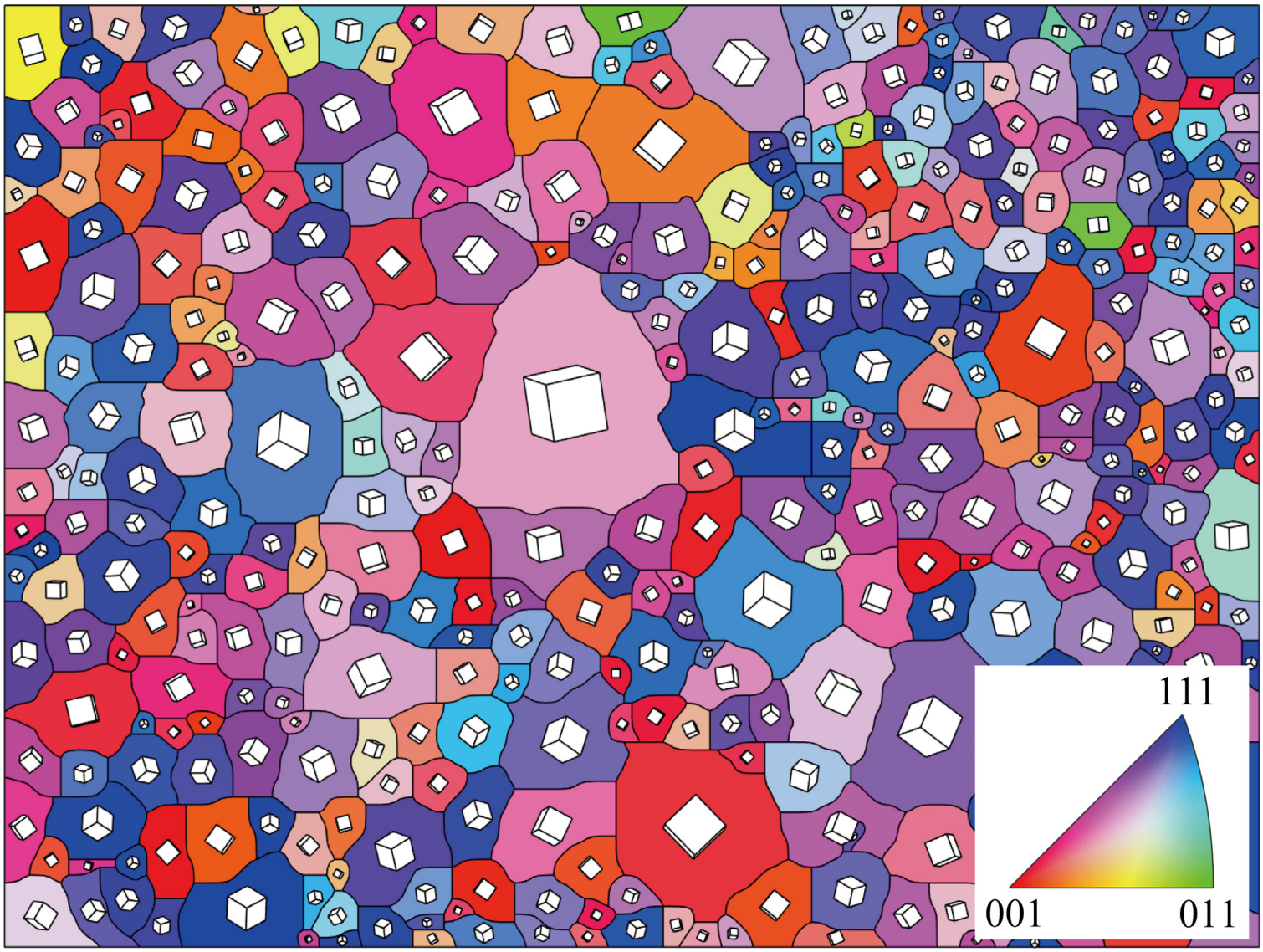
研究基盤技術センター
年次報告書

2023



東北大学　電気通信研究所

RIEC

表紙写真の説明

表紙の画像は、電子後方散乱回折（EBSD）法を用いて鉄の結晶の向き（結晶方位）を可視化したものになります。原子が規則正しく配列した構造を結晶構造といい、材料中の全ての原子の向きがそろうと単結晶と言います。その一方、表紙の画像のように結晶の向きがそろった領域を1つの結晶粒として様々な向きの結晶粒があつまったものを多結晶といいます。この画像では結晶の向きで色分けしているだけでなく、鉄の結晶構造である面心立方格子の回転でも可視化しています。

評価部で共通利用を提供している電子顕微鏡（日立製SU-6600）とそれに付随するのEBSD検出器（Oxford製HKL channel 5）を使用してデータを測定して、結晶方位解析ソフトMTEXを用いて解析しました。評価部では、EBSD測定のための試料の前処理から、結晶方位の測定・解析まで一貫した技術を提供しております。

評価部　丹野健徳

目 次

巻頭言 ・・・・P01

研究基盤技術センター　センター長　佐藤　茂雄

組織図 ・・・・P02

業務紹介 ・・・・P03

研究基盤技術センター業務紹介

各部機器リスト・有資格リスト

第一章　業務報告 ・・・・P10

研究基盤技術センター年間活動報告

各部年間活動報告

研究基盤技術センター講演技術発表会　開催報告

社会貢献

第二章　研修 出張報告 ・・・・P32

研修報告一覧・報告書

第三章　成果報告 ・・・・P56

発表報告一覧・報告書・発表資料

主催、講師担当報告一覧・報告書・講習会資料

共著・謝辞一覧

受賞報告一覧

第四章　技術報告 ・・・・P100

題目「Google　Workspace を用いた DX による業務効率化」

評価部　丹野　健徳

題目「FIB を用いた SiC 試料の TEM 薄片作成」

プロセス部　武者　倫正

編集後記 ・・・・P113

各部問い合わせ先 ・・・・P114

巻頭言

電気通信研究所では情報通信分野の研究拠点として、磁気記録や半導体・光通信をはじめとして世界をリードする研究が数多く行われています。研究技術基盤センターに所属する技術職員は、こうした最先端の研究の細かなニーズに合わせて機械工作や、理化学計測、材料加工、あるいは情報管理のための様々な技術を提供しています。研究内容の変化に柔軟に対応し技術と知見のブラッシュアップに努めており、卓越した技量と経験を通して研究開発に貢献しています。

本報告書は研究基盤技術センターの年度ごとの業務内容や成果をまとめたもので、広く学内外の皆様にその活動状況を知っていただくことを大きな目的として発行させていただくものです。より良い内容としていくために、ご覧になった皆様から忌憚のないご意見・ご要望などをお待ちしております。また、本センターの利用についてご希望やご質問等がございましたら、巻末の問い合わせ先までご連絡ください。

研究基盤技術センター長
佐藤　茂雄

東北大学電気通信研究所 研究基盤技術センター組織図

（2024年4月1日現在）

センター長
教授 佐藤茂雄

技術長
末永 保

工作部

グループ長
阿部 健人

末永 保(技術長)
前田 泰明
月本 佳奈

評価部

グループ長
丹野 健徳

阿部 真帆
柳生寛幸

プロセス部

グループ長
武者 倫正

小野 力摩
森田 伊織

情報技術部

グループ長
太田 憲治

丸山由子

運営委員会

教　授	佐藤 茂雄
教　授	石山 和志
教　授	長谷川 剛
教　授	吉信 達夫
技術長	末永　保

業務紹介

研究基盤技術センター

電気通信研究所において基礎科学から応用通信工学に広がる幅広い学問領域において先駆的な研究がこれまでになされてきた。伝統的には、技術職員は卓越した技量と経験を通してこれらに貢献してきた。将来に向かってこのような貢献が加速されるために、全ての技術職員と一名の助教が加わった研究技術基盤センターが 2007 年に設立された。センターは以下の 4 技術部を通して、機械工作や、理化学計測、材料加工、情報管理のための様々な技術を提供している。

工作部

先導的な機械工作技術を提供しており、様々な工作機械（図 1）を用いて研究室の要求を満たす実験機器の提供が可能である。ま た、機械工作を行う教職員や学生への指導も行っている。

評価部

X 線回折装置（図 2）や電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置のような評価・計測装置の提供を行う。ガラス工作品の提供も可能である。また、寒剤の供給を受け持っている。

プロセス部

ナノ・スピン実験施設共通部と協力し、スピントロニクス等半導体デバイス作製に係る技術相談に対応している。リソグラフィ技術提供（図 3 電子線描画装置 ＊ナノ・スピンの共同利用装置）やフォトマスクの受託加工、集束イオンビーム加工解析装置を主とした各種受託分析、およびクリーンルームの運転管理を行っている。

情報技術部

やわらかい情報システムセンターと協力して、研究所内のネットワークを運営すると共に共通利用の情報機器の管理を行っている。加えて、本研究所で生まれた革新的な技術を世界に発信していく際に重要な、知的財産に関する情報の収集と管理に従事している。

図 1 NC フライス盤

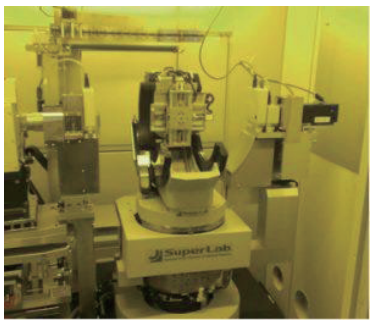


図 2 X 線回折装置

図 3 電子線描画装置

工作部　機器リスト

2024 年 4 月現在

種類	型番	保有台数	能力(加工可能な大きさ、加工可能な穴の直径等)	外来利用
フライス盤	SHIZUOKA R-5VN	1	搭載可能なワークの大きさ 1100×500mm	
	MAKINO　AE74	2	850×300mm	
	MAKINO　KSJP KJP-70 KSAP	各 1	950×250mm	
	INOUE IVQ-780	2	600×200mm	○
旋盤	TAKISAWA TAL-560	1	長尺端面加工：～70mmΦ 円盤加工：～300mmΦ	
	TAKISAWA TAL-460	1	長尺端面加工：～50mmΦ 円盤加工：～220mmΦ	
	WASINO LR55A	2	長尺端面加工：～30mmΦ 円盤加工：～180mmΦ	
	TATEYAGAWA TL800S,TL550S	2	長尺端面加工：～30mmΦ 円盤加工：～150mmΦ	○
ボール盤	YOSHIDA YBD360	2	把握可能なドリル直径：～6mmΦ	○
ラジアル ボール盤	TOA TRD-600C	1	把握可能なドリル直径：～50mmΦ	○
	MORI SEIKI YR3-115	1	把握可能なドリル直径：～50mmΦ	
シャー	AIZAWA N1504	1	切断可能　厚さ：～4mmt 幅　：～1280mm	○
コンターマシン	NCC　NCC-500	1	ストローク長：～500mm	
	YSkoki　YBD-360	1	ストローク長：～600mm	○
ベンダー	AMADA　RG-25	1	テーブル長：1200mm ストローク：100mm	

評価部　機器リスト

2024 年 4 月現在

装置名		主な性能	主な用途	2022年利用時間 (h)
構造解析装置	汎用X線回折装置 （RINT）	最大定格出力 2kW 測角範囲　-60～158度 自動測定処理システム 各種分析プログラム	結晶構造解析・評価	36.2
	精密X線回折装置 （SPL）	最大定格出力 1.2kW 5軸制御の試料ステージ 高分解能美昇格散乱測定 高分解能インプレーン測定	結晶構造解析・評価	816.0
	薄膜材料用X線回折装置 （MRD2D）	最大定格出力 3kW 測角範囲　-40～170度 高温測定　室温～900℃ 5軸制御の試料ステージ 2Dアレイ検出器	結晶構造解析・評価	1220.4
	高分解能走査型電子顕微鏡 (STEM)	二次電子像分解能 1.0nm 倍率　～×800,000 冷陰極電界放出形電子銃 STEM機能有 検出器　EDX 対象物質：C- Pu	表面形状評価 表面組成組成分析	229.3
	電子ビーム蛍光X線 元素分析装置 (EPMA)	二次電子像分解能 1.2nm 倍率　～×600,000 ZrO/W ｼｮｰﾄｴﾐｯｼｮﾝ電子銃 低真空モード (10- 300Pa)	表面形状評価 表面組成分析 結晶構造解析	223.1
組成分析装置	X線励起蛍光X線 元素分析装置 (XRF)	蛍光X線測定 検出器　WDX 真空またはHe雰囲気 対象物質：F- U	表面組成分析 結晶構造解析	0.0
	赤外分光光度計 （FTIR）	測定波数　400-5000 cm-1 検出器 DTGS 反射アタッチメント有	薄膜組成分析	0.0
光学測定装置	赤外可視分光器 （MONO）	波長範囲　200-2500nm	光吸収・発光 スペクトル測定	0.0
	大気下光電子分光装置 （PYS）	光子エネルギー 3.4～6.2eV	光電子収量分光 仕事関数測定	18.5
	分光エリプソメータ （ELPS）　旧PCR	測定波長　250～800nm 最大試料サイズ　φ100mm×2mm	エリプソパラメータ測定 光学定数解析 膜厚解析	0.0
	デジタルマイクロスコープ　プロセス室	光学顕微鏡	表面観察	0.0
加工装置	ダイシングソー （DICING）　E棟	ウェハー最大径6インチ	ウェハー切断加工	0.0
	ダイシングソー プロセス室	光導波路作製用 精密切断、溝切り加工	ウェハー切断加工	122.0

評価部共通機器紹介動画

SEM・XRDを用いた外部利用者向けオンライン受託測定
https://youtu.be/qahWXnDWY9U

プロセス部　機器リスト

2024 年 4 月現在

分類	装置名称	主な性能	主な用途	共通利用
露光	電子ビーム描画装置	加速電圧：100kV フィールド接合精度：±20nm 重ね合わせ精度：±20nm 最小線幅：12nm （スポットビームタイプ 最小ビーム径2nm） ウェハサイズ：5mm角～8inchΦ	レジスト等有機材料への極微細パターン形成	○ （委託のみ）
	ナノ・スピン電子描画システム 日本電子 JBX-9300SA	加速電圧：100kV 最小線幅：20nm ウェハサイズ：5mm角～300mmΦ	ナノスケールのパターン描画	○ (委託のみ)
	スピンデバイス用リソグラフィ装置 ハイデルベルグ・インストルメンツ DWL66+	最小描画線幅 HiResMode：300nm L&S Mode Ⅱ：800nmライン/スペース 重ね合わせ描画精度：500nm ウェハサイズ：5mm角～8inchΦ マスクサイズ：2.5～6inch角	ウェハへの直接描画 フォトマスク作製	○
	スピンデバイス用リソグラフィ装置 ハイデルベルグ・インストルメンツ DWL200	最小描画線幅：2μmライン/スペース ウェハサイズ：3～6inchΦ マスクサイズ：2.5～6inch角	フォトマスク作製 ウェハへの直接描画	
	マスクアライナー SUSS MJB4	基板サイズ：5mm角～4inch角 マスクサイズ：2inch角～5inch角 紫外線露光照度：25mW/cm^2 露光分解能：0.8μmライン/スペース （バキュームコンタクト時）	集積回路試作用フォトレジストパターン形成	○
微細加工	イオンビーム加工解析装置 カールツァイス NVision40	Gaイオンビーム最大加速電圧：30kV 電子ビーム最大加速電圧：30kV Arイオンビーム最大加速電圧：1kV 堆積可能膜：Pt,C,SiO_2 二次イオン質量分析器(SIMS) エネルギー分散型X線分光器(EDS) 走査透過型電子顕微鏡(STEM)機能 TEM試料作製用マニピュレータ 最大サンプルサイズ：4インチΦ	収束イオンビームによる微細加工とSEM観察	○ （FIB加工は委託のみ）
評価・観察	電界放出形走査電子顕微鏡 日立　SU8600	2次電子分解能 加速電圧15kV時：0.6nm 1kVリターディングモード時：0.7nm 倍率：×20～×2,000,000 加速電圧：0.5～30kV 照射可能電圧：0.1～30kV 半導体型反射電子検出器 最大試料サイズ：150mmΦ	薄膜表面極微細構造解析	○
	走査型電子顕微鏡 日本電子 JSM7401-FT	2次電子分解能 加速電圧15kV：1.0nm保証 1kV GBモード：1.5nm保証 像種：2次電子像、反射電子像 2次電子+反射電子像、エネルギーフィルタ像 倍率：×25～1,000,000 自動倍率補正機能、倍率瞬時切替機能、 像回転補正機能付き 加速電圧：LM,SEMモード：0.5～30kV GBモード：0.1～4kV プローブ電流：10^{-13}～2×10^{-9}A	薄膜表面極微細構造解析	○
	接触段差計 Bruker DEKTAK XT-A	最高垂直分解能：0.1nm 測定距離：50μm～55mm 触針半径(標準)：12.5μm ステージサイズ：直径150mm	段差、垂直形状、表面粗さなどの評価	○
	原子間力顕微鏡 SII nanocute	変位検出方式：自己検知方式 最大スキャン領域：20μm四方 分解能：XY方向：0.2nm Z方向：0.01nm データタイプ：形状像(表面形状像)	表面微細構造、形状像測定 立体構造、表面粗さ解析	○
	金属顕微鏡 OLYMPUS　MX50	対物レンズ：5×,10×,20×, 50×,250× 光学顕微鏡用デジタルカメラ付属	試料表面の評価観察	○
前処理	プラズマアッシャー ヤマト科学　V-1000TS	プラズマモード：DP、RIE 最大出力：1000W 導入ガス：O2 カーブトレーサーモード可	試料表面のアッシング、クリーニング	○
	プラズマアッシャー ヤマト科学　PR-500	高周波出力：0～500W連続可変 導入ガス：O_2	試料表面のアッシング、クリーニング	○
	SEM用スパッタ装置 サンユー電子　SC-701AT	スパッタ方式：2極対向電極放電方式 ターゲット：Au, Pt 試料処理室：φ120mm×D120mm	電子顕微鏡観察用金属コーティング	○

有資格リスト

2024 年 4 月現在

工作部

危険物取扱者　乙種第四類
高圧ガス製造保安責任者　乙種機械
玉掛け技能
第二種衛生管理者
第二種電気工事士
有機溶剤作業主任者
特定化学物質及び四アルキル鉛等作業主任者

評価部

危険物取扱者　甲種
クレーン（５ｔ未満）の運転業務
高圧ガス製造保安責任者　乙種機械
作業環境測定士
酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者
色彩検定　UC 級
第一種衛生管理者
第二種衛生管理者
玉掛け技能
特定化学物質及び四アルキル鉛等作業主任者
特別管理産業廃棄物管理責任者
有機溶剤作業主任者
衛生工学衛生管理者
上級バーチャルリアリティ技術者

プロセス部

危険物取扱者　甲種
高圧ガス製造保安責任者　乙種化学
酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者
特定化学物質及び四アルキル鉛等作業主任者
有機溶剤作業主任者

情報技術部

３級知的財産管理技能士(管理業務)
第三級陸上特殊無線技士
特定化学物質及び四アルキル鉛等作業主任者
有機溶剤作業主任者

TOEIC700 点以上達成者リスト

2024 年 4 月現在

評価部

阿部　真帆
丹野　健徳

情報技術部

丸山　由子

第一章

業務報告

研究基盤技術センターは4部（工作部、評価部、プロセス部、　情報技術部）で構成されており、それぞれ特色のある専門的な業務を担っています。

研究基盤技術センター　年間活動報告

対象期間：2023.4~2024.3

1, 各役割分担

会議関連

・教授会陪席(毎月 8 月は除く)…末永（工）、阿部健（工）

・統括技術専門員会議(毎月)…末永（工）

広報関連

・基盤センターHP 管理…太田(情)
・基盤センター利用マニュアル…丹野(評)
・通研要覧、通研活動報告原稿等取り纏め…工作部
・2022 年度年次報告書作成…プロセス部、情報技術部

2, 研究基盤技術センター　ミーティング

毎月開催（8 月は除く）　WEB 形式

・進行…末永（工）

・議事録作成…太田（情）

内容

1)教授会報告…阿部健（工）
2)総合技術部統括専門員会議報告…末永（工）
3)出張報告　研修報告…各部
4)各種（出張研修等）予定…各部
5)その他

会議名 / 月	教授会	曜日	統括専門員会議	曜日	研究基盤技術センターミーティング	曜日
4月	11	火	26	水	24	月
5月	9	火	31	水	29	月
6月	13	火	28	水	26	月
7月	11	火	26	水	31	月
8月						
9月	12	火	27	水	25	月
10月	10	火	25	水	30	月
11月	14	火	29	水	27	月
12月	12	火	22	水	25	月
2024年						
1月	9	火	24	水	29	月
2月	13	火	28	水	26	月
3月	12	火	27	水	25	月

2023 年度会議関連開催日程表

3, 基盤センター主催　学内向け行事

4 月　基盤センター利用説明会　開催（工作部・評価部）

・挨拶…佐藤先生（センター長）
・進行…阿部健（工）
・案内作成、開催通知、参加者取り纏め等…阿部健（工）、関谷（工）
・受講登録フォーム作成・管理…丹野（評）

3 月　研究基盤技術センター講演技術発表会　開催　…P19～27

・挨拶…佐藤先生（センター長）
・進行…末永（技術長）
・座長…前田（工）
・案内作成、開催通知、参加者取り纏め等…阿部健（工）

4, 社会貢献

9 月　第一回半導体基礎講座　開催（プロセス部・評価部）…P28～29

・講師 運営…丹野（評）、阿部真（評）、森田（プ）、武者（プ）、小野（プ）

10 月　通研公開　開催　…P30

・連絡員…柳生（評）
・来客対応…阿部健（工）、前田（工）、丹野（評）、小野（プ）、太田（情）

3 月　第二回半導体基礎講座　開催（プロセス部・評価部）…P28～29

・講師 運営…丹野（評）、森田（プ）、武者（プ）、小野（プ）

工作部年間活動報告書

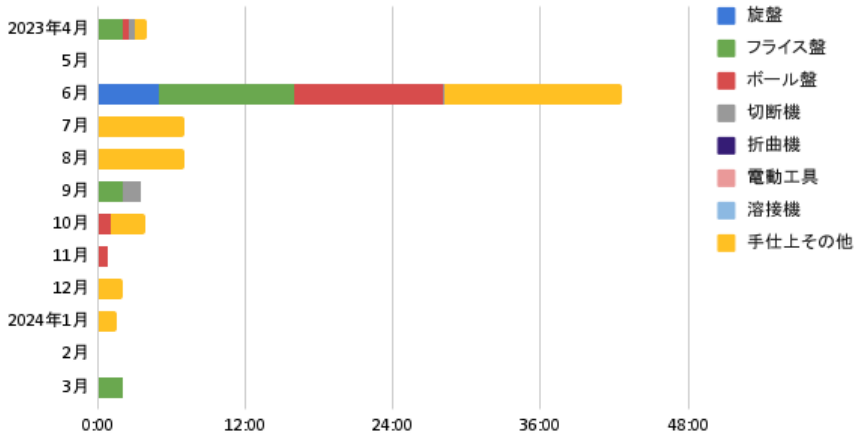
対象期間：2023.4～2024.3

工作部では 2023 年度の業務として、109 件の依頼工作を提供した。この中の約 11%は、研究所外からの要求に応じたものである。

コロナ禍で休止中だった教職員を対象とした外来利用を再開し、所内外合わせて 37 件の利用対応を行った。この際、従来は実地で行っていた工作部利用講習会を、動画を利用したオンライン受講に切り替え、受講登録も web 上で行えるようシステムのアップデートを行った。また、初めて機械加工を行う方や希望者に対して職員による工作指導も行った。

下記に製作依頼を含めた業務及び実績を記す。

活動実績

名称	参考資料	具体的な成果
製作依頼	図 1、2	VSM キャリブレーション用試料、EB 装置用ウエハ位置合わせ治具（図 1）、ファラデーケージ、蛍光観察用テフロンチャンバー、ロボットディスプレイ用ディスプレイマウント、VR 触覚提示ロボット、真空装置部品、実験水槽用ガイド（図 2）　他製作 計 109 件
外来利用	表 1	末松研究室…1 件、石山・後藤研究室…4 件、石黒・加納研究室…3 件、 吉信・宮本研究室(工学研究科)…27 件、CSIS… 1 件、 茂田・杉本研究室（工学研究科）… 1 件 計 37 件  表 1　外来利用時間
研修・発表	第 2 章、 第 3 章掲載	研修等参加…7 件 研究会等発表…2 件
行事	第 1 章、 リンク先掲載	2023. 4　研究基盤技術センター利用説明会　開催担当 2023. 10　通研公開　職場紹介、メダル配布 →News　2023 年度通研一般公開　｜　通研工作部（tohoku. ac. jp) 2023. 10　総合技術部　職場紹介記事　掲載 →【職場紹介】電気通信研究所　研究基盤技術センター　工作部　｜　新着情報｜東北大学 事業支援機構 総合技術部（tohoku. ac. jp) 2024. 3　研究基盤技術センター技術講演発表会　開催担当

役割分担

研究基盤技術センター利用説明会（2023.4）

・参加者取り纏め、工作部説明資料作成…阿部
・動画編集等…月本

通研公開　（2023.10）

・来客対応、メダル配布…阿部、前田

研究基盤技術センター技術講演発表会（2024.3）

・開催案内、取り纏め…阿部
・司会進行…末永
・座長…前田

工作部広報関連

・WEB ページ作成、管理…月本

工作部外来利用関連

・利用講習会動画作成、管理…月本
・外来利用対応、工作指導対応…月本

2023 年度製作品一例

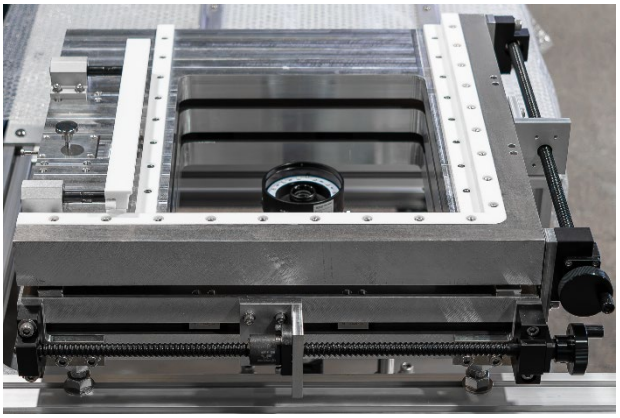


図 1　EB 装置用ウエハ位置合わせ治具

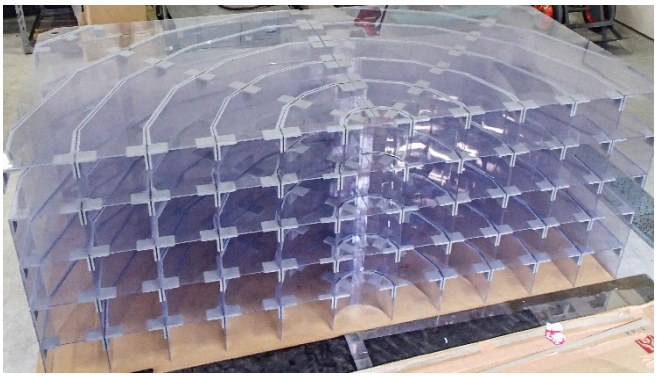


図 2　実験水槽用ガイド

評価部年間活動報告

対象期間：2023.1～2023.12

評価部では 2023 年の業務として、23 の研究室と 6 つの外部研究機関・企業が共通利用計測機器を利用した。共通利用計測機器の総使用時間は 2,117 時間になり、その内 67 時間が受託測定への対応時間になる。共通利用計測機器の使用時間を表 1 にまとめた。2 研究室での液体ヘリウム利用において技術的支援を行い、1,460 リットルの液体ヘリウムを供給した。また、事務部並びに安全衛生管理室と連携して研究所の安全維持に携わった。

この他の活動実績として、雑誌への特集記事の寄稿や、共著者として論文・学会発表、SEM・XRD 基礎講習会の主催、総合技術部研修やシンポジウムなどでの発表があげられる。

表 1　共通利用計測機器の年間使用時間

令和5年研究基盤技術センター・評価部利用実績(時間)
期間 ：R5年1月～R5年12月

	RINT	RINT依頼	SPL	SPL依頼	MRD2D	MRD2D依頼	STEM	STEM依頼	EPMA	EPMA依頼	XRF	XRF依頼	FTIR	MONO	PYS	ELPS	デジタルマイクロスコープ	ダイシングソー	計
吹留			11.0				54.0											3.0	68.0
佐藤・摺庭・山本																			
深見・金井			229.0																229.0
大塚							15.9		19.8									19.5	55.2
尾辻・佐藤							2.0											3.0	5.0
枝松							2.0												2.0
石山・後藤	65.9	5.5					17.9	4.0	40.7									71.8	205.8
平野							56.5												56.5
基盤センター	59.7		116.0		46.7		10.7		40.3		12.5				2.0				287.9
山田・松田	17.9	4.2	8.0	1.0			16.0											2.0	49.1
齊藤・小川							8.0								6.0				14.0
島津(学際)																			
鈴木(μSIC)	6.1				178.9				23.5										208.5
長(未来)			8.0	3.0															11.0
須川(未来)																			
東北工大柴田							18.0		8.0										26.0
小池(工)			431.0	13.0															444.0
須藤・安藤(工)			49.5	5.5	118.8	3.0													176.8
若林(理)															1.5				1.5
柴田(多元)									48.6										48.6
瀧宮(理)			11.0												10.8				21.8
坂本(理)											9.5								9.5
牧野(農)	1.8	1.0																	2.8
萱原(災害)											44.8								44.8
福島(未来)									1.5										1.5
橋田(未来)	38.8	10.0																	48.8
鼻山(未来)			20.0	2.0															22.0
洪(歯)	1.5																		1.5
外部利用	15.7	5.0		3.5			42.2		2.5	6.3									75.2
R5年実績	207.4	25.7	883.5	28.0	344.4	3.0	243.2	4.0	184.9	6.3	66.8				20.3			99.3	2116.8
R4年実績	36.2	799.0	17.0	1201.9	18.5	219.8	9.5	212.6	10.5					18.5				122.0	2665.53

RINT:汎用X線回折装置 SPL:精密X線回折装置 MRD2D:薄膜用X線回折装置 STEM:高分解能走査型電子顕微鏡 EPMA:電子ビーム蛍光X線分析装置 XPS:X線光電子分光装置
XRF:X線励起蛍光X線元素分析装置 FTIR:赤外分光光度計 MONO:赤外可視分光器 PYS:大気下光電子測定装置 DISING:E棟ダイシングソー ELPS:分光エリプソメーター学顕微鏡

プロセス部年間活動報告

対象期間：2023.4～2024.3

【活動実績】

名称	参考資料	具体的な成果
依頼対応	図1	電子線露光装置…計381件、フォトマスク作製…計31件 イオンビーム微細加工…計8件、受託分析…計13件
研修・発表	第2章、 第３章掲載	参加…8件、発表・開催…2件
基盤センター行事	第1章掲載	2023.10　通研公開　業務紹介、マスク展示

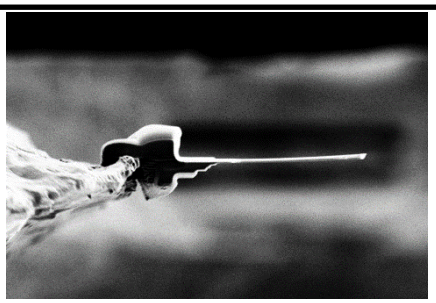


図1　イオンビーム微細加工(TEM薄片)例

【半導体基礎講座】

評価部およびナノ・スピン実験施設と協力し、「半導体を基礎から学べる社会人のための半導体基礎講座」を計2回(23年9月、24年3月)開催した。計25名の参加者が座学、トランジスタ作製実習、評価分析機器実習を通してトランジスタや半導体プロセスについて学び、特に実習について好評を博した。

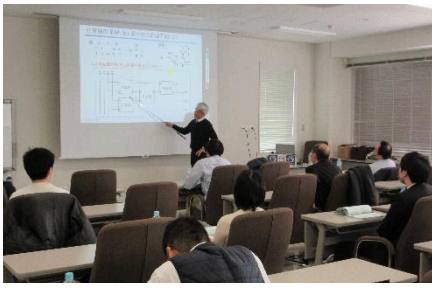
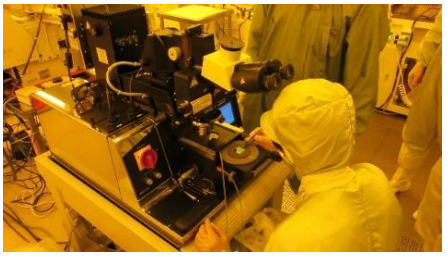


図2　半導体基礎講座の講義(左)と実習(右)の様子

【CMOSトランジスタ作製研修】

電子回路・測定・実験群の少人数型技術研修として、CMOSトランジスタ作製研修を主催した。トランジスタ作製プロセス・評価について講習を行うと共に、他部局の技術職員と装置管理・安全衛生管理についての情報交換や知見共有を行った。



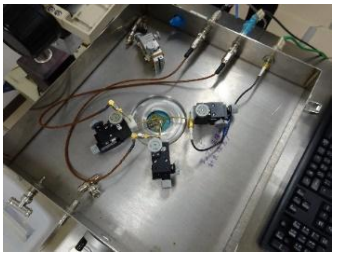


図3　CMOSトランジスタ作製(左)と電気特性評価(右)

