

磁気ギアと複数台の高速モータを用いた EV用インホイールモータシステムの開発

目次

1. 研究背景
2. 磁気ギアを用いた新型モータシステムの提案
3. EV用インホイールモータシステムを想定した実設計
4. シミュレーションによる特性評価
5. 実機実験による特性評価
6. まとめと成果

相曽浩平* (早稲田大学) , 赤津 観 (SIT総合研究所 特任教授)

1. 研究背景 ■ 研究のコンセプト

自動車は100年に一度の変革期

- ・ 駆動力はエンジンからモータへ
- ・ 自動運転技術の発展により車内は自由な生活空間へ



モータシステムの高効率化と小型軽量化
の技術革新が不可欠だが,,,

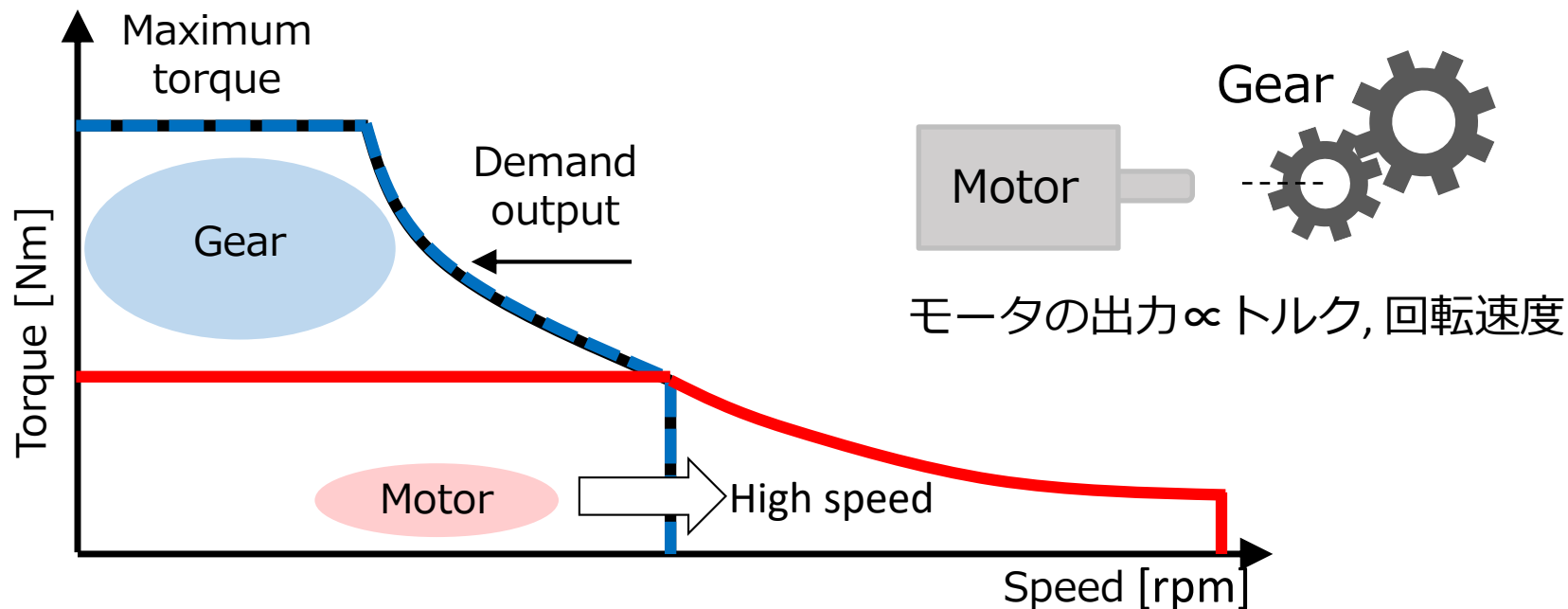
ギアの新しい技術を取り入れることで
モータの性能を更に生かす



「磁気ギアと複数台の高速モータを用いたモータシステム」

1. 研究背景 ■ モータシステムの小型軽量化

モータは高速化することで小型軽量化できる！



