

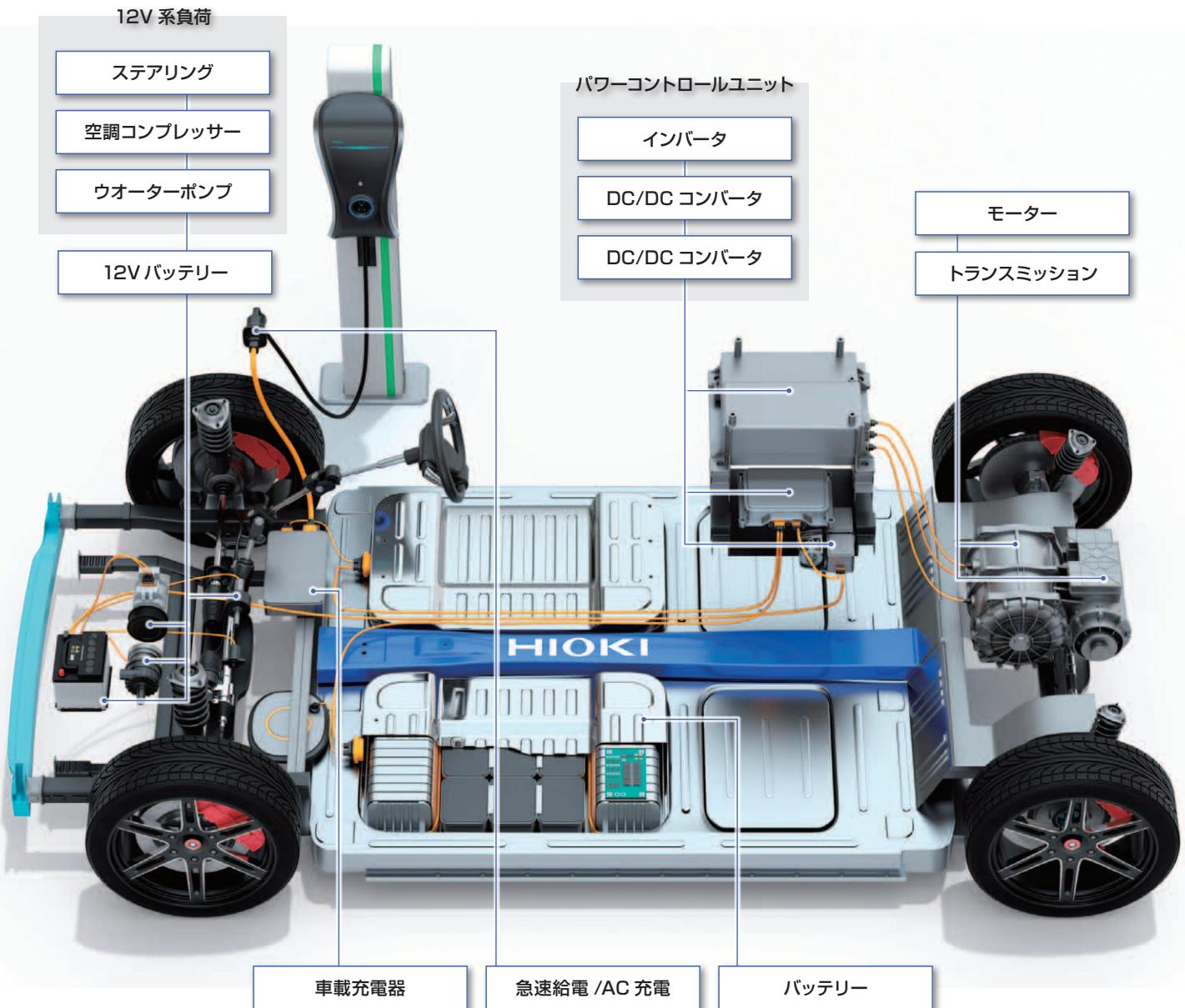


モーターの  
性能分析から  
品質検査まで

計測ソリューションのご紹介

# モーターの性能、品質向上に 高精度計測ソリューション

HIOKI が提供する多様な計測ソリューションは、  
モーターの性能分析から品質検査まで様々なシーンにお応えします。  
高精度な計測技術による現状把握と分析で、モーターの性能、品質向上をサポートいたします。



## 設計 / 開発 インバータモーター効率評価・損失評価

P.4

インバータ入出力の電力とモーター出力を同時に測定し、  
インバータ / モーター / システム全体の効率と損失を、正確かつ再現性良く評価可能です。

## 設計 / 開発 PMSM モーターパラメータ同定

P.5

実稼働状態で測定したモーターパラメータを設計上流に用いることで、より正確なモーター制御が実現できます。

## 設計 / 開発 モーターの温度測定

P.6

モーターフレームや巻線に熱電対を貼り、温度の変化を記録します。  
測定環境との温度差をリアルタイムに波形表示、記録することも可能です。

## 設計 / 開発 動的なモーター特性測定

P.7

モーター始動から停止までのインバータの出力電圧・電流、トルク、回転数を記録します。  
波形演算を使い、インバータ出力電力、モーターパワー、モーター効率が算出できます。

## 設計 / 開発 モータートルク振動測定

P.8

トルク、振動を測定し、モーター動作中の挙動を解析します。  
FFT 演算により、周波数解析を行うことで、共振現象など予想していなかった周波数成分を発見できます。

## 設計 / 開発 レゾルバ回転角測定

P.9

レゾルバロータの励磁信号と出力信号を記録し、波形演算機能で回転角を算出します。  
レゾルバ回転角とその他信号との関係を解析することでモーター制御シーケンスを検証できます。

## 生産 / 検査 モーター巻線のレイヤーショート試験

P.10

モーター巻線の絶縁故障（レイヤーショート）、劣化を検出します。  
応答波形を数値化することで、従来よりも高精度に良否判定することができます。

## 生産 / 検査 モーター巻線のメンテナンス

P.11

インパルス試験を実施することで、モーター巻線のメンテナンスや傾向管理にも活用できます。

## 生産 / 検査 モーター・巻線の絶縁抵抗測定・耐圧試験

P.12

絶縁抵抗試験、耐圧試験を行います。  
出荷検査として絶縁状態を検査することで、高い安全性を保つ事ができます。

## 生産 / 検査 巷線抵抗の測定

P.13

巻線の抵抗を高精度に測定することができます。巻線の抵抗を測定することで、断線の有無を調べることができます。  
高精度な抵抗計を使って測定すれば、線材の太さや巻数に誤りが無いか判別することも可能です。

