

高性能省エネルギーモータ “スーパーラインプレミアムシリーズSF-PR形”

長谷川裕之*
磯谷拓郎*
尾本雄亮*

High Performance and Energy Saving Induction Motor "Superline Premium Series SF-PR"

Hiroyuki Hasegawa, Takuro Isogai, Yusuke Omoto

要 旨

世界的に省エネルギー化への意識が高まる中、2008年10月に制定されたIEC (International Electrotechnical Commission) 60034-30によって三相モータの効率クラスが規格化され、各国で高効率モータ普及拡大のための法規制化が加速している。先行する米国では2010年12月から効率クラスIE3での法規制が開始され、日本国内でも「エネルギーの使用の合理化に関する法律施行令第21条第27号(以下“省エネ法”という。)」として、2015年度からトップランナ基準値(IE3相当)での法規制施行が2013年11月1日に経済産業省から告示された。このような要求に応えるため、三菱電機は高性能省エネルギーモータ“スーパーラインプレミアムシリーズ(以下“プレミアム効率モータ”という。)SF-PR形”を開発し、2013年4月に発売した。

一般的に、三相モータの損失を低減するには、磁路の確保や巻線抵抗の低減(巻線導体断面積増加)のためモータ体格は大きくなり、始動電流も大きくなる傾向にある。

プレミアム効率モータSF-PR形は、三相モータユーザーの市場ニーズに応えるため、取付寸法や保護装置の互換性を維持しつつ、モータの各損失を徹底的に低減することでIE3基準値を超える効率を実現し、1台のモータで国内省エネ法と米国EISA (Energy Independence and Security Act) 法の法規制に対応している。プレーキ付モータ“SF-PRB形”もラインアップに追加し、幅広い用途に対応した。

また、プレミアム効率モータSF-PR形を当社工場に導入し、ほぼ設計値どおりに消費電力量が12%削減することを確認した。

SuperLine
premium
スーパーラインプレミアムシリーズ

形名：SF-PR
出力：0.75～55kW
(6極は45kWまで)
極数：2, 4, 6極



高性能省エネルギーモータ “スーパーラインプレミアムシリーズSF-PR形”

当社独自の鋼板フレーム⁽¹⁾技術を採用し、徹底した低損失設計によって国内省エネ法及び米国EISA法の法規制に1台のモータで実現したプレミアム効率モータである。標準効率シリーズ“SF-JR形”と互換性のある取付寸法(枠番号の互換)を実現し、置き換えを考慮した特性(始動電流増大及びすべり減少を抑制)によって装置・設備はそのまま置き換えをスムーズに行える製品仕様である。

*名古屋製作所

1. ま え が き

世界の総発電量は約21.4兆kWh⁽²⁾で、産業用モータによる電力使用量は総発電量の46%⁽³⁾を占めていると言われている。近年の地球温暖化や将来予想されている化石燃料の枯渇に対して、モータ高効率化の更なる推進が喫緊の課題となっている。

このような状況下で、三相モータの効率基準値を国際的に統合し、標準化することを目的としてIEC 60034-30によって効率クラスが規格化された。あわせて、効率試験方法も国際的に統一化され、各国で法規制化が進んでいる。

日本国内でも省エネ法が施行され、2015年度からトップランナ基準値(IE3相当)で法規制されることを受け、プレミアム効率モータSF-PR形を開発・発売した。

プレミアム効率モータSF-PR形は、モータの各損失を徹底的に低減し、1台のモータで国内省エネ法と米国EISA法の法規制に対応し、取付寸法や保護装置の互換性を維持した製品である。ブレーキ付モータSF-PRB形もラインアップに追加し、幅広い用途に対応している。また、プレミアム効率モータSF-PR形を当社工場に導入し、ほぼ設計値どおりに消費電力量が12%削減することを確認した。

