

# 電動アシスト自転車用HBSR モータの開発

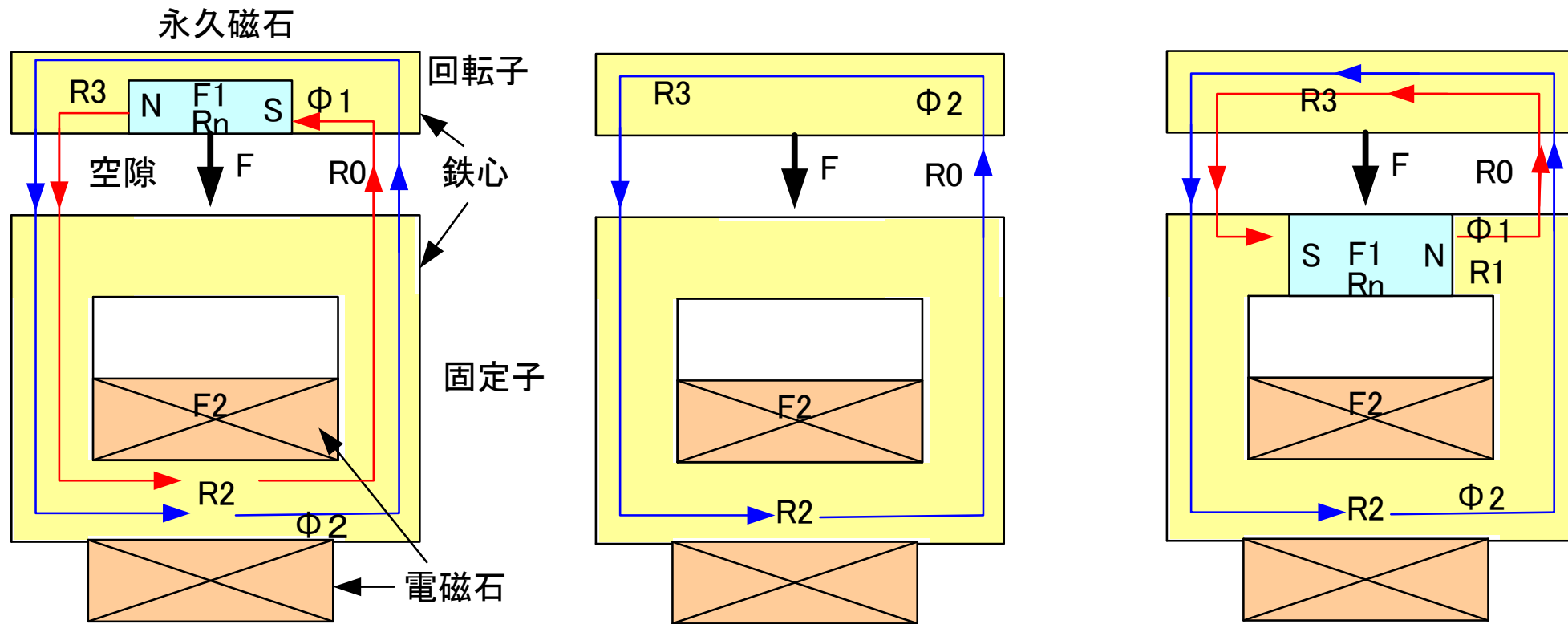
早稲田大学  
ゲネシスラボ

大内茂人  
荻野三四郎

# 目次

- ①HBSRモータとは？
- ②各種モータの比較
- ③HBSRモータの技術的特徴
- ④HBSRモータの理論 & 実験データ & 製造コスト
- ⑤結論

# HBSRモータとは？



(a) PMモータ

(b) SRモータ

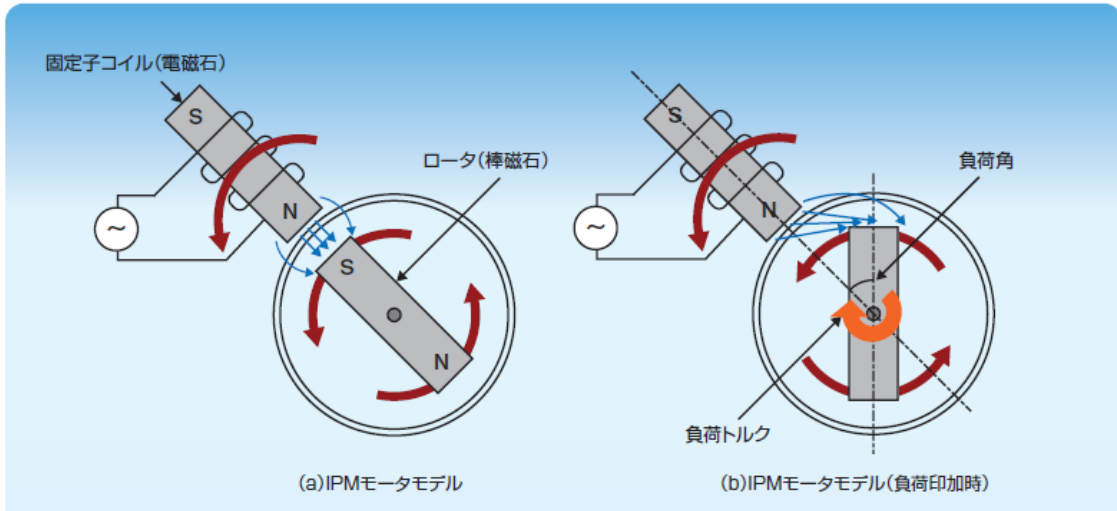
(c) HBSRモータ

図1 モータの比較(原理)

# マグネットトルク リラクタンストルクについて

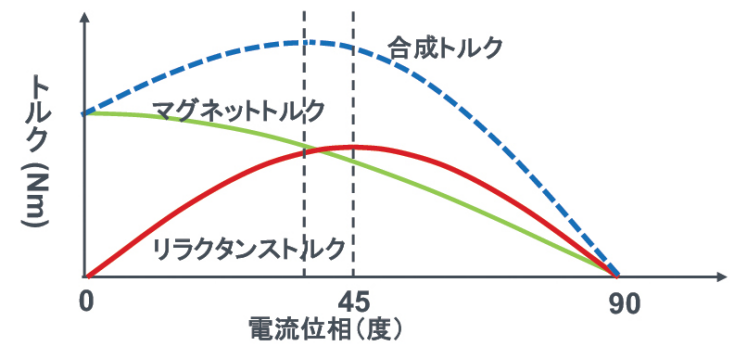
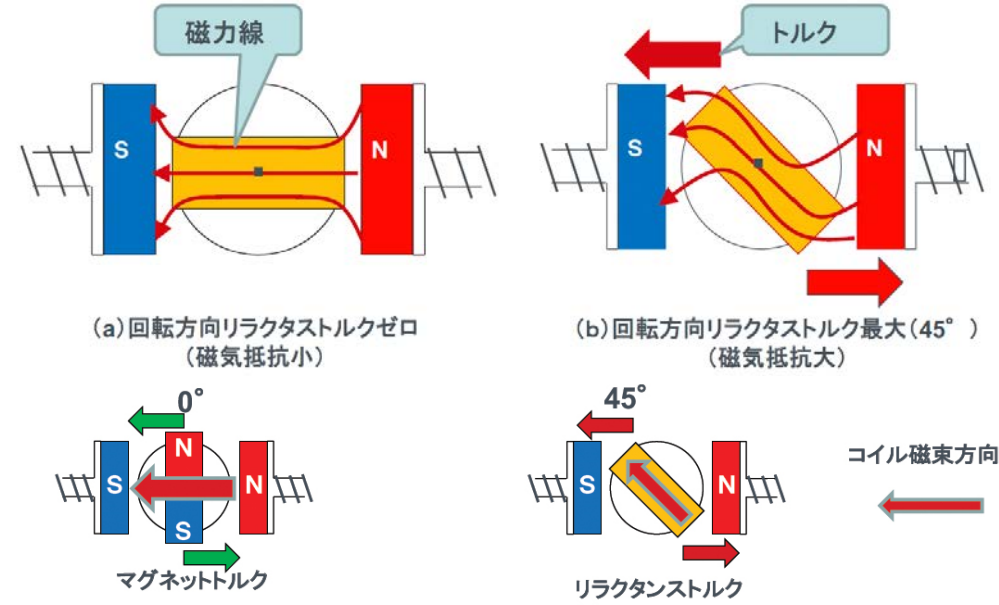
## リラクタンストルク

マグネットトルク  
(磁極NとSが引き合う時に発生する)



東芝 製品情報 より

磁力線は、通りやすい部分を通ろうとする(透磁率)



