

LabVIEW による 3 種物質の電気抵抗率の自動測定

伊 藤 祐 一

ABSTRACT

I built a system to measure temperature dependence of electrical resistivity by three materials automatically with LabVIEW.

LabVIEW is graphical programming soft holding a share to be overwhelming in a field of a measurement / control in USA.

LabVIEW which is most suitable to assemble various automatic measurement systems is indispensable technology in research activities in a future laboratory.

1. 緒 言

パーソナルコンピュータ（以降パソコンと略記する）を使用して物理量を計測することは一般的になっている。

本研究の目的は、導体、半導体、超伝導体の電気抵抗率の温度依存を同時に、かつ自動的に測定するシステムを構築することである。これにより、各物質の電気抵抗率の特性を瞬時に比較することが可能となり、各物質の特性を理解しやすくなる。

測定器と試料とパソコンを結ぶためにインターフェースボックスを作成した。

パソコンと計測器を結ぶ手段として、GP-IBを使用して、測定の自動化を行った。

プログラムの開発はLabVIEWを使用して行った。

2. LabVIEWの概要

LabVIEW とは Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbenchを省略したものであり、計測・データ収集を目的としたビジュアルプログラミング言語のことである。アメリカでは計測・制御の分野で圧倒的なシェア(70%)を占めているグラフィカルプログラミングソフトである。

LabVIEW のプログラミングでは、グラフィカルvi (Virtual Instruments: 仮想機器) の概念を使用する。

LabVIEW の利点は、ビジュアルな感覚で比較的簡単にプログラムを組めることである。また、自作のプログラムをサブvi として登録し、いわゆるサブプログラムとして利用できるのも、複雑なプログラムを比較的簡単に作成することが可能である。

3. 電気抵抗率測定の概要

導体、半導体、超伝導体の3種類の試料の電気抵抗率の温度依存を同時に測定するために Fig. 1 に示すような銅製の三角柱を作り各面に試料を取り付けた。銅の上にワニス(ニス)を薄く塗りその上に薄い紙(キムワイプ)を貼る。紙の上にさらにワニスを薄く塗り各試料を貼り付ける。試料には電極を点溶接して付ける。三角柱の中央部分には熱電対を通すための穴を開けている。三角柱の先端にはアルメル・クロメル熱電対を取り付ける。この熱電対は-200℃から30℃までの温度が測定可能である。

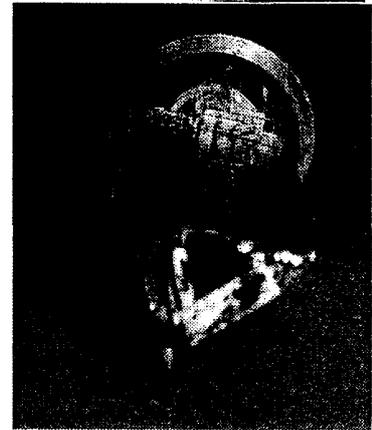


Fig. 1 試料取り付け支持具

電気抵抗率は、即報¹⁾で述べた直流四端子法によって測定した。使用した試料の大きさは約 $1 \times 1 \times 5 \text{ mm}^3$ であり、測定温度範囲は77 K~300 Kである。この温度範囲で室温から液体窒素温度まで温度を下降させながら1 Kごとに各試料端子間の電圧を測定し電気抵抗率を測定した。

電気抵抗率測定のプロチャートをFig. 2に示す。初期操作として開始温度とファイル名を入力する。インターフェースボックスのPortの初期化を行う。試料棒を液体窒素の入っているデユワービンに少しずつ入れて試料の温度を室温から下げていく。温度を測定し、試料の温度と目標温度との差が0.05以下になると各試料の電流端子間に定電流を流し(導体として銅を使用し電流は150 mA、半導体として $\text{Cu}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Se}$ を使用し、電流は2 mA、超伝導体としては $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ を使用し、電流は50 mAを流した)、電圧端子間の電圧 V_A [V]を測定する。接合部の温度差によって熱起電力が発生するので、その影響をなくすために、電流を反転させて電圧 V_B [V]を測定し、電圧を平均して電気抵抗率 ρ を求める。

計算結果をFig. 4に示すように画面に3種類のグラフとして表示し、データファイルにデータを保存し次の目標温度を待つ。この操作を繰り返すことによって3種類の試料の電

