



文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ (ARIM)

ARIM

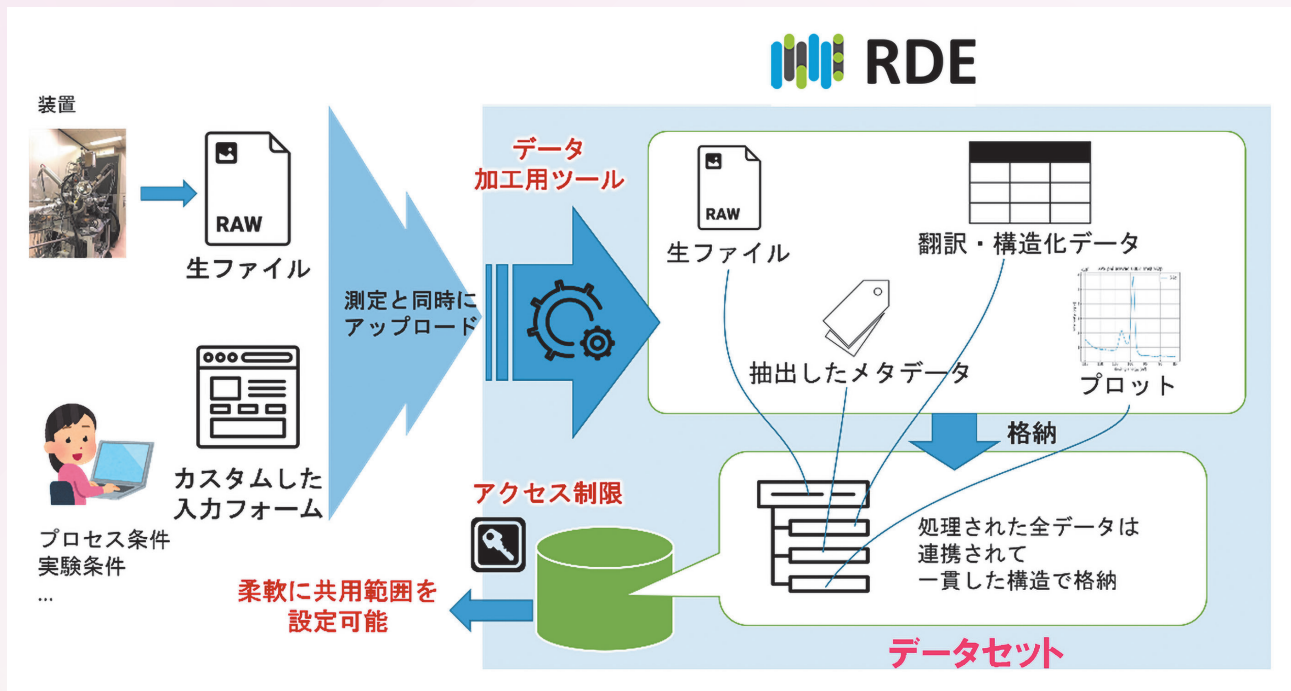
データリファレンスガイド

データ利活用のための推奨測定条件・選定メタデータ

走査電子顕微鏡:日立ハイテク編

データリファレンスガイドのご案内

材料研究における新たなアプローチとして、データ駆動型材料研究が注目されています。この手法は、大量のデータを活用し、材料の特性や挙動を解析・予測するもので、従来の実験や理論に基づく研究に加え、データの力を活用して研究の効率化や新材料の発見を目指すものです。こうしたデータ駆動型材料研究の推進に向けて、ARIM 事業では先端的な材料計測装置の共用化を進め、得られたデータを将来的に広くシェア・活用できる基盤（システム名：RDE）を構築しました。



しかし、異なるメーカーやユーザーによって取得されるデータを有効に利用するためには、データ取得方法や装置メタデータの共通化が重要です。データの記録項目が不足していたり、装置ごとの設定が異なると、データの比較や再利用が難しくなります。そこで、各メーカーの装置ごとに、推奨される測定方法や記録項目のガイダンスとなる「データリファレンスガイド」を作成いたしました。

