

# 2450型 ソースメータ

## ユーザ・マニュアル

2450-900-02 Rev. C / 2013 年 12 月



2450-900-02C

A Greater Measure Of Confidence

**KEITHLEY**  
A Tektronix Company



# 2450 型

## ソースメータ

### ユーザ・マニュアル

© 2013, ケースレーインストルメンツ, Inc.

Cleveland, Ohio, U.S.A.

著作権所有

ケースレーインストルメンツ の書面による事前の承諾なしに、本書の内容の全部または一部を無断で複製、

コピー、または使用することは固く禁じられています。

TSP<sup>®</sup>、TSP-Link<sup>®</sup>、TSP-Net<sup>®</sup> は ケースレーインストルメンツ, Inc の商標です。すべてのケースレーインストルメンツ 製品名は ケースレーインストルメンツ, Inc の商標または登録商標です。その他のブランド名はそれぞれの所有者の登録商標です。

文書番号: 2450-900-02 Rev. C / 2013 年 12 月



# 安全使用上の注意

この製品および関連機器を使用するときには、以下の安全使用上の注意に従わなければなりません。一部の機器およびアクセサリは、通常危険性のない電圧で使用されますが、危険な状態が発生しうる状況があります。

この製品は、感電の危険性について認識しており、発生しうる傷害を避けるのに必要な安全使用上の注意について熟知している資格を持った担当者が使用するためのものです。製品を試用する前に、設置、操作およびメンテナンス情報のすべてをよく読んでこれに従ってください。詳細な製品仕様については、ユーザ・マニュアルを参照してください。

この製品を指定以外の方法で使用した場合には、製品の保証による保護が制限される場合があります。

製品ユーザには、以下のタイプがあります。

**責任組織**は、機器の使用およびメンテナンスに責任を負う個人またはグループで、機器がその仕様および使用制限の範囲内で使用されるようにするとともに、オペレータを適切に訓練する責任を負います。

**オペレータ**は、製品をその意図する目的に使用します。電気についての安全手順および機器の適切な使用法について訓練を受ける必要があります。オペレータを、感電および通電している危険な回路との接触から保護する必要があります。

**メンテナンス担当者**は、製品が適切に動作するように、ライン電圧の設定や消耗部品の交換など、定期的な手順を実行します。メンテナンス手順については、ユーザ・マニュアルに記載されています。オペレータが実行できる手順は、その旨が明記されています。明記されていない場合は、それらの手順は保守担当者のみが行います。

**保守担当者**は、通電している回路に対する作業について訓練を受け、安全な設置および製品の修理を行います。適切な訓練を受けた整備担当者のみが設置および整備手順を実行できます。

ケースレーインストルメンツ の製品は、測定、制御、およびデータ I/O 接続といった、過渡的過電圧が低い電気信号を使用するように設計されているため、主電源または高い過渡過電圧が発生する電圧源に直接接続しないでください。測定カテゴリ II (IEC 60664 を参照) の接続には、地域の AC 主電源接続に対応する高い過渡過電圧に対する保護が必要です。特定の Keithley 測定機器は主電源に接続することができます。これらの機器はカテゴリ II 以上として位置づけられます。

仕様、操作マニュアル、および機器ラベルで特に許可されている場合を除き、どの機器も主電源に接続しないでください。

感電の危険があるときには、十分に注意して作業を行ってください。ケーブル コネクタ ジャックまたはテスト・フィクスチャには、生命に危険が及ぶような電圧が生じている場合があります。米国規格協会 (ANSI) は、30V RMS、ピーク電圧 42.4V、または 60VDC の電圧があるときには感電の危険があると明記しています。未知の回路について測定するときには、危険な高電圧があることを想定しておくとし、安全性が高まります。

この製品のオペレータに対しては、常に感電に対する保護を行う必要があります。責任組織は、オペレータをいかなる接続ポイントにもアクセスできないようにするか遮断する (もしくはその両方の措置をとる) 必要があります。場合によっては、接続部を人が触れられるように露出させる必要があります。このような状況での製品オペレータは、感電のリスクから自身を保護するための訓練を受けていなければなりません。回路が 1000 V 以上の電圧での動作に対応している場合には、回路の導電部分が露出してはなりません。

制限されていない電源回路に切換カードを直接接続してはなりません。切換カードは、インピーダンスが制限されている電源での使用を意図したものです。絶対に切換カードを AC 主電源に直接接続しないでください。電源を切換カードに接続しているときには、保護デバイスを設置してカードへの故障電流および電圧を制限します。

機器を操作する前に、ライン コードが適切に接地された電源コンセントに接続されていることを確認します。使用前に、接続ケーブル、リード線およびジャンパの摩耗、亀裂または破損について検査します。

ラックに取り付ける場合など、主電源コードへのアクセスが限られている場所に機器を設置するときには、別の主入力電源切断デバイスを機器の近くのオペレータの手が簡単に届く場所に用意する必要があります。

最大限の安全性を確保するために、試験中の回路に電源が入っているときには製品、試験ケーブル、またはその他任意の機器に触れないでください。ケーブルまたはジャンパの接続または接続解除、切換カードの取付または取り外し、ジャンパの取付や取り外しなどの内部の変更を行う前に、必ず試験システム全体から電源を切り離し、すべてのキャパシタを放電してください。

試験中の回路の共通側または電源回路の接地線への電流の経路となる物体に触れないでください。測定する電圧に耐えられる乾燥した絶縁された表面に立って、必ず乾燥した手で測定を行います。


安全のため、機器およびアクセサリは、操作指示に従って使用しなければなりません。機器またはアクセサリを操作指示で指定されていない方法で使用した場合、機器による保護が正常に機能しない場合があります。


仕様または使用情報で指定されている、もしくは機器またはテスト・フィクスチャパネル、切換カードに表示されている機器およびアクセサリの最大信号レベルを超えないようにします。


製品にヒューズが使用されているときは、火災の危険を防止するために同じタイプおよび定格のものと交換してください。


シャーシ接続は、保安接地（安全接地）とは異なり、測定回路のシールド接続以外に使用してはなりません。


テスト・フィクスチャを使用している場合には、試験中のデバイスに電源が投入されている間はフタを閉じたままにしておきます。安全な運用には、フタのインターロックを使用する必要があります。


 ネジがある場合には、ユーザ・マニュアルで推奨されている導線を使用して、これを保安接地（安全接地）に接続します。

機器上の  という記号は、操作上の危険性を警告するものです。この記号が印刷されている部分を操作する場合は、必ずユーザ・マニュアルを参照してその指示に従ってください。

機器上の  という記号は、感電の危険性を警告するものです。標準の安全使用上の注意に従って、人員がこれらの電源に触れるのを防止してください。

機器上にある  記号は、その面が高温になる場合があることを示しています。火傷を防止するために、人員がこの面に触れないようにしてください。

 記号は、機器フレームへの接続端子を示しています。

製品上にこの  記号がある場合には、表示ランプに水銀が使用されていることを示しています。ランプは、必ず連邦、州および地域の法律に従って適切に処分してください。

ユーザ・マニュアルにある**警告**の見出しは、ケガや死亡事故につながる可能性のある危険について説明しています。示されている手順を実行する前に、必ず関連する情報をよく読んでください。

ユーザ・マニュアルにある**注意**の見出しは、機器の損傷につながる可能性のある危険について説明しています。損傷によって保証が無効になる場合があります。

機器およびアクセサリは、人体に接続してはなりません。

メンテナンスを行う前に、回線コードおよびすべての試験ケーブルを外してください。

感電および火災を防止するために、電源変換器、リード線、入力ジャックなどの主回路の交換コンポーネントは ケースレーインズツルメンツ からご購入ください。定格とタイプが同じであれば、国の安全承認を受けた標準のヒューズを使用することができます。安全性と関係のないそれ以外のコンポーネントは、元のコンポーネントと同一であれば他の供給元から購入することができます（製品の精度および機能を維持するためには、一部の部品は ケースレーインズツルメンツ から購入するべきである点にご注意ください）。交換コンポーネントの適合性について不明な点がある場合には、ケースレーインズツルメンツ までお問い合わせください。

機器を清掃するには、湿らせた布または水性の弱い洗剤を使用します。清掃するのは機器の外部のみにしてください。洗剤を機器に直接付着させたり、液体を機器の中に入れて機器の上にこぼしたりしないでください。ケースまたはシャーシのない回路ボードで構成されている製品（たとえばコンピュータ取付用のデータ取得ボード）は、指示に従って使用している場合には清掃は必要ありません。ボードが汚れて動作に影響が出てきた場合には、ボードを工場に返送して適切な洗浄/整備を受けてください。

2013 年 1 月の安全使用上の注意のリビジョン。

<b>はじめに</b> .....	<b>1-1</b>
ようこそ .....	1-1
このマニュアルの紹介 .....	1-1
延長保証 .....	1-1
問い合わせ先 .....	1-2
CD-ROM の内容 .....	1-2
マニュアル セクションの構成 .....	1-3
アプリケーション .....	1-3
<b>フロント パネルのインタフェースの使用</b> .....	<b>2-1</b>
フロント パネルの概要 .....	2-1
機器をオンまたはオフに切り替える .....	2-3
2450 型の出力をオンまたはオフにする .....	2-4
タッチスクリーン インタフェースを使用する .....	2-5
タッチ スクリーンのナビゲート .....	2-5
対話型スワイプ画面 .....	2-6
メニューの概要 .....	2-7
USB フラッシュ ドライブに測定を保存する .....	2-8
USB フラッシュ ドライブにスクリーン キャプチャを保存する .....	2-8
<b>リモート インタフェースの使用</b> .....	<b>3-1</b>
リモート通信インタフェース .....	3-1
サポートされるリモート インタフェース .....	3-1
GPIB 通信 .....	3-2
GPIB ドライバ ソフトウェアのインストール .....	3-2
GPIB カードのコンピュータへのインストール .....	3-2
機器への GPIB ケーブルの接続 .....	3-2
GPIB アドレスの設定 .....	3-3
LAN 通信 .....	3-4
機器での LAN 通信のセットアップ .....	3-4
コンピュータでの LAN 通信のセットアップ .....	3-5
USB 通信 .....	3-6
USB を使用してコンピュータを 2450 型に接続する .....	3-7
機器との通信 .....	3-7
Web インタフェースの使用 .....	3-12
機器の Web インタフェースへの接続 .....	3-13
LAN のトラブルシューティング .....	3-13

Web インタフェースのホーム ページ .....	3-14
機器の特定 .....	3-14
イベント ログでの LAN トリガ イベントの確認 .....	3-15
使用するコマンド セットの決定 .....	3-15
<b>フロント パネルの基本的な測定 .....</b>	<b>4-1</b>
はじめに .....	4-1
このアプリケーションに必要な機器 .....	4-2
デバイスの接続 .....	4-2
フロント パネルでの測定 .....	4-2
フロント パネルで測定を行う方法 .....	4-3
<b>低抵抗のデバイスの測定 .....</b>	<b>5-1</b>
はじめに .....	5-1
必要な機器 .....	5-1
デバイスの接続 .....	5-1
低抵抗の測定 .....	5-4
フロント パネルから測定をセットアップする .....	5-4
フロント パネルの TREND [傾向] スワイプ画面で測定を表示する .....	5-5
フロント パネルでバツファ統計を表示する .....	5-5
リモート通信をセットアップする .....	5-5
SCPI コマンドを使用した低抵抗アプリケーションのセットアップ .....	5-6
TSP コマンドを使用した低抵抗アプリケーションのセットアップ .....	5-7
<b>漏れ電流および絶縁抵抗 .....</b>	<b>6-1</b>
はじめに .....	6-1
必要な機器 .....	6-1
リモート通信をセットアップする .....	6-2
デバイスの接続 .....	6-2
漏れ電流の測定 .....	6-4
フロント パネルを使用した漏れ電流アプリケーションのセットアップ .....	6-4
フロント パネルのグラフに測定を表示する .....	6-5
SCPI コマンドを使用した漏れ電流アプリケーションのセットアップ .....	6-6
TSP コマンドを使用した漏れ電流アプリケーションのセットアップ .....	6-6
絶縁抵抗の測定 .....	6-8
フロント パネルを使用した絶縁抵抗アプリケーションのセットアップ .....	6-9
フロント パネルのグラフに測定を表示する .....	6-9
SCPI コマンドを使用したアプリケーションのセットアップ .....	6-10
TSP コマンドを使用したアプリケーションのセットアップ .....	6-10



<b>FET の I-V 特性の測定</b> .....	<b>7-1</b>
はじめに .....	7-1
必要な機器.....	7-1
リモート通信をセットアップする .....	7-2
外部ハードウェア トリガのセットアップ .....	7-2
SCPI コマンド セット用の接続.....	7-2
TSP コマンド セット用の接続.....	7-3
デバイスの接続 .....	7-4
SCPI コマンドを使用した FET テストのリモート コントロール.....	7-5
トリガ モデルで SCPI コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする.....	7-6
線形掃引で SCPI コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする.....	7-8
TSP コマンドを使用した FET テストのリモート コントロール .....	7-9
トリガ モデルで TSP コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする .....	7-10
線形掃引で TSP コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする .....	7-11
<b>充電式バッテリーの測定</b> .....	<b>8-1</b>
はじめに .....	8-1
必要な機器.....	8-3
デバイスの接続 .....	8-3
バッテリーの自動充放電サイクル・テスト.....	8-5
リモート通信をセットアップする .....	8-6
SCPI コマンドを使用したバッテリー アプリケーションのセットアップ .....	8-7
TSP コマンドを使用したバッテリー アプリケーションのセットアップ .....	8-8
<b>太陽電池の I-V 特性の測定</b> .....	<b>9-1</b>
はじめに .....	9-1
必要な機器.....	9-1
リモート通信をセットアップする .....	9-2
デバイスの接続 .....	9-2
太陽電池の特性 .....	9-4
フロント パネルから太陽電池の I-V 掃引をセットアップする .....	9-4
SCPI コマンドを使用して太陽電池の I-V 掃引をセットアップする .....	9-6
TSP コマンドを使用して太陽電池の I-V 掃引をセットアップする.....	9-7
<b>トラブルシューティング FAQ</b> .....	<b>10-1</b>
このセクションの内容 .....	10-1
アップデートされたドライバはどこにありますか?.....	10-1
ファームウェアのアップグレードはどのように行いますか? .....	10-2

2450 型で USB フラッシュ ドライブが読み取れないのはどうしてですか? .....	10-2
コマンド セットの変更はどのように行いますか?.....	10-2
5074 イベント コードを受け取るのはどうしてですか?.....	10-3
機器の現在の状態はどのように保存しますか? .....	10-4
設定が変更されていますがそれはどうしてですか? .....	10-4
クイック セットアップ オプションとは何ですか? .....	10-5
<b>次のステップ .....</b>	<b>11-1</b>
2450 型についての追加情報 .....	11-1

### このセクションの内容は以下のとおりです

ようこそ .....	1-1
このマニュアルの紹介 .....	1-1
延長保証 .....	1-1
問い合わせ先 .....	1-2
CD-ROM の内容 .....	1-2
マニュアル セクションの構成 .....	1-3
アプリケーション .....	1-3

## ようこそ

ケースレーインストルメンツ 製品をご選択くださり、ありがとうございます。2450 型 ソースメータは、安定した DC 電源、実際の電流源、電子負荷、および高インピーダンス マルチメータを結合する精密な低ノイズ機器です。この機器の設計の特徴は、直感的に行えるセットアップとコントロール、向上した信号品質および範囲、さらに市場の類似製品よりも優れた抵抗率と抵抗機能です。

2450 型 は、6½-桁分解能での基本精度が 0.012 パーセントであり、IEEE-488 バスで 1 秒あたり 59 の読み取りを行います。4½-桁分解能の場合は、内部バッファに対して 1 秒あたり最大 3000 の読み取りを行うことができます。

## このマニュアルの紹介

このマニュアルは、ケースレーインストルメンツ 2450 型で成功するのに役立つ詳細なアプリケーションを提供します。さらに、このマニュアルは、機器を理解するためのフロント パネルに関する基本情報を提供します。

このマニュアルは、各アプリケーションの概要を紹介し、フロント パネル、SCPI コード、および TSP コード (アプリケーションに適した) を使用してアプリケーションを完了するための指示がそれに続きます

これらのアプリケーションで使用するコマンドに関する詳細情報を利用できます。2450 型 *Reference Manual* の SCPI および TSP コマンドのリファレンス セクションを参照してください。このマニュアルは、機器に付属している製品情報 CD-ROM にあります。

## 延長保証

多くの製品では、保証範囲の年数を延長することができます。これら価値ある契約によって、予算に組み込まれていないサービス費用を支払う必要はなくなり、わずかな修理費用で数年間の補償を得ることができます。延長保証は、新しい製品および既存の製品の両方で使用できます。詳しくは、お近くの ケースレーインストルメンツ、販売パートナー、支社または代理店にお問い合わせください。

## 問い合わせ先

このマニュアルの情報について調べた後に何かご質問がある場合は、お近くの ケースレーインストルメンツ 事務所、販売パートナー、支社または代理店にお問い合わせください。ケースレーインストルメンツ 本社へのお問い合わせは、米国内およびカナダ国内からは料金の無料の 1-888-KEITHLEY (1-888-534-8453) まで、米国外からは +1-440-248-0400 までお願いします。各国の連絡先番号については、[ケースレーインストルメンツ のウェブサイト \(http://www.keithley.com\)](http://www.keithley.com) をご覧ください。

## CD-ROM の内容

2450 型の各機器には以下の CDROM が付属しています。

- Interactive SourceMeter<sup>®</sup> SMU 機器の製品情報 CD-ROM (ケースレーインストルメンツ 部品番号 24GDI-950-01)
- Test Script Builder ソフトウェア スイート CD-ROM (ケースレーインストルメンツ 部品番号 KTS-850)
- Keithley KickStart Startup ソフトウェア CD (ケースレーインストルメンツ 部品番号 KKS-850-01)

**2450 型 Interactive SourceMeter SMU 機器の製品情報 CD-ROM には、以下のものが含まれます。**

- **クイック スタート ガイド:** 機器が確実に機能するように、開梱に関する指示、基本的な接続に関する説明、基本的な操作情報の確認、およびクイック試験手順の説明を提供します。
- **ユーザ・マニュアル:** 独自のアプリケーションを作成する開始点として使用できるアプリケーションの例を提供します。
- **リファレンス マニュアル:** 拡張した操作トピック、メンテナンス情報、トラブルシューティング手順、最適化ストラテジー、およびプログラミング コマンドの詳細な操作方法が含まれます。
- **KickStart ソフトウェア クイック スタート ガイド:** 素早く測定を行い、テスト スクリプトをプログラミングせずに結果を得るための指示を提供します。
- **アクセサリ情報:** 2450 型で使用可能なアクセサリに関する資料。

**The Test Script Builder ソフトウェア スイート CD-ROM には以下のものが含まれます。**

Test Script Builder ソフトウェア スイートのインストール ファイル: このソフトウェアは、テスト プログラムを開発および実行できる環境を提供し、テスト プログラムを機器にロードする機能を備えています。機器にロードされたプログラムを実行すると、テストを実行する際にホスト コンピュータから機器に個々のコマンドを送信する必要がなくなります。

**Keithley KickStart Startup ソフトウェア CD-ROM には、以下のものが含まれます。**

- **KickStart ソフトウェアのインストール ファイルおよびリリース ノート:** Keithley KickStart は、プログラミング コマンドを送信することなく、簡単ないくつかの手順で機器のセットアップやテストの実行を可能にするソフトウェア プログラムです。
- **KickStart ソフトウェア クイック スタート ガイド:** 素早く測定を行い、テスト スクリプトをプログラミングせずに結果を得るための指示を提供します。

最新のドライバおよび追加サポート情報については、[ケースレーインストルメンツ のウェブサイト \(http://www.keithley.jp\)](http://www.keithley.jp) を参照してください。

## マニュアル セクションの構成

このマニュアルは以下のセクションで編成されています。

- [フロント パネルのインタフェースの使用](#) (ページ 2-1): フロント パネルのインタフェースの使用に関する基本情報について説明します。
- [リモート インタフェースの使用](#) (ページ 3-1): リモート通信および機器の Web インタフェースの使用に関する基本情報について説明します。
- [アプリケーション](#) (ページ 1-3): 2450 型を使用する方法についての詳細な例を提供します。
- [トラブルシューティング FAQ](#) (ページ 10-1): 2450 型で発生する一般的な問題をトラブルシューティングするのに役立つ、よくある質問に対する答えを提供します。
- [次のステップ](#) (ページ 11-1): 2450 型を使用する際に役立つ追加リソースに関する情報を提供します。

PDF 版では、各セクションのしおりが提供されています。さらに、巻頭の目次にはマニュアルのセクションが記載されています。

しおりの詳細については、Adobe® Acrobat® または Reader® のヘルプを参照してください。

## アプリケーション

ケースレーインストルメンツ 2450 型はスタンドアロン機器として使用するだけでなく、リモート インタフェースから制御することができます。このマニュアルは、フロント パネルから、およびリモート インタフェースを使用してテストを実行する方法を示すアプリケーションの例を提供します。これらのアプリケーションは 2450 型に関するサマリ情報の後に表示されます。これには、以下のものが含まれます。

- [基本的なフロント パネルの測定](#) (ページ 4-1): 1 台の 2450 型および 2 端子の被測定デバイス (DUT) を使用した基本的な測定機能について説明します。
- [低抵抗の測定](#) (ページ 5-1): 4 線リモート センスを使用して電流の強制および抵抗の測定を行う 20 mΩ 抵抗での低抵抗の測定について説明します。
- [漏れ電流および絶縁抵抗](#) (ページ 6-1): 2450 型を使用して、キャパシタの漏れ電流の測定、同軸ケーブルの導体間の絶縁抵抗の測定の 2 つを説明します。
- [FET の I-V 特性の測定](#) (ページ 7-1): 2 台の 2450 型を使用して 3 端子 MOSFET で I-V 特性 ( $V_{ds}$ - $I_d$ ) を実行する方法について 2 つの例で説明します。1 つの例は 2450 型トリガ モデルを使用して、もう 1 つの例では線形掃引コマンドを使用して測定を行います。
- [充電式バッテリーの測定](#) (ページ 8-1): 1 台の 2450 型を使用して自動バッテリー放電および充電サイクル テストを実行する方法について説明します。
- [太陽電池の I-V 特性の測定](#) (ページ 9-1): I-V 掃引を使用して、2450 型のフロント パネルから、およびリモートで太陽電池の特性を明らかにする方法について説明します。



## フロント パネルのインタフェースの使用

このセクションの内容は以下のとおりです

フロント パネルの概要.....	2-1
機器をオンまたはオフに切り替える.....	2-3
2450 型の出力をオンまたはオフにする .....	2-4
タッチスクリーン インタフェースを使用する.....	2-5
USB フラッシュ ドライブに測定を保存する.....	2-8
USB フラッシュ ドライブにスクリーン キャプチャを保存する .....	2-8

### フロント パネルの概要

2450 型のフロント パネルを以下に示します。図の後に、フロント パネルのコントロールに関する説明が提供されています。



図 1: 2450 型のフロント パネル



POWER [電源] スイッチ		機器をオンまたはオフに切り替える。機器をオンにする場合は、POWER [電源] スイッチを押してスイッチが (I) の位置にくるようにします。2450 型をオフにする場合は、POWER [電源] スイッチを押してスイッチが (O) の位置にくるようにします。
HOME [ホーム] キー		表示をホーム (デフォルト) 画面に戻します。
MENU [メニュー] キー		メイン メニューを開きます。メイン メニューのアイコンを押すと、ソース、測定、ビュー、トリガ、スクリプト、およびシステム画面が開きます。
QUICKSET [クイック設定] キー		電圧計、電流計、抵抗計、電源のセットアップを含む、事前構成されたセットアップのメニューが開きます。さらに、テスト機能を選択して、より優れた分解能または速度を得るために性能を調整することができます。
HELP [ヘルプ] キー		画面上で選択されている領域またはアイテムに関するヘルプを開きます。 <b>HELP [ヘルプ]</b> キーを押したときに選択された領域またはアイテムがない場合は、表示中の画面の概要情報が表示されます。

USB ポート		フロント パネルから USB フラッシュ ドライブにデータを保存するか、あるいはリモート インタフェースから USB フラッシュ ドライブにデータを保存するスクリプトを作成できます。フラッシュ ドライブは FAT ドライブとしてフォーマットされている必要があります。USB 2.0 規格、USB 1.0 および 1.1 規格に準拠するフラッシュ ドライブをサポートします。
タッチスクリーン		2450 型には、追加のスワイプ画面を備えた、高解像度の 5 インチのカラー タッチ スクリーンが提供されています。フロント パネルの <b>MENU</b> [メニュー]、 <b>QUICKSET</b> [クイック設定]、 <b>FUNCTION</b> [機能] キーを押すことによって、追加の対話式スクリーンにアクセスできます。
ナビゲーション コントロール		<b>ナビゲーション コントロールを切り替えて、次のことを行います。</b> カーソルを左または右に移動させ、リスト値またはメニュー アイテムを強調表示して選択できるようにします。カーソルが値エントリ フィールドにある場合にコントロールを切り替えると、フィールド内の値が増減します。 <b>ナビゲーション コントロールを押して、次のことを行います。</b> 強調表示された選択肢を選択したり、選択されているフィールドを編集したりできるようにします。
ENTER [決定] キー		強調表示された選択肢を選択したり、選択されているフィールドを編集したりできるようにします。
EXIT [終了] キー		前の画面に戻ったり、ダイアログ ボックスを閉じたりします。例えば、メイン メニューが表示されていてホーム画面に戻る場合に <b>EXIT</b> [終了] キーを押します。サブ画面 (例、Event Log [イベント ログ] 画面) を表示している場合、 <b>EXIT</b> [終了] キーを押すと、メイン メニュー画面に戻ります。
FUNCTION キー		機器のソースおよび測定機能を表示します。機能を選択するには、タッチスクリーン上でその機能にタッチします。また、ナビゲーション コントロールを切り替えて機能を強調表示してから、コントロールを押して機能を選択することもできます。
TRIGGER [トリガ] キー		トリガに関連した設定および操作にアクセスします。 <b>TRIGGER</b> [トリガ] キーを押したときのアクションは、機器の状態によって異なります。
OUTPUT ON/OFF [出力オン/オフ] スイッチ		ソース出力をオンまたはオフに切り替えます。ソース出力がオンになっているときは、キーが点灯します。
REMOTE LED インジケータ	REMOTE ●	機器がリモート インタフェースによって制御されている場合に点灯します。
LAN LED インジケータ	LAN ●	機器が LAN に接続されている場合に点灯します。
1588 LED インジケータ	1588 ●	機器が IEEE1588 準拠のデバイスに接続されている場合に点灯します。1588 機能は、現時点ではサポートされていないことに注意してください。この機能は、ファームウェア更新により利用可能になります。詳しくは、2450 型リリースノートまたは <a href="http://www.keithley.com">ケースレーインストルメンツ のウェブサイト (http://www.keithley.com)</a> を参照してください。
INTERLOCK LED インジケータ	INTERLOCK ●	インターロックが有効になっている場合に点灯します。
SENSE 端子		SENSE HI および SENSE LO 端子接続を使用して、被測定デバイス (DUT) で電圧を測定します。センス リードを使用すると、フォース リード間の電圧低下の測定は除去されます。そのため、DUT で電圧ソースおよび測定をより正確に実行することができます。
FORCE 端子		FORCE HI および FORCE LO 端子接続を使用して、被測定デバイス (DUT) との間で電圧または電流をソースまたはシンクします。



