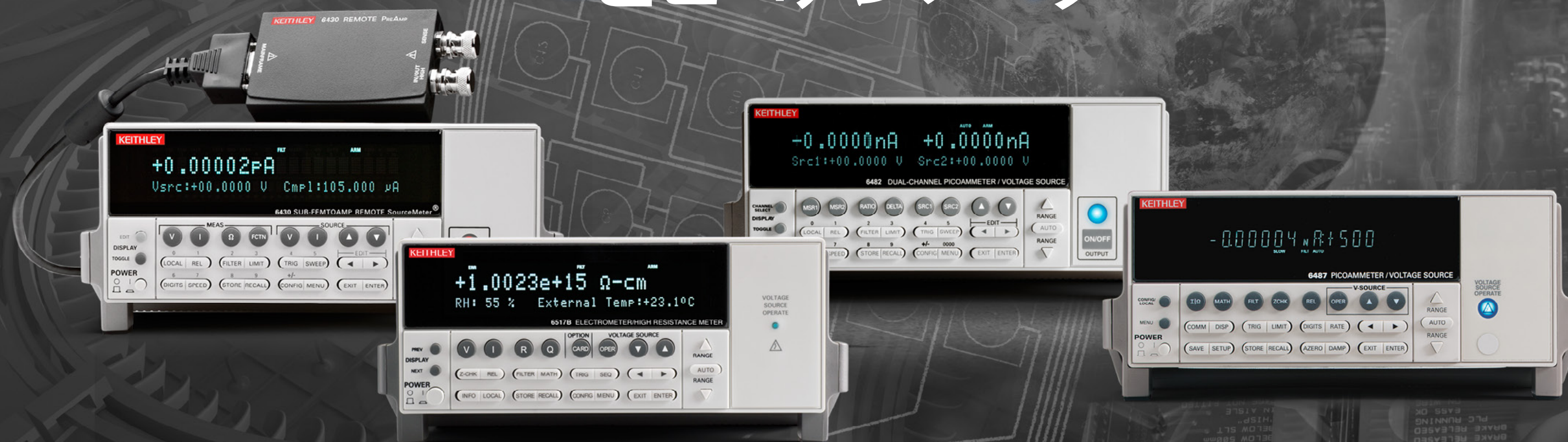


A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE

KEITHLEY
A Tektronix Company

微小電流測定用エレクトロメータ とピコアンメータ



DMMでは測定不能なDC電流測定

微小電流測定の実用

■ 材料の高抵抗値測定

- 6517B型エレクトロメータおよび8009型表面/体積抵抗率測定治具を使用した高電圧源による高電気抵抗材料の測定および微小電流測定

■ コンデンサのリーク測定

- 6517Bエレクトロメータを使用した高電圧源によるコンデンサのリーク測定およびリーク電流測定

■ 簡略化された絶縁抵抗値測定

- 6517B型エレクトロメータあるいはモデル6487ピコアンメータを使用した高電圧源による絶縁抵抗値測定および微小電流測定

■ 破壊電圧および抵抗値の試験

- 6487型ピコアンメータを使用した電圧源による装置電源供給および破壊電圧および抵抗値の測定そして低電流測定

■ 簡略化された2チャンネル電圧印加測定

- 6482型2チャンネル・ピコアンメータを使用した、イオン・ビームおよび光学系のアライメントとモニタリング、複数デバイスの試験、そしてマルチピン装置の試験

エレクトロメータとは？

DMM（デジタル・マルチメータ）と同様に、ケースレーのエレクトロメータは、電荷や電流、電圧、電気抵抗を測定する計器です。ただし、エレクトロメータは通常のDMMの機能を超えた測定が可能あり、電荷測定精度は10fC、電流測定精度は100aA、電気抵抗値は最大 200T Ω の測定能力があります。

エレクトロメータは、超高感度あるいは多様な高感度電子測定が必要な場合に使用されます。

ピコアンメータとは？

微小直流電流の測定では、通常のDMM（デジタル・マルチメータ）の性能以上が要求されることがしばしばです。一般的にDMMには100nAより小さい電流の測定に必要な感度がありません。電流がより高い場合でもDMMの入力電圧降下が数百ミリボルトあると、正確な測定が不可能になります。

ピコアンメータは電圧降下が小さいため、DMMよりも理想に近い電流計として機能しますので、非常に低い電源電圧をもつ回路においても高い精度で電流を測定することができます。

ケースレーのピコアンメータは、DMM並の価格と使い勝手の良さ、そしてエレクトロメータに近い感度を同時に備えています。



価格のお問合せ(オンライン)

ケースレーのエレクトロメータで材料の高抵抗測定を簡略化

高抵抗測定

抵抗値はしばしば、DMMで測定されますが、この場合約200MΩが測定可能最大値です。しかしながら、Gオーム以上の抵抗値を正確に測定する必要がある場合があります。後者には、数Mオーム、Gオーム抵抗器の特性測定、絶縁体の抵抗率決定、そしてプリント回路板の絶縁抵抗値測定などがあります。これらは、微小電流と高インピーダンス電圧の両方を測定できるエレクトロメータを使用して測定されます。

