

内部リレー動作時の放電各 5 ms⇒$T_{ic}(h)=T_i(h)=1.4\times10^{-6}$

1 杯販売時あたりのリレー動作回数が 1.5 回　1 日 124 杯販売　n=1.5×124=186

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v)/24\}^n]\times[1-\{1-(T_v+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.16）ブラシモーター（製品外）**　※常時着火源

ブラシモーターの周囲に燃焼速度よりも十分に速い気流が流れているため，運転中のブラ

シモーターは着火源にはならないとし，モーターが起動される時のみ着火源とする（3.17）参照）.

**3.17）ブラシモーター（製品外）　※ON・OFF 時に着火**

一般的なコンプレッサーの使用基準が運転 5 分以上・停止 5 分以上が規定されていることから，コンプレッサーの発停頻度が 1 時間あたり最大 ON6 回・OFF6 回とし，合わせてモーターも ON・OFF すると想定し 1 時間で ON 計 6 回，1 日あたり 144 回．放電各 5 ms⇒ $T_{ic}(h)=T_i(h)=1.4\times10^{-6}$ 普及率 1 %とする

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v/2^{0.5})/24)^n\}]\times[1-\{1-(T_v/2^{0.5}+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

**3.18）静電気人体**

（リーチインショーケース扉）

特定のコンビニチェーン全体でのコーヒー販売 9 億杯で半数がアイスコーヒー（アイスコーヒーを冷凍リーチインで保冷を想定）．店舗数：約 2 万店，9 億杯/2 万店/365 日/2＝62 回

冷蔵ウォークイン 6 枚扉・冷凍リーチイン 1 枚扉．冷蔵リーチインも扉 1 枚当たり同回数開閉するものと想定.

62 回×（6+1）＝434 回（1 日当たりの最多放電回数と仮定）

庫内漏えいしている時に扉を開けても最初にドアに触れる時は製品外に漏えいしないため，1 人目のお客が扉を開け，直後に 2 人目のお客が扉を開ける確率を 10 %とすると

434 回×0.1=43.4 回⇒44 回　　放電時間を 1 μs⇒$T_i(h)=2.8\times10^{-10}$

静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率の年間平均 18.7 %より，着火源の存在係数 k=1×0.187=0.187

店舗入口ドアの手動・自動比率を 1：1 とし，手動の場合は入店時に放電し，店舗内で静電気は発生しないものとして，存在係数を 0.187×0.5=0.0935

静電気の放電エネルギーが小さく着火領域が可燃空間の 1/2 となるため可燃域継続時間と平均可燃空間体積双方を $2^{0.5}$ で除する.

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v/2^{0.5})/24)^n\}]\times[1-\{1-(T_v/2^{0.5}+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

（オープンショーケース外装）

買い物するお客がハンドレールや棚などの金属部分に触れる確率をリーチインの回数基準で 5 %とすると　434 回×0.05=21.7⇒22 回

静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率の年間平均 18.7 %より，着火源の存在係数 k=1×0.187=0.187

静電気の放電エネルギーが小さく着火領域が可燃空間の 1/2 となるため可燃域継続時間と平均可燃空間体積双方を $2^{0.5}$ で除する.

$P_t'=[1-\{1-(T_i+T_v/2^{0.5})/24)^n\}]\times[1-\{1-(T_v/2^{0.5}+T_i)/T_s\}^n]$

1 日の着火源遭遇確率 $P_t = P_t' \times k$

（店舗入口扉）

店舗入口扉開閉時，着火に影響が有るのは退店時である.

入店時に放電されるため，退店時は放電しないと想定し，店舗入口扉の静電気の時間的遭遇確率 $P_t$＝0

（その他扉）

オープンショーケース外装と同等の回数とする.

**4）冷媒漏えい発生率**

冷媒漏えい条件としては冷媒量 500 g として，**5** 章の数値を用いる．設置の床面積としては店舗内が 84.7 $m^2$，バックヤード内を 24.01 $m^2$，設置空間の高さを 2.2 m とし，撤去するショーケースは停止していることから，エアカーテン無・凝縮ファン風速 0.0 m/s とした．

また，リーチインショーケースの冷媒漏えいにはガラス扉内における「庫内漏れ」とユニット内における「庫外漏れ」があり，可燃域継続時間が異なることから想定しうる場合は双方の条件で確率を算出する．「庫内漏れ」と「庫外漏れ」の発生確率比率は 1：1 とした．

リーチインショーケース・エアカーテン無・凝縮ファン風速 0.0m/s

| | | 庫内漏れ | 庫外漏れ |
|---|---|---|---|
| 可燃域継続時間（分） | ＝ | 1.77 | 10.93 |
| 平均可燃空間体積（$m^3$） | ＝ | 2.14 | 3.11 |

冷媒漏えいの種類としては，撤去作業に伴うものと伴わないものが存在する．それぞれ Table 6-6-2 に示す．

Table 6-6-2　撤去（廃棄）における冷媒漏えい

| 冷媒漏えい | 区分 |
|---|---|
| 作業に伴う冷媒漏えい | 他の什器などへの衝突 |
| | 転倒 |
| | ピット配管への衝突 |
| 作業に伴わない冷媒漏えい | なし |

**4.1）撤去作業に伴う漏えいが撤去作業中に発生する確率**

**4.1.1）他の什器などへの衝突**

撤去作業でケース移動させる際に，誤って他の什器などへの衝突により，接合部から冷媒が漏えいするとした．

作業者のヒューマンエラーを起因(R1)とし，そのうち 10 %(R2)が冷媒配管への衝突が発生するとし，冷媒配管への衝突のうち 10 %(R3)が漏えいを生じさせるとする．

$R1\times(R2/100)\times(R3/100)$

このうち，メーカー依頼の廃棄業者(全体の 20 %)のヒューマンエラーR1＝0.001，残りの 80 %のヒューマンエラーR1'＝0.01，とした．

$\{0.2\times R1\times(R2/100)\times(R3/100)\}+\{(1-0.2)\times R1'\times(R2/100)\times(R3/100)\}=8.20\times10^{-5}$

**4.1.2）転倒**

撤去作業でケース転倒し，冷媒が漏えいするとした．作業者のヒューマンエラーを起因(R1)として転倒が発生するとし，転倒による冷媒漏えいは簡単には発生しないとして，1 %(R2)が漏えいを生じさせるとする．

$R1\times(R2/100)$

このうち，メーカー依頼の廃棄業者(全体の 20 %)のヒューマンエラーR1＝0.001，残りの 80 %のヒューマンエラーR1'＝0.01，とした．

$\{0.2\times R1\times(R2/100)\}+\{(1-0.2)\times R1'\times(R2/100)\}=8.2\times10^{-5}$

**4.1.3）ピット配管への衝突**

撤去作業でケースを移動させる際に床面のピット配管へ衝突し，冷媒が漏えいするとした．作業者のヒューマンエラーを起因(R1)としてピット配管へ衝突が発生するとし，ピット配管は安全側に評価するため必ず床面へ露出しているとした．
また，ヒューマンエラーが起因しているため，ピット配管への衝突のうち，1 %(R2)が漏えいを生じさせるとする．
これはユニットが下置きの場合のみ発生するが，下置きの割合は 100 % (R3)とした．(ユニット上置き/下置きの比率は把握困難なため，安全を考慮して)
R1×(R2/100)×(R3/100)

このうち，メーカー依頼の廃棄業者(全体の 20 %)のヒューマンエラーR1＝0.001，残りの 80 %のヒューマンエラーR1'＝0.01，とした．
$\{0.2\times R1\times(R2/100)\times(R3/100)\}+\{(1-0.2)\times R1'\times(R2/100)\times(R3/100)\}=4.10\times10^{-5}$

よって撤去作業に伴う漏えいが撤去作業中に発生する確率は
$(8.20\times10^{-5})+(8.2\times10^{-5})+(4.10\times10^{-5})=2.45\times10^{-5}$

**4.2）撤去作業に伴わない漏えいが撤去作業中に発生する確率**

撤去作業時間を 1 時間とし，遭遇確率は $1/(365\times24)=1.14\times10^{-4}$
機器からの使用時の冷媒漏えいについては，噴出漏れ・急速漏れ・微少漏れ全てを合わせた冷媒漏えい発生確率は $1.00\times10^{-3}$ である（**3.4.1** 節参照）．
よって，撤去作業に伴わない漏えいが撤去作業中に発生する確率は
$1.14\times10^{-4}\times1.00\times10^{-3}=1.14\times10^{-7}$

製品回収作業時の冷媒漏えい発生確率は 4.1)，4.2）を合わせて
$2.45\times10^{-5}+1.14\times10^{-7}=2.46\times10^{-5}$

### 6.6.3　FTA と着火確率

FTA を Fig. 6-6-2 及び Fig. 6-6-3 に示す．着火確率は営業中の店舗で $3.11\times10^{-7}$，営業廃止の店舗で $3.54\times10^{-8}$ となり，営業廃止の店舗では許容値（$5.26\times10^{-8}$）以下となったが，営業中の店舗では許容値を上回る結果となった．

