

磁性コンポジット材で解決！ 簡易な構造で高効率化を実現する 可変界磁モータ

信州大学 工学部 電子情報システム工学科
助教 佐藤 光秀

2022年8月4日

目次

1. モータに要求される性能
2. 磁性コンポジット材を用いた可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)
3. MCモータのメリット1(高効率領域効果)
4. MCモータのメリット2(機械強度向上効果)
5. まとめ



モータの電力消費

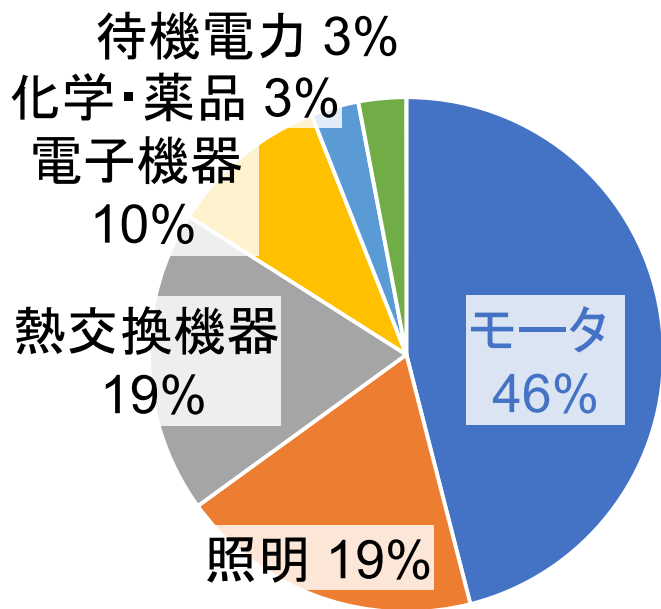


図1 世界の電力消費割合

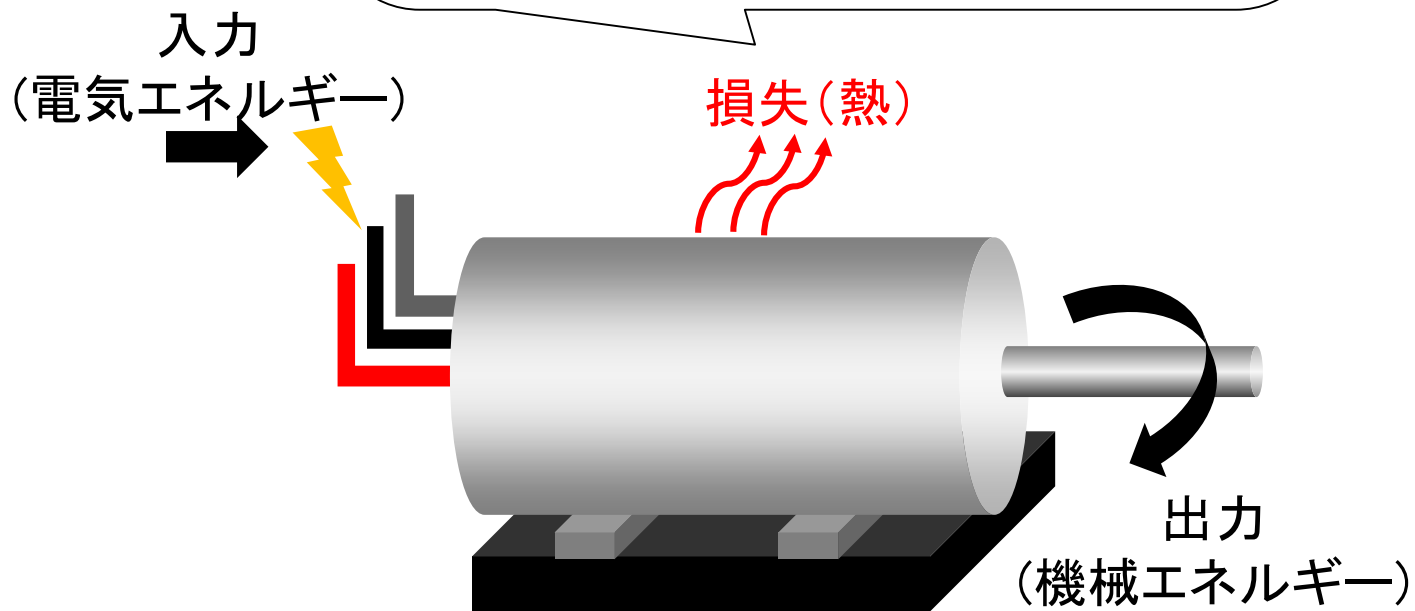
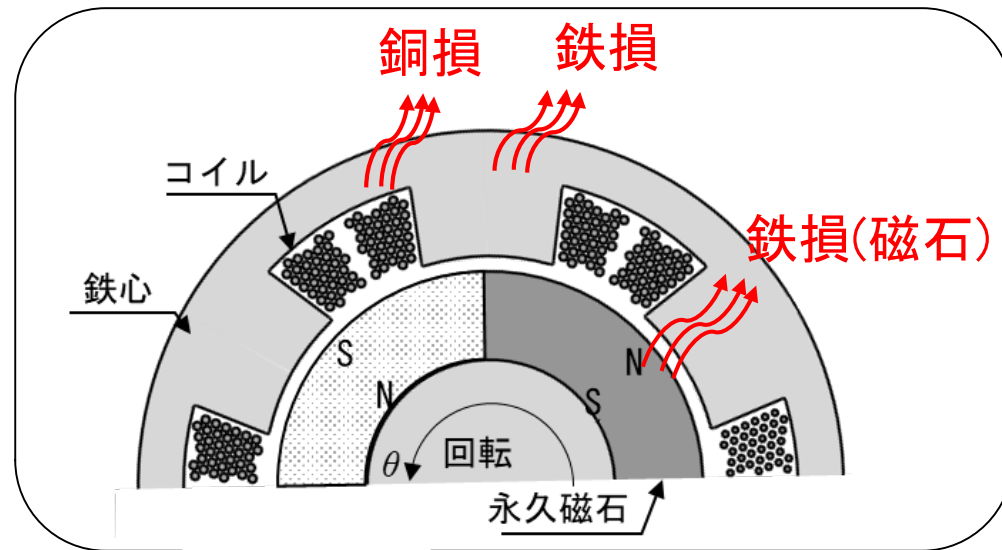
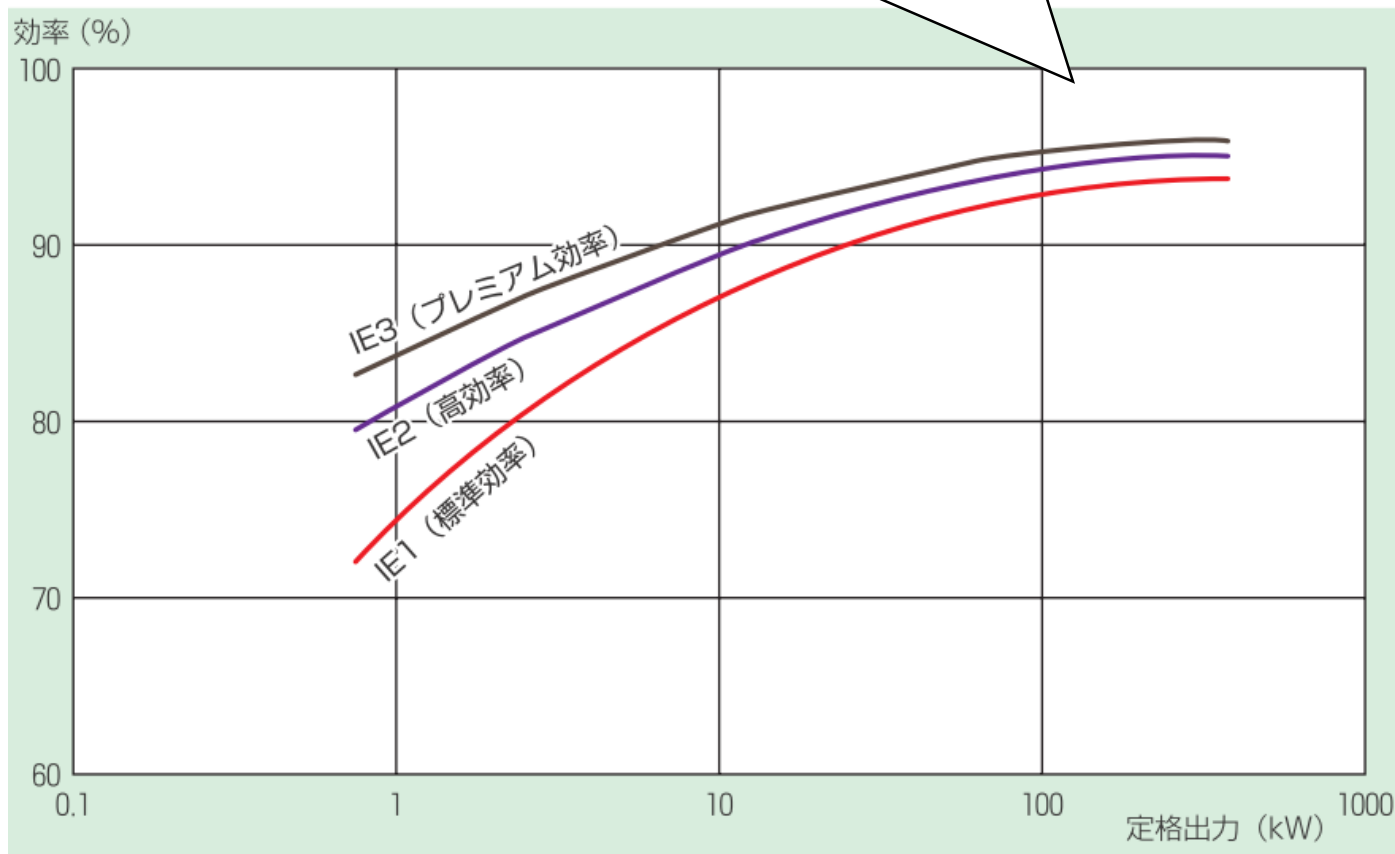


