

# P P M S

Physical Property Measurement System



QuantumDesignJapan  
日本カンタム・デザイン株式会社

# Physical Property Measurement System (PPMS)

材料分野において、新素材の発見や合成等の研究が盛んに行われており、低温・磁場下での物性特性は非常に重要な情報です。

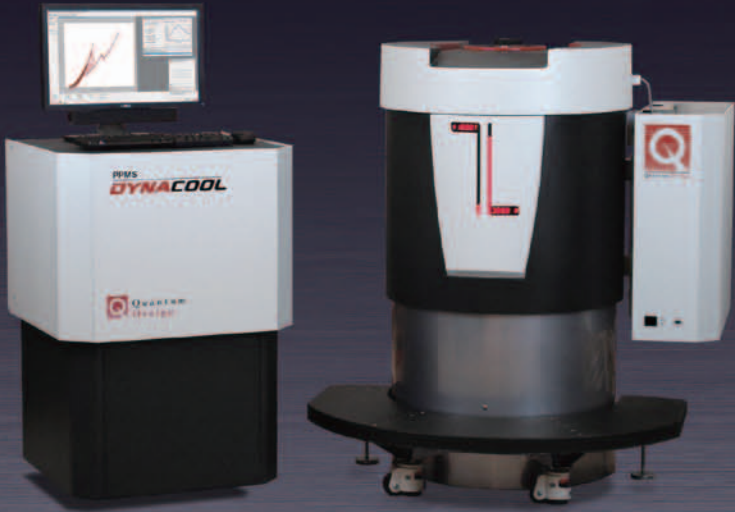
PPMSシリーズが誕生してから二十年有余年・・・

進化した最先端のラインナップでお客様のニーズにお応えします。

**PPMS**



**DYNACOOl**



**VersaLab**



## 目次

目次・特徴	2-5
システム	
PPMS	6-9
DynaCool	10-13
VersaLab	14-17
オプション	
熱特性	比熱測定（熱容量） ..... 18-21
	熱輸送測定 ..... 22-25
電気特性	電気輸送特性 ..... 26
	直流抵抗 ..... 27
磁気特性	試料振動型磁力計（VSM） ..... 28-31
	磁気トルク計 ..... 32-33
表面特性	走査型プローブ顕微鏡（SPM） ..... 34-35
システム拡張機能	3ヘリウム冷凍機 ..... 36-37
	希釈冷凍機 ..... 38
	断熱消磁冷凍機（ADR） ..... 39
	試料回転機構 ..... 40
	多機能プローブ ..... 41
仕様一覧	42-43

PPMS

DYNACOOl

VersaLab

熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

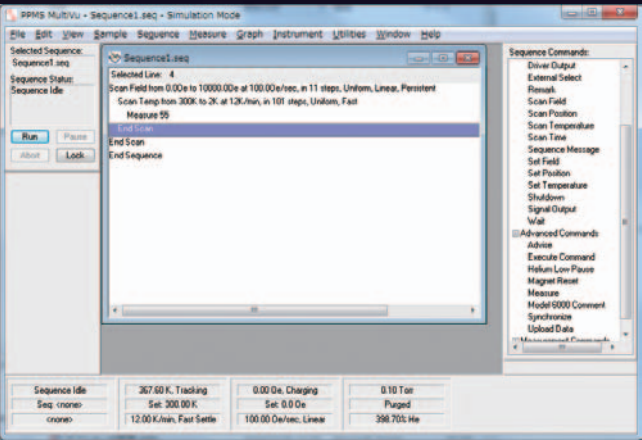
システム拡張機能



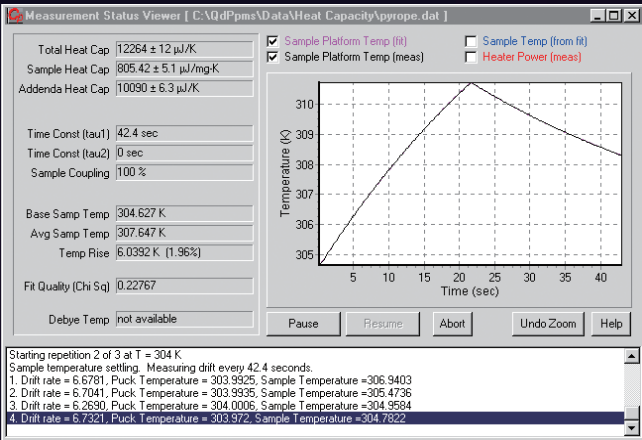
PPMSシリーズは、研究用の装置として独自のコンセプトに基づき開発されました。温度制御システムはご要望に応じて多種多様な物性測定が可能なプラットフォームとして使用することができます。カンタム・デザイン社は研究室での時間を有効利用するため、高い水準の自動化測定をご提供しています。

## PPMS MultiVu (マルチビュー) ソフトウェア

PPMSに搭載されたMultiVuソフトウェアはWindows対応のソフトで、各測定に必須とされる全ての機能を備えています。システムを自動的に制御するシーケンスを用いることで、温度や磁場のシステムパラメータを簡単に制御することができます。更に、PPMSが測定している間に、保管されたデータのチェックやそのデータをモニターすることができます。また、すべてのシステムについて遠隔操作が可能です。



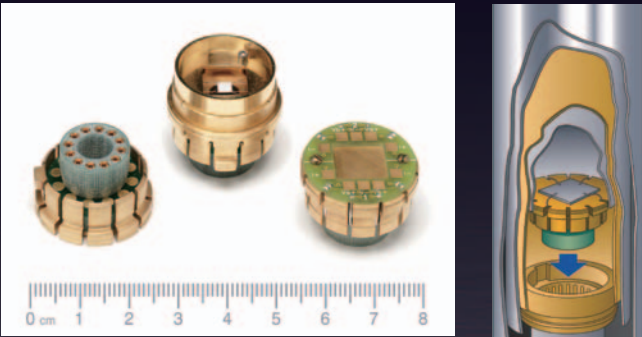
シーケンス作成



比熱測定

## サンプルパック

サンプルパックはオプション毎に設計されており、容易に試料の取り付けを行うことができます。試料空間の底部にはシステムの電子回路と連結する12ピンが配置されており、サンプルパックや各種プローブは、ワンタッチで着脱可能となります。ハードウェアや電子回路と電氣的に接続されることにより各種の測定が可能です。複数のサンプルホルダーを準備することにより、事前に試料を取り付けることが可能で、効率の良い測定を行うことができます。



サンプルパック

試料空間

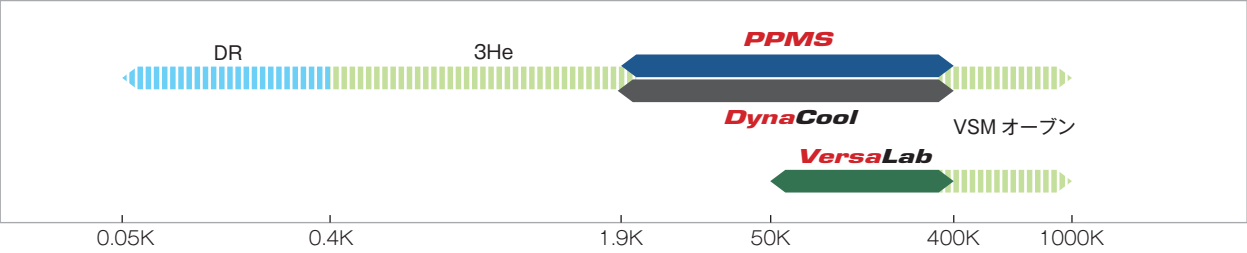
## 優れた操作性・自動化

様々な測定に対応するよう装置を簡単に設定でき、わずかな時間で試料を取付け、自動シーケンス設定後にデータの収集を開始することができます。またPPMSシリーズは1日24時間、週7日の連続運転を前提に設計されています。

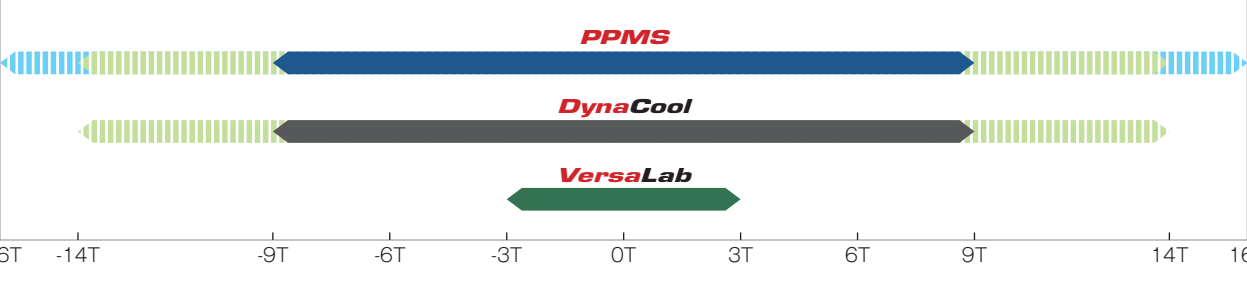
## システムの柔軟性

使用している他の測定機器を簡単にPPMSへ接続できる優れた柔軟性により、ユーザー独自の実験が可能です。PPMSのMultiVuソフトウェアは連結機能をサポートしていますので、他の測定機器をPPMSと同期させるようにLabView等を用い制御することができます。

### 温度範囲



### 磁場範囲



システム	PPMS	DynaCool	VersaLab
温度範囲	1.9K~400K	1.85K~400K	50K~400K
磁場範囲	9T, 14T, 16T (横磁場7T)	9T, 14T	3T
冷媒 (液体ヘリウム・窒素)	必要 (※)	不要	不要

※EverCoolIIオプション使用時は不要です。

## 様々な測定オプション

すべてのPPMSシリーズは、同じプラットフォームを使用しているため、一部を除いてほぼすべてのオプションが共有可能です。したがって温度範囲・磁場範囲・無冷媒型など、ご要望に合わせた装置選択が可能です。

### 測定オプション/アプリケーション

#### 熱特性

- 比熱測定 (熱容量)
- 熱輸送測定  
(熱伝導率・ゼーベック係数・メリット係数 (ZT))

#### 電気特性

- 電気輸送特性
- 直流抵抗

#### 磁気特性

- 試料振動型磁力計 (VSM)
- 磁気トルク計

#### 表面特性

- 走査型プローブ顕微鏡 (SPM)
  - ・MFM (磁気力顕微鏡)
  - ・AFM (原子間力顕微鏡)
  - ・SHPM (ホール素子顕微鏡)
  - ・CFM (共焦点顕微鏡)

#### システム拡張機能

- 3ヘリウム冷凍機
- 希釈冷凍機
- 断熱消磁冷凍機 (ADR)
- 試料回転機構
- 多機能プローブ



## 物理特性を測定する為の プラットフォーム 全世界でシェアNo.1を誇る 信頼性抜群の装置



※写真はEverCool IIオプションがついています。

### 特徴

- 多種多様な測定オプション
  - ・オプションを追加するだけで、多種多様な物性測定が可能
  - ・磁気特性、熱特性、電気特性、表面特性など様々な測定オプションを準備
- 全自動制御
  - ・全自動制御を可能とする専用ソフトウェア搭載
  - ・1日24時間、週7日の連続運転を前提に設計されたシステム
- 優れた操作性
  - ・専用のサンプルバックにより、容易に試料の取付が可能
  - ・他の測定機器やプログラムとの組み合わせが可能な柔軟なシステム

物理特性測定システム: PPMS (Physical Property Measurement System) は、独自のコンセプトに基づき低温・高磁場で物性を測定するために開発されました。基本のプラットフォームである温度・磁場制御システムは、ニーズに応じた多種多様な物性測定を可能にします。また、時間の有効利用を可能にするため、高い水準での自動測定を提供しています。

本装置では、最低1.9K、最高400Kの温度制御、最大16Tの磁場印加が可能のため、精密な温度や磁場の制御を必要とする様々な実験を行うことが可能です。本装置には、比熱や熱伝導等の熱伝特性、電気抵抗やホール効果、I-V特性等の電気輸送特性、磁化やトルク等の磁気特性に関する測定オプションが用意されています。独自のオプションとして、上記のほかにも極低温オプションや超低磁場オプション、高真空オプション、表面解析オプションなどがあり、様々な測定・環境オプションを組み合わせ使用することが可能です。

### ■ 制御用コントローラー

温度や磁場の制御速度は自在に設定可能です。また、低温や高磁場であっても、長時間一定の温度や磁場を保持し続けることも可能です。本装置はModel-6000というコントローラーで制御されており、簡単な電気抵抗測定を行う場合には外部ブリッジ、電流/電圧源、ロックインアンプなどを追加購入する必要はありません。12ピンが用意されたサンプルバックを用いて各種測定を行います。各種測定に応じて、試料の取り付けなどが簡便になるよう、サンプルバックは設計されています。

### ■ MultiVuソフトウェア

温度・磁場およびオプションは全てMultiVuというソフトウェアで制御されており、値を入力するだけで自動的にコントロールされます。ま

た、測定は用意されたコマンドを用いてシーケンスを組むだけで、任意の測定を行うことが可能です。

### ■ ユーザーフレンドリー

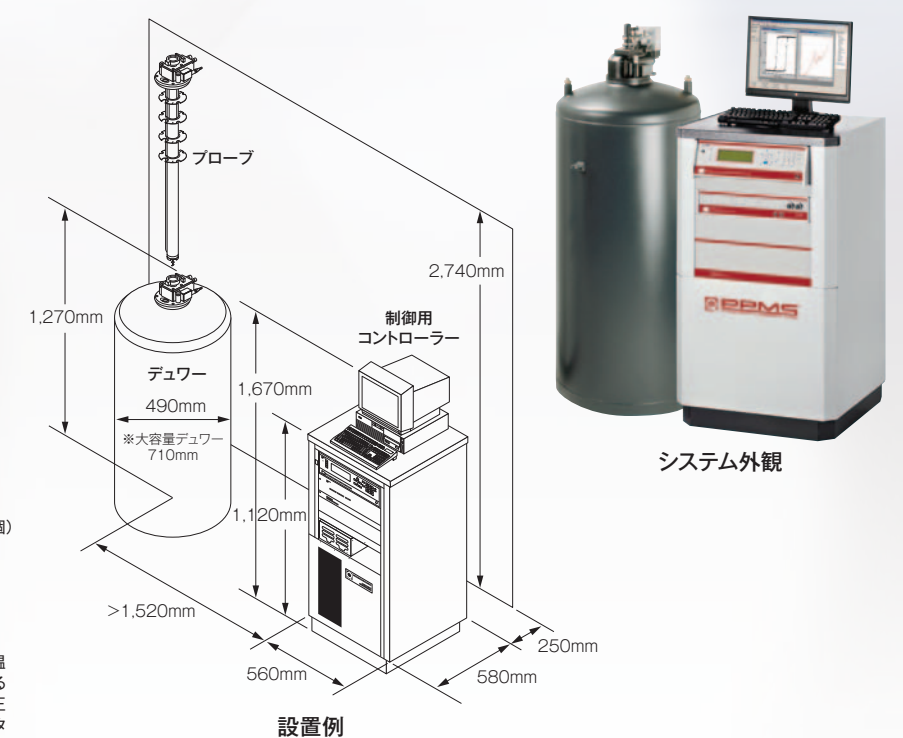
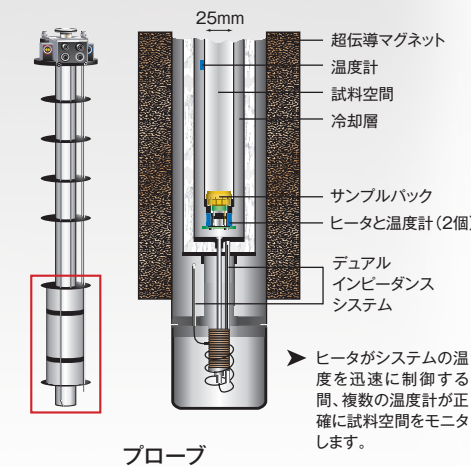
ユーザー独自の測定を組み込むことも容易に行える非常に柔軟な装置です。例えばLabViewなどの言語を使ってプログラムを書き、他の機器と同期させて使用することが可能です。また、サンプルバックやクライオスタット内部に設置されている12個のピンを通して、試料やユーザーが用意した温度計と自在に接続することが可能です。

### ■ ヘリウムデューワー

液体ヘリウムを使用してマグネットの冷却及び試料空間の温度制御を行います。液体ヘリウムの容器には、スタンダードデューワーと大容量デューワーの二種類があります。選択するマグネットの大きさによって、どちらのデューワーを選択可能かが決まります。大容量デューワーの場合、液体窒素を用いることで輻射熱の影響を減らし、液体ヘリウムの蒸発量を抑えることが可能です。さらに、ヘリウムの消費をより減らすためにヘリウム再凝縮装置を搭載することも可能です。

## システムの概要

制御用パソコン、エレクトロニクス、ガス制御機構の配置されているキャビネット、実際に試料をセットするクライオスタット部分の2つで構成されています。クライオスタット部は、液体ヘリウムを保持するためのデューワーとマグネットおよび温調、試料空間で構成されているプローブと呼ばれる部分に分かれています。



システム外観

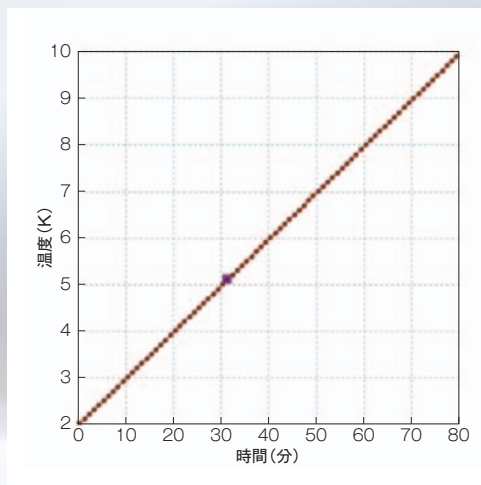
設置例



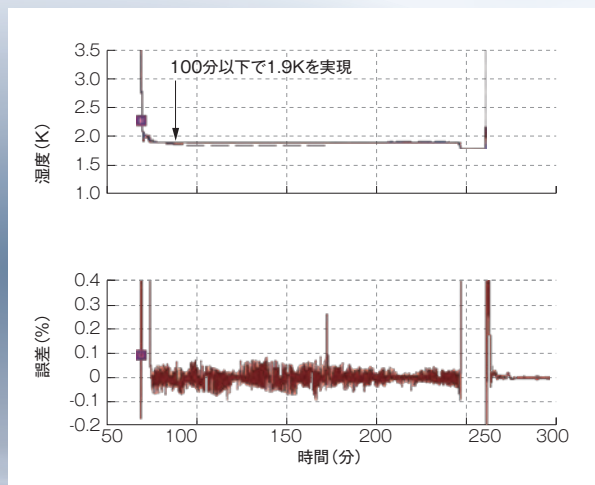
## 自在な温度制御

試料環境を1.9Kから400Kの温度範囲で制御可能です。温度の精度は $\pm 0.5\%$ です。温度は0.01K/分から12K/分の速度で変化させることが可能です。温度制御はヒーターの制御と試料空間周りを流れるヘリウムガスの制御で行われています。ガス制御にはインピーダンスと呼ばれる特徴的な細い管をポンプで引くことによって得られるガスフローを用いています。また、試料付近は温度勾配が小さくなるように温度制御されています。さらに、液体ヘリウムの沸点をまたいでもスムーズに試料温度を変化させることが可能です。その試料温度の安定性も非常に高く、10K以上では0.02%以下、10K以下では0.2%です。

