

逆磁歪材料で実現する、 高効率可変磁束モータ

信州大学 工学部 電子情報システム工学科
准教授 佐藤 光秀

博士(工学)
技術士(電気電子部門)

2025年8月5日

目次

1. 可変速運転モータに対する要求
2. 磁性コンポジットを挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(MCモータ)
3. 逆磁歪材を挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(PMSモータ)
4. 実用化に向けた課題
5. まとめ

モータの電力消費

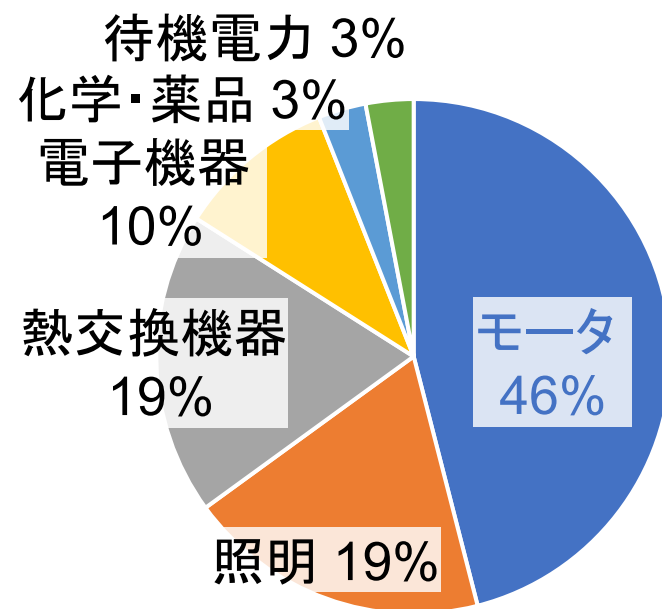


図1-1 世界の電力消費割合

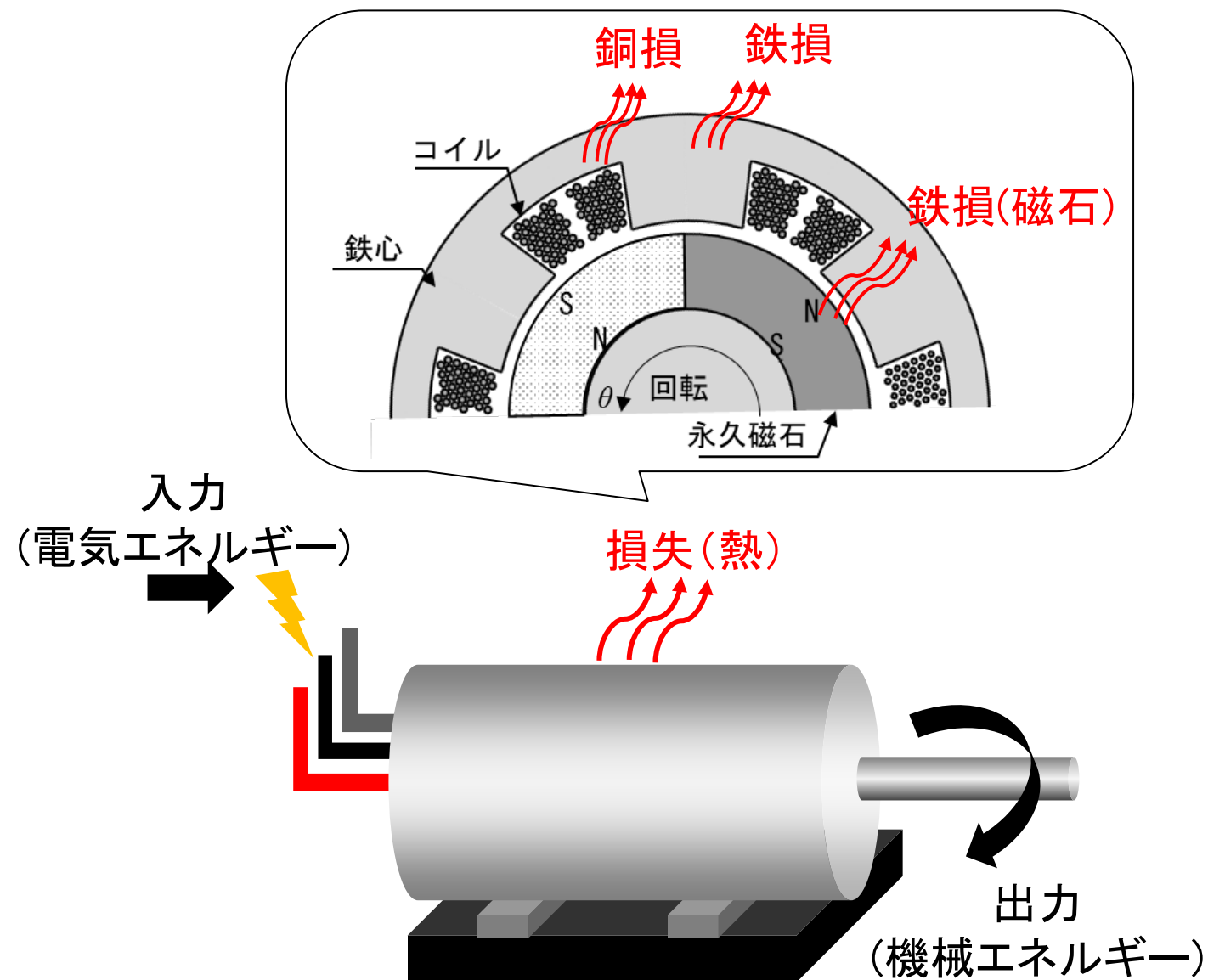


図1-2 モータのエネルギーフロー

可変速運転モータの用途

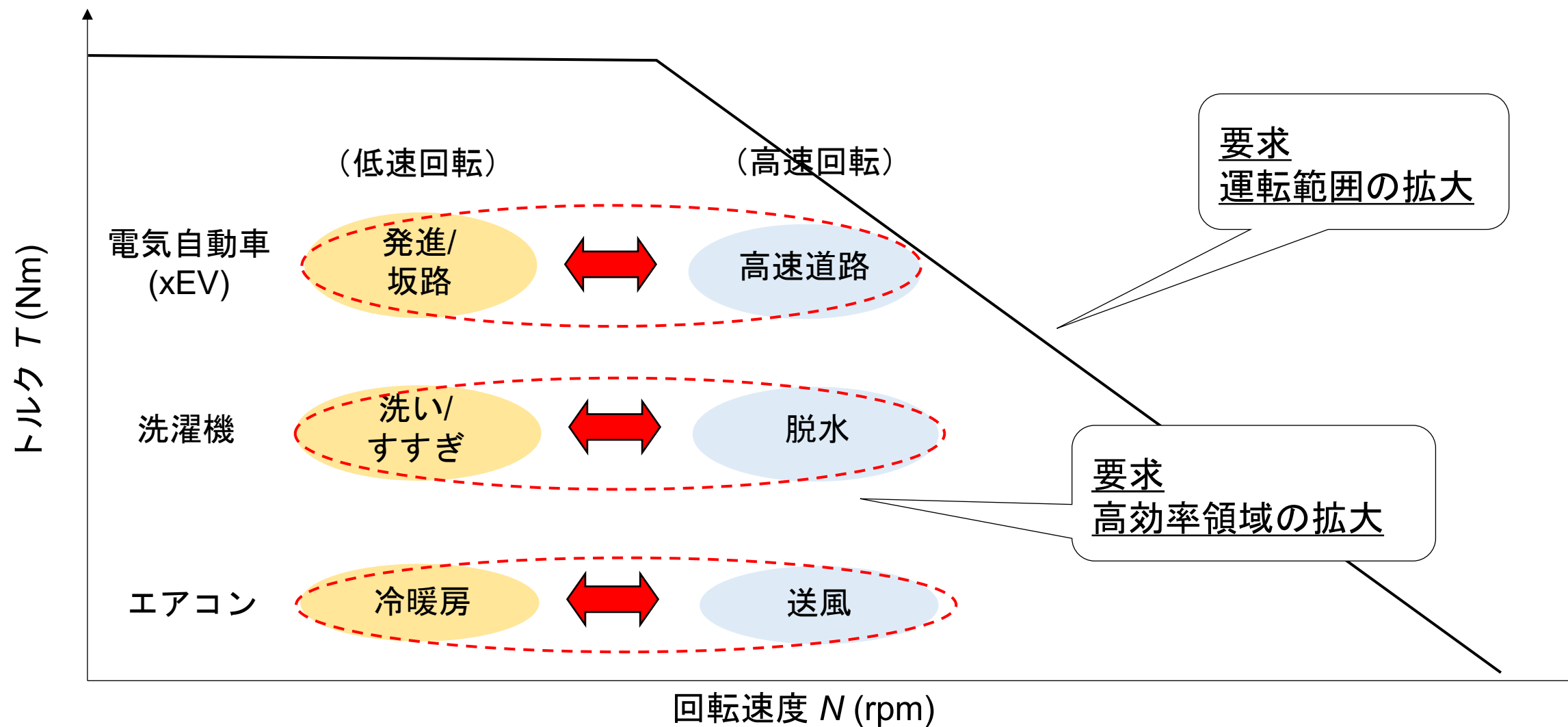


図1-3 可変速運転モータの用途

可変速運転モータの課題

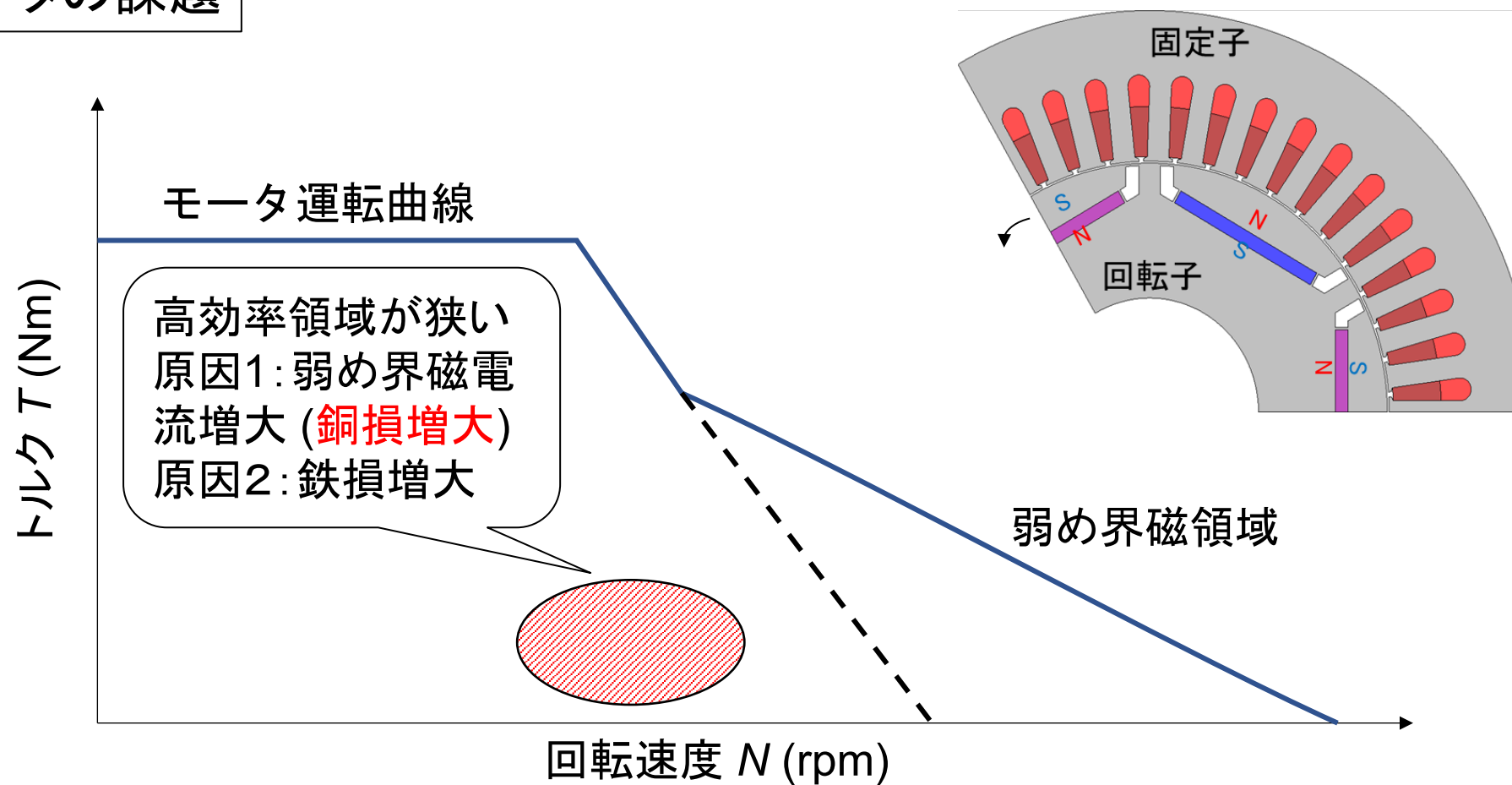