EDN Japan より

Strictly NDA

# HBSRモータのトルク発生原理

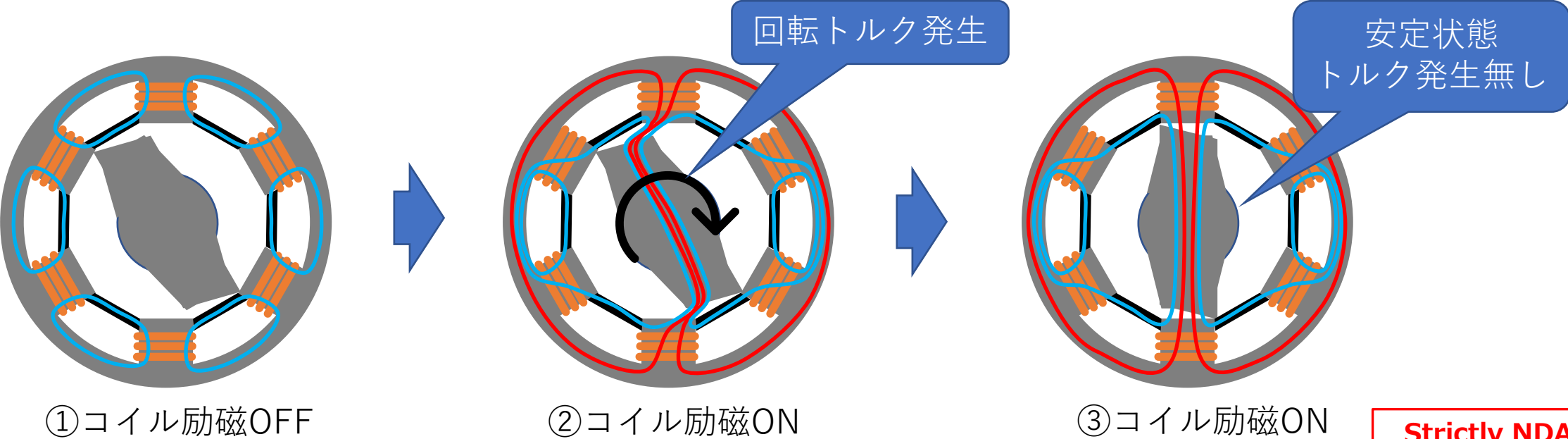
青線：永久磁石の磁力線

赤線：電磁石の磁力線

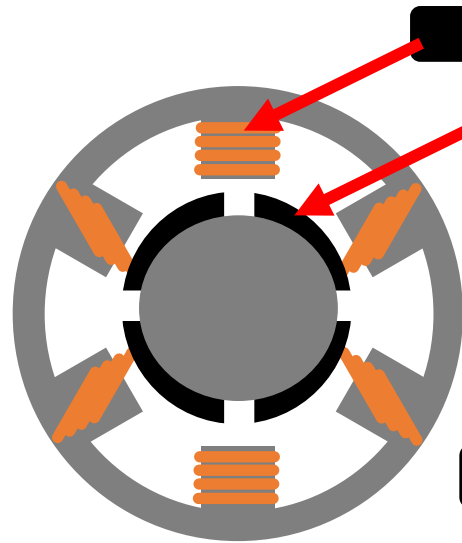
新規性：「②コイル励磁ON」⇒青線の永久磁石の磁力線をロータ側に経路変更



赤線の電磁石リラクタンストルクと青線の永久磁石リラクタンストルクの両方を合成し効率的に利用可能に！⇒特許

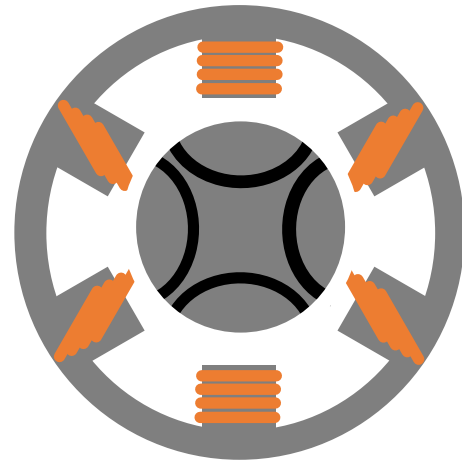


# 各種モータトルクの比較

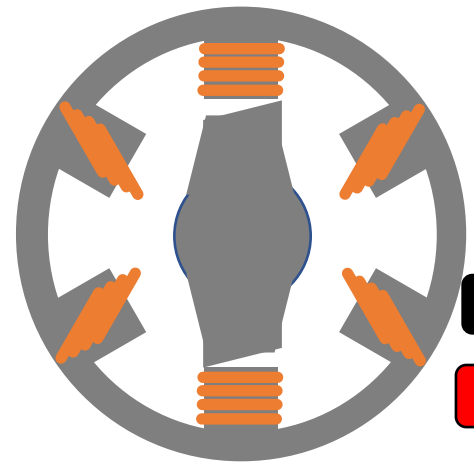


SPMモータ  
DCモータ

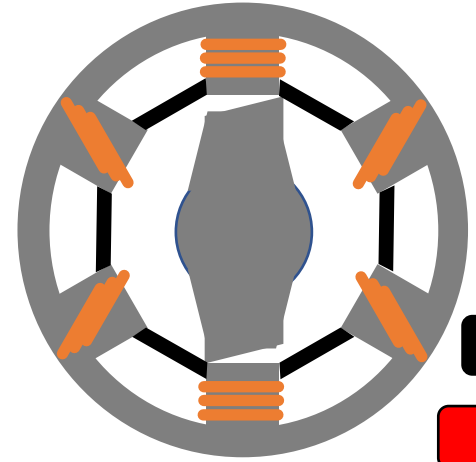
マグネットトルク ○  
リラクタンストルク ×



IPMモータ



SRモータ



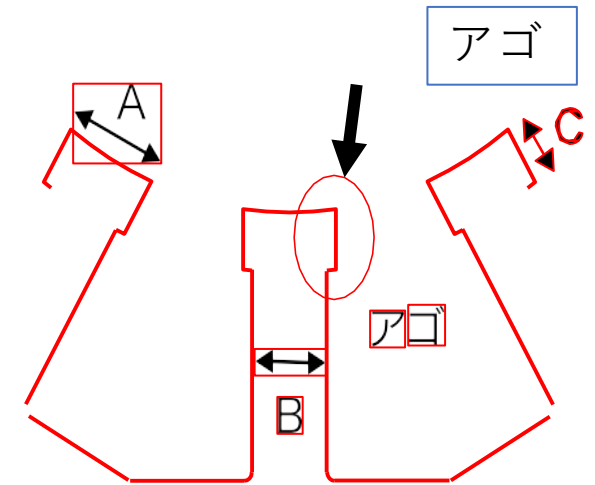
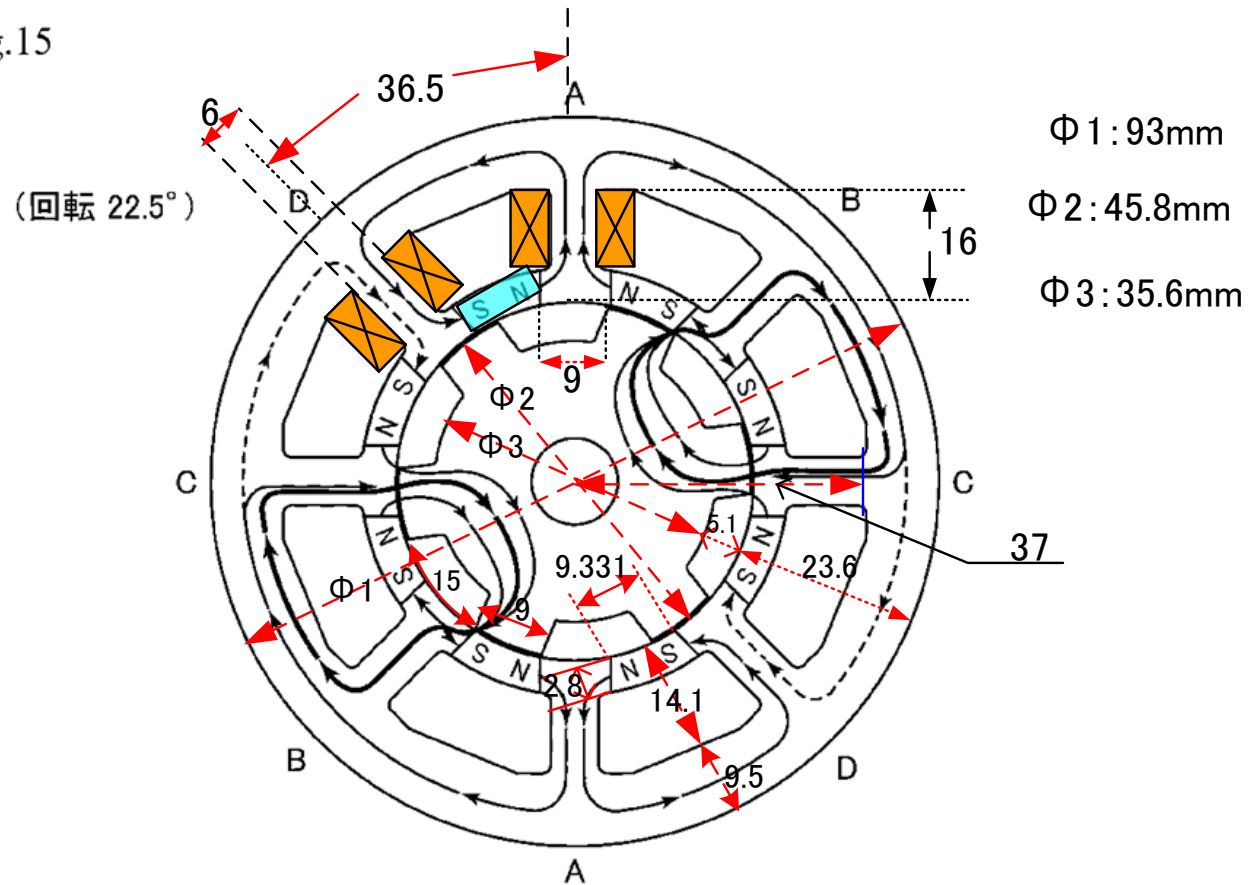
HBSRモータ