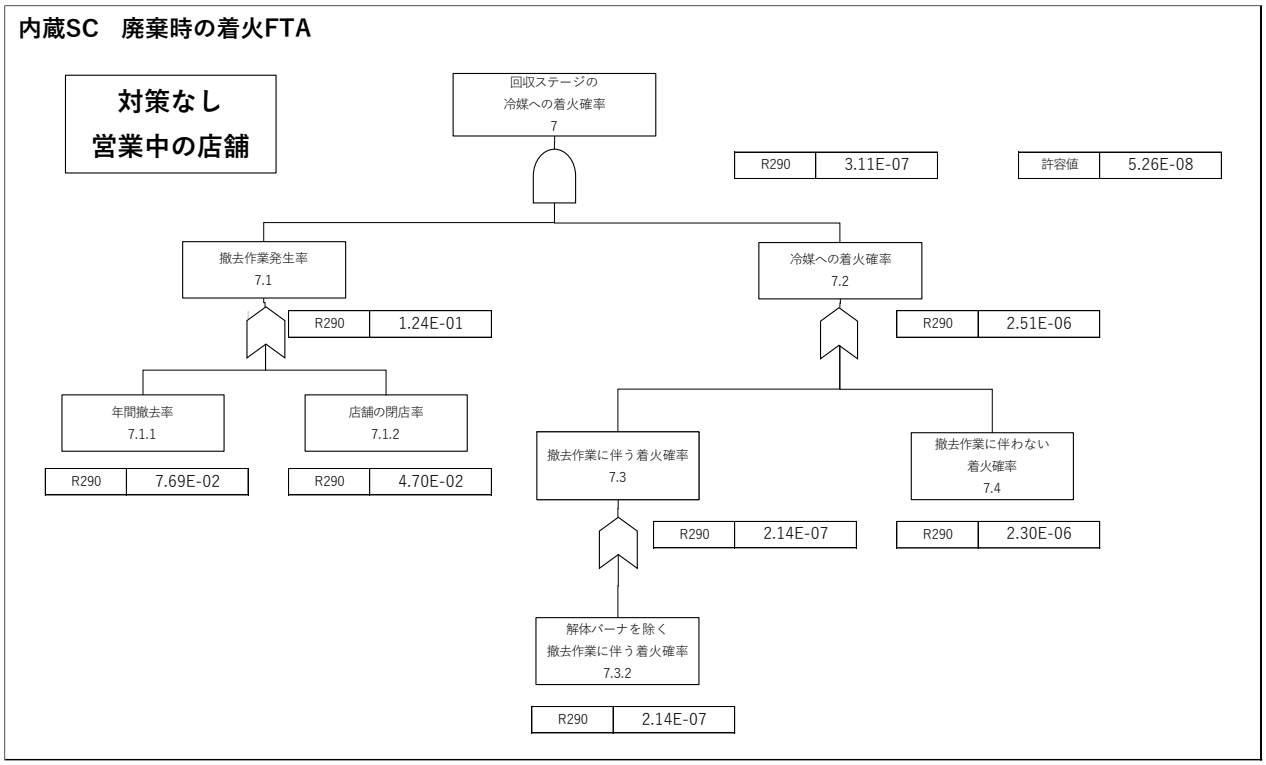



Fig. 6-6-2　営業中の店舗からの撤去時の FTA（未対策時）

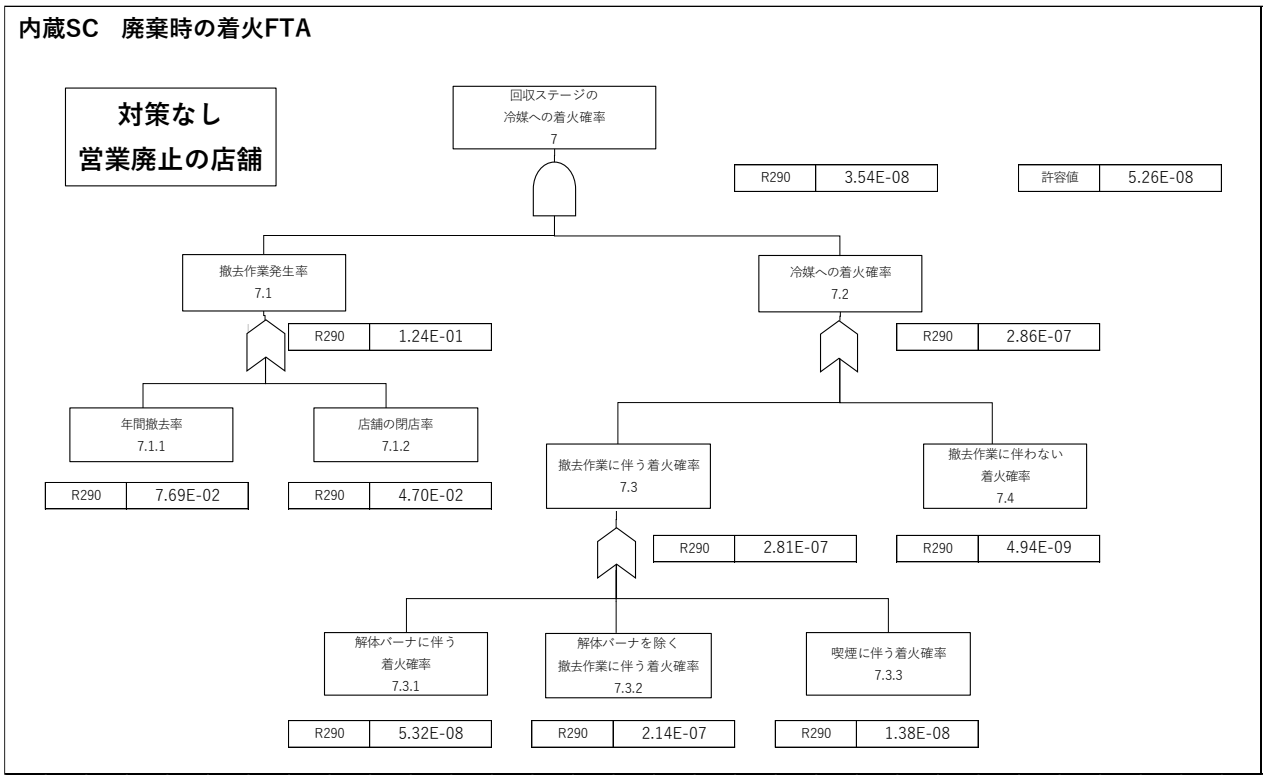



Fig. 6-6-3　営業廃止の店舗からの撤去時の FTA（未対策時）

### 6.6.4　安全対策

リスクアセスメントの結果から，Table 6-6-3 の対策を提案した．全ての対策を実施することで，営業中の店舗で $2.98\times10^{-8}$，営業廃止の店舗で $2.64\times10^{-9}$ となり，許容値 $5.26\times10^{-8}$ を下回った．

Table 6-6-3　安全対策

| |
|---|
| 注意ラベルの貼付 |
| メーカー 依頼の廃棄処理業者による回収 |
| 携帯形漏えい検知器の使用 |
| 静電防止手袋の着用 |
| 扉をゆっくりと開ける |

**1) 対策　注意ラベルの貼付**

可燃性冷媒の使用に対する注意喚起ラベルが貼付されているため，従来よりも丁寧に機器を取り扱うものとし，対策効果を 1/10 とする．

**2）教育　メーカー 依頼の廃棄処理業者による回収**

メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20 %)に対して注意喚起する．注意喚起効果は 1/10．

$0.2\times0.1+(1-0.2)\times1=8.20\times10^{-1}$

**3）対策　携帯形漏えい検知器の使用**

携帯形漏えい検知器による注意喚起により着火源の使用を直ちに中止するとし，着火源遭遇確率に対する効果は 1/100 とした．また，メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20 %)は全員が携行するとした．

$0.2\times0.01+(1-0.2)\times1=8.02\times10^{-1}$

**4）教育　静電防止手袋の着用**

静電防止手袋（軍手など）による静電気の発生を防止する．メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20 %)に対して注意喚起する．対策効果を 1/100 とする（**4.3** 節参照）．

$0.2\times0.01+(1-0.2)\times1=8.02\times10^{-1}$

**5）教育　扉をゆっくりと開ける** ※庫内漏れのみ適用

扉をゆっくりと開けることで，可燃域形成を防止する．メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20 %)に対して注意喚起する．注意喚起効果は 1/10 とする．

$0.2\times0.1+(1-0.2)\times1=8.20\times10^{-1}$

**参考文献**


6-6-1) ARES 不動産証券化ジャーナル Vol.40　「店舗出退店の実態と商業施設を取り巻くマクロ要因」（2017.12）．

6-6-2) W. Goetzler, L. Bendixen and P. Bartholomew: “Risk Assessment of HFC-32 and HFC-32/134a (30/70 wt. %) in Split System Residential Heat Pumps”, Arthur D. Little. inc., United States (1998).

## 6.7　コンビニエンスストアの R290 リスクアセスメントまとめ

### 6.7.1　着火源

#### 1) 使用時着火源

店舗内の使用時着火源のまとめを Table 6-7-1 に示す.

Table 6-7-1　使用時着火源（店舗内）

| Name | Type | $T_i$ (s) | $n$ | $k$ | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| NITE の調査結果に基づく発火事故 | 発火事故 | － | － | － | 各種機器 |
| コーヒーディスペンサー | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 186 | 1 | 販売時にリレーが作動 |
| フライヤースイッチ | | $5.0\times10^{-3}$ | 10 | 1 | 20 h の間に 4 h 毎に調理 |
| 中華まん加湿装置 | | $5.0\times10^{-3}$ | 10 | 1 | 20 h の間に 4 h 毎に調理 |
| おでん加熱装置 | | $5.0\times10^{-3}$ | 10 | 1 | 20 h の間に 4 h 毎に調理 |
| 電源コンセント | | $5.0\times10^{-3}$ | 2 | 0.5 | 50 %の確率で掃除機を 1 日 2 回抜き差し |
| 照明スイッチ | | $5.0\times10^{-3}$ | 2 | 1 | 1 日 2 回スイッチ ON→OFF |
| コピー機 | | 180 | 50 | 1 | 50 回/日，使用時間 3 分/回 |
| 他の機器のブラシモーター | | $5.0\times10^{-3}$ | 144 | 0.01 | 1 時間に 6 回 ON/OFF, 普及率 1% |
| 静電気（リーチインショーケース扉） | 静電気ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 44 | 0.0935 | アイスコーヒー取り出し，静電気の 10 %が可燃域と遭遇，自動ドア率 50 %，湿度 30 %以下 18.7%（0.5×0.187=0.0935） |
| 静電気（オープンケース外装） | | $1.0\times10^{-6}$ | 22 | 0.0935 | 買い物客が金属部分に触れる |
| 静電気（その他扉） | | $1.0\times10^{-6}$ | 22 | 0.0935 | 買い物客が金属部分に触れる |
| 電子ライター | 裸火 | 5 | 5 | 1 | 1 日 5 人が 5 秒ずつ試し点火 |
| 燃焼式暖房機 | | $3.6\times10^{4}$ | 1 | 0.0001 | 1 日 10 h 使用．普及率 0.01 % |

**2) 作業時着火源**

各ステージで最も着火確率が大きかったシナリオにおける作業時着火源のまとめを Table 6-7-2 及び Table 6-7-3 に示す.

Table 6-7-2　作業時着火源(1)

| Name | Type | $T_i$ (s) | $n$ | $k$ | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| 共通；作業者の喫煙 | 裸火 | $4.5\times10^{1}$ | 1.08 回/h | 0.282×人数 | 喫煙本数 1.08 本/h，ライター着火 5 s，タバコ赤火 40 s，喫煙率 28.2 %.（設置・修理時(屋外)・撤去(廃棄)では作業中に喫煙する率を 10 %とする） |
| 輸送（ワゴン車） | | | | | 2 h，作業者 2 人 |
| 静電気(ｷｰ接触) | 静電気 ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 1.1 | 0.04675 | 1.1 回，放電率 25 %，湿度 30 %以下 18.7 %　(0.25×0.187=0.04675) |
| 保管（狭小倉庫） | | | | | 2 h，作業者 2 人，15 $m^2$ |
| 静電気 | 静電気 ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 1 回/人 | 0.064 | 作業者が触る（中古・カバー無）（2 人×0.032=0.064） |
| 燃焼暖房機 | 裸火 | $7.2\times10^{2}$ | 1 | 0.082 | 使用期間 120 日/年．使用率 25 %　(0.25×120/365=0.082) |
| 設置 | | | | | 作業時間 1 h（荷下ろし：0.2 h，運搬：0.1 h，据付：0.7 h）．作業者 2 人 |
| 使用時着火源 | | | | | Table 6-7-1 参照 |
| 静電気 (作業者-製品) | 静電気 ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 1 回/人 | 0.032×2 人 | 湿度 30 %になる確率 3.2 %<br>新店工事（全行程）<br>営業中（荷下ろし） |
| 静電気 (作業者-製品) | 静電気 ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 1 回/人 | 0.187×2 人 | 湿度 30 %になる確率 18.7 %<br>営業中（運搬・据付） |
| ろう付けバーナー（運搬） | 裸火 | $1.2\times10^{2}$ | 4 回 | 0.254 | 別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %, 同じ時間帯にある確率 50.8 %<br>（0.5×0.508=0.254） |
| ろう付けバーナー（据付） | 裸火 | $1.2\times10^{2}$ | 4 回 | 0.279 | 別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %, 同じ時間帯にある確率 55.8 %<br>（0.5×0.558=0.279) |
| 電動ドライバー（運搬） | 電気 ｽﾊﾟｰｸ | 3.0 | 100 回 | 0.0127 | ﾌﾞﾗｼﾓｰﾀｰの割合 5 %, 別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %, 同じ時間帯にある確率 50.8 %<br>（0.05×0.5×0.508=.0.0127） |
| 電動ドライバー（据付） | 電気 ｽﾊﾟｰｸ | 3.0 | 100 回 | 0.014 | ﾌﾞﾗｼﾓｰﾀｰの割合 5 %, 別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %, 同じ時間帯にある確率 55.8 %<br>（0.05×0.5×0.558=0.014） |
| 電動グラインダー（運搬） | ｽﾊﾟｰｸ | $1.5\times10^{1}$ | 10 回 | 0.169 | 電動ｸﾞﾗｲﾝﾀﾞｰが使用される確率 50%，別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %，同じ時間帯にある確率 67.5 %<br>（0.5×0.5×0.675=0.169） |
| 電動グラインダー（据付） | ｽﾊﾟｰｸ | $1.5\times10^{1}$ | 10 回 | 0.181 | 電動ｸﾞﾗｲﾝﾀﾞｰが使用される確率 50 %，別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %，同じ時間帯にある確率 72.5 %<br>（0.5×0.5×0.725=0.181） |

Table 6-7-3　作業時着火源(2)

| Name | Type | $T_i$ (s) | $n$ | $k$ | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| 修理 | | | | | 作業時間 4 h．作業者 1 人 |
| 使用時着火源 | | | | | Table 6-7-1 参照 |
| 電源コンセント | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 1 | 0.25 | ショーケース電源引き抜き．発生率 50 %．コンセント下部への設置率 50 %（0.5×0.5=0.25） |
| 静電気 | 静電気ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 2 | 0.187/人 | ショーケースとの接触，湿度 30 %以下 18.7 % |
| 電動ドライバー | 電気ｽﾊﾟｰｸ | 3.0 | 10 | $2.5\times10^{-2}$ | ネジの付け外し．電動ドライバー使用率 50 %．ブラシモーター式 5 %（0.5×0.05=0.025） |
| 冷媒回収機 | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 2 | 0.5 | 電源スイッチの ON・OFF 各 1 回の合計 2 回．誤って冷媒回収機使用してしまう確率 50 %． |
| 真空ポンプ | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 2 | 1 | 電源スイッチの ON・OFF 各 1 回の合計 2 回． |
| ろう付けバーナー | 裸火 | 120.0 | 4 | 1 | 2 ヶ所の取外し取付の 4 回．1 回 2 min． |
| 撤去（廃棄） | | | | | 作業時間 1 h．作業者 1 人 |
| 使用時着火源 | | | | | Table 6-7-1 参照 |
| 電源コンセント | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 1 | 0.25 | 電源引き抜き．発生率 25 % |
| 電動ドライバー | 電気ｽﾊﾟｰｸ | 3.0 | 10 | 0.025 | ネジの付け外し．発生率 5 % |
| 静電気 | 静電気ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 20 | 0.187/人 | ショーケースとの接触，湿度 30 %以下 18.7 % |
| 解体バーナー | 裸火 | $1.2\times10^{2}$ | 10 | 1 | 2 min×10 ヶ所 |
| 電動カッター・グラインダー | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $1.5\times10^{1}$ | 4 | 0.03 | 垂れ壁と干渉するショーケースの存在率 30 %．撤去時の電動グラインダー使用率 10 % |

### 6.7.2　安全対策

#### 1) 使用時安全対策

使用時の安全対策のまとめを Table 6-7-4 に示す．

Table 6-7-4　使用時安全対策

| Safety measures |
|---|
| ①　ユニットのファンを通電中は常時（除霜時も）運転させる |
| ②　ユニットの風量を規定値（式(5-2-5)）以上にする |
| ③　リーチインショーケースの庫内漏えいを検知し庫内への漏えい遮断する機能を備える |

**2) 作業時安全対策**

作業時の安全対策のまとめを Table 6-7-5 に示す.