図1-4 可変速運転モータの課題



対策: 幅広い運転範囲の効率を改善するために可変磁束モータが検討されている

可変磁束モータ

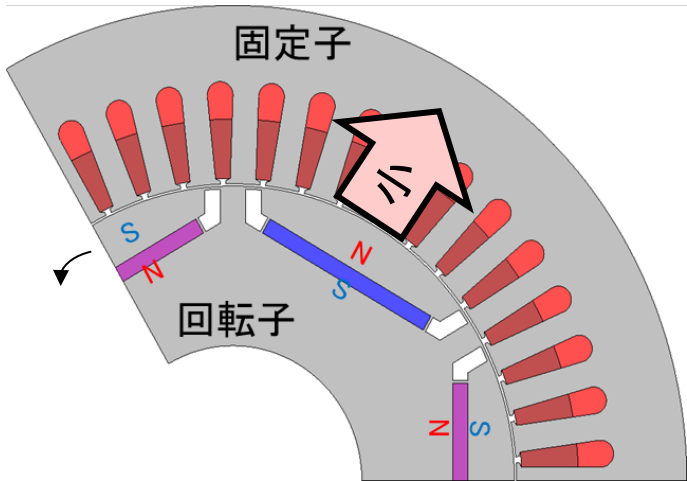
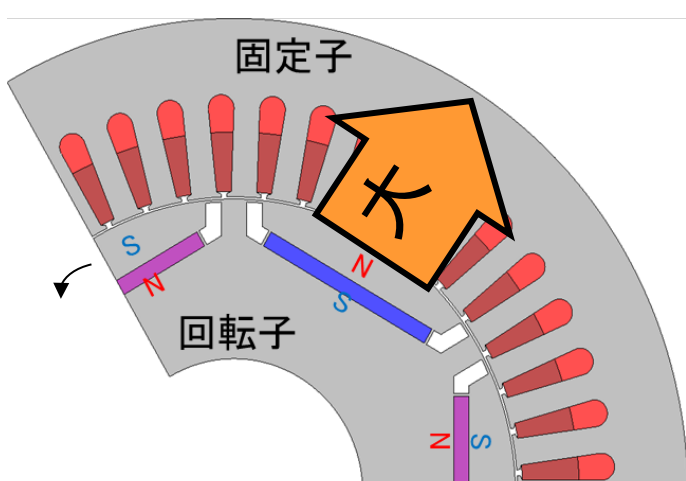
運転領域	高速(低トルク)	低速(高トルク)
固定子鎖交磁束		
誘起電力定数 (=トルク定数)	小さい	大きい
効果	弱め界磁電流 抑制, 鉄損 低減	トルク電流 低減

図1-5 可変磁束モータの原理

可変磁束モータ {

- ・低保磁力磁石利用
- ・界磁巻線利用
- ・機械構造変更方式



課題: 機構／構造が複雑化

インバータ容量の増大,
コイル・アクチュエータの追加など

目次

1. 可変速運転モータに対する要求

2. 磁性コンポジットを挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(MCモータ)

3. 逆磁歪材を挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(PMSモータ)

