



アキシアルギャップモータと圧粉磁心によるサステナビリティ社会への貢献

Contributing to a Sustainable Society with Axial Gap Motors and Soft Magnetic Composites

齋藤 達哉*
Tatsuya Saito

和泉谷 洸輔
Kosuke Izumiya

平尾 祐樹
Yuki Hirao

榎園 勇太
Yuta Enokizono

栄田 壮亮
Masaaki Eida

上野 友之
Tomoyuki Ueno

サステナビリティ社会の実現に向け、圧粉磁心とそれを採用したアキシアルギャップモータ（AGM）を開発した。圧粉磁心の製造過程におけるCO₂排出量は電磁鋼板に対し約1/4と試算され、更に、モータステータを粉碎して得られた粉末を圧粉磁心の原料として再利用する水平リサイクル技術を開発、リサイクル前後での磁気特性変化がほとんどないことを実証した。また、駆動モータを想定した75kW級では出力密度12.6 kW/kgのAGMを設計し、圧粉磁心とAGMが高出力密度化による部材使用量削減に有効であることを示すとともに、20kW級では製造時のCO₂排出量が低いフェライト磁石を採用したAGMにて、Nd焼結磁石を採用したラジアルギャップモータと同体格・同出力・高効率を実証した。

We have developed soft magnetic composites (SMCs) and an axial gap motor (AGM) utilizing SMCs to contribute to the advancement of a sustainable society. The estimated CO₂ emissions from SMC manufacturing are approximately one-quarter of those produced during magnetic steel sheet manufacturing. Additionally, we have developed a recycling technology that allows for the reuse of powdered motor stator as raw material for SMCs while demonstrating consistent magnetic properties before and after recycling. Furthermore, our innovative design of a 75 kW-class AGM with a power density of 12.6 kW/kg illustrates the effectiveness of SMCs and AGM in reducing material usage. Finally, we have confirmed that our 20 kW-class AGM, which incorporates low CO₂ emission ferrite magnets, matches the size, power, and efficiency of a radial gap motor utilizing Nd sintered magnets.

キーワード：アキシアル、圧粉磁心、薄型・高トルク、サステナブル、リサイクル

1. 緒言

モータは、電気エネルギーを駆動力に高効率に変換可能な機器であり、その需要は増加の一途を辿っている。今日では総電力消費量の半分以上を各種モータが占めるに至っており⁽¹⁾、また、様々なアプリケーションへの搭載が進んでいることから、モータの高効率化と小型／軽量化に向けた研究開発が多くなされている。それに加え近年では、使用時に留まらず製造過程も含めた環境負荷低減や資源調達も考慮した部材の選定が求められている。モータにおいても、その需要増加に伴い構成部材である磁石や銅線、鉄心材料（電磁鋼板）の供給課題が生じており、環境負荷への配慮も踏まえたサステナブルな材料利用を実現する観点から、各部材のリサイクルニーズも高まっている。

これまでに当社では、モータ用鉄心材料（以下、モータコア）として高性能な圧粉磁心とその造形技術・周辺技術を開発し、圧粉磁心の特長が活かせるアキシアルギャップモータ（以下、AGM）へ適用することで扁平モータの高性能化を実証してきた^{(2),(3)}。そして、トルク向上に貢献する両ツバ付圧粉磁心の成形技術を確認したことで空気清浄機向けモータコアとして23年6月より量産納入を開始した^{(4)~(7)}。更に、コイル占積率やコイル放熱性を向上しトルク向上に大きく貢献する極薄・高耐圧の絶縁塗装処理をした圧粉磁

心を24年7月より量産納入を開始した⁽⁸⁾（図1）。

また、圧粉磁心を活かしたAGMを活用してサステナブル社会の実現に貢献すべく、圧粉磁心のラインナップ拡充や環境負荷・リサイクル性の評価を推進している。加えて、当社開発技術を活かすことにより、低環境負荷かつ入手性に優れ資源リスクの低い部材を用いて市販品と同等体格・高効率な駆動モータを実証した。また、幅広い業界で手軽にAGMの活用検討を後押しすべくトライアルモータのラインナップを整えている。本稿では、これら当社最新の取り組みについて報告する。