FRONT/REAR TERMINALS スイッチ		フロント パネルまたはリア パネルの端子を有効にします。フロント パネル端子が有効である場合、FRONT/REAR [フロント/リア端子] スイッチの左に緑色の「F」が表示されます。リア パネル端子が有効である場合、FRONT/REAR [フロント/リア端子] スイッチの左に黄色の「R」が表示されます。
シャーシ接地		シャーシ接地を提供するバナナ ジャック コネクタ。

## 機器をオンまたはオフに切り替える

2450 型をコンセントに接続して、機器をオンにするには、以下のステップに従ってください。2450 型の動作電圧は 100 V ~ 240 V、電源周波数は 50 Hz または 60 Hz です。電源電圧は自動的に検出されます。機器を利用する地域の電源電圧と互換性があることを確認してください。

定格精度を達成するには、2450 型をオンにして少なくとも 1 時間暖気しておく必要があります。

### ⚠ 注意

機器を不適切な電源電圧で使用すると、損傷につながる可能性があります (この場合、保証を受けられない可能性もあります)。

### ⚠ 警告

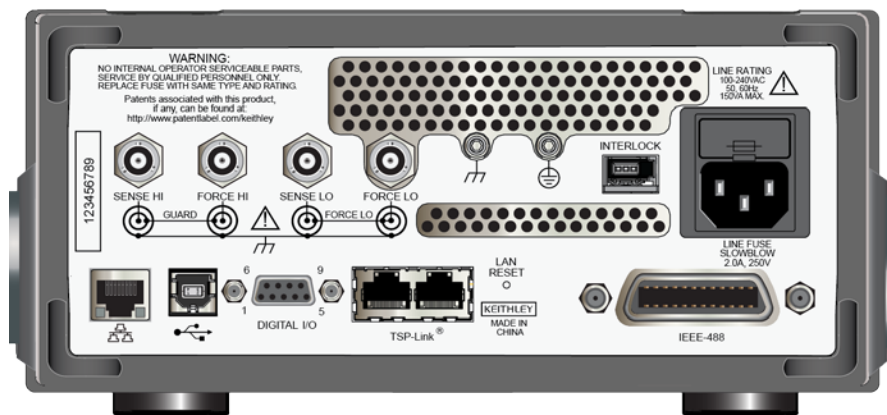
2450 型に付属の電源コードには、アース付きコンセントで使用するための保安接地 (安全接地) 線が付いています。適切に接続を行った場合には、電源コードの接地線によって機器のシャーシが電源線のアース線に接続されます。さらに、リア パネルのネジにも保安接地線が接続され、安全対策が二重化されています。この端子は、既存の保安接地に接続しなければなりません。保安接地線を適切に接続していない場合、および、アース付きコンセントの使用法に誤りがあった場合、感電事故が発生し、負傷または死亡につながる危険性があります。

取外し可能な主電源コードを不適切な定格のコードに取り換えないでください。適切な定格のコードを使用しない場合、感電事故が発生し、負傷または死亡につながる危険性があります。

電源コードを接続するには、以下の手順に従います。

1. フロント パネルの POWER [電源] スイッチがオフ (O) の位置にあることを確認します。
2. 付属の電源コードのメス端子をリア パネルの AC ソケットに差し込みます。
3. 電源コードのもう一方の端子をアース付きの電源コンセントに差し込みます。

図 2: 2450 型のリア パネル



**2450 型の電源をオンまたはオフにするには、以下の手順に従います。**

1. 機器をオンにする前に、すべての被測定デバイス (DUT) を 2450 型から切断します。
2. 機器の電源をオンにするには、フロント パネルの **POWER [電源]** スイッチを押して ON (I) の位置にします。機器の電源をオンにすると、ステータス バーが表示されます。電源がオンになると、Home 画面が表示されます。
3. 機器をオフにするには、フロント パネルの **POWER [電源]** スイッチを押して、オフ (O) の位置にします。

## 2450 型の出力をオンまたはオフにする

2450 型の出力は、フロント パネルから、またはリモート コマンドを送信することによってオンにできます。



### 警告

**2450 型の出力をオフにしても、機器が安全な状態になるわけではありません (この機能にはインターロックが提供されています)。**

危険電圧はすべての出力およびガード端子に存在する可能性があります。ケガまたは死亡事故につながる可能性がある感電事後を防止するために、機器の電源がオンになっている間は **2450 型** を接続したり、切断したりしないでください。ケーブルを扱う前に、フロント パネルから機器をオフにするか、あるいは **2450 型** のリアから主電源コードを取り外してください。機器を **Output-off state** にすると、ハードウェアまたはソフトウェアの障害が発生した場合に出力の電源がオフになる保証はされません。

機器のソースがオフになっていても、機器を外部回路から完全に絶縁することはできません。出力オフ設定を使用して、2450 型を測定待機中 (被測定デバイスを変更する場合など) に既知の非対話式の状態にすることができます。2450 型で選択できる Output-off state は、通常、高インピーダンス、ゼロ、またはガードです。

追加の詳細については、2450 型 *Reference Manual* の「Output-off state」を参照してください。

#### フロント パネルの使用:

**OUTPUT ON/OFF [出力オン/オフ]** スイッチを押します。スイッチが点灯している場合、機器は出力オンの状態にあります。スイッチが点灯していない場合、機器は出力オフの状態にあります。

#### SCPI コマンドの使用:

出力をオンにするには、以下のコマンドを送信します。

```
:OUTPut:STATe ON
```

出力をオフにするには、以下のコマンドを送信します。

```
:OUTPut:STATe OFF
```

#### TSP コマンドの使用:

出力をオンにするには、以下のコマンドを送信します。

```
smu.source.output = smu.ON
```

出力をオフにするには、以下のコマンドを送信します。

```
smu.source.output = smu.OFF
```

## タッチスクリーン インタフェースを使用する

タッチ スクリーンを使用して、フロント パネルを介してソースの設定および測定の設定、システム構成、機器およびテスト ステータス、読み取りバッファ情報、およびその他の機器の機能に素早くアクセスできます。画面には複数のスワイプ スクリーンがあります。フロント パネルの MENU [メニュー]、QUICKSET [クイック設定]、FUNCTION [機能] キーを押すことによって、追加の対話式スクリーンにアクセスできます。

### ⚠ 注意

タッチ スクリーンに触れる場合は、ピンセット、ドライバ、または先のとがった物など、鋭利な金属を使用しないでください。機器を操作する際は、指のみを使用することを強くお勧めします。タッチ スクリーンを操作する際には、クリーンルーム用手袋の使用がサポートされています。

## タッチ スクリーンのナビゲート

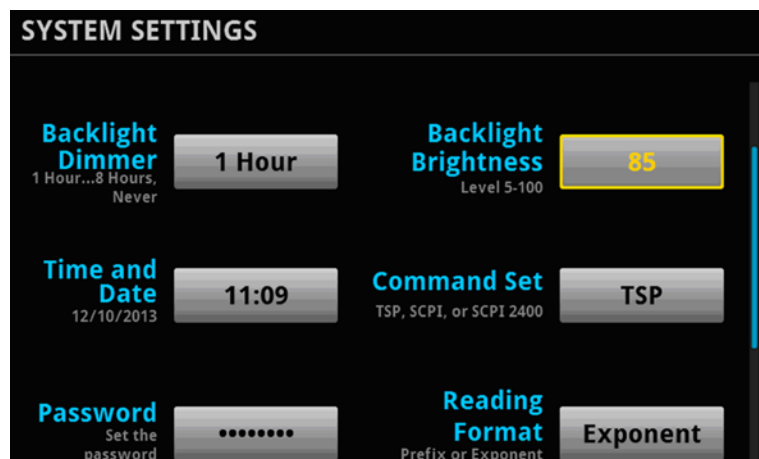
表示されている画面上でアイテムを選択するには、以下のいずれかを行います。

- そのアイテムを指でタッチします。
- ナビゲーション コントロールを切り替えて、そのアイテムを強調表示してから、ナビゲーション コントロールを押してそれを選択します。

### メモ

一部の対話式画面には、画面を下にスクロールするまで追加情報が表示されないアイテムが存在します。画面の右側にあるスクロール インジケータによって、これらの画面が分かります。下にスクロールするには、画面 (スクロール インジケータではない) を下から上に向かって軽くスワイプします。スクロールして上に戻るには、上から下に向かって軽くスワイプします。より多くの量をスクロールする場合には長いスワイプ動作を使用し、より少ない量をスクロールする場合には短いスワイプ動作を使用することによって、画面がスクロールする範囲を制御することができます。以下の図は、スクロール インジケータの例を示しています。

図 3: タッチスクリーン スクロール インジケータ



スクロール バーが表示されている場合、それは、表示されているオプションの上や下にさらにオプションがあることを示しています。

追加のスワイプ画面にアクセスするには、以下の手順に従います。

画面の下半分をタッチし、指で左または右に優しくスワイプします。

以下のトピックでは、2450 型の各画面の詳細について説明しています。

## 対話型スワイプ画面

2450 型タッチ スクリーン画面には複数の画面があり、画面の下半分で左または右を優しくスワイプすることによってアクセスできます。以下のトピックでは、これらの画面のそれぞれについて説明しています。

### SETTINGS [設定] スワイプ画面

SETTINGS [設定] 画面を使用すると、フロント パネルを介して一部の機器設定にアクセスできます。この画面によりそれらの機能を、素早く変更、有効、無効にすることができます。さらに、現在の設定がどのようなものかも表示されます。

図 4: SETTINGS [設定] スワイプ画面



設定を無効または有効にするには、設定の横にあるボックスを選択して X (無効) またはチェック マーク (有効) を表示させます。

### STATISTICS [統計] スワイプ画面

STATISTICS [統計] スワイプ画面には、アクティブ バッファの状態とバッファ内の読み取りに関する情報が含まれています。この画面の **Clear Stats [統計クリア]** ボタンを使用して、統計計算に使用したデータをクリアできます。

図 5: STATISTICS [統計] スワイプ画面



### USER [ユーザ] スワイプ画面

USER [ユーザ] スワイプ画面に表示されるカスタム テキストをプログラムすることができます。例えば、処理中のテストを表示するように 2450 型をプログラムすることができます。

USER [ユーザ] スワイプ画面のカスタム テキストをセット アップするには、TSP または SCPI コマンドをリモート インタフェースから使用します。詳しくは、2450 型 *Reference Manual* を参照してください。

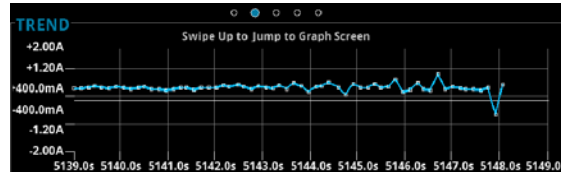
図 6: USER [ユーザ] スワイプ画面上のユーザ定義テキスト



## TREND [傾向] スワイプ画面

TREND [傾向] スワイプ画面には、現在選択されているバッファでの読み取りがグラフ表示されます。

図 7: TREND [傾向] スワイプ画面



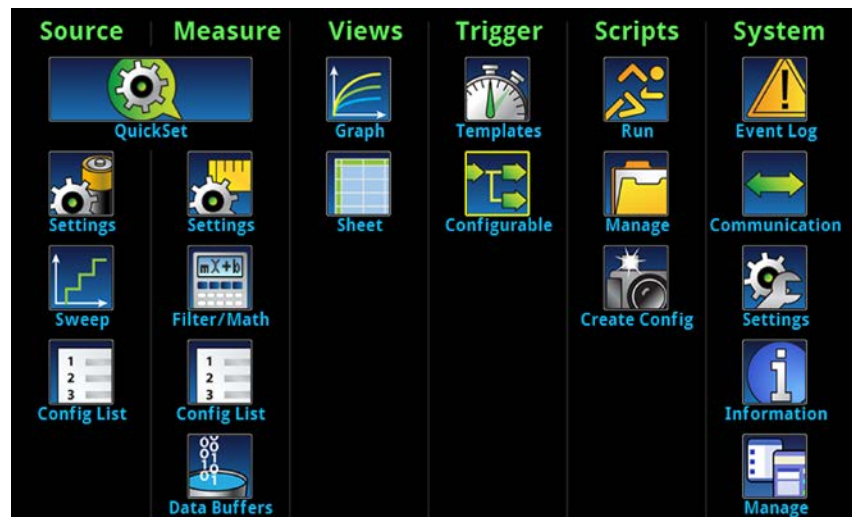
グラフを大きく表示したり、グラフ設定にアクセスしたりする場合は、TREND 画面の上部に向かってスワイプします。こうすると、グラフ画面が開きます。グラフ画面は、MENU [メニュー] キーを押して、Views の Graph [グラフ] を選択しても開けます。

グラフ画面からトリガ モデルまたは掃引を開始するには、インジケータ バーのトリガ モード インジケータを選択します。メニューから Initiate Trigger Model [トリガ モデルの開始] を選択します。TRIGGER [トリガ] キーを押して、トリガ モデルまたは掃引を始めることもできます。

## メニューの概要

メイン メニューにアクセスするには、2450 型フロント パネルの MENU キーを押します。下の図は、メインメニューの編成を示しています。

図 8: 2450 型のメイン メニュー



メイン メニューには 6 つのサブメニューがあります。サブメニューは、画面の上部に緑色でラベルが表示されています。各サブメニューのアイコンによって対話型画面が開きます。

メニューについての詳細は、2450 型 Reference Manual を参照してください。

## USB フラッシュ ドライブに測定を保存する

測定データは、2450 型から USB フラッシュ ドライブにコピーできます。この情報は、.csv ファイル形式で保存されます。

*測定データを保存するには、以下の手順に従います。*

1. フラッシュ ドライブをフロント パネルの USB ポートに挿入します。
2. **MENU** キーを押します。
3. Measure 列で、**Data Buffers** を選択します。
4. 保存するバッファを選択します。
5. **Save to USB** を選択します。
6. 新規ファイルの名前を入力します。
7. 表示されているキーボードで、**OK** ボタンを選択します。
8. ファイルを保存することを確認するには **Yes** を選択します。

## USB フラッシュ ドライブにスクリーン キャプチャを保存する

フロント パネル画面の内容を、グラフィック ファイルに保存できます。この機器は、これらのグラフィック ファイル (スクリーン キャプチャとも呼ばれる) に順序番号を付けて、USB フラッシュ ドライブに保存します。

*スクリーン キャプチャを保存するには、次のようします。*

1. USB フラッシュ ドライブを機器のフロント パネルにある USB ポートに挿入します。
2. キャプチャするスクリーンにナビゲートします。
3. **HOME** [ホーム] キーと **ENTER** [決定] キーを押します。機器は、「Saving screen capture (スクリーン キャプチャの保存中)」を表示します。
4. キーを放します。

# リモート インタフェースの使用

このセクションの内容は以下のとおりです

リモート通信インタフェース .....	3-1
サポートされるリモート インタフェース.....	3-1
GPIB 通信.....	3-2
LAN 通信 .....	3-4
USB 通信.....	3-6
Web インタフェースの使用 .....	3-12
使用するコマンド セットの決定 .....	3-15

## リモート通信インタフェース

いくつかの通信インタフェースのいずれかを選択し、2450 型からコマンドを送信したり、応答を受信したりすることができます。

一度に 1 つの通信インタフェースからしか、2450 型を制御できません。メッセージを最初に受信するインタフェースが機器を制御します。別のインタフェースがメッセージを送信した場合、そのインタフェースが機器を制御できません。アクセス モードによっては、インタフェースを変更するのにパスワードの入力が必要になる場合があります。

通信インタフェースのタイプ (LAN、GPIB、USB) は、機器のリア パネルにあるそれぞれのポートに接続したとき、2450 型が自動的に検出します。ほとんどの場合、機器のなんらかの構成を行う必要はありません。さらに、接続されているインタフェースのタイプを変更する場合、リポートする必要はありません。

## サポートされるリモート インタフェース

2450 型は、以下のリモート インタフェースをサポートしています。

- **GPIB:** IEEE-488 機器の汎用インタフェース バス
- **USB:** タイプ B USB 接続ポート
- **Ethernet:** LAN Ethernet 通信
- **TSP-Link:** テスト システム ビルダがマスタおよび従属構成で複数の機器の接続に使用できる、高速トリガ同期および通信バス。

TSPLink について詳しくは、2450 型 *Reference Manual* の「TSP-Link System Expansion Interface」を参照してください。

## GPIB 通信

2450 型 GPIB インタフェースは IEEE 規格 488.1 準拠であり、IEEE 規格 488.2 共通コマンドおよびステータス モデル トポロジをサポートします。

GPIB には最大 15 個のデバイス (コントローラを含む) を接続できます。ケーブルの最大長は、次のいずれかの短いほうになります。

- 2 m にデバイス数を掛けた数
- 20 m

これらの制限を無視すると、異常なバス操作が行われる可能性があります。

### GPIB ドライバ ソフトウェアのインストール

ドライバの取得先については、GPIB コントローラの資料で確認してください。ケースレーインストルメンツ では、最新バージョンのドライバまたはソフトウェアを GPIB コントローラのウェブサイトを確認することをお勧めします。

ハードウェアを接続する前にドライバをインストールすることが重要です。こうすることにより、不適切なドライバがハードウェアと関連付けられることを防ぎます。

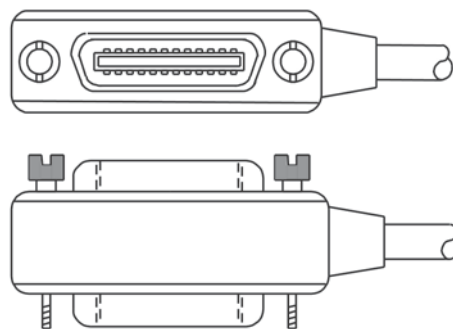
### GPIB カードのコンピュータへのインストール

GPIB コントローラのインストールについては、GPIB コントローラ ベンダの資料を参照してください。

### 機器への GPIB ケーブルの接続

機器を GPIB に接続するには、標準の GPIB コネクタの付いたケーブル (下図を参照) を使用します。

図 9: GPIB コネクタ



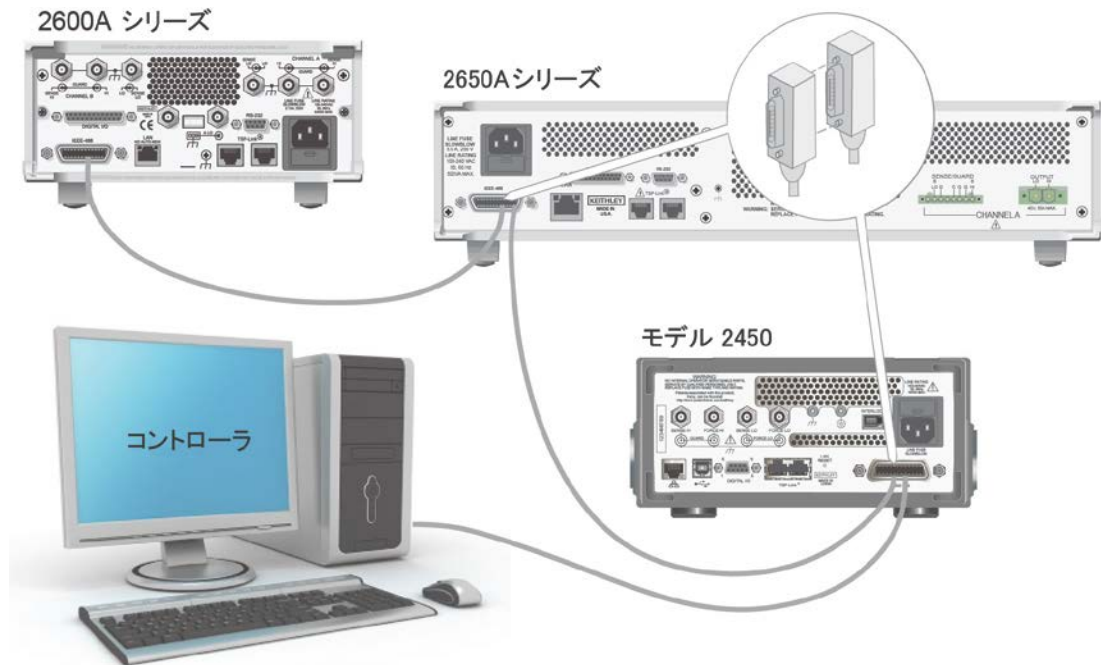
1 台の機器で複数の並行接続を可能にするには、コネクタをスタックします。コネクタを固定するため、各コネクタには 2 つのネジがあります。以下の図は、複数の機器を使用したテスト システムでの一般的な接続ダイアグラムを示しています。



## ⚠ 注意

起こりうる機械的な損傷を防止するため、1 台の機器でスタックするコネクタは 3 つ以下にしてください。電磁放射によって引き起こされる干渉を最小限にするため、シールド付き GPIB ケーブルのみを使用してください。シールド付きケーブルについては、ケースレーインストルメントにお問い合わせください。

図 10: IEEE-488 接続の例



## GPIB アドレスの設定

工場出荷時、GPIB アドレス値は 18 に設定されています。システム内で固有であれば、アドレスを 0 から 30 までの任意のアドレスに設定できます。別の機器に割り当てられたアドレスや、GPIB コントローラに割り当てられたアドレスと同じにすることはできません。

## 💡 ヒント

GPIB コントローラは通常 0 または 21 に設定されています。安全のため、機器のアドレスを 0 または 21 に設定しないようにしてください。コントローラ アドレスを変更するには、コントローラに関する資料を参照してください。

機器は、アドレスを不揮発性メモリに保存します。これは、リセット コマンドを送信したり、電源をオフしてから再度オンにしたりしても、アドレスが変更されないことを意味します。

フロント パネルから GPIB アドレスを設定するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Communication** を選択します。SYSTEM COMMUNICATION ウィンドウが開きます。
3. **GPIB** タブを選択します。
4. Address の横にある数字を選択します。Set GPIB Address ダイアログ ボックスが表示されます。
5. アドレスを入力します。

6. **OK** を選択します。

## LAN 通信

LAN を使用して機器と通信することができます。

LAN を使用して接続すると、Web ブラウザを使用して内部 Web ページにアクセスし、機器の設定の一部を変更することができます。詳しくは、[Web インタフェースの使用](#) (ページ 3-12) を参照してください。

2450 型は、TCP/IP をサポートして IEEE 規格 802.3 (Ethernet LAN) に準拠する、LXI バージョン 1.4 Core 2011 準拠の機器です。10 Mbps または 100 Mbps のネットワークでの完全接続をサポートする LAN ポートが 1 つあります (機器のリア パネルにある)。2450 型は自動的に速度を検出します。

2450 型は、集中管理機能に対応していない LAN で役立つ Multicast DNS (mDNS) および DNS Service Discovery (DNS-SD) もサポートしています。

### メモ

LAN 接続をセットアップする前に具体的なネットワーク要件を確認するには、ネットワーク管理者にお問い合わせください。

LAN をセットアップする際に問題が発生した場合は、[LAN のトラブルシューティング](#) (ページ 3-13) を参照してください。

## 機器での LAN 通信のセットアップ

このセクションでは、機器で LAN 通信を手動または自動でセットアップする方法について説明します。

### 通信設定の確認

LAN 設定をセットアップする前に、変更を行わずに機器の通信設定を確認します。

*機器での通信設定を確認するには、以下の手順に従います。*

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Communication** を選択します。SYSTEM COMMUNICATION ウィンドウが開きます。
3. 4 つのタブ ( **GPIB**、 **USB**、 **LAN**、 **TSP-Link**) のうちの 1 つを選択し、それぞれインタフェースの設定を表示します。
4. 変更を加えずに SYSTEM COMMUNICATION ウィンドウを閉じるには、**EXIT** キーを押します。

### LAN 設定の自動セットアップ

DHCP サーバーを含む LAN に接続している場合、あるいは機器とホスト コンピュータが直接接続されている場合、IP アドレスの自動選択を使用できます。

Auto を選択した場合、機器は DHCP サーバーから IP アドレスを取得しようとします。取得に失敗した場合、アドレスは範囲が 169.254.1.0 から 169.254.254.255 までのローカル IP アドレスになります。

### メモ

ホスト コンピュータと機器の両方を自動に設定しておく必要があります。いずれか一方を手動に設定することもできますが、セットアップが複雑になります。

*フロント パネルを使用して IP アドレスの自動選択をセットアップするには、以下の手順に従います。*

1. Home 画面から、**MENU** を押します。

2. System で、**Communication** を選択します。
3. **LAN** タブを選択します。
4. TCP/IP Mode の場合、**Auto** を選択します。
5. 設定を保存するには、**Apply Settings** を選択します。

## LAN 設定の手動セットアップ

必要に応じて、機器で IP アドレスを手動で設定することができます。

DNS 設定を有効または無効にして、ホスト名を DNS サーバーに割り当てることもできます。

### メモ

企業ネットワークに機器を配置する場合、機器に対して有効な IP アドレスを確保するには、情報技術 (IT) 部門に連絡してください。

機器の IP アドレスには先頭にゼロが含まれていますが、コンピュータの IP アドレスには含めることはできません。

*機器で IP アドレスの手動選択をセットアップするには、以下の手順に従います。*

1. Home 画面から、**MENU** を押します。
2. System で、**Communication** を選択します。
3. **LAN** タブを選択します。
4. TCP/IP Mode の場合、**Manual** を選択します。
5. Local IP の横にあるボタンを選択し、LAN IP アドレスを入力します。変更する番号をタッチすることができます。
6. Gateway の横にあるボタンを選択し、ゲートウェイ アドレスを入力します。
7. Subnet の横にあるボタンを選択し、サブネット マスクを入力します。
8. 設定を保存するには、**Apply Settings** を選択します。

