

# 低コスト・高効率を目指した EV用モータの開発

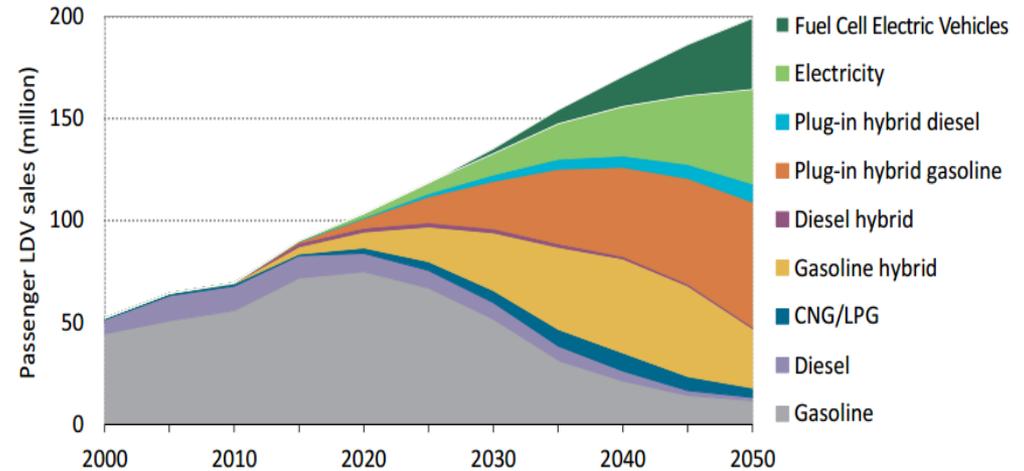
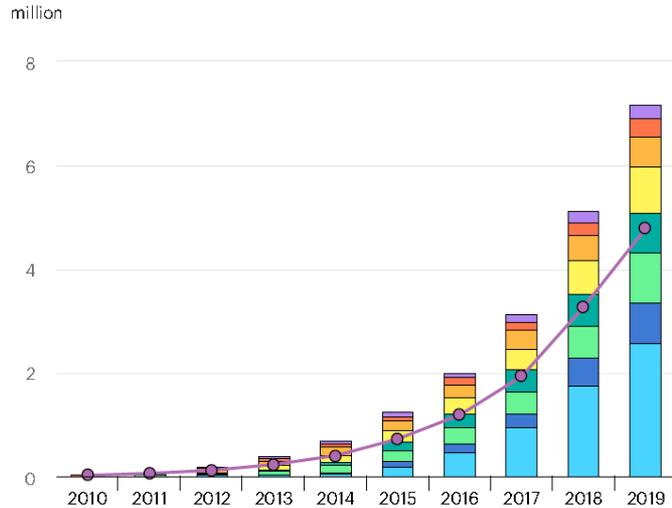
---

芝浦工業大学 電気工学科  
教授 下村昭二

---

● China BEV    ● China PHEV    ● Europe BEV    ● Europe PHEV  
● United States BEV    ● United States PHEV    ● Other BEV    ● Other PHEV    ● World BEV

2050年には  
販売台数の80%以上が  
モータを搭載した電動車に！



(IEA/ETP(Energy Technology Perspectives)2012)

## EVの世界販売台数

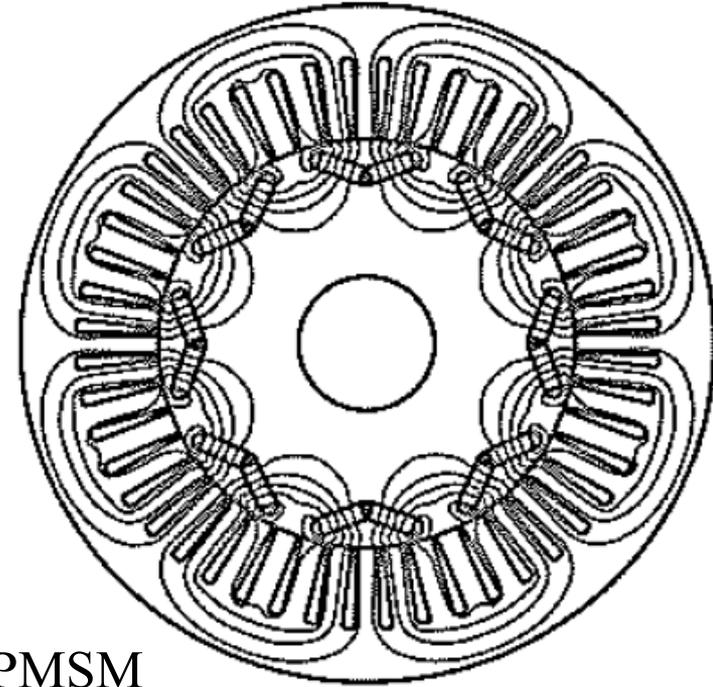
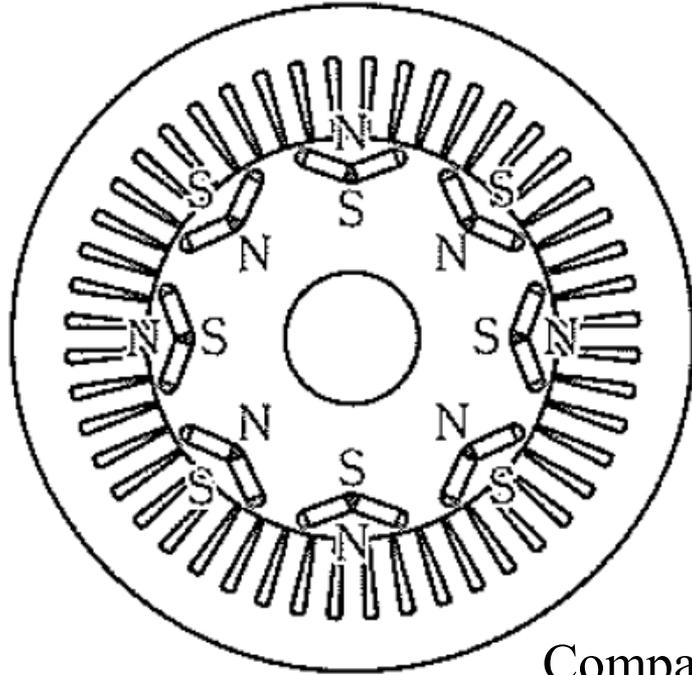
## 自動車の世界販売台数の推計