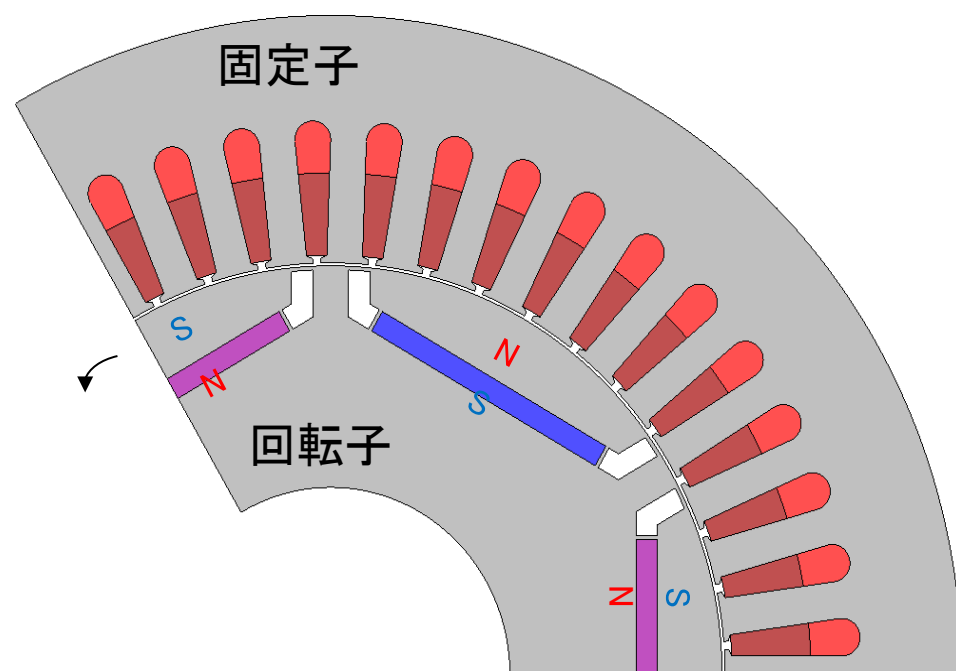
4. 実用化に向けた課題

5. まとめ

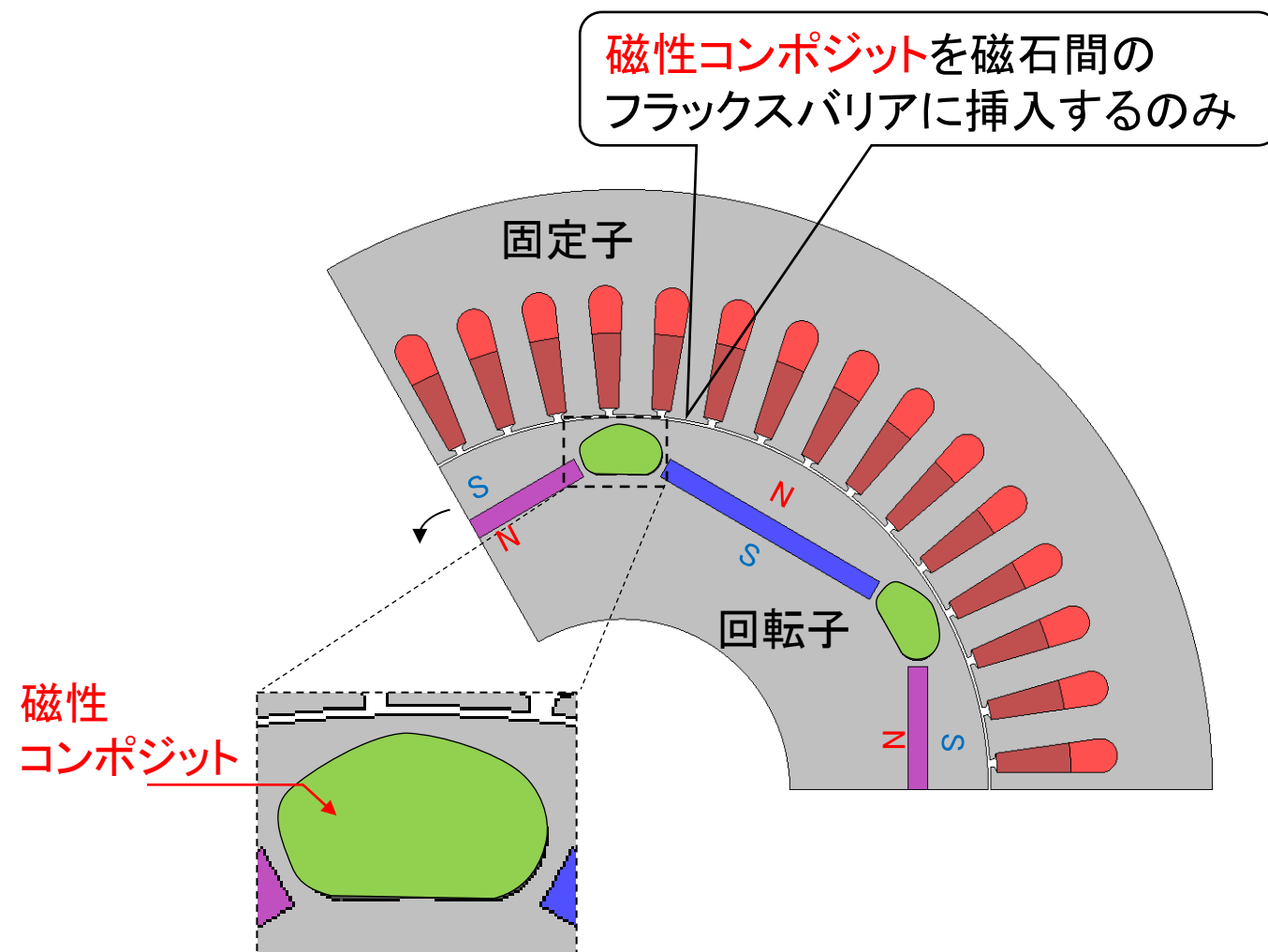
磁性コンポジットを挿入した可変磁束モータ(MCモータ)

(Magnetic-Composite material type variable-flux motor)

佐藤光秀, 特開2023-061697「可変磁束型回転電機」, 2023



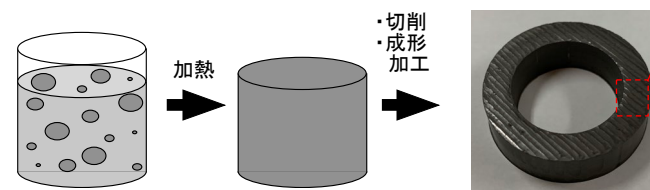
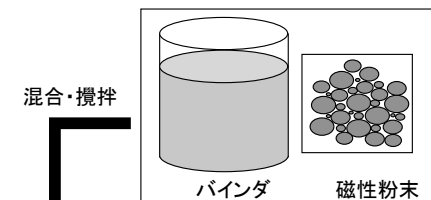
(a) 従来モータ
(IPMモータ)



(b) 磁性コンポジットを挿入した可変磁束モータ
(MCモータ)

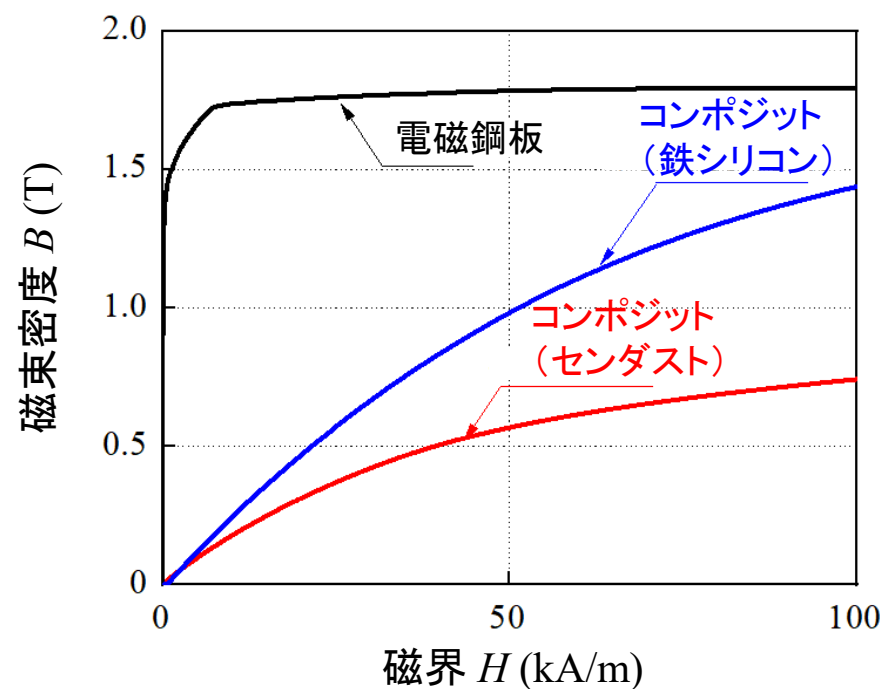
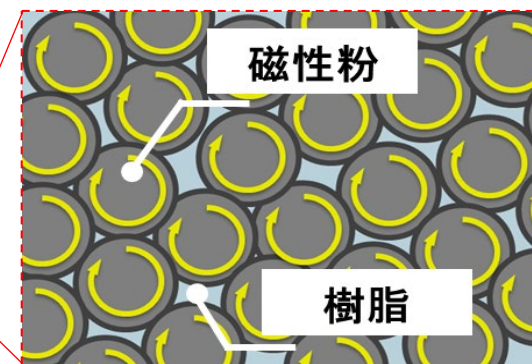
図2-1 モータの断面構成(1/3モデル)

磁性コンポジット

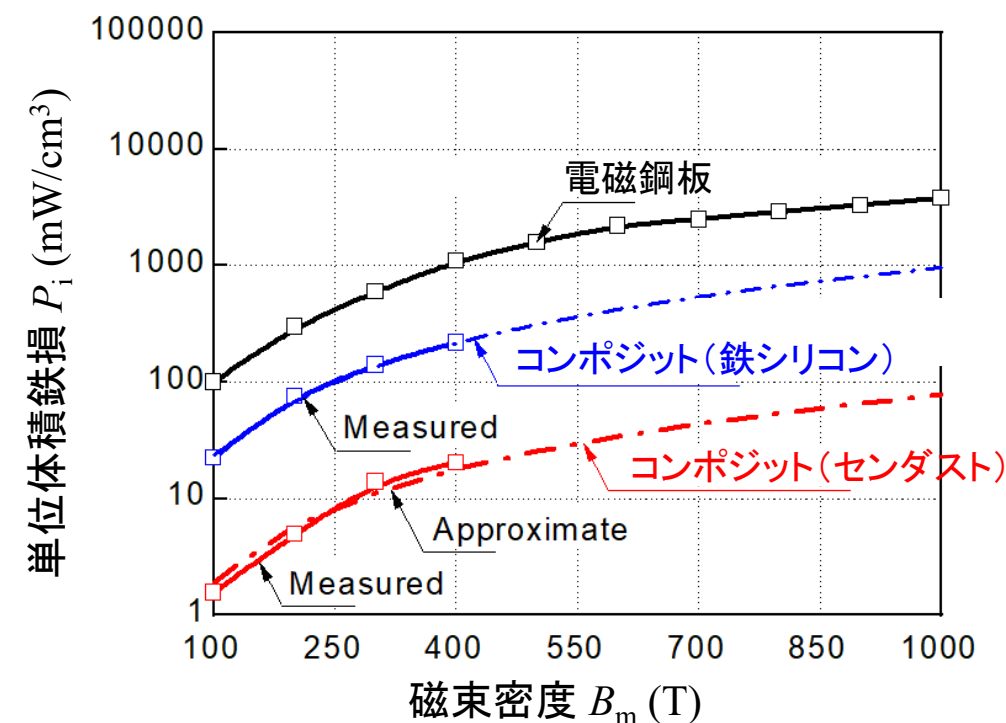


磁性コンポジット

佐藤光秀, 特願2024-095554「複合磁性材、複合磁性体、回転電機用コアと、複合磁性体の製造方法」, 2024



(a) 直流磁化特性



(b) 鉄損特性 (1kHz)

図2-2 磁性コンポジットの磁気特性

可変磁束の原理

負荷	高速(低トルク)	低速(高トルク)
状態図		
電機子電流	小さい	大きい
磁性コンポジット	磁気飽和せず(500mT以下)	磁気飽和(1T程度)
短絡磁束	大きい	小さい
主磁束	小さい	大きい
逆起電力定数(=トルク定数)	小さい	大きい
期待される効果	弱め界磁電流 低減 (→銅損低減)	トルク電流 低減 (→銅損低減)