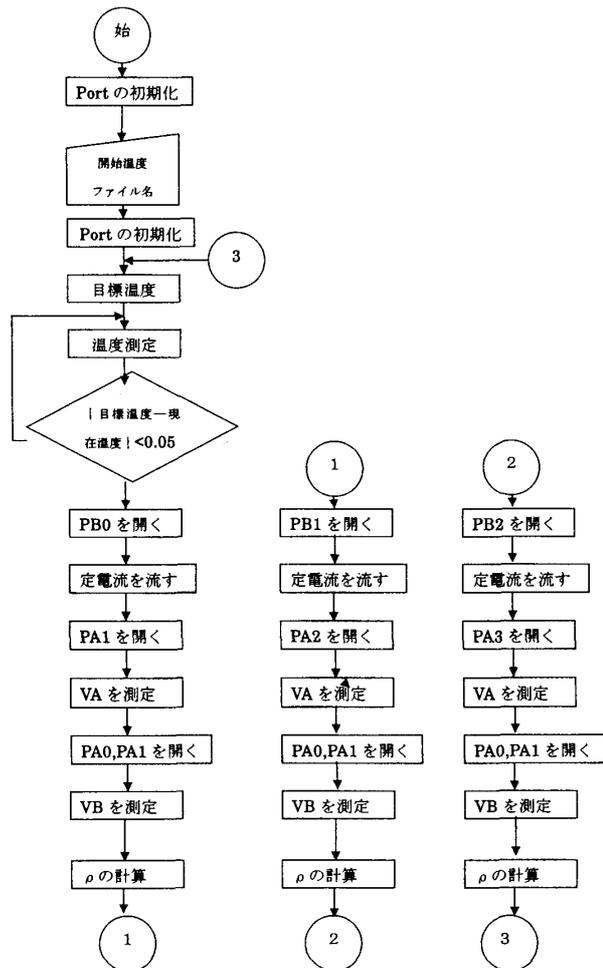


Fig. 2 フローチャート

気抵抗率の温度依存を測定する。

4. インターフェースについて

パソコン、測定器と試料とでデータのやり取りをスムーズに行わせるためにインターフェースボックスを作成した。3 種類の試料のどれに電流を供給しどこで電圧を測定するかを決めなくてはならない。定電流装置は ADVANTEST 製の R6144 PROGRAMMABLE DC VOLTAGE/CURRENT GENERATOR であり、電圧測定は KEITHLEY 製の 2000 MULTIMETER である。Fig. 3 にインターフェースボックスの概要を示す。

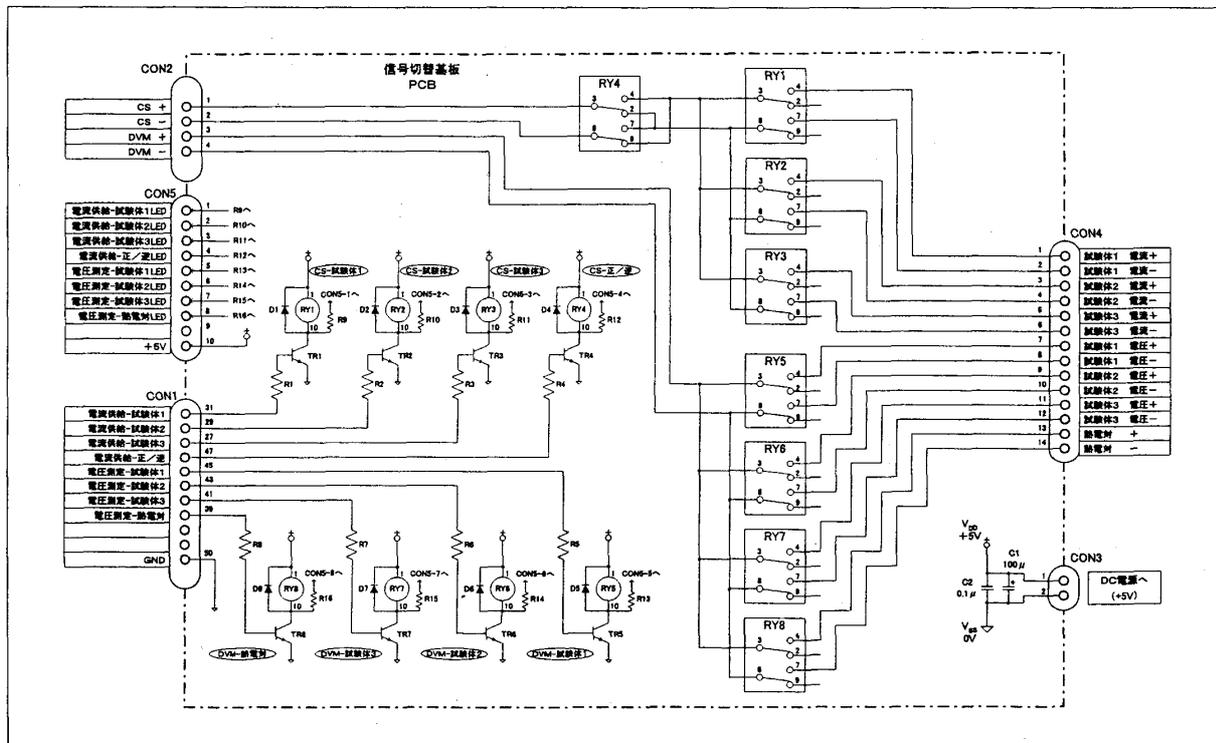


Fig. 3 インターフェースボックスの概要

CON2 の CS 端子には、ADVANTEST 製の R6144 を、DVM 端子には、KEITHLEY 製の 2000 を接続する。CON4 の試験体 1 電流端子には導体試料の電流端子を、試験体 1 電圧端子には導体試料の電圧端子を接続する。以下同様に試験体 2、試験体 3 についても同様に半導体、超伝導体の各電流端子、電圧端子を接続する。熱電対端子にはアルメル・クロメル熱電対を接続する。CON1 の電流供給-試験体 1 はパソコンで ON することによって、リレー RY1 を ON し、試験体 1 に電流を供給する。さらに電圧測定-試験体 1 はパソコンで ON することによってリレー RY5 を ON にし試験体 1 の電圧を測定する。以下試験体 2、3 についても同様である。

