

三相誘導電動機の現状について

I. 種類と分類

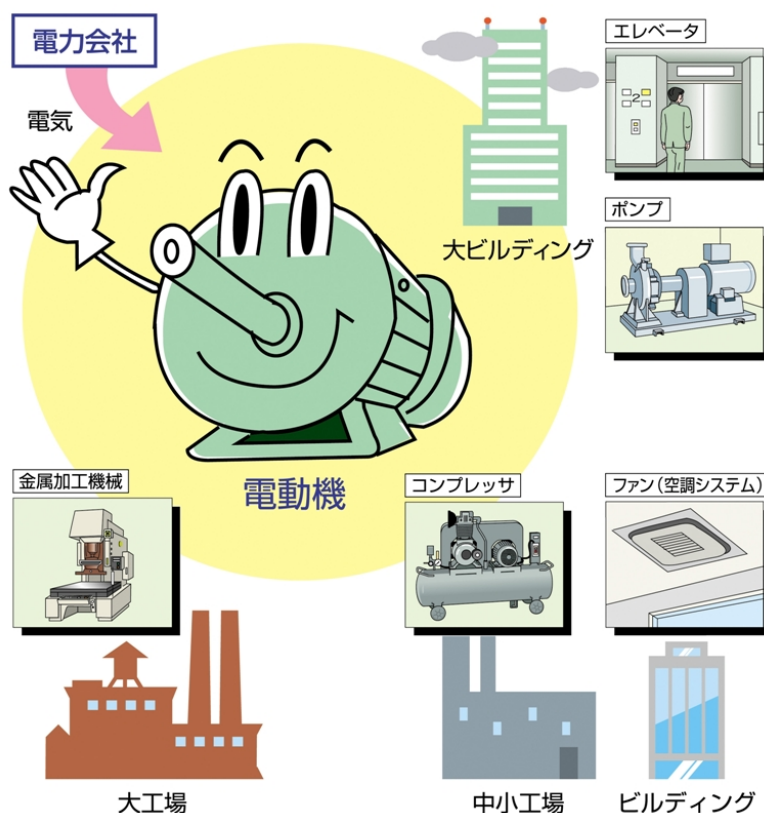
1. 電動機の働き

各需要家に送電された電気エネルギーは、照明や動力源などに使用される。電動機は電気エネルギーを運動エネルギーに変換する機能を有しており、例えば、ビルで飲用水を上部階までくみ上げるために、ポンプを回して水をくみ上げるが、このポンプを回すために、電気エネルギーを運動エネルギーに変換するのが電動機の働きである。

一般需要家にて使用される電動機は、600V 以下の電圧で使用される低圧電動機が多いが、このうち、冷蔵庫やエアコンディショナーなど家電品に使われる電動機は、それが組み込まれた製品として、省エネ法のトップランナー基準が適用されている。

平成 21 年度に実施した資源エネルギー庁の調査結果によれば、三相誘導電動機は、産業部門においてポンプ、送風機、圧縮機などの多様な用途で使用されており、普及台数は約 1 億台、消費電力量は、日本における産業部門の消費電力量の 75%、消費電力量全体の約 55% を占め、相当量のエネルギーを消費する機器となっている。仮に全ての産業用モータが IE2（高効率）⁽¹⁾ に置き換わったとすれば、年間 87 億 kWh、IE3（プレミアム効率）に置き換わった場合、年間 155 億 kWh の消費電力量の削減が可能になると試算され（消費電力量全体の約 0.9 または 1.5% に相当）、極めて大きな省エネ効果が期待できる。

本資料では、三相誘導電動機判断基準小委員会において検討対象とする産業用の三相誘導電動機について述べる。

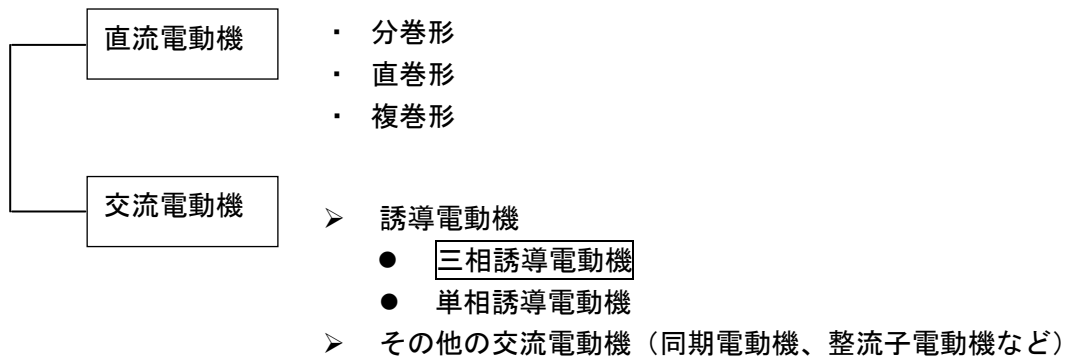


⁽¹⁾ モータの効率クラスは、国際規格 IEC（国際電気標準会議）の IEC 60034-30 及び日本工業規格 JIS C 4034-30 で規定しており、高い効率から IE3（プレミアム効率）、IE2（高効率）及び IE1（標準効率）の効率クラスがある。例えば、モータの銘板に IE3 の記載があれば、プレミアム効率モータであることが一目で分かる。

2. 電動機の種類

(1) 電動機の種類と特徴

電動機の種類は大きく分けて入力電源により直流機、交流機に分かれ、さらに動作原理、構造により以下のように細分化される。



◆ 直流電動機

直流電源から動力を得る電動機。家庭で利用するビデオレコーダやヘアドライヤーなどの小型電動機として利用されるほか、産業用では電動工具、工作機械等に利用。

◆ 交流電動機

➤ 誘導（インダクション）電動機

● 三相誘導電動機

三相交流電源から動力を得て、電磁誘導によって一次側（固定子）から二次側（回転子）に電力を送り、これを利用して動力を発生する誘導電動機。構造上かご形と巻線形の2種類があるが、その大半をかご形が占める。産業用途として幅広く使われ、汎用品の主要特性は世界中で標準化されている。