## コンピュータでの LAN 通信のセットアップ

このセクションでは、コンピュータで LAN 通信をセットアップする方法について説明します。

### メモ

IP アドレスを変更する場合は必ずシステム管理者に相談してください。正しくない IP アドレスを入力した場合、会社のネットワークにコンピュータを接続できなかったり、ネットワークの他のコンピュータに干渉したりする恐れがあります。

ネットワーク インタフェース カードの既存のネットワーク設定情報を変更する前に、すべてのネットワーク設定を記録してください。ネットワーク設定が更新されたら、以前の情報は失われます。これにより、ホスト コンピュータを企業ネットワークに再接続する際 (特に、DHCP が無効になっている場合) に問題が発生する可能性があります。

ホスト コンピュータを企業ネットワークに再接続する前にすべての設定を元に戻してください。詳細については、システム管理者にお問い合わせください。

## フロント パネルの LAN ステータス インジケータが緑に点灯するまで待機する

LAN ステータス インジケータが緑に点灯したら、機器に IP アドレスが割り当てられたことが分かります。コンピュータおよび機器の接続が確立されるまでに数分かかる場合があることに注意してください。

## LXI Discovery Browser ソフトウェアをコンピュータにインストールする

---

LXI Discovery Browser を使用して、LXI 認証機器の IP アドレスを特定することができます。特定されたら、LXI Discovery Browser の IP アドレスをダブルクリックして、機器の Web インタフェースを開くことができます。

Keithley LXI Discovery Browser は機器の CD から入手できます。[ケースレーインストルメンツ のウェブサイト \(http://www.keithley.jp\)](http://www.keithley.jp) から入手できます。

**Keithley のウェブサイト**で **Keithley LXI Discovery Browser** を見つけるには、以下の手順に従います。

1. サポートタブを選択します。
2. モデル番号ボックスで、2450 と入力します。
3. リストから **Software** を選択し、検索アイコンをクリックします。機器のソフトウェア アプリケーションのリストが表示されます。
4. 詳細については、アプリケーションに付属している readme ファイルを参照してください。

LXI Consortium の詳細については、[LXI Consortium のウェブサイト \(http://www.lxistandard.org/\)](http://www.lxistandard.org/) を参照してください。

## LXI Discovery Browser を実行する

---

**LXI Discovery Browser ソフトウェアを実行するには、以下の手順に従います。**

1. Windows [スタート] メニューから、**ケースレーインストルメンツ** を選択します。
2. LXI Discovery Browser を選択してから、**LXI Discovery Browser** をダブルクリックします。Keithley LXI Discovery Browser ウィンドウが表示されます。

Browser には、ネットワーク上で発見した機器とそれに関連した IP アドレスが表示されます。

3. LXI Discovery Browser ダイアログ ボックスの IP アドレスをダブルクリックします。その機器の Web ページが開きます。

Web ページの使用法についての詳細は、2450 型 *Reference Manual* の「Web Interface」トピックを参照してください。

## USB 通信

リア パネルの USB ポートを使用する場合は、ホスト コンピュータに VISA (Virtual Instrument Software Architecture) レイヤがなければなりません。詳細については、2450 型 *Reference Manual* の「How to install the Keithley I/O Layer」を参照してください。

VISA は USBTMC (USB Test and Measurement Class) プロトコルに対応する USB クラス ドライバを含み、このドライバをインストールすると、Microsoft® Windows® オペレーティング システムが機器を認識できるようになります。

USBTMC または USBTMC-USB488 プロトコルをインプリメントした USB デバイスをコンピュータに接続すると、VISA ドライバがそのデバイスを自動的に検出します。VISA ドライバが自動認識するのは USBTMC および USBTMC-USB488 デバイスのみであることに注意してください。プリンタ、スキャナ、およびストレージ デバイスなどの他の USB デバイスは認識しません。

このセクションでの「USB 機器」は、USBTMC または USBTMCUSB488 プロトコルをインプリメントしたデバイスのことです。

## USB を使用してコンピュータを 2450 型に接続する

USB 接続を使用して 2450 型をコンピュータに接続するには、ケースレーインストルメンツ モデル USB-B-1 (機器に付属) を使用します。

各 2450 型は、コンピュータに接続するのにそれぞれの USB ケーブルを必要とします。

**USB を使用して機器をコンピュータに接続するには、以下の手順に従います。**

1. ケーブルのタイプ A の端をコンピュータに接続します。
2. ケーブルのタイプ B の端を機器に接続します。
3. 機器の電源をオンにします。コンピュータが新しい USB 接続を検出すると、[新しいハードウェアの検出] ウィザードが開始します。
4. [ソフトウェア検索のため、Windows Update に接続しますか?] ダイアログ ボックスが開いたら、[いいえ] をクリックし、[次へ] をクリックします。
5. [USB Test and Measurement device] ダイアログ ボックスで、[次へ] をクリックし、[完了] をクリックします。

## 機器との通信

USB デバイスと通信する機器には NI-VISA™ を使用する必要があります。VISA で正しい USB 機器に接続するには、次のフォーマットのリソース文字列が必要です。

```
USB0::0x05e6::0x2450::[serial number]::INSTR
```

ここで:

- 0x05e6: Keithley ベンダ ID
- 0x2450: 機器のモデル番号
- [serial number]: 機器のシリアル番号 (シリアル番号はリア パネルにもあります)
- INSTR: USBTMC プロトコルの使用

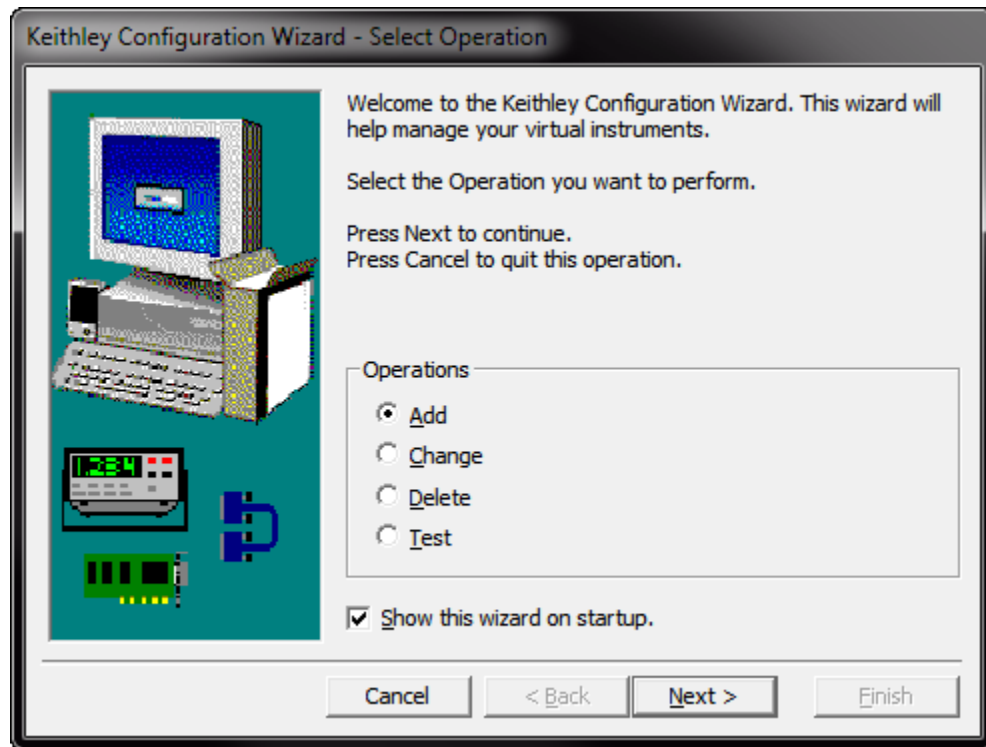
これらのパラメータを確認するために、コンピュータに接続されているすべての機器を自動的に検出する Keithley Configuration Panel を実行できます。

Keithley I/O Layer をインストールした場合、Microsoft® Windows® [スタート] メニューから Keithley Configuration Panel にアクセスできます。

Keithley Configuration Panel を使用して VISA リソース文字列を確認するには、以下の手順に従います。

1. [スタート] > [すべてのプログラム] > [ケースレーインストルメンツ] > [Keithley Configuration Panel] をクリックします。Select Operation ダイアログ ボックスが表示されます。

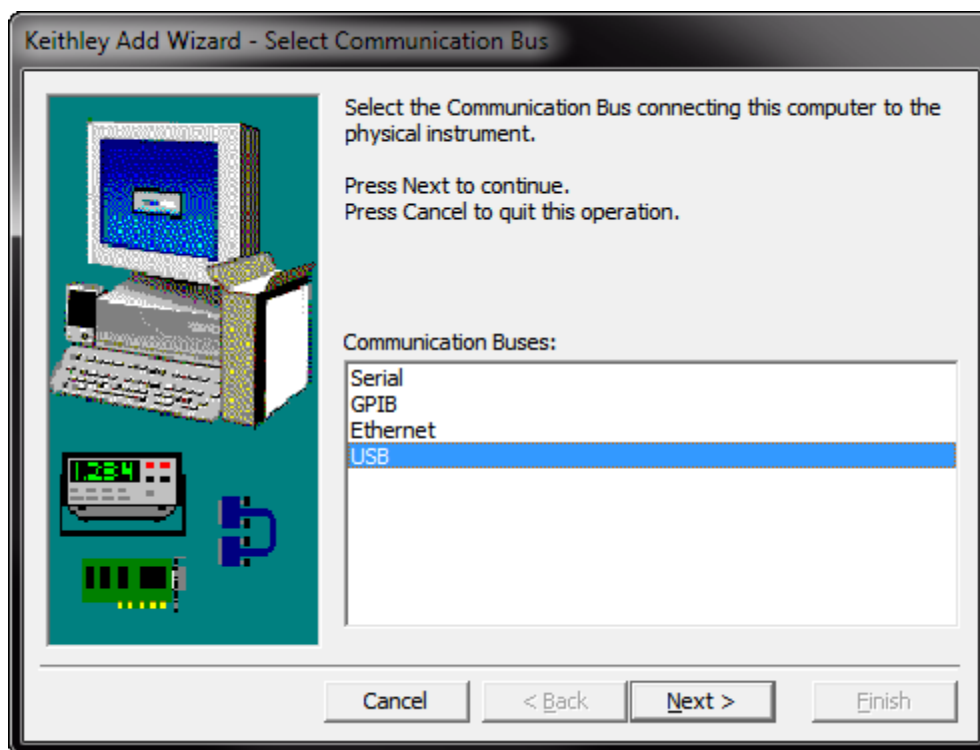
図 11: Select Operation ダイアログ ボックス



2. **Add** を選択します。

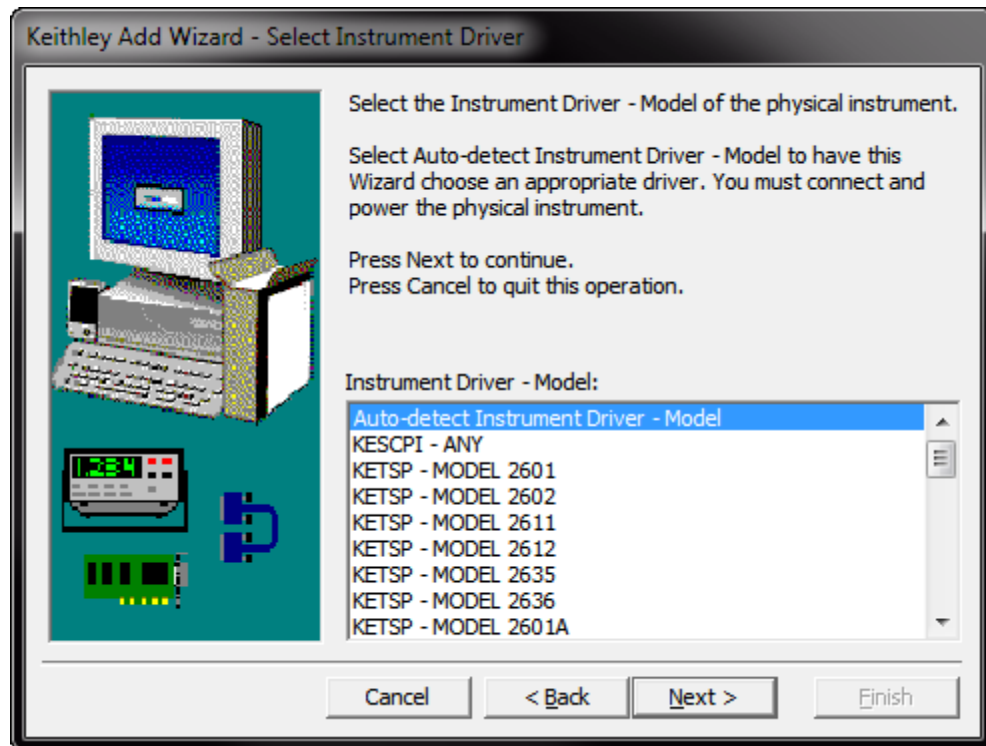
3. **Next** をクリックします。Select Communication Bus ダイアログ ボックスが表示されます。

図 12: Select Communication Bus ダイアログ ボックスの選択



4. **USB** を選択します。
5. **Next** をクリックします。Select Instrument Driver ダイアログ ボックスが表示されます。

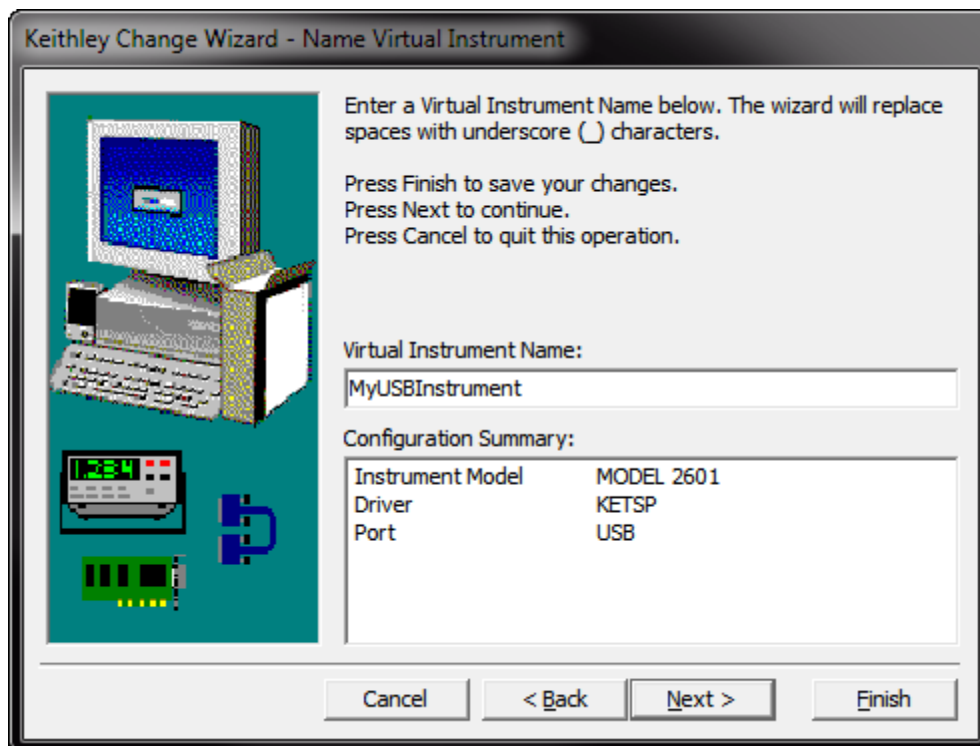
図 13: Select Instrument Driver ダイアログ ボックスの選択



6. **Auto-detect Instrument Driver - Model** を選択します。
7. **Next** をクリックします。Configure USB Instrument ダイアログ ボックスが表示され、検出された機器の VISA リソース文字列が示されます。
8. **Next** をクリックします。Name Virtual Instrument ダイアログ ボックスが表示されます。



図 14: Name Virtual Instrument ダイアログ ボックス

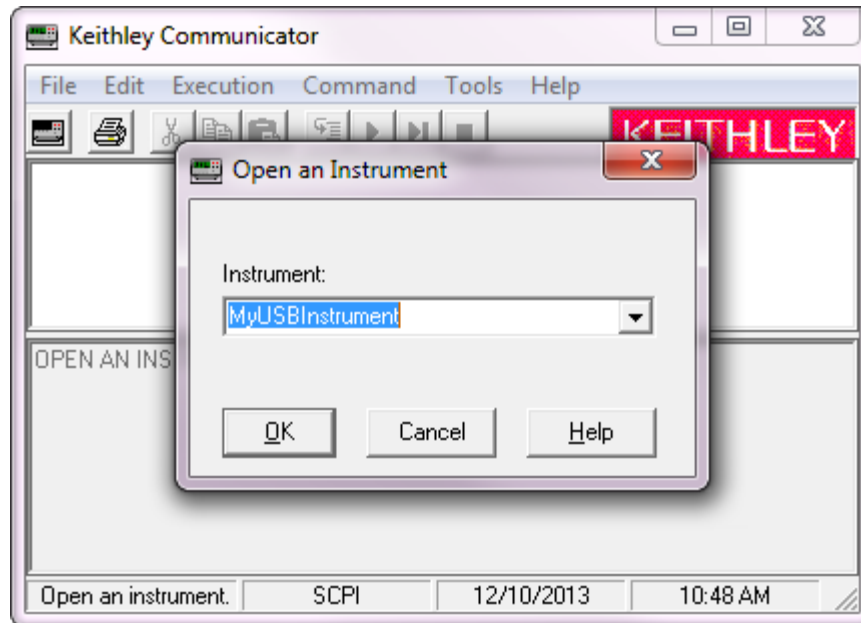


9. Virtual Instrument Name ボックスに、機器の参照に使用する名前を入力します。
10. **Finish** をクリックします。
11. **Cancel** をクリックしウィザードを閉じます。
12. 設定を保存します。Keithley Configuration Panel から **File > Save** を選択します。

Keithley Communicator で機器を確認するには、以下の手順に従います。

1. [スタート] > [すべてのプログラム] > [ケースレーインストルメンツ] > [Keithley Communicator] をクリックします。
2. **File > Open Instrument** を選択して、直前の手順で名前を付けた機器を開きます。

図 15: Keithley Communicator の Open Instrument



3. **OK** をクリックします。
4. コマンドを機器に送信し、応答の有無を確認します。

## メモ

システムにフルバージョンの NI-VISA があれば、NI-MAX または VISA Interactive Control ユーティリティを実行できます。詳細は、National Instruments の資料を参照してください。

システムに Agilent IO Libraries があれば、Agilent Connection Expert を実行して USB 機器を照合できます。詳細は、Agilent の資料を参照してください。

## Web インタフェースの使用

2450 型 Web インタフェースを使用して、機器に関する基本的な情報の確認、IP 設定の変更、Web インタフェースのパスワードの変更、および LXI エラーの表示を行うことができます。

## 機器の Web インタフェースへの接続

LAN と機器が接続を確立したら、機器の Web ページを開くことができます。

*Web インタフェースにアクセスするには、以下の手順に従います。*

1. ホスト コンピュータで Web ブラウザを開きます。
2. Web ブラウザのアドレス ボックスに機器の IP アドレスを入力します。例えば、機器の IP アドレスが 192.168.1.101 である場合、ブラウザのアドレス ボックスに 192.168.1.101 と入力します。
3. コンピュータのキーボードの **Enter** を押して、機器の Web ページを開きます。
4. プロンプトが表示された場合は、ユーザ名およびパスワードを入力します。デフォルトは両方とも admin です。

## LAN のトラブルシューティング

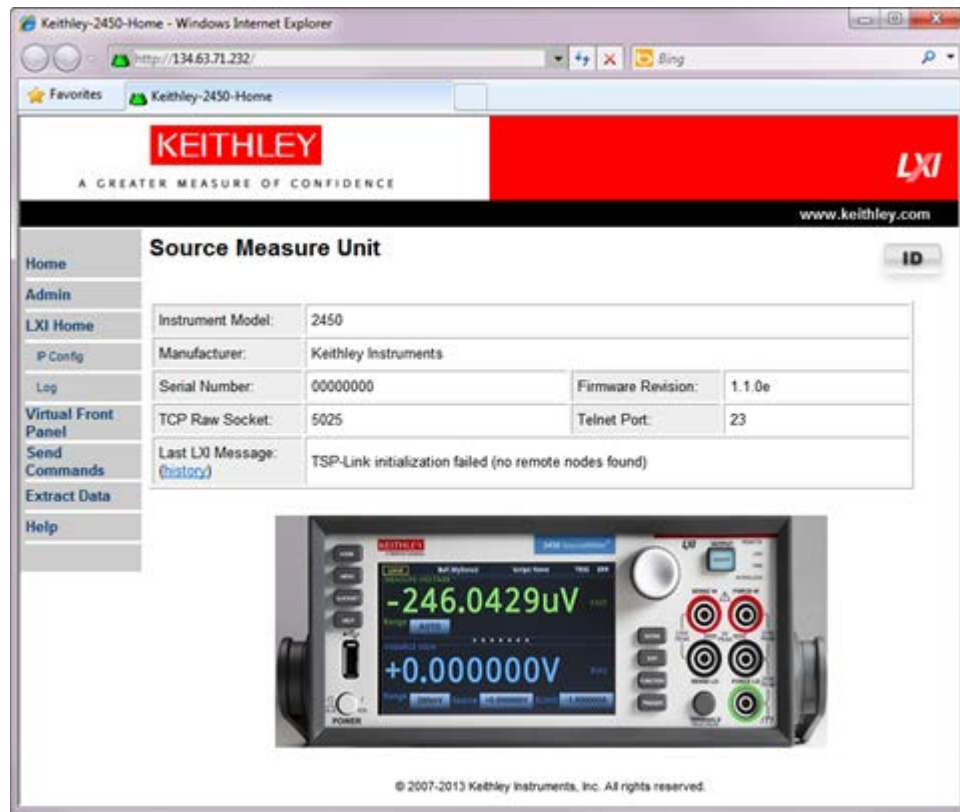
機器の Web インタフェースに接続できない場合、以下の項目をチェックします。

- ネットワーク ケーブルが、TSP-Link<sup>®</sup> ポートの 1 つではなく、機器のリア パネルの LAN ポートに接続されていることを確認します (リア パネルの概要の説明を参照)。
- ネットワーク ケーブルがコンピュータの正しい接続ポートに接続していることを確認します。ノート PC をドッキング ステーションで使用していると、ノート PC の LAN ポートが無効になっている場合があります。
- セットアップ手順が、正しいイーサネット カードの設定情報を使用していたか確認します。
- コンピュータのネットワーク カードが有効になっているか確認します。
- 機器の IP アドレスが、コンピュータの IP アドレスと互換性があるか確認します
- 機器のサブネット マスク アドレスがコンピュータのサブネット マスク アドレスと同じであるか確認します。
- コンピュータを再始動します。
- 機器の電源をいったんオフにしてから、オンにします。ネットワークの構成が完了するまで、少なくとも 60 秒待ちます。正しい設定が機器に割り当てられているか確認するは、以下の手順に従います。
  1. **MENU** キーを押します。
  2. System で、**Communication** を選択します。
  3. LAN タブを選択します。
  4. 設定を確認します。

上記のアクションでも問題が修正されない場合、システム管理者に連絡してください。

## Web インタフェースのホーム ページ

図 16: 2450 型の Web インタフェースのホーム ページ



Web インタフェースのホーム ページでは、以下を含む機器に関する基本的な情報が提供されます。

- 機器モデル、シリアル番号、ファームウェア リビジョン、および最新の LXI メッセージ
- 機器を探すのに役立つ ID ボタン
- 機器を制御するために使用できる仮想フロント パネル
- 管理オプションおよび LXI 情報を含む、機器の Web オプションのリンク。

## 機器の特定

多数の機器が存在する場合は、ID をクリックしてどの機器と通信しているかを判別します。

機器を特定しようとする前に、機器がリモート接続されていることを確認してください。

**機器を特定するには、以下の手順に従います。**

Home ページの右上隅で、ID をクリックします。

ボタンが緑色 ID に変わり、機器の LAN ステータス インジケータが点滅します。

ID を再度クリックすると、色は元に戻り、LAN ステータス インジケータは点滅しなくなります。

## イベント ログでの LAN トリガ イベントの確認

イベント ログは、機器が生成および受信したすべての LXI イベントを記録します。イベント ログは、コマンド インタフェースまたは埋め込み Web インタフェースを使用して表示できます。ログには次の情報が含まれています。

- EventID 列には、イベントを生成したイベント ID が表示されます。
- System Timestamp 列には、イベントが発生したときの秒およびナノ秒が表示されます。
- Data 列には、イベント メッセージのテキストが表示されます。

## 使用するコマンド セットの決定

2450 型で使用するコマンド セットは変更することができます。使用可能なリモート コマンド セットには、次のものが含まれます。

- SCPI: SCPI 規格で作成された機器固有の言語。
- TSP: 個々のコマンドを送信するのに使用したり、複数のコマンドをスクリプトに結合するのに使用したりできるプログラミング言語。
- SCPI 2400: 以前のシリーズ 2400 機器で開発されたコードを実行できる機器固有の言語。

複数のコマンド セットを結合することはできません。

ケースレーインストルメンツ から発送された時点で、2450 型は 2450 型 SCPI コマンド セットで機能するように設定されています。

### メモ

SCPI 2400 コマンド セットを選択した場合、SCPI コマンド セットで使用できていた一部の拡張範囲および他の機能にアクセスできなくなります。さらに、2450 型でのシリーズ 2400 コードの動作は、それ以前の機器での動作と異なります。相違点についての詳細は、2450 型 *Reference Manual* の「Model 2450 in a Model 2400 application」を参照してください。

#### フロント パネルの使用:

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択します。
4. コマンド セットを選択します。
5. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。

**リモート インタフェースから SCPI コマンド セットに変更するには、以下のようになります。**

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI
```

機器をリブートします。

**リモート インタフェースから TSP コマンド セットに変更するには、以下のようになります。**

次のコマンドを送信します。

```
*LANG TSP
```

機器をリブートします。

**リモート インタフェースから SCPI 2400 コマンド セットに変更するには、以下のようになります。**

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI2400
```

