

戦略的省エネルギー技術革新プログラム  
フェーズ名：インキュベーション研究開発+実用化開発

# 次世代自動車搭載用途の センサインターフェースICの開発

プロジェクト実施者： 多摩川精機株式会社

プロジェクト実施期間： 2017年6月～2021年7月



## 次世代自動車 (EV,FCV,PHV)の駆動モータ用角度センサ市場

### ■ 市場状況

- ① レゾルバシステムが高いシェアを有する
- ② EVシフトにより市場は急拡大
- ③ カーシェアでクルマ1台あたりの稼働率は上昇

### ■ 技術トレンド

- ① 高精度化
  - ② 高速応答性
  - ③ 高信頼性
  - ④ 冗長化
- ⇒ モータ制御の高度化で  
車両モーションコントロール実現
- ⇒ レゾルバの独壇場
- ⇒ 半導体センサの独壇場



車載レゾルバ外観

## EVの課題

### 航続距離の延長

#### 対応方策

#### 省エネルギー化

#### エネルギーの調達

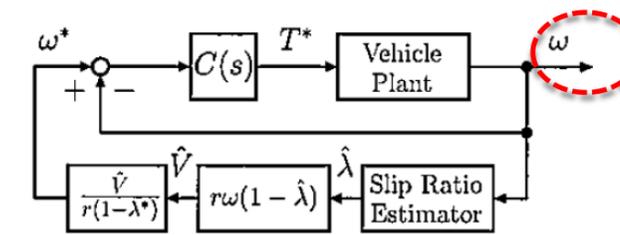
モーションコントロール

小型化軽量化 ...

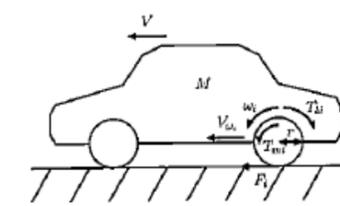
走行中給電 ...

バッテリー大容量化

### モータ特性活用による車両モーションコントロールによる燃費（電費）向上例



Block diagram of wheel velocity control\*2



Vehicle model\*2

トラクションコントロール技術の利用

転がり抵抗が小さくてもスリップしない

ロスの少ないタイヤの使用

**燃費向上**

### 車載磁気式モータ角度センサの検出方式別比較\*1

	レゾルバ	GMR	ホール	うず電流
分解能 (p/r)	1024~65,536	500~4,096	>8,192	内挿分割
<b>精度 (°)</b>	<b>0.3~1</b>	<b>0.3~0.5</b>	<b>0.5~1</b>	<b>6.7</b>
許容回転数(rpm)	<50,000	<20,000	<20,000	<20,000
動作温度範囲(°C)	>150	<140	<125	<125
温度ドリフト	◎	○	△	△
耐衝撃性	◎	○	○	○
耐油性	◎	適用外	適用外	適用外
信頼性	◎	○	○	△
コスト	◎	◎	◎	○

全般に  
精度が悪い

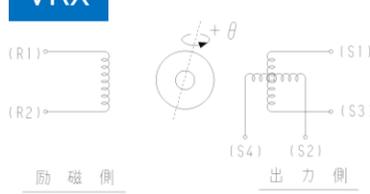
\*1 車載用センサデバイスマーケット分析2015 (矢野経済研究所) より引用

\*2 電気自動車のモーションコントロールと走行中ワイヤレス給電 (堀 洋一、横井 行雄) より抜粋

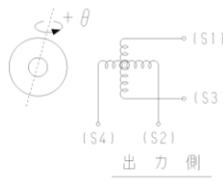
1相励磁  
/2相出力



VRX

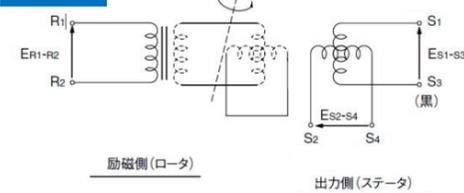


励磁側



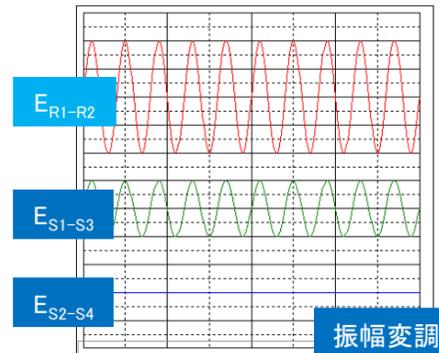
出力側

BRX



励磁側(ロータ)

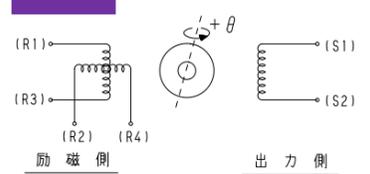
出力側(ステータ)



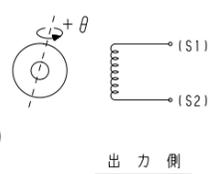
2相励磁  
/1相出力



VRT

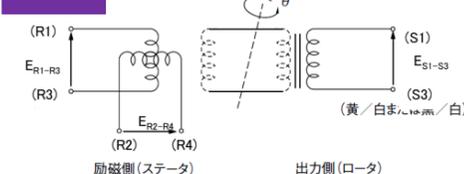


励磁側



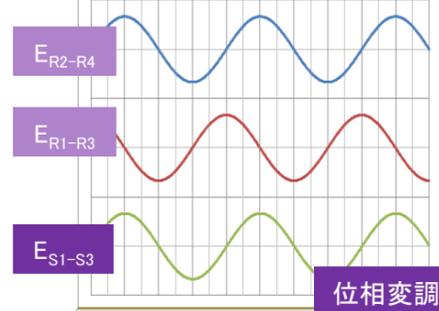
出力側

BRT



励磁側(ステータ)