さらに、ユーザーが独自に用意した温度計をシステムに組み込んで制御することも可能です。



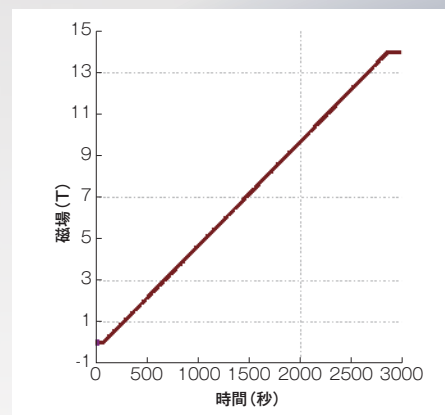
ヘリウム沸点を挟んだ温度制御



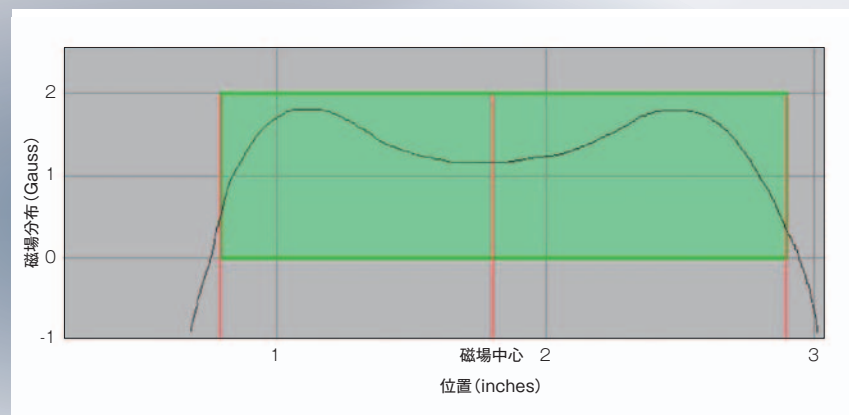
温度安定性

## 低ノイズで均一性の高い磁場制御

磁場は最大 $\pm 16$ Tの磁場範囲で制御が可能です。0T、9T、14T、16Tの縦型超伝導マグネット、7T横型超伝導マグネットの中から選択できます。低ノイズのバイポーラ電源を使用しており、電流補正や過電圧保護を行いながら、ゼロ磁場を挟んでスムーズに磁場を変化させることが可能です。また、永久電流モードに入れることで、磁場を非常に良く安定させることができます。磁場の均一性は非常に高く、具体的には9Tマグネットを最高磁場まで印加させたときに、その精度はおよそ5.5cmにわたって $1 \times 10^{-4}$ T以内です。また、マグネットの漏れ磁場の影響を小さくするために、磁気シールドを装着することが可能です。例えば、大容量デューワー、9Tのマグネットで最大磁場使用時に、5Gaussラインはデューワー表面から約1mの位置です。しかし、シールドを装着することで、デューワー表面から約10cmまで5Gaussラインを狭めることが可能です。



磁場制御



磁場均一性

## ヘリウムのロス进行に減少できるヘリウム再凝縮装置

各種ヘリウム再凝縮装置を搭載することが可能です。GM式冷凍機を採用しているEverCoolIIでは、液体ヘリウムや液体窒素を使用せずヘリウムガスのみを使用します。一方、パルスチューブ型ヘリウム再凝縮システムは振動の影響が小さいなどのメリットがあります。

## 完全無冷媒PPMS EverCoolII

液体ヘリウムや液体窒素をトランスファーすることなく、PPMSを連続動作させることが可能です。

デューワー内で直接ヘリウムガスを再凝縮する統合された冷凍機デューワーシステムを採用しています。具体的には、冷えたヘリウムガスはデューワーを出る前に低温で再凝縮されます。この方法は、消費電力・冷却効率の面でヘリウムガスを室温で回収・再凝縮するよりも、はるかに効果的です。

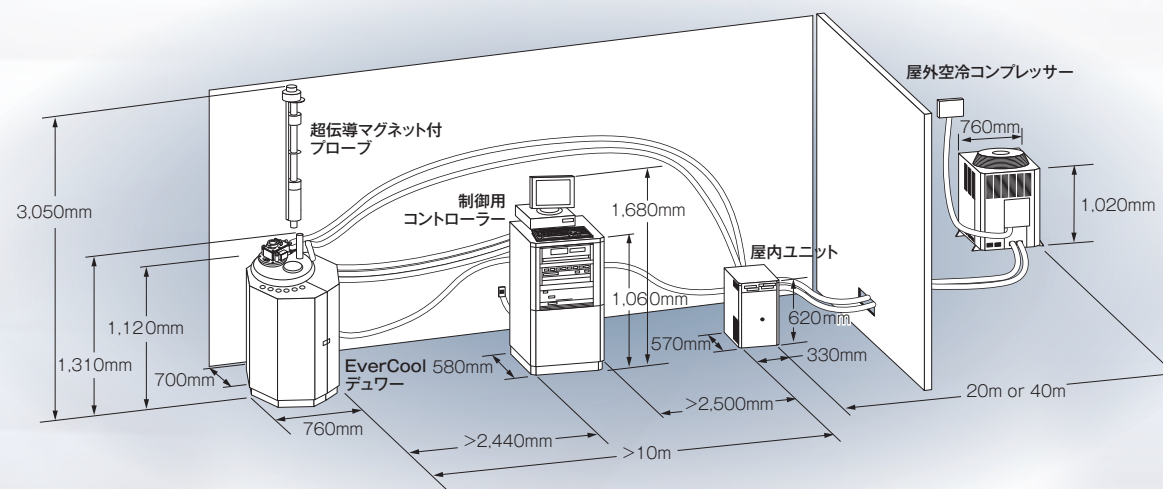
液体ヘリウムや液体窒素を必要とすることなくヘリウムガスボンベからのガス供給のみでPPMSの初期冷却を可能にしています。また、PPMS運転中に蒸発したほぼすべてのガスの再凝縮を行います。(試料室のガス置換のために使用されるガスは大気放出されます。)また、デューワー内へ空気が侵入することを防ぐために、デューワー圧力は大気圧以上に保持されています。

本オプションを使用しても、標準的なPPMSと同じように試料の物性特性を測定することができます。本機能はすべてPPMS MultiVuソフトウェアに統合されており、デューワー内におけるヘリウムレベルの制御を含む、本オプションの動作は自動化されており、温度・磁場制御などのシステム動作に影響を与えません。

空冷もしくは水冷のコンプレッサーを使用し、再凝縮能力はおおよそ8L/日です。



システム外観 (EverCoolII)



設置例

## パルスチューブ型ヘリウム再凝縮システム (P960)

液体ヘリウムをトランスファーすることなくPPMSの連続動作が可能になります。統合冷凍機システムを採用しており、蒸発したヘリウムガスはPPMSのデューワーを離れ、再凝縮装置のクライオスタート内で再凝縮されます。その後、ドリップラインを通してPPMSのデューワーに戻されます。システム運転中に失われた分のヘリウムを補充するために、ボンベからのヘリウムガスを使用しています。(試料空間の急冷や磁石の頻繁/長時間の使用により、ヘリウムガスの損失をもたらす可能性があります。)

また全ての再凝縮機能は自動制御されており、例えばデューワー内へ空気が侵入するのを防ぐために、デューワー内の圧力は大気圧以上に保持されています。本オプションを使用しても、他のPPMSのオプションを使用しての試料の物性測定が可能です。再凝縮装置は、システム操作にほとんど影響を与えません。本オプションでは水冷のコンプレッサーを使用し、再凝縮能力はおおよそ10L/日です。



オプション外観



## 完全無冷媒の近未来型 PPMS (物理特性測定装置) 最先端の温度制御システム搭載

DynaCool (ダイナクール) は、液体ヘリウムや液体窒素といった寒剤を一切必要としない新たな温度制御の設計思想のもと開発された、PPMS (物理特性測定装置) の最新型です。従来からのPPMSで利用できたすべての機能が利用可能です。

また、超伝導マグネットの冷却および温度制御のために、二段パルスチューブ冷凍機を採用し、低振動の試料測定環境を提供しています。

本装置は、初期冷却が自動化されたシステムです。起動時ならびに起動後、試料空間や超伝導マグネットの両方を冷却するために、僅かな量のヘリウムガスしか必要としません。

### ■ 温度制御システム

温度制御システムは、新たなガス流制御システムを採用することにより、従来のPPMSと比較すると、冷却能力および温度安定性の両方が飛躍的に向上しています。また洗練された制御ソフトウェアによって、400Kまでの高温領域 (最小の冷却能力を使用する必要があります) と中間温度領域 (急速な温度制御の変化や大きな冷却能力が必要)、1.85Kまでの最低温度領域 (液体ヘリウムをポンピングする事によって得られる温度領域での精密な温度制御を必要があります) の間で、スムーズな温度移行を可能にしました。たとえば、標準PPMSサンプルパックを40分以内に300Kから1.9Kに冷却し安定させることができます。試料空間は、PPMSと共通のサンプルパックインターフェースを維持しながら、低温領域と高温領域での熱均一性が向上しています。また、複数の温度計やヒーターは試料空間内の温度勾配を管理し、使用可能な温度範囲全体で円滑な温度制御を実現しています。

### ■ 高真空システム/磁場制御

クライオポンプ (ソーブションポンプ) は、10分未満で10Torr以下

から $10^{-4}$ Torrに試料空間を真空引きすることが可能であり、プログラムされたシーケンスまたはスクリプト中で試料環境を変更できるよう一体化されています。また、クライオポンプと試料環境を制御するための真空計が組み込まれています。これにより、極低温を実現するオプションや高真空を必要とするオプションを使用することができます。

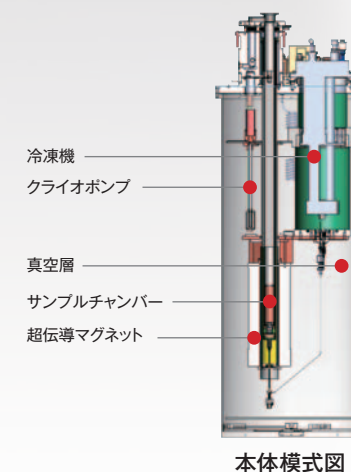
9Tならびに14Tのスイッチレス、磁場の低ノイズで正確な制御のために設計されたハイブリッドデジタル/アナログマグネットコントローラを備えた熱伝導冷却型超伝導マグネットが装備されています。磁場制御ソフトウェアは、超伝導マグネットの適切な動作を確保し、クエンチを回避するためにマグネットとクライオスタットの3箇所温度をモニターしています。また、バイポーラマグネット電源を用いることで、ゼロ磁場を通過してもなお連続的かつ滑らかに磁場を変えることができます。

### ■ 磁気シールド

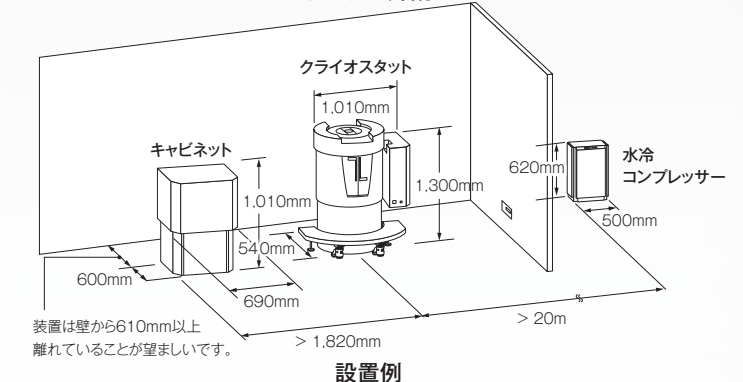
設置される実験室を有効に活用できるよう、強力な磁気シールドを装備しています。たとえば、9Tマグネットを備えたシステムの場合、5Gaussラインをクライオスタット表面から30cm以下に保つことが可能なため、装置の近くに複数の精密機器を設置することが可能です。

## システムの概要

制御用パソコン、エレクトロニクス、バルブ、ポンプ類の入ったキャビネットとマグネットや温度制御機器、試料空間が準備されたクライオスタット、冷凍機用のコンプレッサーの3つで構成されています。また、クライオスタットとコンプレッサーの間には、冷凍機用の高圧ガスラインが2本つながっています。



本体模式図



設置例

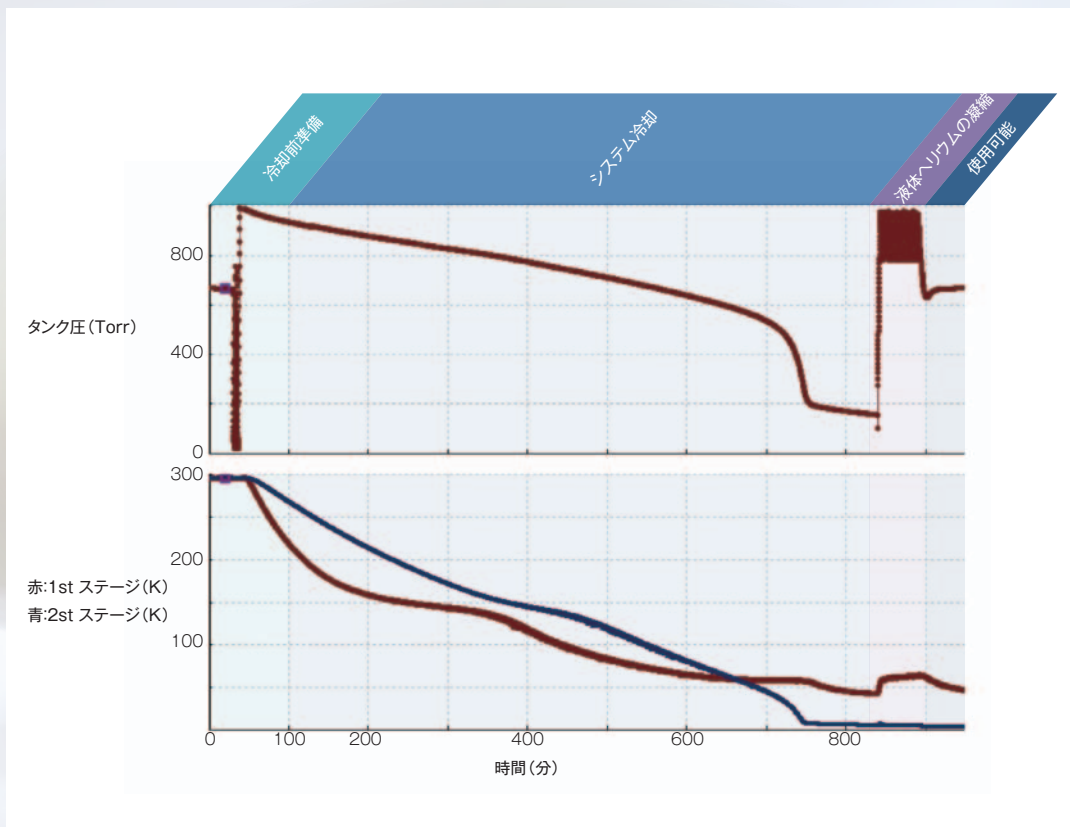
## 特徴

- 液体ヘリウム・液体窒素が完全に不要
  - ・無冷媒型超伝導マグネット採用
  - ・冷凍機を用いた新しい冷却方式
- 最先端技術を搭載した新制御システム
  - ・室温から最低温度までの高速温度制御
  - ・次世代高速通信プロトコルCAN (Controller Area Network) 使用
- 従来のPPMSとの高い互換性
  - ・PPMSのサンプルパックが使用可能
  - ・オプションを追加するだけで、多種多様に渡る物性測定が可能



## 自動初期冷却ウィザード

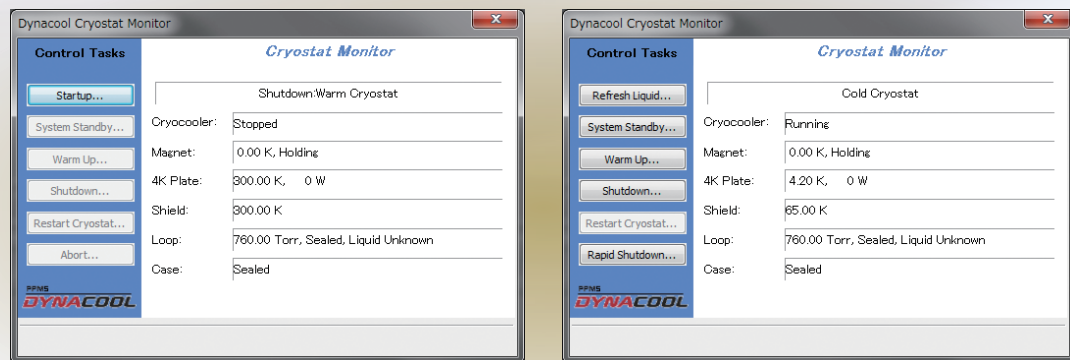
ウィザードを開始すると、断熱真空層の真空引き、温度制御空間や試料空間のガス置換、冷凍機によるマグネットやシステムの冷却、Heガスからの液体ヘリウムの凝縮などを自動的に行い、ユーザーがシステムを使用できる状態にします。



自動化された初期冷却

## 自動ウォームアップウィザード

ウィザードを開始すると、使用していた液体ヘリウムやヘリウムガスを温度制御空間から排気し、システムに複数配置された温度計とヒーターを用いて、自動的かつ安全にシステム全体を短時間で室温の状態に戻します。



自動化された初期冷却

システムウォームアップ

## CAN通信

通信は、すべてCAN (Controller Area Network) を使用することで従来のGPIB通信より飛躍的に通信速度が早くなったため、複雑な動作をより早く行うことができるようになりました。CANは耐ノイズ性の強化を考慮して設計され、相互接続された機器間のデータ転送に使用される規格です。輸送用機械、工場、工作機械等のロボット分野において多く利用されています。

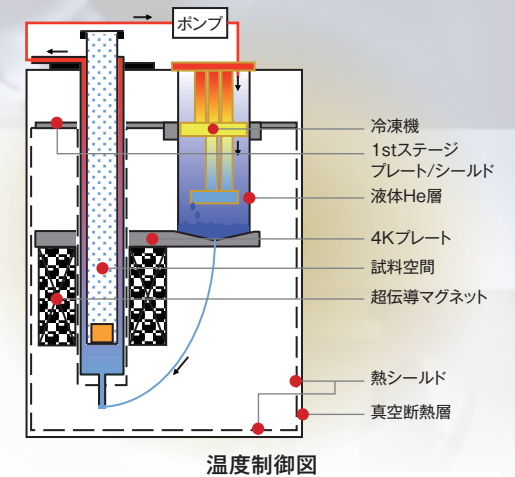
## PPMSとの互換性

従来のPPMSの試料空間と全く同じ内部構造を持っているため、サンプルバック、オプションのプロブや、ユーザーが独自に作成してきたプロブの多くを使用することが可能です。既にCAN通信を採用しているPPMSのオプションも使用可能です。

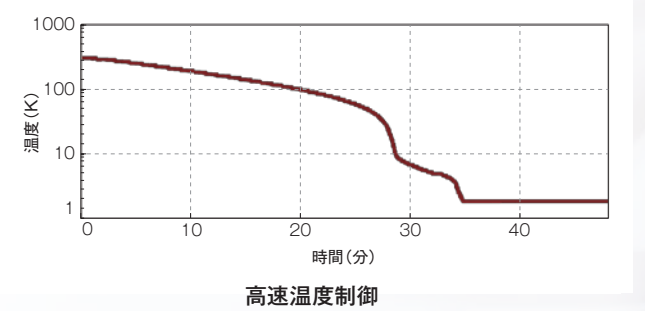
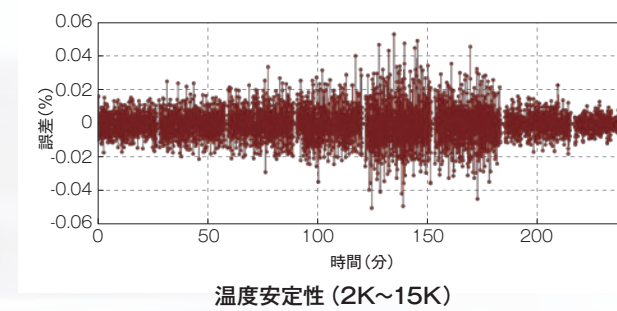
## 温度制御システム

