

2450 型ソースメータ (SMU)

ユーザ・マニュアル

2450-900-02 Rev. E / 2019 年 8 月



2450-900-02E

2450 型

ソースメータ (SMU)

ユーザ・マニュアル

© 2019, Keithley Instruments, LLC

Cleveland, Ohio, U.S.A.

All rights reserved.

Keithley Instruments, LLC 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。

これらの指示はオリジナルの英語版マニュアルに記載のものです。

TSP[®]、TSP-Link[®]、および TSP-Net[®] は、Keithley Instruments, LLC の商標です。Keithley Instruments の製品名は、すべて Keithley Instruments, LLC の商標または登録商標です。その他のブランド名は、当該のブランド所有者の商標または登録商標です。

Lua 5.0 ソフトウェアおよび関連ドキュメント・ファイルの著作権表示は、Copyright © 1994 - 2015, Lua.org, PUC-Rio です。Lua ソフトウェアおよび関連ドキュメントのライセンス条項については、Lua 社のライセンス・サイト (<http://www.lua.org/license.html>) を参照してください。

Microsoft、Visual C++、Excel、および Windows は米国とその他の国における Microsoft Corporation の登録商標または商標です。

文書番号：2450-900-02 Rev. E / 2019 年 8 月

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。

本製品は、負傷の危険を避けるために必要な安全に関する注意事項を理解し、感電の危険を理解したユーザが使用することを意図しています。本製品を使用する前に、すべての設置、使用、およびメンテナンスに関する情報を注意深く読み、それらを順守するようにしてください。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サービス担当者のみが設置およびサービス手順を実行できます。

ケースレー製品は、過渡過電圧が小さい、計測、制御、データ入出力接続などの電気信号向けに設計されていますので、コンセントや過渡過電圧が大きな電源装置に直接接続することはしないでください。測定カテゴリ II (IEC 60664 に準拠) 接続では、当該地域の AC コンセントに接続した場合にしばしば生じる大きな過渡過電圧からの保護が要求されています。ケースレーの測定機器／装置の中には、コンセントに接続可能なものもあります。このような機器や装置には、カテゴリ II またはそれ以上を示す記号が付いています。

仕様書や運用マニュアル、機器/装置のラベルでコンセントへの接続が明示的に許されている場合を除き、どの機器/装置もコンセントに直接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 ジャックまたは試験具には、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、30VRMS、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。不明な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ことで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。責任者は、ユーザがすべての接続点から保護されているか、または絶縁されていることを保証する必要があります。ときには、接続点の露出が避けられず、ユーザが接触する危険が避けられない場合があります。このような場合は、製品のユーザが自らを感電の危険から守れるように、教育する必要があります。回路が 1,000V 以上で動作可能な場合は、回路の導体部を露出してはいけません。

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。切換カードは AC 主電源には絶対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てください。

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／取り外しやスイッチング・カードの取り付け／取り外しを行う前、あるいはジャンパの取り付けや取り外しなど内部で何らかの変更を行う前には、必ず試験システム全体から電源を切断し、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足場の上で、必ず乾燥した手で測定を行ってください。


安全上、機器/装置およびアクセサリは、操作説明書に準じて使用してください。操作説明書に指定されていない方法で機器/装置およびアクセサリを使用すると、機器/装置の保証による保護が制限される場合があります。


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てください。最大信号レベルは、仕様または使用情報に記載されているほか、機器／テスト・フィクスチャのパネルや切換カードにも表記されています。


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。


シャーシ接続は測定回路のシールド接続だけで使用可能であり、保護のためのアース（安全接地）の接続として使用することはできません。


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。安全に運用するためには、フタのインターロックを使用する必要があります。


ネジのマーク  がある場合は、ユーザ・ドキュメントで推奨されているワイヤを使用して、保護のためのアース（安全接地）に接続してください。

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  という記号は、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。

 という記号は、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。

ユーザ・マニュアルで注意の見出しに  記号が併記されている箇所は、中程度または軽度の怪我や、機器へ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。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。機器への損傷は保証適用外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は、電源ケーブルとすべてのテスト・ケーブルを取り外してください。

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。機器に付属する取り外し可能な電源ケーブルを交換する場合には、同じ定格の電源ケーブルのみを使用してください。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から購入す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、ケースレーまでお問い合わせください。

製品に付属するドキュメント等で特に断りのない限り、ケースレーの機器は 2,000 メートル (6,562 フィート) 以下の標高、0°C~50°C (32F°~122F°) の温度範囲、汚染度が 1 または 2 の屋内環境での使用を想定して設計されています。

機器を清掃する場合は、純水に浸し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たり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。

安全対策（2017 年 6 月改訂版）

目次

はじめに	1-1
はじめに	1-1
本書の概要	1-1
延長保証	1-2
連絡先情報	1-2
マニュアルのダウンロード	1-2
本書のセクション構成	1-3
アプリケーション	1-3
前面パネルの概要	2-1
機器をオンまたはオフに切り替える	2-1
前面パネルの概要	2-2
2450 型の出力をオンまたはオフにする	2-5
タッチスクリーン・ディスプレイ	2-6
タッチスクリーンでのアイテムの選択	2-6
スクロール・バー	2-7
対話型スワイプ・スクリーン	2-7
メニューの概要	2-11
USB フラッシュ・ドライブに測定結果を保存する	2-12
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	2-12
リモート・インタフェースの使用	3-1
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	3-2
GPIB 通信	3-2
GPIB ドライバー・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	3-3
GPIB アドレスの設定	3-4
LAN 通信	3-5
機器での LAN 通信のセットアップ	3-6
コンピュータでの LAN 通信のセットアップ	3-7

USB 通信.....	3-8
USB を使用してコンピュータを 2450 型に接続する.....	3-9
機器との通信.....	3-9
Web インタフェースの使用.....	3-14
機器の Web インタフェースへの接続.....	3-14
LAN トラブルシューティング.....	3-15
Web インタフェースの Home ページ.....	3-16
機器の特定.....	3-17
イベント・ログのイベントの確認.....	3-17
使用するコマンド・セットの決定.....	3-18
前面パネルを使用した基本測定.....	4-1
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
前面パネルを使用した基本測定.....	4-3
前面パネルで測定を行う方法.....	4-3
低抵抗デバイスの測定.....	5-1
はじめに.....	5-1
必要な機器.....	5-1
リモート通信のセットアップ.....	5-2
デバイスの接続.....	5-2
低抵抗の測定.....	5-5
前面パネルから測定をセットアップする.....	5-5
前面パネルの GRAPH スワイプ画面に測定結果を表示する.....	5-6
前面パネルでバッファ統計を表示する.....	5-7
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.....	5-7
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.....	5-8
漏れ電流および絶縁抵抗.....	6-1
はじめに.....	6-1
必要な機器.....	6-2
リモート通信のセットアップ.....	6-2
デバイスの接続.....	6-2

漏れ電流の測定	6-4
前面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	6-5
前面パネルのグラフに測定結果を表示する	6-6
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	6-7
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	6-8
絶縁抵抗の測定	6-10
前面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	6-10
前面パネルのグラフに測定結果を表示する	6-11
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	6-12
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	6-13
FET の I-V 特性の測定	7-1
はじめに	7-1
必要な機器	7-1
リモート通信のセットアップ	7-2
外部ハードウェア・トリガのセットアップ	7-3
SCPI コマンド・セット用の接続	7-3
TSP コマンド・セット用の接続	7-4
デバイスの接続	7-5
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	7-7
SCPI コマンドとトリガ・モデルを使用したアプリケーションのセットアップ	7-7
SCPI コマンドと線形掃引を使用したアプリケーションのセットアップ	7-11
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	7-12
TSP コマンドとトリガ・モデルを使用したアプリケーションのセットアップ	7-14
TSP コマンドと線形掃引を使用したアプリケーションのセットアップ	7-16
充電式バッテリーの測定	8-1
はじめに	8-1
必要な機器	8-3
デバイスの接続	8-4
バッテリーの充放電サイクルの自動テスト	8-6
リモート通信のセットアップ	8-7
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	8-9
バッテリー・アプリケーションのテスト結果	8-12
太陽電池の I-V 特性の測定	9-1
はじめに	9-1

必要な機器	9-1
リモート通信のセットアップ	9-2
デバイスの接続	9-2
太陽電池の特性評価	9-5
前面パネルから太陽電池の I-V 掃引をセットアップする	9-6
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	9-7
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	9-8
トラブルシューティングに関する FAQ	10-1
このセクションの内容	10-1
更新されたドライバはどこにありますか。	10-2
ファームウェアはどうやってアップグレードすればいいですか。	10-2
2450 型が USB フラッシュ・ドライブを読み込めません。	10-3
コマンド・セットはどうやって変更すればいいですか。	10-4
イベント・コード (5074) が表示されました。	10-5
機器の現在の状況はどうすれば保存できますか。	10-6
設定が変わったのはなぜですか。	10-7
クイック・セットアップ・オプションとは何ですか。	10-7
次のステップ	11-1
2450 型に関するその他の情報	11-1

このセクションの内容：

はじめに.....	1-1
本書の概要.....	1-1
延長保証.....	1-2
連絡先情報.....	1-2
マニュアルのダウンロード.....	1-2
本書のセクション構成.....	1-3
アプリケーション.....	1-3

はじめに

ケースレー製品をご愛用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、電流源、電子負荷装置、および高インピーダンス、マルチメータの機能を併せ持った高精度、低ノイズの機器です。本機には、直感的なセットアップとコントロール、高い信号品質と広いレンジ、さらに競合他社製品より優れた抵抗率と抵抗機能といった優れた特長があります。

2450 型は、6.5 桁の分解能での基本精度が 0.012 パーセントと優れており、IEEE-488 バスで 1 秒あたり 59 個の読み値で測定できます。4.5 桁の分解能では、1 秒あたり最大 3,000 個の読み値を内蔵バッファに読み込めます。

本書の概要

本書では、Keithley Instruments の 2450 型を十分に使いこなしていただけるように、各種のアプリケーションについて詳細に説明しています。また、本書には機器の操作に慣れていただけるように、前面パネルについての情報も記載しています。

本書では、まずそれぞれのアプリケーションの概要を説明した後に、前面パネル、SCPI コード、TSP コード、Keithley KickStart ソフトウェアを使用した具体的な手順を示します。

これらのアプリケーションで使用したコマンドに関する詳細情報も用意されています。『Model 2450 Reference Manual』の SCPI および TSP コマンド・リファレンスのセクションを参照してください。マニュアルはjp.tek.com/keithleyで参照できます。

延長保証

多くの製品では、保証期間を追加延長することができます。この延長保証を付けますとサービス費用の予算外の発生を抑えることができ、修理費用の何分の一かの費用で保証年数を延ばすことができます。この延長保証は、新製品および現用製品でご利用になれます。最寄りの Keithley Instruments の支社または代理店までお問い合わせください。

連絡先情報

本書に記載された情報に関して不明な点や疑問などがございましたら、最寄りのケースレーの支社または代理店までお問い合わせください。電話連絡先：Keithley Instruments 本社（アメリカおよびカナダからは無料電話）1-800-935-5595 またはアメリカ国外からは+1-440-248-0400。その他の世界各地の連絡先は[ケースレーの Web サイト \(jp.tek.com/keithley\)](http://jp.tek.com/keithley) に記載されています。

マニュアルのダウンロード

2450 型ソースメータ (SMU) のマニュアルは、[ケースレーの Web サイト \(jp.tek.com/keithley\)](http://jp.tek.com/keithley) からダウンロードしていただけます。

付属マニュアル：

- **クイック・スタート・ガイド**：開梱の手順、基本的な接続方法、基本操作、機器が正しく動作していることを確認するための簡単なテスト手順について説明しています。
- **ユーザ・マニュアル**：具体的なアプリケーション例を示し、ユーザが独自のアプリケーションを構築するために必要な基礎知識を提供します。
- **リファレンス・マニュアル**：高度な使用法やメンテナンス情報、トラブルシューティングの手順、プログラミング・コマンドの詳細な説明などが記載されています。
- **KickStart ソフトウェア・クイック・スタート・ガイド**：KickStart ソフトウェアの使用手順を説明します。テスト・スクリプトをプログラムすることなく、すばやく測定を行い、結果を取得できるツールです。
- **アクセサリ情報**：2450 型で使用可能なアクセサリについてのマニュアルです。

ドライバの最新版と追加サポート情報に関しては、[ケースレーの Web サイト \(jp.tek.com/keithley\)](http://jp.tek.com/keithley) をご覧ください。

本書のセクション構成

このマニュアルは次のセクションで構成されています。

- [前面パネルの概要](#)：(2-1ページ) 前面パネル・インタフェースの基本的な使用方法について説明します。
- [リモート・インタフェースの使用](#)：(3-1ページ) リモート通信機能の基本および内蔵 Web インタフェースの使用法について説明します。
- アプリケーション例 (下記を参照)：さまざまな測定の場合で 2450 型を使用するための具体的な方法について説明します。
- [トラブルシューティングに関する FAQ](#)：(10-1ページ) 2450 型を使用していて直面するさまざまな問題のトラブルシューティングに役立つ、よくある質問に答えます。
- [次のステップ](#)：(11-1ページ) 2450 型を使用するのに役立つその他の情報を紹介しています。

本書の PDF バージョンには、セクションごとにブックマークが登録されています。マニュアルを構成するセクションは、本書の冒頭部分の目次にもリストされています。

ブックマークについての詳細は、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

本書では、具体的なアプリケーションの実例を示すことで、前面パネルやリモート・インタフェースからテストを実行する方法について説明しています。2450 型の概要を示した後に、これらのアプリケーションについて説明します。次のようなアプリケーションを取り上げます。

- [前面パネルを使用した基本測定](#)：(4-1ページ) 1 台の 2450 型と 2 端子の被測定デバイス (DUT) 使用して、基本的な測定を実行する例を示します。
- [低抵抗デバイスの測定](#) (5-1ページ)：2450 型を使用して、20mΩ の抵抗で低抵抗測定を実行する方法を示します。
- [漏れ電流および絶縁抵抗](#) (6-1ページ)：2450 型を使用して、キャパシタの漏れ電流と同軸ケーブルの 2 つの導体間の絶縁抵抗を測定する例を 2 つ示します。
- [FET の I-V 特性の測定](#) (7-1ページ)：2 台の 2450 型を使用して、3 端子 MOSFET の I-V 特性 (V_{ds} - I_d) を評価する方法について、2 つの例を使用して説明します。1 つの例では、2450 型のトリガ・モデルを使用し、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](#) (8-1ページ)：1 台の 2450 型を使用して、バッテリーの放電および充電サイクルの自動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](#) (9-1ページ)：2450 型で I-V 掃引を使用して、太陽電池の特性評価を行う方法について説明します。

前面パネルの概要

このセクションの内容：

機器をオンまたはオフに切り替える	2-1
前面パネルの概要	2-2
2450 型の出力をオンまたはオフにする	2-5
タッチスクリーン・ディスプレイ	2-6
USB フラッシュ・ドライブに測定結果を保存する	2-12
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	2-12

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、機器の電源をオンにするときは、以下の手順に従います。2450 型の動作電圧は 100V~240V、電源周波数は 50Hz または 60Hz です。電源電圧と周波数は自動的に検出されます。ご使用の地域の電源電圧に対応していることをご確認ください。

定格精度を達成するには、2450 型を起動して、少なくとも 1 時間ウォーム・アップする必要があります。

注意

機器を不適切な電源電圧で使用すると、機器が損傷す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

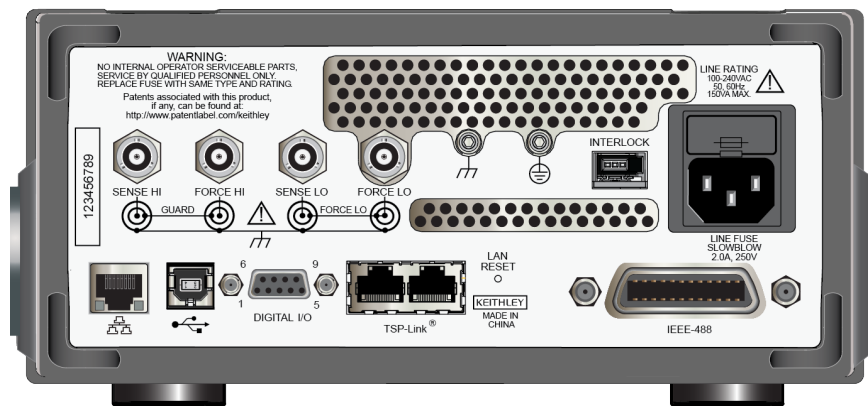
2450 型に付属する電源ケーブルには、アース付きコンセントで使用するための保護接地（安全接地）線が付いています。適切に接続を行った場合には、電源ケーブルの接地線によって機器のシャーシが電源ケーブルのアース線に接続されます。さらに、後部パネルのネジを介した保護接地接続による冗長化機構も提供されています。この端子は既知の保護接地に接続しなければなりません。保護接地線やアース付きコンセントが適切に使用されていないときに、障害が発生した場合には、感電事故が発生し、負傷または死亡につながる危険性があります。

取り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。定格が適切なコードを使用しないと、感電による傷害または死亡事故の原因となる可能性があります。

電源ケーブルを接続するには、以下の手順に従います。

1. 前面パネルの 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後部パネルの AC ソケットに差し込みます。
3. 電源コードのオス端子をアース付きの電源コンセントに差し込みます。

図1：2450 型の後部パネル



2450 型の電源をオンまたはオフにするは、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 型から切り離します。
2. 機器の電源をオンにするには、前面パネルの **POWER** スイッチを押して、ON (I) の位置にします。起動すると、ステータス・バーが表示されます。電源が完全にオンになると、ホーム画面が表示されます。
3. 機器の電源をオフにするには、前面パネルの **POWER** スイッチを押して、OFF (O) の位置にします。

前面パネルの概要

下図は、2450 型の前面パネルを示しています。前面パネルのコントロールの概要を図の下に示します。

図2：2450 型の前面パネル



コントロール	グラフィック	概要
POWER スイッチ		機器の電源をオンまたはオフにします。機器の電源をオンにするには、(I) の位置になるように POWER スイッチを押します。機器の電源をオフにするには、(O) の位置になるように POWER スイッチを押します。
HOME キー		HOME 画面に戻ります。
MENU キー		メイン・メニューを表示します。メイン・メニュー上のアイコンを押すと、ソース、測定、表示、トリガ、スクリプト、およびシステムの各画面が表示されます。
QUICKSET キー		電圧計、電流計、抵抗計、電源を含む、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、印加および測定機能を選択できるため、より優れた分解能または速度が得られるように、性能を調整できます。
HELP キー		ディスプレイ上で選択されたエリアまたはアイテムに関連するヘルプが表示されます。何も選択されていない状態で HELP キーを押すと、現在表示しているスクリーンの概要情報が表示されます。ヘルプを表示するには、HELP キーを押しながら、画面上のボタンを押したままにします。
USB ポート		読み取りバッファのデータやスクリーン・スナップショットを USB フラッシュ・ドライブに保存します。また、USB フラッシュ・ドライブにスクリプトを保存し、読み取ることもできます。フラッシュ・ドライブは FAT または FAT32 でフォーマットされている必要があります。
タッチスクリーン		2450 型は、タッチスクリーン対応の 5 型高解像度カラー・ディスプレイを搭載しています。タッチスクリーンを使用してスクリーンをスワイプしたり、メニュー・オプションを表示できます。前面パネルの MENU、QUICKSET、および FUNCTION キーを押すと、対話的スクリーンが表示されます。
ナビゲーション・コントロール		ナビゲーション・コントロールを回す ：カーソルを移動して、リスト値またはメニュー アイテムを強調表示することで、選択できるようにします。値を入力するフィールドにカーソルがあるときにコントロールを回すと、フィールド内の値が増減します。 ナビゲーション・コントロールを押す ：強調表示された選択肢を選択できます。また、選択されているフィールドを編集できるようにします。
ENTER キー		ハイライト表示された選択肢を選択したり、選択されたフィールドを編集できます。
EXIT キー		前のスクリーンに戻ったり、ダイアログ・ボックスを閉じます。たとえば、メイン・メニューが表示されているときに、 EXIT キーを押すと、Home スクリーンに戻ります。サブスクリーン (Event Log スクリーンなど) を表示しているときに、 EXIT キーを押すと、メイン・メニュー・スクリーンに戻ります。

コントロール	グラフィック	概要
FUNCTION キー		内蔵機能を表示します。機能を選択するには、スクリーンに表示された機能名をタッチします。
TRIGGER キー		トリガ関係の設定や操作にアクセスします。 TRIGGER キーの動作は、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		出力ソースをオンまたはオフに切り替えます。ソース出力がオンのときに、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 ●	1588 機能は現在サポートされていません。
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/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が不要になります。これにより、DUT でのより正確な電圧ソースと測定が可能になります。
FORCE 端子		FORCE HI/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印加またはシンクします。
FRONT/REAR TERMINALS (前面/後部端子) スイッチ		前面または後部パネルの端子を有効にします。前面パネル端子が有効なときは、FRONT/REAR スイッチの左に緑色の「F」が表示されます。後部パネル端子が有効なときは、FRONT/REAR 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。

2450 型の出力をオンまたはオフにする

2450 型の出力は、前面パネルから、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（安全対策としてインターロックの機能を提供）。

すべての出力およびガード端子に危険な電圧が存在してい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、前面パネルから機器をオフにするか、あるいは 2450 型の後部の主電源コードを取り外してください。機器を出力オフ状態にしても、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ときは限りません。

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。Output Off（出力オフ）設定を使用して、2450 型をアイドル期間中（被測定装置を変更しているときなど）に、既知の非インタラクティブ状態にすることができます。2450 型で選択できる出力オフ状態は、ノーマル、高インピーダンス、ゼロ、またはガードです。

詳細については、『Model 2450 Reference Manual』の「Output-off state」を参照してください。

前面パネルの使用

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ときは、本機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ときは、出力オフの状態です。

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・ディスプレイ

タッチスクリーンを使用すれば、前面パネルからソースおよび測定の設定、システム構成、機器およびテストのステータス、読み取りバッファ情報など、機器のさまざまな機能に素早くアクセスできます。ディスプレイには複数のスワイプ画面があり、前面パネルをスワイプすることによってアクセスできます。前面パネルの MENU、QUICKSET、および FUNCTION キーを押すと、対話的スクリーンが表示されます。

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、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を使用することもできます。