図2 モータのエネルギーフロー

プレミアムモータ

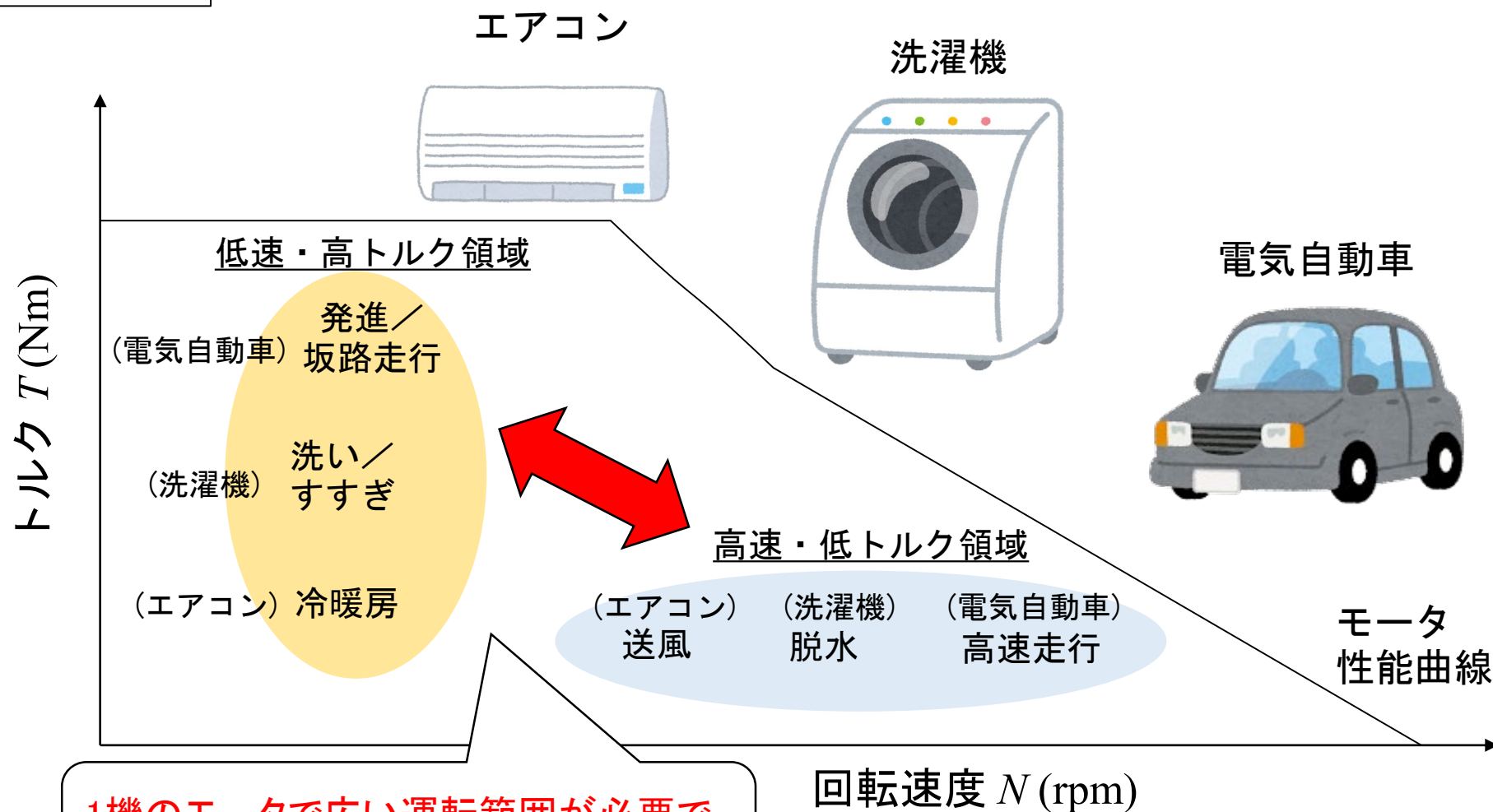
省エネ法に基づいて
モータ効率96%化が求められる



出典：日本電機工業会，トッランナーモータ（2016）

図3 トッランナーモータの効率

運転範囲



1機のモータで広い運転範囲が必要で、
効率96%以上が求められる。

図4 モータの運転領域

可変界磁モータ

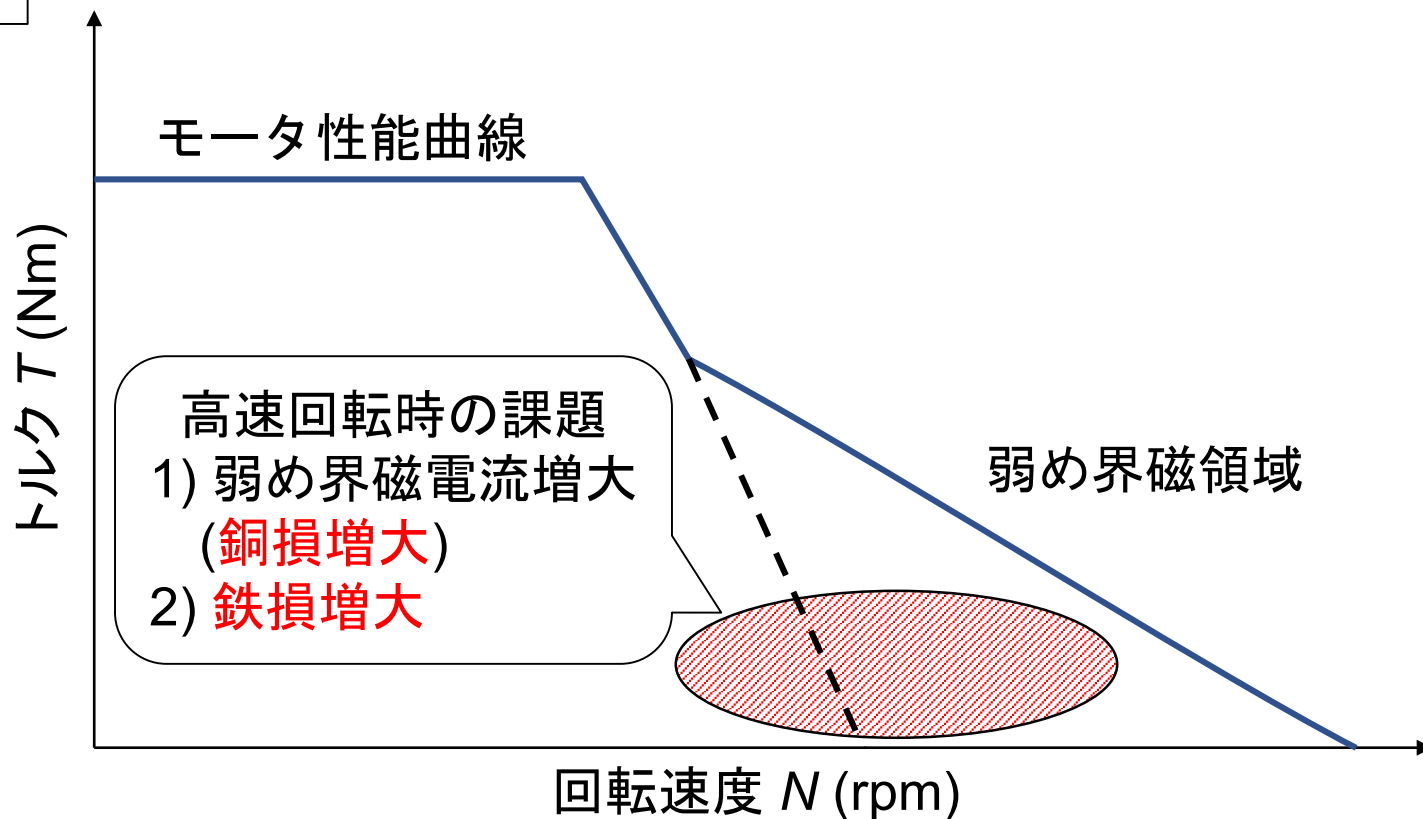


図5 高速回転モータの課題

幅広い運転範囲の効率改善のために**可変界磁モータ**が提案されている。

- ・低保磁力磁石利用方式
- ・界磁巻線利用方式
- ・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. モータに要求される性能

2. 磁性コンポジット材を用いた可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)

3. MCモータのメリット1(高効率領域効果)

4. MCモータのメリット2(機械強度向上効果)

5. まとめ



磁性コンポジット材



磁性コンポジットを挿入した可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)

磁性コンポジット材を磁石間のフラックスバリアに挿入するのみで可変界磁を実現

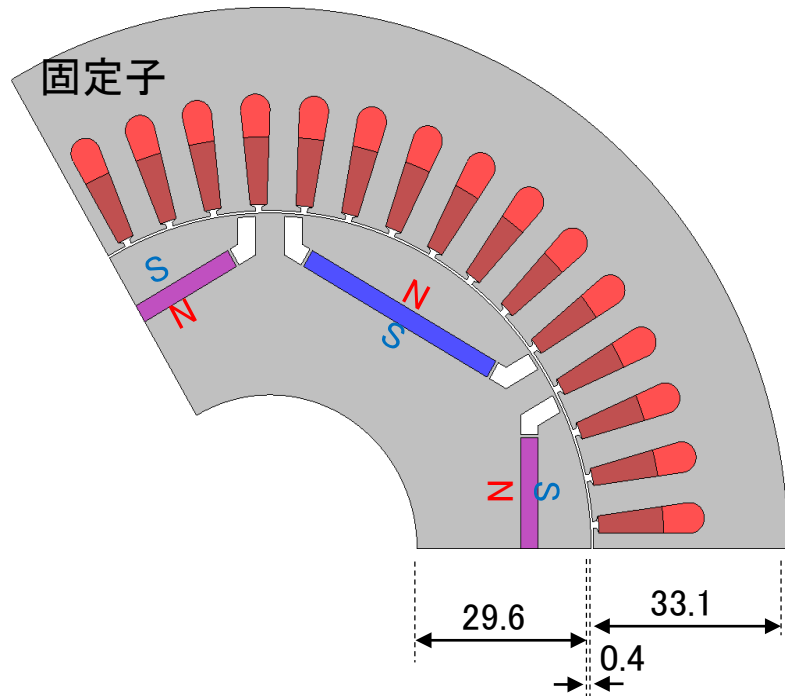


図6 IPMモータ(従来機)の構成

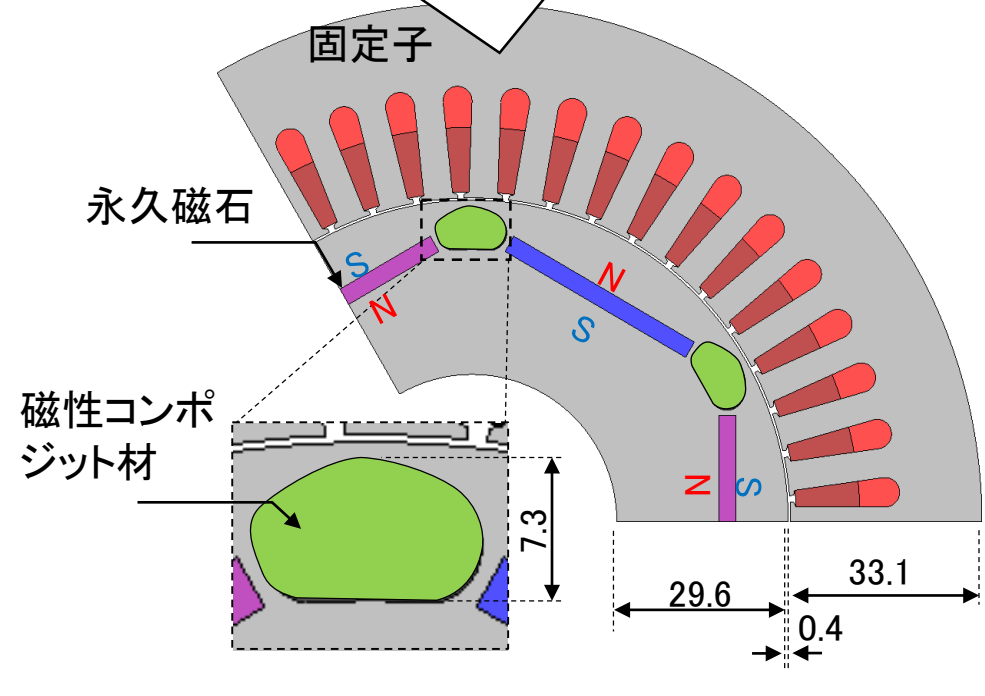


図7 MCモータ(提案機)の構成

T. Kato *et al.*, "Design Methodology for Variable Leakage Flux IPM for Automobile Traction Drives," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 51, no. 5, pp. 3811-3821, 2015.