# HBSRモータの技術的特徴

- ①電磁石のリラクタンストルクと永久磁石のリラクタンストルクの両方を合成し効率的に利用する技術⇒特許
- ②正弦波駆動ではなく、矩形波駆動モータドライバを採用⇒ドライバの構造がシンプル⇒コスト，故障率軽減
- ③回生制動(電気ブレーキ)が可能⇒史上初
- ④永久磁石を固定子側に配置⇒モータの回転の負担(慣性モーメント)軽減

# 8極6極HBSRモータ断面図

Fig.15



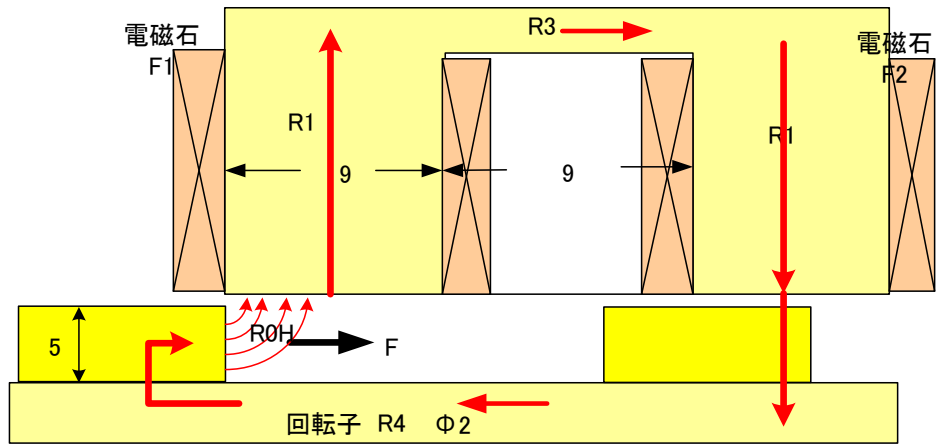
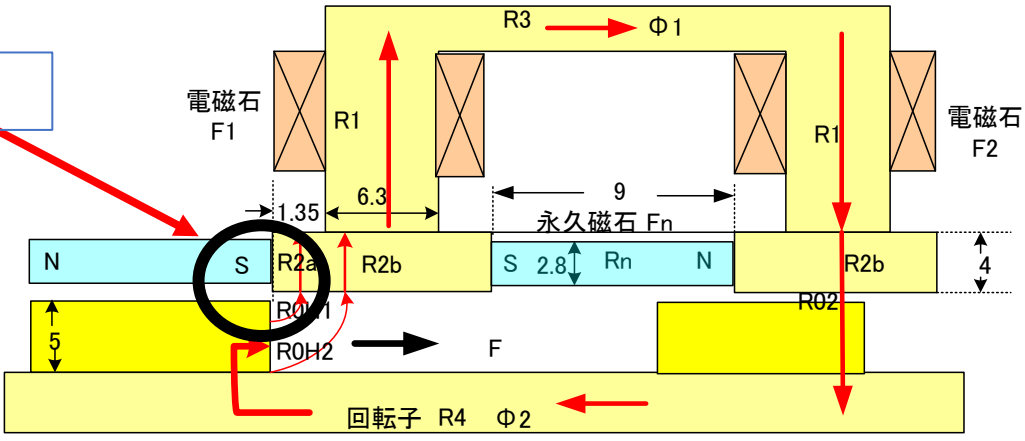
アゴ：特許出願中

図2 8極6極HBSRモータ断面図



# HBSRモータとSRモータのトルクの理論

アゴ



HBSRモータ

$$\begin{bmatrix} 2R_1 + R_3 + R_n & R_n \\ R_n & \frac{(R_{2a} + R_{0H1})(R_{2b} + R_{0H2})}{R_{2a} + R_{0H1} + R_{2b} + R_{0H2}} + R_{02} + R_4 + R_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_n - F_1 - F_2 \\ F_n \end{bmatrix}$$

$$\Phi_2 = \frac{\frac{(2R_1 + R_3) F_n + (F_1 + F_2) R_n}{R_{0H1} R_{0H2} + R_{02}}}{\frac{R_{0H1} + R_{0H2}}{R_{0H1} + R_{0H2}} + R_{02}} \left[ R_{0H1} = \frac{\pi}{4\mu_0}, R_{0H2} = \frac{b + (1-x)a}{b - (1-x)a} \frac{\pi}{4\mu_0} \right]$$