● 単相誘導電動機

単相交流電源から動力を得る誘導電動機。主に民生用の冷蔵庫や洗濯機等の家電製品に利用される。

➤ その他の交流電動機

● 同期電動機

固定子に交流を流して、回転磁界と回転子が同じ速度で回る電動機。

・ 永久磁石式同期電動機（PM モータ）

永久磁石（Permanent Magnet）を使用することから PM モータと呼ばれている。小形で高効率な低消費電力電動機として注目され、省エネルギー化の流れの中で、エアコン、冷蔵庫などの家電製品、自動車用の補機やハイブリッド電気自動車（HEV）/電気自動車（EV）用の主機、産業用機器などその適用範囲は拡大を続けている。

・ スイッチド・リラクタンスモータ

スイッチド・リラクタンスモータは構造が簡単であり、永久磁石を使用しないため、低コスト、省資源の脱レアアースモータとして注目されている。しかし、トルクリプル、振動・騒音が大きいことが課題となっている。

● 整流子電動機

一次巻線を回転子側に設ける回転子給電形と固定子側に設ける固定子給電形がある。ブラシを移動させることにより、二次側電圧を調整し速度制御を行うことができる。固定子給電形の場合は、二次励磁装置として誘導電圧調整器を用いている。

特長としては、効率・力率が良好、始動特性が良い、同期速度以上の運転が可能等の点があるが、ブラシと整流子の保守が必要である。

● ブラシレスモータ

整流子とブラシがなく、整流子を半導体スイッチに置き換え機械的接触をなくした電動機。ブラシレスモータはブラシの代わりにホールセンサを使用し、回転角度を検出して電流の切り替えを行う。この方法とは別にコイルの逆起電圧を利用したセンサレス方式がある。近年ではブラシ付きモータからブラシレスモータへの移行が進んでおり、ドライバに関しても様々な製品がある。

(2) 三相誘導電動機の回転原理と発生する力

(a) 回転原理

<p>1. フレミングの右手の法則 磁界中の導体を、磁束を横切る方向に運動させると起電力が発生し電流が流れる</p>	<p>2. フレミングの左手の法則 磁界中の導体に電流を流すと磁界の向きと電流の方向に応じた力が導体に働く</p>
<p>3. 回転子の外周に一对の磁石を配し磁石を回転すると、回転子は磁石と同方向に回転する。右手の法則によりバーに誘導電流が流れ、この電流と磁界の相互作用(左手の法則)によりバーに力が働くため、回転子が回転する。</p>	

(b) 発生する力

- ・ 左手の法則による力 $F(N) = B \cdot L \cdot i$ B =磁束密度(T)、 L =導体(バー)長(m)、 i =電流(A)
 - ・ 右手の法則による起電力 $E(V) = B \cdot L \cdot v$ v =導体が磁束を横切る速度(m/s)・・(すべり)
- $\therefore F(N) = B^2 \cdot (L^2/R) \cdot v$ R =二次抵抗(Ω)、 $L \propto R$
- 従って、発生する力は磁束密度の2乗、導体(バー)長・すべりの1乗に比例する

(3) 損失の発生理由と改善策

電動機は、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する機械である。エネルギー変換の際、その一部が熱エネルギーとして電動機内部で消費される。この内部で消費され、動力として使用できないエネルギーを損失という。損失が大きい場合、電動機入力に対する出力が小さくなり、無駄な電力を消費することになる。この入力と出力の比を電動機の効率と呼ぶ。

電動機の発生損失は、固定損(鉄損及び機械損)、負荷損(一次銅損及び二次銅損)、漂

遊負荷損に分けることができる。

鉄損とは、磁気回路の磁場の変化に伴って発生する損失で、ヒステリシス損と渦電流損がある。ヒステリシス損失は、磁性体のヒステリシス現象に起因したもので周波数および磁束密度に依存して大きくなる。渦電流損は、電動機の鉄心（コア）において起こる電磁誘導の際に発生する渦電流によってエネルギーを消失する現象である。