## 生産 / 検査 モーターコイルのインダクタンス測定

P.14

巻線のインダクタンスを測定します。相間のバランス、モーターの動作性能、  
回転ムラ、駆動ドライバとモーターの整合性等を確認できます。

## 生産 / 検査 モーターの溶接抵抗測定

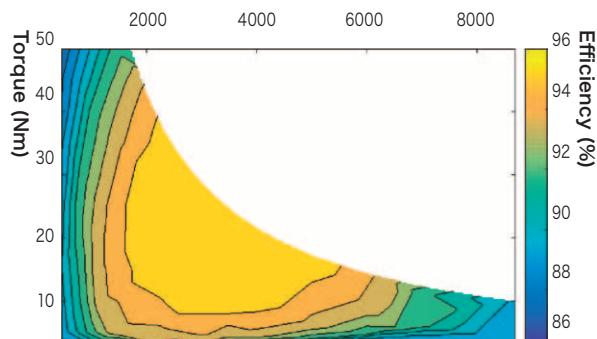
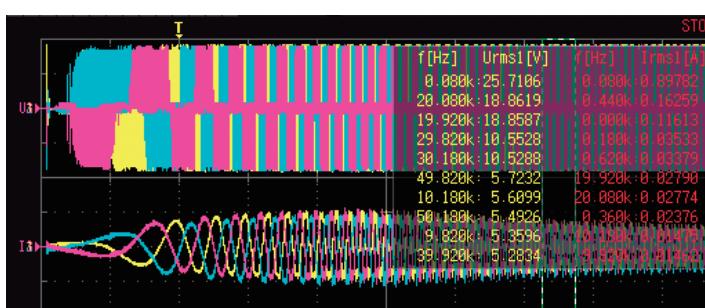
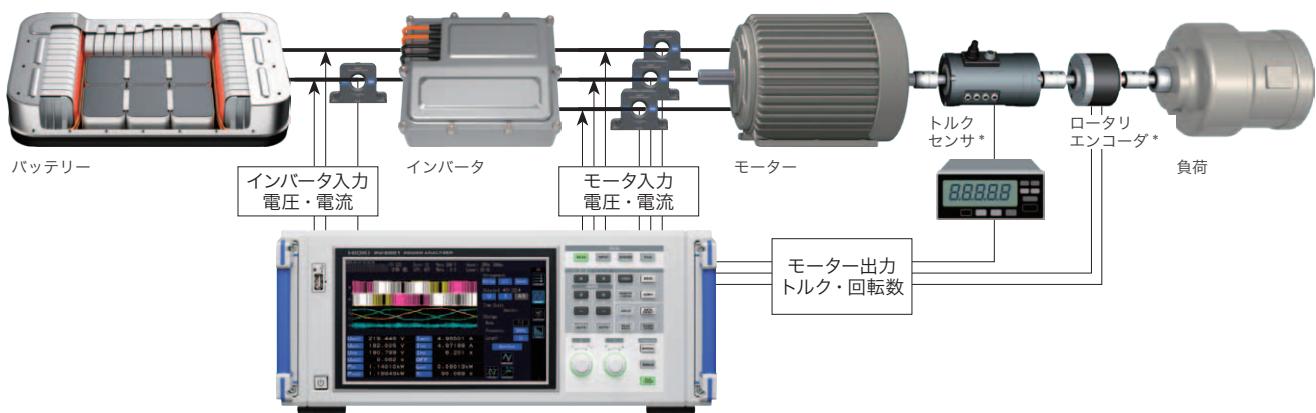
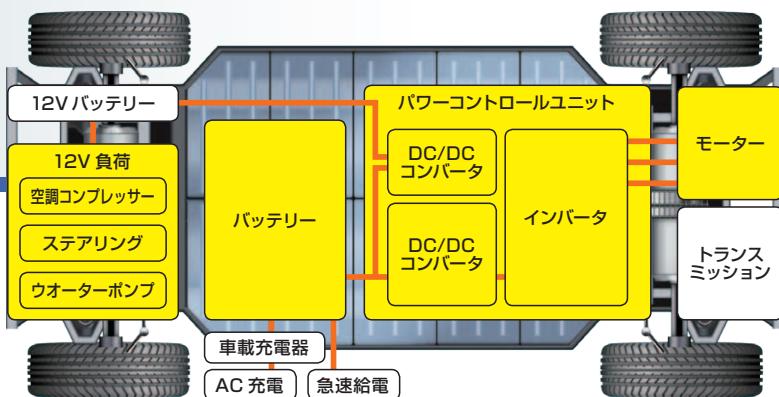
P.15

平角線ステータの溶接品質（溶接欠陥）を分解能が高く、測定確度の高い直流抵抗計により検査します。

## 設計 / 開発

### インバータモーター 効率評価・損失評価

インバータ入出力の電力とモーター出力を同時に測定し、インバータ / モーター / システム全体の効率と損失を、正確かつ再現性良く評価可能です。



### モーター始動時の波形解析

モーター始動時の瞬時波形を確実に捕捉し解析します。

### 効率・損失マップ

測定データを使用し MATLAB<sup>®</sup> で作成  
※MathWorks 社の登録商標です。

## 使用機器



パワーアナライザ  
PW6001



AC/DC カレントセンサ  
CT6875,CT6876

### パワーアナライザ PW6001

- ・1台で 6ch, 2台連結で最大 12ch の電力測定
- ・電力基本確度  $\pm 0.05\%$
- ・オシロスコープ不要の波形解析、モーター解析専用のトリガ

### カレントセンサ CT6875,CT6876

- ・AC/DC 500A, DC ~ 2MHz (CT6875)
- ・AC/DC 1000A, DC ~ 1.5MHz (CT6876)
- ・基本確度  $\pm 0.048\%$

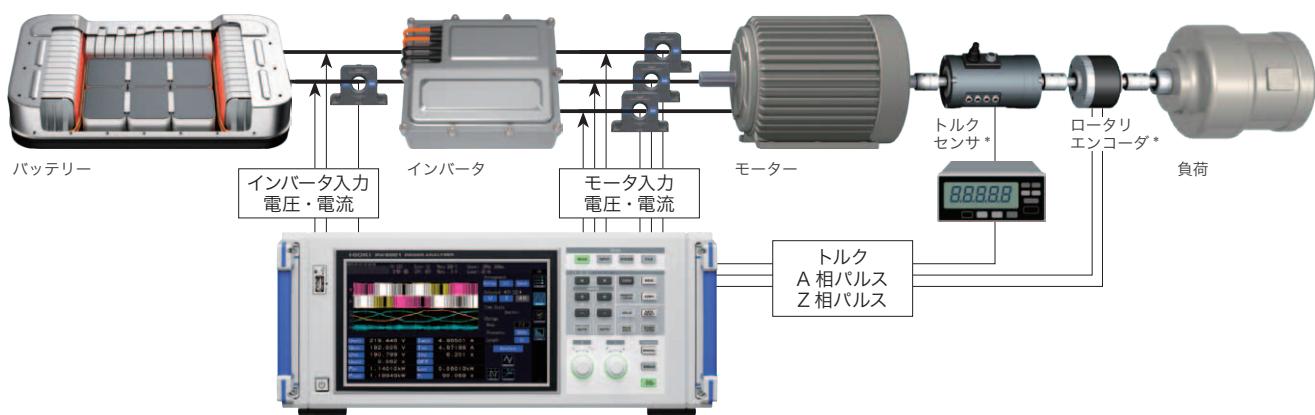
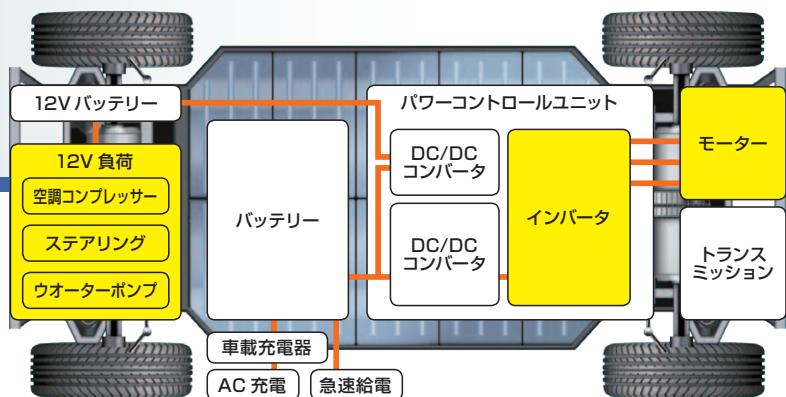
\*トルクセンサ、ロータリエンコーダは別途ご用意ください。