図2-3 MCモータの動作原理

可変磁束特性

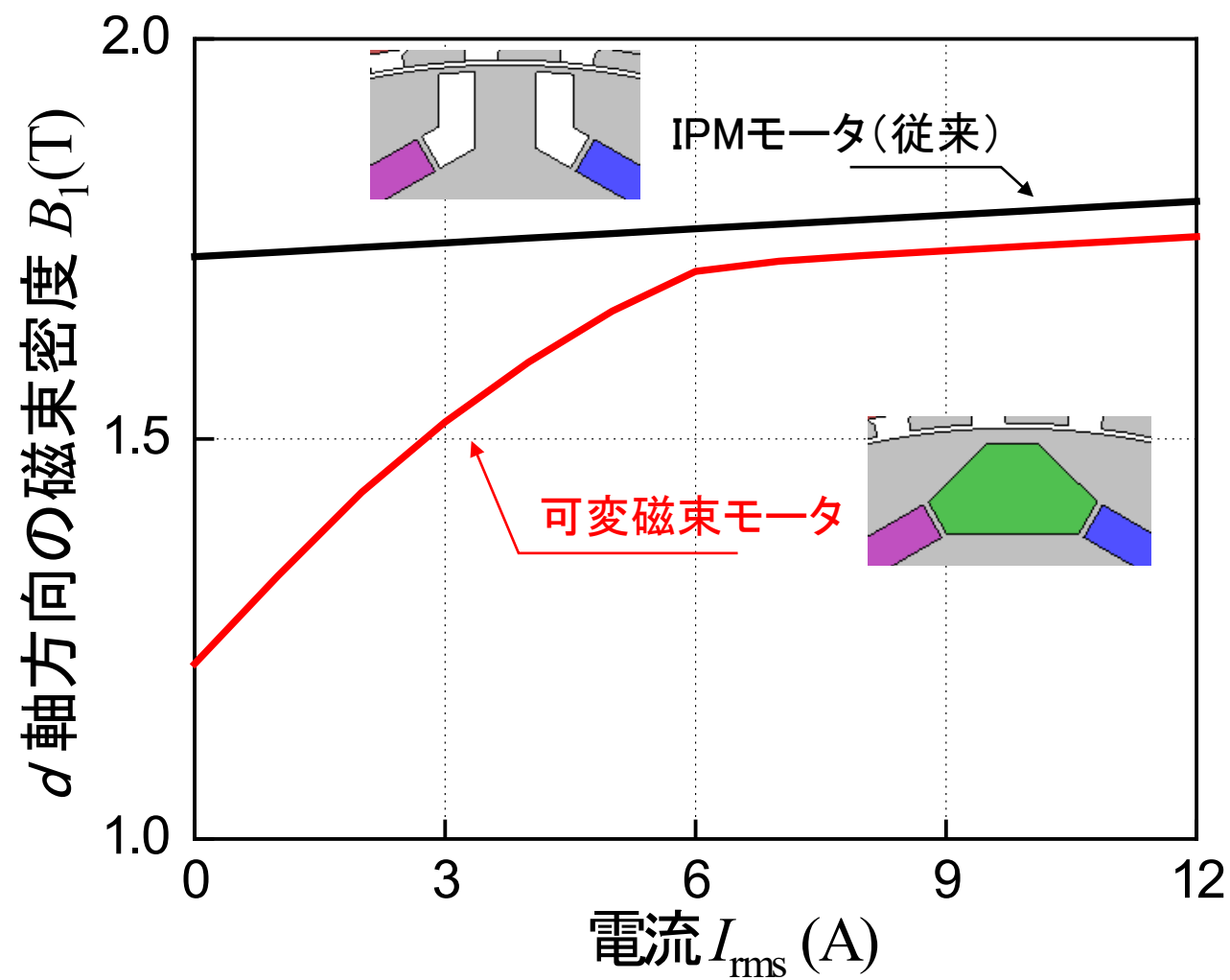
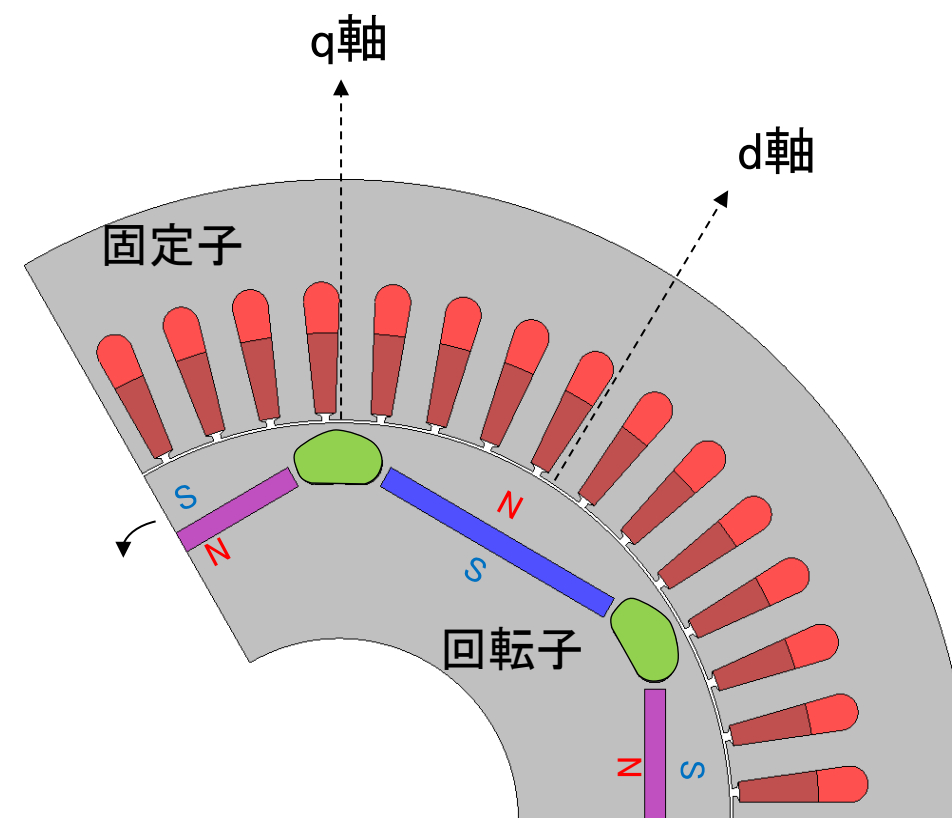
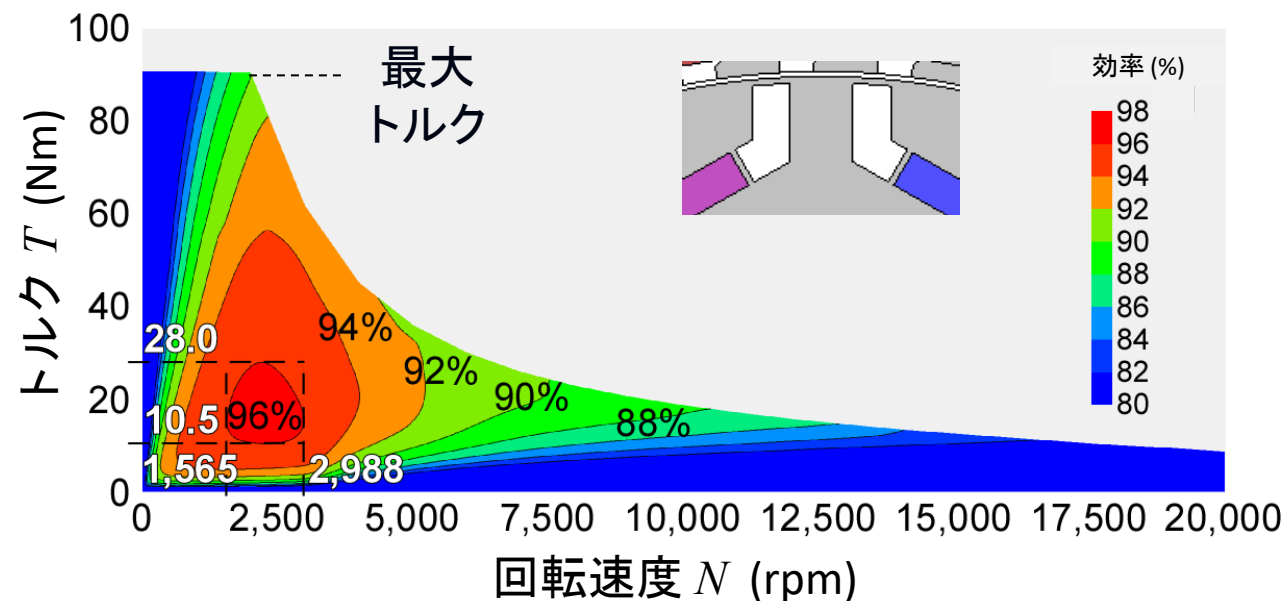


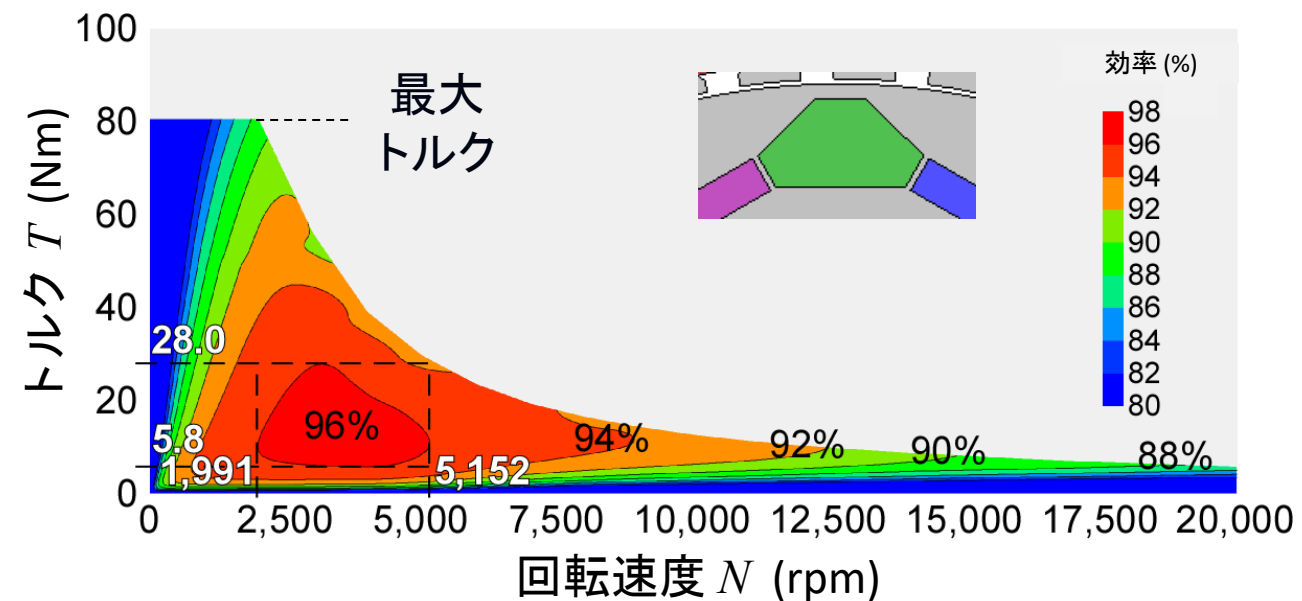
図2-4 MCモータのd軸方向磁束密度



高効率領域拡大



(a) IPMモータ(従来)