【新装置導入報告】

プロセス部では2022年から2023年にかけて下記3台の装置を新規導入した。以下に各機種の特徴、機能を紹介する。

・電子線描画装置　JBX-8100FS（日本電子）

既存機器に比べて最小ビーム径、走査スピード等が向上し、さらに12段カセット自動搬送システムにより、一度に複数枚のサンプルの描画が可能となった。また、本装置は光学顕微鏡を有しており、レジストを感光させることなくサンプル上のパターンを確認して位置合わせ描画が可能である。

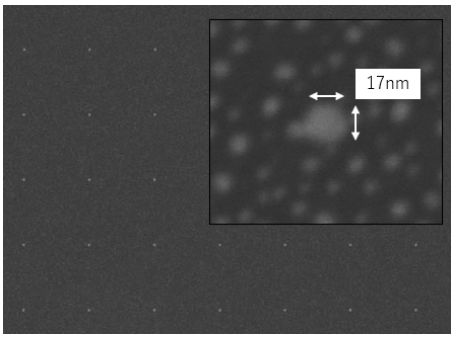


図4　電子線描画装置 JBX-8100FS 外観(左)とJBX-8100FSでの微細描画(右)

・レーザー描画装置　DWL66+（ハイデルベルグ・インストルメンツ）

本装置の特徴はレーザー描画装置という機器類では最小の300nm線幅のフォトレジストパターンの形成が可能である点が挙げられる。基板は小片サイズから、8インチマスクサイズまで対応している。

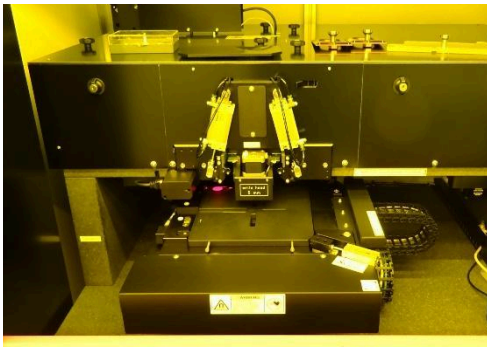


図5　レーザー描画装置DWL66＋装置外観（左）と本体内部写真（右）

・電界放出形走査電子顕微鏡　SU8600（日立ハイテク）

既存機器に比べて2次電子分解能が0.7nmに向上、照射可能電圧が0.1kVまで拡大し、より明瞭で幅広い観察が可能となった。今後は複数の検出器による高度な観察方法などを整備し、より利用を促進していく。

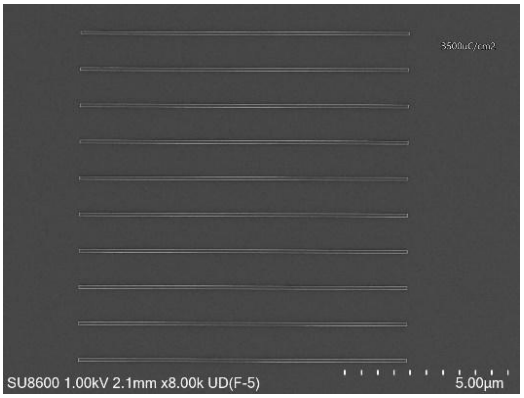


図6　電界放出形走査電子顕微鏡 SU8600外観(左)とパターン評価観察例(右)

情報技術部年間活動報告

対象期間：2023.4～2024.3

情報技術部では 2023 年の業務として、通研における学術・研究の基盤となる情報ネットワーク及びサーバシステムの管理・運用および、イベント支援を行った。また、事務部と連携して研究所の知的財産関連の業務に携わった。

具体的な取り組みは、以下の通りである。

- **研究所内の技術支援について**
  - サーバ機器、ネットワーク機器のメンテナンス、監視
  - 情報セキュリティインシデントへの対応
  - 各研究室からのネットワーク使用に関する相談対応
  - 情報システムのアカウント管理
  - 通研 Web サイトの構築・更新
  - イベント・カンファレンスの動画コンテンツ作成と公開
  - イベントの運営支援
  - 所外に持ち出すモバイル通信機器のセキュリティ対策チェック
  - 計画停電時の予備電力によるシステム運用
  - 東北大学で初となる研究所が免許人になるローカル 5G 実験試験局免許を取得
  - ローカル５Ｇを用いた研究支援の実施
  - ローカル５Ｇの共同研究を実施し、ローカル５Ｇの電波特性などに関する調査を実施
  - ２号館改築工事に伴うネットワークインフラの設計を実施
  - G-Suite の仕様改定に伴い研究室支援および対応を実施
  - 研究室 Web、メールサーバに関する技術支援を実施
  - ローカル５Ｇの共同研究を実施し、ローカル５Ｇの電波特性などに関する調査を実施
  - 先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォームの研究開発の技術支援において、災害時のエージェント研究に対し、LPWA 通信を用いたメッセージ送信基盤に関する技術支援を実施

- **研究所外の技術支援について**
  - コアファシリティ事業に対して、メールサーバや検証サーバの構築・メンテナンス及び、大学の認証基盤変更に伴う技術支援を実施。また、旧 Web サーバの移行作業も実施。
  - 生命科学研究科に対して、配信システムや eduroam 関連および、新棟のネットワーク新設に関する技術支援を実施
  - 配置部局以外である AIMR、加齢研に対して、無線 LAN システムの技術支援を実施
  - 青葉ユニバース内の半導体設計拠点のプロジェクトに関する技術支援を実施

この他の活動実績として、講習会の主催、総合技術部研修やシンポジウムなどでの発表があげられる。

研究基盤技術センター講演技術発表会　開催

「令和 5 年度通研研究基盤技術センター技術発表会」の開催報告

工作部　阿部健人、末永保、前田泰明、月本佳奈

名称：「令和 5 年度通研研究基盤技術センター技術発表会」
期間：令和 6 年 3 月２５日
場所：zoom（オンライン）

1、 目的

各利用研究室とセンターとの連携の強化、並びにセンター内での知見の共有などを目的として、研究基盤技術センターをご利用頂いている研究室の「特別講演」と、当センターの技術職員による「技術発表」の構成で、毎年度末に行われる。

2、 内容

（進行：末永保）
開会　センター長挨拶
特別講演
「電子後方散乱回折法の応用」　　鈴木 茂（マイクロシステム融合研究開発センター）

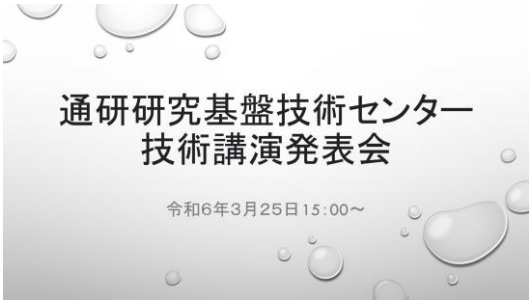
技術発表（座長：前田泰明）
「EBSD の技術向上について」（動画発表）　　阿部 真帆（評価部）

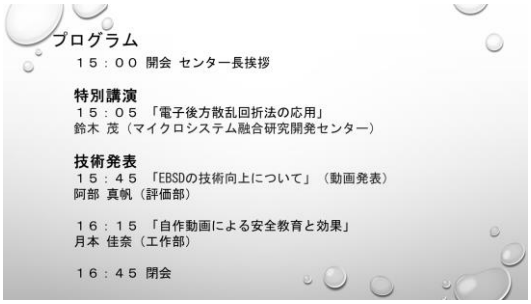
「自作動画による安全教育と効果」　　月本 佳奈（工作部）

３、感想

当日は所内外から教員、技術職員合わせて計 39 名の参加を頂いた。
特別講演及び評価部の技術発表では、主に評価部をご利用いただいている鈴木先生より研究内容と研究を進める上でのセンターの貢献した内容とその変遷について紹介して頂き、今後の研究支援業務へのモチベーションとなった。

また、動画作成に関する発表では従来実地で行っていた講習会をオンライン化することで業務の省力化する取り組みが紹介され、その他の業務でも活用できる場面を模索するきっかけとなった。





通研研究基盤技術センター技術講演発表会のご案内

通研研究基盤技術センター長
佐藤茂雄

電気通信研究所　研究基盤技術センターでは、各利用研究室とセンターとの連携の強化、並びにセンター内での知見の共有などを目的として、「研究基盤技術センター技術講演発表会」を開催しております。今年度も研究基盤技術センターをご利用頂いている研究室の「特別講演」と、当センターの技術職員による「技術発表」の構成で、下記の通り開催いたします。

記

日　　時：　令和６年３月２５日（月）　１５：００ ~ １６：４５
形　　式：　オンライン開催　Zoom　（URL は参加者に別途案内）
　　※講演中の映像は記録のため録画させていただきますのでご了承ください。
対 象 者：　教職員や学生はどなたでも聴講できます。
申 込 先：　下記の Google フォームからお申し込みください。
　　https://forms.gle/7BQEKvuTktXyeeAt9

申込み締切：　令和６年３月２２日（金）

プログラム（進行：末永保）
　１５：００　開会　センター長挨拶

特別講演
　１５：０５　　「電子後方散乱回折法の応用」
　　鈴木　茂（マイクロシステム融合研究開発センター）

技術発表（座長：前田泰明）
　１５：４５　　「EBSD の技術向上について」（動画発表）
　　阿部　真帆（評価部）

　１６：１５　　「自作動画による安全教育と効果」
　　月本　佳奈（工作部）

　１６：４５　閉会

＜担当＞
電気通信研究所 研究基盤技術センター 工作部
E-mail: kojyo_riec@grp.tohoku.ac.jp
内線:(91)5536

EBSDの技術向上について

評価部　阿部

はじめに

- 2008年化学の試験で採用、学生時代は分析化学を専攻
  （ガスカラムクロマトグラフによる**定性・定量**分析）
- 2009年3月に分析用電子顕微鏡（SEM）が導入
  付属分析装置　エネルギー分散型元素分析装置（EDX）
  →**定性・定量**分析
  波長分散型元素分析装置（WDX）
  →**定性・定量**分析
  結晶方位解析装置（EBSD）
  →**結晶方位を測定？**

図1 分析用SEM

EBSDについて -1

- 電子ビームを試料に照射し、試料から発生した反射電子が回折され、スクリーンに結晶情報を反映した回折像（菊池パターン）が投影される

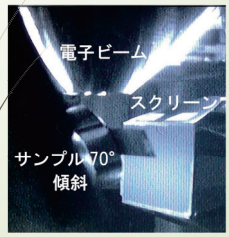


図2 SEMチャンバー内部

投影

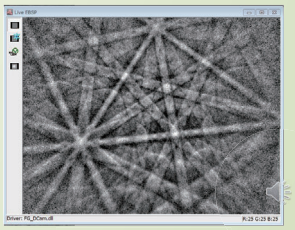


図3 菊池パターン

EBSDについて -2

- サンプルの位置ごと（マッピング）の菊池パターンを得ることで、IPFマップやKAMマップなど様々な解析が可能となる

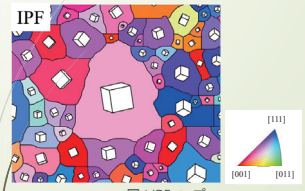


図4 IPFマップ

結晶の方向(結晶方位)を可視化したもの
結晶の向きがカラーマップで表される

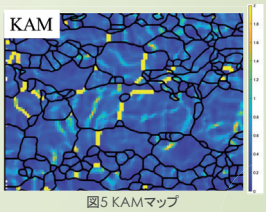


図5 KAMマップ

測定部と周囲の方位差から、
微視的なひずみ状態を可視化したもの
青色→周囲との方位差が小さくひずみが少ない
水色・黄色→周囲との方位差が大きくひずみが大きい

図4, 5は千葉、第11回アライアンス技術支援シンポジウムより引用

EBSD初心者がぶつかる壁

- 菊池パターンを得ることができない
  →サンプルの状態が悪いのか、操作設定が悪いのか判断できない

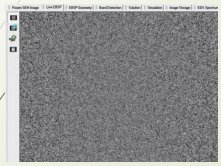


図6 菊池パターンが
得られない時の画面

菊池パターンが得られない時に考えること
【サンプルの状態】
・サンプル表面の研磨が不十分
・サンプルの導電性が悪い
・結晶ができていない　など

【操作設定】
・バックグラウンドの設定が適切ではない
・SEMの設定が適切ではない　など

- 複数の解析方法があり、解析結果の説明ができない
- 測定希望者から必要な事前情報が得られない

EBSDの利用実績

- 2009年の運用開始から、当時の多元物質科学研究所 鈴木茂研究室（学生、教職員）が使用していた
- 鈴木先生が定年退職される2018年度から鈴木研究室の利用がほぼなくなり、EBSDの利用は年に1-2回もしくは利用相談がある程度

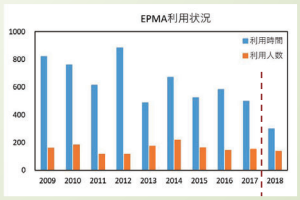


図7 EPMA(SU6600)利用状況の推移

EPMAの利用実績は
SEMや付属の分析装置(EDX, EBSD)
の利用時間の合計となっている

EBSD勉強会のはじまり

- 2020年 コロナ禍で装置利用が減り、依頼分析や学生の指導がなかった
- データ解析ソフト（MTEX）が無料で使えることとなり、丹野が解析の練習のため、鈴木先生に過去の研究室のEBSDデータ提供の依頼を行った
- 鈴木先生からEBSD勉強会のご提案をいただき、2020年9月より千葉さん（多元研　技術職員）、丹野、阿部で週一回、1時間程度のEBSD勉強会を開始した

勉強会　座学と演習

- 2020年9月～10月　EBSDの原理、解析データの意味などを学ぶ
- 2020年11月以降　鈴木先生がお持ちのサンプルで測定（阿部）とデータ解析（丹野）の演習を行う
- 勉強会で鈴木先生やEBSDの経験がある千葉さんから、測定や解析のアドバイスをいただく
- EBSDだけでなく、XRD（丹野、千葉さん）の結果報告や発表資料の確認も行っている

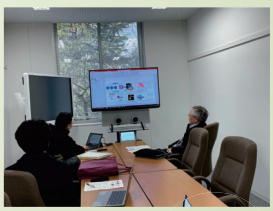


図8 勉強会の様子

電解研磨

- EBSDはごく表面 (10nm程度) の情報を得ているため、表面の光沢が見える程度まで平滑にすること、酸化膜や表面の汚れの除去が必要
- 2021年冬から電解研磨を教わり、サンプルによって印加電圧や研磨時間を変えるなど試行錯誤しながら、電解研磨を行っている

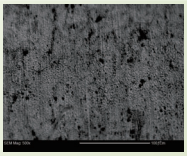


図9 電解研磨　3V 20秒
Fe合金　倍率500倍

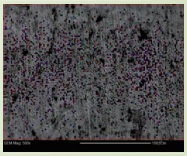


図10 電解研磨　3V 20秒
菊池パターン検出率15%

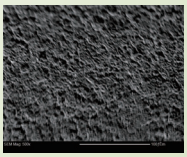


図11 電解研磨　5V 60秒
Fe合金　倍率500倍

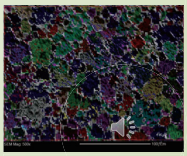


図12 電解研磨　5V 60秒
菊池パターン検出率82%

勉強会の主な成果（発表・論文）

- 通研共プロ：丹野　2021年度～2023年度　ポスター発表
- 口頭発表：千葉　2023年春・秋　金属学会
- 査読付き論文：千葉　2022年　Materials Transactions
- 雑誌：丹野　2023年　金属

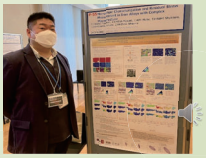


図13 通研共プロ　ポスター発表

勉強会とは別のEBSDの成果 (2021年～)

- 依頼測定：年2～3件
  （学外）
- 技術相談：年2～3件(試しの測定も含む)
  （所内・所外）
- 学生、教職員への操作指導
  （所内・所外）
- 学会の共著：学会発表2件
  (2023年国際会議、国内会議)

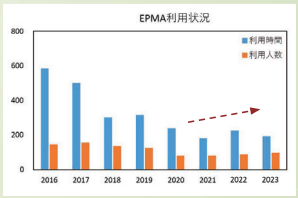


図14 EPMA(SU6600)利用状況

2021年よりわずかではあるが
利用人数が増加している

謝辞

- EBSDを基礎から教えていただいた鈴木先生、
  アドバイスをいただいた千葉さん、
  データ解析だけでなく電解研磨もお任せしていた丹野さんに
  感謝申し上げます。

自作動画による安全教育と効果

研究基盤技術センター　工作部

月本　佳奈

目次

1、はじめに
2、これまで
3、制作手順
4、結果・今後の課題
5、終わりに

2

はじめに

研究基盤技術センター工作部では、依頼に沿った装置・器具の設計、製作を、技術職員4名で行っている。

もうひとつ重要な業務として、**学生等に対する工作指導**があるが、コロナウイルス流行に伴い、工作指導を一時休止した。

3

はじめに

工作指導を受けるには、利用講習会の受講が必須だが、**実地で行っていた講習会を動画化**させることで利用再開を果たした。

本報告では、動画を制作したことにより実現できた安全対策やその効果、制作方法、使用した機材やソフト等について紹介する。

4

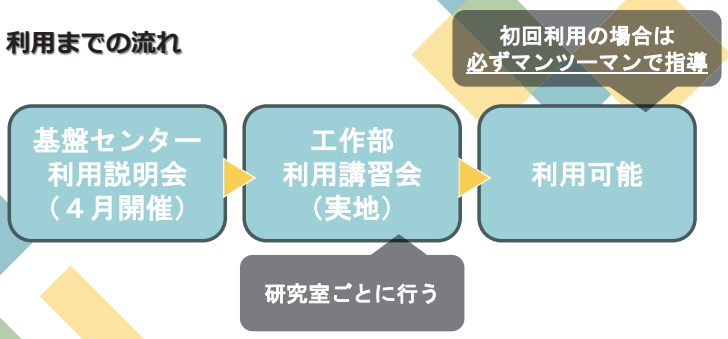
目次

1、はじめに
2、これまで
3、制作手順
4、結果・今後の課題
5、終わりに

5

これまでの講習会（実地）

利用までの流れ



これまでの講習会（実地）

～事前準備～

- 予約受付、日程調整
- 各機械説明用の材料準備

なるべく第一四半期中での受講を呼びかけ

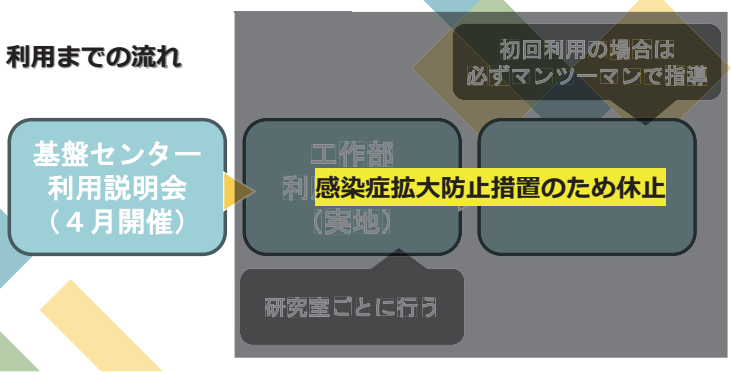
～講習会当日～　所要時間：2時間

- 工作部利用手順と各機械（使用頻度高い5種）の使用方法説明
- 受講者名簿（紙）に記入、ファイリングし管理
- 毎回同じ手順で研究室ごとに行う
- 多い年で11回！

7

これまでの講習会（実地）

利用までの流れ



これまでの講習会（実地）

利用までの流れ

初回利用の場合は
必ずマンツーマンで指導

基盤センター
利用説明会
（４月開催）

→

工作部
利用講習会
動画化

→

利用可能

目次

1、はじめに

2、これまで

3、制作手順

4、結果・今後の課題

5、終わりに

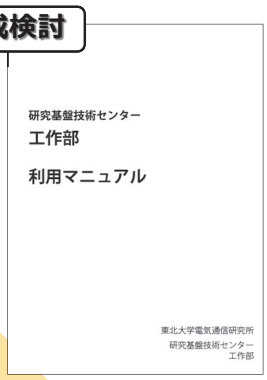
10

大まかな制作手順

① 構成 台本作成 → ② 撮影 録音 → ③ 編集

11

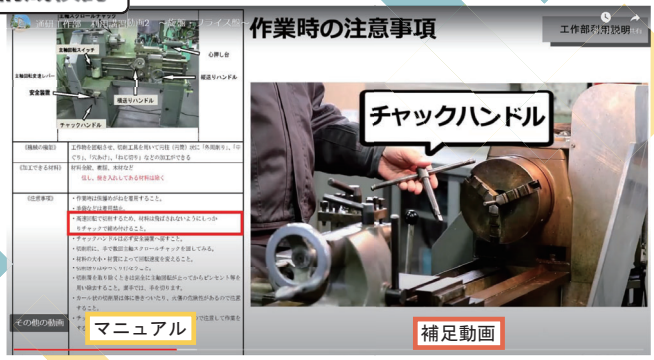
①構成検討



12

既存のマニュアルに沿って構成

①構成検討



13

左にマニュアル、右に補足として動画を配置

①台本作成

- 部内全員で検討し、初見でも分かりやすい言い回しを模索
- 台本を作りながら、どのような映像にするか？等も検討

(7) 特に今まで説明した3点は特に大切なので使用する際は、確認しながら必ず行ってください。

(8) では、4つ目です。ドリルの径によって回転速度を変えてください。変える作業は工作部の職員が行なうので相談して下さい。

(9) 5つ目です。材料をテーブルに固定する前に、ドリルがテーブルに空いている3箇所の穴のどれかを貫通することを確認してください。もし貫通していないところで穴あけ加工を行なおうとようとすると材料を貫通したあとにドリルが機械のテーブルを傷つけてしまいます。

(10) では、実際にドリルをセットしてみましょう。いずれかの穴を貫通するよう確認してください。確認ができたら、材料を今回はシャコ万力を用いて固定します。

実際の台本

14

大まかな制作手順

① 構成 台本作成 → ② 撮影 録音 → ③ 編集

15

②撮影・録音

CANON Kiss X9

～撮影～

- 完成品の撮影・記録用に以前購入した一眼レフカメラで撮影
- 場面によってレンズを使い分け

～録音～

- Windowsに入っている録音ソフトで台本の音声を録音
- 聞き取りやすい速度で話し、ノイズ除去も行った

16

②撮影・録音　レンズ使い分けの理由

～レンズ①　EF-S 18-55～

- 背景ボケ感弱め
- 全体をくっきり映したいときに使用

17

②撮影・録音　レンズ使い分けの理由

～レンズ②　EF-S 55-250～

- 背景ボケ感強め
- ピンポイントで映したいときに使用
- 近距離撮影が危険な時にも◎

18

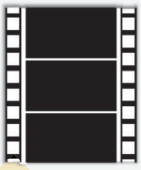
大まかな制作手順

① 構成 台本作成 → ② 撮影 録音 → ③ 編集

19

③編集　編集ソフト

AviUtl ver 1.10



メリット

- 基本無料で使用できる
- それなりの編集ができる
- 動作が軽い

デメリット

- 導入が面倒
- 操作説明も何もない
  ※調べれば大体出てくる
- 自分で機能を追加する必要がある

20

③編集　その他のおすすめ編集ソフト

Adobe　premiere Pro

- 値段は高いが機能が豊富
- プロ並みの編集ができる
- チュートリアルがあり初心者に優しい
- 分からないことも調べれば大体出てくる

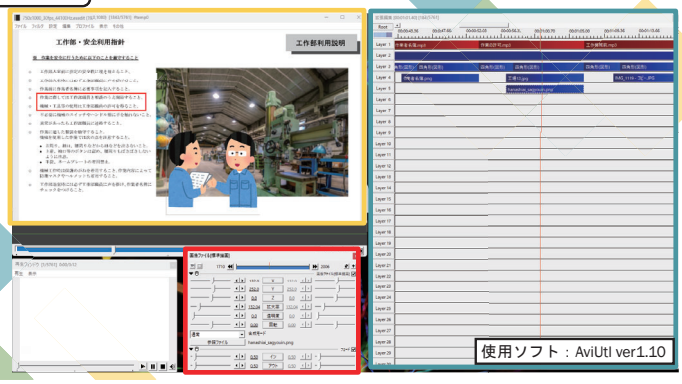
Microsoft clip champ

- 基本無料で使用できる
- それなりの編集ができる
- 無料で使える素材が結構ある
- Premiere Proに近い操作感
- Windows向け

21

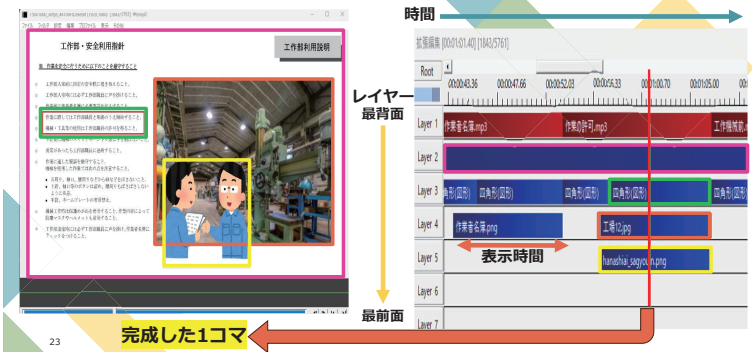
③編集

実際の編集画面



③編集

実際の編集画面



23

動画完成

利用までの流れ

初回利用の場合は必ずマンツーマンで指導

基盤センター 利用説明会（４月開催） → 工作部 利用講習会 動画化 → 利用可能

2023年4月　利用再開！！

目次

1、はじめに

2、これまで

3、制作手順

4、結果・今後の課題

5、終わりに

25

これまでの講習会（実地）

～事前準備～

- 予約受付、日程調整
- 各機械説明用の材料準備

なるべく第一四半期中での受講を呼びかけ

～講習会当日～　所要時間：2時間

- 工作部利用手順と各機械（使用頻度高い5種）の使用方法説明
- 受講者名簿（紙）に記入、ファイリングし管理
- 毎回同じ手順で研究室ごとに行う
- 多い年で11回！

26

対策後の講習会（動画）

～事前準備～

- 動画視聴、受講登録の周知メール送付

～講習会当日～　所要時間：20分（動画2本）

- 随時受講登録状況の確認
- スプレッドシート確認・管理（名簿となる為）

負担激減!!

27

結果　感染症対策を行ったら…（業務面）

- ✓ 準備等の手間が省け、主業務に専念出来るようになった
- ✓ 受講者も職員も拘束時間が激減
- ✓ スプレッドシートのおかげで受講確認がスムーズになった
- ✓ 研究室ごと団体受講→個人での受講となったため、通年を通して気軽に登録でき、より利用しやすい環境になった

28

結果　感染症対策を行ったら…（安全面）

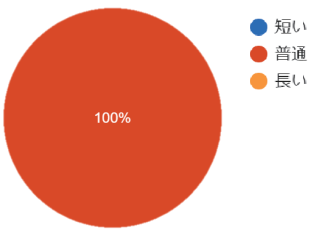
- ✓ 予め見てもらうことで予備知識が付き、怪我防止に!
- ✓ 統一した丁寧な説明により、説明不足の解消!!
- ✓ 何度も視聴ができ、使用したい機械のみの復習も可能!

指導側から再視聴するよう呼びかけることも可能！

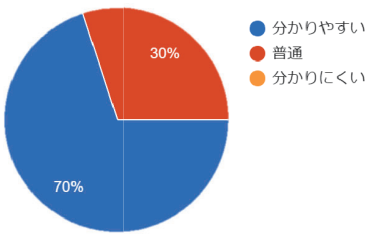
29

アンケート結果

視聴時間



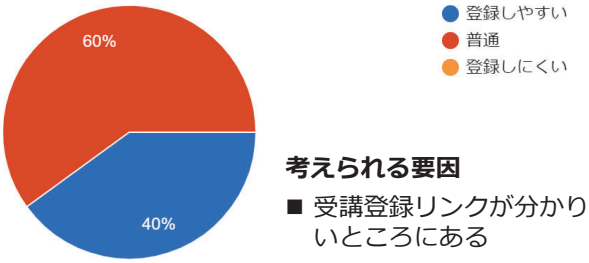
動画内容



30

アンケート結果

受講登録について



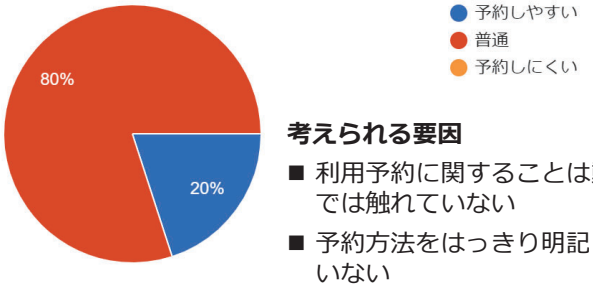
考えられる要因

- 受講登録リンクが分かりにくいところにある

31

アンケート結果

利用予約について

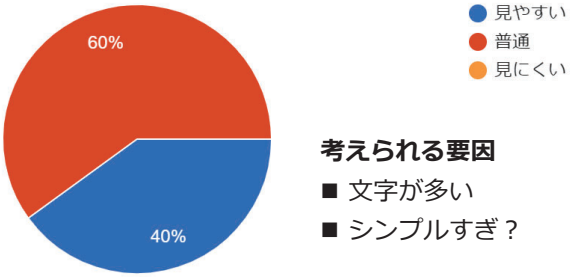


考えられる要因

- 利用予約に関することは動画では触れていない
- 予約方法をはっきり明記していない

アンケート結果

WEBページの見やすさについて



考えられる要因

- ■ 文字が多い
- ■ シンプルすぎ？

アンケート結果

受講後利用した方

- ・動画視聴によって得た知識は役に立ったと思うか？
  →全員「思う」と回答
- ・利用中、危険に感じた場面はあったか？
  →全員「なし」と回答
- ・嬉しいコメントもありました！

受講後利用していない方

- ・今後利用してみたいと思うか？
  →全員が「利用したい」と回答

34

今後の課題

- **・利用予約はGoogle App Scriptを活用し、WEB予約制に**
- **・工作部WEBページを見やすく、使いやすい物に更新**
- **・講習動画の定期的な見直し**

35

目次

1、はじめに
2、これまで
3、制作手順
4、結果・今後の課題
5、終わりに

36

おわりに

・元々所有している物を活かし、費用をかけることなく業務改善ができ、非常に良い経験となった

・素人でも時間をかければ動画制作は可能！

37

ご清聴ありがとうございました

ご意見、ご要望は下記連絡先へ
kojyo_riec@grp.tohoku.ac.jp

工作部WEBページ▻▻

社会貢献

半導体基礎講座開催報告

期間：2023 年 9 月 19 日(火)～20 日(水)、2024 年 3 月 21 日(木)～22 日(金)
場所：東北大学　電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設、研究基盤技術センター評価部

【開催概要】

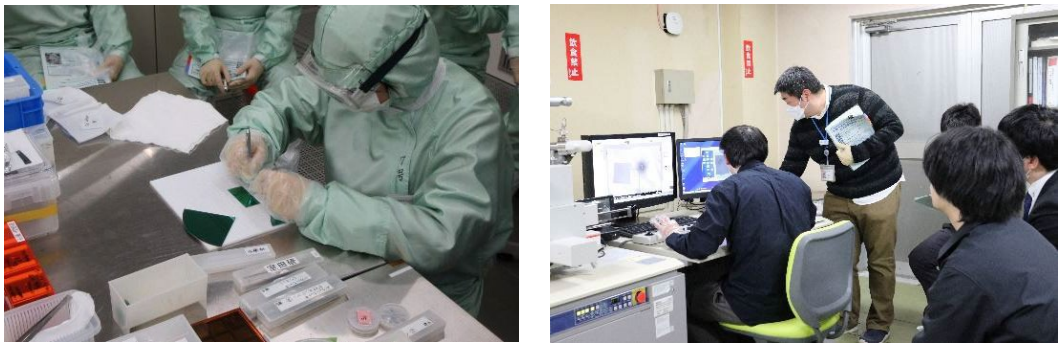
2023 年度に計 2 回、プロセス部と評価部により半導体基礎講座を開催した。この講座は正式名称を「半導体を基礎から学べる社会人のための半導体基礎講座」としており、主に半導体や電子部品等に関わる企業・団体の方を対象として、半導体技術の基本について講義・実習を通して一通り学ぶことが出来る内容になっている。特にクリーンルーム内でのトランジスタ制作実習を通して実際に半導体製作プロセスを体験できる点、最新の計測・評価機器を用いて分析評価技術を学ぶことが出来る点が他にはない大きな特徴である。

【プログラム内容】

実習順はグループにより異なるが、ここではその一例を挙げる。
1 日目午前：講義「MOS トランジスタと半導体プロセス」
1 日目午後～2 日目午前：半導体プロセス実習
　　フォトリソグラフィー、エッチング、金属成膜、電気特性評価等
2 日目午後：分析評価実習
　　走査電子顕微鏡、X 線回折法の概略説明と実習

【評価】

2023 年度は 2 回で計 25 名に参加頂き、講義は 8 割以上、実習は 9 割以上の参加者に好評であった。講義では半導体プロセスだけでなく半導体の進化の歴史や将来の展望についても学べた、実習ではこれまで体験したことのない半導体プロセスを実践でき非常に有意義だった等の声が寄せられた。半導体製造プロセスは各工程が細分化しており、自身の担当工程以外は未経験であったのでトランジスタ完成までを通して実習できた意義は大きかったといった意見や、半導体製造ではなく販売に携わっている人から普段扱っている製品について理解を深められたという感想もあり、本講座が社会人の半導体学習に幅広く役立っているということが確かめられた。