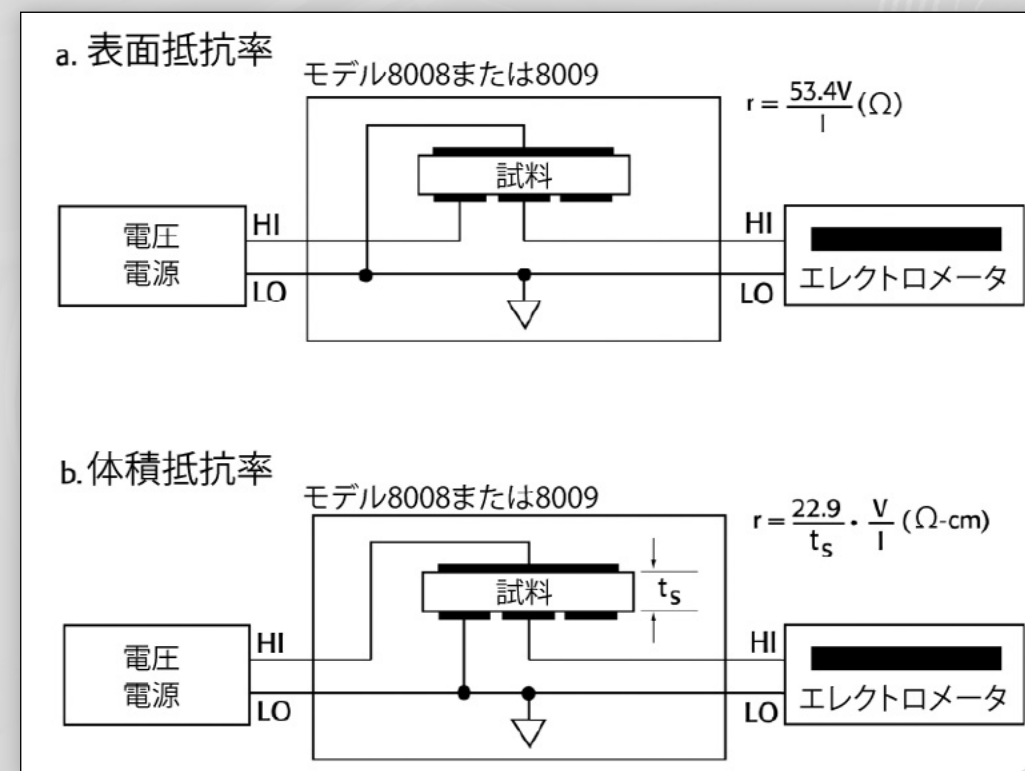


図1抵抗率測定

通常の高抵抗測定

■ **絶縁抵抗** - 絶縁抵抗(IR)とは、2つの電極間の直流印加電圧と電極間の電流値合計との比です。絶縁抵抗測定の例としては、プリント基板のトレース間のリーク電流測定あるいはマルチ導体ケーブルでの導体間の抵抗値の測定などがあります。

■ **体積抵抗率測定** - 体積抵抗率とは絶縁材料の単位体積当りの電気抵抗値であり、Ω-cm単位で表わされます。^{注1}

■ **表面抵抗率測定** - 表面抵抗率とは、絶縁材料表面の2つの電極間の電気抵抗値のことであり、オーム(通常はΩ/□)単位で表わされます。^{注1}

^{注1} 体積抵抗率と表面抵抗率はともに抵抗値を測定してから試料の幾何学的条件を考慮して抵抗率に変換します。抵抗率測定は下の図1に示されています。体積抵抗率と表面抵抗率の両測定とも、ケースレーの8009型(図2)や6517B型エレクトロメータ(図3)といった試験装置を使用すれば改善されます。



図3 6517B型 エレクトロメータ/高抵抗メータ

図2 8009型抵抗率試験装置

[価格のお問合せ\(オンライン\)](#)

ケースレーのエレクトロメータでコンデンサ・リーク電流測定を簡略化

コンデンサのリーク電流測定

コンデンサはエレクトロニクスの全分野で非常に重要です。タイミング回路からサンプル＆ホールドのアプリケーションまで、コンデンサを使い回路動作を理想的な状態にしています。しかしながら多くの場合に、複雑な電気化学作用によってコンデンサが不良になったりします。コンデンサの一般的な特性としてリークあるいは絶縁抵抗(IR)があります。

コンデンサのリークは、 $M\Omega \cdot \mu F$ (抵抗値を静電容量で割った値) で表わす絶縁抵抗値として、あるいは特定電圧でのリーク電流で表わすことができます。6517B型エレクトロメータは、抵抗値あるいはリーク電流を表示することができ、また最大1000VDCの電圧印加が可能であるため、このリーク測定アプリケーションに特に役立ちます。

コンデンサのリークは、試験中のコンデンサに一定電圧を印加し、その結果得られる電流を測定して測定されます。リーク電流は時間の関数として指数関数的に減少しますので、通常は電流測定前に予め決められた時間(「ソーク」時間)だけ電圧を印加する必要があります。図4に示すように、順方向バイアスのダイオード(D)を測定回路に含めると性能が向上します。ダイオードは可変抵抗器のように動作し、コンデンサの充電電流が高い場合にはその抵抗値は低くなり、電流値が時間とともに減少すると抵抗値は増加します。

直列抵抗値は、電圧源の過電流防止およびコンデンサが短絡してダイオードが破損するのを防止するために必要であるだけなので、非常に小さくすることができます。

統計的目的のため、しばしば多数のコンデンサを試験して有益なデータを取得します。これらの試験を手作業で実施するのは明らかに実用的ではないので、なんらかの自動測定システムが必要になります。図5は自動測定システムの一例であり、6517B型エレクトロメータ／高抵抗メータおよびスイッチング本体にインストールされたスイッチング・カードを使用しています。6517B型、抵抗値あるいはリーク電流を表示することができ、最大1000VDCの電圧を投入できるので、この測定用途には特に役立ちます。