2. 高効率化の技術

2.1 損失分析

三相モータは、電気エネルギー(入力)を機械エネルギー(出力)に変換する機械であり、エネルギー変換の際、その一部が損失として三相モータ内部で消費される(図1)。

入力と出力の比を三相モータの効率 η で表し、損失が小さいほど効率 η が高く、モータの高効率化が実現可能である。

三相モータの発生損失は銅損(一次銅損及び二次銅損)、鉄損及びその他(機械損及び漂遊負荷損)に分けることができる。次に、損失低減について代表的な項目を述べる。

2.2 一次銅損低減

銅損とは、電気エネルギーが導体の電気抵抗によって熱エネルギーに変わる損失である。

特に一次銅損は巻線抵抗に大きく依存するため、スロット面積の拡大が有効であるが、一方で磁路を減少させることになる。

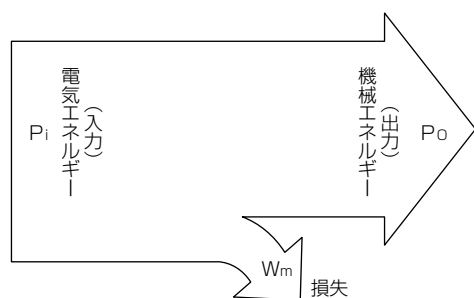


図1. 入出力と損失の関係

プレミアム効率モータSF-PR形では生産技術の革新によって、限られたスロット面積で巻線占積率の向上をさせることで、巻線導体断面積増加を達成し、一次銅損の低減を実現した。

2.3 二次銅損低減

二次銅損は、回転子導体の電気抵抗による損失であり、回転子溝形状に大きく依存する。回転子溝形状を大きくすることで二次銅損の低減を達成できるが、始動電流の増大とすべりの減少が懸念点となる。

プレミアム効率モータSF-PR形では回転子溝形状の最適化を実施し、始動電流の増大やすべりの減少を抑制しつつ、二次銅損の低減を実現した。

2.4 鉄損低減

鉄損とは、鉄心の磁場が変化することによって発生する損失で、ヒステリシス損と渦電流損がある。ヒステリシス損は、磁性体のヒステリシス減少によるもので、周波数及び磁束密度に依存する。渦電流損は、三相モータの鉄心で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。

鉄損は、低損失鉄心材料や最適なスロット形状の採用によって低減可能であるが、低損失鉄心材料は飽和磁束密度が低下する。

プレミアム効率モータSF-PR形では鉄心材料とスロット形状を最適化し、モータ全体としてバランスをとることで鉄損の低減を達成した。

2.5 機械損低減

銅損と鉄損の低減によってモータの温度上昇が低減するため、外扇ファンの小型化が可能となる。ただし、外扇ファンを小型化することはモータの温度上昇を増大させ、巻線抵抗を増加させることになる。

プレミアム効率モータではモータ全体のトータル損失が最小となる小型の外扇ファンを採用することで機械損の低減も実現した。

3. 製品の特長

先に述べた技術でIE3効率基準値より高いプレミアム効率モータSF-PR形を実現した。次にこの製品の特長について述べる。

3.1 幅広いラインアップ

プレミアム効率モータSF-PR形は、脚付・フランジ・屋外などをラインアップしており、新たにブレーキ付モータSF-PRB形も拡充した(図2)。ブレーキ付モータでは、非常停止などの制動目的や搬送装置などの保持目的で使用されており、より広い用途での省エネルギー化に貢献する。