## 設計 / 開発

# PMSM モーター パラメータ同定

実稼働状態で測定したモーターパラメータを設計上流に用いることで、より正確なモーター制御が実現できます。

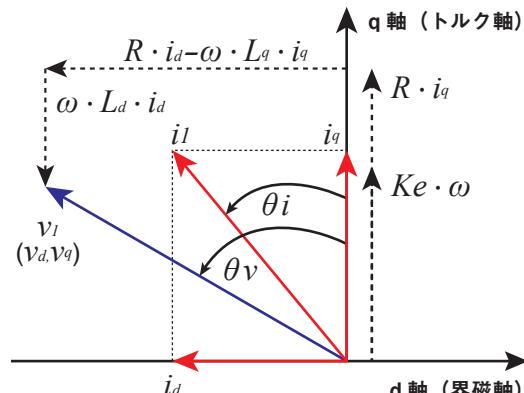
PMSM とは  
永久磁石同期電動機 (Permanent Magnet Synchronous Motor)  
三相交流モーターの一種でエネルギー損失が少なく消費電力の大幅な削減が可能なモーターとして近年注目を集めています。



## 高度なモータ制御の実現に貢献します

高度なモーター制御を実現するためには、従来は定数として扱われていた d 軸 /q 軸インダクタンス  $L_d$ 、 $L_q$  を、電流依存性を持つ変数であるここまで考慮し制御することが重要です。PW6001 は、モータ動作状態における電圧・電流の d 軸 /q 軸ベクトル解析が可能です。更にこれらを利用し、 $L_d$ 、 $L_q$  をリアルタイムに演算し表示できるため、モーターパラメータの電流飽和特性を測定することができます。

$$L_d = \frac{v_q - K_e \cdot \omega - R \cdot i_q}{\omega \cdot i_d} \quad L_q = \frac{R \cdot i_d - v_d}{\omega \cdot i_q}$$



## 使用機器



パワーアナライザ  
PW6001



AC/DC カレントセンサ  
CT6875, CT6876

### パワーアナライザ PW6001

- ベクトル制御の解析に必要な電気角測定機能を搭載
- d 軸と q 軸を基準とした電圧・電流ベクトル表示が可能
- モータパラメータの測定に有効なユーザ定義演算機能を搭載

### カレントセンサ CT6875, CT6876

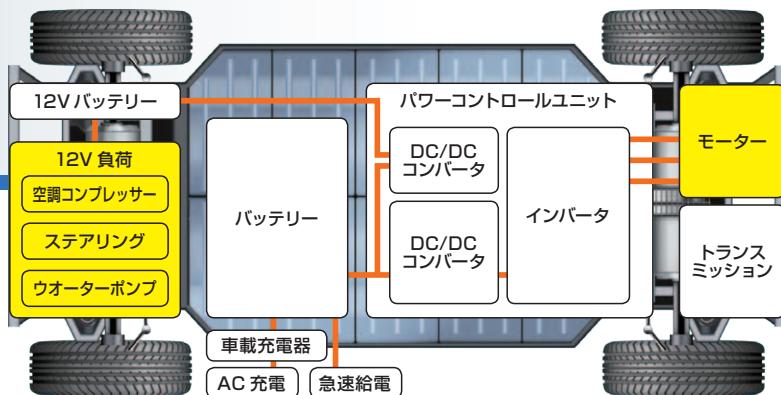
- AC/DC 500A, DC ~ 2MHz (CT6875)
- AC/DC 1000A, DC ~ 1.5MHz (CT6876)
- 基本確度 ±0.048%

\* トルクセンサ、ロータリエンコーダは別途ご用意ください。

## 設計 / 開発

### モーターの 温度測定

モーターフレームや巻線に熱電対を貼り、  
温度の変化を記録します。  
測定環境との温度差をリアルタイムに波形  
表示、記録することも可能です。



#### 用途に合わせて

4台まで装着可能

電圧: 1ms ~  
温度: 10ms ~  
ひずみ: 1ms ~  
湿度: 10ms ~  
抵抗: 10ms ~

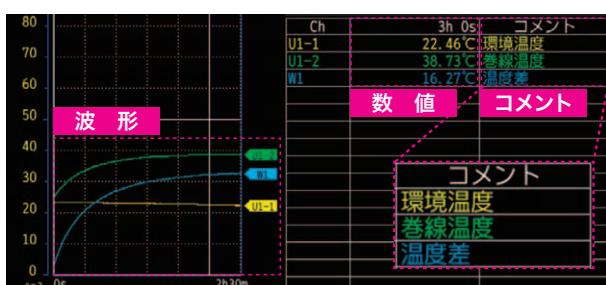
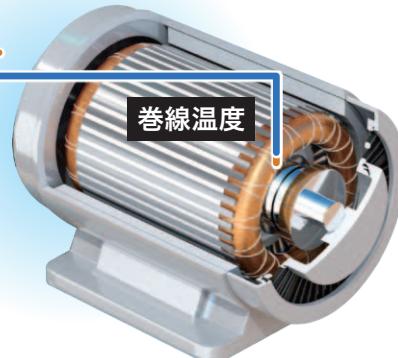


U8550



環境温度

LR8450



#### 波形・数値・コメントを一画面に表示

波形と数値を同時に表示できます。入力したコメントも一緒に表示できる為、記録データを明確に識別できます。

ユニット	測定	チャネル	トリガ	蓄積	演算	システム
数値演算	設定コピー...	高負荷式			演算式	
波形演算	16-30> <input checked="" type="checkbox"/>					
	W1	<input checked="" type="checkbox"/> $=[(1*U1-2) - (1*U1-1)] + [0]$				
	W2	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W3	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W4	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W5	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W6	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W7	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W8	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W9	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W10	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W11	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W12	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				
	W13	<input type="checkbox"/> $=[(1*U1-1) + (1*U1-1)] + [0]$				