Table 6-7-5　作業時安全対策

| Stage | Safety measures |
|---|---|
| 全作業ステージ共通 | 0-1)　禁煙の教育 |
| | 0-2)　可燃性冷媒の着火源についての教育 |
| 輸送時（ワゴン車輸送） | 1-1)　製品への火気厳禁の注意喚起表示 |
| | 1-2)　携帯形漏えい検知器を携行し，漏えい検知時に換気 |
| | 1-3)　車内では静電気の発生に注意することについての教育 |
| 保管時 | 2-1)　静電気防止のための手袋着用 |
| | 2-2)　梱包材及び製品への火気厳禁の注意喚起表示 |
| 設置時 | 3-1)　静電気防止のための手袋着用 |
| | 3-2)　製品への火気厳禁の注意喚起表示 |
| | 3-3)　携帯形漏えい検知器を携行し，漏えい検知時に作業を中断 |
| | 3-4)　クローズドショーケースでは扉をゆっくり開けることを教育 |
| 店内修理時 | 4-1)　静電気防止のための手袋着用 |
| | 4-2)　携帯形漏えい検知器を携行し，漏えい検知時に作業を中断 |
| | 4-3)　店内修理では，冷媒の廃棄時及び充塡時に機器の周囲の通風を良くし，着火源となる全ての機器の電源を遮断する |
| 撤去時（廃棄時） | 5-1)　静電気防止のための手袋着用 |
| | 5-2)　製品への火気厳禁の注意喚起表示 |
| | 5-3)　携帯形漏えい検知器を携行し，漏えい検知時に作業を中断 |
| | 5-4)　クローズドショーケースでは扉をゆっくり開けることを教育 |
| | 5-5)　メーカー依頼の廃棄処理業者による回収 |

### 6.7.3　リスクアセスメント結果

リーチインショーケース（下ユニット・店内）の着火確率を Table 6-7-6 にまとめる．なお，このうち各ステージで未対策時に許容値を上回ったシナリオの着火確率を太字で示した．

Table 6-7-6　コンビニエンスストアの着火確率（許容値：使用時 $5.26\times10^{-9}$，作業時 $5.26\times10^{-8}$）

| 形態＼ステージ | | 輸送※ | 保管※ | 設置※ | 使用 | 修理(屋外) | 修理(店内) | 撤去※(廃棄) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 未対策時 | 営業中 | **$1.12\times10^{-5}$ (ワゴン車輸送率 1)** | **$3.35\times10^{-6}$ (狭小倉庫・中古品)** | **$7.25\times10^{-8}$ (新品)** | **$2.50\times10^{-6}$ (店舗内)** | **$2.10\times10^{-5}$** | **$2.18\times10^{-5}$** | **$3.11\times10^{-7}$** |
| | 新設・営業廃止 | $4.72\times10^{-11}$ (ワゴン車輸送率考慮) | $1.13\times10^{-9}$ (中型倉庫・中古品) | $4.19\times10^{-9}$ (新品) | － | － | － | $3.54\times10^{-8}$ |
| 対策時 | 営業中 | **$5.52\times10^{-9}$ (ワゴン車輸送率 1)** | **$4.37\times10^{-8}$ (狭小倉庫・中古品)** | **$6.49\times10^{-9}$ (新品)** | **$1.82\times10^{-10}$ (店舗内)** | **$2.20\times10^{-10}$** | **$1.23\times10^{-8}$** | **$2.98\times10^{-8}$** |
| | 新設・営業廃止 | $2.32\times10^{-14}$ (ワゴン車輸送率考慮) | $7.25\times10^{-10}$ (中型倉庫・中古品) | $1.64\times10^{-10}$ (新品) | － | － | － | $2.64\times10^{-9}$ |

※輸送・保管・設置・撤去の着火確率は次の理由で対外発表（**10** 章）と異なる値になっている．
輸送：安全対策の効果の計算式に間違い有．
保管：計算時に中型倉庫と狭小倉庫の値を逆にしていた箇所及び未考慮の箇所有．
設置：計算に使用していた使用時の静電気の放電回数に間違い有．
撤去：時間的遭遇確率の計算式が間違っていた箇所有．

### 6.8　狭小店舗のリスクアセスメント

#### 6.8.1　想定モデル及び着火源

コンビニエンスストアの FTA を基に，狭小店舗としての駅ナカコンビニのリスクアセスメントを実施した．冷媒は R290 が 500 g，店舗の床面積は 24.01 $m^2$ とした．平均可燃空間体積及び可燃域継続時間は，ドア上下隙間が有る正方形空間に対する近似式を使用し，リーチインショーケースの庫内漏れには式(5-1-17)及び式(5-1-18)，平形ショーケースの凝縮器ユニット漏れには式(5-2-3)及び式(5-2-4)を用いた．リスクアセスメントでは，着火源を Table 6-8-1 の値に置き換えて着火確率を算出した．表中で「－」と記載しているものは店舗内にその着火源がない又は存在率が小さいものをさす．なお，コーヒーディスペンサーに関しては，調査の結果，設置している店舗が約 3.4 %であり，影響が少ないと考え，考慮しなかった．作業時の着火源は Table 6-7-2 及び Table 6-7-3 と同一とした．また，狭小店舗の存在率は，日冷工での調査の結果である 0.2 %（$2.0\times10^{-3}$）とした．

Table 6-8-1　使用時着火源（狭小店舗内）

| Name | Type | $T_i$ (s) | $n$ | $k$ | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| NITE の調査結果に基づく発火事故 | 発火事故 | － | － | － | 各種機器 |
| 電源コンセント | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 2 | 0.5 | 50 %の確率で 1 日 2 回ショーケースを抜き差し（通常のコンビニエンスストアと同じ） |
| 照明スイッチ | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 2 | 1 | 1 日 2 回スイッチ ON/OFF（通常のコンビニエンスストアと同じ） |
| フライヤースイッチ | 電気ｽﾊﾟｰｸ | － | － | － | － |
| コピー機・プリンター | 電気ｽﾊﾟｰｸ | － | － | － | － |
| コーヒーディスペンサー | 電気ｽﾊﾟｰｸ | － | － | － | － |
| 中華まん加湿装置 | 電気ｽﾊﾟｰｸ | － | － | － | － |
| おでん加熱装置 | 電気ｽﾊﾟｰｸ | － | － | － | － |
| 他の機器のブラシモーター | 電気ｽﾊﾟｰｸ | $5.0\times10^{-3}$ | 144 | 0.01 | 1 時間に 6 回 ON/OFF, 普及率 1 %（通常のコンビニエンスストアと同じ） |
| 静電気（リーチインショーケース扉） | 静電気ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 7 | 0.0935 | アイスコーヒー取り出し，湿度 30 %以下，自動扉の率 50 %，扉 1 枚分．<br>n=434×0.1/7=6.2→7<br>k=0.187×0.5=0.0935 |
| 静電気（オープンケース外装） | 静電気ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 4 | 0.0935 | 買い物客が金属部分に触れる，湿度 30 %以下，自動扉の率 50 %，リーチインの回数の 5 %．<br>n=(434/7)×0.05=3.1→4<br>k=0.187×0.5=0.0935 |
| 静電気（その他扉） | 静電気ｽﾊﾟｰｸ | $1.0\times10^{-6}$ | 4 | 0.0935 | 上記と同値と仮定 |
| 電子ライター | 裸火 | 5 | 1 | 1 | 1 日 1 人が試し点火 5 s |
| 燃焼式暖房機 | 裸火 | $3.6\times10^{4}$ | 1 | 0.0001 | 1 日 10 h 使用．普及率 0.01 %（通常のコンビニエンスストアと同じ） |

### 6.8.2　リスクアセスメント結果

駅ナカコンビニの存在率を考慮しない場合の着火確率を Table 6-8-2 に，駅ナカコンビニの存在率 0.2 %を考慮した場合の着火確率を Table 6-8-3 に示す．リスクアセスメントでは，同一系統の製品に関しては，着火確率にそのシナリオの存在率を乗じた値を許容値と比較する．従って，Table 6-8-3 に記載の駅ナカコンビニの存在率を考慮した場合の着火確率が許容値以下であれば安全であるといえる．輸送時及び保管時は，通常のコンビニエンスストアと同じなので，記載していない．結果，全てのステージで未対策でも許容値以下となった．なお，実際は，通常のコンビニエンスストアと同様の対策を取ることになるため，表にはそれを考慮した対策時の着火確率も記載している．

Table 6-8-2　駅ナカコンビニの着火確率(1)（駅ナカコンビニの存在率を考慮しない場合）

| 形態＼ステージ | | 設置 | 使用<br>(ﾘｰﾁｲﾝ) | 修理<br>(店内) | 撤去<br>(廃棄) |
|---|---|---|---|---|---|
| 未対策時 | 営業中 | $2.16\times10^{-8}$<br>(新品) | $1.13\times10^{-6}$ | $2.35\times10^{-5}$ | $5.88\times10^{-7}$ |
| | 新設・営業廃止 | $1.82\times10^{-8}$<br>(新品) | － | － | $7.39\times10^{-7}$ |
| 対策時 | 営業中 | $7.33\times10^{-10}$<br>(新品) | $5.01\times10^{-11}$ | $1.23\times10^{-8}$ | $4.14\times10^{-8}$ |
| | 新設・営業廃止 | $3.42\times10^{-11}$<br>(新品) | － | － | $5.13\times10^{-8}$ |

Table 6-8-3　駅ナカコンビニの着火確率(2)（駅ナカコンビニの存在率 0.2 %を考慮した場合）
（許容値：使用時 $5.26\times10^{-9}$，作業時 $5.26\times10^{-8}$）

| 形態＼ステージ | | 設置 | 使用<br>(ﾘｰﾁｲﾝ) | 修理<br>(店内) | 撤去<br>(廃棄) |
|---|---|---|---|---|---|
| 未対策時 | 営業中 | $4.32\times10^{-11}$<br>(新品) | $2.26\times10^{-9}$ | $4.70\times10^{-8}$ | $1.18\times10^{-9}$ |
| | 新設・営業廃止 | $3.64\times10^{-11}$<br>(新品) | | － | $1.48\times10^{-9}$ |
| 対策時 | 営業中 | $7.33\times10^{-10}$<br>(新品) | $1.00\times10^{-13}$ | $2.46\times10^{-11}$ | $8.28\times10^{-11}$ |
| | 新設・営業廃止 | $6.84\times10^{-14}$<br>(新品) | | － | $1.03\times10^{-10}$ |

## 6.9　A2L 冷媒使用時のコンビニエンスストアのリスクアセスメント

### 6.9.1　想定モデル

A2L 冷媒を使用した内蔵ショーケースについて，コンビニエンスストアの店舗（床面積 84.7 m$^2$）を想定してリスクアセスメントを実施した．リーチインショーケースの庫内は冷媒種によらず R290 と同じサイズ（Fig. 5-1-1）とした．本来，冷媒量が 3.8 kg の場合は，ショーケースの庫内容積も 3.8 倍にすべきであるが，最悪状態としてこの想定をした．凝縮器ユニットに関しては，可燃域が生成されない風量にした時に実態に即した風速とする必要があるため，設置時・使用時・修理時・廃棄時は R 1234yf が 3.8 kg（LFL の 13 倍）の large cabinet（Fig. 5-5-4）とした．しかし，large cabinet のサイズの凝縮器ユニットをワゴン車で輸送することは（サイズ面から）想定し難いため，輸送時及び保管時は R 1234yf が 1.0 kg（R 290 500 g と同一のケースサイズでほぼ同様の能力となる冷媒量）の small cabinet（Fig.5-2.1）とした．

輸送時は，1.0 kg の R1234yf が 4 分で全量漏れるとし，**6.1** 節と同様の方法で計算した結果，可燃域継続時間は 5.7 min となった（Fig. 6-9-1 参照）．ただし，R1234yf は分子量が 114 と大きく重い冷媒であるため，冷媒漏えい時，冷媒が車内の底部により多く溜まり，車内に冷媒分布ができることが想定される．そこで，車内の冷媒分布，すなわち空間的遭遇確率を 0.8 とする．IEC 60335-2-40 において，床置き室内機で冷媒を撹拌し均一度が高くなっている状態で分布は 0.75 とされている．その他の日冷工での過去の検討結果から，0.8 はかなり均一度が高い状態である．