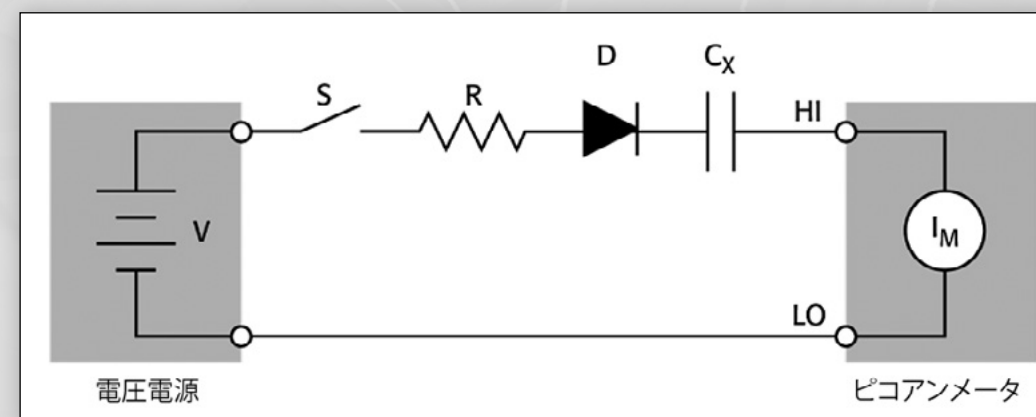


図4 コンデンサ・リーク試験回路ダイオード付

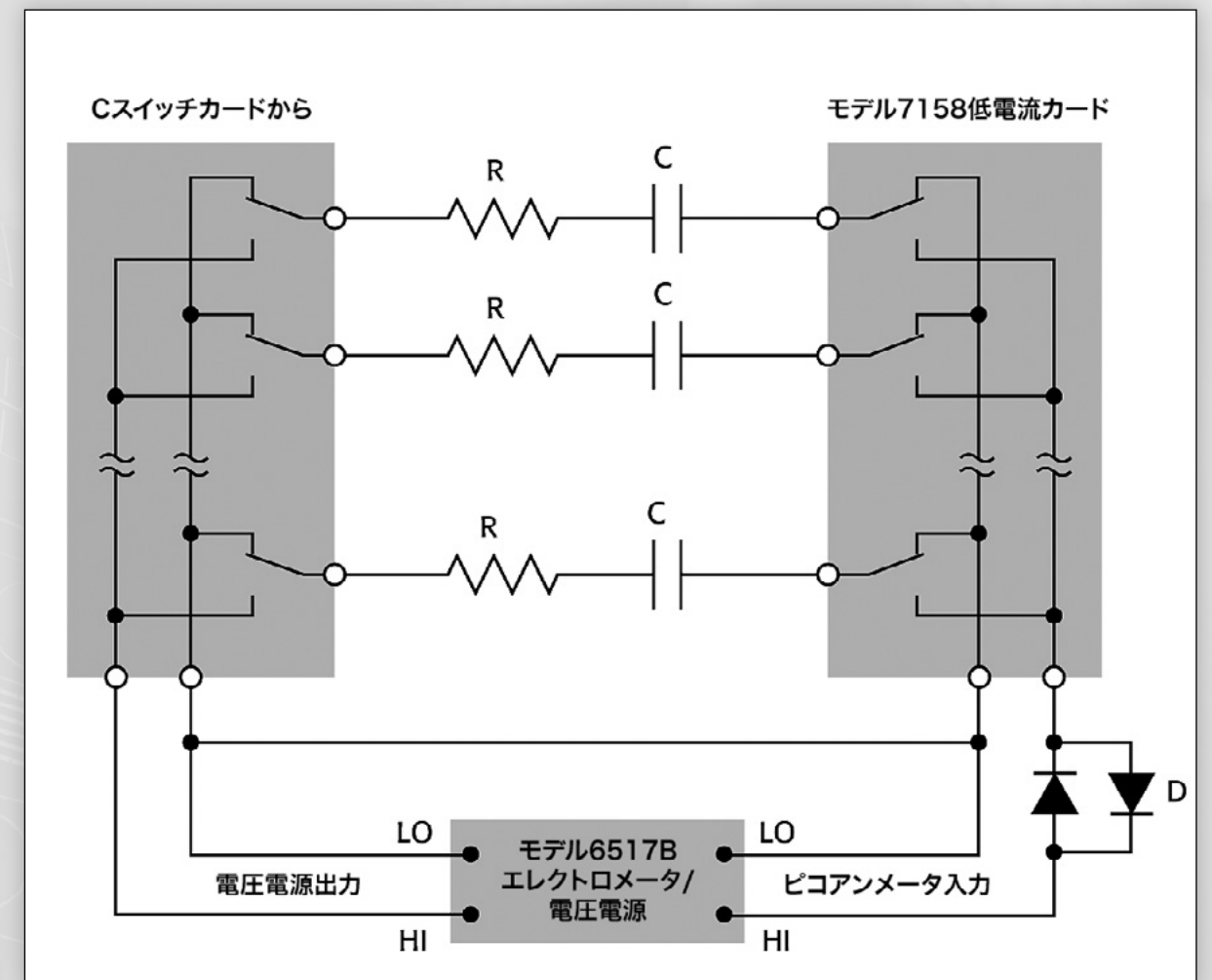


図5 コンデンサ・リーク試験システム

[価格のお問合せ\(オンライン\)](#)

ケースレーのエレクトロメータで絶縁抵抗測定を簡略化

高抵抗測定

抵抗値はしばしば、DMMで測定されますが、この場合約200M Ω が限度です。しかしながら、場合によってはGオーム以上の範囲の抵抗値を正確に測定しなければならないことがあります。このような場合としては、数Mオーム抵抗器の特性測定、絶縁体の抵抗率測定、そしてプリント基板の絶縁抵抗値の測定などがあります。これらは、微小電流と高インピーダンス電圧の両方を測定できるエレクトロメータを使用して測定されます。