#### 環境温度と巻線温度の温度差を記録

波形演算機能で演算式を設定することで、  
測定した温度の温度差と一緒に記録することができます。

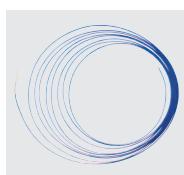
## 使用機器



メモリハイロガー  
LR8450



電圧・温度ユニット  
U8550



K 熱電対  
9810

### LR8450

本体装着式の各種ユニットと接続が可能です。温度だけでなく、  
1ms サンプリングでの電圧測定やひずみ測定もできます。

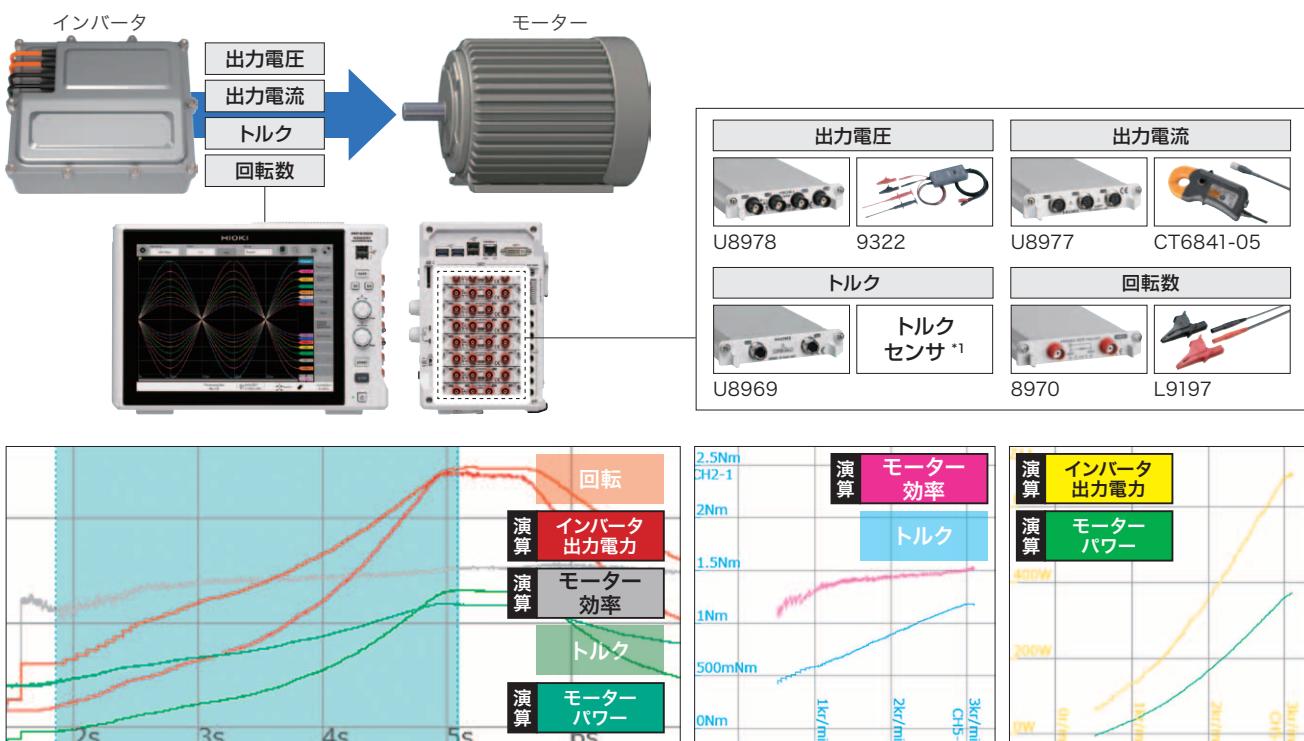
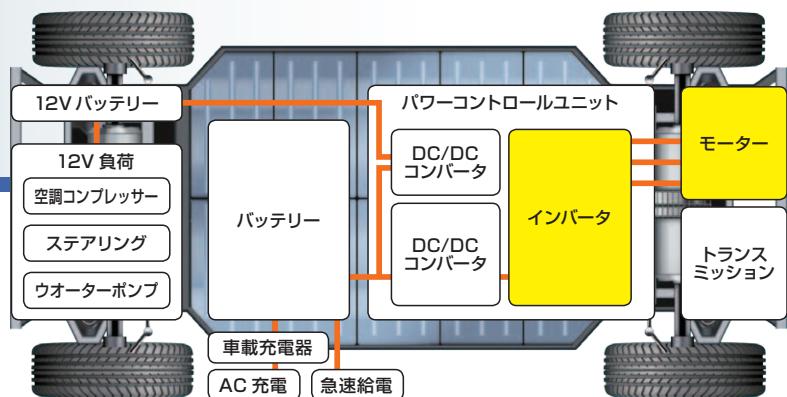
### LR8450-01 (無線 LAN 搭載モデル)

LR8530 ワイヤレス電圧・温度ユニットなどワイヤレスタイプの  
ユニットを使用でき、本体とユニットの間を無線化できます。

## 設計 / 開発

### 動的なモーター特性測定

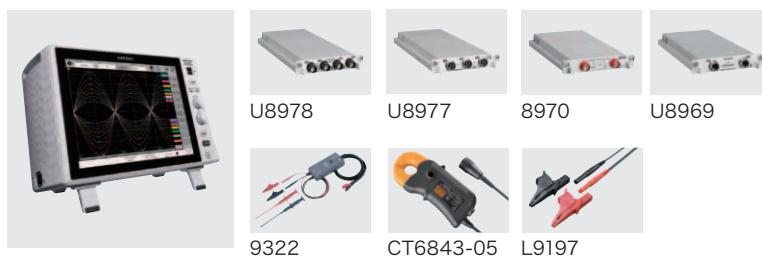
モーター始動から停止までのインバータの出力電圧・電流、トルク、回転数を記録します。波形演算を使い、インバータ出力電力、モーターパワー、モーター効率が算出できます。



### 波形演算でインバータ出力電力・モーターパワー・モーター効率を算出

高速波形演算を使用して、測定後にモーターパワー、モーター効率、インバータ出力電力を求め、X-Y 表示機能を使用して表示します。ユニットからの入力信号だけでなく、波形演算結果に対しても X-Y 表示できるため、幅広い解析を行うことができます。また、モーターの始動から停止までの変動波形に対し、任意の場所を選びながら X-Y 表示できるため、指定箇所での X-Y 解析を実施できます。

## 使用機器



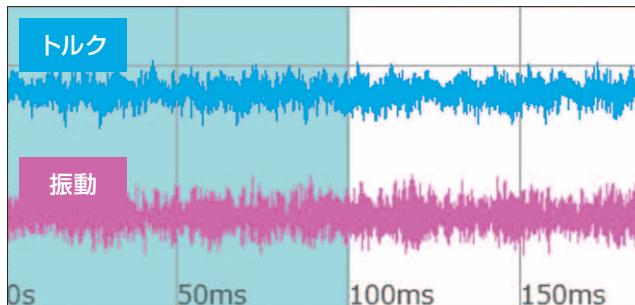
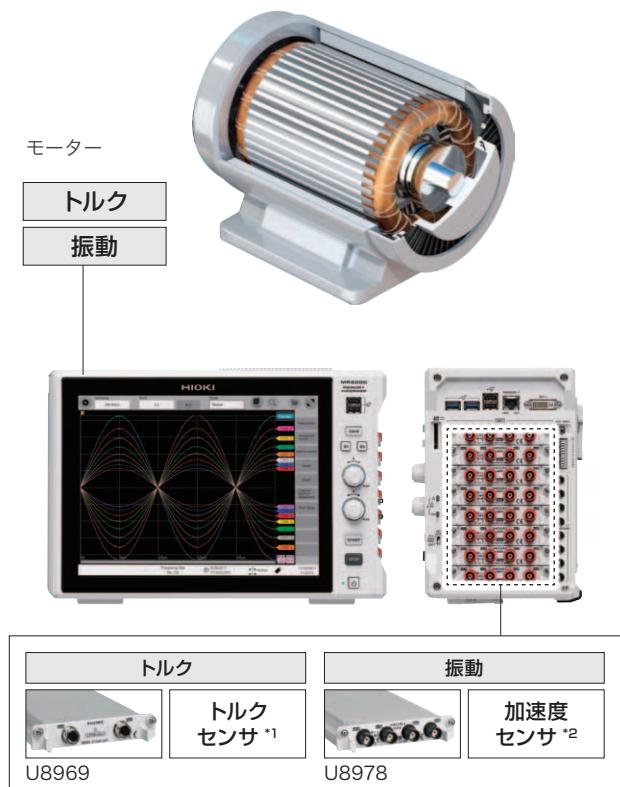
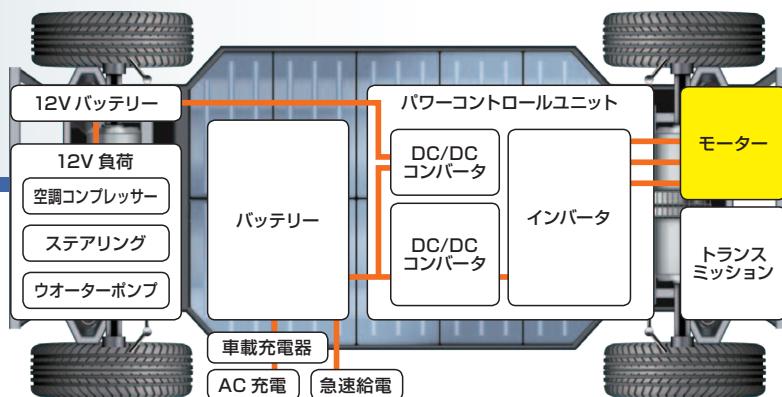
- メモリーハイコーダ MR6000/MR6000-01
- 4ch アナログユニット U8978
- 差動プローブ 9322
- 3ch 電流ユニット U8977
- 電流センサ CT6843-05
- 周波数ユニット 8970
- 接続コード L9197
- ストレインユニット U8969
- トルクセンサ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> トルクセンサ（ひずみゲージ式変換器）  
(センサについてはセンサメーカー様にお問い合わせください。)