高速モータに機械式ギアを適用した際の問題点

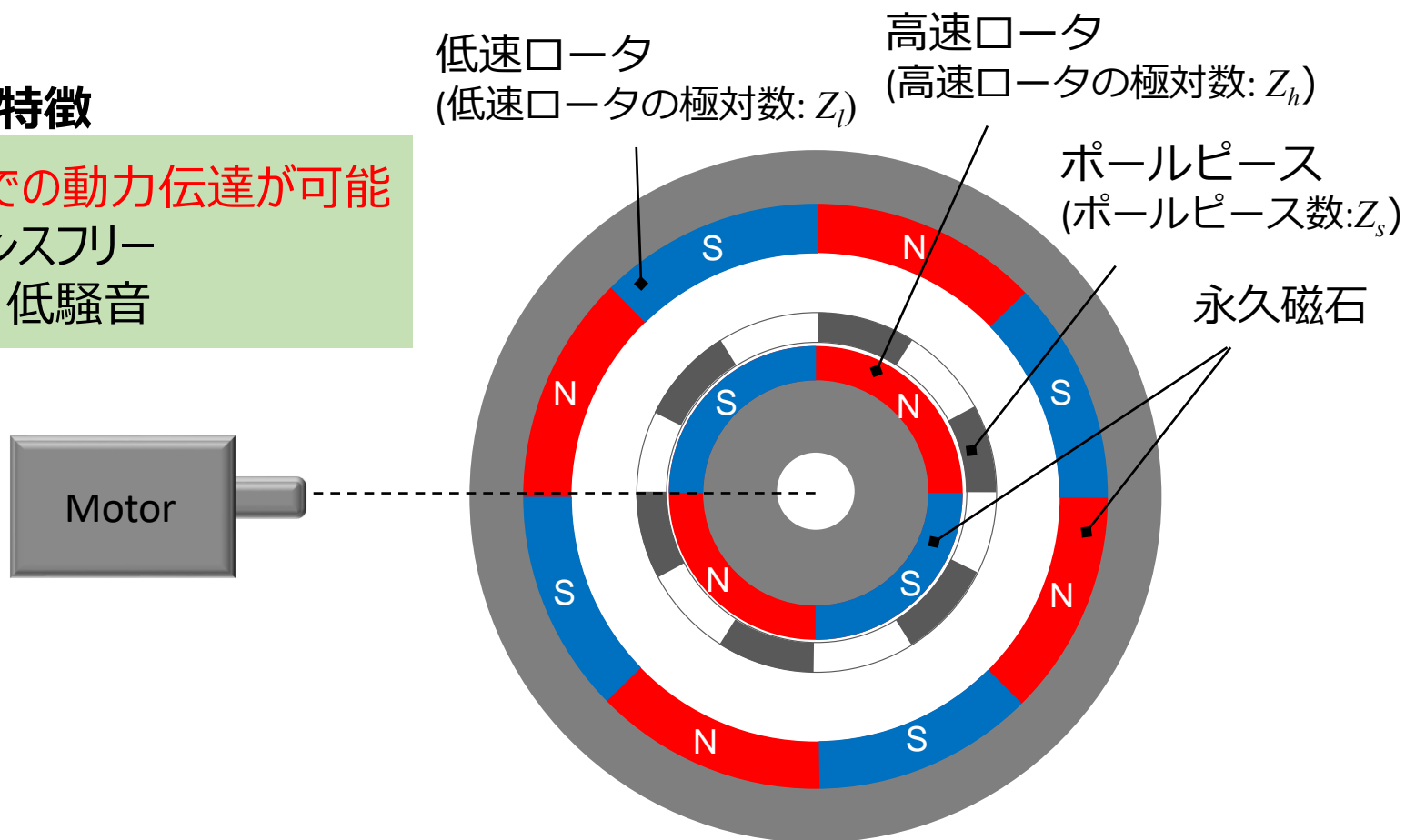
- 摩擦による歯の摩耗
- 振動・騒音, 熱の発生
- 冷却, 潤滑油の必要性

⇒モータ速度に制限が生じる

1. 研究背景 ■ 従来の磁気ギアの構造と特徴

磁気ギアの特徴

- 非接触での動力伝達が可能
- メンテナンスフリー
- 低振動・低騒音

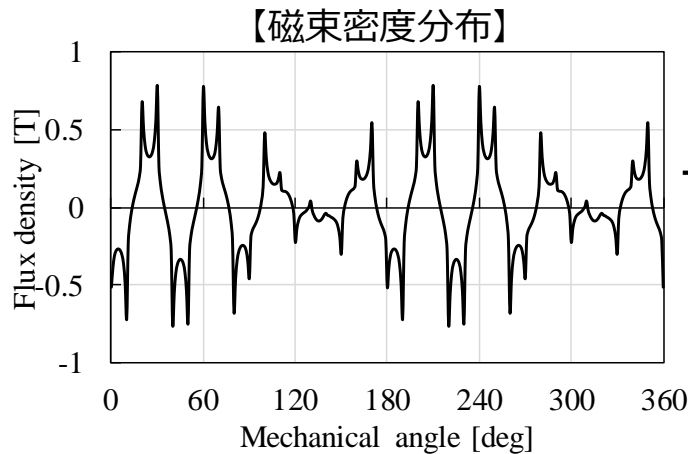


機械式ギアの摩擦の問題を解決し、
モータの更なる高速化が可能

1. 研究背景 ■ 動作原理と高速化に向けた課題

磁気結合のための条件: $Z_s - Z_h = Z_l$

ギア比: $G = Z_h / Z_l$

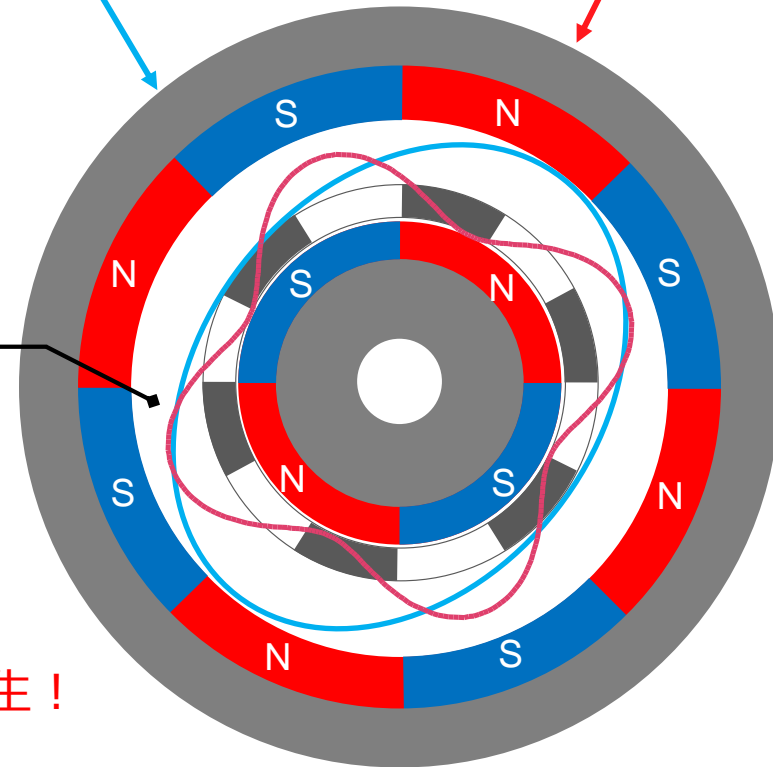


高速ロータの
基本波磁束

Z_h order

変調磁束

$Z_s - Z_h$ order



磁束伝達の際に多くの高調波磁束が発生！

磁気ギアの高速化に向けた課題