トランジスタ制作実習の様子(左)と走査電子顕微鏡実習の様子(右)

半導体を基礎から学べる社会人のための
令和5年度第1回（通算第8回）
半導体基礎講座

日時 令和5年9月19日(火)～20日(水)

会場 東北大学電気通信研究所（仙台市青葉区片平二丁目1-1）

主催 東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設
研究基盤技術センター

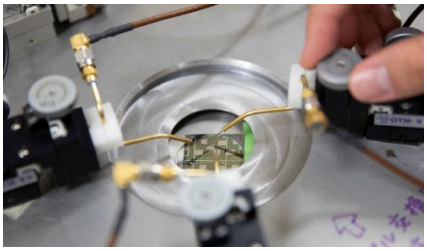
後援 みやぎ高度電子機械産業振興協議会

参加費 30,000円 当日会場にてお支払い頂きます。※現金のみ

半導体ってなんだ？

半導体や電子部品等に関わる企業・団体の皆様を対象として、
半導体技術の基本について学ぶ基礎講座を開催いたします。
■エッチング，フォトリソグラフィー等の原理を“講義”と“実習”で学ぶことができます。
■研究所が持つ最新の計測機器・技術について，“実習”を交えて学ぶことができます。

日	時間	Aグループ	Bグループ
19日（火）	午前	【講義】①MOSトランジスタと半導体プロセス　②実習内容の概要 半導体の歴史から、原理、プロセスまでをわかりやすくご説明いたします。	
	午後	【実習】クリーンルーム内実習 フォトリソグラフィー、SiO_2 エッチング、AI成膜、電気特性評価等 半導体のプロセスを体験できます。	【実習】走査型電子顕微鏡及び X線解析法の概略説明と実習
20日（水）	午前		【実習】クリーンルーム内実習 フォトリソグラフィー、SiO_2 エッチング、AI成膜、電気特性評価等 半導体のプロセスを体験できます。
	午後	【実習】走査型電子顕微鏡及び X線解析法の概略説明と実習	



- 実習時間確保のため，少人数グループで運営します。
- 各日の開始時刻、参加グループ分けは受講決定後に別途ご連絡いたします。

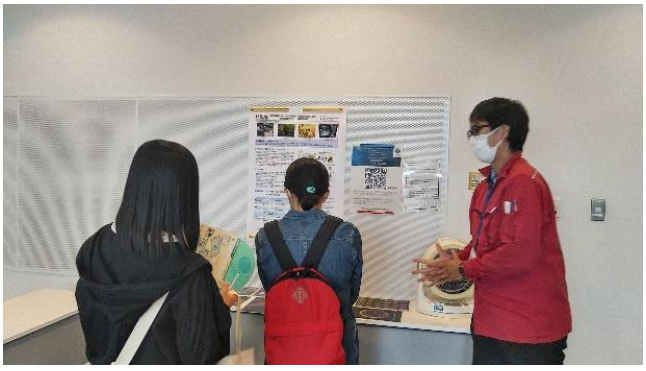
通研公開

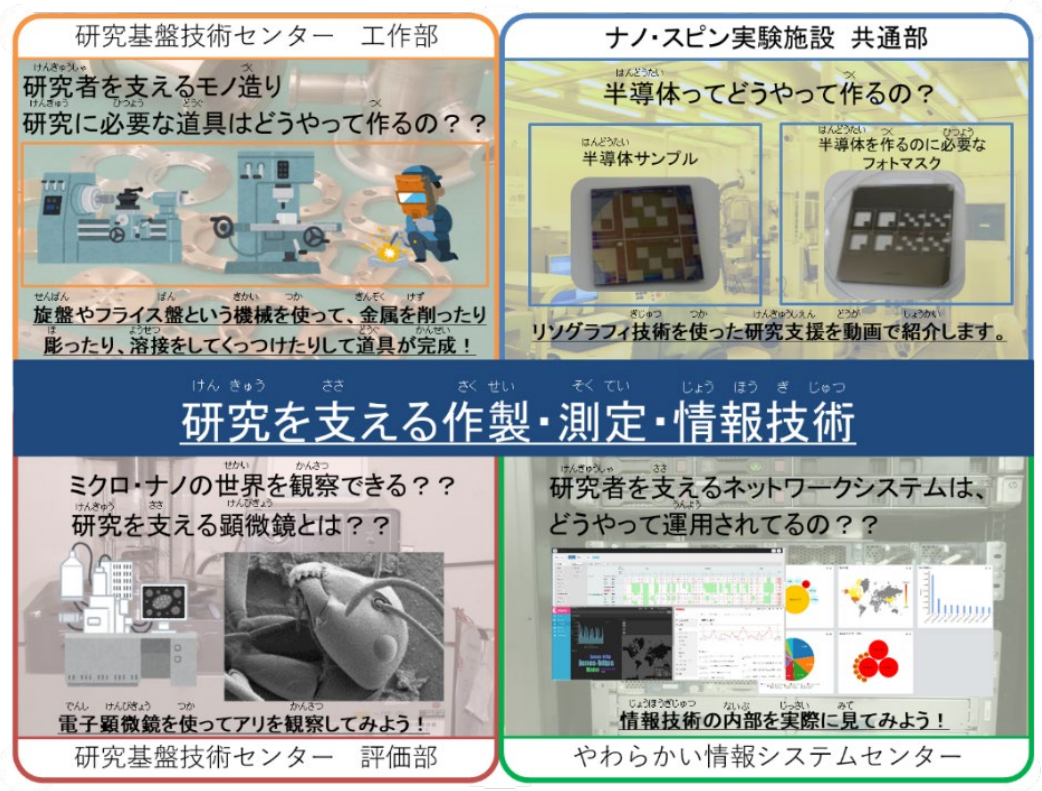
期間：２０２３年１０月７日（土）
開催方法：現地開催（事前予約制）

「体感！未来のコミュニケーション」というキャッチコピーで通研公開２０２３が開催された。今年度は事前予約制絵の現地開催で、研究基盤技術センターでは各部ごとに展示や体験などを行った。工作部はパネル展示と作成したメダルの配布、評価部は光学顕微鏡の体験、プロセス部は主催している半導体基礎講座の紹介、情報技術部はパネル展示を行った。

分かりやすい説明を心掛け、来場者に好評をいただき、加えてシールラリーのチェックポイントの１つとなったこともあり、多くの方にご来場いただけた。各所にサーキュレーターを設置するなど、感染対策についても十分に行い、大きなトラブルなく開催できた。

これまでの２日間の開催から、１日開催に変更されたが、891 名の事前予約をいただき、600 名以上の方にご来場いただけた。





第二章

研修 出張報告

技術職員は自らのスキルアップの為に、研修・講習会等に自主的・積極的に参加しています。これらの活動は月例のミーティングで報告することが原則となっています。

研修・出張報告一覧

対象期間：2023.4~2024.3

関谷佳奈(工作部)23.4 *
「令和 5 年度 CFC マネジメント研修（指名型）」

関谷佳奈(工作部)23.5 *
「2022 年度東北大学自己啓発研修（通信教育履修コース）」

末永保、阿部健人、前田泰明、関谷佳奈(工作部)23.7 *
「令和 5 年度加工・開発群全体会」

阿部健人(工作部)23.7 *
「令和 5 年度 CFC マネジメント研修」

月本佳奈(工作部)23.12 *
「2023 年度第 1 回片平 A チーム研修」

阿部健人(工作部)24.1 *
「加工開発群　片平地区機械加工 C チーム研修」

前田泰明(工作部)24.2*
「加工・開発群　B チーム研修」

柳生寛幸(評価部)23.7 *
「東日本大震災の教訓を活かした実践的防災学へのアプローチ」

丹野健徳(評価部)23.7 *
「CFC スキル開発センター　マネジメント研修（【L1】リーダー研修）」

武者倫正(プロセス部)23.7 *
「令和 5 年度 CFC マネジメント研修」

森田伊織、武者倫正、小野力摩(プロセス部)23.10 *
「仙台市危険物・高圧ガス事故防止連絡会」

小野力摩(プロセス部)23.10 *
「メンタルケア講習会　コロナ禍における学生理解とその対応」

森田伊織(プロセス部)23.9 *
「令和 5 年度 CFC マネジメント研修（自発型）」

小野力摩(プロセス部)23.11 *
「安全教育技術セミナー「よくある理化学実験機器の解説と事故事例について」」

小野力摩(プロセス部)23.12 *
「生成系 AI 研修　ChatGPT 業務活用と生成 AI で社会はどう変わるか」

小野力摩(プロセス部)24.1 *
「メンタルヘルス研修　レジリエンス~ストレスを跳ね返す心を育みましょう」

森田伊織(プロセス部)24.2 *
「～あなたの悩みを解消！～緊急情報・警報広域周知システム WAN-WAN 実演セミナー」

小野力摩(プロセス部)24.3 *
「ハラスメント防止研修　職場のハラスメントの現状と対策」

丸山由子(情報技術部)23.5 *
「コアファシリティ統括センター（CFC）マネジメント研修」

丸山由子(情報技術部)23.6 *
「次世代ネットワークの革新と業務最適化、AI と著作権を踏まえた部局広報研修会」

太田憲治(情報技術部)23. 9*
「R5 年度 CFC マネジメント研修（L1 リーダー研修）」

太田憲治(情報技術部)23. 12*
「大学 ICT 推進協議会（AXIES）」

「令和 5 年度 CFC マネジメント研修（指名型)」の受講報告

2023 年 5 月 29 日

工作部　関谷佳奈

名称：「令和 5 年度 CFC マネジメント研修」
期間：2023 年 4 月 1 日～30 日（1 ヵ月間）
場所：オンライン（株)Schoo の e-ラーニング

１、目的

CFC スキル開発センターで今年度 4 月から実施するマネジメント研修((株)Schoo の e-ラーニング)に関して、職群代表から受講者として指名された為受講した。

２、内容

下記のカリキュラムで構成されたステップアップ研修を受講。

・職場で活かすメンタルヘルス
・怒りをコントロールするための「アンガーマネジメント」入門
・ニューノーマル時代に必要とされる「問う力」とは

カリキュラムを受講して、学んだことをレポートに記入し提出。(200～400 字)

レポートには、業務で活かせると思ったこと、この研修に対する意見・感想、自由視聴した授業でお勧めのものはありましたか、の 3 つの設問があった。

３、感想

どれも職場で役立つと感じたが、一番印象に残ったのがアンガーマネジメントだった。怒りをコントロールすることで、仕事に対してだけでなく、その他にもプラスに働くので、実践していきたいと思った。

また、これらの授業はすべて録画されたものだったが、オンラインで参加した方のコメントを見ることが出来る機能があり、様々な意見や事例をみて、もし私がその立場ならどうするかなど考えたり、自分にはない考え方を知ることが出来たりと、知見を広めることが出来た。

「2022 年度東北大学自己啓発研修（通信教育履修コース）」の受講報告

2023 年 6 月 26 日

工作部　関谷佳奈

名称：「2022 年度東北大学自己啓発研修（通信教育履修コース）」
期間：2022 年 6 月 1 日～2023 年 5 月 31 日（1 年間）
場所：オンライン（JMAM e ラーニングライブラリ）

1、 目的

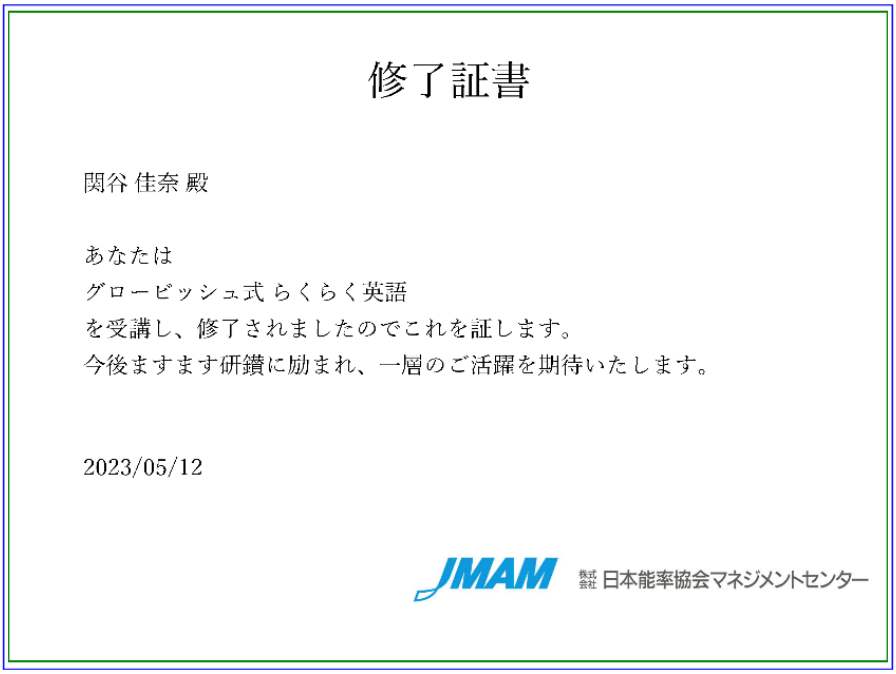
事務職員及び技術職員に対し、通信教育を受講させることにより、自己啓発意識を刺激するとともに、職務遂行に役立つ教養及び知識等を修得させ、もって、大学職員としての資質の向上を図る。（実施要項から抜粋）

2、 内容

ライブラリの中から 1 コース選択し、受講コースの完了、事後テスト 60 点以上及びアンケートの回答をもって修了。今回は「グロービッシュ式らくらく英語」を選択し、修了した。

3、 感想

使用する場面ごとに授業が組まれており、大変わかりやすかった。主に単語を並べ替えて文を完成させる授業だったが、問題文の多くがビジネスに関係したものだったため、文法の復習や知らない単語を知る良い機会となった。期間内であれば他コースも受講可能だったため、TOEIC スコアアップのコースも受講した。アウトプットもしっかり行っていきたい。



修了証書

関谷 佳奈 殿

あなたは
グロービッシュ式 らくらく英語
を受講し、修了されましたのでこれを証します。
今後ますます研鑽に励まれ、一層のご活躍を期待いたします。

2023/05/12

JMAM 株式会社 日本能率協会マネジメントセンター

加工・開発群全体会参加報告

2023 年 7 月 31 日

工作部　　末永保、阿部健人、前田泰明、関谷佳奈

名称：「令和 5 年度加工・開発群全体会」
期間：2023 年 7 月 10 日　13:30～
場所：オンライン開催（Google meet）

１、目的

加工・開発群では「研究・教育に貢献する、唯一無二のものづくり」をモットーとし、機械加工、ガラス加工等の技術向上に努めながら本学の研究・教育活動を支援している。この全体会では、部局を超えた全学的な活動はもちろんのこと、総合技術部及び職群の活動を理解し、職員の相互理解を深めるとともに情報共有を図ることを目的とする。

２、内容

・令和 5 年度の体制について
　　体制、部局構成
・令和 4 年度活動報告について
　　加工・開発群会議報告
　　青葉山キャンパス地区・片平キャンパス地区機械加工グループ報告、ガラス加工グループ報告
　　核融合科学研究所技術交流　【NC 加工技術】報告
・令和 5 年度グループ・チーム編成について
　　青葉山キャンパス地区・片平キャンパス地区機械加工グループ、ガラス加工グループ 令和 5 年度活動計画
・広報活動について
・総合技術部について　伊東副部長
・意見交換

３、感想

　他のチーム研修での様子など報告を通して知ることができ、昨年度から本格的に動き出したチーム研修への期待も高まった。全体会が開かれることで他グループや他チームのメンバーなどについても知ることができ、そうした点でも有益だった。

令和５年度 CFC マネジメント研修の受講報告

令和５年　７月　２３日

工作部　阿部健人

名称：令和５年度 CFC マネジメント研修　S1 ステップアップ研修
期間：令和５年７月１日～31 日（一ヶ月間）
場所：オンライン研修（Schoo）

1、 目的

職位や昇任等に合わせて CFC が指定した授業などを期間内に受講し、業務を行う上で一助となるスキルを養う。

２、内容

・職場で活かすメンタルヘルス（1 時間）
・怒りをコントロールするための「アンガーマネジメント」入門
　１．価値観が多様な時代に学ぶ「アンガーマネジメント」のキホン
　２．仕事でも家庭でも活かしたい怒りのコントロールのコツ
・ニューノーマル時代に必要とされる「問う力」とは

レポート(業務に活かせると思ったこと、研修に対する意見・感想、自由視聴した授業について)

３、感想

どの単元においても自分で省みるべき項目が多く非常に有用だった
「問う力」に関しては相手への質問だけではなく、自分への問いかけ（分析）はメンタルケアやアンガーマネジメントにも有効であると感じた。

動画教材を用いての受講だったため、疑問に思った点などを反復視聴するなどして授業への理解度をより深めることができた。

「2023 年第 1 回片平 A チーム研修」参加報告書

報告日　2023 年　12 月 25 日

工作部　月本　佳奈

名称：2023 年第 1 回片平 A チーム研修

「日常的に使っている工具・装置等の紹介」および「金研工場視察」

期間：2023 年 12 月 25 日　13:30～

場所：A10 金属材料研究所技術棟 I　1-202 号室（テクニカルセンター会議室）

1、研修概要

「日常的に使っている工具・装置等の紹介」について片平機械加工グループチーム A メンバー 9 名による 1 人 5 分から 15 分程度の発表および質疑応答を行う。

金属材料研究所テクニカルセンター機器開発技術グループの業務場所を訪問し、保有設備や作業環境を視察する。

2、研修内容

13:20~13:30　受付

13:30~13:35　グループリーダー挨拶

13:35~14:25　発表①～④

14:25~14:30　休憩

14:30~15:20　発表⑤～⑨

15:20~15:25　職群代表総評

15:25~15:30　休憩

15:30~16:30　金研工場見学

3、感想

発表では、私は溶接に関する工作部自作の便利装置を紹介した。他にも溶接での便利部品を紹介した方がおり、溶接用アイテム等の情報交換をすることが出来た。

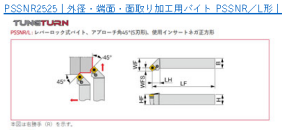
他には刃物紹介や、旋盤用治具、機械保守アイテムや工作手法等様々な発表があり、大変参考になった。中でも旋盤に関しては、私自身経験値が少ない為課題が多いと感じており、おかげで旋盤に関しての知識がより深まった。研修を終えてすぐに旋盤の依頼があり、学んだことを活かしつつ加工することが出来た。

金研工場見学では、今後新棟移転も控えているため、機械配置や使用工具収納、家具類や運用方法等に注目し見学してきた。今後参考にしつつ新棟移転の際に生かしていきたい。

また、今回の研修で得た情報を、簡単にではあるが資料に纏め、工作部内でも共有した。下記に作成した資料を添付したので、少しでも参考になれば幸いだ。

〇便利そうな旋盤ホルダー

PSSNR2525 | 外径・端面・面取り加工用バイト PSSNR／L形 | タンガロイ | ミスミ | 350-6380 (misumi-ec.com)



・付け替え無しで三通りの使い方が可能
・シャンク一本1万円（ミスミで現在セール中12/31まで）

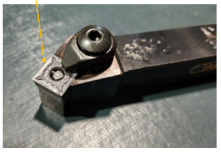
〇対応チップ一覧

外径旋削 - 正方形インサート用 - PSSNR/L - Tungaloy Cutting Tools - Metal Working Tools

・ミスミで購入すると1個800～900円
・中切削～仕上げ用が機嫌？（SNMG-SA、 SNMG-ZM）
・他工場では、住友電工、京セラ等のチップもタンガロイ製シャンクに使用
・荒加工用と仕上げ用で使い分け

〇便利そうな旋盤ホルダー

・工作部に1本だけありました。チップも下記右側画像の2種類在庫あり。
・縦方向に取り付けることで、付け替え不要で端面加工、側面加工、面取り（外径）が出来た。
・使用してみたところ、片刃として使う場合、直角に段を付けることが出来ない（Rが残ってしまう）
※外径がストレートなら使いやすいかも
・装着されているチップは、斜めのところでも切削できた。



SNMG-SS
キガ、M級、正方形インサート、ステンレス鋼等の仕上げ用

SNMG-TS
キガ、M級、正方形インサート、仕上げ用

・せっかくなので、中切削用チップも有るといいかなと感じた。
・シャンク保管キャビネットの左奥に置いてます。興味のある方はぜひ。

〇格安エンドミル

・OSGからミスミに乗り換えた工場が多い
・試しに**同サイズ、同等品の値段を比べてみた**
※コーティング（頑用）、刃長20、超硬、2枚刃、コーナーピンカド、標準ねじれ角のΦ10エンドミルで比較
※どちらもミスミでの価格

ミスミ
XALシリーズ超硬スクエアエンドミル 2枚刃/刃長2D（ショート）タイプ | ミスミ | MISUMI(ミスミ) (misumi-ec.com)
12/13時点価格…1,826円（税込）
【特長】
・一般鋼、アルミ、銅合金の加工に高いパフォーマンスを発揮
・汎用的な30°ネジレ角により、低～中回転域での加工に最適
・潤滑性に優れたコーティングで、特に生材加工において安定した耐摩耗性を発揮し、加工物の形状精度が向上

OSG
WXLコート2刃 2D刃長タイプ WXL-2D-DE | オーエスジー | MISUMI(ミスミ) (misumi-ec.com)
12/13時点価格…6,028円（税込）
特長
・硬質潤滑被膜WXLコーティングを施した2枚刃エンドミル。
・鋼はもちろん銅合金の切削にも効果を発揮。
・湿式、乾式どちらの加工にもお勧め。

〇格安エンドミル

結果
・ミスミの方が圧倒的に安い
・価格が安い為、様々な種類のエンドミルが買える（特殊コーティングや用途別で揃えることも可能）
・貸出用にも最適
・ノンコートの標準品だと、刃物径が小数点第2位まで選択可能
超硬スクエアエンドミル 2枚刃/刃長2D（ショート）タイプ | ミスミ | MISUMI(ミスミ) (misumi-ec.com)
※前スライド同サイズ品は一本4,004円、OSG同等品のメーカー標準価格は13,500円（ミスミでは販売停止中）

〇特殊エンドミル

・ザグリ専用エンドミルがある（OSG製）
→他工場で、ザグリ加工はこれまでエンドミルを使用していたが、ザグリ用エンドミルに変更したところ、加工速度が速くなったとの情報があった。
超硬度ぐりシリーズ FXコート座ぐり加工用 2枚刃ショート FX-ZDS | オーエスジー | MISUMI(ミスミ) (misumi-ec.com)
！薄肉部の下穴に余裕が持てないねじ加工には、座ぐり用エンドミル超硬ZDSとスレッドミルによる加工が有効とのこと。価格はやや高価（1本13,000円程）

〇潤滑剤

・機械の保守等に使用する潤滑剤の事だが、ベルハンマーがとても良いらしい
・値段はやや高価だが、潤滑剤の持ちが良い（1週間は持続）、滑りすぎるくらいよく効く、との口コミ
スズキ機工の潤滑剤エルエスベルハンマー | LS BELL HAMMER (suzuki-kikoh.com)

・Amazon価格で3,630円
Amazon.co.jp: スズキ機工 超極圧潤滑剤 LSベルハンマー スプレー 420ml LSBH01 : 車＆バイク

・現在使用中の潤滑剤はAmazon価格で2,270円
Amazon.co.jp: スリーボンド/スリーボンド さび止め潤滑剤 バンドー18B 420ml 浸透性 無臭性 【TB18B (シントウセイ・ムショウ)】 (1262505) [その他] : 産業・研究開発用品

〇薄物加工時の接着

・YouTubeで、土台の上に**マスキングテープ**を貼り、その上に接着剤を塗布して薄板を張り付ける方法を発見
・使用接着剤はアロンアルファEXTRAスティック
Amazon.co.jp: コニシ ボンド アロンアルファ #04794 EXTRAスティックスリム : 文房具・オフィス用品
・マシニングでの加工で、0.2mmまで薄く加工しても剥がれなかった
・接着剤のはがし方は、30分煮るだけ！！簡単！！（バーナーでも剥がれるが、炙るよりも煮る方が良い）

〇溶接関連

・手トーチの元スイッチより、足踏みスイッチの方が手振れがなくなり、安定したスタートが出来る
・フレキシブルトーチというものがあり、トーチの角度を自在に決められるものがある
一調べるとほとんどが空冷用で、工場所持の水冷用溶接機（AVP-300）に適合する物はなかった…

〇設備関連（金研）

・材料置き場について
木材の架台（約縦1.3m×横3m×奥行2mくらい）に材料が入っており、重い丸棒に関しては、ローラーコンベアの上に置かれていて、出しやすくなっていた。
・シャッター前について
割と手作業机や小さめのキャビネットが数個置かれており、シャッターを開ける際はおそらく動かせるようになっている。
・ホワイトボードについて
使用機械と使用期間、先の使用予定が分かるようなホワイトボードがあり、あると便利だなと感じた
・刃物入れについて
旋盤は各旋盤ごとにキャビネットを1つ配置、シャンクや治具などが整理されていた
フライスはキャビネット4台の引き出しにサイズごとに格納されていた
・貸出機械について
フライスはマキノKSJP、旋盤はWASINO旋盤だった

「加工開発群　片平地区機械加工Ｃチーム研修」の受講報告

令和６年１月２９日
工作部　阿部健人

名称：「加工開発群　片平地区機械加工Ｃチーム研修」
期間：令和６年１月２４日　13：30～15：30
場所：オンライン(Google Meet)

１、目的
共通の図面を課題としてチーム内の各部局毎でその製作工程と手順などを検討し、部局ごとの保有機械や工作技術の共有を行う。

２、内容
13:30 ～ 13:35　佐々木グループリーダーからの挨拶
13:35 ～ 14:00　金研課題図面に関する発表、質疑応答
14:00 ～ 14:25　多元研課題図面①に関する発表、質疑応答
14:25 ～ 14:50　通研課題図面に関する発表、質疑応答
14:50 ～ 15:15　多元研課題図面②に関する発表、質疑応答
15:15 ～ 15:30　チーム内ミーティング

３、感想
普段加工しない複雑な形状の装置について検討するなど経験を積む機会となった。金研・多元研からは５軸加工機を使用した装置についての課題だったが、３軸加工機と円テーブルを活用した加工方法を提案し、実際に５軸加工機導入前に行われた加工事例を紹介してもらいアドバイスを頂いた。
また、多元研からはロウ付け加工に関する図面も提示されたが、ロウ付け加工の依頼自体が少ないことから今後における課題にもなった。
今回の研修を通して各部局の保有工作機械や技術を共有することが出来、他部局との相互連携のきっかけになると感じた。

「加工・開発群 B チーム研修」報告

報告日　2024 年 2 月 26 日
工作部　前田泰明

名称：「加工・開発群 B チーム研修」
期間：2024 年 2 月 1 日～2 日（13:30～17:00）
場所：電気通信研究所、多元物質科学研究所、金属材料研究所の各工場

１、目的

それぞれの工場を見学して、日常的に使用している工具や治具、さらに設備や便利ツールなどを紹介し今後の製作へとつなげていく。

２、内容

それぞれの工場を見学しながら、製作に役立っている工具や治具などを紹介したり、その都度質問したりしながら、便利なツールの紹介を行った。日程は以下のとおりである。

2 月 1 日
　通研と多元研の工場見学

2 月 2 日
　金研の工場見学

３、感想

どのような機械が配置されているかという観点よりも、日々の業務の中で役立つものが紹介され、使ってみたいと思うものが多数あった。摺動面に吹きかける油なども固着しにくいものや、やすり等について使用してみたいものがあった。

また、外注業者についてもいくつか教えていただいたりしたので、そういった部分でも実際的な研修だったと感じている。

便利ツールに関しては今後の移転などの際にいくつか入れ替えがあるかと思うので、便利なものを活用していきたいと感じた。

東北大学 MOOC「東日本大震災の教訓を活かした実践的防災学へのアプローチ」の受講報告

令和 5 年 7 月 31 日
評価部　柳生寛幸

名称：「東日本大震災の教訓を活かした実践的防災学へのアプローチ」
期間：令和 5 年 6 月 7 日～令和 6 年 3 月 29 日（この期間で 45 日以内）
場所：オンライン講座

１、目的

グループウェアの掲示板に「東北大学 MOOC2023 年度開講講座のお知らせ」の通知があった。オンライン研修サイト gacco で東北大学大規模公開オンライン講座（東北大学 MOOC）が視聴可能という内容で、確認してみたところ、その中から業務に関連する本講座を見つけたので受講した。業務に支障がないように、プログラムの作成等の作業中に主に音だけ聞いて受講した。

２、内容

○実際の受講期間：1 日 1 時間程度視聴して 1 週間程度（7 月 19 日完了）
○講座のカテゴリー：JMOOC カテゴリーⅢ
（大学が提供する特別講義および公開講座相当の講座、企業等が提供する講座等）
○講座内容：
第 1 週：東日本大震災前の取組と被害実態―事前対策と事中対応（10 講座）
第 2 週：被災地での復旧と復興―人間・社会科学的な側面（10 講座）
第 3 週：地震・津波のメカニズムと履歴・将来予測―自然科学と防災への役割（10 講座）
第 4 週：実践的な防災学と国際防災戦略―次への備え（10 講座）
最終確認テスト
各講座ごとに確認テストがあり、最終確認テストと合計 60 点以上で修了認定

３、感想

○地震や津波の特性や防災対策について知ることができた。
○容易に理解できる講座内容だったが、各テストは一度しか回答できないため、よく理解して回答する必要があった。
○倍速視聴が可能（今回は 1.5 倍速で視聴）なので、早く視聴を終えることができた。
○東北大学 MOOC の講座を修了すると、期間後にデジタル証明書であるオープンバッチが発行される。オープンバッチについて、講座を主催する東北大学オープンオンライン教育開発推進センターの Web ページには、「オープンバッチとは、～国際技術標準規格のデジタル証明書です。～履歴書に付けたり、～様々なプラットフォームに載せてアピールできます」と説明がある（なので個人調書に書けるかもしれない）。
・総合技術部では視聴可能なオンライン講座に schoo がある。schoo と比較して gacco は業務に関連があって、内容の充実した講座が多いように感じた。ただし講座の種類が少な

く、一部有料の講座もある。また gacco にはオープンバッチが発行される講座が一部存在する。

修了証

CFC スキル開発センター　マネジメント研修「【L1】リーダー研修」の受講報告

２０２３年7月３１日
評価部　丹野健徳

名称：CFC スキル開発センター　マネジメント研修「【L1】リーダー研修」
期間：２０２３年7月１日(土)　～　7月３１日(月)
場所：オンライン研修サービス「Schoo」

１、目的

CFC スキル開発センターが主催するマネジメント研修について、受講指名いただき参加した。受講する研修内容については、受講者が選択するのではなく、スキル開発センターから指定された研修を受講する形式である。

２、内容

「Schoo」というオンライン研修サービスを利用して「【L1】リーダー研修」という複数の講義がセットになった研修を受講した。各講義は約 120 分ごと 4 講演で、合計 4 時間の研修だった。受講した講義内容の詳細は以下の通り。

・テレワーク下でのラインケア-メンタルヘルスマネジメント　講師：井上　洋市朗
・アンガーマネジメントを活用したコミュニケーション術　　講師：澤　円

３、感想

テレワークについて、テレワークは現在も 2 週間に 1 回の頻度で実施しているので、参考になった。評価部では、お互いの業務管理やオンラインでのコミュニケーション不足が課題と感じており、今年度から Google のチャットツールでのコミュニケーションの場を整備した。研修でもオンラインコミュニケーションのコツとして、チャット上でのちょっとした工夫（柔らかい文章やスタンプ活用）によって感情情報の伝達を促進することが紹介されていた。チャットツールでのスタンプ活用などは今も実施しているので、今後も継続していきたい。

アンガーマネジメントについて、昨年度も CFC から指名を受けてアンガーマネジメントの研修を受講したが、今回も受講することで復習となった。怒る機会、怒られる機会はあまりない方が個人的にはいいと思うが、学生を相手に注意をしなければならない場面はあるため、感情的に怒らないようにするために活用できればと思う。

「令和 5 年度 CFC マネジメント研修」の受講報告

令和 5 年 7 月 23 日

プロセス部　武者　倫正

名称：令和 5 年度 CFC マネジメント研修
期間：令和 5 年 7 月 1 日～31 日（1 か月間）
場所：schoo(オンライン研修)

１、目的

職位や昇任等に合わせて CFC が指定した授業などを期間内に受講し、業務や職位に応じたスキルを養う事を目的とする。

２、内容

・オンライン授業「職場で活かすメンタルヘルス」
・オンライン授業「怒りをコントロールするための「アンガーマネジメント」入門」(計 2 回)
・オンライン授業「ニューノーマル時代に必要とされる「問う力」とは」

３、感想

授業内容としては主に指導者側、管理者側の立場になった際に直面する問題への対処法紹介であった。現在、自身は業務組織内では管理者の立場には就いていないが、主に学生への利用指導などで指導者側、管理者側の立場で業務にあたることが多いため、そういった場面で活用したい内容であった。

「職場で活かすメンタルヘルス」、「アンガーマネジメント入門」共に、感情や精神的な部分という抽象的な部分に対して、具体的な対処手法(案)が示されていたところに有用性を感じた。