タッチスクリーンでのアイテムの選択

表示画面でアイテムを選択するには、以下のいずれかの手順に従います。

- アイテムを指でタッチする
- ナビゲーション・コントロールを回し、そのアイテムを強調表示した後、ナビゲーション・コントロールを押してそれを選択する

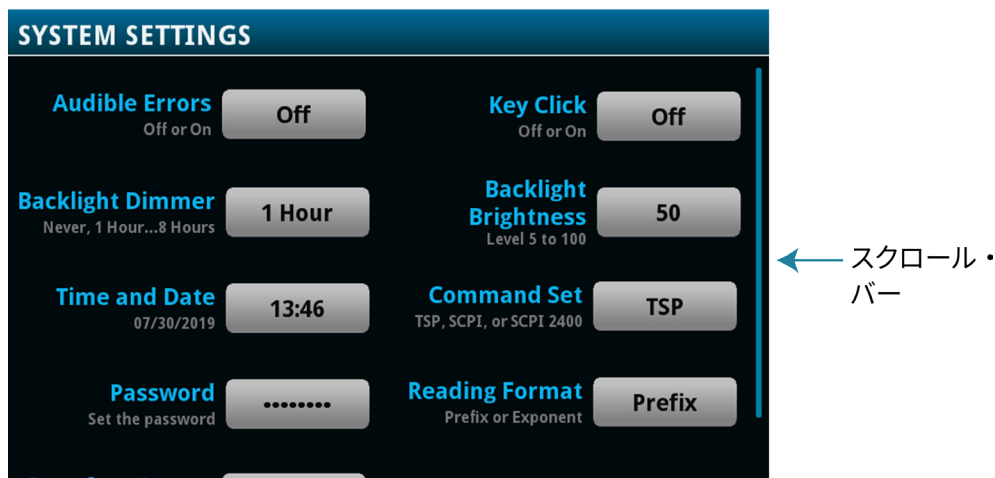
以下のトピックでは、2450 型のタッチスクリーンについて詳細に説明します。

スクロール・バー

一部の対話式画面には、画面を下にスクロールしないと表示されないオプションが存在します。そうした画面には、タッチスクリーンの右側にスクロール・インジケータが表示されています。これらのオプションを表示するには、画面を上下にスワイプします。

下図は、スクロール・バーがある画面を示しています。

図3：タッチスクリーン・スクリーン・インジケータ



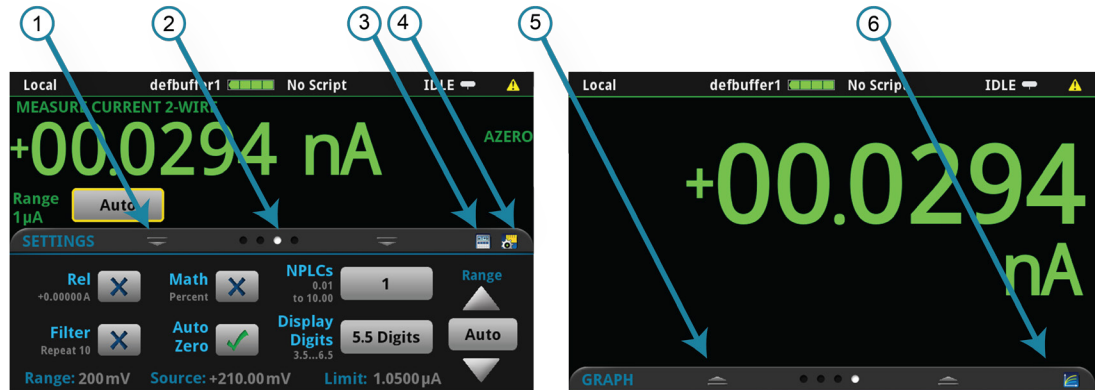
対話型スワイプ・スクリーン


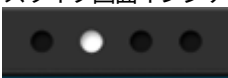




2450 型のタッチスクリーン・ディスプレイは、画面の下半分で左右にスワイプすることで、複数の画面を切り替えることができます。以下のトピックでは、スワイプ画面で利用可能なオプションについて説明します。

スワイプ画面の見出しバー

スワイプ画面の見出しバーには、以下のオプションがあります。

図4：スワイプ画面（最大化と最小化）



#	画面の構成要素	概要
1	最小化インジケータ 	下にスワイプして、画面を最小化します。
2	スワイプ画面インジケータ 	小さな丸いインジケータがそれぞれのスワイプ画面を表しています。左右にスワイプすると、インジケータの色が変化し、画面シーケンスのどの位置にいるのかを把握できます。インジケータを選択すると、スワイプ操作なしに特定のスワイプ画面に移動できます。
3	計算ショートカット 	CALCULATION SETTINGS（計算設定）メニューを表示します。
4	測定設定ショートカット 	選択された機能の MEASURE SETTINGS（測定設定）メニューを表示します。
5	リストア・インジケータ 	上にスワイプしてスワイプ画面を表示できる状態であることを示します。
6	グラフ・ショートカット 	グラフ画面を表示します。

SOURCE (ソース) スワイプ画面

SOURCE (ソース) スワイプ画面には、ソースの現在の値、およびソースの設定値、ソース範囲、ソース・リミットが表示されます。この画面のボタンを選択することで、前面パネルから設定値を変更できます。

図5：SOURCE スワイプ画面



画面右側のソース機能インジケータは、表示されているソース値に影響を与える設定を示します。

- **MEAS (測定)** : ソース・リードバックがオンであり、表示された値はソースの測定値です。
- **PROG (プログラム)** : ソース・リードバックがオフであり、表示された値はプログラムされたソース値です。出力がオフの場合、表示されたソース値は **Output Off** (出力オフ) に置き換えられます。

リミット・ラベルが黄色で表示されている場合、機器はソースを制限しています。

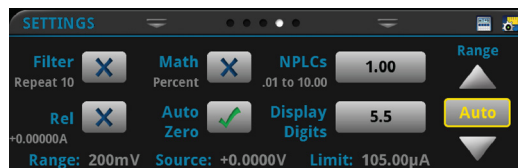
測定方法が連続に設定されている場合は、現在の値が継続的に更新されます。測定方法が手動トリガ・モードまたはトリガ・モデルの開始に設定されている場合には、次の測定が行われたときに値が更新されます。

スワイプ画面の見出しバーの右側のアイコンはショートカットであり、SOURCE SETTINGS (ソース設定) メニュー全体にアクセスできます。

SETTINGS (設定) スワイプ画面

SETTINGS (設定) スワイプ画面は、機器設定に前面パネルからアクセスできるようにします。現在の設定を表示し、また変更したり、すばやく有効または無効にできます。

図6：SETTINGS 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。

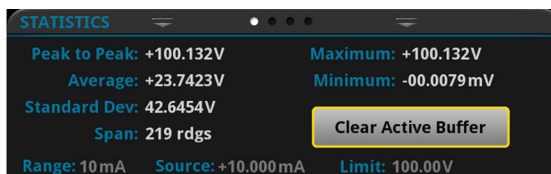
スワイプ画面の見出しバーの右側のアイコンはショートカットであり、CALCULATIONS SETTINGS (計算設定) および MEASURE SETTINGS (測定設定) メニュー全体にアクセスできます。

設定の説明を表示するには、ナビゲーション・コントロールを使用してボタンを選択し、**HELP** キーを押します。

STATISTICS (統計) スワイプ画面

STATISTICS (統計) スワイプ画面には、アクティブな読み取りバッファの測定値に関する情報が含まれます。読み取りバッファに連続的にデータを取り込み、古いデータを新しいデータで上書きするように設定されているときは、上書きされたデータの情報もバッファ統計情報に反映されています。上書きされたデータの情報を含まない統計情報が必要な場合には、実行する読み取りの回数に合わせて、十分に大きなバッファ・サイズを定義してください。この画面の **Clear Active Buffer** (アクティブ・バッファのクリア) ボタンを使用すると、アクティブな読み取りバッファのデータをクリアできます。

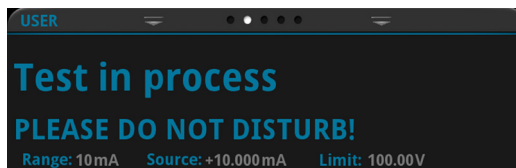
図7：STATISTICS (統計) スワイプ画面



USER (ユーザ) スワイプ画面

カスタム・テキストをプログラムする場合には、USER (ユーザ) スワイプ画面に表示されます。たとえば、処理中のテキストを表示するように、2450 型をプログラムすることもできます。詳細については、『Model 2450 Reference Manual』の「Customizing a message for the USER swipec screen」を参照してください。

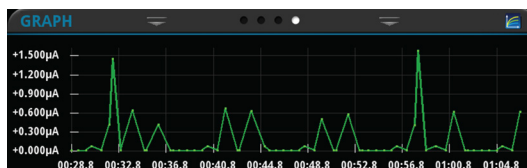
図8：USER スワイプ画面



GRAPH (グラフ) スワイプ画面

GRAPH (グラフ) スワイプ画面には、現在選択されている読み取りバッファの読み値がグラフ表示されます。

図9：GRAPH (グラフ) スワイプ画面



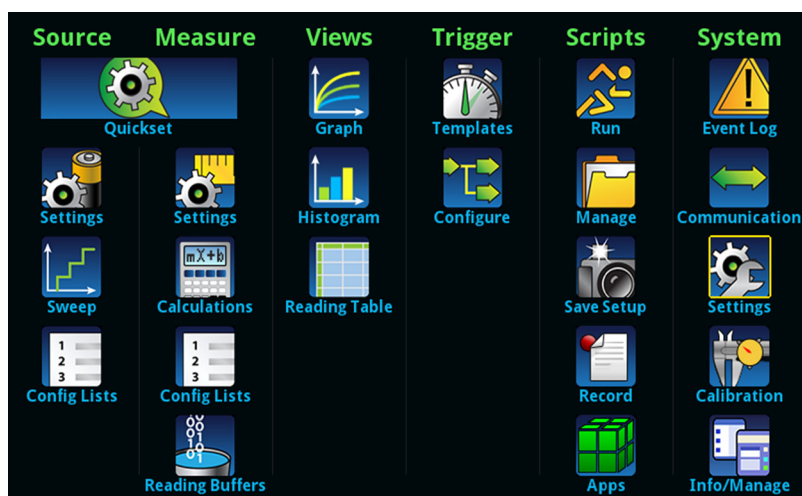
グラフを全画面表示したり、グラフ設定にアクセスするには、スワイプ画面ヘッダの右側のグラフ・アイコンを選択します。グラフ画面の全機能を表示するには、**MENU** キーを押して、Views（表示）の **Graph**（グラフ）を選択します。

グラフ測定の詳細については、『Model 2450 Reference Manual』の「Graphing」を参照してください。

メニューの概要

メイン・メニューにアクセスするには、2450 型の前面パネルの **MENU**（メニュー）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10：2450 型のメイン・メニュー



メイン・メニューは、サブメニューで編成されており、画面の上部に緑色でラベル化されています。サブメニューのアイコンにタッチすると、対話型画面が表示されます。

USB フラッシュ・ドライブに測定結果を保存する

バッファに測定データがある場合には、2450 型から USB フラッシュ・ドライブにコピーできます。情報は CSV ファイル・フォーマットで保存されます。

測定データを保存するには、以下の手順を実行します。

1. 前面パネルの USB ポートにフラッシュ・ドライブを挿入します。
2. **MENU** (メニュー) キーを押します。
3. Measure 列で、**Reading Buffers** (読取りバッファ) を選択します。
4. 保存したいバッファを選択します。
5. **Save to USB** (USB に保存) を選択します。
6. File Content (ファイル内容) ダイアログ・ボックスで、データ・セットに必要な選択を行います。**HELP** (ヘルプ) を押して、各オプションに関する情報を表示します。
7. **OK** 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

前面パネル・ディスプレイの画面キャプチャを USB フラッシュ・ドライブのグラフィック・ファイルに保存できます。本機ではグラフィック・ファイルを PNG ファイル形式で保存します。

画面キャプチャを保存するには、次の手順を実行します。

1. USB フラッシュ・ドライブを機器の前面パネルにある USB ポートに挿入します。
2. キャプチャしたい画面に移動します。
3. **HOME** と **ENTER** キーを押します。"Saving screen capture"というメッセージが表示されます。
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：

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.....	3-2
GPIB 通信	3-2
LAN 通信	3-5
USB 通信.....	3-8
Web インタフェースの使用.....	3-14
使用するコマンド・セットの決定	3-18

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、応答を受信できます。

2450 型の制御に同時に使用できる通信インタフェースは 1 つだけです。機器が最初にメッセージを受信したインタフェースによって機器が制御されます。別のインタフェースがメッセージを送信すると、そのインタフェースによって機器が制御されます。インタフェースの設定によっては、インタフェースを変更する際にパスワードを入力しなければならない場合があります。

2450 型では、通信インタフェースのタイプ（LAN、USB、または GPIB）は、機器の後部パネルにあるそれぞれのポートに接続すると自動的に検出されます。ほとんどの場合、ユーザが設定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種類を変更した場合も、再起動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 型では、以下のリモート・インタフェースがサポートされています。

- **GPIB** ：IEEE-488 機器の汎用インタフェース・バス
- **Ethernet** :LAN 通信
- **USB** ：Type B USB ポート
- **TSP-Link** ：高速トリガ同期／通信用バス。テスト・システムで使用すると、複数の機器をマスター／スレーブ構成に接続することが可能

TSP-Link の詳細については、『Model 2450 Reference Manual』の「TSP-Link System Expansion Interface」を参照してください。

GPIB 通信

2450 型の GPIB インタフェースは、IEEE 規格 488.1 に準拠しており、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 インタフェースには、最大 15 個のデバイス（コントローラを含む）接続できます。最大ケーブル長は、以下のいずれか短い方になります。

- 2m (6.5 フィート) にデバイス数を掛けた数
- 20m (65.6 フィート)

これらの制限を無視すると、バスの動作が不安定になる場合があります。

GPIB ドライバー・ソフトウェアのインストール

情報やドライバの入手先については、GPIB コントローラのドキュメントを確認してください。最新バージョンのドライバやソフトウェアについては、GPIB コントローラの Web サイトを確認することをお勧めします。

ドライバは、ハードウェアを接続する前にインストールしておくことが重要です。これにより、誤ったドライバがハードウェアに関連付けられることを防止できます。

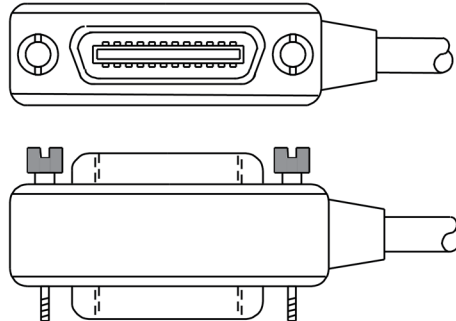
GPIB カードのコンピュータへのインストール

GPIB コントローラのインストールについては、使用する GPIB コントローラのメーカーの資料を参照してください。

機器への GPIB ケーブルの接続

2450 型を GPIB インタフェースに接続するには、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11：GPIB コネクタ

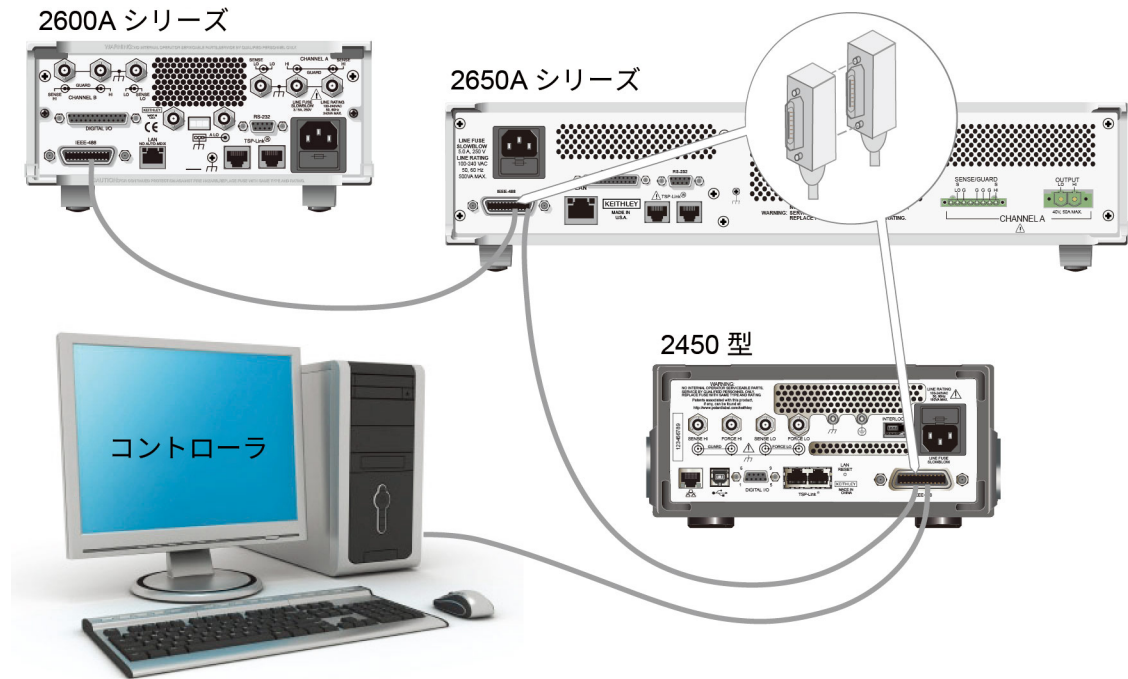


1 台の機器で複数の並行接続を可能にするには、コネクタをスタックします。各コネクタには、コネクタを固定するためのネジが 2 つあります。以下の図は、複数の機器を使用したテスト・システムでの一般的な接続ダイアグラムを示しています。

注意

機械的な破損を防止するため、1 台の機器に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・ケーブルについては、ケースレーまでお問い合わせください。

図12：IEEE-488 の接続例



GPIO アドレスの設定

デフォルトの GPIO アドレスは 18 です。システム内で一意であれば、アドレスを 1~30 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、GPIO コントローラに割り当てられたアドレスと競合してはなりません。

注

GPIO 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、機器のアドレスは 21 に設定しないようにしてください。

機器は、アドレスを不揮発性メモリに保存します。そのため、リセット・コマンドを送信したり、電源をオフにした後に再度オンにしても、アドレスは変化しません。

前面パネルから GPIB アドレスを設定するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. **Communication** (通信) を選択します。
3. **GPIB** タブを選択します。
4. **GPIB Address** (アドレス) を設定します。
5. **OK** を選択します。

注

GPIB アドレスはリモート・コマンドを使用して設定することもできます。SCPI コマンドを使用して GPIB アドレスを設定するには、`SYSTem:GPIB:ADDRes` を送信します。TSP コマンドの場合は、`gpib.address` を送信します。

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。詳細については、[「Web インタフェースの使用」](#) (3-14ページ) を参照してください。

2450 型はバージョン 1.5 の LXI デバイス規格 (2016) に準拠しており、TCP/IP に対応し、IEEE Std 802.3 (Ethernet LAN) に準拠しています。本機の後部パネルに装備された LAN ポートは、10Mbps または 100Mbps ネットワークとの接続機能をすべて備えています。2450 型は、接続速度を自動的に検出します。

2450 型は、マルチキャスト DNS (mDNS) および DNS サービス・ディスカバリ (DNS-SD) もサポートしているため、集中管理型以外の LAN で優れた利便性を発揮します。

注

LAN 接続をセットアップする前に、固有のネットワーク要件について、ネットワーク管理者に確認を行うようにしてください。

LAN のセットアップで問題が発生した場合は、[「LAN トラブルシューティング」](#) (3-15ページ) 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、実際に変更を行わずに、機器の通信設定を確認することができます。

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** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Communication** (通信) を選択します。SYSTEM COMMUNICATIONS (システム通信) ウィンドウが表示されます。
3. **LAN** を選択して、確認したいインタフェースの設定を表示します。

LAN 設定の自動セットアップ

DHCP サーバがある 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には、IP アドレスの自動選択を使用できます。

Auto (自動) を選択した場合、機器は DHCP サーバから IP アドレスを取得しようと試みます。取得に失敗した場合、アドレスは 169.254.1.0~169.254.254.255 の IP アドレスになります。

注

ホスト・コンピュータと機器の両方を自動 LAN 構成に設定しておく必要があります。いずれか一方を手動構成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。

前面パネルを使用して 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. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Communication** (通信) を選択します。
3. **LAN** タブを選択します。
4. TCP/IP Mode (TCP/IP モード) は、**Auto** (自動) を選択します。
5. **Apply Settings** (設定の適用) を選択して、設定を保存します。

LAN 設定の手動セットアップ

必要に応じて、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、ホスト名を DNS サーバーに割り当てることもできます。

注

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 アドレスを確保できるように、情報技術 (IT) 部門に問い合わせてください。

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. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. **System** (システム) で **Communication** (通信) を選択します。
3. **LAN** タブを選択します。
4. **TCP/IP Mode** (TCP/IP モード) は、**Manual** (手動) を選択します。
5. **IP Address** (IP アドレス) を入力します。
6. **Gateway** (ゲートウェイ) アドレスを入力します。
7. **Subnet** (サブネット) マスクを入力します。
8. **Apply Settings** (設定の適用) を選択して、設定を保存します。

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。

注

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。不正な 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い場合や、ネットワークの他のコンピュータに干渉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するようにしてください。ネットワーク設定が更新されると、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 が無効な場合）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必ず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。

2450 型での LAN 接続の検証

機器に IP アドレスが割り当てられたことを検証し、2450 型がネットワークに接続されたことを確認します。

LAN 接続を検証するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Communication** (通信) を選択します。
3. **LAN** タブを選択します。

LAN タブの左下にある LAN ステータス・インジケータが緑色に点灯していれば、機器に IP アドレスが割り当てられています。

さらに、機器をネットワークに接続すると、前面パネルの右上の LAN LED が緑色に点灯します。

LXI Discovery Tool の使用

2450 型の IP アドレスを検出するには、LXI Discovery Tool を使用します。このツールは、[LXI Consortium の Web サイト \(lxistandard.org/\)](http://lxistandard.org/) の Resources タブにあります。

USB 通信

後部パネルの 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、『Model 2450 Reference Manual』の「How to install the Keithley I/O Layer」を参照してください。