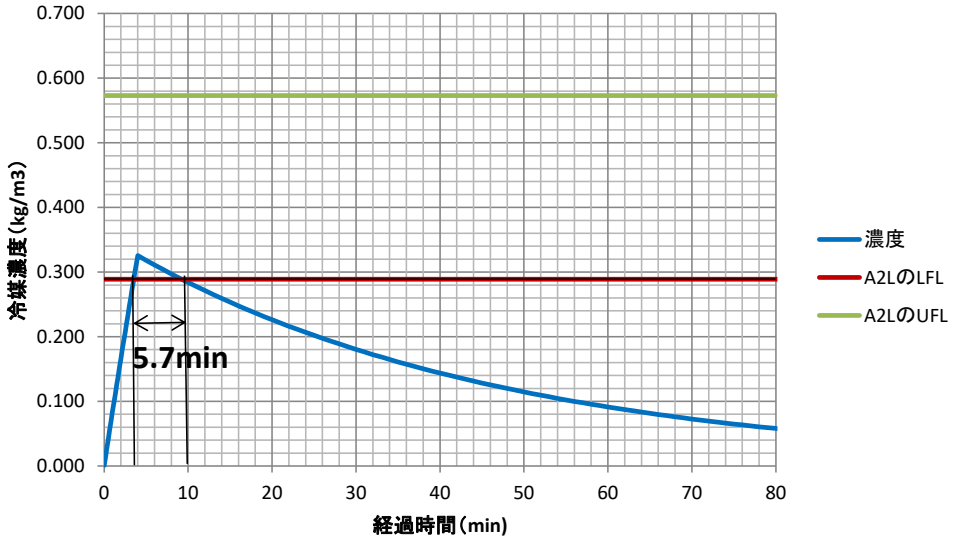



Fig. 6-9-1　輸送時の可燃域継続時間（R1234yf）

狭小倉庫保管などの小部屋（15～30 m$^2$ 程度）においては，以下のように想定する．

R1234yf の凝縮器ユニットからの漏えいに関して，冷媒量 1.0 kg・床面積 24.01 m$^2$・1 kg/h の時，可燃域継続時間，時空積，平均可燃空間体積はそれぞれ 29.32 min，31.57 m$^3$・min，1.08 m$^3$（**5.5.2** 項の Case 5-5-9）であり，可燃域継続時間，平均可燃空間体積を **5.5.2** 項の式(5-5-1)に示した通り，以下とする．なお，0.9806 は全冷媒漏えいに対する微少漏れの割合である．

小部屋での値=(**5.2.1** 項の式(5-2-1)及び式(5-2-2)の値)×(1−0.9806)
+(**5.5.2** 項の Case 5-5-9 の値)×0.9806

微少漏れの時は冷媒量 3.8 kg でも 84.7 m$^2$ 以上の床面積では可燃域が生成されない（**5.5.2** 項の Fig. 5-5-5）．そこで，中型倉庫保管時，使用時，修理時及び撤去時（廃棄時）では，庫外漏れの漏えい発生確率を微少漏れを除く $1.94\times10^{-5}$（=1−0.9806）とする（庫内漏れでは $1.00\times10^{-3}$ を使用）．

### 6.9.2　着火源

A2L 冷媒にとっての使用時の着火源を Table 6-9-1 に，作業時の着火源を Table 6-9-2 に示す．A2L 冷媒にとっての着火源は，**4.2.1** 項（Table 4-2 など）及び過去の研究[6-9-1)]の通りであるが，このうち，ライターについて説明する．A2L 冷媒では電子ライターは可燃域内では着火しない[6-9-1)]ため，石油ライターの割合 5 %を着火源存在係数として乗じるべきものであり，喫煙時はこの取り扱いとする．しかし，使用時の店舗内のライターの試し着火に関しては，客はライターが点火するかを試しており，点火しない場合，手を上にあげたり振ったりして何とか着火させるものと思われる．ライターを上にあげると可燃域の上部に出たり，ライターを振ると冷媒が拡散される可能性がある．A2L 冷媒存在下でも可燃域外で着火した電子ライターを着火させたままの状態で可燃域内に持ち込んだ場合は着火する．そこで安全のため，内蔵ショーケースの使用時のシナリオにおいては，店舗内の試し着火を行う電子ライターは着火源として取り扱うこととする．

Table 6-9-1　A2L の使用時着火源（店舗内）

| Name | Type | $T_i$ (s) | $n$ | $k$ | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| NITE の調査結果に基づく発火事故 | 発火事故 | — | — | — | 各種機器 |
| 電子ライター | 裸火 | 5 | 5 | 1 | 1 日 5 人が 5 秒ずつ試し点火 |
| 燃焼式暖房機 | | $3.6\times10^4$ | 1 | 0.0001 | 1 日 10 h 使用．普及率 0.01 % |

Table 6-9-2　A2L の作業時着火源

| Name | Type | $T_i$ (s) | $n$ | $k$ | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| 共通；作業者の喫煙 | 裸火 | $5\times10^1$ | 1.08 回/h | 0.282×0.05×人数 | 喫煙本数 1.08 本/h，ライター着火 5 s，石油ライター存在率 5 %，喫煙率 28.2 %．（設置・撤去(廃棄)では作業中に喫煙する率を 10 %とする） |
| 保管（狭小倉庫） | | | | | 2 h，作業者 2 人，15 $m^2$ |
| 燃焼暖房機 | 裸火 | $7.2\times10^2$ | 1 | 0.082 | 使用期間 120 日/年．使用率 25 % (0.25×120/365=0.082) |
| 設置 | | | | | 作業時間 1 h（荷下ろし：0.2 h，運搬：0.1 h，据付：0.7 h）．作業者 2 人 |
| 使用時着火源 | | | | | Table 6-9-1 参照 |
| ろう付けバーナー（運搬） | 裸火 | $1.2\times10^2$ | 4 回 | 0.254 (=0.5×0.508) | 別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %，同じ時間帯にある確率 50.8 % |
| ろう付けバーナー（据付） | 裸火 | $1.2\times10^2$ | 4 回 | 0.279 (=0.5×0.558) | 別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %，同じ時間帯にある確率 55.8 % |
| 電動グラインダー（運搬） | 火花 | $1.5\times10^1$ | 10 回 | 0.169 (=0.5×0.5×0.675) | 電動ｸﾞﾗｲﾝﾀﾞｰが使用される確率 50%，別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %，同じ時間帯にある確率 67.5 % |
| 電動グラインダー（据付） | 火花 | $1.5\times10^1$ | 10 回 | 0.181 (=0.5×0.5×0.725) | 電動ｸﾞﾗｲﾝﾀﾞｰが使用される確率 50 %，別置 SC の設置と内蔵 SC の設置が同じ日にある確率 50 %，同じ時間帯にある確率 72.5 % |
| 修理 | | | | | 作業時間 4 h．作業者 1 人 |
| 使用時着火源 | | | | | Table 6-9-1 参照 |
| ろう付けバーナー | 裸火 | 120.0 | 4 | 0.5 | 2 ヶ所の取外し取付の 4 回．1 回 2 min．冷媒噴出箇所では着火しない． |
| 撤去（廃棄） | | | | | |
| 使用時着火源 | | | | | Table 6-9-1 参照 |
| 解体バーナー | 裸火 | $1.2\times10^2$ | 10 | 1 | 2 min×10 ヶ所 |
| 電動カッター・グラインダー | 火花 | $1.5\times10^1$ | 4 | 0.03 | 垂れ壁と干渉するショーケースの存在率 30 %．撤去時の電動グラインダー使用率 10 % |

### 6.9.3　リスクアセスメント結果

リスクアセスメント結果を Table 6-9-3 に示す．使用時は，未対策では許容値を超え，R290 と同様の安全対策（Table 6-7-4）を講じることによって許容値以下となった．作業時では，輸送時及び保管時は未対策で許容値以下となり，安全対策不要となった．なお，ワゴン車輸送の着火確率は許容値よりもわずかに小さいだけであるが，実際のワゴン車輸送率は 0.00042 % と非常に小さい値であり，ワゴン車輸送率を考慮した場合には許容値を大幅に下回った値になっている．本来，リスクアセスメントの考え方では，実際のワゴン車輸送率を考慮した状態で，着火確率が許容値以下になれば安全に使用できる．その他の作業ステージでは，撤去時は許容値をわずかに超え，設置時と修理時は未対策で許容値以下となった．

Table 6-9-3　コンビニエンスストアの A2L 冷媒の着火確率
（許容値：使用時 $5.26\times10^{-9}$，作業時 $5.26\times10^{-8}$）

| 形態＼ステージ | | 輸送 | 保管※ | 設置 | 使用 (ﾘｰﾁｲﾝ) | 修理 (店内) | 撤去 (廃棄) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 未対策時 | 営業中 | $5.03\times10^{-8}$ (ワゴン車輸送率 1) | $2.59\times10^{-8}$ (狭小倉庫) | $5.81\times10^{-10}$ | $2.63\times10^{-8}$ | $1.83\times10^{-9}$ | $7.20\times10^{-9}$ |
| | 新設・営業廃止 | $2.11\times10^{-13}$ (ワゴン車輸送率考慮) | $1.33\times10^{-13}$ (中型倉庫) | $1.34\times10^{-9}$ | － | － | $1.16\times10^{-8}$ |
| 対策時 | 営業中 | － | － | $5.59\times10^{-11}$ | $2.20\times10^{-13}$ | $1.70\times10^{-9}$ | $6.10\times10^{-10}$ |
| | 新設・営業廃止 | | | $1.17\times10^{-10}$ | － | － | $1.30\times10^{-10}$ |

※保管の着火確率は，計算時に中型倉庫と狭小倉庫の値を逆にしていた箇所及び未考慮の箇所が有り，対外発表（10 章）と異なる値になっている．

内蔵ショーケースは A2L 冷媒の主な着火源である裸火が多く存在する場所には殆ど設置されないため A3 冷媒に比べて着火確率が小さくなった．IEC 60335-2-89，JIS C 9335-2-89 及び日冷工規格では，他の業務用一体型冷凍冷蔵機器も適用範囲に含まれる．そこで，業務用冷凍冷蔵庫・業務用製氷機を裸火が多く存在する厨房（床面積 30.17 $m^2$）に設置した場合のリスクアセスメントも行った．この際，ドア下隙間の影響及び建築基準法に基づく換気（0.1 m/s）の影響を可燃空間時空積に係数を乗じることによって考慮した．その結果，作業時は，設置時・修理時・撤去時において，着火確率が許容値を超え，A2L 冷媒の取扱教育（禁煙，着火源の教育など）に加え，Table 6-9-4 の安全対策を施すことによって着火確率が許容値以下になった．内蔵ショーケースの安全対策は冷機応用製品と同じとした．Table 6-9-3 の対策時に記載の着火確率は，この安全対策を施した時の値である．A3 冷媒に対する安全対策（Table 6-7-5）との違いは，輸送時及び保管時の安全対策を無にしたこと，静電気防止のための手袋着用を不要としたこと，店内修理時の電源遮断を裸火使用禁止に変えたことである．なお，Table 6-9-4 に記載した番号は Table 6-7-5 と同じ番号とした．なお，これらの安全対策は他の A2L 機器に対する安全対策 [6-9-2)] とほぼ同様のものとなった．

Table 6-9-4　作業時安全対策

| Stage | Safety measures |
|---|---|
| 全作業ステージ共通 | 0-1)　禁煙の教育 |
| | 0-2)　可燃性冷媒の着火源についての教育 |
| 設置時 | 3-2)　製品への炎マークの表示 |
| | 3-3)　携帯形漏えい検知器を携行し，漏えい検知時に作業を中断 |
| | 3-4)　クローズドショーケースでは扉をゆっくり開けることを教育 |
| 店内修理時 | 4-2)　携帯形漏えい検知器を携行し，漏えい検知時に作業を中断 |
| | 4-3)　店内修理では，冷媒の回収時及び充塡時に機器の周囲の通風を良くし，裸火の使用を禁止する |
| 撤去時（廃棄時） | 5-2)　製品への炎マークの表示 |
| | 5-3)　携帯形漏えい検知器を携行し，漏えい検知時に作業を中断 |
| | 5-4)　クローズドショーケースでは扉をゆっくり開けることを教育 |
| | 5-5)　メーカー依頼の廃棄処理業者による回収 |

### 6.10　最大冷媒充塡量の緩和対応検討

IEC 60335-2-89 及び JIS C 9335-2-89 で最大冷媒充塡量は LFL の 13 倍と規定されているため，R290 の冷媒量を 500 g（R290 の LFL の 13 倍は 494 g）としてリスクアセスメントを行った．しかし，IEC 60335-2-40 では A3 及び A2 冷媒の最大冷媒充塡量は LFL の 26 倍（R290 では 988 g）と規定されており，IEC 60335-2-89 でも今後最大冷媒充塡量を IEC 60335-2-40 と同じ冷媒量まで増加する可能性もある．なお，IEC 60335-2-40 では A2L 冷媒の最大冷媒充塡量は LFL の 52 倍（R1234yf では 15.028 kg）と規定されている．