磁性コンポジット材

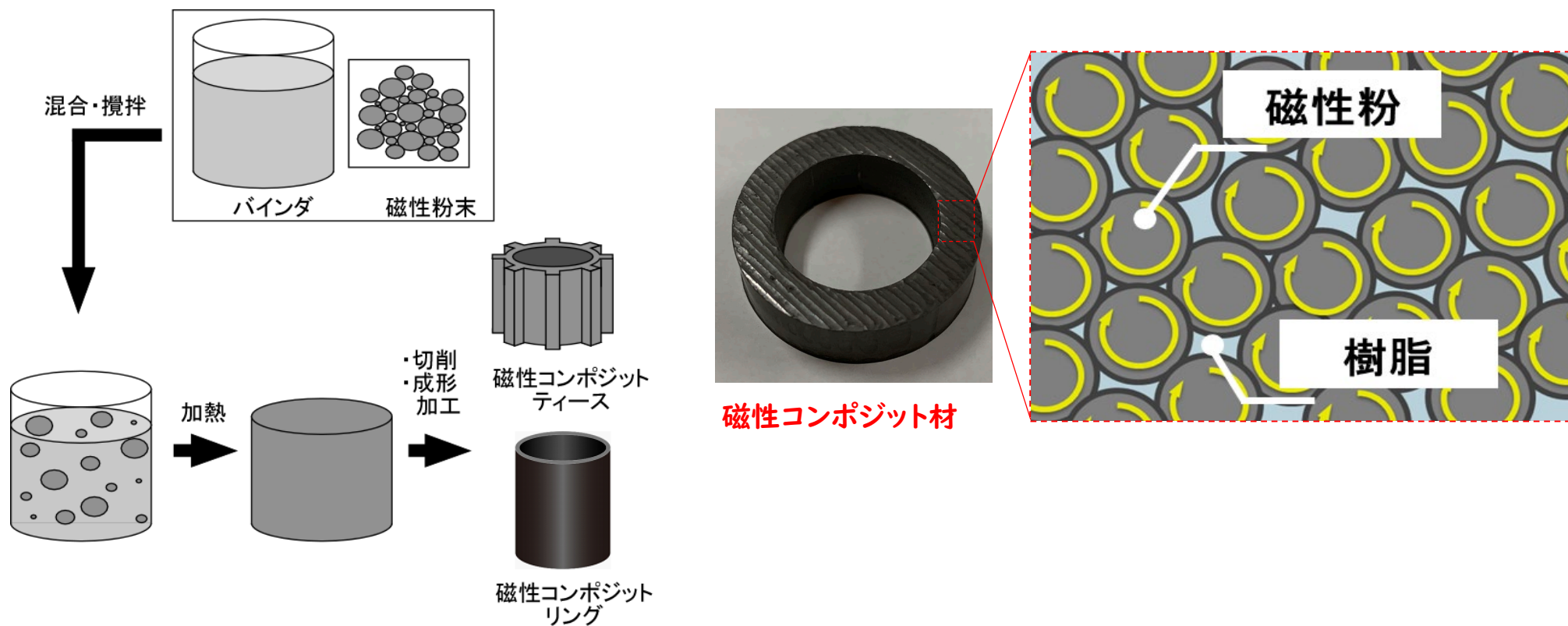
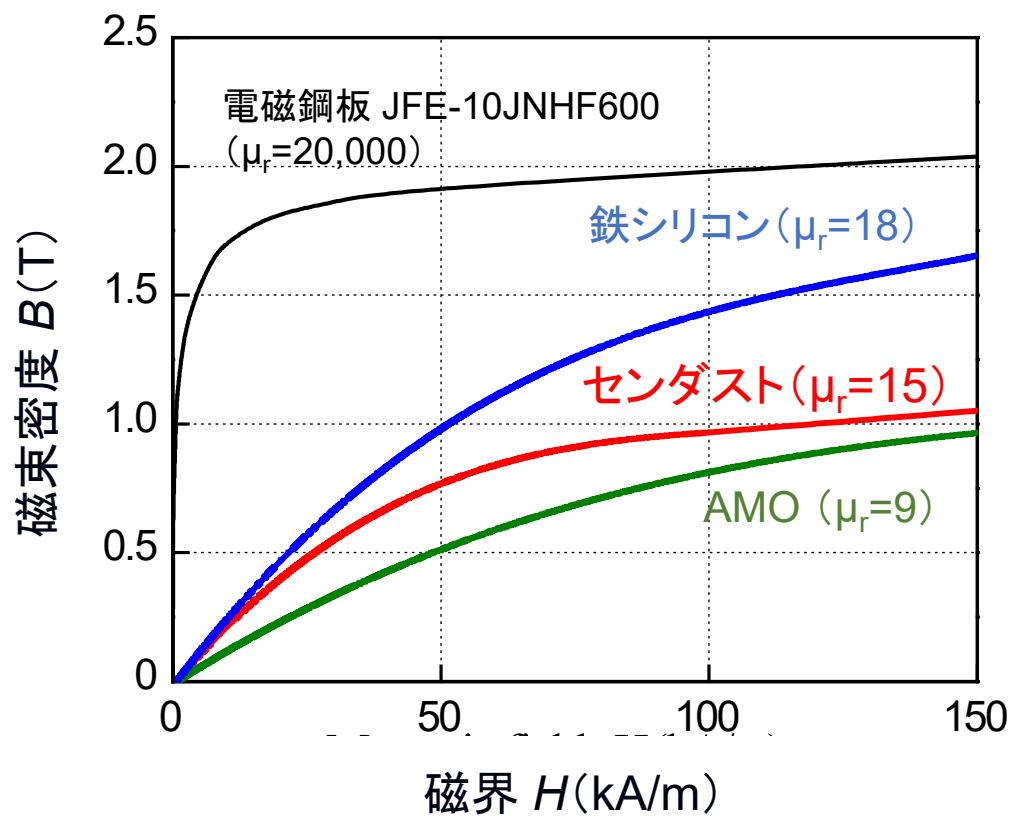
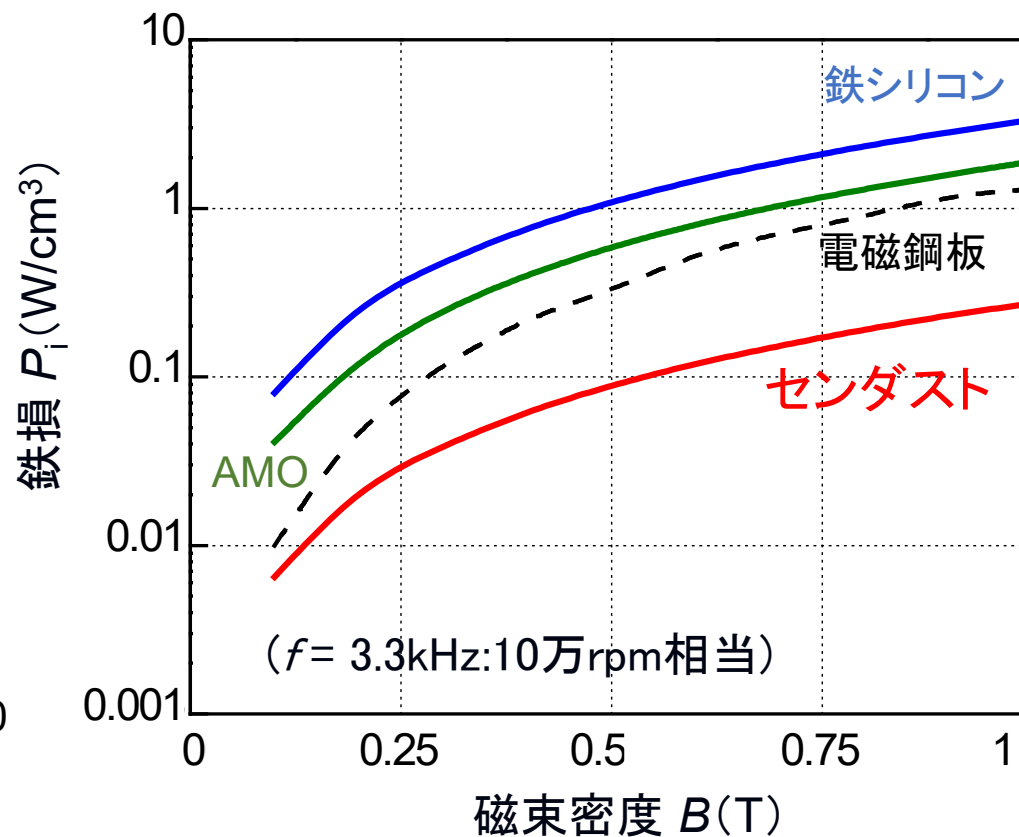


図8 磁性コンポジット材

磁性コンポジット材の磁気特性



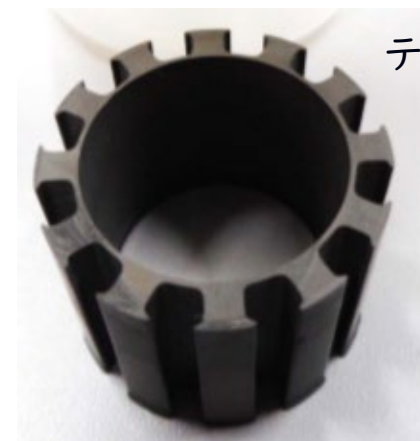
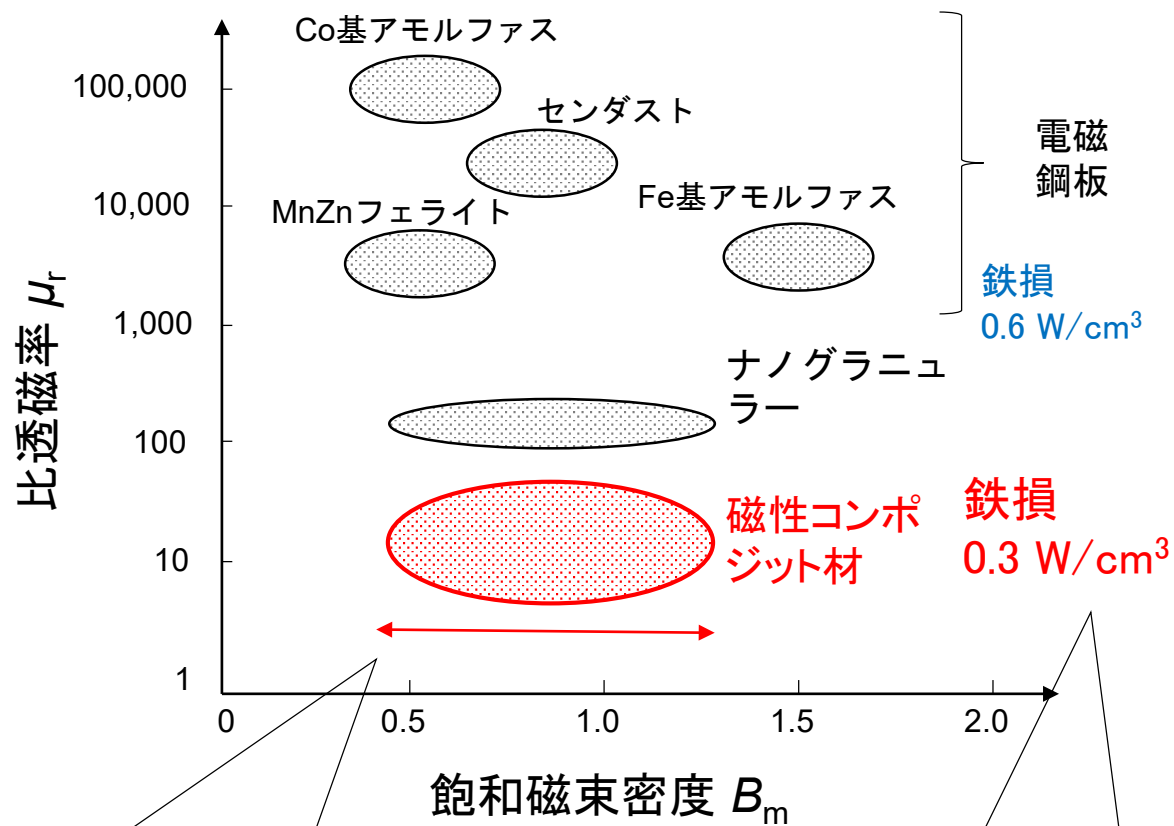
(a) 磁化特性(B-H特性)



(b) 鉄損特性

図9 磁性コンポジット材の磁気特性

磁性コンポジット材の特徴



テース形状



リング形状

特徴1: 飽和磁束密度の調整が可能, 比透磁率は低い

特徴2: 磁性粉が分散配置されるため低鉄損

特徴3: 自在な形状に容易に成形可能, 強度も高い

図10 磁性コンポジット材の特徴まとめ

MCモータの原理

磁性コンポジット材の低い飽和磁束密度，
を利用して，磁気飽和させる。

負荷	低負荷(低トルク)	高負荷(高トルク)
状態図		
コンポジット材	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