VISA には USBTMC (USB Test and Measurement Class) プロトコルに対応する USB クラス・ドライバが含まれており、このドライバをインストールすることで、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 プロトコルを実装した USB デバイスをコンピュータに接続すると、VISA ドライバによってそのデバイスが自動的に検出されます。自動的に認識されるのは、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 デバイスは認識されません。

このセクションでは、「USB 機器」という表現は、USBTMC または USBTMC-USB488 プロトコルを実装したデバイスを指します。

USB を使用してコンピュータを 2450 型に接続する

コンピュータと本機を接続するには、両端のコネクタが USB Type B と USB Type A の USB ケーブルが必要です。USB インタフェースを使用して同時にコンピュータに接続する予定の本機のそれぞれについて、個別に USB ケーブルを用意する必要があります。

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 Type A 側をコンピュータに接続します。
2. ケーブルの Type B 側を機器に接続します。
3. 機器の電源を入れます。コンピュータが新しい USB を検出すると、Found New Hardware (新しいハードウェアを検出) ウィザードが起動されます。
4. "Can Windows connect to Windows Update to search for software? (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・ボックスが表示されたら、**No** (いいえ) を選択し、さらに **Next** (次へ) を選択します。
5. "USB Test and Measurement device"ダイアログ・ボックスで、**Next** (次へ) を選択し、**Finish** (完了) を選択します。

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：ケースレーのベンダ ID
- 0x2450：機器の型名番号
- [serial number]：機器のシリアル番号 (シリアル番号は後部パネルにも記載されています)
- INSTR：USBTCM プロトコルを使用

リソース文字列が System Communications (システム通信) 画面の右下に表示されます。**Menu** (メニュー)、さらに **Communication** (通信) を選択して System Communications (システム通信) メニューを開き、**USB** タブを選択します。

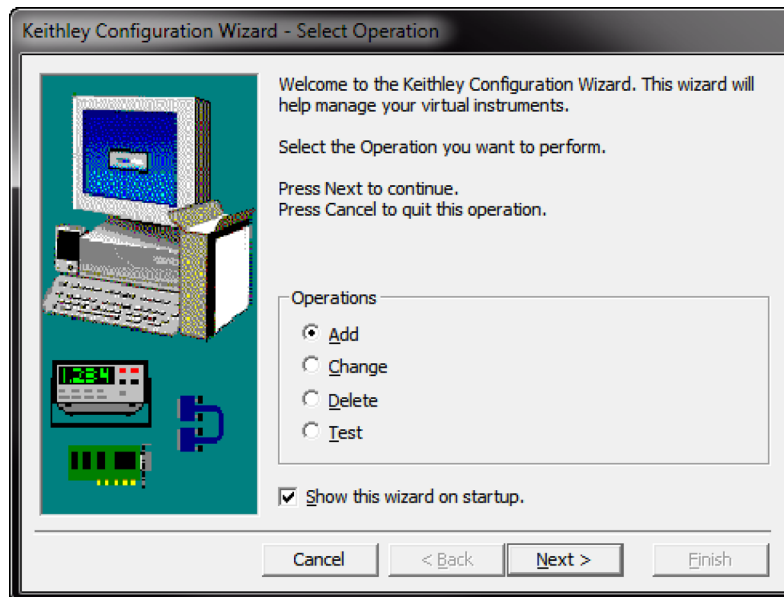
Keithley Configuration Panel を実行することでも、これらのパラメータを確認できます。コンピュータに接続されているすべての機器が自動的に検出されます。

Keithley I/O Layer がインストールされている場合は、Microsoft® Windows® のスタート・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. **Start > Keithley Instruments > Keithley Configuration Panel** をクリックします。Select Operation (操作 n の選択) ダイアログ・ボックスが表示されます。

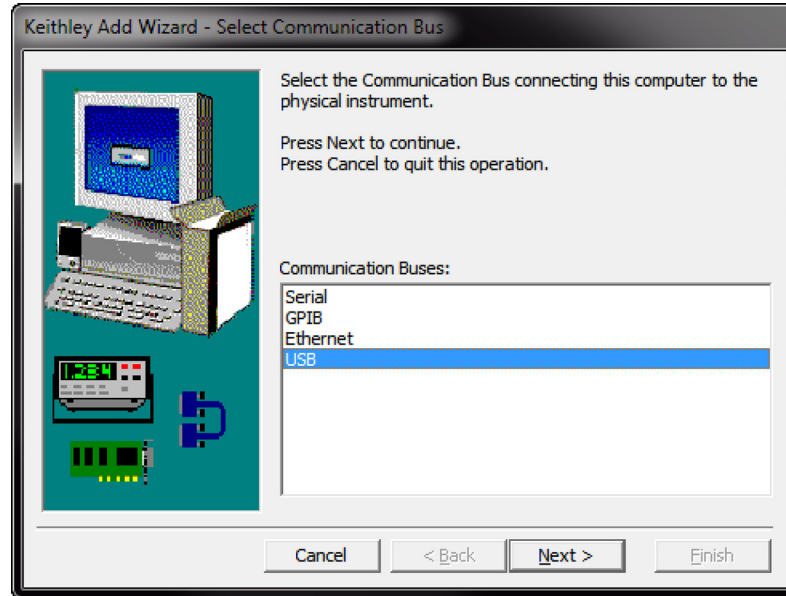
図13：Select Operation (操作の選択) ダイアログ・ボックス



2. **Add** (追加) を選択します。

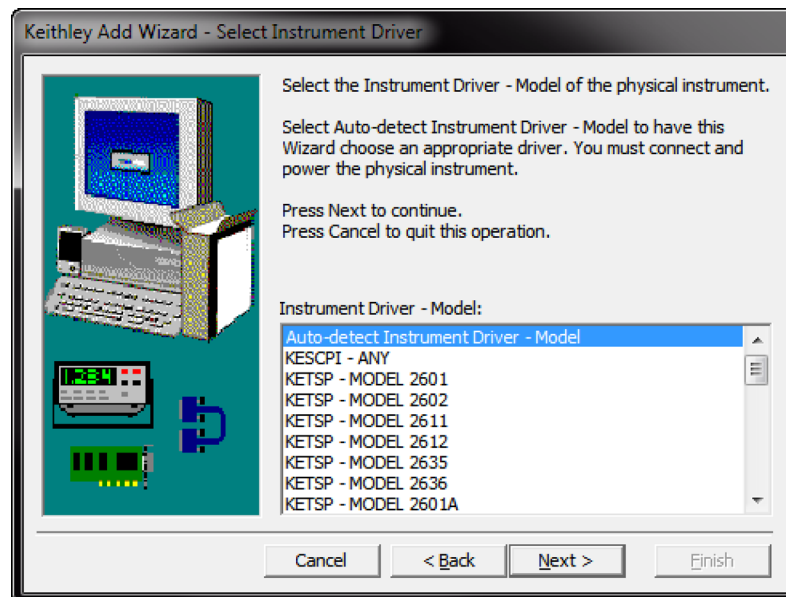
3. **Next** (次へ) を選択します。Select Communication Bus (通信バスの選択) ダイアログ・ボックスが表示されます。

図14：Select Communication Bus (通信バスの選択) ダイアログ・ボックス



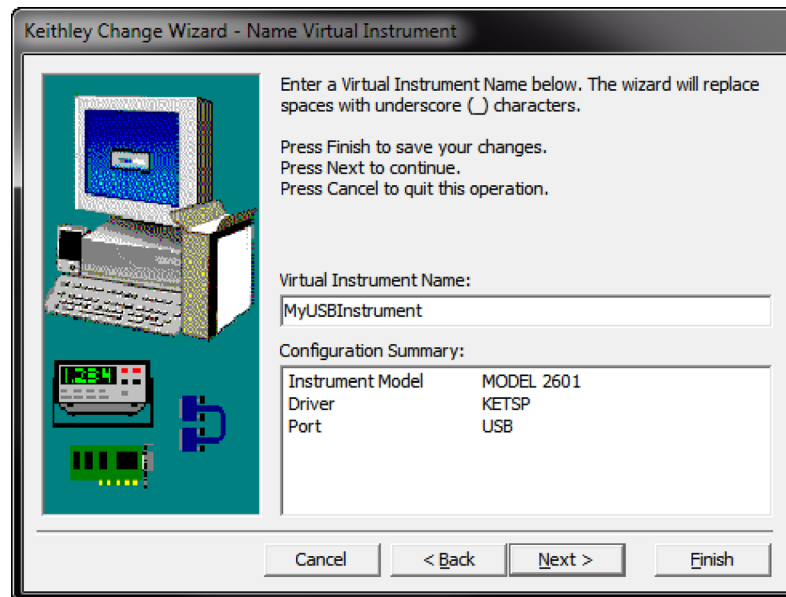
4. **USB** を選択します。
5. **Next** (次へ) をクリックします。Select Instrument Driver (機器ドライバの選択) ダイアログ・ボックスが表示されます。

図15：Select Instrument Driver (機器ドライバの選択) ダイアログ・ボックスが表示されます。



6. **Auto-detect Instrument Driver - Model** (機器ドライバの自動検出—モデル名) を選択します。
7. **Next** (次へ) をクリックします。Configure USB Instrument (USB 機器の設定) 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** (次へ) をクリックします。Name Virtual Instrument (仮想機器名の指定) ダイアログ・ボックスが表示されます。

図16：Name Virtual Instrument (仮想機器名の指定) ダイアログ・ボックス

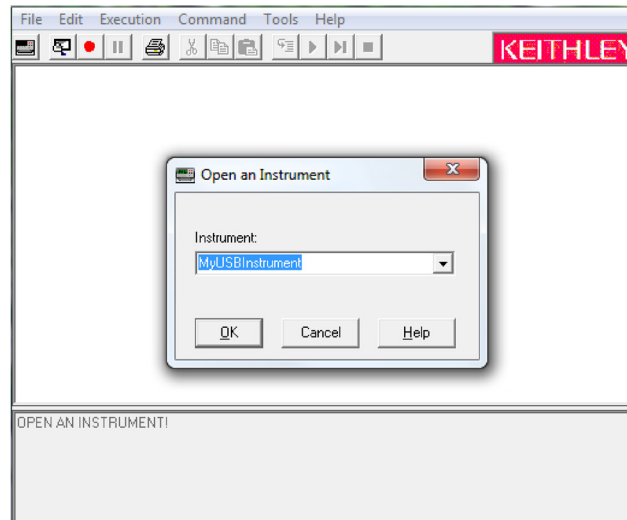


9. Virtual Instrument Name (仮想機器名の指定) に機器を参照するのに使用する名前を入力します。
10. **Finish** (完了) を選択します。
11. **Cancel** (キャンセル) を選択してウィザードを閉じます。
12. 設定を保存します。Keithley Configuration Panel から、**File (ファイル) > Save (保存)** を選択します。

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

1. SCPI コマンド・セットを使用するように機器を設定します。手順については、[「コマンド・セットはどうやって変更すればいいですか。」](#) (10-4ページ) を参照してください。
2. **Start > Keithley Instruments > Keithley Communicator** をクリックします。
3. **File (ファイル) > Open Instrument (機器を開く)** を選択して名前を指定する機器を開きます。

図17：Keithley Communicator の Open an Instrument (機器を開く)



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

注

フルバージョンの NI-VISA がインストールされている場合には、NI-MAX または VISA Interactive Control ユーティリティのいずれかをインストールできます。詳細については、National Instruments のドキュメントを参照してください。

Web インタフェースの使用

2450 型の Web インタフェースでは、Web ページを介してご使用の機器の設定を行ったり、制御することができます。Web ページには、以下の情報および機能があります。

- 機器のステータス
- 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
- 機器を制御するのに使用できる仮想前面パネルとコマンド・インタフェース
- 特定の読み取りバッファからデータをダウンロードして CSV ファイルに書き込む機能
- 管理オプションと LXI 情報

機器の Web ページは、ファームウェアに存在します。Web インタフェースから変更を行うと、即座に機器に反映されます。

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・コンピュータ上で 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。たとえば、機器の IP アドレスが 192.168.1.101 であれば、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** キーを押して、機器の Web ページを開きます。
4. プロンプトが表示されたら、ユーザ名とパスワードを入力します。デフォルトでは、どちらも admin です。

LAN トラブルシューティング

Web インタフェースに接続できない場合は、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®ポートの 1 つではなく、機器の後部パネルの LAN ポートに接続されている。
- 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されている。(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)。
- セットアップ手順で正しいイーサネット カードの設定情報が使用されている。
- 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。
- 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。
- 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・アドレス一致している。

また、コンピュータおよび機器を再起動してみます。

機器を再起動するには、以下の手順に従います。

1. 機器の電源をいったんオフにしてから、オンにします。
2. ネットワークの構成が完了するまで、少なくとも 60 秒待機します。

LAN 通信をセットアップするには、以下の手順に従います。

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. **System** (システム) で **Communication** (通信) 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。

上記の手順を実行しても問題が修正されない場合は、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 Home ページ

図18：2450 型の Web インタフェースの Home ページ

Instrument Model:	2450		
Manufacturer:	Keithley Instruments		
Serial Number:	01419968	Firmware Revision:	1.6.9i
TCP Raw Socket:	5025	Telnet Port:	23
Last LXI Message: (history)	Reading buffer defbuffer1 is 0% filled		

© Keithley Instruments, LLC

機器の Home ページでは、機器に関する情報が示されます。以下の情報が表示されます。

- 機器の型名番号、メーカ、シリアル番号、およびファームウェアのリビジョン番号
- TCP Raw Socket 番号および Telnet のポート番号
- 最新の LXI メッセージ LXI Home ページを開くための履歴リンク
- ID ボタン（機器を特定するのに使用可能）。[「機器の特定」](#)（3-17ページ）を参照してください。

機器の特定

多数の機器が存在していても、ID ボタンをクリックすれば、どの機器と通信しているかを判別できます。

機器を特定するには、以下の手順に従います。

1. Home ページ左側中央で、**ID** ボタンをクリックします。ボタンが緑色に変わり、機器の LAN ステータス・インジケータが点滅します。前面パネル・インタフェースを備えた計測器では、System Communications (システム通信) メニューも開き、LAN タブの LXI LAN インジケータが点滅します。
2. **ID** ボタンを再度クリックすると、元の色に戻り、LAN ステータス・インジケータも点灯状態に戻ります。

イベント・ログのイベントの確認

LXI Home の Log には、イベント・ログが表示されます。イベント・ログには、計測器が生成した、または受信したすべての LXI イベントが記録されます。ログには次の情報が含まれます。

- EventID 列：イベント・メッセージを生成したイベントの識別子が示されます。
- System Timestamp 列：イベントが発生した時間が秒およびナノ秒で示されます。
- Data 列：イベント・メッセージのテキストが表示されます。

これらのイベント・ログをクリアし、画面上の情報を更新するには、**Refresh** (リフレッシュ) ボタンを選択します。

使用するコマンド・セットの決定

2450 型は、SCPI または Test Script Processor (TSP®) プログラミング言語に基づくコマンド・セットを使用して制御できます。2450 型で使用するコマンド・セットは変更できます。使用可能なリモート・コマンド・セットは次の通りです。

- SCPI：SCPI 規格で作成された機器固有の言語
- TSP：スタンドアロン機器から実行することができる機器固有の制御コマンドを含むスクリプト・プログラミング言語です。TSP を使用して個々のコマンドを送信したり、コマンドをスクリプトに組み合わせることができます。
- SCPI 2400：ケースレーの旧モデルの 2400 シリーズ用に開発されたコードを実行できる機器固有の言語です。

コマンド・セットを変更した場合は、機器を再起動します。

コマンド・セットを組み合わせることはできません。

注

ケースレーから出荷された状態では、2450 型は SCPI コマンド・セットで動作するように設定されています。

注

SCPI2400 コマンド・セットを選択した場合は、現在の SCPI コマンド・セットで利用可能な一部の拡張レンジやその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、『Model 2450 Reference Manual』の「2450 in a Model 2400 application」を参照してください。

前面パネルからコマンド・セットを設定するには…

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. 適切な **Command Set** (コマンド・セット) を選択します。

コマンドセットの変更を確定して、再起動するように求められます。

リモート・インタフェースから選択されたコマンド・セットを確認する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG?
```

リモート・インタフェースから SCPI コマンド・セットを変更する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI
```

機器を再起動します。

リモート・インタフェースから TSP コマンド・セットを変更する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG TSP
```

機器を再起動します。

リモート・インタフェースから SCPI 2400 コマンド・セットを変更する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI2400
```

機器を再起動します。

前面パネルを使用した基本測定

このセクションの内容：

はじめに.....	4-1
この例に必要な機器.....	4-2
デバイスの接続.....	4-2
前面パネルを使用した測定.....	4-3

はじめに

2450 型を使用して、前面パネルから電圧または電流の印加、および測定を行うことができます。

注

他の機器の設定に変更を加える前に、機能を選択していることを確認してください。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・メッセージが表示される場合があります。別の機能を選択すると、バッファがクリアされ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、10k Ω 抵抗で測定を行います。適切なソース値が使用されていれば、すべての 2 端子被測定デバイス (DUT) で同様の測定を行うことができます。

前面パネルから測定を行うように 2450 型をセットアップするには、以下のような方法があります。

- **クイック設定を使用する。** QUICKSET (クイックセット) を押すと、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、テスト機能を選択できるため、より優れた分解能または速度が得られるように、性能を調整できます。
- **印加／測定機能を選択します。** FUNCTION (機能) キーを押して、印加／測定機能のリストから選択します。
- **メニュー・オプションを使用します。** MENU キーを押して、オプションのメニューを開きます。

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) スワイプ画面のボタンを選択し、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には、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 (SMU)
- 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ー8608 型安全クリップ・リード線セットを使用可能)
- 1 本の 10kΩ 抵抗 (テスト対象)

デバイスの接続

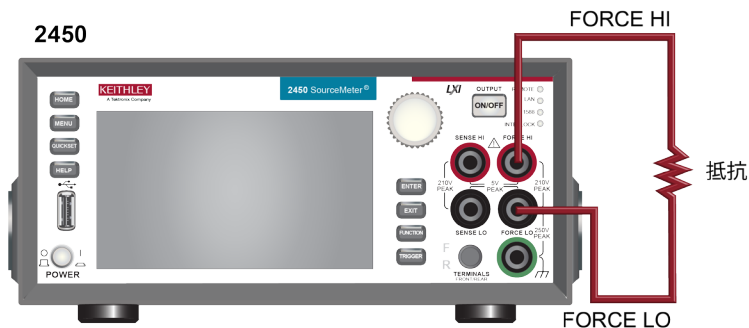
注

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。

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、デバイスは FORCE HI と FORCE LO 端子の間に接続されます。

以下の図に、前面パネルへの物理接続を示します。

図19：2450 型での 2 線接続 (前面パネル)



前面パネルを使用した基本測定

このアプリケーションでは、以下のことを行います。

- ソース／測定機能を選択します。
- ソースのレンジを選択します。
- ソースの値を設定します。
- ソース・リミットを設定します。
- 測定レンジを選択します。
- ソース出力をオンにします。
- ディスプレイに表示される測定値を観察します。
- ソース出力をオフにします。

前面パネルで測定を行う方法

前面パネルから測定を行うには、以下の手順に従います。

1. 前面パネルの **POWER** (電源) スイッチを押して、電源をオンにします。
2. 前面パネルで **FUNCTION** (機能) キーを押します。
3. Source Voltage、Measure で、**Current** (電流) を選択します。
4. 印加電圧の範囲を選択します。ホーム画面の SOURCE V で、**Range** (レンジ) を選択します。
5. **20V** を選択します。
6. **Source** (ソース) を選択します。
7. **10V** を入力し、**OK** を選択します。
8. **Limit** (リミット) を選択します。
9. **10mA** を入力し、**OK** を選択します。
10. ホーム画面の MEASURE (測定) 領域で、**Range** (レンジ) を選択します。
11. **Auto** (オート) を選択します。
12. **OUTPUT ON/OFF** (出力オン／オフ) 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する 10k Ω 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
+9.99700 V
14. 測定が完了したら、**OUTPUT ON/OFF** (出力オン／オフ) スイッチをオフにします。OUTPUT インジケータのライトが消えます。

低抵抗デバイスの測定

このセクションの内容：

はじめに	5-1
必要な機器	5-1
リモート通信のセットアップ	5-2
デバイスの接続	5-2
低抵抗の測定	5-5

はじめに

この例では、2450 型を使用して低い抵抗値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低抵抗（10Ω 以下）の測定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、電流を強制し、その結果発生する電圧の低下を測定することで行われます。2450 型では、抵抗値が自動的に計算されます。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・センスやオフセット補正など、低抵抗の測定に最適な機能が内蔵されています。

必要な機器

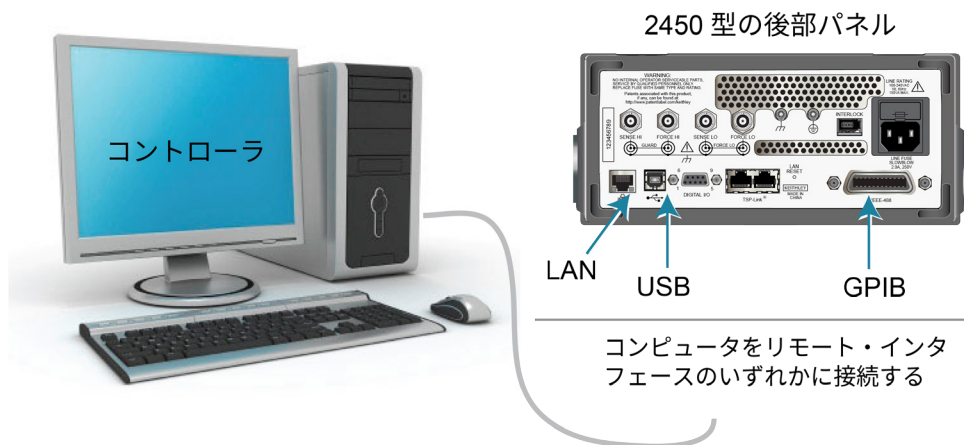
- 2450 型ソースメータ (SMU) (×1)
- 前面パネル接続の場合、ケースレーの 8608 型安全クリップ・リード線セットなどの、4 本の絶縁バナナ・ケーブルを使用します (2450 型には 1 セットが付属しています。もう 1 セットはユーザが用意する必要があります)。
- トライアキシャル・ケーブル (×4。後部パネルの場合)
- テストの対象となる低抵抗のデバイス (このアプリケーションでは 20mΩ の抵抗)