- ・ 2019年のEV世界販売台数は210万台超
- ・ 2019年の世界自動車販売台数の2.6%

<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>

## 埋込磁石同期モータ

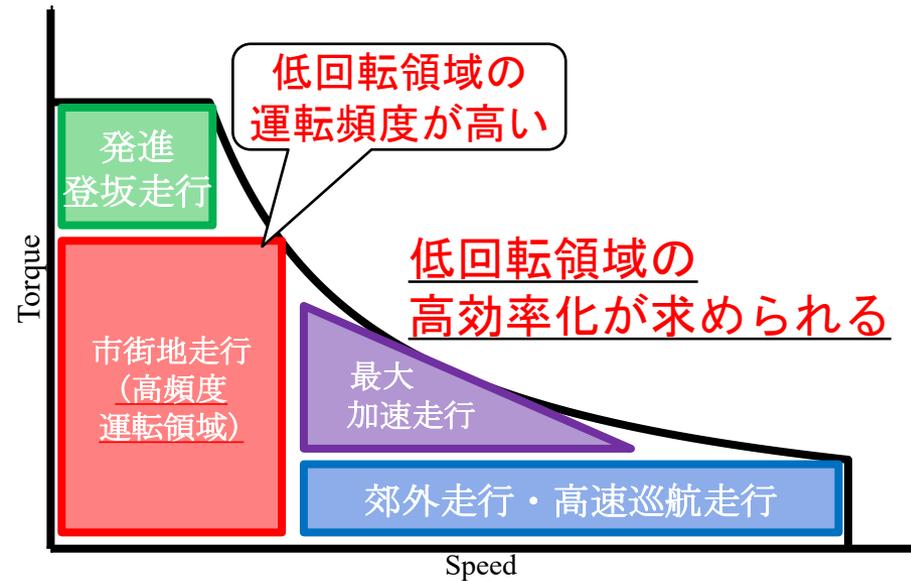
IPMSM: Interior PM Synchronous Motor



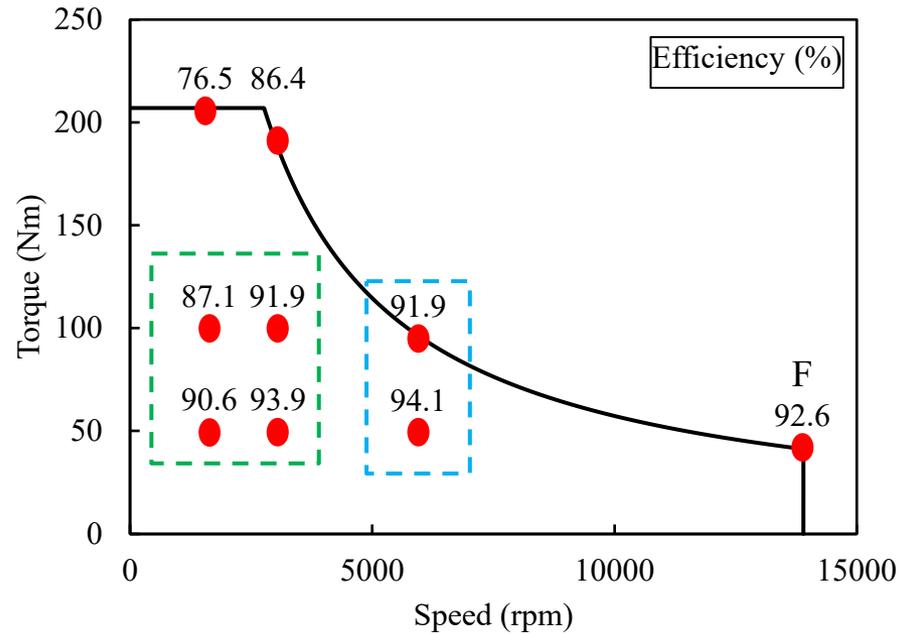
Compared IPMSM

Referred  
**EVALUATION OF THE 2010 TOYOTA PRIUS HYBRID SYNERGY DRIVE  
SYSTEM**

by Oak Ridge National Laboratory



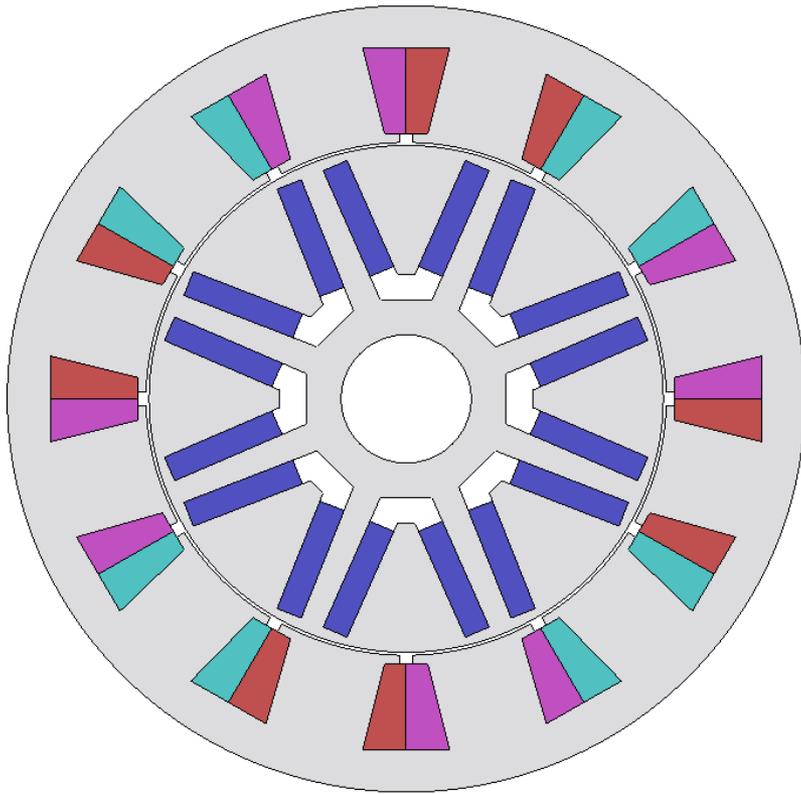
〈Compared motor〉



FEM解析によるCompared motorの効率マップ

平均トルク

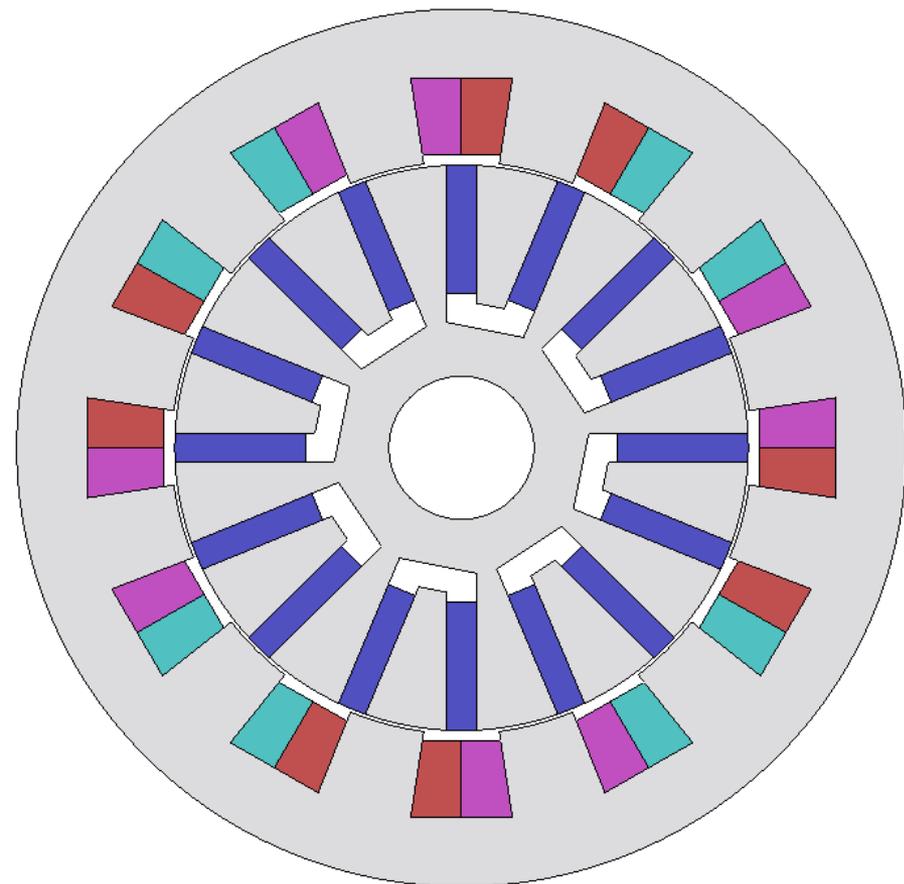
23.3 [Nm]