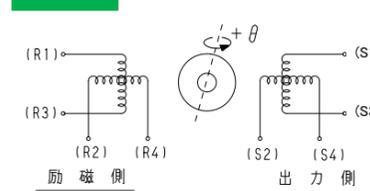
出力側(ロータ)



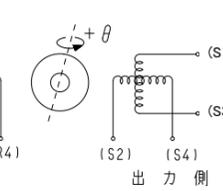
2相励磁  
/2相出力



VRS

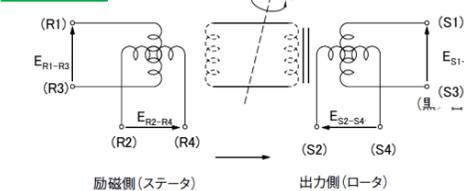


励磁側



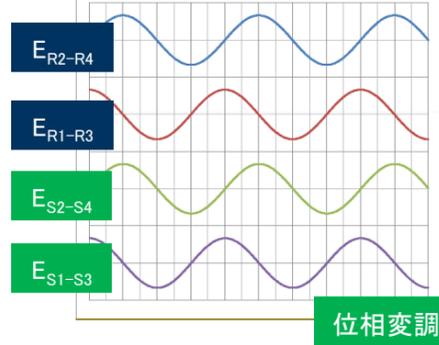
出力側

BRS



励磁側(ステータ)

出力側(ロータ)



- VRXはHEV/EV用途で最も使用されるレゾルバ方式
- レゾルバ/デジタル変換IC(RDC-IC)が市販されている
- 角度依存の角度検出誤差が大きい

- 原理的に高精度
- 対応するRDC-ICが、実用化されていない
- 励磁/出力の内、1相が欠相しても角度検出可能

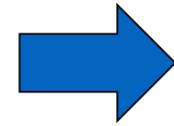
## レゾルバの検出角度精度や冗長性は信号方式にもよる

1相欠相時の信号状態

	断線パターンA	断線パターンB
励磁相 断線	<p>VRX(1相励磁/2相出力)レゾルバ相当信号</p>	<p>VRX(1相励磁/2相出力)レゾルバ相当信号</p>
出力相 断線	<p>VRT(2相励磁/1相出力)レゾルバ相当信号</p>	<p>VRT(2相励磁/1相出力)レゾルバ相当信号</p>

## ■ 現行のレゾルバシステムの課題

- ① 角度検出精度が低い
- ② インターフェースを含むセンサ応答性が不足
- ③ 冗長化しようとするサイズアップ



## 次世代レゾルバシステムにより課題を解決

### レゾルバシステムの彼我比較

項目	従来レゾルバシステム (VRX)	次世代レゾルバシステム (VRS)	備考
センサ信号方式	<p>1相励磁 2相出力 (振幅変調)</p> <p>出力信号: <math>\sin\theta \cdot \sin\omega t</math>、<math>\cos\theta \cdot \sin\omega t</math></p>	<p>2相励磁 2相出力 (位相変調)</p> <p>出力信号: <math>\sin(\omega t - \theta)</math>、<math>\cos(\omega t - \theta)</math></p>	<p>VRSに対応したインターフェースは ディスクリート回路品のみ</p> <p>↓</p> <p>低コスト化にIC化必須</p>
精度 (誤差特性)	<p>角度依存誤差が主</p> <p>10%アンバランスで 幅5.73degの誤差リップル</p>	<p>時間依存誤差が主 (周波数成分が主)</p> <p>↓</p> <p>フィルタ可能</p> <p>10%のアンバランスで 幅0.23degの誤差リップル</p> <p>誤差 1/10以下</p>	<p>飛躍的な精度向上でモータ制御を 省エネ化</p> <p>+</p> <p>加えてインターフェースの周波数 特性を向上させる</p>
センサ信号冗長化	<p>2系統分のセンサが 必要</p>	<p>1系統センサで センサ信号 冗長性を持つ</p>	<p>センサ信号冗長性に加えて、 インターフェース側も冗長化を行う</p>