電流供給-正/逆が ON になるとリレー RY4 が ON になり、CON4 の試験体 1 電流+より試験体 1 電流-に電流が流れる。OFF になると反対方向に電流が流れる。

さらに CON5 は CON1 の各ポートが ON されたときに ON されたポートで発光ダイオードが点灯するようにしている。

5. 電気抵抗率測定用 vi の作成

5-1 電気抵抗率測定用のフロントパネル

Fig. 4 に本研究で開発した 3 種類の物質の電気抵抗率を同時に自動的に測定できるようにした $3 \times \rho$.vi のフロントパネルを示す。ここで入力項目の開始温度は [制御器パネル] - [数値] - [デジタル制御器] で作成する。出力項目である温度は [制御器パネル] - [数値] - [温度計] で作成し、デジタル表示を「する」にしておく。このデジタル表示器に「現在の温度」とラベルを付けておく。さらに 3 種類の物質の「 ρ -T Graph」を xy グラフとして作成し、画面に表示させる。開始温度項目に開始温度を入力して電気抵抗率の測定を開始する。測定が始まると画面の下側に現在の温度をデジタルで表示すると共に、アナログの温度計でビジュアルに現在の温度を表示する。3 種類の試料について電気抵抗率 ρ を測定したら、画面にプロットする。縦軸の電気抵抗率のスケールは自動的に更新するようにしている。