図11 MCモータ(提案機)の動作原理

MCモータの効率改善効果

可変磁束により，低トルク（・高速回転）領域の誘起電圧を低下させる。
⇒ **弱め界磁電流低減（＝銅損低減）**

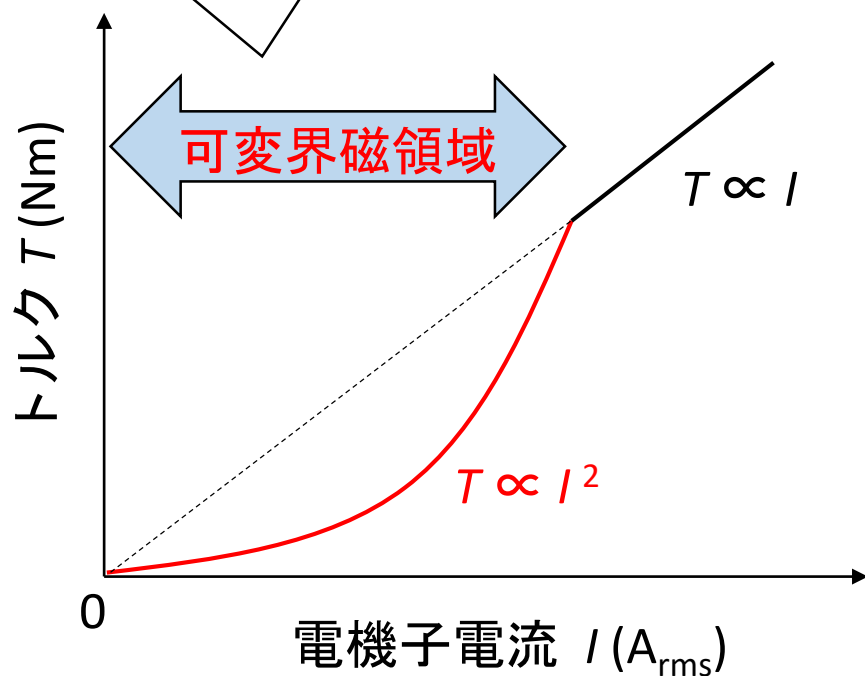


図12 MCモータの可変界磁特性

磁性コンポジット材の透磁率の低さを
利用して磁気抵抗差に起因する空間
高調波が抑制される。
⇒ 高速回転時の**鉄損低減**

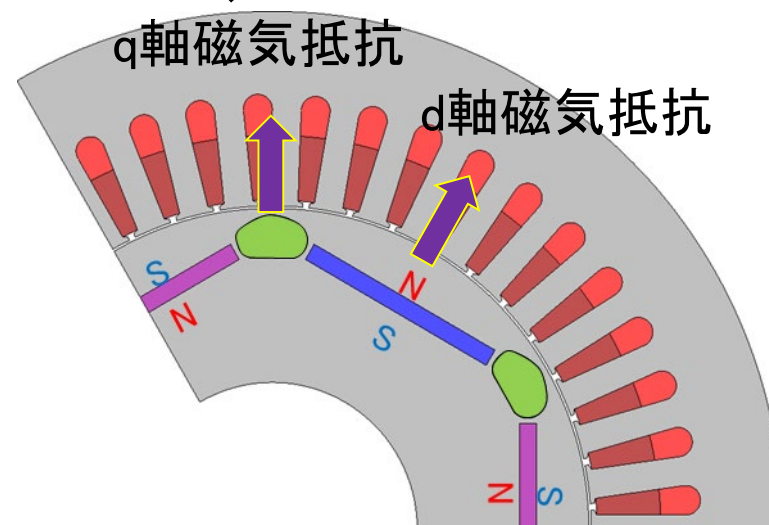


図13 MCモータの空間高調波抑制効果

目次

1. モータに要求される性能
2. 磁性コンポジット材を用いた可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)
3. MCモータのメリット1(高効率領域効果)
4. MCモータのメリット2(機械強度向上効果)
5. まとめ

磁性コンポジットを挿入した可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)

項目	条件
固定子直径	176.1 mm
回転子直径	109.2 mm
軸方向長さ	100 mm
極数	6
スロット数	45
巻数	8×5 series

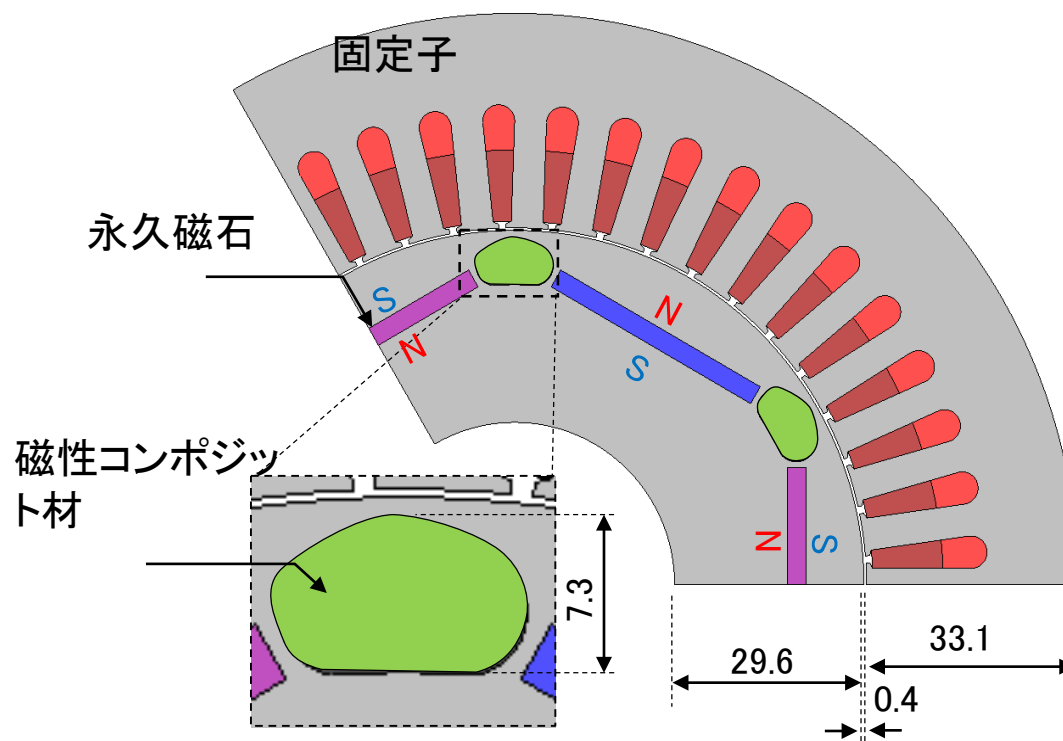
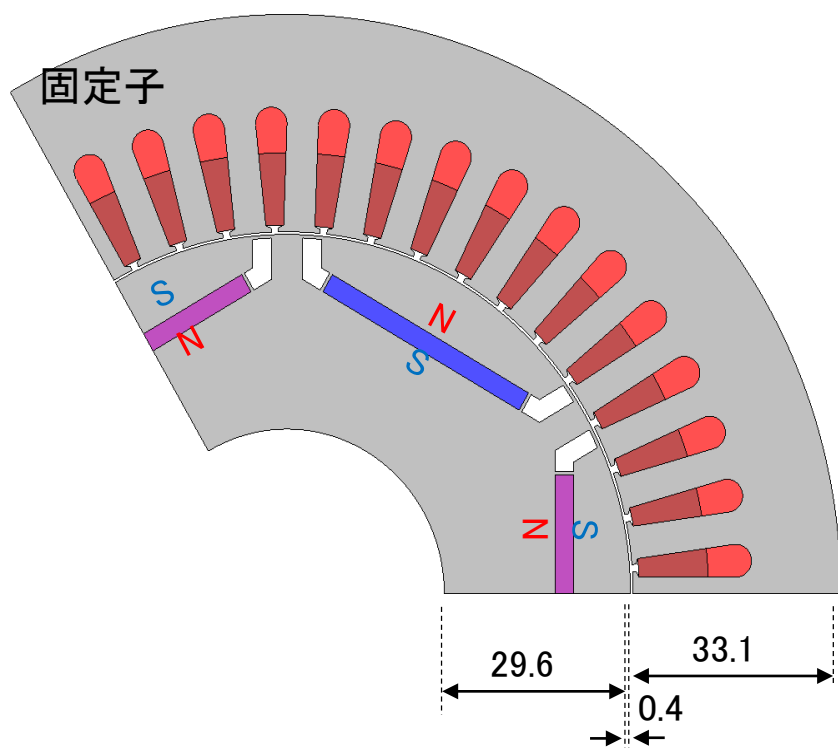
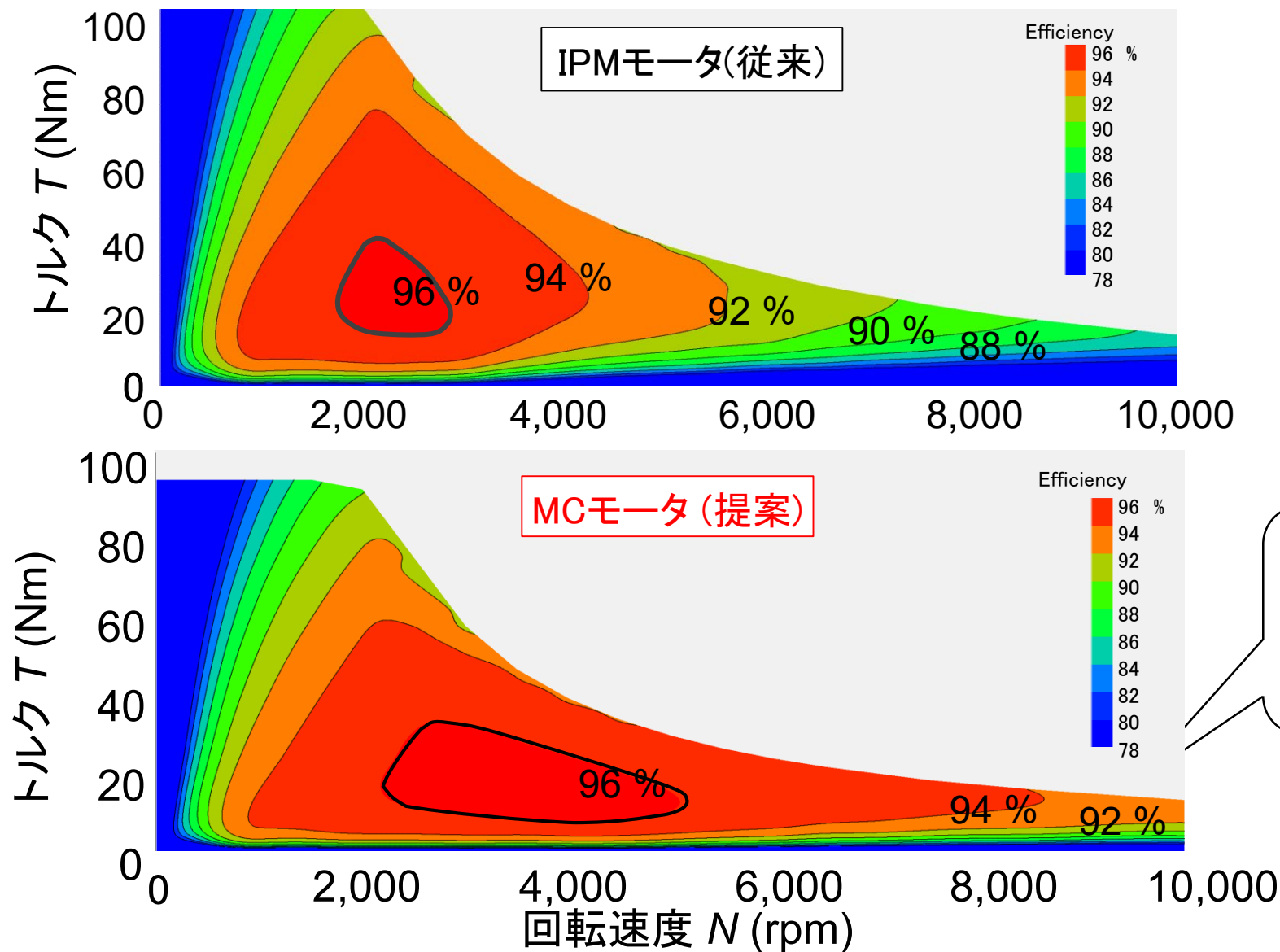


図6 IPMモータ(従来機)の構成[再掲]

図7 MCモータ(提案機)の構成[再掲]