モータ制御による省エネ化に資する次世代レゾルバシステムを安価に提供するためのインターフェースICを開発する。

技術開発責任者  
丸山 裕史

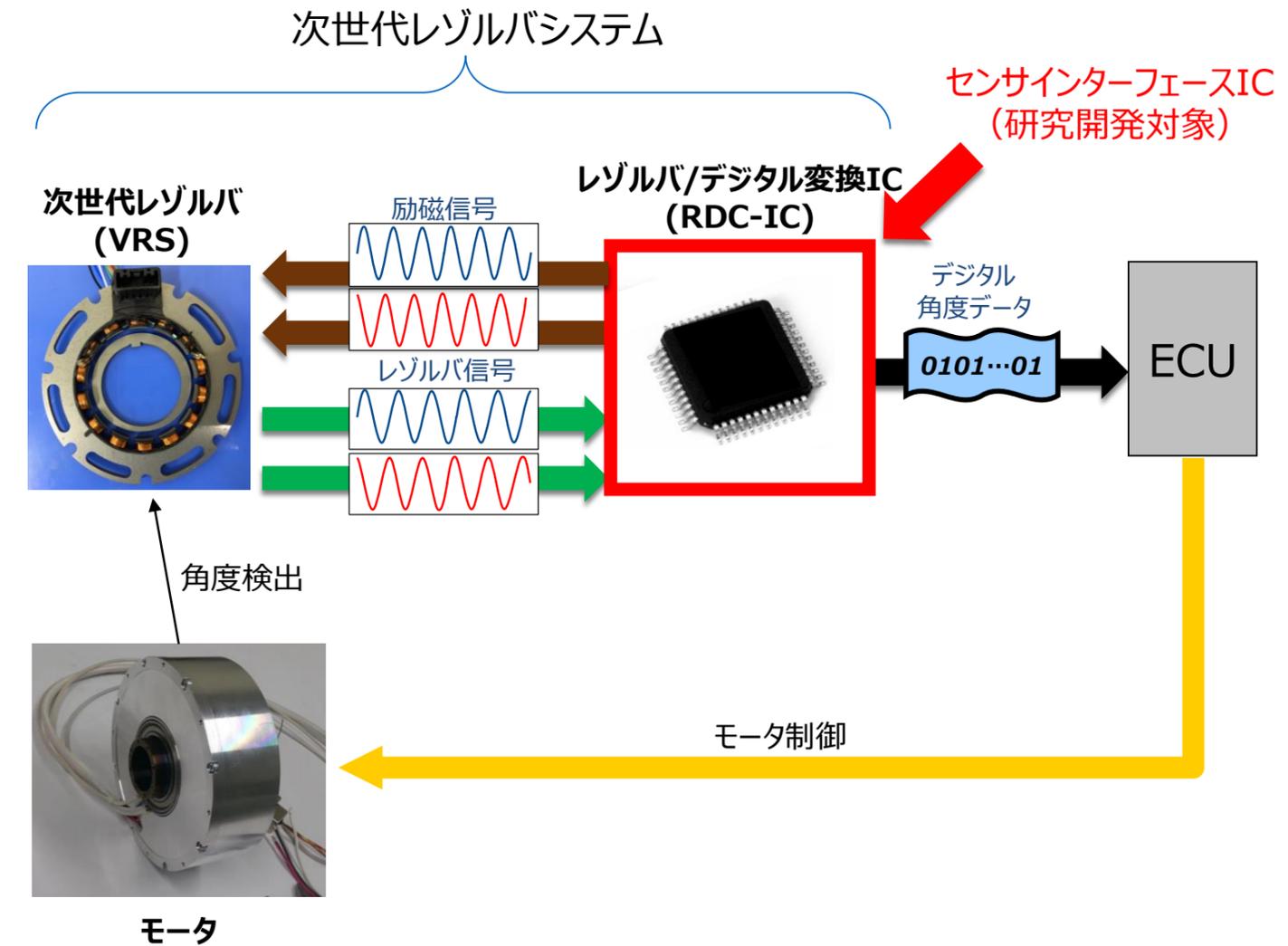
多摩川精機株式会社 センサトロニクス研究所

研究項目	実施内容
(1) 次世代レゾルバ専用R/D変換原理の開発	VRSLレゾルバに対応した変換原理の確立
(2) インターフェースの冗長化	冗長用の簡易方式レゾルバ/デジタル変換 (R/D変換) 機能の開発
(3) 小型・低価格化に適した半導体集積回路検討	製造プロセス選定
	TEGチップの設計・製作
(4) 量産版インターフェースICの開発	TEGチップでの適合性確認
	全レゾルバ方式対応化開発
	量産版チップの設計/製作
	量産版チップの性能評価
	量産版チップの耐久性評価