電流 [Arms]	9.73
積厚 [mm]	90
ステータ外径 [mm]	184
ギャップ長 [mm]	0.7
スロット数	12
極数	8
ロータ直径 [mm]	120
磁石厚 [mm]	6
磁石幅 [mm]	27
巻数 [回]	24
鉄心材料	35H230
磁石材料	NMX-S49F

平均トルク

32.4 [Nm]

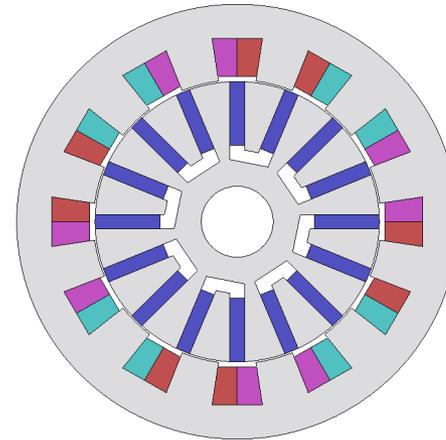
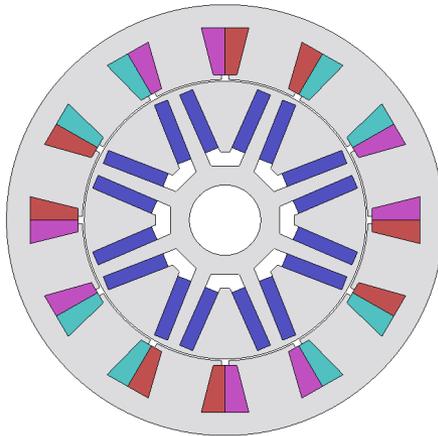


電流 [Arms]	9.73
積厚 [mm]	90
ステータ外径 [mm]	184
ギャップ長 [mm]	0.7
スロット数	12
極数	8
ロータ直径 [mm]	120
磁石厚 [mm]	6
磁石幅 [mm]	27
巻数 [回]	24
鉄心材料	35H230
磁石材料	NMX-S49F

IPMSM	PMVM
平均トルク	
23.3 Nm	32.4 Nm
トルク比	
1.0	1.4

※FEM解析

電機子極数
8
回転子極数
8



電機子極数
8
回転子極数
16

- 寸法（直径，積厚）
- 使用磁石量
- 電気装荷（電機子アンペアターン）

} 同条件

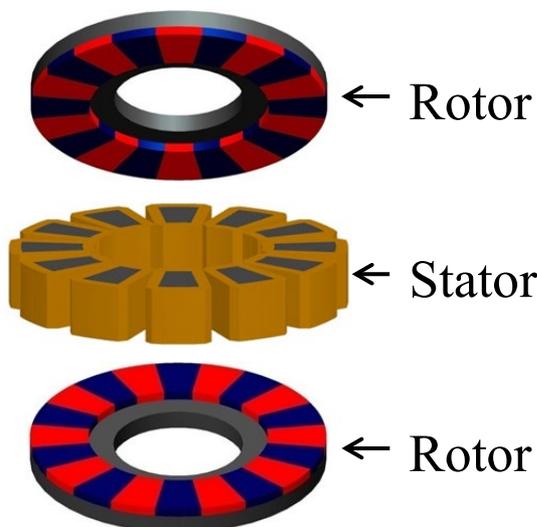
## Dual Rotor – Axial Flux Permanent Magnet Vernier Machine