温度制御システムは、新たに特許を取得した最先端技術を搭載しています。室温から低温に冷却する場合、従来のPPMSでは用いられることのなかった「マスフローコントローラー」を採用、大きな流量の冷たいガスを使用することにより冷却速度を上げています。冷却層直前にはレベルセンサーのついたポッドが取り付けられており、これを用いることで液体ヘリウムの量を調整し、極低温において安定的な温度制御を実現しています。

なお、温度制御に必要な全液体ヘリウムは約150ccとわずかであり、またシステムが初期冷却時に自動的にヘリウムガスから凝縮します。



温度制御図



## サンプルチャンバー

新たに試料空間の入口近くに温度計とヒーターを配置することにより、低温でのより安定した温度制御や、室温に戻して試料を交換する際の試料空間の結露を防いでいます。



サンプルチャンバー概要

## EverCoolIIとの比較

EverCoolIIでは使用可能な磁場が最大9Tまでであるのに対し、DynaCoolは14Tまでの使用が可能です。そのほか、温度制御システムはごくわずかな液体ヘリウムしか必要としないため、EverCoolIIと比較すると、必要なヘリウムガスの量は極めて少量です。

DynaCoolとEverCoolII比較

DynaCool

EverCoolII

- 9Tと14Tの超伝導マグネット使用可
- パルスチューブ冷凍機使用
- 初期冷却に約1/5本のガスボンベ使用
- 初期冷却が約16時間(9T)、約40時間(14T)

- 9Tの超伝導マグネットのみ使用可
- GM冷凍機使用
- 初期冷却に約1本のガスボンベ使用
- 初期冷却が約30時間

- CANのみの通信で制御可能
- 新規システムの購入が必要

- CANおよびGPIB通信の2つが必要
- 従来のPPMSからアップグレード可能



## 完全無冷媒型物理特性測定システム 装置本体とコンプレッサーのみの コンパクト設計

VersaLab (バーサラボ) は、液体ヘリウムや液体窒素といった寒剤を一切使用せず、冷凍機と一体になった完全無冷媒型の小型PPMS (物理特性測定装置) です。  
コンプレッサーは独自開発したインバータ仕様の小型空冷タイプとなっています。  
コンパクトな設計となったことにより、わずかなスペースでも設置ができ、簡単に移動できます。

試料空間と超伝導マグネットの両方を熱伝導により冷却するためにGM2段式冷凍機を使用しています。これにより、温度50K～400K、磁場±3Tでの実験が可能です。

### ■ 冷却システム

2段冷凍機の第1段は、5W/40Kの冷却能力を試料空間や室温からの熱リークを抑える熱シールドを含む多くの冷却操作に使用しています。第2段では、0.1W/4.2Kの冷却能力で、主に超伝導マグネットと断熱真空槽のチャコールの冷却を行います。  
また、複数の温度計やヒーターが温度勾配を管理・搭載したソフトウェアにより、温度・磁場・試料空間雰囲気といった実験環境や装置のクールダウン・ウォームアップや初期ウィザードなどを自動化したことで、手軽に操作を行うことができます。  
約10時間程度で初期冷却が可能であり、また約90分で300Kから50Kまで試料の冷却が可能です。

### ■ 高真空システム

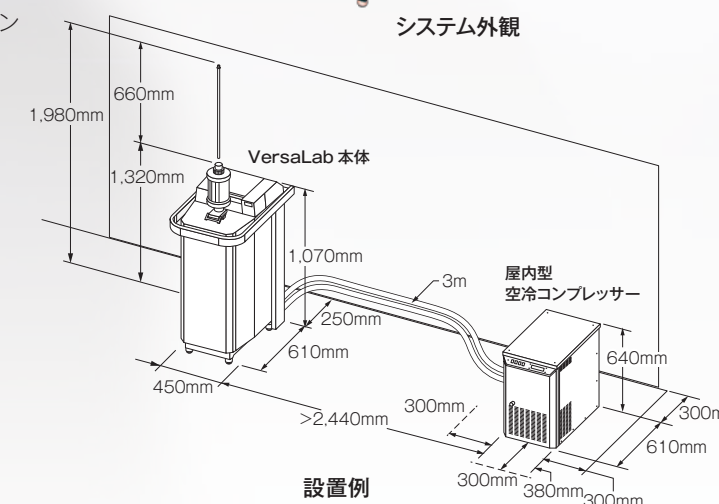
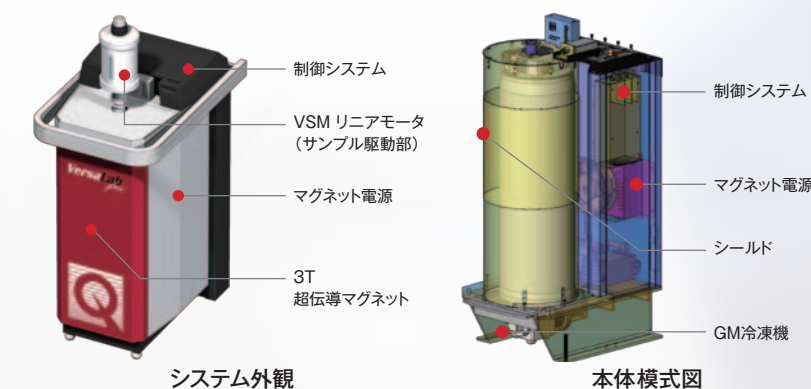
試料空間の雰囲気制御のために、ダイアフラムポンプや標準装備のクライオポンプが用いられます。クライオポンプは、10分以内に $10^{-4}$ Torr以下に試料空間を真空引きすることが可能です。ダイアフラムポンプは冷却前にクライオスタートの断熱真空層を排気するのに用いられます。  
なお、試料空間をガスで置換するために、別途ヘリウムガスが必要です。これは、低温における結露等を防ぎ、また、熱交換ガスの役割も担います。

### ■ 磁場制御

クライオスタートに取り付けられている超伝導マグネットにより縦方向の磁場を、最高300 Oe/秒で最大±3Tまで印加できます。また大きな特徴として、ゼロ磁場において途切れたりせず直線的に磁場を印加させることが可能であり、安定時のオーバーシュートはごくわずかです。そのほかクライオスタートは磁気シールドで囲まれているため、漏れ磁場の影響範囲を減少させ、装置の近くに精密機器を設置することが可能です。

## システムの概要

制御用パソコン、VersaLab装置本体、コンプレッサーの3つで構成されています。装置本体にはマグネット、クライオスタート、エレクトロニクス、バルブ、ポンプなどのすべてを内蔵し、他のシステムと比べて非常にコンパクトなサイズを実現しました。本体後方下部にはキャスターが備え付けられており、移動可能なシステムとなっております。また、クライオスタートとコンプレッサーの間には、冷凍機用のガスラインが2本つながっています。



## 特徴

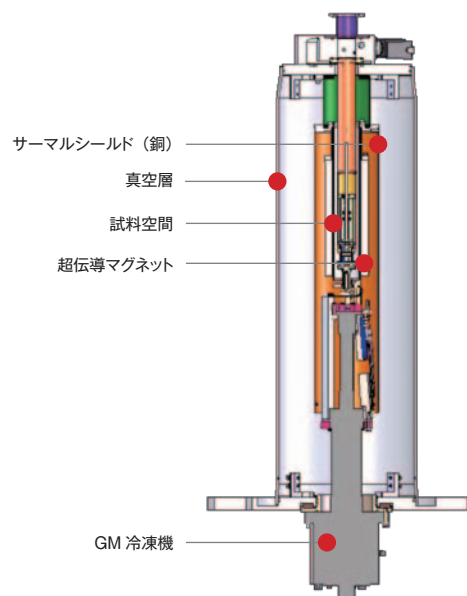
- 液体ヘリウム・液体窒素が完全に不要
  - ・無冷媒型超伝導マグネット採用
  - ・業界初、インバータ仕様のコンプレッサー搭載
- コンパクト設計で省スペース・簡単に移動可能
  - ・独自開発した小型空冷コンプレッサー
  - ・電源：単相200V、20Aのみで稼働
- 従来のPPMSとの高い互換性
  - ・オプションを追加するだけで、多種多様に渡る物性測定が可能
  - ・PPMSのサンプルバックが使用可能



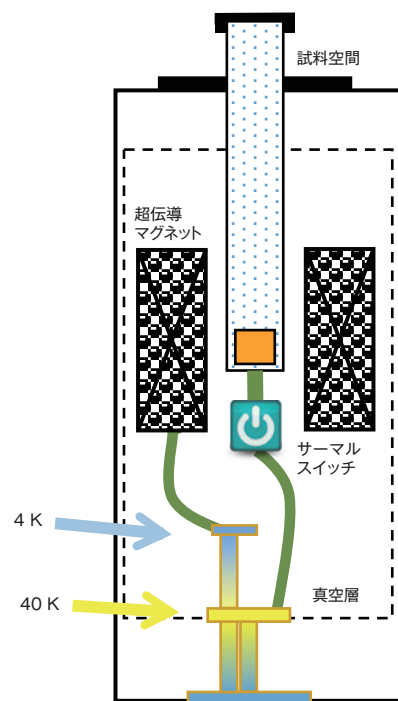
## 無冷媒冷却システム

冷却が必要な試料空間やマグネット、クライオポンプなどを冷凍機からの熱伝導によって冷却しています。この仕組みにより、50K～400Kまでのスムーズな温度制御、±3Tの磁場制御、高真空圧力制御を可能にしています。特に、試料空間の冷却には2段階GM冷凍装置の1段階（40K）を用いています。冷凍装置と試料空間の間にはサーマルスイッチと呼ばれるパーツが配置されており、サーマルスイッチ内にはチャコールと呼ばれる低温になるとヘリウムガスを吸着する吸着剤とヘリウムガスが封入されています。試料空間を冷却する場合には、ヒーターでチャコールを温めることにより、吸着されていたヘリウムガスがサーマルスイッチ内に解放され、冷凍装置と試料空間の間の熱伝導が大きくなり、試料空間が冷却されます。

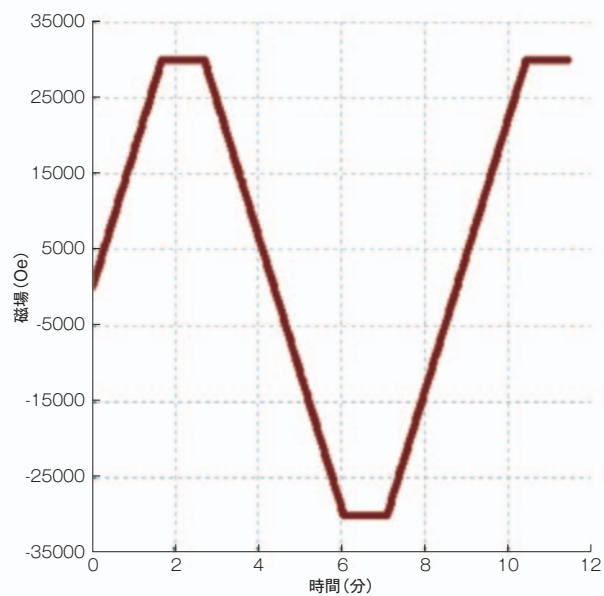
逆に試料空間を温める場合には、ヒーターを切ることにより、再び冷却されたチャコールがヘリウムガスを吸着しサーマルスイッチ内が高真空になります。高真空になったサーマルスイッチは熱伝導が小さくなり、冷凍装置と試料空間の間の熱伝導が抑えられます。その結果、冷凍装置に負荷をかけることなく容易に試料空間のみ温度を上げる事ができます。



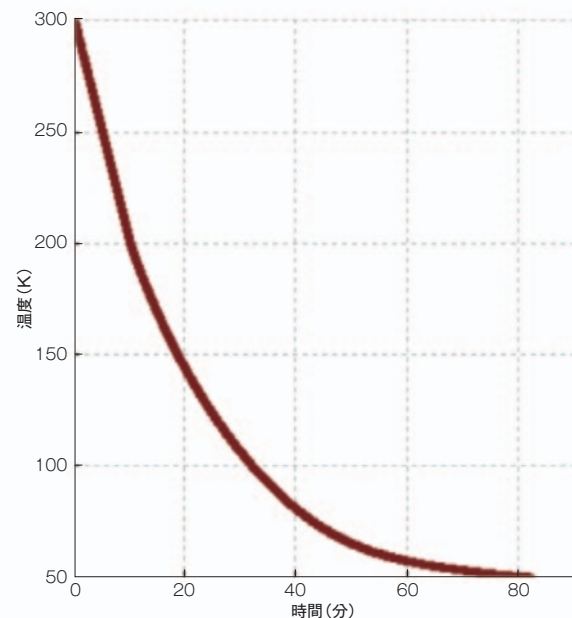
本体断面図



温度制御図



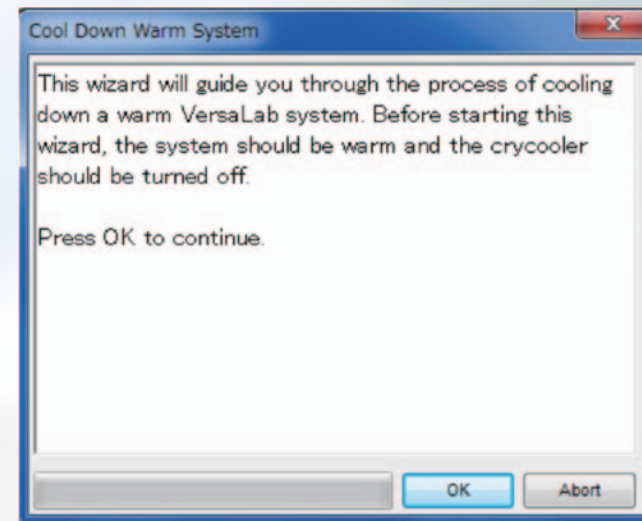
磁場制御



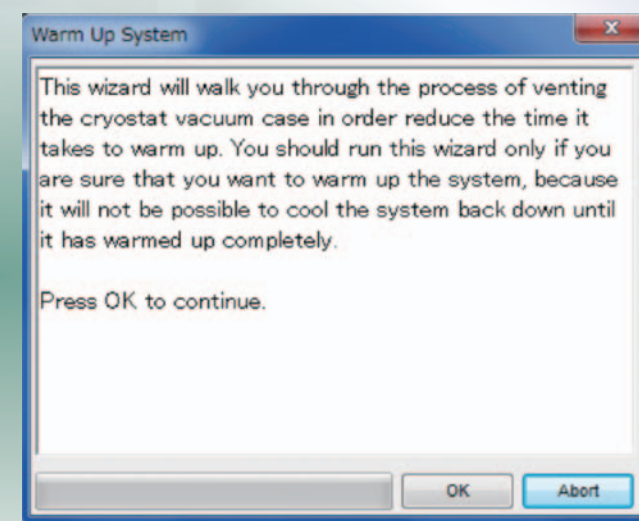
温度制御

## 自動初期冷却・ウォームアップウィザード

システムの立ち上げおよび立ち下げ時に、専用ウィザードを使用します。初期冷却では、クライオポンプを再生し、チャコールが取り付けられた断熱真空層の真空引きを2Torr以下まで行った後に、冷却を開始します。その後、冷却開始から10時間程度かけて、自動的に冷凍機の第二ステージおよび超伝導マグネットを4K付近まで冷却します。ウォームアップでは、自動制御で低温から室温付近まで12時間程度で戻すことができます。



初期冷却ウィザード



ウォームアップウィザード

## CAN通信

通信は、すべてCAN (Controller Area Network) を使用することで従来のGPIB通信より飛躍的に通信速度が早くなったため、複雑な動作をより早く行うことができるようになりました。CANは耐ノイズ性の強化を考慮して設計され、相互接続された機器間のデータ転送に使用される規格です。輸送用機械、工場、工作機械等のロボット分野において多く利用されています。

## PPMSとの互換性

従来のPPMSと同じピンの配置と試料空間の内径を持っているため、PPMSのサンプルバックやユーザーが独自に作成したサンプルバックを使用することが可能です。既にCAN通信を採用しているPPMSのオプションも使用可能です。



## 比熱測定（熱容量）P650, D/V655

比熱測定は、試料の格子特性、電気特性、磁気特性に関する情報を得ることができます。特に、低温での比熱測定は、試料内部の電子状態および磁気的な状態の情報を得る事ができるので、理論と実験の比較を行うことができます。抵抗率などの電気伝導測定はかなり一般的である一方、比熱測定の場合と比べて、実験と理論の結び付きは必ずしも明確とはいえません。また、工学的には、例えば、冷凍機・低温装置などの装置を作る為に用いられる材料は、熱的な特性を調べなければなりません。材料の比熱に関する情報は、これらの装置を設計するために必要です。

## 特徴

- 独自の2 $\tau$ 法を用いた緩和法による定量的な測定
- 3ヘリウム冷凍機、希釈冷凍機との併用可能
- PPMSのシーケンスを用い自動的に温度、磁場を変えながら測定可能

## 測定方法

比熱測定は多くの種々な測定技法がいろいろな試料サイズおよび測定精度に合わせて用いられてきました。本オプションでは、より良い測定精度と強力な分析手法を用いた緩和法を使用しています。各測定サイクル（加熱と冷却）の後、試料をのせたプラットホームの熱浴への熱緩和およびプラットホームと試料との間の熱緩和の両方を加味したモデルを用い、プラットホームの全温度応答に対してフィッティングしています。試料とプラットホームの熱接触が悪い場合には、プラットホームと試料との熱緩和の影響を考慮しなければなりません。この影響をモデル化することで、ある程度熱接触が悪くても、ソフトウェアは正確な比熱の値を得る事ができます。この手法は2 $\tau$ 法と呼ばれ、定量的な測定を可能とします。

## 操作性

比熱測定オプションも他のPPMS測定オプションと同様に、温度や磁場を変化させながらデータを自動的に収集するようにシーケンスを作ることができます。ソフトウェアは、関連するすべての情報と比熱の値を自動的にファイルに書き込みます。測定誤差は、試料の比熱測定ごとに自動的に計算されます。また、システムの温度・磁場範囲で使用する事ができます。さらに、3ヘリウム冷凍機と併用する事で最低温度0.4K、希釈冷凍機と併用する事で最低温度50mKまでの測定を行う事ができます。付属のソフトウェアには温度計校正ルーチンが入っています。このルーチンはPPMSのシステム温度計（3ヘリウム冷凍機や希釈冷凍機と併用する場合には、各々のプローブの温度計）を使用して、比熱測定用サンプルバックについている温度計の校正や、プラットホームヒーターの抵抗の校正を行います。従って、ユーザー自身で校正を行うことができます。また、ソフトウェアではデュアルスローブ解析方法を用いて各測定点で

の緩和過程の比熱を解析することでより詳細な比熱の温度依存性を得ることができます。

## 高真空オプション

試料空間で断熱を取る為に高真空オプションが必要になります。スタンダードなPPMSでは別途クライオポンプを用意する必要があります。DynaCoolやVersaLabは、クライオポンプが標準でシステムに組み込まれています。