そこで，R290 の冷媒量が約 1.0 kg になった場合の着火確率を概算する．冷媒量が 2 倍になると，その冷媒を充塡するショーケースの必要能力も 2 倍になるためショーケースの幅も 2 倍になる．冷媒量が 2 倍になりショーケースの幅が 2 倍になると，リーチインショーケースの庫内漏れでは，庫内の冷媒濃度が同一になるため，ショーケースの幅方向の単位長さ当たりの冷媒漏えい速度が同じになり，凝縮器ユニット風速 0 m/s の時，可燃域継続時間がほぼ同一で平均可燃空間体積が約 2 倍になる．平形ショーケースの凝縮器ユニット漏れでは，4 分全量漏れとすると，凝縮器ユニットの開口部面積が同じ場合は漏えい速度が 2 倍になるが，5.2.2 項の検討結果（Fig. 5-2-3）から，漏えい速度が 2 倍になっても可燃空間時空積は殆ど変わらず，凝縮器ユニットの開口部面積を 2 倍とした場合は可燃域継続時間がほぼ同一で平均可燃空間体積が約 2 倍になる．可燃空間体積が 2 倍になると空間的遭遇確率が約 2 倍になり，着火確率は最大で 2 倍になる．Table 6-7-6 に記載の対策時の着火確率を 2 倍にすると，輸送時・設置時・使用時・修理時では許容値以下となり，保管時・撤去時（廃棄時）ではわずかに許容値を超える．しかし，**2.3** 節に記載したように，コンビニエンスストア内の多くのショーケースは冷媒量が少なく，本来リスクアセスメントではコンビニエンス内の各冷媒量のショーケースの存在比率を考慮（各存在比率と各着火確率を加重平均）すべきものである．従って，実際の着火確率はここで求めた値よりもかなり小さい値となる（仮に，当該冷媒量のショーケースの存在比率が 10 %であり，その他のショーケースの冷媒量がそれよりもかなり少ない場合，着火確率は現在の値よりも 1 桁近く小さい値となる）．また，冷媒量が増えるとその分ショーケースの幅が大きくなり，その存在比率は更に小さくなる．よって，着火確率が許容値をわずかに超える程度では，実際の着火確率は許容値よりも十分に小さい値となり，安全に使用できると考える．A2L 冷媒についても同様のことがいえる．従って，今後，IEC 60335-2-89 の最大冷媒充塡量が IEC 60335-2-40 と同等の最大冷媒充塡量まで緩和された場合，日冷工規格の規定をそれに合わせて緩和しても問題ないと考える．

**参考文献**

6-9-1) 日本冷凍空調学会：「微燃性冷媒リスク評価研究会　最終報告書　（3. 事故シナリオに基づく安全評価）」(2016.8).

6-9-2) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).

## 7　内蔵ショーケースに関する国際規格

### 7.1　概要

欧州の冷媒規制である“F ガス規則”では，内蔵ショーケースなどの一体型業務用冷凍冷蔵機器（Refrigerated counters and freezer cabinets in the commercial area (hermetically sealed)）に使用される冷媒は，2022 年 1 月 1 日から GWP 150 未満の冷媒しか認められなくなった．そのため，欧州では，それまで使用していたフロン系冷媒の代替から，二酸化炭素（R744，GWP 1），プロパン（R290，GWP 3），イソブタン（R600a，GWP 4）などの自然冷媒に代替される．

内蔵ショーケースの安全規格としては，国際規格 IEC 60335-2-89“Household and similar electrical appliances－Safety－Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or compressor”[7-1)]があり，構造，構成部品，電気部品，冷媒などが規定されている．代替候補冷媒のうち，二酸化炭素は，フロン系冷媒に比べて使用時の圧力が 10 倍以上になるため，コスト面・性能面での課題があり，使いやすい冷媒ではない．そこで，自然冷媒かつ強燃性冷媒である R290，R600a などのハイドロカーボン（HC）を使用しやすくするために，欧州が中心となって国際規格 IEC 60335-2-89 が 2019 年 6 月に Edition 3.0 に改正された．なお，家庭用冷蔵庫ではすでに R600a が使われており，家庭用冷蔵庫としての国際規格（IEC 60335-2-24）及び国内の安全規格（JIS C 9335-2-24）も制定されている．

### 7.2　IEC 60335-2-89

内蔵ショーケースが関係する国際規格 IEC 60335-2-89 では，従来，1 つの冷媒回路への冷媒充填量が 150 g 以下に制限されていたため，一部の小型内蔵ショーケースしか対応できない規格となっていた．そこで欧州の冷媒規制に対応するため，冷媒充填量制限を見直し，可燃性冷媒を使用できる内蔵ショーケースの範囲を拡大することを目的に，2015 年に IEC（International Electrotechnical Commission）のサブコミッティーSC 61C の傘下に検討ワーキング（WG4）が発足し，2019 年 6 月に IEC 60335-2-89 が Edition 3.0 に改正された．この IEC 規格を和訳し，日本国内の事情に基づき，必要な内容をデビエーションとして考慮した文章を追加・修正したものが JIS 規格（JIS C 9335-2-89）となるため，IEC 規格の改訂は，国内の内蔵ショーケースにも大きな影響を及ぼす．

IEC 60335-2-89 Edition 3.0 の主な規定内容を次に示す．可燃性冷媒は，冷媒の区分を規定している ISO 817 で燃焼性の強い順に A3 冷媒，A2 冷媒，A2L 冷媒と区分される．このうち，A3 冷媒は強燃性冷媒と呼ばれ，燃料としても使用されているプロパン（R290）や家庭用冷蔵庫で採用されているイソブタン（R600a）などが含まれ，A2L 冷媒は微燃性冷媒と呼ばれ，空調機で冷媒として使用している R32 やチラーの一部で採用されている R1234yf などが含まれる．空調の国際規格 IEC 60335-2-40[7-2)]では，A2L 冷媒は A3 及び A2 冷媒に対して燃焼性が低いため，規定が緩和されているが，IEC 60335-2-89 では，冷媒の燃焼性区分によらず A3，A2 及び A2L 冷媒でほぼ同様の規定となっている．なお，IEC 60335-2-89 では可燃性冷媒は A3，A2 及び A2L 冷媒の全てを含む呼称である．また，IEC 60335-2-89 では，可燃性冷媒を使用できるのは一体型機器に限定されている．

#### 7.2.1　最大冷媒充填量

最大冷媒充填量は，冷媒の LFL の 13 倍と 1.2 kg のうち小さい値と規定された．R290 の場合，LFL が 0.038 kg/m$^3$ であり 494 g まで充填できる（リスクアセスメントでは，きりのいい数値として 500 g を採用した）．一方，A2L 冷媒は，A3 冷媒よりも着火源となるものが少なく（**4.2.1** 項参照），かつ，同じ LFL の 13 倍の冷媒量としても A2L 冷媒の方が A3 冷媒よりも可燃空間時空積が小さい（**5.5** 節参照）．そのため，A2L を LFL の 13 倍（R1234yf の場合，LFL が 0.289 kg/m$^3$ であり，最大冷媒充填量は 3.76 kg）まで充填しても，A3 及び A2 冷媒よりも A2L 冷媒の方が安全であるが，IEC では 1.2 kg までしか充填できない規定となっている．これに対して，IEC 60335-2-89 の次の版（Edition 4.0）を検討する IEC/61C/WG4 に，日

本から **5.5.1** 項に記載した解析結果を提示した結果，次の版での最大冷媒充塡量は LFL の 13 倍にする（1.2 kg 以下の制限を削除する）ことが決まった．

### 7.2.2　最小設置床面積

冷媒回路に，A3 又は A2 冷媒であって 4 倍の LFL（R290 にあっては 152 g）を超える冷媒，A2L 冷媒であって 6 倍の LFL（R1234yf にあっては 1.734 kg）を超える冷媒が充塡されている場合，規定の最小設置床面積の記号を機器に表示しなければならず，その記号中に表示する機器を設置してよい床面積は，式(7-1)によって定義される床面積の限界値 $A_{\mathrm{lim}}$ 以上の床面積でなければならない．冷媒漏えい試験は，冷媒の燃焼性区分によらず，150 g を超える冷媒量に対して要求されており，最小設置床面積の表示も，当初は 150 g を超える冷媒量に対して規定されていたが，規格制定途中の CDV（Committee Draft for Vote）で意見が出て，A2L 冷媒の表示要求のみが緩和された．従って，A2L 冷媒では冷媒漏えい試験をしなければならないが最小設置床面積の表示をしなくてよい領域があり，規格内で不整合が生じている．これに関しては，IEC/61C/WG4 での討議の結果，次の版（Edition 4.0）では，A3 及び A2 冷媒では 4 倍の LFL を超える場合，A2L 冷媒では 6 倍の LFL を超える場合にのみ，冷媒漏えい試験を行えばよい規定となる予定である．

$$A_{\mathrm{lim}} = \frac{M}{2.2\times(0.25\times \mathrm{G})} \tag{7-1}$$

ここで，

| | | | |
|---|---|---|---|
| $A_{\mathrm{lim}}$ | : | 最小設置床面積 | ($\mathrm{m}^2$) |
| $G$ | : | 可燃性冷媒の燃焼下限界 | ($\mathrm{kg/m}^3$) |
| $M$ | : | 冷媒回路の冷媒充塡量 | (kg) |
| 2.2 | : | 想定する最小部屋高さ | (m) |
| 0.25 | : | *LFL* の 25 %を示す定数 | (-) |

### 7.2.3　冷媒漏えい試験

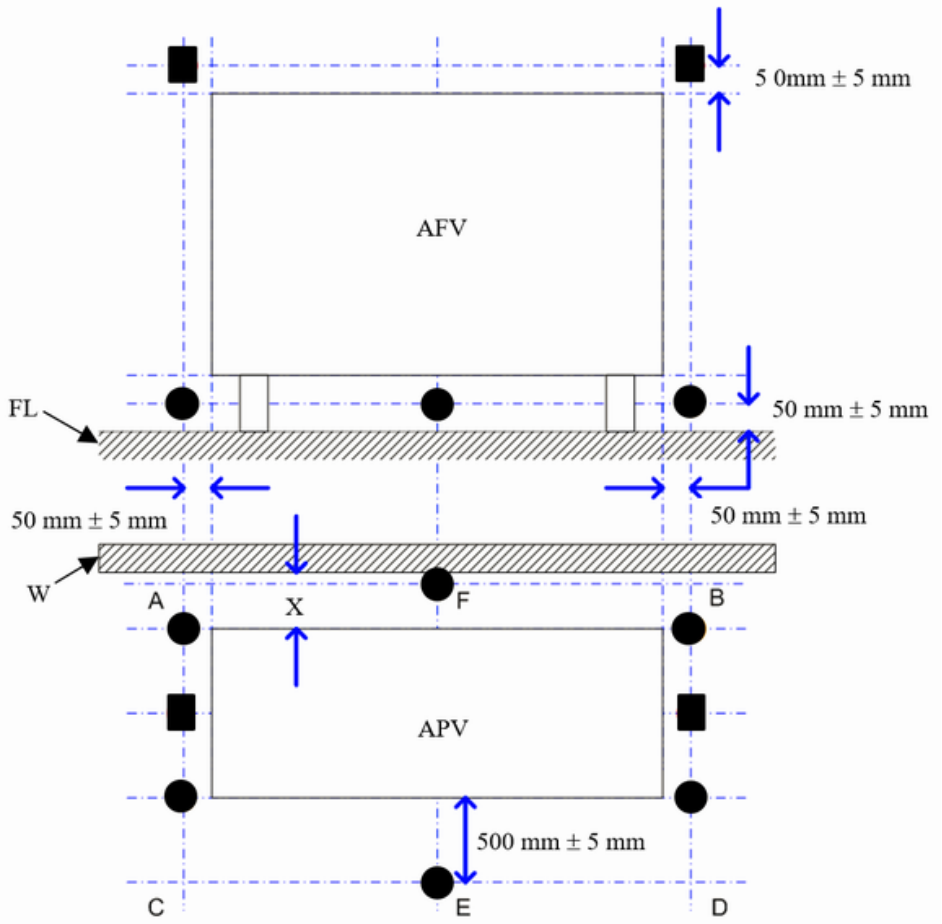
150 g を超える可燃性冷媒を充塡した機器では，規定の冷媒漏えい試験を行わなければならず，機器周囲の冷媒濃度は，5 秒以下の間隔で測定し，規定の冷媒濃度測定個所において，測定開始から 5 分後以降は LFL の 50 %を超えてはならない規定となっている．

天井高さ 2.2 m 以上の試験室で，試験室の床面積 $A_1$（$\mathrm{m}^2$）は式(2-2)を満足しなければならない．

$$24 \geq A_1 \geq \frac{M}{2.2\times(0.25\times G)} \tag{2-2}$$

扉又は蓋があるものにおいては，試験は，扉を閉めた状態で行い，扉は，漏えい終了から 30 秒後に，3 秒以内に均一な速度で，ヒンジ式扉の場合 60°の角度まで，スライド扉の場合開きストロークの終わりまで開放する．漏えい試験では，試験を行う冷媒回路に充塡されている冷媒量と同一の冷媒量を漏えいさせる．冷媒の濃度は Fig. 7-1 に示す点で測定し，測定点の全ての冷媒濃度は 5 分後以降は使用冷媒の LFL の 50 %を超えてはならない（すなわち，測定開始から 5 分間は庫外に大きな可燃域が生成されても，IEC 規格では可燃域は生成されないとみなされてしまう）．

なお，この冷媒漏えい試験は，機器を通電させた状態で行うことが規定されており，ファンなどのエアフローを行うことによって，可燃域が生成されないようにしてもよいが，その場合は，エアフローが要求事項を満たすのに十分なレベルを維持できなくなった時（故障，フィルタ目詰まりによる風量低下など），圧縮機を 5 分以内に停止し，警報を発しなければならない，と規定されている．




AFV　機器の正面図
APV　機器の上面図
X　　機器の製造業者が指定する壁からの距離と壁から 50 mm とのいずれか大きい値
FL　　試験室の床
W　　試験室の壁

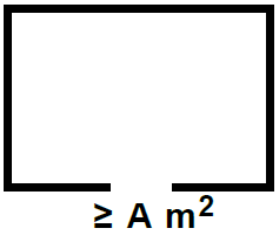
Fig. 7-1　冷媒濃度測定点の概念図

### 7.2.4　機器への表示

150 g を超える可燃性冷媒を充填した機器には炎マーク（Fig. 7-2）を表示しなければならない規定となっている．また，A3 又は A2 冷媒では LFL の 4 倍（R290 では 152 g）を超える場合，A2L 冷媒では LFL の 6 倍（R-1234yf では 1.73 kg）を超える場合には，最小設置床面積の記号（Fig. 7-3）と最小設置床面積の値を表示しなければならない規定となっている．

警告:火災の危険あり／可燃性物質

Fig. 7-2　炎記号及び説明




最小設置床面積

Fig. 7-3　最小設置床面積の記号及び説明

### 参考文献

7-1）IEC 60335-2-89:2019, “Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor”, (2019.6).