3.2 4定格でのIE3効率実現

プレミアム効率モータSF-PR形では、損失を平均39%改善し、IE3効率基準値より高い効率を実現している(図

3、図4)。

これによって、国内省エネ法に対応した標準3定格と米国EISA法に適合した1定格の合計で4定格対応を実現している。

ここでの定格数は、モータ電源電圧と周波数の組合せ数を指し、プレミアム効率モータSF-PR形の定格名板を図5に示す。

3.3 取付寸法の互換性

当社は従来、三相モータの外装構造部材(フレーム)とし

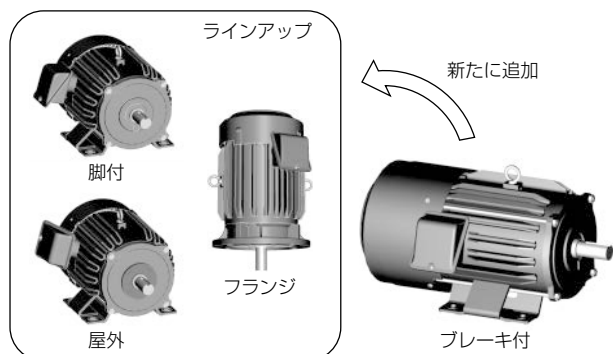


図2. 幅広いラインアップ

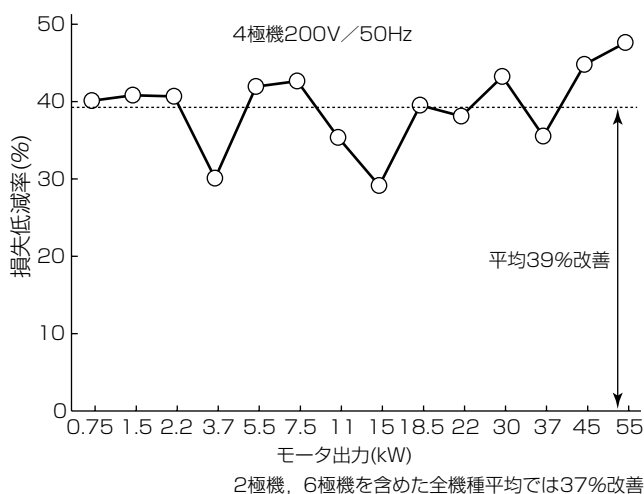


図3. 損失低減率(SF-JR形→SF-PR形)

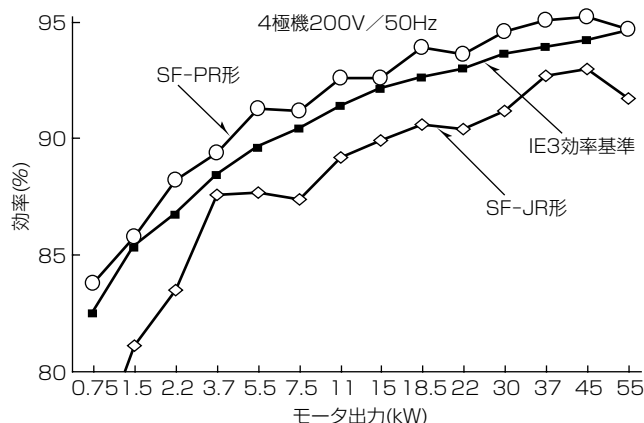


図4. 効率比較(SF-PR形, SF-JR形とIE3基準)

て、枠番号225Sまでの全機種に鋼板フレームを採用している(図6)。

一般に三相モータのトルクは、円筒形回転子の外径の2乗に比例し、回転子積層鉄心長に比例する。鋼板はアルミと比較して強度面で優れており、鋳物と比較して製造面でも優れているため、フレーム厚を薄くできる。その結果、回転子の外径を大きくすることができ、必要な積層鉄心長を短縮し、三相モータの小型化が可能となる。また、鋼板フレームに鉄鋼素材を採用することで磁性体となり、鋼板フレーム自体に磁気を通すことができ、高効率化に寄与できる。当社は、鋼板フレームの製造ラインとして、10台の多関節ロボットを配置する溶接セルを採用し、工程が複雑な鋼板フレームの生産性向上を実現している(図7)。

これらの取組みの結果、プレミアム効率モータSF-PR

MITSUBISHI ELECTRIC THREE PHASE INDUCTION MOTOR									
3.7kW 4 POLE TYPE SF-PR									
FRAME	112M	RATING	SI	AMB TEMP	40°C	INDOOR USE	TYPE		
Hz		50	60	60				60	
V		200	200	220				230	
A		15.4	14.4	13.6				13.6	
min ⁻¹		1450	1745	1755				1760	
RATED EFF.		89.2%	89.8%	90.7%				90.9%	
EFF. CLASS		IE3	IE3	IE3				IE3	
JEC-2137-2000						IP44	IC411		
NOM. EFF.	89.5%(50Hz 230V)						TH. CLASS	120(E)	
	C0012A S9374PRO1						BEARING	6207ZZ 6206ZZ	
SERIAL	111111112						DATE	2013-4	
							MASS	39kg	
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION						MADE IN JAPAN 966787-21 984202-01			