永久磁石

電磁石

SRモータ

$$\Phi_2 = \frac{(F_1 + F_2)}{R_{0H} + R_{02}}$$

電磁石

# HBSRモータ(赤)とSRモータ(青) の吸引力の比較

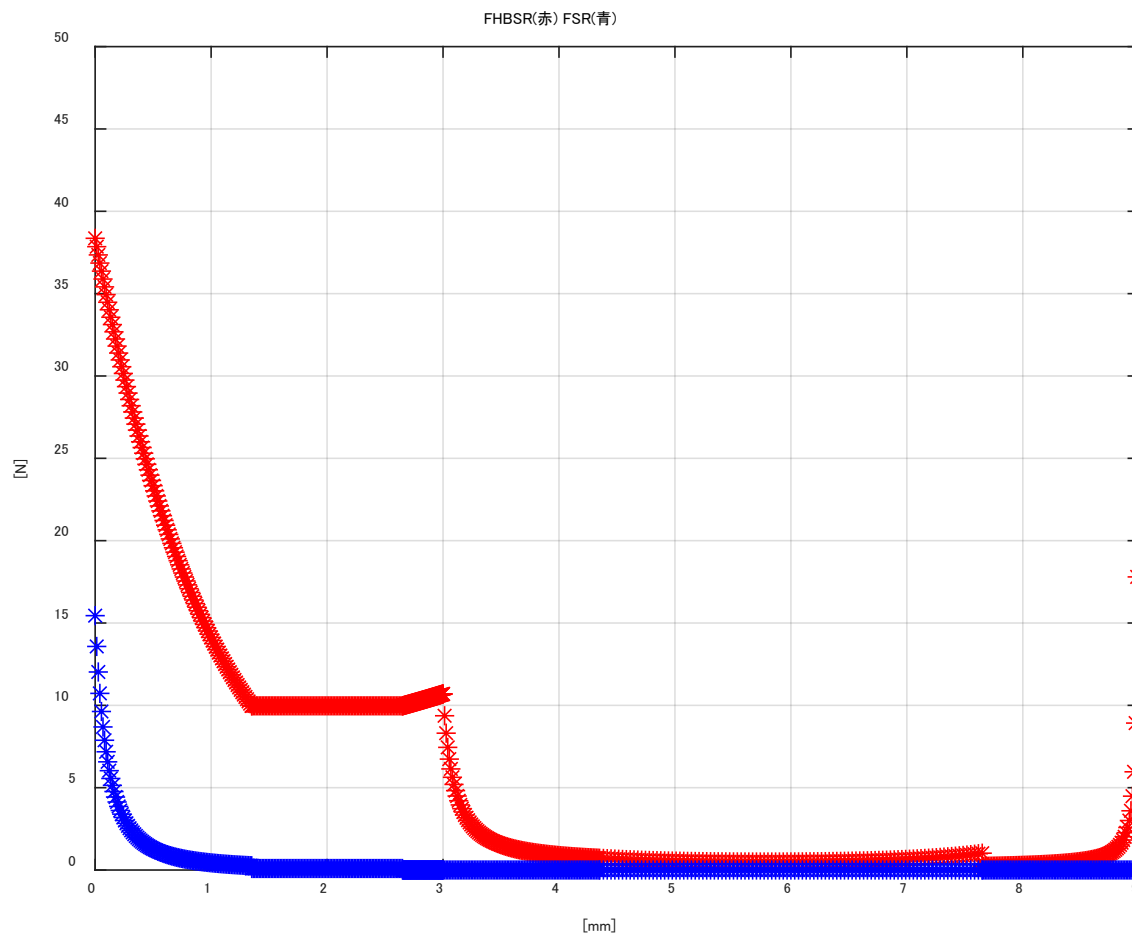


図5 HBSRモータ(赤)とSRモータ(青)の吸引力の比較

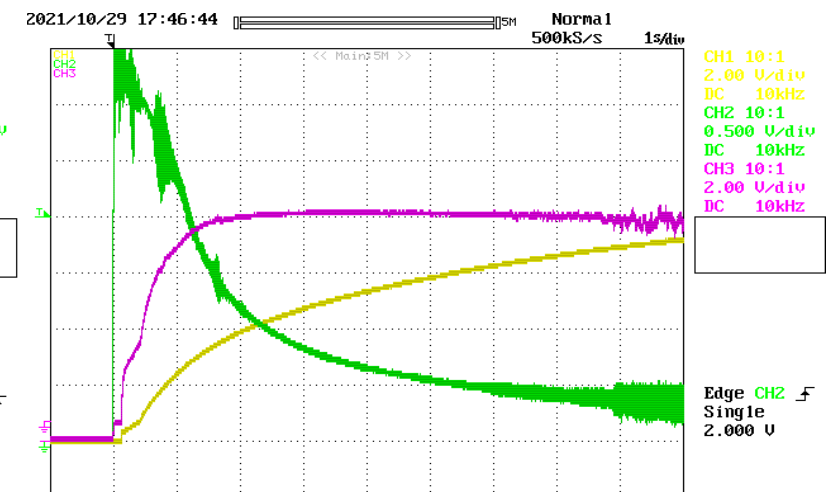
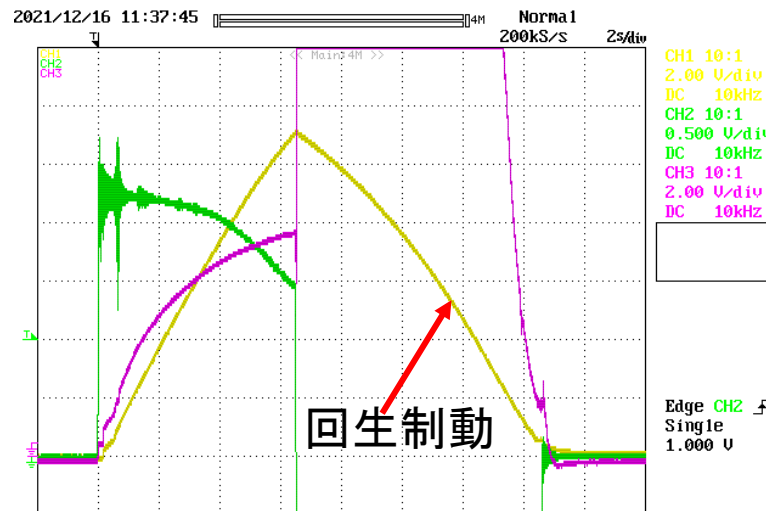
# φ88、48V、10000rpmで定格出力1700Wを記録

<https://youtu.be/voe1J2MacaE> 2021年12月計測



- φ88
- ステータ8極 ロータ6極
- 電源電圧 48[V]
- 10,000rpm, 1773Wを記録

- φ88
- ステータ12極 ロータ9極
- 電源電圧36[V]
- 低速帯域 3.25Nm
- 1000~2000rpm
- 中速帯域1.1Nm
- 4000rpm



Strictly NDA

# HBSRモータの製造コスト

- 同一出力のIPMモータとの比較に対して
  - 永久磁石、磁性材料等の使用量半減
  - 体格（容積）は1/2⇒シンプルなモータ構造にできる
  - HBSRモータ：矩形波制御で動作可能
- ↓
- 駆動装置（ドライバ）が、SIC（シリコン・カーバイド）等のパワー半導体の性能向上（高耐圧、高電流容量）により、スペースが削減可能
  - シンプルなモータ構造のため、製造コストも低減可能
  - それにより、概算で1/2のコスト削減が可能

  
計1/2のコスト削減が可能となる見込み

# 結論

①PMモータの構造の特徴とSRモータの特徴を比較，PMモータにおいては起動及び減速に時間を要するのに対してSRモータではこれらの問題は解決可能であるがパワーに問題があることを示した。

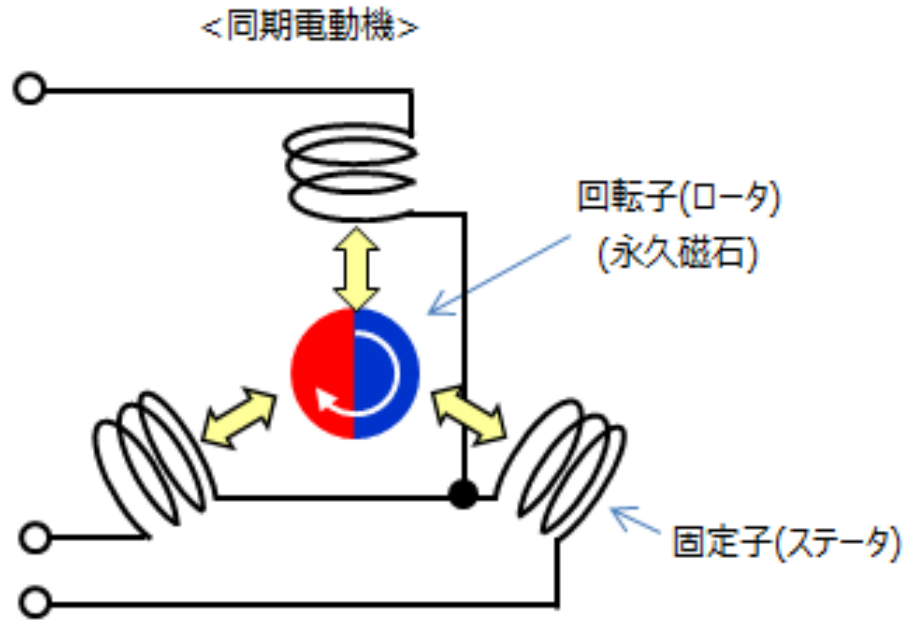
②パワーの問題と加減速の問題を解決する方式であるHBSRモータについて詳述した。

