

用途指向形モータの技術変遷と期待される 次世代技術

用途指向形次世代モータ調査専門委員会編

目		次	
1. 総論	03	4. 実用化が期待される可変磁力モータ	36
1.1 はじめに	03	4.1 まえがき	36
1.2 用途指向形リラクタンストルク応用電動機	03	4.2 磁石磁力可変	36
1.3 用途指向形次世代モータへの展望	03	4.3 巻線切替	41
2. 実用化技術に見る用途指向形モータの技術変遷	05	4.4 ハイブリッド界磁	42
2.1 まえがき	05	4.5 その他の可変磁束モータ	47
2.2 エアコン	05	4.6 あとがき	49
2.3 自動車	09	5. 用途指向形次世代モータを支える	
2.4 洗濯機	14	磁性材料とインバータ技術	51
2.5 掃除機	17	5.1 まえがき	51
2.6 あとがき	19	5.2 永久磁石材料	51
3. 実用化が期待される省・脱レアアースモータ	21	5.3 電磁鋼板	54
3.1 まえがき	21	5.4 SMC	56
3.2 フェライト磁石モータ	21	5.5 軟磁性材料の鉄損測定評価技術	58
3.3 スイッチトリラクタンスモータおよび		5.6 パワーデバイスのインバータへの適用	60
発電機	30	5.7 あとがき	62
3.4 実用化事例	32	6. おわりに	64
3.5 あとがき	34		

用途指向形次世代モータ調査専門委員会委員

委員長 小坂 卓(名古屋工業大学)
幹事 榎本 裕治(日立製作所)
幹事 吉川 祐一(パナソニック)
幹事補佐 加納 善明(国立高専機構豊田高専)
委員 浅野 能成(ダイキン工業)
石原 千生(日立化成)
磯部 真一(三菱重工業)
植竹 昭仁(日本電産)
岡村 賢樹(トヨタ自動車)
川副 洋介(安川電機)
佐藤 恭一(横浜国立大学)
下垣 好文(ローム)
下村 昭二(芝浦工業大学)
大穀 晃裕(三菱電機)
千葉 明(東京工業大学)
鳥羽 章夫(富士電機)

委員 百目鬼 英雄(東京都市大学)
中井 英雄(豊田中央研究所)
梨木 政行(名古屋大学)
西山 典禎(パナソニック)
初田 匡行(日産自動車)
樋口 剛(長崎大学)
松井 信行(中部大学)
丸川 泰弘(日立金属)
望月 資康(東芝産業機器システム)
森本 茂雄(大阪府立大学)
森本 雅之(東海大学)
山本 恵一(本田技術研究所)
米田 真(オリエンタルモータ)
和嶋 潔(新日鐵住金)
清田 恭平(東京工業大学)
大山 和伸(ダイキン工業)

主な
協力者
途中退任
委員

1. 総論

1.1 はじめに

1995 年度電気関係学会東海支部でのシンポジウム「SI. 用途志向形電動機の開発と現状」の全体概論によれば、用途指向形モータ(Application-Specific Electric Motors : ASEM)とは、「モータの構造や機構そのものを変えて、機械あるいは機構の要求性能を実現させるいわば“ハード”的なアプローチの考え方に基づいたモータ」と定義されている⁽¹⁾。そこでは、誘導モータを用いた電動機一体型ピストンポンプや鉄道車両駆動用車輪一体形電動機、相反モータを用いた電気自動車駆動用モータ、表面磁石形同期モータ(SPMSM)を用いた HDD 用モータ、ビデオカメラ用ブラシレス DC モータ、誘導子歯を持つ HD リニアモータを用いた搬送用大推力・医用小形リニアモータがその具体例として紹介されている。

先のシンポジウムから 20 年という年月の間、用途指向形モータは多岐にわたる用途で量産され、設計・製造・制御技術、各種材料技術の革新によって、有史 100 年以上のモータの歴史の中でも飛躍的な速度で性能改善が進められてきた。その主役は、リラクタンストルク応用電動機であり、語弊を恐れずに言えば、埋込磁石形同期モータ(IPMSM)といっても過言ではない。20 年の間の技術変遷は、1994 年から 2012 年まで用途指向形モータとリラクタンストルク応用電動機をキーワードとする調査専門委員会の調査活動をまとめた技術報告に、その詳細を見ることができる⁽²⁾⁻⁽⁸⁾。