## スペック

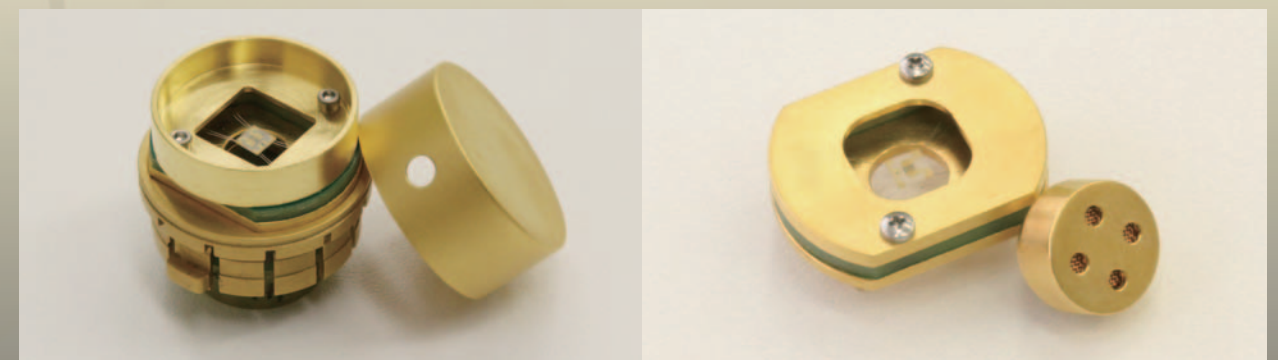
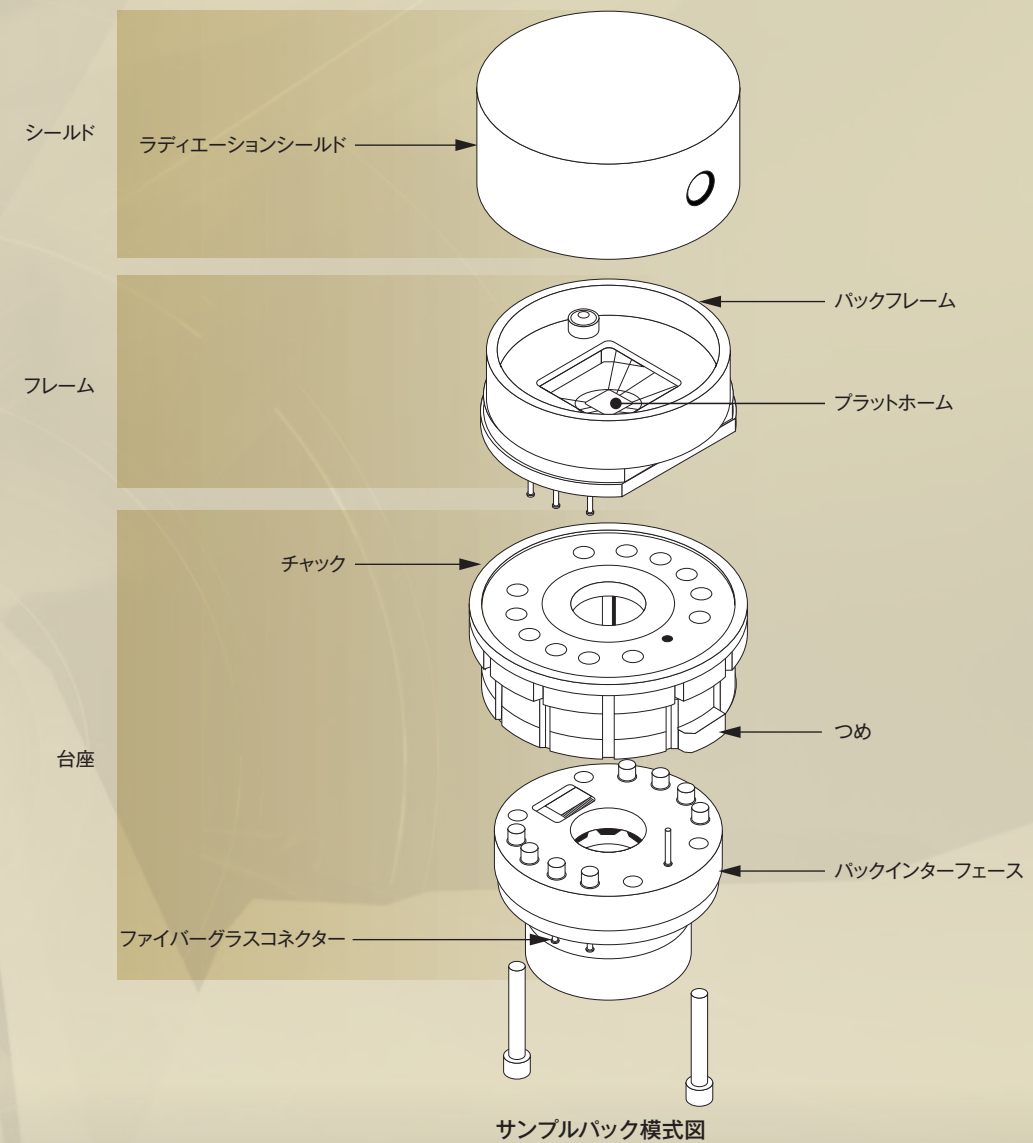
測定温度範囲	1.9K~400K
	0.4K~350K (3ヘリウム冷凍機使用時)
	50mK~4K (希釈冷凍機使用時)
試料サイズ	1mg~500mg：一般的には20mg
比熱感度	10nJ/K（2K時）
測定精度	5%（2K~300Kの場合）：一般的には2% （上記の値はアデンダ*の比熱を含みます。 300Kで約8mJ/K、2Kで約0.2 $\mu$ J/K）

\*プラットホームおよびグリースなどをアデンダとします

## 比熱測定用のサンプルバック

比熱測定用のサンプルバックは、試料をのせるプラットホームがセットされているフレームとシールド、PPMSと熱的・電氣的に接触するための台座で構成されています。

フレームにはプラットホームヒーター、プラットホーム温度計、台座にはバック温度計が含まれています。プラットホームヒーターとプラットホーム温度計は、試料をのせるプラットホームの裏側に取り付けられています。試料をのせた場合にはプラットホーム温度計が試料とプラットホームの温度を測定しています。バック温度計は熱浴として働く台座の中に埋め込まれています。8本の細い熱伝導性ワイヤ（3ヘリウム冷凍機や希釈冷凍機を使用している場合には4本になります。）がバックフレームの中央でプラットホームを機械的に支え、吊り下げています。プラットホームに不具合がある場合やワイヤが切れた場合にはバックフレームのみを取り替える事で再び使用することが可能です。



P107A 比熱マイクロカロリーメーターサンプルバック

P107E 3ヘリウム比熱マイクロカロリーメーターサンプルバック



## ■ 試料取り付けステーション

比熱を緩和法で測定する場合には、熱浴と試料近辺の熱伝導を抑えるために細いワイヤが使用されており、一般的には試料の取り付けが難しくなっています。本オプションに付属の試料取り付け専用のステーションを用いることで、簡単に試料の取り付け、取り外しが可能です。

ワイヤの破損を防ぐために、試料取り付けステーションはバックインターロックアームと簡便な真空ポンプによる吸引を使用して、サンプルバックとプラットホームを固定します。サンプルバックとプラットホームを固定することで、取り付けステーションはワイヤに応力が加わるのを防ぎます。インターロックアームがチャックに収まっているときには、インターロックアームはサンプルバックを締め付けて固定します。プラットホームホルダの開閉部はホースバルブを通して、プラットホームを下方に吸引して所定の位置に保持します。プラットホームホルダの開閉部脇の4つの段差は、プラットホームを横方向に動かないように固定しています。

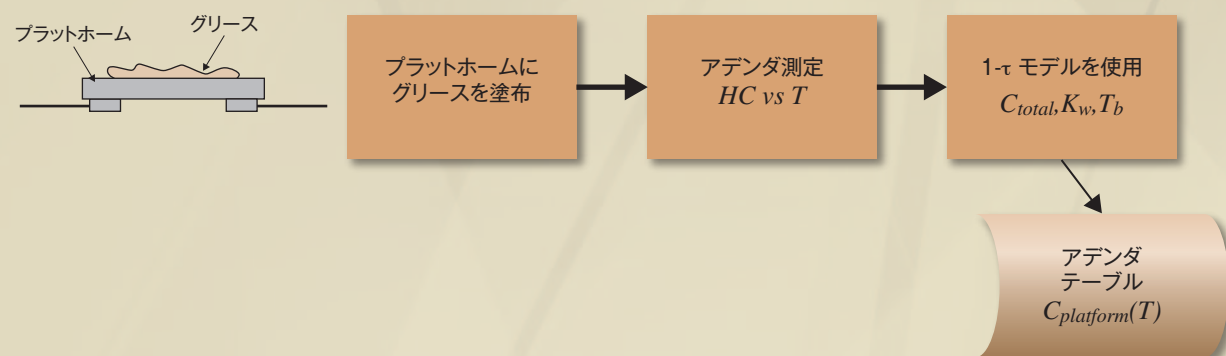


比熱測定用試料取り付けステーション

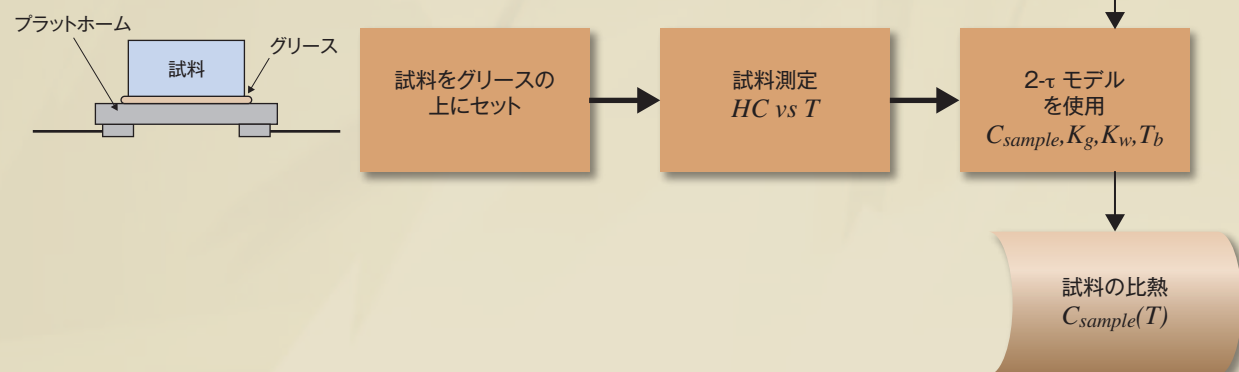
## ■ 測定の流れ

試料の比熱測定は、以下の手順で行います。まず、サンプルバックに取り付けられている温度計、ヒーターの抵抗の較正を行います。比熱ソフトウェアに組み込まれているウィザードを使用する事で較正を行う事ができます。また、温度計等の低温での磁場依存性を考慮したい場合には磁場中較正を行う事ができます。較正は、測定毎に行う必要はなく、新しい温度計を使用する場合や長く期間が空いた場合に行う必要があります。次に試料を取り付ける為のグリースを塗った後、試料以外の比熱を測定してアデンダのデータとします。試料の比熱を測定する際にアデンダのテーブルを指定することで、ソフトウェアが自動的に差し引きを行い、試料の比熱を計算します。

### 1. アデンダ測定



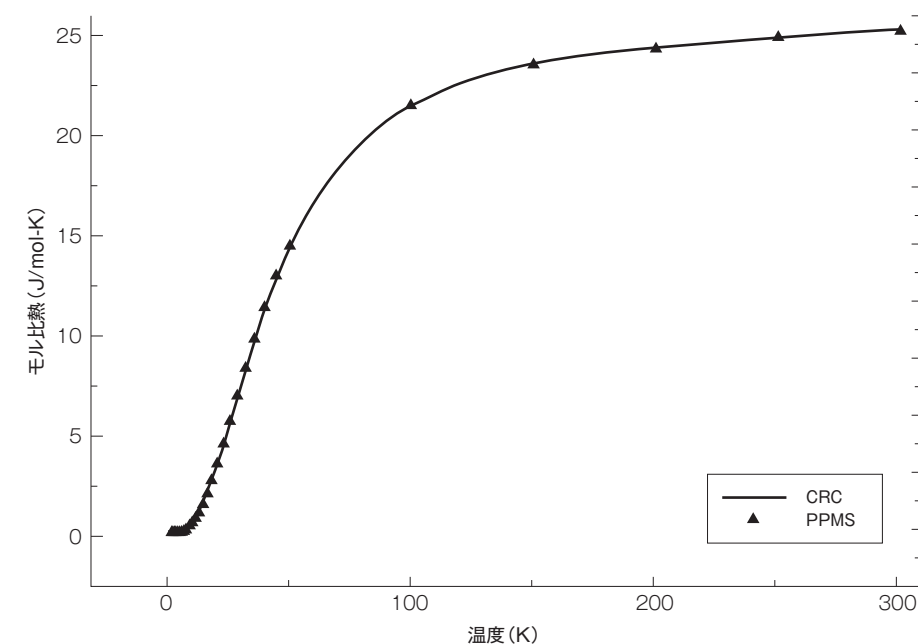
### 2. 試料測定



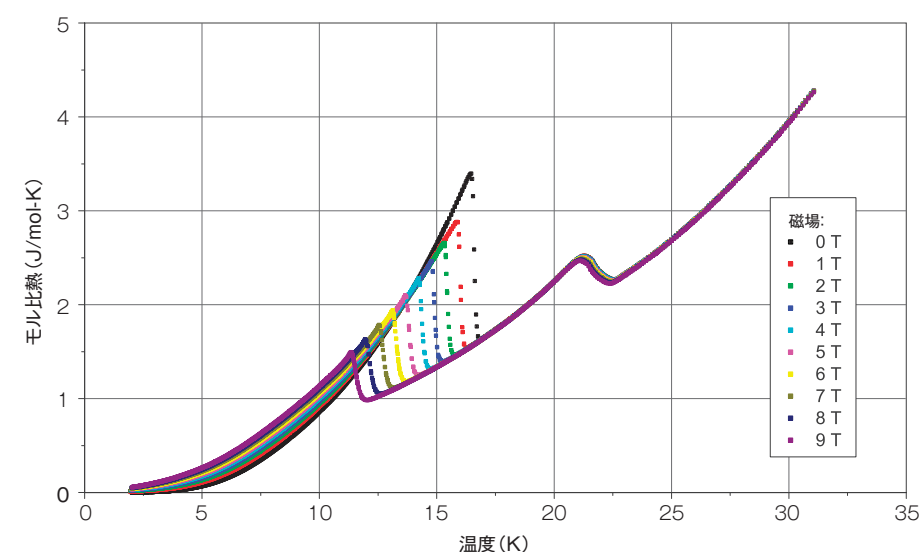
測定手順

## ■ 緩和法による比熱測定

試料の比熱を測定する方法は種々ありますが、緩和法は比較的短い時間で精度の良いデータを取得することが出来る方法です。この方法は、試料が取り付けられたプラットホームにヒートパルスを加え、プラットホームの温度の時間変化を測定し解析することで試料の比熱を得る方法です。試料及びプラットホームの温度が定常状態になるまで待つ必要がないため、比較的短い時間で測定する事ができます。PPMSで用いられている緩和法は2τモデルを用いており、プラットホームと試料の温度が一致していない場合でも解析する事ができます。



測定例 (Au)



測定例 (V<sub>3</sub>Si)

熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

熱輸送測定 P/D/V670

本オプションで行うことの出来る測定は原理的にとても簡単なものですが、なかなか商業化されてきませんでした。従来それらの測定で得られたデータはとても誤差が大きく、測定に時間がかかりました。また、簡便な方法で熱流を制御する事や、小さな温度差を正確に測定する事が難しいという問題点がありました。

本オプションは熱的特性をPPMSの温度範囲、磁場範囲で測定することが可能です。このオプションを用いて行える測定は、熱伝導率 ( $\kappa$ ) とゼーベック係数 ( $\alpha$ )、電気抵抗率 ( $\rho$ ) です。また、これらのデータから熱電性能指数 (ZT) を求めることができます。

特徴

- 熱的緩和過程を使用した熱伝導率、ゼーベック係数の測定
- 測定中の温度変化や熱放射、その他システムの誤差の影響を考慮した解析方法
- 同時に熱伝導率、ゼーベック係数、電気抵抗の測定および熱電性能指数の算出

測定方法

形状 (断面積等) の分かっている試料上の温度勾配の時間変化を測定することで熱伝導率 (または熱を伝導する物質の能力) を求めます。また、温度降下に伴って発生する電圧降下のような熱電ゼーベック効果も測定します。ヒートパルスを試料の一端に加えた時に発生する温度降下と電圧降下の両方をモニタリングする事によって、同時にこれら2つの測定を実行する事が出来ます。また、交流電気抵抗オプション (ACT) に備わっている標準的な四端子測定法を用いる事によって電気抵抗率 ( $\rho$ ) も測定する事が出来ます。これら3つの測定値から、熱電材料を研究している場合に重要となる熱電性能指数 ( $ZT = \alpha^2 T / \kappa \rho$ ) が算出されます。

測定の簡便性

今までの熱測定の複雑性を大幅に低減しました。簡便な試料の取り付け方法を実現し、小型で高精度な温度計と洗練されたソフトウェアを使用しています。ソフトウェアは、試料中を流れる熱流と発生する熱損失を考慮した動的モデルを使用しています。高真空オプション付きのPPMSは独自に設計された熱輸送測定の為に理想的な環境を実現しています。ACTオプションは試料ヒーターへ電力の供給を行いまた、試料の電気抵抗の測定を行っています。(CANタイプの熱輸送測定は、直流抵抗オプションやACTオプションは必要ありません。熱輸送測定専用のモジュールが供給されます。)

温度計とヒーターの較正

ソフトウェアには温度計やヒーターを較正するための機能があります。この機能はPPMSのシステム温度計を使用して、本オプションで使用される温度計やヒーターの温度特性を測定し自動的に較正ファイルを作成します。従って、ユーザー自身で較正を行うことができます。

スペック

一般的な測定精度

熱伝導率	±5%
------	-----

※ただし、最高精度は以下に準じます

15K以下	±2 $\mu$ W/K
200K以下	±20 $\mu$ W/K
300K以下	±0.5mW/K
300K以上	±1mW/K

熱伝導率測定可能範囲予想値

1.9K	10 $\mu$ W/K~1mW/K
50K	0.1mW/K~10mW/K
300K	1mW/K~10mW/K
400K	1mW/K~25mW/K

試料形状と熱伝導率の測定可能範囲300K

熱伝導率 $\kappa$	0.1W/m $\cdot$ K~2.5W/m $\cdot$ K (試料形状: 2.5mm $\times$ 5mm $\times$ 5mm)
	2W/m $\cdot$ K~50 W/m $\cdot$ K (試料形状: 8mm $\times$ 2mm $\times$ 2mm)
	10W/m $\cdot$ K~250W/m $\cdot$ K (試料形状: 10mm $\times$ 1mm $\times$ 1mm)

※熱伝導率の測定可能範囲は、試料・取り付けるリード等の比熱・熱的なコンタクトに依存するため、試料の種類によって異なります

ゼーベック係数

電圧

±5%

※ただし、最高精度は以下に準じます (±2  $\mu$ V以上、±0.5  $\mu$ V/K以上)

電気抵抗率平均時間 1 秒の場合

9 T磁場中	±1m $\Omega$
14T磁場中	±3m $\Omega$
最大印加電流	200mA

熱電性能指数

±15%

※最高測定温度は390Kです

PPMS

DYNACOOl

VERSALAB

熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

熱輸送測定 of サンプルパックとシュー

熱伝導率の測定のためには、試料に2つの温度計と1つのヒーターを取り付ける必要があります。試料への取り付けを簡便に行うために、コネクタに配線されたシューと呼ばれるパーツを3つ使用します。そのうち2つが温度計のついたシュー (温度計シュー) で、もう1つがヒーターのついたシュー (ヒーターシュー) です。試料にはリード (試料と熱的、電氣的に接触をとるためのパーツ) をあらかじめ取り付けおき、リードを伝わって熱的・電氣的に接触をとります。また、シューはサンプルバックにも接続されます。シューのサンプルバックへの接続側はソケットがついています。

