

3D FIB-SEM システム 一式

英文： 3D FIB-SEM system 1Set

仕様書

令和 6 年 7 月

国立大学法人

東海国立大学機構

## 1. 調達背景及び目的

文部科学省最先端共用設備の共用化事業「マテリアル先端リサーチインフラ（ARIM）」名古屋大学次世代バイオマテリアル拠点計測分野では、バイオマテリアル、半導体関連マテリアルをはじめとした様々なマテリアルの微細構造計測、解析支援事業に取り組んでいる。本事業を通じて、国内外での先端研究開発を高品質データの創出・収集・蓄積・構造化・およびデータ利活用環境の構築を図るとともに、データ駆動型の研究開発支援に取り組んでいる。

令和6年度において調達する本仕様書に記載された設備は、この事業において取り組む、微細組織に関する立体構造の構築や、試料加工時に生じる最表面構造などの表面組織を観察、解析するために用いる 3D FIB-SEM システムである。

## 2. 調達物品名及び構成内訳

### 3D FIB-SEM システム

（構成内訳）

- |                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 1. 電界放出型電子銃を装備したイオンビーム加工電子顕微鏡系 | 1 式 |
| 2. 電界放出型電子銃を装備した電子顕微鏡系         | 1 式 |

搬入、据付、配管、配線及び調整一式を含む

## 3. 技術的要件の概要

- (1) 本件調達物品に係る性能・機能及び技術等（以下「性能等」という。）の要求要件（以下「技術的要件」という。）は別紙「調達物品にかかる技術的要件」に示すとおりである。
- (2) 技術的要件は、全て必須の要求要件である。
- (3) 必須の要求要件は、本学が必要とする最低限の要求要件を示しており、入札機器の性能等がこれを満たしていないとの判定がなされた場合には不合格となり、落札決定の対象から除外する。
- (4) 入札機器の性能等が、技術的要件を満たしているか否かの判定は、本学技術審査委員会（以下、「技術審査委員会」とする。）において、入札機器に係る技術仕様書その他の入札説明書で求める提出資料の内容を審査（以下、「技術審査」とする。）して行う。

## 4. その他

- (1) 入札機器は、入札時点で製品化されていること。ただし、入札時点で製品化されていない場合には、技術的要件を満たすことができる資料、納入時点で製品化さ

れている根拠を十分に説明できる資料及び確約書等を提出すること。なお、これらの適否は技術審査による。

- (2) 提案書の記述内容が不明確である場合は、有効な提案書とみなさないので、留意すること。特に審査するにあたって、提案の根拠が不明確である、説明が不十分であるなどして、技術審査に重大な支障があると技術審査委員会が判断した場合は、要求要件を満たしていないものとみなす。

また、提出された内容等について、問い合わせやヒアリングを行うことがあるので、提出資料等に関する照会先を明記すること。

- (3) 機器の搬入、据付、配管、配線及び調整（装置の操作方法についての技術講習を含む）一式に要する費用は、本調達に含まれること。
- (4) 導入スケジュールについては、本学担当者と協議し、その指示に従うこと。

調達物品にかかる技術的要件

(包括的業務要件)

本調達品は、多様なマテリアルの微細構造を高精細に観察し、その立体構造の構築を行うための電界放出型電子銃を装備したイオンビーム加工電子顕微鏡 (Focused Ion Beam Electron Microscope)、および、その加工によって形成される最表面変質層を確認できる電界放出型電子銃を装備した電子顕微鏡 (Field Emission Scanning Electron Microscope)、元素分析のためのエネルギー分散型 X 線元素分析検出器 (EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)、結晶方位解析のための電子線後方散乱 (EBSD : Electron backscatter diffraction) 検出器などを装備した設備で構成される。

(性能・機能に関する要件)