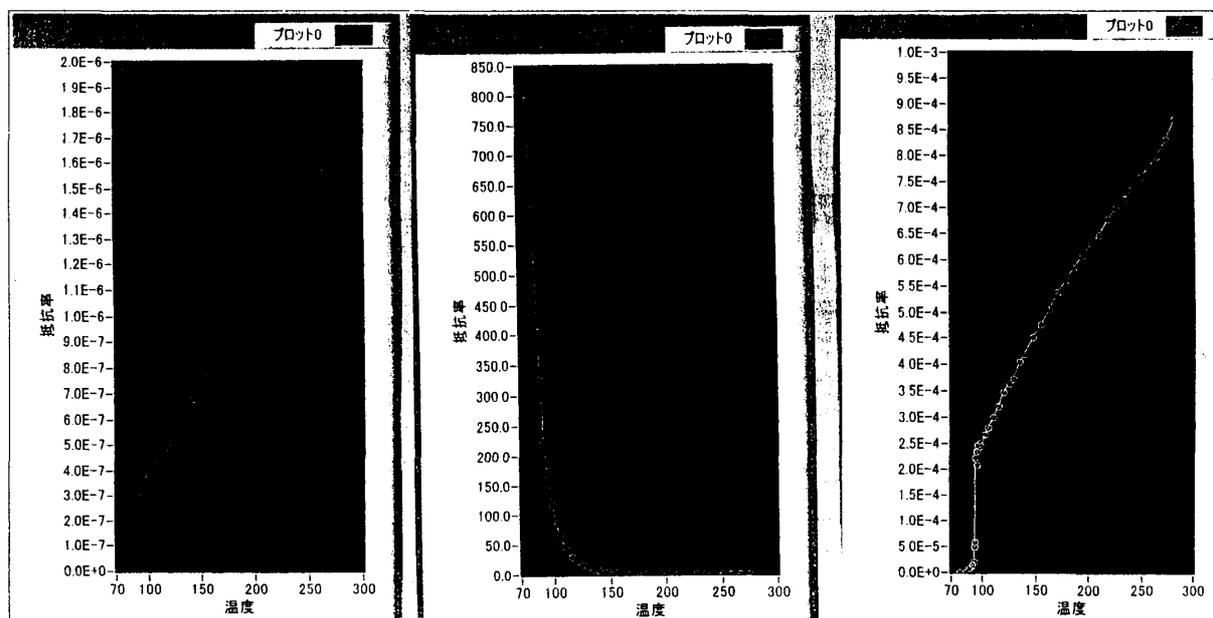


Fig. 4 $3 \times \rho$.vi のフロントパネル

5-2 電気抵抗率測定用のブロックダイアグラム

Fig. 5-1 ~ 3 に $3 \times \rho$.vi のブロックダイアグラムを示す。各ステップを順を追って説明する。

LabVIEW による 3 種物質の電気抵抗率の自動測定

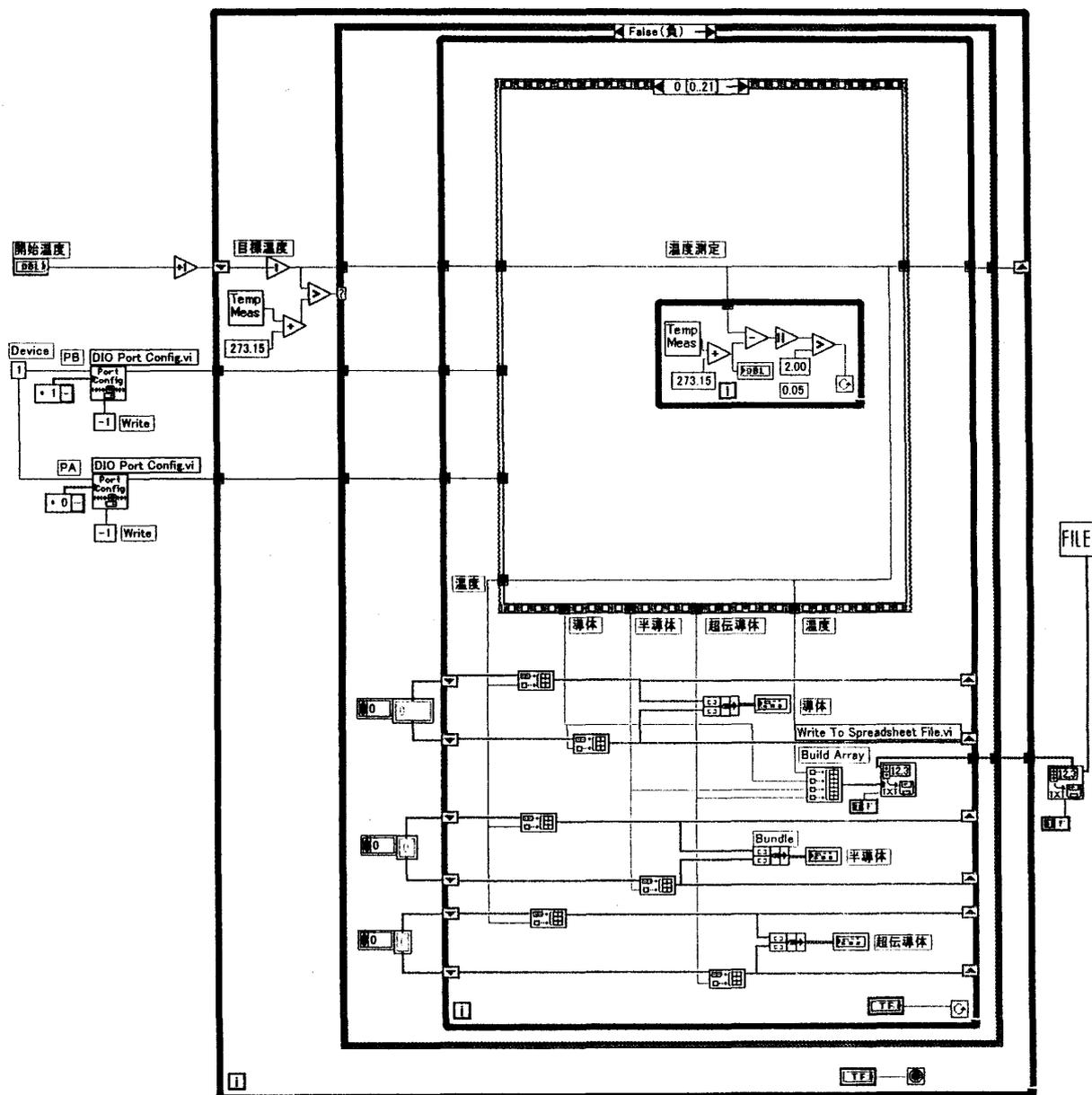


Fig. 5-1 3 X P.vi のブロックダイアグラム(1)

5-2-1 DIO Port Config.viについて

Fig. 5-1 において開始温度の下にある命令群は、インターフェースボックスの初期化命令である。ここでDeviceが1となっているのはパソコンとインターフェースをつなぐために使用しているGP-IBカードの番号が1であることを意味している。DIO Port Config.vi においては0はポートAを、1はポートBをそれぞれ意味している。また-1はWriteすなわちインターフェースが外部に命令を出すことを意味している。

表1にポート、ピン番号、ピン名、信号名称を示す。

表1. ポート番号と信号名称

ポート	ピン番号	ピン名	信号名称
A (0)	47	PA 0	電流供給 正転-逆転
	45	PA 1	試験体1 - DVM 測定
	43	PA 2	試験体2 - DVM 測定
	41	PA 3	試験体3 - DVM 測定
	39	PA 4	熱電対 - DVM 測定
B (1)	31	PB 0	試験体1 - 電流供給
	29	PB 1	試験体2 - 電流供給
	27	PB 2	試験体3 - 電流供給

