

高圧PMモータの開発

🔌 省エネ、高圧、PMモータ、同期電動機、インバータ

* 庄司 豊 Yutaka Shoji

** 中島満浩 Mitsuhiro Nakashima

*** 石井亮太 Ryota Ishii

**** 黒住省吾 Shogo Kurozumi

概要

環境問題・省エネへの関心の高まりにより、高圧電動機の可変速運転化や電動機の更なる高効率化のニーズが高まっている。

当社は、高圧誘導電動機を高圧インバータ^{サイフレック} THYFREC VT730S（以下、VT730S）で駆動するシステムによる省エネを提案してきたが、更なる高効率システムを実現するために、永久磁石を使用することで高効率化を可能にする高圧の永久磁石式同期電動機（Permanent Magnet Type Synchronous Motor、以下PMモータ）を開発した。

駆動装置の高圧インバータには、従来製品であるVT730SにPMモータ駆動技術を搭載した。



高圧PMモータ（左）とTHYFREC VT730S（右）

1. ま え が き

環境問題・省エネへの関心の高まりにより、高圧電動機の可変速化のニーズが高まっている。

高圧電動機の可変速分野で当社は1979年に出力側にトランスを設置し高圧電動機をドライブする^{サイフレック} THYFREC V1000を発売し、2005年からセル多重方式の直接高圧形インバータを発売している。

以降、様々な業種のお客様に対して高圧誘導電動機（IM：Induction Motor）の可変速化による省エネシステムをご提案・納入してきた。また、電動機分野では、永久磁石を使用した低圧の永久磁石式同期電動機（Permanent Magnet Type Synchronous Motor、以下PMモータ）により、高効率を実現し省エネに貢献してきた。

更なる効率向上・省エネ効果を得るために、

永久磁石を使用した高圧PMモータを開発した。ドライブ装置として、高圧PMモータを駆動する機能を既存製品であるTHYFREC VT730S（以下、VT730S）に搭載した。

本稿では高圧PMモータと駆動用の高圧インバータを紹介する。

2. P M モ ー タ

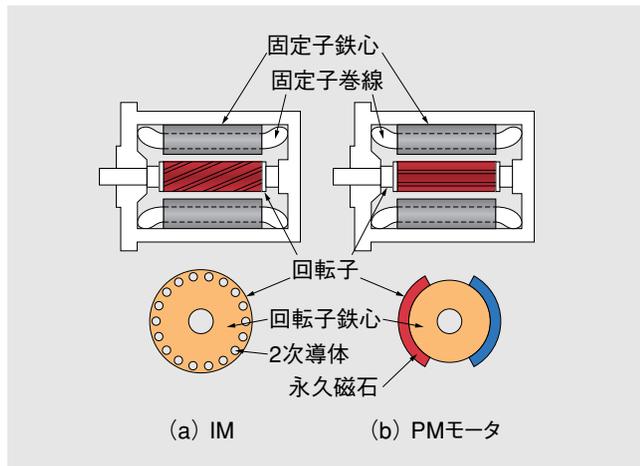
2.1 PMモータの効率

IMは2次導体に誘導による電流を流し磁界を発生させるのに対し、PMモータは回転子に永久磁石を使用することで、2次銅損が無くなる。第1図にIMとPMモータの構造比較を示す。固定子の基本構造は同じで、回転子の構造が異なる。

第2図にIMとPMモータの損失内訳を示す。IMに比べ損失を大幅に低減することができるため、

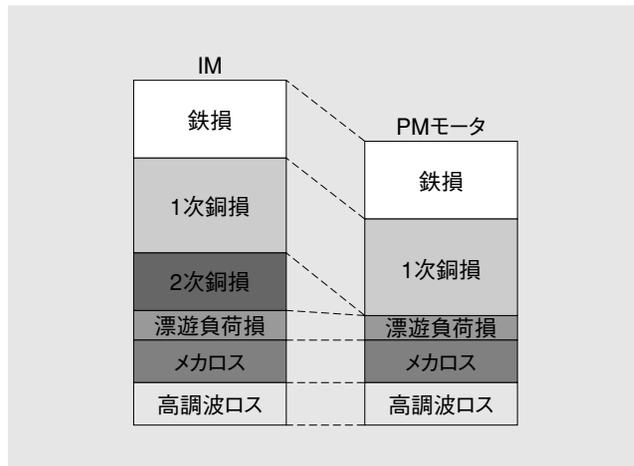
*MEIDEN HANGZHOU DRIVE SYSTEMS CO., LTD. (MHD) **水環境事業部営業技術部