性能・機能に関しては、各構成について下記の要件を満たすこと。

1 電界放出型電子銃を装備したイオンビーム加工電子顕微鏡系

- 1-1 電界放出型電子銃を装備したイオンビーム加工電子顕微鏡は、試料をイオンビームを用いて精密加工するためのイオンビーム鏡筒、および電子ビームを用いて組織を観察するための電子ビーム鏡筒を有する電界放出型電子銃を装備したイオンビーム加工電子顕微鏡本体、試料の組成を分析できるエネルギー分散型 X 線元素分析検出器 (EDS)、結晶方位を計測する電子線後方散乱回折検出器 (EBSD)、試料冷却のためのクライオ装置、から構成されること。
- 1-2 イオンビームのイオン源は液体ガリウムであること。
- 1-3 イオンビームの加速電圧は、0.5 kV 以下から 30 kV 以上の範囲で可変機能を有すること。
- 1-4 イオンビームの電流量は最小 1.0 pA 以下、最大 100 nA 以上であり、かつ、その最大値までの電流量を 13 段階に切り替える機能を有すること。
- 1-5 イオンビームの集束径は、後述する電子ビーム鏡筒での電子線とイオンビームがそれぞれ焦点を結ぶコインシデント位置において、加速電圧が 30 kV の時に 3.0 nm 以下であること。
- 1-6 ガスインジェクションを 2 機有しており、かつ、ガスインジェクションのための設置ポートが試料室に 3 箇所用意されていること。
- 1-7 イオンビーム鏡筒の角度は、後述する電子ビーム鏡筒に対して 50～54° であること。
- 1-8 電子ビーム鏡筒が有する電子銃はショットキー方式による電界放出型であること。
- 1-9 電子銃は、交換することなく 3 年間以上稼働できること。

- 1-10 電子ビームの方向は傾斜軸 (T 軸) が  $0^{\circ}$  の状態において X-Y 軸平面に対して垂直であること。
- 1-11 電子ビームの加速電圧は最大 30 kV 以上であること。
- 1-12 電子ビームの試料プローブ電流量は、500 nA 以上であり、その最大値まで可変すること。
- 1-13 電子ビームによる観察時の分解能は、0.7 nm (加速電圧 15 kV) 1.4 nm (加速電圧 1 kV) 1.0 nm (加速電圧 1 kV、試料ステージへのバイアス印加時) を満たすこと。
- 1-14 画像取得検出器として、試料室内二次電子検出器、試料室内リトラクタブル反射電子検出器、試料室内走査透過電子 (STEM) 検出器、鏡筒内 (インカラム) 二次電子検出器、鏡筒内 (インカラム) 反射電子検出器を有すること。なお、鏡筒内 (インカラム) 二次電子検出器については画像取得検出器へ入射する電子のエネルギーを選別する電極を備え、その電極へ -2.0 kV 以下  $\sim$  0 kV の範囲で電圧を印加する機能を有すること。
- 1-15 試料ステージ移動は、電子ビームの垂直平面内 (X-Y 軸)、平行方向 (Z 軸)、傾斜 (T 軸)、回転 (R 軸) の 5 軸に対して、モーター駆動で移動できること。
- 1-16 試料ステージ移動の範囲は X 軸方向に 130 mm 以上、Y 軸方向に 130 mm 以上、Z 軸方向に 1.0 mm 以下、40 mm 以上、また T 軸において  $-40.0^{\circ} \sim 93.0^{\circ}$  の範囲で傾斜し、R 軸においては  $360.0^{\circ}$  回転すること。
- 1-17 T 軸が  $0^{\circ}$  の状態において、試料ステージ中心位置 (X-Y 軸値はゼロ) を X-Y 軸方向へ最大範囲移動させた後に再び X-Y 軸値はゼロへ戻した時の試料ステージ中心位置の移動前後の位置の誤差は、3  $\mu$ m 以内であること。
- 1-18 試料ステージへは -5.0 kV 以下  $\sim$  0 kV の範囲で電圧を印加する機能を有していること。
- 1-19 試料室は、予備排気室を有していること。
- 1-20 試料交換は、予備排気室前面開閉口、および、試料室前面開閉口で行う構造を有すること。
- 1-21 イオンビームと電子ビームの同時照射を行う機能を有し、1-14 で記載した各検出器 (試料室内二次電子検出器、試料室内リトラクタブル反射電子検出器、STEM 検出器、鏡筒内二次電子検出器、及び鏡筒内反射電子検出器) で加工・観察状況をモニタしながら試料加工、保護膜形成、TEM 試料作製過程等を最大 5 画面以上まで同時表示する機能を有すること。
- 1-22 イオンビームによる試料の 3 次元加工と電子ビームによる画像取得を自動で行う機能を有し、試料の形態・組成・結晶方位に関する情報を取得し、取得したデータから 3 次元構造を再構築する機能を有すること。
- 1-23 既設透過型電子顕微鏡 (名古屋大学超高压施設現有設備である、EM-10000BU、

