

用途指向形次世代モータの 高性能化技術動向

用途指向形次世代モータの高性能化技術動向調査専門委員会編

(発行日 2023年12月7日)

目 次

1. 総論	03	5. 用途指向形次世代モータ高性能化のための磁性材料適用技術動向	38
1.1 はじめに	03	5.1 まえがき	38
1.2 用途指向形モータの出力密度向上の動向	03	5.2 磁性材料の解析評価技術の進化と応用例	38
1.3 用途指向形モータの高性能化の動向	03	5.3 ハード磁性材料	39
2. 高速化による小型・軽量・高効率化に関する最新技術動向	05	5.4 ソフト磁性材料	42
2.1 まえがき	05	5.5 あとがき	46
2.2 固定子側の施策	05	6. 支援要素技術	48
2.3 回転子側の施策	08	6.1 まえがき	48
2.4 総合的な設計例	13	6.2 解析技術	48
2.5 あとがき	14	6.3 計測技術	49
3. 機電一体による小型・軽量・高効率化に関する最新技術動向	16	6.4 巻線・絶縁技術	53
3.1 まえがき	16	6.5 ワイドバンドギャップパワーデバイスの適用	55
3.2 機電一体モータの分類	16	6.6 あとがき	56
3.3 機電一体の研究開発の最新動向	16	7. おわりに	58
3.4 機電一体の実用化動向	19		
3.5 あとがき	22		
4. 新しいトポロジーの適用による小型・軽量・高効率化に関する最新技術動向	24		
4.1 まえがき	24		
4.2 可変磁力モータの最新動向	24		
4.3 多重多相モータの最新動向	31		
4.4 磁気ギア・磁気ギアードモータの最新動向	34		
4.5 あとがき	36		

用途指向形次世代モータの高性能化技術動向 調査専門委員会委員

委員長 浅野 能成(ダイキン工業)
幹事 川副 洋介(安川電機)
幹事 高畑 良一(日立製作所)
幹事補佐 戸成 辰也(ダイキン工業)
委員 新 政憲(中央大学)
石原 千生(日立化成)
伊東 悠太(本田技術研究所)
宇賀治 元(パナソニック)
内山 翔(明電舎)
榎本 裕治(日立製作所)
大久保 智幸(JFEスチール)
加納 善明(大同大学)
清田 恭平(東京工業大学)
古賀 誉大(アンシス・ジャパン)
小坂 卓(名古屋工業大学)
齋藤 達哉(住友電気工業)
佐々木 健介(日産自動車)
真田 雅之(大阪府立大学)
清水 修(東京大学)
下垣 好文(エクセディ)

委員 下村 昭二(芝浦工業大学)
百目鬼 英雄(東京都市大学)
鳥羽 章夫(富士電機)
中神 孝志(三菱重工)
西山 典禎(パナソニック)
堀 充孝(日本電磁測器)
丸川 泰弘(日立金属)
宮路 剛(アイシン・エイ・ダブリュ)
深山 義浩(三菱電機)
森本 雅之(東海大学)
藪見 崇生(ダイドー電子)
山田 英治(トヨタ自動車)
山本 雄司(東芝産業機器システム)
横井 裕一(長崎大学)
和嶋 潔(日本製鉄)
途中退任
委員 植竹 昭人(日本電産)
加藤 崇(日産自動車)
高橋 友哉(デンソー)
千葉 明(東京工業大学)

1. 総論

1.1 はじめに

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⁾。当初は、誘導モータを用いた電動機一体型ピストンポンプや表面磁石形同期モータ (SPMSM) を用いた HDD 用モータなど、産業機器や家電用途を対象に開発が行われた。現在では、埋込磁石形同期モータ (IPMSM) は高効率モータの代名詞のようにになっている。近年では、2015 年からの「トップランナー規制」の産業用モータへの適用、2017 年前後から各国において EV 化を急速に進める宣言がされ、さらに近年では、多くの国が、温室効果ガスの排出量を大幅に削減またはゼロにする目標を掲げる等、さらなる電動化、また、モータの低損失化が求められている。一方で、自動車のみならず、航空機やドローン、宇宙用途にまでモータの適用が始まることで、より軽量のモータが求められるようになってきている。