- 高速ロータに磁石を有しているため、機械的強度が低く高速化が困難
- 高調波磁束の影響により、コア損・磁石渦電流損が増大

1. 研究背景 ■ 研究目的とブランディング事業の取り組み

□ 研究目的

磁気ギアと高速モータを一体化したモータ駆動システムを構築し、システムの小型化, 高効率化, 高付加価値化を実現する

□ ブランディング事業における実施項目

- EV用インホイールモータシステムを対象に、磁気ギアを用いた新型モータシステムの設計
- シミュレーション及び試作・実験による特性評価

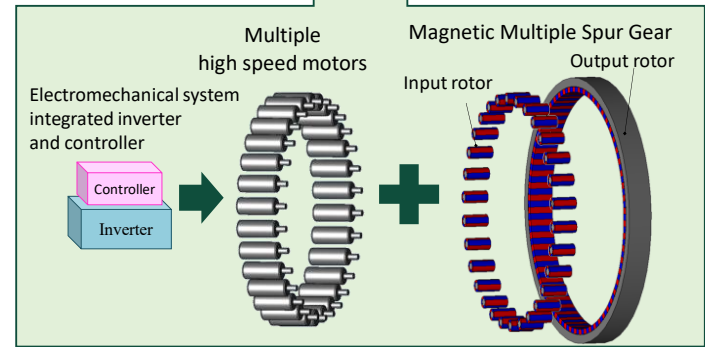
2. 磁気ギアを用いた新型モータシステムの提案

EV用インホイールモータシステムへの適用

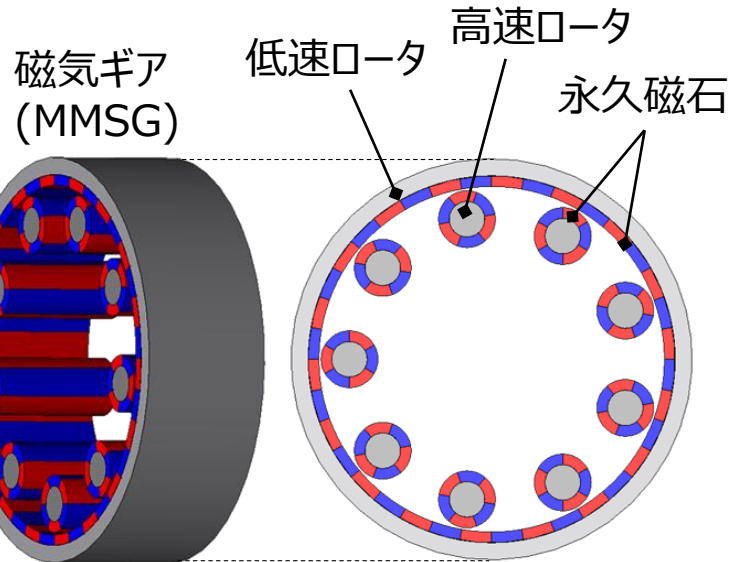


- Compact and light weight
- High efficiency
- Maintenance free
- Low vibration and low noise