③今後の予定：HBSRモータを用いた電動アシスト自転車の開発を行う。

ご清聴ありがとうございました

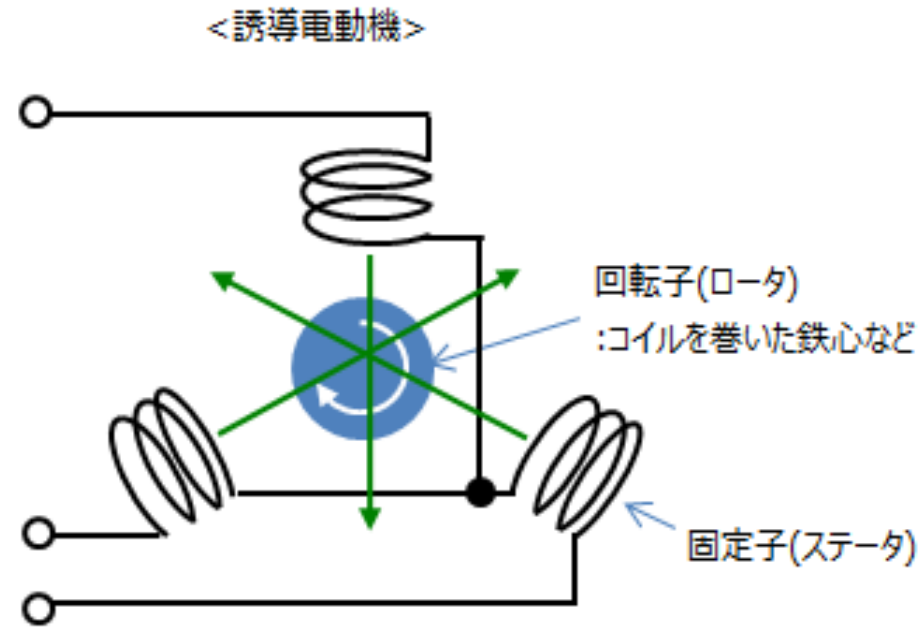
**Strictly NDA**

# 同期電動機と誘導電動機



磁力が引き合う力を利用

HBSRは同期電動機の種類



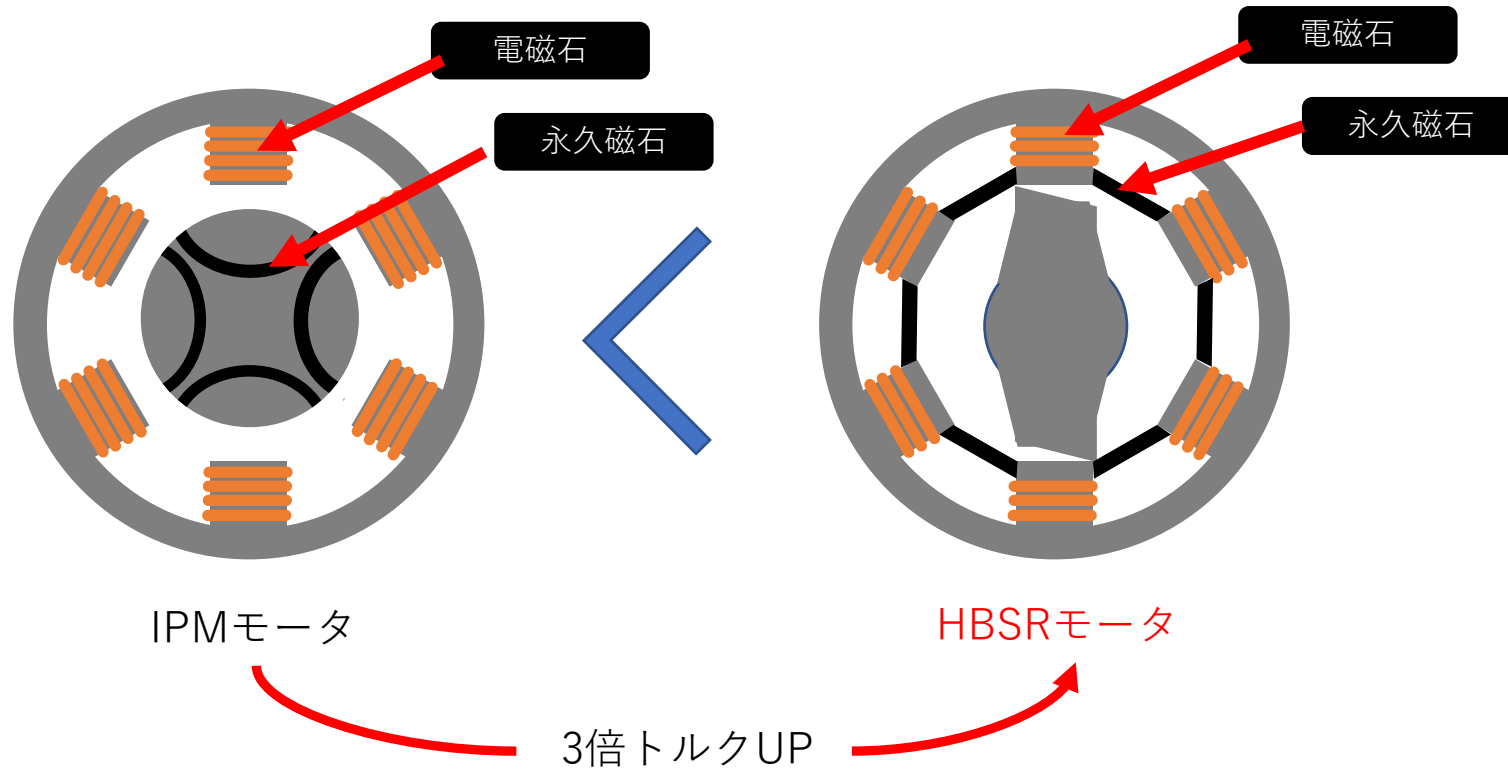
回転磁場によって発生した  
ローレンツ力を利用

制御工学の基礎あれこれより



# モータのトルク比較

同サイズモータ = 同じ磁石 (種類と量) を使用したモータのトルク比較



現在、市場で最強のIPMモータとHBSRモータを比較



HBSRモータ： IPMモータの3倍トルク

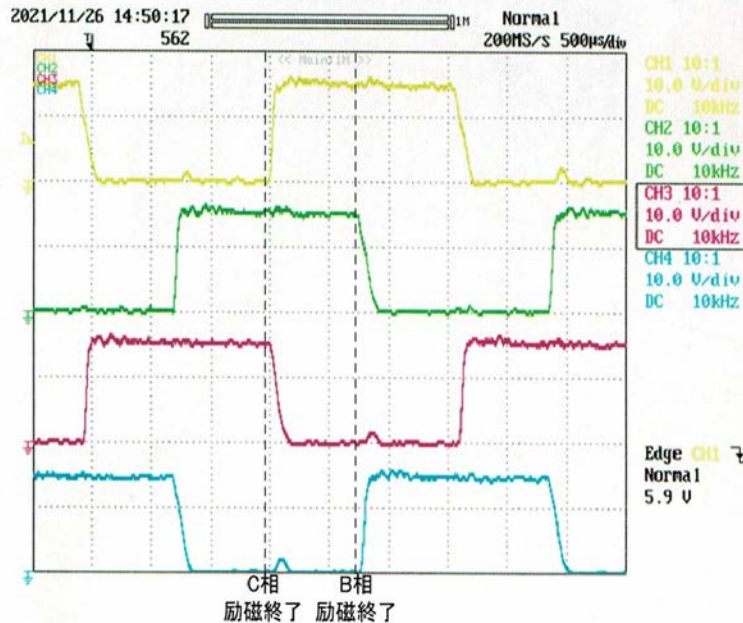
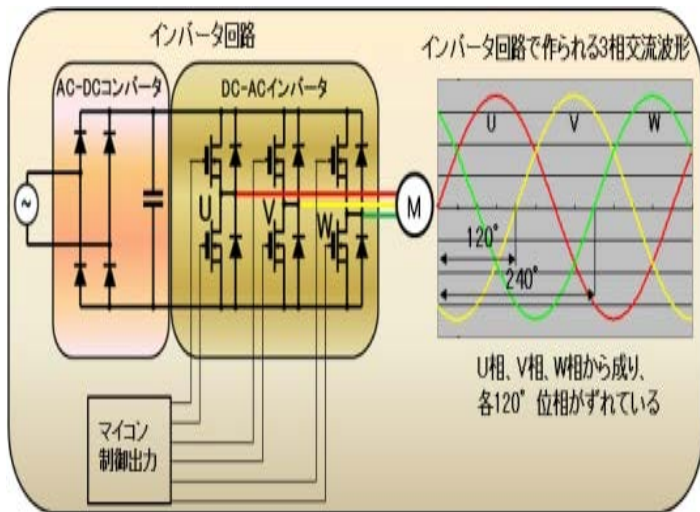
# HBSRモータ：矩形波駆動が可能

IPMモータ：正弦波駆動⇒インバータ回路が必要

**HBSRモータ：矩形波駆動が可能**

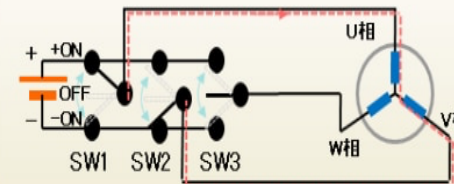
- ①インバータ回路で発生する5~10%のエネルギー損失が無いため効率が向上
- ②インバータ回路のコスト、容積、重量を削減可能
- ③リラクタンストルク：矩形波駆動モータ⇒時間あたりの電流入力量を多くすることが可能
- ④エッジが効く⇒トルクを向上させることが可能

## 正弦波駆動



## 矩形波駆動

矩形波駆動の原理は、直流電源に接続された3つのスイッチを切り替えることにより、60度毎(2極モータ)に電流の向きを変えます

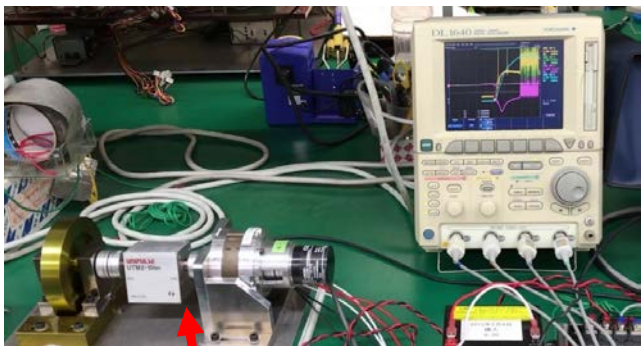


スイッチ	30°	90°	150°	210°	270°	330°
SW1(U)	+ON	+ON	OFF	-ON	-ON	OFF
SW2(V)	-ON	OFF	+ON	+ON	OFF	-ON
SW3(W)	OFF	-ON	-ON	OFF	+ON	+ON