機械損とは回転子と固定子の軸受の摩擦抵抗による損失、冷却ファンの風損などである。

銅損とは、電気エネルギーが銅巻線の導線にある電気抵抗によって熱エネルギーにかわる損失である。なお、一次銅損は固定子導体、二次銅損は回転子導体に発生する。

漂遊負荷損とは、上記以外の損失である。

図 1 に負荷率に対する各損失の割合変化を、図 2 に損失構成の一例を示す。

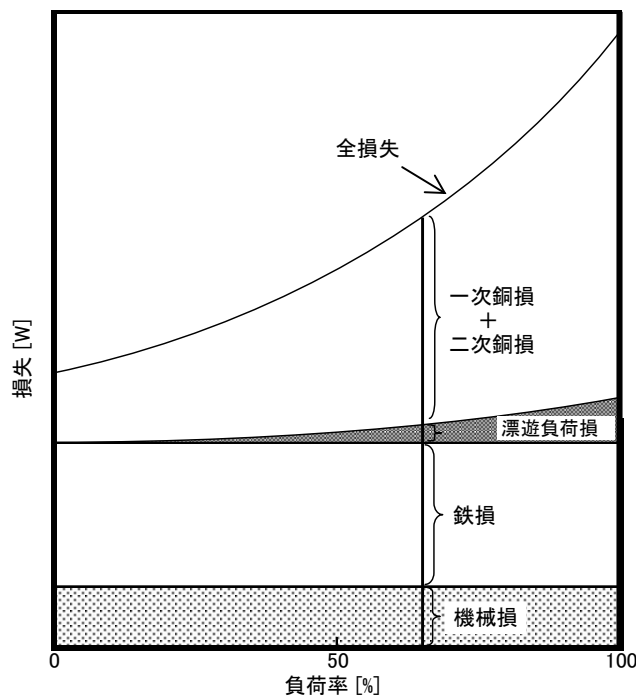


図 1 損失と負荷率

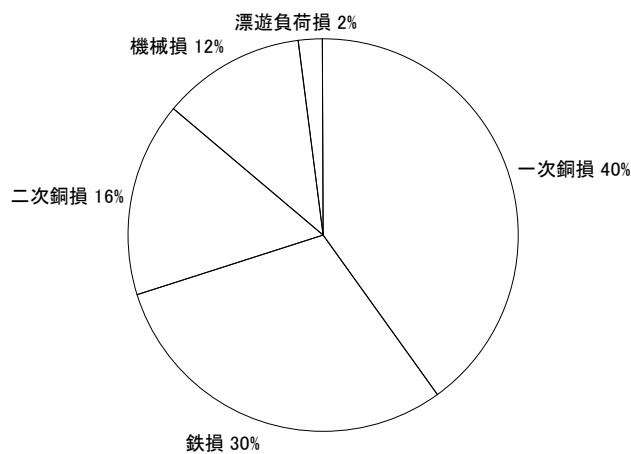


図 2 損失構成の一例

それぞれの損失の発生場所を、図3の電動機内部構造図をもとに示す。

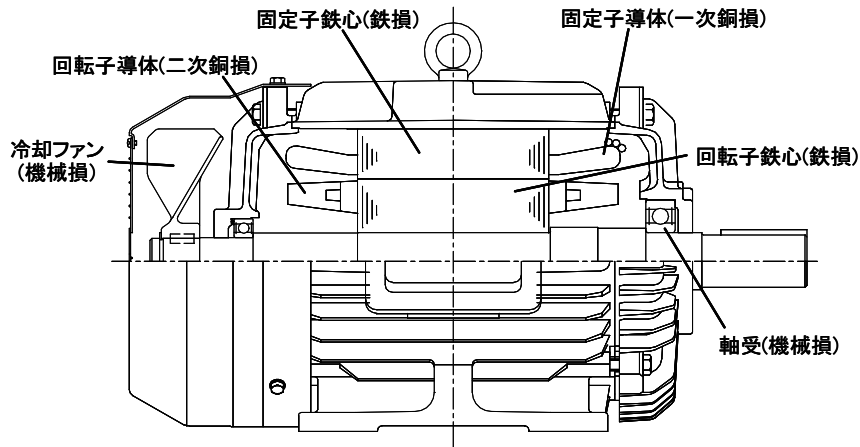


図3 電動機構造と損失

電動機発生損失を低減、すなわち効率を向上させるには、前述の各損失をバランスよく低減させることが必要となる。それぞれの損失発生に対する改善策を図4に示す。

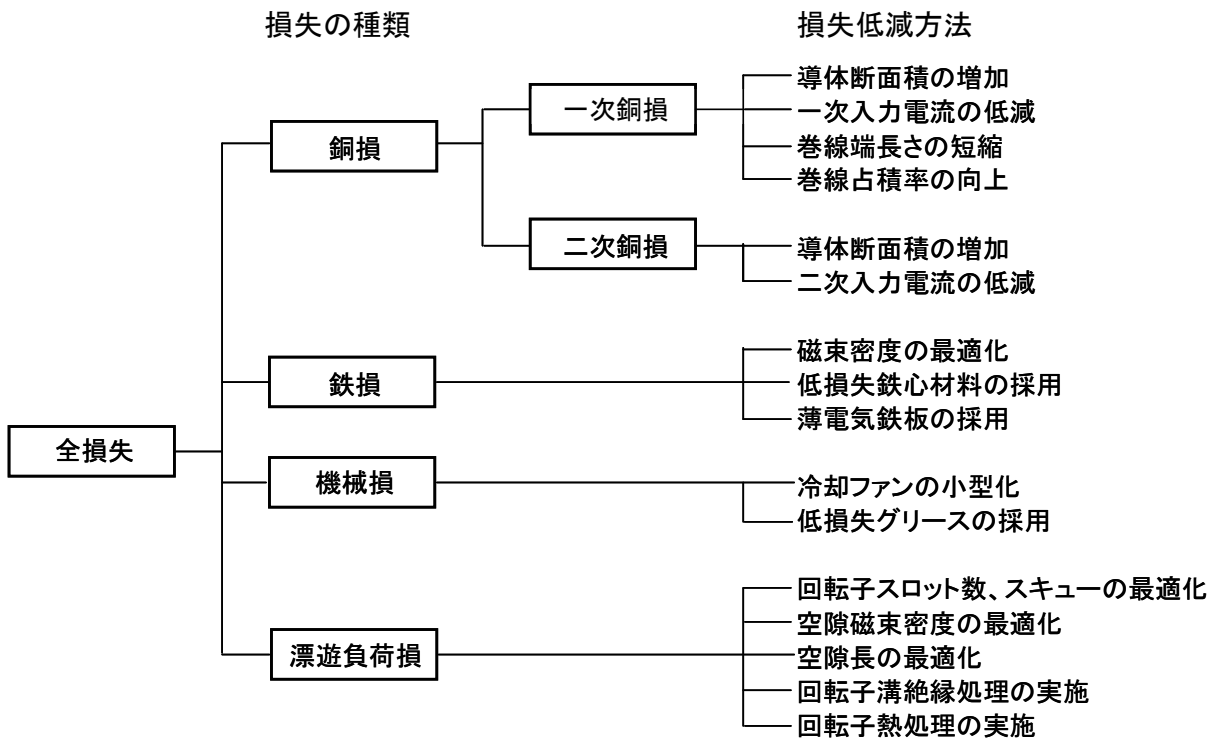


図4 電動機の損失発生に対する改善策

II. 電動機の市場規模について

1. 三相誘導電動機の市場規模

(1) 三相誘導電動機の国内市場規模⁽ⁱⁱ⁾：台数・金額（70W以上⁽ⁱⁱⁱ⁾）

国内市場規模は、年間約 680 万台、2,000 億円程度で推移。（2005～2007 年度の平均値。）

（2008 年度：528 万台、1940 億円、2009 年度：271 万台、1314 億円）

輸入は、年間約 200 万台、400 億円程度で推移。

輸出は、年間約 200 万台、900 億円程度で推移。

三相誘導電動機（70W以上）の電動機全体の生産台数に占める割合は 4 割程度（その他は、直流機、単相誘導電動機、その他交流電動機等）。一方、**容量ベースでは 8 割以上を占め、エネルギー消費との観点でいえば、三相誘導電動機が電動機全体の大勢**を占めている。

