

M91FastHall™

ホール効果測定コントローラ



# M91 FastHall™ ホール効果測定コントローラ

## ▶ホール測定への新しいアプローチ

M91 型 FastHall™ホール効果測定コントローラは、より高速、高精度、高利便性を提供する画期的なオールインワンのホール電圧測定器です。

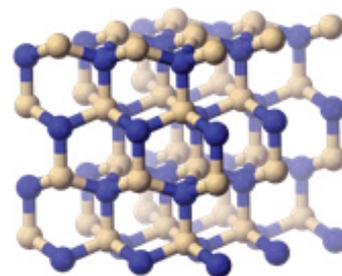
米国 Lake Shore 社が特許取得済みの FastHall™測定技術は、ホール電圧測定時に印加される磁場の極性を反転せずにホール効果測定を可能にしました。

これにより、特に高磁場の超伝導磁石を使用する場合は、従来と比較してより高速、高感度な測定を実現できます。

米国特許番号：9797965、10073151

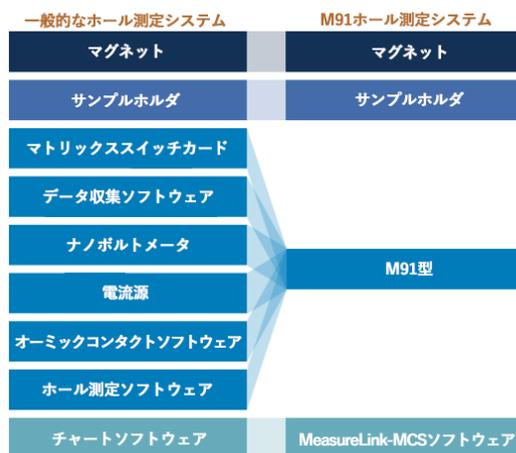
## ▶特長

- 抵抗測定レンジ：10m Ω -10M Ω  
\* 高抵抗オプション最大 200G Ω まで対応
- ホール移動度測定範囲：0.001 cm<sup>2</sup> / V · s 以上
- シートキャリア濃度測定範囲：10<sup>17</sup>cm<sup>-2</sup> 以下
- van der Pauw および Hall bar サンプル対応
- FastHall™技術により van der Pauw サンプルの場合は磁場反転が不要で従来比 100 倍の高速測定を実現
- オートカレント / レンジにより自動測定が可能
- 全てのパラメータ制御を手動操作でも可能
- 全ての測定結果と算出されるパラメータの値を出力
- MeasureLINK-MCS と組合せて電磁石、温調制御などが可能



## ▶オールインワンパッケージ

従来のホール効果測定システム（HMS）は、サンプルの抵抗率とホール電圧を測定するための電流源、電圧測定器、スイッチユニットなどを組み合わせた測定部と磁石部からなります。そのため、研究者はキャリアタイプ、キャリア濃度、移動度、およびホール係数は演算をしなければなりません。しかし、M91 型 FastHall™ホール測定コントローラは、必要なすべての測定機能を一つに統合し、自動化しました。これにより、測定プロセスを最適化し、目的のパラメータを直接算出するためのホール効果測定を、より簡単に実現できます。



## ▶短時間で高精度測定を実現

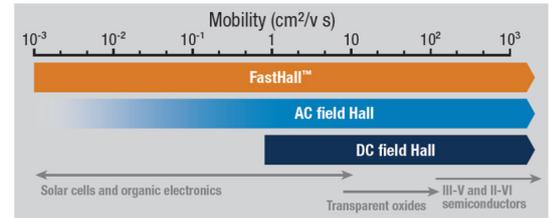
FastHall™測定技術では、磁場反転が不要なため、測定精度を低下させることなく時間を大幅に短縮可能です。実際、測定時間が短いと、自己発熱や周囲温度の変化によるサンプルパラメータがドリフトする可能性が少なくなります。また、磁場反転をしないということは磁場のアライメント誤差もなく、測定結果の精度をより向上させます。M91 型 FastHall™ホール効果測定コントローラでは、どんな種類の磁石も使用できるため、高磁場な超伝導磁石を有する研究者にとっては特に有効と考えられます。



M91 型 vs 従来の Hall 測定の測定時間比較 (サンプル: IGZO)