仙台市危険物・高圧ガス事故防止連絡会 報告

報告日：2023 年 10 月 30 日

プロセス部　小野 力摩

名称：仙台市危険物・高圧ガス事故防止連絡会
期間：2023 年 10 月 24 日(火)（1 日間）
場所：宮城野区文化センター パトナホール

１、目的

危険物等を取り扱うことがあるため、事故事例やその対策等を学ぶことを目的に本連絡会に参加した。

２、内容

13:30～13:35　主催者挨拶　　仙台市消防局長 結城 由夫
13:35～13:40　関連団体の紹介
13:40～14:05　事故防止に関する事例紹介等　危険物関係
14:05～14:30　事故防止に関する事例紹介等　高圧ガス・液化石油ガス関係
14:30～14:40　事故防止に関する事例紹介等　手続きのデジタル化
14:40～14:50　休憩
14:50～16:20　「静電気火災の事例と予防対策」
　　消防庁 消防研究センター 大規模火災研究室・室長　田村 裕之

３、感想

・ ここ数年の危険物、および高圧ガス、液化石油ガスの事故件数や事故事例紹介、併せて事故防止対策の具体例などが報告されていた。危険物、高圧ガス、液化石油ガスでどのような事故(爆発、火災、漏洩など)が起こりやすいか、その要因になるものは何か(人的要因、物的要因)を学ぶことができた。
・ 火災の要因として静電気は多いと感じていたが、火災全体の 1%にも満たないことがわかった。ただ、危険物施設を取り上げると約 15%でトップとなり、これは静電気のエネルギーが危険物の着火エネルギーを越える場合が多いためであることがわかった。併せて、放電の種類や事故事例、対策などを学ぶことができた。

メンタルケア講演会 報告

報告日：2023 年 10 月 30 日

プロセス部　小野 力摩

名称：メンタルケア講習会「コロナ禍における学生理解とその対応」

期間：2023 年 10 月 10 日(火)（1 日間）

場所：オンラインセミナー(東北大学教育 FD プログラム)

１、目的

技術相談等で学生と関わることもあるため、現在の学生の特徴やどのように関われば よいかを学ぶことを目的に本講習会に参加した。

２、内容

13:20～13:56　講演「コロナ禍における学生理解とその対応」

学生相談室・特別支援センター　中岡千幸 先生

13:56～14:00　質疑応答

３、感想

・ 現在の学生(若者)の特徴を様々な観点から学ぶことができた。わからないことへの耐性が低い、傷つく、失敗することを嫌うという特徴が、調べれば答えが見つけられる時代と、答えがないものに取り組む研究との齟齬があるのかと思った。

・ コロナ禍による影響は人それぞれで、順応できた人もいれば適応に戸惑い対人関係に影響が出ている人もおり十人十色であることが分かった。一律な対応ではなく、学生一人一人を見て個々に応じた対応が必要であると感じた。

CFC マネジメント研修自発型の受講報告

令和 5 年 11 月 27 日
プロセス部　森田　伊織

名称：schoo
期間：令和 5 年 9 月 1 日-9 月 30 日（1 カ月）
場所：web ラーニング形式

１、目的
　職務遂行能力や技術研鑽の向上について停滞感を覚えていた為、これは何かしら変えねばと思い、受講を申し込んだ。

２、内容
1 か月間で下記の授業を受講した。
1.英語のプロたちに学ぶ、ゼロから確かな英語力を身に付ける方法
2.秒で伝わるパワポ術(第 1,2,8 回を受講)
3.脳神経科学者がすすめる才能の引き出し方
4.実況解説「デザイン思考」(第 1,2,3 回を受講)

受講後は下記の内容のレポートを提出した。
1.　受講した授業名　※複数記述可
2.　学んだこと
3.　業務で活かせると思ったこと
4.　この研修に対する意見・感想

３、感想
　「英語が出来ない人はメンタルブロックがかかっている」という一語が特に気になった。これ以降、もう何も気にせず外国人といまだに無理のある英語力で接しているが、どうやら自分が伝えるべきことを伝えようとする執念？が身についたと思う。
　秒で伝わるパワポ術は箇条書き（ストーリー）の重要さを学び、才能の引き出し方では「好奇心」を持って様々なことに触れることを学び、デザイン思考では課題解決のためのサイクルを学ぶことが出来た。
　知識を学んだあとは己自身が思考することが大事に思うので、現在は業務に限らず日々様々な思考を重ねているところである。

安全教育技術セミナー「よくある理化学実験機器の解説と事故事例について」 報告

報告日：2023 年 11 月 27 日

プロセス部　小野 力摩

名称：安全教育技術セミナー「よくある理化学実験機器の解説と事故事例について」
　　環境保全センター 環境・安全推進センター 主催、ヤマト科学株式会社 共催
期間：2023 年 11 月 2 日(木)（1 日間）
場所：多元物質科学研究所　南総合研究棟 2　1 階 大会議室

１、目的

ヤマト科学の実験装置をいくつか扱っていること、および実験装置で起こりえる事故とそれを防ぐ方法を学ぶために本セミナーに参加した。

２、内容

10:30～11:55　よくある理化学実験機器の解説と事故事例について　講演
　　乾燥機、電気炉、純水製造装置、高圧蒸気滅菌器
11:55～12:00　質疑応答、フェイルセーフオーブン等実機展示

３、感想

・ オーブンや高温炉、純水装置の種類や選び方を学ぶことができた。また、設計について伺うこともでき、そこからどのような使い方をしていけないか(例えば、オーブンの底面にものを置いてはいけないなど)を学ぶことができた。
・ 事故事例のトップ 3 である発煙/火災/爆発、水漏れ、漏電/感電について、事故事例と予防策を学ぶことができた。他装置や施設に影響して 1 億円規模の損害が出る恐れもあるので、点検や取扱説明書を読んでおくことが大切であることがわかった。

「生成系 AI 研修」 報告

報告日：2023 年 12 月 25 日
プロセス部　小野 力摩

名称：生成系 AI 研修「ChatGPT 業務活用と生成 AI で社会はどう変わるか」
　　東北大学 業務の DX 推進プロジェクト・チーム 主催
期間：2023 年 12 月 6 日(水)（1 日間）
場所：オンラインセミナー

１、目的

ChatGPT や AI など、昨今話題であるがどのようなものなのかわからないことが多い。業務等への活かし方などの使い方を学ぶために本研修に参加した。

２、内容

14:00～14:05　講演者紹介
14:05～15:45　講演「ChatGPT 業務活用と生成 AI で社会はどう変わるか」
　　株式会社 MAKOTO Prime　 代表取締役　竹井　智宏
15:45～16:00　質疑応答

３、感想

・ ChatGPT の使い方を、実際の画面で説明いただいた。併せて、ChatGPT の向き不向きや入力するワードをどのように工夫すればよいかを学ぶことができた。
・ AI は何ができるかわからない、だから使わないではなく、「まずは使ってみる」ということが大切であると学んだ。ChatGPT の使用で仕事効率が 37%、質が 20%アップすることが MIT 論文で証明されているくらいであるならば、使わない手はないと感じた。
・ AI に頼ってしまっていいものか、という疑問もあったが、これについては「トレーニングなら自力でやった方がよいが、業務なら活用しないのはもったいない」という説明があった。AI に案を出してもらい、人間がそれをブラッシュアップする、という使い方がよいのだと思った。

「メンタルヘルス研修」 報告

報告日：2024 年 1 月 29 日
プロセス部　小野 力摩

名称：メンタルヘルス研修「レジリエンス～ストレスを跳ね返す心を育みましょう」

コアファシリティ統括センター　スキル開発センター 主催
期間：2024 年 1 月 25 日(木)（1 日間）
場所：オンラインセミナー

１、目的

対人関係、多くの情報に惑わされるなど、現代社会ではストレスは避けられないものと思われる。そのため、ストレスへの対処法を学ぶことを目的に本研修に参加した。

２、内容

13:30～13:35　開会のあいさつ、講師紹介
13:35～14:45　講演「レジリエンス～ストレスを跳ね返す心を育みましょう」
国立大学法人 大阪大学大学院工学研究科 講師 根岸和政
14:45～15:55　質疑応答
15:55～15:00 閉会の挨拶

３、感想

・ 「自分の強みは自分と他人、社会のために活かす力、自分の弱みは人に助けてもらって感謝するためにある」という言葉が印象的であった。強みと弱み全てを含めて自分は自分でよいと思うことが大切であることを感じた。
・ ダメ出しではなく、「いいね」もしくは「こうなるといいね」とするのがよいと学べた。その他にも、物事を多面的にとらえて悪い表現をよい表現に捉えなおすなど、物事の捉え方を変えることがストレスへの対応に必要であると感じた。

「WAN-WAN 実演セミナー」の受講報告

令和 6 年 2 月 26 日

プロセス部　森田伊織

名称：「～あなたの悩みを解消！～緊急情報・警報広域周知システム WAN-WAN 実演セミナー」（講習名称等）
期間：令和 6 年 2 月 2 日
場所：東北大学　工学研究科・工学部　サイエンスキャンパスホール
主催：岩手大学　技術部理工学系技術部、東北大学総合技術部　安全・保守管理群
関係機関：大阪大学　大学院理学研究科技術部、熊本大学　技術部、自然科学研究機構分子科学研究所　技術推進部、鳥取大学　技術部
講師：岩手大学　千葉　寿　技術室長

１、目的（一部開催概要から引用）

WAN-WAN（Wireless Alarm Network for Wide Area Notification）は岩手大学と分子研が共同開発した新しい警報システムであり、様々な実験装置などのセンサ信号や接点出力など電気的信号を直接読み取り、さらに市販されているスマートスピーカーと連携することで、遠隔地にいる責任者らに電話やメール、パトライトの起動などで素早くトラブルの発生を通知するものである。

すでに全国の大学で試験的な利用を開始しており、大学間の事務を通じて有体物譲渡制度(MTA)を利用し、有償譲渡することができます。国立大学等には部品代として、1 台 5,500 円（税込）で譲渡できるとのことであった。

私としては、主たる就業場所である CR、実験装置、施設において、多種多様なトラブルの対処を行っているので、これは導入したら非常に高い効果が得られるのではないかと思い本セミナーを受講した次第である。

２、内容

配布資料を元にシステムの説明と、運用風景の動画が流されたり、他には実演も行われた。システムそのものは①基本モジュール②センサモジュール（これは各機関で自作が必要）③ALEXA の 3 つで構成されており、それぞれの役割について説明があった。外部出力が無いような機器でも構成可能だった。

＊主な導入例

水漏れ対策
海水くみ上げポンプの動作監視
火災報知器
緊急ボタン
パーティクルセンサー
ガス検知器

NMR のクエンチ（液体ヘリウムの蒸発、窒息の恐れあり）

２、感想と検討

【感想】

・装置に接続する必要が無いので、まず EB 装置で導入したいと思う。
・特許を取得しているとのことであったが、どの範囲で特許を取得しているのか質問すればよかったと反省した。
・肝心の検出器は各々自作してもらうとのことであった。大学らしくて良いと思った。（でないとほぼ業者になってしまうので）
・何かしらの変化を検出さえ出来れば成立すると思われる。そう考えると、使途は相当な量になると思い、夢のある取り組みだなと思った。
・難しく考えず、五感で例えてしまえばなんにでも応用できそう

【検討事項】

① 実験装置のエラー停止を担当者に伝えるシステム
→パトライトの色で検出可能
② ドラフトチャンバー、薬品庫の漏水警報
→漏水センサで可能
③ クリーンルーム各エリアの扉開放アラーム（差圧異常の警報が出る）
→画像認識などでいけるか？
④ 既設の警報システムとの棲み分けをどうするか？

以上

「ハラスメント防止研修」 報告

報告日：2024 年 3 月 25 日
プロセス部　小野 力摩

名称：ハラスメント防止研修「職場のハラスメントの現状と対策」

期間：2024 年 3 月 4 日(月)（1 日間）
場所：オンラインセミナー

１、目的

学生含め、多くの方と関わる中で意図せずにハラスメントを働いてしまうことがないように、何がハラスメントになるかを改めて学ぶことを目的に本研修に参加した。

２、内容

13:30～13:35　開会あいさつ、講師紹介
13:35～14:35　講演「職場のハラスメントの現状と対策」
東北大学産業医、医学系研究科産業医学分野教授
14:35～14:50　質疑応答
14:50～14:55 閉会あいさつ

３、感想

・ セクハラやマタハラと異なり、パワハラについては具体的にどのようなことが該当するのか自分の中ではっきりとしていないことがわかった。具体的な定義がされており、かつそれを研修中に明示していただいたので、改めて資料を見直して学びなおしたいと思う。
・ ハラスメント防止のためにコミュニケーションが大切とよく言われるが、具体的にどのようなコミュニケーションを取るようにすればよいのかについて示されることは少ないと感じた。今回の研修中に出てきた、「悪いところの指摘だけではなくいいところも伝える」というのがこのコミュニケーションに該当するのかな、と思ったので意識したいと思う。

第三章

成果報告

業務上の成果をまとめました。論文掲載や謝辞掲載、技術研究会での発表等、その形式には幾つかあります。
成果発表の場でもある、研究会や技術発表会への参加も積極的に行っています。

発表・成果報告一覧

対象期間：2023.4～2024.3

発表

○太田憲治(情報技術部)23.6
情報群研修　次世代ネットワークの革新と業務最適化、AI と著作権を踏まえた部局広報　研修会
「次世代通信規格対決：ローカル 5G と Wi-Fi 最新規格の比較検証」

○月本佳奈(工作部) 23.11 *
令和 5 年度総合技術部研修　ポスター発表
「自作動画による安全教育と効果」

○丹野健徳、柳生寛幸(評価部) 23.11 *
令和 5 年度総合技術部研修　ポスター発表
「IoT 機器を用いた遠隔での設備監視」

○柳生寛幸、丹野健徳(評価部) 23.11 *
令和 5 年度総合技術部研修　ポスター発表
「Google Apps Script を用いた業務の効率化」

○阿部真帆、丹野健徳(評価部) 23.11 *
令和 5 年度総合技術部研修　ポスター発表
「EBSD 未経験者からの卒業」

○森田伊織(プロセス部) 23.11 *
令和 5 年度総合技術部研修　ポスター発表
「ナノ・スピン実験施設の共用設備を用いた受託加工および支援業務」

○丹野健徳(評価部) 23.12 *
日本鉄鋼協会ミニシンポジウム　口頭発表
「粉末 X 線回折測定の基礎」

○阿部真帆(評価部) 24.3　※発表資料は P21～22参照
2023 年度研究基盤技術センター技術講演発表会　動画発表
「EBSD の技術向上について」

○月本佳奈(工作部) 24.3　※報告書掲載　発表資料は P23～27参照
2023 年度研究基盤技術センター技術講演発表会　口頭発表
「自作動画による安全教育と効果」

*:発表資料あり

「次世代ネットワークの革新と業務最適化、AI と著作権を踏まえた部局広報」研修会の発表および受講報告

2023 年 6 月 26 日
情報部　丸山　由子
太田　憲治

名称：「次世代ネットワークの革新と業務最適化、AI と著作権を踏まえた部局広報」研修会
期間：2022 年 6 月 23 日(金)　15:30~17:15
場所：対面 （川内講義棟 A105）

1、 目的

この研修会は、情報・ネットワーク群のスキル向上を図るために企画しました。次世代ネットワークの革新と業務最適化、AI と著作権といった専門的なテーマがますます重要性を増しています。本研修会では、参加者が最新の知識や技術を獲得し、自身の業務に活かすことを目指します。

2、 内容

プログラム：

・次世代通信規格対決：ローカル 5G と Wi-Fi 最新規格の比較検証
　電気通信研究所　太田憲治
・GAS による業務改善事例：工学部における業務最適化
　工学部　原谷 奈津子、安斎 あいり
　(連名：船水 和義、佐々木 真人、門脇 正徒、河内 海奈、耿 錚、真野 健介)
・AI と著作権　～生成される創作物の取扱い～
　農学研究科　一條　肇
・情報ネットワーク群の展望と挑戦：新たな時代の組織の在り方
　歯学研究科　河内　英智

各発表は約 10 分程度で、その後は 10 分程度の質疑応答

3、 感想

研修会は、GAS やネットワークスキルの向上、部局広報の質の向上、組織に関する内容であった。個人の成長だけでなく、組織全体の能力向上や目標を再認識することができた。特に、最新のネットワーク技術や業務最適化等最新技術だけではなく、AI と著作権を部局広報活動で利用する際の法的リスクの回避手法や適切な情報発信を行うための手法および、今後の情報群の組織に関するディスカッションもでき大変貴重な機会となった。

「令和 5 年度総合技術部研修」参加報告書

報告日　2023 年　11 月 27 日

工作部　月本　佳奈

名称：令和 5 年度総合技術部研修

期間：2023 年 11 月 17 日

場所：電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟(E 04)4 階

カンファレンスルーム（ハイブリッド口頭)、A401（対面ポスター）

1、研修概要

総合技術部職員に対し、「技術発表(ポスター発表)」の成果発表の場において、専門分野での交流による技術の向上・研鑽はもとより、さらには、専門分野の垣根を越えた交流・意見交換も積極的に行い、他分野間の情報共有を通して相互理解を一層深めることにより、全学支援組織の技術職員としての資質向上を目的とする。また、「CFC 派遣型研修」参加報告を通して、コアファシリティ統括センターの活動についての理解・認知を深める。（実施要項から抜粋）

2、研修内容

13:15 ~ 13:30 受付

13:30 ~ 13:40 開会式(総合技術部 部長挨拶)

13:40 ~ 15:40 技術発表会(ポスター発表)

15:40 ~ 15:50 CFC 派遣型研修の主旨説明(CFC)

15:50 ~ 16:20 CFC 派遣型研修報告(加工・開発群)

16:20 ~ 16:50 CFC 派遣型研修報告(電子回路・測定・実験群)

16:50 ~ 17:00 優秀発表賞授与式(総合技術部 部長)

17:00 ~ 17:10 閉会式(総合技術部 副部長挨拶)

3、感想

聴講とポスター発表で参加した。発表では、「自作動画による安全教育と効果」と題して、外来利用のコロナ対策として自作した講習動画について、動画を制作したことにより実現できた安全対策やその効果、制作方法等について紹介した。

2 時間の間ほぼ途切れることなく、様々な分野の方が見に来てくださり、同じようにコロナ対策で動画作成をされた方や、これから作ってみたいという方々から嬉しい感想や改善点等をお聞きすることが出来た。

頂いた質問・ご意見

・ トータルで制作するのにどれくらいかかったか？
・ アンケート等の結果などはあるか？
・ 確認テストはないのか？
・ 動画化によって引き起こされた怪我や事故等はこれまであったか？　等

頂いたご感想

・　このような無料の編集ソフトがあるのは知らなかった
・　利用者に対しても効果がある上に、職員にも恩恵があって良い取り組みだと思った
・　若い方は動画の方が慣れているので、取り組みについて参考にしたい
・　ナレーションや使用レンズにもこだわっていてすごい　等

様々なご感想やご意見をいただくことが出来、非常に有意義な発表となった。今後の運用に関しても、怪我や事故等のないよう工夫し、アンケート等で利用者のニーズに答えていきたいと思う。

また、今年は主業務が忙しく、なかなか手を付けられないでいるが、Google Apps Script(通称 GAS)を活用した機械利用予約システムも制作したいと考えている。外来利用をさらに利用しやすくし、機械工作により興味をもっていただけるよう励んでいきたい。

自作動画による安全教育と効果

関谷　佳奈
東北大学 電気通信研究所 研究基盤技術センター 工作部

１．はじめに

東北大学 電気通信研究所 研究基盤技術センター工作部では、主に所内の研究室からの依頼に沿った実験装置、器具の設計、製作を、技術職員 4 名で行っているが、もうひとつ重要な業務として、学生等に対する工作指導がある。特に自分で機械を使用して工作したいという学生のために、安全に重きを置いた手引きを行なう。年間 240 時間程度の実績があり、私自身も既に延べ 60 時間の指導に携わっている。

学生が工作機械を利用するには、毎年 4 月に実地で開催される利用講習会の受講が必須だが、2020 年にコロナウイルスが流行し、感染防止対策の為利用講習会を休止、貸出についても停止せざるを得なかった。

本報告では、2020 年 4 月頃から 2023 年 3 月までの休止期間を活用し、再開に向けた対策として制作した自作の講習動画について、動画を制作したことにより実現できた安全対策やその効果、制作方法、使用した機材やソフト等について紹介する。

２．これまでの講習会

コロナウイルス流行前は前述のとおり、毎年 4 月に実地で講習会を開催していた。研究室ごとに日程調整し受講日時を決め、職員 1 名が複数名に対し、貸出可能な機械について 1 機ずつ説明を行っていた。講習会は多い時で年間 11 回講習会を行っていた。1 回当たりの所要時間は約 2 時間。その間、担当職員は主業務をストップしなければならず、電話や来客対応等は残りの 3 名で行うため、他職員の主業務の進みも遅くなってしまう。

講習会は通年行っているが、基盤センターの利用講習会が 4 月に開催されることもあり、なるべく同時期の第一四半期中に受講するよう求めていた。場合によっては受講後すぐに利用しない方もおり、いざ利用する際には忘れている場合も多々あった。

また、実際に材料を加工しながら説明するため、職員は機械にも学生にも細心の注意を払う必要があった。保護メガネを着用したうえでの説明ではあるが、大人数の場合、見る場所によっては見えづらく、キリコや切削油が飛んでくる危険な立ち位置に立ってしまう学生も多い。工作機械について初見の学生がほとんどであり、怪我無く遂行するためには、厳重な注意が必要だった。

説明内容に関しても、初めてでも分かりやすく伝える必要があるが、その時々で説明する人により、説明不足や分かりにくい表現（専門用語多用等）があったり、言葉のニュアンス等で受け取り方に違いが表れたりする場合があった。

３．対策後

当初は感染防止対策の一環として始まった動画制作だったが、結果的に安全対策や業務改善につながった。主な改善点を箇条書きで下記に記す。

安全面では…

- 何度も視聴ができ、使用したい機械のみの復習も出来る。指導側からも再視聴するよう呼びかけることで怪我防止に
- 誰でも見てほしい角度で見てもらえる。本来であれば危険な立ち位置でも、怪我の心配がない（例えばキリコが出てくる様子等）。
- 予め見てもらうことで機械の挙動や加工後の様子等の予備知識が付き、さらに怪我防止に。
- 動画にすることで統一した説明をすることが出来、説明不足の解消になった。台本作りから始めているため丁寧な説明が可能。

業務面では…

- 日程調整や準備の手間が省け、業務負担軽減につながり、主業務により専念できるようになった。

・　これまで紙で管理していた名簿を、受講登録フォームを活用しドライブで管理、スプレッドシートを名簿とすることで受講確認がスムーズになった。

その他には…

・　研究室単位ではなく、個人での受講により、利用したい人がより利用しやすい環境に。
・　後から利用する必要が出てきた場合、動画の方が気軽に受講しやすく、通年を通して新規利用者に対応できるようになった。

４．制作手順

４.１　構成、台本作成

既存の利用マニュアルに沿って構成することで、詳しい映像を見ながら、利用マニュアルを見てより深く理解してもらえるよう工夫した。台本も、たたき台から部内で何度も検討することで、専門用語の多用や分かりにくい表現をなくすことが出来た。

台本作成を行いながら、説明に合う構図（どの位置からどのような映像を撮影するか）を事前に検討することで、スムーズに撮影することが出来た。完成するものは全く別物ではあるが、基本的な流れや考え方は工作業務と似ていて非常に面白かった。

４.２　撮影・ナレーション録音

撮影機材は CANON Kiss X9（一眼レフ）を使用した。こちらは主業務である機械工作での完成品を、より鮮明に撮影・記録するために以前購入したものだ。動画 1 では、付属レンズ EF-S 18-55 を使用、動画 2 では、ダブルズームキット付属レンズ EF-S 55-250 を使用した。使い分けの理由としては、物理的な近距離では撮りにくいフライス、旋盤の撮影の際、望遠レンズで安全な位置から怪我無く近距離を撮影する為だ。また、背景も望遠レンズの方がぼやけるため、映したいところだけくっきり映すことが出来る。

ナレーション録音は、普段から会議等で使用しているヘッドセットと、Windows に初めから導入されているボイスレコーダーで録音した。

４.３　編集作業

使用ソフトは AviUtl ver1.10。基本無料で使用できる。編集作業の大まかなイメージは、動画、画像、音声等の素材を並べ、繋げて、一本の動画にする、という感じだ。非常に単純な作業であり、必要最低限の使い方さえ覚えてしまえば、クオリティに関わらず誰でも動画制作が出来る。図 1 は実際の編集画面である。詳しい説明はポスターに記す。

現在では、Microsoft のビデオソフトが大幅アップデートされ、そちらも大変使いやすくなっている。

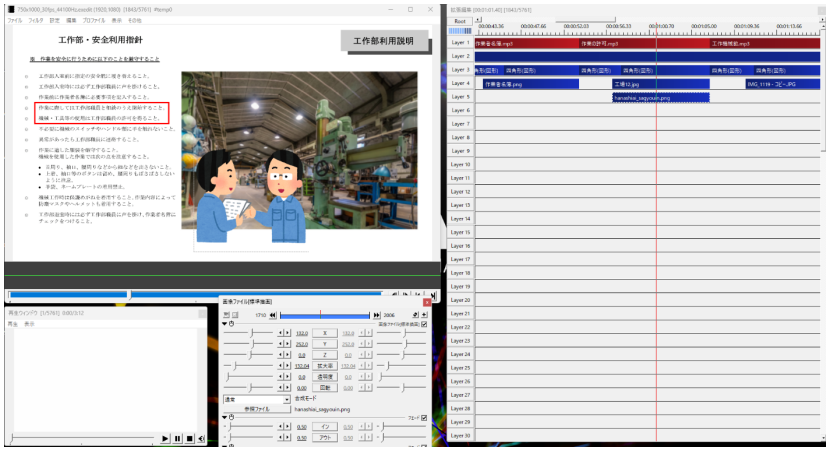


図１　編集画面

５．終わりに

元々所有している物を活かし、費用をかけることなく業務改善が出来たことは、非常に良い経験となった。今後は、Google Apps Script（通称ＧＡＳ）を活用した機械利用予約システムを構築し、より気軽に機械利用が出来るようにしたいと考えている。ＧＡＳに関する知識は全くないが、持ち前のチャレンジ精神で来年度の運用開始を目指しているが、主業務をこなしながらの挑戦になるので、ゆっくりじっくり構築していきたいと思う。

ポスター発表では、ポスター展示はもちろんのこと、実際に制作した動画の視聴、使用した一眼レフの使い方、編集ソフトの使い方についても説明可能なので、興味のある方はぜひ立ち寄っていただければと思う。

自作動画による安全教育と効果

関谷　佳奈

東北大学電気通信研究所　研究基盤技術センター

はじめに

東北大学 電気通信研究所 研究基盤技術センター工作部では、主に所内の研究室からの依頼に沿った実験装置、器具の設計、製作を、**技術職員4名**で行っているが、もうひとつ重要な業務として、学生等に対する工作指導がある。特に自分で機械を使用して工作したいという学生のために、安全に重きを置いた手引きを行なう。年間240時間程度の実績があり、私自身も既に延べ60時間の指導に携わっている。

学生が工作機械を利用するには、毎年4月に実地で開催される利用講習会の受講が必須だが、2020年にコロナウイルスが流行し、感染防止対策の為利用講習会を休止、貸出についても停止せざるを得なかった。

本報告では、2020年4月頃から2023年3月までの休止期間を活用し、再開に向けた対策として制作した自作の講習動画について、動画を制作したことにより実現できた安全対策やその効果、制作方法、使用した機材やソフト等について紹介する。

これまで → 対策後

▼安全面

- 工作機械について大半が初見の学生→厳重な注意が必要
- 保護メガネ着用で実際に材料を加工しながら説明。機械にも学生にも細心の注意を払っているが、切屑や切削油が飛んでくる危険な立ち位置に立ってしまう人も…
- その時々、説明する人により、説明不足や分かりにくい表現（専門用語多用等）、言葉のニュアンス等で受け取り方に違いが…
- 場合によっては受講後すぐに利用しない事も…→いざ利用する際には忘れてしまっている

→

- ✓ 予め見てもらうことで機械の挙動や加工後の様子、等の予備知識が付き、怪我防止に！
- ✓ 誰でも見てほしい角度で見てもらえる。本来であれば危険な立ち位置でも、動画なので怪我の心配がない！
- ✓ 統一した説明をすることが出来、説明不足の解消、台本作りから始めているため、丁寧な説明が可能に！
- ✓ 何度も視聴ができ、使用したい機械のみの復習も可能。さらに指導側から再視聴するよう呼びかけることで怪我防止に！

▼その他にも

- 基盤センター利用講習会が4月に開催
  →なるべく同時期の第一四半期中に予約
- 研究室単位の為、利用予定のない人も受講することに…→個人で受講しずらい

→

- ✓ 後から利用する必要が出てきた場合、動画の方が気軽に受講しやすく、通年を通して新規利用者に対応できるようになった！
- ✓ 個人での受講により、利用したい人がより利用しやすい環境に！

▼業務面

～事前準備～

- 予約受付、日程調整（**研究室ごと**）
- 各機械説明用の材料準備

～講習会当日～

- 工作部利用手順と各機械（使用頻度高い5種）の使用方法説明→所要時間：**約2時間**
- 受講者名簿（紙）に記入、ファイリング し管理

毎回同じ手順で研究室ごとに行う。
多い年で**年間11回**！

- 職員1名が複数名に対し、貸出可能な機械について1機ずつ説明を行う→主業務がストップ…
- 受講者名簿から名前を探し、受講確認するのが結構手間だった…
- 受講内容を忘れている場合は、また一から説明する必要があった。

→

～事前準備～

- 受講動画、受講登録の周知

～講習会当日～

- 受講登録状況の確認、スプレッドシート確認・管理　※動画長さは2本で約20分!!