温度計シューには、温度計の抵抗を測定するための配線の他に試料の電圧を測定するための配線がついています。ヒーターシューにはヒーターに電流を流すための配線の他に試料へ電流を流すための配線がついています。試料の一端はサンプルバックのコールドフットと呼ばれる箇所に取り付けられます。コールドフットは熱や電流が抜けるように設計されています。これらのパーツを用いることで、熱伝導と電気特性を同時に測定できます。

ラディエーションシールド

ラディエーションシールド

温度計シュー (HOT)

試料 (Ni)

温度計シュー (COLD)

コールドフット

サンプルバック概要

試料取り付けステーション

サンプルバックとシュー

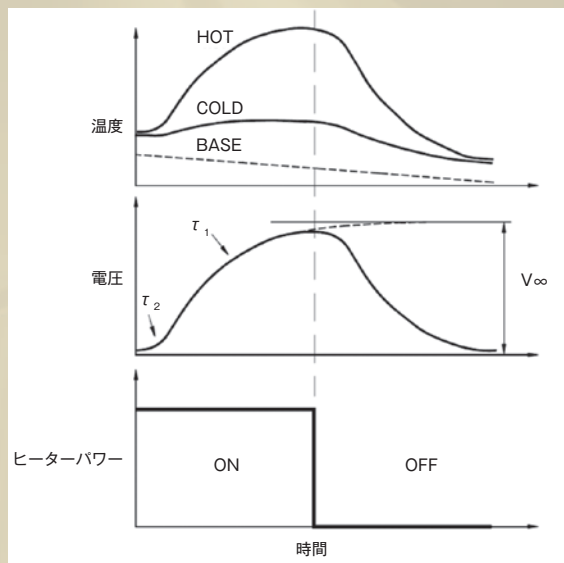
22Option

Option23

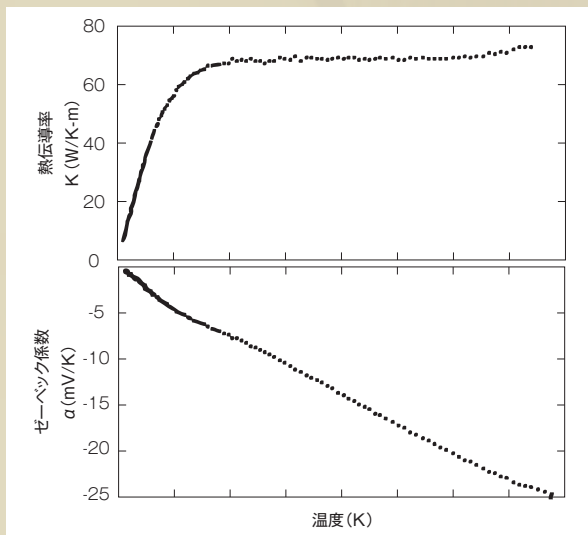


## ■ 連続測定モード

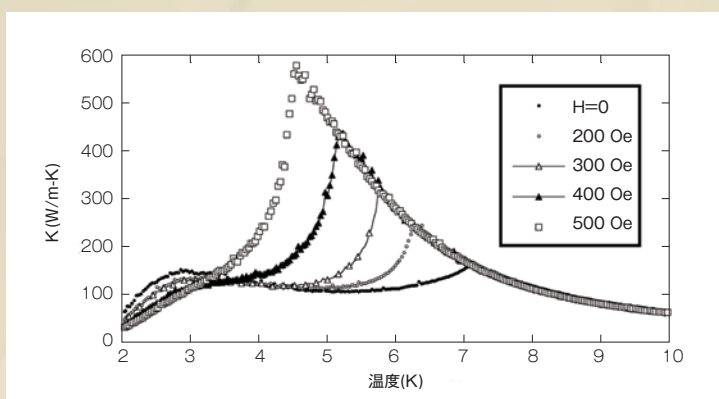
このオプションは主に連続測定モードを使用します。連続測定モードでは、熱伝導率やゼーベック係数、電気抵抗を連続的かつ同時に測定します。この為、ソフトウェアはヒーターパワーや測定時間などのパラメータを測定値に合わせて最適化しています。この方法を用い、かつ、温度や磁場等の環境パラメータをゆっくりと変化させる事により、最適化されたパラメータを用いつつ測定を行う為の前準備の時間を省くことができます。一点一点パラメータを最適化しながら測定を行う場合に比べて迅速にデータを得ることが出来ます。また、ソフトウェアは比較的短い（典型的な場合には数分程度）熱パルスに対する応答から定常状態の熱的特性を決定する曲線適合アルゴリズムを使用しています。



測定時の温度変化



測定例（ニッケル201 標準試料）



測定例（パラジウム）

## ■ 熱伝導率測定

2つの温度計シユーの間に温度差を付ける為に、ヒーターシユーから試料に熱を加える事で熱伝導率の測定を行っています。独自の解析方法により低周波の方形波のヒートパルスに対する試料の熱的な反応をモデル化し解析しています。その後、加えられた熱量と得られた結果である $\Delta T$ 、試料の寸法から熱伝導率を計算することが出来ます。

## ■ ゼーベック係数

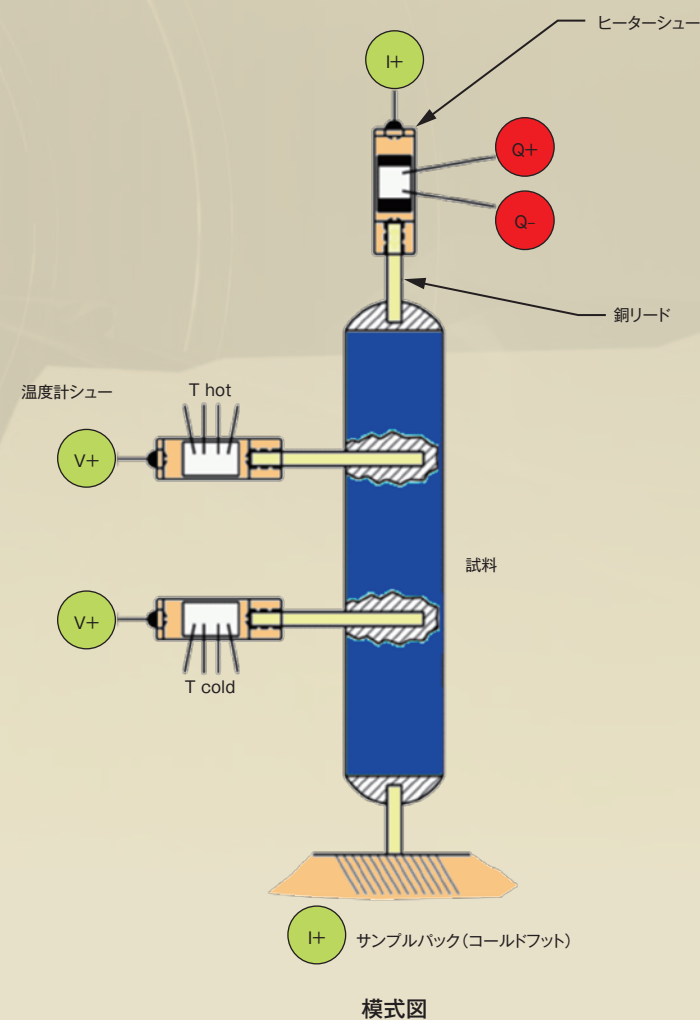
熱輸送測定はゼーベック係数（熱電能）を決定するために熱伝導率の測定と同様に2つの温度計シユーの間の温度差を測定しています。また、同時に温度計シユーの間に発生した電圧降下も測定しています。温度計シユーに追加された電圧測定用リードは低ノイズアンプにつながっています。

## ■ 熱電性能指数（メリット係数）

無次元の熱電性能指数は、測定された熱伝導率、ゼーベック係数、電気抵抗率から単純に $ZT = \alpha^2 \tau / \kappa \rho$ として求められます。

## ■ 使用している熱的、電気的回路

熱輸送測定のサンプルバックに対する熱的および電気的な配線を模式図に示しています。図では解り易くするために、試料は4端子法で付けられています。実際の測定は2端子法を用いることもできます。図中には試料、試料にリードを取り付ける為のエポキシ樹脂、銅製のリード、リードを固定するためのネジがついたヒーターシユーと温度計シユーの4つの基本的な要素が示されています。熱伝導率、ゼーベック係数を測定するために、ヒーターから熱が試料の一端に加えられます。 $T_{hot}$ と $T_{cold}$ の温度が温度計シユーによって測定されます。また、同時にゼーベック電圧もモニターしています。熱は試料を通してコールドフットと呼ばれる場所から抜けます。ヒートパルスを加えている間の $\Delta T$ と $\Delta V$ の時間変化がP.24の温度変化中のグラフに示されています。電気抵抗は試料にヒートパルスを加える前後に測定されます。この時、電流は試料を流れ、試料中の電圧降下をモニターしています。



模式図



熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

## 電気輸送特性 P/D/V605

高抵抗および微分抵抗に対応した新しい電気輸送特性評価オプションです。このオプションには独立した2つのチャンネルが用意されています。メインの測定モードでは、交流の印加電流ソースとデジタルロックイン電圧検出システムを用いて、4端子法の電気抵抗や数MΩの試料でホール効果測定を行うことが可能です。また、IV測定やdV/dI測定も可能です。

### 特徴

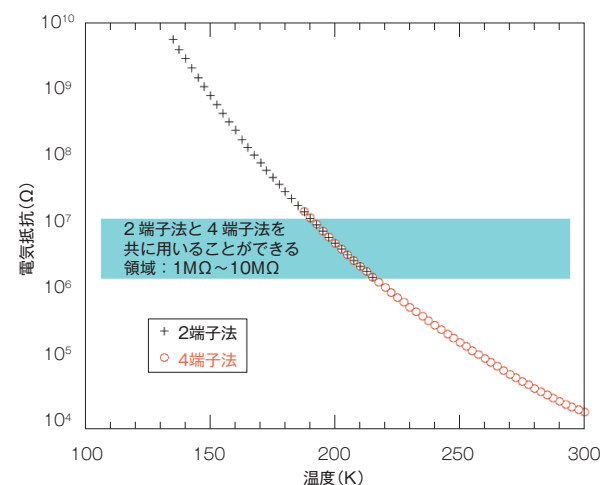
- 5GΩまでに高抵抗の測定が可能
- 微分抵抗と微分伝導度の測定
- 3ヘリウム冷凍機、希釈冷凍機、試料回転機構との併用可能

### 測定方法

高インピーダンスモードでは交流の電圧ソースとナノアンペアレベルの電流計を用いて、2端子法での測定により最大5GΩまでの抵抗の測定を可能とします。

微分抵抗測定モードでは、直流バイアス電流を交流信号と重ね合わせることで、電流と電圧の関係が線形でない試料の微分抵抗 (dV/dI) を測定します。高インピーダンスモードでは交流と直流電圧を印加し、得られる電流を検出する、微分伝導度 (dI/dV) の測定となります。

本オプションでは独立した二組のソースと検出回路を用いることで、独立した2つの測定チャンネルを用いることができます。この機能は試料への電流印加のON・OFFを頻繁に変更する必要性をなくしました。特に印加電流を頻繁にON・OFFすべきではない希釈冷凍機では重要な機能となります。サンプルバックは直流抵抗オプションと共通です。



2端子法と4端子法を用いた  
10kΩサーミスター試料の温度依存性

### 必要な装置環境

本オプションはCANベースのオプションです。DynaCoolとVersaLabではETOモジュールの追加のみで使用可能です。PPMSではModel1000モジュールコントロールシステムが必要です。本オプションは希釈冷凍機、3ヘリウム冷凍機や、試料回転機構との組み合わせが可能です。

### スペック

電流ソーススペック

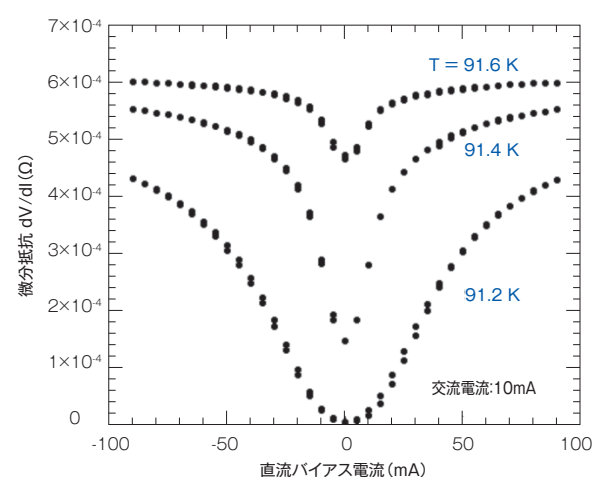
電流範囲	10nA~100mA
周波数	0.1Hz~200Hz

※測定の際はいくつかの特定の周波数から選択して使用いただくことになります

電気抵抗スペック

測定抵抗範囲	最少測定値から10MΩ (4端子モード) 2MΩ~5GΩ (2端子モード)
絶対値精度	0.1% [typical for R<200kΩ] 0.2% [max for R<200kΩ]
相対感度	±10nΩRMS (typical)

※希釈冷凍機や3ヘリウム冷凍機では電流は20mAまでに限定されます



高温超伝導体YBCOの微分抵抗 (dV/dI)  
対バイアス電流の測定例

熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

## 直流抵抗 P400, D/V410

抵抗測定のための4つの電極 (I+, I-, V+, V-) が3チャンネル用意されており、3チャンネルそれぞれで4端子法での抵抗測定が可能です。PPMSシステムでは標準で装備されており、購入直後から抵抗測定が行えます。

### 特徴

- MultiVuソフトウェアにより、測定が可能
- 同時に3つの試料を測定可能
- 3ヘリウム冷凍機、試料回転機構との併用可能

### 測定方法

抵抗測定用の試料は本オプションに含まれるサンプルバックやDC抵抗サンプルバックにマウントします。抵抗測定サンプルバックはそれぞれのチャンネルに、一般的な方法で試料へ配線をするための4つの電極パッド (I+, I-, V+, V-) が用意されています。DC抵抗測定サンプルバックでは最大3つの試料をのせることができ、同時に最大3試料を測定することが可能です。

4つの端子を試料へ取り付け、電流反転しながら測定することで熱起電力の寄与を取り除くことができます。4端子測定では電流は2つの電流端子を通して試料へ流れます。そして2つの別の電圧端子が試料間の電位差を測定します。電圧計はインピーダンスが高く、電圧端子間にはほとんど電流が流れません。そのため4端子測定を用いることで、高い精度で電流と電圧差を知ることができ、オームの法則によって抵抗が計算されます。

PPMSではユーザーブリッジボードと呼ばれる可変抵抗ブリッジボードがModel6000コントローラ内に内蔵されており、DynaCool、VersaLab (CANバージョン) ではBRTモジュールがCANスロットに追加されます。

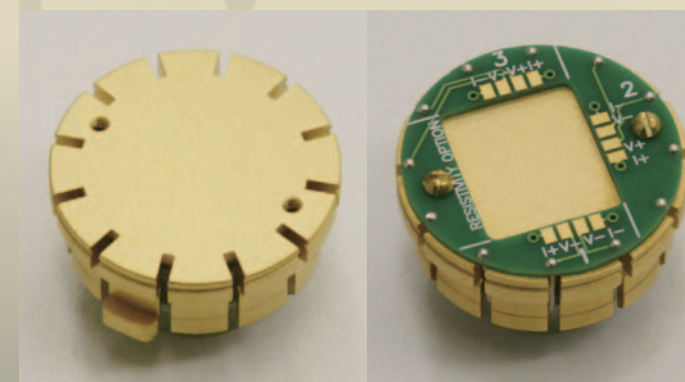
### 制御ソフトウェア

本オプションのソフトウェアはMultiVuと呼ばれるアプリケーションソフトウェアに組み込まれています。MultiVuではシーケンスと呼ばれる測定プログラムを簡単に作成することができ、抵抗の温度依存性や磁場依存性を全自動で測定することが可能です。このオプションでは $10^{-3}\Omega$ から4MΩ程度の抵抗を測定するのに適しています。

### スペック

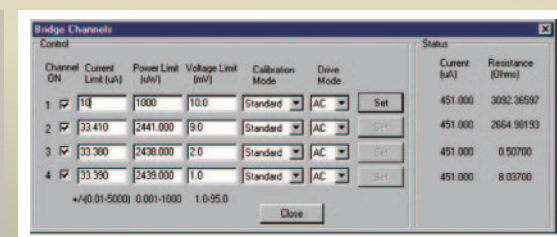
電流リミット	±5nA~5mA (CANバージョンでは±2nA~8mA)
電力リミット	0.001μW~1000μW
電圧リミット	1mV~95mV (CANバージョンでは1mV~4.0V)
測定感度	約20nV

※電流反転モードでは矩形波 (周波数はPPMSで約8Hz, CANバージョンでは10Hz) の電流を印加します



P101 サンプルバック

P102 DC抵抗サンプルバック



MultiVuソフトウェアのブリッジチャンネル  
ダイアログボックス  
(写真はPPMS用直流抵抗)



## 試料振動型磁力計 (VSM) P/D/V525

感度が高く、測定速度が速いDC磁力計です。磁場の安定を待たずに磁場を掃引しながら測定可能なため、M-H測定が短時間で行えます。また、試料の形状に合わせて石英タイプと真鍮タイプの2種類のサンプルホルダーをご用意しております。オプションとして、大きな試料に対応可能なラージボア検出コイル、1000Kまでの温度領域を可能とするオープン、残留磁場を0.1Gaussまで低減させる超低磁場オプションをご用意しております。

### 特徴

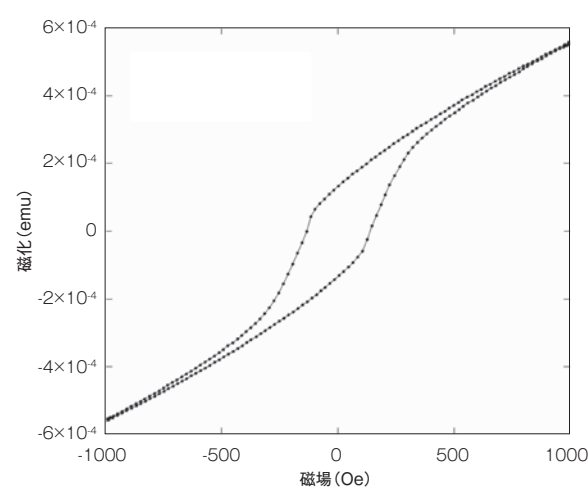
- 全自動による高感度磁化測定 ( $10^{-6}$  emu)
- リニアモータを使用した高精度な駆動部
- 磁場を変化させながら高速測定可能

### 測定方法

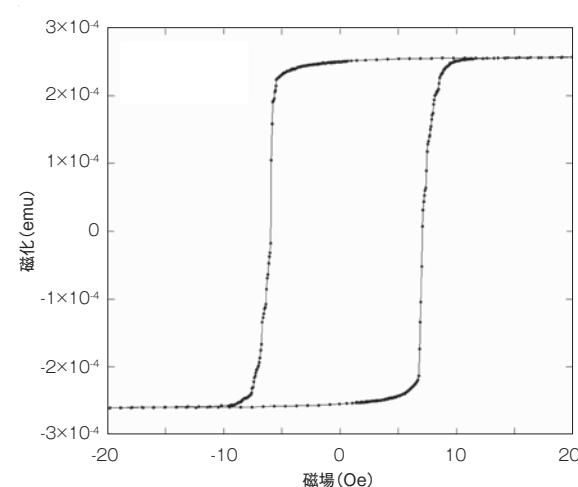
試料を付けたサンプルホルダーをVSMサンプルロッドの先端に取り付け、検出コイル内で試料を振動させ、その振動と同調した誘導電圧を検出することで試料の磁化を測定しています。コンパクトなグラジオメータ検出コイル、大きな振動幅 (1mm~3mm)、40Hzの振動周波数を用いることによって  $10^{-6}$  emu に満たない磁化の変化を検出することが可能です。