インキュベーション  
研究開発

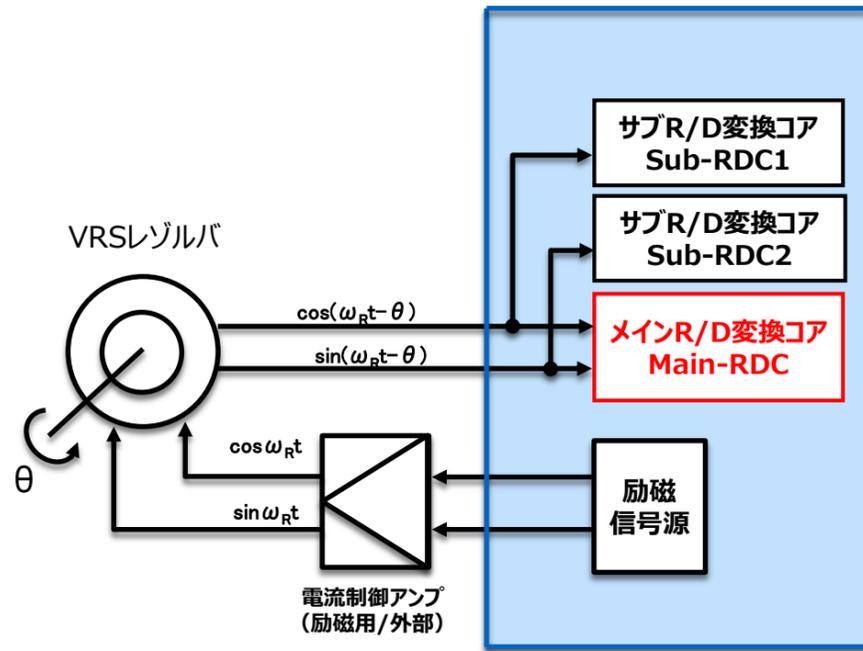
実用化開発

## 次世代レゾルバを使用したモータ制御構成例

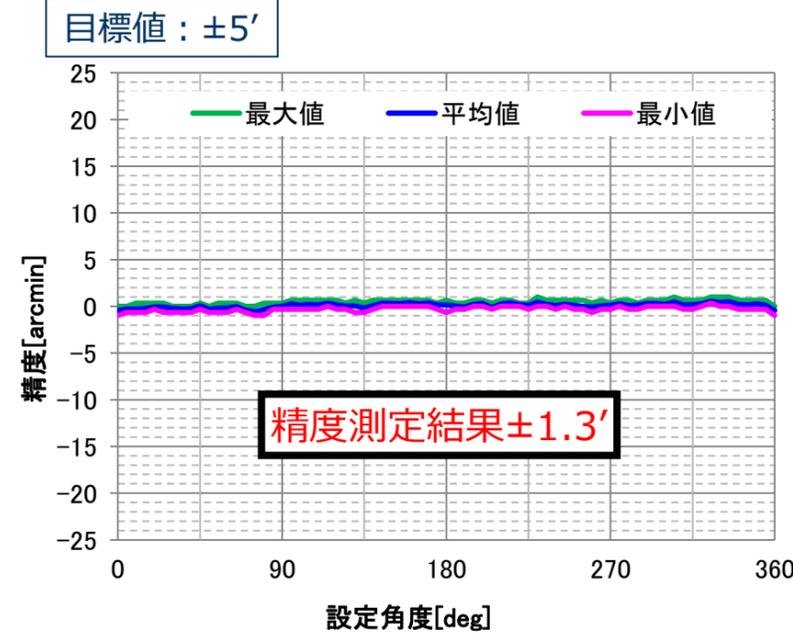


- VRSレゾルバ対応の高精度・高速R/D変換コアを開発
- VRSレゾルバ入出力の内、1相欠相しても動作継続可能  
⇒ 全方式のレゾルバ信号に対応できるように機能を拡張