業務負担が激減！

- ✓ 日程調整や準備の手間が省け、業務負担軽減に→主業務により専念できる！
- ✓ 受講登録フォームを新設。スプレッドシートを名簿としてドライブで管理→受講確認がスムーズに！
- ✓ 再視聴するよう指導側から呼びかけることで再説明の手間が省けた！

制作手順

①構成・台本作成

- 既存の利用マニュアルに沿って構成
- 分かりやすい説明文を何度も検討

②撮影・録音

- 場面によってレンズを使い分けて撮影
- 聞き取りやすい速度で話す

使用機材…CANON Kiss X9　ダブルズームキット

主業務である機械工作での完成品の撮影・記録用に以前購入した一眼レフカメラ。

小型且つ軽量の初心者向けエントリーモデル。

- ✓ 有効画素数：約2420万画素
- ✓ センサーサイズ：APS-C
- ✓ ISO感度：100～25600
- ✓ その他：バリアングル液晶、タッチシャッター、フルハイビジョン動画60P

レンズ①　EF-S 18-55

レンズ②　EF-S 55-250（望遠レンズ）

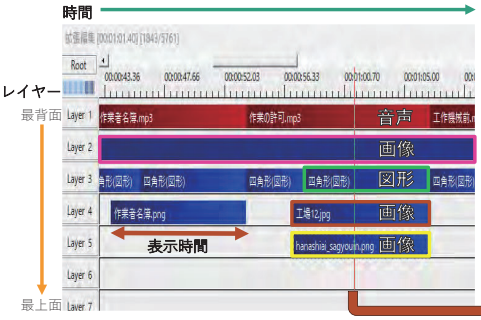
背景ボケ感弱め
全体を映したいときに使用

背景ボケ感強め
ピンポイントで映したいときに使用
近距離撮影が危険な時にも◎

③編集

- どこを説明しているかわかるようにマニュアル表示
- 画面に動きを付けて表現

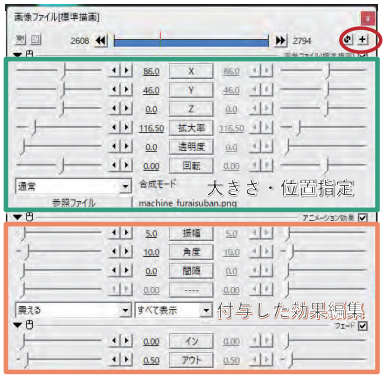
使用ソフト…AviUtl ver1.10



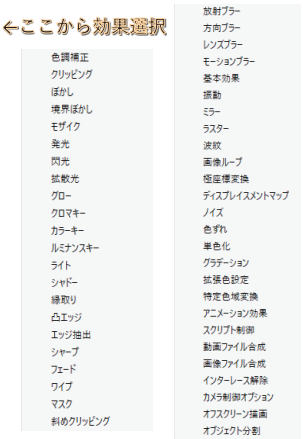
完成した1コマ

素材を配置するウィンドウ。
主に表示時間・重ねる順番を決める画面。

重なった素材（1コマ）の表示位置を決めるウィンドウ。
パワーポイントのようにマウスで表示位置を調整できる。



素材の大きさ変更、効果付与が出来るウインドウ。
数値による表示位置指定も可能。



初期段階でこれだけの効果が付与できます。

画像だけでなく、図形、音声、文字にも効果付与可能◎

プラグイン導入(別途ダウンロード)でさらに高度な編集が可能に！

※ダウンロードは自己責任

終わりに

元々所有している物を活かし、費用をかけることなく業務改善が出来たことは、非常に良い経験となった。これまで工作部WEBページ、年次報告書デザイン等も費用をかけずに制作してきたが、今後はGoogle Apps Script(通称GAS)を活用した機械利用予約システムを構築し、より気軽に機械利用が出来るようにしたいと考えている。GASに関する知識は全くないが、持ち前のチャレンジ精神で来年度の運用開始を目指している。主業務をこなしながらの挑戦になるので、ゆっくりじっくり構築していきたいと思う。

令和５年度東北大学総合技術部技術職員研修の発表報告

２０２３年１１月２７日

評価部　丹野健徳、柳生寛幸

名称：令和５年度東北大学総合技術部技術職員研修
「IoT 機器を用いた遠隔での設備監視」：〇丹野健徳、柳生寛幸
「Google Apps Script を用いた業務の効率化」：〇柳生寛幸、丹野健徳
期間：２０２３年１１月17日(金)
場所：電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設

１、目的

ヘリウムガス回収設備の日常点検・緊急時対応のために、IoT による遠隔監視を導入している。IoT を用いれば、災害時に二次災害の危険性なく自宅から実験設備の安全確認を行えるようになる。また、キャンパス内の３カ所に点在するヘリウムガス回収設備の点検業務の負担を軽減できる。

2022 年３月に発生した福島県沖地震では、地震の翌朝に遠隔監視のために導入した Web カメラによってヘリウムガスバッグの破損を遠隔から見つけることができた。しかし、Web カメラではヘリウムガスバッグの異常を発見するのに時間がかかった。そのため、より簡単に異常を発見できるように、ヘリウムガスバッグの充填率を測定する距離センサーを導入した。さらに、測定結果を視覚的に確認できるように、Web ページにグラフとして表示させるアプリを開発した。

距離センサーなどのハードウェアは丹野が、Web ページにグラフを表示されるソフトウェアは柳生がそれぞれ分担して開発をおこなった。それらの成果について、丹野と柳生それぞれが総合技術部技術職員研修においてポスター発表を行った。それに加えて、柳生は業務効率化のために開発したアプリについても発表を行った。

２、内容

２件の発表内容については、要旨とポスターを参照。

３、感想

２件の発表だったため片方に訪れた方をもう一方に案内したこともあり、多くの方に訪れていただけた。これらの技術を応用して、研究室の温度や酸素濃度、実験設備の計器、実験動物の監視が可能かなどの質問があった。安価での実現が可能であり、様々な分野での応用ができるため、発表について好評いただけて、優秀発表賞を受賞できた。

IoT 機器を用いた遠隔での設備監視
― Raspberry Pi を用いたヘリウムガスバッグの監視 ―

○丹野　健徳、柳生　寛幸
東北大学 電気通信研究所　研究基盤技術センター　評価部

１．はじめに

モノのインターネット（IoT, Internet of Things）の導入・活用が様々な分野で進んでいる。様々なモノにセンサーや通信機器を取り付けて、遠隔地のデータを利用者が移動することなく収集し活用できる。大学や研究機関でも、実験設備の遠隔監視等に利用されている[1, 2]。

電気通信研究所でも、ヘリウムガス回収設備の日常点検・緊急時対応に IoT による遠隔監視を導入しており、2022 年 3 月 16 日に発生した福島県沖地震災害によるヘリウムガスバッグの破損を発見できた[3]。本発表では、より確実にガスバッグの異常を発見できるように導入した距離センサーについて報告する。

２．IoT 機器の構成

当研究所では、人手不足解消と災害時の安全確認のために IoT 機器による遠隔での設備監視を導入している。これまでに、ネットワークカメラによるヘリウムガスバッグの監視、Raspberry Pi 4B と USB カメラの組み合わせによるヘリウムガス回収設備の計器監視を導入した[3]。さらに、Raspberry Pi Zero2W と距離センサーを組み合わせたヘリウムガスバッグの充填率の監視を新しく導入した。各 IoT 機器の構成および監視状況を図 1 に示す。

Raspberry Pi Zero2W と距離センサーの構成は図 2 に示す。距離センサーとしては ToF（Time of Fly, 飛行時間）方式の距離センサーを用いており、プローブとして超音波を用いる HC-SR04 と Class1 のレーザーを用いる VL53L1X の 2 種類を使用した。

図 1　各 IoT 機器の構成と監視状況

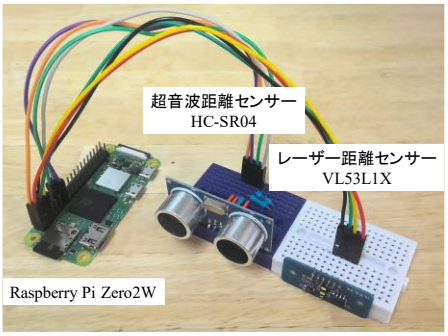


図 2　Raspberry Pi と距離センサー

３．測定結果の保存と表示

Raspberry Pi 上で動作する Python でプログラムを記述してセンサーからデータを取得した。1 分毎にプログラムを実施するように cron を用いて設定しており、データは csv 形式で Raspberry Pi 内に保存される。また、測定と同時に測定値を GET 送信して、Google ドライブ内のスプレッドシートにも同じデータが保存されるようにした。

測定したヘリウムガスバッグの充填率は、一目で確認できるように Google Apps Script を用いてグラフとして表示させた。グラフ化の詳細については当センターの柳生の発表を参照して頂きたい。

参考文献

[1]　上田雄也ほか, 回収ヘリウムガスの遠隔監視システムについて~運用開始から 2 年間の報告~, 九州大学 低温センターだより, 2017, No.11, p.30-33.
[2]　浅田瑞枝ほか, ヘリウム純度計監視システムの紹介, 令和 3 年度核融合科学研究所技術研究会, 2022, p.109-111.
[3]　丹野健徳ほか, IoT を用いた実験設備の遠隔監視, 令和 4 年度東北地区国立大学法人等技術職員研修技術, 2023.

IoT機器を用いた遠隔での設備監視
ー Raspberry Piを用いたヘリウムガスバッグの監視 ー

○丹野　健徳、柳生　寛幸
東北大学 電気通信研究所　研究基盤技術センター　評価部

モノのインターネット（IoT, Internet of Things）

IoTとは
- 様々なモノにセンサーや通信機器を取り付けて、無線・有線のネットワークを介してセンサーデータを収集
- 遠隔地のデータを利用者が移動することなく収集・活用可能

IoTの様々な分野での応用
- 自宅のペットの様子の監視
- 工場の生産ラインの監視
- 農業ハウスの温湿度管理

遠隔監視の導入
- ヘリウムガス回収設備などの実験設備の遠隔監視にも利用
- 電気通信研究所でも様々な経緯から導入

IoT導入の経緯

①人手不足
液体寒剤専任職員の定年退職

分析装置の維持・管理を主業務とする発表者が**業務で担当**

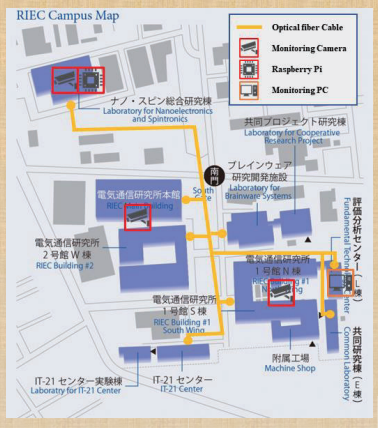
②遠隔地の立地
ヘリウムガス回収設備が**キャンパス内三カ所に点在**

点検業務が少なくない負担

③**地震等の災害**
2021/2/13, 2022/3/16 福島県沖地震
地震災害が頻発
深夜に発生したため直ぐに現場での対応が困難
安全確認などで二次災害の危険性

IoT機器導入の労力は最低限にしたい
▼
既製品やプログラムが簡単な機器の利用
▼
既製のネットワークカメラとRaspberry Piを導入

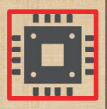
電気通信研究所内の施設



遠隔監視システムに使用したIOT機器

AXIS Communications製M2025-LE
- 赤外線照明内蔵で夜間・暗闇でも撮影可能
- LANケーブルから本体に給電するPoE（Power of Ethernet）機能
- 動体検知機能や一定時間ごとにカメラ画像を添付して電子メール送信

2021年2月13日の地震後に導入

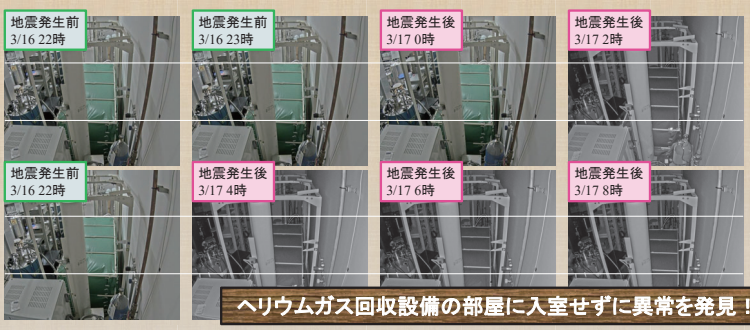


Raspberry Pi4 model B 4GB
- 有線・無線LANを備えておりネットワーク接続が簡単
- USBポートもあるため既存のUSB機器を利用可能
- 各種センサー類を接続できる汎用入出力（GPIO, General-purpose input / output）ポートなども備える拡張性
- Raspberry PiにUSBカメラを接続
  ヘリウムガス回収設備の表示計器を撮影して画像を添付ファイルとして送信できるようにプログラムを作成

2022年3月16日の地震後に導入

実際の適応例～地震時の様子～

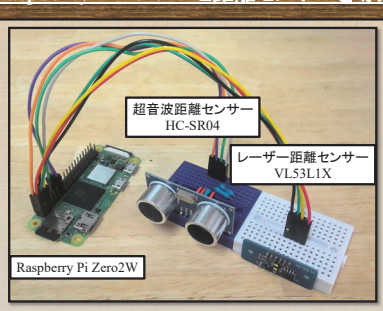
地震発生（3/16 23:36）直後からガスバッグの高さが低下
ヘリウムガス漏洩の疑いを発見



ヘリウムガス回収設備の部屋に入室せずに異常を発見！！

Raspberry Pi Zero2Wと距離センサーの追加

カメラ画像を比較するのでは時間がかかる。
実際のガスバッグの高さをすぐに知りたい！
▼
Raspberry Pi Zero2Wと距離センサーを導入



2023年4月10日に導入

- Raspberry PiのGPIOにToF（Time of Fly, 飛行時間）方式の距離センサーを接続
- プローブとして超音波を用いるHC-SR04
- Class1のレーザーを用いるVL53L1X

- Raspberry Pi内でPythonで距離測定プログラムを作成
- 1分毎の定期的に距離を測定
- 測定結果をGET送信してGoogleドライブ内のスプレッドシートに保存

Python
Raspberry Pi上で動作
センサーからのデータ取得

Cron
Raspberry PiはLinux系OS
Cronでプログラムを定期実行

Google Apps Script
GET送信したデータを
受信できるようにAPIを作成

スプレッドシート
受信したデータを保存

Google Apps Scriptでグラフ化

実際のRaspberry Pi Zero2Wとセンサーをデモ中

グラフ化の詳細は柳生の発表をご覧ください。

Google Apps Script を用いた業務の効率化
－ ヘリウムガスバッグ監視データ可視化 Web アプリの開発 －

○柳生　寛幸[a)]、丹野　健徳[a)]
[a)]東北大学　電気通信研究所　研究基盤技術センター　評価部

１．はじめに
実験装置類の状態監視は研究継続性の面から重要な業務であるが、技術職員は多様な業務に対応する必要があるため、何度も現地に赴いて装置類の状態を確認することは時間上難しいうえに効率的な働き方ではない。遠隔で装置の状態を記録し、簡単に状態確認できる仕組みがあれば、効率的に状態監視を行うことができ、余った時間で多様な業務に対応することができる。

本発表では、ヘリウムガスバッグの監視システム（詳細については丹野の発表を参照）で取得した高さデータを可視化する Web アプリにより、業務の効率化につながる成果を得たことを報告する。

２．Google Apps Script（GAS）について
Google Apps Script（GAS）は Google 社が提供するアプリケーション開発プラットフォームで、簡単にスクリプト（簡易的なプログラム）を作成することができる。クラウド上で動作するためコンピュータ上に開発環境を構築する手間は不要で、インターネット環境があればどこからでも利用することができる。また、Google サービス（Google ドライブ、Gmail、スプレッドシート等）との連携が簡単で、JavaScript をベースにした言語を用いているので HTML や様々な JavaScript ライブラリも利用可能である。通常、Web アプリを公開する場合はサーバ構築が必要であるが、GAS ではユーザがサーバを用意する必要はなく、簡単に Web アプリを公開することができる。

GAS は無料版と有料版があり、有料版では実行回数やトリガー数等の各種上限が緩和される。東北大学では Google Workspace を導入しており、有料版で利用可能である。

３．Chart.js について
Chart.js は JavaScript でグラフを描写するためのチャートライブラリで、商用・私用を問わず無償で使用することができる。JavaScript のチャートライブラリは他にも Google Charts など数多く存在するが、国内での利用情報が多く、細かく設定することが可能な Chart.js を使用した。バージョンは最新（投稿時点では 4.4.0）ではなく、安定性が高いと思われる旧バージョンの最終版である 3.9.1 を使用した。

４．可視化 Web アプリの開発
４.１　Web アプリの仕様
ヘリウムガスバッグの高さ（ガスバッグの充填率に比例）の測定データを記録したスプレッドシートを読み込んで Web 上に表示するスクリプトを作成した。公開した URL にアクセスすると測定データが時系列グラフで表示される。グラフの表示は画面ボタンで変更可能である。また単純移動平均（ローパスフィルタの一種）を算出してデータを大まかな推移で確認することもできる。表示例を**図 1** に示す。

４.２　可視化データの変動推移
可視化した変動推移を確認すると、ヘリウム使用装置を通常稼働している際は緩やかに高さが上昇し、本格稼働時は大きく上昇する傾向があることがわかった。また、170 cm 程度の高さに達すると、ヘリウム回収ライン（回収したヘリウムを極低温科学センターまで送り返す機構）が稼働して最低位置の 50 cm 程度まで約 6 分で一気に萎む。不使用時はほぼ変わらない（1 週間で 3 cm 程度低下）。よって、これらの傾向と異なる推移を示した場合（緩やかに低くなる等）は、故障発生を即座に疑うことができる。

４.３　可視化による効果
測定データを可視化することで、高さの変動推移を簡単に検証することができるようになった。カメラによるヘリウムガスバッグの遠隔監視[1]では、遠方の監視カメラで目視するため即座に判定することが難しかった。そのため異常発生を確認するまでに時間がかかっていたが、可視化により異常発生を簡単に即座に確認できるようになり、業務の効率化につながる成果を得ることができた。

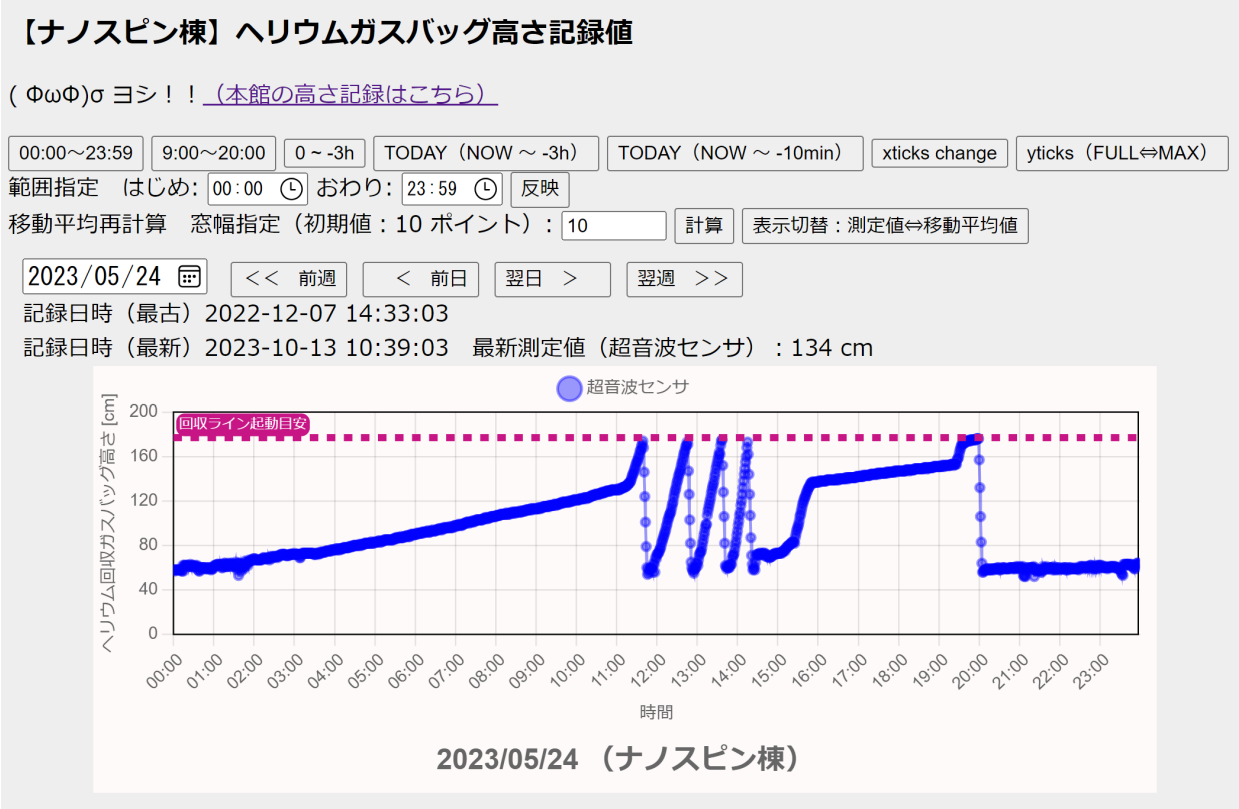


図 1　Web アプリの表示画面

５．本発表以外における GAS を用いた業務効率化の実現例

現行のフレックスタイム勤務表は、開くのに時間がかかり、画面操作が必要で手間のかかる場面があるため、勤務表のスプレッドシート上にスクリプトを作成して業務効率化を図った。勤務表を開くと自動的に今月のシートを表示するスクリプトを作成した。これにより、長くかかるファイル読み込み完了を待ってからシートを移動するまでの手間を省くことができた。また、残業発生までの時間（「(参考) 7:45 との差分 or 休日勤務」の合計値）を、勤務表を開いたときに表示するスクリプトを作成した。これにより、いちいち画面を右下にスクロールして確認する手間を省くことができた。

フレックスタイム勤務の場合、始業終業休憩フォームで打刻を行うが、入力者側が始業・終業時刻を確認するには勤務表を開く以外にないので、自動的に勤務表の打刻記録を参照して Google Chat のスペースに記録を残すスクリプトを作成した。これにより、打刻時間を確認するため勤務表を開く必要がなくなった。また、勤務表データに不具合が起きて過去の打刻記録が必要になったときに、正確な打刻時刻をすぐ参照することができるので、時刻確認の手間を省くことができた。

Web スクレイピングを行ってサイトの更新を確認したいという要望があったので、定期的に更新確認を行って更新があればメール通知するスクリプトを作成した。これにより、サイトの更新を手動で確認する手間を省くことができた。

これらのスクリプトは、Google sites で作成した個人 Web ページに公開している[2]。

参考文献

[1]　丹野健徳ほか, IOT を用いた実験設備の遠隔監視, 令和 4 年度東北地区国立大学法人等技術職員研修技術, 2023.

[2]　「まとめの部屋」（公開範囲：東北大学 Google アカウント限定）, https://sites.google.com/tohoku.ac.jp/ftc-kozin/home

Google Apps Scriptを用いた業務の効率化
– ヘリウムガスバッグ監視データ可視化Webアプリの開発 –

〇柳生　寛幸　　丹野　健徳
東北大学　電気通信研究所　研究基盤技術センター　評価部

はじめに

- ナノスピン棟には装置類冷却ヘリウムを使用後に回収するガスバッグが設置
  - ➢ 溜まったら極低温科学センターに送り返す
- 1日に何度も現地に赴いてガスバッグや関連機器の状態を確認するのは非効率
  - ➢ 通研L棟⇔ナノスピン棟間往復距離およそ1km
- 効率的に状態監視したい

ヘリウムガスバッグ監視システム（丹野発表）の取得データを可視化するWebアプリを作成

Google Apps Script (GAS) を用いたWebアプリ開発

- JavaScriptベースの言語なのでHTMLやJavaScriptライブラリが利用可能
- Googleサービスとの連携が容易
- サーバ構築不要でWebアプリ公開可能
- 公開URLにアクセスすると測定データをグラフ表示（図1）
  - ➢ グラフ表示にチャートライブラリChart.js (ver.3.9.1)を使用

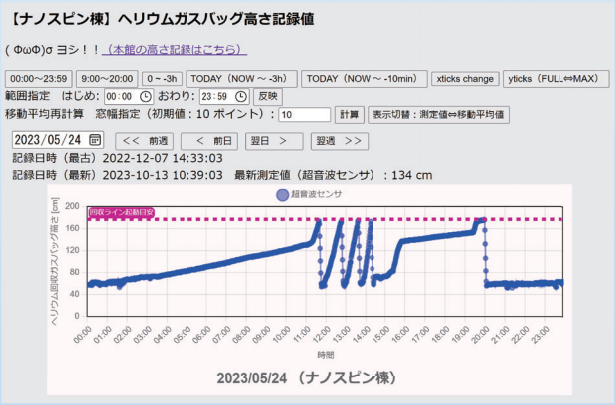


図1　Web アプリの表示画面

Webアプリの仕様

- ガスバッグの高さを時系列グラフ表示
- 画面操作：表示範囲の変更、単純移動平均（ローパスフィルタの一種）算出結果にデータ表示切り替え

可視化データの変動推移

- 平常時は図2のような推移傾向
- 異なる傾向を示す場合（緩やかに低くなる等）故障発生を即座に疑うことができる

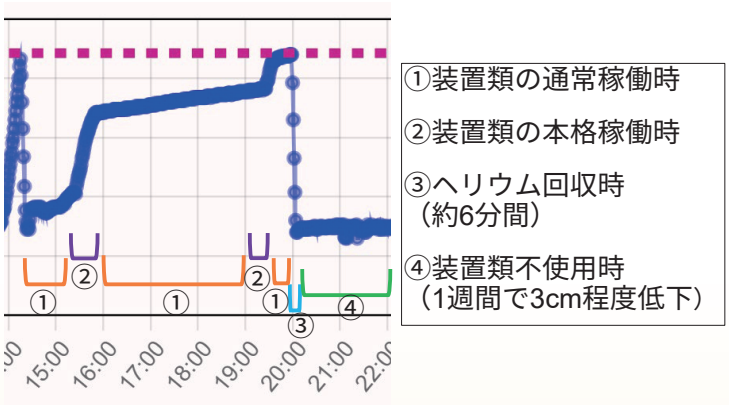


図2　ヘリウムガスバッグの高さ推移

可視化による効果

- これまでは監視カメラでの遠隔監視
  ⇒異常発生の判定が難しい
- 本発表の方法
  ⇒簡単・即座に異常発生を疑うことができる

Webアプリ開発の結果、業務の効率化につながる成果を得ることができた

今後の課題

- 異常検知の自動化（機械学習やテンプレートマッチングによる手法）
  - ➢ ガスバッグ関連メータ値を画像認識で自動取得
  - ➢ 映像・音から異常を自動検知

GASを用いた業務効率化　**（本発表以外）**

- フレックスタイム勤務表の今月シートを自動表示
- フレックスタイム勤務表の残業発生までの時間を自動表示
- 打刻時刻をGoogle chatのスペースに自動的に記録
- Webスクレイピング（Webページの定期監視）の結果更新があればメール通知

上記スクリプトはGoogle sitesで公開中（閲覧には東北大学Googleアカウントが必要）
QRコード⇒

https://sites.google.com/tohoku.ac.jp/ftc-kozin/home

令和 5 年度東北大学総合技術部技術職員研修の発表報告

2023 年 12 月 25 日
評価部　阿部真帆

名称：令和 5 年度東北大学総合技術部技術職員研修
「EBSD 未経験者からの卒業」 ○阿部真帆、丹野健徳、千葉雅樹（多元研）

期間：2023 年 11 月 17 日(金)
場所：電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設

１、目的

2020 年度よりマイクロシステム融合研究センター教授の鈴木茂先生に結晶方位解析と電子後方散乱回折（EBSD）についての勉強会を開催していただき、EBSD の原理や操作方法を学んだことで、現在は学生の指導（阿部)、依頼分析（阿部)、データ解析（丹野）までできるようになった。そのため、勉強会の記録を残すことと他の技術職員の参考になるのではないかと思い、総合技術部技術職員研修においてポスター発表を行った。

２、内容

装置担当である阿部が化学系の分析を学んできたため、物理系の分析である結晶方位解析について、理解が難しいこと、操作方法やサンプルの前処理の情報がなく操作に困難を感じていた。そのため、EBSD は操作方法等が分かる鈴木茂研究室（当時は多元物質科学研究所）の学生が使用するのみであった。

EBSD 勉強会では EBSD の原理の解説と鈴木先生がお持ちのサンプルで EBSD の演習をさせていただくことで操作や学生の指導に自信がついた。データ解析についても勉強会でアドバイスをいただき、複数ある EBSD の解析方法から適切な解析を選択できるようになり、利用者に解析方法の指導や依頼測定のデータの説明を行っている。特に今年度は依頼測定結果がプレスリリースとなり、3 年かけて未経験者から研究に貢献するまでとなった。発表の詳細については要旨とポスターを参照いただきたい。

３、感想

発表を行い、分析群に関わらず新しい装置を担当することになった職員がポスターに関心があった印象だった。いただいた感想は以下の通り。

・新しく装置を任されたが、分からないことばかりで技術習得の参考となった。
・未経験者からプレスリリースとなるレベルの共同研究者となったことに驚いた。
・定年退職した教員との関係が興味深かった。

EBSD 未経験者からの卒業

〇阿部 真帆 a)、丹野 健徳 a)、千葉 雅樹 b)
a) 東北大学 電気通信研究所 研究基盤技術センター 評価部、b) 多元物質科学研究所 技術室

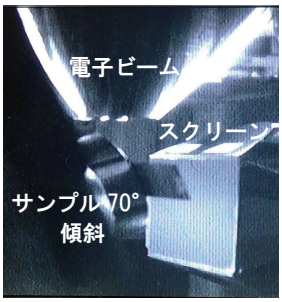
1．はじめに

・2008 年採用、学生時代は分析化学を専攻
（ガスカラムクロマトグラフによる**定性・定量分析**）
・2009 年 3 月に分析用の電子顕微鏡（SEM）日立 SU-6600 が導入された
付属分析装置　エネルギー分散型元素分析装置（EDX）：**定性・定量分析**
波長分散型元素分析装置（WDX）　：**定性・定量分析**
結晶方位解析装置（EBSD）：**結晶方位を測定する？？**

SU-6600

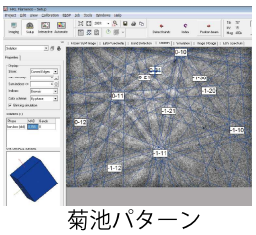
・未経験者、初心者が EBSD 操作でぶつかる壁
：菊池パターン（下図）を得ることができない
→操作設定が悪いのか、サンプルの状態が悪いのか判断できない
：複数の解析方法があり、どれがいいのか分からない、解析結果の説明が難しい

2．EBSD について

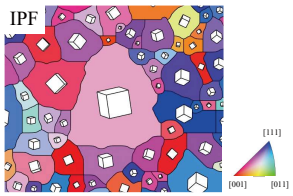


SEM チャンバー内部

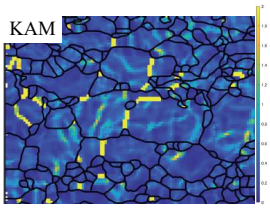
投影 →


菊池パターン

解析 →



IPF マップ

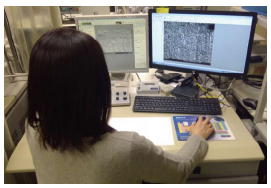


KAM マップ

・電子ビームをサンプルに照射し、試料から発生した反射電子が回折され、
スクリーンに結晶情報を反映したキクチパターンが投影される。
・サンプルの位置ごとの菊池パターンを得ることで、結晶の向きを示す IPF マップ、
ひずみを示す KAM マップなど様々な解析が可能となる。

3．勉強会について

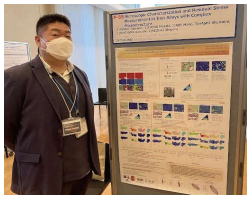
・2020 年　9 月鈴木先生から座学で EBSD の基礎を学ぶ
・測定（阿部）とデータ解析（丹野）の演習　→操作、解析が理解できる
・各種研磨方法を教わる　→菊池パターンを得るための前処理ができる
・より良いデータを得るためのアドバイスをいただく
・千葉が残留応力や磁気特性の測定を行い、千葉、丹野、阿部で鈴木先生の
共同研究者として　測定や解析を行っている
・EBSD の経験がある千葉からも操作や研磨のアドバイスをもらう


測定演習

電解研磨

4．勉強会の成果

・EBSD 利用希望者が未経験者であっても操作説明やデータ解析の説明ができるようになった
・依頼測定にも対応できるようになり、今年度測定に関わった研究が 9/28 に本学の
プレスリリースとなった
・通研共同プロジェクトポスター発表（丹野）2021 年度～
・金属学会口頭発表（千葉）


ポスター発表

5．謝辞

・マイクロシステム研究融合開発センター　鈴木教授には毎週勉強会を開催していただき、感謝申し上げます。
・共同研究として行っている一部は東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究により実施されています。

令和 5 年度東北大学総合技術部技術職員研修 技術発表会の報告

令和 5 年 11 月 27 日

プロセス部　森田　伊織

名称：「令和 5 年度東北大学総合技術部技術職員研修 技術発表会」
期間：令和 5 年 11 月 17 日
場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設

１、目的（実施要項より引用）

総合技術部職員に対し、「技術発表（ポスター発表)」の成果発表の場において、専門分野での交流による技術の向上・研鑽はもとより、さらには、専門分野の垣根を越えた交流・意見交換も積極的に行い、他分野間の情報共有を通して相互理解を一層深めることにより、全学支援組織の技術職員としての資質向上を目的とする。また、「 派遣型研修」参加報告を通して、コアファシリティ統括センターの活動についての理解・認知を深める。

２、ポスター発表の内容

タイトル：ナノ・スピン実験施設の共用設備を用いた受託加工および支援業務

1. はじめに（発表の背景）
2. フォトリソグラフィ技術の概要
3. 電子線リソグラフィ技術
4. フォトマスク受託加工
5. 技術相談対応
6. 最後に（謝辞）

３、感想

ポスター発表は 2 時間の枠があったが、全ての時間を自分の発表に費やし、やり切った感を得た。業務を受託でやっている事について紹介したかったので、この点をこれまでの成果を含めより強調して紹介した。丁寧にできたと思うが、まだ何か発表そのもののインパクトが足りないのかなと感じた。今回、受賞を狙って選ばれなかったので、来年も発表する所存である（大体何が足りないかは自分で分析済)。

ナノ・スピン実験施設の共用設備を用いた受託加工および支援業務
ー フォトリソグラフィ技術の提供 ー

○森田　伊織
電気通信研究所　研究基盤技術センター　プロセス部（電子回路・測定・実験群　半導体チーム）

1．はじめに

配属先の電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設は、多くの実験装置をテクニカルサポートセンターに登録し、共同利用に供している。私はその中でも回路や素子の作製に欠かすことのできないフォトリソグラフィ技術に習熟しており、これまでに多種多様な技術相談を受けてきたが、その都度対応することで研究に貢献してきた。

本稿では、フォトリソグラフィ技術を用いた受託加工業務と技術支援業務について紹介する。

2．フォトリソグラフィ技術の概要

フォトリソグラフィ技術はフォトレジスト（紫外線感光材）を材料に塗布し、フォトマスク（パターンの原版）を用いるか、またはパターンを直接材料に描画してフォトレジストを反応させ、現像工程を経て不要なフォトレジストを除去してレジストパターンを形成する技術である。レジストパターン形成後はエッチングまたは成膜を行い、最後にレジストパターンを除去して構造を作製する。

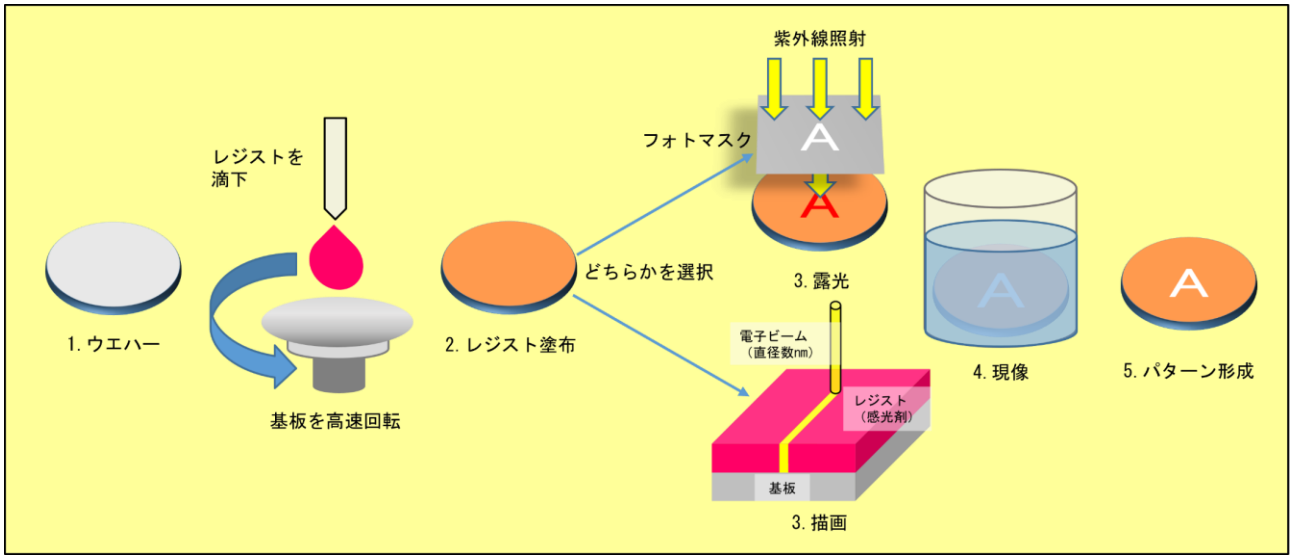


図 1　フォトリソグラフィ技術の概略図

3．電子線リソグラフィ技術

最小直径を数 nm まで細く絞ることが可能な電子線を材料に照射して極微細領域のレジストパターン加工を行う技術を電子線リソグラフィ技術と呼ぶ。ナノ・スピン実験施設では日本電子製の電子線描画装置を用いて最小線幅 10nm 相当のレジストパターンの形成が可能である。