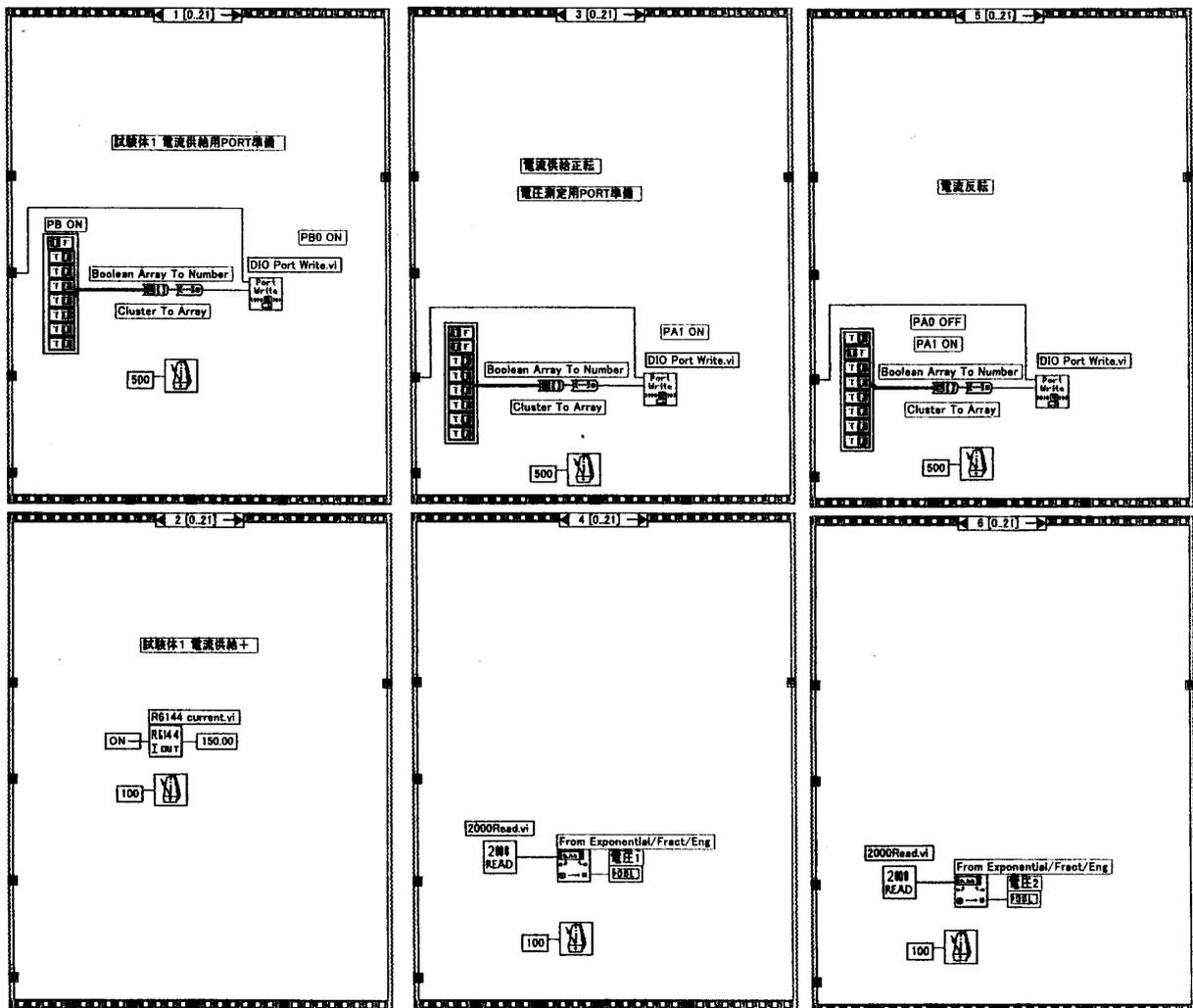


Fig. 5-2 3 X P.viのブロックダイアグラム(2)