効率マップ



MCモータ:
高効率範囲(96%以上)
が高速領域まで拡大

図14 効率マップ

トルク特性

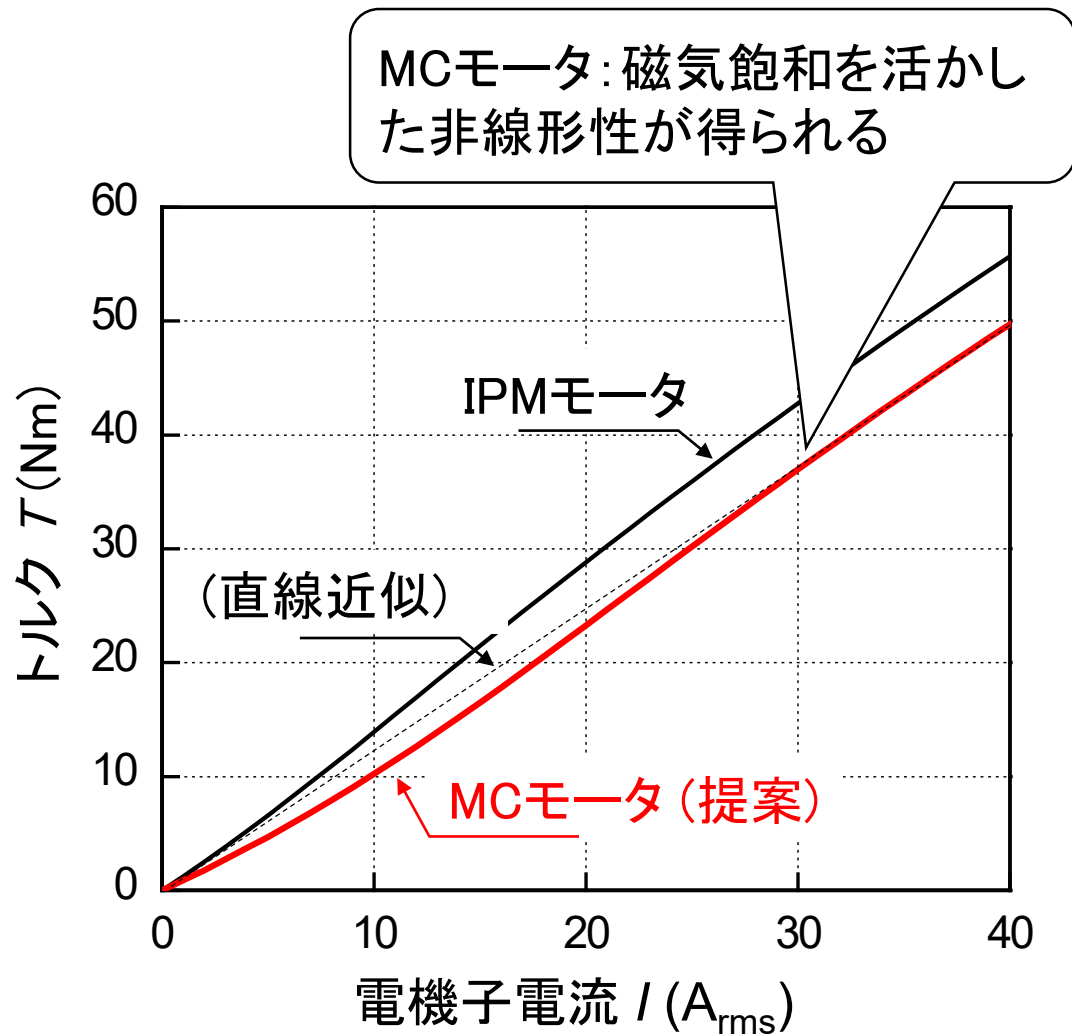
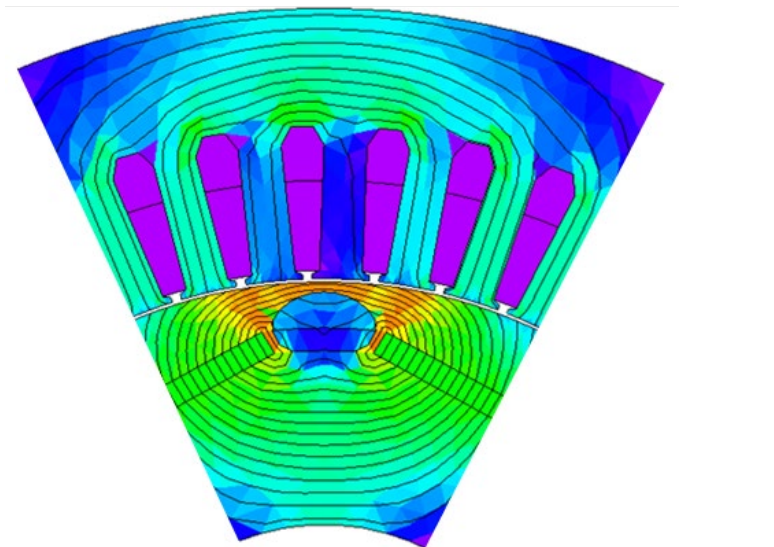
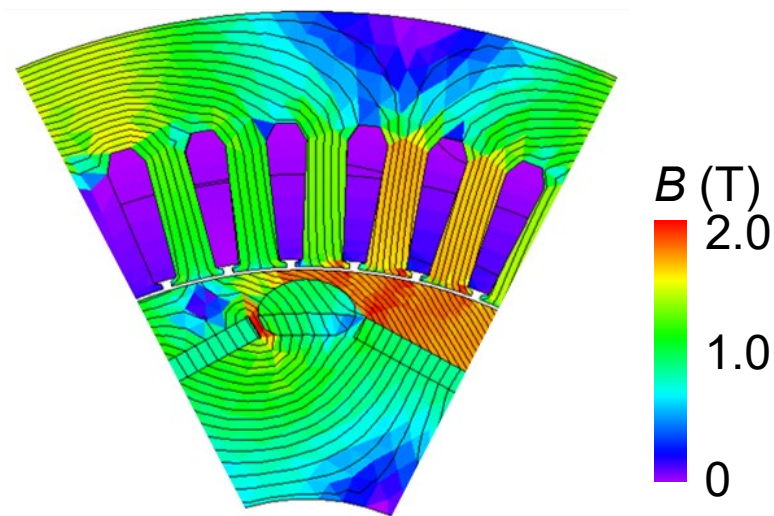


図15 トルク特性



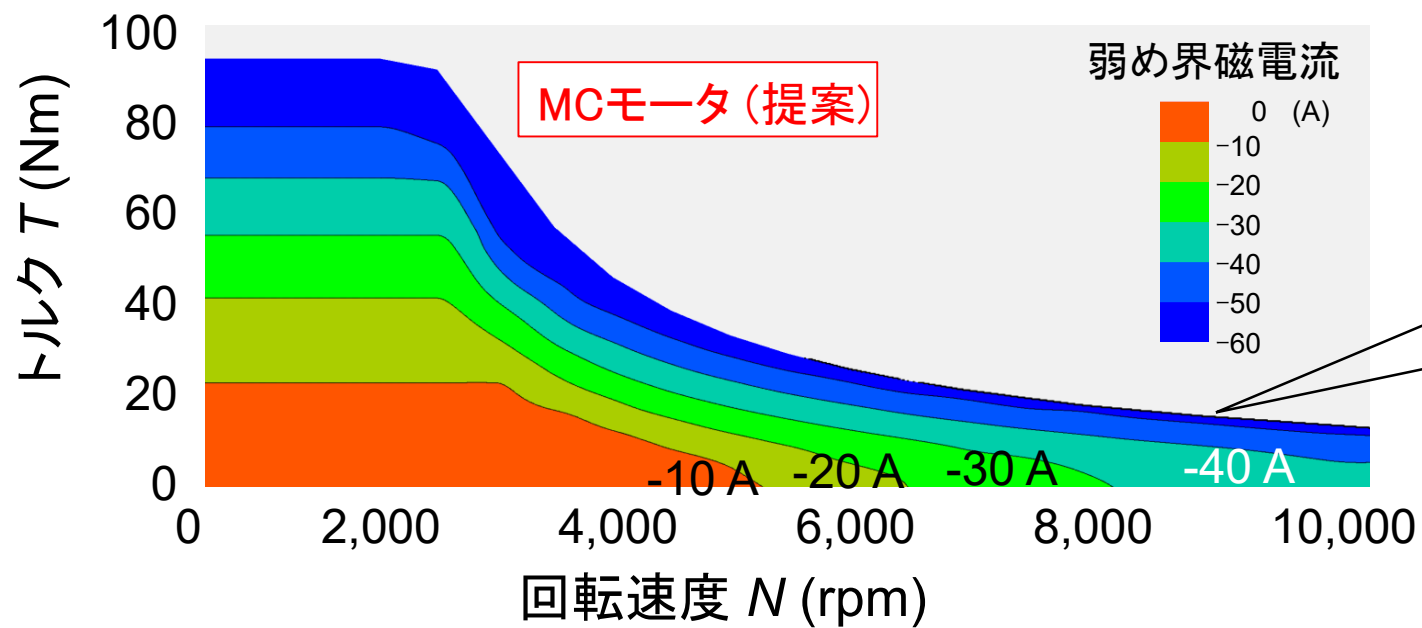
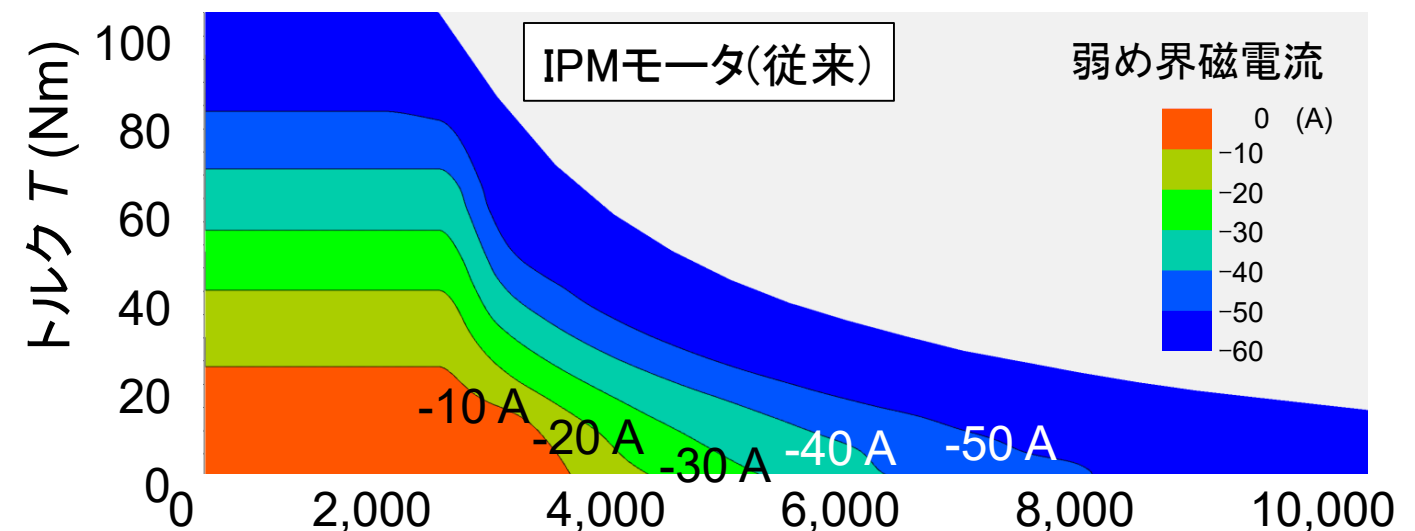
(a) 負荷なし ($I = 0A$)



(b) 負荷あり ($I = 20A$)

