

仕様書

1. 件名 マルチカラー固体量子センサ材料創出・高精度計測設備

2. 数量 1 式

3. 目的

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の高崎量子技術基盤研究所（以下「Q S T 高崎」という。）では、Q S T 高崎が作る既存量子欠陥の特性の高感度化を図るとともに、新しい量子材料の創出に向けた探索研究を進めている。量子ビーム照射設備との連携により、欠陥形成・制御の新しい指針を得て、生命現象を多要素かつ高感度にとらえる次世代量子センサ材料の開発を推進するための計測基盤として本件を整備する。本件は、Q S T 高崎で作製するマルチカラー固体量子センサに対応可能な（１）波長可変レーザー対応プローブN V 磁気顕微鏡、及び（２）超低振動型クライオスタットの仕様を定めるものである。

4. 納入期限 令和9年3月31日（水）

5. 納品場所 群馬県高崎市綿貫町1233番地

高崎量子技術基盤研究所

材料科学研究棟内の指定場所

6. 装置仕様

全体仕様

- ・ 本件は（１）波長可変レーザー対応プローブN V 磁気顕微鏡、及び（２）超低振動型クライオスタットで構成され、以下にそれぞれの仕様を定める。
- ・ 図1に示すレイアウトを参考とし、装置を配置すること。
- ・ プローブN V 磁気顕微鏡に付属する波長可変レーザー及び分光器は、超低振動クライオスタットとファイバー及び自由光路にて接続されていること。光路は図1の破線を参照のこと。但し、同図は例であって、異なる光路になっても構わない。
- ・ ガス配管が必要な場合、1／4インチのスウェージロック製相当の配管・チューブ等を用いることとする。
- ・ レーザー光が漏れる可能性のある個所は遮光対策すること。
- ・ 高圧ガスは安全に固定できるようなアンカー固定したボンベ立てを備え、適切な転倒対策をすること。
- ・ レーザーの緊急停止、若しくはインターロック機構を備えること。
- ・ 防振台を覆う暗幕（3500×1900×2100以上）を備えること。
- ・ 図2のPC搭載する台（1100×700×2000以上）や椅子（4脚）を含めること。
- ・ 購入後は、1年間の無償保証を行うこと。