リモート通信のセットアップ

このアプリケーションは、前面パネルから、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、またはイーサネット) 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用の後部パネル・コネクタの場所を示しています。リモート通信のセットアップについての詳細は、[「リモート通信インタフェース」](#) (3-1ページ) を参照してください。

図20：2450 型のリモート・インタフェース接続



デバイスの接続

測定精度を高めるために、このテストでは 4 線 (ケルビン) 測定の手法を使用します。この方法では、リード線による抵抗の影響が排除されるため、測定精度が向上します。そのため、低抵抗の測定に最適な手法だとみなされています。

4 線接続法を使用するには、以下の手順に従います。

- 1 組のテストリードを FORCE LO および FORCE HI 端子に接続します。このセットアップにより、被測定デバイスに電流が流れます。
- 他のテストリードのセットを SENSE HI および SENSE LO 端子に接続します。これらの端子は、被試験デバイス (DUT) の電圧降下を測定します。

警告

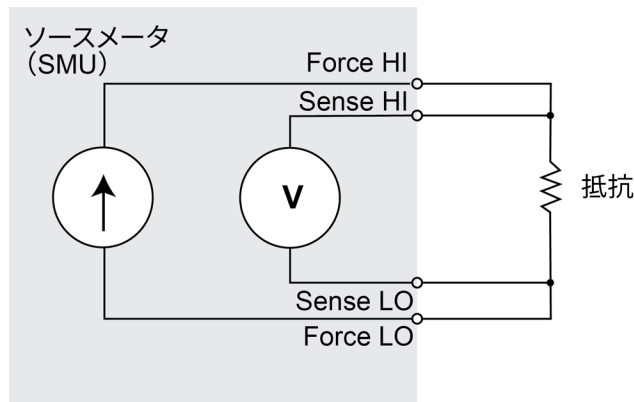
危険電圧はすべての出力およびガード端子に存在する可能性があります。ケガまたは死亡事故につながる可能性がある感電事後を防止するために、出力がオンになっている間は、2450 型を接続したり、切断したりしないでください。

感電を防ぐためにもテスト接続は、導体や導体に触れているあらゆる被測定デバイス (DUT) に、ユーザが触れないように設定してください。DUT を接続する前に電源を遮断するのが賢明です。導体との接触を防ぎ、安全な設置には適切な遮蔽版、障壁、接地が必要となります。

保安接地 (安全設置) と 2450 型の LO 端子との内部接続はありません。そのため、LO 端子に危険なレベルの電圧 ($30V_{RMS}$ 以上) が発生する危険性があります。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 端子は前面パネルのシャーシ接地端子または後部パネルのシャーシ接地ネジに接続することができます。前面パネルの端子と後部パネルの端子が分離されていることに注意してください。そのため、前面パネルの端子を使用している場合には、前面パネルの LO 端子に接地します。後部パネルの端子を使用している場合には、後部パネルの LO 端子に接地します。これらのガイドラインに従わないと、怪我や死亡事故、あるいは機器の損傷につながる恐れがあります。

次の図は、アプリケーションの回路図を示しています。

図21：4 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では前面パネル端子または後部パネル端子のいずれかを使用できます。前面パネルおよび後部パネルの接続を以下の図に示します。前面パネルの端子または後部パネルの端子は、いずれか一方しか使用できないことに注意してください。混在させることはできません。

後部パネルの接続にはトライアキシャルを使用します。前面パネルの接続には安全なバナナ・ジャックを使用します。

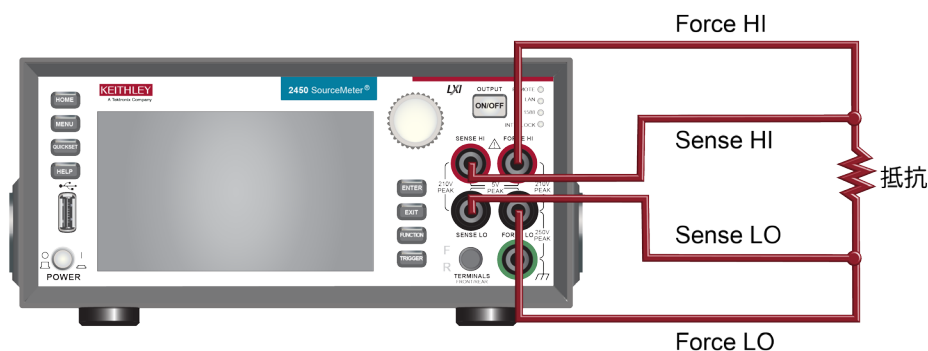
注

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 と SENSE LO が DUT リードの 1 つに接続されることに注意してください。FORCE HI および SENSE HI はもう一方のリードに接続します。センス接続は可能な限り被測定抵抗の近くに接続します。この 4 線式測定により、テスト・リードの抵抗を測定から排除できます。

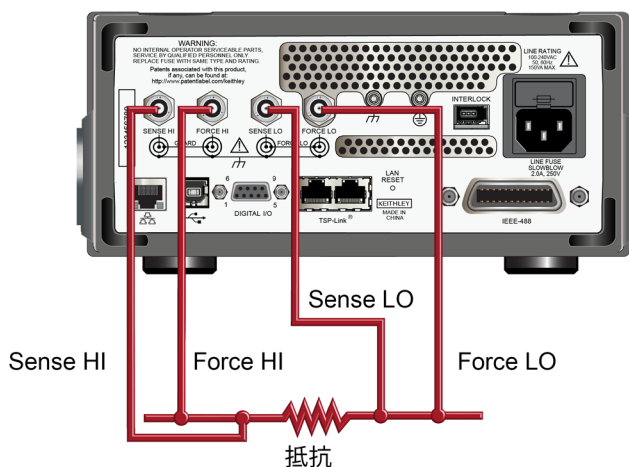
以下の図は前面パネル接続を示しています。これらの接続は、ケースレーの 8608 型安全クリップ・リード線セットを 2 セットなど、4 本の絶縁バナナ ケーブルを使用して行うことができます。

図22：低抵抗測定での 2450 型の前面パネル接続



以下の図は後部パネルの接続を示しています。これらの接続には、4 本のトライアキシャル・ケーブルを使用できます。

図23：低抵抗測定での後部パネル接続



低抵抗の測定

このアプリケーションでは、2450 型を使用して低い抵抗値のデバイスを測定する方法について説明します。前面パネルから、または SCPI または TSP コードを使用したリモート・インタフェースを介して測定します。

このアプリケーションでは、以下のことを行います。

- 機器の電源をオンにします。
- ソース電流を選択し、抵抗関数を測定します。
- 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、測定確度に対す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、熱起電力によって発生するオフセットが軽減されます。オフセット補正に関する情報は、『Model 2450 Reference Manual』の「What is offset compensation?」を参照してください。
- ソース出力をオンにして、測定を開始します。
- 前面パネルまたはリモート・インタフェースから測定値を読み取ります。
- ソース出力をオフにします。

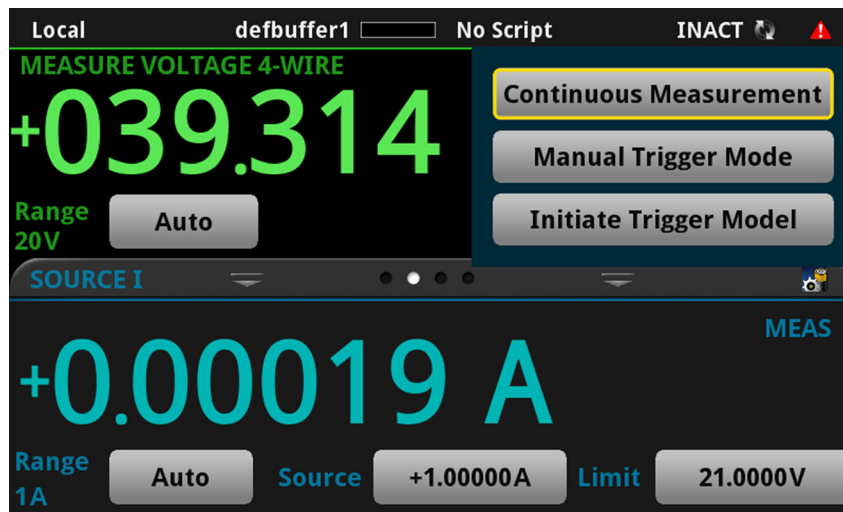
前面パネルから測定をセットアップする

前面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」](#) (5-2ページ) 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. 機器の電源をオンにします。
3. **FUNCTION** (機能) キーを押します。
4. Source Current and Measure (電流の印加/測定) の下の **Resistance** (抵抗) を選択します。警告メッセージが表示されます。
5. **OK** を選択して、エラー・メッセージをクリアします。
6. **HOME** キーを押します。
7. SOURCE I 領域でソースの横にあるボタンを選択します。デバイスに最適なソース値を選択します。
8. **MENU** (メニュー) キーを押します。Measure (測定) で **Settings** (設定) を選択します。
9. Sense (センス) を **4-Wire Sense** (4 線センス) に設定します。
10. オフセット補正を **On** に設定します。
11. **HOME** キーを押します。
12. **OUTPUT ON/OFF** (出力オン/オフ) スイッチを押して、出力を有効にします。
13. **Measurement Method** (測定方法) インジケータを選択します。

14. **Continuous Measurement** (連続測定) を選択して、測定を開始します。測定値がホーム画面の Measure Voltage 領域に表示されます。

図24：連続測定が選択された測定方法インジケータ

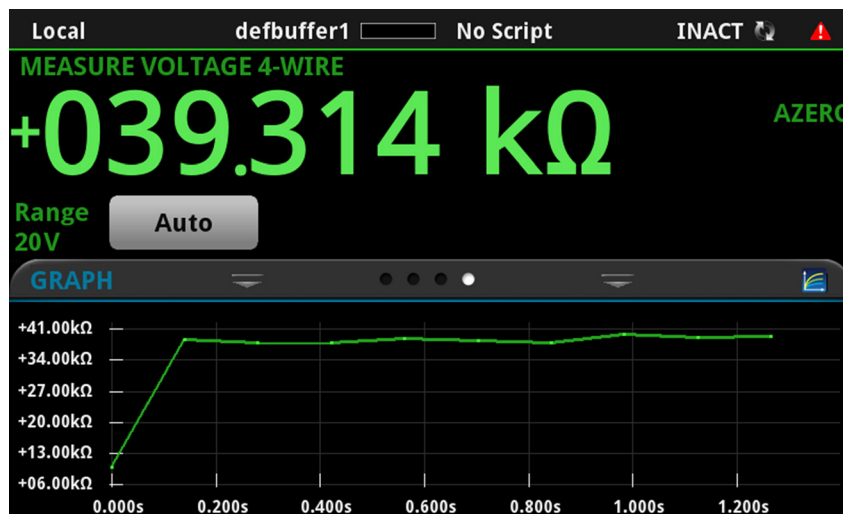


15. **OUTPUT ON/OFF** (出力オン/オフ) スイッチを押して、出力を無効にし、測定を停止します。

前面パネルの GRAPH スワイプ画面に測定結果を表示する

前面パネルの GRAPH スワイプ画面では、抵抗値測定を時間の関数として表示できます。GRAPH 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。下図のようなグラフが表示されます。

図25：GRAPH (グラフ) スワイプ画面



グラフを全画面表示するには、GRAPH スワイプ画面のアイコンにタッチして、グラフ画面を開きます。

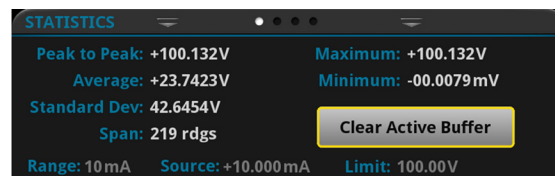
前面パネルでバッファ統計を表示する

2450 型の前面パネルの STATISTICS スワイプ画面では、以下の情報を含む測定統計を表示できます。

- p-p 値
- 最小、最大、および平均読み値
- 標準偏差

統計値を表示するには、ホーム画面で STATISTICS 画面にスワイプします。

図26：STATISTICS スワイプ画面



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

以下の SCPI コマンドのシーケンスでは、電流を印加し、抵抗を測定することにより、低抵抗測定を 100 回行います。この例では、ソース電流の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前面パネル画面を変更し、GRAPH 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・データを表示できます。

ユーザのプログラミング環境で正しくコードが実行されるように、必要な変更を行わなければならない場合があります。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

コマンド	概要
<pre>*RST TRIG:LOAD "SimpleLoop", 100 SENS:FUNC "RES" SENS:RES:RANG:AUTO ON SENS:RES:OCOM ON SENS:RES:RSEN ON DISP:SCR SWIPE_GRAPH OUTP ON INIT *WAI OUTP OFF TRAC:DATA?1, 100, "defbuffer1", READ, REL</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2450 型をリセットします。 ■ 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。 ■ 抵抗を測定するように設定します。 ■ オート・レンジをオンにします。 ■ オフセット補正を有効にします。 ■ 4 線センス・モードを使用するように設定します。 ■ GRAPH スワイプ画面を表示します。 ■ 出力をオンにします。 ■ 読み取りを開始します。 ■ 完了するまで待機します。 ■ 出力をオフにします。 ■ defbuffer1 から抵抗および時間の値を読み取ります。

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

以下の TSP コードは、Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB はケースレーのサイト (jp.tek.com/keithley) からダウンロードしてお使いいただけるソフトウェア・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、TSB をインストールして使用できます。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『Model 2450 Reference Manual』の「Introduction to TSP operation」セクションに記載されています。

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

デフォルトでは、2450 型では SCPI コマンド・セットが使用されます。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** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. Command Set (コマンド・セット) を **TSP** に設定します。
4. 再起動の確認画面が表示されたら、**Yes** (はい) を選択します。

この TSP コマンドのシーケンスでは、電流を印加し、抵抗を測定することにより、低抵抗測定を 100 回行います。この例では、ソース電流の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前面パネル画面を変更し、GRAPH 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。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

```
-- 機器をデフォルト設定にリセットする
reset()
-- 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する
trigger.model.load("SimpleLoop", 100)
-- 前面パネルの表示を GRAPH スワイプ画面に変更する
display.changescreen(display.SCREEN_GRAPH_SWIPE)
-- 抵抗測定を設定し、4 線センス、
-- オフセット補正を使用する
smu.measure.func = smu.FUNC_RESISTANCE
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.offsetcompensation = smu.ON
-- 出力をオンにする
smu.source.output = smu.ON
--トリガ・モデルを開始し、完了するまで待機する
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
-- 出力をオフにする
smu.source.output = smu.OFF
-- defbuffer1 から抵抗および時間の値を読み取る
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：

はじめに.....	6-1
必要な機器.....	6-2
リモート通信のセットアップ.....	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.....	6-10

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、10nA を下回ります。

このアプリケーションは、以下の 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、漏れ電流の測定では、結果がアンペア単位で返されるという点だけです。絶縁抵抗の測定では、結果がオーム単位で返されます。

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ので、指定された時間だけ電圧が印加されます。場合によっては、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前面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®) 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

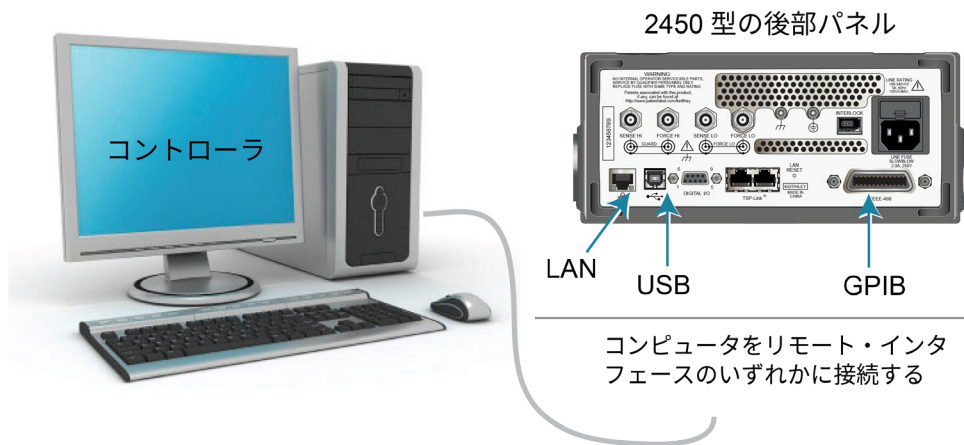
- 2450 型ソースメータ (SMU) (×1)
- トライアキシャル・ケーブル (×2)
- キャパシタ (×1。漏れ電流アプリケーション用)
- 同軸ケーブルまたはその他のデバイス (×1。絶縁抵抗測定アプリケーション用)
- Ethernet、GPIB、または USB ケーブル (×1。TSP および SCPI リモート・コマンドのサンプル用)

リモート通信のセットアップ

このアプリケーションは、前面パネルから、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、またはイーサネット) 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用の後部パネル・コネクタの場所を示しています。リモート通信のセットアップについての詳細は、[「リモート通信インターフェース」](#) (3-1ページ) を参照してください。

図27：2450 型のリモート・インターフェース接続



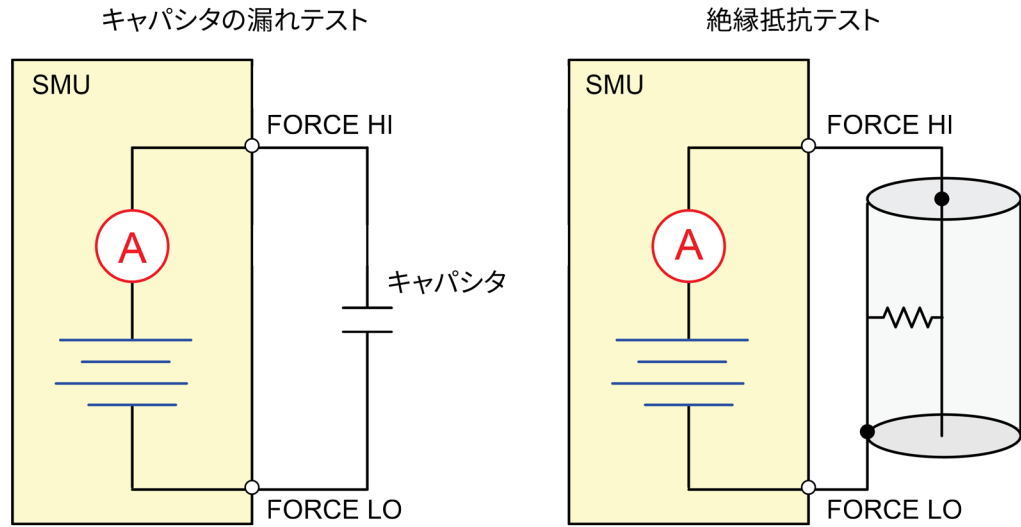
デバイスの接続

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、10nA を下回ります。デバイスの種類に関わらず、漏れ電流および絶縁抵抗の測定では、非常に小さい値を測定する必要があります。より精度の高い読み取りを行うには、低抵抗のトライアキシャル・ケーブルを使用して、DUT を 2450 型の後部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の測定を示しています。

図28：キャパシタの漏れおよび絶縁抵抗テストの接続図



次の図は、これらのアプリケーションの被測定デバイス (DUT) への後部端子接続を示しています。キャパシタの漏れの測定でノイズが多い場合には、ハイ・キャパシタンス・モードを使用するか、または漏れの少ない順方向ダイオードをキャパシタに直列に追加する必要があります。

図29：漏れ電流テストの場合の後部パネルの接続

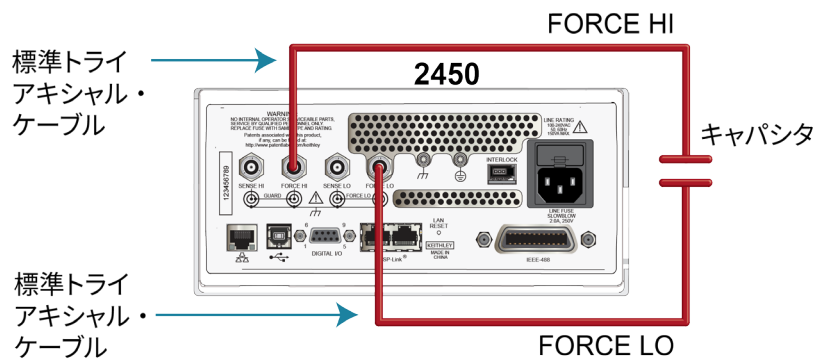
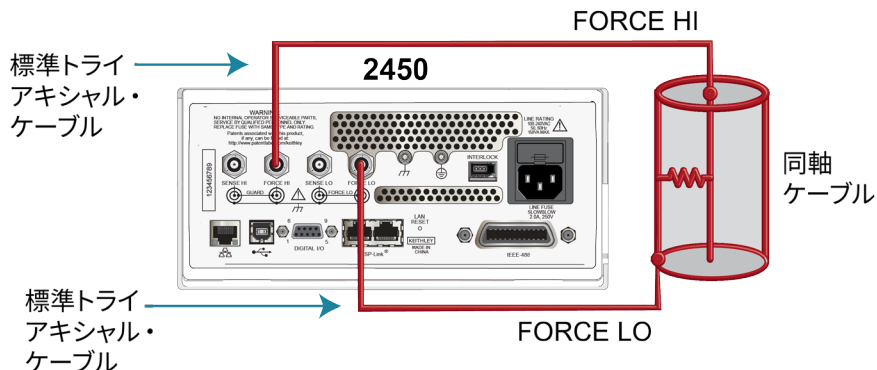


図30：絶縁抵抗測定の場合の後部パネルの接続



漏れ電流の測定

以下のアプリケーションでは、2450 型で前面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印加し、その結果発生する電流を測定することにより、1nF キャパシタの漏れ電流を測定する方法を示しています。リモート・インタフェースは、SCPI コマンドと TSP コマンドの例を示しています。

このアプリケーションでは、20V を印加し、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 型を設定します。電流は指定した時間測定されます。

このテストでは、以下のことを行います。

- 機器をリセットします。
- 後部端子を読み取るように機器を設定します。
- 電圧ソース機能と電流測定機能を選択します。
- 電圧ソースの振幅を設定します。
- オートレンジをオンにします。
- 測定遅延を設定します。
- Duration Loop トリガ・モデル・テンプレートを使用して、指定された期間、読み取りを行います。
- ソース出力をオンにします。
- 指定された期間、読み取りを行います。
- ソース出力をオフにします。

注

2450 型を使用して微弱な電流を測定するときは、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 20nF を超える場合には、最適な結果が得られるように、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最適化、およびノイズを最小限に抑える方法については、ケースレーの『Low Level Measurements Handbook』を参照してください。[ケースレーの Web サイト \(jp.tek.com/keithley\)](http://jp.tek.com/keithley) でご利用になれます。

前面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

前面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」](#) (6-2ページ) 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** (メニュー) キーを押します。
 - b. System (システム) で **Info/Manage** (情報/管理) を選択します。
 - c. **System Reset** (システム・リセット) を選択し、**OK** を選択します。
3. **TERMINALS FRONT/REAR** (端子選択：前面/後部) スイッチを押して、後部パネルを使用するように機器を設定します (スイッチ左側に "R" が表示されます)。
4. **HOME** キーを押します。
5. **FUNCTION** (機能) キーを押します。
6. Source Voltage、Measure で、**Current** (電流) を選択します。
7. Source を選択します (画面の下部)。
8. 20V を入力し、**OK** を選択します。
9. **MENU** (メニュー) キーを押します。
10. Trigger (トリガ) で、**Templates** (テンプレート) を選択します。
11. Templates (テンプレート) を **Duration Loop** (期間ループ) に設定します。
12. Duration (期間) を **30s** に設定します。これはソーク時間です。
13. Delay (遅延) を **0.2s** に設定します。
14. **HOME** キーを押して、Home 画面に戻ります。
15. **TRIGGER** キーを押します。測定方法の変更を確認するメッセージが表示されます。
16. **Yes** を選択し、**Initiate Trigger Model** (トリガ・モデルの開始) を選択してすると、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。

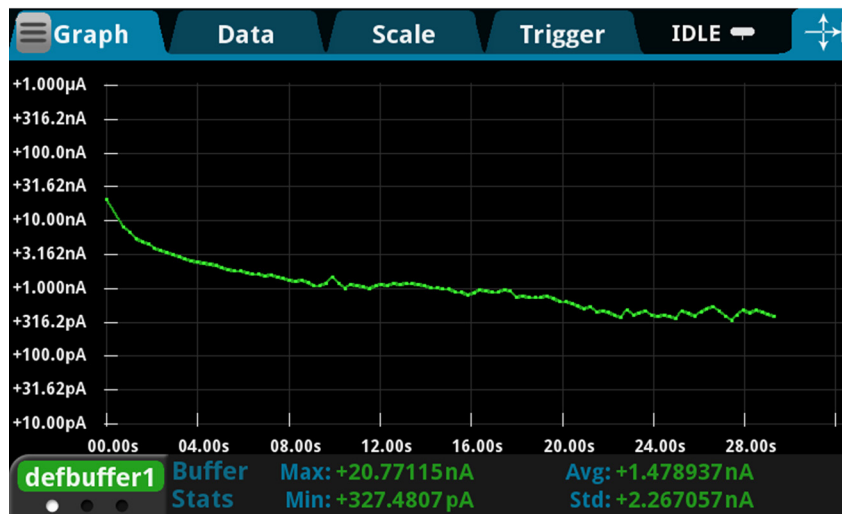
前面パネルのグラフに測定結果を表示する

前面パネルのグラフに漏れ電流の測定結果を表示するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. Views (表示) の下で、**Graph** (グラフ) を選択します。
3. **Scale** (スケール) タブを選択します。
4. Y 軸で、Scale Format の隣の **Log** (ログ) を選択します。
5. X 軸で、Method の隣の **Show All Readings** (すべての読み値を表示) を選択します。
6. **Graph** (グラフ) 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前面パネルのグラフを示しています。

図31：前面パネルでの漏れ電流の測定値の表示



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、20V を印加し、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 30 秒間適用し、200ms 間隔で測定を行います。期間後に、キャパシタは 0V に放電され、出力はオフになります。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

コマンド	概要
<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 "DurationLoop", 30, 0.2 :INIT *WAI :TRAC:ACT? "defbuffer1" :TRAC:DATA?1, 30, "defbuffer1", READ, REL :SOUR:VOLT 0 :OUTP ON :SOUR:VOLT:DEL 2 :OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2450 型をリセットします。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ ソース電圧を 20V に設定します。 ■ 電流制限を 10mA に設定します。 ■ 電流を測定するように機器を設定します。 ■ 後部パネル端子を使用するように設定します。 ■ 電流レンジをオートレンジに設定します。 ■ 電源サイクル数を 1 に設定します。 ■ 200ms の間隔で 30 秒間実行する期間ループ・トリガ・モデルをロードします。 ■ トリガ・モデルを開始します。 ■ 測定が完了するまで待機します。 ■ defbuffer1 の読み値の数をクエリし、読み値と時間を返します。30 はクエリされた読み値の数です。 ■ キャパシタを 0V まで放電します。 ■ 出力をオンにします。 ■ キャパシタが放電するまで 2 秒間待機します。 ■ 出力をオフにします。

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

以下の TSP コードは、Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB はケースレーのサイト (jp.tek.com/keithley) からダウンロードしてお使いいただけるソフトウェア・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、TSB をインストールして使用できます。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『Model 2450 Reference Manual』の「Introduction to TSP operation」セクションに記載されています。

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

デフォルトでは、2450 型では SCPI コマンド・セットが使用されます。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** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. Command Set (コマンド・セット) を **TSP** に設定します。
4. 再起動の確認画面が表示されたら、**Yes** (はい) を選択します。

以下の TSP コードは、20V を印加し、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 秒間適用し、200ms 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。

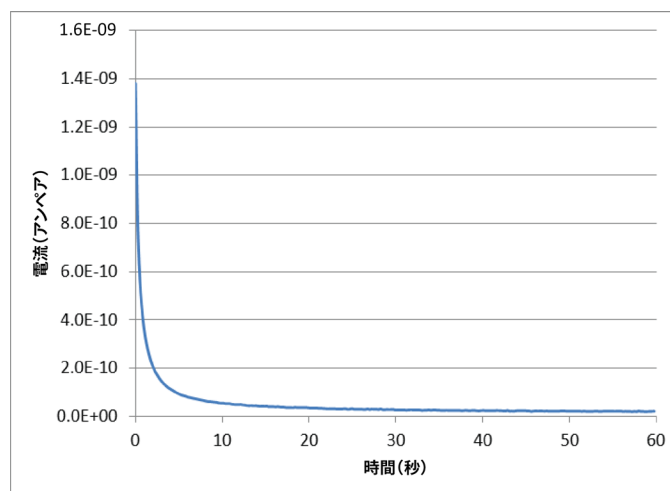
コードが実行されると、Test Script Builder の Instrument Console に測定結果が表示されます。Instrument Console からデータをコピーして、スプレッドシートでグラフを表示できます。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