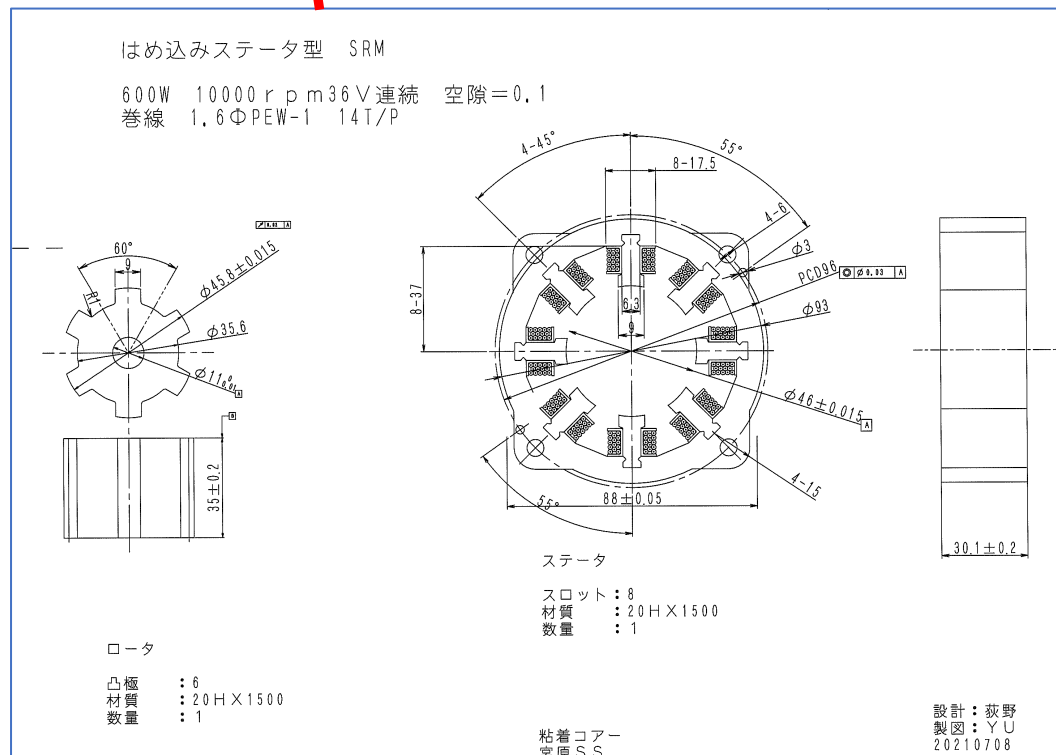
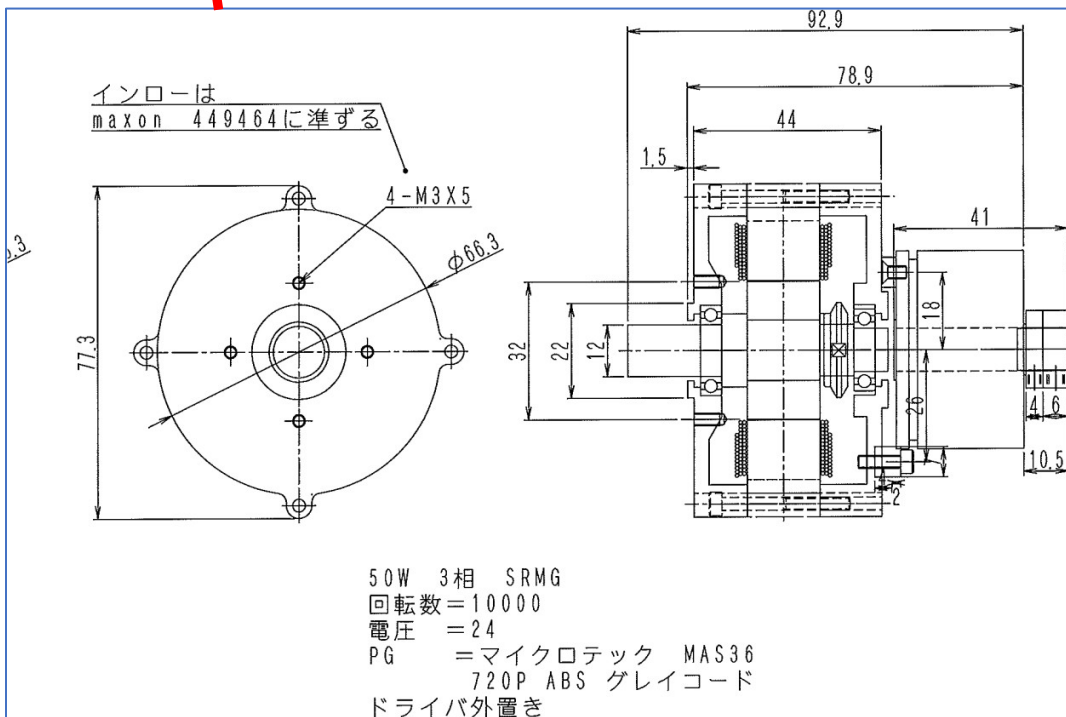
# 生産性・コスト比較

項目	単位	HBSR① 2019年製作	SR② 2019年製作	HBSR ③ 2021年製作	HBSR①と SR② の比較
価格競争力	%	100			
定格電圧	DC V	24	24	36	
寸法	mm	Φ 66.3 × 44 L	φ 66.3 × 44 L	Φ 88 × 66L	同体格
定格出力	W	100	50	600	2倍
システム効率	%	84	84		
回転数（帯域）	rpm	4,000	4,000	10,000	
トルク	Nm	0.24	0.12	0.57	2倍