図 2 は相談者から依頼されて受託加工対応した三角形三量体のナノ構造を作製するために作成したレジストパターンの SEM 像である。三角形同士の間隔を 20nm として作製し、パターンの描画領域は 2mm□である。 依頼者が作りたい構造に対して、これまでに得た知見と技術を用いて最適な条件を選定しながら対応している。

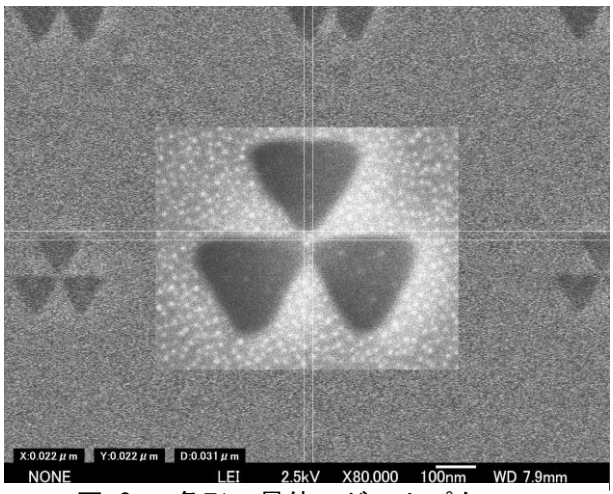


図 2 三角形三量体レジストパターン

４．フォトマスク受託加工

パターンの原版となるフォトマスクの作製を受託対応している。工程は、①CAD 作成②材料となるクロムマスクへのフォトレジスト塗布③フォトマスクへのレジストパターン描画④レジストパターン現像⑤不要なクロム膜のエッチング⑥エッチング後のレジスト除去である。

図 3 は、ナノ・スピン実験施設内の研究室から依頼されて作成した人工神経細胞回路作製用のフォトマスクパターンである。原版であるので、異物や欠陥などは材料にも転写されてしまうため、そのような不良が無い作製技術が求められる。また、各工程や装置はマスクメーカーなどとは異なり、自動化されてはいないので、大半の部分は手作業で作製している。

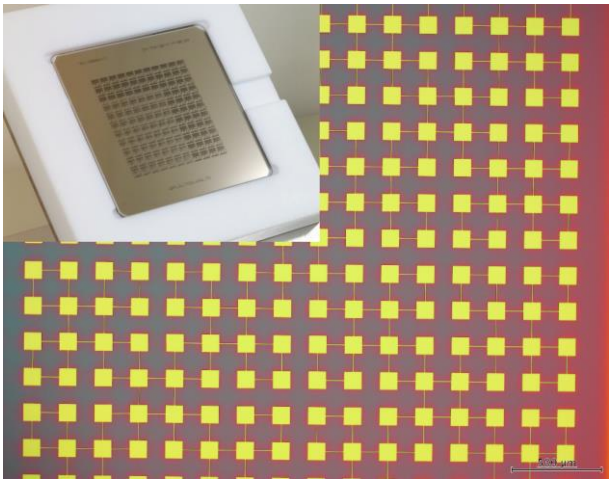


図 3 フォトマスクの外観と人工神経細胞回路作製用のフォトマスクパターン

５．技術相談対応

学内外問わず技術相談をいただく機会がある。大半は学内からの相談であるが、年に数件ほど学外の方からも相談をいただく機会がある。相談内容は、回路や素子の作製を検討している段階での装置と使用条件の選定の相談や、実際に作製に着手しているが上手くいかないときの対処方法の相談などが挙げられる。

相談の中にはこれまで以上の加工精度や技術的な難易度を求められることもあったが、こうした依頼や相談の際には一度きりの対応で終わらせず、どこまでが対応可能な範囲であるかを依頼者と相談や調整を図りながら対応してきた。

現状は相談件数が多いとその分一つ一つのアウトプットが遅くなる課題がある。より高い技術と知見が得られれば、アウトプットのスパンを短縮できるのではないかと考えている。

図 4 技術指導の風景

６．最後に

本稿で述べた技術支援業務で論文での謝辞への掲載や共著者にしていただく機会もあった。また、本学のプレスリリースの中で私が作製の一部に関わっていたものもある。

学内ではフォトリソグラフィ技術の受託対応は基本的にはナノ・スピン実験施設以外では対応していないので、機会があれば有効に活用していただきたい。

知っている範囲にはなってしまうが、相談者の利便性なども考慮してナノ・スピン実験施設の利用に限らず他の施設を紹介することもあるが、最も利便性が高いのは一つの施設で作製工程を完結出来ることにあると思うので、フォトリソグラフィ技術に限らず、今後も様々な加工技術を身に着けていきたいと考えている。

謝辞

研究・開発を通じて私に技術相談をもち掛けていただき、私に技術向上の機会を与えていただいたすべての皆様に改めてお礼申し上げます。今後ともよろしくお願いいたします。

日本鉄鋼協会ミニシンポジウムの発表報告

２０２３年１１月２７日

評価部　丹野健徳

名称：日本鉄鋼協会ミニシンポジウム「鉄鋼業に貢献する先端的な分析関連技術」
期間：2023 年 12 月 25 日 10:30～15:00
場所：東北大学産学連携先端材料研究開発センター（MaSC）

１、目的

多元物質科学研究所の打越先生から、日本鉄鋼協会のミニシンポジウムのご案内があり、「鉄鋼業に貢献する先端的な分析関連技術」として自身の担当している技術の紹介や、自分で考案した工夫などについての講演依頼があり、発表を行った。

これまで培った X 線回折についての知見や装置を利用した解析方法、研究基盤技術センター評価部の共用設備の周知、また初心者向けの X 線講習会の実施について発表した。

２、内容

日本鉄鋼協会ミニシンポジウム「鉄鋼業に貢献する先端的な分析関連技術」のプログラムは以下のとおりである。また、発表内容については別資料を参照のこと。

・丹野健徳（東北大学電気通信研究所）
「粉末 X 線回折測定の基礎」
・千葉雅樹（東北大学多元物質科学研究所）
「XRD・EBSD を利用した応力・ひずみ・すべり系の解析」
・鈴木茂（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター）
「電子分光法による鉄合金中の元素の化学状態」
・打越雅仁（東北大学多元物質科学研究所）
「UV-vis-NIR 用フローセルの開発とその応用」
・篠田弘造（東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター）
「錯体構造、溶液中と結晶中における違いを見極める」

３、感想

参加者が学生時代の指導教員をはじめとした XRD を専門とした先生が参加しており、発表はかなり緊張した。初心者向けの講習会について発表して、初心者の失敗例について紹介した際には、先生方から共感と学生などへの操作方法などの教育の重要性、技術職員がそれを担えることの意義について改めて気づかされた発表となった。

日本鉄鋼協会ミニシンポジウム

「鉄鋼業に貢献する先端的な分析関連技術」

鉄鋼材料の特性は多種多様な分析技術をもって明らかにされる。分析技術の発展は日進月歩であり、常に最先端の技術に関する情報を得ることは重要である。本シンポジウムでは、各種分析法の最先端技術を紹介し、具体的な応用方法、課題を議論し、日々複雑化する鉄鋼材料のより本質的な物性を取得するための指針を提案する。

主催：　日本鉄鋼協会　材料の組織と特性部会
　　鉄鋼関連の物質の多角的解析と制御　自主フォーラム

日時：2023年12月25日(月)10:30~
場所　東北大学産学連携先端材料研究開発センター
　　980-8577　宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

プログラム

10:25　開会挨拶

10:30-11:00　丹野健徳　東北大学電気通信研究所
　　粉末X線回折測定の基礎

11:00-11:30　千葉雅樹　東北大学多元物質科学研究所
　　XRD　EBSDを利用した応力・ひずみ・すべり系の解析

11:30-12:00　鈴木茂　東北大学マイクロシステム融合研究開発センター
　　電子分光法による鉄合金中の元素の化学状態

12:00-13:00　休憩

13:00-13:30　打越雅仁　東北大学多元物質科学研究所
　　UV-vis-NIR用フローセルの開発とその応用

13:30-14:00　篠田弘造　東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター
　　錯体構造、溶液中と結晶中における違いを見極める

14:00-15:00　総合討論

15:00　閉会挨拶

連絡先
　鉄鋼関連の物質の多角的解析と制御　自主フォーラム会計担当
　　東北大学多元物質科学研究所　　打越雅仁

日本鉄鋼協会ミニシンポジウム （2023.12.25）

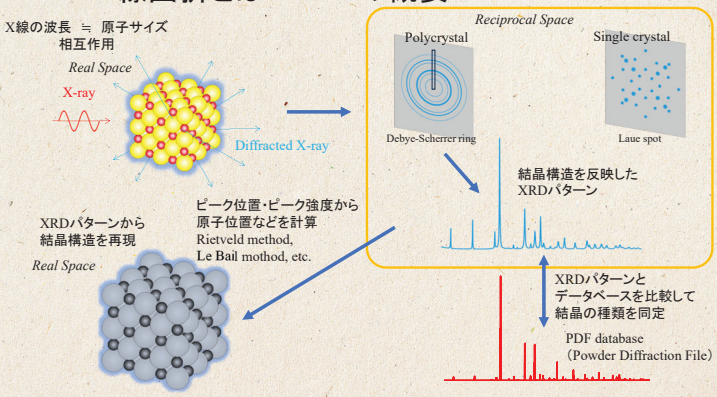
粉末X線回折測定の基礎

東北大学　電気通信研究所　研究基盤技術センター
総合技術部　分析・評価・観測群　構造解析グループ X線分析チーム
技術専門職員　丹野 健徳
eac-riec@grp.tohoku.ac.jp
(YouTube)　https://youtu.be/qahWXnDWY9U

レジュメ

1. X線回折とは
   1. XRDの概要
   2. XRDでわかること
   3. ブラッグの式・ラウエの式
2. 試料準備・調整の注意点データベースの紹介
   1. XRDの勘所
   2. 試料汚染に注意
   3. ホルダーへの充填
   4. ホルダーの厚さ
3. 装置設定の注意点
   1. 光学系による分類
   2. 装置の概要
   3. 発散スリットと照射幅
   4. 受光スリットと分解能
4. データ解析の注意点
   1. 誤差因子
   2. 格子定数の決定（ピーク位置）
   3. 結晶子・格子ひずみ（ピーク形状）
5. 実際の測定例

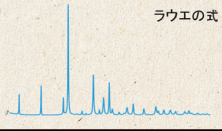
1.1 X線回折とは ~XRDの概要~



1.2 X線回折とは ~XRDでわかること~

$2d\sin\theta = n\lambda$
ブラッグの式

$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{a} = h\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{b} = k\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{c} = l\lambda$$
ラウエの式

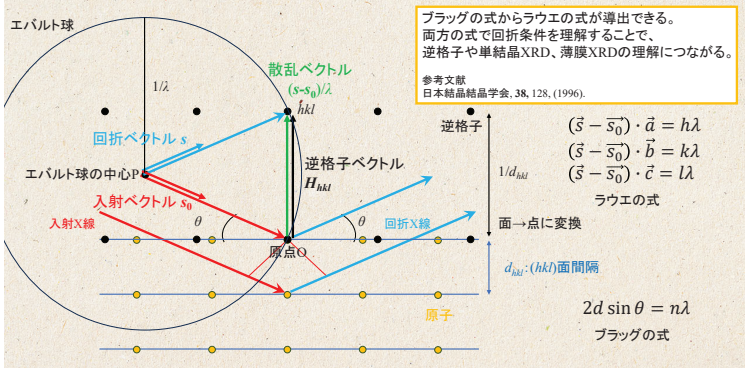


$$I = |F|^2 p(LP)\frac{1}{2\mu}\left(1-e^{-2\mu t/\sin\theta}\right)e^{-2M}$$
$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^{N} f_j e^{2\pi(hu_j+kv_j+lw_j)}$$

粉末X線回折における回折X線強度を表す一般式。
F: **構造因子**（結晶構造を反映）　p: 多重度因子（結晶の対称性を反映）
LP: ローレンツ偏光因子（光学系と結晶の大きさを反映）
$1/2\mu$*(1-e-): 吸収因子（試料によるX線の吸収を反映）
M: 温度因子（熱振動による原子位置の変位を反映）
f: **原子散乱因子**（原子がX線を散乱する能力、原子の種類を反映）

XRDパターン	含まれる情報	分析手法
ピーク位置	面間隔　格子定数	定性分析（結晶の種類）
ピーク強度（消滅測）	原子座標 原子の種類　結晶の配向	定量分析（混合相の組成） 集合組織の解析
ピーク形状	結晶性　格子欠陥 格子不整　光学系	結晶子サイズの分析 格子歪、残留応力の解析

1.3 X線回折とは ~ブラッグの式・ラウエの式~



ブラッグの式からラウエの式が導出できる。
両方の式で回折条件を理解することで、
逆格子や単結晶XRD、薄膜XRDの理解につながる。

参考文献
日本結晶結晶学会, **38**, 128, (1996).

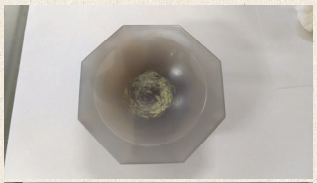
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{a} = h\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{b} = k\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{c} = l\lambda$$
ラウエの式

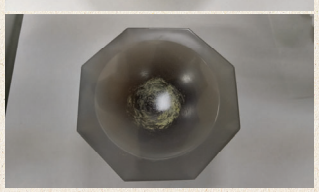
$2d\sin\theta = n\lambda$
ブラッグの式

2.1 試料の準備・調整 ~XRDの勘所~

- **試料の準備・調整が測定結果や解析結果の精度に最も影響を及ぼす！**
- 粒度が均一であること！
  - 電動ミルやメノウ乳鉢で粉砕する。**少量ずつ粉砕した方が均一・早い**
  - 非晶質化や結晶構造の変化、新たな化合物形成に注意（**メカノケミカル**）
  - エタノール・アセトン等を使用した**湿式が効果的**（有機物や可溶性の無機物を除く）
  - 板状、針状、劈開しやすい試料に注意。特定面が配向しやすい（キャピラリー・非晶質のバインダーの使用や接着剤で固めて再粉砕）
  - 最近の装置では試料を回転・揺動させて粗大粒の影響を除去可能
- 試料の粉砕・充填時には適切な保護具をご使用ください。

2.2 試料の準備・調整 ~試料汚染に注意~





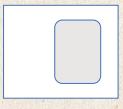
- 乳鉢の汚染に注意が必要です。
  使用後の乳鉢はきれいにしましょう！
- SiO_2粉末（~100 μm程度）を粉砕することで乳鉢を研磨・洗浄します。
  極少量のSiO_2粉末の粉砕を数回繰り返す。
- 業者に再研磨を依頼することも可能です。
- **作業場所の整理整頓と試料ごとの掃除を心掛ける！**

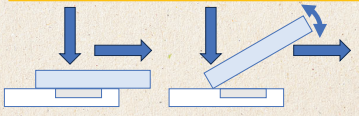
2.3 試料の準備・調整 ~ホルダーへの充填~

- 平滑に充填（集中法の場合）！
  - **ピーク位置がずれるなどの誤差が発生**
- なるべく密に充填！
- この他の充填方法などは、「粉末X線回折の実際」で紹介されています。
- 試料が少ない時
  - バインダー（コロジオン液やセメダインなど）を塗り試料を振りかける
  - 揮発性有機溶剤と混合して塗る（スミアアマウント法）
  - Si無反射板の使用

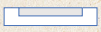
逆さにしても粉末が落ちない様に充填するのが目安

もう一枚のガラス試料板（もしくはプレパラートなど）を用いて表面を平滑に充填する。
ガラス試料板を擦切る角度や抑える圧力を調整する。
ナノ粒子だと擦切るよりも上から抑えるだけの方がいいなど、試料によって調整する。

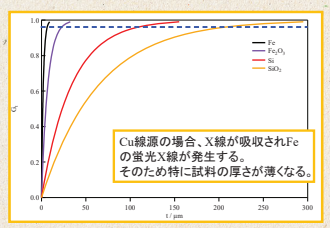




2.4 試料の準備・調整 ~ホルダーの厚さ~



サンプルホルダーの充填部の深さ
0.2 mmや0.5 mmがある
目安として金属なら0.2mm
酸化物・セラミック等なら0.5mmを選択

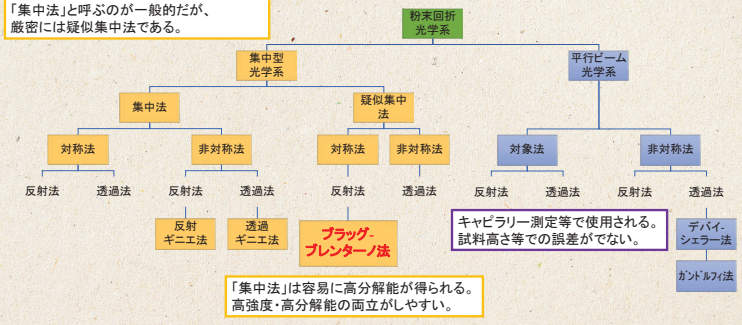


Cu線源の場合、X線が吸収されFeの蛍光X線が発生する。
そのため特に試料の厚さが薄くなる。

- 試料をサンプルホルダーに充填する際には、試料によるX線の吸収を考慮して、X線に対して十分に厚い必要がある。
（吸収補整が不要になる）
- 試料の吸収係数μと厚さt、試料表面からの散乱強度の割合G_tは次式で表される。
- $G_t = \frac{\int_0^t \frac{I_0}{\sin\theta} e^{-2\mu x/\sin\theta}}{\int_0^\infty \frac{I_0}{\sin\theta} e^{-2\mu x/\sin\theta}} = 1 - e^{-2\mu x/\sin\theta}$
- $t = -\frac{\sin\theta}{2\mu}\ln(1-G_t)$
- Gt = 95%や99%となるような厚さになるような充填部の深さを選択すればよい。
- **粉末の場合バルクよりも密度が低いため（バルクの1/2程度）厚めにする必要がある。なるべく密に充填！**
- 線源によって吸収係数が変わるため注意

3.1 装置設定の注意点 ~光学系による分類~

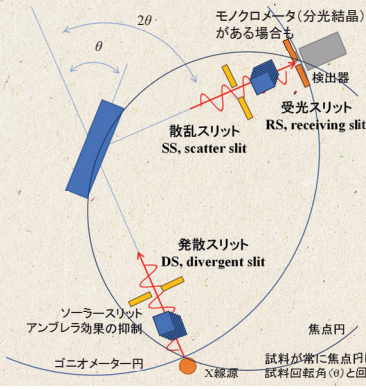
粉末XRD測定には**ブラッグ-ブレンターノの集中法光学系が広く用いられる**。
「集中法」と呼ぶのが一般的だが、
厳密には疑似集中法である。



キャピラリー測定等で使用される。
試料高さ等での誤差がでない。

「集中法」は容易に高分解能が得られる。
高強度・高分解能の両立がしやすい。

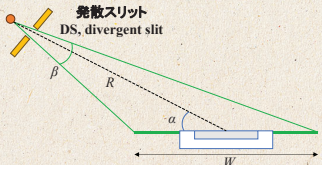
3.2 装置設定の注意点 ~装置の概要~

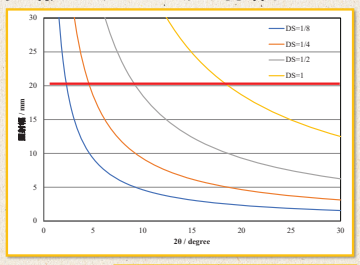


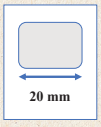
- X線源
  - Cuターゲットが一般的
  - 用途によってCoやCr, W, Moなども使用する
- 発散スリット
  - **X線の試料への照射幅の制限**
  - 角度分解用に影響
- 散乱スリット
  - DS = SS に設定
  - 散乱防止
- 受光スリット
  - 受光幅の制限
  - **角度分解能に強く影響**
- モノクロメータ（分光結晶）
  - 試料から**蛍光X線が発生する場合に有効**
- **検出器の劣化に注意**
  シンチレータの潮解、フォトマルの劣化、ガス検出器のガス圧低下、半導体検出器へのX線ダメージ

3.3 装置設定の注意点 ~発散スリットと照射幅~

- 入射X線の照射幅が試料ホルダーのサイズからはみ出すと、回折X線の強度低下やガラスハローの検出等の問題が発生する。
- 入射X線が試料からはみ出さないように、照射幅を**発散スリット（DS）によって制限**する。
- W: 入射X線の照射幅, R: **ゴニオメーター半径**, α: 入射角度（集中法ではθ）, β: 発散角（DSの幅）
- $W = \left[\frac{1}{\sin(\alpha+\beta/2)} + \frac{1}{\sin(\alpha-\beta/2)}\right] R\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)$







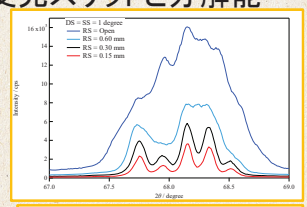
照射幅が試料からはみ出さないような発散スリットを選択する。
例：R = 185 mm
5度から測定開始：DS = 1/4°
10度から測定開始：DS = 1/2°
装置によってゴニオメーター半径が異なるので注意！

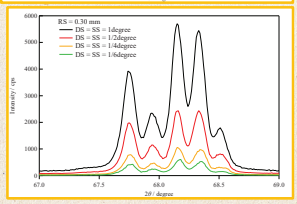
3.4 装置設定の注意点 ~受光スリットと分解能~

- 集中法において、**分解能は受光スリットの幅に反比例**する。**受光スリット（RS）の幅を狭めるほど回折強度は低下するが、分解能は向上する。**
- 試料およびX線源に由来する回折線幅より**狭い受光スリットを用いても強度が低下するだけで分解能は向上しない。**
結晶性が低い試料の場合などは受光スリットを広げる。
- R：ゴニオメーター半径, Wxs：実効焦点幅, Wrs：受光スリット幅
- $Resolution(\text{degree}) = \frac{\sqrt{W_{XS}^2 + W_{RS}^2}}{R} \times \frac{180}{\pi}$

参考文献：井田 隆, 粉末X線回折法による化学分析
http://www.crl.nitech.ac.jp/~ida/education/ChemicalAnalysis/430condition.pdf

- 集中法の分解能について**ゴニオメーター半径にも依存**





4.1 データ解析の注意点 ~誤差因子~

系統誤差

- X線焦点による誤差
  - 実効焦点による広がり。フィラメントやターゲットの劣化。
  - プロファイルの幅を対称に広げるため回折角には影響しない。
- 平板試料による誤差（**集中法のみ**）
  - 試料が平板のため試料に接する焦点円との不一致がある。
  - プロファイルの低角側に非対称に広げるため**回折角を低角側に変位**。
- X線ビームの垂直発散による誤差
  - **最も効果が大きく、低角度側で顕著**。開口角の小さなソーラースリットで低減。
  - プロファイルの非対称化させるため**回折角を変位**。
- 受光スリットによる誤差
  - 分解能に強く影響。
  - プロファイルの幅を対称に広げるため回折角には影響しない。
- 試料透過による誤差（**集中法のみ**）
  - X線が試料内部で回折することで焦点円の大きさが変わる。
  - X線が試料内部に潜り込む高角度側ほど影響が大きい。特に
  - プロファイルの低角側に非対称に広げるため**回折角を低角側に変位**。

装置調整誤差

- ゼロ点誤差
  - 2θ = 0の誤差。ターゲットの熱膨張。管電流に比例。
  - 精密測定をする場合は最初と最後に標準試料を測定。
- 偏心誤差（**集中法のみ**）
  - 試料高さが異なることで焦点円の大きさが変わる。
  - 試料の差し替えでもわずかに変位する。
  - 高さ調整（半割）や内部標準試料の使用。

試料調整誤差（3章を参照）

- 試料表面の平滑さ, 試料の厚み
- 粗大結晶の残留, 選択配向
- 試料の熱膨張

・固溶体（置換型・侵入型）
・結晶子サイズ・格子ひずみ
・積層不整（層状構造, 粘土鉱物など）
によってもプロファイルが変化

機械精度・制御による誤差

- ゴニオメータホイールの偏心, etc.

結晶相を同定する場合は、ピーク位置・ピーク強度がある程度ずれるものだと留意する

集中法では、試料高さ、試料表面の平滑さ、試料厚さ、粗大粒の残留などによって、回折ピーク位置の変位、回折強度の変化などが生じるため、試料の準備が重要になる（平行ビーム法では生じない）。

4.2 データ解析の注意点 ~格子定数の決定~

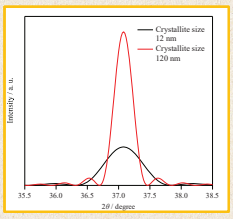
- 指数がわかっている回折ピークの面間隔を精密に測定して算出
- θを90度に近づけるとdを高精度で決定できる

$$\frac{\Delta d}{d} = -\Delta\theta\cot\theta, \Delta\theta = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\tan\theta$$

- 内部標準法（標準試料を混合）
  - NISTのSRM No. 640（Si）, 660（LaB_6）, 674（CeO_2, Cr_2O_3, TiO_2, ZnO）など
  - SRMは高価なため、安価な他の結晶の格子定数をSRMを標準として決定してから相対的な標準試料として使用することも可能
- 外部標準法
  - 標準試料と試料を同じ条件で測定・解析
  - 前述の誤差が問題となる
- 外挿法によってθ=90°でのdを算出
  - $\cos^2\theta, \frac{1}{2}\left(\frac{\cos^2\theta}{\sin\theta} + \frac{\cos^2\theta}{\theta}\right)$（Nelson-Riley関数）でプロット
- 最小二乗法
  - 逆格子を用いて計算
- 全パターンフィッティング（WPPF）
  - Rietveld法
  - Pawley法
  - Le Bail法
- **試料温度に注意（熱膨張）**
- 広い範囲で正確なピーク位置・強度の測定が必要
- 内部標準試料は測定する試料のピークとよく分離していることが必要

4.3 データ解析の注意点 ~結晶子・格子ひずみ~

- X線回折に寄与する結晶子の大きさによって、ピーク形状・強度が異なる。**結晶子が大きいほどピークは鋭く高強度となり、小さくなるほどピークは広がり低強度**となる。
- 結晶子サイズが1 μm以下でピークの広がりはじめ、数 nm以下となるとX線回折的には非晶質とみなされる。
- 変形や残留応力などによって**結晶粒内に不均一ひずみが生じることでもピークが広がる**。



- ピークの広がりには、結晶子サイズ、格子ひずみ、**光学系などの情報**が含まれる。
  - 装置由来のピークの広がりを評価するため標準試料（SRM640, 660）が必要となる。
- Scherrer法
  - 結晶子形状により定数K = 0.94, 1.05などが使われる。

$$D = \frac{K\lambda}{\beta\cos\theta}$$

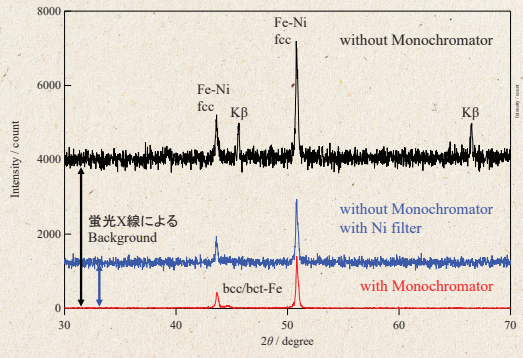
参考文献：井田 隆, シェラーの式の使われ方にみられる混乱について
http://www.crl.nitech.ac.jp/~ida/research/memo/ConfusedScherrer.pdf

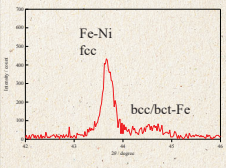
- Williamson-Hall法
  - 結晶子と格子ひずみによるピークの広がりを考慮。

$$\frac{\beta\cos\theta}{\lambda} = \frac{2\varepsilon\sin\theta}{\lambda} + \frac{K}{D}$$

- FP（Fundamental Parameter）法
  - 単一ピークフィッティング（SPF）
  - 全パターンフィッティング（WPPF）
  - 標準物質が基本的に不要（精度向上には必要）

実際の測定例（オーステナイト系ステンレス）





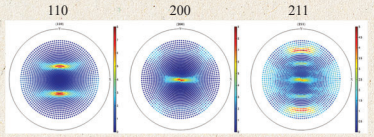
オーステナイト系ステンレスの
圧延材の測定結果

モノクロメータを使用することで
Feの蛍光X線を除去

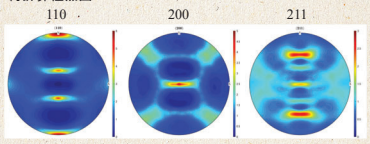
圧延によって一部がbcc/bctに
変態（マルテンサイト相の誘起）

実際の測定例（極点図）

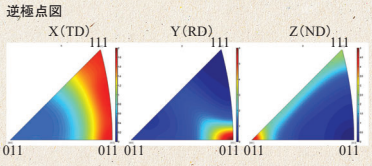
極点図（BG処理、Defocus補整を実施）



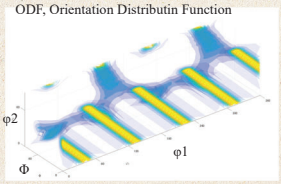
再計算極点図



逆極点図

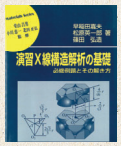


ODF, Orientation Distributin Function



参考文献の紹介

X線構造解析
早稲田 嘉夫, 松原 英一郎
内田老鶴圃

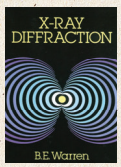


演習X線構造解析の基礎
早稲田 嘉夫, 松原 英一郎, 篠田 弘造
内田老鶴圃

余談ですが....
表紙画像の六方晶は学生時代に描きました

粉末X線解析の実際
中井 泉, 泉 富士夫
朝倉書店

現在は第3版
試料作製から
リートベルト解析まで網羅



Element of X-ray Diffaction
B. D. Cullity and S. R. Stock

X-ray Diffraction
B. E. Warren

X線装置メーカーの技術文書、
X線分析の進歩, 日本結晶学会誌などの
雑誌・学会誌もオススメです

ご清聴ありがとうございました。

「2023 年度研究基盤技術センター技術講演発表会」参加報告書

報告日　2024 年　4 月 22 日

工作部　月本　佳奈

名称：2023 年度研究基盤技術センター技術講演発表会

期間：2024 年 3 月 25 日　15:00~

場所：Zoom（オンライン）

1、研修概要

研究基盤技術センターでは、各利用研究室とセンターとの連携の強化、並びに、センター内での知見の共有などを目的として、「研究基盤技術センター技術講演発表会」を開催している。今年度も研究基盤技術センターをご利用頂いている研究室の「特別講演」と、当センターの技術職員による「技術発表」の構成で開催。（実施要項から抜粋）

2、研修内容

15:00 ~　開会　センター長挨拶

15:05 ~　特別講演　「電子後方散乱回折法の応用」

マイクロシステム融合研究開発センター　鈴木茂

15:45 ~　技術発表　「EBSD の技術向上について」（動画発表）

研究基盤技術センター　評価部　阿部真帆

16:15 ~　技術発表　「自作動画による安全教育と効果」

研究基盤技術センター　工作部　月本佳奈

16:45 ~　閉会

3、感想

聴講と発表で参加した。発表では、「自作動画による安全教育と効果」と題して、外来利用のコロナ対策として自作した利用講習会用動画について、動画を制作したことにより実現できた安全対策やその効果、制作方法等について紹介した。この内容は、令和 5 年度総合技術部研修でも発表しており、その内容をさらにアップデートして発表した。

発表中は 34 名の方に聞いていただき、何件か質問等頂いた。

頂いた質問・ご意見

・　他に紹介した無料のソフトではなく、AviUtl を使用した理由は？
・　動画を視聴したいが、どこで見れるか？（閉会後メールでのご質問）
・　動画を作る際は協力していただきたい　等

令和 5 年度総合技術部研修でご意見のあったアンケート等にもチャレンジし、制作した動画の効果をより感じることが出来た。動画運用 2 年目は WEB ページ等もさらにアップデートしたいと考えているので、主業務をこなしつつ有言実行できるよう努めたい。

※発表資料はP参照

発表・成果報告一覧

対象期間：2023.4～2024.3

主催・講師等

丹野健徳、阿部真帆(評価部) 23.5
「SEM・XRD 基礎講習会」主催

丹野健徳(評価部) 23.10 *
「令和 5 年度　粉末 X 線回折講習会」講師

丹野健徳(評価部) 23.1 *
「令和 5 年度　薄膜 X 線回折講習会」講師

*:発表資料あり

SEM・XRD 基礎講習会の開催報告

2023 年 7 月 31 日

評価部　丹野健徳、阿部真帆

名称：「SEM・XRD 基礎講習会」
期間：2023 年 5 月 15 日～31 日（各 1.5 時間）
場所：電気通信研究所　研究基盤技術センター評価部　L107（SEM)、L208（XRD）