このガイドに基づいて取得されたデータは、異なる装置で得たデータとも統合しやすく、データ駆動型材料研究の基盤として役立つことが期待されます。

なお、本リファレンスガイドはマテリアル先端リサーチインフラ（ARIM）に参画する機関が保有する装置に限って作成されており、限定された装置のみに適用されます。

用語の定義

• 推奨測定条件：

データ利用を行う際に、対象の材料に応じた測定が行えるように設定された推奨の測定条件（例：サンプルサイズ、前処理、計測条件のほか装置の設定条件など）

• ARIM登録ファイル：

さまざまな測定装置で出力・保存可能なデータフォーマットのうち、ARIMにおいてRDEへ登録するときの指定フォーマット（拡張子）。

• 手入力データ：

RDEでユーザーが直接入力する画面において表示される試料に関する詳細情報（例：試料の前処理方法や測定の補助情報など）。

基本情報

記入年月日 2023-02-16 JST

装置 原子分析電子顕微鏡

データ投入者(所属) MATSUNAMI, Shigeyuki (NIMS)

データ所有者(所属)

データ名

実験ID 実験IDを入力してください。

規格 Resolution check at 80 kV

固有情報

TEM像の種類(BF/DF/...) [TEMの場合] TEM像の種類を選択してください

照射半角 [TEMの場合] 照射半角を入力してください mrad

対物鏡半角(半角) [TEMの場合] 対物鏡半角(半角)を入力してください mrad

STEM像の種類(BF/ABF/ADF/HAADF/...) BF

収集半角 18 mrad

取り込み半角(内側) 0 mrad

取り込み半角(外側) 5 mrad

電子銃 Schottky emission gun

プローブ電流 5 pA

倍率枚数 1

検出方位 検出方位がわかれば記入してください

測定温度 測定温度を入力してください °C

電子ラボノートのような記録フォームで便利!



データ登録者

実験固有情報/
装置固有情報

• 試料の前処理条件
• 測定の補助情報
など

図：RDEにおける手入力データの入力画面

• 選定メタデータ：

第三者による再現性の確保やデータ解析において特に重要な計測条件および装置情報に関するメタデータ。

• 選定メタデータのjsonスキーマ：

選定メタデータをRDEで取り込むためのjson形式によるスキーマ定義で、metadata-def.jsonで規定。

```
メタデータスキーマ
{
  "comment": {
    "name": "コメント",
    "ja": "コメント",
    "en": "Comment",
    "schema": {
      "type": "string"
    },
    "description": "コメント/Comment",
    "uri": "http://nims.go.jp",
    "variable": 1
  },
  "dateTime": {
    "name": "測定日時",
    "ja": "測定日時",
    "en": "Measurement_Time",
    "schema": {
      "type": "string",
      "format": "date-time"
    },
    "description": "測定日時/Measurement_Time",
    "uri": "http://nims.go.jp",
    "variable": 1,
    "action": "get_datetime(dateTime)"
  },
  "operator": {
    "name": "オペレーター作成者",
    "ja": "オペレーター作成者",
    "en": "Operator_Name",
    "schema": {
      "type": "string"
    },
    "description": "オペレーター作成者/Operator_Name",
    "uri": "http://nims.go.jp",
    "variable": 1
  }
}
```

```
出力メタデータ
{
  "constant": {},
  "variable": {
    "comment": {
      "value": "Sample"
    },
    "dateTime": {
      "value": "2019-03-04T11:25:43"
    },
    "operator": {
      "value": "semi_stu"
    },
    "instrument": {
      "value": "JSM-6510"
    },
    "acceleratingVoltage": {
      "value": 20.0,
      "unit": "kV"
    },
    "magnification": {
      "value": 4000
    },
    "signal": {
      "value": "SEI"
    },
    "stagePositionX": {
      "value": -12.836,
      "unit": "mm"
    },
    "stagePositionY": {