機器をリブートします。

**どのコマンド セットが選択されているか確認するには、以下のようになります。**

次のコマンドを送信します。

```
*LANG?
```

# フロント パネルの基本的な測定

このセクションの内容は以下のとおりです

はじめに.....	4-1
このアプリケーションに必要な機器.....	4-2
デバイスの接続.....	4-2
フロント パネルでの測定.....	4-2

## はじめに

2450 型を使用して、フロント パネルから印加および測定を行うことができます。

### メモ

他の機器の設定に変更を加える前に印加および測定機能を選択してください。設定オプションは、変更を加える際にアクティブになっている機能によって異なります。アクティブな機能と互換性のない変更を加えると、予期しない結果が発生したり、イベント メッセージを受け取ったりする場合があります。別の機能を選択すると、機器がバッファをクリアすることにも注意してください。このマニュアルのアプリケーションは、最適な結果を得るために操作を実行するべき順序を説明しています。

このアプリケーションでは、電圧を印加して電流を測定することによって、10 k $\cdot$  抵抗で測定を行います。適切な印加値が使用されている場合、同様の測定はすべての 2 端子被測定デバイス (DUT) で行うことができます。

次のようないくつかの方法を使用して、2450 型を素早くセットアップしてフロント パネルから測定を行えます。

- **クイック設定を使用する。QUICKSET [クイック設定]** キーを押すと、電圧計、電流計、抵抗計、および電源のセットアップを含む、事前構成されたセットアップのメニューが開きます。さらに、テスト機能を選択して、より優れた分解能または速度を得るために性能を調整することができます。
- **印加と測定機能を選択する。FUNCTION [機能]** キーを押して、すべての印加と測定機能のリストから選択します。
- **メニュー オプションを使用する。MENU [メニュー]** キーを押すと、オプションのメニューが開きます。

印加および測定機能を選択した後で、2450 型のホーム ページおよび SETTINGS [設定] スワイプ画面上でボタンを選択し、設定を変更します。

このアプリケーションの測定をセットアップする場合は、上述の方法を組み合わせで使用します。

## このアプリケーションに必要な機器

このアプリケーションに必要な機器。

- 2450 型 ソースメータ
- 2 本の絶縁されたバナナ ケーブル (2450 型に付属している、ケースレイインストルメンツ 8608 型安全クリップ リード線セットを使用できます)
- テストする 10 kΩ 抵抗 1 つ

## デバイスの接続

2450 型を 2 線 (ローカル センス) コンフィグレーションで抵抗に接続します。このコンフィグレーションでは、FORCE HI 端子と FORCE LO 端子との間でデバイスが接続されます。

以下の図に、フロント パネルへの物理接続を示します。

### メモ

2450 型に接続を行う前に、機器の電源をオフにしてください。

図 17: 2450 型の 2 線フロント パネル接続



## フロント パネルでの測定

このアプリケーションでは、以下のことを行います。

- 印加および測定機能を選択する
- 測定範囲を選択する
- 印加レンジを選択する
- 印加値を設定する
- 印加リミットを設定する
- 印加出力をオンにする
- ディスプレイに表示される測定値を観察する
- 印加出力をオフにする



## フロント パネルで測定を行う方法

フロント パネルから測定を行うには、以下の指示に従います。

1. フロント パネルの **POWER** スイッチを押して、機器をオンにします。機器がすでにオンになっている場合はサイクル発電をオンにします。
2. 印加および測定機能を確認します。フロント パネルで、**FUNCTION [機能]** キーを押します。
3. Source Voltage および Measure で、**Current** を選択します。
4. 印加電圧の範囲を選択します。ホーム画面で、SOURCE VOLTAGE の下にある、Range の横にあるボタンを選択します。
5. **20 V** を選択します。
6. 印加電圧を選択します。SOURCE VOLTAGE の下にある、Source の横にあるボタンを選択します。
7. **10 V** を入力し、**OK** を選択します。
8. 印加のリミットを設定します。SOURCE VOLTAGE の下にある、Limit の横にあるボタンを選択します。
9. **10 mA** を入力し、**OK** を選択します。
10. 測定範囲を選択します。ホーム画面の MEASURE 領域で、Range の横にあるボタンを選択します。
11. **Auto** を選択します。
12. **OUTPUT ON/OFF** スイッチを押して、出力をオンにします。OUTPUT インジケータのライトが点灯します。
13. ディスプレイに表示される測定値を観察してください。10 k $\Omega$  抵抗の場合、一般的なディスプレイ値は次のとおりです。  
1.00000 mA  
+10.0000 V
14. 測定が完了したら、**OUTPUT ON/OFF** スイッチを押して出力をオフにします。OUTPUT インジケータのライトが消灯します。



# 低抵抗のデバイスの測定

このセクションの内容は以下のとおりです

はじめに.....	5-1
必要な機器.....	5-1
デバイスの接続.....	5-1
低抵抗の測定.....	5-4

## はじめに

このアプリケーションの例では、2450 型を使用して低抵抗のデバイスを測定する方法について説明します。

多くのアプリケーションで抵抗の低抵抗の測定 (<10 Ω) を行う必要があるかもしれません。通常のアプリケーションには、ケーブルとコネクタ、基板バイアス、および抵抗の導通テストが含まれます。通常、これらの抵抗値測定は、電流の強制、および結果として発生する電圧の低下の測定によって行われます。2450 型は自動的に抵抗値を計算します。測定された電圧は、通常 mV 範囲以下になります。2450 型には、リモートセンスおよびオフセット補正など、低抵抗の測定を最適化するビルトイン機能が備わっています。

## 必要な機器

- 1 台の 2450 型 ソースメータ
- フロント パネル接続の場合、ケースレーインストルメンツ 8608 型 安全クリップ リード線セットなどの、4 本の絶縁バナナ ケーブルを使用します (2450 型には 1 セットが付属しています。もう 1 セットが必要です)。
- 4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブル (リア パネル接続の場合)
- テストする低抵抗のデバイス 1 つ (ここで示されている用途では 20 mΩ 抵抗を使用)

## デバイスの接続

測定の精度を最良のものにするため、このテストでは 4 線 (ケルビン) 測定メソッドを使用します。この方法により、測定精度の点で、リード線抵抗の影響を取り除きます。これが、低抵抗を測定する場合の優先メソッドになります。

4 線接続メソッドを使用するには、以下の手順に従います。

- テスト リード 1 セットを FORCE LO および FORCE HI 端子に接続します。このセットアップは、被測定デバイスを介して電流を強制します。
- テスト リードのもう 1 セットを SENSE HI および SENSE LO 端子に接続します。これらの端子は、DUT 間の電圧低下を測定します。

**警告**

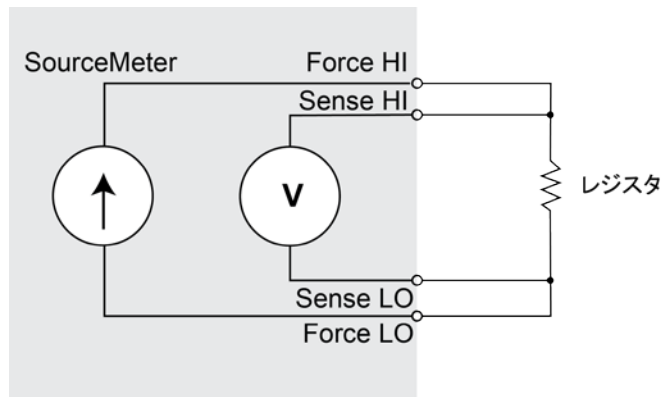
危険電圧はすべての出力およびガード端子に存在する可能性があります。ケガまたは死亡事故につながる可能性がある感電事後を防止するために、出力がオンになっている間は 2450 型を接続したり、切断したりしないでください。

関電を防ぐには、人員が導体に触れられないようにするか、またはすべての被測定デバイス (DUT) が導体にふれないようにテスト接続を構成しなければなりません。機器から DUT を切断してから、機器をオンにするのは良い習慣です。安全な設置には、導体に触れないようにする、適切なシールド、障壁、接地が必要です。

保安接地 (安全接地) と 2450 型の LO 端子との内部接続はありません。このため、LO 端子で危険電圧 ( $30 V_{rms}$  を超える) が発生する可能性があります。これは、機器が操作されるどのモードでも発生する可能性があります。危険電圧が LO 端子で発生しないようにするには、ご使用のアプリケーションで許可されている場合、LO 端子を保安接地に接続します。LO 端子をフロント パネルのシャーシ接地端子あるいはリア パネルのシャーシ接地ネジに接続することができます。フロント パネル端子はリア パネル端子とは分離していることに注意してください。このため、フロント パネル端子を使用している場合は、フロント パネルの LO 端子に接地してください。リア パネル端子を使用している場合は、リア パネルの LO 端子に接地してください。

次の図は、このアプリケーションの回路図を示します。

図 18: 4 線コンフィグレーションを使用した電流の印加および抵抗値の測定



このアプリケーションには、フロント パネル端子またはリア パネル端子のどちらでも使用できます。フロント パネルおよびリア パネルの物理接続を以下の図に示します。フロント パネル端子またはリア パネル端子のいずれか一方を使用する必要があることに注意してください。接続を混在させることはできません。

リア パネルの接続はトライアキシャル (三重同軸) になっています。フロント パネル接続は、安全なバナナジャックになっています。

2450 型に接続を行う前に、機器の電源をオフにしてください。

リードを被測定デバイス (DUT) に接続する場合、FORCE LO および SENSE LO 接続は DUT リードの 1 本に接続することになります。FORCE HI および SENSE HI 接続はもう 1 本のリードで行います。センス接続を可能な限り被測定抵抗の近くに接続します。この 4 線測定は、測定用のテスト リードの抵抗を取り除きます。

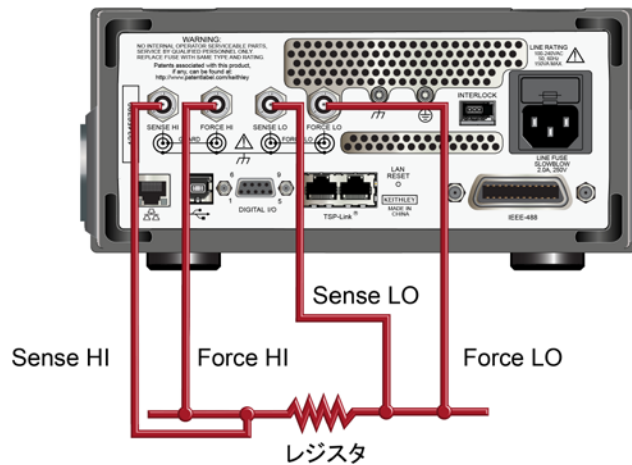
以下の図はフロント パネル接続を示しています。これらの接続は、ケースレーインストルメンツ モデル 8608 安全クリップ リード線セットを 2 セットなど、4 本の絶縁バナナ ケーブルを使用して行うことができます。

図 19: 低抵抗の測定用のフロント パネル接続



以下の図はリア パネル接続を示しています。これらの接続は 4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブルを使用して行うことができます。

図 20: 低抵抗の測定用のリア パネル接続



## 低抵抗の測定

このアプリケーションでは、2450 型を使用して低抵抗のデバイスを測定する方法について説明します。フロント パネルからまたは SCPI コードか TSP コードを使用してリモート インタフェースにより測定できます。

このアプリケーションでは、以下のことを行います。

- 機器をリセットします。
- 印加電流および抵抗値測定機能を選択します。
- 電流源値を設定します。
- 4 線 (リモート センス) モードを選択します。これにより、測定精度におけるリード抵抗の影響が取り除かれます。
- オフセット補正を有効にします。これにより、熱電圧によって発生するオフセットが軽減されます。オフセット補正について詳しくは、2450 型 *Reference Manual* の「What is offset compensation?」を参照してください。
- 印加出力をオンにして、測定を開始します。
- フロント パネルまたはリモート インタフェースから値を読み取ります。
- 印加出力をオフにします。

### フロント パネルから測定をセットアップする

フロント パネルからアプリケーションをセットアップするには、以下の手順に従います。

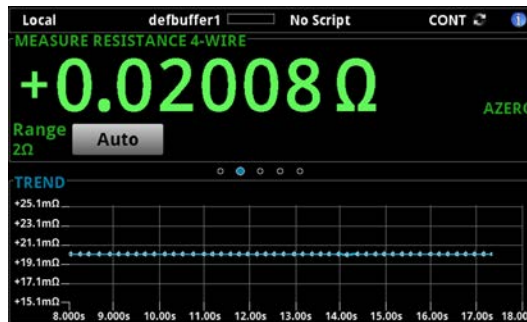
1. [デバイスの接続](#) (ページ 5-1) で説明されているとおりに、2450 型を被測定デバイスに接続します。
2. 機器をリセットします。
  - a. **MENU** キーを押します。
  - b. System で、**Manage** を選択します。
  - c. **System Reset** を選択します。
  - d. **OK** を選択します。
3. **FUNCTION** キーを押します。
4. Source Current および Measure で、**Resistance** を選択します。
5. **HOME** キーを押します。
6. SOURCE CURRENT 領域で、Source の横にあるボタンを選択します。ソース値を選択します。
7. **MENU** キーを押します。Measure で、**Settings** を選択します。
8. Sense Mode の横にあるボタンを選択し、**4-Wire Sense** を選択します。
9. Offset Comp の横にある **On** を選択します。
10. **HOME** キーを押します。
11. **OUTPUT ON/OFF** スイッチを押して、出力を有効にし、測定を開始します。
12. **OUTPUT ON/OFF** スイッチを押して、出力を無効にし、測定を停止します。

機器は、ホーム画面の MEASURE VOLTAGE 領域に測定を表示します。

## フロント パネルの TREND [傾向] スワイプ画面で測定を表示する

抵抗値測定をフロント パネルの TREND [傾向] スワイプ画面で抵抗値測定を時間の関数として表示できます。TREND [傾向] スワイプ画面にアクセスするには、ホーム画面の下部を右にスワイプします。下の図のグラフが表示されます。

図 21: TREND [傾向] スワイプ画面



画面にグラフを表示させるには、TREND [傾向] スワイプ画面を上にもスワイプしグラフ画面を開きます。

## フロント パネルでバッファ統計を表示する

2450 型のフロント パネルでは、以下の情報を含む測定統計を表示できます。

- バッファ名
- 最小、最大、および平均読み取り値
- 標準偏差

図 22: STATISTICS [統計] スワイプ画面

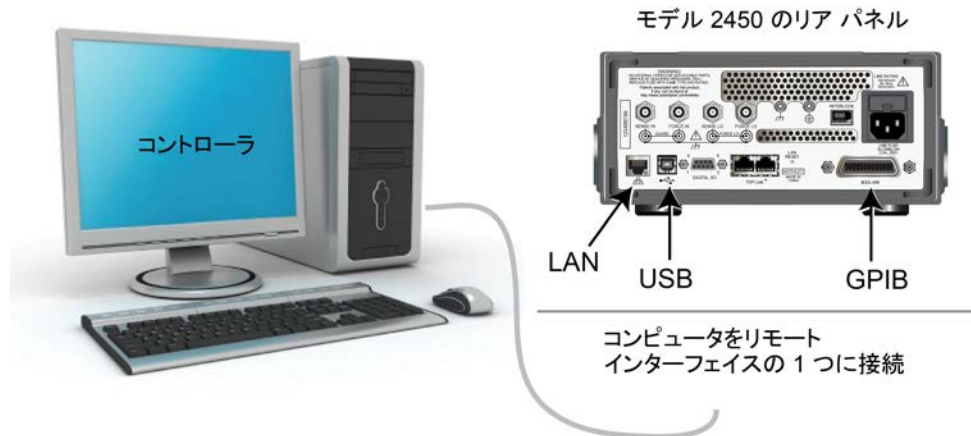


## リモート通信をセットアップする

このアプリケーションは、フロント パネルから、あるいは機器でサポートされている通信インタフェース (GPIB、USB、または Ethernet) から実行できます。

次の図は、リモート通信インタフェースのリア パネル接続の位置を示しています。リモート通信のセットアップについての詳細情報については、[リモート通信インタフェース](#) (ページ 3-1) を参照してください。

図 23: 2450 型のリモート インタフェース接続



### SCPI コマンドを使用した低抵抗アプリケーションのセットアップ

この SCPI コマンド シーケンスは、電流のソースおよび抵抗値の測定により、低抵抗の測定を 100 回行います。この例では、ソース電流大きさとリミット電圧は自動的に設定されます。リモート コマンドを使用してフロント パネル画面を変更し、TREND [傾向] スワイプ画面を表示します。これにより、数値データを画面の上部に表示し、画面の下部にグラフ データを表示できるようになります。

このコードがご使用のプログラミング環境で実行されるように、変更を行う必要があります。

*この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。*

コマンド	説明
<pre>*RST TRIG:LOAD:LOOP:SIMP 100 SENS:FUNC "RES" SENS:RES:RANG:AUTO ON SENS:RES:OCOM ON SENS:RES:RSEN ON DISP:SCR PLOT OUTP ON INIT *WAI TRAC:DATA? 1, 100, "debuffer1", READ, REL OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2450 型をリセットします。</li> <li>• 100 回の読み取りを行うように Simple Loop トリガモデル テンプレートを設定します。</li> <li>• 抵抗を測定するように設定します。</li> <li>• オート レンジをオンにします。</li> <li>• オフセット補正を有効にします。</li> <li>• 4 線センス モードを使用するように設定します。</li> <li>• TREND [傾向] スワイプ画面を表示します。</li> <li>• 出力をオンにします。</li> <li>• 読み取りを開始します。</li> <li>• 完了するまで待機します。</li> <li>• debuffer1 の抵抗値および時間値を読み取ります。</li> <li>• 出力をオフにします。</li> </ul>



## TSP コマンドを使用した低抵抗アプリケーションのセットアップ

### メモ

以下の TSP コードは、ケースレーインストルメンツ Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB は、2450 型に付属している CDROM の 1 つに含まれているソフトウェア ツールです。TSP 対応の機器用にコードを作成したり、スクリプトを開発したりする場合には、TSB をインストールして使用することができます。TSB の使用方法についての情報は、TSB のオンライン ヘルプおよび 2450 型 *Reference Manual* の「INTRODUCTION TO TSP OPERATION」セクションに収められています。

他のプログラミング環境を使用するには、TSP コード例に変更を加えなければならない場合があります。

デフォルトで、2450 型は SCPI コマンド セットを使用するように設定されています。TSP コマンドを機器に送信する前に、TSP コマンド セットを選択する必要があります。

**TSP コマンドを有効にするには、以下の手順に従います。**

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択し、**TSP** を選択します。
4. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。**Yes** を選択します。

この TSP コマンド シーケンスは、電流のソースおよび抵抗値の測定により、低抵抗の測定を 100 回行います。この例では、ソース電流大きさとリミット電圧は自動的に設定されます。リモート コマンドを使用してフロント パネル画面を変更し、TREND [傾向] スワイプ画面を表示します。これにより、数値データを画面の上部に表示し、画面の下部にグラフ データを表示できるようになります。コードが実行されると、Test Script Builder の Instrument Console にデータが表示されます。

**この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。**

```
--Reset the instrument to the default settings
reset()
--Configure the Simple Loop trigger model template to make 100 readings.
trigger.model.load("SimpleLoop", 100)
--Change the view on the front panel to the TREND swipe screen.
display.changescreen(display.SCREEN_PLOT_SWIPE)
--Set to measure resistance, use 4-wire sense,
--and offset compensation.
smu.measure.func = smu.FUNC_RESISTANCE
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.offsetcompensation = smu.ON
--Turn on the output
smu.source.output = smu.ON
--Initiate trigger model and wait until finished.
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Turn off output
smu.source.output = smu.OFF
--Read the resistance and time values from defbuffer1.
print("Resistance: ¥tTime: ")
for i = 1, 100 do
    print(string.format("%f¥t%f", defbuffer1[i], defbuffer1.relativetimestamps[i]))
end
```



# 漏れ電流および絶縁抵抗

このセクションの内容は以下のとおりです

はじめに.....	6-1
必要な機器 .....	6-1
リモート通信をセットアップする .....	6-2
デバイスの接続 .....	6-2
漏れ電流の測定 .....	6-4
絶縁抵抗の測定 .....	6-8

## はじめに

デバイスの漏れ電流または絶縁抵抗を測定するには、固定電圧をデバイスに適用して、その結果発生した電流を測定する必要があります。被測定デバイスにもよりますが、測定される電流は通常非常に小さく、10 nA を下回ります。

この用途は、以下について説明する 2 つの例で構成されています。

- 2450 型を使用して、キャパシタの漏れ電流の測定を実行する方法
- 2450 型を使用して、同軸ケーブルの 2 つの導体間の絶縁抵抗を測定する方法

これら 2 つのアプリケーション例で異なっているのは、漏れ電流を測定する際、結果がアンペア単位で返されるのに対し、絶縁抵抗の測定では、結果がオーム単位で返されるという点だけです。

漏れ電流アプリケーションは、デバイスには充電時間が必要なため、電圧は指定された時間で印加されます。結果として発生する電流は、装置がバイアスされている時間中ずっと測定される場合があります。また、指定した「ソーク」期間の最後に読み取りが 1 回だけ行われる場合もあります。

次のトピックは、これらのアプリケーションをフロント パネルから実行する方法について説明しています。また、リモート インタフェースを使用して、SCPI コマンドまたは Test Script Processor (TSP<sup>®</sup>) コマンドにより、実行する方法についても示します。

## 必要な機器

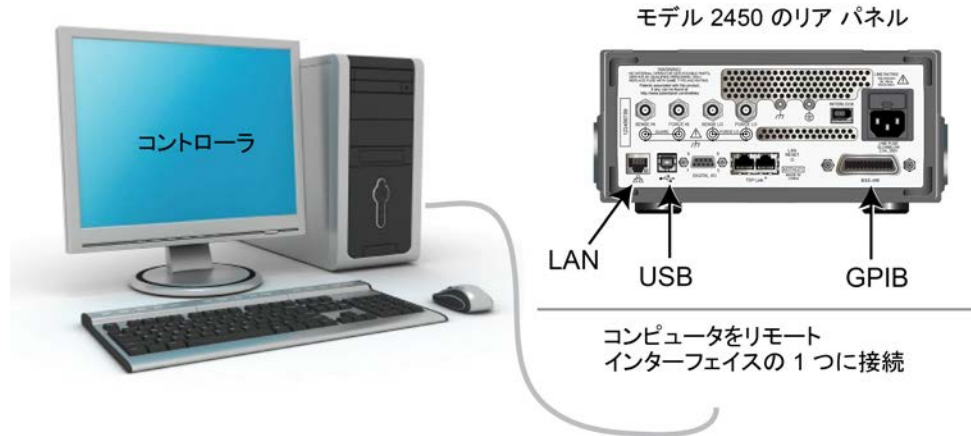
- 1 台の 2450 型 ソースメータ
- 2 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブル
- 漏れ電流アプリケーションの 1 つのキャパシタ
- 絶縁抵抗アプリケーションの 1 本の 同軸ケーブルまたは他のデバイス
- TSP および SCPI リモート コマンド例の 1 本の Ethernet、GPIB、または USB ケーブル

## リモート通信をセットアップする

このアプリケーションは、フロント パネルから、あるいは機器でサポートされている通信インターフェース (GPIB、USB、または Ethernet) から実行できます。

次の図は、リモート通信インターフェースのリア パネル接続の位置を示しています。リモート通信のセットアップについての詳細情報については、[リモート通信インターフェース](#) (ページ 3-1) を参照してください。

図 24: 2450 型のリモート インターフェース接続



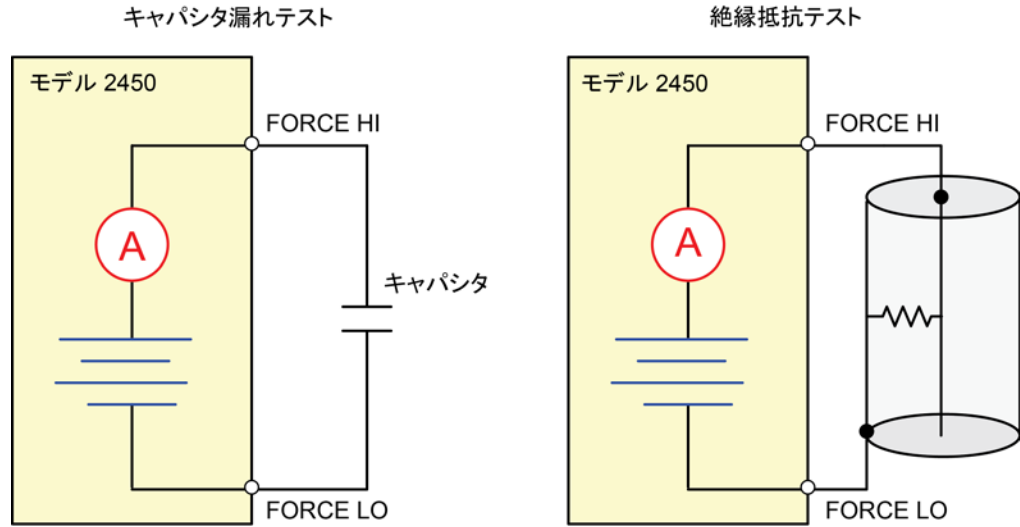
## デバイスの接続

被測定デバイス (DUT) にもよりますが、電流の測定値は通常非常に小さく、10 nA を下回ります。漏れ電流および絶縁抵抗の測定には非常に小さい値の測定も関係します。より精度の高い読み取りを行うためには、低抵抗のトライアキシャル (三重同軸) ケーブルを使用して DUT を 2450 型のリア パネルに接続します。

2450 型の FORCE HI 端子と FORCE LO 端子の間に DUT を接続します。

以下の図は回路図を示しています。一方は、キャパシタの漏れ電流の測定を示しています。もう一方は、同軸ケーブルの 2 つの導体間の絶縁抵抗を測定する場合のものです。

図 25: キャパシタの漏れおよび絶縁抵抗テストの接続図



以下の図は、これらのアプリケーションの被測定デバイス (DUT) のリア端子への接続について示しています。キャパシタの漏れの測定でノイズが多い場合、ハイ・キャパシタンス・モード モードを使用するか漏れの少ない順方向ダイオードをキャパシタに直列で追加する必要がある可能性があります。

図 26: 漏れ電流テストの場合のリア パネル接続

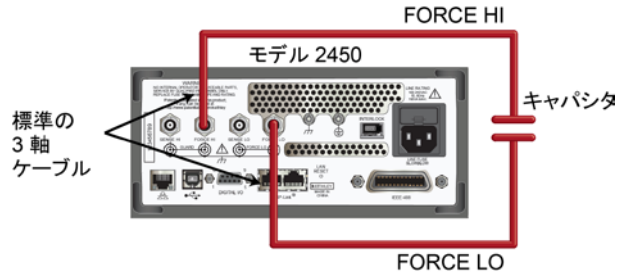
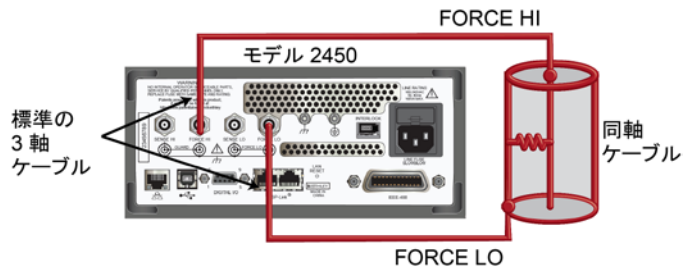