```
-- 機器をリセットして、バッファをクリアする
reset()
-- ソース機能をセットアップする
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 10e-3
smu.source.level = 20
-- 測定機能をセットアップする
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- 出力をオンにし、読み取りを開始する
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.load("DurationLoop", 60, 0.2)
trigger.model.initiate()
-- トリガ・モデルが完了するのを待機する
waitcomplete()
-- インデックスとデータを3つの列に構文解析する
print("Rdg #", "Time (s)", "Current (A)")
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, defbuffer1.relativetimestamps[i], defbuffer1[i])
end
-- キャパシタを0Vまで放電し、出力をオフにする
smu.source.level = 0
smu.source.output = smu.ON
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。電流が20Vまで充電されるまでの時間の経過に従って、キャパシタは指数関数的な電流応答を見せています。

図32：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、前面パネル・インタフェース、SCPI コマンド・セットを使用したリモート・インタフェース、および Test Script Processor (TSP®) コマンド・セットを使用したリモートインタフェースの使用法を示します。

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、2450 型を設定して、20V を印加し、100ms 間隔で 10 回の抵抗測定を行います。測定が完了すると、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。

- 機器をリセットします。
- 後部端子を読み取るように機器を設定します。
- 電圧ソース機能と抵抗測定機能を選択します。
- 電圧ソース出力の振幅を設定します。
- オートレンジをオンにします。
- 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。
- 測定を実行します。

前面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

前面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」](#) (6-2ページ) で説明されているとおりに、被測定デバイスを 2450 型の後部パネルに接続します。
2. 2450 型をリセットします。
 - a. **MENU** (メニュー) キーを押します。
 - b. System (システム) で **Info/Manage** (情報/管理) を選択します。
 - c. **System Reset** (システム・リセット) を選択し、**OK** を選択します。
3. **TERMINALS FRONT/REAR** (端子選択：前面/後部) スイッチを押して、後部パネルを使用するように機器を設定します (スイッチ左側に "R" が表示されます)。
4. **HOME** キーを押します。
5. **FUNCTION** (機能) キーを押します。
6. Source Voltage、Measure で、**Resistance** (抵抗) を選択します。イベント・メッセージが表示されます。
7. **OK** を選択して、イベント・メッセージをクリアします。
8. **Source** (ソース) を選択します (画面の下部)。
9. **20V** (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。

10. **MENU** (メニュー) キーを押します。
11. Trigger (トリガ) で、**Templates** (テンプレート) を選択します。
12. Templates を **Simple Loop** (シンプル・ループ) に設定します。
13. Count を **10** に設定します。
14. Delay を **0.1** 秒に設定します。
15. **HOME** キーを押します。
16. **OUTPUT ON/OFF** (出力オン/オフ) スイッチを押して、出力を有効にします。
17. **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。
18. 測定が完了したら、**OUTPUT ON/OFF** (出力オン/オフ) スイッチを押して、出力をオフにします。

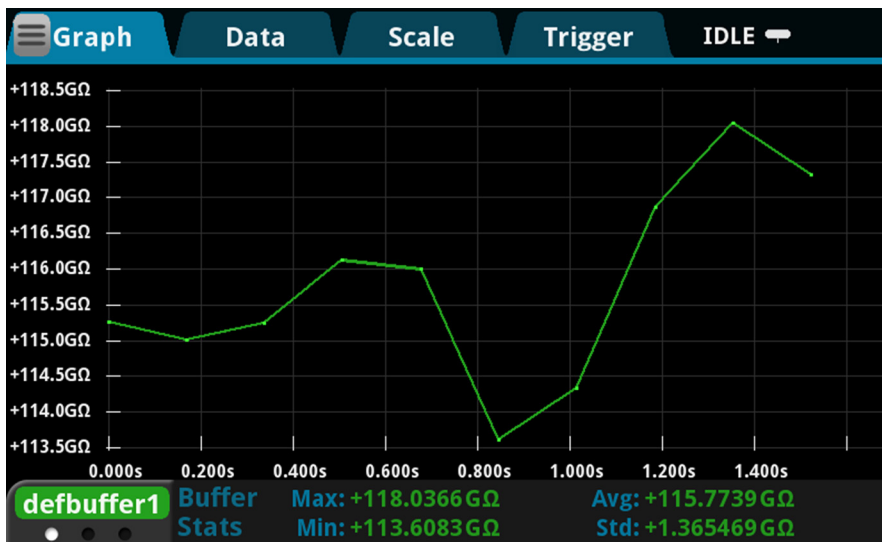
前面パネルのグラフに測定結果を表示する

前面パネルのグラフに絶縁抵抗の測定結果を表示するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. Views (表示) の下で、**Graph** (グラフ) を選択します。

以下の図は、このアプリケーションでの前面パネルのグラフを示しています。

図33；絶縁抵抗のグラフ



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 コマンドでは、20V の電圧を印加し、抵抗を測定することで、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、100ms 間隔で 10 回の測定を行います。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

コマンド	概要
<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 "SimpleLoop", 10, 0.1 :OUTP ON :INIT *WAI :OUTP OFF :TRAC:DATA?1, 10, "defbuffer1", READ, REL</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2450 型をリセットします。 ■ 測定用に後部パネルの端子を選択します。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ 20V を出力します。 ■ 10mA のソース・リミットを設定します。 ■ 電流を測定するように機器を設定します。 ■ 電流レンジをオートレンジに設定します。 ■ 抵抗を測定するように機器を設定します。 ■ Simple Loop トリガ・モデル・テンプレートを使用して、100ms 間隔で 10 回の測定を行います。 ■ 出力をオンにします。 ■ 読み取りを開始します。 ■ 測定が完了するまで待機します。 ■ 出力をオフにします。 ■ defbuffer1 から抵抗および時間の値を読み取ります。

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

以下の TSP コードは、Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB はケースレーのサイト (jp.tek.com/keithley) からダウンロードしてお使いいただけるソフトウェア・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『Model 2450 Reference Manual』の「Introduction to TSP operation」セクションに記載されています。

デフォルトでは、2450 型では SCPI コマンド・セットが使用されます。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** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. Command Set (コマンド・セット) を **TSP** に設定します。
4. 再起動の確認画面が表示されたら、**Yes** (はい) を選択します。

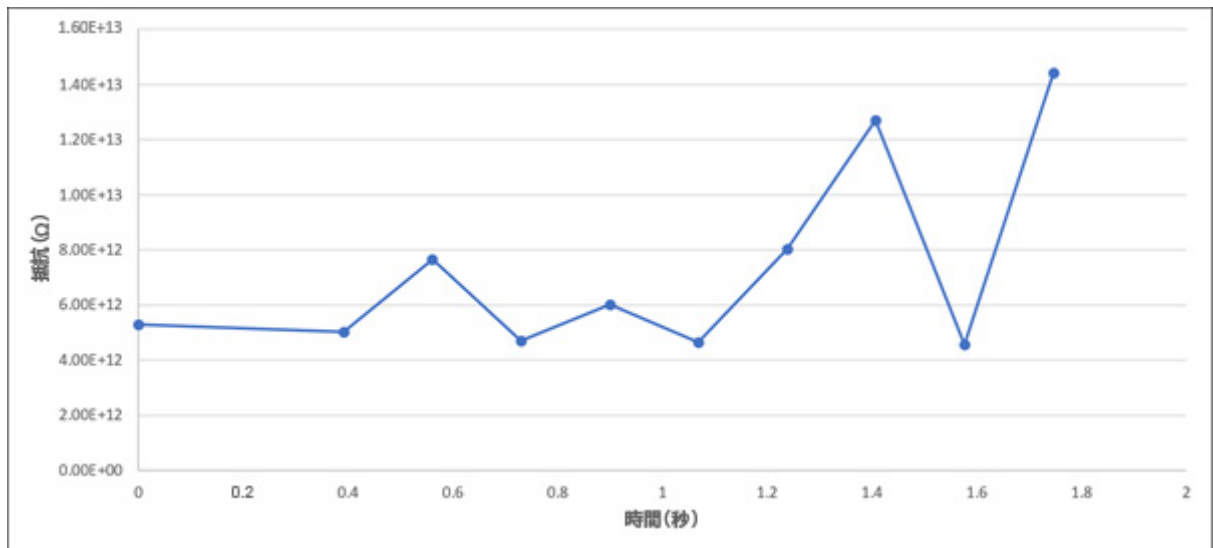
以下の TSP コマンドでは、20V の電圧を印加し、抵抗を測定することで、絶縁抵抗の測定を行います。Simple Loop トリガ・モデル・テンプレートは、100ms 間隔で 10 回の測定を行います。コードが実行されると、Test Script Builder の Instrument Console に測定結果が表示されます。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

```
-- 機器をリセットする
reset()
-- ソース機能をセットアップする
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 0.1
smu.source.level = 20
-- 測定機能をセットアップする
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.unit = smu.UNIT_OHM
smu.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- ソース出力をオンにし、読み取りを行う
trigger.model.load("SimpleLoop", 10, 0.1)
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.initiate()
-- 測定が完了するまで待機する
waitcomplete()
-- 出力をオフにする
smu.source.output = smu.OFF
-- インデックスとデータを 3 つの列に構文解析する
print("Rdg #", "Time (s)", "Resistance (Ohm)")
for i = 1, defbuffer1.n do
  print(i, defbuffer1.relativetimestamps[i], defbuffer1[i])
end
```

次の図のグラフは、プロット結果がどのように表示されるかを示しています。

図34：絶縁抵抗テストの結果



FET の I-V 特性の測定

このセクションの内容：

はじめに.....	7-1
必要な機器.....	7-1
リモート通信のセットアップ.....	7-2
外部ハードウェア・トリガのセットアップ.....	7-3
デバイスの接続.....	7-5
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.....	7-7
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.....	7-12

はじめに

このサンプル・アプリケーションでは、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すばやく、正確に印加／測定できるため、半導体デバイスのテストに最適です。

FET の I-V 特性パラメータを特定することは、目的の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・リーク、ブレイクダウン電圧、しきい値電圧、伝達特性、ドレイン電流など、2450 型で実行可能な I-V テストは数多く存在します。テストに必要な 2450 型の数は、バイアスおよび測定が必要な 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) を測定する方法について説明します。MOSFET はデジタル集積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

- 2450 型ソースメータ (SMU) (×2)
- トライアキシャル・ケーブル (×4。ケースレー：7078-TRX-10)
- トライアキシャル・コネクタ (Fe) 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・ティー・コネクタ (ケースレー：237 - TRX-T)

- 外部ハードウェア・トリガのケーブルは、使用するコマンド・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 (Ma-Ma) 9 ピン・ケーブルを使用して、2450 型の後部パネルのデジタ入出力ポートを相互に接続します。
 - TSP コマンドの場合、2450 型の後部パネルの TSP-Link ポートを相互に接続するために、TSP-Link クロスオーバ・ケーブル (2450 型には RJ-45 LAN ケーブルが 1 本付属) が必要です。
- コンピュータを 2450 型に接続するケーブルは、使用するコマンド・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： GPIB ケーブル (×2)、USB ケーブル (×2)、またはイーサネット・ケーブル (×2)
 - TSP コマンドの場合： GPIB ケーブル (×1)、USB ケーブル (×1)、またはイーサネット・ケーブル (×1)

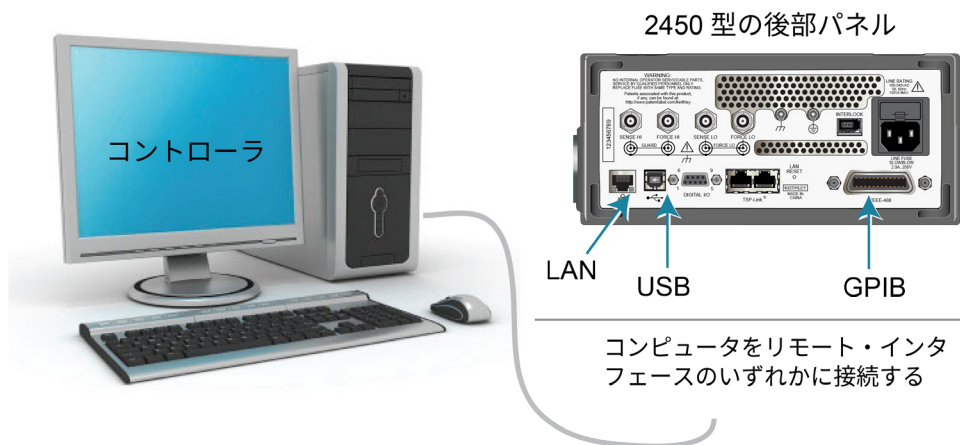
このアプリケーションのために 2 台の 2450 型をセットアップする手順については、以降のパラグラフで説明します。

リモート通信のセットアップ

このアプリケーションは、リモートで実行されるように構成されます。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、またはイーサネット) 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用の後部パネル・コネクタの場所を示しています

図35：2450 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

2 台の 2450 型を同期させて、電圧のステップや掃引を行うために、それぞれの機器の外部トリガを互いに接続します。使用するケーブルは、テストを制御するために選択した 2450 型のプログラミング・コマンドの種類により異なります。

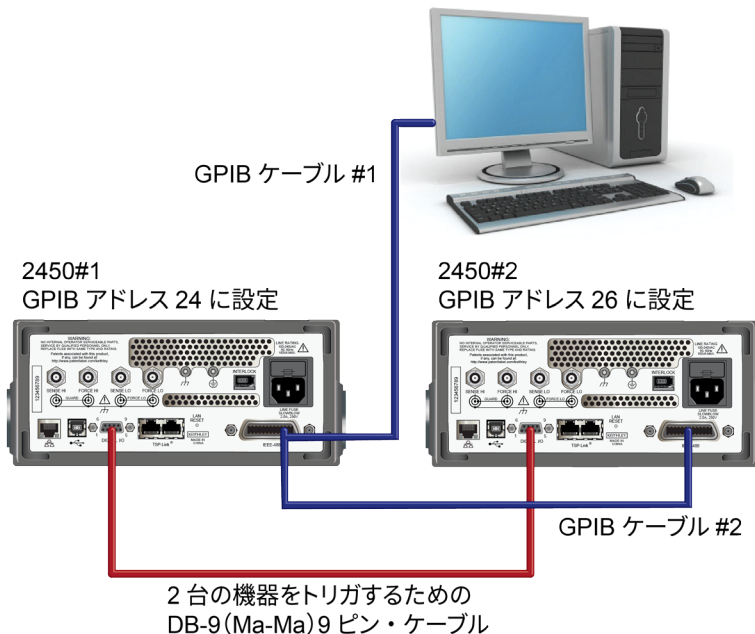
SCPI コマンド・セット用の接続

SCPI コマンド・セットを使用する場合は、下図に示すように、各機器の後部のデジタル入出力コネクタ同士を、DB-9 ケーブル (Ma-Ma) で接続します。

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

図36：SCPI プログラミング例用の GPIB および DB-9 ケーブルの接続

コントローラ (GPIB インタフェースを装備)



上図では、 GPIB リモート通信インターフェースを使用す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 の後部パネルの 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 コネクタ同士を接続します。

注

それぞれの 2450 型には、異なる GPIB アドレスを指定する必要があります。これは、前面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」](#) (3-4 ページ) を参照してください。

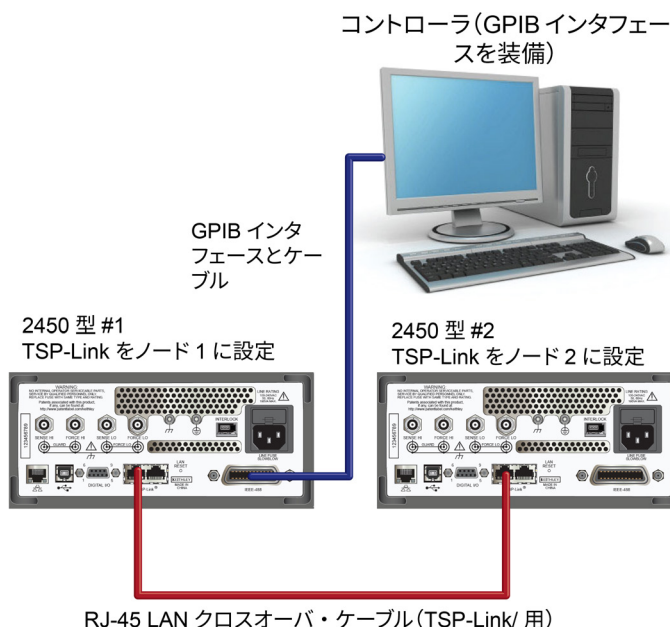
USB ケーブルを使用してコンピュータと 2450 型を接続する場合は、それぞれの機器で個別に USB ケーブルを使用して、コンピュータに接続する必要があります。