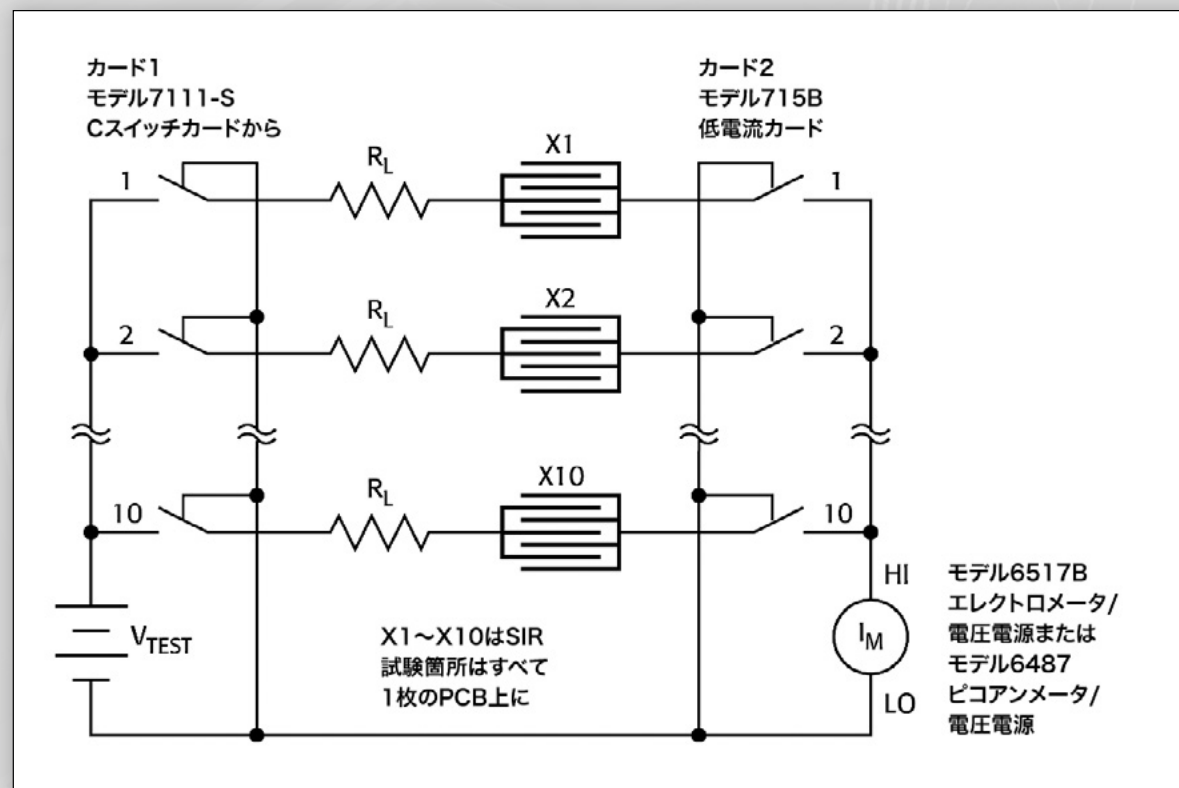


図6PCB絶縁抵抗測定

一般的な絶縁抵抗のリーク電流測定

■ **コネクタ絶縁抵抗** - 今日の回路形状の微細化や動作周波数の上昇のため、アイソレーションは、信頼性とクロストークには重要なポイントとなっています。アイソレーションは典型的には、コネクタ内の2つのピンの間に電圧を印加し、その結果ピン間に流れる電流を測定することにより試験します。試験から得られる抵抗値を予め決められたしきい値と比較します。抵抗値レベルが低すぎればそのコネクタは使用できません。図7はコネクタの等価回路を示しており、アイソレーション抵抗はR_{iso}として示されています。高抵抗素子を試験する場合、測定抵抗値は印加電圧に応じて顕著に変化し、これは、抵抗値の電圧係数として知られています。

■ **PCB 表面絶縁抵抗** - プリント基板 (PCB) の表面絶縁抵抗値 (SIR) が小さいと、基板に組み込んだ電子回路の性能が極度に劣化します。基板の表面絶縁抵抗値に影響を及ぼす要因には、基板の材料、はんだマスキングや絶縁保護コーティングなどの被膜の存在、基板の清浄度、相対湿度が含まれます。測定される絶縁抵抗値は典型的には、10⁷ Ω から 10¹⁶ Ω です。図6は、PCB表面抵抗値の測定試験の構成を示しています。

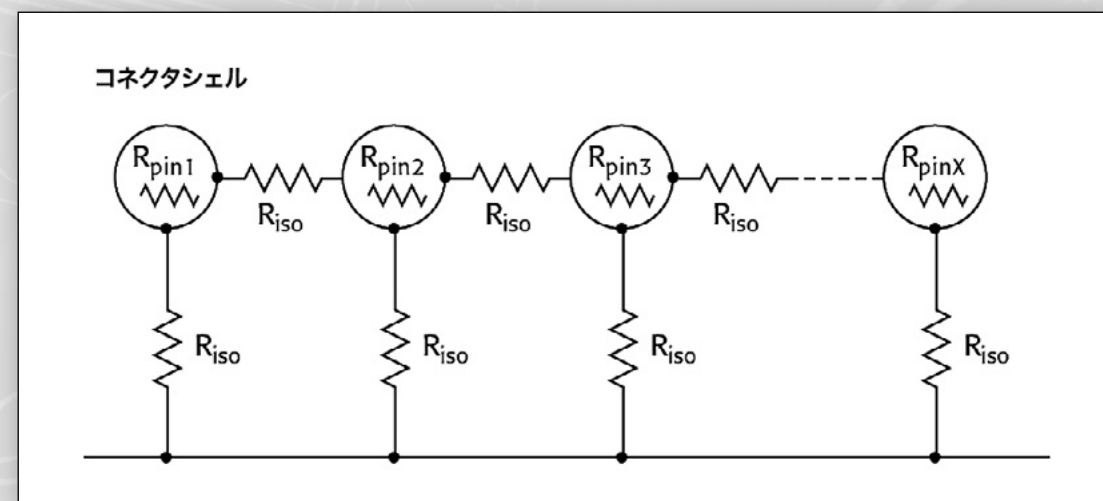


図7ピン接続性と分離抵抗を示すコネクタの電気等価回路

価格のお問合せ(オンライン)

ケースレーの6514型、6517B型エレクトロメータとは？

エレクトロメータとは？

DMMと同様に、ケースレーのエレクトロメータは、電荷や電流、電圧、電気抵抗を測定する計器です。しかしながら、標準型DMMの機能を超えて、精度10fCでの電荷測定、精度100aAでの電流測定、そして最大測定可能抵抗値200TΩ（6517B型の電圧電源併用時）が可能です。

ケースレーの6514型および6517B型プログラマブルエレクトロメータは業界トップのエレクトロメータです。優秀な感度と性能によって使用範囲が広がり、高抵抗値測定から物理学や化学の研究あるいは新製品開発まで広範な用途に対応します。6517B型のプログラマブル電圧源を使用すると、測定機能と電源性能を組み合わせることで広範な装置を容易にコントロールすることができます。

ケースレーのホームページwww.keithley.jpに、6514型および6517B型の詳細仕様が掲載されています。

ケースレーの6514型および6517B型エレクトロメータ 主要仕様



特長	6514型エレクトロメータ	6517B型エレクトロメータ/高抵抗メータ
抵抗値測定 最大/最小値	200GΩ / 10Ω	10 PΩ (10 ¹⁶ Ω) / 50Ω
電荷測定 最大/最小値	20μC / 10fC	2μC / 10fC
電流測定 最大/最小値	20mA / 100aA	
電圧測定 最大/最小値	200V / 10μV	
電圧電源値	なし	1000V / 5mV 精度
最大サンプリング数/秒	1,200	450
リモート・インタフェース	GPIOB, RS-232	GPIOB, RS-232
コネクタ/ケーブル	トライアキシャル	トライアキシャル(測定)、バナナ(電圧電源)、熱電対入力
システムレベル オートメーション	デジタルI/O、トリガーリンク、アナログ出力	デジタルI/O、トリガーリンク、アナログ出力