図16 MCモータの磁束密度分布

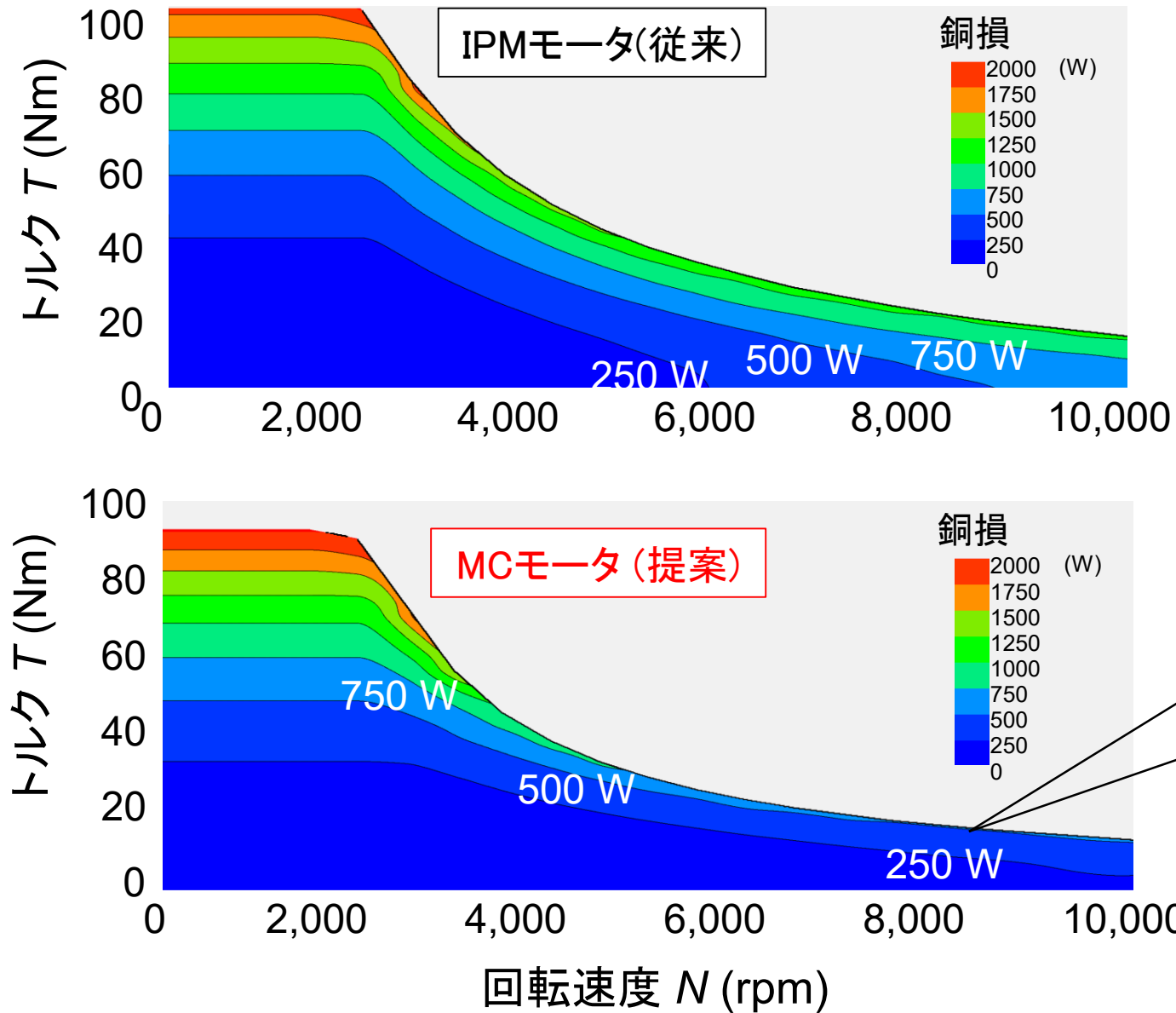
d軸電流マップ



MCモータ:
高速領域の弱め界磁電
流低減効果あり

図17 d軸電流マップ

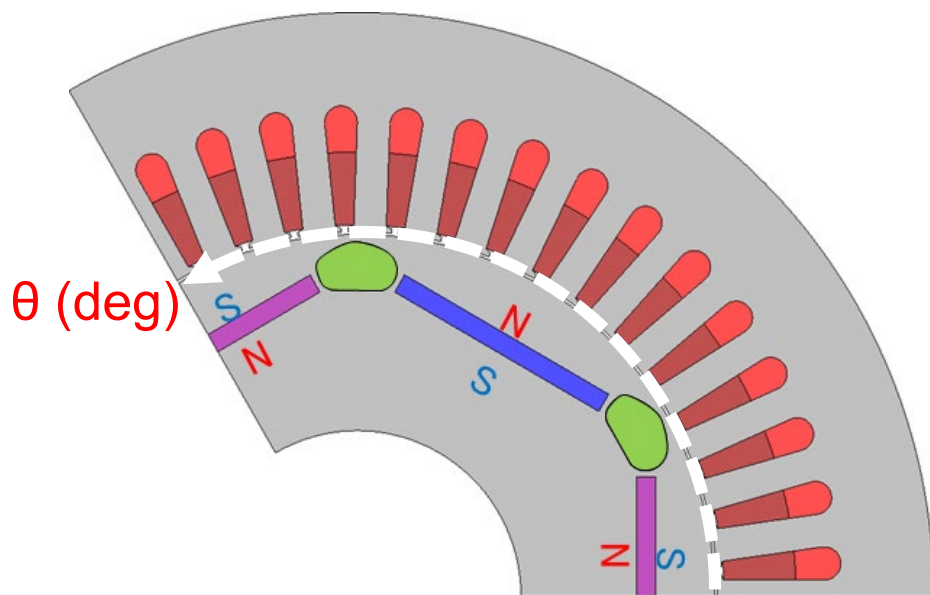
銅損マップ



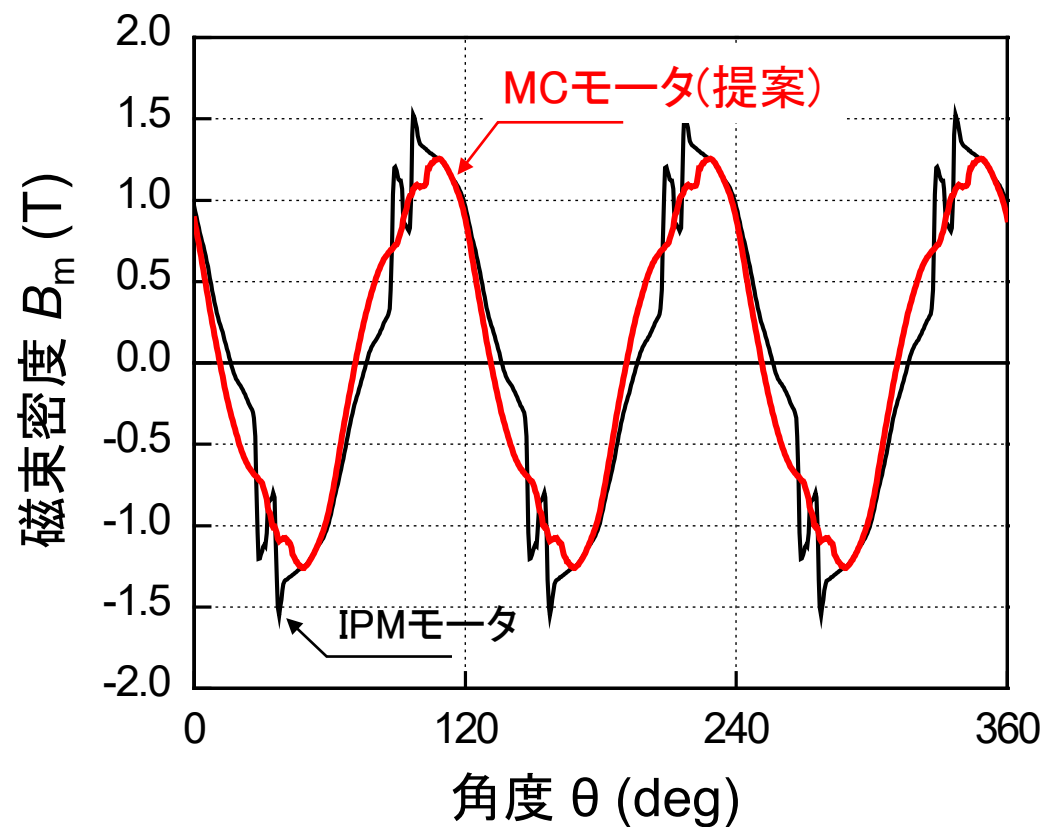
MCモータ:
弱め界磁電流低減により高
速領域の銅損低減効果大

図18 銅損マップ

空間高調波



(a) 計測地点



(b) 磁束密度

図19 ギャップ部磁束密度

空間高調波

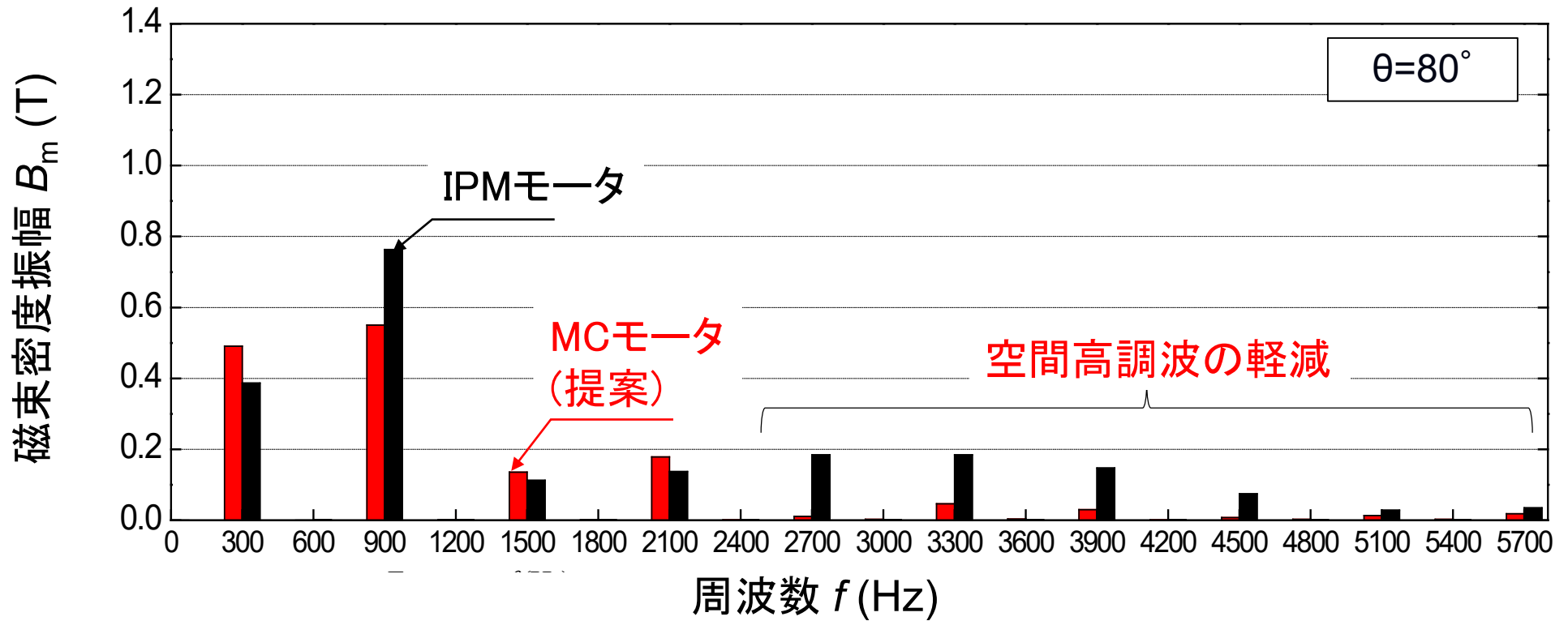
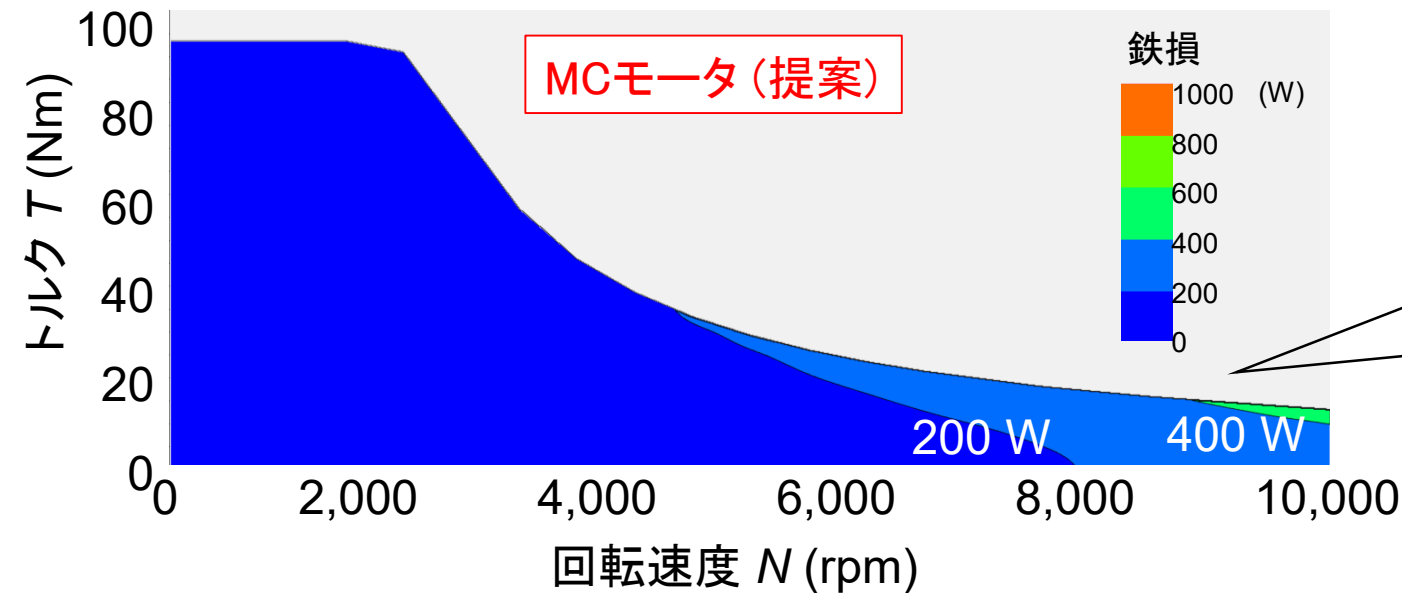
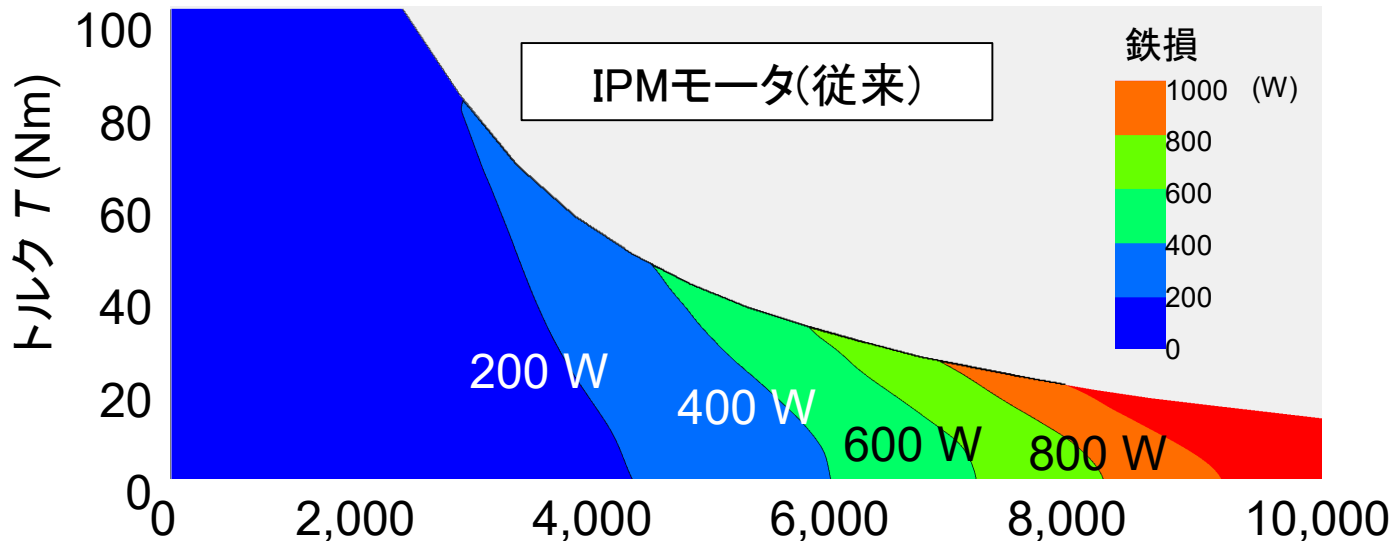