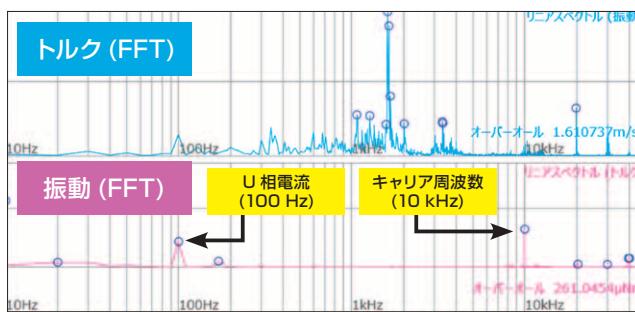
## 設計 / 開発

### モータートルク 振動測定

トルク、振動を測定し、モーター動作中の挙動を解析します。FFT 演算により、周波数解析を行うことで、共振現象など予想していなかった周波数成分を発見できます。



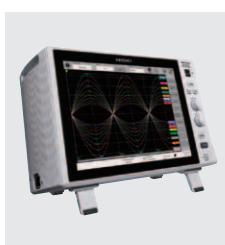
### トルク・振動を記録



### FFT 演算で周波数解析

MR6000 /MR6000-01 の FFT 演算機能により、トルクや振動信号の周波数解析を行います。MR6000/MR6000-01 の FFT 演算は一回の測定で、同時に 8 現象の解析を行うことができます。異なるチャネルに入力された信号をそれぞれ FFT 解析することで、同一時刻に発生したチャネルごとの周波数成分を分析することができます。

### 使用機器



MR6000/MR6000-01



U8969      U8979

- ・メモリーハイコーダ MR6000 /MR6000-01
- ・ストレインユニット U8969
- ・トルクセンサ<sup>1</sup>
- ・チャージユニット U8979
- ・加速度センサ<sup>2</sup>

トルクセンサ（ひずみゲージ式変換器）をストレインユニット U8969 に接続し、トルクを測定します。モーターを取り付けているシャシーに固定された加速度センサをチャージユニット U8979 に接続し、シャシーを伝わる振動を測定します。

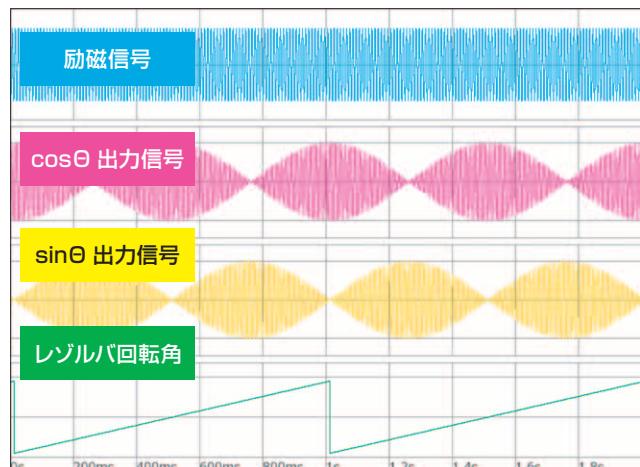
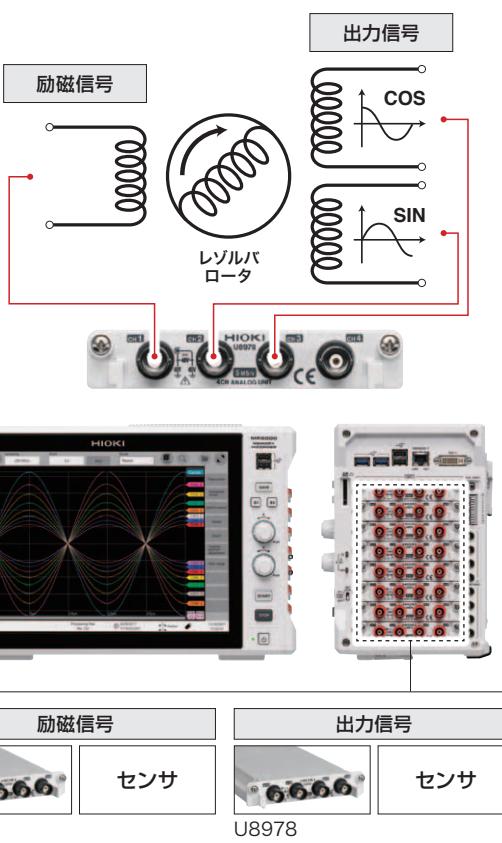
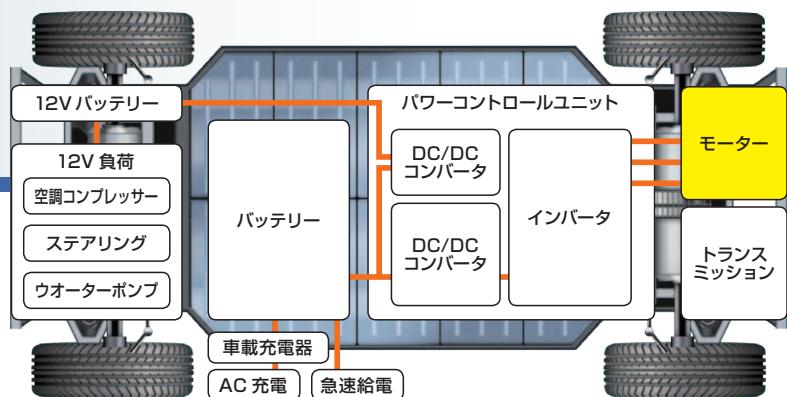
<sup>1</sup>トルクセンサ（ひずみゲージ式変換器）(センサについてはセンサメーカー様にお問い合わせください。)

<sup>2</sup>ブリアンプ内蔵型・電荷出力型 (センサについてはセンサメーカー様にお問い合わせください。)

## 設計 / 開発

### レゾルバ 回転角測定

モーターの正確な角度位置を測定するためのセンサーとして、レゾルバが使用されます。長時間にわたり厳しい条件で動作できることから、産業用モーター、サーボ、電気自動車など、過酷な環境で使用されています。航続距離の伸長が求められるEVにおいては、モーター制御のエネルギー効率向上が必要であり、精密にモーターを制御しなければなりません。

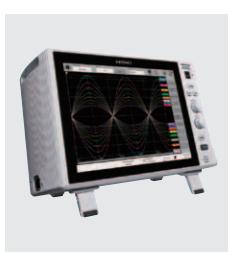


### 波形演算によるレゾルバ回転角の算出

レゾルバの励磁信号および出力信号を、4ch アナログユニット U8978 に入力します。

従来機種であれば2ユニット必要である構成も、1ユニットで実現できるため、この他にも温度や各種制御信号、トルク、電流信号も同時に測定することができます。波形演算機能を使用して、レゾルバ回転角を求めます。レゾルバ回転角とその他信号との関係を解析することでモーター制御シーケンスを調整します。

## 使用機器



- ・メモリーハイコーダ MR6000 /MR6000-01
- ・4ch アナログユニット U8978

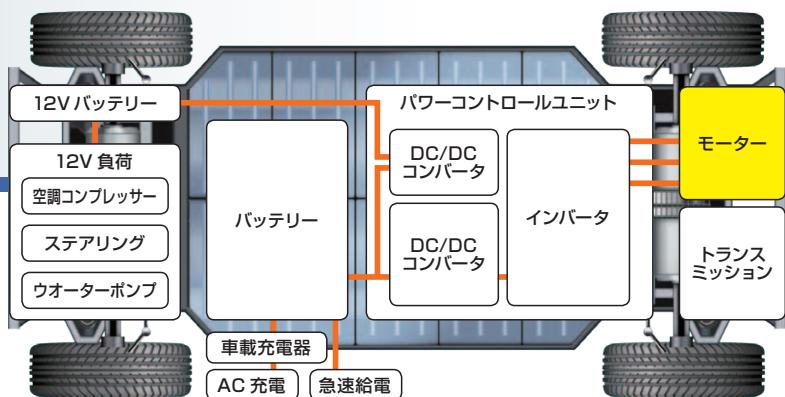
MR6000/MR6000-01

4ch アナログユニット U8978 を用いて、わずか1スロットだけでレゾルバの励磁信号、出力信号 ( $\sin\theta$ 、 $\cos\theta$ ) を測定できます。また、MR6000/MR6000-01 の高速波形演算機能を用いて、回転角を表示させることができます。