本技術報告では、歴代委員会の活動を受け、成熟期を迎えつつある用途指向形モータの課題を抽出し、それを克服するための設計・製造・制御技術、各種材料技術、次世代のモータ像を模索調査することを目的として設置された「用途指向形次世代モータ調査専門委員会」(2012 年 10 月~2014 年 9 月)での調査内容について報告する。

1.2 用途指向形リラクタンストルク応用電動機

量産を前提とする汎用モータではない用途指向形モータにおいて、設計・製造・制御技術、各種材料技術の飛躍的な革新を牽引したのは、特定用途単体でモータが量産される用途、具体的にはエアコン用途、自動車用途である。加えて、ユーザーの製品に対する訴求ポイントから用途指向性の高いモータが求められた用途、具体例としては掃除機や洗濯機である。前述のように、これらの用途で主役を担ってきたのは、誘導モータではなく、IPMSM である。界磁励磁源として励磁損を伴わない永久磁石、特に高エネルギー積のネオジウム系焼結磁石による小型軽量、高効率といった電磁的な素性の良さはもとより、IPMSM が主役を担ったその他の特筆すべき理由は以下である。

(1) 高い性能設計自由度

SPMSM はマグネットトルクに依存するため、低速域での高トルク化と低中速-軽負荷域での銅損低減による

高効率化設計、高速域での出力範囲拡大ならびに弱め磁束電流低減と低鉄損化による高効率化設計が二律背反設計となるが、IPMSM はリラクタンストルクを併用して、二律背反を克服して多様な動作点でバランスの取れた性能設計が可能

(2) 高い形状設計自由度

高速モータあるいは多極大径モータなどロータ周速の速いモータでも SUS 管不要で高速回転化可能で、高占積率集中巻線線の採用による短胴型から長胴型、あるいはアキシアルギャップ形による超扁平形状に至る多様な形状設計が可能

しかしながら、ネオジウム系焼結磁石に採用される Dy (ジスプロシウム)などの価格高騰・供給不安といった外因、成熟期を迎えて更なる小型軽量・高効率化など大幅な性能改善の困難さから、IPMSM の課題が浮き彫りになりつつある。

1.3 用途指向形次世代モータへの展望

用途指向形モータとしての持続的な発展、更なる大幅な性能改善を実現する次世代モータのキーワードは、省・脱レアアース、可変磁力と考えられる。

省・脱レアアース化の取り組みは、図 1.1 に示すように IPMSM ベースで粒界拡散磁石による省 Dy 化が進められ、磁石組成の最適化や製造プロセスの改善による低 Dy 材など磁石材料自身の取り組みが進む。他方、洗練された設計・製造・制御・材料技術を導入したフェライト磁石モータへの回帰、スイッチトリラクタンストルクモータなど適用モータ種そのもの見直しなど、用途指向形モータとして実用化あるいは実用化が期待できる研究開発が進められている。

一方、リラクタンストルクを積極的に利用する IPMSM といえども、永久磁石による固定界磁源がその根底にあり、高速回転化の進むエアコン、自動車用途、脱水時の高速回転

	1996年	2001年	2007年	2009年
ロータ構造				
磁石重量	1 (基準)	0.9	1.1	1.3
重希土類[wt%]	6%	6% 以上	6% 以上	2~3%
重希土類重量	1 (基準)	1.2	1.6	0.7

重希土類の増加に歯止めを掛けた。

図 1.1 エアコン用 IPMSM の重希土類使用量の変遷

Fig.1.1. Trend in the weight of heavy rare earth elements of the compressor motor

出典：浅野能成，吉川祐一：「実用化技術に見る用途指向形モータの技術変遷①-エアコン・掃除機-」，平成 26 年産業応用部門大会，Vol.III, No. S4-2, pp.III-29-34, (2014)