（2009 年は生産規模が極端に落ち込んでいることから、2008 年のデータで示す。）

生産台数（2008 年度） 三相誘導電動機：528 万台 全体の生産台数：1,236 万台

生産容量（2008 年度） 三相誘導電動機：2,052 万 kW 全体の生産容量：2,466 万 kW

表 1 電動機の実生産・出荷の状況

出典：経済産業省生産動態統計 製品名／単位	2008 年度			2009 年度		
	台数 (台)	容量 (kW)	金額 (百万円)	台数 (台)	容量 (kW)	金額 (百万円)
電動機(生産:70W以上)	12,362,465	24,664,735	266,231	9,627,987	18,927,595	203,553
直流機(生産:一般用・車両用)	35,056	224,806	4,012	23,927	171,961	2,574
交流電動機(生産:単相、三相、その他)	12,327,409	24,439,929	262,219	9,604,060	18,755,634	200,979
単相誘導電動機(生産:70W以上)	6,000,572	2,245,681	48,939	4,633,425	1,767,463	37,141
三相誘導電動機(標準は出荷、非標準は生産)	5,279,988	20,521,014	194,015	2,714,535	13,180,682	131,390
標準三相誘導電動機(出荷データ)	672,505	1,966,742	18,305	511,000	1,523,464	9,808
非標準三相誘導電動機(生産:70W以上)	4,607,483	18,554,272	175,710	2,203,535	11,657,218	121,582
その他の交流電動機(生産:70W以上)	1,046,849	1,673,234	19,265	2,256,100	3,807,489	32,448

(注) 標準三相誘導電動機：JIS規格品であり、三相誘導電動機の出荷台数に占める割合は、**約 24%程度**（一般社団法人日本電機工業会自主統計値 2008 年度 出荷ベース）。