図 27: 絶縁抵抗テストの場合のリア パネル接続



## 漏れ電流の測定

以下のアプリケーションは、2450 型でフロント パネルまたはリモート インタフェースを使用して電圧をソースし、その結果発生する電流を測定することによって、1 nF キャパシタの漏れ電流を測定する方法について示しています。リモート インタフェースの例は、SCPI コマンドと TSP コマンドを示しています。

このアプリケーションでは、20 V をソースし、結果として発生する漏れ電流を時間の関数として測定するように、2450 型を設定しています。機器は、特定の期間、電流を測定します。

このテストでは、以下のことを行います。

- 機器をリセットする
- リア端子を読み取るように機器を設定する
- ソース電圧機能および測定電流コンフィグレーション機能を選択する
- 電圧ソースの大きさを設定する
- オートレンジをオンにする
- 測定遅延を設定する
- Duration Loop トリガ モデル テンプレートを使用し、指定された期間、読み取りを行います。
- 印加出力をオンにする
- 指定された期間、読み取りを行う
- 印加出力をオフにする

### メモ

2450 型を使用して小さな電流値を測定する場合、被測定デバイスが静電シールドされていることを確認してください。キャパシタの定格が 20 nF を超える場合には、最適な結果を得るためにハイ・キャパシタンス・モードを有効にしてください。

キャパシタの漏れ電流測定の最適化と、ノイズを最小限に抑える方法については、[ケースレーインスツルメンツ](http://www.keithley.com) のウェブサイト (<http://www.keithley.com>) にある [ケースレーインスツルメンツ 高感度測定ハンドブック](#)を参照してください。

## フロント パネルを使用した漏れ電流アプリケーションのセットアップ

フロント パネルからアプリケーションをセットアップするには、以下の手順に従います。

1. [デバイスの接続](#) (ページ 6-2) に示されているように、テスト リードを使用して、キャパシタから 2450 型のリア パネルに接続します。
2. 2450 型をリセットします。
  - a. **MENU** キーを押します。
  - b. System で、**Manage** を選択します。
  - c. **System Reset** を選択してから、**OK** を選択します。
3. TERMINAL FRONT/REAR スイッチを押して、リア パネル端子を使用するように機器を設定します (スイッチの左側に R が表示されます)。
4. **HOME** キーを押します。
5. **FUNCTION** キーを押します。
6. Source Voltage および Measure で、**Current** を選択します。

7. Source の横のボタンを選択します (ホーム画面の下部)。
8. 20 V を入力し、OK を選択します。
9. MENU キーを押します。
10. Trigger で、**Templates** を選択します。
11. Templates の横にある **Duration Loop** を選択します。
12. Duration の横にソーク時間 30s を入力し、OK を選択します。
13. Delay の横に 0.2s を入力し、OK を選択します。
14. HOME キーを押すと、ホーム画面に戻ります。
15. TRIGGER キーを押すと、出力がオンになり、測定が行われます。測定が完了すると出力がオフになります。

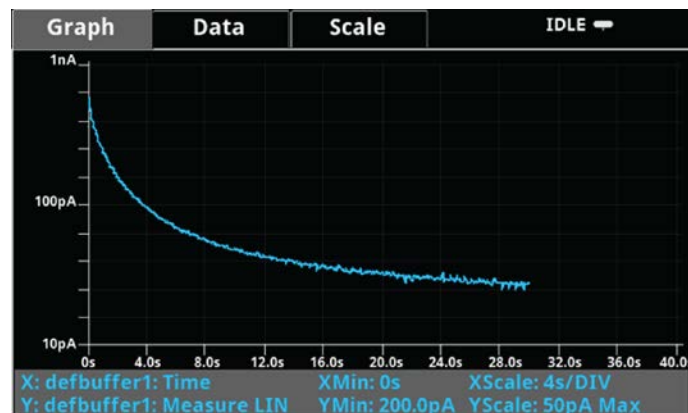
## フロント パネルのグラフに測定を表示する

フロント パネルのグラフに漏れ電流の測定を表示するには、以下の手順に従います。

1. MENU キーを押します。
2. Views で **Graph** を選択します。
3. **Scale** タブを選択します。
4. Y 軸で Scale Format の横の **Log** を選択します。
5. X 軸で Auto Scale の横の **On** を選択します。
6. **Graph** タブを選択して、グラフを表示します。

以下の図は、このアプリケーションでのフロント パネルのグラフを示しています。

図 28: フロント パネルで漏れ電流の測定を表示する



## SCPI コマンドを使用した漏れ電流アプリケーションのセットアップ

以下の SCPI コードは、20 V をソースし、その結果発生した漏れ電流を測定することによって、キャパシタの漏れ測定を実行します。Duration Loop トリガ モデル テンプレートは、電圧を 60 秒間投入し、200 ms 間隔で測定を行います。期間後に、キャパシタは 0 V に放電され、出力はオフになります。

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

コマンド	説明
<pre>*RST :SOUR:FUNC VOLT :SOUR:VOLT 20 :SOUR:VOLT:ILIMIT 0.01 :SENSE:FUNC "CURR" :ROUT:TERM REAR :CURR:RANG:AUTO ON :SENSE:CURR:NPLC 1 :TRIG:LOAD:LOOP:DUR 60, 0.2 :OUTP ON :INIT *WAI :TRAC:ACT? "defbuffer1" :TRAC:DATA? 1, &lt;n&gt;, "defbuffer1", READ, REL :SOUR:VOLT 0 :OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2450 型をリセットします。</li> <li>• 電圧印加モードに設定します。</li> <li>• 電圧印加モードを 20 V に設定します。</li> <li>• 電流のリミットを 10 mA に設定します。</li> <li>• 電流を測定するように機器を設定します。</li> <li>• リア パネル端子を使用するように設定します。</li> <li>• 電流レンジをオートレンジに設定します。</li> <li>• 電源サイクル数を 1 に設定します。</li> <li>• 200 ms の間隔で 60 秒間実行する期間ループ トリガ モデルをロードします。</li> <li>• 出力をオンにします。</li> <li>• 測定をトリガします。</li> <li>• 測定が完了するまで待機します。</li> <li>• &lt;n&gt; は測定値の件数です。</li> <li>• defbuffer1 の測定値の件数を問い合わせ、測定値および時間を戻します。</li> <li>• キャパシタを 0 V まで放電します。</li> <li>• 出力をオフにします。</li> </ul>

## TSP コマンドを使用した漏れ電流アプリケーションのセットアップ

### メモ

以下の TSP コードは、ケースレーインストルメンツ Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB は、2450 型に付属している CDROM の 1 つに含まれているソフトウェア ツールです。TSP 対応の機器用にコードを作成したり、スクリプトを開発したりする場合には、TSB をインストールして使用することができます。TSB の使用方法についての情報は、TSB のオンライン ヘルプおよび 2450 型 *Reference Manual* の「INTRODUCTION TO TSP OPERATION」セクションに収められています。

他のプログラミング環境を使用するには、TSP コード例に変更を加えなければならない場合があります。

デフォルトで、2450 型は SCPI コマンド セットを使用するように設定されています。TSP コマンドを機器に送信する前に、TSP コマンド セットを選択する必要があります。

TSP コマンドを有効にするには、以下の手順に従います。

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択し、**TSP** を選択します。
4. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。**Yes** を選択します。



以下の TSP コードは、20 V をソースし、その結果発生した漏れ電流を測定することによって、キャパシタの漏れ測定を実行します。Duration Loop トリガ モデル テンプレートは、電圧を 60 秒間投入し、200 ms 間隔で測定を行います。期間後に、キャパシタは 0 V に放電され、出力はオフになります。

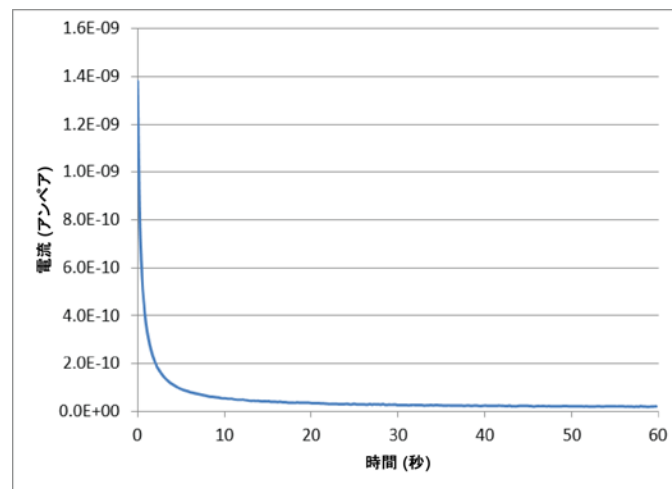
コードが実行されると、Test Script Builder の Instrument Console に測定結果が表示されます。Instrument Console から、データをグラフ用にスプレッドシートにコピーすることができます。

**この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。**

```
-- Reset the instrument, which also clears the buffer.
reset()
-- Set up the source function.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 10e-3
smu.source.level = 20
-- Set up measure function.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- Turn on the output and initiate readings.
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.load("DurationLoop", 60, 0.2)
trigger.model.initiate()
-- Wait for the trigger model to complete.
waitcomplete()
-- Parse index and data into three columns.
print("Rdg #", "Time (s)", "Current (A)")
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, defbuffer1.relativetimestamps[i], defbuffer1[i])
end
-- Discharge the capacitor to 0 V and turn off the output.
smu.source.level = 0
delay(2)
smu.source.output = smu.OFF
```

以下の図のグラフに、このアプリケーションの結果を示します。電流は時間経過とともに 20 V まで充電されるため、キャパシタの指数関数型の電流応答に注意してください。

図 29: 漏れ電流のテスト結果



## 絶縁抵抗の測定

以下のアプリケーションでは、2450 型を使用して絶縁抵抗を測定する方法について説明します。このアプリケーションでは、フロント パネル インタフェース、SCPI コマンド セットを使用したりリモート インタフェース、および Test Script Processor (TSP<sup>®</sup>) コマンド セットを使用したりリモート インタフェースの使用方法を示します。

絶縁抵抗の測定は、プリント基板上のトレース間およびケーブルとコネクタの導体間で行われます。

このアプリケーションでは、20 V をソースするように 2450 型を設定し、100 ms の間隔で 10 回の抵抗測定を行います。測定が行われたら、出力はオフになります。

このテストでは、以下のことを行います。

- 機器をリセットする
- リア端子を読み取るように機器を設定する
- ソース電圧機能および抵抗測定機能を選択する
- 電圧ソース出力の大きさを設定する
- オートレンジをオンにする
- Simple Loop トリガ モデル テンプレートを使用して、読み取り回数と間隔を設定します。
- ソース出力をオンにする
- 読み取りの実行
- ソース出力をオフにする

## フロント パネルを使用した絶縁抵抗アプリケーションのセットアップ

フロント パネルからアプリケーションをセットアップするには、以下の手順に従います。

1. [デバイスの接続](#) (ページ 6-2) に示されているように、被測定デバイス (DUT) を 2450 型のリア パネルに接続します。
2. 2450 型をリセットします。
  - a. **MENU** キーを押します。
  - b. System で、**Manage** を選択します。
  - c. **System Reset** を選択してから、**OK** を選択します。
3. TERMINAL FRONT/REAR スイッチを押して、リア パネル端子を使用するように機器を設定します (スイッチの左側に R が表示されます)。
4. **HOME** キーを押します。
5. **FUNCTION** キーを押します。
6. Source Voltage および Measure で、**Resistance** を選択します。
7. Source の横のボタンを選択します (ホーム画面の下部)。
8. 20 V (または他の適用可能なテスト電圧) と入力し、**OK** を選択します。
9. **MENU** キーを押します。
10. Trigger で、**Templates** を選択します。
11. Templates の横にある **SimpleLoop** を選択します。
12. カウントを 10 に設定して、**OK** を選択します。
13. 遅延を 0.1 秒に設定して、**OK** を選択します。
14. **HOME** キーを押します。
15. **OUTPUT ON/OFF [出カオン/オフ]** スイッチを押して、出力をオンにします。
16. **TRIGGER** キーを押して、読み取りを開始します。抵抗測定がホーム画面の測定領域 (上半分) に表示されます。
17. 測定が完了したら、**OUTPUT ON/OFF** スイッチを押して、出力をオフにします。

## フロント パネルのグラフに測定を表示する

出力がオンになっている間、フロント パネルのグラフに絶縁抵抗の測定を表示するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** キーを押します。
2. Views で **Graph** を選択します。

## SCPI コマンドを使用したアプリケーションのセットアップ

以下の SCPI コマンドのシーケンスでは、20 V のソースおよび抵抗の測定によって、絶縁抵抗の測定を行います。Simple Loop トリガ モデル テンプレートは、100 ms の間隔で 10 回の測定を行います。

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

コマンド	説明
<pre>*RST ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT 20 SOUR:VOLT:ILIM 0.01 SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON SENSE:CURR:UNIT OHM TRIG:LOAD:LOOP:SIMP 10, 0.1 OUTP ON INIT *WAI :TRAC:DATA? 1, 10, "debuffer1", READ, REL :OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2450 型をリセットします。</li> <li>• 測定用にリア パネル端子を選択します。</li> <li>• ソース電圧に設定します。</li> <li>• 20 V を出力します。</li> <li>• 10 mA ソース リミットを設定します。</li> <li>• 電流を測定するように機器を設定します。</li> <li>• 電流レンジをオートレンジに設定します。</li> <li>• 抵抗を測定するように機器を設定します。</li> <li>• Simple Loop トリガ モデルを使用して、100 ms の間隔で 10 回の測定を行います。</li> <li>• 出力をオンにします。</li> <li>• 読み取りを開始します。</li> <li>• 測定が完了するまで待機します。</li> <li>• debuffer1 の抵抗値および時間値を読み取ります。</li> <li>• 出力をオフにします。</li> </ul>

## TSP コマンドを使用したアプリケーションのセットアップ

### メモ

以下の TSP コードは、ケースレーインストルメンツ Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB は、2450 型に付属している CDROM の 1 つに含まれているソフトウェア ツールです。TSP 対応の機器用にコードを作成したり、スクリプトを開発したりする場合には、TSB をインストールして使用することができます。TSB の使用方法についての情報は、TSB のオンライン ヘルプおよび 2450 型 *Reference Manual* の「INTRODUCTION TO TSP OPERATION」セクションに収められています。

他のプログラミング環境を使用するには、TSP コード例に変更を加えなければならない場合があります。

デフォルトで、2450 型は SCPI コマンド セットを使用するように設定されています。TSP コマンドを機器に送信する前に、TSP コマンド セットを選択する必要があります。

TSP コマンドを有効にするには、以下の手順に従います。

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択し、**TSP** を選択します。
4. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。**Yes** を選択します。

以下の TSP コマンドのシーケンスでは、20 V のソースおよび抵抗の測定によって、絶縁抵抗の測定を行います。Simple Loop トリガ モデル テンプレートは、100 ms の間隔で 10 回の測定を行います。コードが実行されると、Test Script Builder の Instrument Console に測定結果が表示されます。

**この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。**

```
--Reset the instrument
reset()
--Set up the measure function
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.unit = smu.UNIT_OHM
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
--Set up the source function.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 0.1
smu.source.level = 20
--Turn on the source output and take readings.
trigger.model.load("SimpleLoop", 10, 0.1)
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.initiate()
--Wait for the measurements to complete.
waitcomplete()
--Parse index and the data into three columns.
for i = 1, defbuffer1.n do
  print(i, "\t", defbuffer1[i], "\t", defbuffer1.relativetimestamps[i])
end
--Turn off the output.
smu.source.output = smu.OFF
```



## FET の I-V 特性の測定

このセクションの内容は以下のとおりです

はじめに.....	7-1
必要な機器 .....	7-1
リモート通信をセットアップする .....	7-2
外部ハードウェア トリガのセットアップ .....	7-2
デバイスの接続 .....	7-4
SCPI コマンドを使用した FET テストのリモート コントロール.....	7-5
TSP コマンドを使用した FET テストのリモート コントロール.....	7-9

### はじめに

このアプリケーションの例では、2 台の 2450 型を使用して電界効果トランジスタ (FET) の I-V 特性を実行する方法について説明します。2450 型は、電流と電圧の両方を素早くかつ正確にソースおよび測定できるため、半導体デバイスのテストに適しています。

FET の I-V 特性パラメータを判別することは、意図したアプリケーションでそれらが適切に機能し、仕様を満たしていることを確認するのに役立ちます。ゲート漏れ、絶縁破壊電圧、しきい値電圧、伝達特性、およびドレイン電流など、2450 型で実行できる IV テストは数多く存在します。テストに必要な 2450 型機器の数は、バイアスおよび測定する必要がある FET 端子の数によって異なります。

このアプリケーションでは、3 端子 MOSFET でドレイン曲線群 ( $V_{ds}$ - $I_d$ ) を実行する方法について説明します。MOSFET は、デジタル統合回路の基礎であるため、最も一般的に使用される FET です。

### 必要な機器

- 2 台の 2450 型
- 4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブル (Keithley モデル番号 7078-TRX-10)
- メス トライアキシャル (三重同軸) コネクタ付きの金属シールドされたテスト・フィクスチャまたはプローブステーション
- トライアキシャル (三重同軸) のティー コネクタ (Keithley モデル番号 237-TRX-T)
- 外部ハードウェア トリガのケーブルは、使用中のコマンド セットによって以下のように異なります。
  - SCPI コマンドの場合、DB-9 オスオス 9 ピン ケーブルを使用して、2450 型機器の背面にあるデジタル入出力ポートを相互に接続します。
  - TSP コマンドの場合、2450 型機器のリア パネルの TSP-Link ポートを相互に接続するには、TSP-Link クロスオーバー ケーブル (1 本の Keithley Model CA-180-3A は 2450 型に付属) が必要です。

- コンピュータから 2450 型機器へのケーブルは、使用中のコマンド セットによって以下のように異なります。
  - SCPI コマンド例の場合、2 本の GPIB ケーブル、2 本の USB ケーブル、あるいは 2 本の Ethernet ケーブル
  - TSP コマンド例の場合、1 本の GPIB ケーブル、1 本の USB ケーブル、あるいは 1 本の Ethernet ケーブル

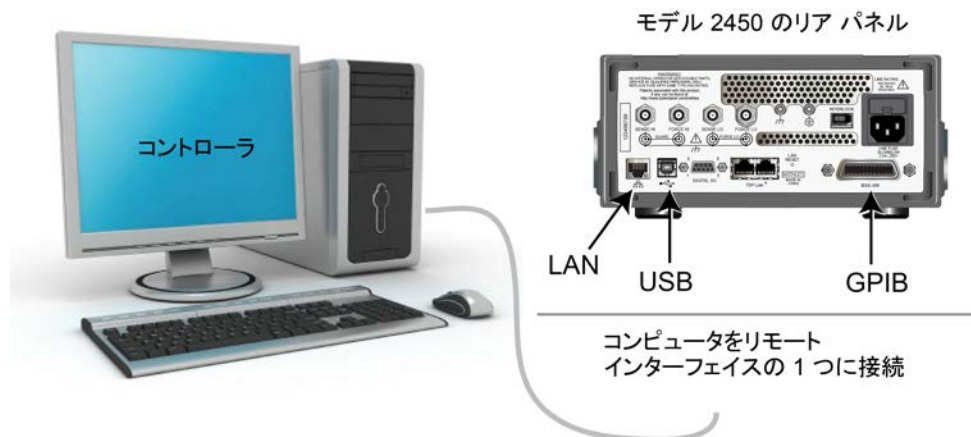
このアプリケーション用の 2 つの 2450 型機器のセットアップに関する指示については、以降の段落で説明します。

## リモート通信をセットアップする

このアプリケーションは、機器でサポートされている通信インタフェース (GPIB、USB、または Ethernet) から実行できます。

次の図は、リモート通信インタフェースのリア パネル接続の位置を示しています。リモート通信のセットアップ方法についての詳細情報については、[リモート通信インタフェース](#) (ページ 3-1) を参照してください。

図 30: 2450 型のリモート インタフェース接続



## 外部ハードウェア トリガのセットアップ

電圧のステップおよび掃引用に 2 台の 2450 型機器間で同期を有効にするには、各機器の外部トリガをもう一方に接続します。使用するケーブルは、テストを制御するために選択する 2450 型プログラミング コマンド セットによって異なります。

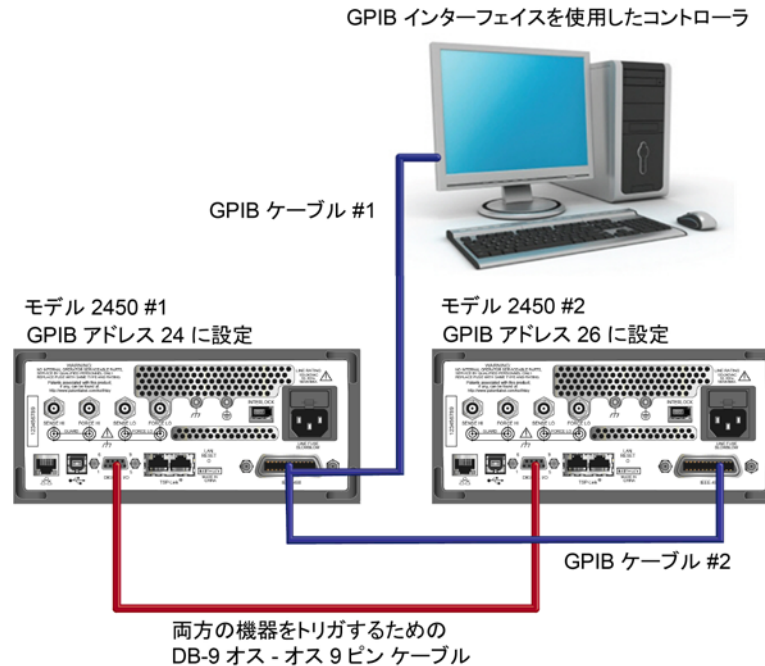
## SCPI コマンド セット用の接続

SCPI コマンド セットを使用している場合、下の図に示すように、各機器の背面のデジタル入出力コネクタ間で DB-9 オスオス ケーブルを接続します。

デジタル入出力コネクタ ピンについての詳細は、2450 型 *Reference Manual* の「Digital I/O」を参照してください。



図 31: SCPI プログラミングの GPIB および DB-9 ケーブル接続の例



上の図は、GPIB リモート通信インターフェイスを使用している場合の通信ケーブルの接続についても説明しています。GPIB ケーブル #1 は、コンピュータ (コントローラ) の GPIB ポートと、2450 型 #1 のリア パネルの IEEE-488 コネクタを接続します。GPIB ケーブル #2 は、2 台の 2450 型の IEEE-488 コネクタの間を接続します。

## メモ

各 2450 型には異なる GPIB アドレスが指定されている必要があります。これは、フロント パネルを使用してセットアップできます。詳細については、[GPIB アドレスの設定](#) (ページ 3-3) を参照してください。

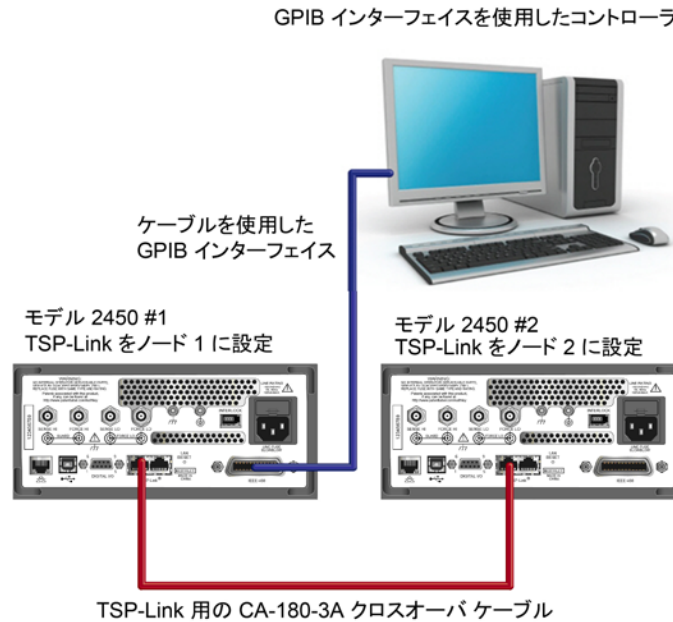
USB ケーブルを使用してコンピュータと 2450 型機器を接続する場合、個別の USB ケーブルを使用して各機器をコンピュータに接続する必要があります。

Ethernet 接続を使用してコンピュータと 2450 型機器を接続する場合、機器とコンピュータは Ethernet スイッチまたはハブを使用して接続する必要があります。

## TSP コマンド セット用の接続

リモート プログラミングに Test Script Processor (TSP<sup>®</sup>) コマンド セットを使用する場合、モデル CA1803A クロスオーバ ケーブル (1 本は 2450 型に付属) を使用して、2450 型機器のリア パネルにある TSP-Link ポートを相互に接続します (下の図を参照)。TSP-Link について詳しくは、2450 型 *Reference Manual* の「TSP-Link System Expansion Interface」を参照してください。

図 32: TSP コマンド セット用の接続



コンピュータから 2450 型機器までの GPIB 通信の場合、GPIB インタフェースから 2450 型 IEEE-488 インタフェースまでに必要なケーブルは 1 本のみです (上の図にある 2450 型 #1)。

2450 型 #1 の TSP-Link ノードをノード 1 に、2450 型 #2 の TSP-Link ノードをノード 2 に設定します。

フロントパネルから 2450 型 TSP-Link ノードを設定するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Communication** を選択します。SYSTEM COMMUNICATION ウィンドウが開きます。
3. **TSP-Link** タブで、Node の横にこの機器のノード番号を入力します。
4. **OK** を選択します。
5. **Initialize** を選択します。
6. **HOME** キーを押すと、ホーム画面に戻ります。