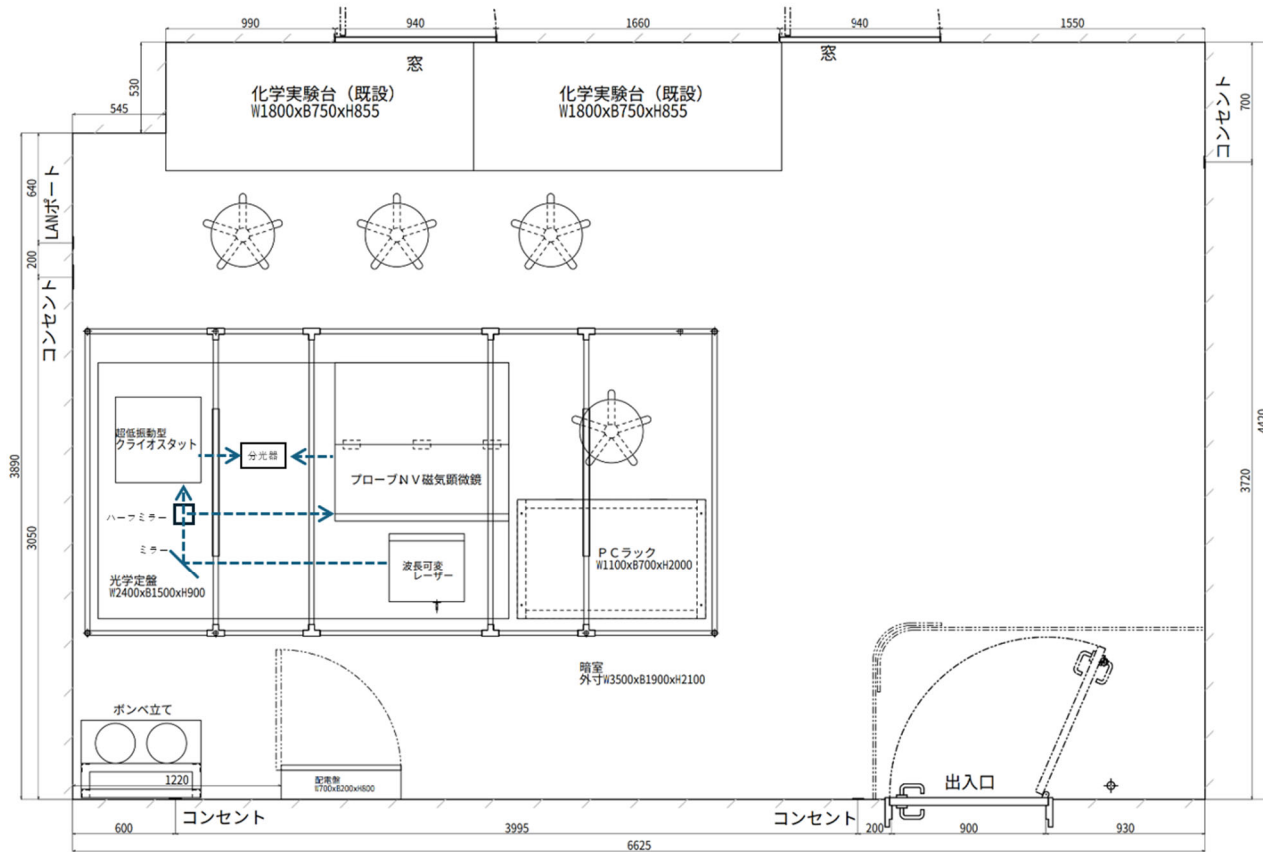


図 1. 実験室のレイアウト例

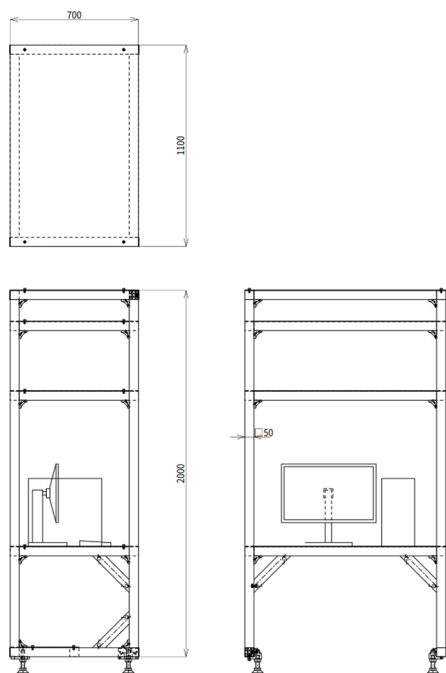


図 2. PC搭載する台の例

(1) 波長可変レーザー対応プローブNV磁気顕微鏡

■概要

- ・ダイヤモンドNVセンターを用いたプローブNV磁気顕微鏡システムの仕様を定めるものである。本システムは、広帯域な白色レーザー光、可視域及び近赤外域の分光器、NV磁力測定、走査プローブ顕微鏡（SPM）、共焦点／広視野顕微鏡機能を統合した計測装置とする。

■波長可変レーザー

- ・ファイバーによってコリメート（平行化）された光を広いスペクトル範囲で提供できること。
- ・シード光のパルス幅は、5～9 p s で繰り返しレート（0.15～78 MHz）で可変できること
- ・繰り返しレートは最大で78 MHz であること。
- ・繰り返しレートは可変であり、0.15～78 MHz の範囲で変更できること。
- ・総出力は5.5 W 以上であること。
- ・カットイン波長は415 nm 以上であること。
- ・ビーム径は、約1 mm@532 nm、約2 mm@1100 nm、約3 mm@2000 nm 程度であること。
- ・ビーム広がりは、 $< 3 \text{ mrad} @ 400 - 1100 \text{ nm}$ であること。
- ・出力安定化のフィードバック用端子が付いていること。
- ・波長可変範囲は、400～840 nm とする。
- ・波長幅は、10～100 nm で設定可能であること。
- ・帯域外抑制は、 $> 50 \text{ dB}$ であること。
- ・透過率は、空間出力時に70～90% であること。
- ・空間出力及びオプションのファイバカップラを使って、ファイバー出力可能（FC/APC出力端子）であること。