## 生産 / 検査

### モーター巻線の レイヤーショート試験

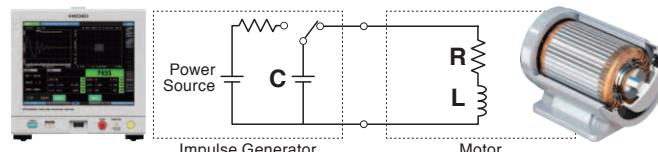
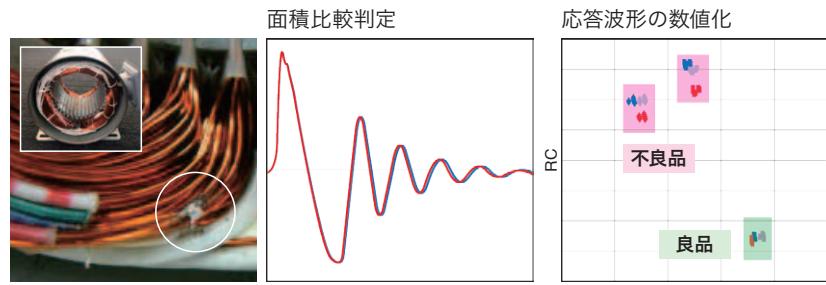
モーター巻線の絶縁故障（レイヤーショート）、劣化を検出します。応答波形を数値化することで、従来よりも高精度に良否判定することができます。



#### 応答波形に現れない 微小な変化をとらえます

応答波形を数値化することにより、従来の面積比較判定 (AREA, DIFF AREA) よりも応答波形に現れない微小な不良を検出することができます。

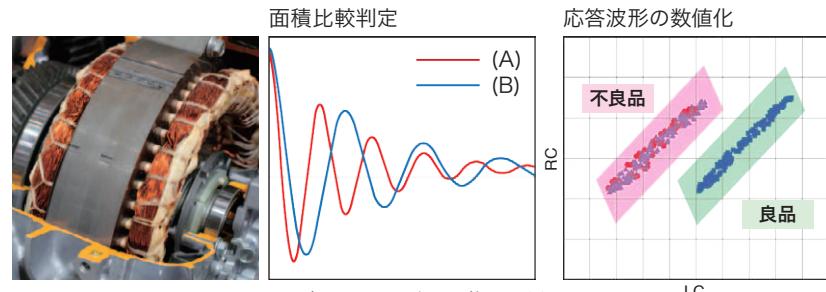
1ターンショートのような微小な不良は、良品の応答波形との差が小さいため、面積比較による判定では困難です。



#### ローターを組付けた状態での 検査も可能になります

ローターの位置による応答波形の変化も数値化することができます。良品エリア、不良品エリアを設定することで良否判定ができます。

従来の面積比較判定ではローターの位置により応答波形が変化してしまうため、モーターの良否判定をすることができません。

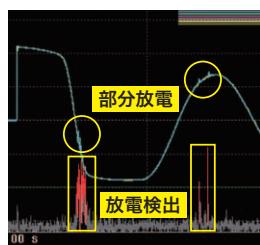


同じ良品でもローターの位置により (A),(B) と応答波形が異なる

## 使用機器



インパルス巻線試験機  
ST4030A



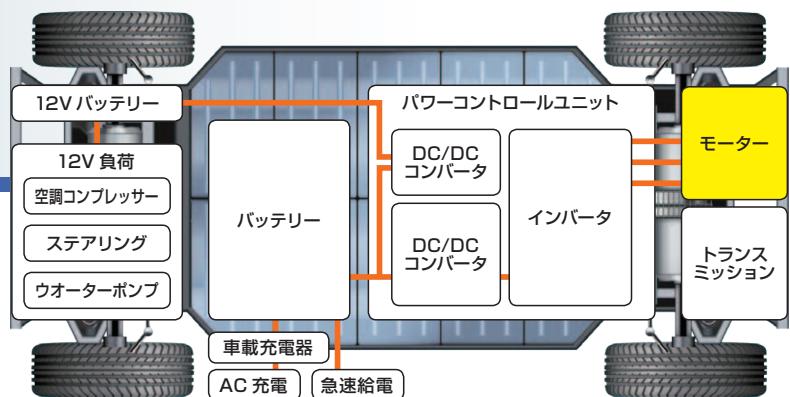
放電検出機能  
ST9000

- ・高精度に波形を検出: 200 MHz, 12 bit
- ・応答波形を数値化 (株式会社トーエネック様特許使用)
- ・ノイズに埋もれた放電を検出 (オプション)

## 生産 / 検査

### モーター巻線のメンテナンス

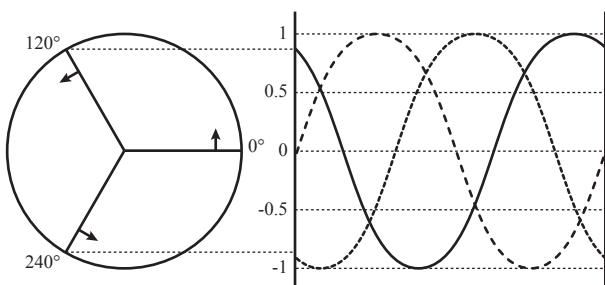
インパルス試験を実施することで、モーター巻線のメンテナンスや傾向管理にも活用できます。



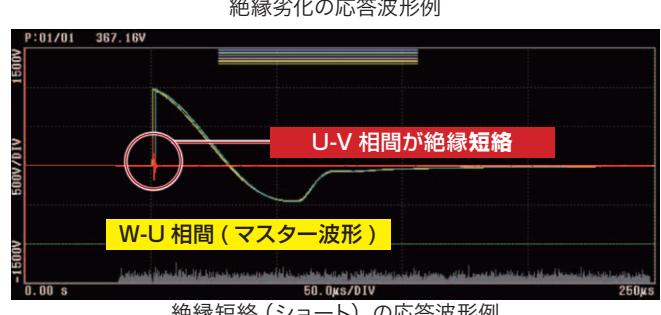
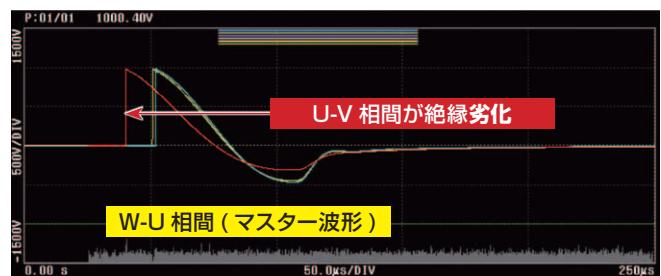
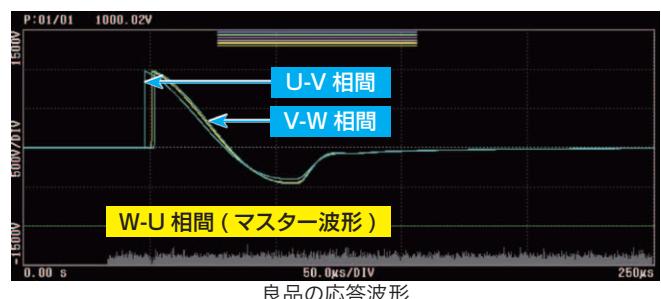
### 良品がなくても 絶縁不良 / 劣化の確認ができます