(b) MCモータ(提案)

図2-5 モータの効率マップ

モータ	IPM(従来)	可変磁束(提案)
最大効率96%領域	× 1.0	× 3.0
最大トルク	90 Nm	82 Nm

課題: 最大トルク低下(運転範囲縮小)
q軸インダクタンス低下, 磁石磁束の低下

目次

1. 可変速運転モータに対する要求
2. 磁性コンポジットを挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(MCモータ)
3. 逆磁歪材を挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(PMSモータ)
4. 実用化に向けた課題
5. まとめ

逆磁歪効果

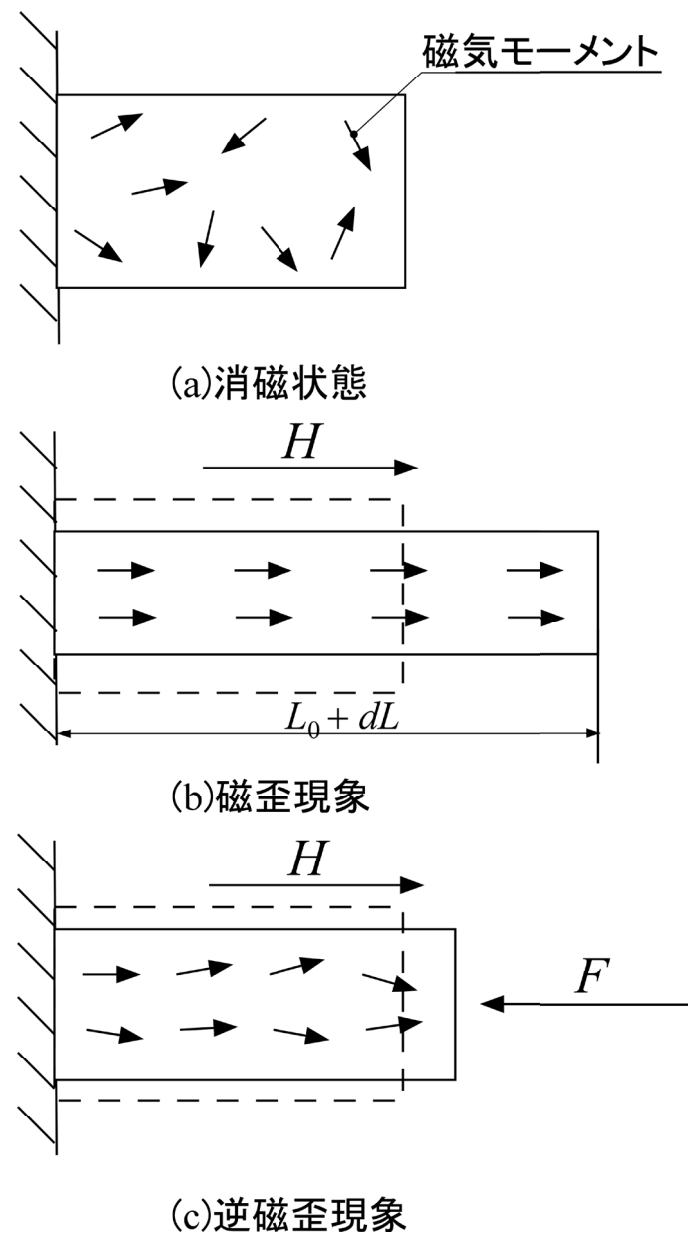


図3-1 正の磁歪材料の特徴

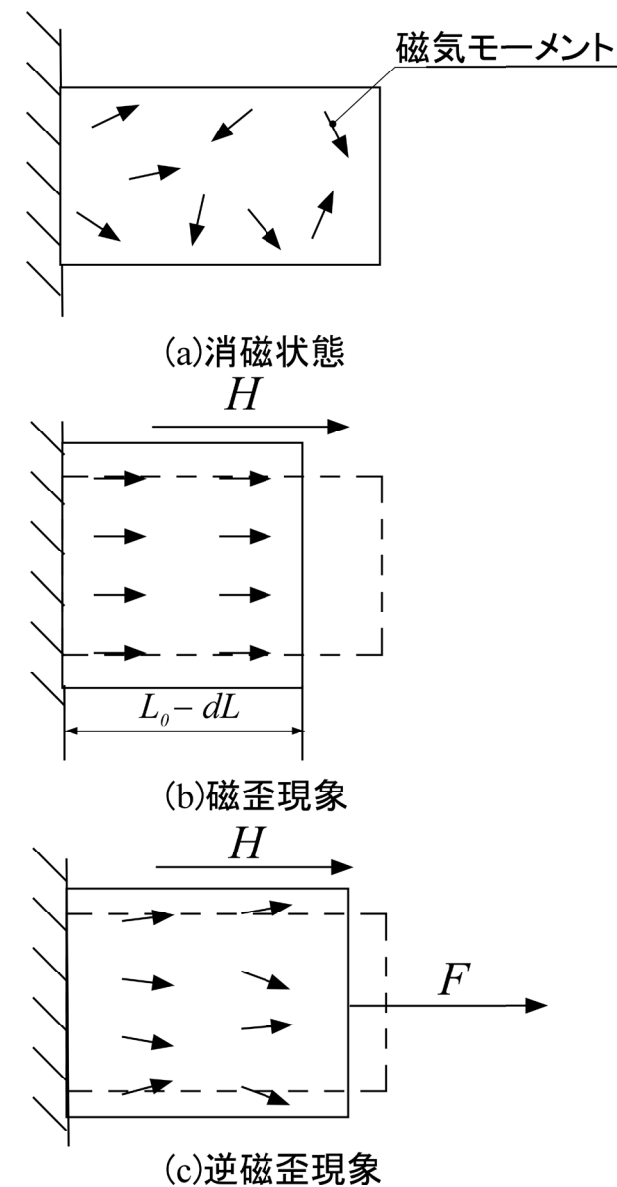


図3-2 負の磁歪材料の特性

逆磁歪材を挿入した可変磁束モータ(PMSモータ)

(Preload Magneto-Strictive material type variable-flux motor)

佐藤光秀, 特願2024-201431, 「可変磁束型回転電機」, 2024

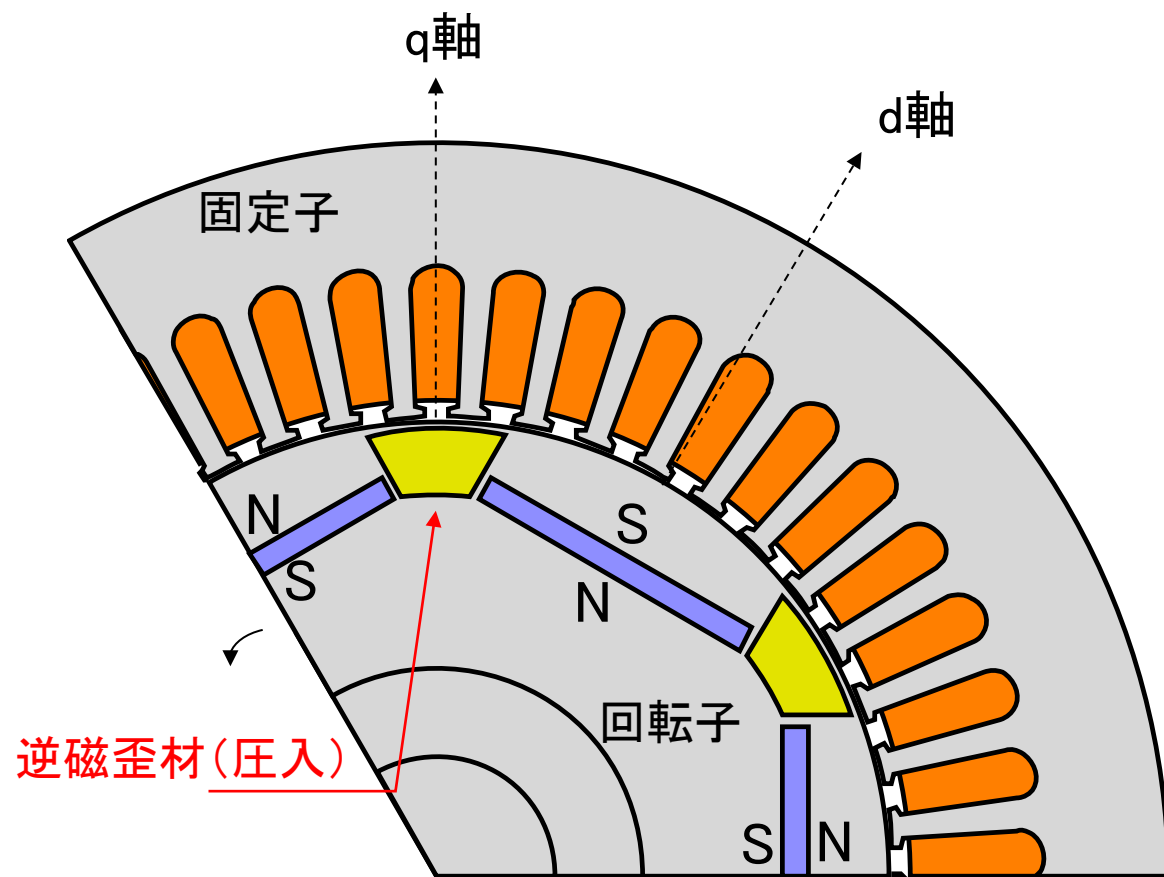


図3-3 PMSモータの断面構成(1/3モデル)