■NV磁力測定モジュール

- ・磁気感度（cw-ODMR）は、 $2 \mu \text{T} / \sqrt{\text{Hz}}$ 以下であり、有効空間分解能は、50 nm 未満であること。
- ・測定モードは、DC／ACモード対応（IsoB、FullB、FastB、Rabiマップ、Ramsey）を有すること。
- ・ハーンエコー及びXY-8等のパルスシーケンスによる高感度AC磁場測定に対応すること。また、ユーザーがパルスシーケンスを任意に設定できること。
- ・マイクロ波制御は、周波数帯域が0.3～4 GHz、周波数分解能が10 Hz 未満、最大出力が30 dBm 以上（0.1 dB 電力分解能）であること。
- ・マイクロ波供給として、要求者が使用している任意波形発生器（AWG：キーサイト製M8190A）との同期制御が可能なソフトウェアインターフェースを有すること。
- ・マイクロ波供給システムは、マイクロ波近傍場アンテナを有し、アンテナサイズは $4 \times 4 \times 4 \text{ mm}^3$ 以下、XYZ手動ステージは1 μm 以下の分解能であり、サンプル側コネクタ

はSMA接続対応であること。

- ・ 単一光子検出は、ダークカウントが250Hz未満、デッドタイムが35ns未満、カウントレートが20 Mc t s/s以下であること。
- ・ NVバイアス磁石は、回転可能なNVバイアス磁石であり、面内軸制御精度は±5度、バイアス磁場強度は±5 mTであること。
- ・ 吸音材を使用した高性能ワークステーション防音設計であり、広帯域周波数スペクトルにおいて、35～50 dBの音圧減衰性能を有すること。

■NV検出プローブ

- ・ NV検出プローブの構造は、単一ピラー、全ダイヤモンド一体構造、放物形状であること。
- ・ 走査プローブは、単結晶ダイヤモンドから構成され、単一及びアンサンブルのNVを有するものとする。
- ・ 単一NVのプローブは25個、アンサンブルNVのプローブは15個以上を含めること。
- ・ 単一NVのプローブの最低イオン注入エネルギーは、6 keV以下であり、その場合のNVの深さは5 nm±2 nm以内であること。少なくともプローブ先端から20 nm以下の位置にNVが形成されていること。
- ・ 各プローブはスピンコヒーレンス時間 (T_2) が100 μ s以上であること。
- ・ 磁気感度は、1～2.5 μ T/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 以上であること。
- ・ ODMRコントラストは、20%以上であり、線幅は6～10 MHz（標準ODMR）を満たすこと。
- ・ 飽和励起条件において100 kcps以上の光子計数率を有すること。

■試料機構（ホルダー）

- ・ 走査NV測定中に、外部電流／電圧を印加可能な機構を有すること。8本の電気配線を有し、20 mA/100 Vに対応すること。
- ・ 温度制御は、室温から300℃以上、温度安定度が0.1℃以下の加熱ホルダーを有すること。
- ・ モータ駆動永久磁石により、水平磁場は±570 mT以上、垂直磁場は±190 mT以上の磁場を印可できること。

■走査プローブ顕微鏡（SPM）

- ・ 最大試料サイズは、50×50×15 mm以上であり、粗位置決め範囲は5×5×15 mm以下（分解能：1 μ m以下）であること。
- ・ スキャン範囲は、100×100×15 μ m以下（分解能：0.1 nm以下）であり、システムドリフトは、外部温度制御がない場合、1 K温度変動に対し5 nm/h以下であること。
- ・ スキャン方法はサンプルスキャン方式であること。
- ・ 全自動アライメント用の赤外線レーザーは1300 nmであり、システムノイズは0.1 nm以下であること。
- ・ SPM測定モードとして、コンタクトAFM、セミコンタクトAFM、ノンコンタクトAFM、水平力顕微鏡（LFM）、圧電応答力顕微鏡（PFM）、磁力顕微鏡（MFM）、静電

気力顕微鏡 (E F M)、走査ケルビンプローブ顕微鏡 (S K M (K P F M))、走査静電容量顕微鏡 (S C M)、ナノリソグラフィを有すること。

■共焦点・広視野顕微鏡

- ・ 対物レンズのスキャン範囲は $30 \times 30 \times 10 \mu\text{m}$ 以上 (クローズドループ) であり、分解能は 1 nm 以下であること。
- ・ 対物レンズは、 $100\times$ P l a n A p o の無限遠補正であり、開口数 (N A) が 0.7 、作動距離 (W D) が 6 mm 、有効視野 (F O V) が $50 \mu\text{m}$ であること。
- ・ 励起レーザーは、波長 $515 \pm 5 \text{ nm}$ 、分光帯域幅 (F W H M) が 1.5 nm 未満、出力パワーが $0.1 \mu\text{W} \sim 20.0 \text{ mW}$ (焦点位置) であること。