TSP-Link ネットワークのすべての 2450 型機器について、この手順を繰り返します。

## デバイスの接続

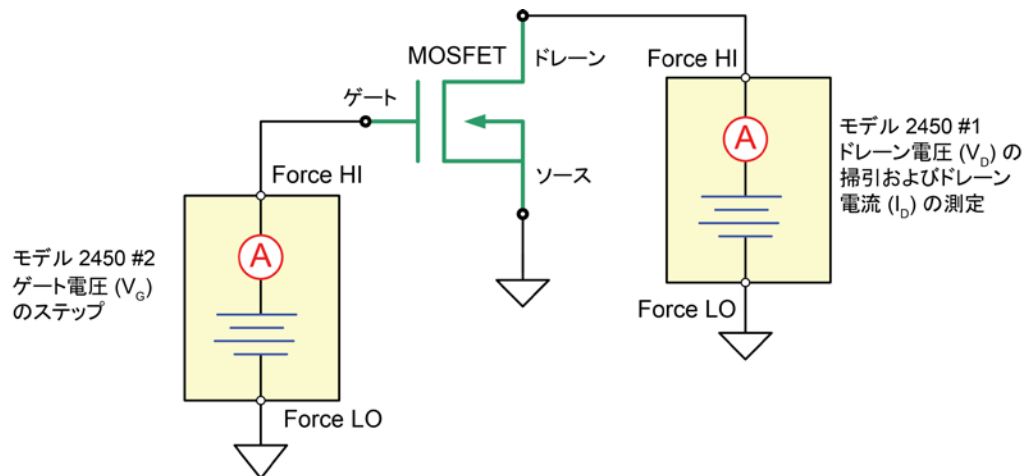
ドレイン曲線群を測定するには、電圧をソースして電流を測定するように、両方の 2450 型機器を設定します。

この回路では、2450 型 #2 の Force HI 端子を MOSFET のゲートに接続し、2450 型 #1 の Force HI 端子をドレインに接続します。

MOSFET のソース端子は両方の 2450 型機器の Force LO 端子に接続します。3 つすべての端子からソースおよび測定を行うには、3 台目の 2450 型が必要になります。

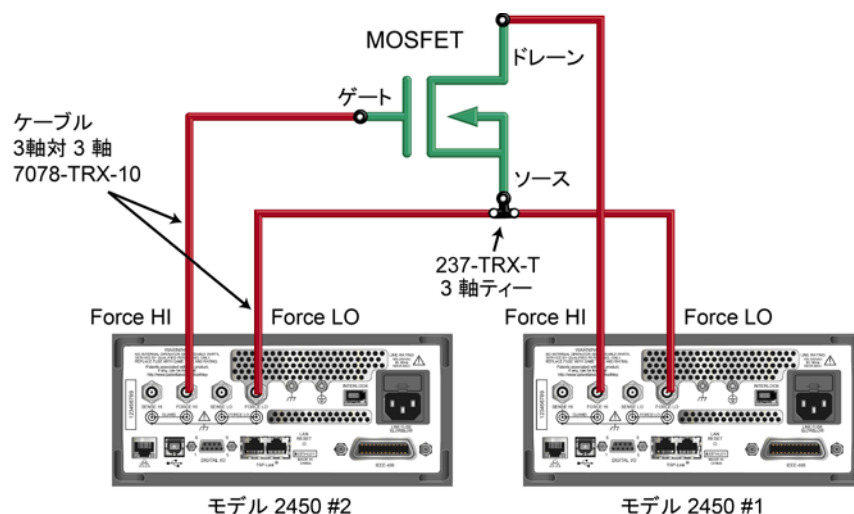
次の図は、2 台の 2450 型機器を使用した MOSFET 用の I-V テスト設定を示しています。

図 33: MOSFET 用の 3 端子 I-V テスト設定



次の図は、2 台の 2450 型機器のリア パネル端子から MOSFET への接続を示しています。

図 34: 3 端子の MOSFET をテストするように設定された 2 台の 2450 型



このアプリケーションでは、2450 型のリア パネルにあるメストライアキシャル (三重同軸) コネクタからの 4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブル (モデル 7078-TRX-10) を、MOSFET デバイスに接続します。MOSFET デバイスを、メストライアキシャル (三重同軸) コネクタを使用して金属シールド付きテスト・フィクスチャ内に取り付けます。トライアキシャル (三重同軸) ティエ コネクタ (モデル 237-TRX-T) を使用して、2 台の 2450 型機器の Force LO 端子と、MOSFET の Source 端子を接続します。

## SCPI コマンドを使用した FET テストのリモート コントロール

このアプリケーション用の SCPI コマンドのシーケンスの 2 つの例では、2 台の 2450 型機器を使用した MOSFET でドレイン曲線群を生成します。これらの例の 1 つでは、トリガ モデルを使用して曲線群を生成します。もう 1 つの例では、線形掃引を使用します。実際のプログラミング環境で動作させるために、いくらかの変更が必要になる場合があります。

## トリガ モデルで SCPI コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする

このアプリケーションでは、ゲート電圧は 2 V から 5 V まで 1 V ステップでステップし、ドレイン電圧は 0 V から 5 V まで 51 ステップで掃引し、ドレイン電流が測定されます。電流および電圧の測定は defbuffer1 に保存されます。2450 型トリガ モデルは、2 台の 2450 型機器を同期します。

ドレインのスweep (SMU 1) またはゲートのステッパ (SMU 2) にコマンドを送信します。次の表で、スweepのコマンドは、明るいグレーの背景で示されています。ステッパのコマンドは、暗いグレーの背景で示されています。薄茶色の影付きコードは、使用するプログラミング環境によって変化する疑似コードを表します。説明列の黒丸が付いた各アイテムは、コマンド列のコード 1 行について説明します。

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

SMU 1、SMU 2、または疑似コード	コマンド	説明
SMU 1	*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:CONF:LIST:CRE "stepVals" DIG:LINE1:MODE TRIG, OUT DIG:LINE2:MODE TRIG, IN TRIG:DIG1:OUT:STIM NOT1 TRIG:DIG2:IN:CLE TRIG:DIG2:IN:EDGE RIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 機器をリセットします。</li> <li>• 電流を測定するように設定します。</li> <li>• オートレンジを有効にした測定を設定します。</li> <li>• リア端子に設定します。</li> <li>• ソース電圧に設定します。</li> <li>• 20 V ソース レンジに設定します。</li> <li>• stepVals というソース設定リストを作成します。</li> <li>• デジタル ライン 1 をトリガアウトに設定します。</li> <li>• デジタル ライン 2 をトリガインに設定します。</li> <li>• デジタル ライン 1 の試験信号を notify1 イベントに設定します。</li> <li>• デジタル ライン 2 をクリアします。</li> <li>• ライン 2 の立ち上がりエッジを検出する場合に設定します。</li> </ul>
疑似コード	for i = 2 to 5 do:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 から 5 までの for ループをセットアップします。</li> </ul>
SMU 1	SOUR:VOLT i SOUR:CONF:STORE "stepVals"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電圧レベルを反復回数に設定します。</li> <li>• ソース設定を stepVals に保存します。</li> </ul>
疑似コード	end for	<ul style="list-style-type: none"> <li>• for ループを終了します。</li> </ul>
SMU 1	TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "stepVals" TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON TRIG:BLOC:MEAS 3 TRIG:BLOC:NOT 4, 1 TRIG:BLOC:WAIT 5, DIG2 TRIG:BLOC:CONF:NEXT 6, "stepVals" TRIG:BLOC:BRAN:COUN 7, 4, 3 TRIG:BLOC:SOUR:STAT 8, OFF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 最初のインデックスで stepVals をロードするトリガ モデル ブロック 1 を作成します。</li> <li>• 出力をオンにするブロック 2 を作成します。</li> <li>• 測定を行うブロック 3 を作成します。</li> <li>• notify1 イベントを生成するブロック 4 を作成します。</li> <li>• デジタル ライン 2 を待機するブロック 5 を作成します。</li> <li>• stepVals の次のインデックスをロードするブロック 6 を作成します。</li> <li>• ブロック 3 を 3 回分岐するブロック 7 を作成します。</li> <li>• 出力をオフにするブロック 8 を作成します。</li> </ul>

SMU 2	<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:CONF:LIST:CRE "sweepVals" DIG:LINE2:MODE TRIG, OUT DIG:LINE1:MODE TRIG, IN TRIG:DIG2:OUT:STIM NOT2 TRIG:DIG1:IN:CLE TRIG:DIG1:IN:EDGE RIS</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 機器をリセットします。</li> <li>• 電流を測定するように設定します。</li> <li>• オートレンジを有効にした測定を設定します。</li> <li>• リア端子に設定します。</li> <li>• ソース電圧に設定します。</li> <li>• 20 V ソース レンジに設定します。</li> <li>• ソース リミットを 1 A に設定します。</li> <li>• ソース設定リスト sweepVals を作成します。</li> <li>• デジタル ライン 2 をトリガアウトに設定します。</li> <li>• デジタル ライン 1 をトリガインに設定します。</li> <li>• デジタル ライン 2 の試験信号を notify2 イベントに設定します。</li> <li>• デジタル ライン 1 をクリアします。</li> <li>• ライン 1 で立ち上がりエッジを検出します。</li> </ul>
疑似コード	<pre>for i = 0, 5, 0.1 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 から 5 までの for ループを 0.1 ステップでセットアップします (包括的)。</li> </ul>
SMU 2	<pre>SOUR:VOLT i SOUR:CONF:LIST:STORE "sweepVals"</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電圧レベルを反復回数に設定します。</li> <li>• ソース設定を sweepVals に保存します。</li> </ul>
疑似コード	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• for ループを終了します。</li> </ul>
SMU 2	<pre>TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "sweepVals" TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON TRIG:BLOC:WAIT 3, DIG1 TRIG:BLOC:DEL:CONS 4, 0.01 TRIG:BLOC:MEAS 5 TRIG:BLOC:CONF:NEXT 6, "sweepVals" TRIG:BLOC:BRAN:COUN 7, 51, 4 TRIG:BLOC:NOT 8, 2 TRIG:BLOC:BRAN:COUN 9, 4, 3 TRIG:BLOC:SOUR:STAT 10, OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 最初のインデックスで sweepVals をロードするブロックを作成します。</li> <li>• 出力をオンにするブロックを作成します。</li> <li>• デジタル ライン 3 を待機するブロックを作成します。</li> <li>• 0.01 秒間遅延するブロックを作成します。</li> <li>• 測定を行うブロックを作成します。</li> <li>• sweepVals の次のインデックスをロードするブロックを作成します。</li> <li>• ブロック 4 を 50 回分岐するブロックを作成します。</li> <li>• notify2 イベントを生成するブロックを作成します。</li> <li>• ブロック 3 を 3 回分岐するブロックを作成します。</li> <li>• 出力をオフにするブロックを作成します。</li> </ul>
SMU 1	<pre>INIT</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• トリガ モデルを開始します。</li> </ul>
SMU 2	<pre>INIT</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• トリガ モデルを開始します。</li> </ul>
疑似コード	<pre>vds = [] ids = [] for i = 2, 5 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 測定された電圧値を保持する空の配列を作成します。</li> <li>• 測定された電流値を保持する空の配列を作成します。</li> <li>• 2 から 5 までの for ループをセットアップします (5 を含む)。</li> </ul>
SMU 2	<pre>vds[i-1] = TRAC:DATA? 1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", SOUR vds[i-1] = TRAC:DATA? 1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ソースおよび測定された値を配列 vds および ids にそれぞれ保存します。各ステップからの測定値は配列内の各インデックスに保存されます。</li> </ul>
疑似コード	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• for ループを終了します。</li> </ul>

## 線形掃引で SCPI コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする

この例では、ゲート電圧は 2 V から 6 V まで 1 V ステップでステップし、ドレイン電圧は 0 V から 5 V まで 51 ステップで掃引し、ドレイン電流が測定されます。アプリケーションは、それぞれの 51 測定値およびソース値を defbuffer1 から取得し、配列 vds および ids にそれぞれ保存します。

スイーパ (SMU 1) またはステッパ (SMU 2) にコマンドを送信します。次の表で、スイーパのコマンドは、明るいグレーの背景で示されています。ステッパのコマンドは、暗いグレーの背景で示されています。薄茶色の影付きコードは、使用するプログラミング環境によって変化する疑似コードを表します。説明列の黒丸が付いた各アイテムは、コマンド列のコード 1 行について説明します。

このアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

SMU 1、SMU 2、または疑似コード	コマンド	説明
SMU 2	*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 機器をリセットします。</li> <li>• 電流を測定するように設定します。</li> <li>• オートレンジを有効にした測定を設定します。</li> <li>• リア端子を使用するように設定します。</li> <li>• ソース電圧に設定します。</li> <li>• 20 V ソース レンジに設定します。</li> </ul>
SMU 1	*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:SWE:VOLT:LIN 0, 5, 51, 0.01	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 機器をリセットします。</li> <li>• 電流を測定するように設定します。</li> <li>• オートレンジを有効にした測定を設定します。</li> <li>• リア端子を使用するように設定します。</li> <li>• ソース電圧に設定します。</li> <li>• 20 V ソース レンジに設定します。</li> <li>• ソース リミットを 1 A に設定します。</li> <li>• 遅延を 10 ms に設定し、0 V から 5 V まで 51 ステップで線形掃引をセットアップします。</li> </ul>
SMU 2	OUTP ON	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 出力をオンにします。</li> </ul>
疑似コード	vds = [] ids = [] for i = 2, 5 do:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 測定された電圧値を保持する空の配列を作成します。</li> <li>• 測定された電流値を保持する空の配列を作成します。</li> <li>• 2 から 5 までの for ループをセットアップします (包括的)。</li> </ul>

SMU 2	SOUR:VOLT i	<ul style="list-style-type: none"> <li>ソース レベルをループの反復回数に設定します。</li> </ul>
疑似コード	delay(0.5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>整定させるために 500 ms 遅延します。</li> </ul>
SMU 1	INIT complete = *OPC?	<ul style="list-style-type: none"> <li>掃引をトリガして開始します。</li> <li>処理完了ビットを問い合わせ、変数 complete に保存します。</li> </ul>
疑似コード	while complete not equal "1" do:	<ul style="list-style-type: none"> <li>ASCII 1 が戻されるまで、処理完了問い合わせを送信し続けます。</li> </ul>
SMU 1	complete = *OPC?	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理完了ビットを問い合わせ、変数 complete に保存します。</li> </ul>
疑似コード	end while	<ul style="list-style-type: none"> <li>掃引が完了したら、while ループを終了します。</li> </ul>
SMU 1	vds[i-1]=TRAC:DATA? 1, 51, "defbuffer1", SOUR ids[i-1]=TRAC:DATA? 1, 51, "defbuffer1", READ	<ul style="list-style-type: none"> <li>それぞれの 51 測定値およびソース値をバッファから受け取り、配列 vds および ids にそれぞれ保存します。配列はインデックス 1 で開始します。配列内の各ポイントには、ゲート電圧ごとに値のリストが入っています。</li> </ul>
疑似コード	end for	<ul style="list-style-type: none"> <li>for ループを終了します。</li> </ul>
SMU 2	OUTP OFF	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力をオフにします。注: すべてのソース値および測定値は、配列 vds および ids から戻すことができます。</li> </ul>

## TSP コマンドを使用した FET テストのリモート コントロール

このアプリケーション用の Test Script Processor (TSP<sup>®</sup>) コマンドのシーケンスの 2 つの例では、2450 型機器を使用した MOSFET でドレイン曲線群を生成します。これらの例の 1 つでは、トリガ モデルを使用して曲線群を生成します。もう 1 つの例では、線形掃引を使用します。実際のプログラミング環境で動作させるために、いくつかの変更が必要になる場合があります。

### メモ

以下の TSP コードは、ケースレーインズツルメンツ Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB は、2450 型に付属している CDROM の 1 つに含まれているソフトウェア ツールです。TSP 対応の機器用にコードを作成したり、スクリプトを開発したりする場合には、TSB をインストールして使用することができます。TSB の使用方法についての情報は、TSB のオンライン ヘルプおよび 2450 型 *Reference Manual* の「INTRODUCTION TO TSP OPERATION」セクションに収められています。

他のプログラミング環境を使用するには、TSP コード例に変更を加えなければならない場合があります。

デフォルトで、2450 型は SCPI コマンド セットを使用するように設定されています。TSP コマンドを機器に送信する前に、TSP コマンド セットを選択する必要があります。

**TSP コマンドを有効にするには、以下の手順に従います。**

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択し、**TSP** を選択します。
4. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。**Yes** を選択します。

## トリガ モデルで TSP コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

```
--Reset the instruments and the TSP-Link connection, and clear the buffers.
tsplink.initialize()
reset()
--If the tsplink state is not online, print an error message and quit
state = tsplink.state
if state ~= "online" then
    print("Error:\n-Check that all SMUs have a different node number")
    print("-Check that all SMUs are connected correctly\n")
    return
end
--##### Model 2450 #1 (gate) setup #####
steppoints = 4
--Set up the source function.
smu.source.configlist.create("stepVals")
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.autorange = smu.ON
--Set up the measure function.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
--Set up TSP-Link communication.
tsplink.line[1].reset()
tsplink.line[1].mode = tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_MASTER
trigger.tsplinkout[1].stimulus = trigger.EVENT_NOTIFY1
--Populate the stepVals source config list, with source levels 2 V to 5 V
for i = 2, 5 do
    smu.source.level = i
    smu.source.configlist.store("stepVals")
end
--Set up the trigger model.
trigger.model.setblock(1, trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "stepVals")
trigger.model.setblock(2, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.ON)
trigger.model.setblock(3, trigger.BLOCK_MEASURE)
trigger.model.setblock(4, trigger.BLOCK_NOTIFY, trigger.EVENT_NOTIFY2)
trigger.model.setblock(5, trigger.BLOCK_WAIT, trigger.EVENT_TSPLINK1)
trigger.model.setblock(6, trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "stepVals")
trigger.model.setblock(7, trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, steppoints, 3)
trigger.model.setblock(8, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, 0)
--##### Model 2450 #2 (drain) setup #####
sweeppoints = 51
--Set up the source function.
node[2].smu.source.configlist.create("sweepVals")
node[2].smu.source.func = node[2].smu.FUNC_DC_VOLTAGE
node[2].smu.source.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.source.ilimit.level = 100e-3
--Set up the measure function.
node[2].smu.measure.func = node[2].smu.FUNC_DC_CURRENT
node[2].smu.measure.autorange = node[2].smu.OFF
node[2].smu.measure.terminals = node[2].smu.TERMINALS_REAR
node[2].smu.measure.range = 100e-3
--Set up TSP-Link communication.
node[2].tsplink.line[1].mode = node[2].tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_ACCEPTOR
```



```

node[2].trigger.tsplinkout[1].stimulus = node[2].trigger.EVENT_NOTIFY1
--Populate the sweepVals source config list, with source levels
--0 V to 5 V in 100 mV steps
for i = 0, 5, 0.1 do
  node[2].smu.source.level = i
  node[2].smu.source.configlist.store("sweepVals")
end
--Set up the trigger model.
node[2].trigger.model.setblock(1, node[2].trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "sweepVals")
node[2].trigger.model.setblock(2, node[2].trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.ON)
node[2].trigger.model.setblock(3, node[2].trigger.BLOCK_WAIT,
  trigger.EVENT_TSPLINK1)
node[2].trigger.model.setblock(4, node[2].trigger.BLOCK_DELAY_CONSTANT, 0.01)
node[2].trigger.model.setblock(5, node[2].trigger.BLOCK_MEASURE)
node[2].trigger.model.setblock(6, node[2].trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "sweepVals")
node[2].trigger.model.setblock(7, node[2].trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, sweeppoints,
  4)
node[2].trigger.model.setblock(8, node[2].trigger.BLOCK_NOTIFY,
  trigger.EVENT_NOTIFY1)
node[2].trigger.model.setblock(9, node[2].trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, steppoints,
  3)
node[2].trigger.model.setblock(10, node[2].trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.OFF)
--Start the trigger model for both SMUs and wait until it is complete
node[2].trigger.model.initiate()
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Print the formatted readings.
if defbuffer1.n == 0 then
  print("\nNo readings in buffer\n")
else
  for k = 1, sweeppoints do
    print(string.format("%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f",
      node[2].defbuffer1.sourcevalues[k], node[2].defbuffer1[k],
      node[2].defbuffer1.sourcevalues[k+sweeppoints],
      node[2].defbuffer1[k+sweeppoints],
      node[2].defbuffer1.sourcevalues[k+sweeppoints*2],
      node[2].defbuffer1[k+sweeppoints*2],
      node[2].defbuffer1.sourcevalues[k+sweeppoints*3],
      node[2].defbuffer1[k+sweeppoints*3]))
  end
end
end

```

## 線形掃引で TSP コマンドを使用してアプリケーションをセットアップする

この例では、コードはゲート ソース電圧をステップし、ドレイン ソース電圧を各ステップで掃引し、ドレイン ソース電流を測定します。この例のパラメータは次のとおりです。

- SMU-1 (ドレイン) はスイーパーおよびマスタ ノード (ノード 1 に設定済み) です。
  - ステップ電圧の開始: 0 V
  - ステップ電圧の停止: 5 V
  - ステップの数: 51
- SMU-2 (ゲート) はステッパおよび従属ノード 2 です。
  - ステップ電圧の開始: 2 V
  - ステップ電圧の停止: 5 V
  - ステップの数: 4

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

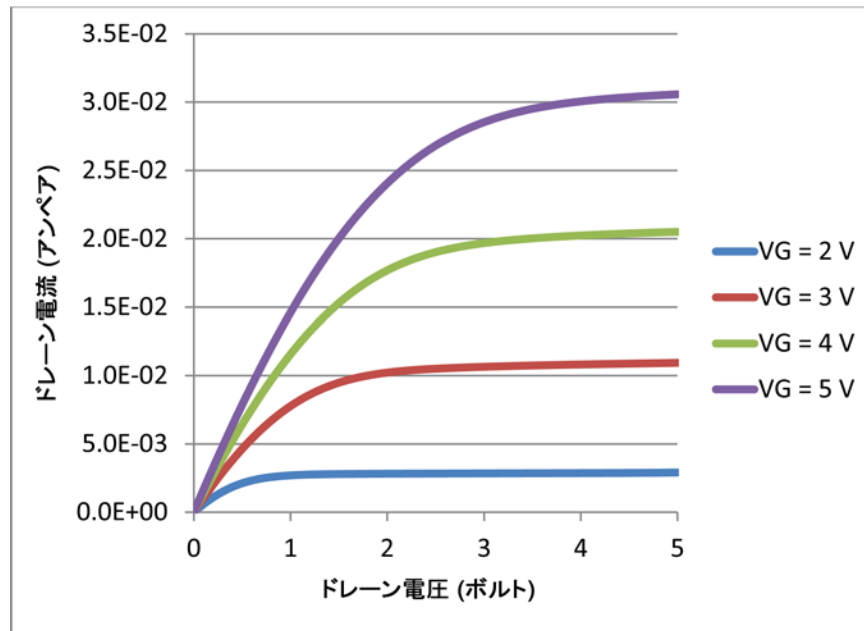
```
--Reset the instruments and the TSP-Link connection, and clear the buffers.
tsplink.initialize()
reset()
node[2].reset()
--If the TSP-Link state is not online, print an error message and quit.
state = tsplink.state
if state ~= "online" then
    print("Error:\n-Check that all SMUs have a different node number")
    print("-Check that all SMUs are connected correctly\n")
    return
end
--Set the number of sweep points (also used for printing).
num = 51
--##### Model 2450 #1 (drain) setup #####
--Set up the source function.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 300e-3
smu.source.autorange = smu.ON
--Set up the measure function.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
--Set up a linear sweep.
smu.source.sweeplinear("MOSFET", 0, 5, num, 0.001)
--##### Model 2450 #2 (gate) setup #####
--Set up the source function.
node[2].smu.source.func = node[2].smu.FUNC_DC_VOLTAGE
node[2].smu.source.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.source.ilimit.level = 100e-3
--Set up the measure function.
node[2].smu.measure.func = node[2].smu.FUNC_DC_CURRENT
node[2].smu.measure.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.measure.terminals = node[2].smu.TERMINALS_REAR
```

```
--Turn the stepper output on.
node[2].smu.source.output = node[2].smu.ON
readings = {}
sourcevalues = {}
iteration = 0
steppoints = 4
--Set the stepper V level, delay, start sweep, and wait to complete.
for i = 2, 5 do
  node[2].smu.source.level = i
  delay(0.01)
  trigger.model.initiate()
  waitcomplete()
  for j = 1, num do
    readings[j+iteration*num] = defbuffer1[j]
    sourcevalues[j+iteration*num] = defbuffer1.sourcevalues[j]
  end
  iteration = iteration+1
end
--Turn the stepper output off.
node[2].smu.source.output = node[2].smu.OFF
--Print the formatted readings.
if defbuffer1.n == 0 then
  print("\nNo readings in buffer\n")
else
  for k = 1, num do
    print(string.format("%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f", sourcevalues[k],
      readings[k], sourcevalues[k+num], readings[k+num], sourcevalues[k+num*2],
      readings[k+num*2], sourcevalues[k+num*3], readings[k+num*3]))
  end
end
end
```

結果として発生するドレイン電流およびドレイン電圧は、Test Script Builder の Instrument Console に表形式で戻されます。グラフ化および詳細な分析のために、データを Microsoft® Excel® などのスプレッドシートにコピーして貼り付けることができます。

以下の図は、この例で生成される曲線群のグラフを示しています。

図 35: 2 台の 2450 型で生成される MOSFET ドレイン曲線群



## 充電式バッテリーの測定

このセクションの内容は以下のとおりです

はじめに.....	8-1
必要な機器.....	8-3
デバイスの接続.....	8-3
バッテリーの自動充電サイクル・テスト.....	8-5

### はじめに

このアプリケーションの例では、1 台の 2450 型を使用して自動バッテリー放電および充電サイクル テストを実行する方法について説明します。

#### 警告

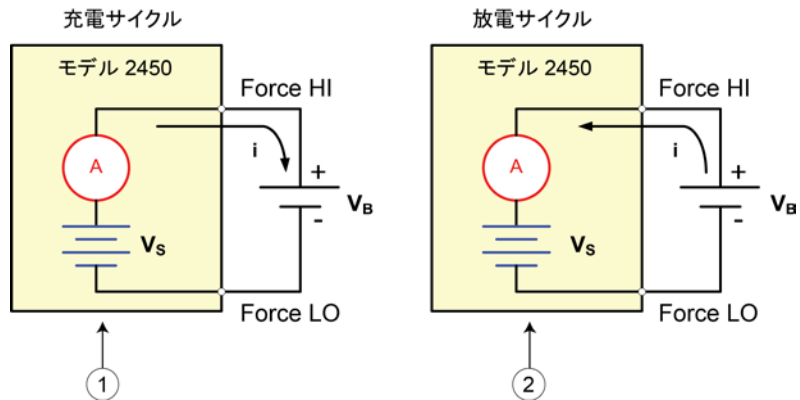
ケガまたは 2450 型の損傷を防止するために、再充電できないバッテリーを充電しようとししないでください。2450 型で充電できるバッテリーには、ニッケル カドミウム (Ni-Cd)、ニッケル水素 (Ni-MH)、リチウム イオン (Li-ion)、再充電可能なアルカリ電池、および鉛蓄電池などがあります。ここにリストされていないバッテリー タイプで作業する場合は、技術支援を受けるためにお近くの **Keithley** 事務所、販売パートナー、支社または代理店にお問い合わせいただくか、弊社アプリケーション エンジニアまでご連絡ください。