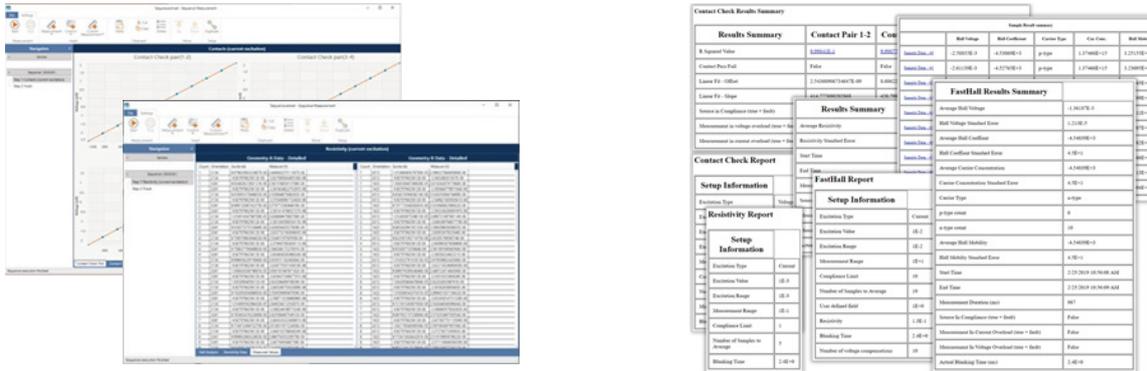
## ▶ 高速 - 低移動度な材料に最適

ホール効果測定は、新しい電子材料およびデバイスの輸送特性を評価するためにとても重要です。一般的に従来の DC 磁場法は高い移動度の材料や測定が容易で信頼性のある材料に有効です。また、これらは高精度な電流源、電圧計、スイッチおよび磁石を必要としません。しかしながら、材料の移動度が低下するにつれて、測定の難しさは増し、測定の確度は低下します。例えば、この事象は太陽光発電、熱電素子、有機物などの有望な新規半導体材料によく見受けられます。今までは、これら低移動度材料の測定には高精度なロックインアンプで積分時間を長くし、小さなホール起電圧を検出する AC ホール測定法が用いられてきました。しかし、積分時間を長くすると、サーマルドリフトの影響から新たな誤差が生じる可能性があり、さらに測定結果が出るまでに時間がかかります。中にはとても低い移動度の材料の場合には、何時間も測定する場合があります。FastHall™測定技術は数秒で、しかも正確に低移動度材料の測定を可能にするため、これら両方の問題を解決します。

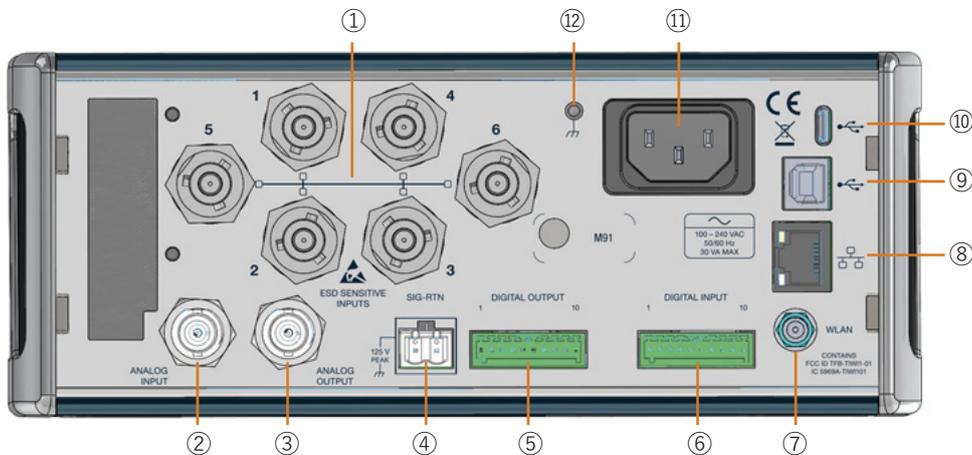


## ▶ MeasureLINK-MCS ソフトウェア

M91 型には Lake Shore 社製 MeasureLINK-MCS アプリケーションソフトウェアが付属されています。本ソフトウェアにはプログラミングなしでホール効果測定が可能な測定項目が標準で用意されています。また、より高度な測定のご要求にも応えられるように測定シーケンスをカスタマイズ可能で、磁場の制御、サンプル温度コントロールおよび他の機器の制御も可能にします。レポート機能も備わっています。



## リアパネル



- ① Triaxial コネクタ
- ② アナログ入力
- ③ アナログ出力
- ④ Signal RTN
- ⑤ デジタル出力
- ⑥ デジタル入力
- ⑦ WLAN アンテナ
- ⑧ RJ-45 イーサネット
- ⑨ USB 通信用
- ⑩ USB ファームウェアアップデート用
- ⑪ 電源部
- ⑫ シャシー GND

