高効率モータの最新動向

株式会社東芝 産業電機システム技術部 吉 岡 由 行

Recent Trend of High Efficiency Motor

Yoshiyuki Yoshioka

Industrial Electric Systems Engineering Department, Toshiba Corporation

In the pulp and paper plant, each machinery equipment has been growing to improve the productivity and quality. In accordance with these improvement, the motive power of the equipment to operate these plant requires more and more motor quantity, and bigger and bigger motor capacity.

On the other hand, to protect the environment the saving energy are required for reducing the consumption of CO₂. Therefore high efficiency motor which has remarkable feature for these energy saving highlighted instead of general motors which are most widely used as motive power.

Since the guidance of energy saving law was published in Japan recently, a lot of modernization of process to reduce the energy loss has been studied in pulp and paper industry. From the high efficiency motor point of view, the authorities tends to publish "standardized high efficiency motor".

From these points, this paper introduces ;

- ・ The background that high efficiency motors are required.
- ・ The countermeasures to reduce the motor loss.
- ・ The characteristics and specification of high efficiency motor.

And this paper also introduces Permanent Magnet Motor (synchronous motor) as one example of high efficiency motor.

分類：U₂ 省エネルギー一般，U₇ 電気

1. はじめに

紙パルププラントの機器設備は、品質・生産性向上を目的に進歩を続けるなか、年々その規模が大型化されてきた。これに伴い、機器を駆動させるための動力応用設備も、広範囲なモータ容量にわたるとともに単機容量の増大やモータ台数の増加の傾向がある。

一方では、環境問題を背景とした原単価の軽減、省力化とともに、プラントの省エネルギー運転、運転経費節減といった要求が大きくなってきている。このた

め、動力源としてもっとも多く使われている汎用モータ（三相誘導電動機）に高効率モータを適用する気運が高まってきている。本稿では、三相誘導電動機についての高効率モータの特徴と動向を中心に述べる。また、高効率化の一端として永久磁石モータ（同期電動機）の概要を簡単に紹介する。

2. 高効率化の背景

昨今、地球温暖化や化石燃料枯渇の問題から省エネルギーに焦点が当てられるようになってきた。1997

年12月に京都で開催された地球温暖化防止会議における採択により、法的拘束力を持った、先進国の温室効果ガス抑制に向けた取り組みが本格的に実施されることになった。

これに先立ち、米国では、エネルギー政策法(EPAAct)が1997年10月より発効となり、全産業に対し米国内で販売用に製造されるモータの効率が規制され、効率基準を満たさないモータや、モータが組み込まれた製品が販売された場合にはペナルティーが課せられることになった。これは、米国外から輸入されるモータや、モータが組み込まれた製品も対象とされる。また、カナダにおいても同様の法律が1996年1月より既に施行されている。

一方、日本でも『エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネ法)』の施行規則及び告示が1997年2月に一部改正された。このなかで、「工場ごと又は事業者ごとにエネルギー消費原単位を年平均1%以上低減させる」との努力目標が設定され、全工場での自主的な省エネルギーの推進を図ることになった。製紙産業においても、製紙連合会から1997年1月に発表された「環境に関する自主行動計画」により、2010年に製品当たり購入エネルギーを1990年比で10%削減する指針が示された。今後、2000年までに高効率モータに関するJIS規格制定が、2005年以降は法的規制による特定機器指定の強化が計画されている。このような省エネルギーに関連した法制化、規格化への活発な動きがモータの高効率化が求められる大きな背景としてある。現在、日本では電力の約半分が産業分野で使用され、工場における電力量の約70%が生産用動力・空調用動力としてモータで消費されるといわれており、

高効率モータの省エネルギー効果が環境保全、電力の安定確保、経費節減の観点から注目されている。

3. 紙パルプ設備向モータ

パルプ製造、抄紙及び塗工仕上げ設備等の受配電設備容量の大部分が動力負荷、すなわちモータ負荷の総容量から決められている傾向にある。つまり、工場がもっている電源設備容量において、モータで消費されるエネルギーが極めて高い比率を占めているといえる。モータの総台数も数千台から、大型工場では1万台を超える規模ともなる。駆動設備は、数千kWの大容量からなるリファイナから中小容量のポンプ、ブローなどの補機モータ群がその中心を占めており、抄紙機などのセクショナルドライブ用モータ等を除き、そのほとんどが固定速運転の交流の汎用モータである。従って、これらの汎用モータに高効率モータを適用した場合の省エネルギー効果は極めて大きい。