JEM-2100plus、JEM-2100F HK、JEM-ARM 200F Cold) の二軸傾斜機能を有する試料ホルダーと、イオンビーム加工で使用する試料ホルダーとが共有するカートリッジ型試料搬送機構を有すること、および前述のカートリッジ共有二軸傾斜試料ホルダー一本を付すること。

- 1-24 試料室内を 3D 表示するソフトウェア等で試料ステージ移動時の衝突有無を事前に確認する機能を有し、試料ステージ上の試料ホルダーが検出器やレンズへ衝突することを未然に防ぐ機能を有すること。
- 1-25 試料室内を目視確認するためのカメラを有すること。
- 1-26 イオンビーム加工時の試料片ピックアップのためのマニピュレーターを装備していること。
- 1-27 マニピュレーター先端は交換する構造であること。
- 1-28 マニピュレーター先端の可動範囲は、マニピュレーター取付軸方向 (Z 軸) に  $\pm 2\text{mm}$ 、Z 軸に対して直行する X、Y 軸方向に  $\pm 2\text{mm}$ 、また Z 軸を回転中心とした R 軸に対して  $0.1^\circ$  の分解能で  $360^\circ$  回転すること。
- 1-29 真空排気系に使用する真空排気ポンプが、ドライスクロールポンプ、ターボ分子ポンプ、スパッタイオンポンプで構成されていること。
- 1-30 マニピュレーターは、イオンビーム、電子ビームなどを制御操作するソフトウェア (GUI) 上で制御できること。
- 1-31 操作パネル及びそのレイアウト変更に対応する可搬テーブルを有していること。
- 1-32 GUI による操作・制御が PC システムを用いて実現されていること。
- 1-33 2 台以上の液晶モニタ、操作のためのコンソールを有すること。
- 1-34 本機器を動作するために必要な、試料ホルダー、メンテナンス用ツールボックスを付帯すること。
- 1-35 EDS は液体窒素を必要としないシリコンドリフト型であること。
- 1-36 EDS の検出する元素は、元素周期表のうち Be(4) から Am(95) までを含むこと。
- 1-37 EDS のエネルギー分解能は  $127\text{eV}$  以下であること。
- 1-38 EDS の冷却方式は電子冷却であること。
- 1-39 EDS 検出素子の面積は  $100\text{mm}^2$  以上であること。
- 1-40 EDS による定性、定量、マッピング、点・線分析、リアルタイム相分析する機能を有すること。
- 1-41 1-22 項で記載した 3 次元微細構造の構築時に微細構造情報へ EDS 定量分析値を含める機能を有していること。
- 1-42 EDS 分析時に指定した時間内の試料ドリフトを補正する機能を有すること。
- 1-43 EDS の駆動はモータードライブ式であること。
- 1-44 EBSD の撮像素子は CMOS であること。
- 1-45 EBSD による測定速度は Ni 標準片において 2,000 ポイント/秒以上であること。

- 1-46 EBSD の駆動はモータードライブ式であること。
- 1-47 EBSD 分析は、EDS 元素マッピング分析を併用することで組成情報を反映した指数付けする機能を有すること。
- 1-48 1-22 項で記載した 3 次元微細構造の構築時に微細構造情報へ EBSD で得られた結晶方位に関する定量分析値を含める機能を有していること。
- 1-49 クライオ装置の冷却方式はペルチェ方式であること。
- 1-50 クライオ装置の温度可変範囲は $-50^{\circ}\text{C}$ ～ $+50^{\circ}\text{C}$ を含む範囲以上であること。
- 1-51 クライオ装置の最小温度表示桁数は  $0.1^{\circ}\text{C}$  以下であること。
- 1-52 クライオ装置は試料ホルダーへの脱着機能を有すること。