In-wheel Motor drive system



複数の高速モータ



$$\text{ギア比} : G = \frac{Z_l}{Z_h}$$

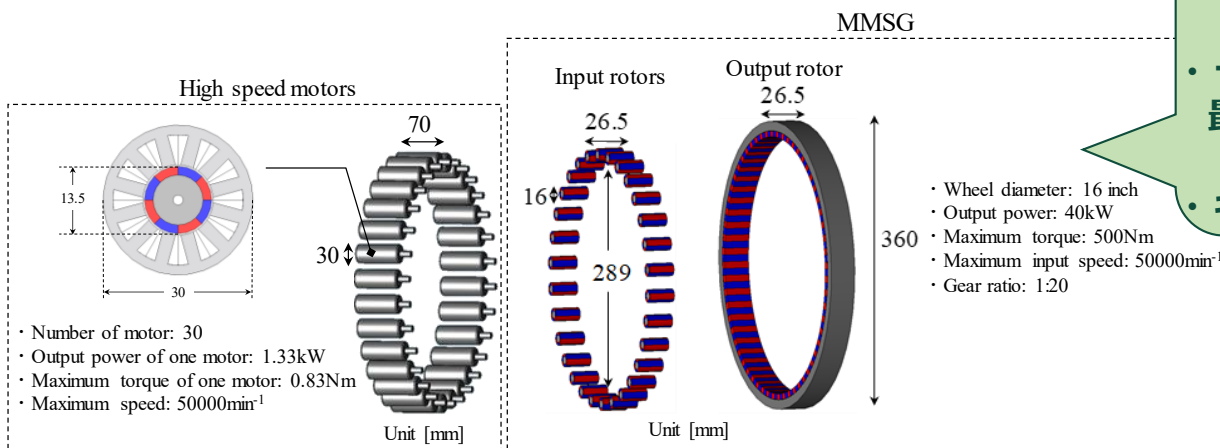
MMSGの特徴

- 高速ロータ径が小さく、機械強度的に高速駆動が可能
- エアギャップ中の高調波磁束が少なく損失が低減

複数台の超高速モータ + 磁気ギア(MMSG)のモータシステム
⇒小型軽量化と高効率化を実現

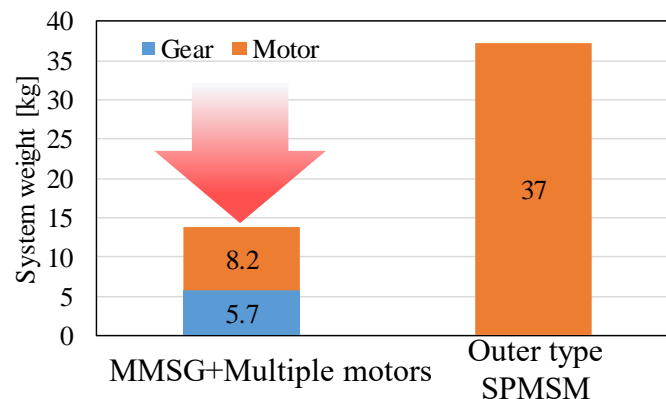
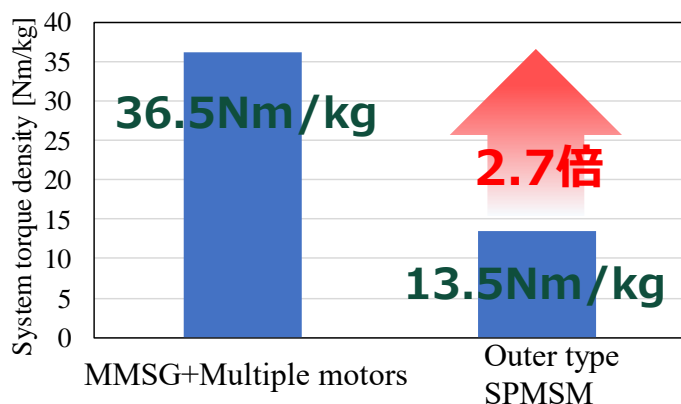
3. EV用インホイールモータシステムを想定した実設計