イーサネット接続を使用してコンピュータと 2450 型を接続する場合は、機器とコンピュータはイーサネット・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®) コマンド・セットを使用する場合は、RJ-45 LAN クロスオーバー・ケーブル (2450 型に 1 本付属) を使用して、2450 型の後部パネルにある TSP-Link ポートを相互に接続します (下図を参照)。TSP-Link の使用について詳しくは、『Model 2450 Reference Manual』の「TSP-Link System Expansion Interface」を参照してください。

図37：TSP コマンド セット用の接続



コンピュータを 2450 型に GPIB で接続する場合には必要なのは、2450 型の IEEE-488 インタフェース (上図の 2450 型#1) のいずれかに GPIB インタフェースを接続するケーブルだけです。

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 にそれぞれ設定します。

前面パネル 2450 型の TSP-Link ノードを設定するには、以下の手順に従います。

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. **System** (システム) で **Communication** (通信) を選択します。SYSTEM COMMUNICATION (システム通信) ウィンドウが表示されます。
3. **TSP-Link** タブで、**Node** (ノード) をこの機器のノード番号に設定し、**OK** をクリックします。
4. **Initialize** (初期設定) を選択します。
5. **HOME** キーを押して、Home 画面に戻ります。

TSP-Link ネットワークを構成するそれぞれの 2450 型に同じステップを繰り返します。

デバイスの接続

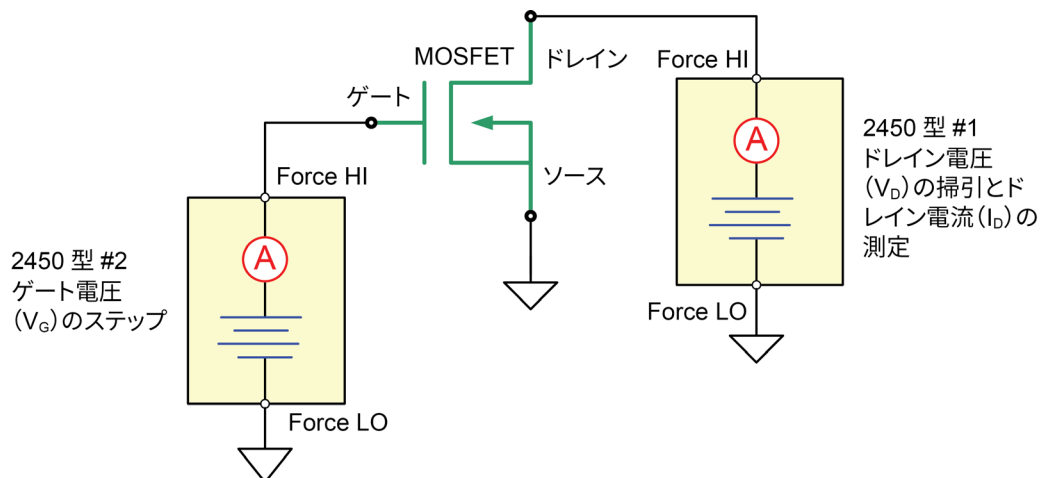
ドレイン曲線群を測定するには、電圧を印加して電流を測定するように、2 台の 2450 型を設定します。

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 型の Force LO 端子に接続します。3 つの端子すべてを使用して印加および測定を行うには、3 台目の 2450 型が必要になります。

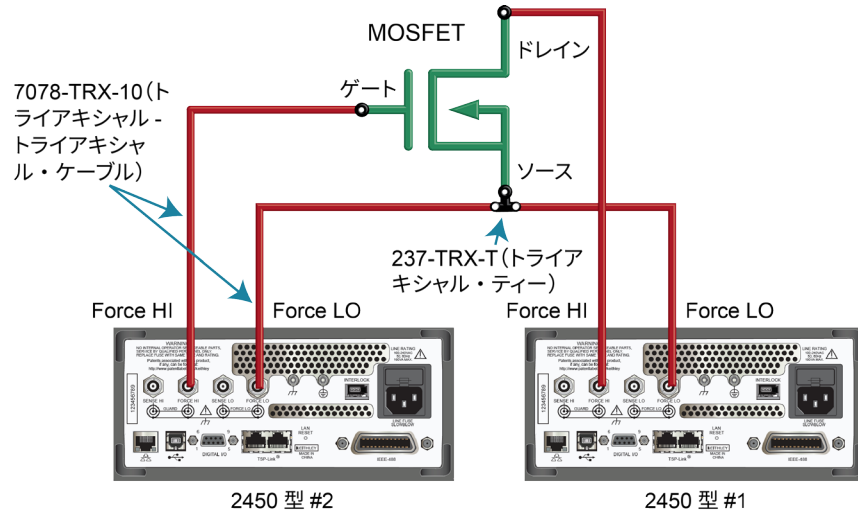
次の図は、2 台の 2450 型を使用した、MOSFET 用の I-V テストの設定を示しています。

図38：MOSFET 用の 3 端子 I-V テストのコンフィグレーション



次の図は、2 台の 2450 型の後部パネルの端子と MOSFET との接続を示しています。

図39：3 端子の MOSFET をテストするために設定された 2 台の 2450 型



このアプリケーションでは、2450 型後部パネルにあるトライアキシャル・コネクタ (Fe) と MOSFET デバイスを、4 本のトライアキシャル・ケーブル (7078-TRX-10 型) で接続します。MOSFET デバイスは、トライアキシャル・コネクタを使用して、金属シールド付きテスト・フィクスチャに取り付けます。トライアキシャル・ティー・コネクタ (237-TRX-T 型) を使用して、2 台の 2450 型の 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のために用意された 2 つの SCPI コマンド・シーケンスの例では、2 台の 2450 型を使用して、MOSFET の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は、何らかの変更が必要になる場合があります。

SCPI コマンドとトリガ・モデルを使用したアプリケーションのセットアップ

このアプリケーションでは、ゲート電圧は 2V から 5V まで 1V ステップでステップし、ドレイン電圧は 0V から 5V 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 型のトリガ・モデルは、2 台の 2450 型を同期します。

ドレインのスイーパ (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。以下の表では、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、コマンド列の各行について説明しています。

このアプリケーション例では、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	概要
SMU 1	<pre>*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</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 機器をリセットします。 ■ 電流を測定するように設定します。 ■ オートレンジを有効にして測定するように設定します。 ■ 後部端子に設定します。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ 20V のソース・レンジに設定します。 ■ stepVals と呼ばれるソース設定リストを作成します。 ■ デジタル・ライン 1 をトリガ出力に設定します。 ■ デジタル・ライン 2 をトリガ入力に設定します。 ■ 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。 ■ デジタル・ライン 2 をクリアします。 ■ ライン 2 の立上りエッジの検出を設定します。
疑似コード	<pre>for i = 2 to 5 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2~5 の for ループを設定します。
SMU 1	<pre>:SOUR:VOLT i :SOUR:CONF:LIST:STORE "stepVals"</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電圧レベルを反復回数に設定します。 ■ ソース設定を stepVals に保存します。
疑似コード	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ for ループを終了します。
SMU 1	<pre>:TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "stepVals" :TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON :TRIG:BLOC:MDIG 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</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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。 ■ 出力をオンにするブロック 2 を作成します。 ■ 測定を行うブロック 3 を作成します。 ■ notify1 イベントを生成するブロック 4 を作成します。 ■ デジタル・ライン 2 を待機するブロック 5 を作成します。 ■ 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。 ■ ブロック 3 に 3 回分岐するブロック 7 を作成します。 ■ 出力をオフにするブロック 8 を作成します。

SMU 1、 SMU 2 または 疑似コード	コマンド	概要
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"> ■ 機器をリセットします。 ■ 電流を測定するように設定します。 ■ オートレンジを有効にして測定するように設定します。 ■ 後部端子に設定します。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ 20V のソース・レンジに設定します。 ■ ソース・リミットを 1A に設定します。 ■ ソース設定リスト sweepVals を作成します。 ■ デジタル・ライン 2 をトリガ出力に設定します。 ■ デジタル・ライン 1 をトリガ入力に設定します。 ■ 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。 ■ デジタル・ライン 1 をクリアします。 ■ ライン 1 の立上りエッジを検出します。
疑似コード	<pre>for i = 0, 5, 0.1 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0~5、0.1 ステップの for ループを設定します (包括的)。
SMU 2	<pre>:SOUR:VOLT i :SOUR:CONF:LIST:STORE "sweepVals"</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電圧レベルを反復回数に設定します。 ■ ソース設定を sweepVals に保存します。
疑似コード	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ for ループを終了します。

SMU 1、 SMU 2 または 疑似コード	コマンド	概要
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:MDIG 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"> ■ 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。 ■ 出力をオンにするブロックを作成します。 ■ デジタル・ライン 3 を待機するブロックを作成します。 ■ 0.01 秒遅延させるブロックを作成します。 ■ 測定を行うブロックを作成します。 ■ 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。 ■ ブロック 4 に 50 回分岐するブロックを作成します。 ■ notify2 イベントを生成するブロックを作成します。 ■ ブロック 3 に 3 回分岐するブロックを作成します。 ■ 出力をオフにするブロックを作成します。
SMU 1	<pre>:INIT *WAI</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ トリガ・モデルを初期化する ■ モデルが完了するのを待機する
SMU 2	<pre>:INIT *WAI</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ トリガ・モデルを初期化する ■ モデルが完了するのを待機する
疑似コード	<pre>vds = [] ids = [] for i = 2, 5 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 測定された電圧値を保持する空の配列を作成します。 ■ 測定された電流値を保持する空の配列を作成します。 ■ 2~5 (5 を含む) の for ループを設定します。
SMU2 の疑似コード	<pre>vds[i-1] = TRAC:DATA?1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", SOUR ids[i-1] = TRAC:DATA?1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 印加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。
疑似コード	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ for ループを終了します。

SCPI コマンドと線形掃引を使用したアプリケーションのセットアップ

このアプリケーションでは、ゲート電圧は 1V ステップで 2V から 6V までステップし、ドレイン電圧は 51 ステップで 0V から 5V まで掃引し、ドレイン電流が測定されます。アプリケーションは defbuffer1 から 51 個の読み値とソース値を取得し、それぞれ配列 vds と ids に保存します。

スイーパ (SMU 2) またはステッパ (SMU 1) のいずれかにコマンドを送ります。以下の表では、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、コマンド列の各行について説明しています。

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	概要
SMU 1	*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"> ■ 機器をリセットします。 ■ 電流を測定するように設定します。 ■ オートレンジを有効にして測定するように設定します。 ■ 後部端子を使用するように設定します。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ 20V のソース・レンジに設定します。
SMU 2	*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"> ■ 機器をリセットします。 ■ 電流を測定するように設定します。 ■ オートレンジを有効にして測定するように設定します。 ■ 後部端子を使用するように設定します。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ 20V のソース・レンジに設定します。 ■ ソース・リミットを 1A に設定します。 ■ 線形掃引 (0V~5V、51 ステップ、10ms の遅延) を設定します。
SMU 1	:OUTP ON	<ul style="list-style-type: none"> ■ 出力をオンにします。
疑似コード	vds = [] ids = [] for i = 2, 5 do:	<ul style="list-style-type: none"> ■ 測定された電圧値を保持する空の配列を作成します。 ■ 測定された電流値を保持する空の配列を作成します。 ■ 2 から 5 までの for ループをセットアップします (包括的)。

SMU 1、 SMU 2 または 疑似コード	コマンド	概要
SMU 1	:SOUR:VOLT i	<ul style="list-style-type: none"> ■ ソース・レベルをループの反復回数に設定します。
疑似コード	delay(0.5)	<ul style="list-style-type: none"> ■ セtringのために 500ms 遅延させます。
SMU 2	:INIT *WAI	<ul style="list-style-type: none"> ■ 掃引の開始をトリガします。 ■ 操作が完了するまで待機します。
疑似コード	出力キューを読み取ります。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 掃引が完了するのを待機します。
SMU 2 の疑似コード	vds[i-1]=TRAC:DATA?1, 51, "defbuffer1", SOUR ids[i-1]=TRAC:DATA?1, 51, "defbuffer1", READ	<ul style="list-style-type: none"> ■ バッファから 51 個の読み値とソース値を取得し、それぞれ配列 vds と ids に保存します。配列はインデックス 1 から開始します。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。
疑似コード	end for	<ul style="list-style-type: none"> ■ for ループを終了します。
SMU 1	:OUTP OFF	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 から返されます。

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のために用意された 2 つの Test Script Processor (TSP®) コマンド・シーケンスの例では、2 台の 2450 型を使用して、MOSFET の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は、何らかの変更が必要になる場合があります。

以下の TSP コードは、Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB はケースレーのサイト (jp.tek.com/keithley) からダウンロードしてお使いいただけるソフトウェア・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、TSB をインストールして使用できます。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『Model 2450 Reference Manual』の「Introduction to TSP operation」セクションに記載されています。

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

デフォルトでは、2450 型では SCPI コマンド・セットが使用されます。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** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. Command Set (コマンド・セット) を **TSP** に設定します。
4. 再起動の確認画面が表示されたら、**Yes** (はい) を選択します。

TSP コマンドとトリガ・モデルを使用したアプリケーションのセットアップ

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

```
-- 機器および TSP-Link をリセットし、バッファをクリアする
tsplink.initialize()
-- tsplink のステートがオンラインでない場合、エラー・メッセージを表示し、終了する
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
reset()
-- ##### 2450 型#1 (ゲート) のセットアップ #####
steppoints = 4
-- ソース機能をセットアップする
smu.source.configlist.create("stepVals")
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.autorange = smu.ON
-- 測定機能をセットアップする
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
-- TSP-Link トリガリングをセットアップする
tsplink.line[1].reset()
tsplink.line[1].mode = tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_MASTER
tsplink.line[2].mode = tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_ACCEPTOR
trigger.tsplinkout[1].stimulus = trigger.EVENT_NOTIFY1
trigger.tsplinkin[2].clear()
trigger.tsplinkin[2].edge = trigger.EDGE_RISING
-- ソース設定リストに stepVals を入力 (ソース・レベル 2V~5V)
for i = 2, 5 do
    smu.source.level = i
    smu.source.configlist.store("stepVals")
end
-- トリガ・モデルをセットアップする
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_DIGITIZE)
trigger.model.setblock(4, trigger.BLOCK_NOTIFY, trigger.EVENT_NOTIFY1)
trigger.model.setblock(5, trigger.BLOCK_WAIT, trigger.EVENT_TSPLINK2)
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, smu.OFF)
```

```
-- ##### 2450 型#2 (ドレイン) のセットアップ #####
sweepoints = 51
-- ソース機能をセットアップする
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
-- 測定機能をセットアップする
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
-- TSP-Link トリガリングをセットアップする
node[2].tsplink.line[2].mode = node[2].tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_MASTER
node[2].tsplink.line[1].mode = node[2].tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_ACCEPTOR
node[2].trigger.tsplinkout[2].stimulus = node[2].trigger.EVENT_NOTIFY2
node[2].trigger.tsplinkin[1].clear()
node[2].trigger.tsplinkin[1].edge = node[2].trigger.EDGE_RISING
-- ソース設定リストに sweepVals を入力 (ソース・レベル
-- 0V~5V、100mV ステップ)
for i = 0, 5, 0.1 do
  node[2].smu.source.level = i
  node[2].smu.source.configlist.store("sweepVals")
end
-- トリガ・モデルをセットアップする
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,
  node[2].smu.ON)
node[2].trigger.model.setblock(3, node[2].trigger.BLOCK_WAIT,
  node[2].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_DIGITIZE)
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,
  sweepoints, 4)
node[2].trigger.model.setblock(8, node[2].trigger.BLOCK_NOTIFY,
  node[2].trigger.EVENT_NOTIFY2)
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,
  node[2].smu.OFF)
-- 両方の SMU でトリガ・モデルを開始し、完了するまで待機する
node[2].trigger.model.initiate()
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
```

```
-- フォーマットされた読み値を表示する
if defbuffer1.n == 0 then
  print("\nNo readings in buffer\n")
else
  for k = 1, sweeppoints do
    print(string.format("%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f\t\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
```

TSP コマンドと線形掃引を使用したアプリケーションのセットアップ

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) : スイパおよびマスタ・ノード (ノード 1 に設定)
 - ステップ電圧の開始: 0V
 - ステップ電圧の終了: 5V
 - ステップの数: 51
- SMU-2 (ゲート) : ステッパおよび従属ノード 2
 - ステップ電圧の開始: 2V
 - ステップ電圧の終了: 5V
 - ステップの数: 4

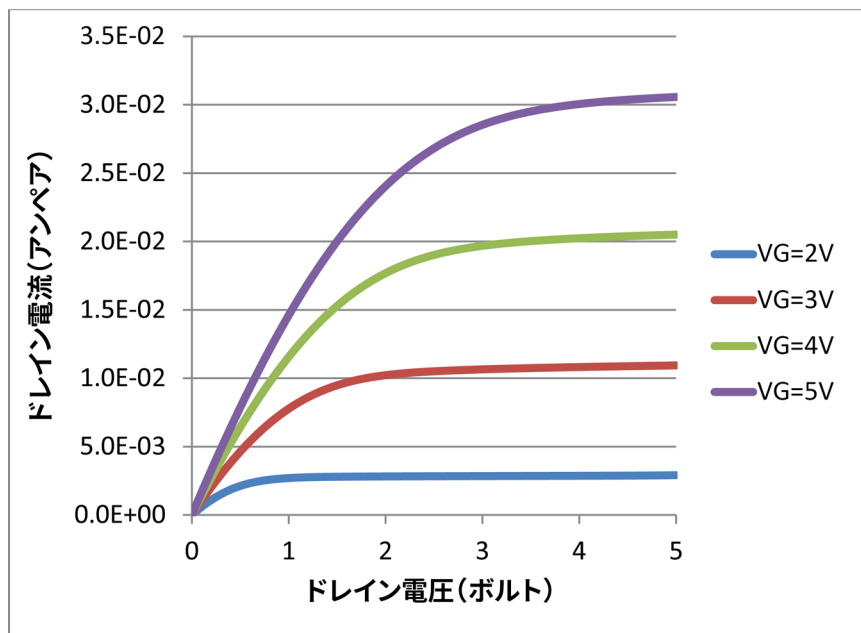
このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

```
-- 機器および TSP-Link をリセットし、バッファをクリアする
tsplink.initialize()
-- TSP-Link の状態がオンラインでない場合、エラー・メッセージを表示し、終了する
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
reset()
-- 掃引ポイントの数を設定 (表示にも使用)
num = 51
```


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 に表形式で返されます。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40：2 台の 2450 型で生成された 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：

はじめに	8-1
必要な機器	8-3
デバイスの接続	8-4
バッテリーの充放電サイクルの自動テスト	8-6

はじめに

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

警告

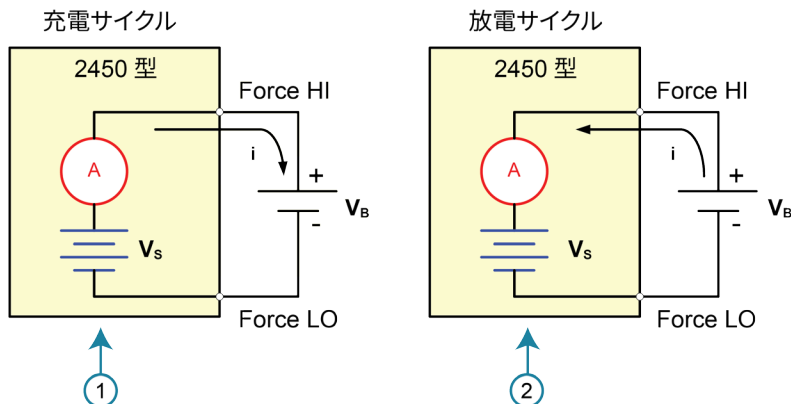
怪我をしたり、2450 型が損傷するのを防止するために、充電式でないバッテリーを充電しようとしな
いでください。2450 型で充電できるバッテリーには、ニッケル・カドミウム (Ni-Cd)、ニッケ
ル水素 (Ni-MH)、リチウム・イオン (Li-ion)、再充電可能なアルカリ電池、および鉛蓄電池な
どがあります。ここにリストされていないバッテリー・タイプで作業する場合は、お近くのケー
スレー支社、販売パートナー、または代理店にお問い合わせいただくか、弊社アプリケーション・エ
ンジニアまでご連絡の上、技術支援を受けてください。

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、バッテリーメーカーの要件に必ず従って
ください。バッテリーが適切に充電または放電されなかった場合には、液漏れや爆発が発生し、ケガ
および物的損害につながる場合があります。内蔵保護機能を使用せずにバッテリーを充電する場
合は、機器外部の充電回路によって、過電圧および過電流保護機能を提供する必要があります。

21V (1.05A) または 210V (105mA) 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。

充電サイクルでも放電サイクルでも、2450 型は電圧を印加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の簡略化図です。

図41：バッテリー充放電サイクルの回路図



1	2450 型はソース・モード ($V_s > V_B$) です。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 ($V_s < V_B$) です。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、2450 型を電圧源として使用して、バッテリーの定格電圧に設定します。また、電流制限には測定対象の充電電流を設定します。テストの開始時に、バッテリー電圧は 2450 型の電圧出力設定よりも低くなっています。結果として、この電圧差が電流を駆動し、ユーザ定義の電流制限まで直ちに制限されます。電流制限時には、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とき、2450 型は電力を供給する代わりに電力を消費するため、シンクとして動作します。2450 型の電圧源は、バッテリー電圧より低いレベルに設定されています。電流制限により放電率が設定されます。出力が有効になると、バッテリーからの電流が 2450 型の HI 端子に流れます。その結果、現在の読み値は負になります。バッテリー電圧が 2450 型の電圧源設定まで低下するまで、放電電流は一定のままではありません。