## 2 電界放出型電子銃を装備した電子顕微鏡系

- 2-1 電子ビームを用いて組織を観察するための電界放出型電子銃を装備した電子顕微鏡本体、試料の組成を分析できるエネルギー分散型 X 線元素分析検出器 (EDS) から構成されること。
- 2-2 電子顕微鏡の電子銃は、ショットキー方式による電界放出型であること。
- 2-3 電子ビームの照射電流量は、 $3\text{ pA}$ ～ $20\text{ nA}$  の範囲以上で可変する機能を有すること。
- 2-4 照射電流量の安定度は、変動率が  $0.2\text{ \%}/\text{h}$  以下であること。
- 2-5 観察時の分解能は  $0.5\text{ nm}$  (加速電圧  $15\text{ kV}$ 、二次電子像)、 $0.8\text{ nm}$  (加速電圧  $1\text{ kV}$ 、二次電子像)、 $1.0\text{ nm}$  (加速電圧  $500\text{ V}$ 、二次電子像)、 $1.0\text{ nm}$  (加速電圧  $1\text{ kV}$ 、反射電子像) を満たすこと。
- 2-6 加速電圧は、 $0.02\text{ kV}$ ～ $30\text{ kV}$  の範囲以上とし、最小可変ステップは  $10\text{ V}$  以下であること。
- 2-7 最高観察倍率は、 $1$  倍～ $2,000,000$  倍以上であること。
- 2-8 最大視野幅は、加速電圧  $1\text{ kV}$  及び作動距離  $7\text{ mm}$  以上において  $1.6\text{ mm}$  以上、加速電圧  $15\text{ kV}$  及び作動距離  $8.5\text{ mm}$  以上において、 $5.6\text{ mm}$  以上であること。
- 2-9 解像度は、最大で  $32,000 \times 24,000$  ピクセル以上であること。
- 2-10 検出器として、試料室内二次電子検出器、試料室内分割型環状反射電子検出器、試料室内走査型透過電子 (STEM) 検出器、鏡筒内 (インカラム) 二次電子検出器、鏡筒内 (インカラム) 反射電子検出器を備えること。なお、鏡筒内 (インカラム) 反射電子検出器については鏡筒内 (インカラム) 二次電子検出器と鏡筒内 (インカラム) 反射電子検出器へ入射する電子のエネルギーを選別する電極を備え、その電極には  $-1.5\text{ kV}$ ～ $0\text{ kV}$  以上の範囲で電圧を印加する機能を有すること。
- 2-11 集束レンズは、電子線がクロスオーバー (光軸焦点) を作らない一段構成であること。