```

図：RDEにおける選定メタデータの定義スキーマとそれから得られる出力メタデータ

概 要

装置名	走査電子顕微鏡 (SEM)
メーカー	株式会社 日立ハイテク
製造モデル	S-3700N, S-4300, S-4700, S-4800, S-5200, S-5500, SU6600, SU8000, SU-8020, SU8230, SU8240, SU-9000, TM3000, TM4000Plus, TM4000PlusII, Regulus8230
対象物	半導体、金属、絶縁体、有機、高分子材料など、様々な材料に適用可能。
測定対象	粉体、バルク、基板・板材、フィルム、線材など
サンプル調整	非破壊
測定環境	真空下
測定情報	微小領域観察、表面構造観察

保有機関

機関名	機器ID	ARIM装置名	モデル
産業技術総合研究所	AT-004	電界放出形走査電子顕微鏡	S-4800
筑波大学	BA-008	電界放出型走査電子顕微鏡	SU8020
千歳科学技術大学	CT-010	走査型電子顕微鏡	TM4000Plus
北海道大学	HK-404	超高分解能電界放出形走査電子顕微鏡	Regulus8230
東京科学大学(旧:東京工業大学)	IT-006	走査型電子顕微鏡	S-5200
北陸先端科学技術大学院大学	Jl-010	低加速走査電子顕微鏡	Regulus8230
京都大学	KT-301	超高分解能電界放出形走査電子顕微鏡	SU8000
京都大学	KT-302	分析走査電子顕微鏡	SU6600
京都大学	KT-325	卓上顕微鏡	TM3000
九州大学	KU-511	超高分解能走査電子顕微鏡装置	SU9000
分子科学研究所	MS-202	低真空分析走査電子顕微鏡	SU6600
名古屋工業大学	NI-019	走査電子顕微鏡	S-4700
物質・材料研究機構	NM-006	卓上走査型電子顕微鏡装置群	TM4000PlusII TM3000
物質・材料研究機構	NM-227	電界放出形走査電子顕微鏡	SU8000
物質・材料研究機構	NM-621	FE-SEM	S-4800
物質・材料研究機構	NM-647	FE-SEM+EDX	S-4800
物質・材料研究機構	NM-648	FE-SEM+EDX	SU8000
物質・材料研究機構	NM-649	FE-SEM+EDX	SU8230
物質・材料研究機構	NM-650	卓上電子顕微鏡	TM3000
奈良先端科学技術大学院大学	NR-205	超高分解能電界放出型電子顕微鏡	SU9000
奈良先端科学技術大学院大学	NR-206	低真空分析走査電子顕微鏡	SU6600
名古屋大学	NU-227	走査型電子顕微鏡	S-5200
名古屋大学	NU-228	走査型電子顕微鏡	S-4300
広島大学	RO-521	走査電子顕微鏡	S-4700
信州大学	SH-101	電界放出型走査電子顕微鏡	SU8000
東北大学	TU-314	熱電子SEM	S-3700N
電気通信大学	UE-010	走査型電子顕微鏡	S-4300
早稲田大学	WS-011	電界放出型 走査電子顕微鏡	S-4800
早稲田大学	WS-012	電界放出型 走査電子顕微鏡	SU8240
早稲田大学	WS-013	電界放出型 走査電子顕微鏡	S-5500

装置の特長・目的

■目的

走査電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) の特長は、微細構造の詳細な観察と分析にあります。SEMは高い分解能を持ち、数ナノメートル以下の微細な構造を可視化することができます。このため、材料科学や生物学、半導体工業などの分野で重要なツールとなっています。SEMを使用することで、試料の表面形態を高精度に観察できるだけでなく、エネルギー分散型X線分光法 (EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) を併用することで元素組成の分析も可能です。また、三次元構造の観察により、試料の立体的な形状を明らかにすることができます。

SEMは試料を破壊せずに観察できるため、非破壊検査としても利用されます。こうした特性により、SEMは研究開発や品質管理、故障解析など、さまざまな応用分野で不可欠な役割を果たしています。