2450 型を使用したバッテリーの充電または放電については、バッテリー製造業者の要件に必ず従ってください。バッテリーを適切に充電または放電できなかった場合、液漏れまたは爆発が発生し、ケガおよび物的損害につながる場合があります。ビルトイン保護機能なしでバッテリーを充電する場合、過電圧および過電流保護は、機器の外部にある充電回路で提供される必要があります。

**21 V (1.05 A) または 210 V (105 mA) を超えるバッテリーを充電または放電しないでください。**

充電サイクルおよび放電サイクルの両方で、2450 型は電圧をソースして電流を測定するように設定します。次の図は、充電サイクルおよび放電サイクルに関する簡略化された図です。

図 36: バッテリー充電および放電サイクルの図



1	2450 型はソース モード ( $V_S > V_B$ ) になっています。機器は電源として機能します。充電電流 ( $i$ ) はプラスです。
2	2450 型はシンク モード ( $V_S < V_B$ ) になっています。機器は電子負荷として機能します。放電電流 ( $i$ ) はマイナスです。

### 充電

バッテリーは通常、定電流を使用して充電されます。そのためには、2450 型の設定電圧をバッテリーの定格電圧に、希望する充電電流を電流リミットに設定する。結果として、この電圧の差が、ユーザ定義の電流リミットに即時に制限された電流を駆動します。電流リミットの場合、2450 型はプログラムされた電圧レベルに達するまで、定電流源として機能します。バッテリーが完全に充電されると、電流はゼロまたはゼロ近くまで減少します。安全上の問題またはバッテリーの損傷を防止するため、バッテリーを過充電しないように注意してください。

### 放電

バッテリーを放電する場合、2450 型はソースではなく消費電源であるため、シンクとして作動します。2450 型の電圧ソースは、バッテリー電圧より低いレベルに設定されています。電流リミットにより、放電率が設定されます。出力が有効になっている場合、バッテリーからの電流は 2450 型の HI 端子に流れます。結果として、電流の読み取り値はマイナスになります。放電電流は、2450 型の電圧ソース設定までバッテリー電圧が下がるまでは一定のままです。

## ⚠ 注意

電流源を使用してバッテリーを充電または放電する場合、以下の注意に従う必要があります。これらの注意に従わなかった場合、保証の対象外となる機器の損傷につながる可能性があります。

外部電圧が電流源の電圧リミット設定を超えないようにしてください。外部バッテリーまたは電源から過度の電流が流れる原因になります。

電流源のOutput-off stateを必ず高インピーダンス用に設定してください。この設定により、出力がオフになったときに出力リレーが開きます。通常のOutput-off stateが選択されている場合、出力をオフにすると、電圧リミットはゼロに制限されます。このソース リミットが 0 V という状況では、外部バッテリーまたはソースから過度の電流が流れます。

エネルギーを供給するデバイスに 2450 型を接続する前に、Output-off state、ソース、およびリミットを注意深く考慮し、設定してください。エネルギーを供給できるデバイスには、電圧ソース、バッテリー、キャパシタ、および太陽電池が含まれます。デバイスに接続する前に機器の設定を行ってください。Output-off state、ソース、および制限について考慮しなかった場合、機器の損傷あるいは被測定デバイス (DUT) の損傷につながる可能性があります。

電流源をシンクとして使用する場合、電圧リミットを必ず設定し、過電圧保護 (OVP) を外部電圧レベルよりも高いレベルに設定してください。これを行わなかった場合、過度の電流が 2450 型に流れ (<105 mA)、測定が正しく行われない可能性があります。

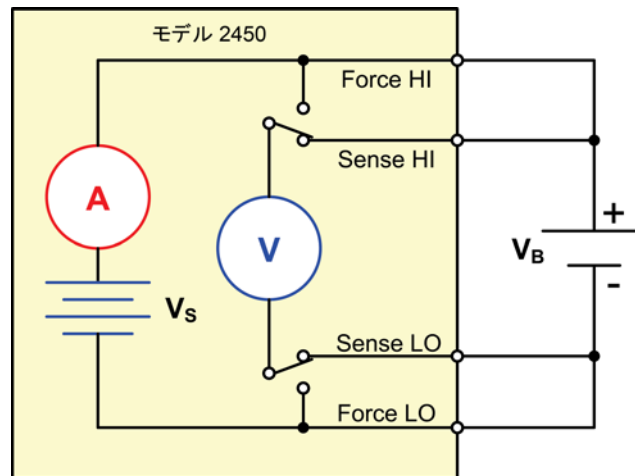
## 必要な機器

- 1 台の 2450 型
- フロント パネル コネクタを使用している場合、4 本の絶縁バナナ ケーブル (2450 型には ケースレー インストゥルメンツ モデル 8608 安全クリップ リード線が 1 セット付属しているため、もう 1 セットが必要)
- リア パネル コネクタを使用している場合、4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブル
- 2450 型をコンピュータに接続するための 1 本の GPIB ケーブル、1 本の USB ケーブル、または 1 本の Ethernet ケーブル
- テストするための再充電可能な 2300 mAh AA (1.2 V) バッテリー 1 台

## デバイスの接続

テストをセットアップするには、以下の図に示されているように 2450 型をバッテリーに接続します。リード抵抗の影響を取り除くために、機器の端子からバッテリーまで 4 線 (リモート センス) で接続します。これにより、機器の端子と可能な限り近いバッテリー電圧を測定できます。

図 37: バッテリー充電および放電サイクル テストの図



**警告**

危険電圧はすべての出力およびガード端子に存在する可能性があります。ケガまたは死亡事故につながる可能性がある感電事後を防止するために、出力がオンになっている間は 2450 型を接続したり、切断したりしないでください。

感電を防ぐには、人員が導体に触れられないようにするか、またはすべての被測定デバイス (DUT) が導体にふれないようにテスト接続を構成しなければなりません。機器から DUT を切断してから、機器をオンにするのは良い習慣です。安全な設置には、導体に触れないようにする、適切なシールド、障壁、接地が必要です。

保安接地 (安全接地) と 2450 型の LO 端子との内部接続はありません。このため、LO 端子で危険電圧 ( $30 V_{rms}$  を超える) が発生する可能性があります。これは、機器が操作されるどのモードでも発生する可能性があります。危険電圧が LO 端子で発生しないようにするには、ご使用のアプリケーションで許可されている場合、LO 端子を保安接地に接続します。LO 端子をフロント パネルのシャーシ接地端子あるいはリア パネルのシャーシ接地ネジに接続することができます。フロント パネル端子はリア パネル端子とは分離していることに注意してください。このため、フロント パネル端子を使用している場合は、フロント パネルの LO 端子に接地してください。リア パネル端子を使用している場合は、リア パネルの LO 端子に接地してください。

機器のリア パネルまたはフロント パネルから 2450 型に、テスト接続をすることができます。

2450 型の基本的な接続構成には、以下のものが含まれます。

- 2 線センス
- 4 線リモート センス
- ガード

2450 型の Force HI および Sense HI 出力端子をバッテリーのプラス (+) 端子に接続します。Sense LO および Force LO 出力をバッテリーのマイナス (-) 端子に接続します。

2450 型の出力がオフの場合、それが高インピーダンス (HighZ) Output-off state に設定されていることを確認してください。高インピーダンス Output-off state が選択されている場合、出力がオフになっていれば出力リレーが開きます。これにより、出力がオフになっている場合にバッテリーが消費してしまうのを防ぐことができます。

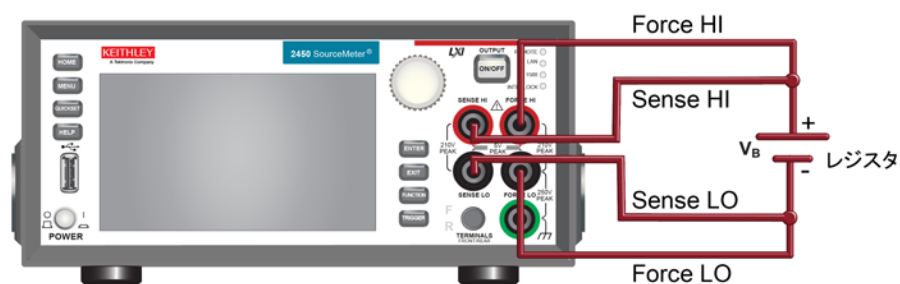


Output-off state を高インピーダンスに設定するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** キーを押します。
2. Source 列で **Settings** を選択します。
3. Output Off State の横にあるボタンを選択し、**High Impedance** を選択します。
4. **HOME** キーを押すと、ホーム画面に戻ります。

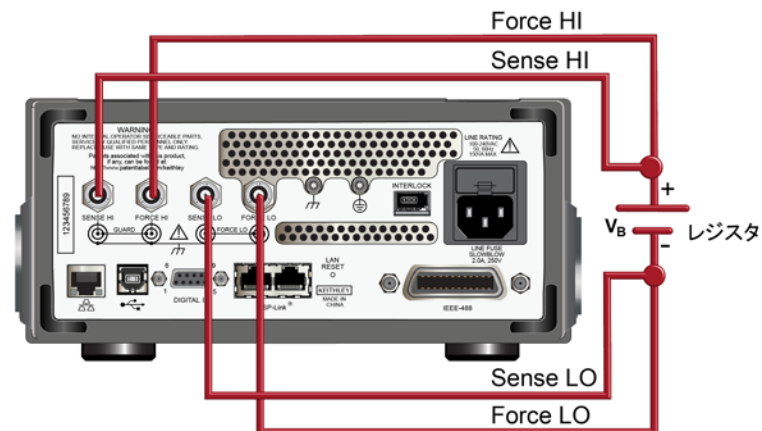
以下の図はフロント パネル接続を示しています。これらの接続は、ケースレーインストルメント モデル 8608 安全クリップ リード線セットを 2 セットなど、4 本の絶縁バナナ ケーブルを使用して行うことができます。

図 38: バッテリー放電および充電アプリケーション用の 2450 型のフロント パネル接続



以下の図はリア パネル接続を示しています。これらの接続は 4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブルを使用して行うことができます。

図 39: バッテリー放電および充電アプリケーション用のリア パネル接続



## バッテリーの自動充放電サイクル・テスト

バッテリー充電および放電サイクルには数時間かかることもあるため、テストを自動化することは重要です。この例では、2450 型で SCPI コマンドまたは TSP コマンドを使用して自動バッテリー放電テストを実行する方法について説明します。

このアプリケーションでは、以下のことを行います。

- 機器をリセットします。
- 測定を 4 線コンフィグレーションに設定します。
- 電圧をソースして電流を測定するように機器を設定します。
- 高インピーダンス出力オフ モードを選択します。これにより、2450 型の出力がオフになっている場合、出力リレーが開きます。こうすることで、出力がオフになっている機器に接続されている場合に、バッテリーの消耗を防ぎます。
- 電流リミットを、バッテリーを充電または放電する電流レベルに設定します。これはテストの負荷電流です。電圧をソースしている場合でも、2450 型は電流リミット内にあるため、希望する電圧に達するまでは定電流モードで作動します。
- ソース リードバックをオンにして、充電または放電を行っているときに 2450 型でバッテリー電圧を測定できるようにします。
- 負荷電流、ソース リードバック電圧、および相対タイムスタンプを読み取ります。
- バッテリー電圧が希望する電圧レベルに達するまで電圧をモニタし、テストを停止します。

バッテリーを充電する場合は、バッテリーの電圧定格と等しい電圧を出力するように 2450 型をプログラムします。例えば、10 V バッテリーを充電するには、2450 型をソース 10 V に設定します。バッテリーが完全に充電されると、電流はゼロまたはゼロ近くまで減少します (バッテリー充電済み)。

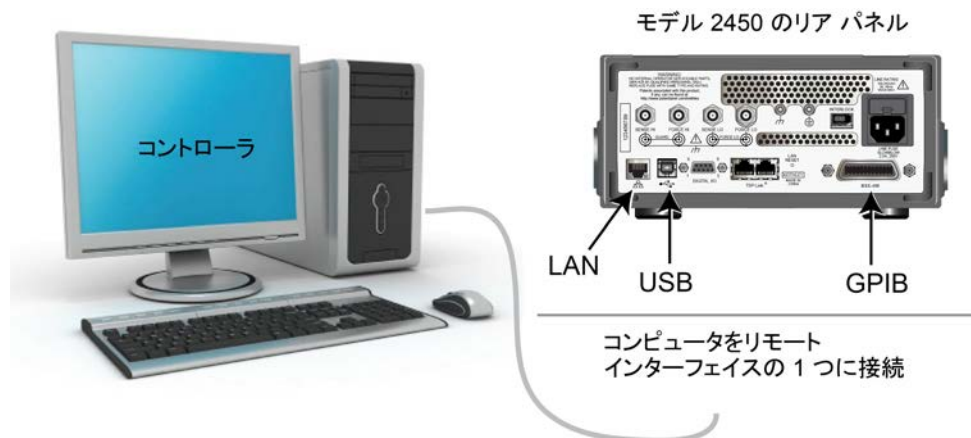
バッテリーを放電する場合は、電圧をバッテリー電圧よりも低いレベルに出力し、Output-off state を高インピーダンスに設定するように 2450 型をプログラムします。このコンフィグレーションでは、2450 型はシンクとして作動し、バッテリーを放電します。電流はバッテリーから 2450 型の HI 端子に流れ、結果として電流の測定値はマイナスになります。バッテリーが放電されると、電流は一定になります。

## リモート通信をセットアップする

このアプリケーションは、機器でサポートされている通信インターフェース ( GPIB、USB、または Ethernet ) から実行できます。

次の図は、リモート通信インターフェースのリア パネル接続の位置を示しています。リモート通信のセットアップ方法についての詳細情報については、[リモート通信インターフェース](#) ( ページ 3-1 ) を参照してください。

図 40: 2450 型のリモート インターフェース接続



## SCPI コマンドを使用したバッテリー アプリケーションのセットアップ

この例の SCPI コードは、2450 型をソース電圧機能および電流測定モードに設定します。電圧ソースは 1 V に設定され、ソース リミットは 460 mA に設定されます。電圧、電流、および相対タイムスタンプの値が戻されます。測定は、電圧が設定レベルに達するまで行われます。

以下のコード例では、一部のコードに「疑似コード」というラベルが付けられていることに注意してください。疑似コード行で使用するコードは、使用するプログラミング環境によって変化します。

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

SMU コマンド または疑似コード	コマンド	説明
SMU コマンド	<pre>*RST OUTP:SMOD HIMP SENS:RES:RSEN ON SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT 1 SOUR:VOLT:READ:BACK ON SOUR:VOLT:RANG 2 SOUR:VOLT:ILIM 460e-3 SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG 1 OUTP ON</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 機器をリセットします。</li> <li>• 高インピーダンス出力モードをオンにします。</li> <li>• 4 線センス モードに設定します。</li> <li>• ソース電圧に設定します。</li> <li>• ソース レベルを 1 V に設定します。</li> <li>• ソース リードバックをオンにします。</li> <li>• ソース レンジを 2 V に設定します。</li> <li>• ソース リミットを 460 mA に設定します。</li> <li>• 電流を測定するように設定します。</li> <li>• 電流レンジを 1 A に設定します。</li> <li>• 出力をオンにします。</li> </ul>
疑似コード	<pre>iteration = 1 voltLimit = 1.0 current = [] voltage = [] seconds = [] hours = [] while true do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• iteration という変数を作成し、1 に初期化します。</li> <li>• voltLimit という変数を作成し、1 に初期化します。</li> <li>• 電流測定用に空の配列を作成します。</li> <li>• 電圧測定用に空の配列を作成します。</li> <li>• 時間値用に空の配列を作成します。</li> <li>• while ループを開始します。</li> </ul>
SMU コマンド	<pre>current[iteration] = READ? "defbuffer1" voltage[iteration] = TRAC:DATA? iteration, iteration, "defbuffer1", SOUR seconds[iteration] = TRAC:DATA? iteration, iteration, "defbuffer1", REL</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電流測定値を配列 current に付加します。</li> <li>• 電圧測定値を配列 voltage に付加します。</li> <li>• 時間測定値を配列 seconds に付加します。</li> </ul>

疑似コード	<pre> hours[iteration] =   seconds[iteration]/3600 print(voltage[iteration],       current[iteration],       hours[iteration]) if voltage[iteration] &lt;=   voltLimit then:   break end if iteration = iteration + 1 delay(10) end while         </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各反復にかかった時間を計算します。</li> <li>測定された値を表示します。</li> <li>この反復の電圧測定値を電圧リミットと比較します。測定された値がリミット以下の場合、ループから抜け出します。</li> <li>if ステートメントを終了します。</li> <li>1 ずつ反復カウントを増やします。</li> <li>10 秒間遅延します。</li> <li>while ループを終了します。</li> </ul>
SMU コマンド	OUTP OFF	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力をオフにします。</li> </ul>

## TSP コマンドを使用したバッテリー アプリケーションのセットアップ

### NOTE

以下の TSP コードは、ケースレーインストルメンツ Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB は、2450 型に付属している CDROM の 1 つに含まれているソフトウェア ツールです。TSP 対応の機器用にコードを作成したり、スクリプトを開発したりする場合には、TSB をインストールして使用することができます。TSB の使用方法についての情報は、TSB のオンライン ヘルプおよび 2450 型 *Reference Manual* の「INTRODUCTION TO TSP OPERATION」セクションに収められています。

他のプログラミング環境を使用するには、TSP コード例に変更を加えなければならない場合があります。

デフォルトで、2450 型は SCPI コマンド セットを使用するように設定されています。TSP コマンドを機器に送信する前に、TSP コマンド セットを選択する必要があります。

**TSP コマンドを有効にするには、以下の手順に従います。**

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択し、**TSP** を選択します。
4. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。**Yes** を選択します。

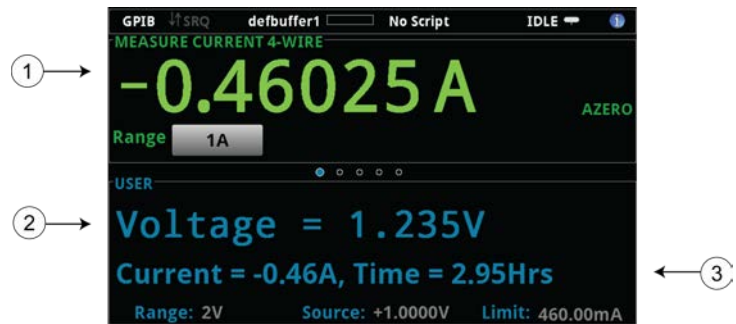
この例の TSP コードは、2450 型をソース電圧機能および電流測定機能に設定します。電圧ソースは 1 V に設定され、ソース リミットは 460 mA に設定されます。電圧、電流、および相対タイムスタンプの値が戻されます。測定は、電圧が設定レベルに達するまで行われます。テスト中に、これらの測定は画面下部の USER スワイプ [ユーザ スワイプ] 画面に表示されます (コード例の後の図を参照)。

この例のアプリケーションでは以下の TSP コマンドを送信します。

```
--Reset the instrument, which clears the buffer.
reset()
--Source settings.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.offmode = smu.OFFMODE_HIGHZ
smu.source.level = 1
smu.source.range = 2
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.ilimit.level = 460e-3
--Measure settings.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.range = 460e-3
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
--Set the voltage limit at which the battery will stop discharging.
--Set the variable for the number of iterations.
voltLimit = 1.0
iteration = 1
--Turn on the source output.
smu.source.output = smu.ON
--Change the display to the USER swipe screen.
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
--Keep taking readings in the while loop until the measured voltage
--is equal to the voltage limit.
while true do
  --Take a reading and get the current, voltage, and relative
  --timestamp values.
  curr = smu.measure.read(defbuffer1)
  volt = defbuffer1.sourcevalues[iteration]
  time = defbuffer1.relativetimestamps[iteration]
  hours = time/3600
  --Print the number of completed cycles, the voltage, and the time
  --for the iteration. Display information on the front panel.
  print("Completed Cycles: ", iteration, "Voltage: ", volt,
    "Time:", time)
  display.settext(display.TEXT1, string.format("Voltage = %.4fV", volt))
  display.settext(display.TEXT2, string.format("Current = %.2fA,
    Time = %.2fHrs", curr, hours))
  --Increment the number of iterations and wait 10 seconds.
  --Compare the measured voltage to the voltage limit.
  --Exit the loop if the voltage limit has been reached.
  if volt <= voltLimit then
    break
  end
  iteration = iteration + 1
  delay(10)
end
--Turn the output off when the voltage limit is reached.
smu.source.output = smu.OFF
--Print the measured values in a four-column format.
print("\nIteration:\tCurrent:\tVoltage:\tTime:\n")
for i = 1, defbuffer1.n do
  print(i, "\t", defbuffer1[i], "\t", defbuffer1.sourcevalues[i],
    "\t", defbuffer1.relativetimestamps[i])
end
end
```

次の図に、このテスト アプリケーションの結果を示します。

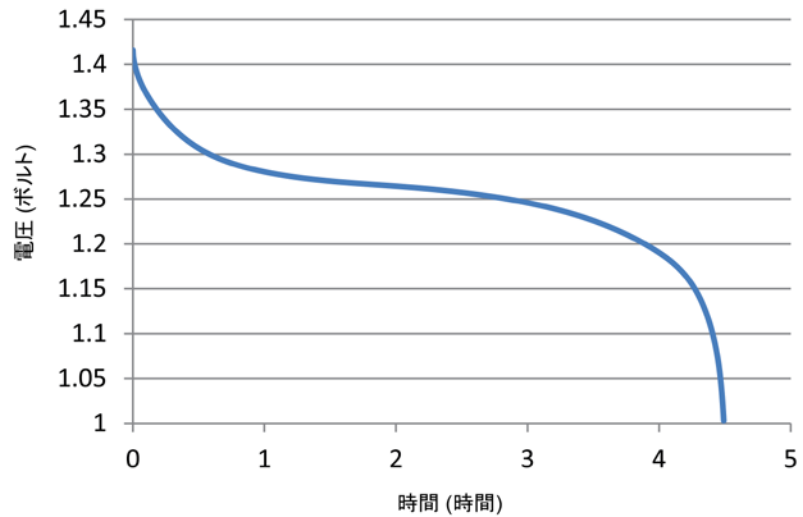
図 41: テスト結果を表示する 2450 型 USER スワイプ [ユーザ スワイプ] 画面



1	測定された負荷電流
2	測定されたバッテリー電圧
3	ソース値とテストの経過時間

図 42: バッテリー充電および放電テストの結果

460 mA (0.2 C) で放電された  
2300 mAh AA バッテリー



## 太陽電池の I-V 特性の測定

このセクションの内容は以下のとおりです

はじめに.....	9-1
必要な機器.....	9-1
リモート通信をセットアップする.....	9-2
デバイスの接続.....	9-2
太陽電池の特性.....	9-4

### はじめに

このアプリケーションの例では、2450 型を使用して太陽電池の IV 特性を測定する方法について説明します。2450 型によって測定された I-V 特性から、以下を含む太陽電池に関する重要なパラメータを判別することができます。

- 最大電流 ( $I_{max}$ ) および電圧 ( $V_{max}$ )
- 最大電力 ( $P_{max}$ )
- 開回路電圧 ( $V_{oc}$ )
- 短絡電流 ( $I_{sc}$ )

2450 型には四象限ソース機能が備わっているため、適用される電圧の機能として最大でセル電流 1 A をシンクできます。

### 必要な機器

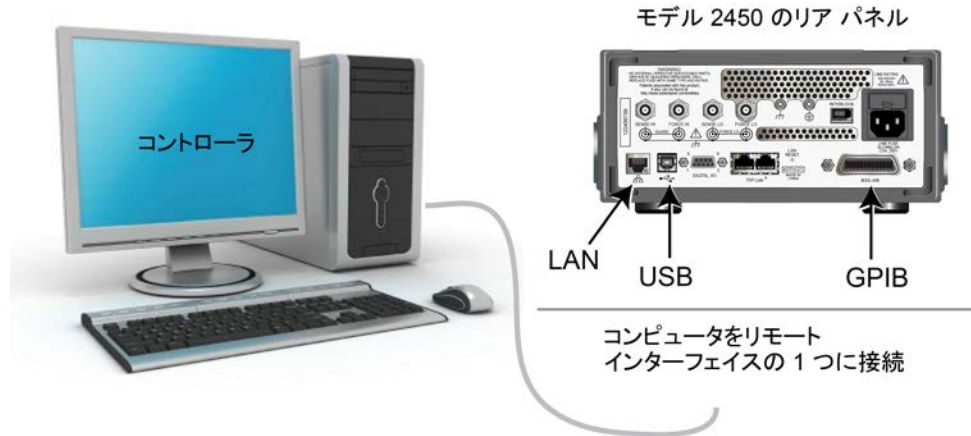
- 1 台の 2450 型
- フロント パネル コネクタを使用している場合、4 本の絶縁バナナ ケーブル (2450 型には ケースレー インストルメンツ モデル 8608 安全クリップ リード線が 1 セット付属しているため、もう 1 セットが必要)
- リア パネル接続を使用している場合、4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブル
- 1 台の太陽電池

## リモート通信をセットアップする

このアプリケーションは、フロント パネルから、あるいは機器でサポートされている通信インタフェース ( GPIB、USB、または Ethernet ) から実行できます。

次の図は、リモート通信インタフェースのリア パネル接続の位置を示しています。リモート通信のセットアップについての詳細情報については、[リモート通信インタフェース](#) ( ページ 3-1 ) を参照してください。

図 43: 2450 型のリモート インタフェース接続



## デバイスの接続

最良の測定精度を提供し、測定のリード抵抗の影響を取り除くために、2450 型を太陽電池に 4 線コンフィグレーションで接続します。

4 線接続メソッドを使用するには、以下の手順に従います。

- FORCE LO および SENSE LO リードを陰極端子に接続します。
- FORCE HI および SENSE HI リードを陽極端子に接続します。
- 測定でのテスト リードの抵抗が含まれないようにするため、太陽電池にできる限り近づけて接続します。