# HBSRモータ (100W) とSRモータ (50W)



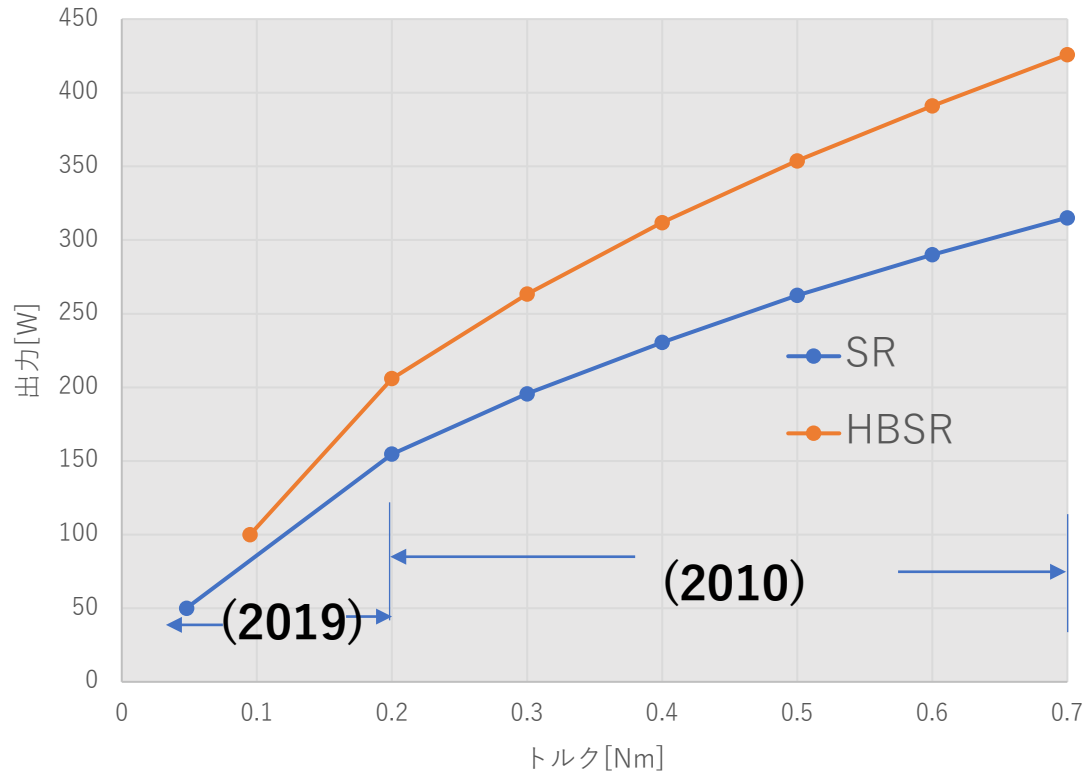
# 600W 10,000rpm 36V φ88



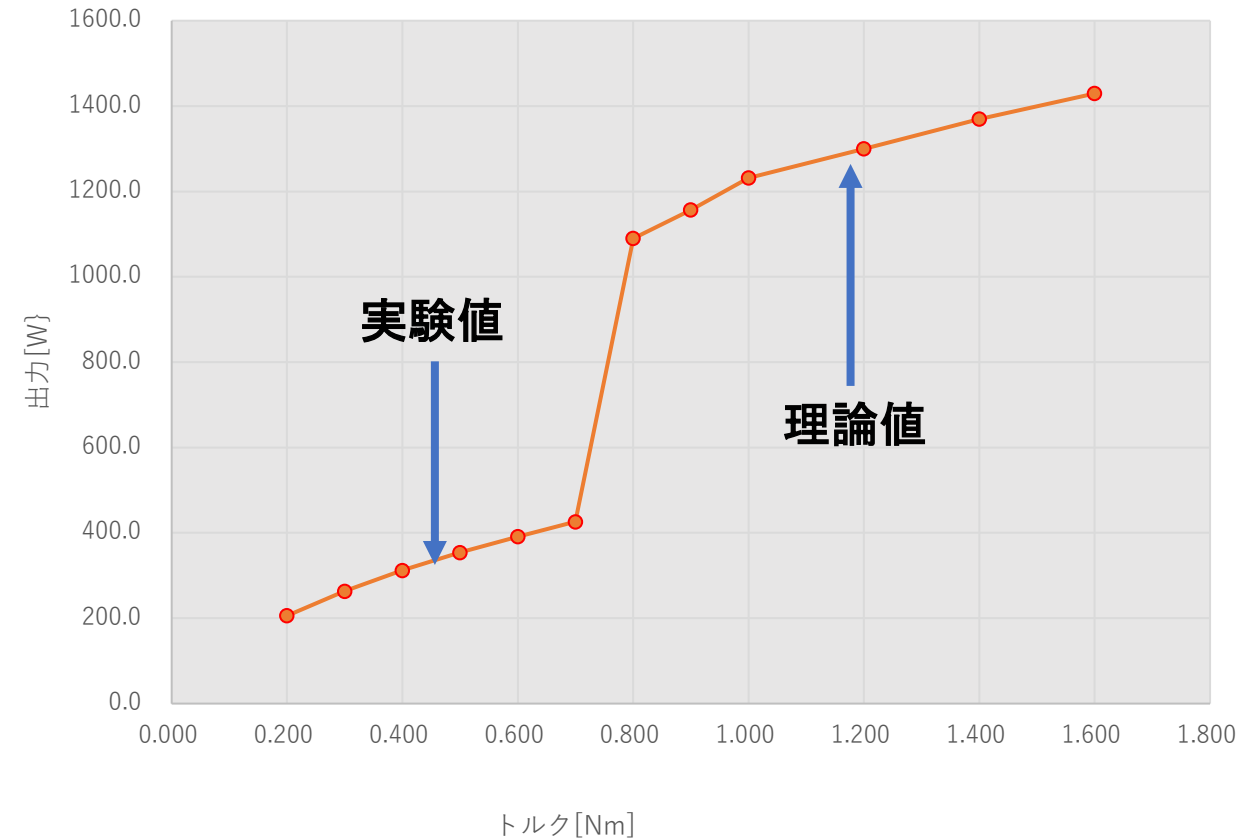
strictly NDA

# HBSRモータとSRモータの出力比較データ(2010年・2019年)

## HBSRとSRの比較 2019年は10,000rpmで比較



## HBSRモータ 実験値と理論比較



# HBSRモータの理論 & 実験

# 今後のHBSRモータの適用分野 計画目標

1. 電気自動車
2. ドローン
3. バイク
4. ロボット
5. 掃除機, 洗濯機, エアコン等家電製品
6. 工作機械
7. 風力発電, 水力発電
8. 電動歯ブラシ, シェーバー

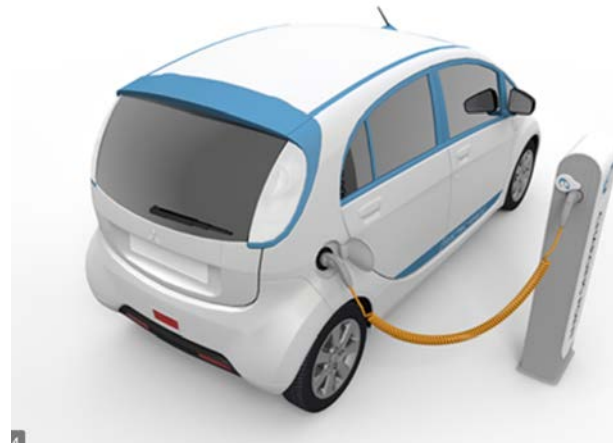
# HBSRモータを電動車両に使うと

電気自動車、電動バイク、電動アシスト自転車

トルク向上による、加速性能の向上

モーターの小型・軽量化、効率化による、電費向上

制御システムや回転角センサーのスペース不要化と信頼性向上



Strictly NDA



# 坂を上る自立走行バイク(早稲田大学・東海大学共同研究)



ジャイロアクチュエータ  
(70w 5000rpm) ⇒HBSRモータに  
交換予定



Strictly NDA

# • ドローン配送

トルク向上による、ペイロードの増加

モータの小型・軽量化、効率化により、配送範囲の拡大・コスト低減

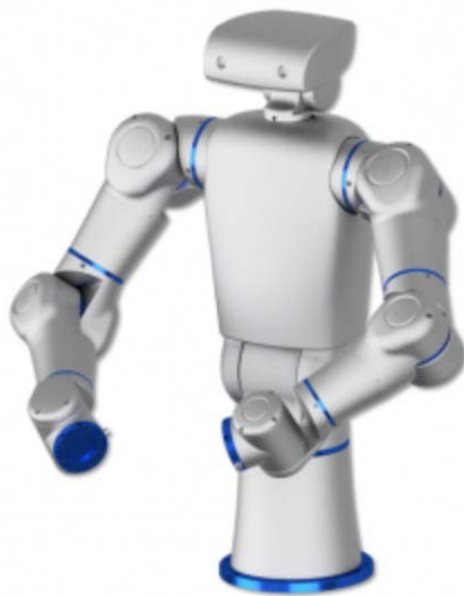


早稲田大学・東海大学共同実験風景



# HBSRモータージェネレーターをロボットに使うと

- コミュニケーションロボット，ロボットアーム，配管検査ロボット  
トルク向上による、動作速度の向上  
モーターの小型・軽量化、矩形波制御によるロボットの小型化  
(ヘビ型の場合細径化)



# 生産性・コスト比較(参考資料)

項目	単位	当社 HBSR	国内大手Y社 IPM	台湾製 SPM	備考 当社について
価格競争力	%	100	150	75	
定格電圧	DC V	48	48	48	
寸法	mm	φ 145 × 85 L	φ 145 × 85 L	φ 145 × 146 L	大手Y社同体格
定格出力	W	2000	1000	1000	大手Y社2倍
システム効率	%	84	83	75	
回転数 (帯域)	rpm	2,000~12,000	2,000~4,000	2,000~4,000	低速から超高速域まで連続定格運転
トルク	Nm	6.0	2.0	1.4	高トルク 大手Y社3倍

# HBSRモータ開発の経緯

- 2000年3月：ハイブリッド型可変リラクタンス磁石の原理を公開
- 2000年8月：第3回日仏インテリジェント材料、構造セミナー “Silver Prize” 受賞
- 2001年1月：NEDO 平成13年度エネルギー・環境国際共同研究提案公募事業受託
- 2002年5月：ワシントン大学 CIMS 春期セミナー(招待講演)
- 2004年7月：第27回モーター技術シンポジウム 第15回磁気技術シンポジウム講演
- 2010年7月：TCHNO-FRONTIER2010(東京ビッグサイト)
- 2019年3月：電動機特許登録 (特許第6491369号)
- 2020年8月：リラクタンスモータ特許出願
- 2021年12月：バイク用HBSRモータ試作品が完成

## HBSRモータ

$$\Phi_2 = \frac{\frac{(2R_1 + R_3)}{R_n} F_n + (F_1 + F_2)}{\frac{R_{0H1} R_{0H2}}{R_{0H1} + R_{0H2}} + R_{02}} \quad (1)$$