図20 磁束密度のフーリエ変換

鉄損マップ



MCモータ:
空間高調波軽減による
高速領域の鉄損低減

図21 鉄損マップ

目次

1. モータに要求される性能
2. 磁性コンポジット材を用いた可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)
3. MCモータのメリット1(高効率領域効果)
4. MCモータのメリット2(機械強度向上効果)
5. まとめ

磁性コンポジットを挿入した可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)

項目	条件
固定子直径	176.1 mm
回転子直径	109.2 mm
軸方向長さ	100 mm
極数	6
スロット数	45
巻数	8×5 series

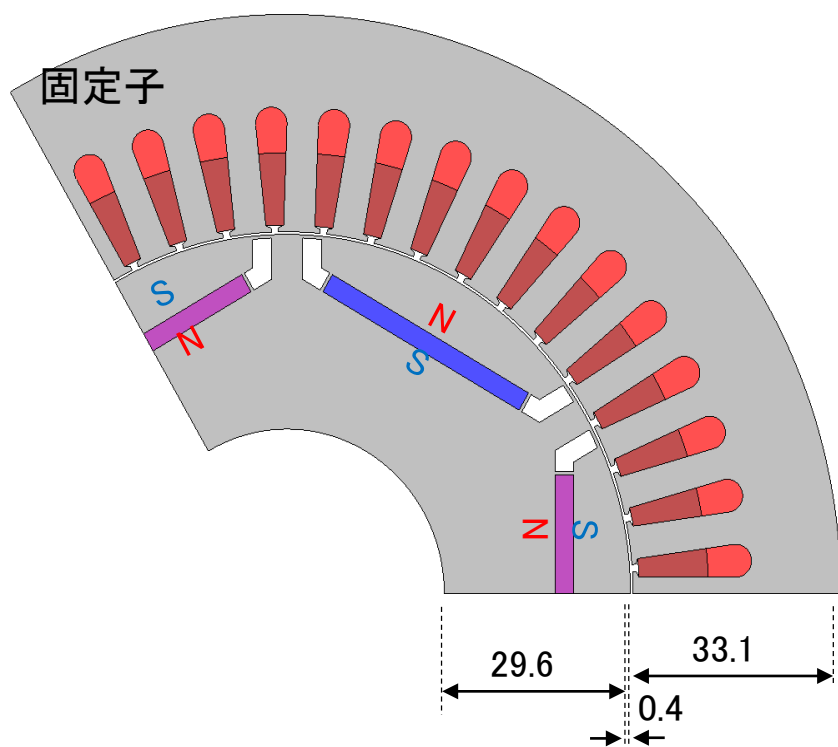


図6 IPMモータ(従来機)の構成[再掲]

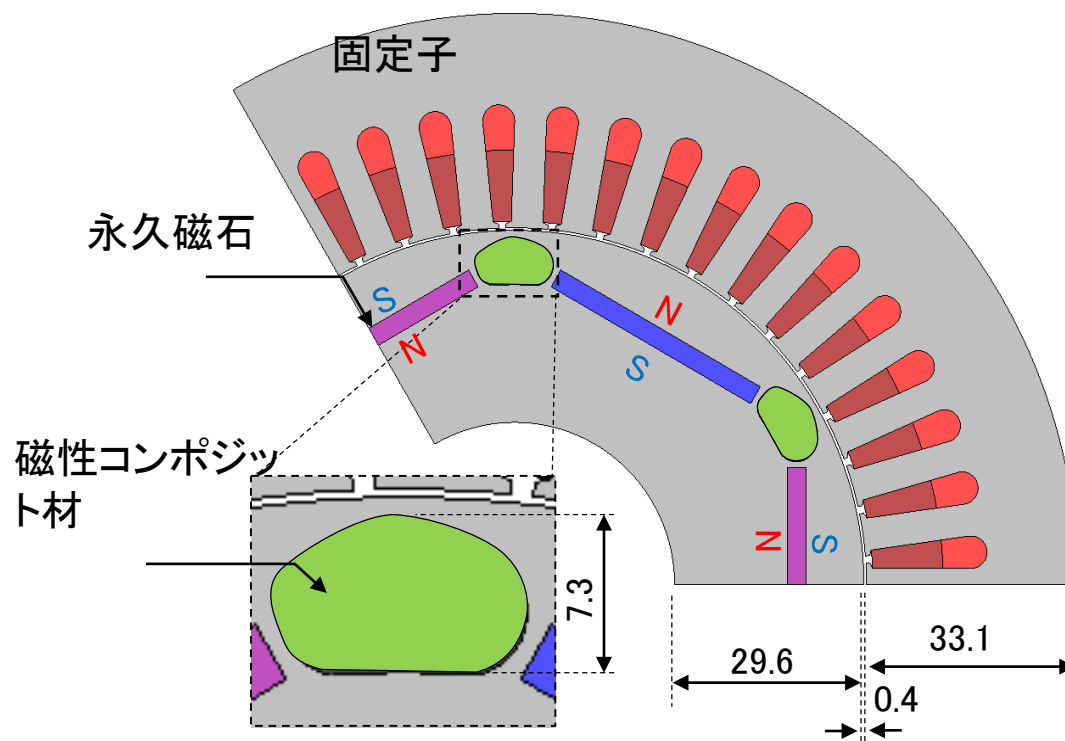


図7 MCモータ(提案機)の構成[再掲]