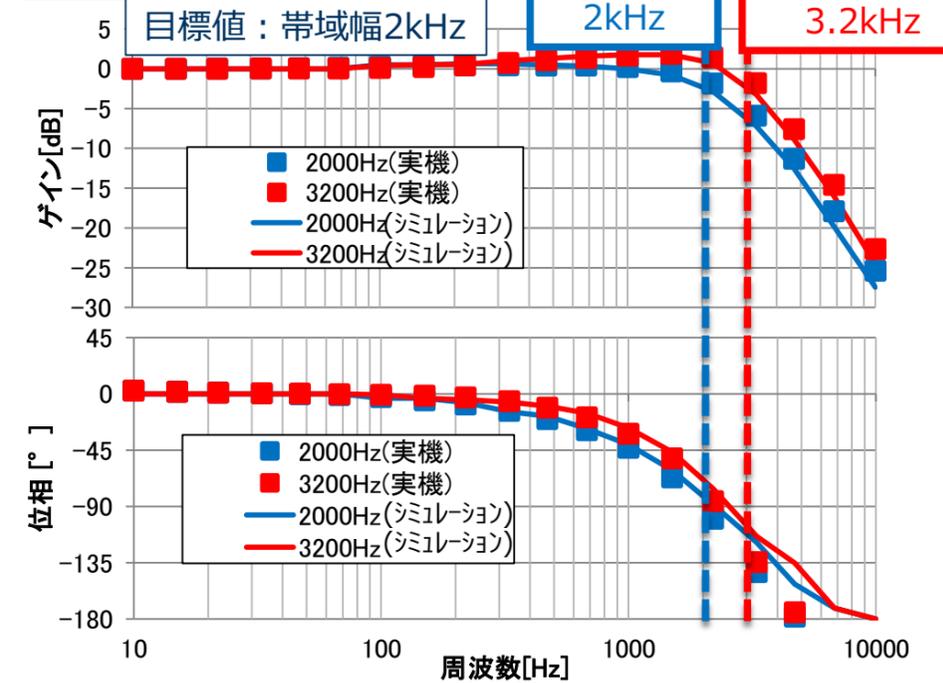
## レゾルバ-R/D変換コア周辺構成



## VRSレゾルバ信号変換精度



## 応答周波数特性

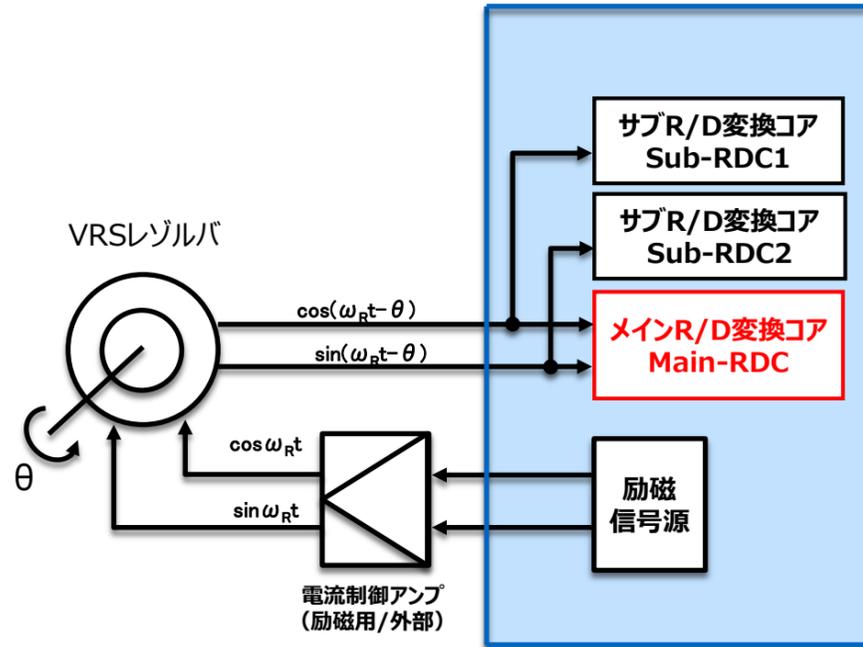


## 1相欠相時のR/D変換動作継続

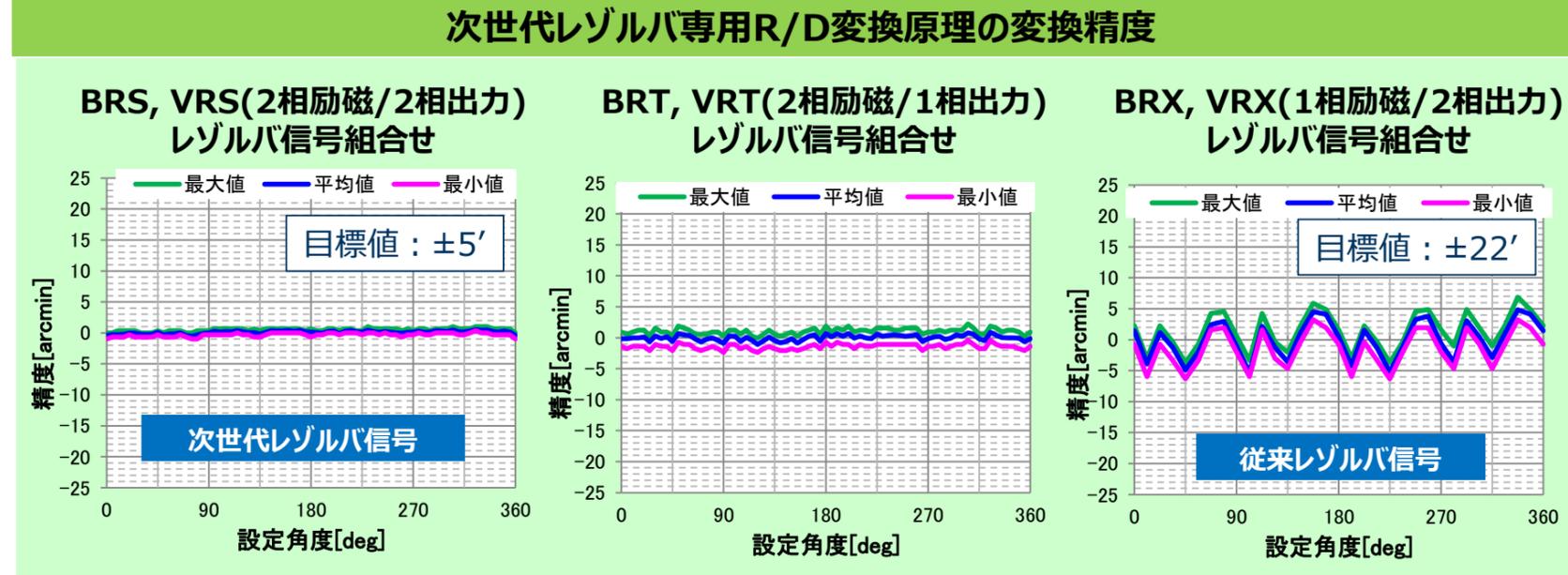
励磁相 断線	断線パターンA	断線パターンB	R/D出力角度 (D/A 波形)	角度出力 継続
	VRX (1相励磁/2相出力) レゾルバ信号状態	VRX (1相励磁/2相出力) レゾルバ信号状態		
出力相 断線	断線パターンC	断線パターンD	R/D出力角度 (D/A 波形)	角度出力 継続
	VRT (2相励磁/1相出力) レゾルバ信号状態	VRT (2相励磁/1相出力) レゾルバ信号状態		

- VRSレゾルバ対応の高精度・高速R/D変換コアを開発
- VRSレゾルバ入出力の内、1相欠相しても動作継続可能  
⇒全方式のレゾルバ信号に対応できるように機能を拡張