VSMリニアモータートランスポートは試料を振動させるために特別設計されたリニアモーターを内蔵しています。他社の短いストロークの共鳴型ボイスコイル (short-throw resonant voice-coil design) のVSM磁力計と異なり、VSMリニアモーターは、約6.5cmの広い可動範囲を持ち、通常1mm~3mmで40Hzでの試料の振動が可能のように設計されています。

トランスポートの多彩な動作は、VSM測定前の位置合わせを全自動で行うことを可能にし、手作業での試料位置合わせが不要です。VSMコイルの感度は大きな磁場から影響をほとんど受けず、ユーザーの所有するマグネットの最大磁場での高感度な測定を行うことができます。



Ni線の磁化曲線



NiFe薄膜の磁化曲線

### スペック

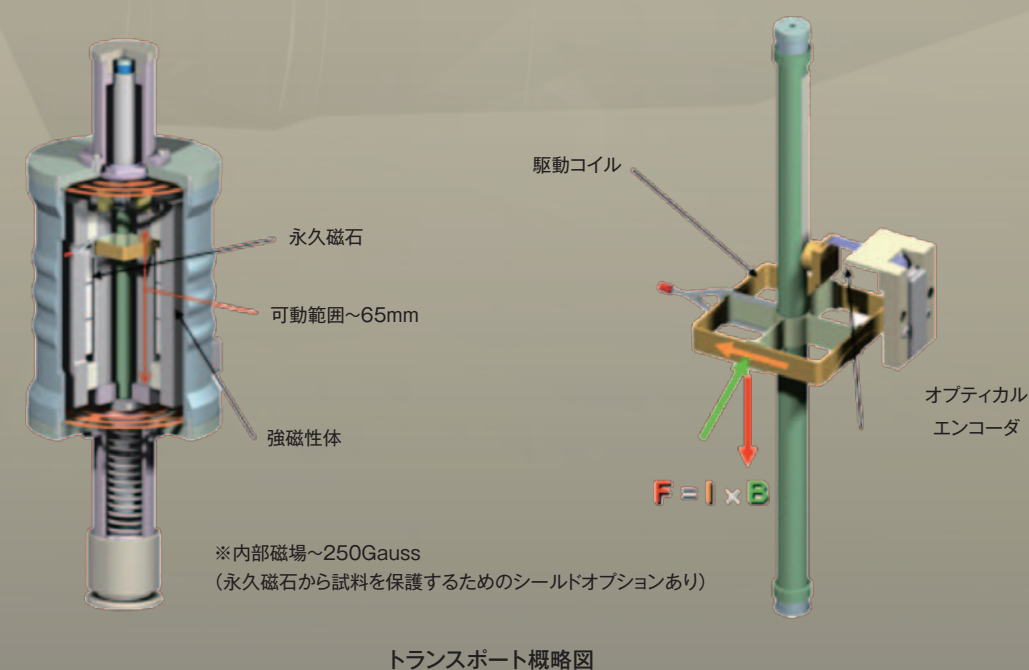
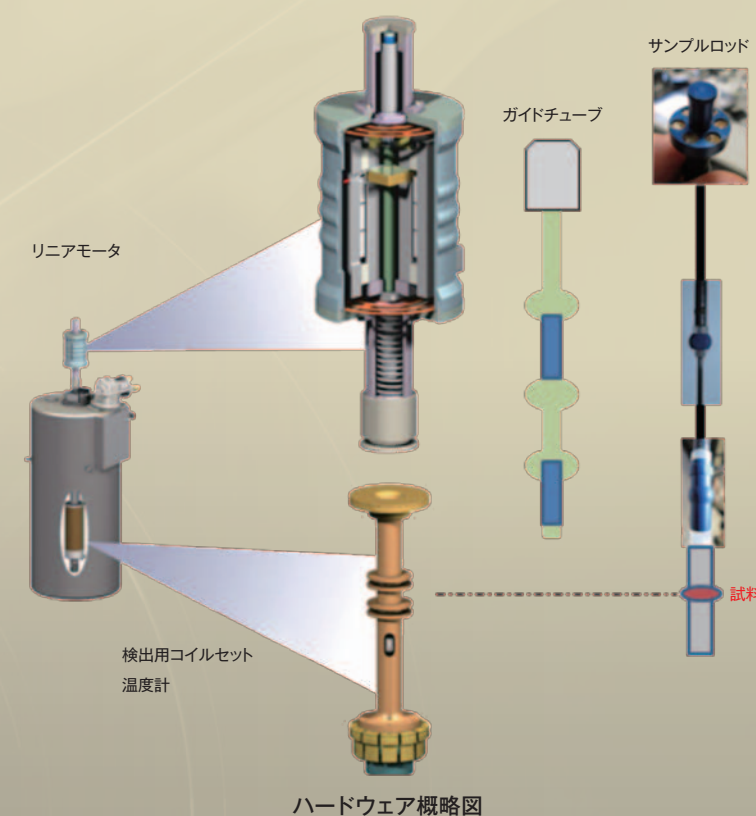
rms感度	< $10^{-6}$ emu or 0.5%
温度範囲	1.9K~400K ※VersaLabの場合は最低温度が50K
磁場範囲	最大16T ※装置のマグネット最大値
VSM振動周波数	40Hz
VSM振動振幅	通常2mm (0.1mm~5mm)
データ取得速度と平均時間	通常1秒 (0.5秒~750秒)
コイル内径	6.3mm (スタンダードコイル)
試料重量	1g以下 (通常)

### ラージボア

rms感度	< $1.5 \times 10^{-6}$ emu/ $\sqrt{\text{Hz}}$
コイル内径	12.0mm
試料重量	2g以下 (通常)

### 構成内訳

試料を振動させるためのVSMリニアモータートランスポート、検出用コイルセット、ガイドチューブ、リニアモーターの制御や検出コイルからの信号を検出するためのエレクトロニクス、そして測定を自動的に制御するためのソフトウェアで構成されています。実際の測定の際には、試料をサンプルホルダーに取り付け、そのサンプルホルダーをサンプルロッドに取り付けます。



トランスポート概略図



## ■ VSMサンプルホルダー

極低温・磁場中での測定時でもバックグラウンドの影響が少なくなるように設計されています。

試料振動型磁力計 (VSM) には、真鍮タイプと石英タイプの2種類のサンプルホルダーが標準で付属しています。

真鍮タイプはコの字型になっており、バルクサンプルなどを挟みこんで試料を取付け、カプトンテープや石英ブレースを用いて試料を固定します。

石英タイプは、試料の設置面がフラットな半円状のホルダーになっており、ワニスやカプトンテープ等を用いて試料を固定します。

また、粉末ホルダーが取り付けられる大きさとなっています。ラージボア用の薄膜試料専用ホルダー (基板サイズ: 9mm×9mm) もご用意しております。



P125A VSMサンプルホルダー (真鍮ハーフチューブタイプ)



P125B VSMサンプルホルダー (石英タイプ)



P125C VSMラージボア用ホルダー (真鍮ハーフチューブタイプ)



P125E VSM粉末ホルダー

## ■ <VSM超低磁場> P702B

超伝導マグネット内の残留磁場を大幅に低減させるオプションです。

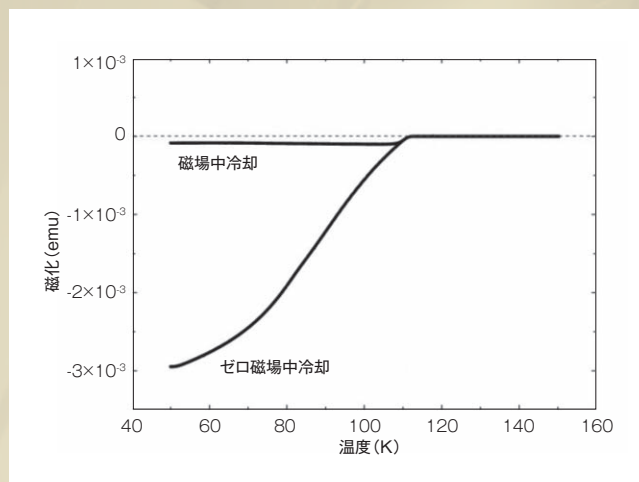
残留磁場をゼロに近づけるために、フラックスゲート (磁場センサー) およびVSMトランスポートを使用します。また、マグネットとプローブの真空ジャケットの間に特別に設計された超伝導コイルを巻いております。超伝導コイルが消磁可能な大きさの低磁場状態を作るため、まず超伝導マグネットの意図的なクエンチ (マグネットリセット機能) を行い、残留磁場を低減させます。次に試料空間の磁場は専用に設計されたフラックスゲートにより、試料空間の残留磁場の自動繰り返し測定を行い、超伝導コイルを用いて残留磁場をキャンセルします。これによりユーザーは試料空間内の磁場をゼロに近づけることができます。フラックスゲートは試料空間内の5 Oe までのプロファイルを測定可能です。

### スペック

残留磁場	0.1 Oe以下
残留磁場分布	±0.1 Oe以下 (コイルセット中心から±2cm)

※ 7T 横磁場、14T、16T マグネットのシステムでは使用できません

### 測定データ



高温超伝導体 BSCCOテープの温度依存性



4096-399 石英ブレース

## ■ <VSMオープン> P/D/V527

300Kから1000Kまでの温度範囲で高感度なDC磁化測定を提供します。本オプションは特別設計されたヒーター付きサンプルホルダーと電気フィードスルー付きVSMサンプルロッドを用いて、試料を検出コイル内で振動させます。

耐久性の高いサンプルロッドにはカーボンファイバー、サンプルホルダーにはジルコニアが使用され耐久性を高めています。VSMオープンオプションを使用するにはスタンダードVSMオプションと高真空オプションが必要となります。サンプルホルダーにバタニングされたプラチナ抵抗に電流を流すことで試料の加熱を行います。

サンプルホルダーの裏側に埋め込まれた熱電対が試料位置の温度を測定し、サンプルホルダーの上部コネクタにあるサーミスタが冷接点補正をしています。加熱される領域には試料をセットし、加熱領域からサンプルホルダー周囲への熱リークを抑えるため低放射率の銅ホイルを巻きます。VSMオープン使用中は試料空間は300Kに保持され、高真空モード (<10<sup>-4</sup>Torr) になり、サンプルホルダーだけが昇温されます。

## ■ 必要なシステム条件

VSMオプション、高真空オプション

### オープン用サンプルホルダー

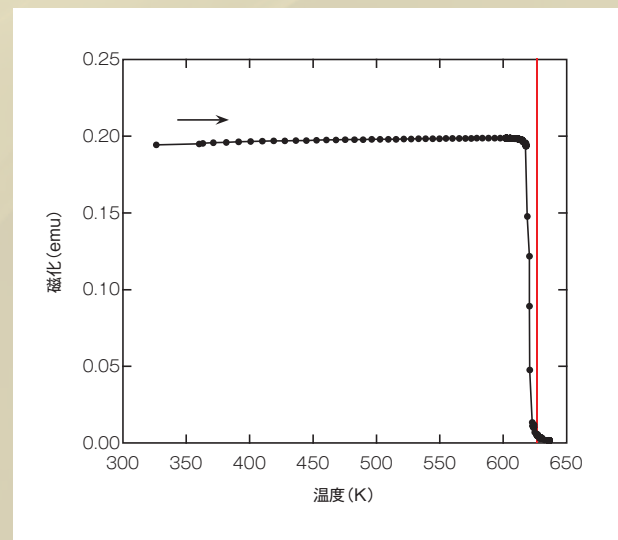


サンプルロッド上部

### スペック

温度範囲	300K~1000K
rms感度	< 1 × 10 <sup>-5</sup> emu
温度精度	2%

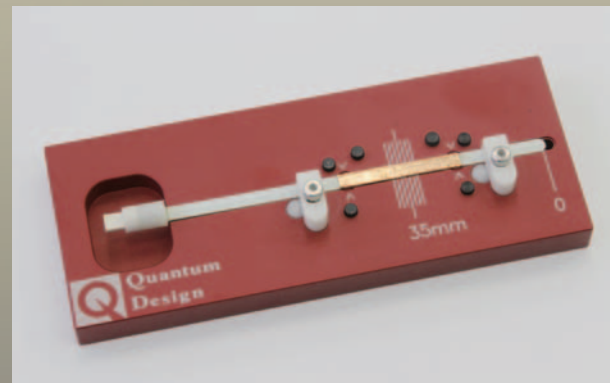
### 測定例



ニッケル標準試料のオープン測定  
(ニッケル キュリー温度627K)



ヒーターステック



VSM用試料取り付けステーション



## 磁気トルク計 P/D/V550

IBMのチューリッヒ研究所およびチューリッヒ大学と共同で開発しました。このオプションは、試料回転機構を用いて測定を行い、システムで実現できる温度範囲と磁場範囲で使用することができます。本オプションの制御コマンドはシステムのMultiVuソフトウェアを通して使用することができ、どの様なPPMSシーケンスにも組み込むことができます。

### 特徴

- PPMSのシーケンスを用い自動的に温度、磁場、角度を変えながら測定可能
- トルクレバーの自動較正により、重力の影響を低減
- トルクバーチップの交換が容易

### 動作原理

完全自動測定によって、磁気モーメント $m$ の試料が印加磁場 $B$ 内で受ける磁気トルク $\tau = m \times B$ の角度依存を測定するオプションです。試料のトルクがわかると、そのモーメントが決まります。このため、直流磁化、交流磁化測定を補う測定として用いる事ができ、物質の磁気特性を直接知ることができます。

微細加工されたシリコン製トルク・レバー・チップを用いている事が特徴です。トルク・レバー・チップは、試料をのせる部分が2本の足で浮いている構造になっており、またチップ上にピエゾ抵抗とホイートストンブリッジがパターンニングされています。このチップを電氣的に解析する事により、簡便に素早く試料のトルクを求めることができます。

### 試料サイズ

試料は重さを10mg以下、寸法を1.5mm×1.5mm×0.5mm以下にしてください。試料の量を調整することで、 $10^{-6}$ Nmを超えるトルクが発生しない様にしてください。 $10^{-6}$ Nmを超えるトルクが発生するとチップの応答が非線形になり、また、チップを破損する恐れも出てきます。

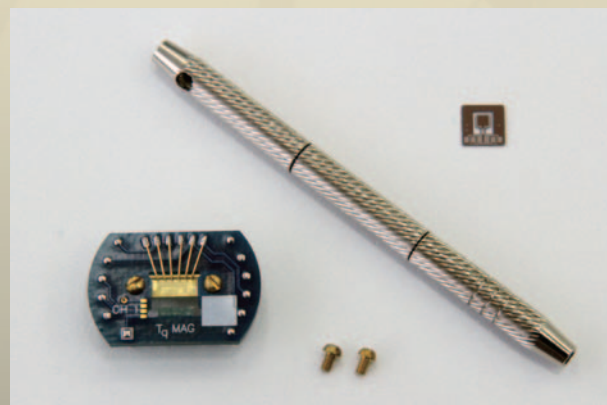
### スペック

最大試料サイズ	1.5mm×1.5mm×0.5mm
最大試料重量	約10mg
RMS ※測定ノイズレベル	$1 \times 10^{-9}$ Nm (平均時間が40秒の場合)
最大測定可能トルク	$1 \times 10^{-6}$ Nm

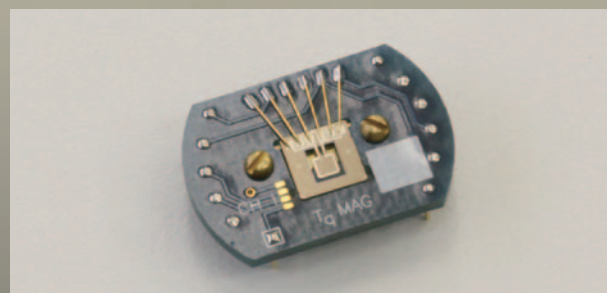
#### ラージモーメントチップ

最大試料サイズ	1.5mm×1.5mm×0.5mm
最大試料重量	約10mg
RMS測定ノイズレベル	$2 \times 10^{-9}$ Nm (平均時間が40秒の場合)
最大測定可能トルク	$1 \times 10^{-4}$ Nm

※ RMS：二乗平均平方根 (Root Mean Square)



サンプルキット



サンプルバックに取り付けられたトルク・チップ

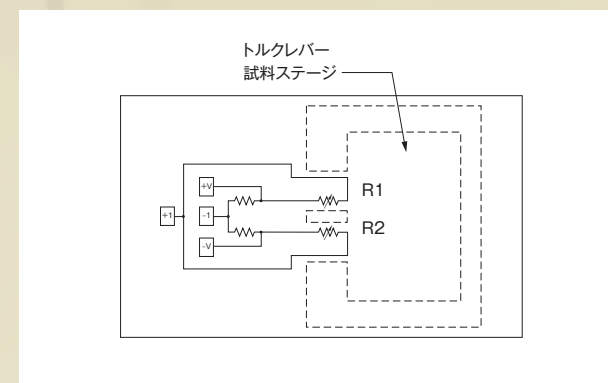
### ■ トルク・チップ

ピエゾ抵抗技術を使ってトルク・レバーの対称軸周りにレバーがねじれる(巻き付く)量を測定します。測定試料をトルク・チップに取り付け、チップは試料回転機構に取り付けられます。この状態で磁場を試料に印加すると、トルク・レバーがねじれます。装置で検出されるのはトルク・レバーのたわみではなく、ねじれなので、角度依存の測定中の重力によって誘起される擬似信号の影響は小さくなります。トルクにより高い応力のかかる場所であるトルク・レバーの足に2箇所のコンスタンタン製ピエゾ抵抗がパターンニングされています。また、ホイートストン・ブリッジがチップ上に集積されていて、高感度でピエゾ抵抗の抵抗変化を測定します。抵抗変化の原因はレバーの足、それぞれに加わる磁気トルクによって発生した機械応力です。さらにオプションのボードでホイートストン・ブリッジ全体に発生する電圧を測定します。

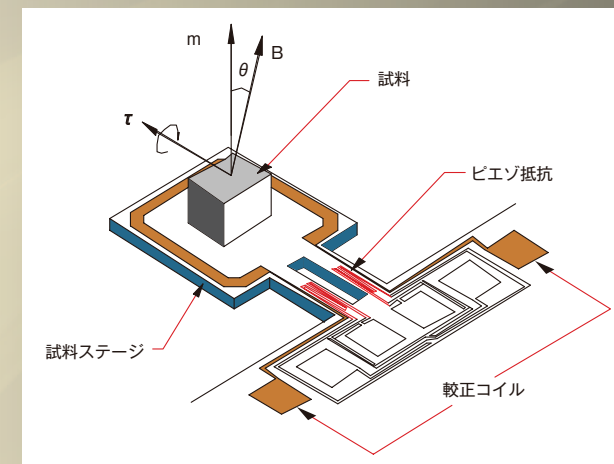
### ■ 測定原理

トルク・チップには、高感度な検出回路がホイートストン・ブリッジとして組み込んであります。ホイートストン・ブリッジは直接チップ上にあり、統合集積された構成を用いることで検出回路を分けた場合に付きまとう擬似的な効果を防ぐことができます。ホイートストン・ブリッジを使用してトルク・レバーにあるピエゾ抵抗の小さな抵抗変化を測定します。抵抗を測定する為に、ブリッジで2個の高精度抵抗と2個のピエゾ抵抗を厳密に比較するソフトウェアを用いています。高精度抵抗はピエゾ抵抗とほぼ同じ抵抗を持っています。システムの抵抗測定器の1つは、直流励起電流を交互に極性変化させてホイートストン・ブリッジを駆動し、ブリッジ内に発生する抵抗のアンバランスを測定しています。抵抗を測定することで、ピエゾ抵抗の磁気トルクによる抵抗変化を厳密に測定することができます。