非標準三相誘導電動機：JIS規格品外のもの。ユーザーメカやエンドユーザの仕様に合わせて生産・納入された製品であり、電動機全体の大勢を占める。

三相誘導電動機の国内市場の現状を図 5 に示す。

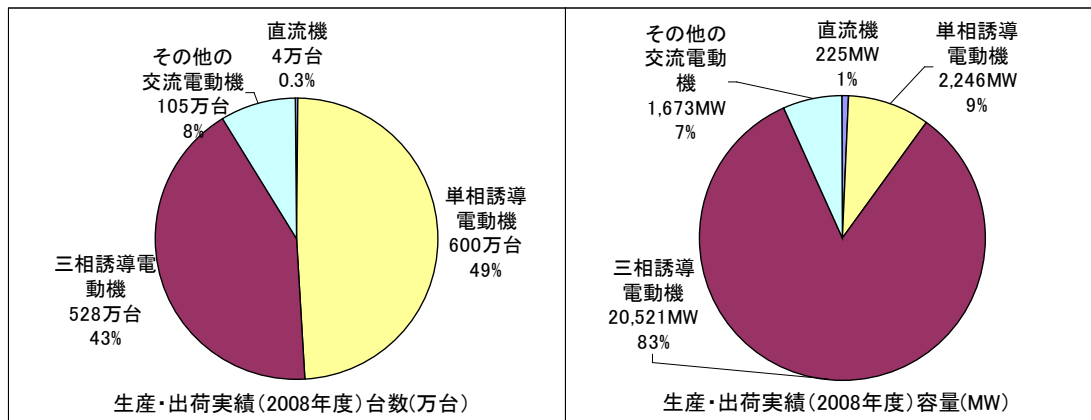


図 5 三相誘導電動機の国内市場の現状 出典：経済産業省生産動態統計（2008 年度）

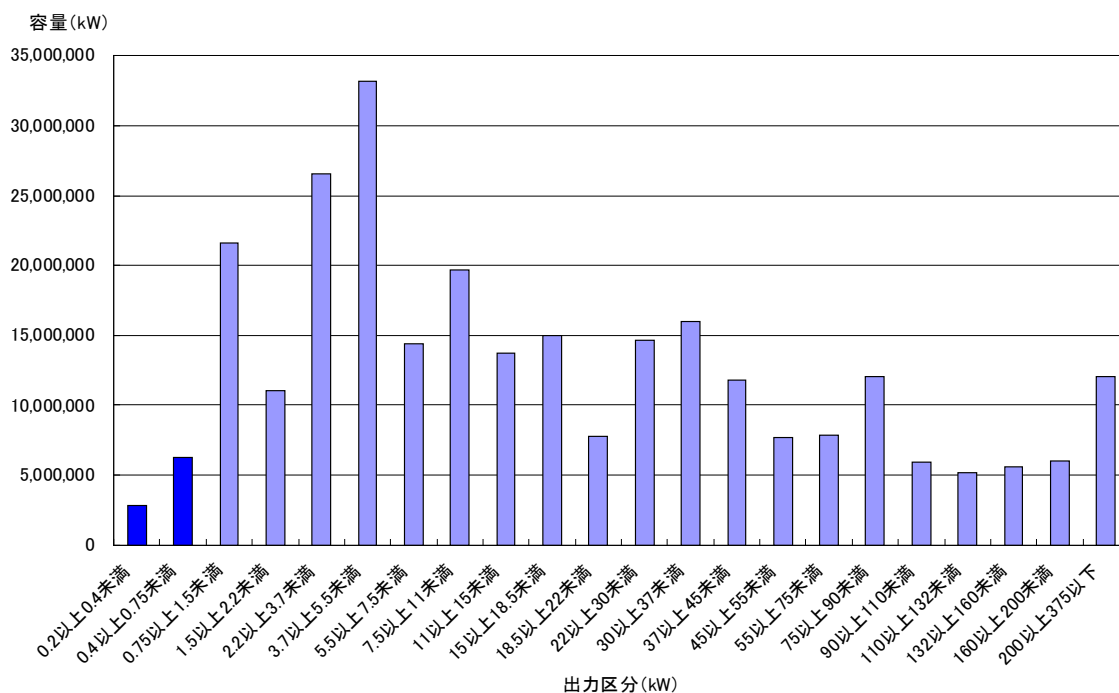
⁽ⁱⁱ⁾ 出典：経済産業省生産動態統計、財務省貿易統計

⁽ⁱⁱⁱ⁾ 70W 未満は、小形電動機。家電製品、自動車などに組み込まれてすでに規制されている。

(2) 三相誘導電動機の出力量別容量

三相誘導電動機の年間平均の出荷状況を容量ベースで出力区分別に示すと図6のグラフのとおり（「出力区分別の代表的な定格出力×出荷台数」にて算定）。

出荷台数を加味したトータルとしての容量で見ると、3.7kW以上5.5kW未満の出力区分がピークとなる一方、0.75kW未満の出力の低い区分では、出荷台数は多いもののトータルの容量は小さく、エネルギー消費のインパクトは相対的に低いと言える。



出典：資源エネルギー庁「平成21年度エネルギー消費機器実態等調査報告書」

図6 出力区分別容量

(3) 三相誘導電動機の市場普及台数

市場普及台数（ストックベース）：約1億台

(4) 主要三相誘導電動機メーカー等

(a) 三相誘導電動機メーカー

東芝産業機器製造、日立産機システム、富士電機、三菱電機、明電舎、安川電機、パナソニック、一宮電機、日本電産テクノモータホールディングス、住友重機械工業、三相電機、アイチエレクトク、東芝三菱電機産業システム、澤村電気工業、藤井精密回転機製作所、オリエンタルモーター等

(b) 海外メーカー輸入品

東元（台湾）、WEG（ブラジル）、Siemens（独）、NIDEC MOTOR CO.（日本電産モータ）等

2. 三相誘導電動機の市場構造

(1) ユーザメーカー（セットメーカー）業界・主要機器

国内に普及している三相誘導電動機（以下、モータ）の総数は約1億台であり、モータが使用されている主要機器上位3品目（ポンプ、圧縮機、送風機）で全体の70%を超える。モータが使用される主要機器を表2に示す。主な業界団体を、以下に示す。

- （社）日本産業機械工業会（ポンプ、圧縮機、送風機、動力伝達装置、運搬機械）
- （社）日本工作機械工業会（金属工作機械）
- （社）日本農業機械工業会（農業用機械器具）
- （社）日本ロボット工業会（産業用ロボット）
- （社）日本真空工業会（圧縮機）
- （社）日本冷凍空調工業会（圧縮機）
- （社）日本食品機械工業会 等

表2 モータが使用される主要機器

機器分類	台数	比率
ポンプ	36,560,966	38%
圧縮機	22,076,305	23%
送風機	12,369,045	13%
動力伝達装置	8,642,510	9%
金属工作機械	6,685,925	7%
農業用機械器具	4,184,084	4%
運搬機械、産業用ロボット	3,240,141	3%
合計	93,758,975	97%

出典：資源エネルギー庁「平成21年度エネルギー消費機器実態等調査報告書」

(2) エンドユーザ業界

エンドユーザは、上記(1)表2の機器を導入している工場、事業者であり、あらゆる産業界が対象となりうる。

(3) モータの取引形態（標準・非標準）

モータの約 90%はユーザーメーカーに出荷され、パーツとして機械に組み込まれて、エンドユーザーに供給される。モータの取引形態を図7に示す。

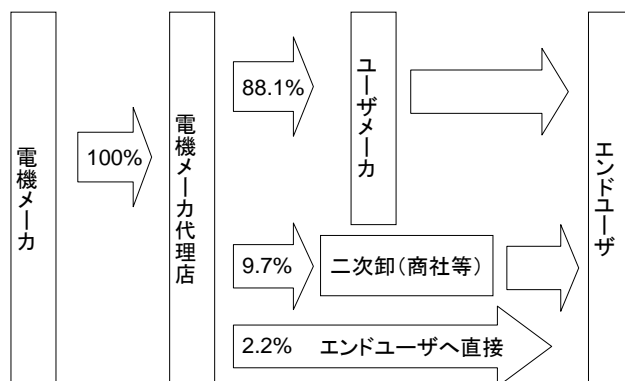


図7 モータの取引形態

3. モータを高効率化する際の設計・製造における課題

- (1) 諸外国と比較して国内では 50Hz、60Hz の共用設計が求められており、単一周波数の場合に比べ設計上難しく、各々の周波数における効率基準値を満足する必要がある。
- (2) 日本のモータの枠番^(iv)が諸外国に比べ小さいため、効率基準値を満足するための設計が必要となる。
- (3) 現行品との互換性を持たせた製品開発が必要である。特に、非標準モータはユーザーメーカーによる機械機能要求に合致する体格・寸法・トルク特性・電流特性・回転数特性にしているため、高効率化には機械側との調整も含めた製品開発が必要である。
- (4) 特にIE3（プレミアム効率）^(v)の製品製造に当たっては、特性を満足するため使用する部材の質・量ともに増加し、更なる枠番アップ・体格アップが生じるが、(1)～(3)に配慮しつつ製品開発を行う必要があることから、開発の難易度は高い。