LabVIEW による 3 種物質の電気抵抗率の自動測定

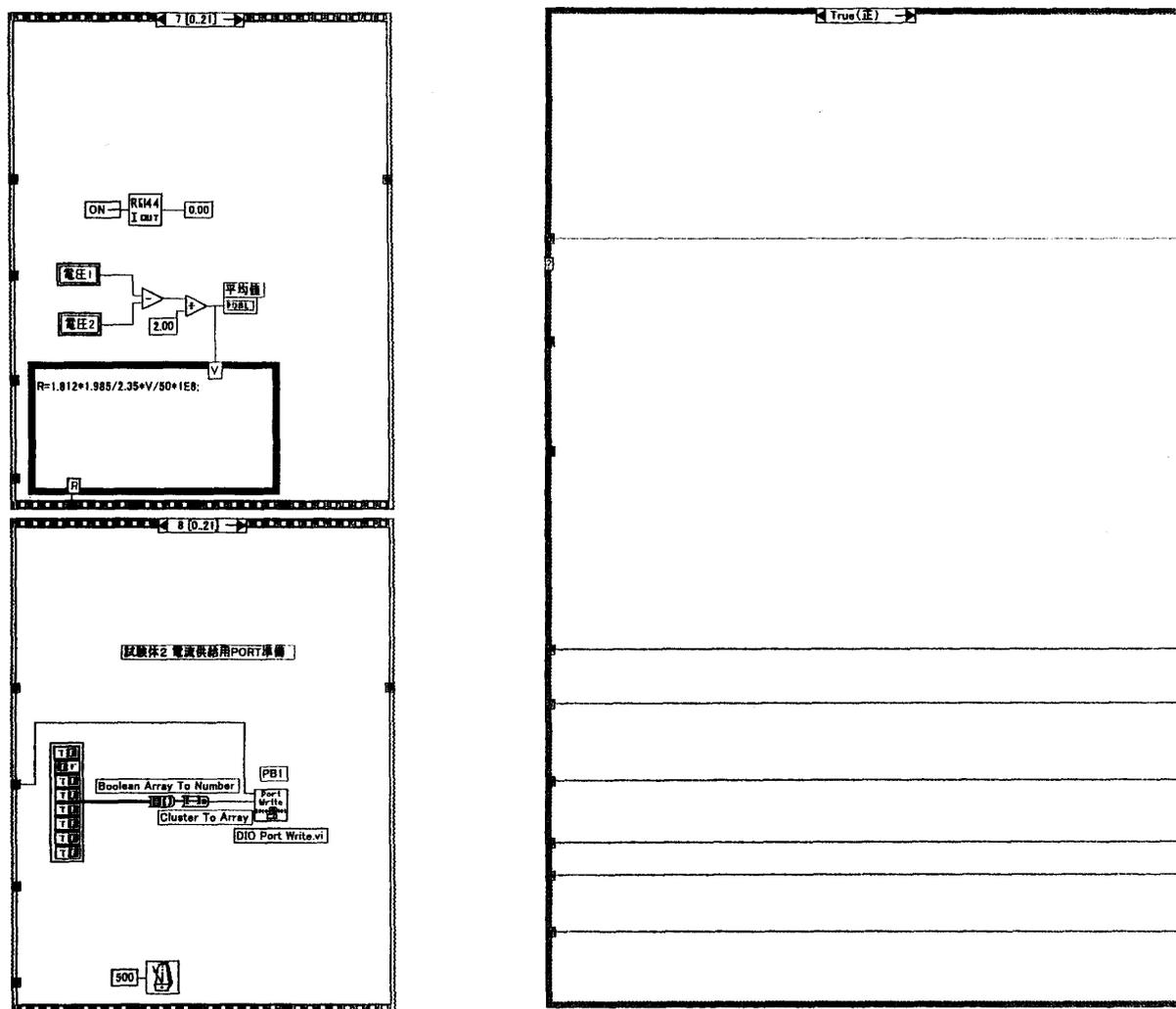


Fig. 5-3 3 X P.vi のブロックダイアグラム(3)

0 ポートは Port A (PA) を示し、電流供給を正転—逆転、3 種類の試料（試験体 1、2、3）の電圧測定、熱電対の電圧測定を切り替えるものである。

1 ポートは Port B (PB) を示し、3 種類の試料が接続してある電流端子を切り替えるものである。

測定温度範囲は 300 K～77 K である。室温から 77 K までこの温度範囲で温度を下降させながら 1 K ごとに各試料端子間の電圧を測定して電気抵抗率を計算し、グラフに表示し、データを格納する。

While ループに入ってすぐにある Temp Meas.vi によって現在の試料の温度を測定し、目標温度と比較する。目標温度が現在の温度より高ければ、Fig. 5-3 に示す True ループによって目標温度を 1 度さげる。False ループ内で目標温度と現在温度の差が 0.05 以内になれば電気抵抗率の測定を開始する。

シーケンスストラクチャ0で温度設定を行う。

シーケンスストラクチャ1で試験体1に電流を供給するためにポートを準備する。

シーケンスストラクチャ2で試験体1に電流（150mA）を供給する。

シーケンスストラクチャ3で電流供給を正転させるとともに、電圧を測定するためにポートを準備する。

シーケンスストラクチャ4で試験体1の電圧を測定する。

シーケンスストラクチャ5で電流を反転させる。

シーケンスストラクチャ6で試験体1の電圧を測定する。

シーケンスストラクチャ7で電流供給を止め、電圧の平均値を計算する。

シーケンスストラクチャ8から21までは、試験体2ならびに3に関して同様な操作をおこない、試験体2ならびに3にかかる電圧の平均値を計算する。

なお、目標温度が現在温度よりも高いときには、Fig. 5-3にTrueケースを実行して目標温度を現在温度よりも下げる操作をする。

5-2-2 温度測定.viについて

本測定では、温度測定器としてエム・システムのB5TS-2を使用している。これはアルメルクロメル熱電対を使用し-200℃から30℃までの温度が測定できるものである。

温度測定.viはFig. 5-1に示す3Xρ.viのブロックダイアグラムではWhileループの先頭のシーケンスストラクチャ0にTemp Meas.viとして入っている。

Fig. 6に温度測定.viのフロントパネルとブロックダイアグラムを示す。DIO Port Config.viでPortを初期化する。熱電対の出力はポートAのPA4にセットする。その後KEITHLEY製の2000 MULTIMETERで電圧を測定し、温度変換.viにより電圧を温度に変換して温度として出力する。

フロントパネル



ブロックダイアグラム

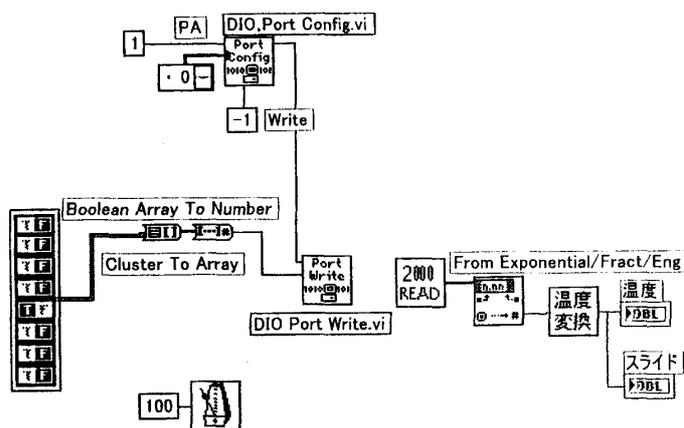


Fig. 6 温度測定.vi

5-2-3 2000 Read.vi について

2000Read.vi は KEITHEY 製の 2000 フロントパネル MULTIMETER を制御するviである。

Fig. 7 に2000Read.vi のフロントパネルとブロックダイアグラムを示す。2000 MULTIMETERのアドレスは12に設定している。この出力電圧を読み取り、結果を Reading Result に表示する。ここでの電圧は文字として取り出されるので、温度変換.viに示すように2000Read.viの出力を From Exponential/Fract/Eng.vi によって数値に変換し温度変換.viに渡すようにしている。