7-2）IEC 60335-2-40:2018, “Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers”, (2018.1).

## 8　日本の法律及び日本の規格

### 8.1　高圧ガス保安法における充塡・回収・廃棄の規定

A3 及び A2 冷媒は日本の法律である高圧ガス保安法における可燃性ガスに相当するため，その充塡・回収・廃棄は高圧ガス保安法に従わなければならない．高圧ガス保安法では，冷媒回路に冷媒を充塡した機器は冷凍保安規則（冷凍則）の適用を受ける．冷凍則の適用を受けるものを除き，炭素数が 3 又は 4 の炭化水素を主成分とする冷媒は液化石油ガス保安規則（液石則）の適用を受け，それ以外の冷媒は一般高圧ガス保安規則（一般則）の適用を受ける（**2.1** 節の Table 2-1 参照）．例えば，R290，R600a は冷媒回路に充塡されている場合を除いて液石則の適用を受け，R152a，R32，R1234yf は冷媒回路に充塡されている場合を除いて一般則の適用を受ける．

1 MPa 以上の圧縮ガス及び 0.2 MPa 以上の液化ガスのことを高圧ガスといい（高圧ガス保安法第二条），高圧ガス保安法では次のいずれかに該当するものは高圧ガスの製造行為とみなされる（高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について（内規））．

① 高圧ガスでないガスを高圧ガスにすること，又は液体の温度を上昇させ高圧ガス状態の液化ガスにすること
② 高圧ガスの圧力をさらに上昇させること
③ 高圧ガスを当該高圧ガスよりも低い高圧ガスにすること
④ 気体を高圧ガスである液化ガスにすること
⑤ 液化ガスを気化させ高圧ガスにすること
⑥ 高圧ガスを容器に充塡すること

冷媒が充塡されている機器を運転する（圧縮機で冷媒を圧縮するなど）ことは高圧ガスの製造に当たるが，冷凍則では冷凍能力が 3 トン未満（不活性ガスにおいては 5 トン未満）の機器は適用除外であるため，3 トン未満（不活性ガスにおいては 5 トン未満）の機器に関しては届出・許可なしに運転できる．内蔵ショーケースは全て 3 トン未満の機器であり，適用除外の領域である．しかし，これは冷凍則に関してのことであり，一般則及び液石則においてはガスの量などによる製造の適用除外はない．機器から大気への冷媒の放出（冷媒の廃棄），冷媒の回収，機器への冷媒の充塡は高圧ガスの製造行為に当たるため，これに関して，一般則又は液石則が適用されると，20 日前までの届け出が必要となり，実質，機器の修理ができなくなってしまう．そこで，日冷工では，これを緩和すべく，経済産業省との折衝を重ねた．その結果，以下が判明した．

機器の冷媒回路内の冷媒を外部に出し入れする場合，本来は一般則又は液石則の適用を受ける．しかし，ある容器から別の容器に冷媒を移動させる場合，一方が高圧ガス保安法の適用を受けていて他方が高圧ガス保安法の適用を受けない場合（高圧ガスでない場合又は高圧ガス保安法の適用除外である場合）の取り扱いをどうするかが課題となる．これについては，経済産業省が作成した高圧ガス取締法令例規集（現在の「高圧ガス保安法令例規集」）にその場合の取り扱いが次のように例示されている．

A を高圧ガス保安法の適用容器，B を高圧ガス保安法の適用除外容器とした場合，
A → A 又は B → A ・・・ 「高圧ガスの製造」とみなす
A → B 又は B → B ・・・ 「高圧ガスの製造」とみなさない

すなわち，冷媒ボンベから 3 トン未満の機器に差圧のみによって冷媒を充塡する場合（機器に冷媒を充塡する前にポンプで冷媒ガスを昇圧する，減圧弁で圧力を減圧するなどの上記①～⑥に該当する行為を行わない場合）は，高圧ガス保安法の適用を受ける容器（A）から適用除外の容器（B）への冷媒の移動に当たり，高圧ガス保安法の適用除外となる．また，同様に，3 トン未満の機器から差圧のみによって冷媒を外部に放出する場合（機器からの冷媒の移動先が容器で容器内の冷媒が 1 MPa 以上の圧縮ガス又は 0.2 MPa 以上の液化ガスとなる場合を除く）も，高圧ガス保安法の適用除外の容器（B）から適用除外の容器（B）への冷媒の移動に当たり，高圧ガス保安法の適用除外となる．

これについて，2020 年 7 月に，大気への冷媒の放出（冷媒の廃棄）及び充塡に関して，経済産業省高圧ガス保安室によって以下の判断がなされた（高圧ガス保安室の見解書有）．これによって，修理時などに届け出なしに現地での冷媒の廃棄及び充塡を行うことが可能となった．

「圧力を変更するための処理設備を使用しない差圧による冷凍能力が 3 トン未満の冷凍装置からの冷媒の廃棄及び差圧による冷凍能力が 3 トン未満の冷凍装置への冷媒の充塡は高圧ガス保安法の適用除外である」

なお，冷媒回収に関して，A2L 冷媒（特定不活性ガス）の回収機による回収は高圧ガス保安法の適用除外となっているため届け出は不要である．しかし，A3 又は A2 冷媒の回収機による回収は高圧ガス保安法の適用除外にならないため，20 日前までの届け出が必要となり，実質，現地での修理時に A3 又は A2 冷媒の回収はできない．

よって A2L 冷媒を充塡した内蔵ショーケースは，従来の内蔵ショーケースとほぼ同様の手順で修理を行えるが，A3 又は A2 冷媒を充塡した内蔵ショーケースは，以下のいずれかの手順に従って修理を行えば，法律による制約を受けない．ただし，安全上，着火源の排除と換気が必要である．

a) 機器を屋外に移動 → 冷媒を大気放出 → 修理 → 冷媒を再充塡 → 機器を店舗内に移動
b) 機器からホースを伸ばし冷媒を大気放出 → 修理 → 冷媒を再充塡
c) 機器から内部の冷媒が 1 MPa 未満の圧縮ガス又は 0.2 MPa 未満の液化ガスとなる容器に冷媒を移動．その後，容器内の冷媒を大気放出 → 修理 → 冷媒を再充塡

ただし，フッ素などを多く含むフロン類（R152a など）は，フロン排出抑制法によって，みだり大気放出が禁じられているため，冷媒の大気放出ができないので注意が必要である．

## 8.2 内蔵ショーケースに関する日本の規格

### 8.2.1 概要

JIS C 9335-2-89[8-1)]は，IEC 60335-2-89[8-2)] を和訳し必要なデビエーション（国際規格との差異）を加えたもので，IEC 60335-2-89 の Edition 3 に対応する改正を行った．JRA 4078[8-3)] 及び JRA GL-21[8-4)]は A3 又は A2 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント結果に基づく日冷工規格，JRA 4084[8-5)]及び JRA GL-23[8-6)]は A2L 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント結果に基づく日冷工規格である．JRA 4078，JRA GL-21，JRA 4084 及び JRA GL-23 を総称して日冷工規格，JIS C 9335-2-89 と日冷工規格を総称して日本の規格，と呼称する．JIS C 9335-2-89 の原案作成団体も日冷工であり，日冷工では，リスクアセスメント結果に基づいて，JIS C 9335-2-89 のデビエーションと日冷工規格の規定を検討した．なお，日本の規格において，JIS C 9335-2-89 は IEC 60335-2-89 と同様に A3，A2 及び A2L 冷媒を対象としており，JRA 4078 及び JRA GL-21 は A3 及び A2 冷媒を，JRA 4084 及び JRA GL-23 は A2L 冷媒を対象としている．次に，これらの主な内容を説明する．なお，IEC 60335-2-89 では，可燃性冷媒の冷媒量が 150 g を超える場合に安全対策を施す規定となっているものが多く，JIS C 9335-2-89 は IEC 60335-2-89 と同様の規定とした．しかし，日冷工規格では，冷媒量によらずほぼ同じ対策を施す規定とした．当 RA-WG では，**5.1.2** 節の Table 5-1-4 に示すように冷媒量 200 g の場合についても幾つか冷媒漏えい解析を行った．その結果，冷媒量が 200 g であっても可燃域が生成されており，冷媒量が 150 g になっても可燃域の生成状況が冷媒量比以上に大きく変わることは想定し難い．そこで，安全のため，冷媒量によらずほぼ同じ安全対策を施す規定とした．

### 8.2.2 使用時の安全対策

日冷工規格では庫外漏えいに関して下記①を，庫内漏えいに関して下記②を規定し，これを満足するか，**7.2.3** 項に記載した冷媒漏えい試験に合格するかのいずれかとすることを規定した．JIS C 9335-2-89 では庫内漏えいに関して②を規定し，これを満足するか，**7.2.3** 項に記載した冷媒漏えい試験に合格するかのいずれかとすることを規定した（庫外漏えいに関

しては冷媒漏えい試験に合格する必要がある).

①機器に通電されている間は（除霜時運転中，サーモオフ停止中においても）ユニットのファンを運転させる．この際，ユニットの風量を規定値（式(5-2-5)）以上にする．

②リーチインショーケースの庫内漏えいを検知し庫内への漏えい遮断する機能を備える.

### 8.2.3　最大冷媒充塡量

A2L 冷媒は A3 及び A2 冷媒より燃焼性が低いが，IEC 60335-2-89 の規定では，最大冷媒充塡量は LFL の 13 倍と 1.2 kg の少ない方とされており 1.2 kg までしか充塡できない．一方，空調機の規格 IEC 60335-2-40 では，燃焼性の違いから A3 及び A2 冷媒では LFL の 26 倍，A2L 冷媒では LFL の 52 倍まで充塡できる．解析でも同じ 13 倍の LFL では A2L 冷媒の方が A3 冷媒よりも可燃空間時空積が小さいことが確認されている（**5.5.1** 項）．そこで，日本の規格では 1.2 kg の上限を無くしどの冷媒でも LFL の 13 倍まで充塡できる規定とした．A2L 冷媒である R1234yf の場合 LFL が 0.289 kg/m$^3$ であり最大冷媒充塡量は 3.76 kg となる．この内容は，次の IEC 60335-2-89 の改定（Edition 4.0）に提案しており，採用される予定である.

### 8.2.4　表面温度

IEC 60335-2-89 では漏えいする可燃性冷媒にさらされる表面温度が冷媒の自己着火温度から 100 ℃を減じた温度を超えてはならないと規定されている．しかし，A2L 冷媒は燃焼性が低く，自己着火温度よりも高い表面温度でも燃焼しないことが分かっており，空調機の規格 IEC 60335-2-40 では，A2L 冷媒にさらされる表面温度は 700 ℃（最高許容表面温度）まで許容している．そこで日本の規格では，A3 及び A2 冷媒では自己着火温度から 100 ℃を減じた温度，A2L 冷媒では 700 ℃を超えてはならないと規定した．この内容も，次の IEC 60335-2-89 の改定に提案しており，採用される予定である.