## レゾルバ-R/D変換コア周辺構成



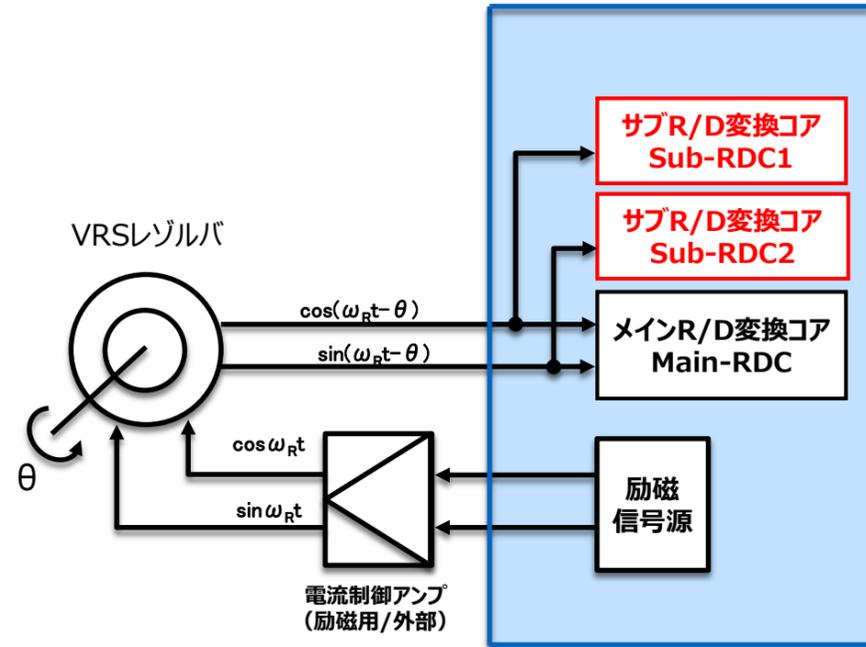
## レゾルバ信号別R/D変換精度



次世代レゾルバ信号との組合せでの変換誤差実力値は従来レゾルバ用RDC-ICの1/10

- 冗長機能用の簡易R/D変換機能を開発
- 出力1相ずつを使って別々にR/D（レゾルバ/デジタル）変換
- 全動作速度域に渡ってメインRDC（主系統RDC）との出力比較が可能

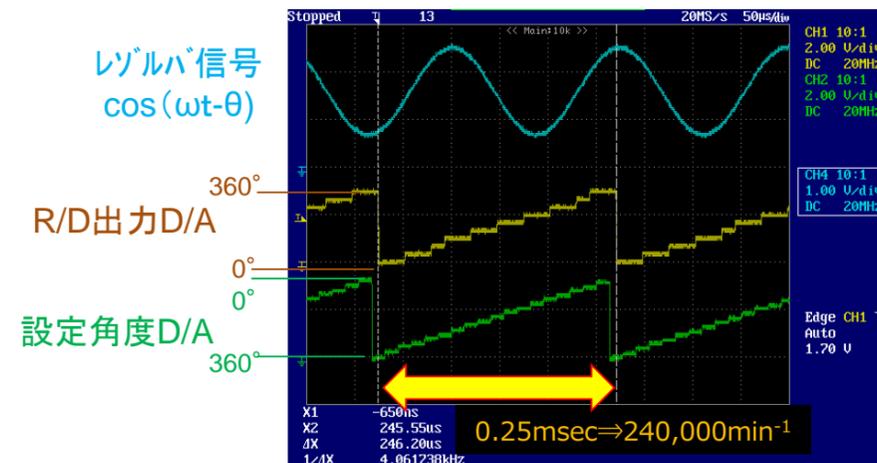
## レゾルバ-R/D変換コア周辺構成



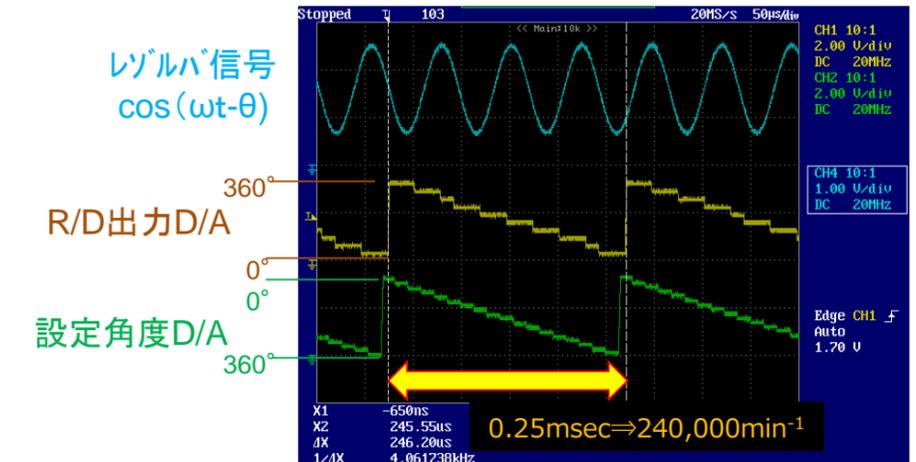
## 冗長用R/Dの高速回転追従性能

目標値：±240,000min<sup>-1</sup>

### 最大速度回転時（正転）



### 最大速度回転時（逆転）



**各R/D変換結果を比較することでセンサ信号とR/D変換コアの両方の異常が検出可能**

## VRDC<sup>®</sup> AUA6800

### 全方式レゾルバ対応RDC-IC

VRDCは、全方式のレゾルバ信号に対応した高機能R/Dコンバータです。新方式R/D変換原理により、高速・高精度な角度検出を提供します。

#### 【用途】

##### ● CA (Car Application)

- ・パワートレイン、ステアリング、ブレーキ用モータの磁極検出
- ・トラクションコントロール用途での速度検出

##### ● FA (Factory Application)

- ・ロボット、アクチュエータ用モータの磁極検出、位置検出

#### 【特徴】

##### ● 高機能R/D出力 (Main-RDC)

- ・全方式のレゾルバのR/D変換が可能
- ・2相励磁/2相出力レゾルバなら1相欠相しても変換継続
- ・角度データ・速度データ同時出力可能
- ・高速・高分解能・高精度リアルタイムデータ (加速度モードレス)