### 〈特徴〉

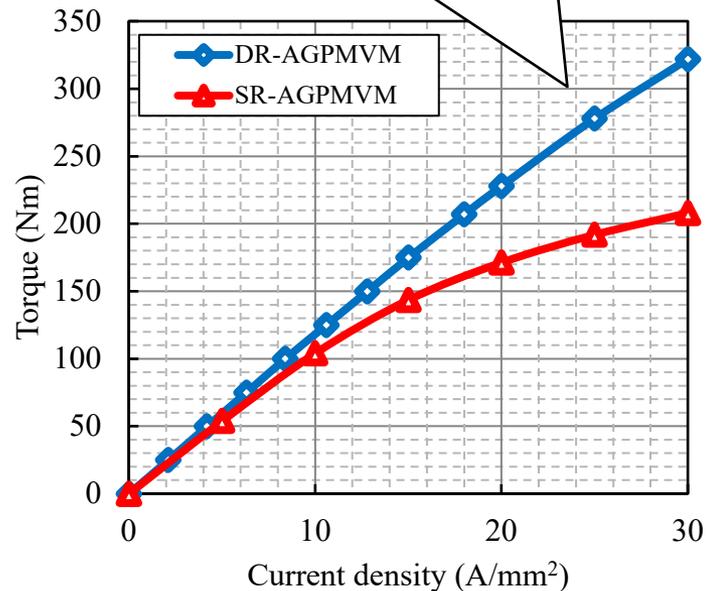
磁路の磁気抵抗  
シングルロータの2倍

↓  $L$ が小さくなる

電機子による磁束  
シングルロータの1/2

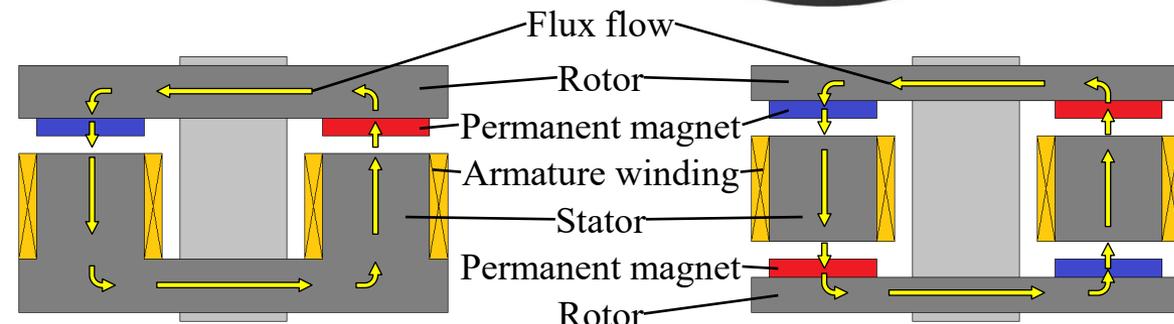


ほぼ線形なトルク特性



回転子極数20極のモデルで  
ほぼ線形なトルク特性を得た

HEV駆動用へ適用



シングルロータ

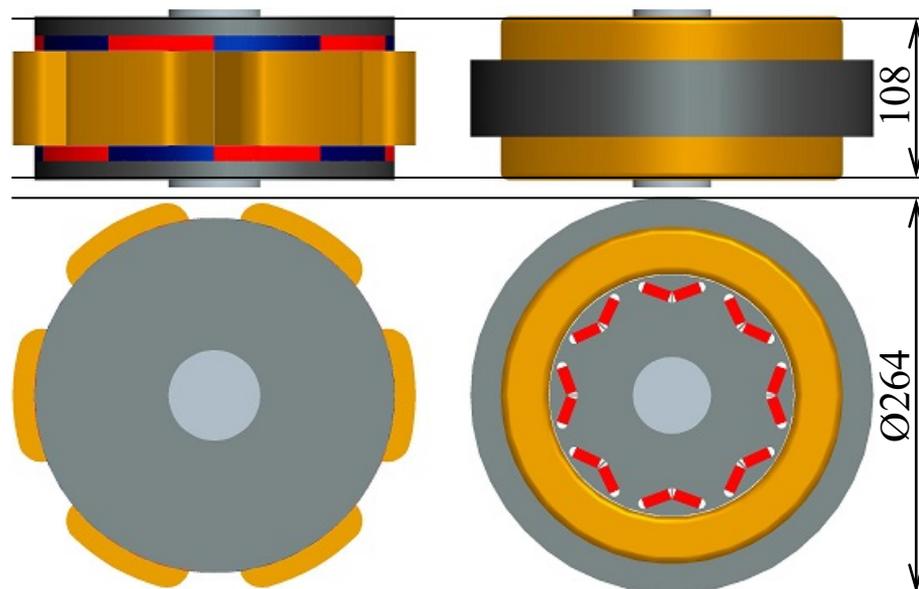
デュアルロータ

磁束の流れ

## モータ仕様

コイルエンドを含めた体格が比較対象モデルと同等となるように設計  
 回転子極数は磁気ギア比が小さい極スロット構成(6slots - 4poles)

- 磁石材料：異方性ネオジムボンド磁石 → **MAGFINE RNI-5610V**
- 鉄心材料：圧粉磁心(SMC) → **Somaloy 700 3P**



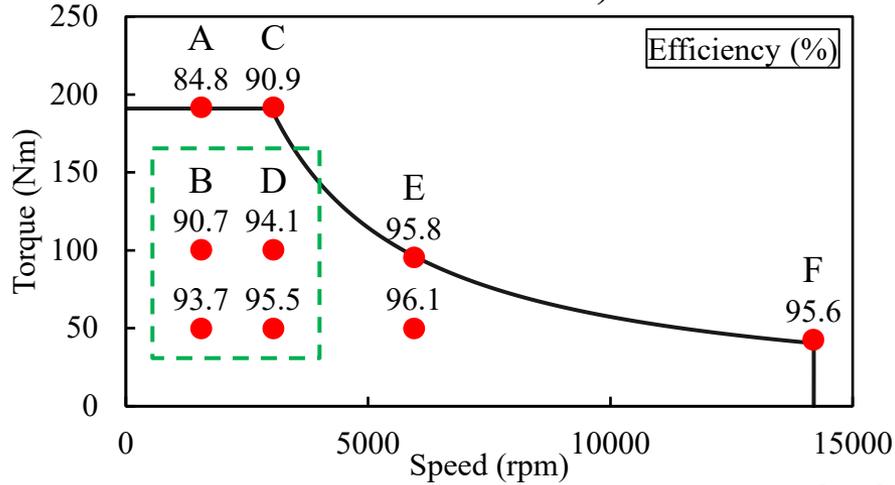
モータの仕様

Outer diameter	264 mm
Axial length	108 mm
Rotor back yoke	12.6 mm
Magnet thickness	10 mm
Air gap length	0.5 mm
Maximum current	250 Arms
Arrangement of winding	Concentrated winding
Magnet material	MAGFINE RNI-56110V
Core material	Somaloy 700 3P
Target torque	207 Nm
Target power	60 kW
Maximum speed	13900 rpm

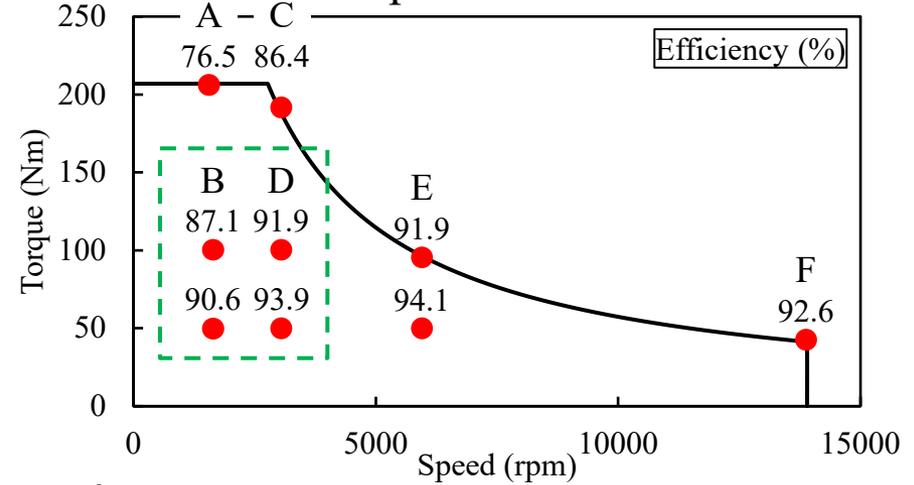
DR-AFPMVM      Compared motor  
 モータ体格の比較

※FEM解析の温度条件：140℃一定

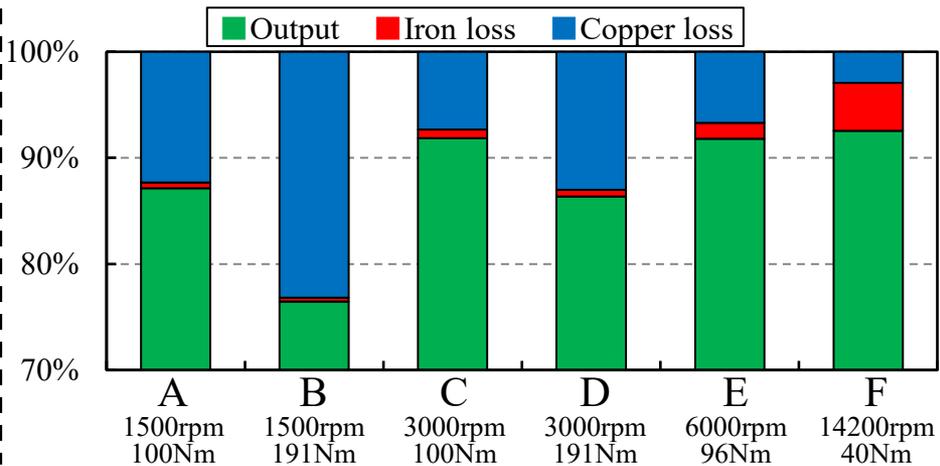
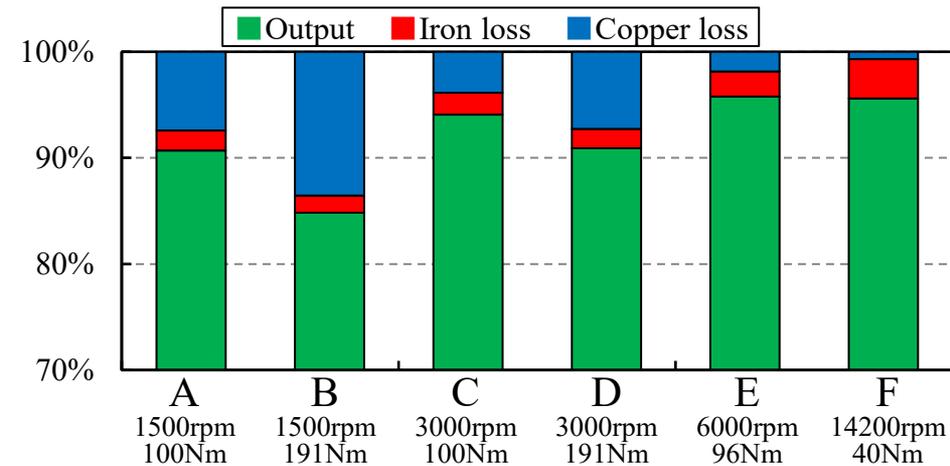
<DR-AFPMVM>