4. 効率規格・規制の動向と普及状況

(1) 高効率モータ規格（IEC、JIS）

IEC/TC2(回転機)では、表6のようにモータの効率に関わる複数の規格を策定している。

一定速度で駆動するモータの効率算定方法を規定する IEC 60034-2-1 は、2007 年に発行、その算定方法を用いて効率クラスを規定する IEC 60034-30 は 2008 年 10 月に発行された。

JIS については、2011 年 1 月 20 日付で JIS C 4034-30「回転電気機械—第 30 部：単一速度三相かご形誘導電動機の効率クラス（IEコード）」および JIS C 4034-2-1「回転電気機械—第 2-1 部：単一速度三相かご形誘導電動機の損失及び効率の算定方法」が発行された。

なお、効率クラスとは、効率基準値をクラス分類したもので、IEC 効率レベルと従来 JIS との比較を表7に示す。

^(iv) モータの出力に応じて寸法が適用される「標準の枠番号」で、JIS C 4210「一般用低圧三相かご形誘導電動機」および JIS C 4212「高効率低圧三相かご形誘導電動機」の 6.（寸法）に規定される。

^(v) 三相誘導電動機の効率レベルについては、国際的な規格として IEC に規定されており、クラス分類としては IE1（標準効率）、IE2（高効率）、IE3（プレミアム効率）がある。

表6 モータの効率に関わる国際規格類

	一定速度駆動	可変速度駆動
効率の算定方法	IEC 60034-2-1	IEC 60034-2-3
効率クラス	IEC 60034-30	未定
選定・適用ガイド	IEC 60034-31	

表7 IEC 効率レベルと従来 JIS との比較

IEC 60034-30	JIS C 4034-30	従来JISとの比較
IE3	IE3	—
IE2	IE2	JIS C 4212（高効率）と同等
IE1	IE1	JIS C 4210（標準効率）と同等

(2) 世界における効率規制の動向と普及状況

国際的には、米国で2010年12月19日にIE3プレミアム効率のモータの適用義務化が始まり、欧州においても2015年にIE3またはIE2+インバータの適用義務化を決めているほか、様々な国々（カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、中国等）で順次、最低エネルギー消費効率基準（MEPS：Minimum Energy Performance Standard）^(vi)での適用義務化を開始もしくは計画しており、モータ単体の効率規制に向けた取り組みが進められている。

我が国では、高効率タイプ（IE2）のモータが年間の生産・出荷台数の1%程度であるのに対して、米国では高効率（IE2）とプレミアム効率（IE3）の合計が70%、欧州でも高効率（IE2）が12%と欧米のモータの高効率化は進んでいる。

【米国】^(vii)

1997年以降 EPAAct（エネルギー政策法）高効率モータ製造者規制を実施。
2010年12月19日以降 EPAAct 対象機器 IE2 を IE3 へ（IE2 対象機器を拡大）

【欧州】

2011年6月16日以降 IE2 へ
2015年1月1日以降（予定） 7.5～375kW IE3 レベル または IE2+インバータ
2017年1月1日以降（予定） 0.75～375kW IE3 レベル または IE2+インバータ

国際規格での効率基準に対応する各国の関係規格および効率基準の法的規制状況のまとめを表8に示す。

^(vi) 対象となる機器の全ての製品が超えなければならない最低の値を定め、超えられない場合はその製品の出荷を差し止める等の措置が取られる。

^(vii) モータのエネルギー効率について定めたエネルギー政策法（EPAAct: Energy Policy Act）が、1997年10月に発効している。これにより、米国内にて製造、販売されるモータは、同法で規定された効率基準を満足する必要がある。さらに、連邦規制基準（CFR: Code of Federal Regulations）により、対象モータに試験手順及びラベル表示の要求が定められている。また、2010年12月19日より要求事項が変更されている。

表8 各国の関係規格および効率基準の法的規制状況のまとめ

国名 (地域)	標準効率 (IE1)		高効率 (IE2)			プレミアム効率 (IE3)		
	規格	普及率 (年)	規格	法的規制	普及率 (年)	規格	法的規制	普及率 (年)
米国	—	30% (2009) 10% (2011)	NEMA MG1-12-11 (EPAAct)	1997～有	35% (2009) 20% (2011)	NEMA MG1-12-12 (NEMA Premium)	2010.12～有	35% (2009) 70% (2011)
カナダ	—	30% (2009)	CSA C390 (EE)	1995～有	35% (2009)	CSA C390 (NEMA Premium)	2012.4(予定)	35% (2009)
豪州、 ニュージー ランド*	AS/NZS 1359.5 (2001)	58% (2006)	AS/NZS 1359.5 (2001)	2006～有	32% (2006)	—	—	10% (2006)
欧州 (EU27)	CEMEP EFF2,3 (1998)	85% (2006)	IEC 60034-30 (2008) 欧州委員会 規則 640/2009	2011.6～有	12% (2006)	IEC 60034-30 (2008) 欧州委員会 規則 640/2009	2015.1 予定 (7.5kW～) 2017.1 予定 (0.75kW～)	—
中国	GB18613 (2002)	99% (2005)	GB18613 (2006)	2011.7～有	1% (2005)	—	—	—
韓国	—	90% (2005)	KS C 4202	2010.1～有 (18.5kW～) 2010.7～有 (0.75kW～)	10% (2005)	—	—	—
日本	JIS C 4210 (2010) JISC4034-30 (2011)	99% (2008)	JIS C 4212 (2010) JISC4034-30 (2011)	無し	1% (2008)	JISC4034-30 (2011)	無し	0%

※IEC 60034-30:2008 では参考的な効率クラスとしてスーパープレミアム効率(IE4)が紹介されている(数値レベルは未定)

5. 効率規制による省エネ効果と経済性について

(1) モータの高効率化による省エネ効果

国内に普及しているモータ(約1億台)の年間消費電力量、並びにすべてのモータがプレミアム効率(IE3)に置き換わった場合の省エネ効果を試算した結果を、以下に示す(資源エネルギー庁「平成21年度エネルギー消費機器実態等調査報告書」より)。