回転機システム工場 *製品開発部



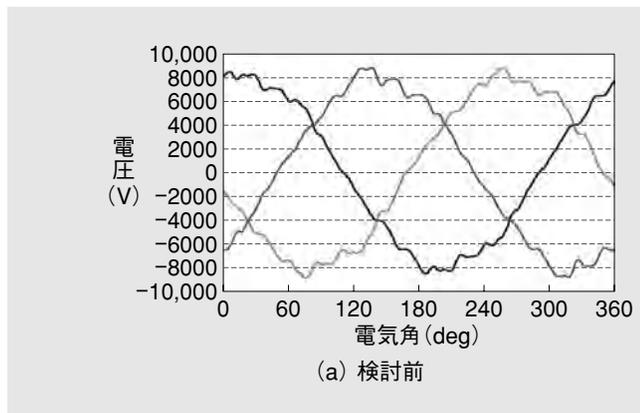
第1図 IMとPMモータの構造比較

固定子の構造はほぼ同じで、回転子の構造が異なる。



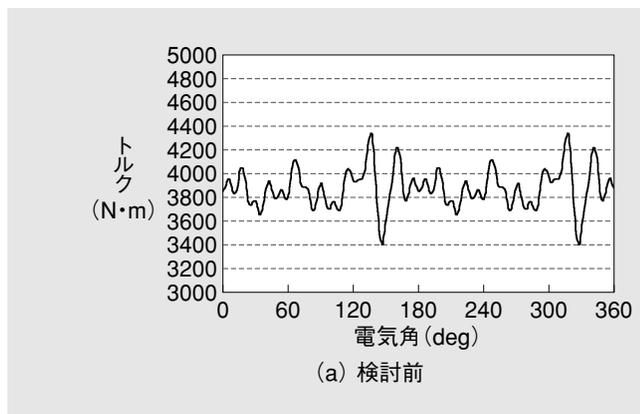
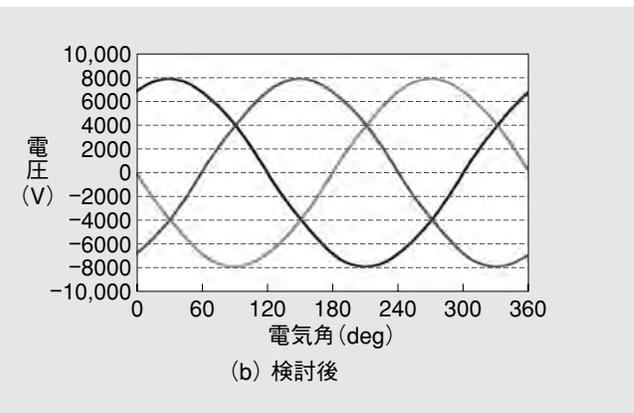
第2図 IMとPMモータの損失比較