## ▶仕様

### ホール測定

FastHall™ 法 (磁場反転無し) — van der Pauw サンプル  
DC 法 — ホールバー および van der Pauw サンプル

### 得られるパラメータ

比抵抗、ホール係数、ホール移動度、キャリア濃度

### シート抵抗

最小レンジ: 10 mΩ

最大レンジ: 10 MΩ

\* M9-ADD-HR 高抵抗オプション: ~ 200 GΩ

### ホール移動度測定レンジ

0.001 to 10<sup>6</sup> cm<sup>2</sup>/V·S

### 設定限界値

電流出力: コンプライアンス電圧

電圧出力: コンプライアンス電流

正の出力: 設定値の ± 5% (@ フルスケールの 10% 未満)

負の出力: 定値の ± 5% (@ フルスケールの 10% 未満)

電流リミット設定分解能: 電流レンジ (自動設定される) のフルスケールの 0.1%

電圧リミット設定分解能: 10 mV

### アナログ入力

アナログ入力精度: 読み値の ± 300mV

アナログ入力レンジ: ± 11V

許容アナログ入力レンジ: ± 15V

コンプライアンス電圧 (typical): ≤ 10V

最大電流値 (typical): ≤ 0.1A

### アナログ出力

アナログ出力精度: 設定値の ± 300 mV

アナログ出力レンジ: ± 11 V, ± 15 V max @ オーバロード

### デジタル入力

独立した ch 数: 4

入力抵抗: 光絶縁

最大の小さなレベル入力: 1V

最小の大きなレベルの入力: 4V

推奨入力レンジ: -5V ~ 32V

### デジタル出力

独立した ch 数: 4

リレーの種類: 半導体リレー

リレー最大電流: 1.5 A

リレー最大電圧: 32 V

### リアパネルコネクタ

サンプル用コネクタ: 3-lug triaxial コネクタ 6 個

アナログ入力 / 出力 BNC

デジタル入力 / 出力 10 ピンコネクタ

SIG-RTN (シグナルリターン) 2 ピンコネクタ

### フロントパネル

ディスプレイ: 5 インチタッチパネル,  
TFT-LCD WVGA (800 × 480) の  
LED バックライトタイプ

### インターフェイス

#### USB ホスト

タイプ USB 3.0

機能 ファームウェアアップデート用、フラッシュドライブ

位置 リアパネル

コネクタ USB Type-C™

#### USB デバイス

タイプ USB 2.0

機能 標準 RS-232 シリアルポートのエミュレーション

プロトコル SCPI

ボーレート 921,600

コネクタ USB Type-B

ソフトウェアサポート LabVIEW™ and IVI.NET drivers  
(お問い合わせください)

#### Ethernet

機能 TCP/IP コマンドコントロール、モバイル app

アプリケーションコントロール SCPI

コネクタ RJ-45

スピード 1 Gb/s

ソフトウェアサポート LabVIEW™ and IVI.NET drivers  
(お問い合わせください)

#### Wi-Fi

タイプ 802.11 b/g/n

機能 TCP/IP コマンドコントロール、モバイル app

アプリケーションコントロール SCPI

アンテナ 外部、同軸タイプ

ソフトウェアサポート LabVIEW™ and IVI.NET drivers  
(お問い合わせください)