□ 設計した40kWのMMSGモータシステム



- 小型・高速モータを30個使用
- 一般的な自動車用モータの5倍の最高回転速度50000回転/分で駆動
- ギア比1:20で動力変換

□ サイズの試算

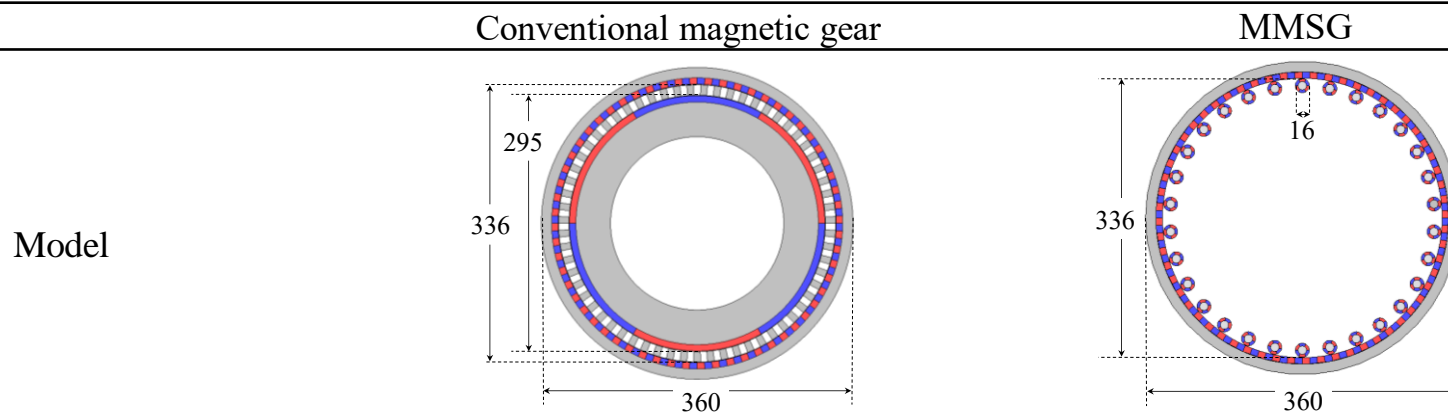


(※磁石量一定)