PMモータは2次銅損がない分、損失が小さくなる。



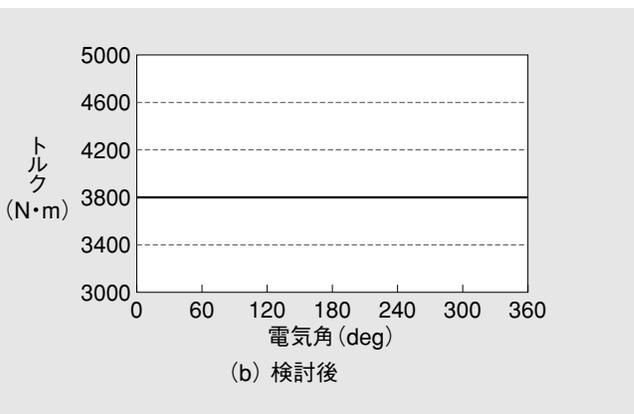
第3図 負荷時電圧波形

最適化検討前と検討後の負荷時電圧波形を示す。



第4図 トルク波形

最適化検討前と検討後のトルク波形を示す。



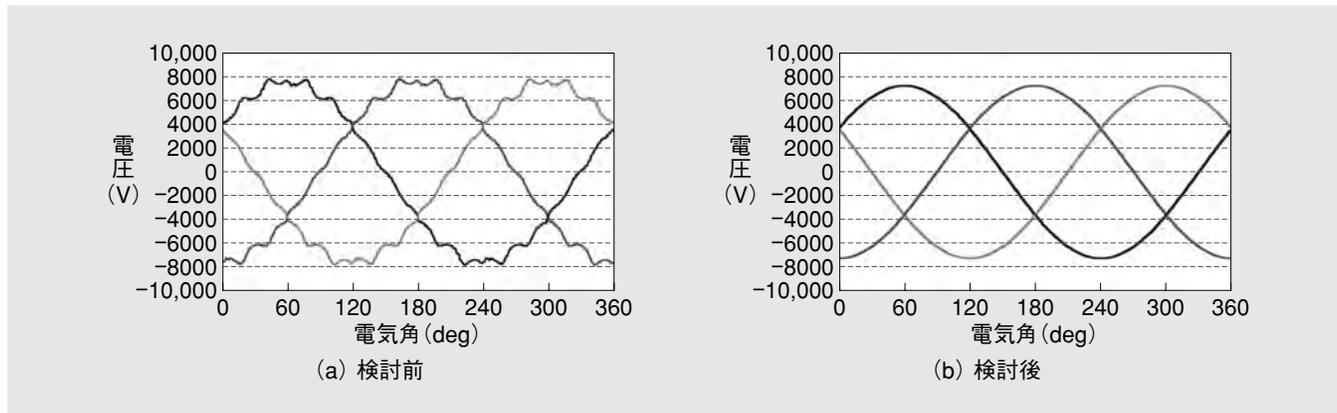
2~4%の効率向上が見込まれる。

2.2 低トルクリプル・低コギングトルク

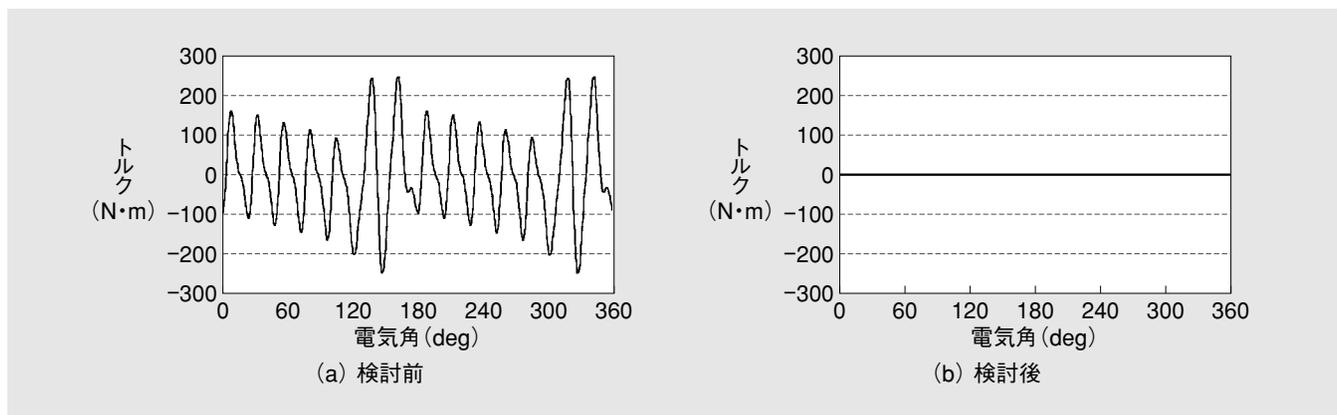
IMをPMモータに置き換えるには、機械的問題点(騒音・振動)を考慮する必要がある。固定子の固有振動周波数とトルクリプル・コギングトルクが一致した場合に、騒音・振動の増大が懸念される。