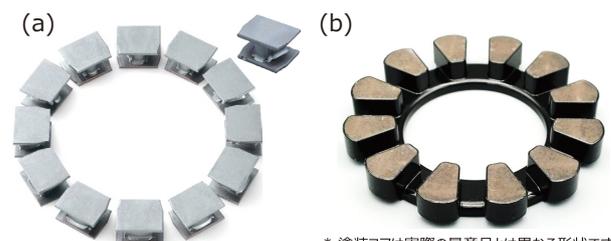


図1 量産開始したアキシアルギャップモータコア
(a) 両ツバ一体コア、(b) 極薄絶縁塗装コア

2. 圧粉磁心の最新開発状況

2-1 材料ラインナップ拡充

ラインナップ拡充のコンセプトイメージを図2に示す。モータ高性能化において、モータコアには一般的に高磁束密度・低鉄損が求められるため、従来よりも磁気特性の優れた材料開発を進めた。一方、これまでのモータ設計から得た知見より、AGMのトルク特性に対しモータコアの透磁率の影響が小さい場合もあり⁽⁹⁾、従来からラインナップされている圧粉磁心でモータ設計した場合に上記観点から十分すぎる材料特性であるケースもあった。工業製品である以上、ニーズにマッチしたコストパフォーマンスの実現が重要であるため、様々な要求仕様に適した材料提案を可能とするため、従来よりも性能・コストのバランスが取れた材料やコスト重視の材料開発も進めた。現時点でラインナップしている材料グレードの特性一覧を表1に示す。2016年より電磁気解析ソフトJMAGには解析用材料データを登録しており、今回新たに開発した材料のデータについては2025年1月のアップデート版より搭載されている。

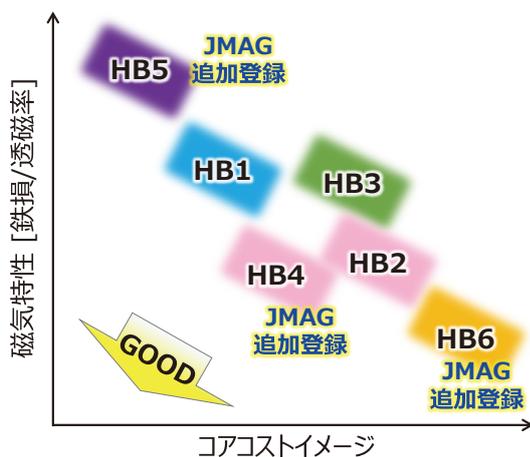


図2 圧粉磁心の材料ラインナップ拡充イメージ

表1 当社圧粉磁心の磁気特性

グレード名	保磁力 (A/m)	磁束密度 (T)			コアロス (W/kg)			
		B _{2kA/m}	B _{4kA/m}	B _{20kA/m}	B _m = 1.0 T		B _m = 1.5 T	
					400 Hz	1 kHz	400 Hz	1 kHz
HB1 Standard	227	1.07	1.33	1.80	43.9	125.7	85.3	247.0
HB2 Low loss	107	1.02	1.28	1.76	29.7	93.5	59.7	190.5
HB3 High μ	227	1.15	1.37	1.80	44.6	128.3	89.0	259.5
HB4 Low loss	139	0.88	1.27	1.84	31.7	93.2	63.7	190.2
HB5 Cost performance	270	0.60	0.95	1.67	53.3	140.0	98.5	258.4
HB6 Lower loss	123	1.10	1.34	1.79	25.9	72.9	53.2	149.5
電磁鋼板 実測値 (35A360)	50	1.45	1.57	1.90	30.0	132.9	66.1	288.5

2-2 圧粉磁心のLCA貢献

サステナブル社会の実現に向け、モータ使用時の消費電力抑制だけでなく、モータ製造時におけるCO₂排出量の削減やモータ寿命後のリサイクル性も重要である(図3)。はじめに、圧粉磁心の製造過程におけるCO₂排出量を評価した。算出対象は、原材料である絶縁被覆鉄粉の製造工程、ならびに同鉄粉の圧縮成形と成形体の熱処理・後加工、出荷までの工程である。その結果、圧粉磁心として完成するまでのCO₂排出量は0.92-0.95 kgCO₂/kgであり⁽¹⁰⁾、図4に示すとおり、そのほとんどを原料鉄粉の製造工程が占めている。一方、現在モータコアとして広く使われている電磁鋼板は1.8-3.7 kgCO₂/kgとの報告もあり⁽¹¹⁾、その後の打抜き・積層・熱処理工程におけるCO₂排出量も考慮する必要がある。一般的に電磁鋼板は鉄鉱石を原料に高炉で製造される一方、圧粉磁心の原料鉄粉の多くはスクラップ鉄を原料として電炉から製造されるため、電磁鋼板と比べて製造過程におけるCO₂排出量を抑制することが可能である。