補機モータ群の容量分布の一例を図1に紹介する。これは、当社がインドネシア某社の新設の製紙プラント向けに、調整・抄紙・仕上設備用に納入し、現在稼働中のものである。大型抄紙機において、セクショナルドライブを除いた補機モータ群のおおよその分布がこのグラフから判る。駆動容量ごとのモータ台数が特定できない特徴があり、広い範囲にわたるモータ容量が存在している。

この補機モータ群で駆動される機械負荷の省エネの技術動向を表1に示す。動力設備から見た補機モータの省エネ運転の手法としては、インバータによる可変速化とモータの高効率化という選択肢がある。

図1 某抄紙機向け補機交流電動機

表 1 機械負荷の省エネ技術動向

負荷特性	技術動向		得られるメリット
	将来の技術	現在の技術	
二乗負荷 ポンプ ブロー ファン	・ 交流電動機の固定速運転 ・ 流体継手 ・ バルブ又はダンパ	・ インバータ装置と交流電動機の組合せによる可変速運転 (低圧電動機, 高圧電動機とも) ・ バルブレス, ダンパレス ・ 高効率電動機の採用	・ 省エネルギー効果大 (運転経費節減) ・ 既設電動機の可変速化
摩擦負荷 リファイナ	・ 同期電動機または交流電動機の固定速運転	・ 交流可変速化の検討	・ 製品の品質向上 ・ 既設電動機の可変速化

4. モータの高効率化と特徴

モータは、電気エネルギーを機械エネルギーに変換するものであるが、その際に一部が熱エネルギーなどとしてモータ内部で消費される。この動力として使用されなかったエネルギーが損失である。効率を向上させるためには、この損失を低減させればよいことになる。すなわち、標準モータに対して、できるだけ発生損失を低減したものが高効率モータという位置づけになる。

当社の標準モータ（三相誘導電動機）に対する高効率化の手法や高効率モータの特徴などについて列挙する。

4.1 高効率化の手法

モータに発生する損失は、固定損、負荷損（銅損）及び漂遊負荷に大きく分けられる。図2に負荷率と損失についての関係を示す。

(1) 銅 損

固定子及び回転子導体に電流が流れることで、発生するジュール熱の損失であり、電流の2乗に比例する。

(2) 固 定 損

負荷率にはかかわらず、常に一定で無負荷時にも発生する鉄損と機械損である。鉄損は、固定子と回転子の鉄心に磁束が鎖交して発生するヒステリシス損とうず電流損である。機械損とは、軸受や冷却ファンによる摩擦損、風損である。

(3) 漂遊負荷損

固定損や銅損に含まれない損失であり、スロット漏れ磁束による固定子巻線に発生するうず電流損、空隙の高調波磁束による損失、回転子がスキューされたスロット漏れ磁束による鉄損などである。

モータの効率を向上させるためには、動力として基本となるトルク特性などを満足しつつ、上記の各損失

図 2 損失と負荷率

をバランスよく低減させることが必要である。図3に主な損失低減策を示す。

モータの全損失において約80%を占める銅損と鉄損を低減させることは、モータの高効率化にとって特に重要な課題であり、その技術的なポイントは、次の通りである。

①銅損の低減

固定子では、スロット内の巻線導体の占有面積を高くとる。導体の直径を大きくし、断面積を増加させ巻線抵抗を低くする。回転子側では、スロット形状の見直しにより、導体断面積を大きくとり、電流密度を低減させる。

②鉄損の低減

鉄心材料に損失が少ない電磁鋼板材を使うことにより、空隙の磁束密度を低減させる。

これらの損失低減策により設計、製造されたモータが高効率モータであり、定格出力における標準モータとの損失比較を図4に示す。モータの機種・容量にもよるが、標準モータに比べて平均20%（当社比）の