※ モータの年間消費電力量：5,430億kWh(うち、産業用3,620億kWh)

消費電力量全体(電力10社の販売量+自家発電=約1兆kWh)の55%に相当

産業用電力量(約4,850億kWh)の75%に相当

※ 省エネ効果とCO₂削減効果：年間155億kWh、約500万t-CO₂

我が国電力消費量全体の約1.5%に相当

我が国温室効果ガス排出量(12億8,200万t)の約0.4%に相当

(2) 投資費用と回収期間について^(viii)

一方、メーカー等へのアンケート調査結果をもとに、国内に普及しているモータすべてをプレミアム効率（IE3）に置き換わった場合の増加コストと、置き換わった後の省エネ効果を金額換算した額（消費電力料金の低減及び削減CO₂価値換算）を試算し、初期投資（増加コスト）の回収期間を計算した結果を、以下に示す（資源エネルギー庁「平成21年度エネルギー消費機器実態等調査報告書」より）。

※ 投資回収期間：5～6年

初期投資（増加コスト）：1兆425億円

省エネ効果：1,800億円

(3) 導入促進に向けた対応について

日本において高効率モータの普及が進まない理由を、モータメーカー及びユーザーメーカー、エンドユーザにそれぞれアンケート調査した結果のとりまとめを、以下に示す（資源エネルギー庁「平成21年度エネルギー消費機器実態等調査報告書」におけるモータメーカー・ユーザーメーカー等へのアンケート調査結果より）。

(a) 初期投資が必要（機器価格が高い）

- 機器単価が高くなること（IE3の場合、標準モータの20～60%増）。
- モータを組み込むユーザーメーカーにとっては、製品コストがアップする一方、効率向上に伴うメリットがないことから、高効率モータを採用するインセンティブが働かない。

(b) エンドユーザへのPR不足（潜在需要が未開拓）

- 負荷変動が大きい用途を中心にインバータの導入促進や負荷低減の取組が優先され、モータ単体の高効率化に向けた取組が不十分。
- 現在稼働している寿命の長いモータを買替えるインセンティブが働かない。

(c) モータが故障しても、機器の互換性や緊急性が優先され、仕様の異なる高効率モータを注文することは希（特に中小企業）。

プレミアム効率モータを導入普及するために法規制を導入しても、エンドユーザへのコストアップの影響から、既設のモータ使用期間の長期化等により、全体として買い換え需要が後ろ倒しになるなど、当初の予定通りに進まない可能性がある。このため、法規制の導入とともに、こうしたエンドユーザの買い換え需要を促進する施策も合わせて検討し、モータメーカーやユーザーメーカーの高効率モータ組み込み製品の市場化等の取組を後押しする必要があると報告されている。

^(viii) 「電気料金の低減額」：155億 kWh×20年×1/2=1,550億 kWh=17,050億円

（全てのモータが置き換わった場合の年間の省エネ効果は155億 kWh。最終ユーザーへのアンケート結果、概ね20年程度を寿命として意識しているため、法規制開始後20年間で市場内の製品が全て置き換わると仮定し、20年間の便益は20年分×半量として算定。電力量単価は11円/kWhで算定。）

「CO₂削減効果による便益」：1,550億 kWh×0.34kg-CO₂/kWh×2,000円/t-CO₂=1,054億円

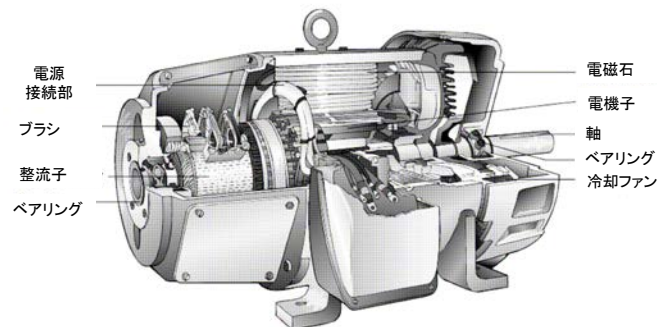
「省エネ効果」：「電気料金の低減額」+「CO₂削減効果による便益」=1,800億円

モータメーカーへのアンケートによれば、標準効率モータに比べてIE2モータで2割、IE3モータで4割程度モータ単体の価格が上昇する見込みである。回収期間は、初期投資（増加コスト）1兆425億円を省エネ効果1800億円で除して算出した。

付録

(1) 直流電動機

直流電源から動力を得る電動機で、従来、精度の高いトルク制御及び速度制御を必要とする産業用途や直流電源しか利用できない用途に利用されてきた。しかし、近年のインバータ等の発展により、誘導電動機でも高精度用途において直流電動機と同様のトルク速度性能が実現できるようになったこと、またその誘導電動機の信頼性の高さから、直流電動機のシェアは低下している。



直流電動機

(a) 分巻直流電動機

固定子巻線が回転子巻線と並列になっている。負荷に関係なく、ほぼ同じ速度で動作し、過負荷の場合も低速化することはまれである。全負荷と無負荷の動作で、わずかな変動しかないため、定速が要求される用途には理想的な電動機である。

(b) 直巻直流電動機

固定子巻線が回転子と直列接続されている。直巻電動機のトルクは、電機子電流の 2 乗に比例して変動する。したがって、直流電動機の中では、1 アンペアあたり最大のトルクを実現する電動機である。結果として、このタイプの電動機はけん引作業やクレーンなど、全体電流の増加は穏やかだが、高トルクを必要とする用途に適している。

(c) 複巻直流電動機

巻線のある部分が直列、他の部分が並列に接続されている。分巻電動機と直巻電動機のそれぞれの良い特長を持ち合わせる電動機である。直巻電動機のように、始動時には追加トルクを持ち、分巻電動機のように、無負荷でも過剰な速度を出すこともない。負荷が突然あるいは周期的に変動する可能性があるが、定速が重要でない用途において使用される。