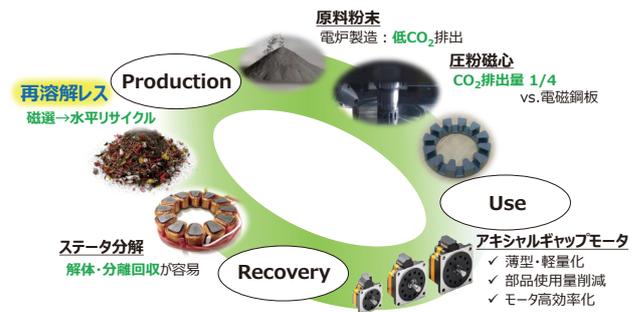


図3 サステナブル社会への圧粉磁心の貢献イメージ



* 関西電力の電力原単位を使用。なお、記載値は当社保証値ではございません。

図4 圧粉磁心の製造過程におけるCO₂排出量⁽¹⁰⁾

次に、圧粉磁心を水平リサイクル可能にする技術開発について述べる。当社が提案するリサイクル工程を図5に示す。圧粉磁心を含むステータを粉砕機に投入し、得られた粉砕物を篩分法等にて材質別に選別して圧粉磁心の粉砕粉(以下、リサイクル粉)を取り出した。これら粉末に潤滑剤を少量混合したうえで、通常圧粉磁心製造プロセス同様に圧縮成形→熱処理を行った。粉砕後に得られた粉末は新品粉と同等の粉末粒径であり、コイルやモールド樹脂を備

えた状態で粉砕した場合でも篩分のみで鉄粉とコイル・樹脂を概ね選別可能であった。更に、ステータにおけるコア以外の構成部品は非磁性であるため、磁選により鉄粉をより高精度に分離することも可能である。得られたリサイクル粉を用いて製作した圧粉磁心の磁気特性を図6に示す。リサイクル前の圧粉磁心の製造プロセスや新品粉の粒度分布・絶縁被膜を工夫することにより、リサイクル工程による絶縁被膜損傷が抑制され、リサイクル前後での鉄損増加を大幅に抑制することが可能となった。また、テストピース（リング形状）だけでなく、製品コア形状でも同様にリサイクル前後での鉄損増加が抑制可能であることを確認した（図7）。本結果はリサイクル粉のみで圧粉磁心を製作した結果であるが、新品粉とリサイクル粉を混合して用いることで新品の圧粉磁心との特性差がより小さくなることから、社会実装がスムーズに進展するものと考えられる。

比較例として電磁鋼板からなるステータを粉砕した場合の結果を図5に示す。コイルと電磁鋼板が複雑に絡み合った状態であり、其々を分離することが極めて困難である。鉄の精錬において銅はトランプエレメントであり、一旦鉄中に銅が溶解すると経済的な方法での除去が困難となるため⁽¹²⁾、電磁鋼板を用いたモータをリサイクルする場合は材料分別の負荷が極めて高い作業が必要という課題がある。一方、当社が開発したリサイクル対応圧粉磁心では、圧粉磁心を含むステータを一般的な粉砕機に通すだけであり、また粉砕後に得られた鉄粉に対し再び絶縁被覆する工程も