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は、次の注意事項を守ってください。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ソースから過度の電流が流れる原因になります。

電流ソースの出力オフ状態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。通常出力オフ状態が選択された状態で、出力をオフにすると、電圧制限がゼロに設定されます。このソース・リミットが 0V 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、出力オフ状態、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、および太陽電池などが含まれます。デバイスに接続する前に機器の設定を行ってください。出力オフ状態、ソース、制限について考慮しなかった場合には、本機または被測定装置 (DUT) が破損する危険性があります。

電流源をシンクとして使用する場合は、電圧制限を必ず設定し、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 (>105mA)、測定が正しく行われないう可能性があります。機器が制限内で動作している場合には、機器が制限を維持できているか常に注意するようにしてください。

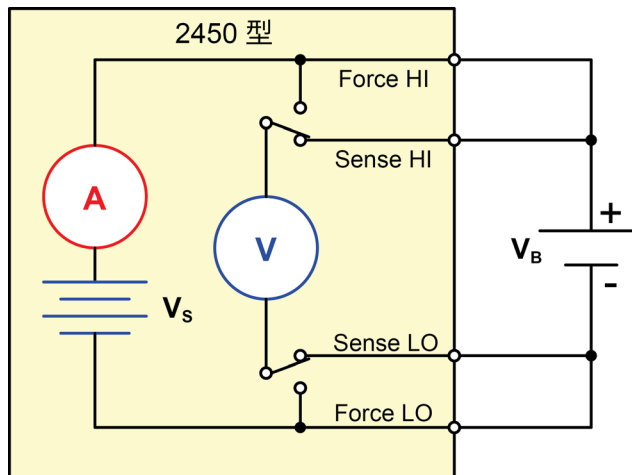
必要な機器

- 2450 型ソースメータ (SMU) (×1)
- 前面パネル接続の場合、ケースレーの 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 セットはユーザが用意する必要があります)。
- トライアキシャル・ケーブル (×4。後部パネルの場合)
- GPIB、USB、またはイーサネットケーブル (×1。2450 型をコンピュータに接続するため)
- テスト用の再充電可能な 2300mAh AA (1.2V) バッテリー (×1)

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、機器の端子にできるだけ近い条件でバッテリー電圧を測定できます。

図42：バッテリーの充放電サイクル・テストの回路図



⚠ 警告

感電を防ぐためにもテスト接続は、導体や導体に触れているあらゆる被測定デバイス (DUT) に、ユーザが触れないように設定してください。DUT を接続する前に電源を遮断するのが賢明です。導体との接触を防ぎ、安全な設置には適切な遮蔽版、障壁、接地が必要となります。

保安接地（安全設置）と 2450 型の LO 端子との内部接続はありません。そのため、LO 端子に危険なレベルの電圧（ $30V_{RMS}$ 以上）が発生する危険性があります。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 端子は前面パネルのシャーシ接地端子または後部パネルのシャーシ接地ネジに接続することができます。前面パネルの端子と後部パネルの端子が分離されていることに注意してください。そのため、前面パネルの端子を使用している場合には、前面パネルの LO 端子に接地します。後部パネルの端子を使用している場合には、後部パネルの LO 端子に接地します。これらのガイドラインに従わないと、怪我や死亡事故、あるいは機器の損傷につながる恐れがあります。

2450 型との接続には、機器の後部パネルまたは前面パネルのいずれかを使用できます。

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。

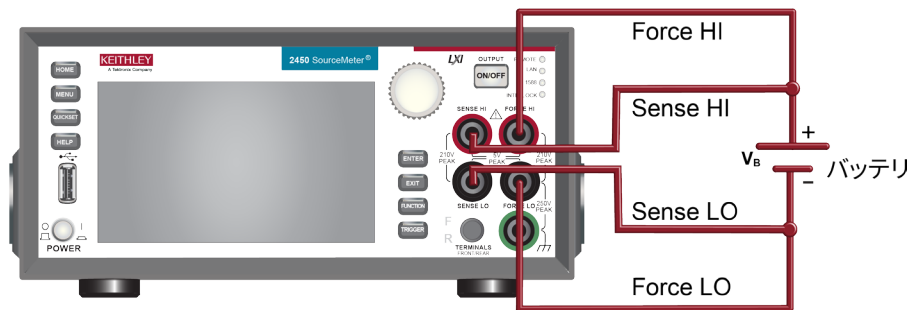
2450 型の出力がオフになっている場合、高インピーダンス (High-Z) 出力オフになっていることを確認します。高インピーダンス出力オフ状態が選択されている場合、出力がオフになると出力リレーが開きます。これにより、出力がオフになっているときに、バッテリーが消耗してしまうのを防ぐことができます。

出力オフ状態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** (メニュー) キーを押します。
2. Source (ソース) 列で、**Settings** (設定) を選択します。
3. Output Off (出力オフ) を **High Impedance** (高インピーダンス) に設定します。
4. **HOME** キーを押して、Home 画面に戻ります。

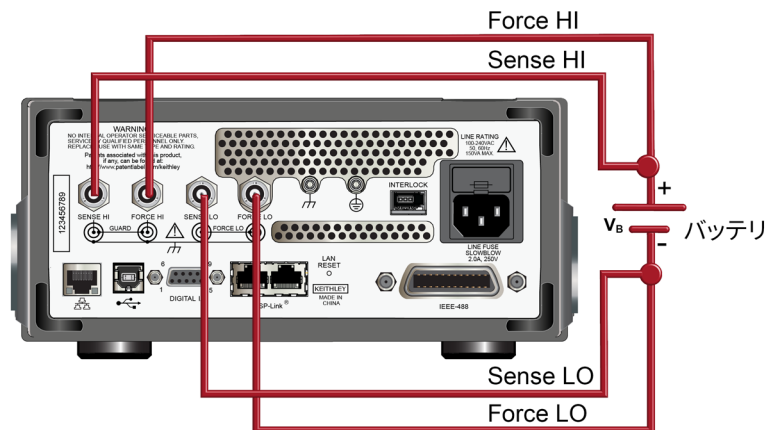
以下の図は前面パネルの接続を示しています。これらの接続は、ケースレーの 8608 型安全クリップ・リード線セットを 2 セットなど、4 本の絶縁バナナ ケーブルを使用して行うことができます。

図43：バッテリー放電／充電アプリケーション用の前面パネルの接続



以下の図は後部パネルの接続を示しています。これらの接続には、4 本のトライアキシャル・ケーブルを使用できます。

図44：バッテリー放電／充電アプリケーション用の後部パネルの接続



バッテリーの充放電サイクルの自動テスト

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、自動的に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。
- 電圧を印加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 型の出力がオフのときに、出力リレーが表示されます。このモードの選択は、バッテリーを出力に接続する前に行います。これにより、出力がオフの状態でのバッテリーを機器に接続したときに、バッテリーが消耗するのが防止されます。
- 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。2450 型は電圧を印加していますが、所望の電圧に達するまでは電流制限状態にあるため、定電流モードで動作します。
- ソース・リードバックをオンにして、2450 型が充電または放電している間に、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。
- バッテリー電圧が指定した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に等しい電圧が出力されるように、2450 型をプログラムします。例えば、10V バッテリーを充電するには、2450 型をソース 10V 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（バッテリー充電が完了）。

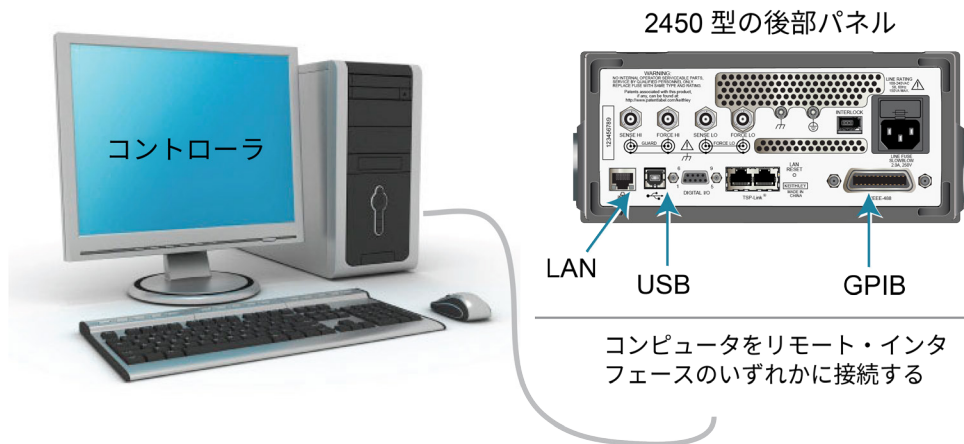
バッテリーを放電する場合は、2450 型をプログラムして、バッテリー電圧よりも低いレベルの電圧を出力し、出力オフ状態を高インピーダンスに設定します。このコンフィグレーションでは、2450 型はシンクとして作動し、バッテリーを放電します。電流はバッテリーから 2450 型の HI 端子に流れ、結果として電流の測定値は負の値になります。バッテリーが放電されると、電流は一定になります。

リモート通信のセットアップ

このアプリケーションは、リモートで実行されるように構成されます。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、またはイーサネット）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用の後部パネル・コネクタの場所を示しています

図45：2450 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 1V に設定され、ソース・リミットは 460mA に設定されます。電圧、電流、および相対タイムスタンプ値が返されます。測定は、電圧が設定レベルに達するまで行われます。

注

テストするバッテリーに合わせて、電流および電圧のレベルを変更しなければならない場合があります。

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。疑似コードの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。

このアプリケーション例では、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	概要
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"> ■ 機器をリセットします。 ■ 高インピーダンス出力モードをオンにします。 ■ 4線センス・モードに設定します。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ ソース・レベルを 1V に設定します。 ■ ソース・リードバックをオンにします。 ■ ソース・レンジを 2V に設定します。 ■ ソース・リミットを 460mA に設定します。 ■ 電流を測定するように設定します。 ■ 電流レンジを 1A に設定します。 ■ 出力をオンにします。
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"> ■ iteration という変数を作成し、1 に初期化します。 ■ voltLimit という変数を作成し、1 に初期化します。 ■ 電流測定用に空の配列を作成します。 ■ 電圧測定用に空の配列を作成します。 ■ 時間値用に空の配列を作成します。 ■ while ループを開始します。
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"> ■ 電流測定値を配列 current の末尾に追加します。 ■ 電圧測定値を配列 voltage の末尾に追加します。 ■ 時間測定値を配列 seconds の末尾に追加します。
疑似コード	<pre>hours[iteration] = seconds[iteration]/3600 print(voltage[iteration], current[iteration], hours[iteration]) if voltage[iteration] <= voltLimit then: break end if iteration = iteration + 1 delay(10) end while</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 各反復にかかった時間を計算します。 ■ 測定された値を表示します。 ■ 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。 ■ if 文を終了します。 ■ 反復カウントを 1 つずつインクリメントします。 ■ 10 秒間遅延します。 ■ while ループを終了します。
SMU コマンド	<pre>OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 出力をオフにします。

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

以下の TSP コードは、Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB はケースレーのサイト (jp.tek.com/keithley) からダウンロードしてお使いいただけるソフトウェア・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『Model 2450 Reference Manual』の「Introduction to TSP operation」セクションに記載されています。

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

デフォルトでは、2450 型では SCPI コマンド・セットが使用されます。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** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. Command Set (コマンド・セット) を **TSP** に設定します。
4. 再起動の確認画面が表示されたら、**Yes** (はい) 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モードに設定します。電圧ソースは 1V に設定され、ソース・リミットは 460mA に設定されます。電圧、電流、および相対タイムスタンプ値が返されます。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、これらの測定値は画面下部の USER スワイプ画面に表示されます。例については、[「バッテリー・アプリケーション・テストの結果」](#) (8-12ページ) を参照してください。

注

テストするバッテリーに合わせて、電流および電圧のレベルを変更しなければならない場合があります。

このアプリケーションは、1C の放電電流率を参照します。放電電流は、さまざまなバッテリー容量を標準化できる、C レートとして表すことができます。C レートは、バッテリーが放電される割合を示す尺度であり、バッテリーの最大容量が基準となります。1C は、放電電流によって 1 時間でバッテリー全体が放電されることを意味します。

また、この例の TSP コードでは、2450 型の前面パネルに接続された USB フラッシュ・ドライブに、すべての電流、電圧、および時間の測定値が保存されます。

バッテリーを出力端子に接続する前に、次のタスクを完了して、2450 型でのテストに備えます。

機器をリセットします。

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. **System** (システム) で **Info/Manage** (情報/管理) を選択します。
3. **System Reset** (システム・リセット) を選択します。
4. **OK** を選択します。

出力オフ状態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** (メニュー) キーを押します。
2. **Source** (ソース) で **Settings** (設定) を選択します。
3. **Output Off** (出力オフ) を **High Impedance** (高インピーダンス) に設定します。

高インピーダンスの出力オフ状態では、出力がオフになると出力リレーが開くため、バッテリーの消耗を防ぎます。

このアプリケーション例では、以下の TSP コマンドを送信します。

```
-- このコードは、2.5A (1C) の放電電流で 2500mAh 1.2V バッテリーを
-- 0.9V に放電する
-- このコードを使用する前に、前面パネルから機器をリセットし、
-- 2450 型の出力オフ状態を高インピーダンス (High-Z)
-- に設定する。また、前面パネルの USB ポートに USB フラッシュ・ドライブを挿入し、
-- 読み値を保存できるようにする

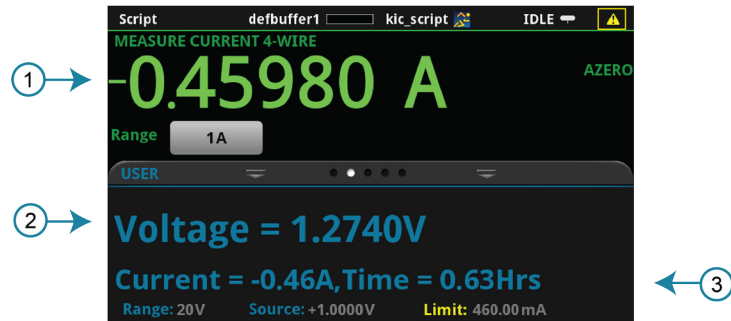
-- バッファをクリアする
defbuffer1.clear()
-- 測定設定
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.range = 2.5
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
-- ソース設定
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.offmode = smu.OFFMODE_HIGHZ
smu.source.level = 0.9
smu.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.source.range = 0.9
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.ilimit.level = 2.5
-- バッテリーが放電を停止する電圧限度を設定する
-- 反復する回数を格納する変数を設定する
voltLimit = 0.9001
iteration = 1
-- ソース出力をオンにする
smu.source.output = smu.ON
```

```
-- ディスプレイを USER スワイプ画面に変更する
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
-- 測定された電圧が電圧制限に等しくなるまで、
-- while ループで読み取りを続ける
while true do
    -- 読み取りを行い、電流、電圧、および相対タイムスタンプを取得する
    curr = smu.measure.read(defbuffer1)
    volt = defbuffer1.sourcevalues[iteration]
    time = defbuffer1.relativetimestamps[iteration]
    hours = time/3600
    -- 測定された電圧を電圧制限と比較する
    -- ループが制限に達したら、ループを終了する
    if volt <= voltLimit then
        break
    end
-- 完了したサイクル数、電圧、および反復の時間を
-- 表示する。前面パネルに情報を表示する
    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))
    -- 反復回数をインクリメントし、10 秒待機する
    iteration = iteration + 1
    delay(10)
end
-- 電圧制限に達したら、出力をオフにする
smu.source.output = smu.OFF
-- 測定データを USB フラッシュ・ドライブに保存する
FileNumber = file.open("/usb1/TestData.csv", file.MODE_WRITE)
file.write(FileNumber, "Current,Voltage,Seconds\n")
-- 測定値を 4 列フォーマットで表示する
print("\nIteration:\tCurrent:\tVoltage:\tTime:\n")
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, defbuffer1[i], defbuffer1.sourcevalues[i],
    defbuffer1.relativetimestamps[i])
    file.write(FileNumber, string.format("%g,%g, %g\r\n",defbuffer1.readings[i],
    defbuffer1.sourcevalues[i],defbuffer1.relativetimestamps[i]))
end
-- .csv ファイルを閉じる
file.close(FileNumber)
```


バッテリー・アプリケーションのテスト結果

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

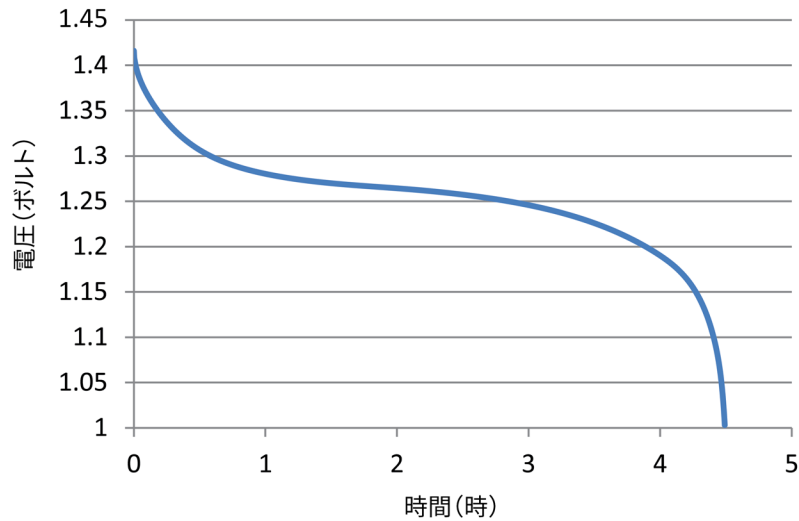
図46：テスト結果を表示する 2450 型の USER スワイプ画面



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47：バッテリー充電および放電テストの結果

460mA (0.2C) で放電された
2300mAh 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：

はじめに.....	9-1
必要な機器.....	9-1
リモート通信のセットアップ.....	9-2
デバイスの接続.....	9-2
太陽電池の特性評価.....	9-5

はじめに

このアプリケーションの例では、2450 型ソースメータを使用して、太陽電池の I-V 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特定することができます。

- 最大電流 (I_{MAX}) および最大電圧 (V_{MAX})
- 最大電力 (P_{MAX})
- 開回路電圧 (V_{OC})
- 短絡電流 (I_{SC})

2450 型は 4 象限ソース機能を備えているため、印加電圧の関数として最大 1 A のセル電流をシンクできます。

必要な機器

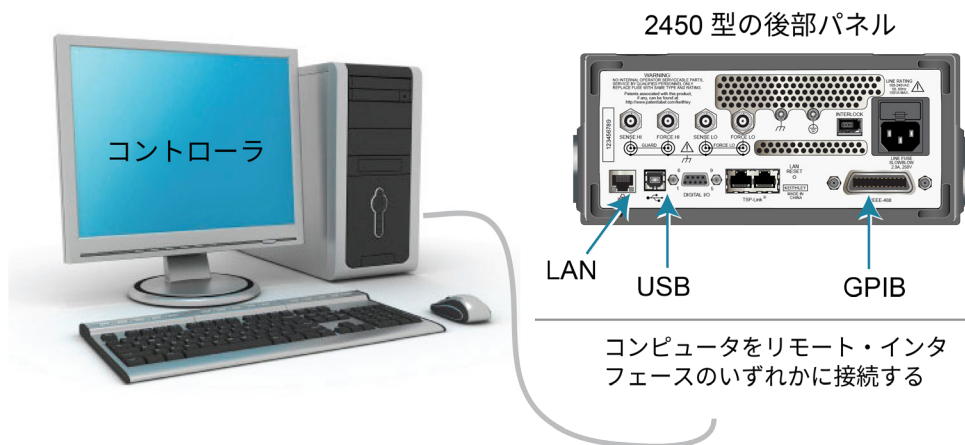
- 2450 型ソースメータ (SMU) (×1)
- 前面パネル接続の場合、ケースレーの 8608 型安全クリップ・リード線セットなどの、4 本の絶縁バナナ・ケーブルを使用します (2450 型には 1 セットが付属しています。もう 1 セットはユーザが用意する必要があります)。
- トライアキシャル・ケーブル (×4。後部パネルの場合)
- 太陽電池 (×1)

リモート通信のセットアップ

このアプリケーションは、前面パネルから、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、またはイーサネット) 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用の後部パネル・コネクタの場所を示しています。リモート通信のセットアップについての詳細は、[「リモート通信インタフェース」](#) (3-1ページ) を参照してください。

図48：2450 型のリモート・インタフェース接続



デバイスの接続

測定確度を高めると同時に、リード抵抗による測定への影響を取り除くために、4 線コンフィグレーションを使用して、2450 型と太陽電池を接続します。

4 線接続法を使用するには、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。
- 測定にテスト・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、前面パネル端子または後部パネル端子のいずれかを使用できます。

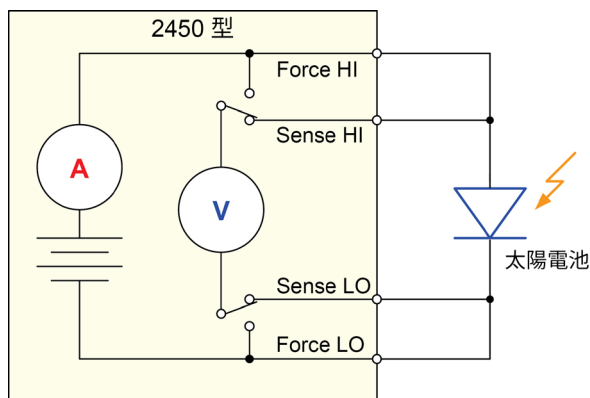
警告

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。

感電を防ぐためにもテスト接続は、導体や導体に触れているあらゆる被測定デバイス (DUT) に、ユーザが触れないように設定してください。DUT を接続する前に電源を遮断するのが賢明です。導体との接触を防ぎ、安全な設置には適切な遮蔽版、障壁、接地が必要となります。

次の図は、アプリケーションの回路図を示しています。

図49：太陽電池への 2450 型の接続



前面パネルおよび後部パネルの接続を以下の図に示します。前面パネルの端子または後部パネルの端子は、いずれか一方しか使用できないことに注意してください。混在させることはできません。