ホイートストン・ブリッジの抵抗比を測定する目的は、最大の分解能と最少のノイズレベルで測定を実現することと、温度ヒステリシスと磁気抵抗効果の効果を抑えることです。抵抗比は、ブリッジのアンバランスをブリッジ全体の抵抗で割ることで求められます。抵抗測定器のもう1つはブリッジ全体の抵抗を測定するチャンネルです。測定後、アンバランス対抵抗の比にトルク係数をかけて、トルクの大きさが計算で求められます。



チップ上の回路



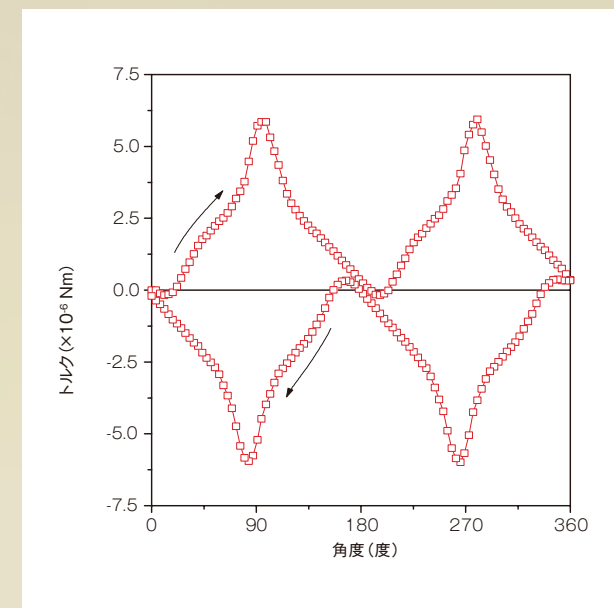
トルク原理

### ■ 較正方法

トルク・チップには、較正用コイルとして一巻の銅製コイルがパターンニングされています。このコイルは小さな電流を流すと既にわかっている磁気トルクを発生します。発生した磁気トルクはトルク・レバーのねじれとトルクとの関係を表すトルク係数を求めるために用いられます。使用する温度範囲・磁場範囲をユーザーが指定しウィザードを用いて自動的に較正を行います。

### ■ 使用方法

試料はチップのステージ上にグリースを用いて配置します。試料を配置した後、チップをプラットフォーム・ボード・アセンブリへ取り付けした後、試料回転機構に取り付けて使用します。



Bi (2212) 単結晶のトルク測定例



## 走査型プローブ顕微鏡 (SPM)

attocubeシステム社と共同で開発した、極低温、強磁場下で容易に使用できる超高性能な超小型顕微鏡です。顕微鏡がカセット式になっており、顕微鏡ヘッドのみを交換することで、原子間力顕微鏡 (AFM)、磁気力顕微鏡 (MFM)、共焦点顕微鏡 (CFM)、ホールプローブ顕微鏡 (SHPM) として使用可能です。

### 特徴

- PPMSに簡単に挿入ができ、PPMSの温度および磁場領域に対応
- 顕微鏡ヘッドの交換が容易に可能
- 温度および磁場の変化によるドリフトの影響が大幅に低減

### 測定方法

共焦点顕微鏡に極低温対応の対物レンズ、原子間力顕微鏡にはS/N比の高い光ファイバー干渉計等の先端技術を採用しています。また、顕微鏡のハウジングには高品質チタンを採用することで、極低温、高磁場下での安定性を確保し、試料のドリフトを最小限に抑えています。試料の粗動機構には、高信頼性、高精度のポジショナーが3軸使用されており、ミリメートルレベルの動作範囲をナノメートルオーダーでアプローチできます。また、システムには市販のAFM/MFMカンチレバーを容易に取り付けることが可能です。極低温 (4K) での粗動範囲は3mm×3mm×2.5mm、またスキャン範囲は12μm×12μmです。

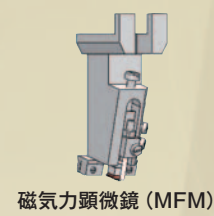
### 顕微鏡ヘッド

- |             |  |
|-------------|--|
| attoAFM lxs | 原子間力顕微鏡光ファイバー干渉計により高感度を実現<br>コンタクトモード、ノンコンタクトモード   |
| attoMFM lxs | 磁気力顕微鏡光ファイバー干渉計により高感度を実現<br>デュアルバスモード、コンスタントハイトモード |
| attoSHPM xs | 走査型ホールプローブ顕微鏡STMトラッキング、2DEGホールセンサーにより、高感度を実現       |
| attoCFM xs  | 共焦点顕微鏡光ファイバーもしくはフリービーム光学系                          |

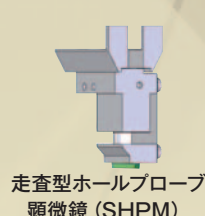
### attoAFM lxs

#### 極低温用原子間力顕微鏡

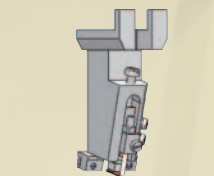
極低温下のアプリケーション用にデザインされた超小型原子間力顕微鏡です。装置は固定されたカンチレバーの下を試料を走査しながら、光ファイバーを用いた光学干渉計を用いて、カンチレバーの変位を高精度で測定します。コンタクトモード、非コンタクトモード、モジュレーションモード動作が可能であり、トポグラフィー測定、力分光学等のイメージングができます。



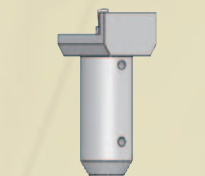
磁気力顕微鏡 (MFM)



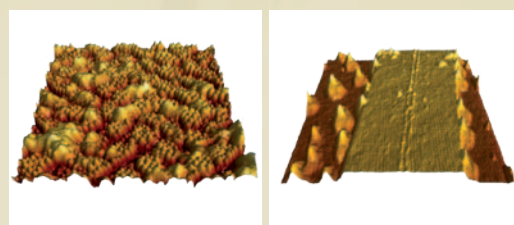
走査型ホールプローブ顕微鏡 (SHPM)



原子間力顕微鏡 (AFM)



共焦点顕微鏡 (CFM)



左図：AFMコンタクトモードによるInAsの量子ドット分子の規則格子 @4.2K

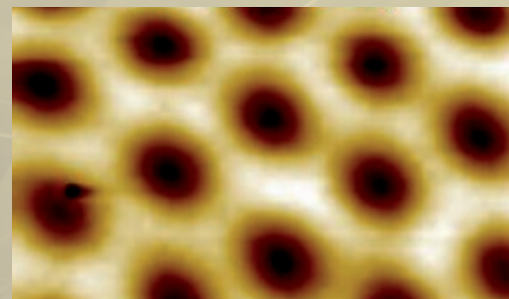
右図：Si/SiO<sub>2</sub>レイヤー (レイヤー高さ：20nm±2nm) のAFMコンタクトモードイメージ@4.2K 表面のコンタミネーション高さ：約1nm

### attoMFM xs

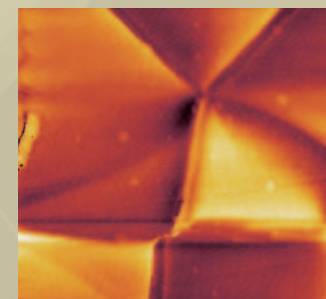
#### 極低温用磁気力顕微鏡

極低温下のアプリケーション用にデザインされた超小型磁気力顕微鏡です。原子間力顕微鏡の技術を元に、磁性カンチレバーの下におかれた試料を走査することで試料表面の磁気力勾配を測定します。光ファイバーを用いた光学干渉計により、磁気力勾配によるカンチレバーのチップの共鳴周波数 (FMモード) もしくは、位相 (AMモード) の変化を高精度に測定します。いずれのモードにおいても、チップと試料間の距離は10nm~100nm程度です。FMモードではPLL (フェイズロックループ) によりカンチレバーを共鳴周波数にて励起させます。

顕微鏡の粗動機構には3mmの動作範囲で試料の位置制御を行うxyzポジショナー、また走査用には4Kにおいて、スキャン範囲が12μm×12μmのANSxy50が使われています。MFMのカンチレバーは測定前に室温で調整しますが、温度の変化を受けにくい材料の組合せにより安定した高分解能の測定を行うことが出来ます。



左図：Bi (2212) のボルテックス格子 (4K, 45 Gauss) イメージは70nmのコンスタントハイトで測定した、MFM位相データ

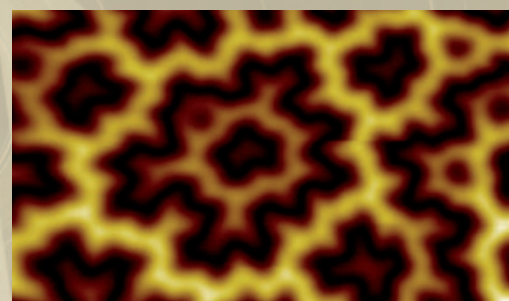


右図：300nm NiFeパッドのMFM測定による磁気構造。イメージは300K, 作動距離20nm, デュアルバスモードでの測定結果。空間分解能10.7nm, 位相コントラスト2.3°

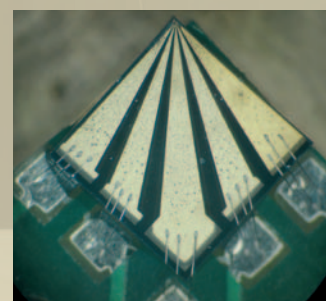
### attoSHPM xs

#### 極低温用走査型ホールプローブ顕微鏡

低温環境で動作する非常にコンパクトな走査ホールプローブ顕微鏡です。MBEにより成膜されたGaAs/AlGaAsセンサーにより、高感度な磁場測定を可能とします。ホールセンサーを試料上で走査することにより局所的な磁場を直接とらえることができます。MFMが空間分解能に優れているのに対し、SHPMは磁場の定量測定に優れています。



左図：BaFeOのSHPMイメージ。コンスタントハイトモード、4.2K カラースケール範囲：106mT (黒-白) S/N比：20μT

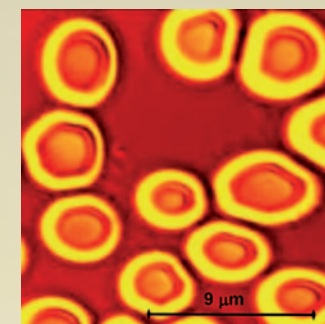


右図：MBE成長によるSHPMチップの近接写真。ホールセンサー/トンネル電流検出用配線とチップキャリアをつなぐワイヤ、ホールセンサーは感度領域が500nmの高分解能タイプと300nmの超高分解能タイプの2種類があります。

### attoCFM xs

#### 極低温用共焦点顕微鏡

極低温に対応した安定性の高い汎用性のある共焦点顕微鏡です。attoCFM xsは、室温から対物レンズまでがフリービームのタイプと光ファイバータイプの2種類があります。フリービームの場合は励起光用のポートと反射光用のポートが分かれているため、光学部品 (フィルター、偏光板等) を取り付けることができ、ラマン分光等の計測ができます。一方、光ファイバータイプはフレキシビリティは高くありませんが、安定性が高いため、量子ドットのように数週間に及ぶ長時間測定に最適です。



ガラススライド上の赤血球の共焦点イメージ ファイバーベースCFMにて反射モードで撮像



## 3ヘリウム冷凍機 P/D/825

PPMSシリーズの最低温度を0.4Kに拡張します（VersaLabを除く）。使用しないときにPPMSから切り離して配置できるように、冷凍機のプロープ、ポンピングライン、電気配線とハンドリングシステムは専用カートの中に組み込まれています。ガスハンドリングシステムは使用するガス量を少なくし、ロスが起これにくく設計されています。また、密閉されたガスハンドリングシステムは、ガスを循環する為にオイルフリーのポンプを使用しています。

### 特徴

- PPMSシリーズの最低温度を0.4Kに拡張（VersaLabを除く）
- 全自動で温度制御可能
- 電気輸送特性、直流抵抗、比熱測定との併用可能

### 温度制御

3ヘリウムを用いており、主に1.9K以下に試料を冷やす為に設計されています。しかしながら、1.9K以上の温度で測定する為に試料を付け直すことは不便な為、このシステムは0.4Kから350Kまで温度制御ができる様に設計されています。この温度範囲を実現するために3つの個別の冷却モードを使用しています。最低温度を得るための単発モード、3ヘリウム温度領域の温度制御を継続的に行う為の継続モード、室温までのシステムの温度制御を用いたモードがあります。3ヘリウム冷凍機ソフトウェアは自動的に3つの冷却モードを制御し、また必要な場合には自動的に真空オプション（DynaCoolの場合には基本システムに含まれています。）を使用します。

### スペック

設定可能温度範囲		0.4K～350K
最低温度	単発モード	0.4K
	継続モード	0.5K
冷却能力 (0.5K)		6 $\mu$ W
温度到達時間		3時間 (300K→0.5K)



3ヘリウム冷凍機外観

### 動作原理

液体3ヘリウムの貯まるポットと呼ばれる部分をポンピングする事によって0.4K以下の温度まで冷却する事ができます。このヘリウムの同位体は大気圧で3Kより僅かに高い温度で液化されます。もし液面上の圧力を数mTorrに維持し、温度の高い周囲の環境から十分断熱されている場合には気化冷却で0.4K以下に温度を下げる事ができます。

このシステムでは3ヘリウムを液化するためにPPMSの試料空間の冷却された内壁を用いています。3ヘリウムプロープの上部に取り付けられた可変速なターボ分子ポンプと裏引きのダイアフラムポンプによって冷却に必要な低圧を実現しています。

0.5K以下での連続的な冷却を行う為に、数百Torrの2Kの液化部分から非常に小さな管（インピーダンス）を通して、数mTorrにポンピングされ冷えたポットへ液体3ヘリウムを連続的に供給しています。インピーダンスを通してポットに流れ込む2Kの液体3ヘリウムは、連続的にポットに小さな熱リークを起こしています。この為、システムはポットに液体を供給しながら最低温度を得る事は出来ません。最低温度を得る為に、ガスハンドリングシステムは一度十分ポットに液体を液化した後、インピーダンスへ戻るガスの供給を停止する様にデザインされています。この単発モードでは、ポットに液体3ヘリウムを再充填するまで、0.4K以下の最低温度を一時間以上保持することが出来ます。システムのガスタンクは、単発モード時に使用する十分な液体を液化する為に必要なガスの量を貯蔵出来ます。

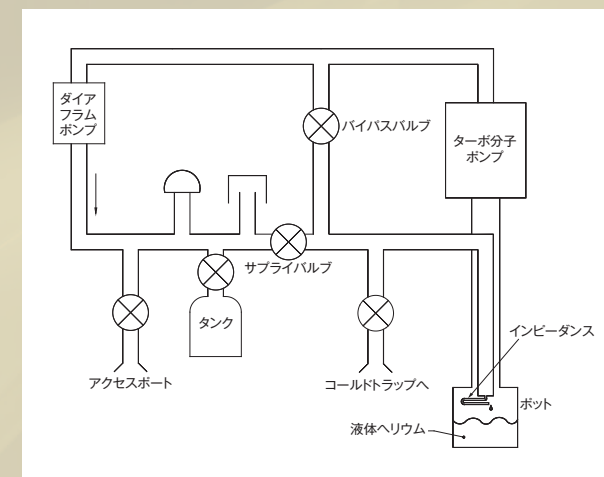
また、サンプルバックとポットの間の熱コンタクトは少し弱くしてあります。この為、サンプルバックの温度はヒーターを使用して上げる事ができ、サンプルバックに組み込まれた温度計を用いて低温で温度制御する事ができます。

### 試料の取り付け

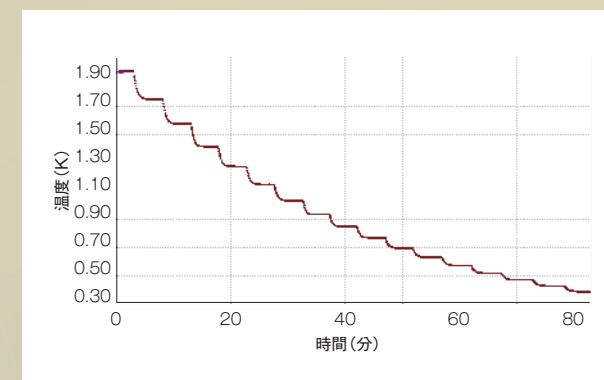
極低温用に開発された直流抵抗用サンプルバックと比熱測定用サンプルバックが用意されています。試料をサンプルバックにセットした後、サンプルバックを3ヘリウム冷凍機のプロープに取り付けます。サンプルバックには8本のメスピンが用意されており、オスピンの配置されているサンプルバックを容易に取り付けることが可能です。

### 拡張性

PPMSシリーズの直流抵抗、電気輸送特性、比熱測定と同時に使用できます。ユーザーが、一度、冷凍機のプロープに試料を取り付けてPPMSの試料空間にプロープを入れたら、温度制御は0.4Kまで自動的に行われます。この時に、新しい測定制御ソフトウェアを習得する必要はありません。



3ヘリウム冷凍機概略図



温度制御



サンプルバック



熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

## 希釈冷凍機 P/D/850

PPMSシリーズの最低温度を0.05Kに拡張します（VersaLabを除く）。本オプションは3ヘリウム冷凍機オプションと非常によく似た操作方法で用いる事ができます。冷凍機の中に3Heガスと4Heガスの混合ガスが出荷時に充填されています。

### 特徴

- PPMSシリーズの最低温度を50mKに拡張（VersaLabを除く）
- 全自動で温度制御可能
- 電気輸送特性、比熱測定との併用可能

### 温度制御

希釈冷凍機は、3Heと4Heの混合体を用いており、主に0.5K以下に試料を冷やす為に設計されています。また、このシステムは50mKから4Kまで2つの冷却モードを用いて温度制御ができる様に設計されています。

### 動作原理

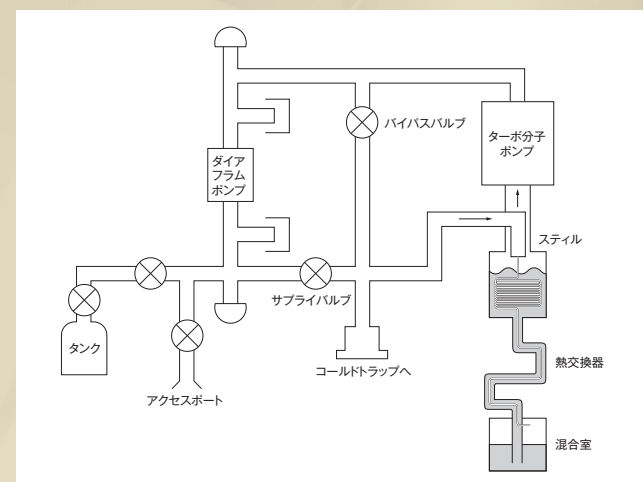
50mKまで冷却するために、3Heと4He同位体の混合ガスを使用しています。約0.87K以下で3Heと4Heの混合液体は2つの相に分かれます。一般的に1つの相は希薄相と呼ばれ、約6%の3Heを含んだ4Heで構成されています。もう一つの相は濃縮層と呼ばれ、純度の高い3Heで構成されています。2つの相の境界は界面と呼ばれます。3He分子が界面を越えて濃縮層から希釈層に移動すると液体から溶解熱が奪われ、冷却されます。

希釈冷凍機概略図の中の混合室は、上部の軽い濃縮層、下部の重い希薄相に分かれて、液体で満たされています。混合室の底とスティルは熱交換器のついた管でつながっています。希薄相はこの管を通じてスティル内に流れ込むことが可能です。ダイアフラムで裏引きされたターボ分子ポンプを用いてスティルを連続的にボンピングすると、スティルが約0.6Kに冷え、スティルの中の3He濃度が下がります。これにより浸透圧の勾配が生まれ、3Heが混合室からスティルに流れるようになります。次に混合室内希薄相の3He濃度が下がり、濃縮層から希薄相への3Heの流れが生まれます。この過程で3He原子が熱を奪い、冷凍機としての冷却能力を得ます。