<Compared motor>

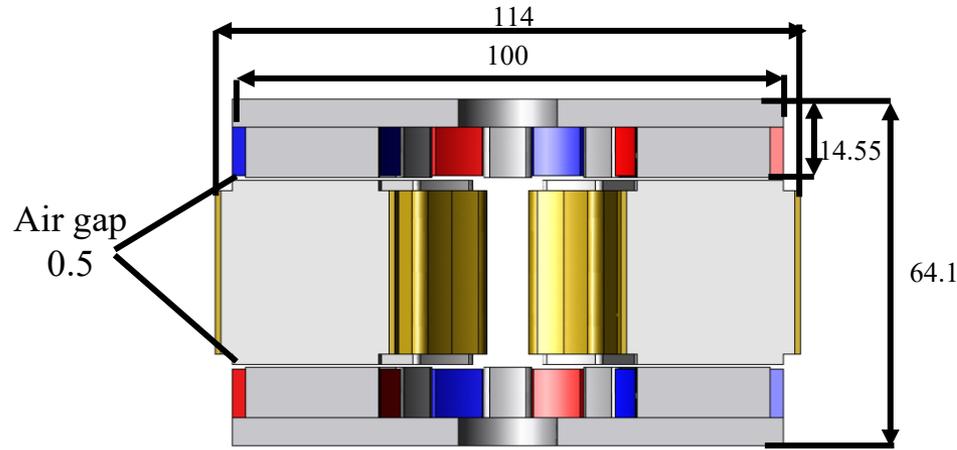


効率マップ

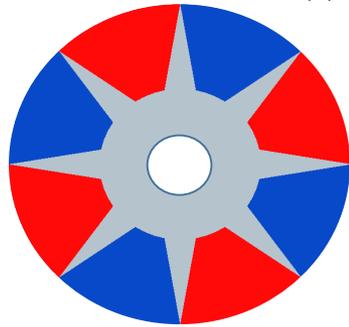


各運転ポイントの損失の割合

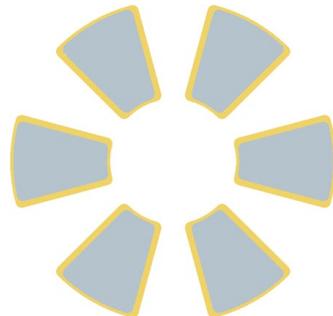
## <仕様>



(a) 断面図



(b) 回転子



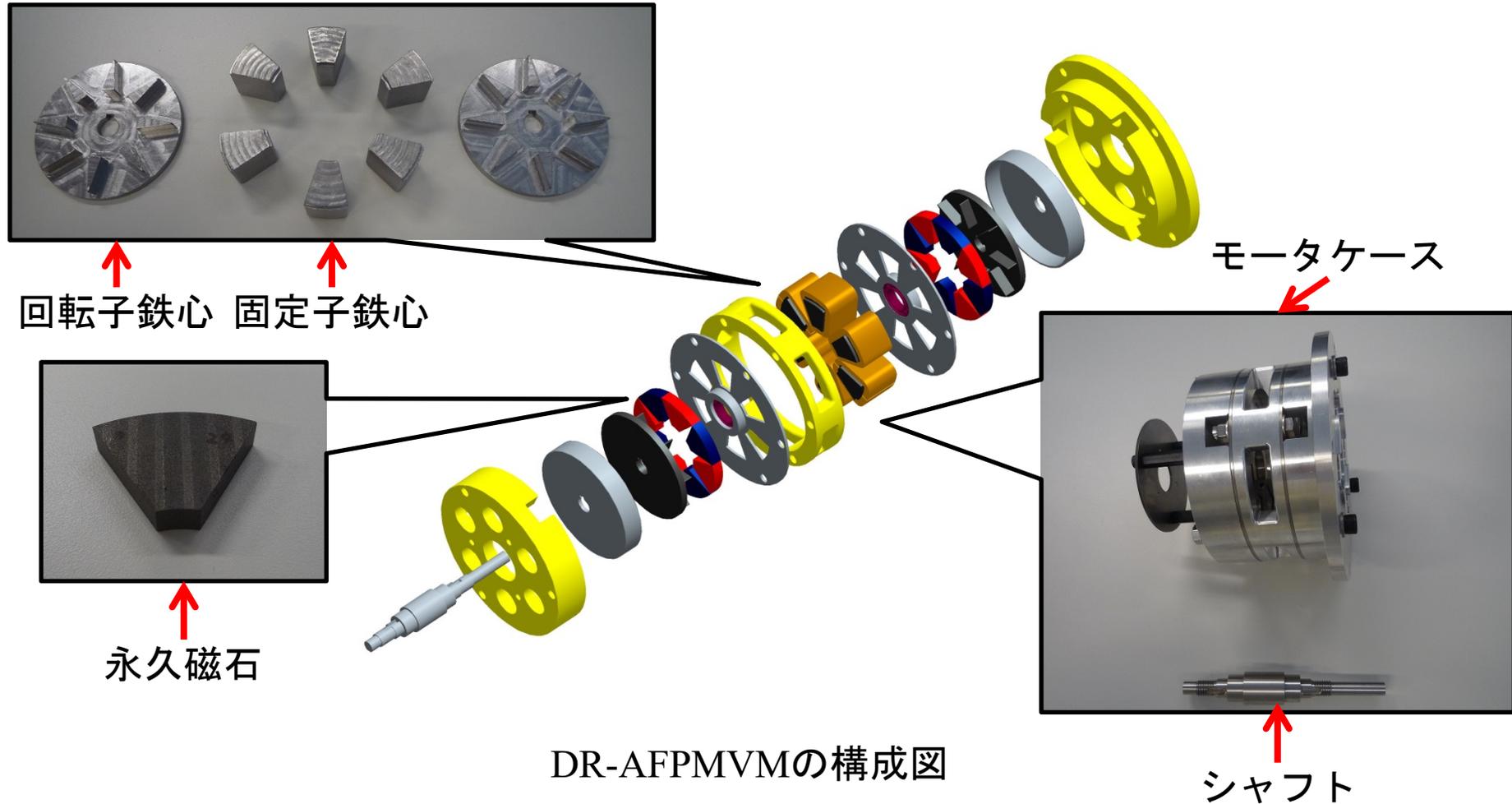
(c) 固定子

Structure AF-PMVM

## 仕様

回転子バックヨーク [mm]	5.3
磁石厚 [mm]	9
エアギャップ長 [mm]	0.5
定格回転数 [rpm]	3000
定格電流密度 [ $A_{rms}/mm^2$ ]	5
定格電圧 [V]	148
定格トルク [Nm]	2.0
定格出力 [W]	628
磁石材料	NdFeB bonded magnet
鉄心材料	Somaloy 700 3P
巻線抵抗 [ $\Omega$ ]	0.46