ケースレー エレクトロメータの特長

デジタル・マルチメータと同じ操作

6514型および6517B型エレクトロメータは、抵抗測定といった重要な機能をボタンひとつでコントロールしてフロント・パネルの容易な操作でDMMのように使用できる特長を備えています。これらのモデルは内蔵されたIEEE-488インタフェースを通じてコントロールすることもでき、コンピュータからすべての機能をプログラミングすることが可能です。

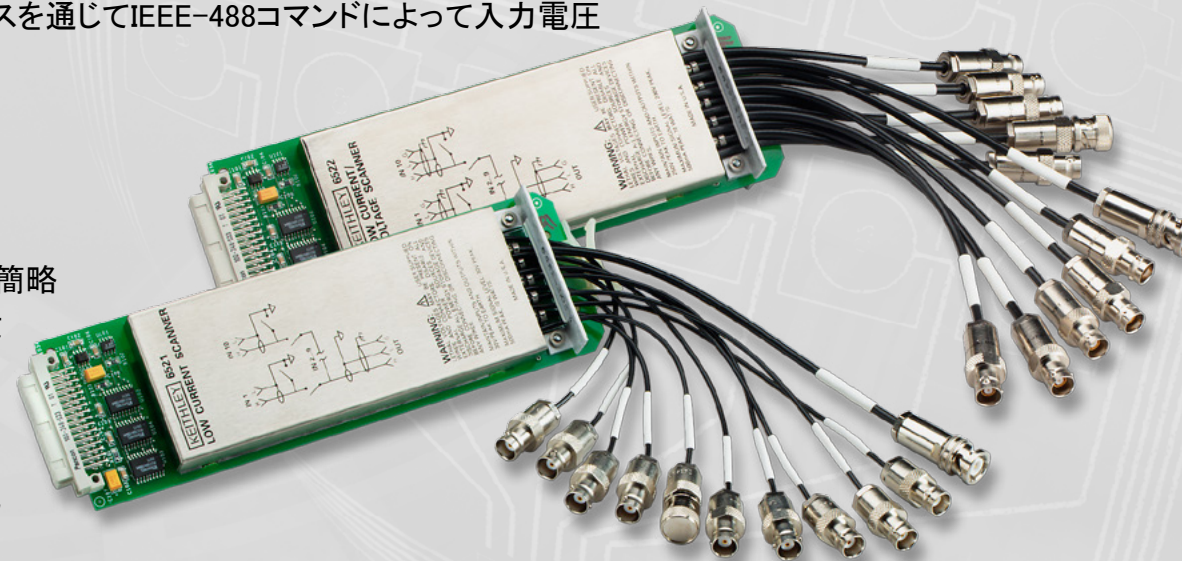
ただしDMMとは異なり、エレクトロメータではオフセット電流と入力負担がより少なくなります。典型的には、DMMでのオフセット電流は数十～数百ピコアンペアあり、6514型や6517B型と比較すると、微小電流測定機能が極度に限定されます。

入力回路での電圧オフセットは電流測定の精度に影響を及ぼしますが、6514型および6517B型のフィードバック電流計では、このオフセットが最小になるよう設計されています。またこれらの計器では、フロントパネルのコントロールにマニュアル操作あるいはインタフェースを通じてIEEE-488コマンドによって入力電圧と電流オフセットのキャンセルが可能です。

スキャナ・カード(6517B)

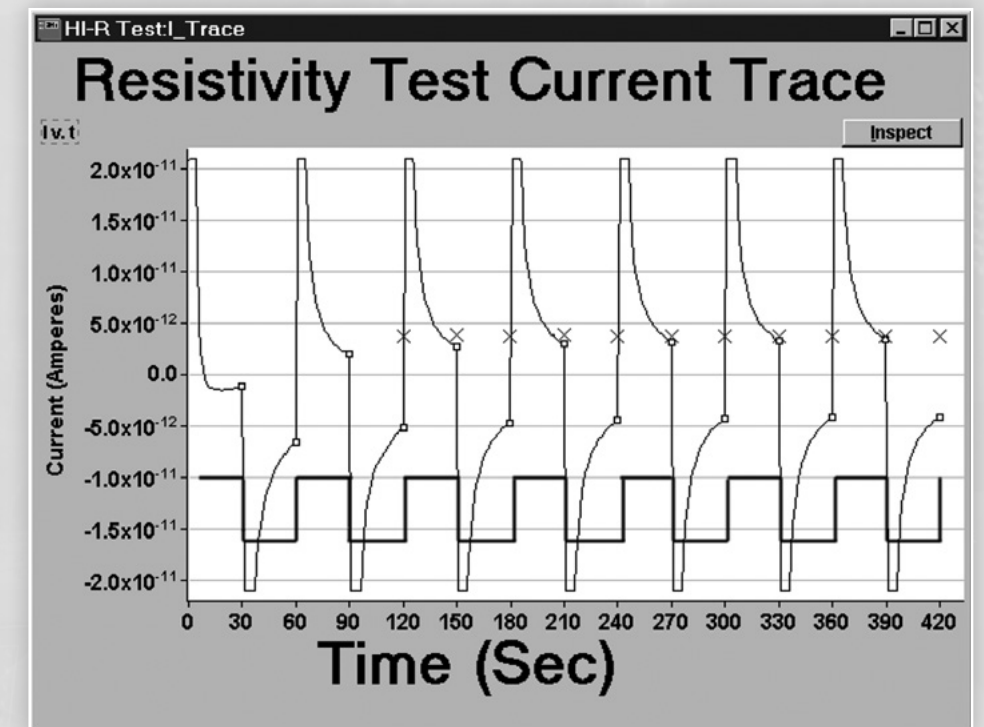
コンデンサなどの製造試験における多重信号のスキャンを簡略化するために2枚のスキャナ・カードを利用することができます。どちらのカードもリア・パネルにあるオプションのスロットに容易に挿入することができます。

6521型スキャナ・カードは、10チャンネルの微小レベル電流スキャン機能を提供します。6522型スキャナ・カードは、10チャンネルの高インピーダンス電圧スイッチングあるいは微小電流スイッチング機能を提供します。



電圧印加反転法抵抗測定/抵抗率 (6517B)

6517B型は抵抗／抵抗率測定に電圧印加反転法を適用しており、この方法ではサンプル中のバックグラウンド電流の効果がほぼなくなります。バックグラウンド電流の1次および2次のドリフトもまた打ち消されます。印加電圧の極性を交互に切り替えることにより、この方法には典型的には高い再現性があり、精度が高い抵抗値（または抵抗率）測定を行うことができます。