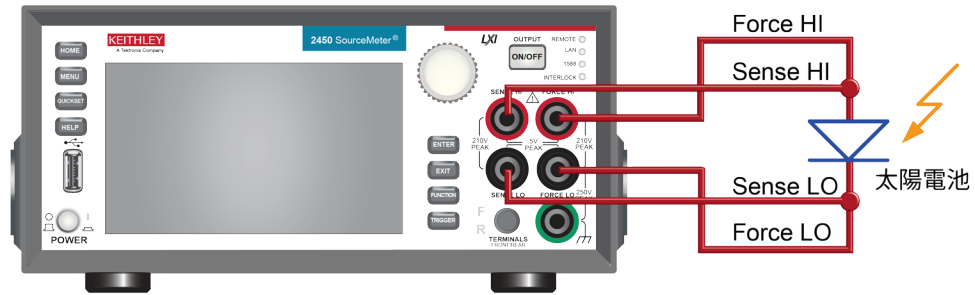
後部パネルの接続にはトライアキシャルを使用します。前面パネルの接続には安全なバナナ・ジャックを使用します。

注

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。

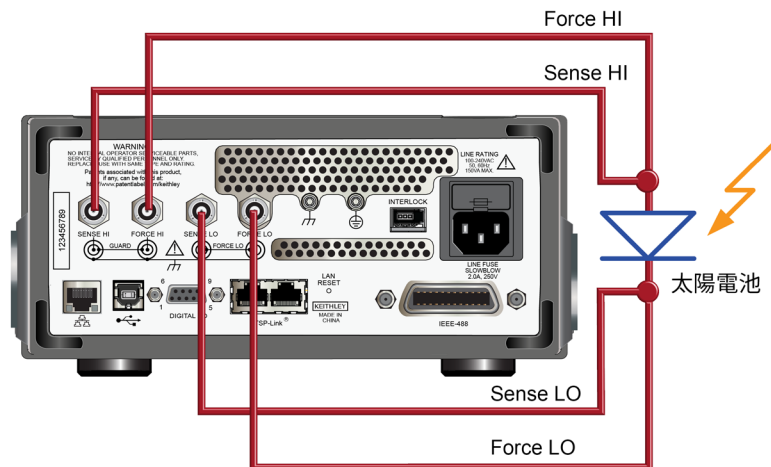
以下の図は前面パネル接続を示しています。これらの接続は、ケースレーの 8608 型安全クリップ・リード線セットを 2 セットなど、4 本の絶縁バナナ ケーブルを使用して行うことができます。

図50：2450 型の前面パネルへの 4 線接続



以下の図は後部パネルの接続を示しています。これらの接続には、4 本のトライアキシャル・ケーブルを使用できます。

図51：2450 型の後部パネルへの 4 線接続



太陽電池の特性評価

このアプリケーションでは、2450 型を使用して、太陽電池の特性を測定する方法を示します。サンプルでは、前面パネル、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 コードの使用方法を示します。

このテストでは、以下のことを行います。

- 機器をリセットします。
- 電圧ソース機能と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。
- 前面パネルのグラフにデータを表示します。

注

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。光源がオンの状態でテストを行い、さらにもう一度、光源がオフの状態で行います。

前面パネルから太陽電池の I-V 掃引をセットアップする

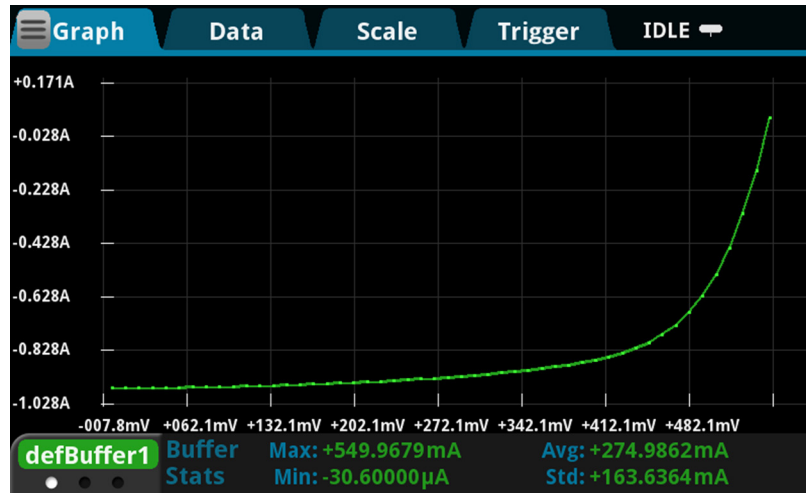
これは、0V から 0.55 V まで 10 mV ステップで電圧を掃引し、結果として発生する電流を測定する I-V テストの例です。さらに、データをグラフ画面に表示することができます。

前面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」](#) (9-2ページ) で説明されているとおりに、機器と被測定デバイス (DUT) を接続します。
2. 前面パネルの **POWER** (電源) スイッチを押して、電源をオンにします。
3. 機器をリセットします。
 - a. **MENU** (メニュー) キーを押します。
 - b. System (システム) で **Info/Manage** (情報/管理) を選択します。
 - c. **System Reset** (システム・リセット) 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** (機能) キーを押します。
6. Source Voltage、Measure で、**Current** (電流) を選択します。
7. **MENU** (メニュー) キーを押します。
8. Measure (測定) で **Settings** (設定) を選択します。
9. Sense (センス) を **4-Wire Sense** (4 線センス) に設定します。警告が表示されます。
10. **OK** を選択して、警告をクリアします。
11. **MENU** (メニュー) キーを押します。
12. Source で、**Sweep** (掃引) を選択します。
13. 開始レベルを **0V** に設定し、**OK** を選択します。
14. 終了レベルを **0.55V** に設定し、**OK** を選択します。
15. ステップ・レベルを **10mV** に設定し、**OK** を選択します。
16. Source Limit が表示されるまで、SWEEP SETTINGS 画面をスワイプします。
17. Source Limit を **1A** に設定し、**OK** を選択します。
18. **Generate** (生成) 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** (メニュー) キーを押します。
20. Views (表示) の下で、**Graph** (グラフ) を選択します。
21. **TRIGGER** (トリガ) キーを押して、トリガ・モデルを開始します。出力がオンになり、掃引が実行されている間、画面上部に RUN インジケータが表示されます。
22. もう一度トリガ キーを押して、掃引を繰り返します。

次の図は、前面パネルのグラフでの太陽電池の I-V 測定の例を示しています。2450 型が電流をシンクしているため、グラフ上の電流が負になることに注意してください。

図52：前面パネルでの太陽電池測定の実例



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

この例の SCPI コマンド・シーケンスは、太陽電池で I-V 掃引を生成します。ユーザのプログラミング環境で正しくコードが実行されるように、必要な変更を行わなければならない場合があります。

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。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

コマンド	概要
<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, 0.55, 56, 0.1 :INIT *WAI TRAC:DATA?1, 56, "defbuffer1", SOUR, READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2450 型をリセットします。 ■ 電流を測定するように設定します。 ■ オートレンジを有効にして測定するように設定します。 ■ 4 線センス・モードを使用するように設定します。 ■ ソース電圧に設定します。 ■ 2V のソース・レンジに設定します。 ■ 電流制限を 1A に設定します。 ■ 電圧を 0V から 0.55V まで 56 段階、遅延 0.1 秒で掃引するように設定します。 ■ 掃引を開始します。 ■ 掃引が完了するまで待機します。 ■ defbuffer1 のソース値および測定値を読み取ります。

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

以下の TSP コードは、Keithley Instruments Test Script Builder (TSB) から実行するように設計されています。TSB はケースレーのサイト (jp.tek.com/keithley) からダウンロードしてお使いいただけるソフトウェア・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、TSB をインストールして使用できます。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『Model 2450 Reference Manual』の「Introduction to TSP operation」セクションに記載されています。

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

デフォルトでは、2450 型では SCPI コマンド・セットが使用されます。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** (メニュー) キーを押します。
2. System (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. Command Set (コマンド・セット) を **TSP** に設定します。
4. 再起動の確認画面が表示されたら、**Yes** (はい) を選択します。

このアプリケーションでは、0V から 0.53V 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。掃引を行う間、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。

このアプリケーション例では、以下のコマンドを送信します。

```
-- 掃引中のポイントの数を定義する
num = 56
-- 機器をリセットし、バッファをクリアする
reset ()
-- ソース/測定機能を設定する
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
-- 測定設定
smu.terminals = smu.TERMINALS_FRONT
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- ソース設定
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)
-- トリガ・モデルを開始し、完了するのを待機する
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
```

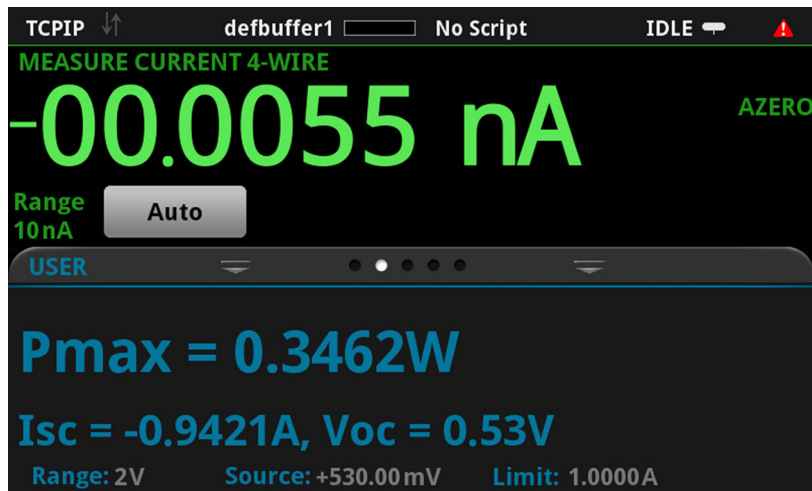
```

-- 初期値を定義する
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]
-- 値を計算する
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)
-- 前面パネルで値を表示する
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))

```

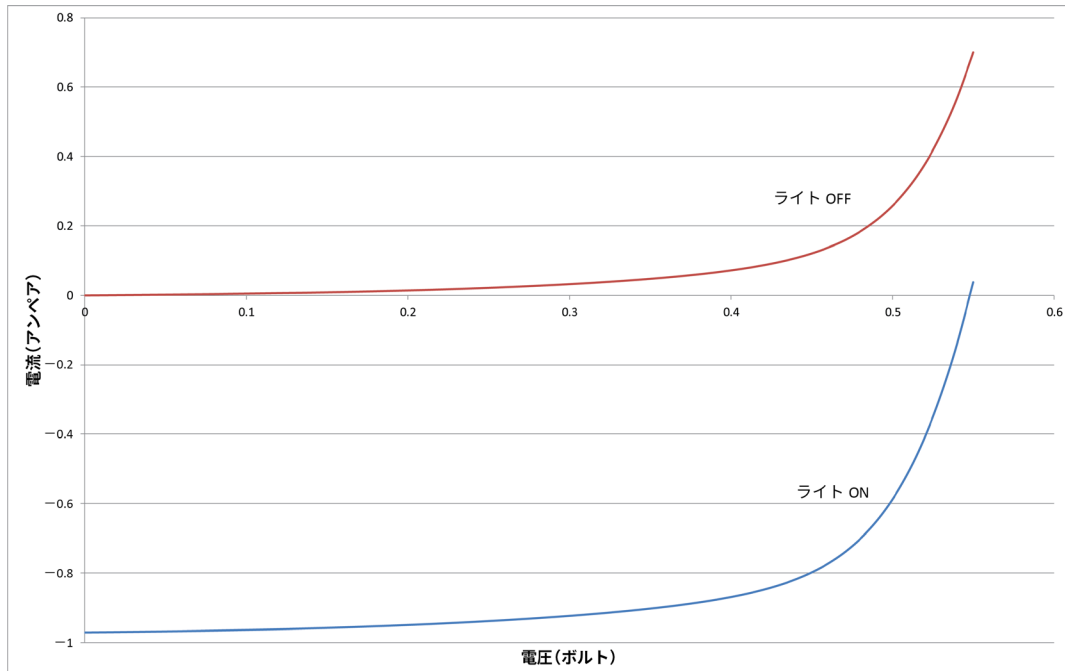
上の例では、`display.changescreen` および `display.settext` コマンドを使用して、USER スワイプ画面にカスタム・テキストを表示するようにプログラムされています。テストが完了したら、下図に示すように、最大電力 (P_{MAX})、短絡電流 (I_{SC})、および開回路電圧 (V_{OC}) が表示されます。

図53：太陽電池 I-V 掃引の結果が表示された USER スワイプ画面



コードが実行されると、Test Script Builder (TSB) の機器コンソールに、5 つの値が返されます。また、2450 型の前面パネルには、測定された電流、電圧、および計算された電力を示す値が表示されます。グラフを作成したり、詳細に分析するために、TSB の機器コンソールに表示されたデータをコピーして、Microsoft® Excel®などのスプレッドシートに貼り付けることができます。次の図は、Excel スプレッドシートでグラフ化されたデータを示しています。太陽電池でのテストは、明るい場所（光源オン）と暗い場所（光源オフ）の両方で実行されていることに注意してください。

図54：光源を使用した場合と、使用しなかった場合の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に関する FAQ

このセクションの内容：

このセクションの内容：	10-1
更新されたドライバはどこにありますか。	10-2
ファームウェアはどうやってアップグレードすればいい ですか。	10-2
2450 型が USB フラッシュ・ドライブを読み込めま せん。	10-3
コマンド・セットはどうやって変更すればいいですか。	10-4
イベント・コード (5074) が表示されました。	10-5
機器の現在の状況はどうすれば保存できますか。	10-6
設定が変わったのはなぜですか。	10-7
クイック・セットアップ・オプションとは何ですか。	10-7

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。その他の FAQ については、『Model 2450 Reference Manual』の「Frequently Asked Questions (FAQs)」を参照してください。

更新されたドライバはどこにありますか。

最新版のドライバと追加サポート情報は、ケースレーのサポート・ウェブサイトをご覧ください。

機器で利用可能なドライバを確認するには、以下の手順に従います。

1. 当社 Web サイト (jp.tek.com/support) を開きます。
2. 使用している機器の型名番号を入力します。
3. フィルタ・リストから **Software** (ソフトウェア) を選択します。
4. フィルタ・リストから **Driver** (ドライバ) を選択します。

注

ネイティブの LabVIEW™ または IVI ドライバを使用する場合は、SCPI コマンド・セットを使用するように 2450 型を構成する必要があります。コマンド・セットの変更については、[「コマンド・セットはどうやって変更すればいいですか。」](#) (10-4ページ) を参照してください。

ファームウェアはどうやってアップグレードすればいいですか。

注意

アップグレードのプロセスが完了するまで、電源を切ったり、USB フラッシュ・ドライブを抜いたりしないでください。

注

ファームウェア・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存在し、その場所にある唯一のファームウェア・ファイルである必要があります。ファームウェアのアップグレードやダウングレードは、前面パネルまたは仮想前面パネルから行うことができます。詳細については、『Model 2450 Reference Manual』の「Using the 2450 virtual front panel」を参照してください。

前面パネルまたは仮想パネルから、以下の手順を実行します。

1. ファームウェア・ファイル (.upg ファイル) を USB フラッシュ・ドライブにコピーします。
2. ファームウェア・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存在し、その場所にあ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. 機器に接続されている入出力端子をすべて取り外します。
4. 機器の電源をオフにします。数秒間時間をおきます。
5. 機器の電源をオンにします。
6. フラッシュ・ドライブを機器の前面パネルにある USB ポートに挿入します。
7. 機器の前面パネルで **MENU** (メニュー) キーを押します。
8. System (システム) で **Info/Manage** (情報/管理) を選択します。
9. アップグレードのオプションを選択します。
 - 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場合は、**Upgrade to New** (新しいバージョンにアップグレード) を選択します。
 - 以前のバージョンのファームウェアに戻す場合は、**Downgrade to Older** (古いバージョンにダウングレード) を選択します。
10. 機器をリモート制御している場合は、メッセージが表示されます。**Yes** (はい) をクリックして続きます。
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。

アップグレード用のファイルはjp.tek.com/keithleyからダウンロードしていただけます。

2450 型が USB フラッシュ・ドライブを読み込めません。

フラッシュ・ドライブが FAT32 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てください。2450 型では、MBR (Master Boot Record) を使用した FAT および FAT32 のみがサポートされています。

Microsoft® Windows®で、USB フラッシュ・ドライブのプロパティをチェックすることで、ファイル・システムを確認することができます。

注

大容量 USB ドライブでは、読み込みに時間がかかる場合があります。

コマンド・セットはどうやって変更すればいいですか。

2450 型で使用するコマンド・セットは変更できます。使用可能なリモート・コマンド・セットは次の通りです。

- SCPI：SCPI 規格で作成された機器固有の言語
- TSP：スタンドアロン機器から実行することができる機器固有の制御コマンドを含むスクリプト・プログラミング言語です。TSP を使用して個々のコマンドを送信したり、コマンドをスクリプトに組み合わせることができます。
- SCPI 2400：ケースレーの旧モデルの 2400 シリーズ用に開発されたコードを実行できる機器固有の言語です。

コマンド・セットを変更した場合は、機器を再起動します。

コマンド・セットを組み合わせることはできません。

注

ケースレーから出荷された状態では、2450 型は SCPI コマンド・セットで動作するように設定されています。

注

SCPI2400 コマンド・セットを選択した場合は、現在の SCPI コマンド・セットで利用可能な一部の拡張レンジやその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、『Model 2450 Reference Manual』の「2450 in a Model 2400 application」を参照してください。

前面パネルからコマンド・セットを設定するには…

1. **MENU** (メニュー) キーを押します。
2. **System** (システム) で **Settings** (設定) を選択します。
3. 適切な **Command Set** (コマンド・セット) を選択します。

コマンドセットの変更を確定して、再起動するように求められます。

リモート・インタフェースから選択されたコマンド・セットを確認する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG?
```

リモート・インタフェースから SCPI コマンド・セットを変更する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI
```

機器を再起動します。

リモート・インタフェースから TSP コマンド・セットを変更する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG TSP
```

機器を再起動します。

リモート・インタフェースから SCPI 2400 コマンド・セットを変更する場合：

次のコマンドを送信します。

```
*LANG SCPI2400
```

機器を再起動します。

イベント・コード (5074) が表示されました。

この機器の後部パネルには、インターロック回路があります。±42V DC より高いソース電圧を設定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 型はインターロック回路を装備していますが、高電圧出力を使用するには、ユーザ自身によってこの回路が有効にされる必要があります。インターロックは、試験システムにおける機器の安全な運用に役立ちます。インターロックをバイパスすると、作業者が危険な電圧にさらされ、怪我や死亡につながる可能性があります。

インターロック信号がアサートされていない場合の動作は、インターロックの設定によって異なります。インターロックがオフに設定されているときに、安全インターロック信号がアサートされていない場合は、次のようになります。

- 公称出力が $\pm 42\text{V}$ 未満に制限されます。
- 前面パネルの INTERLOCK インジケータが点灯しなくなります。
- この場合、 $\pm 42\text{V}$ 未満の電圧しか出力できません。

インターロックがオンに設定されているときに、安全インターロックがアサートされていない場合は、次のアクションが発生します。

- ソース出力をオンにできません。
- 前面パネルの INTERLOCK インジケータが点灯しなくなります。

インターロックの状態が変化すると（アサートから非アサート、またはその逆の場合も）、常に出力はオフになります。

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。

機器の現在の状況はどうすれば保存できますか。

機器の設定は、前面パネル・メニューを使用して、またはリモート・インタフェースからスクリプトとして保存することができます。保存後に、スクリプトの呼び出しや USB フラッシュ・ドライブへのコピーを行うことができます。

前面パネルを使用して、

1. 保存したい設定に 2450 型を構成します。
2. **MENU** (メニュー) キーを押します。
3. **Script** (スクリプト) で **Create Setup** (設定の作成) を選択します。
4. **Create** (作成) 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. 表示されたキーボードの **OK** ボタンを選択します。これでスクリプトは内部メモリに追加されました。

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 0~4 の整数値を表します。

注

前面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* は作成されたセットアップ・スクリプトの名前を表します。

設定が変わったのはなぜですか。

2450 型のコマンドの多くは、設定されたときにアクティブであったソース／測定機能とともに保存されます。たとえば、測定機能が電流に設定されており、桁表示にある値を設定したとします。測定機能を電圧に変更すると、表示される桁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、桁表示は以前設定した値に戻ります。

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) キーを押すと、機能選択、性能調整、クイック・セットアップの画面が表示されます。

Quickset メニューの **Function** ボタンを使用して、印加または測定機能を選択できます。前面パネルの **FUNCTION** (機能) キーを使用した場合と同じオプションを使用できます。

Performance スライダを使用して、速度と分解能を調整できます。速度を早くするほど、分解能が減少します。分解能を高くするほど、読み込み速度が低下します。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。

クイック・セットアップを使用して、機器の電圧計、電流計、または電源のどの機能を使用するかを設定できます。

注意

クイック・セットアップを選択すると、機器は出力をオンにします。他の電圧ソース、バッテリー、キャパシタ、またはソーラー・セルなど、電源を供給する装置に 2450 型を接続する前に、出力オフ状態、ソース、および制限などに関して注意深く考慮し、適切に構成してください。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。出力オフ状態、ソース、制限について考慮しなかった場合には、本機または被測定装置 (DUT) が破損する危険性があります。

このセクションの内容：

2450 型に関するその他の情報..... 11-1

2450 型に関するその他の情報

本マニュアルには、アプリケーション用に新しい 2450 型ソースメータ (SMU) を初めて使用するための情報が含まれています。さらに詳細な情報が必要な場合は、『Model 2450 Reference Manua』を参照してください。

また、機器に関するサポートと追加情報は、jp.tek.com/keithley をご覧ください。ウェブサイトでは、以下の情報にアクセスすることができます。

- ナレッジ・センタには、以下のハンドブックも用意されています。
 - 低レベル信号測定の手ブック：高精度 DC 電流、電圧、抵抗の測定
 - スイッチング・ハンドブック：自動テスト・システムにおける信号スイッチングのガイド
- アプリケーション・メモ
- 更新済みドライバ
- 関連する製品に関する情報

製品の選択、コンフィグレーション、使用方法に関しては、お近くのフィールド・アプリケーション・エンジニアがお手伝いいたします。お問い合わせ情報はウェブサイトをご覧ください。

仕様は通知なしに変更されることがあります。
Keithley の商標および商品名は、すべて Keithley Instruments の所有財産です。
そのほかのすべての商標および商品名は、当該の会社の所有財産です。

Keithley Instruments
Corporate Headquarters • 28775 Aurora Road • Cleveland, Ohio 44139 • 440-248-0400 • Fax: 440-248-6168 • 1-800-935-5595 • tek.com/keithley