## <構成>



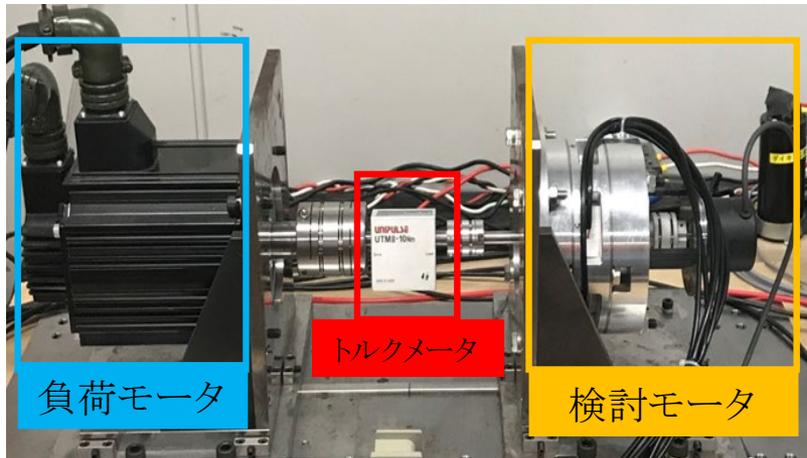


図 実験装置

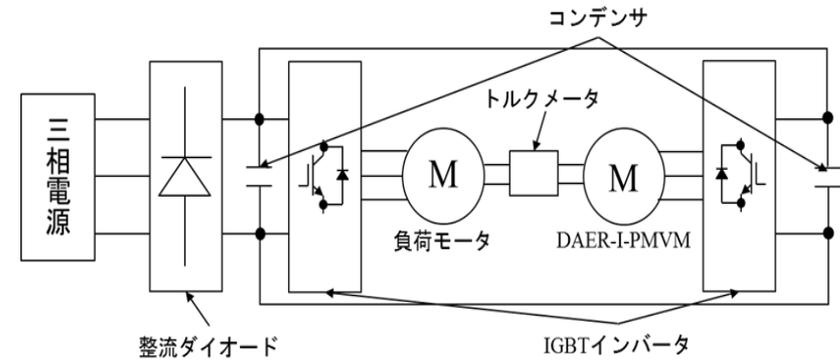


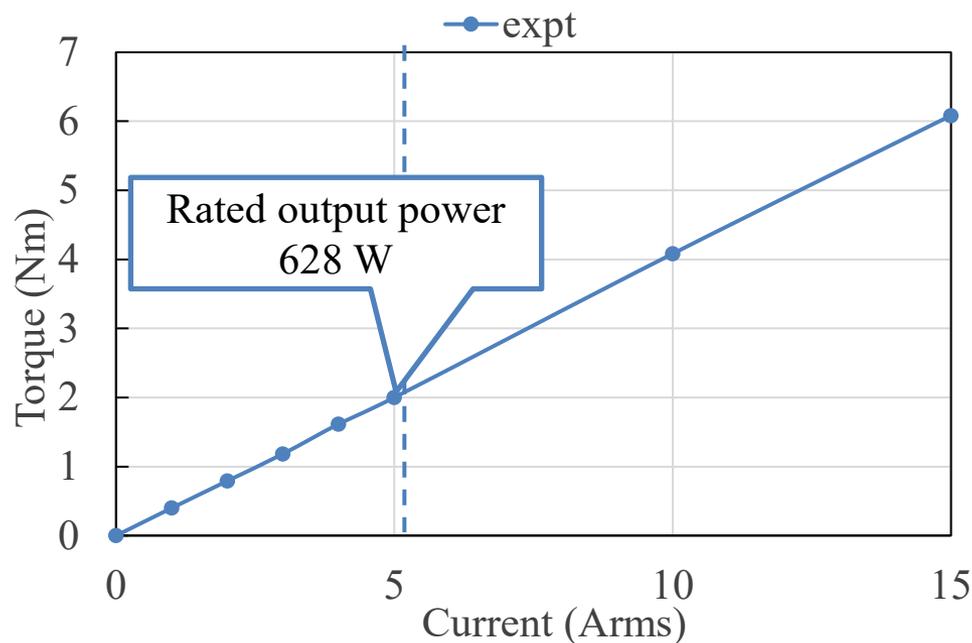
図 実験回路

表 実験器具

name	maker	Model number
1号機 (DR-AFPMVM)	下村研究室	
負荷モータ	富士電機	GYS302D5-RB2
インバータ	Myway	MWINV-9R122A
制御ボード	Myway	PE-Expert pev
トルクメータ	UNIPULSE	B5C00569
パワーメータ	横河電機	WT1030
オシロスコープ	Tektronix	DPO2014B C010517

## <電流-トルク特性>

測定条件 . . . 回転数 3000rpm

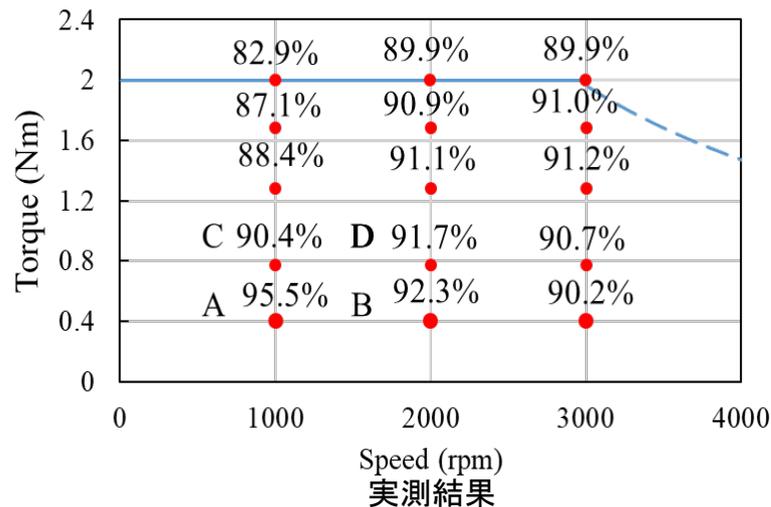
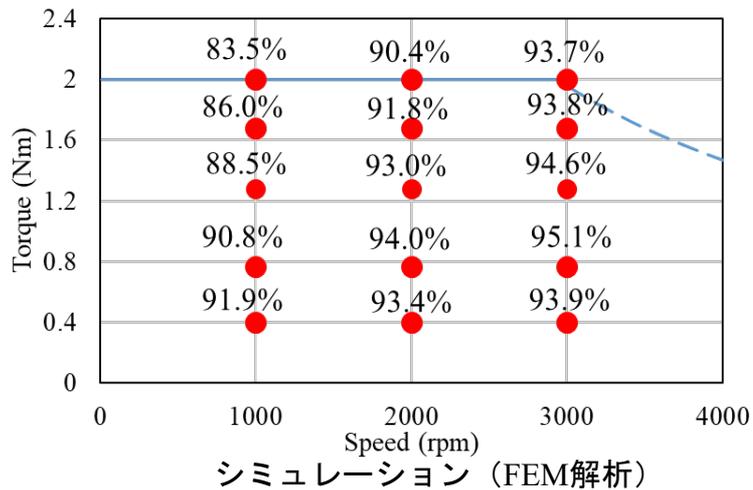