一般的な自動車用モータシステムに対して**約3倍の小型軽量化**

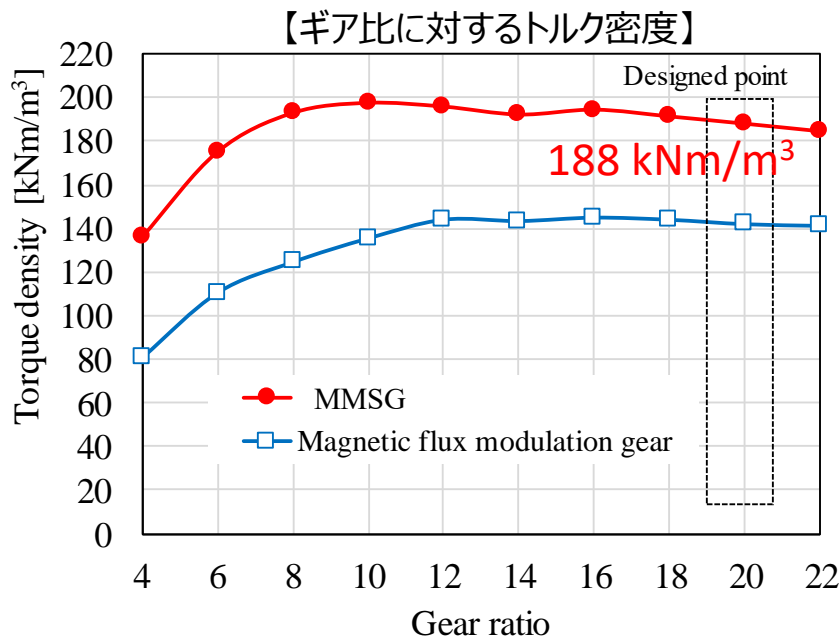
4. シミュレーションによるMMMSGの特性評価

□ 解析モデル



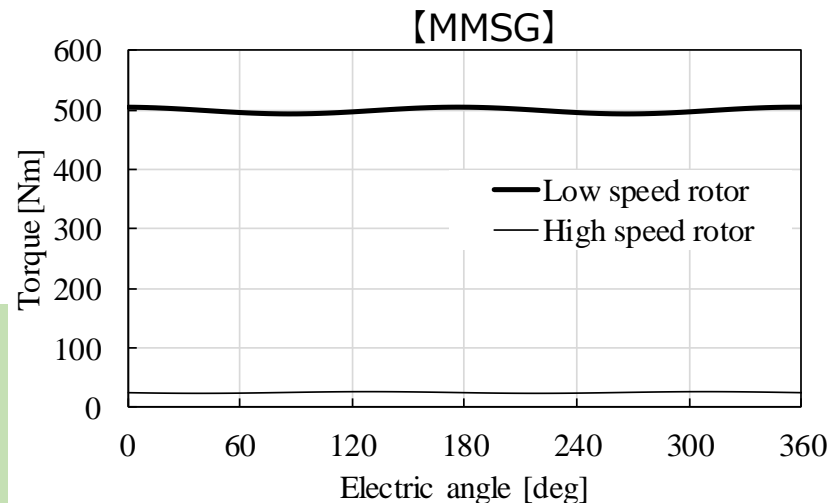
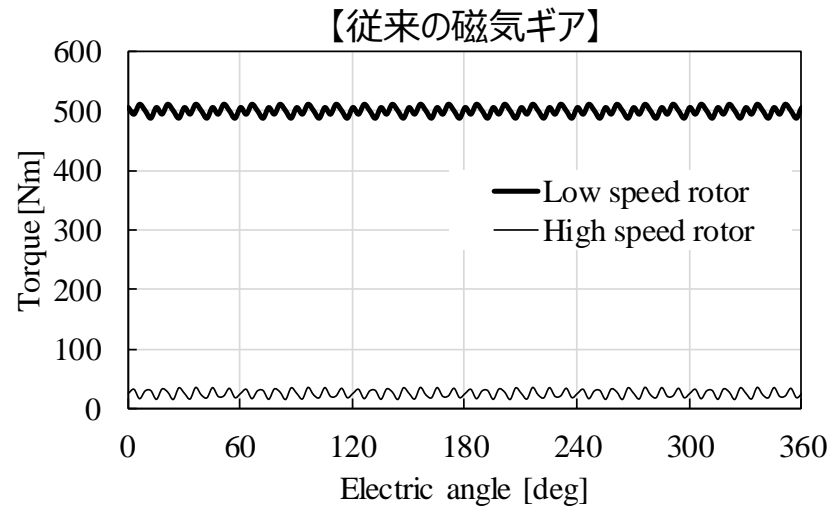
| | | |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Stack length [mm] | 34.5 | 26.5 |
| Air gap length [mm] | 0.5 | 0.5 |
| Pole pairs of high speed rotor | 3 | 3 |
| Pole pairs of low speed rotor | 60 | 60 |
| Number of pole pieces | 63 | - |
| Number of high speed rotor | 1 | 30 |
| Gear ratio | 1:20 | 1:20 |
| Output power [kW] | 40 | 40 |
| Maximum gear torque [N m] | 500 | 500 |
| Maximum motor speed [rpm] | 50000 | 50000 |
| Core material of low speed rotor | Magnetic steel sheet (35H300) | Magnetic steel sheet (35H300) |
| Permanent magnet material | Sintered Nd-Fe-B | Sintered Nd-Fe-B |
| Mass of magnet [kg] | 4.2 | 2.6 |
| Gear weight [kg] | 17.1 | 5.7 |

4.1 ギアのトルク密度(シミュレーション結果)



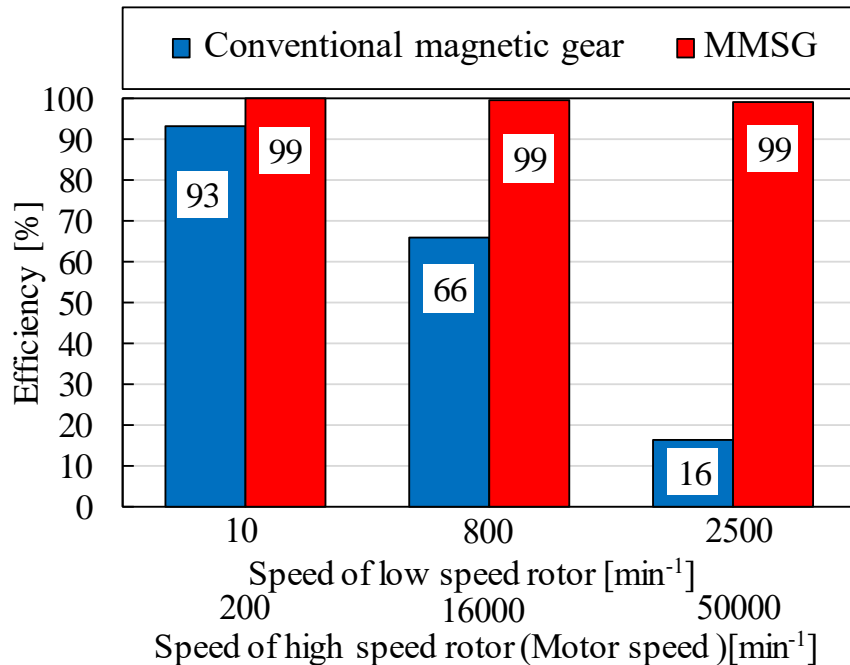
MMSGは高いトルク密度を満たす
 @ギア比1:20⇒**188kNm/m³**

一般的なモータのトルク密度は50kNm/m³前後
 ⇒MMSGを用いることで**高トルク密度化が可能**
 (参考値. プリウス第3世代のモータ: 45kNm/m³)