■分光器

- ・ 可視域及び近赤外域に対応するファイバー接続型分光器 2 台 (電子冷却付き) と、それらの制御用ソフトウェアからなる分光システムであること。
- ・ スリット交換が可能な構造を有し、アプリケーションの変更や光学分解能変更に対応できること。
- ・ 光ファイバー接続が可能なモデルで、入力ファイバーコネクタは S M A 905 であること。
- ・ 設定した露光時間・積算回数・時間間隔でのスペクトル測定とリアルタイム表示、データ解析とファイル保存が可能なソフトウェアを有すること。
- ・ 可視域の分光器の測定可能な波長範囲は、 $350 - 1100 \text{ nm}$ を含むこと。
- ・ 可視域の分光器の光学分解能は、スリットサイズが $200 \mu\text{m}$ の時に 8 nm 以下であること。
- ・ 可視域の分光器の露光時間が 10 秒以上に設定できること。
- ・ 可視域の分光器の S / N 比性能が $1000 : 1$ であること。
- ・ 可視域の分光器の周囲温度が $0 \sim 50^\circ\text{C}$ の時、周囲温度より $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 低い温度まで冷却できること。
- ・ 近赤外域の分光器の測定可能な波長範囲は、 $900 - 2190 \text{ nm}$ を含むこと。
- ・ 近赤外域の光学分解能は、スリットサイズが $200 \mu\text{m}$ の時に 20 nm 以下であること。
- ・ 近赤外域の露光時間が最大 100 m秒 に設定できること。
- ・ 近赤外域の S / N 比性能が $2788 : 1$ であること。
- ・ 近赤外域の周囲温度が $0 \sim 50^\circ\text{C}$ の時、周囲温度より 40°C 低い温度まで冷却できること。
- ・ 近赤外域の冷却の安定性は設定温度に対し 1 分未満で $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内に、長期安定性は設定温度に対し $\pm 0.1^\circ\text{C}$ になること。

■除振性能

- ・ 定盤の大きさは $2400 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm} \times 900 \text{ mmH}$ であること (図 1 参照)。
- ・ 定盤上面と内部は、非磁性ステンレス材を使用し、上面の厚さは 5 mm 以上であること。
- ・ 定盤上面には、端面から 25 mm より内側に、縦横 25 mm 間隔で全面に格子状の M 6 タップを有すること。
- ・ 定盤内部は、チューンド・マス・ダンピング機構を内蔵した非磁性材使用のハニカム構造であること。

- ・ 定盤平面度は、 $\pm 0.1 \text{ mm}/1 \text{ m}$ 以下であること。
- ・ 定盤下面には、ステンレス又はスチール材を使用すること。
- ・ 除振脚部は、固有振動数が垂直方向に $1.2 \sim 1.8 \text{ Hz}$ 及び水平方向に $0.8 \sim 1.4 \text{ Hz}$ の範囲であること。
- ・ 自動水平維持センサを装備すること。
- ・ 定盤部と脚部が機械的に外れない地震等における安全対策構造を備えること。
- ・ 脚部には、移動可能なキャスターとレベラーを装備すること。
- ・ 除振脚架台は、除振脚の転倒防止対策として、溶接によるフレーム一体構造であること。
- ・ サイレントコンプレッサー（オイルレスタイプ）を1台含むこと。

■ソフトウェアおよび制御PC

- ・ Windows 11 Pro上で動作すること。
- ・ 走査型NV磁気顕微鏡において、DC/ACの磁力測定の実行が可能であり、ユーザー独自の測定シーケンス作成及び自動化を可能にするスクリプトインターフェースを有すること。
- ・ 走査プローブ顕微鏡（SPM）の項目に記載のある各測定モードを測定できること。
- ・ 測定手順（セットアップ、アライメント、測定、解析等）に沿って操作可能なワークフロー指向のGUIを備えていること。
- ・ AFMの自動機能として、AFMレジストレーション自動アライメント、標準測定技術の自動設定、カンチレバー共振周波数自動調整機能を搭載すること。
- ・ Pythonベースのオープンソースフレームワーク上で動作し、ユーザーによる機能拡張や内部ロジックの確認が可能であること。
- ・ Jupyter Notebook形式に対応した高レベルスクリプト記述環境を備え、測定の自動化やカスタム解析が可能であること。
- ・ Ulm大学が提供するQudiをベースとしたソフトウェアでシステムが動作すること。
- ・ 制御用PCは、CPU Intel Core™ i5-4500、 3.7 GHz 、RAM 16 GB、SSD 1 T、OS Windows 11 Pro、グラフィックボード、モニタ27インチ（2台）以上の性能であること。