図5 検討した圧粉磁心のリサイクルプロセス

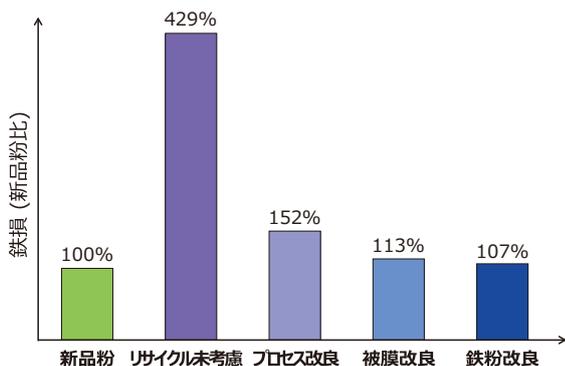


図6 開発リサイクル原料からなる圧粉磁心の特性

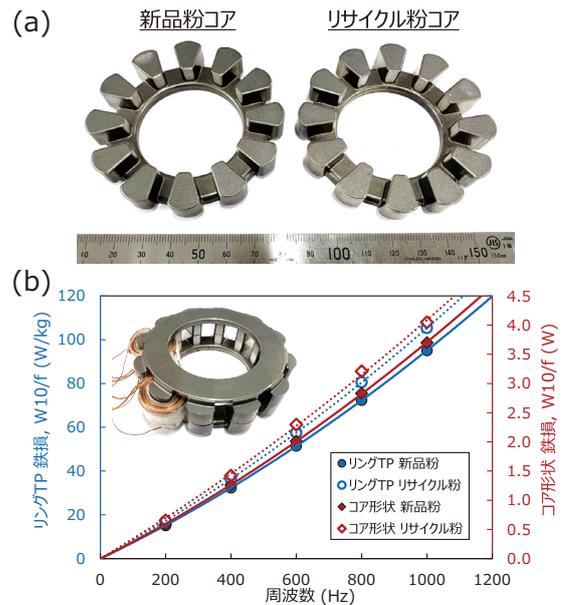


図7 新品粉とリサイクル粉のコア形状での特性比較

不要であり、リサイクル工程におけるCO₂排出量も少ない。リサイクル粉を用いた圧粉磁心のCO₂排出量は概算で0.18 kgCO₂/kgと極めて少ない値となる。

以上より、圧粉磁心はサステナブル社会の実現に大きく貢献できる材料と言える。

3. 圧粉磁心適用アキシシャルギャップモータ

本章ではモータ設計・評価事例から、圧粉磁心を適用したAGMがモータ設計の自由度を広げ、サステナブル社会の実現に貢献可能な材料であることを紹介する。

3-1 高出力密度モータ

近年AGMが注目されている理由の1つとして、扁平モータにおける高出力密度化に適していることが挙げられる。ラジアルギャップモータ（以下、RGM）に比べ、モータのトルクに寄与するステータとロータの対向面積を扁平形状において確保しやすく、上記対向面積を確保するうえで有利に働く。特に、コア形状がシンプルで電磁鋼板でも製造しやすいYASA社⁽¹³⁾に代表されるダブルロータ型が採用されるケースが多い。一方、機械構造の設計や放熱性等の観点ではダブルステータ型が優位である。しかし、両構造のどちらが高出力密度化に適しているかを比較検討した例はほとんどないため、同一仕様で最適設計を行い、どちらの構造が高出力密度化に優位であるかの検討を行った⁽¹⁴⁾。

表2、図8に設計仕様と諸元を示す。同一体格・出力の制約の下でダブルロータ型とダブルステータ型の高出力密度化を追求したモータ設計を行い、それぞれの出力密度を比較した。なお、前提条件として、モータトルクを大きく左右する磁石重量は両モータで同じとした。図9にそれぞれ

表2 高出力密度モータの設計諸元

最大出力	75 kW
最大トルク	143 Nm
最高回転数	10000 rpm
基底回転数	5000 rpm
DCバス電圧	550 V
最大インバータ電流	153.2 Arms
軸長	46.5 mm
外径	224.8 mm