Fig. 7 2000Read.vi

5-2-4 温度変換.viについて

エム・システムの信号変換機にて電圧を温度に交換するviである。

Fig. 8 に温度変換.vi のフロントパネルとブロックダイアグラムを示す。電圧入力範囲 1 V～5 Vで温度変換範囲は -200℃～30℃となっている。温度スパン (min)と電圧スパン (min)、温度スパン (max)と電圧スパン (max)はおのの対応しており、minは最小値をmaxは最大値を意味している。

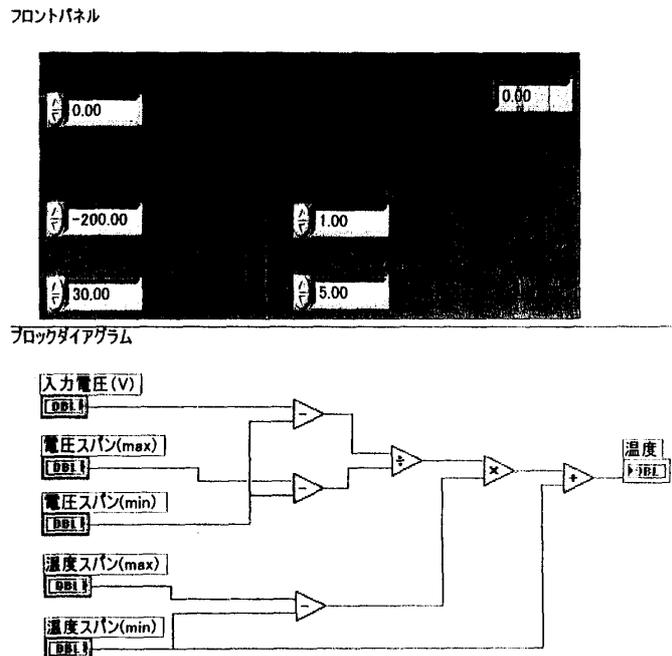


Fig. 8 温度変換.vi

5-2-5 R6144 current.viについて

Fig. 9 にR6144 current.vi のフロントパネルとブロックダイアグラムを示す。

ADVANTEST製のR6144 PROGRAMMABLE DC VOLTAGE/CURRENT GENERATERのアドレスは11に設定している。+のmA電流を発生させるように固定している。Output端子に発生させたい電流値を入れて使用する。

5-2-6 電気抵抗率の計算について フロントパネル

電気抵抗率の計算はFig. 5-3のシーケンスストラクチャ7に示すように、フォーミュラーノード内に計算式を記入することによって行った。電気抵抗率の単位は $\mu\Omega\text{cm}$ にしている。

ρ を次式で計算し、出力する。

$$\rho = \frac{V_A - V_B}{2} \frac{bt}{\ell} \frac{1}{I}$$

ここで、 V_A は電流正転のときの試料両端の電圧、 V_B は電流逆転のときの試料両端の電圧、 b は試料の幅、 t は試料の厚さ、 ℓ は電圧測定用端子間距離である。



ブロックダイアグラム

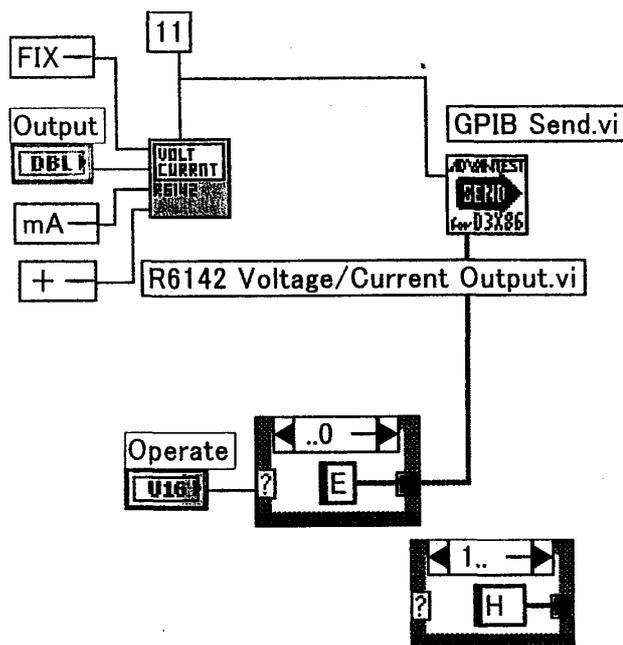


Fig. 9 R6144 current.vi

5-2-7 File.viについて

Fig. 10にFile.viのフロントパネル及びブロックダイアグラムを示す。

プログラムを実行するとファイル名の入力を促される。ここでファイル名を入力すると、そのファイル名はpathに格納され、 ρ -Tデータはファイル名の付いたファイルに格納される。

フロントパネル



ブロックダイアグラム

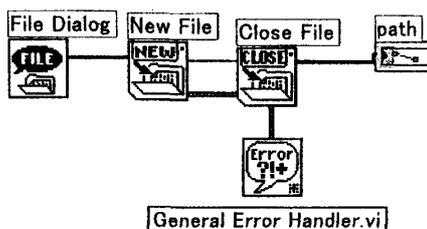


Fig.10 File.vi

5-2-8 ρ -Tデータについて

Fig. 5-1で説明する。

ρ と T のデータは1Kごとに作成する。データをWhileループ内の配列に格納する。配列の初期値を0にしておく。各試験体ごとに温度と電気抵抗率を配列に格納し、配列になったデータをBundle命令でクラスタにひとまとめにして各々の試験体ごとにグラフ表示する。