１、目的

研究所の内外から評価部の SEM・XRD の新規利用者を増やすことや、研究所内で評価部を利用していない研究室にも SEM・XRD で何ができるのかを知ってもらうことを目的として本講習会を開催した。

特に、本年度から新たに配属された学生や教職員を対象にして、SEM・XRD に興味がある方や今後の利用を検討している方に向けて開催した。

２、内容

SEM は実際に操作した方が原理を理解できるため、操作の体験をメインとした。半導体基礎講座用のテキストで SEM の原理や構造を説明した後に、受講者のサンプルもしくは半導体基礎講座用のサンプルを使い、受講者が試料の観察と EDX による元素分析を行った。講習会を実施した回数は 3 回、参加者は 4 名となった。

XRD は何ができるかといった応用例を知ってもらうには、基本的な原理を理解しないと難しいため、原理の説明をメインとした。本講習会用に作成したテキストを使用した座学の後に、シリコンなどの標準サンプルで装置担当者が装置のデモンストレーションを行った。また、XRD の使用経験がある受講者の場合は、受講者のサンプルを用いて、装置担当者が模擬的に測定を実施した。講習会を実施した回数は 3 回、参加者は 4 名となった。

講習会全体で受講した研究室は所内 3、所外 1、受講者は 7（両方を受講した者もいるため受講者の延べ人数は 8 名）となった。

３、感想

昨年度の 10 月開催に続き、本年度も実施した。昨年度は講習会の参加上限を 3 名としたため、開催回数が多くなり負担となった。そこで参加上限を 5 名としたが、各講習会での参加人数は最大 2 名で上限を下回り、回数も昨年度より減少した。新規学生の具体的な研究が開始される前だったことが、参加人数の減少の原因と考えるので、10 月にもう一度開催予定である。

昨年度と同様に、受講者アンケートでは講習会におおむね満足いただけ、今後利用したいとの回答があった。また、既に新規で継続的に装置を利用していただいている例もあり、開催目的である新規利用者の増加に資する結果であった。

最後にアンケート結果を示す。

1. 受講者の身分と受講内容、アンケート回答者について

	学生	教職員	受講者合計	SEM のみ受講	XRD のみ受講	両方受講
受講者	4	3	7	3	3	1
アンケート回答者	4	3	7	3	3	1

2. 受講した理由（複数回答可）

装置を使用する予定があるため	6
装置を使用する予定はないが、装置に興味があったため	1
研究室で受講を勧められたため	1

3. 講習会の内容について

	満足	ほぼ満足	どちらともいえない	やや不満	不満
SEM	3	1			
XRD	4				

4. 講習会の時間（1.5~2 時間）について

	短い	適切	適切
SEM		4	
XRD		4	

5. 装置の原理は理解できましたか

	理解できた	どちらかといえば理解できた	どちらともいえない	どちらかといえば理解できなかった	理解できなかった
SEM	3	1			
XRD	3	1			

6. 装置の操作方法は理解できましたか

	理解できた	どちらかといえば理解できた	どちらともいえない	どちらかといえば理解できなかった	理解できなかった
SEM	3	1			

XRD	1	2	1		

7. 今度装置を使用してみたいですか

	使用してみたい	サポートがあれば使用してみたい	依頼分析であれば利用したい	使用する予定はない
SEM	2	2		
XRD	1	3		

8. 良かった点、改善すべき点があれば記入してください

SEM	本当に装置に関する知識 0 の状態で講習会に参加させていただいたが、どのような初歩的な質問でも丁寧に回答いただき、装置への理解が深まった。使用したことのない装置の利用に若干の不安・抵抗があったが、この講習会に参加し、装置への理解と装置担当者の方と交流させていただいたことで、装置利用への不安や抵抗が減ったように思える。
	操作がシンプルで大変使いやすいと思います。調整がとても簡単でした。
XRD	最初に装置の使用履歴やこれまでの研究歴について聞かれたので、受講者によってどの程度のレベルから話すかを考慮していただける点が良かったと思う。私は本当に 0 からだったため、０から１０まですべて説明していただいた。どの質問にも丁寧に回答いただきありがたかった。また、説明に合わせて装置の部品を実際に見せていただきより理解が深まった。SEM 講習会と同様に、装置利用に対する心配や不安が減ったため、参加して良かったと思う。
	限られた時間の中で大変丁寧にご教授頂きありがとうございました。 懇切丁寧にご説明いただいたため，操作方法までの理解までには至りませんでしたが，ご支援の下利用する方向で研究を進めて参りたいと思います。
	原理から XRD の種々の分析手法の特徴など、とても分かりやすく説明してくださりよかったです。実サンプルの測定はまだできていませんが、色々な事例を見せていただいたことで具体的なイメージがわきました。

粉末Ｘ線回折講習会の発表報告

２０２３年１１月２７日

評価部　丹野健徳

名称：「令和 5 年度　粉末 X 線回折講習会」
期間：2023 年 10 月 26 日 15:00～16:30（1.5 時間）
場所：大学連携研究設備ネットワーク https://www.eqnet-portal.jp/eq-study

１、目的

全国の大学法人と自然科学研究機構分子科学研究所が連携する事業である「大学連携研究設備ネットワーク」からの依頼を受けて、粉末 X 線回折講習会の講師を行った。

本講習を通して、これまで培った X 線回折についての知見や装置を利用した解析方法を広めて社会貢献を行うとともに、研究基盤技術センター評価部の共用設備の周知と提供可能な技術について広く発信できる。

２、内容

粉末 X 線回折装置の使用者および今後使用する予定のある方を対象に、初級から中級程度の内容で講習会を実施した。原理等の説明は最小限にとどめ、実際の試料準備や測定における注意点、ちょっとしたコツ、データの扱いかたを紹介した。本講習会のレジュメは以下の通りである。

1.X 線回折とは
2.データベース・便利なソフトの紹介
3.試料準備の注意点
4.装置設定の注意点
5.データ解析の注意点

また、本講習会の資料は、以下の Web ページのアーカイブ資料で閲覧可能であり、講習会の動画についても今年度末にアップロード予定である。

https://www.eqnet-portal.jp/eq-study/documents

３、感想

アンケート結果もレポートとして Web ページに掲載されており、満足度として 100%の方から「おおむね満足した」以上の評価をいただいた。難易度は、中級までの内容としため、40%の方が「やや難しかった」「難しかった」の評価だったが、94%の方から「業務に役に立つ」「大変役に立つ」という評価だったので、好評いただけたと感じている。

大学連携研究設備ネットワーク
令和5年度　粉末X線回折講習会
2023.10.26

東北大学　電気通信研究所　研究基盤技術センター
技術専門職員　丹野 健徳
eac-riec@grp.tohoku.ac.jp
(YouTube)　https://youtu.be/qahWXnDWY9U

まずは！

分析装置初歩セミナー　XRD基礎
熊本大学　志田 賢二 技術専門職員

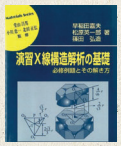
- 基礎・入門から応用・測定事例までまとめられております。
- この講習会の視聴を**オススメ**します。

https://www.eqnet-portal.jp/eq-study/documents
https://youtu.be/7l2XygYejkU

- 無機材料中心になります。
- 有機材料の分析や非晶質の構造解析については触れませんのでご了承ください。

参考文献の紹介

X線構造解析
早稲田 嘉夫, 松原 英一郎
内田老鶴圃

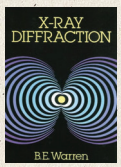


演習X線構造解析の基礎
早稲田 嘉夫, 松原 英一郎, 篠田 弘造
内田老鶴圃

余談ですが….
表紙画像の六方晶は学生時代に描きました

粉末X線解析の実際
中井 泉, 泉 富士夫
朝倉書店

現在は第3版
試料作製から
リートベルト解析まで網羅



Element of X-ray Diffraction
B. D. Cullity and S. R. Stock

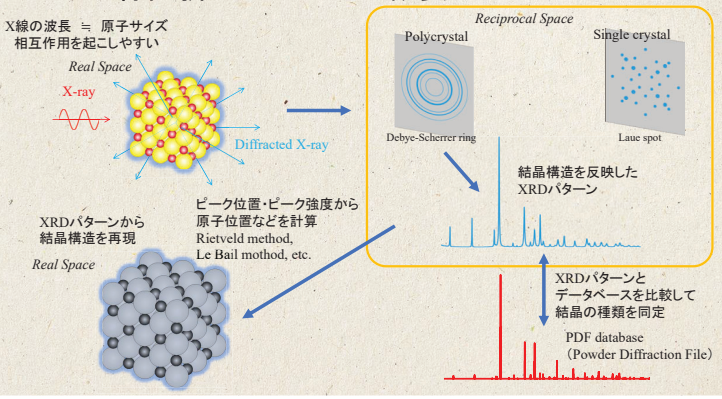
X-ray Diffraction
B. E. Warren

X線装置メーカーの技術文書、
X線分析の進歩, 日本結晶学会誌などの
雑誌・学会誌もオススメです

レジュメ

1. X線回折とは
   1. XRDの概要
   2. XRDでわかること
   3. ブラッグの式・ラウエの式
   4. ミラー指数・ラウエ指数
   5. 結晶構造の表し方
2. データベース・便利なソフトの紹介
   1. データベースの紹介
   2. データベースの注意点
   3. 便利なソフトの紹介
   4. RIETAN-FPとVESTAの連携
   5. VESTAでXRDパターンが得られない時
3. 試料準備・調整の注意点
   1. XRDの勘所
   2. 試料汚染に注意
   3. ホルダーへの充填
   4. ホルダーの厚さ
4. 装置設定の注意点
   1. 光学系による分類
   2. 装置の概要
   3. 発散スリットと照射幅
   4. 受光スリットと分解能
   5. 測定精度
5. データ解析の注意点
   1. 誤差因子
   2. 格子定数の決定（ピーク位置）
   3. 結晶子・格子ひずみ（ピーク形状）
   4. 原子位置の決定（ピーク強度）

1.1 X線回折とは ~XRDの概要~



1.2 X線回折とは ~XRDでわかること~

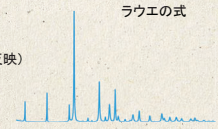
$$I = |F|^2 p(LP)\frac{1}{2\mu}\left(1-e^{-2\mu t/\sin\theta}\right)e^{-2M}$$

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^{N} f_j e^{2\pi(hu_j+kv_j+lw_j)}$$

$$2d\sin\theta = n\lambda$$
ブラッグの式

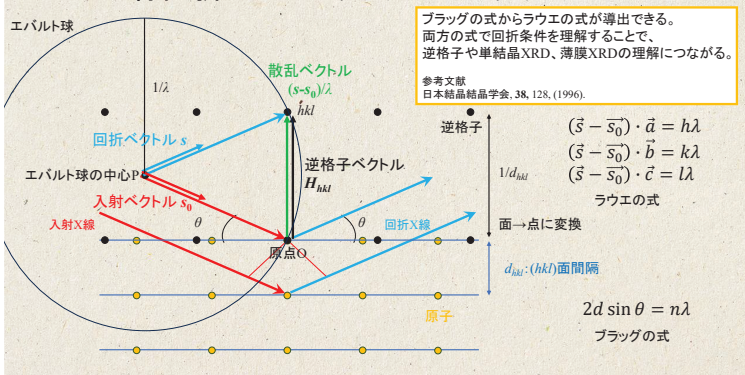
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{a} = h\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{b} = k\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{c} = l\lambda$$
ラウエの式

粉末X線回折における回折X線強度を表す一般式。
F: **構造因子**（結晶構造を反映）　p: 多重度因子（結晶の対称性を反映）
LP: ローレンツ偏光因子（光学系と結晶の大きさを反映）
$1/2\mu$*(1-e-): 吸収因子（試料によるX線の吸収を反映）
M: 温度因子（熱振動による原子位置の変位を反映）
f: **原子散乱因子**（原子がX線を散乱する能力、原子の種類を反映）



XRDパターン	含まれる情報	分析手法
ピーク位置	面間隔　格子定数	定性分析（結晶の種類）
ピーク強度 （消滅測）	原子座標 原子の種類　結晶の配向	定量分析（混合相の組成） 集合組織の解析
ピーク形状	結晶性　格子欠陥 格子不整　光学系	結晶子サイズの分析 格子歪、残留応力の解析

1.3 X線回折とは ~ブラッグの式・ラウエの式~



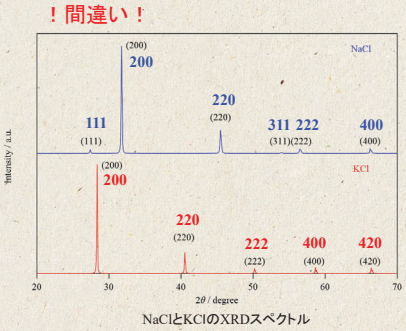
ブラッグの式からラウエの式が導出できる。
両方の式で回折条件を理解することで、
逆格子や単結晶XRD、薄膜XRDの理解につながる。
参考文献
日本結晶結晶学会, **38**, 128, (1996).

$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{a} = h\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{b} = k\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{c} = l\lambda$$
ラウエの式

$$2d\sin\theta = n\lambda$$
ブラッグの式

1.4 X線回折とは ~ミラー指数・ラウエ指数~

！間違い！



NaClとKClのXRDスペクトル
NaClとKClのXRDパターン（XRDプロファイル）

よくあるXRDのグラフですが間違っています！
解析ソフトの自動指数付けでよくありますが注意！

×XRDのピークに(200)などと指数を記入
→正しくは　200　括弧( )は付かない！

{hkl}, {hkl}, [uvw], <uvw>は**面や方向を表すミラー指数**のため括弧でくくる

ピークを表すラウエ指数には括弧( )は付かない！
ラウエ指数 ≠ ミラー指数
nh, nk, n/反射 → n次の回折
$2d\sin\theta = n\lambda$
参考文献
日本結晶結晶学会, **59**, 150, (2017).

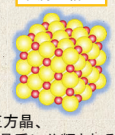
スペクトルは横軸がエネルギーで分光測定など

1.4 X線回折とは ~結晶構造の表し方~

結晶系・点群・ブラベー格子（14通り）・空間群（230通り）
参考文献
日本結晶学会の特集記事、入門講座、講習会

三斜晶 triclinic P	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$		六方晶 hexagonal P	$a = b = c$ $\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$
単斜晶 monoclinic P, C	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90°$ $\beta \neq 90°$		三方晶（菱面体晶） trigonal (rhombohedral) P	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$
直方晶（斜方晶） orthorhombic P, I, F, C	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$		立方晶 cubic P, I, F	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$
正方晶 tetragonal P, I	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$			

格子定数
原子座標
＋
空間群
（対称要素）
＝
実際の構造



三斜晶、単斜晶、直方晶（むかしは斜方晶）、正方晶、
六方晶、三方晶（菱面体晶）、立方晶、の7つ結晶系に分類される。
格子の種類は、P（単純）・I（体心）・F（面心）・C（底心）に分類される。

2.1 データベースの紹介

- ICDD
  - International Center for Diffraction Data
  - 480,000以上のデータベース
  - PDF-4では原子座標の情報も
  - 有料
- ICSD
  - Inorganic Crystal Structure Database,
  - 210,000以上のデータベース
  - CIF（Crystallographic Information File）ファイルをダウンロード可能
  - ICDDとオーバーラップしていることも
  - 有料
- 大学・研究機関の図書館などで閲覧できる場合がある
- これらは基本的に無機材料のDB
  有機材料はケンブリッジ結晶データセンター(CCDC)のCSDなど
- ATOM Works
  - 国立研究開発法人物質・材料研究機構によるデータベース
  - CIFファイルをダウンロード可能
  - **無料で利用できる**（利用者登録必須）
  - https://crystdb.nims.go.jp/
- AMCSD
  - American Mineralogist Crystal Structure Database
  - CIFファイルをダウンロード可能
  - **無料で利用できる**
  - http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php
- Acta Crystallographica
  - 国際結晶学連合（IUCr）による学会誌
  - ICSDなどにない場合は論文検索も手

2.2 データベースを検索・見るうえでの注意

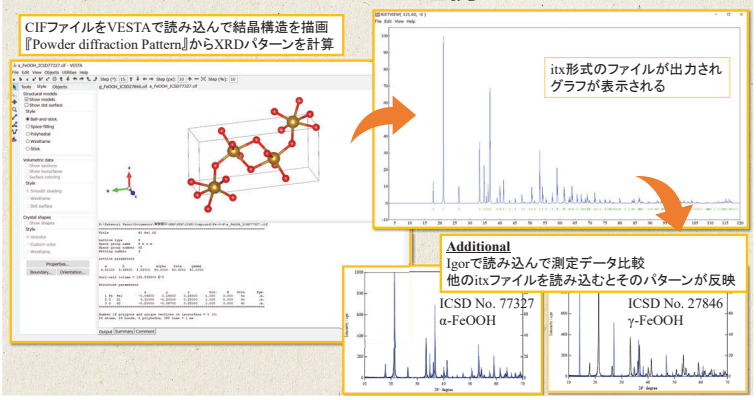
- そもそも構成元素が分からない！
  - XRFやSEM-EDX, EPMAで組成分析してみる
  - 三強線（強度の高い3つの回折線）の位置から検索してみる（ハナワルト法）
- データの信頼性（QM）に注意！
  - ＊（高信頼性）, i（指数付けのみ中信頼性）, C（単結晶回折などから計算）, O or「（ブランク）」（低信頼性）, H（仮説・仮定）, R（リートベルト法で計算）
  - 「Deleted or Rejected」の記述があれば参照しない
    信頼性が低いデータは削除されるが、**データベースからは除外されない！**
  - 「Additional Patterns : See PDF ##-##-####」や「To Replace PDF ##-##-####」
    信頼性が高いデータが他にあるのでそちらを参照する
- データの測定条件
  - 単結晶XRD、粉末XRD、中性子回折、電子回折、計算など
  - 自然鉱物、合成物質、仮定物質など
  - 高圧、高温「Pattern taken at XXX K」
    常圧では結晶相として存在しなかったり、格子定数が変化したりするので注意！

2.3 便利なソフトの紹介

- **RIETAN-FP**：リートベルト解析
  - F. Izumi and K. Momma, Solid State Phenom., 130 , 15–20 (2007).
- **VESTA**：結晶構造・電子状態の三次元可視化
  - K. Momma and F. Izumi, J. Appl. Crystallogr. , 44 , 1272–1276 (2011).
  - RIETAN-FPとVESTAは以下のサイトからダウンロード可能
    http://jp-minerals.org/jp/
- 秀丸（テキストエディタ, RIETAN-FPと連携）, Igor Pro（データ解析・グラフ作成）などがあると更に便利
  RIETAN-FPでは秀丸やIgor Pro用マクロが準備されている
  ※必須ではありませんので購入を勧めるものではありません

2.4 RIETAN-FPとVESTAの連携

CIFファイルをVESTAで読み込んで結晶構造を描画
『Powder diffraction Pattern』からXRDパターンを計算



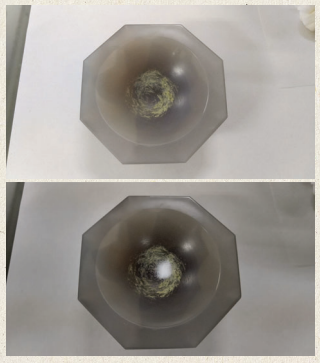
2.5 VESTAでXRDパターンが得られない時

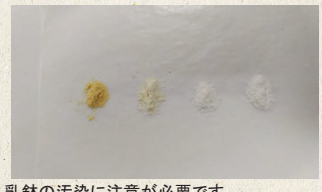
- **まずはRIETAN-FPやVESTAの保存場所の確認！**
  RIETAN-FPのインストール手順に従って英数字のフォルダ階層下に保存してください。日本語名のフォルダ階層下だと上手く動作しません。
- **次にCIFファイルの名前を確認！**
  ファイル名に「-（ハイフン）」、「（）（括弧）」、「 （スペース）」があったり、複数の「.（ドット）」がある場合は上手く動作しません。
- **最後にCIFファイルをテキストエディタで開いてデータの確認！**
  ファイル内の元素名に「（）（括弧）」がある場合は上手く動作しません。
  例：元素の区別のため酸素を表す「O1」、「O2」はOKだが、結晶水の酸素を表す「O(W)」などはNG！
  ただし格子定数や原子位置の誤差を表す「（）（括弧）」は大丈夫です。
  また1つのCIFファイル内に複数の結晶構造が記述されている場合や書式がおかしい場合もあるので注意。 例）空間群の座標原点の取り方（Origin Choice）や軸の取り方
  No.222 Pn-3n (Origin choice 1), (Origin choice 2)
  No.61 Pbca (a, b, c)→Pcab (b, a, -c),

3.1 試料の準備・調整 ~XRDの勘所~

- **試料の準備・調整が測定結果や解析結果の精度に最も影響を及ぼす！**
- 粒度が均一であること！
  - 電動ミルやメノウ乳鉢で粉砕する。**少量ずつ粉砕した方が均一・早い**
  - 非晶質化や結晶構造の変化、新たな化合物形成に注意（**メカノケミカル**）
  - エタノール・アセトン等を使用した**湿式が効果的**（有機物や可溶性の無機物を除く）
  - 板状、針状、劈開しやすい試料に注意。特定面が配向しやすい（キャピラリー・非晶質のバインダーの使用や接着剤で固めて再粉砕）
  - 最近の装置では試料を回転・揺動させて粗大粒の影響を除去可能
- 試料の粉砕・充填時には適切な保護具をご使用ください。

3.2 試料の準備・調整 ~試料汚染に注意~

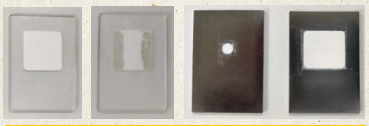




- 乳鉢の汚染に注意が必要です。
  使用後の乳鉢はきれいにしましょう！
- SiO_2粉末（~100 μm程度）を粉砕することで乳鉢を研磨・洗浄します。
  極少量のSiO_2粉末の粉砕を数回繰り返す。
- 業者に再研磨を依頼することも可能です。
- **作業場所の整理整頓と試料ごとの掃除を心掛ける！**

3.3 試料の準備・調整 ~ホルダーへの充填~

- 平滑に充填(集中法の場合)!
  - **ピーク位置がずれるなどの誤差が発生**
- なるべく密に充填!
- この他の充填方法などは、「粉末X線回折の実際」で紹介されています。
- 試料が少ない時
  - バインダー(コロジオン液やセメダイン など)を塗り試料を振りかける
  - 揮発性有機溶剤と混合して塗る(スミアアマウント法)
  - Si無反射板の使用

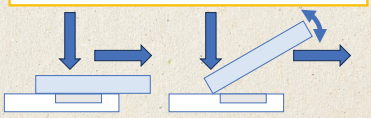


逆さにしても粉末が落ちない様に充填するのが目安

もう一枚のガラス試料板(もしくはプレパラートなど)を用いて表面を平滑に充填する。

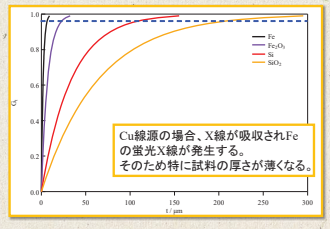
ガラス試料板を擦切る角度や抑える圧力を調整する。

ナノ粒子だと擦切るよりも上から抑えるだけの方がいいなど、試料によって調整する。



3.4 試料の準備・調整 ~ホルダーの厚さ~

サンプルホルダーの充填部の深さ
0.2 mmや0.5 mmがある
目安として金属なら0.2mm
酸化物・セラミック等なら0.5mmを選択



- 試料をサンプルホルダーに充填する際には、試料によるX線の吸収を考慮して、X線に対して十分に厚い必要がある。
(吸収補整が不要になる)
- 試料の吸収係数μと厚さt、試料表面からの散乱強度の割合G_tは次式で表される。

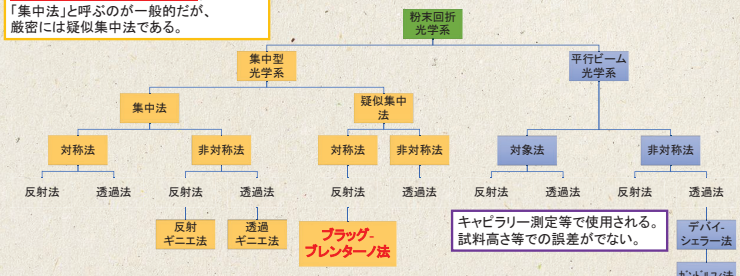
$$G_t = \frac{\int_0^t \frac{I_0}{\sin\theta} e^{-2\mu x/\sin\theta}}{\int_0^\infty \frac{I_0}{\sin\theta} e^{-2\mu x/\sin\theta}} = 1 - e^{-2\mu x/\sin\theta}$$

$$t = -\frac{\sin\theta}{2\mu}\ln(1 - G_t)$$

- Gt = 95%や99%となるような厚さになるような充填部の深さを選択すればよい。
- **粉末の場合バルクよりも密度が低いため(バルクの1/2程度)厚めにする必要がある。なるべく密に充填!**
- 線源によって吸収係数が変わるため注意

4.1 装置設定の注意点 ~光学系による分類~

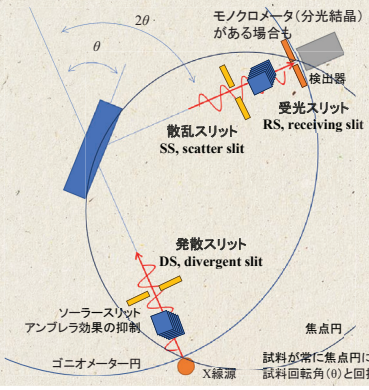
粉末XRD測定には**ブラッグ-ブレンターノの集中法光学系が広く用いられる**。
「集中法」と呼ぶのが一般的だが、厳密には疑似集中法である。



キャピラリー測定等で使用される。
試料高さ等での誤差がでない。

「集中法」は容易に高分解能が得られる。
高強度・高分解能の両立がしやすい。

4.2 装置設定の注意点 ~装置の概要~

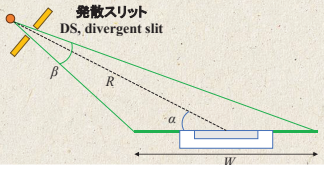


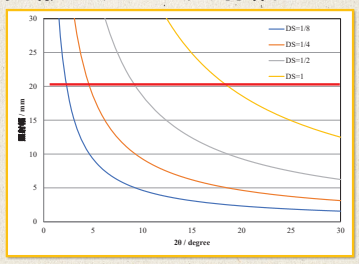
- X線源
  - Cuターゲットが一般的
  - 用途によってCoやCr, W, Moなども使用する
- 発散スリット
  - **X線の試料への照射幅の制限**
  - 角度分解用に影響
- 散乱スリット
  - DS = SS に設定
  - 散乱防止
- 受光スリット
  - 受光幅の制限
  - **角度分解能に強く影響**
- **検出器の劣化に注意**
  シンチレータの潮解、フォトマルの劣化、ガス検出器のガス圧低下、半導体検出器へのX線ダメージ

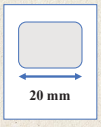
4.3 装置設定の注意点 ~発散スリットと照射幅~

- 入射X線の照射幅が試料ホルダーのサイズからはみ出すと、回折X線の強度低下やガラスハローの検出等の問題が発生する。
- 入射X線が試料からはみ出さないように、照射幅を**発散スリット(DS)によって制限**する。
- W:入射X線の照射幅, R:**ゴニオメーター半径**,
α:入射角度(集中法ではθ), β:発散角(DSの幅)

$$W = \left[\frac{1}{\sin(\alpha+\beta/2)} + \frac{1}{\sin(\alpha-\beta/2)}\right] R\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)$$



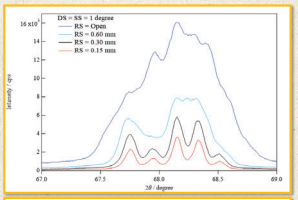


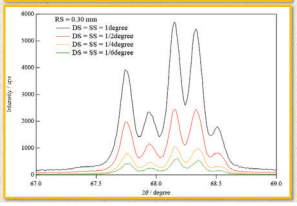


照射幅が試料からはみ出さないような発散スリットを選択する。
例:R = 185 mm
5度から測定開始:DS = 1/4°
10度から測定開始:DS = 1/2°
装置によってゴニオメーター半径が異なるので注意!

4.4 装置設定の注意点 ~受光スリットと分解能~

- 集中法において、**分解能は受光スリットの幅に反比例**する。**受光スリット(RS)の幅を狭めるほど回折強度は低下するが、分解能は向上する。**
- 試料およびX線源に由来する回折線幅より**狭い受光スリットを用いても強度が低下するだけで分解能は向上しない。**
結晶性が低い試料の場合などは受光スリットを広げる。
- R:ゴニオメーター半径, Wxs:実効焦点幅, Wrs:受光スリット幅
- $Resolution(\text{degree}) = \frac{\sqrt{W_{XS}^2 + W_{RS}^2}}{R} \times \frac{180}{\pi}$
参考文献:井田 隆, 粉末X線回折法による化学分析
http://www.crl.nitech.ac.jp/~ida/education/ChemicalAnalysis/430condition.pdf
- 集中法の分解能について**ゴニオメーター半径にも依存**





4.5 装置設定の注意点 ~測定精度~

- 連続測定:一定速度で2θを変化させながら回折強度を測定
→同定などの定性分析
- 定時計数測定:一定2θ間隔ごとに各軸を停止して一定時間回折強度を測定
→パターンフィッティング用の精密データ測定
- 定計数測定:一定2θ間隔ごとに各軸を停止して一定の回折強度になる時間を測定
→統計変動が一定

- **精度・時間:定計数測定>定時計数測定>連続測定**

- ステップ幅:分解能の半分, 半値全幅の1/3~1/5程度, 最大強度の80%以上の測定点が5つ以上存在するように設定など
→ステップ幅が狭すぎるとノイジー(特に結晶性が悪い試料など)

5.1 データ解析の注意点 ~誤差因子~

系統誤差

- X線焦点による誤差
  - 実効焦点による広がり。フィラメントやターゲットの劣化。
  - プロファイルの幅を対称に広げるため回折角には影響しない。
- 平板試料による誤差(**集中法のみ**)
  - 試料が平板のため試料に接する焦点円との不一致がある。
  - プロファイルの低角側に非対称に広げるため**回折角を低角側に変位**。
- X線ビームの垂直発散による誤差
  - **最も効果が大きく、低角度で顕著**。開口角の小さなソーラースリットで低減。
  - プロファイルの非対称化させるため**回折角を変位**。
- 受光スリットによる誤差
  - 分解能に強く影響。
  - プロファイルの幅を対称に広げるため回折角には影響しない。
- 試料透過による誤差(**集中法のみ**)
  - X線が試料内部で回折することで焦点円の大きさが変わる。
  - X線が試料内部に潜り込む高角度側ほど影響が大きい。特に
  - プロファイルの低角側に非対称に広げるため**回折角を低角側に変位**。

装置調整誤差

- ゼロ点誤差
  - $2\theta = 0$の誤差。ターゲットの熱膨張。管電流に比例。
  - 精密測定をする場合は最初と最後に標準試料を測定。
- 偏心誤差(**集中法のみ**)
  - 試料高さが異なることで焦点円の大きさが変わる。
  - 試料の差し替えでもわずかに変位する。
  - 高さ調整(半割)や内部標準試料の使用。

試料調整誤差(3章を参照)

- 試料表面の平滑さ, 試料の厚み
- 粗大結晶の残留, 選択配向
  ・固溶体(置換型・侵入型)
  ・結晶子サイズ・格子ひずみ
  ・積層不整(層状構造, 粘土鉱物など)
  によってもプロファイルが変化
- 試料の熱膨張

機械精度・制御による誤差

- ゴニオメータホイールの偏心, etc.