[価格のお問合せ\(オンライン\)](#)

ケースレーのピコアンメータを使用した破壊電圧と抵抗測定

高抵抗測定

抵抗値はDMMで測定されることがしばしばですが、この場合は最大値は約200MΩです。しかしながら、場合によってはGオーム以上の範囲の抵抗値を正確に測定しなければならないことがあります。高抵抗の抵抗器特性測定、あるいは絶縁体の抵抗率決定、プリント基板の絶縁抵抗測定などがこのような場合の例です。これらの測定は、ピコアンメータ／電圧源を使い、精密高電圧電源およびピコアンペア測定機能を利用して、正確な抵抗値を測定することで実現することができます。

高抵抗値測定はしばしば、定電圧印加・電流測定法が行われます。ピコアンメータを使用した定電圧印加・電流測定法の基本構成を図8に示します。

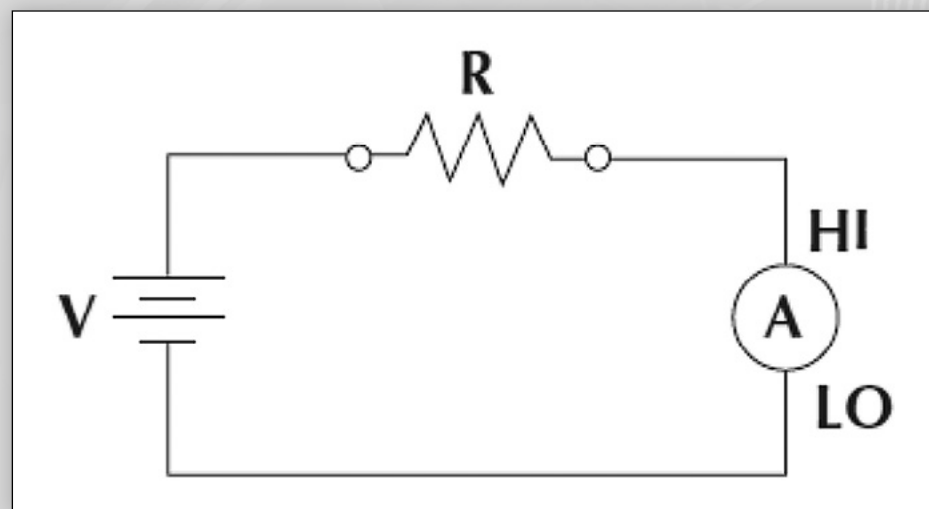


図8抵抗値測定のための
定電圧印加・電流測定法

この方法では、定電圧電源 (V) が未知の抵抗器 (R) と電流計に直列に接続されています。

(A)電流計での電圧降下は無視できるので、試験電圧はほぼRに印加されます。この結果として得られる電流が電流計で測定され、オームの法則 ($R = V/I$) を適用して抵抗値が算出されます。高抵抗値はしばしば印加電圧に応じて変化するので、DMMで使用される定電流印加電圧測定法よりも好ましくなります。

ピコアンメータに電圧電源が必要な理由は?

- デバイスへの電圧供給 – 内蔵電圧源から試験中の素子に外部装置を使用しないで電圧を供給することができ、コストや時間を節約でき、煩雑な操作を省けます。
- 絶縁破壊電圧の試験 – 素子や絶縁体に高電圧のバイアスを印加し、絶縁体や素子がどの時点で電気導体に変化するかを試験します。(これは生産品質試験や素子・素材研究では重要)
- 高抵抗を試験 – より高い電圧を使用すると測定可能な抵抗値がさらに増加します。

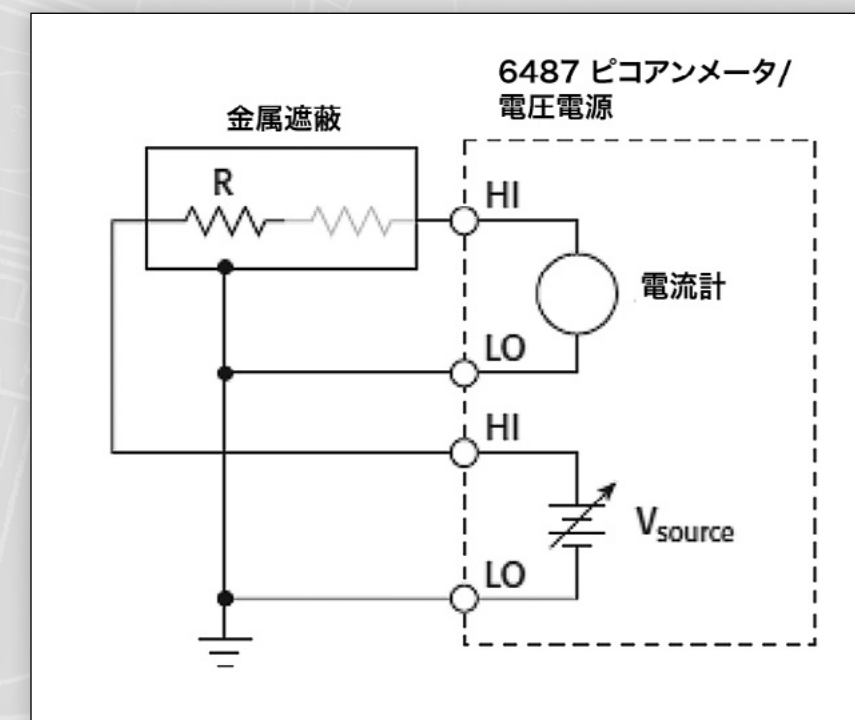


図9高抵抗値測定に使用された6487型

価格のお問合せ(オンライン)

ピコアンメータで2チャンネルの電圧印加・電流測定を簡略化

ビーム・アライメントに応用される、レシオおよびデルタ・モード

2つのチャンネル間の比と差分をそれぞれ示す、レシオおよびデルタ測定は、これらを計器内で計算することにより、非常に効率良くビーム・アライメントに応用することができます。高エネルギー・ビームのモニタリングやイオン・ビームのモニタリングから光ファイバーといった多種多様な分野で重要であるビーム・アライメントの手順には、検出器からの信号測定そして校正済みのビーム源／検出器のペアと一致するように、ビーム源とセンサの位置を調整することが含まれます。レシオおよびデルタ測定は、これらのビームのアライメントの良好度を即座に知らせるので、ビーム源を素早く調整することができます。図10に示した6482型2チャンネル・ピコアンメータはこれらの測定機能を備えているだけでなく、2つの電圧バイアス機能を備えているので、追加装置なしでこれらのセンサに電源を供給することができます。