- 2-12 電子線加速電圧の制御法は、試料への電圧印加によって制御する方法ではなく、電子銃以降での鏡筒内で電子線の加速電圧を変化させる制御法であり、この制御法で 2-5 項の分解能を満たすこと。
- 2-13 対物絞りは、7 種類の対物絞り径 ( $\phi 7.5, \phi 10, \phi 15, \phi 20, \phi 30, \phi 60, \phi 120 \mu\text{m}$ ) を有した固定絞りで構成されており、クロスオーバーを形成しない色収差抑制機構と照射電流量の調整とを両立でき、かつ電子線の偏向による対物絞りへの入孔機能を有すること。
- 2-14 電子線の偏向操作によって視野を移動できる機能を有していること。この視野移動範囲は、加速電圧 20 kV 及び作動距離 8.5 mm において 60  $\mu\text{m}$  以上であること。
- 2-15 試料ステージ移動は、電子線光軸の垂直平面内(X-Y 軸)、平行方向 (Z 軸)、傾斜 (T 軸)、回転 (R 軸) の 5 軸に対して、モーター駆動で移動できること。
- 2-16 試料ステージ移動の範囲は X 軸方向に 130 mm、Y 軸方向に 130 mm、Z 軸方向に 50 mm 移動し、T 軸について  $-4^{\circ} \sim 70^{\circ}$  傾斜、R 軸について  $360^{\circ}$  回転すること。
- 2-17 X-Y 軸方向への試料ステージ移動の精度は T 軸が  $0^{\circ}$  位置において、ステージ中心位置 (X-Y 軸値はゼロ) を X-Y 軸方向へ最大範囲移動させた後に再び X-Y 軸値はゼロへ戻した時のステージ中心位置の移動前後の位置の誤差は、3  $\mu\text{m}$  以内であること。
- 2-18 試料室は、予備排気室を有していること。
- 2-19 試料交換は、予備排気室前面開閉口、および、試料室前面開閉口で行う構造を有すること。
- 2-20 予備排気室を除いた試料室内の寸法は、X-Y 軸平面に対して 360 mm $\phi$ 以上であり、かつ、Z 軸方向に対して 270 mm 以上を確保すること。
- 2-21 試料室内清浄化のためのプラズマクリーナーを有していること。
- 2-22 真空排気系に使用する真空排気ポンプが、ドライ方式排気用ポンプ、ターボ分子ポンプ、イオンゲッターポンプで構成されていること。
- 2-23 電子顕微鏡の操作及びレイアウト変更に対応する可搬テーブル、制御ソフトウェア (GUI) による操作・制御する PC システム、2 式以上の液晶モニタ、ジョイスティック、オペレーションコンソールを有すること。
- 2-24 外部から電子顕微鏡本体への振動伝搬を低減するアクティブ除振台、電子顕微鏡を動作するために必要な冷却水循環装置、圧縮空気供給機、試料ホルダー、メンテナンス用ツールボックスを付帯すること。
- 2-25 EDS のエネルギー分解能は 127eV 以下 ( $\text{Mn-K}\alpha$ ) であること。
- 2-26 EDS の検出する元素は元素周期表のうち Be(4)から Cf(98)を含むこと。
- 2-27 EDS 検出素子の冷却方式はペルチェ冷却方式であること。
- 2-28 EDS 分析では、定性、定量、マッピング、点・線分析、リアルタイム相分析する機能を有すること。



2-29 EDS の分析時には、指定した時間毎に試料ドリフトを補正する機能を有すること。

2-30 EDS 検出器の有効素子面積は 100mm<sup>2</sup> 以上であること。

(性能・機能以外の要件)

#### 1. 障害支援体制

1-1 通報を受けてから 2 営業日以内に電話での一次対応、5 営業日以内に現場での復旧作業を開始できる体制であること。

#### 2. 設置条件

2-1 本装置は工学研究科が指定する場所に設置すること。(別紙「設置場所」参照)

2-2 機器の搬入、据付、配管、配線及び調整一式を行うこと。

2-3 本学の用意した一次側設備以外に必要な電源がある場合は、本調達の範囲内で供給者が用意すること。なお、本学で用意する電源は次の通りである。

電源：100V-100A、200V-100A（単相）、200V-60A（三相）

他ユーティリティー：特になし

2-4 本調達機器の設置に関し、機器の搬入、据付、配管、配線及び調整に伴い、万一本学の建物、設備等に損傷を与えた場合は、供給者の責任において原状に復すること。

2-5 「名古屋大学家具安全対策ガイドライン」の技術基準に基づいて地震対策を実施すること。なおこの技術基準に因り難い場合は、本学担当者と協議し、適切な方法により耐震固定を行うこと。

#### 3. その他

3-1 操作マニュアルは、日本語版を電子媒体及び紙媒体で 2 部提出すること。

3-2 装置を運転する職員に対して、基礎・応用の操作トレーニングを本学が指定する日に少なくとも 1 回行うこと。

3-3 機器の納入後 1 年間は、無償保証期間とすること。ただし、部品等の消耗品、メーカーの同意の無い改造、取扱説明書によらない動作による不具合については保証対象外とする。

3-4 本学が安全衛生法第 88 条（計画の届出）に関する労働基準監督署への届出が必要な場合、届出を行うために必要な書類一式を作成し、設置作業開始日の 40 日前までに本学へ提出すること。

3-5 本機構の適正な会計処理を行うため、今後、機構が年 1 回実施する納入機器等の再調達価格の調査において必要な書類を提出すること。

別紙「設置場所」