##### ● R/D変換機能 3重冗長\*

- ・Main-RDC (Real-Time PLL方式) : 1系統
- ・Sub-RDC (PLL方式) : 2系統

##### ● ヘルスモニタリング機能\*

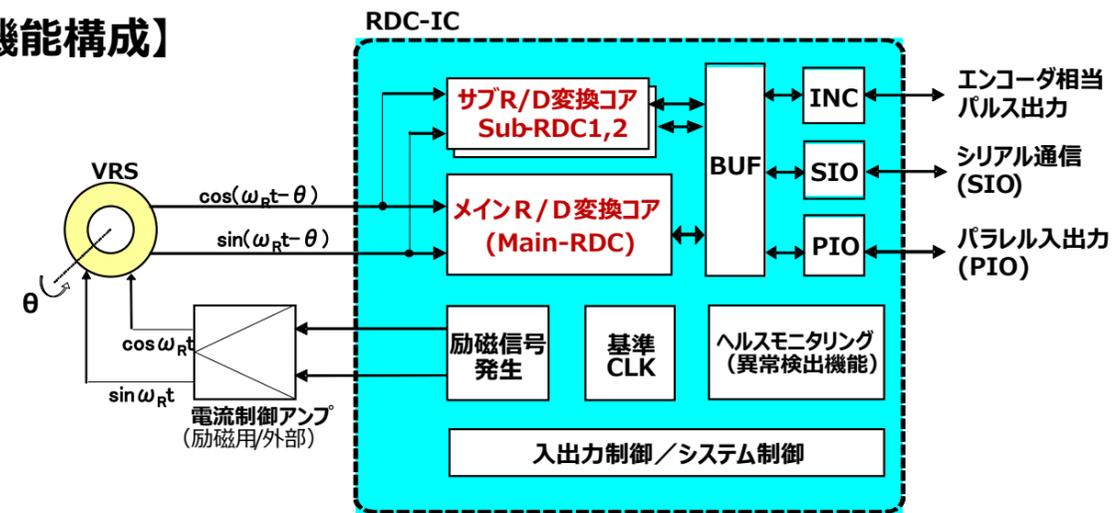
- ・RDC出力データ比較
- ・各種異常検出機能

##### ● 充実した各種搭載機能\*

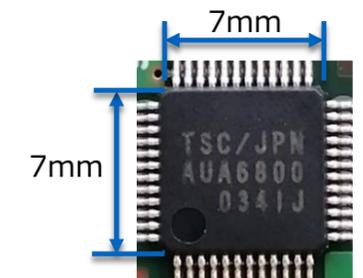
- ・サーボセンサ用シリアル通信 (SILK通信)
- ・R/D変換帯域幅設定

\*VRS、BRSレゾルバ以外との組合せでは機能が限定される場合があります。

#### 【機能構成】



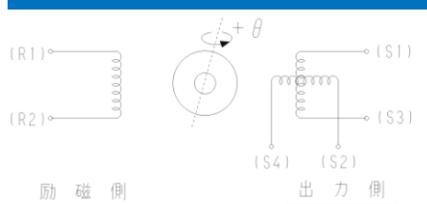
#### 【外観】



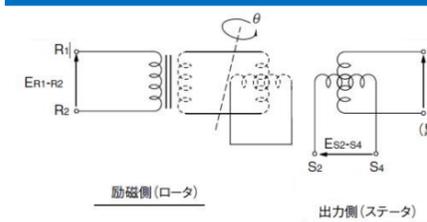
#### 【組合せレゾルバ】



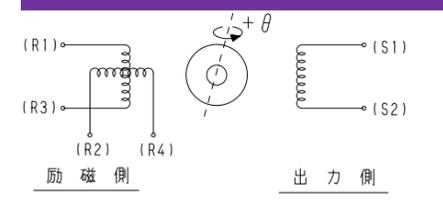
##### 1相励磁/2相出力 (VRX)



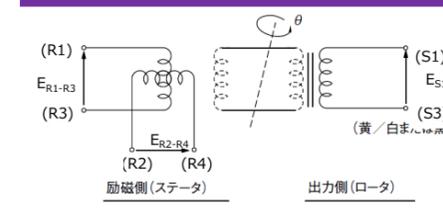
##### 1相励磁/2相出力 (BRX)



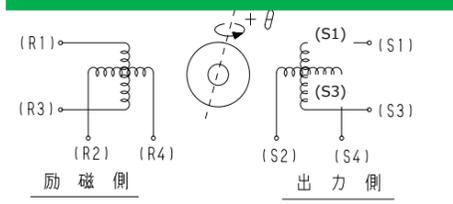
##### 2相励磁/1相出力 (VRT)



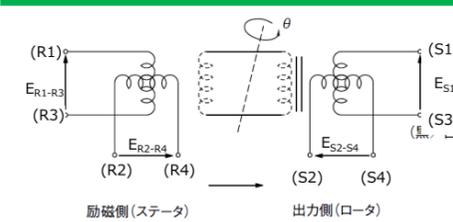
##### 2相励磁/1相出力 (BRT)



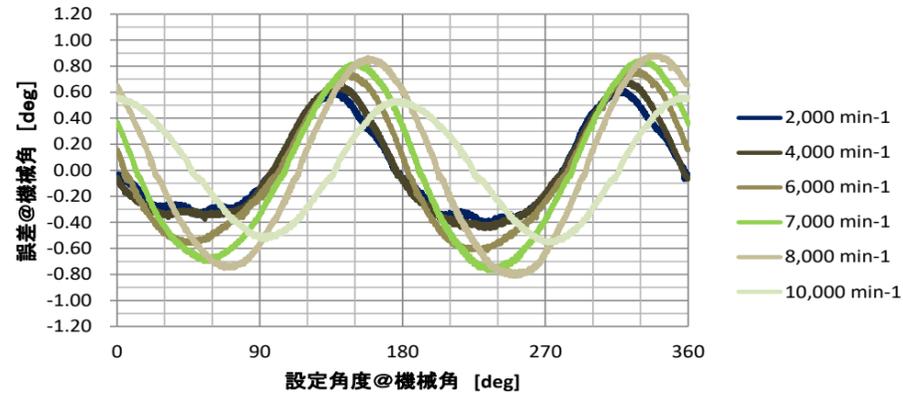
##### 2相励磁/2相出力 (VRS)