1台で2つの電圧印加・電流測定

イオン・ビームのモニタリング - 集束イオン・ビーム・システムはしばしば、マイクロ・マシニングやマッピングなどのナノメートルスケールのイメージングに使用されます。イオン検出器を使用してビーム電流を注意深くモニタリングする作業は重要です。これらのセンサの入出力電流は小さいです。しばしば複数のイオン・ビームを同時に作動させるので、複数のセンサへの電源供給が必要になります。ケースレーの6482型は、ピコアンペア・レベルの電流を測定中にこれらのセンサに電源を供給することができ、必要な計器の台数を減らしコントロールを簡略化してスペース節約にもつながります。

ビーム・アライメント - レーザ・ダイオード、光ファイバー、高エネルギー粒子ビーム、イオン・ビームなどはすべて、多くのアプリケーションでアライメントを必要とします。ケースレーの6482型でのレシオおよびデルタモードは、これらをリアルタイムで測定して測定者に報告しますので、測定者は素早くかつ容易にビームを調整することができ、アライメント手順が簡略化されます。

複数装置の試験 - マルチ・チャンネル計器は、同じ外形情報のチャンネル数を増加させることにより、スループットを増加させ、メンテナンス負担を軽減させることができます。ケースレーの6482型を使用すれば、2台の装置に同時に電圧印加して測定を実行でき、必要な計器台数を少なくすることができます。

マルチピン装置試験 - デュアル・ダイオード、IC、その他のコンポーネントといったマルチピン素子はしばしば、マルチ・チャンネルの同時電流試験を必要とします。マルチ・チャンネルにより、1台の計器で複数のピンを測定することが可能になり、試験の新しい可能性を開き、またスループットを増大させます。

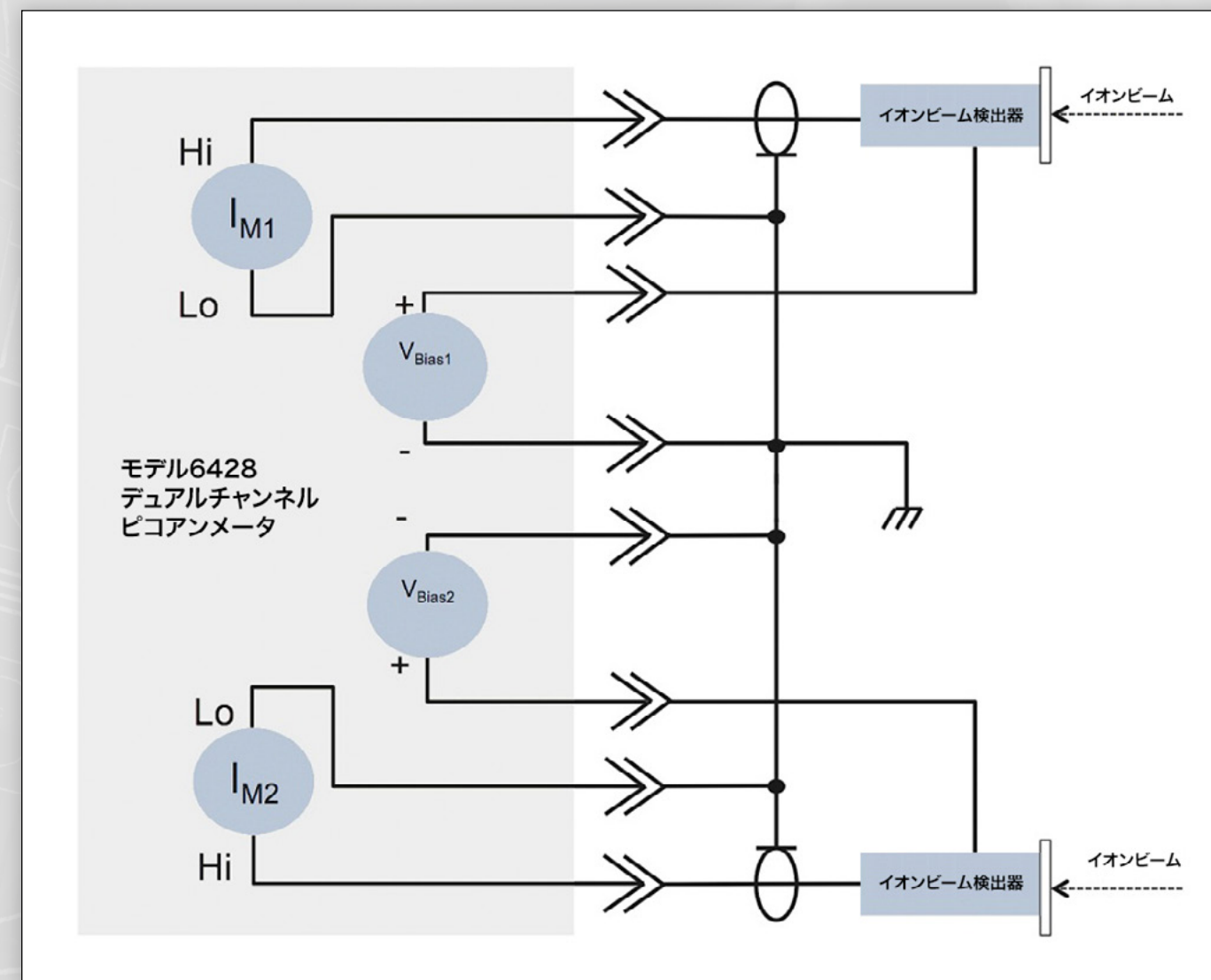


図10 2チャンネル・イオン・ビーム比較

[価格のお問合せ\(オンライン\)](#)