電気学会の調査専門委員会では、1994年から2012年の間、リラクタンストルク応用電動機と用途指向形をキーワードとする技術調査を行った。技術報告にはこれらの技術開発の変遷と詳細内容がまとめられている^{(2)~(8)}。さらに2012年から2014年に設置された「用途指向形次世代モータ調査専門委員会」では特にレアアース供給リスクへの迅速な対応につ⁽⁹⁾、2014年から2016年に設置された「用途指向形次世代モータと支援要素技術調査専門委員会」では次世代モータの課題を克服するために、モータの設計技術に加え、評価・解析、製造、材料・周辺部品などモータを支える要素技術について調査された⁽¹⁰⁾。また、2016年から2019年にかけて設置された「用途指向形次世代モータの技術動向調査専門委員会」では用途指向形次世代モータのさらなる進化と機電一体化技術動向に関する報告を行った⁽¹¹⁾。これらを受けて、2019年から、「用途指向形次世代モータの高性能化技術動向調査専門委員会」を設置し、小型・高効率化の動向と、それを支える新しいモータ構造・コンセプト、磁性材料等の開発動向、さらに、モータシステム全体の性能向上に向けての研究開発動向について調査を行っている。本報告書では、これらの調査活動の成果について報告する。

1.2 用途指向形モータの出力密度向上の動向

近年、用途指向形モータとして発展がめざましいのが、電動車両用モータである。また、平成24年9月25日に設立された高効率モーター用磁性材料技術研究組合 (MagHEM) では、電動車両用モータをターゲットとして、最大エネルギー積 2 倍 (180°C) を目標とした永久磁石の開発と、それを搭載したモータにおいて、エネルギー損失 40% 削減、パワー密度 40% 向上を目標として取り組まれている

(12)。図 1.1 に、歴代のトヨタプリウスの走行用モータ、そして、MagHEM の目標値を目指したモータの設計例の、出力密度、トルク密度、力密度の推移を、図 1.2 には、それぞれの回転速度と出力密度の関係を示す^{(13) (14) (15)}。

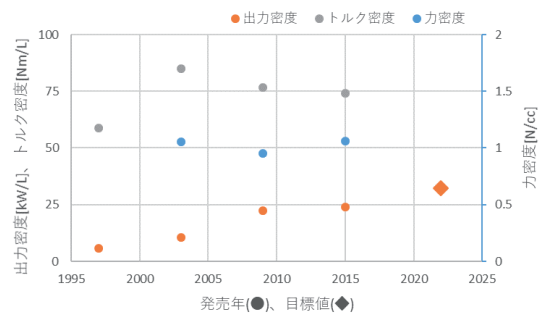


図 1.1 HEV 用モータの出力密度、トルク密度、力密度の推移
Fig. 1.1 Transition in power density, torque density, and force density of HEV motors

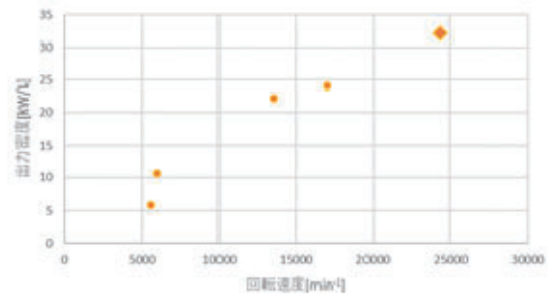


図 1.2 HEV 用モータの回転速度と出力密度の関係
Fig. 1.2 Correlation between rotation speed and power density of HEV motors

図より、第 1 世代プリウス(1997年)に比べて第 4 世代プリウス(2015年)では、出力密度が約 4 倍となっており、これは、回転速度が約 3 倍となっていることからみられるように、小型高速化したことによるものが大きい。その他、巻線の高占積率化やロータ形状によるものもある。一方で、トルク密度や力密度はほぼ横ばいである。力密度限界値 1N/cc については、文献⁽¹⁶⁾にて、①鉄心の飽和磁化②電機子巻線の占積率③電機子巻線の電流密度が前提であるとしている。②③については、特に自動車用途では対策がされているが最終的に①が限界値を制約していると考えしている。

1.3 用途指向形モータの高性能化の動向

前章で紹介した小型高速化には、低鉄損軟磁性材料や高性能磁石、巻線技術等、様々な技術の進歩が寄与している。また、用途によっては、幅広い運転領域が必要でありながら、部分負荷の効率が重視される用途も多い。このような用途に、可変磁力モータ等が研究されているが、インバータの工夫も商品化されている。ルームエアコンでは、低速では Y 結線、高速では Δ 結線と切り替えることにより、中間効率向上とハイパワー運転を両立する Y-Δ 結線切換え⁽¹⁷⁾