#### WPAN

機能 ショートレンジ、ワイヤレスインターコネクション

アンテナ 外部、同軸タイプ

#### 一般

周囲温度: 23°C ± 5°Cにて仕様付け、  
10°C~ 35°Cにて仕様値を減ずる

湿度 70% 未満で結露無し  
動作限界: 10 mT DC, 1 mT RMS 未満  
保証: 2 mT RMS 未満

電源: 100 V ~ 240 V ユニバーサル入力

50 ~ 60 Hz、30 VA

大きさ: 216 mm W × 87 mm H × 369 mm D  
(8.5 in × 3.4 in × 14.5 in)  
ハーフラックサイズ

重量: 3.2 kg

規格: CE mark

FCC ID (wireless radio): TFB-TIWI1-01

ウォームアップ時間: 30 分

消費電力: 最大 35W

## 測定性能

		電圧測定レンジ					
		1 mV	10mV	100 mV	1 V	10V	
電 流 印 加 レ ン ジ	1 $\mu$ A	抵抗レンジ	1 k $\Omega$	10k $\Omega$	100 k $\Omega$	1 M $\Omega$	10M $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.2%	0.06%	0.06%	**	**
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	0.001%	**	**
	10 $\mu$ A	抵抗レンジ	100 $\Omega$	1k $\Omega$	10 k $\Omega$	100 k $\Omega$	1M $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.2%	0.06%	0.06%	0.06%	**
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	**
	100 $\mu$ A	抵抗レンジ	10 $\Omega$	100 $\Omega$	1 k $\Omega$	10 k $\Omega$	100 k $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.2%	0.2%	0.06%	0.06%	0.06%
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.5%
	1 mA	抵抗レンジ	1 $\Omega$	10 $\Omega$	100 $\Omega$	1 k $\Omega$	10k $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.2%	0.2%	0.2%	0.06%	0.06%
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.5%
	10 mA	抵抗レンジ	0.1 $\Omega$	1 $\Omega$	10 $\Omega$	100 $\Omega$	1k $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.5%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.5%
	100 mA	抵抗レンジ	0.01 $\Omega$	0.1 $\Omega$	1 $\Omega$	10 $\Omega$	100 $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.5%	0.2%	0.2%	0.2%	**
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	**

\*\* レンジ使用可能ですが、仕様付けはされていません。

<sup>1</sup> 校正温度は校正の周囲温度です。通常は 23 $^{\circ}$ C。すべての精度は電流反転測定に基づいています。

## 高抵抗オプション

		電流測定レンジ				
		10 nA	100 $\mu$ A	10 mA	100 mA	
電 圧 印 加 レ ン ジ	10 mV	抵抗レンジ	1 M $\Omega$	1k $\Omega$	1 $\Omega$	0.1 $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.5%	**	**	**
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	**	**	**
	100 mV	抵抗レンジ	10 M $\Omega$	10k $\Omega$	10 $\Omega$	1 $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.5%	**	**	**
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	**	**	**
	1 V	抵抗レンジ	100 M $\Omega$	100 k $\Omega$	100 $\Omega$	10 $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.8%	0.5%	**	**
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	**	**
	10 V	抵抗レンジ	1 G $\Omega$	1M $\Omega$	1 k $\Omega$	100 $\Omega$
		精度 (1year) 校正温度 $^{\circ}$ C $\pm$ 5 $^{\circ}$ C $\pm$ %読み値 <sup>1</sup>	0.5%	0.5%	**	**
		温度係数/ $^{\circ}$ C 10 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C 湿度65%以下で結露無し $\pm$ %読み値 (typical)	0.001%	0.001%	**	**

\*\* レンジ使用可能ですが、仕様付けはされていません。

<sup>1</sup> 校正温度は校正の周囲温度です。通常は 23 $^{\circ}$ C。すべての精度は電流反転測定に基づいています。

電流測定レンジ	DC精度 (1 year) 校正温度 °C ± 5°C ± % 読み値
10 mA	0.3%
100 mA	0.3%

<sup>1</sup> 校正温度は校正の周囲温度です。通常は 23°C。  
全ての精度は電流反転測定に基づいています。

## 電圧および電流印加仕様

電圧印加レンジ	設定分解能 (0.001%)	温度係数/°C 10°C~35°C ± (設定値の%+オフセット) typical
10 nV	100 nV	0.06% + 4 μV
100 mV	1 μV	0.005% + 4 μV
1 V	10 μV	0.0004% + 20 μV
10 V	100 μV	0.0004% + 200 μV
電流印加レンジ	設定分解能 (0.001%)	温度係数/°C 10°C~35°C ± (設定値の%+オフセット) typical
1 μA	10 pA	0.002% + 9 pA
10 μA	100 pA	0.0004% + 20 pA
100 μA	1 nA	0.0004% + 90 pA
1 mA	10 nA	0.0004% + 40 pA
10 mA	100 nA	0.0004% + 4 nA
100 mA	1 μA	0.0004% + 40 nA

## 電圧および電流測定仕様

電圧印加レンジ	温度係数/°C 10°C~35°C ± (設定値の%+オフセット) typical
1 mV	50 nV
10 nV	50 nV
100 mV	200 nV
1 V	2 μV
10 V	20 μV
電流印加レンジ	温度係数/°C 10°C~35°C ± (設定値の%+オフセット) typical
10 nA	2 pA
10 μA	7 pA
10 mA	7 nA
100 mA	70 nA