■特長

1. 高分解能

- ・数ナノメートル以下の分解能で微細構造を観察できる。
- ・光学顕微鏡に比べて非常に高い分解能を持つ。

2. 高い拡大率

- ・数十倍から数十万倍までの拡大が可能。
- ・観察対象の微細な部分を詳細に見ることができる。

3. 広い焦点深度

- ・高い焦点深度を持ち、立体的なイメージを得ることができる。
- ・表面の粗さや凹凸を詳細に観察可能。

4. 多様な検出器

- ・二次電子検出器 (SE) : 表面形態の観察に使用。
- ・反射電子検出器 (BSE) : 材料の組成や密度のコントラスト観察に使用。
- ・X線分光器 (エネルギー分散型 EDS, 波長分散型 WDS) : 元素分析に使用。
- ・電子線後方散乱回折検出器 (EBSD) : 結晶方位解析に使用。

5. 非破壊検査

- ・試料を破壊せずに観察・分析が可能。
- ・生体組織や工業製品の検査に適している。

装置外観



1 装置編

計測原理

走査電子顕微鏡 (SEM) は、試料の表面構造を高精度で観察するための装置です。SEMの主な計測原理は以下の通りです。

①電子プローブの照射：

SEMでは、非常に細い電子線 (電子プローブ) を生成し、この電子プローブを試料表面に照射します。

②二次電子の放出：

照射された電子プローブが試料に当たると、試料表面から二次電子と呼ばれる電子が放出されます。この二次電子は、照射された電子プローブのエネルギーを受けて放出されるものであり、試料表面の情報を持っています。

③二次電子の検出：

試料から放出された二次電子を検出器で検出します。この検出器は、二次電子の多い少ないを測定するための装置です。

④画像の形成：

電子プローブを試料表面上で二次元的に走査します。すなわち、電子プローブを横方向および縦方向に移動させながら試料全体を照射します。検出された二次電子の強度に基づいて、試料表面の凹凸や微細な構造が画像として表示されます。この画像は、二次電子の強度の変化に応じて明暗がつけられるため、試料表面の形状や質感を視覚的に確認することができます。

⑤反射電子の放出と検出：

照射された電子で試料により散乱されて再放出されるものは反射電子と呼ばれ、二次電子より高いエネルギーを持ちます。エネルギーが大きいため二次電子よりも深い領域からも放出され、検出されます。二次電子と同様の検出器で検出されるが、センサー入射部にバイアス電圧をかけるなどして二次電子と区別して検出したり、二次電子と独立したセンサーを用いて同時計測したりする場合があります。

推奨測定条件

・前処理：

①試料マウント

試料の移動 (ドリフト) を防ぐため、試料は一般に導電性テープやペーストで固定します。

②導電性コーティング

観察面に導電性がない場合、異常コントラスト (チャージアップ) が発生して観察できなくなります。この場合は、導電性コーティングが必要となり、その厚みは一般に二次電子が放出される 10nm 以下が目安となります。

・観察条件：

①加速電圧

一般にプラスチック、紙、生物試料など密度の小さい試料は低加速電圧（目安として～5kV）、金属など密度の大きい試料は高加速電圧（目安として15kV）で観察します。

②照射電流 / スポットサイズ

高倍率での写真を必要とする場合は、スロースキャンで像が確認できるくらいの小さいスポットサイズを使います。低倍率で撮影する場合には、大きめのスポットサイズにすると鮮明な画像が得られます。ただし、試料が電子線の照射で壊れる場合は、小さいスポットサイズにします。

③作動距離 / ワーキングディスタンス (WD)

一般に、短いWDでは分解能が上がり、長いWDでは焦点深度が増します。ただし、検出器やその取り付け位置によって、最適なWDは異なるため、適切な値を設定する必要があります。