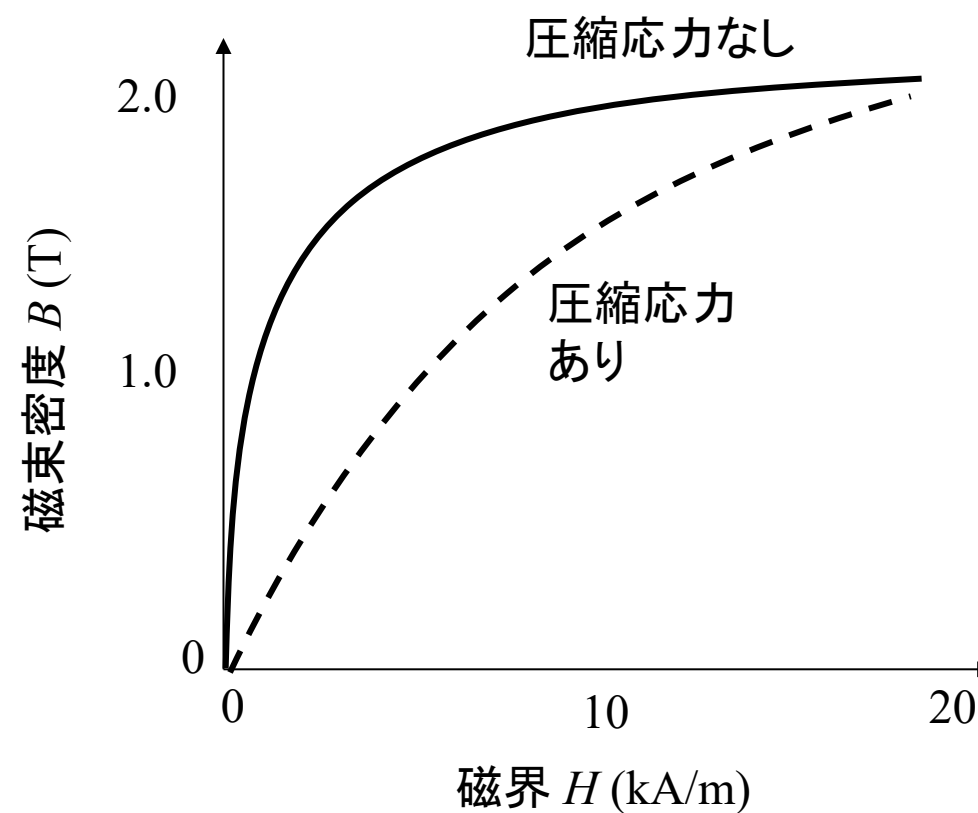


図3-4 正の磁歪材の特性

PMSモータの可変磁束の原理

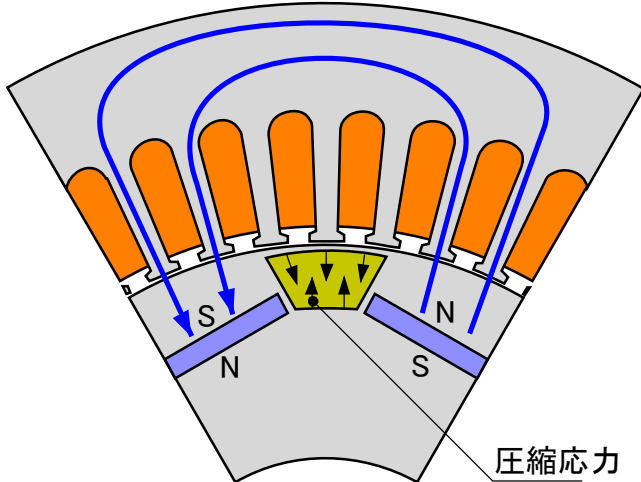
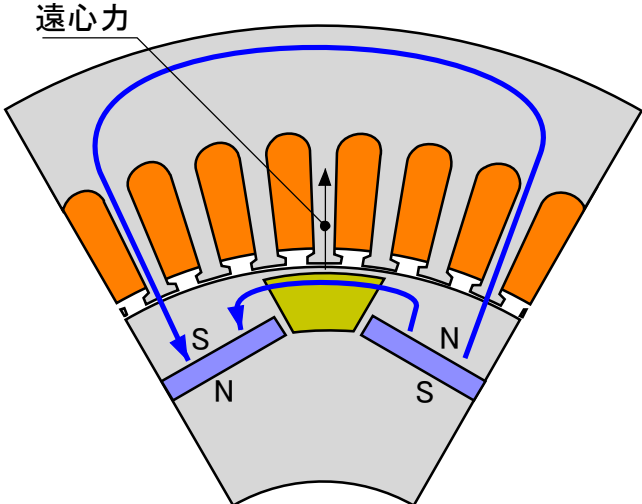
負荷	低速(高トルク)	高速(低トルク)
状態図		
遠心力	小さい	大きい
逆磁歪材の応力	圧縮応力あり(圧入状態)	圧縮応力 緩和
逆磁歪材の透磁率	透磁率 低い	透磁率 向上
短絡磁束	小さい	大きい
主磁束	大きい	小さい
逆起電力定数(=トルク定数)	大きい	小さい
期待される効果	トルク電流低減 (→銅損低減)	弱め界磁電流 低減 (→銅損低減)