このアプリケーションではフロント パネル端子またはリア パネル端子のいずれかを使用できます。

### 警告

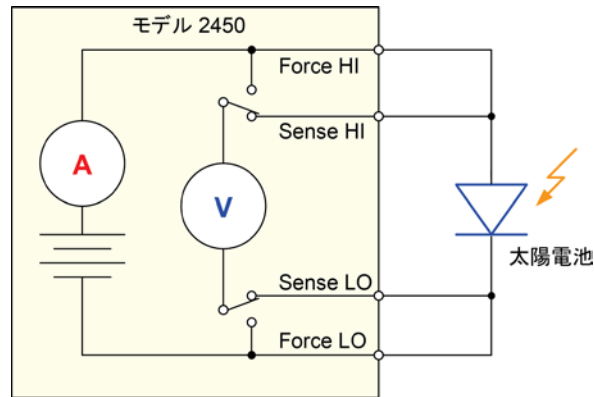
危険電圧はすべての出力およびガード端子に存在する可能性があります。ケガまたは死亡事故につながる可能性がある感電事故を防止するために、出力がオンになっている間は 2450 型を接続したり、切断したりしないでください。

感電を防ぐには、人員が導体に触れられないようにするか、またはすべての被測定デバイス (DUT) が導体にふれないようにテスト接続を構成しなければなりません。機器から DUT を切断してから、機器をオンにするのは良い習慣です。安全な設置には、導体に触れないようにする、適切なシールド、障壁、接地が必要です。



次の図は、このアプリケーションの回路図を示します。

図 44: 太陽電池への 2450 型の接続



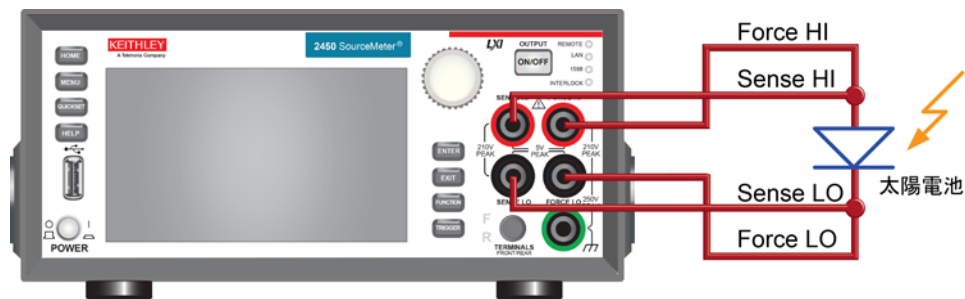
フロント パネルおよびリア パネルの物理接続を以下の図に示します。フロント パネル端子またはリア パネル端子のいずれか一方を使用する必要があることに注意してください。接続を混在させることはできません。

リア パネルの接続はトライアキシャル (三重同軸) になっています。フロント パネル接続は、安全なバナナジャックになっています。

2450 型に接続を行う前に、機器の電源をオフにしてください。

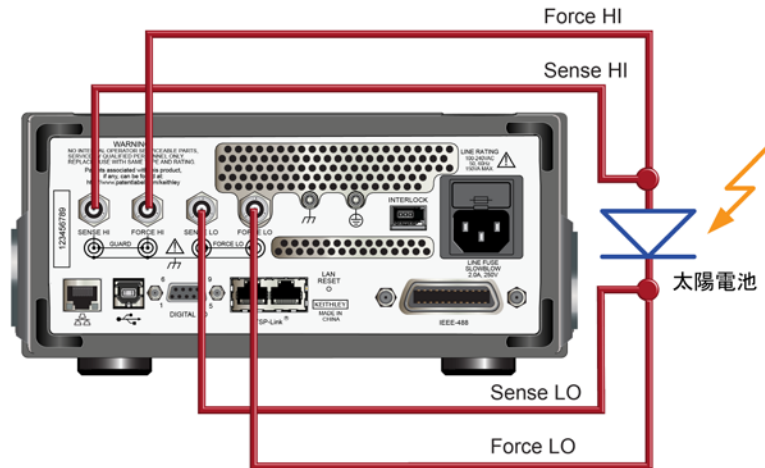
以下の図はフロント パネル接続を示しています。これらの接続は、ケースレイインストルメント モデル 8608 安全クリップ リード線セットを 2 セットなど、4 本の絶縁バナナ ケーブルを使用して行うことができます。

図 45: 2450 型のフロント パネルへの 4 線接続



以下の図はリア パネル接続を示しています。これらの接続は 4 本のトライアキシャル (三重同軸) ケーブルを使用して行うことができます。

図 46: 2450 型のリア パネルへの 4 線接続



## 太陽電池の特性

このアプリケーションは、2450 型を使用して太陽電池の特性を測定する方法について示します。ここに示されている例は、フロント パネル、リモート インタフェースによる SCPI コード、およびリモート インタフェースによる TSP コードの使用法を示すものです。

このテストでは、以下のことを行います。

- 機器をリセットします。
- ソース電圧機能および電流測定機能を選択します。
- 電流リミットを設定します。
- 4 線 (リモート センス) モードを選択します。
- 電圧掃引をセットアップして生成します。
- トリガ モデルを開始します。これにより、出力がオンになります。
- 測定結果を記録します。
- 電圧掃引が完了したら、出力をオフにします。
- 測定結果を取得します。
- フロント パネルのグラフにデータを表示します。

## フロント パネルから太陽電池の I-V 掃引をセットアップする

これは、0 V から 0.55 V まで 10 mV ステップで電圧を掃引し、結果として発生する電流を測定する I-V テストの例です。次に、データをグラフ画面に表示することができます。

### メモ

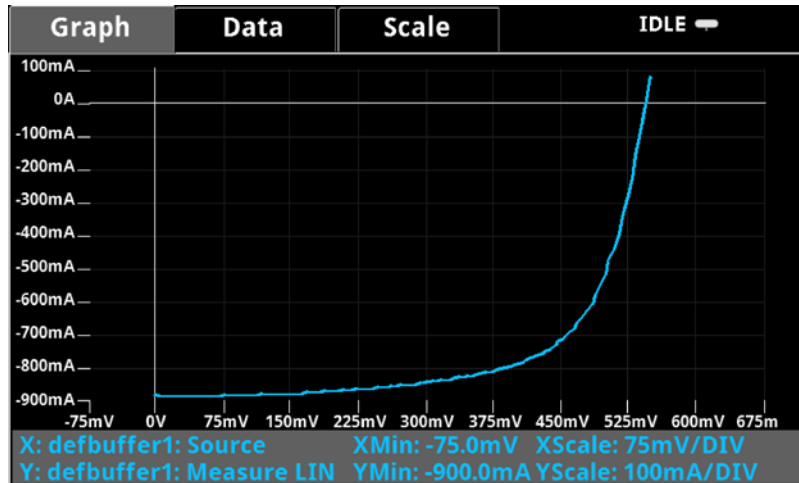
このアプリケーションでは光源を制御する必要があります。

フロント パネルからアプリケーションをセットアップするには、以下の手順に従います。

1. [デバイスの接続](#) (ページ 9-2) で説明されているとおりに、機器および被測定デバイス (DUT) に接続します。
2. フロント パネルの **POWER** スイッチを押して、機器をオンにします。
3. 機器をリセットします。
  - a. **MENU** キーを押します。
  - b. System で、**Manage** を選択します。
  - c. **System Reset** を選択します。
  - d. **OK** を選択します。
4. **HOME** キーを押します。
5. **FUNCTION** キーを押します。
6. Source Voltage および Measure で、**Current** を選択します。
7. **MENU** キーを押します。
8. Measure で、**Settings** を選択します。
9. Sense Mode の横にあるボタンを選択し、**4-Wire Sense** を選択します。
10. **MENU** キーを押します。
11. Source で、**Sweep** を選択します。
12. 開始レベルを 0 V に設定します。
13. 停止レベルを 0.55 V に設定します。
14. ステップ レベルを 10 mV に設定します。
15. Source Limit が表示されるまで SWEEP SETTINGS 画面を下にスワイプします。
16. Source Limit の横にあるボタンを選択し、1 A と入力します。
17. **OK** をクリックします。
18. **Generate** を選択します。これにより、掃引のトリガ モデルがセットアップされます。
19. **MENU** キーを押します。
20. Views で **Graph** を選択します。
21. **TRIGGER** キーを押して、トリガ モデルを開始します。
22. 掃引を繰り返すには、**TRIGGER** キーを再度押します。

フロント パネル グラフの太陽電池の I-V 測定の例を次の図に示します。2450 型が電流をシンクしているため、電流はグラフ上ではマイナスになることに注意してください。

図 47: フロント パネル グラフでの太陽電池測定の場合



### SCPI コマンドを使用して太陽電池の I-V 掃引をセットアップする

この例での SCPI コマンドのシーケンスは太陽電池で I-V 掃引を生成します。このコードがご使用のプログラミング環境で実行されるように、変更を行う必要があります。

この例では、電圧が 0 V から 0.55 V へと 56 段階で掃引されます。その結果として得られる太陽電池の電流が測定されます。電流および電圧の測定はデフォルト バッファ 1 (defbuffer1) に保存されます。

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

コマンド	説明
<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON SENS:CURR:RSEN ON SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 2 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:SWE:VOLT:LIN 0, 0.53, 56, 0.1 :INIT *WAI TRAC:DATA? 1, 56, "defbuffer1", SOUR, READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2450 型をリセットします。</li> <li>• 電流を測定するように設定します。</li> <li>• オートレンジを有効にした測定を設定します。</li> <li>• 4 線センス モードを使用するように設定します。</li> <li>• ソース電圧に設定します。</li> <li>• 2 V ソース レンジに設定します。</li> <li>• 電流のリミットを 1 A に設定します。</li> <li>• 電圧を 0 V から 0.53 V まで 56 段階、遅延 0.1 秒で掃引するように設定します。</li> <li>• 掃引を開始します。</li> <li>• 掃引が完了するまで待機します。</li> <li>• defbuffer1 のソース値および測定値を読み取ります。</li> </ul>

## TSP コマンドを使用して太陽電池の I-V 掃引をセットアップする

### メモ

以下の TSP コードは、ケースレーインストルメンツ Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB は、2450 型に付属している CDROM の 1 つに含まれているソフトウェア ツールです。TSP 対応の機器用にコードを作成したり、スクリプトを開発したりする場合には、TSB をインストールして使用することができます。TSB の使用方法についての情報は、TSB のオンライン ヘルプおよび 2450 型 *Reference Manual* の「INTRODUCTION TO TSP OPERATION」セクションに収められています。

他のプログラミング環境を使用するには、TSP コード例に変更を加えなければならない場合があります。

デフォルトで、2450 型は SCPI コマンド セットを使用するように設定されています。TSP コマンドを機器に送信する前に、TSP コマンド セットを選択する必要があります。

**TSP コマンドを有効にするには、以下の手順に従います。**

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択し、**TSP** を選択します。
4. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。**Yes** を選択します。

このアプリケーションでは、0 V から 0.53 V まで 56 段階で電圧を出力する線形電圧掃引を構成します。掃引の間、太陽電池から得られる電流が機器によって測定されます。

この例のアプリケーションでは以下のコマンドを送信します。

```
--Define the number of points in the sweep.
num = 56
--Reset the instrument and clear the buffer.
reset()
--Set the source and measure functions.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
--Measurement settings.
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_FRONT
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
--Source settings.
smu.source.highc = smu.OFF
smu.source.range = 2
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.ilimit.level = 1
smu.source.sweeplinear("SolarCell", 0, 0.53, num, 0.1)
--Start the trigger model and wait for it to complete.
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Define initial values.
voltage = defbuffer1.sourcevalues
current = defbuffer1
isc = current[1]
mincurr = current[1]
imax = current[1]
voc = voltage[1]
vmax = voltage[1]
pmax = voltage[1]*current[1]
--Calculate values.
for i = 1, num do
  print(voltage[i],current[i],voltage[i]*current[i])
  if (voltage[i]*current[i] < pmax) then
    pmax = voltage[i]*current[i]
    imax = current[i]
    vmax = voltage[i]
  end
  if math.abs(current[i]) < math.abs(mincurr) then
    voc = voltage[i]
  end
end
pmax = math.abs(pmax)
imax = math.abs(imax)
print("Pmax = ", pmax, ", Imax = ", imax, ", Vmax = ", vmax, ", Isc = ", isc, ", Voc
    = ", voc)
--Display values on the front panel.
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
display.settext(display.TEXT1, string.format("Pmax = %.4fW", pmax))
display.settext(display.TEXT2, string.format("Isc = %.4fA, Voc = %.2fV", isc, voc))
```

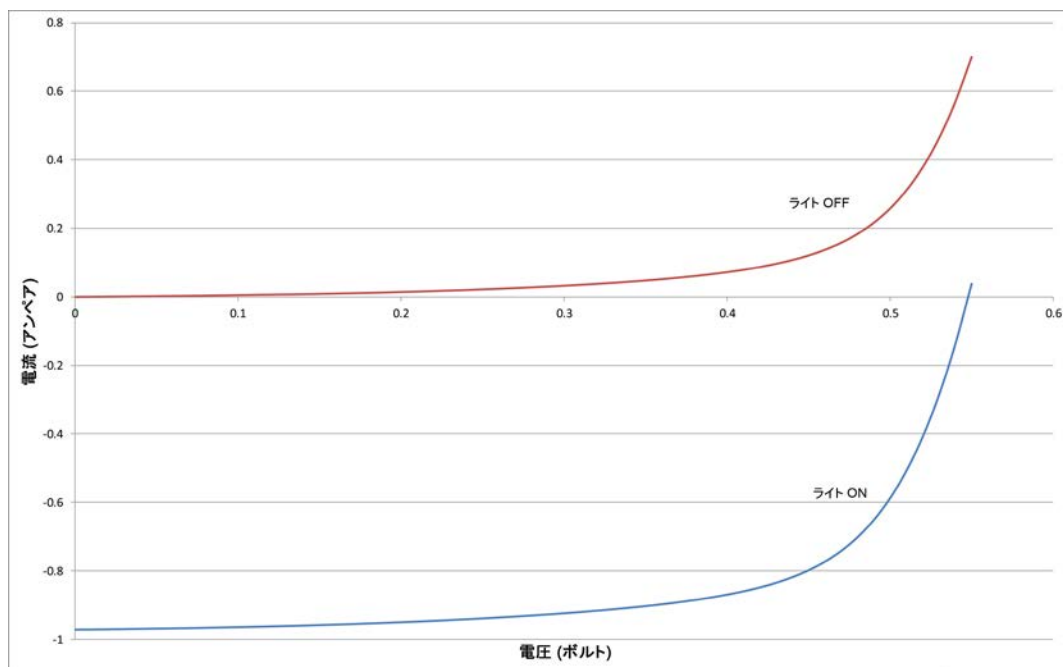
上の例では、`display.changescreen` および `display.settext` コマンドを使用して、機器は USER スワイプ [ユーザ スワイプ] 画面にカスタム テキストを表示するようにプログラムされています。テストが完了したら、下図に示すように画面は最大電力 ( $P_{max}$ )、短絡電流 ( $I_{sc}$ )、および開回路電圧 ( $V_{oc}$ ) を示します。

図 48: 太陽電池 I-V 掃引の結果が表示されている USER スワイプ画面



コードが実行されると、測定された電流、電圧、および計算された電力が Test Script Builder の Instrument Console に表示されます。グラフ化および詳細な分析のために、データを Microsoft® Excel® などのスプレッドシートにコピーして貼り付けることができます。次の図に示すのは、Excel スプレッドシートでのデータのグラフ作成の結果です。太陽電池でのテストは明るい場所 (光源オン) および暗い場所 (光源オフ) で実行されたことに注意してください。

図 49: 光源を使用して (あるいは使用せずに) 生成された太陽電池の I-V 特性







## トラブルシューティング FAQ

### このセクションの内容は以下のとおりです

このセクションの内容 .....	10-1
アップデートされたドライバはどこにありますか? .....	10-1
ファームウェアのアップグレードはどのように行いますか? .....	10-2
2450 型で USB フラッシュ ドライブが読み取れないのはどうしてですか? .....	10-2
コマンド セットの変更はどのように行いますか? .....	10-2
5074 イベント コードを受け取るのはどうしてですか? .....	10-3
機器の現在の状態はどのように保存しますか? .....	10-4
設定が変更されていますがそれはどうしてですか? .....	10-4
クイック セットアップ オプションとは何ですか? .....	10-5

### このセクションの内容

このセクションでは、2450 型に関連してよく尋ねられる質問の答えを示します。追加の FAQ については、2450 型の *Reference Manual* の「Frequently Asked Questions (FAQs)」セクションを参照してください。

### アップデートされたドライバはどこにありますか？

最新のドライバおよび追加サポート情報については、ケースレーインストルメンツ サポートのウェブサイトを参照してください。

使用する機器で利用できるドライバは何かを確認するには、

1. [ケースレーインストルメンツ サポート ウェブサイト](http://www.keithley.com/support) (<http://www.keithley.com/support>) を参照してください。
2. 使用する機器のモデル番号を入力します。
3. リストから **Software Driver** を選択します。

LabVIEW™ の場合、National Instrument のウェブサイトでも同社機器のドライバ データベースを検索できます。

### メモ

LabVIEW は、SCPI コマンド・セットでのみ使用できます。

## ファームウェアのアップグレードはどのように行いますか？

### ⚠ 注意

アップグレード プロセスが完了するまで、電源をオフにしたり、USB フラッシュ ドライブを取り外したりしないでください。

#### フロント パネルから:

1. ファームウェア アップグレード ファイルを USB フラッシュ ドライブにコピーします。
2. アップグレード ファイルがフラッシュ ドライブのルート サブディレクトリにあることと、そのファイルがその場所に存在する唯一のファームウェア ファイルであることを確認します。
3. 機器に取り付けられている入力および出力端子をすべて取り外します。
4. 機器の電源をオンにします。
5. フラッシュ ドライブを機器のフロント パネルの USB ポートに挿入します。
6. 機器のフロント パネルで、**MENU** キーを押します。
7. System で、**Manage** を選択します。
8. 新しいバージョンのファームウェアにアップグレードするには、**Upgrade to New** を選択します。
9. 以前のバージョンのファームウェアに戻すには、**Downgrade to Older** を選択します。
10. 機器がリモートで制御されている場合、メッセージが表示されます。**Yes** を選択して続行します。
11. アップグレードが完了したら、機器を再起動します。

アップグレードが進行する間、メッセージが表示されます。

アップグレード ファイルは、[ケースレイインストルメンツ のウェブサイト \(http://www.keithley.com\)](http://www.keithley.com) から入手できます。

## 2450 型で USB フラッシュ ドライブが読み取れないのはどうしてですか？

フラッシュ ドライブが FAT ファイル システムでフォーマットされていることを確認します。2450 型は FAT ドライブのみをサポートします。

Windows では、フラッシュ ドライブのプロパティをチェックすることによってファイル システムをチェックできます。

## コマンド セットの変更はどのように行いますか？

2450 型で使用するコマンド セットは変更することができます。使用可能なリモート コマンド セットには、次のものが含まれます。

- SCPI: SCPI 規格で作成された機器固有の言語。
- TSP: 個々のコマンドを送信するのに使用したり、複数のコマンドをスクリプトに結合するのに使用したりできるプログラミング言語。
- SCPI 2400: 以前のシリーズ 2400 機器で開発されたコードを実行できる機器固有の言語。

複数のコマンド セットを結合することはできません。

ケースレイインストルメンツ から発送された時点で、2450 型は 2450 型 SCPI コマンド セットで機能するように設定されています。

## メモ

SCPI 2400 コマンド セットを選択した場合、SCPI コマンド セットで使用できていた一部の拡張範囲および他の機能にアクセスできなくなります。さらに、2450 型でのシリーズ 2400 コードの動作は、それ以前の機器での動作と異なります。相違点についての詳細は、2450 型 *Reference Manual* の「Model 2450 in a Model 2400 application」を参照してください。

フロント パネルからコマンド セットを設定するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** キーを押します。
2. System で、**Settings** を選択します。
3. Command Set の横にあるボタンを選択します。
4. コマンド セットを選択します。
5. 再起動するよう求めるプロンプトが表示されます。

リモート インタフェースから SCPI コマンド セットに変更するには、以下のようになります。

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI
```

機器をリブートします。

リモート インタフェースから TSP コマンド セットに変更するには、以下のようになります。

次のコマンドを送信します。

```
*LANG TSP
```

機器をリブートします。

リモート インタフェースから SCPI 2400 コマンド セットに変更するには、以下のようになります。

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI2400
```

機器をリブートします。

どのコマンド セットが選択されているか確認するには、以下のようになります。

次のコマンドを送信します。

```
*LANG?
```

## 5074 イベント コードを受け取るのはどうしてですか？

この機器のリア パネルには、インターロック回路があります。±42 V DC より高い電圧を生成できるようにするには、この回路をオンにする必要があります。インターロックがアサートされていない状態で、高電圧出力を割り当ててソースをオンにしようとする、イベント コード 5074、「Output voltage limited by interlock」が表示されます。

### 警告

2450 型ではインターロック回路が提供されていますが、高電圧出力を有効化するには、この回路を確実に有効にする必要があります。インターロックは、試験システムでの機器の安全な運用に役立ちます。インターロックを迂回すると、オペレータが危険な高電圧にさらされ、ケガまたは死亡事故につながる可能性があります。

安全インターロックがアサートされていない場合、ソースがオンになると、次のアクションが発生します。

- 公称出力が  $\pm 42\text{ V}$  に制限されます。
- フロント パネルの INTERLOCK インジケータが点灯しなくなります。

このエラーからリカバリするには、2450 型の出力をオンにする前に、安全なテスト・フィクスチャを使用してインターロックを適切に連動させます。

## 機器の現在の状態はどのように保存しますか？

フロント パネル メニューを使用して、あるいはリモート インタフェースから、設定を機器に保存することができます。保存された後は、それら呼び戻したり、USB フラッシュ ドライブにコピーしたりできます。

**フロント パネルから:**

1. 保存したい設定に 2450 型を構成します。
2. **MENU** キーを押します。
3. Scripts で **Create Config** を選択します。CREATE CONFIG SCRIPTS ウィンドウが表示されます。
4. **Create** を選択します。キーボードが表示されます。
5. キーボードを使用してスクリプトの名前を入力します。
6. 表示されているキーボードで、**OK** ボタンを選択します。スクリプトが内部メモリに追加されます。

**SCPI コマンドの使用:**

保存したい設定に機器を構成します。セットアップを保存するには、以下のコマンドを送信します。

```
*SAV <n>
```

ここで、<n> は 0 から 4 までの整数です。

### メモ

フロント パネルのスクリプト メニューで、\*SAV コマンドで保存されたセットアップの名前は Setup0x になります (x は <n> に設定する値)。

**TSP コマンドの使用:**

保存したい設定に機器を構成します。セットアップを保存するには、以下のコマンドを送信します。

```
createconfigscript ("setupName")
```

ここで、*setupName* は作成されるセットアップ スクリプトの名前です。

## 設定が変更されていますがそれはどうしてですか？

2450 型の多くのコマンドは、設定したときにアクティブだったソースまたは測定機能とともに保存されています。例えば、測定機能が電流に設定されていて NPLC の値を設定したとします。電測定機能を電圧に変更した場合、NPLC 値は電圧測定機能に最後に設定された値に変更されます。電流測定機能に戻ると、NPLC 値は直前に設定された値に戻ります。

## クイック セットアップ オプションとは何ですか？

QUICKSET [クイック セット] キーを使用すると、事前定義された機能、性能、およびクイック セットアップを提供する画面が開きます。

Function [機能] ボタンを使用すると、ソースおよび測定機能を選択できます。FUNCTION [機能] キーでも同じオプションを利用できます。

Performance [性能] スライダを使用すると、速度および分解能を調整できます。速度を上昇させると、分解能の量が少なくなります。分解能を増やすと、読み取り速度が低下します。これらの設定は、次に出力がオンになり、測定が行われたときに有効になります。

Quick Setups [クイック セットアップ] を使用すると、機器が Voltmeter [電圧計]、Ammeter [電流計]、Ohmmeter [抵抗計]、または Power Supply [電源] として作動するように設定できます。

### 注意

Quick Setup [クイック セットアップ] を選択すると、機器の出力がオンになります。他の電圧電源、バッテリー、キャパシタ、またはソーラー セルなどの電圧源を供給する装置に 2450 型を接続する前に、適切な Output-off state、ソース、および制限について注意深く考慮および構成してください。装置に接続する前に、機器で推奨されている設定を構成してください。Output-off state、ソース、および制限について考慮しなかった場合、機器の損傷あるいは被測定デバイス (DUT) の損傷につながる可能性があります。



このセクションの内容は以下のとおりです

2450 型についての追加情報 .....	11-1
-----------------------	------

### 2450 型についての追加情報

このマニュアルでは、ご使用のアプリケーションで新しい 2450 型 ソースメータの使用を開始する方法について説明しています。詳細は、ケースレーインストルメンツ の 2450 型 *Reference Manual* を参照してください。

関連資料、ソフトウェア ツール、およびドライバについての詳細は、*Model 2450 ソースメータの製品情報 CD-ROM* を参照してください。

機器に関するサポートおよび追加情報については、ケースレーインストルメンツ のウェブサイト、[www.keithley.com](http://www.keithley.com) (<http://www.keithley.com/support>) も参照してください。ウェブサイトから、以下にアクセスできます。

- ナレッジセンター。以下のハンドブックがあります。
  - 高感度測定ハンドブック: 微小 DC 電流、微小電圧、および抵抗の効果的な測定方法
  - *Switching Handbook: A Guide to Signal Switching in Automated Test Systems*
- アプリケーション ノート
- ドライバ更新版
- 関連製品に関する情報

お客様ご担当のフィールド アプリケーション エンジニアが、製品の選択、構成、および使用方法のお手伝いをします。お問い合わせ先については、ウェブサイトをご覧ください。

商品の仕様は、予告なしに変更される場合があります。  
Keithley の商標および商品名は、すべて Keithley Instruments, Inc. に帰属します。  
その他の商標および商品名は、すべて当該各社に帰属します。

**Keithley Instruments, Inc.**

本社 • 28775 Aurora Road • Cleveland, Ohio 44139 • 440-248-0400 • Fax: 440-248-6168 • 1-888-KEITHLEY • [www.keithley.com](http://www.keithley.com)

---

**KEITHLEY**  
A Tektronix Company

A Greater Measure Of Confidence