## オーダーインフォメーション

<b>M91</b>	M91 型 FastHall™ ホール測定コントローラ (M91-ACC-KIT 付属)
<b>M91-ACC-KIT</b>	M91 アクセサリキット： USB-A から USB-C アダプタ、 USB-A オスから USB-B オスケーブル、 デジタル I/O 用ターミナルコネクタ、 シャーシ GND 用ターミナルコネクタ、 電源ケーブル、ワイヤレスアンテナ、 クイックスタートガイド
<b>M9-ADD-HR</b>	M91 型高抵抗オプション (~200GΩ)
<b>GPIO-LAN-CONVERT</b>	GPIO から LAN へのコンバータ。 GPIO 通信と LAN 機器の制御を 可能にします。GPIO データ転送 速度は保証されておらず、LAN 転送速度によって制限されます。 3m (10ft) triaxial ケーブル
<b>112-519</b>	BNC - triaxial アダプタ
<b>P12379</b>	フルラックマウントキット
<b>RMX-FULL</b>	フルラックマウントキット
<b>RMX-HALF</b>	ハーフラックマウントキット

# FastHall™測定の原理

## ▶印加磁場の反転が不要に

ホール測定を行う際、実際に測定される電圧信号には、ホール電圧のほかに、「不平衡電圧」と呼ばれる、サンプルの抵抗分布の偏りに起因するオフセット信号が含まれます。このオフセット信号は印加磁場に依存しないため、従来のホール測定においては、印加する磁場を反転して測定を2度行い、その差分を取ることによってこれらを除去してまいりました。しかし、印加磁場の反転は手間や時間がかかることに加え、反転時に印加磁場の大きさを厳密に同じにすることが難しいなどの問題から、素早く正確な測定を行うことが困難でした。しかしながら、M91型が採用したFastHall™測定技術は、電気回路と磁界に関する「相反定理」を利用し、従来の印加磁界を反転する代わりに測定端子の切り替えを行うことで、容易にオフセット信号を除去することが可能となり、より素早く、より正確なホール測定を実現しました。

## ▶相反定理

外部磁場が無い場合、サンプルが線形・受動素子であり、印加電流が同じであれば、電流印加端子と電圧測定端子を入れ替えても、得られる測定電圧は同じになります。これを相反定理といいます。(図1)

一方で、外部磁場が存在する場合には、電流・電圧端子の入れ替えとともに、印加磁場の極性を反転することで、得られる測定電圧が同じになります。(図2)

このことから、図3のように、磁場反転して測定する代わりに、電流・電圧端子を切り替えて測定を行っても、同じ結果が得られることがわかります。FastHall™測定では、一定の印加磁場のもとで、電流印加端子と電圧測定端子を入れ替えて測定し、得られた結果の差分をとることで、不平衡電圧の除去を行います。磁場の反転が不要となるため、短時間で正確な測定を行うことができます。