### 8.2.5　測定免除時間削除及び可燃域生成防止対策

リーチインショーケースでは，全冷媒量が庫内に漏えいした後の扉急開放によって庫外に大きな可燃域が生成される（**5.1** 節）．A3 冷媒では静電気や店舗内の電気機器のリレーなどが着火源となるため，可燃域の生成が短時間であっても容易に着火に至る可能性がある．しかし，IEC 60335-2-89 では，冷媒漏えい試験において，試験開始後 5 分間は冷媒濃度に制限がなく，この間は庫外に大きな可燃域が生成されても，可燃域は生成されないとみなされてしまう．そこで日本の規格では，測定開始から 5 分間の測定免除時間を削除し，この間も濃度制限を設け，可燃域の生成を許容しない規定とした．そして，庫外での可燃域の生成を防止するために，庫内漏えい検知警報手段と冷媒回路遮断装置を備える規定とした．さらに日冷工規格では，凝縮器ユニット漏れでは除霜時も式(5-2-5)の風量でのファン運転を規定した.

### 8.2.6　漏えい速度

IEC 60335-2-89 では漏えい速度を独自の式で規定している．一方，空調機の規格 IEC 60335-2-40 では 4 分全量漏れで規定されている．漏えい速度は，腐食や振動などが原因で生成された孔や亀裂の大きさと配管内外の圧力差で決まるもので，機種による違いはない．そこで，JIS C 9335-2-89 では（規格の構造面の問題で修正が困難であったため）IEC 60335-2-89 と同じ式で規定したが，日冷工規格では安全のために 4 分全量漏れを採用し冷媒漏えい試験及び風量計算に使用する規定とした．なお，494 g の R 290 の場合，4 分全量漏れは 7.41 kg/h となり，IEC の式の計算値 2.66 kg/h の約 2.8 倍になる．3.757 kg の R1234yf の場合，4 分全量漏れは 56.355 kg/h となる.

### 8.2.7　機器への表示及び作業時の安全担保

IEC 60335-2-89 では 150 g を超える可燃性冷媒を充塡した機器では冷媒漏えい試験を行うことが要求されている．しかし，最小設置床面積の機器への表示に関しては，A3 及び A2 冷媒では LFL の 4 倍（R290 では 152 g）を超える場合，A2L 冷媒では LFL の 6 倍（R1234yf では 1.73 kg）を超える場合にのみ行えばよいとされており，漏えい試験の実施要求がある冷媒量と最小設置床面積の表示要求がある冷媒量の整合性が取れていない．そこで，安全側に規定することとし，JIS C 9335-2-89 では，150 g を超える可燃性冷媒を充塡した機器では機器への最小設置床面積の表示を行わなければならない規定とし，日冷工規格では冷媒量によらずこれを表示しなければならないとした．

日冷工規格では，これを加え，各作業ステージの着火確率を許容値以下にするために，A3 及び A2 冷媒においては，機器及び梱包に Fig. 8-1 に示す特別な警告ラベルを表示することを規定した（JRA 4078）．また，静電気を防止する手袋の着用（A3 及び A2 冷媒の時に必要であり JRA GL-21 に規定），漏えい検知器の携行及び発報後の作業中止などの作業時の着火リスク低減のための規定も設けた．店内修理に関しては，高圧ガス保安法に準拠するものとし，A3 及び A2 冷媒では，Fig. 8-2 に示す直接大気に冷媒放出する方法，Fig. 8-3 に示す回収袋を使った大気への冷媒放出（冷媒廃棄）方法などによる大気放出を規定し，冷媒放出時及び冷媒充塡時に店内の通風を良くし着火源となる全ての機器の通電を遮断することを規定した（JRA GL-21）．なお，高圧ガス保安法の規定によって，修理時に A3 及び A2 冷媒を回収機で回収することはできない．また，A2L 冷媒では，特定不活性ガス用の冷媒回収機で冷媒を回収すること，冷媒回収時及び冷媒充塡時に，店内の通風を良くし店舗内での裸火の使用を禁止することを規定した（JRA GL-23）．

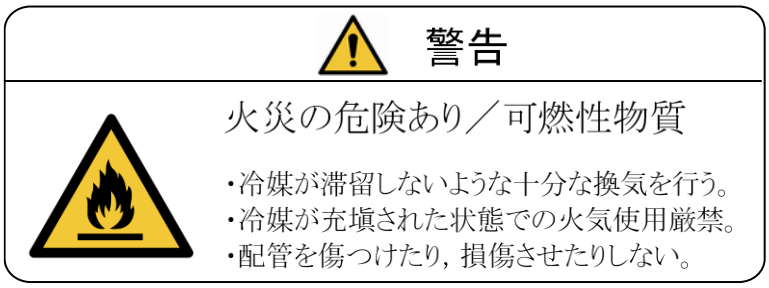



Fig. 8-1　A3 及び A2 冷媒の警告ラベルの例

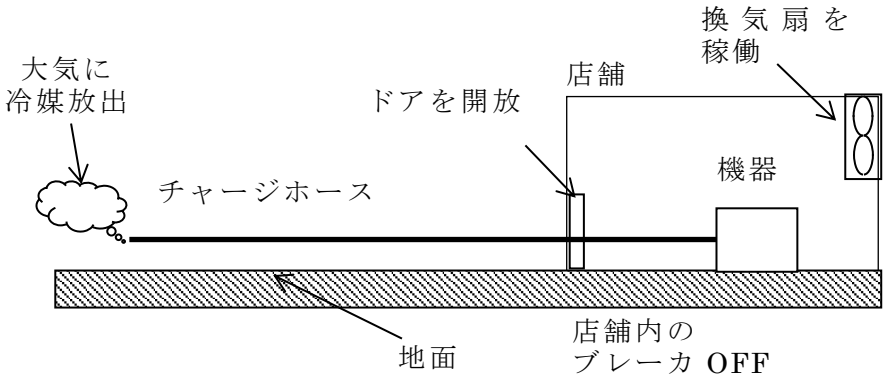



Fig. 8-2　店内修理時の A3 及び A2 冷媒の冷媒放出の例(1)

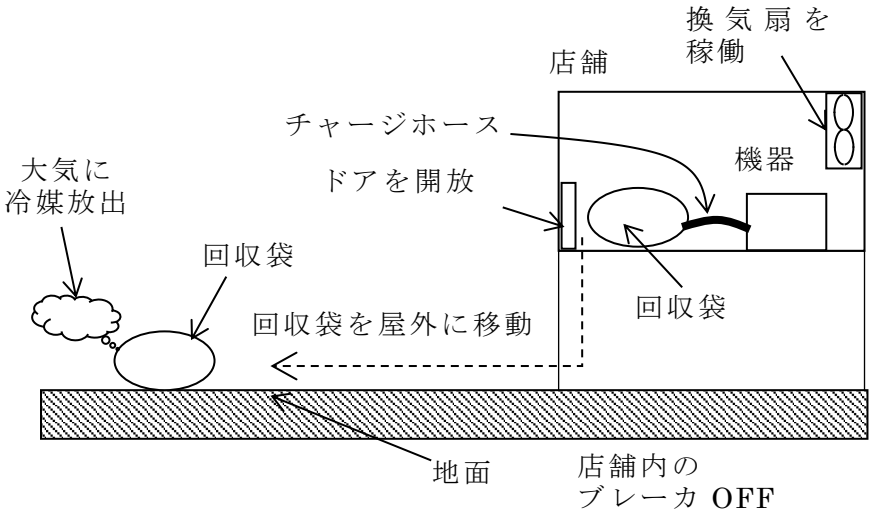



Fig. 8-3　店内修理時の A3 及び A2 冷媒の冷媒放出の例(2)

### 8.2.8　チャージポートのねじ形状（冷媒誤封入防止）

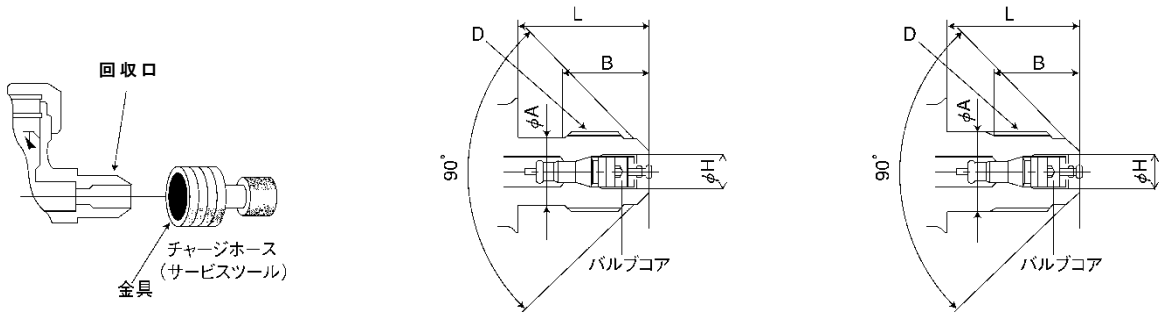
冷媒誤封入とは，市場に流通している機器に，誤って可燃性冷媒を充塡してしまうことをさし，冷媒誤封入が起きた場合でも，着火事故が起きないようにする必要がある．過去の日冷工での A2L 冷媒機器に対する検討[8-7)]で，冷媒誤封入による着火事故は，未対策時の着火確率に冷媒誤封入確率（ヒューマンエラー発生確率）を乗じた値（式(8-1)）で表され，それが許容値以下になれば，誤封入対策をする必要がないとした．ただし，冷媒誤封入によって着火事故が発生した場合は，作業者・ユーザーとも未防備であり，事故発生時の対応が困難であるため，各ライフステージの許容値を 1 桁小さくした値を許容値とすることとした．

$$P_m = P_1 \times E \tag{8-1}$$

ここで，$E$　：　誤封入発生確率（ヒューマンエラー発生確率=$1.0\times10^{-3}$）　(-)
$P_1$　：　未対策時の着火確率　(-)
$P_m$　：　冷媒誤封入による着火確率（各ライフステージの許容値を 1 桁小さくした値）　(-)

その際，機器の種類によって考え方を変えると混乱するため，ビル用マルチエアコン[8-7)]及びその他全ての A2L 機器において同様の考え方で検討を行い，A2L 冷媒では，冷媒誤封入による着火確率は全ての機器で許容値以下であり，従来の不燃性の A1 冷媒と A2L 冷媒の機器では同じ右ねじのチャージポートとしてよい，という結論を得た．また，その際に，合わせて，A2L 冷媒よりも燃焼性の強い A3 冷媒機器では，着火事故発生時の危害度が大きいこともあり，冷媒誤封入を避けるため，従来機器とは異なる左ねじのチャージポートにするとの取り決めをし，あわせて 2013 年にその内容を日冷工の内規として規定した．その後，その日冷工の内規の内容は 2020 年に JRA GL-08[8-8)]に改めて規定された．JRA GL-08 では，充塡された冷媒の種類に応じて Fig. 8-4 及び Table 8-1 に示す形状としなければならないと規定しており，A3 冷媒を充塡した内蔵形冷凍冷蔵機器にチャージポートを設置する場合は，不燃性の A1 冷媒の機器とは逆の左ねじにしなければならない．

そこで，A3 冷媒に対する JRA 4078 では「可燃性冷媒を封入した機器の冷媒回路にチャージポートを設ける場合のねじ形状は，JRA GL-08 に規定するものを使用しなければならない」と規定し，左ねじを使用することを規定した．また，A2L 冷媒に対する JRA 4084 では「微燃性冷媒を封入した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒回路にチャージポートを設ける場合のねじ形状は，JRA GL-08 の表 2（Table 8-1）に規定する右ねじのものを使用する」とし，右ねじを使用することを規定した．




接続図　　タイプ A：φA 寸法がおねじ谷径未満のもの　　タイプ B：φA 寸法がおねじ谷径以上のもの

L：チャージホース（サービスツール）金具の締め込み限界長さ（金具当たりまでの限界長さ）(mm)
B：完全ねじ部までの長さ（mm）
H：バルブコア部の径（mm）
D：ねじ仕様

Fig. 8-4　冷媒回収口のねじ部形状[8-8)]

Table 8-1　冷媒回収口形状とねじ仕様 [8-8)]

単位 mm

| 冷媒番号 | 冷媒回収口形状 | | | | | チャージホース側形状 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ねじ仕様 | タイプ | B | L | φH | ねじ仕様 | ねじ部長さ |
| R410A<br>R32など | 1/2-20UNF-2A<br>右ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | 1/2-20UNF<br>右ねじ | パッキングを考慮して適切な長さを確保する |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| R407C<br>R404Aなど | 7/16-20UNF-2A<br>右ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | 7/16-20UNF<br>右ねじ | |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| イソブタン<br>プロパンなどのA3冷媒 | 1/2-20UNF-2A<br>左ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | 1/2-20UNF<br>左ねじ | |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| | 7/16-20UNF-2A<br>左ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | 7/16-20UNF<br>左ねじ | |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| | M10<br>左ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | M10<br>左ねじ | |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| | M12<br>左ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | M12<br>左ねじ | |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| R134a<br>R1234yfなど<br>（カーエアコン以外の製品） | M10<br>右ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | M10<br>右ねじ | |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| | M12<br>右ねじ | A | 11.0以上 | B以上 | 5.2～5.8 | M12<br>右ねじ | |
| | | B | 11.0以上 | -------- | 5.2～5.8 | | |
| R134a<br>（カーエアコン） | クイックジョイント | | | | | M10（低圧側）<br>M12（高圧側） | **JRA 2011**による |
| R1234yf<br>（カーエアコン） | クイックジョイント | | | | | M12×1.5 | **JRA 2018**による |
| **注記**　φHは公差を含む. | | | | | | | |