より詳細な測定方法については、「走査電子顕微鏡試験方法通則」^[1]「SEMと友達になろう」^[2]、「実践SEMセミナー 一走査電子顕微鏡をつかひこなす」^[3]、「新・走査電子顕微鏡」^[4]をご参照ください。

校正 / キャリブレーション

一般的な使用における校正

日常的な利用の範囲では、通常、特別な校正は不要です。校正は、定期保守点検やオーバーホールの際に、メーカーの担当者が実施することが一般的です。装置のカタログスペックにおいては、カーボン上の金粒子を用いたギャップ分解能（空間分解能）の測定がよく用いられます^[5]。

観察条件ごとの調整

最適な画像を得るためには、観察条件を変更する際に光軸やビームの調整が必要です。この調整は、例えば加速電圧や倍率を変更する場合に重要です。調整項目はSEMの機種やモデルによって異なるため、装置のマニュアルを確認するか、担当者にご相談ください。

運用条件（主な消耗品）

部品	消耗箇所	交換時期の目安
タングステンフィラメント	タングステンフィラメントは使用中に高温で加熱され、電子を放出しますが、これによりフィラメント自体が劣化し、最終的には切れて、電子が放出できなくなります。	通常50時間程度が目安です。
LaB ₆ フィラメント	タングステンワイヤーに六ホウ化ランタン (LaB ₆) の結晶を接合したもので高い分解能を提供しますが、長期間の使用により劣化して輝度が落ちるか、最終的には切れて、電子が放出できなくなります。	約1年程度の使用で交換を推奨します。
FEエミッタ (フィールドエミッション エミッタ)	フィールドエミッションタイプのエミッタはさらに高い分解能を提供しますが、長期間の使用により劣化し輝度が落ちます。	約3年程度の使用で交換を推奨します。
試料台	アルミ・真鍮・カーボン製の物が一般的です。EDS分析を行う場合には分析対象に干渉しないものを選択します。装置や測定モードにより試料台の形状が異なりますので、詳細は装置担当者にご相談下さい	汚れがひどくなった場合、破損した場合は交換を推奨します。
コーティング材料	カーボン・金・オスミウム・白金パラジウムなどの蒸着膜がよく利用されます。粒状感がなく、導電性が良く、影に回り込みやすいものが理想的です。	使い捨てのものから、約1年程度の使用できるものがあります。

2 データ編

登録ファイル

	ファイルの種類	登録ファイル
ARIM 登録ファイル	画像ファイル	.jpg, .png, .bmp, .tiffなど
	測定条件ファイル	.txt

日立ハイテクのSEMの出力ファイルとして、撮像した画像ファイルと測定条件を含むテキストファイルの2つが得られます。ARIMでは双方のファイルをペアとして登録することを必須とします。

手入力データ

測定にかかる手入力項目は、以下の情報を入力する項目を設けています。

●共通項目

手入力 パラメータ	日本語語彙	英語語彙	入力条件	単位
Sample_Form	サンプル形状	Sample Form	"粉体", "バルク", "包埋樹脂", "基板・板材", "フィルム", "線材", "TEMグリッド", "液体", "気体", "その他"	
Sample_Mounting_Method	試料マウント方法	Sample Mounting Method	"カーボンテープ", "Cuテープ", "カーボンペースト", "金属ペースト", "機械固定", "その他"	
Coating_Material	コーティング材料	Coating Material	"なし", "C", "Au", "Pt", "Pt-Pd", "W", "Os", "Ir", "その他"	
Coating_Method	コーティング手法	Coating Method	"なし", "スパッタ", "真空蒸着", "CVD", "SEM (EB-DEPO)", "FIB", "その他"	
Coating_Thickness	コーティング膜厚 (推定値含む)	Coating Thickness (Including estimated value)		nm
Remark	備考	Remark		

●金属・無機系

手入力 パラメータ	日本語語彙	英語語彙	入力条件	単位
Pretreatment	観察面作成方法	Pretreatment	"処理なし", "切断", "破断・劈開", "機械研磨", "エッチング", "イオンミリング"	