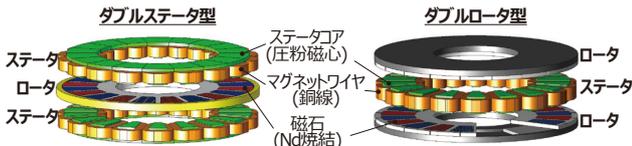


図8 高出力密度モータの構造

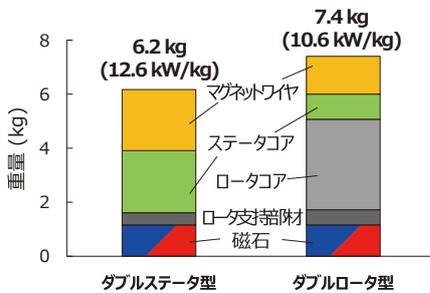


図9 設計高出力密度モータの重量

の設計モータの重量を示す。ダブルステータ型の方がダブルロータ型に比べて17%軽量であることから、電磁気部分の出力密度で比較するとダブルステータ型は12.6 kW/kgと非常に高い値を得ているのに対して、ダブルロータ型は10.6 kW/kgに留まっている。更に、主要駆動点で効率を比較した結果を図10に示しており、常用点に近い基底速度・軽負荷運転域ではダブルロータ型が効率優位である一方、ダブルステータ型は最大トルク点や最高回転数・最大出力点でより高効率である。ダブルロータ型が常用域で効率優位であるのは、ステータコア重量がダブルステータ型に比べ少なく、損失に対し鉄損の占める割合が多い同領域において鉄損が小さく出来るためである。

ここで、ダブルロータ型はステータとモータハウジングの接触面積が少ないため冷却の難易度が高い一方、ダブルステータ型は両ステータコアがモータハウジングに広く接触した構造を採れるため、モータ構成部材の中で最も温度上昇するコイルについては、ダブルステータ型はダブルロータ型に比べ冷却しやすい。加えて、ダブルステータ型は高出力域で高効率であるため定格運転領域が広くなり、より簡素な冷却システムで成立する可能性がある。したがって、

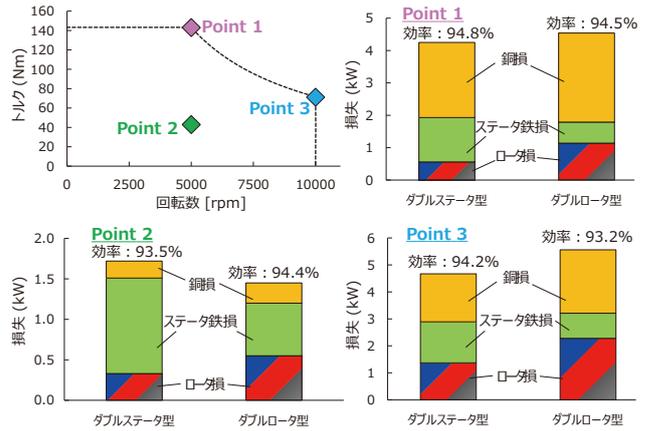


図10 高出力密度モータの各駆動点での損失と効率

冷却システムも含めたモータユニット全体の重量で考えた場合、ダブルステータ型の出力密度の優位性が更に増すと期待される。現時点では電磁気解析の検証のみだが、今後実機評価を行い、熱特性も含めた検証を行う計画である。

3-2 部材入手性に優れたモータ設計

前節では出力密度を追求した例を示したが、本節ではAGMの優位性を活かし、市販車の駆動用RGMと同体格なモータを、より資源リスクを低減して入手性に優れた部材を使用し、低環境負荷の材料で実現した例を紹介する^{(15),(16)}。

ベンチマークのRGM、およびAGMの構造・諸元をそれぞれ表3に示す。RGMは高磁力である一方高価で資源リスクがあるNd焼結磁石と高占積率化が可能な平角線を採用しているのに対し、AGMは低磁力であるが安価で資源リスクが少ないフェライト磁石と入手性に優れた丸線を採用した。AGMの使用部材は一般的には出力向上に対して不利な部材構成であるが、当社が開発したツバ付コアを採用しているため、ベンチマークのRGMと同じ体格で同等出力を実現できた。図11にそれぞれのモータの効率マップを示す。設計AGMは高周波で低鉄損な圧粉磁心やフェラ

表3 市販車駆動モータと設計モータの諸元

模式図	RGM	AGM
極数/スロット数	12極18スロット	16極18スロット
ステータコア	電磁鋼板	圧粉磁心(HB2)
マグネットワイヤ	平角線	銅丸線
磁石	Nd焼結磁石	フェライト磁石
ロータコア	電磁鋼板	-
最大出力	22 kW	75 kW
最大トルク	160 Nm	143 Nm
最高回転数	6800 rpm	10000 rpm
DCバス電圧	173 V	550 V
最大インバータ電流	220 Arms	153.2 Arms
外径	262 mm	224.8 mm
軸長	79 mm	46.5 mm

イト磁石、巻線渦損を抑制しやすい丸線の採用により、高速回転域を含む広範囲にわたり高い効率を得られている。また、AGMの実機評価結果を図12に示す。トルク特性やモータ効率は概ね設計どおりの特性が得られることを実証した。