参考までに，A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースの最も着火確率が大きいシナリオにおける未対策時の着火確率（**6.7.3** 項の Table 6-7-6 参照）を基に，不燃性の A1 冷媒向けの内蔵ショーケースに A3 冷媒を誤封入した場合の着火確率を式(8-1)に基づいて計算すると Table 8-2 のようになる．幾つかのステージにおいて許容値を超える着火確率となっており，チャージポート形状を従来冷媒と異なる形状にするのは妥当であるといえる．

Table 8-2　内蔵ショーケースへの冷媒誤封入時の着火確率

［許容値(各ライフステージの許容値を 1 桁小さくした値)：使用時 $5.26\times10^{-10}$，作業時 $5.26\times10^{-9}$］

| | 輸送 | 保管 | 設置 | 使用 | 修理(屋外) | 修理(店内) | 撤去(廃棄) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 冷媒誤封入による着火確率 | $1.12\times10^{-8}$ | $3.35\times10^{-9}$ | $7.25\times10^{-11}$ | $2.50\times10^{-9}$ | $2.10\times10^{-8}$ | $2.18\times10^{-8}$ | $3.11\times10^{-10}$ |

なお，チャージポートの形状は，冷媒の燃焼性区分と対応して決めるべきものである．すなわち，今後他の機器に対して，同様の検討を行い，冷媒誤封入による着火確率が許容値以下となったとしても，その機種だけ形状を変えてよいものではなく，JRA GL-08 に規定した形状にしなければならない．

## 参考文献

8-1）JIS C 9335-2-89:2021，“家庭用及びこれに類する電気機器の安全性 - 第 2-89 部：業務

用冷凍冷蔵機器及び製氷機の個別要求事項”, (2021.3).
8-2）IEC 60335-2-89:2019, “Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor”, (2019.6).
8-3) JRA 4078:2021, “可燃性冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全機能要求事項”, 日冷工, (2021.3).
8-4）JRA GL-21:2021, “可燃性冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン”, 日冷工, (2021.3).
8-5) JRA 4084:2022, “微燃性（A2L）冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全機能要求事項”, 日冷工, (2022.9).
8-6）JRA GL-23:2022, “微燃性（A2L）冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン”, 日冷工, (2022.9).
8-7) 日冷工:「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).
8-8）JRA GL-08:2020, “冷凍空調機器の冷媒回収に係る回収口形状と表示ガイドライン”, 日冷工, (2020.6).

## 9　まとめ及び追記事項

### 9.1　まとめ

可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメントを行った．内蔵ショーケースなどの一体形の冷凍冷蔵機器は，設置時の現地配管工事が不要であり，かつ，冷媒量も比較的少ないため，スプリット形の機器に比べると自然冷媒かつ強燃性冷媒である A3 冷媒が適用しやすいと考えられ，A3 冷媒化の要望が特に強い．しかし，可燃性冷媒の最大充塡量は規格で LFL の 13 倍と定められており，大型の内蔵ショーケースの場合，LFL が小さい A3 冷媒では必要とする冷媒量を賄うことができない．そこで，A3 冷媒（R290 500 g）及び LFL が大きい A2L 冷媒（R1234yf 3.8 kg）を充塡した内蔵ショーケースのリスクアセスメントを行った．

1)内蔵ショーケースからの冷媒漏えい時の可燃空間を定量化するための冷媒漏えい解析を行った．リーチインショーケースの庫内漏れ後の扉急開放では庫外に必ず可燃域が生成され，平形ショーケースの凝縮器ユニット漏れでは所定の風量以上で可燃域が生成されなかった．A3 冷媒の場合，コンビニエンスストアの床面積 84.7 $m^2$ では店舗のドア上下隙間の影響が少なく，導出した密閉空間での可燃空間時空積を評価に用いて問題ない．凝縮器ユニット漏れに関しては，R290 の場合は漏えい速度が低下しても可燃空間時空積が殆ど変化しなかったが，A2L 冷媒の場合は，床面積 84.7 $m^2$ では微少漏れで可燃域が生成されず，床面積 24.01 $m^2$ の密閉空間では微少漏れでわずかに可燃域が生成された．R290 における実店舗モデルでの解析の結果，床面積にはレジ内も含めるのが妥当である．

2)内蔵ショーケースのリスクアセスメントを行った．リスクアセスメントは，コンビニエンスストアを対象として行い，輸送，保管，設置，使用，修理，撤去（廃棄）の各ステージで発火確率を求め，普及台数を基に 100 年に 1 度の重大事故が発生する確率として求めた許容値と比較し，未対策で着火確率が許容値を上回った場合は，着火確率が許容値を下回るために必要な安全対策を明確にした．また，その内容に基づいて日本の規格を策定した．使用時は，通電中は常時ユニットファンを規定風量以上で運転すること，リーチインショーケースなどのクローズドショーケースでは庫内漏えいを検知し庫内への漏えい遮断する機能を備えること，を安全対策とした．作業時は，製品への火気厳禁の注意喚起表示，携帯形漏えい検知器の携行及び発報時の対応，静電気防止のための手袋着用（A3 又は A2 冷媒の場合），店内修理時の冷媒の廃棄時及び充塡時に機器の周囲の通風を良くし着火源となる全ての機器の電源を遮断（A3 又は A2 冷媒の場合）又は裸火の使用を禁止（A2L 冷媒の場合）などを安全対策とした．

日冷工では，内蔵ショーケースのリスクアセスメント結果と国際規格を比較し，国際規格の規定では安全上不十分と思われる内容を追加で規定した次の規格及びガイドラインを作成した．今後も一体形冷凍冷蔵機器の製造業者，設備工事業者などへの周知活動を継続的に行っていく必要がある．

＜A3 及び A2 冷媒＞

・JRA 4078：可燃性冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全機能要求事項
・JRA GL-21：可燃性冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン

＜A2L 冷媒＞

・JRA 4084：微燃性（A2L）冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全機能要求事項
・JRA GL-23：微燃性（A2L）冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器の冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン”

### 9.2　追記事項

内蔵ショーケースは，輸送・設置から撤去まで，冷凍サイクルに冷媒が入った状態で行われ，冷凍サイクルに不具合が発生した時の現地修理の場合にのみ，冷媒回路が開放される．従って，最も着火の危険性が高いのは，現地で冷媒回路を開放する現地修理である．店内修理において，着火確率が許容値以下になる作業手順・作業方法を明確にした．しかし，従来の機器とは作業手順・作業方法が異なり，その周知が重要となる．作業手順・作業方法の不徹底，作業ミスなどを考えると，可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースは冷媒回路を一体化したカセット型とし，冷媒回路を開放することなく，そのまま店舗内から持ち出して持帰り修理や屋外修理がしやすい構造とする方が確実に安全を担保できる．内蔵ショーケースの構造をこれに限ることを推奨するものではないが，今後，このような構造のものも含め，可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースが安全に使用できるようになることを期待する．

また，A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースの店内修理においては，冷媒を屋外の大気に放出する必要があり，そのために回収袋の使用を規定した．この回収袋に関しては，日冷工から空調冷凍機器工具の販売会社に依頼し，日冷工規格に対応する回収袋を開発して頂いた．今後，回収袋が可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースの普及の一助となることを期待する．

さらに，可燃性冷媒を使用した機器を製品化するためには，店舗から機器を撤去した後に機器を安全に廃棄することも重要である．内蔵ショーケースは，産業廃棄物（産廃）として廃掃法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）に従って廃棄される．日冷工では，A3 又は A2 冷媒を使用した内蔵形冷凍冷蔵機器を産廃業者に引き渡す段階での廃棄に関する手順を規定したガイドラインを作成し，安全な廃棄方法に関して環境省とともに検討を進めている．この廃棄ガイドラインが産廃業者に周知され，可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースの廃棄が安全になされることを期待する．

なお，IEC 60335-2-89 及び JIS C 9335-2-89 において，適用範囲内の機種は同じ扱いとなっている（機種によって取り扱いを変える規定はない）ため，日冷工の規格・ガイドラインでもそれと同様とした．しかし，内蔵ショーケースは裸火が多く存在する場所には殆ど設置されず，A2L 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメントでは，使用時以外のステージにおいて未対策で着火確率が許容値以下となった．今後，内蔵ショーケースと業務用冷凍冷蔵庫・業務用製氷機などの冷機応用製品を規格・ガイドラインで分けて規定しても問題ないと判断された場合は，A2L 冷媒を使用した内蔵ショーケースでは，使用時以外の JIS C 9335-2-89 で規定されていない安全対策を不要としても問題ないと考える．

## 10　対外発表文献リスト

当 RA-WG では，国際規格 IEC 60335-2-89 Ed.3.0 の規定では安全上不十分だと考え，研究状況について積極的に対外発表を行い，日冷工としての考えを公表してきた．当 RA-WG で対外発表した文献リストを次に示す．


10-1）　K. Yamashita, Y. Sakamoto, T. Kato, S. Ishihara, A. Kobayashi, H. Kainuma, M. Sato, K. Osawa, H. Nagai, Y. Anzai, "Study on CFD Analysis of Refrigerant Leakage and Ignition Source about Built-In Refrigerated Display Cabinet using R290", Proc. 13th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Valencia, Spain, 1255 (2018.6).

10-2）　Y. Sakamoto, T. Kato, S. Ishihara, A. Kobayashi, H. Kainuma, M. Sato, K. Osawa, H. Nagai, K. Yamashita, M. Nakagawa, “Risk Assessment of Built-in Refrigerated Display Cabinets using A3 Refrigerant”, International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2018, Kobe, Japan, TS054 (2018.12).

10-3）　K. Yamashita, Y. Sakamoto, T. Kato, S. Ishihara, A. Kobayashi, H. Kainuma, M. Sato, K. Osawa, H. Nagai, M. Nakagawa, "Study on method ensuring safety of built-in refrigerated display cabinet using R290", Proc. The 25th IIR International congress of refrigeration, Montreal, Canada, 337 (2019.8).

10-4）　山下浩司，坂本圭久，加藤俊匡，石原茂樹，小林章，海沼秀和，長谷川敬春，大澤克之，永井洋，保坂 恵子，"A3 冷媒を用いた内蔵ショーケースのリスク評価"，日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，2019, D123 (2019.9).

10-5）　K. Yamashita, Y. Sakamoto, T. Kato, S. Ishihara, A. Kobayashi, H. Kainuma, T. Hasegawa, K. Osawa, H. Nagai, K. Hosaka, "Risk assessment of built-in refrigerated display cabinet using A3 refrigerant", Proc. 13th IEA Heat Pump Conference 2021, Jeju, Korea, 122 (2021.4).

10-6）　山下浩司，加藤俊匡，池田真治，阪江覚，石原茂樹，小林章，海沼秀和，長谷川敬春，出野裕，永井洋，保坂恵子，"A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント～第１報：リスクアセスメントのための冷媒漏えい解析～"，日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，2021, B123 (2021.9).

10-7）　山下浩司，加藤俊匡，池田真治，阪江覚，石原茂樹，小林章，海沼秀和，長谷川敬春，出野裕，永井洋，保坂恵子，"A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント～第２報：リスクアセスメント及び安全規格～"，日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，2021, B124 (2021.9).

10-8）　K. Yamashita, T. Kato, S. Ikeda, S. Sakae, S. Ishihara, A. Kobayashi, H. Kainuma, T. Hasegawa, H. Deno, H. Nagai and K. Hosaka, "Refrigerant leak analysis for risk assessment of built-in refrigerated display cabinet using A3 refrigerants", International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2021, Kobe, Japan, M161 (2021.10).

10-9）　K. Yamashita, T. Kato, S. Ikeda, S. Sakae, S. Ishihara, A. Kobayashi, H. Kainuma, T. Hasegawa, H. Deno, H. Nagai and K. Hosaka, "Risk assessment and safety standards of built-in refrigerated display cabinet using A3 refrigerants", International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2021, Kobe, Japan, M162 (2021.10).

10-10）　山下浩司，保坂恵子，加藤俊匡，池田真治，石原茂樹，阪江覚，小林章，海沼秀和，長谷川敬春，出野裕，永井洋，"A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント"，日本冷凍空調学会論文集，39(1), pp.1-17 (2022.3).

10-11）　山下浩司，加藤俊匡，池田真治，阪江覚，石原茂樹，小林章，海沼秀和，長谷川敬春，出野裕，永井洋，保坂恵子，"可燃性冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント～漏えい高さが床面近くの場合の A3 冷媒と A2L 冷媒の比較～"，日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，2022, A121 (2022.9).