対策として電磁界解析シミュレーションによって磁石の形状・配置方法を最適化することで、トルクリプル・コギングトルクを低減することができる。

第3図~第6図に最適化検討による効果を示す。トルクリプル・コギングトルクが、磁石最適化により小さい値に低減されている。



第5図 無負荷誘起電圧波形
最適化検討前と検討後の無負荷誘起電圧波形を示す。



第6図 コギングトルク波形
最適化検討前と検討後のコギングトルク波形を示す。

第1表 VT730S定格事項

VT730Sの定格事項を示す。適応電動機容量は4極IMを基準としており、参考値となる。

系列	3kV系						6kV系						
形式	VT730S-□	235L	335L	475L	950L	1250L	330H	500H	710H	1000H	1500H	2000H	2500H
標準過負荷	定格容量 (kVA)	300	450	600	1200	1500	400	570	850	1200	1800	2400	3000
	定格電流 (A)	58	80	111	213	266	39	58	80	111	167	213	266
	適用モータ (kW)	235	335	475	950	1250	330	500	710	1000	1500	2000	2500
	過負荷耐量	120%・1分											
重過負荷	定格容量 (kVA)	270	370	500	970	1200	310	500	700	900	1500	1900	2400
	定格電流 (A)	46	64	88	170	212	31	46	64	88	133	170	212
	適用モータ (kW)	190	270	380	750	950	250	390	560	750	1200	1570	2000
	過負荷耐量	150%・1分											
電源	主回路	3000/3300V ±10% 50/60Hz ±5%					6000/6600V ±10% 50/60Hz ±5%						
	制御回路	200V ±10% 50/60Hz ±5% 又は 220V ±10% 60Hz ±5% (400Vはオプション)											

3. 高圧インバータ

3.1 高圧インバータ仕様

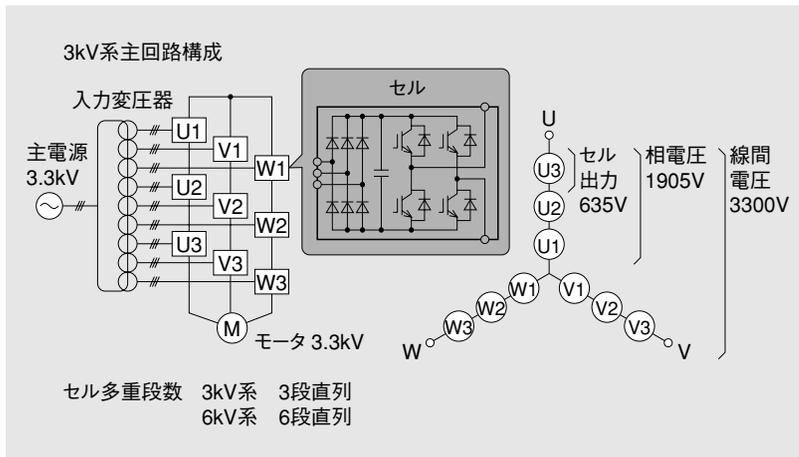
当社製品のIEC対応高圧インバータであるVT730SにPMモータ制御機能を搭載した。

第1表に主な定格事項を示す。定格事項の適用

電動機の数値については、出力電圧が3300V・6600Vの際の当社標準4極かご形三相誘導電動機の値を参考に記載している。高圧PMモータはIMに比べ効率が良いので、同じインバータ形式でもより大きい軸出力を得ることが可能であり、高圧PMモータを導入する際の大きなメリットである。

3.2 主回路構成

高圧インバータVT730Sはセル多重方式を採用している。第7図に主回路構成を示す。入力変圧器で高圧電源を受け、変圧器2次側は3kV系は9回路、6kV系は18回路となる。セルユニット1台当たりの電圧を635Vとし、スター結線することで3kV系の場合、線間電圧3300V（6kV系は6600V）を得ることができる。PMモータが空転している場合は誘起電圧が発生するが、セル多重方式の特長を生かした始動方法により、端子間にかかるサージ電圧を抑制する機能を搭載している。



第7図 主回路構成
VT730Sの主回路構成を示す。

3.3 PMモータ制御機能

従来のIMを制御することができるプログラムに対し、制御プログラムの開発・変更のみでPMモータを制御することを可能とした。またPMモータの制御は、モータ回転数のフィードバック信号を必要としないセンサレス制御方式を採用し、回転検出器を必要としないため、システムを簡略化することができる。

4. 検証試験

4.1 検証用電動機仕様

ポンプ駆動用電動機として、同一定格のIMとPMモータを検証機用に製作した。第2表に検証機の仕様を示す。今回の検証目的はPMモータとIMの効率比較を行うとともに、ポンプ組み合わせ時における問題点の確認である。よって、電動機の枠番（体格）は同一とした条件で効率の比較を行った。

4.2 効率実測結果

社内試験設備でモータ効率を実測し設計値との比較を行うことで、設計手法の妥当性を確認するとともに、インバータと組み合わせた場合のIMとPMモータの効率を比較した。第8図にIM検証試験の効率データ、第9図にPMモータ検証試験の効率データグラフを示す。