(2) 交流電動機

(a) かも形誘導電動機

電磁誘導によって一次側(固定子)から二次側(回転子)に電力を送り、これを利用して動力を発生する電動機である。通常同期速度以下の速度で運転する。

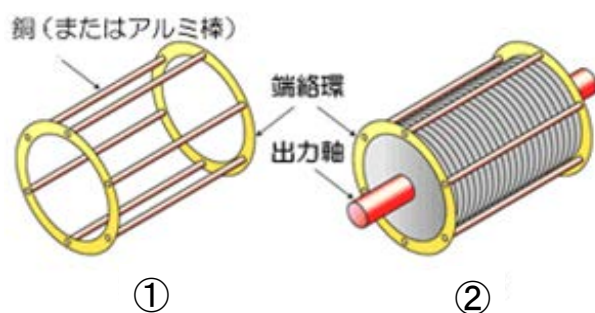
一次側には回転磁界を発生させる固定子巻線を持っている。

回転子には、①のように 2 個の端絡環の間を多数の銅またはアルミの棒でつないで、

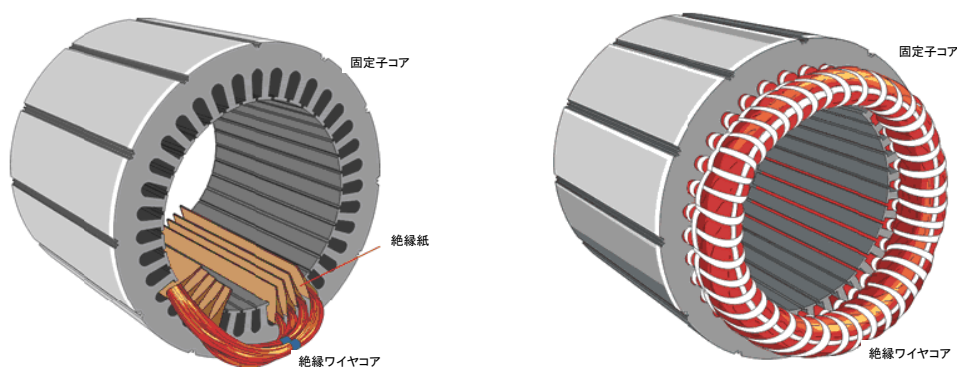
②のように成層鉄心の中に埋めたものを使用する。これをかご形回転子と呼び、かご形誘導電動機の名前の由来となっている。

かご形誘導電動機は構造が簡単、堅牢であり運転特性も良好である。しかし、全電圧始動時、定格の5～8倍の始動電流が流れるため、電源などの始動条件が問題となることがあり、電源に余裕のない場合は、スターデルタ始動等の減電圧始動を行う必要がある。

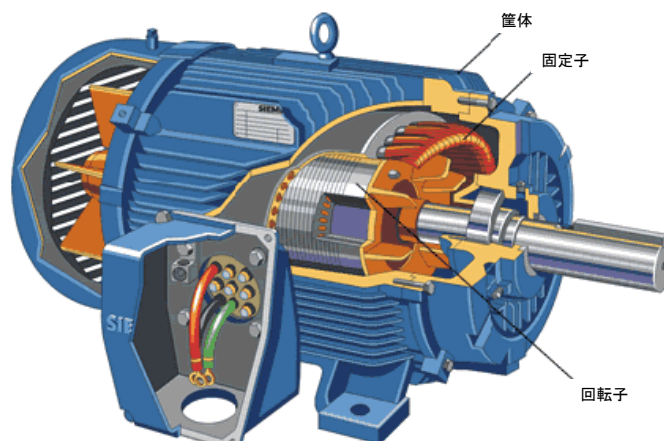
また、滑りによりトルクを得る原理上、速度制御は難しいという欠点があったが、近年のインバータの出現で容易にできるようになり、用途は大きく広がっている。種々の電動機の中でも安価で頑丈なため、最も広く利用されている電動機であり、汎用品の主要特性は世界中で標準化されている。



誘導電動機回転子



交流電動機の固定子



誘導電動機

(b) 巻線形誘導電動機

巻線形の構造は、かご形誘導電動機と回転子の構造が異なる。回転子鉄心のスロットに絶縁された三相巻線を施し、スリップリングを経てブラシによって外部に三相電流を導くような構造となっている。したがって、回転子の構造及び製作はかご形に比べてはるかに複雑となる。

しかし、この回転子を使用すれば、二次抵抗器を接続して始動電流を小さくし、始動トルクを大きくすることができるなど、特性を変化させることができる。また、速度制御が容易で、中形以上のポンプ用電動機として多く使用されている。

(c) 同期電動機

誘導電動機と同様に回転磁界を発生させる固定子巻線を持っている。また、回転子には直流電流を供給することでN、S極の磁極を作る界磁巻線を備えている。近年、回転子に永久磁石を用いるものが可変速電動機として普及してきており、永久磁石同期電動機（PMモータ）と呼ばれる。

特長としては、力率を調整できる、誘導電動機に比べて効率が高い、負荷によらず回転速度が一定、エアギャップが誘導電動機よりも大きいので保守が容易といった点が上げられる。一方、欠点としては、設備費が高くなる、始動トルクが小さい、乱調を起こすおそれがあるといった点がある。

高い効率と力率制御性能により高電力定格に用いられている。また、非常に精度の高い速度制御が要求される、鋼板製造ラインや新聞印刷用の輪転機等、特殊用途に使用されている。

(d) 整流子電動機

一次巻線を回転子側に設ける回転子給電形と固定子側に設ける固定子給電形がある。

ブラシを移動させることにより、二次側電圧を調整し速度制御を行うことができる。固定子給電形の場合は、二次励磁装置として誘導電圧調整器を用いている。

特長としては、効率・力率が良好、始動特性が良い、同期速度以上の運転が可能等の点があるが、ブラシと整流子の保守が必要である。