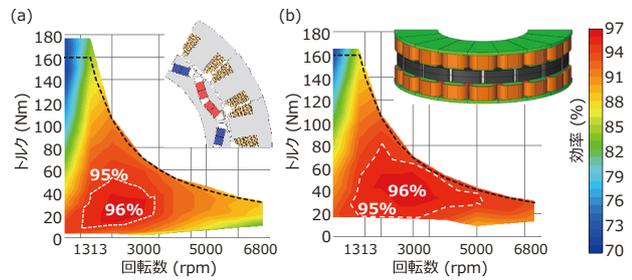


図11 (a) 市販車駆動モータ、および (b) 設計モータの効率マップ

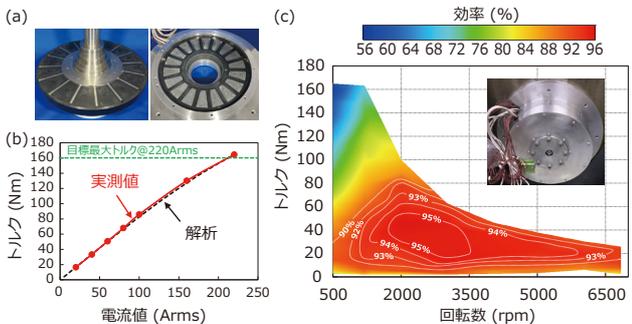


図12 (a) 駆動モータ用 AGM 試作機、AGM 試作機の (b) トルク特性、(c) 効率マップ

AGMは前述の特徴からインバータのスイッチングリプルの影響も受けづらく、高調波によるモータ効率低下を抑えられる。この影響まで考慮したモータ効率、ならびに自動車の実走行に近い各走行モードの使用時間配分で構成したWLTCモードで燃費を評価した結果を図13に示す。設計AGMは高調波による効率低下がベンチマークのRGMよりも小さく、WLTCモードでは総損失量が約16%少ない。

このように、モータ使用時の消費電力抑制、すなわちCO₂排出量削減にも繋がる点に加え、今回設計したAGMは製造時のCO₂排出量削減も期待される。表4に各モータの製造過程におけるCO₂排出量を算出した結果を示す。前述のとおり電磁鋼板に対して圧粉磁心の方がCO₂排出量削減に有効であるが、フェライト磁石もNd焼結磁石に比べ製造過程におけるCO₂排出量が著しく小さい。その結果、モータとして約50%のCO₂排出量削減に繋がり、リサイクル対応した圧粉磁心を採用した場合は57%の削減となる。これらの結果からAGMと圧粉磁心がサステナブル社会の実現に貢献する技術・材料であると言える。

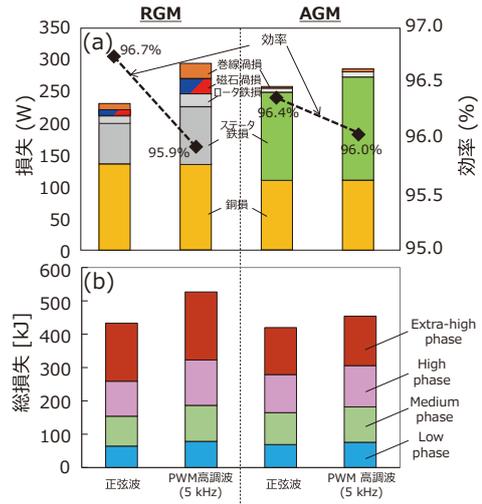


図13 (a) 高調波重畳有無での損失および効率比較 (解析、2000rpm/33Nm) (b) WLTCモードでの各モータの総損失 (解析)

表4 RGMとAGMの製造時のCO₂排出量^{(10)、(11)、(17)}

	RGM			AGM				
	材料	CO ₂ 排出係数 (kgCO ₂ /kg)	重量 (kg)	CO ₂ 排出量 (kg)	材料	CO ₂ 排出係数 (kgCO ₂ /kg)	重量 (kg)	CO ₂ 排出量 (kg)
コア	電磁鋼板	3.7	9.2	34.0	圧粉磁心	0.95 (0.18)	7.2	6.8 (1.4)
マグネットワイヤ	平角線	5.3	3.5	18.6	丸線	5.3	4.9	26.1
磁石	Nd焼結	27.4	0.9	24.8	フェライト	2.0	3.0	6.0
合計	-	-	13.6	77.4	-	-	15.1	39.0 (33.6)