図3-5 PMSモータの原理

PMSモータの解析結果

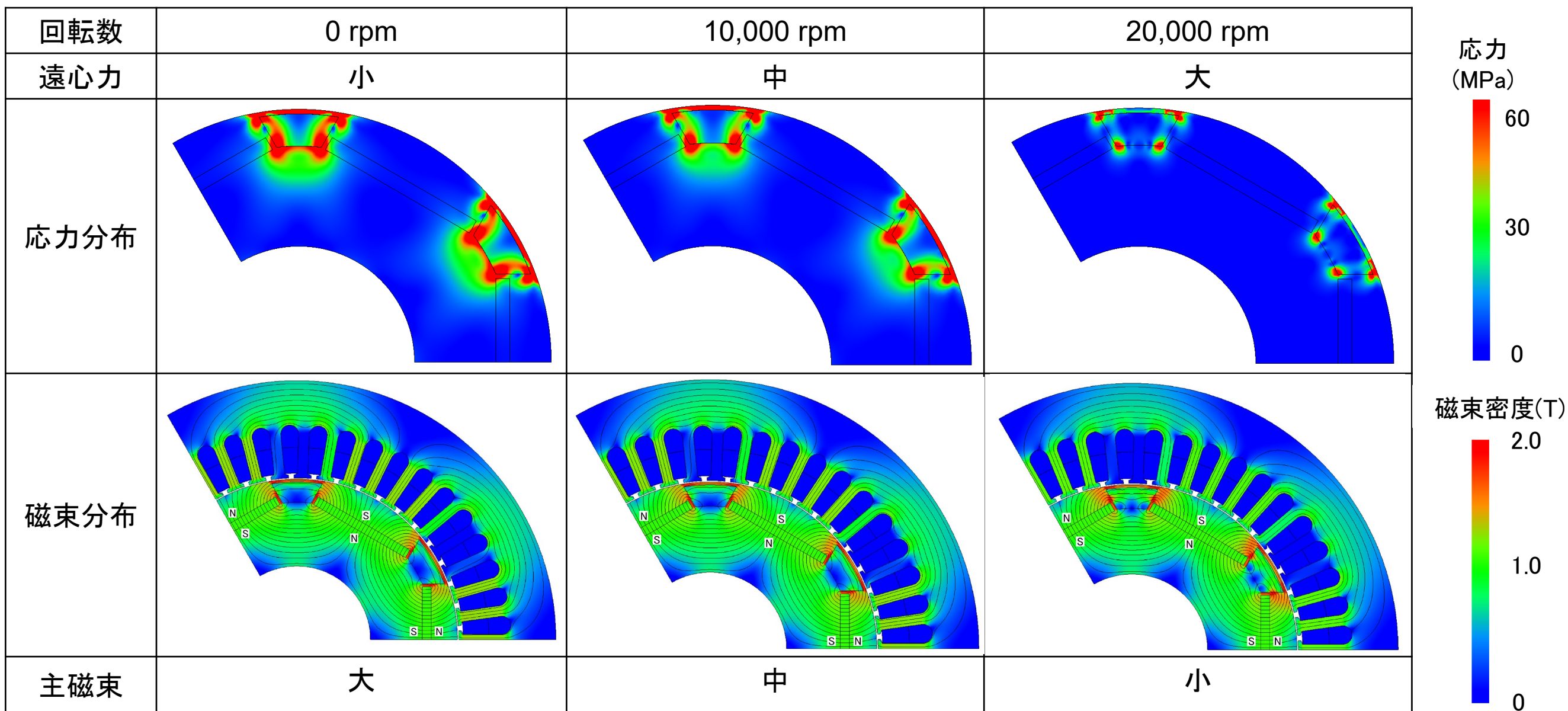


図3-6 PMSモータの解析結果

PMSモータの可変磁束特性

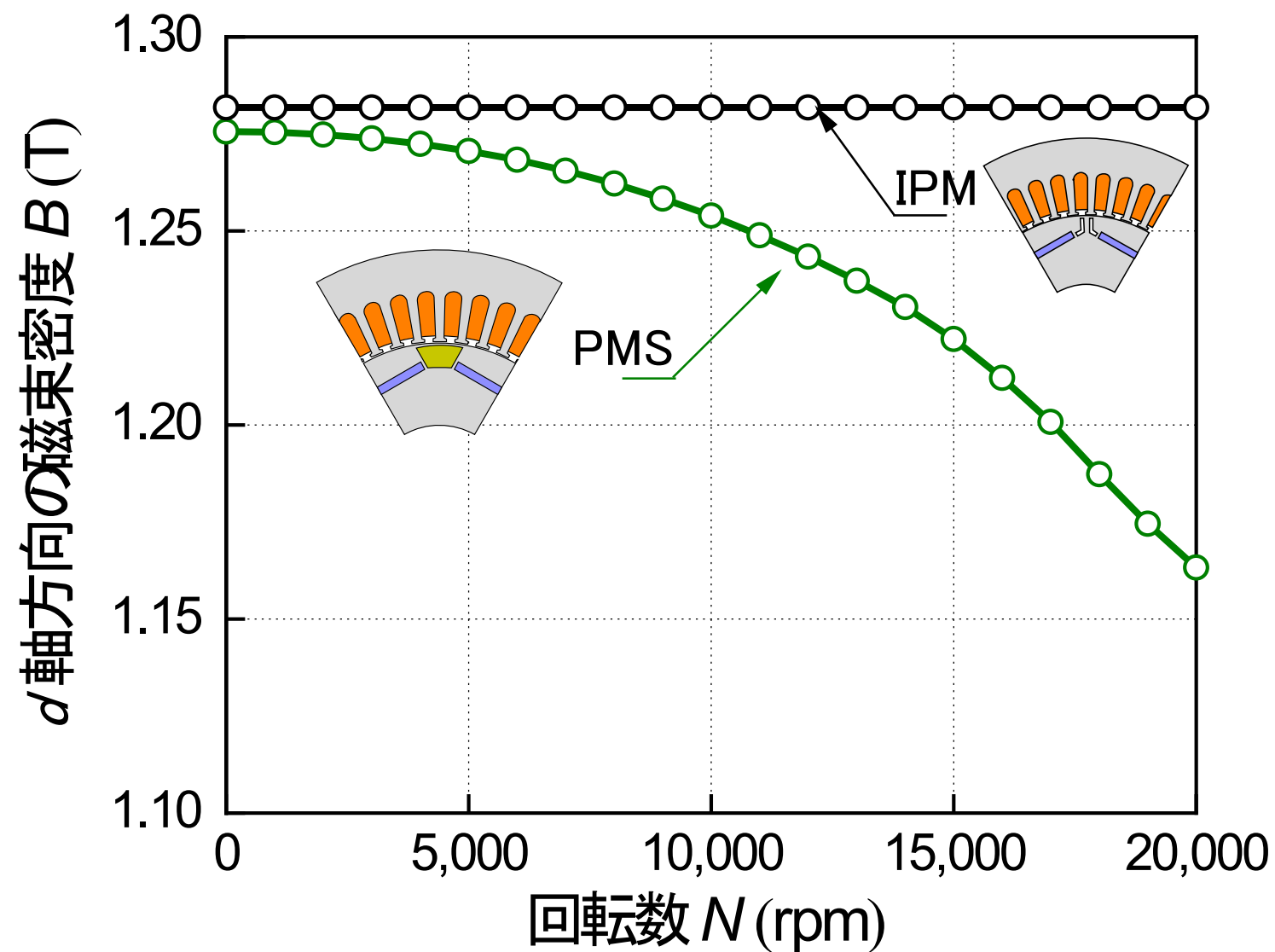


図3-7 PMSモータのd軸方向磁束密度

PMSモータの出力特性

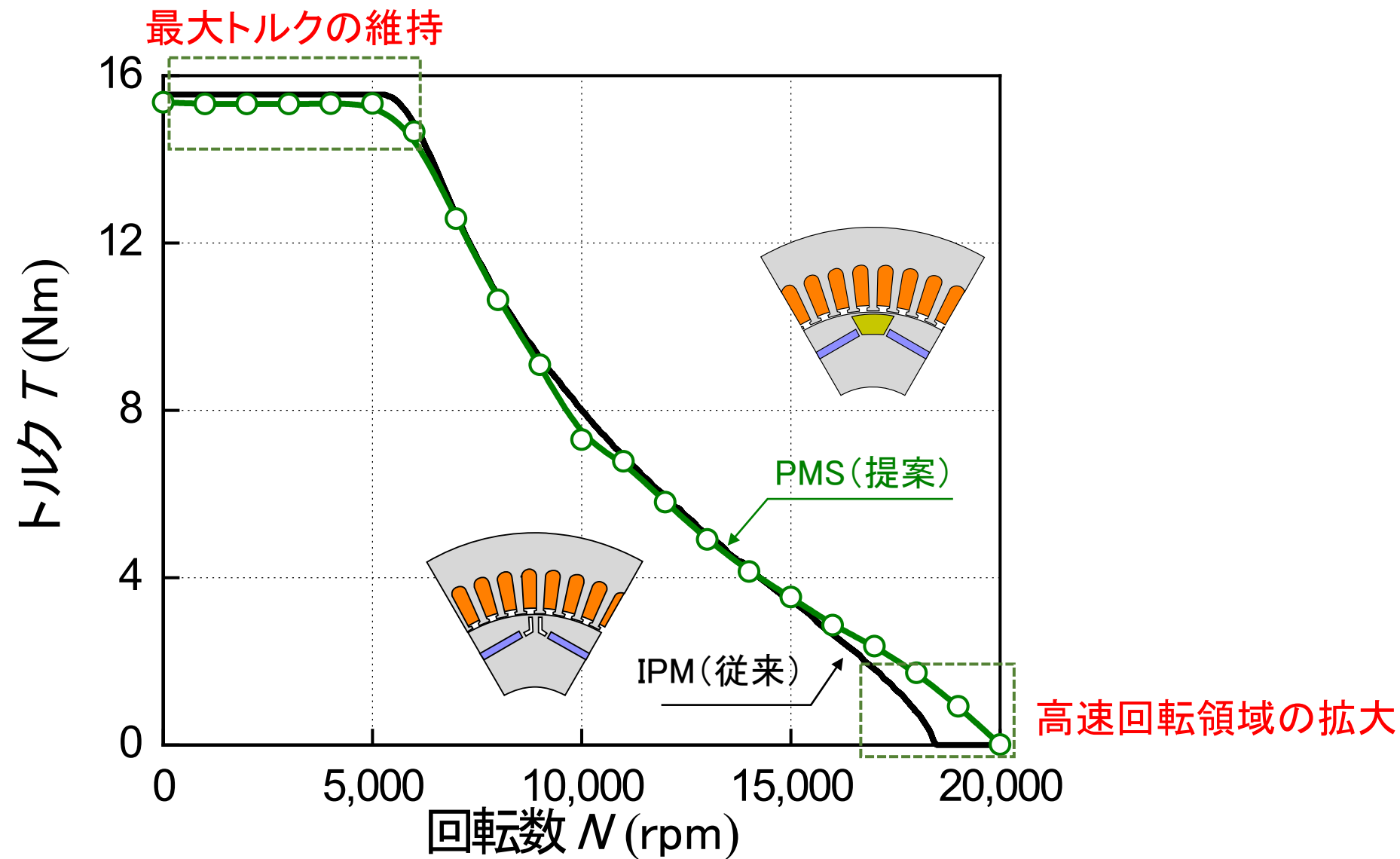
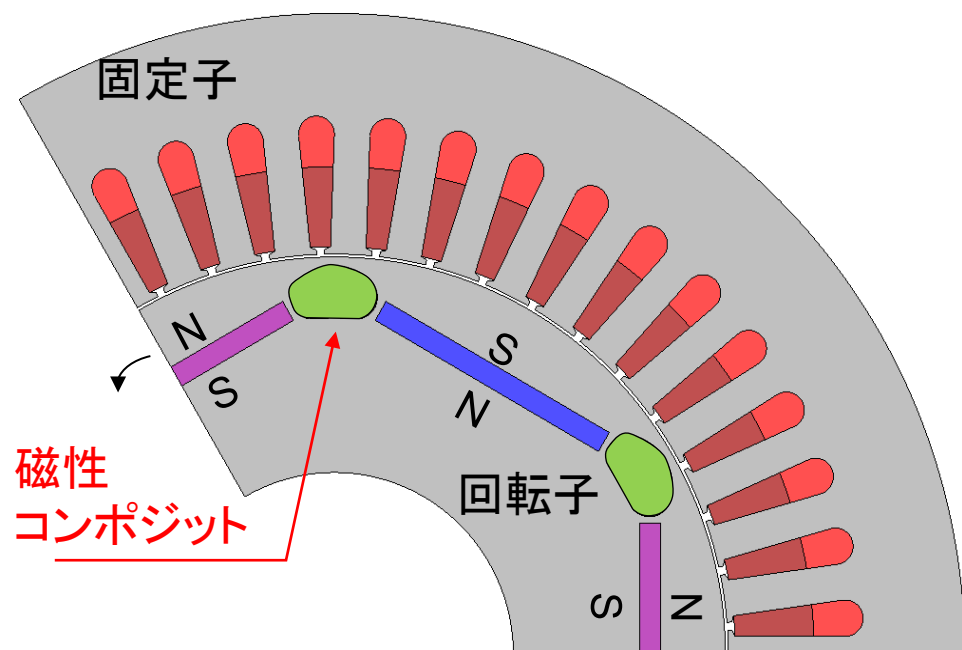