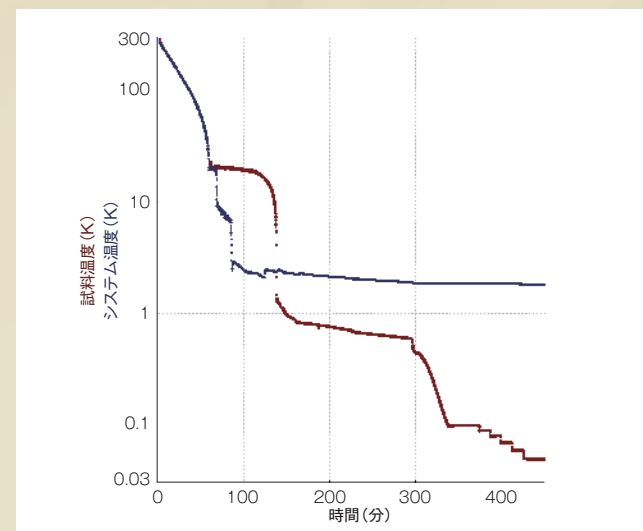
ダイアフラムポンプから排出された3Heガスは希釈冷凍機のコンデンサーに戻り、再び液化されます。PPMSの試料空間はコンデンサーを冷却する能力を備えています。液化された3Heはコンデンサーからスティル交換器にインピーダンスを通して流れ落ちます。その後、液体は熱交換器の濃縮側に流れて十分冷却され、混合室に入ります。そしてまた、3Heは再び界面を超えていきます。この様にして、3Heの経路は完全な循環経路を形成しています。この循環経路を用いることで、連続的に50mKを維持することができるシステムにデザインされています。

### スペック

設定可能温度範囲	50mK～4K
温度安定性	±0.2%
冷却能力 (100mK)	0.25 $\mu$ W
温度到達時間	8時間 (300K→100mK)



希釈冷凍機概略図



温度制御

熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

## 断熱消磁冷凍機 (ADR) P/D/ADR

PPMSシリーズの最低温度を0.1Kに拡張します（VersaLabを除く）。3ヘリウム冷凍機、希釈冷凍機と比べ、より簡単に約100mKという極低温を得る事が出来ます。100mKから1.9K（PPMS本体最低到達温度）までの電気抵抗測定が可能です。

### 特徴

- 室温から最低到達温度 (<100mK) まで約3時間
- 最低到達温度から1.9Kまで2時間で昇温
- 同時に2つの試料の測定が可能

### 動作原理

100mKの極低温を得る為には、希釈冷凍機という高価且つ大型の冷凍機を使用していましたが、本オプションではクロムミウバンを冷凍材料として用いた「磁気熱量効果」を利用し極低温を得ます。具体的にはPPMS本体を最低到達温度1.9Kまで磁場中で予備冷却を行い、本オプションを断熱状態下で消磁する事で<100mKの極低温を得ることが出来ます。

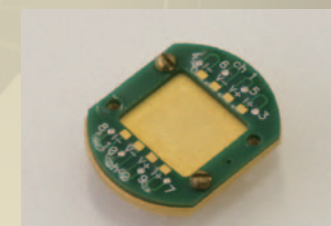
### 使用方法

サンプルバック上には2つの試料をセッティング可能で、その下部には1,000 $\Omega$ のRuO<sub>2</sub>センサーを配置しています。その試料温度は電気抵抗測定時に一緒にログファイル上にセーブされます。また、PPMS MulutiVuソフトウェア上からの自動測定が可能です。

### スペック

温度測定範囲	100mK～300K
最低温度到達時間	<3時間
試料セット数	2個 (8本配線)
保持時間	約2時間以上

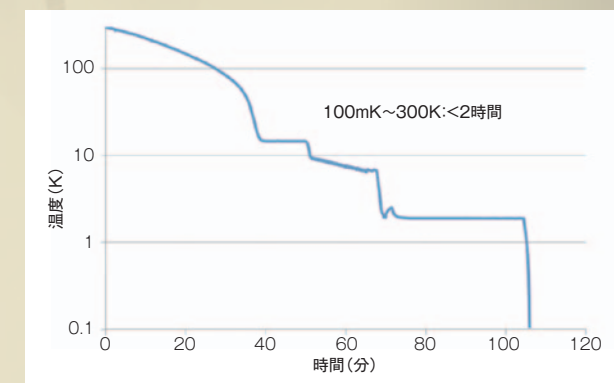
※磁場中での測定はできません



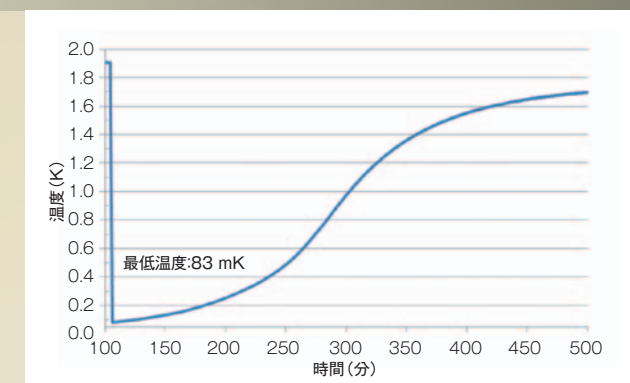
サンプルバック



オプション外観



最低到達温度変化



昇温温度変化

東北大学金属材料研究所の青木大教授の研究グループと日本カンタム・デザインにて共同で開発しました。



熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

## 試料回転機構 P/D/V310 (A,B)

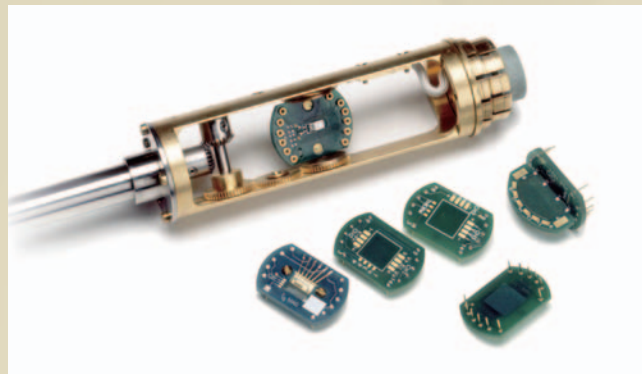
縦型超伝導マグネットの磁場に対して垂直方向の軸周りに試料を回転させることが可能です。  
本オプションには用途にあわせて特徴的な専用の試料台が用意されており、試料の取り付け・取り外しが容易です。

### 特徴

- 磁場に対する角度依存性の測定
- MultiVuソフトウェアによる自動測定
- 電気輸送特性、直流抵抗、磁気トルク計との併用可能

### 測定方法

試料空間の底の12ピンコネクタへの接続と同時に、電気的接触をとることが可能です。試料回転機構の温度制御範囲は1.9Kから400Kまでとなっており、VersaLabの場合では50Kから400Kまでとなります。試料回転機構の回転範囲は-10度から370度です。ギア同士の間隙によるふらつきを抑えるために反バックラッシュバネが内蔵されており、ギア同士が常に同じ接触を保つ働きをしています。標準ロータモーターの基本ステップ角は0.053度で、最大の回転速度は10度/秒です。高分解能モーターでは基本ステップ角は0.0045度で、最大速度は0.83度/秒です。回転部分にはジュエルベアリングが使われており回転機構の寿命を長く保持します。試料台には温度計が内蔵されており、試料に近い位置での温度を測定し、温度制御することが可能です。



試料回転機構プローブ先端部分と各種サンプルバック  
サンプルバックは裏面にピンがあり、温度計付き回転ステージへの着脱が容易です

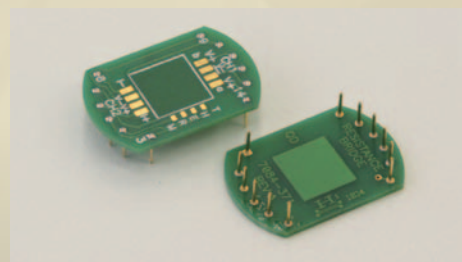
### スペック

温度範囲	1.9K~400K*
回転範囲	-10度~370度
基本ステップ角	A:標準モータ 0.053度 B:高分解能モータ 0.0045度

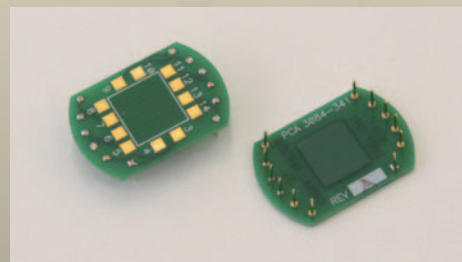
\* VersaLab の場合、最低温度は 50K となります

### 組み合わせ可能オプション

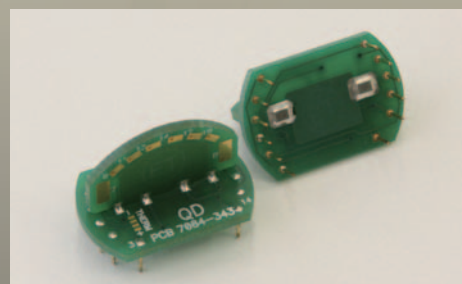
- ・電気輸送特性
- ・直流抵抗
- ・磁気トルク計



P103A 抵抗サンプルバック (試料回転機構用)



P103C ユニバーサルサンプルバック (試料回転機構用)



P103D 磁場水平サンプルバック (面内方向回転用)

熱特性

電気特性

磁気特性

表面特性

システム拡張機能

## 多機能プローブ P/D/V450 (A, B, C)

光学・マイクロ波等を用いた測定や、試料に追加の電極を必要とする測定など、ユーザーが考える様々な測定手法へプローブをカスタマイズして測定を行なうことができます。

### 特徴

- ユーザー独自のカスタマイズ
- MultiVuソフトウェアによる自動制御可能 (450A)
- 同軸ケーブルや光ファイバーケーブル等の導入が可能

### プローブヘッド

プローブ上部の八面体部分はアルミニウムから作られており簡単に加工やコネクタの追加が可能です。また、その八側面は、同軸用フィードスルーのための広いスペースが確保されています。上記に加えて、プローブ上部とバップルには軸方向の三個のポートが用意されており、ユーザーが光源用配線ケーブルや光学ファイバーケーブルやマイクロ波用ガイドを導入することが可能です。

### 450A

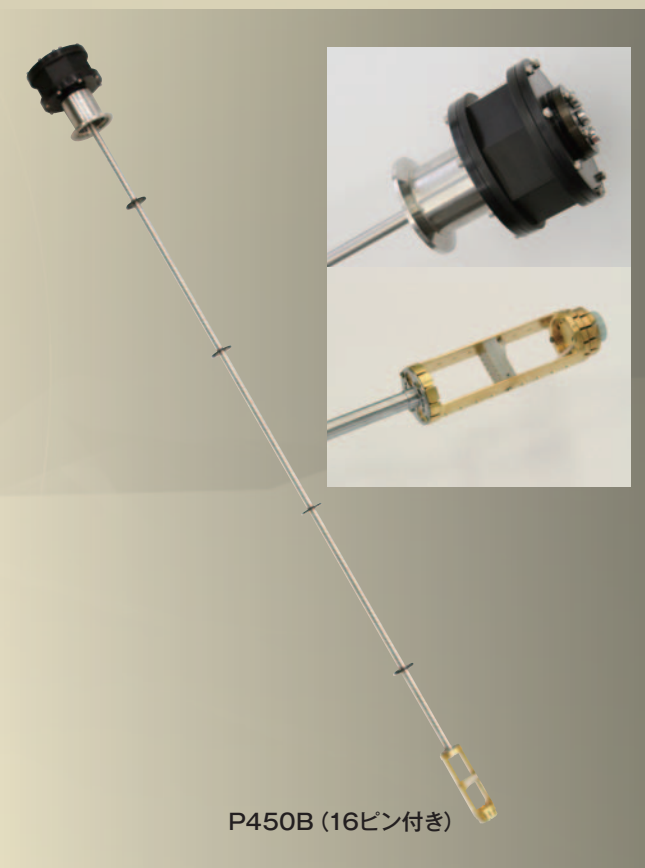
プローブ先端にバックアセンブリとハウジングを含んでいます。ハウジング内の試料ステージには較正済みの温度計が付属しており、そこへ差し込み式のサンプルバックを固定します。このサンプルバックは試料回転機構のサンプルバックと共通です。このModel450AにはP103Cユニバーサルサンプルバックが付属しています。

### 450B

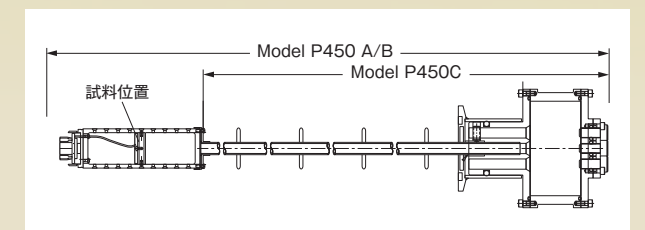
450Aに似ていますが、その試料ステージは温度計の無いスタンダード16ピンDIPソケットになっています。そのコーナーピンはすべて接地されており、残りの12ピンは底のソケットにつながっています。隣接したピンはツイストペアとして配線されており、ペアの電流端子や電圧端子は互いに向かい合わせることができます。

### 450C

プローブ上部とバップルまでの構成となっており、これはPPMSの磁場領域で、ユーザーが自身で実験パッケージを製作することを可能とします。もし試料空間底部の12ピンへの電気接触が必要であれば、サンプルバックを購入し自作のハウジングに組み込むことで接続が可能です。また外部機器はGPIBコマンドやLabviewプログラムをサポートしているPPMSを通して自動で制御することも可能です。



P450B (16ピン付き)



プローブ模式図



仕様一覧

仕様			装置	PPMS	DynaCool	VersaLab
温度制御	温度範囲	標準	1.9K~400K	1.85K~400K	50K~400K	
		オプション	VSMオープン : 300K~1000K			
			希釈冷凍機 : 0.05K~4K	—		
			3ヘリウム冷凍機 : 0.4K~350K	—		
	温度安定度		±0.02% (T>10K) 、 ±0.2% (T≤10K)	±0.02% (T>20K) 、 ±0.1% (T≤20K)	±0.02%	
	温度精度		±1% (16T)	±1% (14T)	±1% (3T)	
	温度可変速度		0.01K/分~6K/分	0.01K/分~12K/分	0.01K/分~20K/分 (※温度範囲による)	
冷却速度		120分:300K→1.9K	40分:300K→1.9K	90分:300K→50K		
磁場制御	超伝導マグネット		0T (なし) 、 ±9T、 ±14T、 ±16T、 ±7T (横)	±9T、 ±14T	±3T	
	磁場均一度		9T ±0.01% 1cm×5.5cm 14T ±0.1% 1cm×5.5cm 16T ±0.1% 1cm DSV 7T (横) ±0.1% 1cm DSV	9T ±0.01% 1cm×3cm 14T ±0.1% 1cm×5.5cm	±0.1% 1cm×2.5cm	
	磁場分解能 (高分解能/ 標準モード)		9T 0.2 Oe ( 1T以下) 2 Oe ( 9T以下) 14T 0.3 Oe ( 1.5T以下) 3 Oe ( 14T以下) 16T 0.3 Oe ( 1.5T以下) 3 Oe ( 14T以下) 7T (横) 0.2 Oe ( 0.75T以下) 2 Oe ( 7T以下)	9T 0.16 Oe 14T 0.22 Oe	0.16 Oe	
	磁場掃引速度		9T 10~190 Oe/秒 14T 8~130 Oe/秒 16T 10~220 Oe/秒 7T (横) 3~50 Oe/秒	9T 0.1~200 Oe/秒 14T 0.2~120 Oe/秒	0.1~300 Oe/秒	
	磁場制御モード		Linear, Oscillating, No Overshoot			
	試料室		内径 25.4mm (1inch)			
	デューワー容量 <sup>※1</sup>		標準 : 液体ヘリウム 30L 大容量 : 液体ヘリウム 68L 液体窒素 48L EverCoolII : 液体ヘリウム 6L	—	—	
標準仕様	電源		PPMS (標準) 単相 AC200V 20A EverCoolII ①単相 AC200V 30A ②三相 AC200V 50A パルスチューブ型再凝縮システム ①単相 AC200V 20A ②三相 AC200V 40A	①単相 AC200V 30A ②三相 AC200V 40A	①単相 AC200V 20A ②パソコン用電源 100V	
	メンテナンス		EverCoolII 冷凍機 : 20,000時間/毎 コンプレッサー : 20,000時間/毎 パルスチューブ型再凝縮システム 冷凍機 : 40,000時間/毎 コンプレッサー : 20,000時間/毎	冷凍機 : 40,000時間/毎 コンプレッサー : 20,000時間/毎	冷凍機 : 10,000時間/毎 コンプレッサー : 20,000時間/毎	
冷凍機 <sup>※2</sup>	冷凍機タイプ		EverCoolII 1.5W GM冷凍機 パルスチューブ型再凝縮システム 1W パルスチューブ冷凍機	1W パルスチューブ冷凍機	0.1W GM冷凍機	
	冷却水 (コンプレッサー用) <sup>※3</sup>		EverCoolII (水冷式の場合) 5L/分 (@28℃) パルスチューブ型再凝縮システム 9L/分 (@27℃)	9L/分 (@27℃)	不要 (空冷式)	
	初期冷却時間		30時間 (EverCoolII)	16時間 ( 9T) 40時間 (14T)	10時間	

※ 1: 14T、16T、7T (横) は別仕様  
※ 2: PPMS (標準) には含まれておりません  
※ 3: チラーを設置する場合には、冷却能力9kW以上をご用意ください

オプション適合表

仕様／オプション		Model	PPMS			EverCool II	DynaCool	VersaLab
超伝導マグネット	形状		縦型	縦型	横型	縦型	縦型	縦型
	磁場		9T	14T, 16T	7T	9T	9T, 14T	3T
比熱測定 (熱容量・HC)		P650 D/V655	●	●	●	●	●	●
熱輸送測定 (TTO)		P/D/V670	●	●	●	●	●	●
電気輸送特性 (ETO)		P/D/V605	●	●	●	●	●	●
直流抵抗 (DC)		P400 D/V410	■	■	■	■	●	●
AC磁化率／DC帯磁率測定システム (ACMS) ※1		P500	●	●※2	—	●	—	—
交流磁化測定 (ACMSII)		P/D/V505	▲	▲※2	—	▲	●	▲
試料振動型磁力計 (VSM)		P/D/V525	●	●	●	●	●	●
VSMオープン		P/D/V527	●	●	●	●	●	●
超低磁場 (ULF)		P702	●	—	—	●	—	—
磁気トルク計 (TQMAG)		P/D/V550	●	●	●	●	●	●
走査型プローブ顕微鏡 (SPM)		—	●	●	●	—	—	—
3ヘリウム冷凍機		P/D825	●	●	●	●	●	—
希釈冷凍機		P/D850	●	●	●	—	●	—
断熱消磁冷凍機 (ADR)		P/D ADR	●	●	●	●	▲	—
試料回転機構		P/D/V310	●	●	—	●	●	●
多機能プローブ (MFP)		P/D/V450	●	●	●	●	●	●
大容量液体窒素ジャケットデューワー		P925	●	■	■	—	—	—
ヘリウム再凝縮装置 (EverCoolII)		P935	●	—	—	■	—	—
パルスチューブ型ヘリウム再凝縮装置		P960	●	●	●	—	—	—

表示内容	
●	選択可能
■	標準装備
▲	開発中 ※販売予定日等は別途お問い合わせください
—	選択不可

※ 1: 2015年販売終了  
※ 2: 14Tのみ  
本仕様は予告なく変更される場合がございます。詳細条件については、ご契約時に必ずご確認ください

2014年12月現在