磁性コンポジット材の機械特性

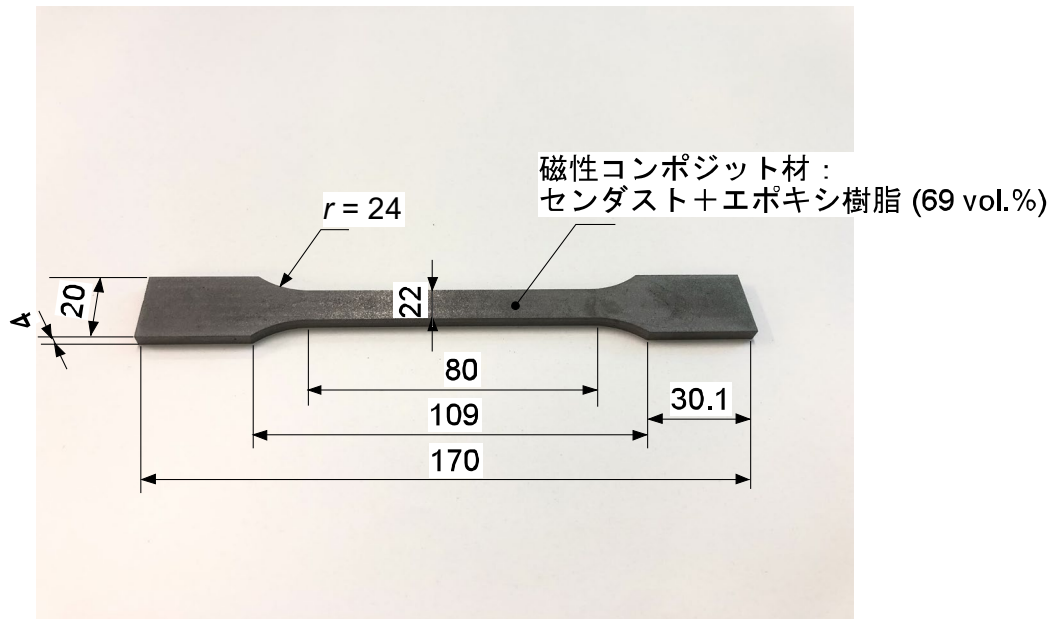


図22 磁性コンポジット材のダンベル片

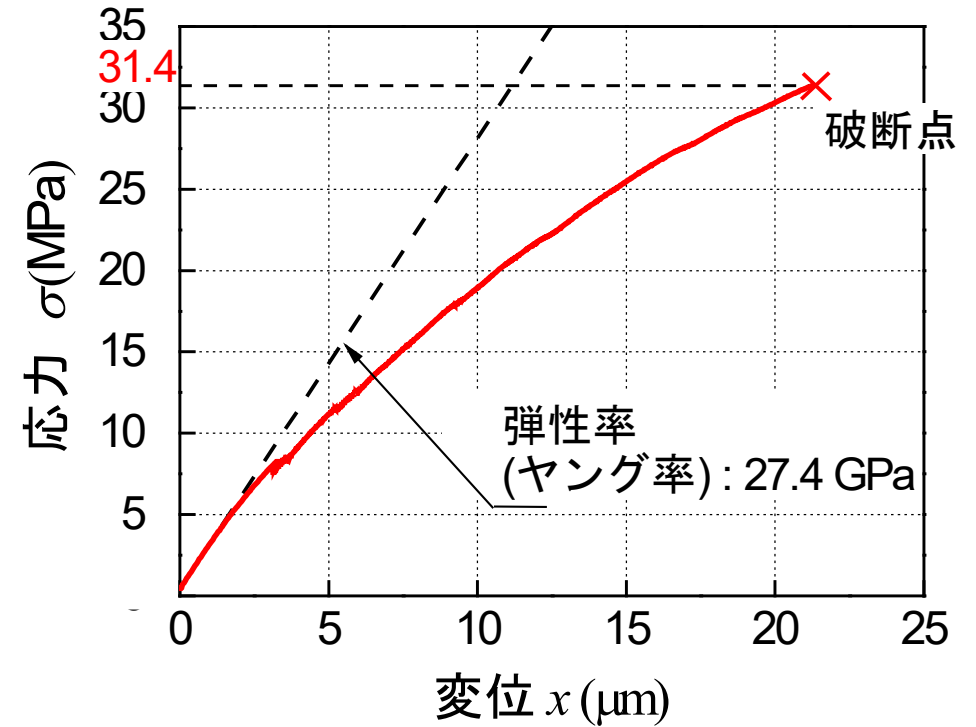
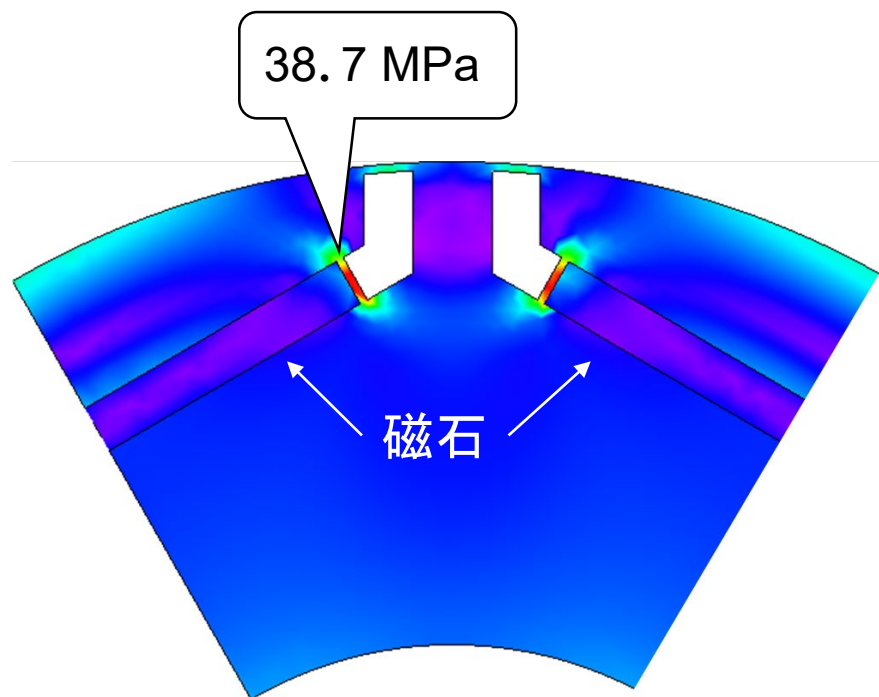


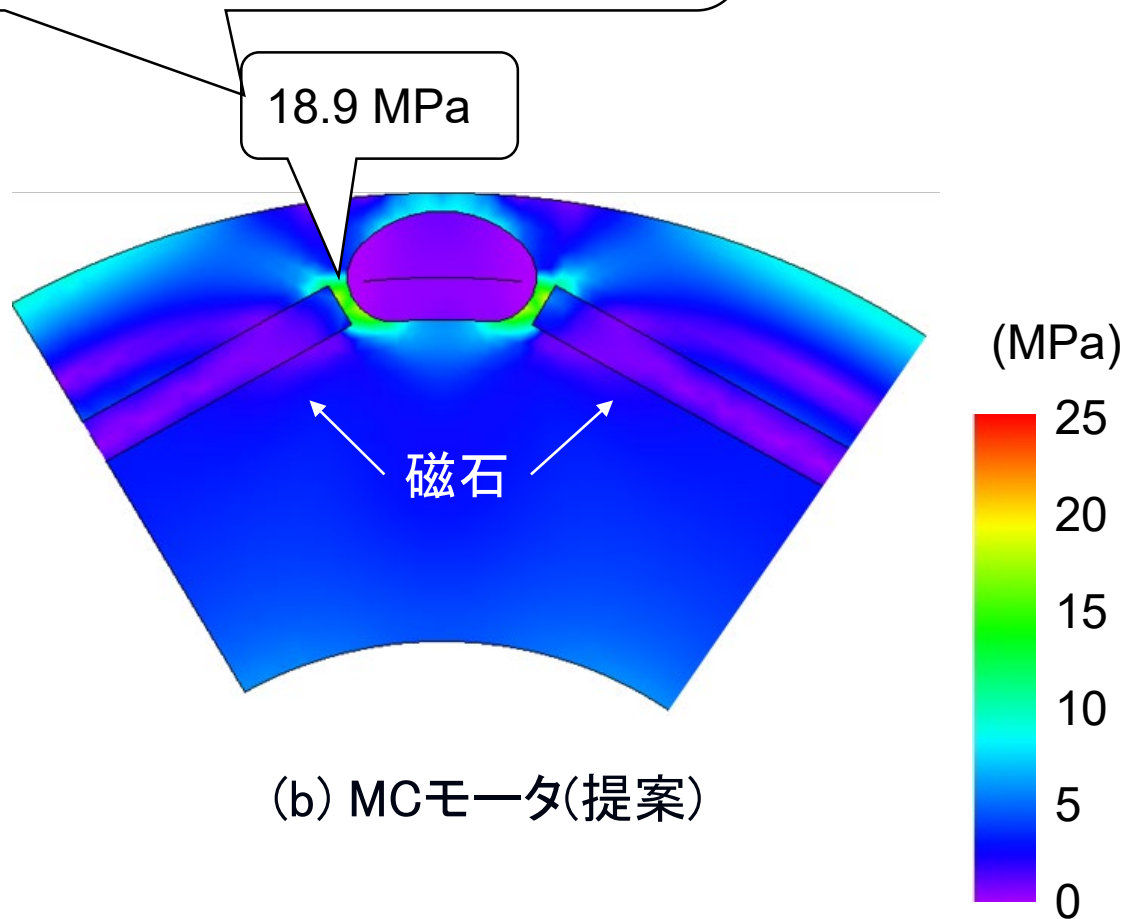
図23 磁性コンポジット材の機械特性

ミーゼス応力分布

MCモータ:
空隙(フラックスバリア)にコンポジット
材を埋め込むことで強度向上



(a) IPMモータ(従来)



(b) MCモータ(提案)

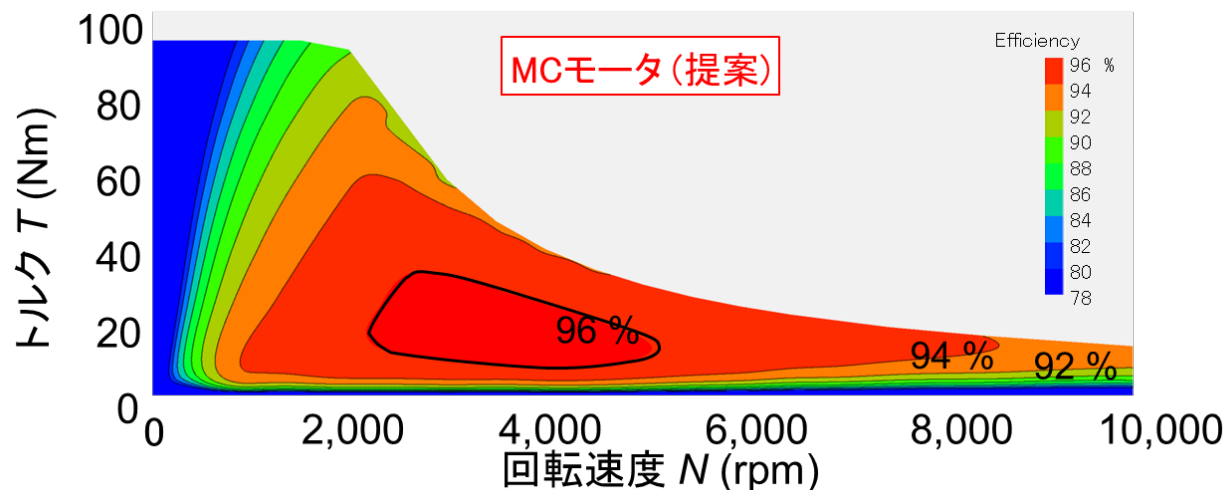
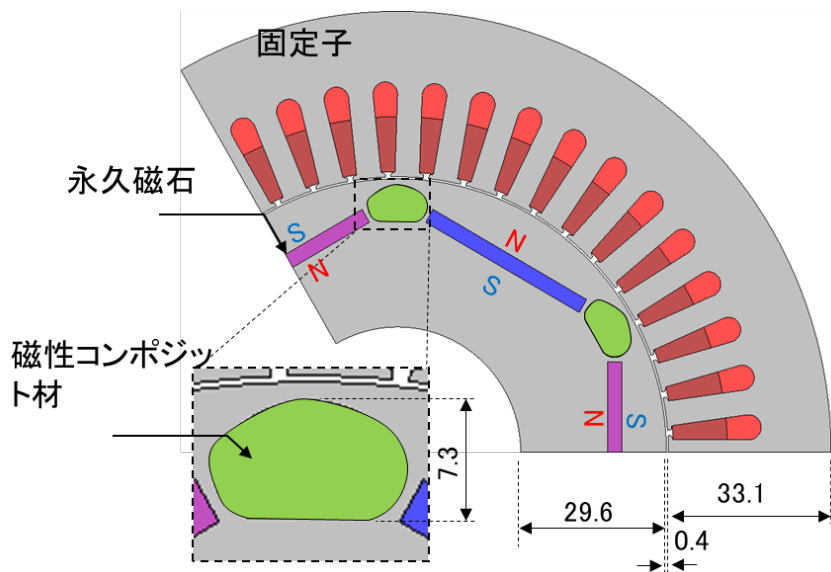
図24 ミーゼス応力解析 ($N = 5,000$ rpm)

目次

1. モータに要求される性能
2. 磁性コンポジット材を用いた可変界磁モータ
(Magnetic Composite material variable flux motor)
3. MCモータのメリット1(高効率領域効果)
4. MCモータのメリット2(機械強度向上効果)
5. まとめ

磁性コンポジット材の「低鉄損」「低飽和磁束密度」「低透磁率」を活かした可変界磁モータ

- ・従来モータのフラックスバリア(磁石間)に磁性コンポジット材を挿入するのみで実現
- ・「可変磁束効果」「空間高調波の抑制」で**高効率範囲(96%以上)が3倍程度拡大**
- ・機械強度の向上も実現



現時点の状況

- ・シミュレーションにおいて高効率領域拡大効果を確認済み。

今後の検討

- ・実機モータを試作し、可変磁束効果、効率向上効果を実証する。
- ・可変磁束特性が得やすいモータ構造を明確化する。

実用化に向けた課題

- ・磁性コンポジット材の成型方法(真空注型, 射出成型など)の確立
- ・モータ生産性を考慮した磁性コンポジット材の挿入方法の確立

共同研究希望など

- ・モータ設計, 製造に関するノウハウを有するモータ製造業
- ・磁性材の加工に関するノウハウを有する磁性材料製造業
- ・自動車主機モータ, 家電モータ(洗濯機, エアコン)など広範囲の運転範囲を有するモータを開発中の企業に, 本技術の導入が有効と思われる。

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2021-171789
- 出願人 : 信州大学
- 発明者 : 佐藤 光秀、水野 勉

産学連携の経歴

- 2020年-2022年 JST ASTEPトライアウトに採択

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