当社の高圧インバータとの組み合わせによるシステム効率では、世界最高レベルの高効率システムを実現できることを確認した。

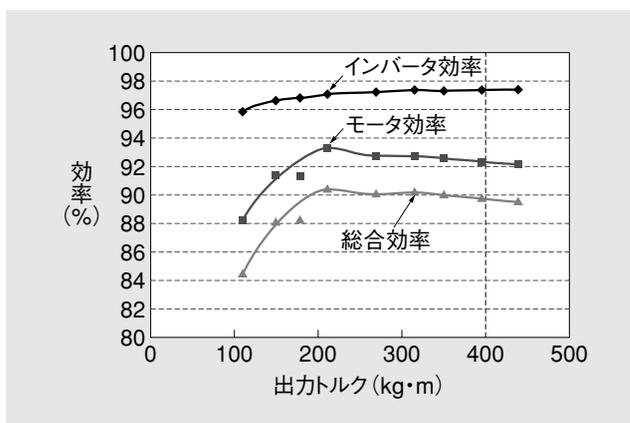
4.3 ポンプ組合試験及び評価方法

ポンプメーカーの協力を得て、ポンプとの組合試

第2表 検証用電動機仕様

検証用IM及びPMモータの仕様を示す。

種類	立軸IM	立軸PMモータ
定格出力	240kW	240kW
電圧	6kV	6kV
極数	10極	10極
保護形式	防滴保護 (IP22)	防滴保護 (IP22)
耐熱クラス	155 (F)	155 (F)
冷却方式	自由通風形 (IC01)	自由通風形 (IC01)
枠番	400LM	400LM
駆動方式	VVVF	VVVF
定格回転数	585min ⁻¹	585min ⁻¹

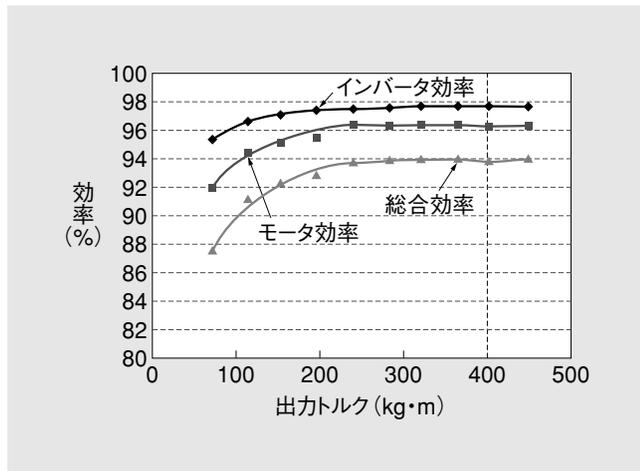


第8図 効率グラフ (IM)

モータ・インバータ・総合効率を示す。

験により、IMからPMモータに置き換えても問題ないことを確認した。

ポンプ試験はJIS B 8301「遠心ポンプ、斜流ポンプ及び軸流ポンプ—試験方法」を参考に行い、PMモータとIMの試験結果が、上記規格の等級2以上の測定値の不確かさ（測定誤差）許容幅を満たしたことによって、実運用上問題ないと判断した。



第9図 効率グラフ (PMモータ)
モータ・インバータ・総合効率を示す。検証機において、PMモータはIMに比べ約4%効率が高いことを確認した。

5. む す び

当社が開発中の高圧PMモータ及びPMモータ制御機能搭載高圧インバータを紹介した。当社社内試験で電動機単体の性能を確認し、設計手法の妥当性を検証した。ポンプ組合試験を行い、IMをPMモータに置き換えることによる機械的な問題点がないことを確認した。

一般的に定速運転の設備にインバータを導入し可変速化することで、省エネを実現することが可能である。さらに電動機をPMモータにすることで、大幅なシステム効率向上を実現できることを確認した。

今後は、世界最高レベルのシステム効率をお客様にご提案し、省エネに貢献していく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



庄司 豊 Yutaka Shoji
可変速装置のエンジニアリングに従事



中島満浩 Mitsuhiro Nakashima
水・環境分野のエンジニアリングに従事



石井亮太 Ryota Ishii
回転機的设计・開発に従事



黒住省吾 Shogo Kurozumi
可変速装置の開発に従事