図3 損失低減策

図4 高効率モータ損失比較

損失低減が得られている。

4.2 高効率モータの省エネルギー効果

これらの高効率モータの枠番適用は、JIS・JEC規格に合致したものであり、モータ取付寸法は、標準モータと同一である。また、特に重要なトルク特性、力率をはじめ、電気的にも標準モータの諸特性を保ちな

がら、モータの高効率化を実現している。従って、あらゆる点で標準モータと互換性をもっていることから、高効率モータへの入れ替えが容易である。さらに、高効率モータを採用することにより次のようなメリットが得られる。

- ① 標準モータに対して効率が良い分、エネルギー消費が削減できる。
- ② ランニングコストが標準モータに比較して安くできる。
- ③ 運転時間が長い負荷ほど、その省エネルギーの効果が大きい。
- ④ 外扉ファンの小型化により、騒音も低減できる（機械損の低減）。

高効率モータの消費電力の削減によって得られる年間節電料金 S (円/年) を

$S = \text{標準モータと高効率モータとの入力差} (*) \times \text{電力量料金 (円/kWh)} \times \text{稼働時間 (h/年)}$

但し、 $*$ ；モータ定格 $\times (1/\text{標準モータの効率} - 1/\text{高効率モータの効率})$

により試算した結果を図5に示す。4極-200V（容

図 5 高効率モータの節電効果

量により 400 V) - 50 Hz - 100% 負荷にて、年間運転時間 5000 h、電力料金 16 円 / kWh と仮定した。通常、高効率モータ購入のイニシャルコストは高いが、この年間節電料金を充当することにより、短期間で償却することができる。経済性の分岐点となる高効率モータ購入価格の値増し分の回収期間 (年) は、

$$\{ \text{高効率モータ購入価格 (円)} - \text{標準モータ購入価格 (円)} \} / \text{年間節電料金 S (円/年)}$$

により計算できるが、下記はこの回収期間を試算した一例である。

4 P - 2.2 kW の標準モータを高効率モータに置き替えた場合、

節電効果；年間節電料金 = 6,500 (円/年) (当社比)

モータ値増し分の回収期間 = 0.7 年

試算条件；200 V - 50 Hz - 100% 負荷、年間運転時間 5,000 h、電力料金 16 円 / kWh

当社は、日本国内向けに、JIS 規格に適合した低圧高効率モータとして、全閉外扉形 0.75 ~ 132 kW (ゴールドモートル) をシリーズ化しており、表 2 にそのモータ仕様を示す。また、北米向け EPA 規格として NEMA 規格に対応した低圧高効率モータ (最大 200 HP) もシリーズ化した。さらに、高効率高圧モータのシリーズ化を計画中である。

5. 永久磁石同期電動機 (PM モータ) の概要

一般産業用の高効率モータのひとつとして、永久磁石同期電動機 (PM: Permanent Magnet モータ) が適用されはじめています。特に従来の表面型永久磁石電動機 (SPM: Surface Permanent Magnet モータ) に対してリラクタンストルクを併用できる埋込型永久磁石電動機 (IPM: Interior Permanent Magnet モータ) が注目されている。また、電気自動車や車輛用に高速

側の速度制御範囲を広げられる、リラクタンストルクを主体にした永久磁石リラクタンスマータ (PRM: Permanent magnet Reluctance Motor) が検討されている。ここでは、製紙産業においても注目されはじめています IPM モータについて紹介する。

IPM モータの構造の一例を図 6 に示す。動力設備として IPM モータを適用したときに、次のようなメリットがある。

- ①磁石トルクとリラクタンストルクの併用による高効率化が得られる
- ②効率・力率の向上によりモータ本体を小型・軽量化できる
- ③低慣性ロータによる加減速特性の改善ができる
- ④モータ電流値の低減により、モータの駆動装置であるインバータの小型化ができる