一般的に正常な3相モーターであれば、各相(U, V, W)のバランスが取れています。そのため、U-V, V-W, W-Uの各相間にインパルス電圧を印加することで得られる応答波形はほぼ同じになります。

1つの相間から得られた応答波形を良品と仮定し、他の相間から得られる応答波形と比較することで絶縁故障 / 劣化の判断ができます。



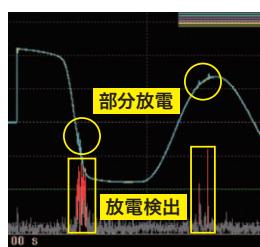
正常な3相モーター  
各相(U, V, W)のバランスが取れている



## 使用機器



インパルス巻線試験機  
ST4030A



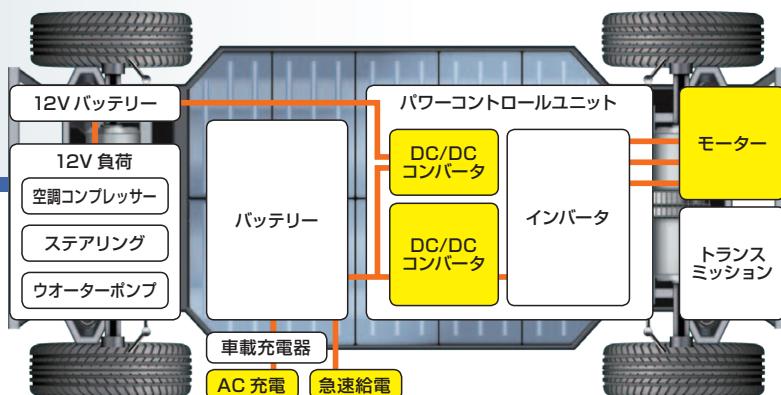
放電検出機能  
ST9000

- ・高精度に波形を検出: 200 MHz, 12 bit
- ・応答波形を数値化 (株式会社トーエニック様特許使用)
- ・ノイズに埋もれた放電を検出 (オプション)

## 生産 / 検査

### モーター・巻線の 絶縁抵抗測定・耐圧試験

絶縁抵抗試験、耐圧試験を行います。  
出荷検査として絶縁状態を検査することで、  
高い安全性を保つ事ができます。



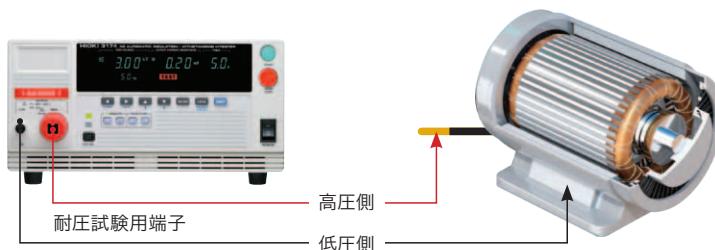
### 製品の出荷検査に 絶縁抵抗・耐圧を測定

絶縁劣化の発生は、感電や漏電のリスクにつながります。製品の安全性を保つために出荷検査時に絶縁状態の検査を行います。

#### 絶縁劣化の発生

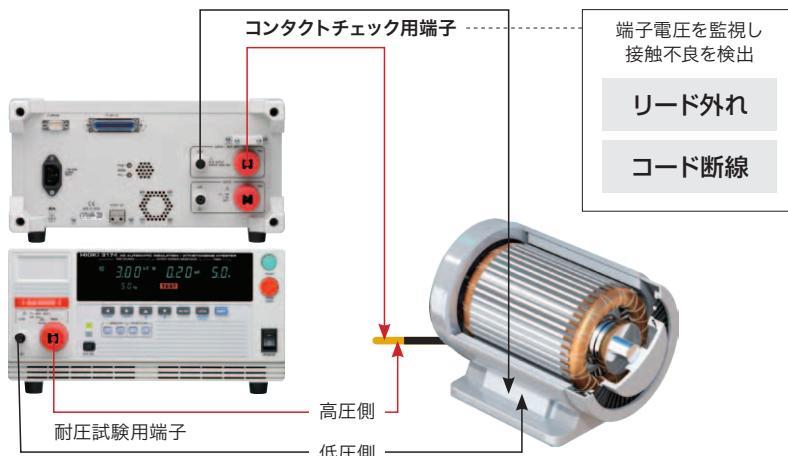
感電のリスク

漏電のリスク



### コンタクトチェックで 確実に検査

プローブの接触不良やケーブル内部断線により、  
検査対象に正しくコンタクトできていない  
場合があります。その場合、不良品であっても  
誤って良品と判定される恐れがあります。  
確実な検査にコンタクトチェックが有効です。



## 使用機器



AC 自動絶縁耐圧試験器  
3174



絶縁抵抗試験器  
ST5520

測定値に影響を与えずに常時コンタクトチェックが可能

#### 3174 AC 自動絶縁耐圧試験器

- AC 耐圧試験 AC 0.2 ~ 5kV/20mA
- 絶縁抵抗試験 DC500 または 1000V/0.5M ~ 2000MΩ

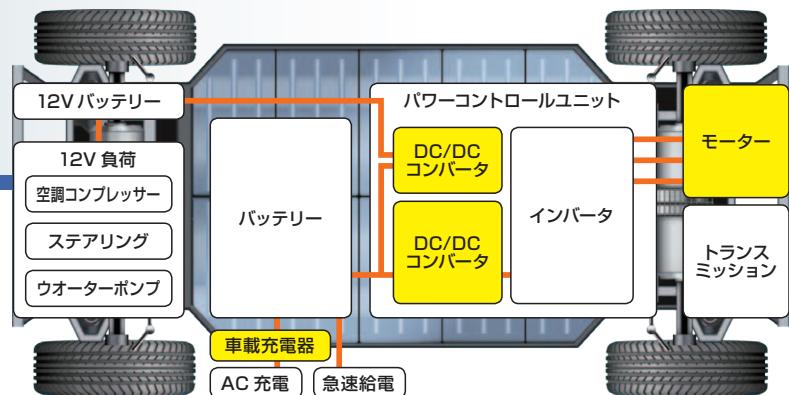
#### ST5520 絶縁抵抗試験器

- DC25 ~ 1000V/0.000M ~ 9990MΩ

## 生産 / 検査

### 巻線抵抗の測定

巻線の抵抗を高精度に測定することができます。巻線の抵抗を測定することで、断線の有無を調べることができます。高精度な抵抗計を使って測定すれば、線材の太さや巻数に誤りが無いか判別することも可能です。



### 抵抗測定で巻線の品質検査

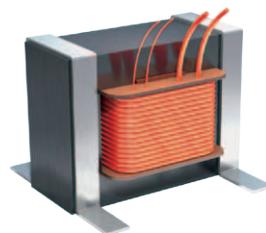
モーターを効率よく動作させるためにはモーターに大きな電流を流さなくてはいけません。大きな電流を流すために巻線は太くなり低抵抗であることが要求されます。