●有機系

手入力 パラメータ	日本語語彙	英語語彙	入力条件	単位
Fixation_Methods	化学固定	Fixation Methods		
Conductive Staining_Methods	導電染色	Conductive Staining Methods		
Dehydration	脱水	Dehydration		
Drying	乾燥	Drying		

●機種依存項目の一例

手入力 パラメータ	日本語語彙	英語語彙	入力条件	単位
Objective_Aperture_Hole_Diameter	対物絞りの穴径	Objective Aperture Hole Diameter	"100 (焦点感度: 浅い)", "50 (焦点感度: やや浅い)", "50 (焦点感度: やや深い)", "30 (焦点感度: 深い)"	um
Probe_Current	プローブ電流	Probe Current		A
Absorption_Current	吸収電流	Absorption Current		A
Atmosphere	測定雰囲気	Atmosphere	"大気中", "N2雰囲気", "真空下", "その他"	

選定メタデータのjsonスキーマ

出力計測パラメータのうちARIMで選定するメタデータのスキーマ定義 (metadata-def.json) は、以下の項目となります。

●全機種共通分

出力計測パラメータ	日本語語彙	英語語彙	単位
Date	測定日	Measurement Date	
Time	測定時刻	Measurement Time	
InstructName	装置型番	Instrument Model	
AcceleratingVoltage	加速電圧	Accelerating Voltage	kV
Magnification	倍率	Magnification	
SignalName	画像信号	Signal Name	
DisplaySignalName	画像信号	Signal Name	
WorkingDistance	作動距離	Working Distance	mm
StagePositionT	ステージ傾斜角	Stage Tilt Angle	deg
PixelSize	ピクセルサイズ	Pixel Size	nm
ScanSpeed	走査速度	Scan Speed	sec

●機関選択

出力計測パラメータ	日本語語彙	英語語彙	単位
DecelerationVoltage	減速電圧	Deceleration Voltage	kV
DecelerationMode	減速モード	Deceleration Mode	
SpecimenBias	標本バイアス	Specimen Bias	kV
FilamentCurrent	フィラメント電流	Filament Current	A
EmissionCurrent	エミッション電流	Emission Current	nA
Vacuum	試料室真空度	Vacuum Mode	Pa

📦 登録テンプレート

metadata-def.jsonと手入力項目の組み合わせにより、下記6種類の登録テンプレートが存在します。

●全機種共通分

登録テンプレート	metadata-def		手入力項目			
	共通	機関選択	共通	金属・無機系	有機系	機種依存
(1) Common-Inorganic	○	—	○	○	—	○
(2) Common-Organic	○	—	○	—	○	○
(3) AddCommon-Inorganic	○	○	○	○	—	○
(4) AddCommon-Organic	○	○	○	—	○	○
(5) MIN	○	—	○	—	—	—
(6) MAX	○	○	○	○	○	○

📦 データ構造化処理・データ解析

SEMの構造化処理では、特別なpythonライブラリは特に使用していません。

📦 参考文献

- [1] 日本規格協会“JIS K0132 走査電子顕微鏡試験方法通則”(1997)
- [2] 株式会社日立ハイテク, “SEMと友だちになろう”(2020)
- [3] 鈴木俊明, 本橋光也, “実践SEMセミナー -走査電子顕微鏡をつかいこなす”, 裳華房 (2023)
- [4] 日本顕微鏡学会関東支部編, “新・走査電子顕微鏡”, 共立出版 (2011)
- [5] 熊谷和博, 黒河明, “SEMにおける分解能評価法と評価用標準物質”, 顕微鏡, 57, No1, p.23-30 (2022)

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.



ARIM データリファレンスガイド

(走査電子顕微鏡：日立ハイテック編)

発行日 2025年1月(第1版)

編集・発行 国立研究開発法人物質・材料研究機構
マテリアル先端リサーチインフラセンターハブ

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

URL : https://nanonet.mext.go.jp/data_service/

E-Mail : arim_data@ml.nims.go.jp