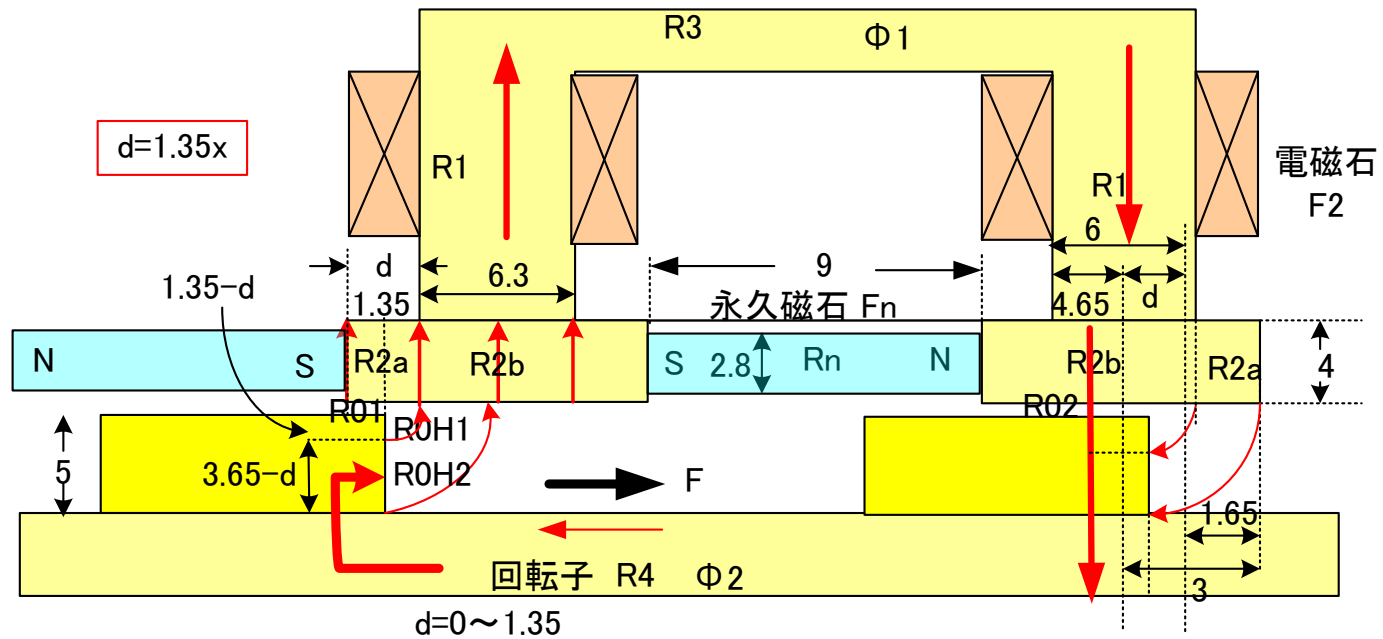
$$F_{HBSR} \approx \frac{1}{2\mu_0 S_{0H}} \left( \Phi_2 \times \frac{1}{1 + \frac{R_{OH1} R_{OH2}}{R_{OH1} + R_{OH2}} \frac{x}{R_{01}}} \right)^2 \quad (2)$$

## SRモータ

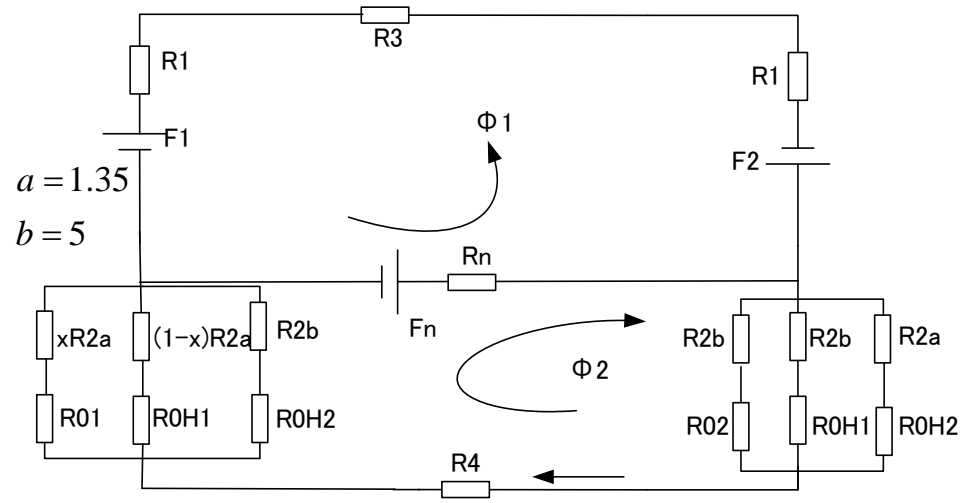
$$\Phi_2 = \frac{(F_1 + F_2)}{R_{0H} + R_{02}} \quad (3)$$

$$F_{SR} = \frac{1}{2\mu_0 S_{0H}} \left( \Phi_2 \times \frac{R_{01}}{R_{01} + R_{0H1}} \right)^2 \quad (4)$$

# HBSRモータ1極当たりの磁気回路モデル



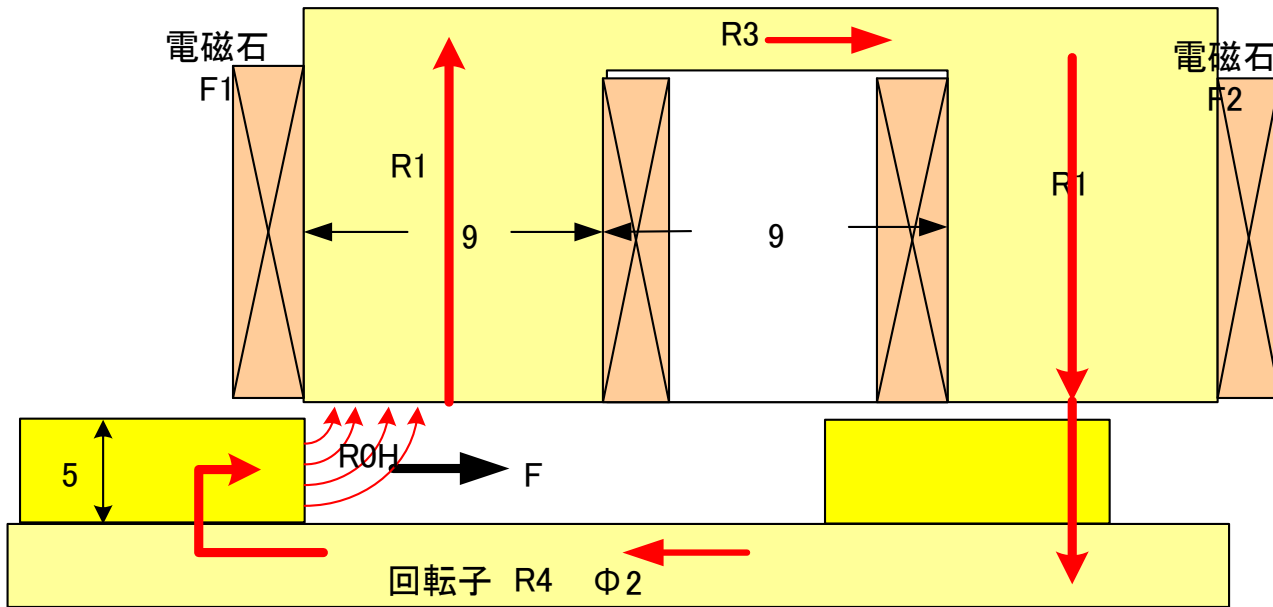
(a) 磁気回路モデル



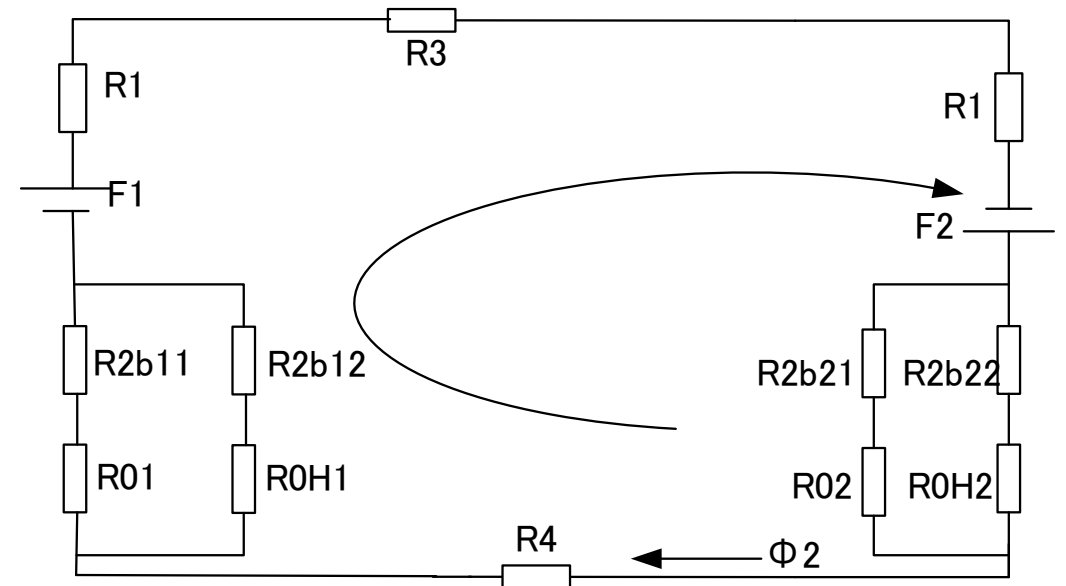
(b) 磁気回路

図3 HBSRモータ1極あたりのモデル

# SRモータ1極当たりの磁気回路モデル



(a) 磁気回路モデル



(b) 磁気回路

図4 HBSRモータ1極あたりのモデル