（2）超低振動型クライオスタット

■概要

- ・ 温度制御範囲は、試料ホルダーを載せるプラットフォームにおいて最低温度が 4 K 以下、最高温度は 300 K 以上であること。また、室温から 4 K までの降温時間は、要求者が保有するクライオスタットと同等の速度（2時間）以内であること。

■クライオスタット本体

- ・ 温度安定性は、試料ホルダーを載せるプラットフォームにおいて $\pm 0.01 \text{ K}$ 以下であること。
- ・ 作動距離 $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}$ のフィードバック制御機能を有するxyz一体型ポジションナを備えること。

- ・ 試料ステージの振動が x y z において± 5 n m 以下であること。
- ・ 試料チャンバーの大きさがφ 5 0 × 1 0 0 mm以上であること。
- ・ 試料チャンバーには光学窓がサンプル上面に1つ、側面に2つ以上あること。
- ・ 試料ステージを既存の除振台に任意の位置で直接固定する自由度を有すること。
- ・ 4 . 2 Kにおいて、試料ステージ上で 0 . 1 W 以上のクーリングパワーを備えること。
- ・ 温度コントローラー、試料室真空引き機能が備えられていること。
- ・ 試料室の真空度として0 . 1 m T o r r 以下に到達できること。
- ・ 低温連続保持時間が2週間以上であること。
- ・ 高真空の試料空間から R F が2本以上、DCが2 0 本以上取り出し可能なフィードスルー端子が備わっていること。
- ・ ピエゾステージや電磁石、光学レンズといった装置を後付け可能であり、将来的な実験拡張性が高いこと。
- ・ クライオスタットシステムは液体ヘリウムを使用しない無冷媒型であること。
- ・ 空冷式のコンプレッサーを有し、チラーや冷却水を必要としないシステムであること。

■ ソフトウェアおよび制御 P C

- ・ W i n d o w s 1 1 P r o 上で動作すること。
- ・ 装置の制御機器と制御用ソフトウェアの接続インターフェースは、安定性の高い C A N モジュール又は U S B 接続であること。
- ・ 制御機器には試料室の温度設定や圧力が確認制御可能な制御ソフトウェアがインストールされていること。

7. 納入条件

据付調整後渡しとする。

8. 検査条件

第5項に示す納入場所に据付調整後、担当者の立ち会いの下で、外観検査、員数検査及び、動作確認を行う。加えて第9項に示す提出図書の提出をもって検査合格とする。

9. 提出図書

図 書 名	提 出 時 期	部数	確認
性能検査成績書	納入時	1 部	要
取扱説明書（英語）	納入時	1 式	要
取扱説明書（日本語）	納入時	1 式	要

（提出場所）

Q S T 高崎量子技術基盤研究所 量子機能創製研究センター 量子材料機能化グループ

1 0. 契約不適合責任

契約不適合責任については、契約条項のとおりとする。

1 1. 安全管理

- ①作業計画に際し綿密かつ無理のない工程を組み、材料、労働安全対策等の準備を行い、作業の安全確保を最優先としつつ、迅速な進捗を図るものとする。また、作業遂行上既設物の保護及び第三者への損害防止にも留意し、必要な措置を講ずるとともに、火災その他の事故防止に努めるものとする。
- ②作業現場の安全衛生管理は、法令に従い受注者の責任において自主的に行うこと。
- ③受注者は、作業着手に先立ちQ S Tと安全について十分に打合せを行った後着手すること。
- ④作業中は、常に整理整頓を心掛ける等、安全及び衛生面に十分留意すること。
- ⑤受注者は、本作業に使用する機器、装置の中で地震等により安全を損なう恐れのあるものについては、転倒防止策等を施すこと。

1 2. グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、O A 機器等）の採用が可能な場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1 3. 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、Q S Tと協議のうえ、その決定に従うものとする。

(要求者)

部課（室）名：高崎量子技術基盤研究所 量子機能創製研究センター

氏名：小野田 忍