* 括弧内はリサイクル原料からなる圧粉磁心を採用した場合の数値

4. アキシシャルギャップモータ普及への取組

これまで圧粉磁心を搭載したAGMが高出力密度化に加えサステナブル社会の実現に有効であることを示してきた。一方、AGMが社会実装された事例は未だ限定的であり、更なる普及に向け、当社では開発障壁と推測される3Dの電磁気解析支援などに取り組んできた。最近では、モータ開発者が手軽にAGM試作検討出来るように、当社が独自開発したAGM用の金型成形コアの提供を開始した(表5)。

表5 供試可能なAGM用の金型成形コア

出カイメージ	100 W	200 W	400 W	600 W
形状				
寸法 (mm)	Φ42-57-9 t	Φ49-57-9.9 t	Φ71-45-13.6 t	Φ75-42-10.5 t
高さMAX (mm)	15 t	16.5 t	16.7 t	18.7 t
巻線外径 (mm)	Φ49	Φ54	Φ78	Φ85
出カイメージ	1,000 W	1,000 W	1,200 W	
形状				
寸法 (mm)	Φ82-45-15.6 t	Φ98-41-17.8 t	Φ98-41-17.8 t	
高さMAX (mm)	※15.6 tのみ	20 t	※17.8 tのみ	
巻線外径 (mm)	Φ90	Φ110	Φ110/Φ41	

※1 記載出力はダブルスター/Nd焼結磁石でのイメージ値
 ※2 モータ構造・磁石材質・コア高さ・モータ仕様(回転数など)により調整可能

更に、AGMに興味を持つモータ開発者やモータ利用者にAGMの活用を簡便に検討して貰うことを目的に、AGMのトライアルモデルを開発した。比較的扁平で市販されているRGMに対して同じ枠番・出力で約半分の薄さの実現を目指した。従来は電磁気部分のみでRGMとAGMが比較される例が多かったが、本トライアルモデルではモータ構造全体で小型化の追求や放熱性まで考慮した設計を行い⁽¹⁸⁾、これらを実現すべく開発した絶縁塗装技術や独自形状を有するコアの採用により、**図14**および**図15**に示すような体格・出力を実機評価で実証した。上記の開発を通じ、モータ視点でAGMの課題を把握することで当社からの提案力を高め、AGMと圧粉磁心の社会実装の普及に繋げていく。

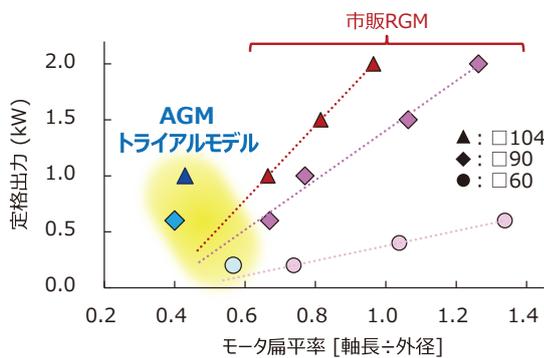


図14 AGMトライアルモデルのラインナップ



図15 AGMトライアルモデル外観 (□90)

5. 結 言

圧粉磁心の高性能化に加え、リサイクル性の開発も行い、現在モータコアとして主流である電磁鋼板よりも環境負荷を抑制できることを示した。更に、開発した圧粉磁心を採用したAGMが高出力密度化や高効率化、モータ全体の部品製造過程におけるCO₂排出量削減に効果的であり、サステナブル社会の実現に貢献する技術であることも示した。また、AGMの社会実装を推進すべくモータ設計者や利用者にAGMの利点を簡便に検討してもらうためのトライアル

モデルについても紹介した。引き続きAGMをはじめとするモータの高性能化や環境負荷低減に繋がる技術開発を推進し、モータ業界の継続発展を通して、サステナビリティ社会の実現に貢献していく。