国内向け標準3定格

米国向け1定格

図5. SF-PR形の定格名板

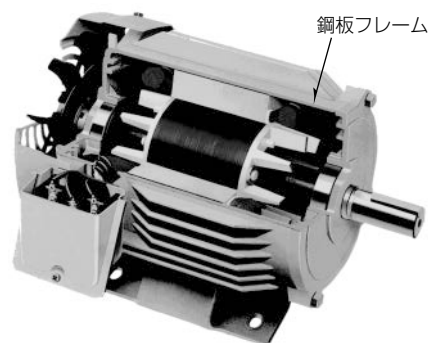


図6. 三相モータの構造



図7. 鋼板フレームの製造ライン

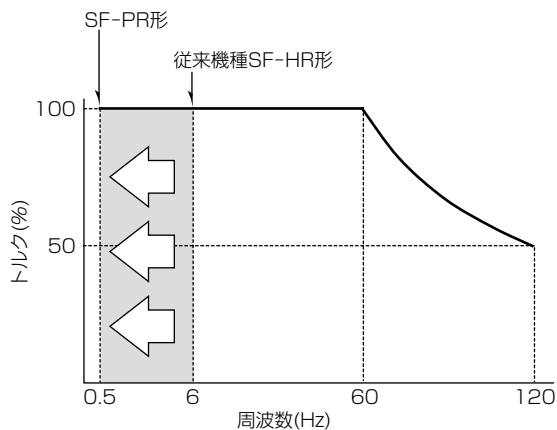


図 8. 定トルク連続運転範囲の拡大

形でも、業界最小級の全長を実現している。

3.4 保護装置の互換性

一般的に三相モータの高効率化によって始動電流が増加する傾向にあり、標準効率モータからプレミアム効率モータへの更新時に保護装置の変更が必要となる場合がある。

プレミアム効率モータSF-PR形では、始動電流抑制の回転子溝形状を採用しているため、保護協調部品の当社製ブレーカとの組合せで、標準効率の三相モータと同一容量を選定することができ、保護装置を変更することなく既設の標準効率モータSF-JR形からプレミアム効率モータSF-PR形への更新を可能としている。

3.5 インバータ駆動定トルク連続運転範囲の拡大

三相モータをインバータで低速運転するとき、冷却能力が低下するため、従来高効率モータ“SF-JR形”の定トルク連続運転範囲は1：10（6～60Hz）であった。プレミアム効率モータSF-PR形では定格速度における温度上昇が低減されているため、当社製インバータのアドバンスド磁束ベクトル制御との組合せによって1：120（0.5～60Hz）での定トルク連続運転範囲を拡大、広範囲の変速運転を可能としている（図8）。

4. 導入事例

当社名古屋製作所新城工場での導入事例として、三相モータの巻線製造ラインに使用している油圧ユニット巻線装置を図9に示す。この装置には、当社標準効率モータSF-JR形が2台搭載されていたが、そのうち1台をプレミアム効率モータSF-PR形へ置き換えて効果を検証した。

装置Aに搭載してある三相モータが当社標準シリーズSF-JR形であり、装置Bに搭載したのがプレミアム効率シリーズSF-PR形である。装置Aと装置Bの負荷仕様は同一である。

1日の消費電力量は、標準効率モータSF-JR形からプレミアム効率SF-PR形への置き換えて設計値の10%削減（13.73kWh→12.37kWh）に対し、実測でもほぼ同等の12%削減



図 9. 油圧ユニット巻線装置

表 1. 油圧ユニット巻線装置の仕様比較

	装置A	装置B
シリーズ	標準効率	プレミアム効率
形名	SF-JR	SF-PR
出力・極数・電圧	5.5kW 4P 200V	
周波数	60Hz（商用駆動）	
重負荷運転（0.5Hr/日）	消費電力量（設計）1.96kWh 消費電力量（実測）2.00kWh	1.84kWh 1.87kWh
軽負荷運転（8.75Hr/日）	消費電力量（設計）11.78kWh 消費電力量（実測）12.14kWh	10.53kWh 10.56kWh
1日の消費電力量（設計）	13.73kWh	12.37kWh
1日の消費電力量（実測）	14.14kWh	12.43kWh

・稼働日数：250日/年
・CO₂排出量：0.555kg/kWh
・杉の木のCO₂吸収量：14kg/年

＜この装置を10台置き換えた場合＞

年間の消費電力量削減 4,300kWh/年 → CO₂排出量の削減 2.4t/年 → 杉の木に換算 172本/年

減（14.14kWh→12.43kWh）していることを確認した。

この装置を10台置き換えた場合のCO₂排出量は2.4t/年削減となり、省エネルギー化へ大きく貢献する（表1）。

5. む す び

国際的な環境意識の高まりから、モータの高効率化・省エネルギー化が求められる時代となっている。特に三相モータについては、先行する米国の法規制化に日本・欧州・韓国・中国も追随しており、今後、その他の国でも法規制化が進むことが予測される。グローバル化に対応したモータの高効率化・省エネルギー化が持続的に求められる社会に対して、引き続き貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 倉田裕次：高効率モータ，三菱電機技報，75，No.4，273～276（2001）
- (2) International Energy Agency：Key World Energy STATICS 2012
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes.pdf>
- (3) MOTOR SUMMIT 2012
<http://www.eceee.org/events/calendar/2012/motor-summit-2012/detailed-program-motor-summit-2012/>