Current (Arms)	Torque (Nm)
1.0	0.40
3.0	1.19
5.0	2.00
10.0	4.08
15.0	6.08

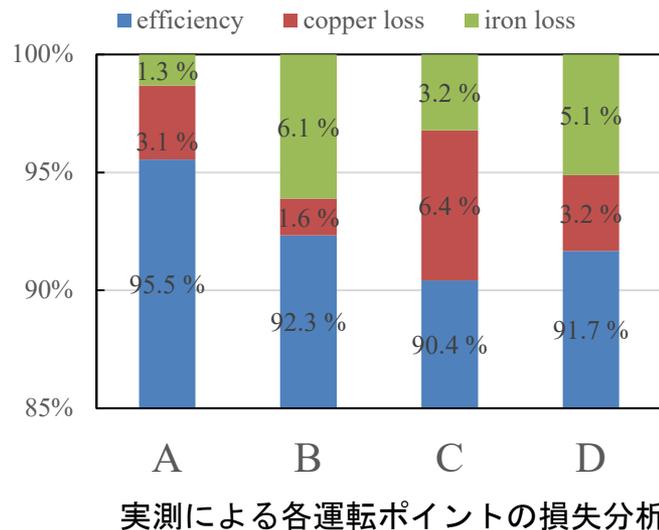
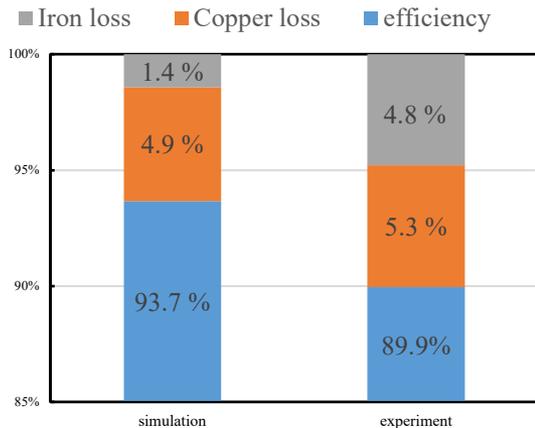
図 電流-トルク特性