#### 抵抗値で分かること

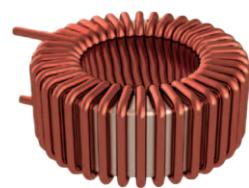
線材の太さ間違い



巻き数間違い



巻線の短絡



モーターの巻線

トランスの巻線

コイルの巻線

### 抵抗測定で要求される性能

抵抗計を使用することで、低抵抗化が進む巻線抵抗を正確に測定することができます。

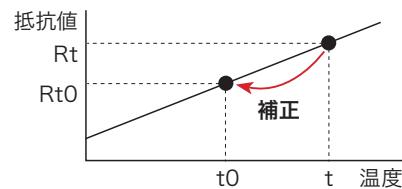
#### 要求性能

低抵抗測定

特に低抵抗化が進む大型巻線では  
10 $\mu\Omega$ 台での管理が必要とされます。

環境温度補正

線材の抵抗値は温度によって変動する為、  
温度補正を行う必要があります。



## 使用機器



抵抗計  
RM3545



マルチブレーカユニット  
Z3003



抵抗計  
RM3548

#### RM3545

- 最小分解能  $0.01\mu\Omega$  の高精度抵抗計
- RM3545-02 はマルチブレーカ内蔵可能  
複数ポイントの抵抗を効率的に測定

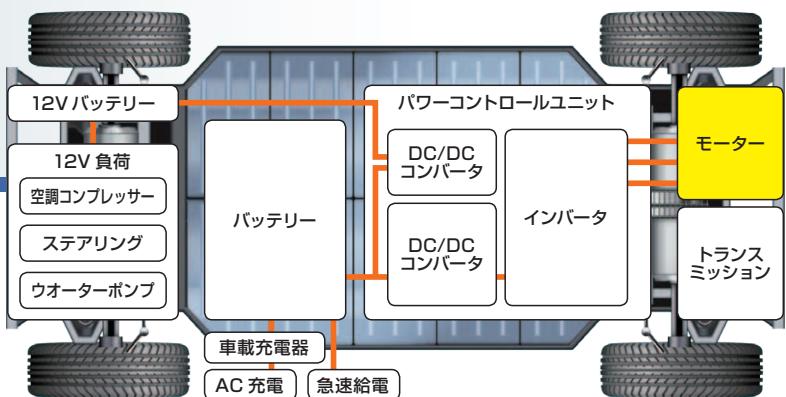
#### RM3548

- モーター、トランスの温度上昇試験に  
便利な温度補償機能とインターバル測定
- 大型モーター、大型トランスの測定に  
適したポータブル形状

## 生産 / 検査

### モーターコイルのインダクタンス測定

巻線のインダクタンスを測定します。  
相間のバランス、モーターの動作性能、  
回転ムラ、駆動ドライバとモーターの  
整合性等を確認できます。



### ■ 巻線のインダクタンスでモーター性能を検査

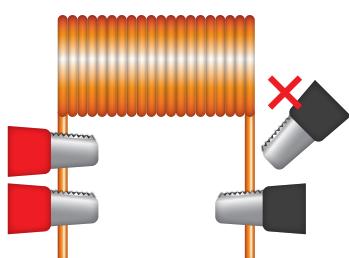
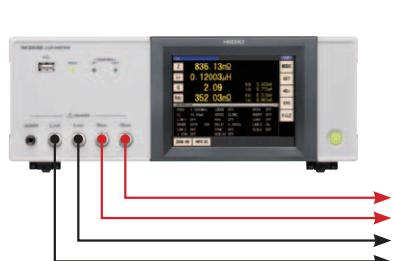
インダクタンスで分かること

相間のバランス

モーターの動作性能

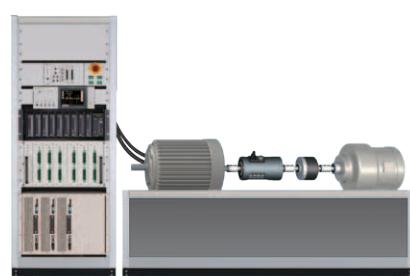
回転ムラ

駆動ドライバとモーターの整合



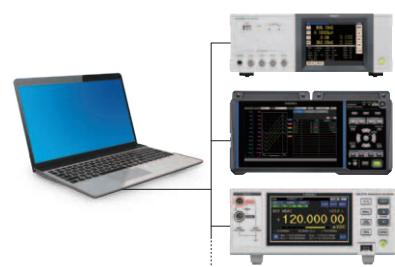
コンタクトチェック

誤測定を防止し確実に検査



ケーブル長 4m

測定ケーブル最長 4m まで確度保証  
モーター向け大型装置に対応



Labview ドライバ対応

他計測器と連携

## 使用機器



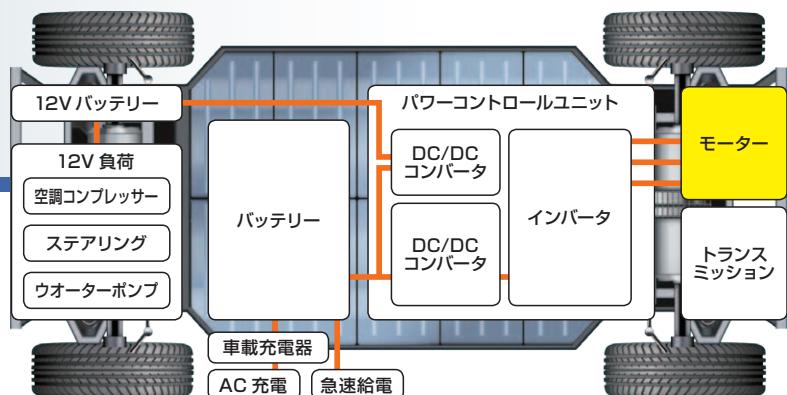
- ・ 4Hz から 8MHz の広い周波数範囲で測定
- ・ 判定機能で巻線インダクタンス値を管理

LCR メータ  
IM3536

## 生産 / 検査

### モーターの溶接抵抗測定

平角線ステータの溶接品質（溶接欠陥）を分解能が高く、測定精度の高い直流抵抗計により検査します。



### 平角線ステータとは

ステータコアに折り曲げ加工した平角銅線を組付けて、同じ相の平角線同士をロボットによる溶接を行い、接合します。接合の状態があまいと、溶け込み不足、クラック、ピンホールができる、潜在的な不良が発生します。

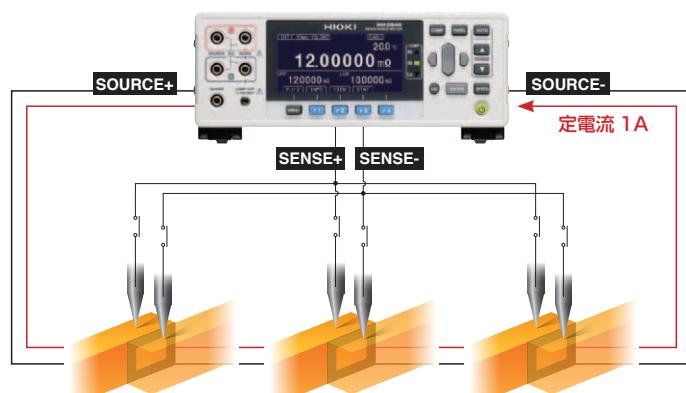


### 直流抵抗測定による溶接品質検査

平角線接合部にプローブを2本立て、同相に電流を流せる治具を用意します。SOUSE端子に定電流1AをSOURCE端子から与え、SENSE端子で、各接合部の電圧をリレー回路で切り替えて測定します。

**抵抗計 RM3545 は 10mΩ レンジで  
10nΩ 分解能で測定できるので、  
接合の状態を直流抵抗値で判定できます。**

※温度センサ Z2001 を使用し  
RM3545 の温度補正機能を利用してください。



### 使用機器



抵抗計  
RM3545



温度センサ  
Z2001

世界トップクラスの確度と桁数を搭載

- ・測定基本確度 0.006%、
- ・表示桁数 6 桁半
- 超微小抵抗を正確に測ることにより、  
平角線の接合の状態を数値化でき、現場検査に役立ちます。

# 日置電機株式会社

本 社 〒386-1192 長野県上田市小泉81

製品に関するお問い合わせはこちら

本社 カスタマーサポート

 **0120-72-0560**

(9:00～12:00, 13:00～17:00, 土・日・祝日を除く)

 0268-28-0560  info@hioki.co.jp

詳しい情報はWEBで検索 [\[HIOKI\]](#) 

お問い合わせは ...