ケースレーの6482, 6485, 6487型 ピコアンメータとは？

ピコアンメータとは？

微小直流電流の測定では、通常のDMM (デジタルマルチメータ)の性能以上が要求されることがしばしばです。一般的にDMMには100nAより小さい電流の測定に必要な感度がありません。電流がより高い場合でもDMMの入力電圧降下が数百ミリボルトあると、正確な測定が不可能になります。ピコアンメータは電圧降下が小さいため、DMMよりも理想的な電流計に近く機能しますので、試験対象回路には非常に低い電圧源があっても高い精度で電流測定が可能です。ケースレーのピコアンメータは、エレクトロメータに近い定電流感度、そしてDMM並の価格と使い勝手の良さの両方の特長を兼ね備えています。ケースレーは、モデル6485型ピコアンメータ、6487型ピコアンメータ／電圧源、そして6482型2チャンネル・ピコアンメータ／電圧源の3機種を提供しています。

ケースレーの6482、6485、6487型ピコアンメータとは？

ケースレーの6482、6485、6487型ピコアンメータは業界をリードするピコアンメータです。優秀な感度と性能により、センサのモニタリングからリーク電流測定、物理学および化学研究、新製品開発など、多様な応用で使用され生産性向上に役立ちます。6487型のプログラマブル500V高精度電圧源は、高抵抗および破壊電圧試験機能を追補します。6482型は2つの測定チャンネルを備えており、内蔵する2つの30V バイアス電源から試験対象デバイスに電圧を供給可能です。



図11ケースレーの6482型2チャンネル・ピコアンメータの前／後部パネル

ケースレーのモデル6482, 6485, 6487 ピコアンメータ主要仕様

特長	6485型 ピコアンメータ	6487型 ピコアンメータ/電圧源	6482型 2チャンネル・ ピコアンメータ/電圧源
電流測定 最大 / 最小値	20 mA / 10 fA	20 mA / 10 fA	20 mA / 1 fA
抵抗値測定 最大 / 最小値	不可	10 P Ω / 10 Ω	不可
チャンネル数	1	1	2
印加電圧	不可	500V / 200μV 精度	30V / 400μV 精度
最大読取数 / 秒 (GPIB経由)	900	900	900
バッファ・サイズ	2500	3000	3000 (チャンネル当り)
リモート・インタフェース	GPIB, RS-232		
コネクタ/ケーブル	BNC	トライアキシャル	トライアキシャル (BNCと付属アダプタを使用)
システムレベル オートメーション	トリガリンク、アナログ出力		

6482、6485、6487型の詳細詳細については、ケースレー社のホームページ www.keithley.jp をご覧ください。

ケースレーの6482, 6485, 6487型 ピコアンメータ特長



ピコアンメータ/電圧源を使った一般的な測定

高抵抗コンポーネント - ケースレーの6487型ピコアンメータに内蔵されている高電圧源を使用して電圧を供給し、その結果得られる電流を測定すれば、測定すべき高抵抗を素早く高い精度で測定することが可能になります。

高抵抗材料 - ケースレー 8009型

抵抗率試験装置およびケースレー6487型をペアにすれば、表面抵抗率と体積抵抗率を測定することができます。

破壊電圧特性 - 電圧源が電圧を掃引して、コンポーネント試験あるいは材料研究において、抵抗器あるいは素子の電気破壊がどの時点で発生するかを決定することができます。

抵抗電圧係数 - 非常に高い抵抗値をもつ抵抗器は、印加電圧の変化に応じて顕著な非線形変化を示すことがあります。この効果は、電圧係数として知られています。電圧係数は、印加電圧の単位変化当りの抵抗値の変化のパーセント割合です。



デジタル・マルチメータとして使用

6482、6485、6487型は、使い勝手の良さ、フロント・パネルから数学関数やゼロ測定機能といった重要機能をボタンひとつでDMMのような操作が可能ないように設計されています。これらのモデルはまた、IEEE-488とRS-232インタフェースを通じてコントロールすることが可能であり、コンピュータ・コントローラを通じてバス・ラインからすべての機能をプログラミングすることができます。



2ch微小電流測定の利点

チャンネル密度の増加 - 研究や製造での応用ではベンチやラックのスペースが貴重ですので、チャンネル密度が高いほど重宝します。ケースレーの6482型2チャンネル・ピコアンメータのチャンネル密度は、ケースレーの初期モデルから倍増されています。

計測器コントロールの増加および設定の改善 - コントロールすべき計測器が少なくなり、また設定が改善され設定時間とプログラミング時間が短縮されました。

2つの信号を短時間で比較 - 6482型に内蔵されているデルタおよびレシオ計算機能により、複数センサや複数ピンIC、コンポーネント、素子からの信号を素早く比較します。

[価格のお問合せ\(オンライン\)](#)

DMMでは測定不能なDC電流測定

エレクトロメータ

6430型

測定範囲: 10aA~100 mA
電源電圧: 50aA~100mA

6517B型

測定範囲: 1a~20aA
電源電圧範囲: 5mV~1000V

6514型

測定範囲: 100aA ~ 20mA

ピコアンメータ

6487型

測定範囲: 10fA~20 mA
投入電圧: 200μV~500V

6482型

測定範囲: 1fA~20mA (x2)
各チャンネルでのバイアス電圧30V

6485型

測定範囲: 1a~20aA

6430 サブフェムトアンペア・リモート・ソースメータ (エレクトロメータ)

6517Bエレクトロメータ/高抵抗メータ

6514エレクトロメータ

6482 2チャンネル・ピコアンメータ/電圧源

6485 ピコアンメータ

6487 ピコアンメータ/電圧源

典型的なDMM

1 aA

1fA

1 pA

1 nA

1 μA

1 mA

1A

測定電流値



ケースレーのエレクトロメータおよびピコアンメータ
の微小電流測定アプリケーションに関する詳細を
お知りになりたいですか?



ケースレーの微小電流用エレクトロメータおよびピコアンメータの測定方法の詳細について
は最寄のケースレーまたは[オンラインで質問](#)にお問い合わせください。
当社のアプリケーション担当エンジニアがケースレー製品を最大限に活用できるよう支援い
たします



A Greater Measure of Confidence

KEITHLEY
A Tektronix Company

www.keithley.jp

テクトロニクス/ケースレーインスツルメンツ

お客様コールセンター

TEL:0120-441-046

電話受付時間／ 9:00～12:00・13:00～18:00（土・日・祝・弊社休業日を除く）

info.jp@keithley.com

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。
KEITHLEYは、Keithley Instruments, Inc.の登録商標です。記載された製品名は、各社の商標又は登録商標です。