IPM モータのトルクは、固定子コイルと交わる磁束と固定子コイルに流れる電流との相互作用により発生する。固定子コイルと交わる磁束には、回転子の永久磁石による磁束とコイル自身の電流によって発生 (電機子反作用) する磁束の 2 種類がある。このような原理から、三相誘導電動機の二次銅損に相当する損失がなく、モータの一層の高効率化が得られる。当社 4 P - 100 kW の IPM モータを例にとると、標準モータにおける全損失の約 35% が IPM モータの適用によって低減され、力率も約 5% 向上する。また、モータの小型、軽量化の点でも標準モータに対し、モータ枠番が 2 つ下がり、質量も約 40% の減少となる。モータの高効率化という点では、前述した三相誘導電動機の高効率モータ以上の損失低減と高効率特性が実現できる。

しかし、一部の自己始動形 PM モータを除き、現段階で販売されている IPM モータは、起動時に同期を取るためにインバータなどのソフトスタート機能をもった専用のドライバが必要である。従って、特に可変速運転が適している負荷用途において、その高効率性が発揮されるものである。

当社は、この PM モータのニーズに対し、IPM モ

図 6 埋込型 IPM モータ構造

表 2 高効率モータ（ゴールドモートル）仕様

項目		仕様			
適用規格		JIS C 4004 JEC 37			
効率規定		効率値 37 kW 以下は日本電機工業会技術資料第 137 号の基準値 効率試験法 JIS C 4207 JEC 37 の円線図法			
枠番号適用		JIS フレーム			
定格電圧・周波数		37 kW 以下 200 V～50 Hz, 200/220 V-60 Hz 45～75 kW 200 V～50 Hz, 220 V-60 Hz 90 kW 以上 400 V～50 Hz, 440 V-60 Hz			
機種範囲		2 極・4 極・6 極 0.75～132 kW			
時間定格		連続			
外被構造		外被構造	保護方式	冷却方式	取付方式
		全閉外扉形	JP 44	JC 4	脚取付 IMB 3
					フランジ形軸下向取付 IMV 1
絶縁の種類		枠番号 112 M 以下 E 種絶縁 枠番号 132～180 M B 種絶縁 枠番号 180 L 以上 F 種絶縁			
回転方向		負荷側より見て反時計方向を標準とする			
周囲条件	冷媒温度	-20～40℃			
	湿度	100% 以下			
	標高	1,000 m 以下			
	ガス・蒸気	腐食性、および爆発性ガス、蒸気がないこと。			
端子箱		機種	取付位置		引込口方向
		脚取付	枠番号 80 M～225 M: 負荷側からみて左側		下向き (90℃ ステップ方向変更可能)
			枠番号 250 S 以上: フレーム上部		負荷側より見て左向き (右向可)
		フランジ取付	フレーム部		下向き (90℃ ステップ方向変更可能)
口出線		出力 (kW)	枠番号	口出端子数	接続方式
		3.7 以下	80 M～112 M	3	ネジ止端子台接続方式 (6 極-3.7 kW はスタッド式端子台)
		5.5 以上	132 S～160 L	6	スタッド式端子台接続方式 (スターデルタ始動可能)
			180 M 以上		リード線式圧着端子接続方式 (スターデルタ始動可能)

ータとインバータを組み合わせた高効率モータドライブシステムとして、出力 280 kW、回転数 $1,800 \text{ min}^{-1}$ まで適用範囲を広げている。

6. ま と め

本稿では、高効率モータが要求される背景、高効率化の動向や高効率モータの特徴について述べた。先進国の温室効果ガス抑制に向けた取り組みが本格的に実施されつつ、電力需要の抑制の動きもますます顕著になると考えられる。

省エネ法の一部改正により、工場において具体的な省エネルギーの推進を図ることが示され、更には、高効率モータの JIS 規格化が検討されている状況にある。産業分野において電力消費の大部分を占めるモータの高効率化への動きとともに、高効率モータの需要が今後も増えるであろう。

参 考 文 献

湯浅（東芝）他：紙パ技協誌 53（8）999「最近の紙パルププラントにおける交流電動機」紙パルプ技術協会 平成 10 年度年次大会（'98-10 月）