図1 相反定理

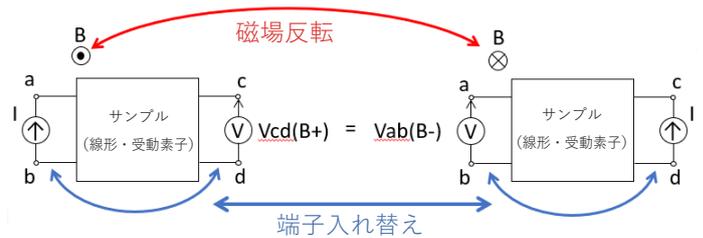


図2 外部磁場を考慮した相反定理

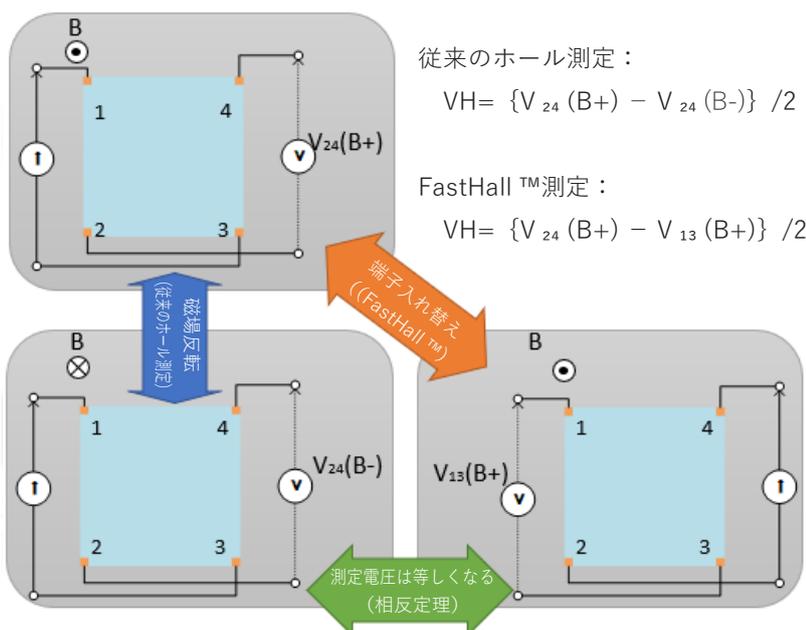


図3 端子入れ替えと磁場反転

# M91型 FastHall™ vs ResiTest8400型

同一サンプルを M91 型と ResiTest8400 型にて測定したデータ（測定温度：室温 および 130K）を下記に記します。  
比抵抗 / ホール測定において、M91 型は ResiTest8400 型と同等の測定精度であり、かつ磁場反転を必要としない FastHall™測定技術は、ResiTest8400 型と比較して短時間で測定できました。

	測定温度:室温 (印加電流:100μA, 磁場:0.5T)			測定温度:130K (印加電流:1μA, 磁場:0.5T)		
	M91型 FastHall	8400DC型	8400AC型	M91型 FastHall	8400DC型	8400AC型
シート抵抗 [Ω/□]	9.59E+02	9.61E+02	9.62E+02	1.94E+05	1.95E+05	1.94E+05
比抵抗 [Ω]	7.23E-01	7.25E-01	7.26E-01	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02
キャリアタイプ	P	P	P	P	P	P
ホール移動度 [cm <sup>2</sup> /V·s]	6.57E+01	6.52E+01	6.50E+01	3.50E+02	3.51E+02	3.50E+02
キャリア濃度 [1/cm <sup>2</sup> ]	1.31E+17	1.39E+17	1.32E+17	1.22E+14	1.21E+14	1.21E+14
シートキャリア濃度 [1/cm]	9.90E+13	9.96E+13	9.97E+13	9.21E+10	9.14E+10	9.17E+10
測定時間 [秒]						
比抵抗測定時間	<b>4秒</b>	126秒	126秒	<b>10秒</b>	126秒	126秒
ホール測定時間	<b>3秒</b>	164秒	446秒 (磁場周波数:250mHz)	<b>6秒</b>	167秒	445秒 (磁場周波数:250mHz)

\* M91 型（高抵抗オプション 無）にて測定

（大阪電気通信大学 松浦様 サンプルご提供）

## M91-RTMG05型：比抵抗/ホール測定システム

M91-RTMG05 型は、オールインワンの M91 型と永久磁石、室温試料ホルダで構成される非常にコンパクトな比抵抗 / ホール測定システムです。

### 【試料ホルダー部】

サンプルサイズ：  
一辺が 5mm ~ 10mm の正方形、厚みは 2mm 以下

4本の爪電極（材質：リン青銅上に金メッキ）を装備しており、四隅に電極を取付可能な Van der Pauw 型です。  
本爪電極にてオーミック接触がとれない場合は、あらかじめオーミック接触となる電極材料を試料表面に形成（蒸着）してください。

### 【永久磁石部】

- ・磁場強度：0.5T 以上
- ・磁場均一度：± 1% 以内@□ 10mm

\* 永久磁石ユニット部 寸法  
(160 mm W × 160 mm H × 210 mm D、突起部含まず；11kg)



## 株式会社 東陽テクニカ 理化学計測部

〒103-8284 東京都中央区八重洲 1-1-6

TEL : 03-3245-1103 (直通) FAX : 03-3246-0645 Email : keisoku@toyo.co.jp オンラインストア : <https://www.material-store.toyo.co.jp>

[www.toyo.co.jp/material/](http://www.toyo.co.jp/material/)

※ 本広告に記載されている内容は断りなく変更される場合があります。

大阪支店 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 1-6-1 (新大阪ブリックビル)

TEL : 06-6399-9771 FAX : 06-6399-9781

名古屋営業所 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄 2-3-1 (名古屋広小路ビルディング)

TEL : 052-253-6271 FAX : 052-253-6448

宇都宮営業所 〒321-0953 栃木県宇都宮市東宿郷 2-4-3 (宇都宮大塚ビル)

TEL : 028-678-9117 FAX : 028-638-5380

TI センター 〒103-0021 東京都中央区日本橋本石町 1-1-2

TEL : 03-3279-0771 FAX : 03-3246-0645