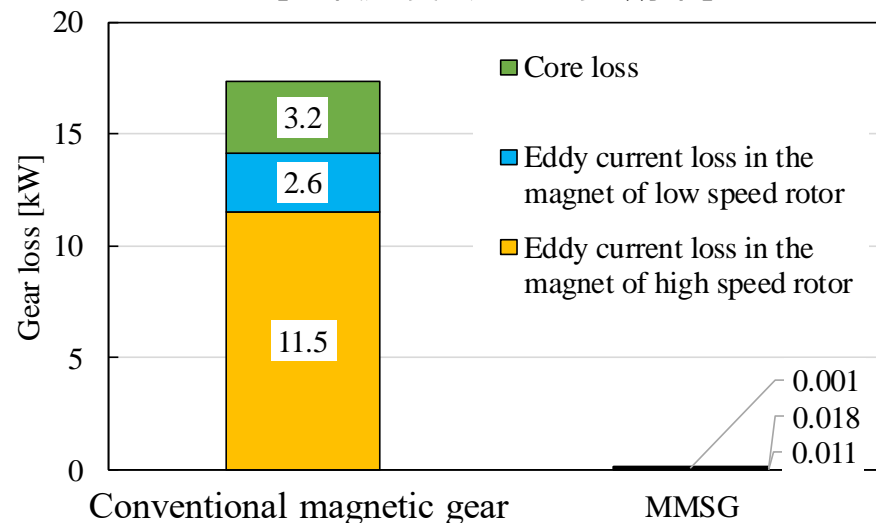


4.2 ギアの効率と損失(シミュレーション結果)

【回転速度に対するギア効率】

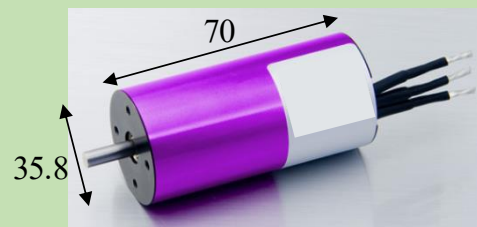
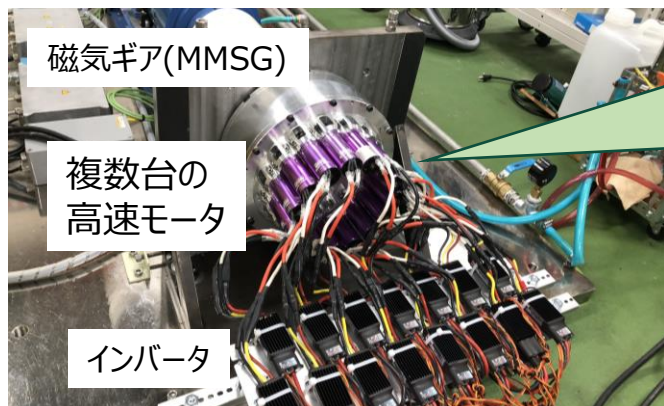


【回転速度に対するギア効率】



- MMSGは高速領域においても最高効率99%が得られる
- MMSGは磁石渦電流損及びコア損を大幅に低減できる

5. 実機実験による特性評価



市販のラジコン飛行機用モータを使用
⇒安く、容易にシステムを構成！

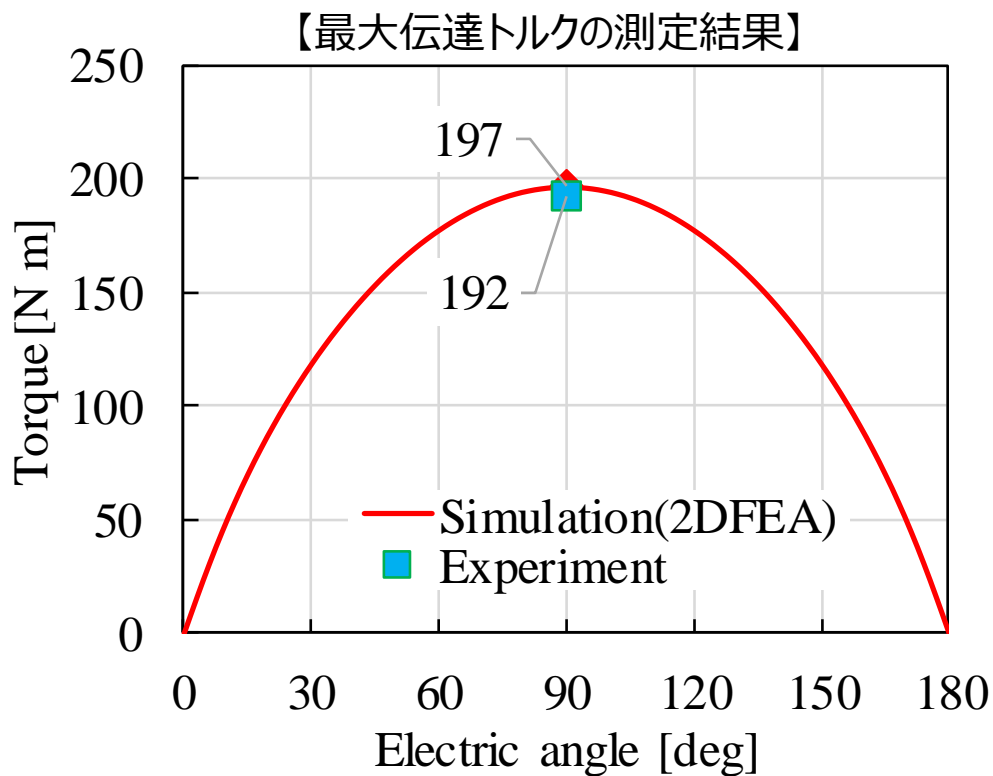
【MMSG試作機の仕様】

| | |
|--|------------------------|
| Gear diameter [mm] | 220 |
| Diameter of high speed rotor[mm] | 20.3 |
| Gear stack length [mm] | 26.5 |
| Gear volume[m ³] | 1.007*10 ⁻³ |
| Air gap of high speed rotor and low speed rotor [mm] | 0.5 |
| Pole pairs of high speed rotor | 3 |
| Pole pairs of low speed rotor | 30 |
| Number of high speed rotor | 15 |
| Gear ratio | 1:10 |
| Gear maximum output power [kW] | 25.5 |
| Gear maximum torque[N m] | 197 |
| Maximum input motor speed [rpm] | 50000 |