##### 2相励磁/2相出力 (BRS)



## 誤差補正性能向上（従来レゾルバ）



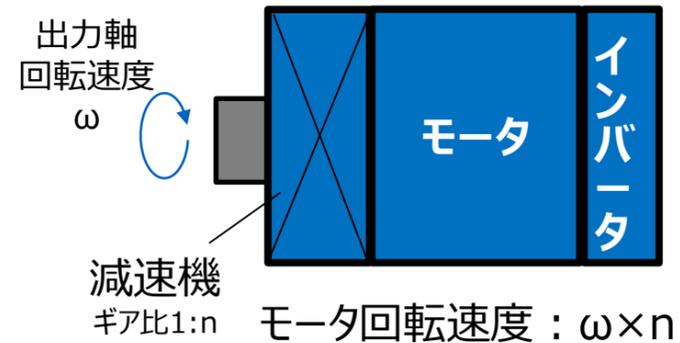
従来レゾルバシステムでの回転数別精度

- センサの角度依存誤差 → モータ回転数依存の振動
- 応答周波数特性が悪い → 回転数依存で誤差が変化し精度補正を困難に



応答周波数の向上で高速回転時の精度変化を抑制

## E-Axle



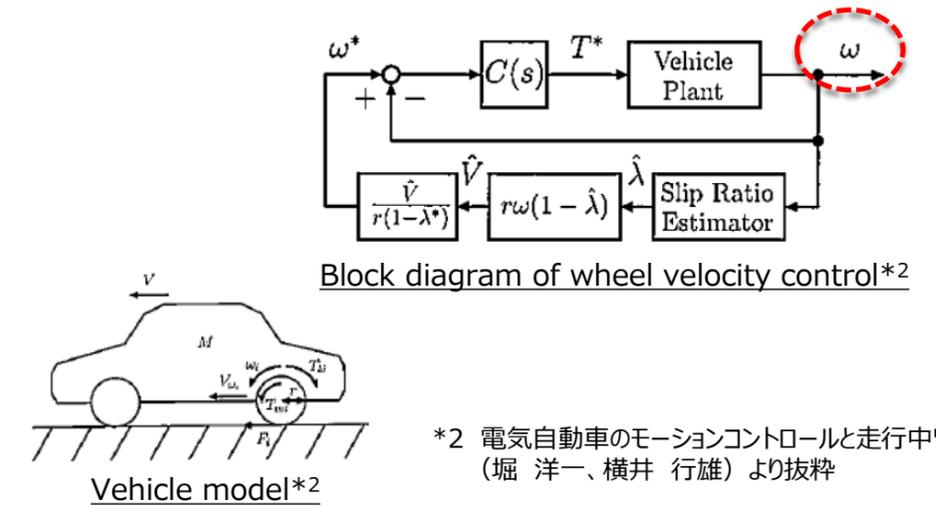
E-Axle 構成

- ギア比の分だけモータ側回転数が増加 → 高速回転までの追従に加え、高加速度追従も必要



高加速度追従性能でギア比やレゾルバ軸倍角が高くても動作が可能

## トラクションコントロール



すべり率制御

- 角度値を微分して速度を導出 → 正確に求めるには高精度・高分解能が必要
- システム応答をモータそのものの応答に近づける → センサにはシステム以上の応答性が必要

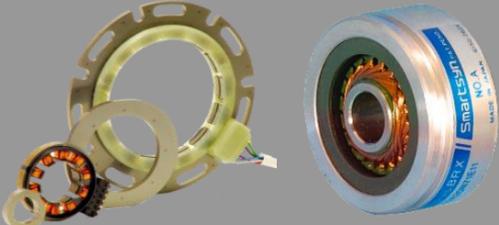
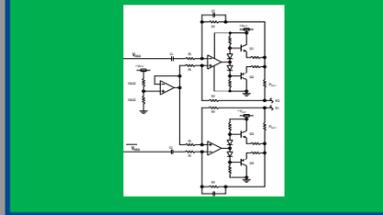
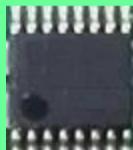
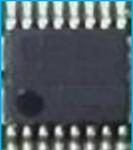


高精度・高分解能角度データ使用で速度制御性能向上

高加速度追従でモータ本来の高速トルク応答性能を活用

\*2 電気自動車のモーションコントロールと走行中ワイヤレス給電 (堀 洋一、横井 行雄) より抜粋

## 3-2.今後の展望：従来製品の代替

切替パターン	レゾルバ	RDC-IC	励磁回路	得られるメリット
現在	従来レゾルバ (VRX/BRXタイプ) 	Smartcoder® (AU680X) 	励磁回路網 	
パターン1	従来レゾルバ (VRX/BRXタイプ) 	開発したRDC-IC VRDC® (AUA6800) 	励磁IC 	センサは従来品のまま 分解能向上
パターン2	派生レゾルバ (VRT/BRTタイプ) 	開発したRDC-IC VRDC® (AUA6800) 	励磁IC 	センサ信号数は従来品と同じまま 分解能・低速時精度・故障検出性向上
パターン3	次世代レゾルバ (VRSタイプ) 	開発したRDC-IC VRDC® (AUA6800) 	励磁IC 	分解能・応答性・精度 故障検出性向上、 センサ信号異常時動作 継続可能

従来レゾルバシステム／次世代レゾルバシステムでインターフェースICを共用可⇒置換えリスクの低減