図3-8 PMSモータの出力特性

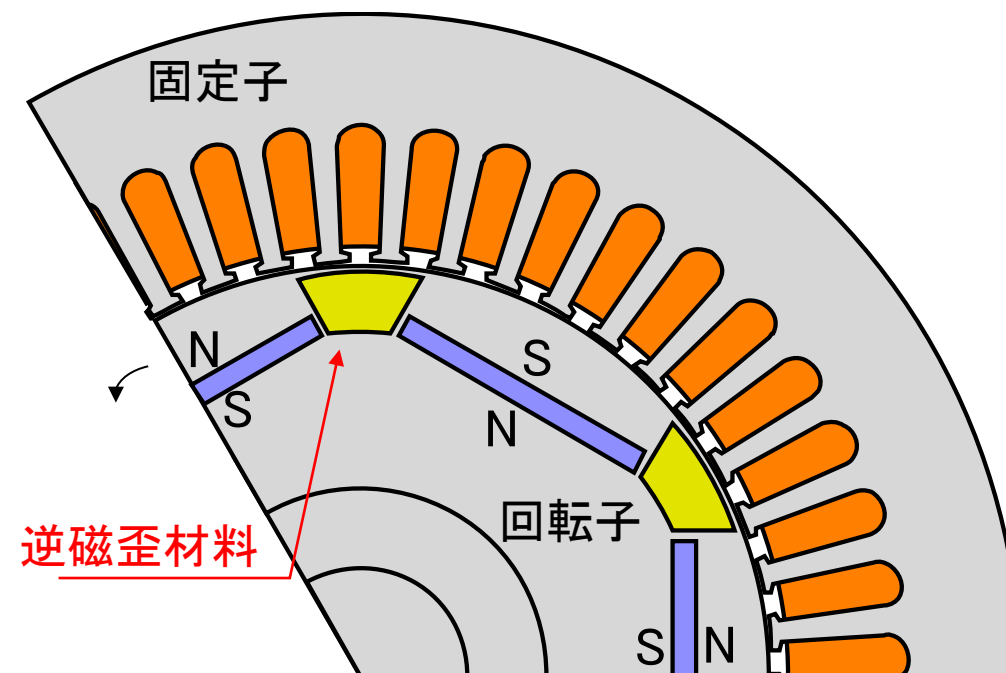
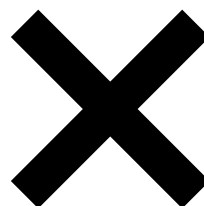
目次

1. 可変速運転モータに対する要求
2. 磁性コンポジットを挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(MCモータ)
3. 逆磁歪材を挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(PMSモータ)
4. 実用化に向けた課題
5. まとめ

磁気回路・構造設計



MCモータ「固定子電流で可変磁束」



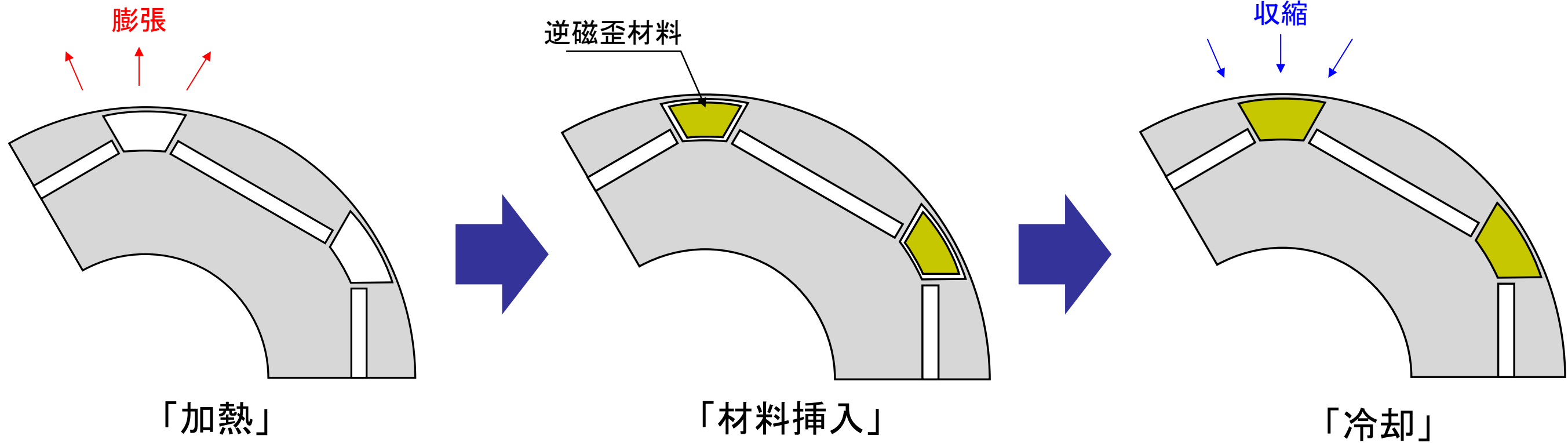
PMSモータ「回転子遠心力で可変磁束」



MC-PMSモータ
「高効率領域拡大」と「運転領域拡大」の両立

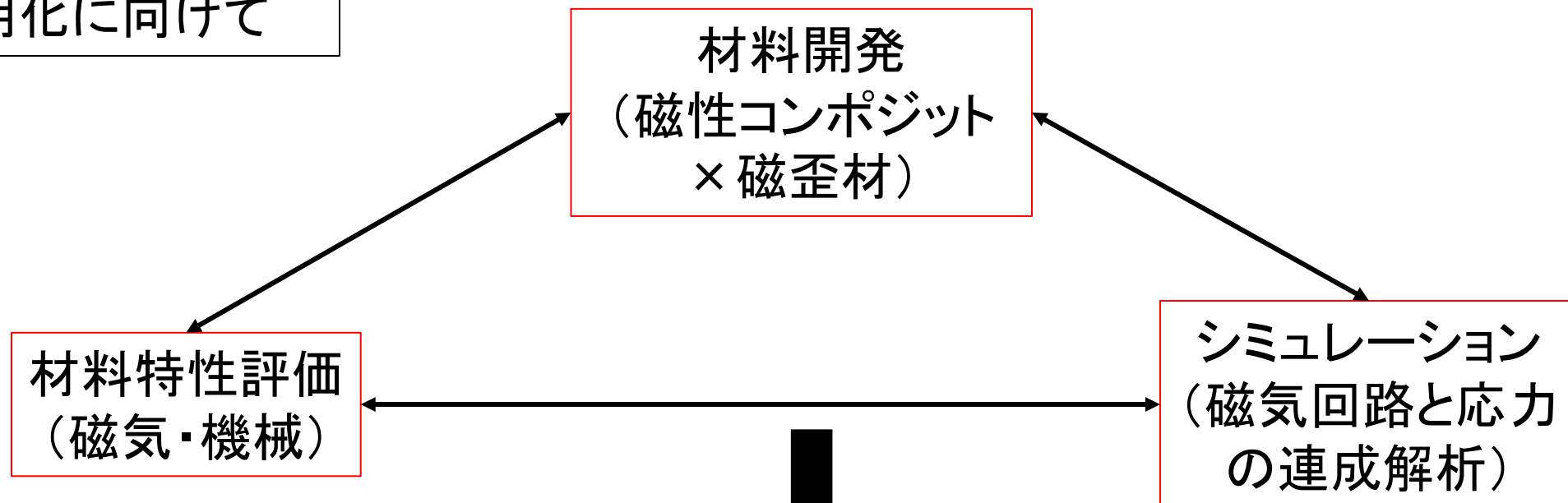
課題: 遠心力を最大限活用可能な構造, 材料開発, 磁気回路設計

磁歪材料挿入方法



課題:「焼きばめ」などを利用した逆磁歪材の圧入方法の確立, 所望の圧力を確保など

実用化に向けて



MC-PMSモータ
の設計指針を確立

MC-PMSモータ
の製作指針を確立

MC-PMSモータの実用化へ

目次

1. 可変速運転モータに対する要求
2. 磁性コンポジットを挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(MCモータ)
3. 逆磁歪材を挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ(PMSモータ)
4. 実用化に向けた課題
5. まとめ

1. 可変速運転モータに対する要求

- 幅広い速度範囲での高効率運転が難しい
- 可変磁束モータが有効であるが、機構／構造が複雑化しやすい

2. 磁性コンポジットを挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ

- 磁石間のフラックスバリアに磁性コンポジットを挿入するのみ
- 固定子電流を利用して可変磁束効果が得られる
- 高効率領域の拡大可能であるが、最大トルクが低下しやすい

3. 逆磁歪材料を挿入した漏れ磁束形可変磁束モータ

- 磁石間のフラックスバリアに逆磁歪材料を挿入するのみ
- 回転子の遠心力を利用して可変磁束効果が得られる
- 最大トルクの低下を防ぎながら、運転領域拡大に有効

4. 実用化に向けた課題

- 磁性コンポジット × 逆磁歪材料 = 高効率領域拡大かつ運転範囲拡大
- 構造設計, 材料開発, 圧入方法(焼きばめなど)の検討が必要

現時点の状況と今後の取組み

時期	取り組む課題	社会実装へ取組み
基礎研究	・磁性コンポジットの鉄損低減／磁気特性向上 ⇒電磁鋼板比1/80の鉄損実現 ・磁性コンポジットを挿入した可変磁束モータの原理検証 ⇒モータ高効率領域3倍以上拡大 ・磁性コンポジットの磁気特性調整範囲の拡大 ⇒充填率40vol.%～75vol.%の製法を確立できた	・JST-ASTEP事業へ応募し研究資金獲得 ・NEDO若サポ事業へ応募し研究資金獲得
現在	・磁性コンポジットを挿入した可変磁束モータの実機検証 ⇒可変磁束の効果が得られた ・逆磁歪材を挿入した可変磁束モータの設計検証 ⇒運転範囲の拡大を確認	・NEDO若サポ事業へ応募し研究資金獲得
1～2年後	・磁性コンポジットと逆磁歪材を併用した可変磁束モータの設計 ・磁性コンポジットと逆磁歪材を併用した可変磁束モータの原理検証 ・逆磁歪材の圧入方法の開発	・解析データの報告 ・JST／NEDO事業などに応募し研究資金獲得
2～3年後	・新規機能性材料の開発 ・長期的信頼性(繰返し)の検討 ・可変磁束モータの原理検証	・評価データの提供 ・構造／磁気回路設計指針の提供

共同研究を希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 可変磁束型回転電機
- 出願番号 : 特願2024-201431
- 出願人 : 国立大学法人信州大学
- 発明者 : 佐藤光秀

産学連携の経歴

- 2020年-2021年 JST-ASTEP事業に採択
- 2022年-2024年 NEDO若サポ事業に採択
- 2024年-2026年 NEDO若サポ事業に採択
- 2024年- 共同研究・技術指導を複数社と実施中

お問い合わせ先

 株式会社信州TLO

T E L 0268 – 25 – 5181

F A X 0268 – 25 – 5188

e-mail info@shinshu-tlo.co.jp