6. 謝 辞

モータの電磁気解析、実機評価について多くのご指導、ご協力を頂いた国立大学法人岡山大学大学院 自然科学研究科 竹本教授、綱田研究准教授に深く感謝致します。

・JMAGは(株)JSOLの登録商標です。

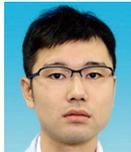
参 考 文 献

- (1) 一般社団法人日本電機工業会、「トップランナーモータ」(2021)
- (2) 渡辺麻子 他、「圧粉磁心による薄型・高トルクなアキシシャルギャップモータの実現」、SEIテクニカルレビュー第192号、119-125 (2018)
- (3) R. Tsunata et al., "Development and evaluation of an axial gap motor using neodymium bonded magnet," IEEE Trans. Ind. Appl., 54 (1) 254-262 (2017)
- (4) 住友電気工業(株)、「ダイキン工業(株)の家庭用空気清浄機向け アキシシャルギャップモーター用圧粉磁心を受注」
<https://sumitomoelectric.com/jp/press/2023/10/prs132>
- (5) 高山佳典 他、「空気清浄機用アキシシャルギャップ型ファンモータ開発」、モータドライブ/回転機/自動車合同研究会、RM-24-061、157-162 (July 2024)
- (6) ダイキン工業(株)、「加湿ストリーマ空気清浄機 (MCK904A) を新発売」
https://www.daikin.co.jp/press/2023/20230920_1
- (7) R. Tsunata et al., "A Proposal of an Axial-Flux Permanent-Magnet Machine Employing SMC Core With Tooth-Tips Constructed by One-Pressing Process: Improving Torque and Manufacturability," IEEE Access, 11, 109435-109447 (2023)
- (8) 住友電気工業(株)、「極薄・高耐圧の絶縁コーティングを施した圧粉磁心の量産を開始」
<https://sumitomoelectric.com/jp/press/2024/11/prs134>
- (9) R. Tsunata et al., "SMC Development Guidelines for Axial Flux PM Machines Employing Coreless Rotor Structure for Enhancing Efficiency Based on Experimental Results," IEEE Trans. Ind. Appl., 58 (3) 3470-3485 (2022)
- (10) Z. Ye et al., "A LCA Analysis of SMC Solution for Electrification," World PM 2024, 15E-T16-17 (2024)
- (11) Thyssenkrupp AG, "CO₂-reduced electrical steel from thyssenkrupp as a sustainable base material for the energy turnaround"
<https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/newsroom/press-releases/co2-reduced-electrical-steel-as-a-sustainable-base-material-for-the-energy-turnaround.html>
- (12) 梶谷敏之 他、「Cuによる炭素鋼の脆化に及ぼす温度と歪の影響」、鉄と鋼、81、3、185-190 (1995)
- (13) YASA Limited, "YASA history"
<https://yasa.com/about/>
- (14) 中野佑紀 他、「自動車駆動用アキシシャルギャップモータにおけるYASA型とDSSR型の出力密度および効率の比較検討」、モータドライブ/回転機/自動車合同研究会、RM-24-039、37-42 (July 2024)
- (15) R. Tsunata et al., "Designing and Prototyping an Axial-Flux Machine Using Ferrite PM and Round Wire for Traction Applications: Comparison With a Radial-Flux Machine Using Nd-Fe-B PM and Rectangular Wire," IEEE Trans. Ind. Appl., 60 (3) 3934-3949 (2024)
- (16) R. Tsunata et al., "Superior Efficiency Under PWM Harmonic Current in an Axial-Flux PM Machine for HEV/EV Traction: Comparison With a Radial-Flux PM Machine," IEEE Trans. Ind. Appl., 60 (5) 6736-6751 (2024)

- (17) X. Zhang et al., "A Review of Carbon Emissions from Electrical Machine Materials," *Electronics*, 13, 1724 (2024)
- (18) R. Tsunata et al., "Comparison of Thermal Characteristics in Various Aspect Ratios for Radial-Flux and Axial-Flux Permanent Magnet Machines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 59 (3) 3353-3367 (2023)
-

執筆者

齋藤 達哉* : 住友電工焼結合金(株) 主査
博士 (工学)



和泉谷 洸輔 : 住友電工焼結合金(株)



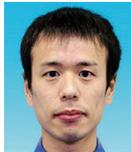
平尾 祐樹 : 住友電工焼結合金(株)



榎園 勇太 : 住友電工焼結合金(株) 主査



栄田 壮亮 : 住友電工焼結合金(株) 主席



上野 友之 : 住友電工焼結合金(株) 室長
博士 (工学)



*主執筆者