【高速モータとインバータの仕様】

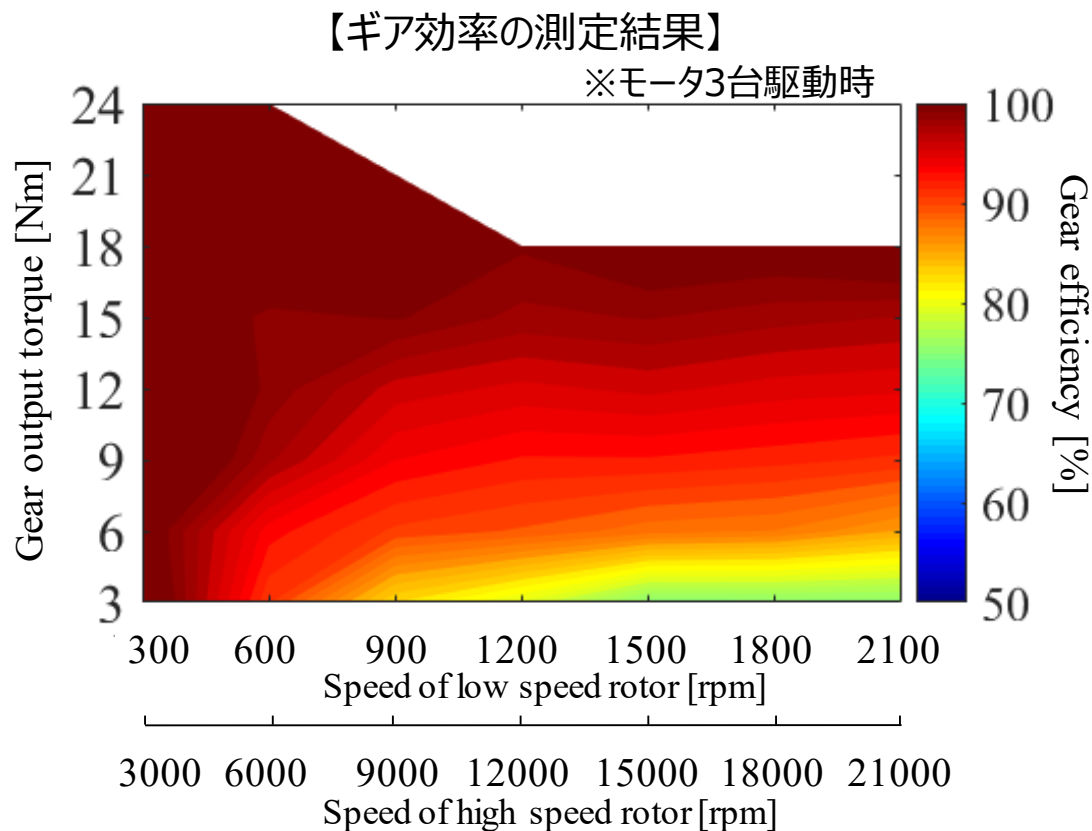
| | |
|------------------------------|---------------|
| Maximum output power [kW] | 1.7 |
| KV [rpm/V] | 986 |
| Maximum speed [rpm] | 60000 |
| Maximum inverter current[A] | 130 |
| Maximum inverter voltage [V] | 51 |
| Inverter size [mm] | 35 × 23 × 105 |
| Inverter weight [g] | 155 |

5.1 最大伝達トルクの測定結果



MMSG試作機は最大伝達トルクは192Nmを満たす。
最大ギアトルク密度191kN/m³が得られる。

5.2 ギア効率の測定結果



21000rpmまでの駆動領域において90%以上の高効率を満たす
特に高負荷の領域ほど高い効率を満たす

6. まとめと成果

- 磁気ギア(MMSG)と複数台の高速モータを用いたモータシステムを提案
- EV用インホイールモータシステムを対象とした設計
⇒一般的な自動車用モータシステムに対して**約3倍の小型軽量化**
- MMSGの実機実験による特性評価
⇒21000rpmの動作範囲で**90%以上の高効率**,
高トルク密度**191kN/m³**が得られることを検証

2025年を目標に, EV用インホイールモータへの適用を目指す
⇒**車載スペースの拡大, 省エネルギー化に貢献**

ご清聴ありがとうございました