ループが回るごとにプロットさせるには、図に示すようにShift Resisterを使う

LabVIEW による 3 種物質の電気抵抗率の自動測定

てデータを保存しながらループを回す必要がある。初期値として空の 1 次元データ列を用意し、そこに Build Array を使って、新しい値を加えてやる。そのデータ列を Shift Register で送り、新しい初期値にする。つまり、

- (1) [関数パレット] - [ストラクチャ] - [While] を選択し、While ループを作成する。
- (2) 「Whileループ」上で右クリックし「シフトレジスタを追加」をチェックし [シフトレジスタ] を各試験体ごとに 2 個作成する。「シフトレジスタ」は X データ列用 (温度) と Y データ列用 (電気抵抗率) に 2 つ必要である。本研究では 3 種類の物質について同様の操作が必要であるからシフトレジスタを計 6 個使用する。
- (3) 初期値として空の 1 次元配列を [シフトレジスタ] の左側に作る。[制御器パレット] - [配列 & クラスター] - [配列] で初期配列を用意する。「配列定数」の右の □ に「数値定数」を入れる。
- (4) データに新しいデータを足す。
- (5) 新しい値を初期値にする。

という手順を繰り返す。

LabVIEW にはグラフとしては、「Wave Form グラフ」と「XY グラフ」の二種類が準備されているが、本研究では、「XY グラフ」を使用した。すなわち X のデータ列として温度、Y のデータ列として電気抵抗率を指定した。

測定データをグラフに表示した後に、スプレッドシートファイルをエクセル等で処理するために、3 種類のデータを Build Array で配列にしてファイルを保存する。

6. 実験結果

導体として純度 99.9999% の銅、半導体として $\text{Cu}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Se}$ 、超伝導体として $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ を選

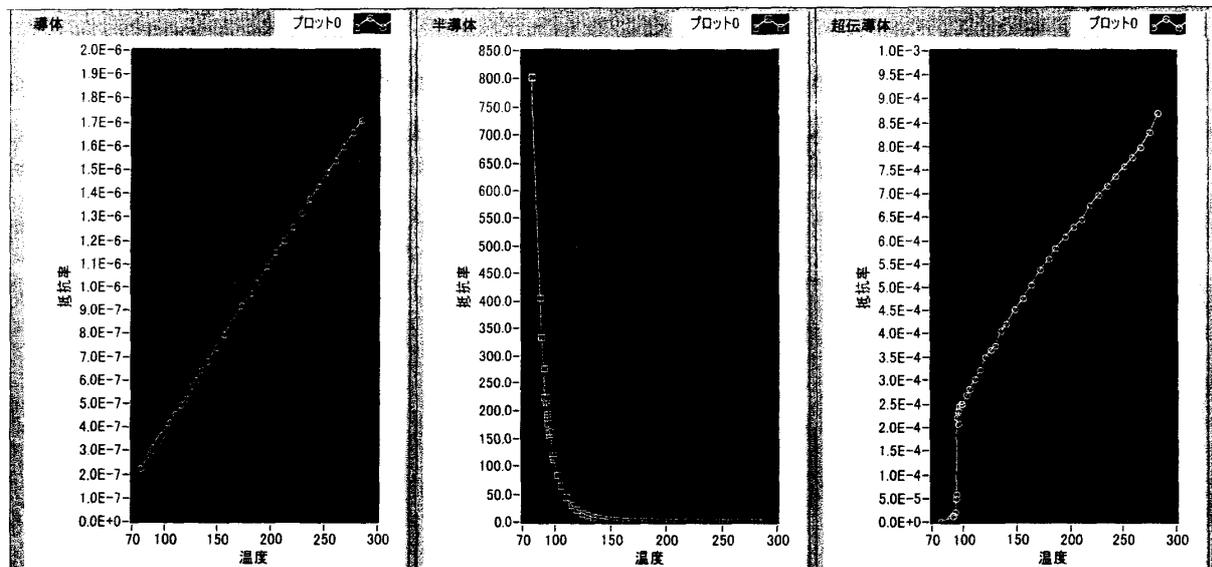


Fig.11 実験結果

び、各物質の電気抵抗率の温度依存を測定した。結果をFig. 11に示す。それぞれ導体、半導体、超伝導体としての典型的な変化を示している。

6. 考 察

3種類の試料の電気抵抗率の温度依存を同時に自動測定するためにLabVIEW言語を使用してプログラムを作成した。これにより、導体、半導体、超伝導体の3種類の電気抵抗率の温度依存をその場で同時に演示することができ教育効果が上がった。

LabVIEW言語によるプログラム開発は、今後の研究室での研究活動には欠かせないものと考ええる。

References

- [1] 伊藤祐一：日本産業科学研究所研究報告、11（2002）1.
- [2] 伊藤祐一：日本産業科学研究所研究報告、10（2000）11.
- [3] 伊藤慎也：山形大学理学部物理学教室卒業論文、2002.