# 1号機 実験結果

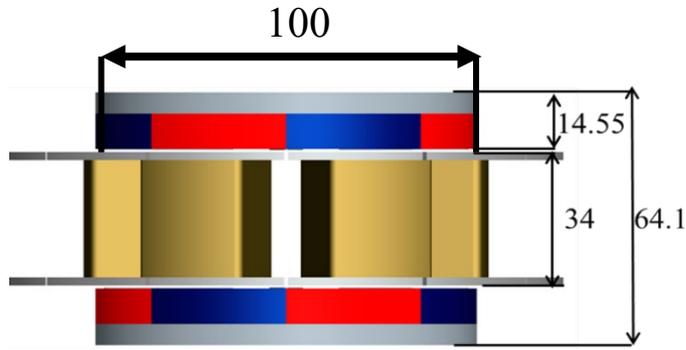
## <効率マップ>



## <損失分析>

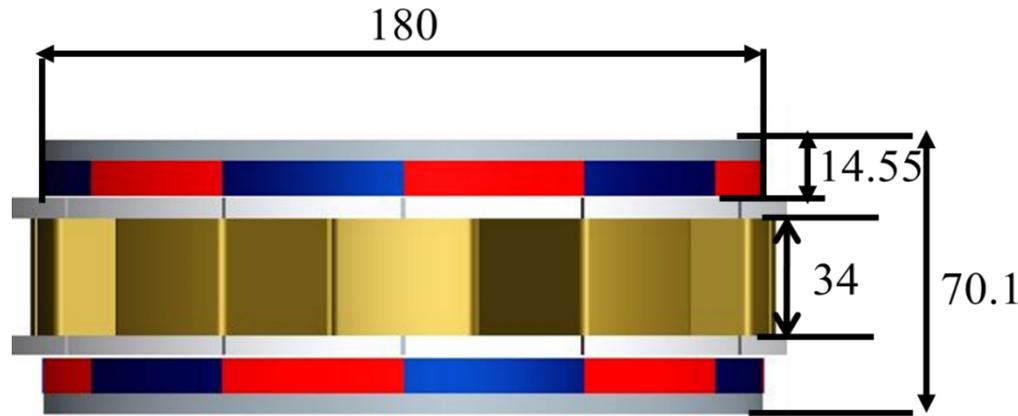


## < 1 号機との体格比較 >



1 号機

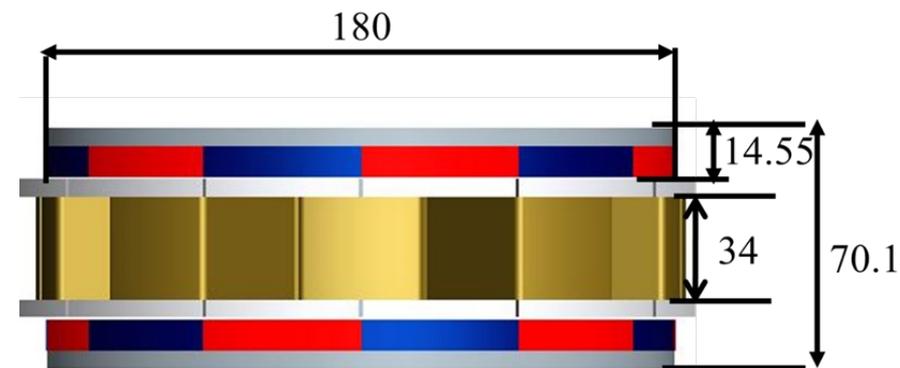
連続定格 628W at 3000min<sup>-1</sup>



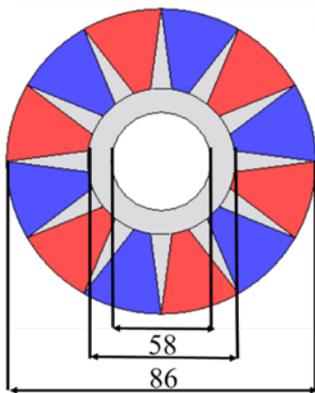
2 号機

連続定格 2.5 kW at 3000min<sup>-1</sup>

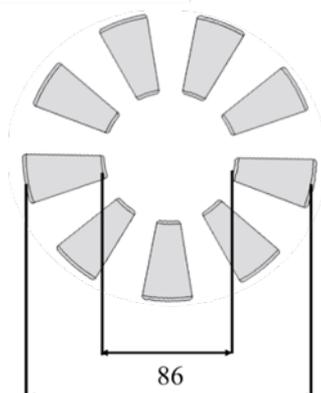
1 号機	2 号機
出力比	
1.0	4.0
体積比	
1.0	3.5



(a) 外観図



(b) 回転子

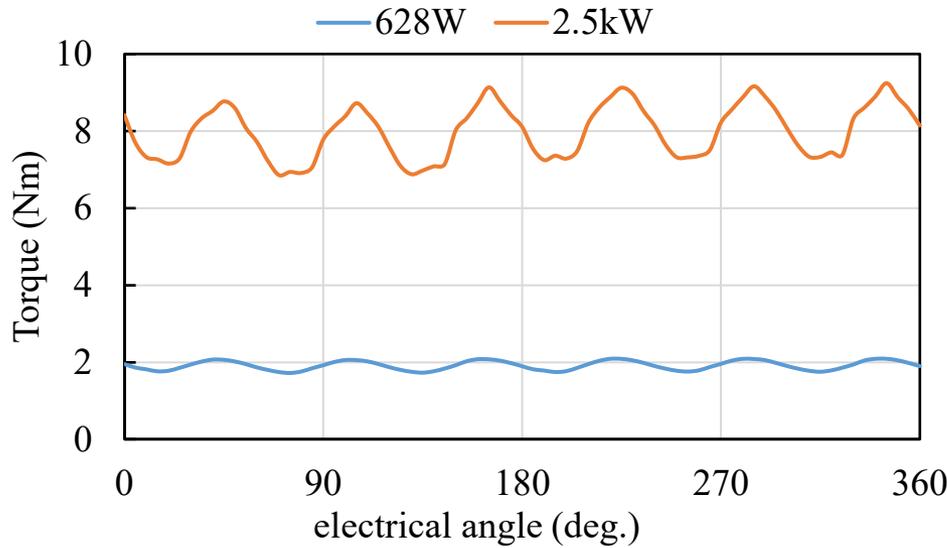


(c) 固定子

各部の寸法

モデル	628W機	2.5kW
モータ外径[mm]	114	180
軸長[mm]	64.1	64.3
固定子歯内径[mm]	47	86
ロータバックヨーク[mm]	5.2	
磁石厚[mm]	9	
エアギャップ長[mm]	0.5	
プレート幅[mm]	2	2~5
電流密度[Arms/mm <sup>2</sup> ]	5	3.5
turn数 (turn/相)	180	105
占有率	0.5	
磁石材料	ネオジムボンド磁石 MAGFINE RNI-5610V (120°C)	
鉄心材料	Somaloy 700 3P	HB1_rev1_150deg
プレート材料	ステンレス鋼 SUS304	
$Z_1$	6	9
$Z_2$	4	6
$Z_2/p$	2	

## <トルク特性>

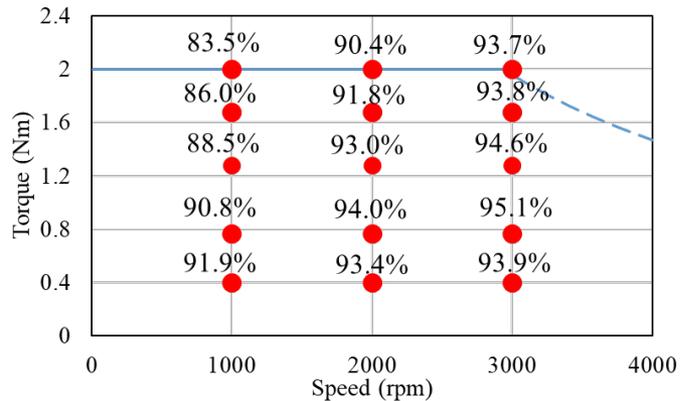


負荷トルク波形

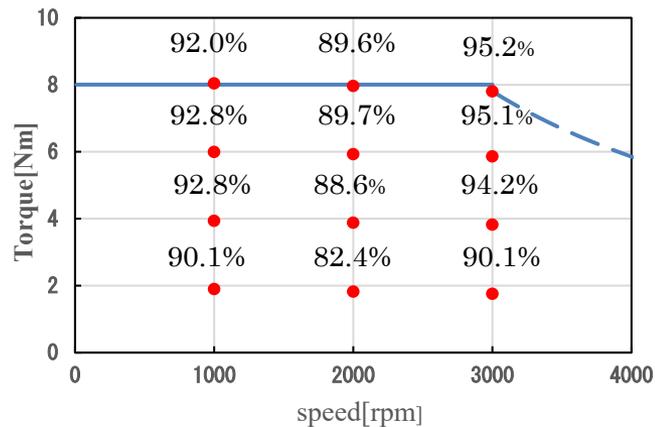
トルク特性

	1号機 628W	2号機 2.5kW
定格回転数 [rpm]	3000	
平均トルク [Nm]	2.0	8.0
実定格出力 [W]	628	2513
トルク脈動率[%]	18.9	29.8
トルク密度 [Nm/m <sup>3</sup> ]	3.97	4.49
トルク密度比率 [%]	100	113

## <効率特性>

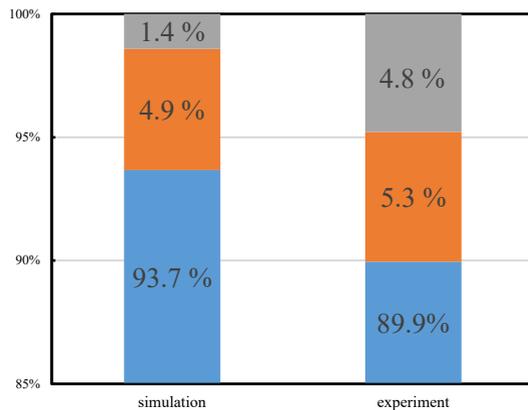


1号機 628 W



2号機 2513W

■ Iron loss ■ Copper loss ■ efficiency



1号機

■ Efficiency ■ Copper loss ■ Iron loss



2号機

ステータ



ステータスロット数  
電機子極数

9スロット8極

電機子とロータの極数が異なる

バーニアモータの特異な点

ロータ



ロータ  
極数

10

## <まとめ>

低コスト・高効率を目指したEV用モータとしてデュアルロータ・アキシシャルフラックス形PMバーニアモータを紹介した。その特長は次の通り。

- ✓ 比較的安価なジスプロシウムレスネオジムボンド磁石を採用
- ✓ ネオジム焼結磁石に比較して保磁力が劣るネオジムボンド磁石の欠点を補うために、大トルク特性を有するバーニア構造を採用
- ✓ さらに、トルク向上のためエアギャップ面積が広く取れるデュアルロータ・アキシシャルフラックス構造を採用

## <今後の課題>

- ✓ 2号機の評価と分析
- ✓ 設計手法の確立
- ✓ 実用出力機による実験検証