結晶相を同定する場合は、ピーク位置・ピーク強度がある程度ずれるものだと留意する

集中法では、試料高さ、試料表面の平滑さ、試料厚さ、粗大粒の残留などによって、回折ピーク位置の変位、回折強度の変化などが生じるため、試料の準備が重要になる(平行ビーム法では生じない)。

5.2 データ解析の注意点 ~格子定数の決定~

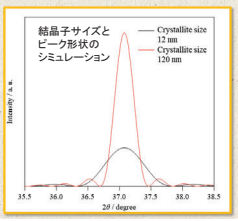
- 指数がわかっている回折ピークの面間隔を精密に測定して算出
- θを90度に近づけるとdを高精度で決定できる

$$\frac{\Delta d}{d} = -\Delta\theta \cot\theta \,, \Delta\theta = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\tan\theta$$

- 内部標準法（標準試料を混合）
  - NISTのSRM No. 640（Si）, 660（LaB_6）, 674（CeO_2, Cr_2O_3, TiO_2, ZnO）など
  - SRMは高価なため、安価な他の結晶の格子定数をSRMを標準として決定してから相対的な標準試料として使用することも可能
- 外部標準法
  - 標準試料と試料を同じ条件で測定・解析
  - 前述の誤差が問題となる
- 外挿法によってθ=90°でのdを算出
  - $\cos^2\theta$,$\frac{1}{2}\left(\frac{\cos^2\theta}{\sin\theta}+\frac{\cos^2\theta}{\theta}\right)$（Nelson-Riley関数）でプロット
- 最小二乗法
  - 逆格子を用いて計算
- 全パターンフィッティング（WPPF）
  - Rietveld法
  - Pawley法
  - Le Bail法
- **<u>試料温度に注意（熱膨張）</u>**
- 広い範囲で正確なピーク位置・強度の測定が必要
- 内部標準試料は測定する試料のピークとよく分離していることが必要

5.3 データ解析の注意点 ~結晶子・格子ひずみ~

- X線回折に寄与する結晶子の大きさによって、ピーク形状・強度が異なる。**<u>結晶子が大きいほどピークは鋭く高強度となり、小さくなるほどピークは広がり低強度</u>**となる。
- 結晶子サイズが1 μm以下でピークの広がりはじめ、数 nm以下となるとX線回折的には非晶質とみなされる。
- 変形や残留応力などによって**<u>結晶数内に不均一ひずみが生じることでもピークが広がる</u>**。



- ピークの広がりには、結晶子サイズ、格子ひずみ、**<u>光学系などの情報</u>**が含まれる。
  - 装置由来のピークの広がりを評価するため標準試料（SRM640, 660）が必要となる。
- Scherrer法
  - 結晶子形状により定数K ~ 0.94, 1.05などが使われる。

$$D = \frac{K\lambda}{\beta\cos\theta}$$

参考文献: 井田 隆, シェラーの式の使われ方にみられる混乱について http://www.crl.nitech.ac.jp/~ida/research/memo/ConfusedScherrer.pdf

- Williamson-Hall法
  - 結晶子と格子ひずみによるピークの広がりを考慮。

$$\frac{\beta\cos\theta}{\lambda} = \frac{2\varepsilon\sin\theta}{\lambda} + \frac{K}{D}$$

- FP（Fundamental Parameter）法
  - 単一ピークフィッティング（SPF）
  - 全パターンフィッティング（WPPF）
  - 標準物質が基本的に不要（精度向上には必要）

5.4 データ解析の注意点 ~原子位置の決定~

Rietveld法による結晶構造解析

- まずは単結晶XRDを検討
- 均一な試料の準備
  正しくサンプルホルダーにマウント
- 高分解能かつ高強度のプロファイルが得られるように装置を設定
- 長時間をかけてSN比のいいデータを測定
- 未知試料の場合は指数付け
  ＝格子定数の決定
- 反射強度の抽出
  - Pawley法、Le Bail法、格子定数の精密化など
- 構造モデル→位相の初期値を与える。

$$I \propto |F|^2$$

- 左の前段階を経てRietveld法で構造を精密化
- 構造が正しいか確認
- 他の測定方法とも比較
  - 電子回折
  - 中性子回折
  - NMR etc.
- RIETAN-FP, GSAS II, Fullprof Suite, 各XRDメーカーの解析ソフトなどがあります。
  まずは模擬データなどでRietveld解析を試してみて下さい。

薄膜 X 線回折講習会の発表報告

２０２４年1月２９日

評価部　丹野健徳

名称：「令和 5 年度　薄膜 X 線回折講習会」
期間：2024 年 1 月 25 日 15:00～16:30（1.5 時間）
場所：大学連携研究設備ネットワーク https://www.eqnet-portal.jp/eq-study

１、目的

全国の大学法人と自然科学研究機構分子科学研究所が連携する事業である「大学連携研究設備ネットワーク」からの依頼を受けて、粉末 X 線回折講習会の講師を行った。

本講習を通して、これまで培った X 線回折についての知見や装置を利用した解析方法を広めて社会貢献を行うとともに、研究基盤技術センター評価部の共用設備の周知と提供可能な技術について広く発信できる。

２、内容

バルク表面の反応層（酸化膜層やメッキ層）や半導体材料などの基板上成膜されたエピタキシャル層などの薄膜を対象とした測定方法は薄膜 X 線回折法と呼ばれる。特に表面敏感な測定が可能な In-plane XRD、エピタキシャル層の分析が可能な逆格子マッピング法、結晶/非結晶を問わずに膜厚分析ができる X 線反射率法、結晶方位解析が可能な極点図測定法について測定事例を交えながら紹介した。本講習会のレジュメは以下の通りである。

1.X 線回折の原理
2.薄膜 X 線回折の装置について
3.薄膜 X 線回折の分類
4.薄膜 X 線回折の測定方法
5.測定例の紹介（In-plane XRD, RSM, XRR, Pole Figure）

また、本講習会の資料は、以下の Web ページのアーカイブ資料で閲覧可能であり、講習会の動画についても今年度末にアップロード予定である。

https://www.eqnet-portal.jp/eq-study/documents

３、感想

全国の大学をはじめ、高専、研究機関、企業からも参加申込みがあった。アンケートは集計中だが、満足度として 100%の方から「おおむね満足した」以上の評価をいただいた。薄膜 XRD は専門性が高いため、難易度は、「やや難しかった」が多い結果となった。

大学連携研究設備ネットワーク
令和5年度　薄膜X線回折講習会
2024.01.25

東北大学　電気通信研究所　研究基盤技術センター
技術専門職員　丹野 健徳
eac-riec@grp.tohoku.ac.jp
(YouTube)　https://youtu.be/qahWXnDWY9U

はじめに

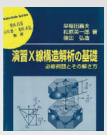
【初歩】分析装置初歩セミナー
XRD薄膜測定基礎
熊本大学　佐藤徹哉　技術職員

- 粉末XRDと比較しながら薄膜試料の特徴やなどといった基礎・入門から、応用・測定事例までまとめられております。
- この講習会の視聴を**オススメ**します。

https://www.eqnet-portal.jp/eq-study/documents

https://youtu.be/qo9jBYNeih0

参考文献の紹介



X線構造解析
早稲田 嘉夫, 松原 英一郎
内田老鶴圃

演習X線構造解析の基礎
早稲田 嘉夫, 松原 英一郎, 篠田 弘造
内田老鶴圃
余談ですが….
表紙画像の六方晶は学生時代に描きました

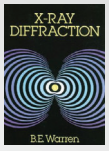
薄膜X線測定法　基礎講座（全8回）
リガクジャーナル**38-42** (2007-2011)
Rigakuの会員登録が必要ですが
よくまとまっており非常に参考になる

Element of X-ray Diffaction
B. D. Cullity and S. R. Stock

X線反射率法入門
桜井健次
講談社

X線散乱と放射光化学
菊田惺志
東京大学出版

放射光ビームライン光学技術入門
日本放射光学会



X-ray Diffraction
B. E. Warren

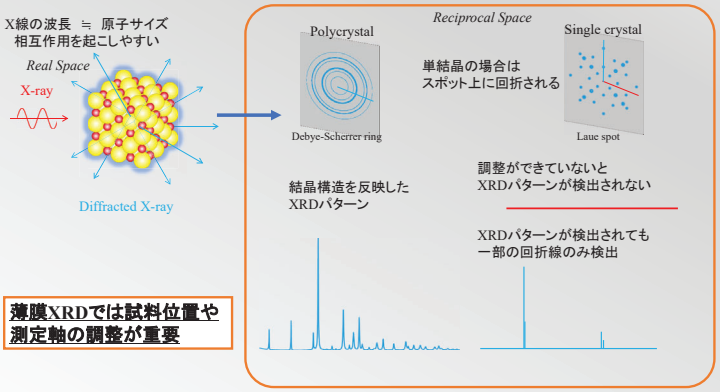
レジュメ

- XRDの原理
  - 粉末XRDと単結晶XRD
  - 薄膜試料について
  - ラウエの法則と逆格子
  - 逆格子のシミュレーション
- 薄膜XRD装置について
  - X線管球
  - 光学系
  - ゴニオメータ
- 薄膜XRDの分類
  - ゴニオメータ配置による分類
  - 測定手法による分類
  - 非対称面の測定方法
- 薄膜XRDの測定方法
  - 試料位置調整
  - 回折ピーク位置調整
- 実際の測定例の紹介
  - 斜入射測定
  - Out-of-plane XRD
  - In-plane XRD
  - ロッキングカーブ測定
  - 逆格子マッピング
  - X線反射率測定
  - 極点図測定
- その他の測定方法
  - XRT
  - GI-SAXS
  - CTR

レジュメ

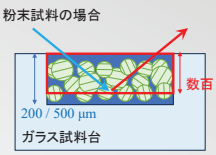
- **XRDの原理**
  - **粉末XRDと単結晶XRD**
  - **薄膜試料について**
  - **ラウエの法則と逆格子**
  - **逆格子のシミュレーション**
- 薄膜XRD装置について
  - X線管球
  - 光学系
  - ゴニオメータ
- 薄膜XRDの分類
  - ゴニオメータ配置による分類
  - 測定手法による分類
  - 非対称面の測定方法
- 薄膜XRDの測定方法
  - 試料位置調整
  - 回折ピーク位置調整
- 実際の測定例の紹介
  - 斜入射測定
  - Out-of-plane XRD
  - In-plane XRD
  - ロッキングカーブ測定
  - 逆格子マッピング
  - X線反射率測定
  - 極点図測定
- その他の測定方法
  - XRT
  - GI-SAXS
  - CTR

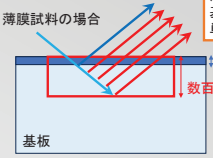
X線回折の原理



薄膜XRDでは試料位置や測定軸の調整が重要

薄膜試料について

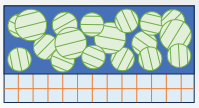




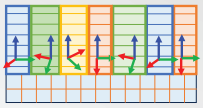
薄膜からの回折X線への寄与は
基板からのに対して圧倒的に少ない。
単結晶基板からの回折X線は圧倒的に強い。

高配向結晶や単結晶、エピ結晶では
特定の方位のみでしか回折が起こらない。
Ex) 単結晶を切り出した際にミスカットがある
Ex) SiCなどは基板から4度のオフ角
表面方向に結晶が揃っているとは限らない

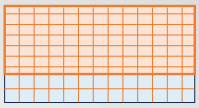
・バルク（多結晶）
粉末試料と同じように色々な方向を向いた結晶が存在
結晶方向が特定方位に配向する場合もある（集合組織）



・高配向結晶
PVDなどでは特定方向に膜が成長
例：fccの場合111配向, bccの場合110配向



・エピタキシャル結晶
単結晶基板上に結晶方位をそろえて他の（同じ）単結晶を成膜



回折強度と回折位置を表す式

$$I = |F|^2 p(LP)\frac{1}{2\mu}\left(1-e^{-2\mu t/\sin\theta}\right)e^{-2M}$$

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^{N} f_j e^{2\pi(hu_j+kv_j+lw_j)}$$

$$2d\sin\theta = n\lambda$$
ブラッグの式

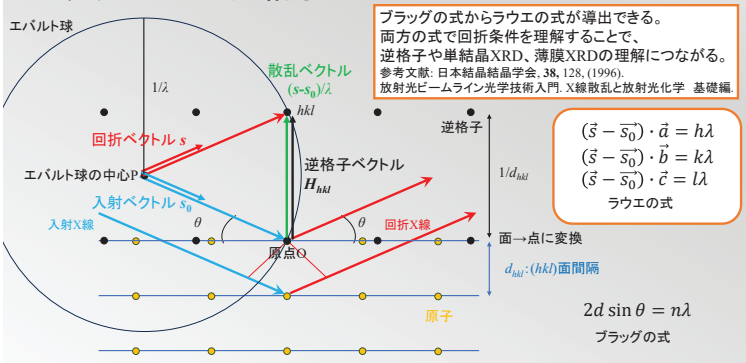
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{a} = h\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{b} = k\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{c} = l\lambda$$
ラウエの式

粉末X線回折における回折X線強度を表す一般式。

F: **構造因子**（結晶構造を反映）　p: 多重度因子（結晶の対称性を反映）
LP: ローレンツ偏光因子（光学系と結晶の大きさを反映）
$1/2\mu$*(1-e~): 吸収因子（試料によるX線の吸収を反映）
M: 温度因子（熱振動による原子位置の変位を反映）
f: **原子散乱因子**（原子がX線を散乱する能力、原子の種類を反映）

XRDパターン	含まれる情報	分析手法
ピーク位置	面間隔 ***格子定数***	定性分析（結晶の種類）
ピーク強度（消滅測）	原子座標 原子の種類 ***結晶の配向***	定量分析（混合相の組成） ***集合組織の解析***
ピーク形状	***結晶性　格子欠陥*** ***格子不整*** 光学系	結晶子サイズの分析 ***格子歪、残留応力の解析***

ラウエの式と逆格子

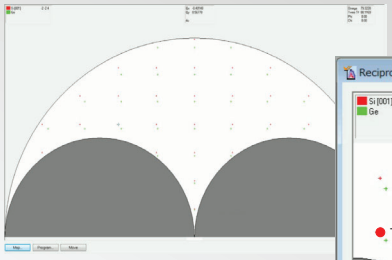


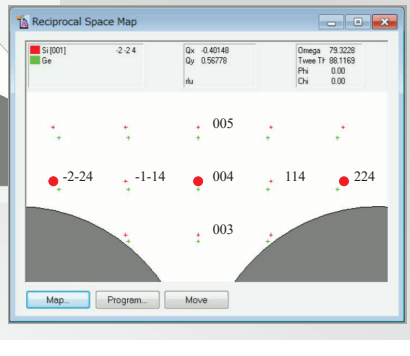
ブラッグの式からラウエの式が導出できる。
両方の式で回折条件を理解することで、
逆格子や単結晶XRD、薄膜XRDの理解につながる。
参考文献: 日本結晶結晶学会, **38**, 128, (1996).
放射光ビームライン光学技術入門. X線散乱と放射光化学　基礎編.

$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{a} = h\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{b} = k\lambda$$
$$(\vec{s}-\vec{s_0})\cdot\vec{c} = l\lambda$$
ラウエの式

$$2d\sin\theta = n\lambda$$
ブラッグの式

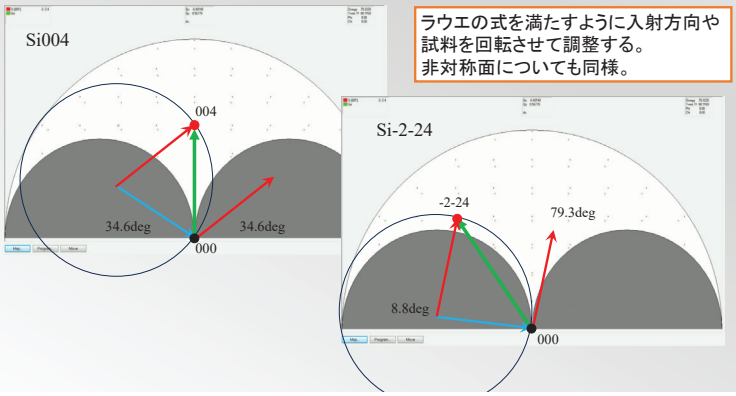
逆格子マップのシミュレーション





Rigaku, PANalyticalの測定ソフトウェア、Python（xrayutilities）、ReciPro（フリーソフト）などで逆格子のシミュレーションが可能。
特に**Rigaku, PANalyticalの場合は逆格子点の位置に試料と検出器を移動可能**。

逆格子マップのシミュレーション



ラウエの式を満たすように入射方向や試料を回転させて調整する。
非対称面についても同様。

2つの格子面が交わる角度

- 立方晶

$$\cos\alpha = \frac{h_1h_2+k_1k_2+l_1l_2}{\sqrt{(h_1^2+k_1^2+l_1^2)(h_2^2+k_2^2+l_2^2)}}$$

- 正方晶

$$\cos\alpha = \frac{\frac{h_1h_2+k_1k_2}{a^2}+\frac{l_1l_2}{c^2}}{\sqrt{\left(\frac{h_1^2+k_1^2}{a^2}+\frac{l_1^2}{c^2}\right)\left(\frac{h_2^2+k_2^2}{a^2}+\frac{l_2^2}{c^2}\right)}}$$

- 六方晶

$$\cos\alpha = \frac{h_1h_2+k_1k_2+\frac{1}{2}(h_1k_2+h_2k_1)+\frac{3a^2}{4c^2}l_1l_2}{\sqrt{\left(h_1^2+k_1^2+h_1k_1+\frac{3a^2}{4c^2}l_1^2\right)\left(h_2^2+k_2^2+h_2k_2+\frac{3a^2}{4c^2}l_2^2\right)}}$$

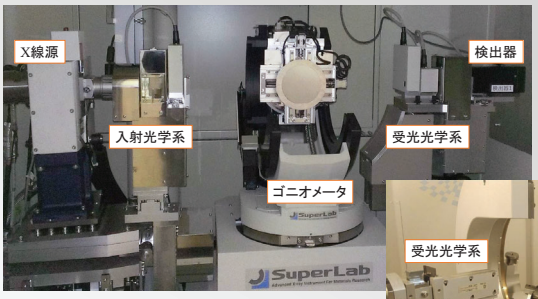
- 立方晶での主要な格子面の交わる角度は参考文献1に表としてまとめられているので参照
- その他の結晶系においては参考文献2の付録5を参照

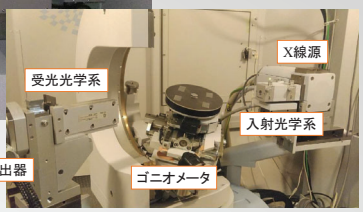
参考文献1：X線構造解析
参考文献2：演習X線構造解析の基礎

レジュメ

- XRDの原理
  - 粉末XRDと単結晶XRD
  - 薄膜試料について
  - ラウエの法則と逆格子
  - 逆格子のシミュレーション
- **薄膜XRD装置について**
  - **X線管球**
  - **光学系**
  - **ゴニオメータ**
- 薄膜XRDの分類
  - ゴニオメータ配置による分類
  - 測定手法による分類
  - 非対称面の測定方法
- 薄膜XRDの測定方法
  - 試料位置調整
  - 回折ピーク位置調整
- 実際の測定例の紹介
  - 斜入射測定
  - Out-of-plane XRD
  - In-plane XRD
  - ロッキングカーブ測定
  - 逆格子マッピング
  - X線反射率測定
  - 極点図測定
- その他の測定方法
  - XRT
  - GI-SAXS
  - CTR

薄膜XRD装置について

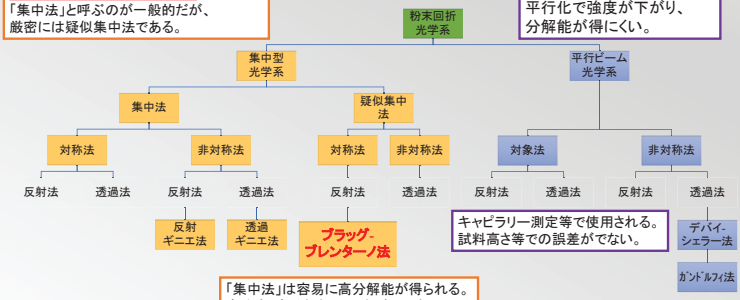




粉末XRD装置の場合

粉末XRD測定には**ブラッグ-ブレンターノの集中法光学系が広く用いられる**。
「集中法」と呼ぶのが一般的だが、
厳密には疑似集中法である。

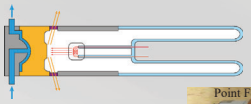
入射角度を制御することで深さ方向の情報を得られる。
平行化で強度が下がり、分解能が得にくい。



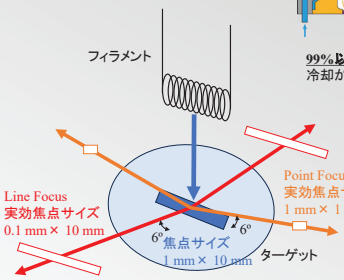
キャピラリー測定等で使用される。
試料高さ等での誤差がでない。

「集中法」は容易に高分解能が得られる。
高強度・高分解能の両立がしやすい。

X線源

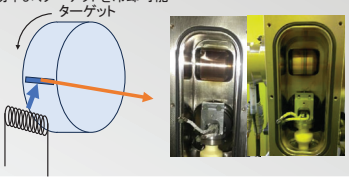


封入型X線管球



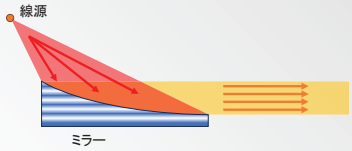
99%以上は熱になるため冷却が必要

回転陽極型X線管球

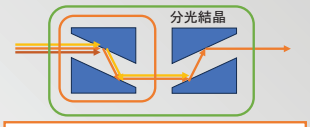


入射光学系

- X線源から発生する発散X線を放物線ミラーによって方向を揃えた平行X線にする。
- ミラーには密度の高い物質（Wなど）と低い物質（Siなど）の多層膜が用いられ、これらによる回折を利用してX線を平行化する。
- 入射X線にはKα（Kα1とKα2）線とKβ線が含まれる。ミラーを通すことで、X線の向きを揃えるだけでなく、入射X線に含まれるKβ線の割合を低くすることができる（単色化）。
- 平行X線といっても、実際にはわずかに発散している。



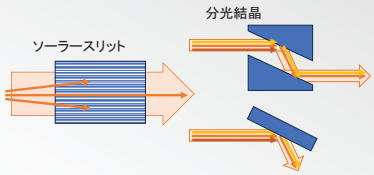
- エピタキシャル試料などを測定する場合や格子定数を精密に測定したい場合などは、高分解能で測定する必要がある。
- 波長幅を低減して分解能をあげるためにはモノクロメータを使用する（同時に発散も小）。
- モノクロメータを通すことで、Kα2を除去したKα1線のみ、Kα1の一部のみなどと波長を切り出すことができる（単色化）。
- 加工したGeなどの単結晶を1つ用いて内部で2回回折させる2結晶系と、単結晶を2つの用いて内部で4回回折させる4結晶系がある。



同時に強度も低下することに注意！
2結晶系で1/20、4結晶系で1/200に強度が低下。

受光光学系と検出器

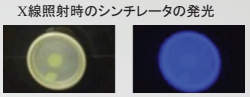
- 分解能を得るために受光光学系を使用する。
- スリットを細める、ソーラースリット、分光結晶を使用することで分解能を得る。
- ソーラースリットはビーム幅を広くとれるため強度的に有利。平行に並んだ平板に遮られなかったX線のみが検出され、散乱X線などが除去される。
- 分光結晶はエピタキシャル試料を測定する際など、高分解能測定に使用する。
  試料から蛍光X線が発生する場合にも、波長の異なる蛍光X線を除去するのに用いられる。

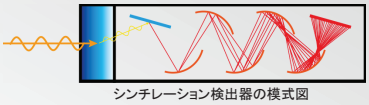


- 検出器には、シンチレーション検出器、プロポーショナル検出器や半導体などがある。
- シンチレーション検出器は、X線を蛍光物質（シンチレータ）によって微弱な可視光に変換して、さらに光電子増倍管によって電気信号に変換して検出する。
- プロポーショナル検出器は、キセノン等の希ガス中をX線が通過した際に電離された電子（一次電子）を高電圧によって加速して、さらに他のガスを電離することで多量の二次電子に増幅して電気信号として検出する。
- 半導体検出器は、半導体にX線が入射した際に電離された電子・正孔対を電気信号として検出する。
  この半導体検出器を集積することで二次元の位置情報・高分解能・高計数・高速測定が可能な半導体二次元検出器なども開発されている。
  半導体分野の発展により、広範囲を測定できる半導体二次元検出器が開発されており、近年の装置では主流になりつつある。

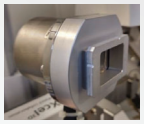
検出器の一例

X線照射時のシンチレータの発光

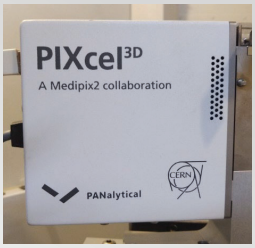




シンチレーション検出器の模式図



プロポーショナル検出器

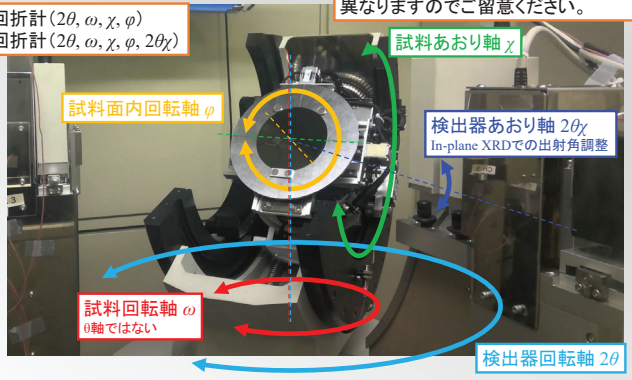


半導体二次元検出器

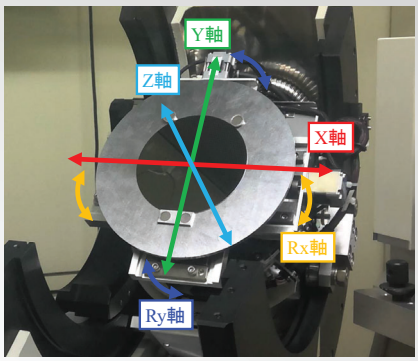
ゴニオメータ

4軸回折計（$2\theta, \omega, \chi, \varphi$）
5軸回折計（$2\theta, \omega, \chi, \varphi, 2\theta\chi$）

装置のによってゴニオメータの軸等が異なりますのでご留意ください。



その他の試料調整軸



X, Y軸はX線の照射位置調整
Z軸は試料の高さ調整

In-plane XRDようにRx, Ry軸を有する装置もある

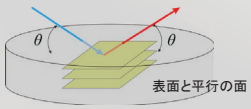
レジュメ

- XRDの原理
  - 粉末XRDと単結晶XRD
  - 薄膜試料について
  - ラウエの法則と逆格子
  - 逆格子のシミュレーション
- 薄膜XRD装置について
  - X線管球
  - 光学系
  - ゴニオメータ
- **薄膜XRDの分類**
  - **ゴニオメータ配置による分類**
  - **測定手法による分類**
  - **非対称面の測定方法**
- 薄膜XRDの測定方法
  - 試料位置調整
  - 回折ピーク位置調整
- 実際の測定例の紹介
  - 斜入射測定
  - Out-of-plane XRD
  - In-plane XRD
  - ロッキングカーブ測定
  - 逆格子マッピング
  - X線反射率測定
  - 極点図測定
- その他の測定方法
  - XRT
  - GI-SAXS
  - CTR

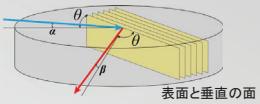
薄膜XRDの分類

- ゴニオメータ配置による分類
  - 透過測定 / 反射測定
  - 対称測定 / 非対称測定
    - 入射X線の角度と出射X線の角度
  - Out-of-Plane / In-Plane
    - 試料表面に対して面外 / 面内
  - 斜入射測定（Grazing Incident）
    - 試料表面にすれすれ入射で固定

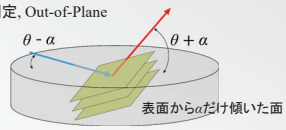
対称測定, Out-of-Plane



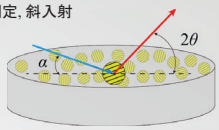
対称測定, In-Plane



非対称測定, Out-of-Plane



非対称測定, 斜入射



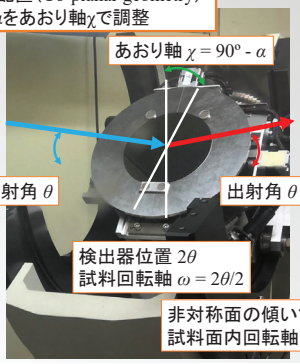
薄膜XRDの分類

測定手法	スキャン軸	含まれる情報
斜入射測定（GI XRD）	2θ	定性分析, 格子定数, 結晶構造
Out-of-Plaen XRD	$2\theta/\omega$	定性分析, 格子定数, 結晶構造
In-Plane XRD	$2\theta/\varphi$	定性分析, 格子定数, 結晶構造
ロッキングカーブ測定	ω（Out-of-Plane） φ（In-Plane） $2\theta/\omega$	結晶性 膜厚, 格子歪み
逆格子マッピング	2θ-ωとωの組合せ	結晶性, 結晶配向, 格子歪み
X線反射率測定	$2\theta/\omega$	膜厚, 密度, 界面粗さ
極点図測定	χ, φ	結晶配向, 集合組織

これらの測定手法について後半では測定事例を交えつつ紹介する。

非対称面（表面からα°傾いた面）の測定方法

対称配置（Co-planar geometry）
傾きαをあおり軸χで調整



非対称配置（Skew geometry）
傾きαを試料軸ωで調整

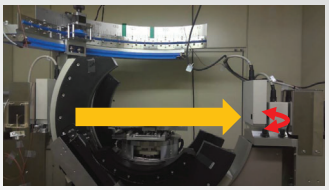
非対称面の傾いている方向に合わせて
試料面内回転軸 φを回転させる

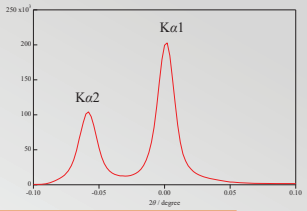
レジュメ

- XRDの原理
  - 粉末XRDと単結晶XRD
  - 薄膜試料について
  - ラウエの法則と逆格子
  - 逆格子のシミュレーション
- 薄膜XRD装置について
  - X線管球
  - 光学系
  - ゴニオメータ
- 薄膜XRDの分類
  - ゴニオメータ配置による分類
  - 測定手法による分類
  - 非対称面の測定方法
- **薄膜XRDの測定方法**
  - **試料位置調整**
  - **回折ピーク位置調整**
- 実際の測定例の紹介
  - 斜入射測定
  - Out-of-plane XRD
  - In-plane XRD
  - ロッキングカーブ測定
  - 逆格子マッピング
  - X線反射率測定
  - 極点図測定
- その他の測定方法
  - XRT
  - GI-SAXS
  - CTR

薄膜XRDの測定方法　ダイレクトビーム位置

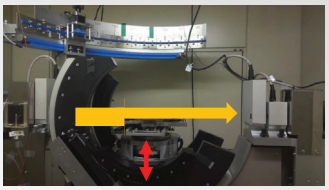
In-PlaneXRDでの配置を例に

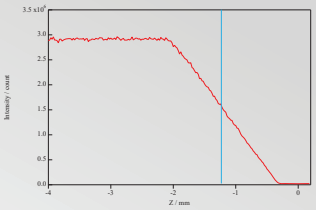




ダイレクトビームの位置を調整するために、試料をX線が当たらない位置に退避させて、2θ軸のスキャンを行う。
光学系によって、Kα1とKα2の両方やKα1のみ、Kα1の一部が測定される。
十分にエージングなどを行わないとピーク位置がずれる可能性がある。

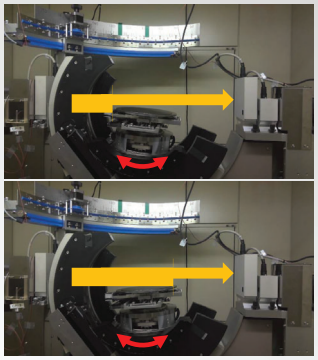
薄膜XRDの測定方法　試料位置（半割調整）①

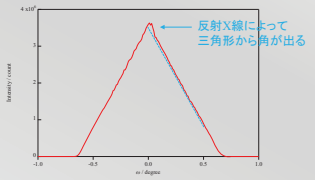




試料位置を調整するために、いわゆる半割調整（高さ調整）を行う。
試料高さを制御するZ軸のスキャンを行う。
X線強度が半分になる位置に試料高さを調整する。

薄膜XRDの測定方法　試料位置（半割調整）②





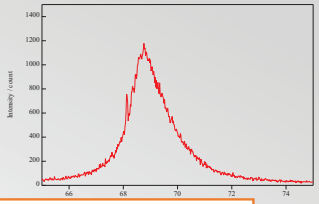
試料のミスカットなどを補整するために試料回転軸であるω軸（In-Plane XRDではχ軸）のスキャンを行う。
この調整で試料表面とX線ビームが平行になる。

試料位置（半割調整）①と②を繰り返すことで、試料回転の中心位置とX線ビームの中心位置が一致して、測定中にビーム照射位置が一定になる。

薄膜XRDの測定方法　回折ピーク位置の検索

Out-of-Plane XRDでの配置を例に

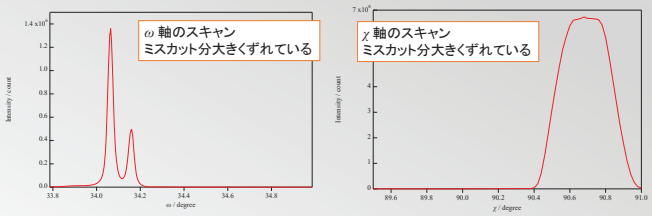
出来る限り高角側の回折ピークで
精密な調整を行う→高分解能



受光側からソーラースリットやモノクロメータ等の光学系を外して、スリットを最大限に広げた状態で回折ピークを検索する。
ミスカットによって試料表面に対して結晶面がわずかに傾いているため、十分な回折強度が得られないことが多い。
回折ピーク位置をおおよそ見つけた後により精密な調整を行う。

薄膜XRDの測定方法　回折ピーク位置の精密化①

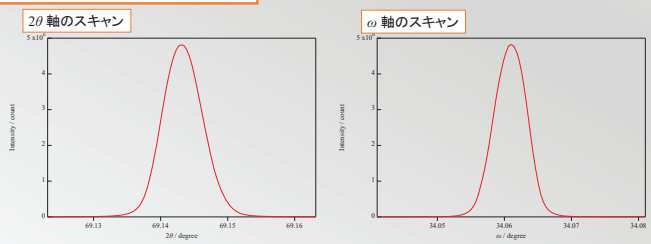
Out-of-Plane XRDでの配置を例に



ミスカットによっと試料表面に対して結晶面がわずかに傾いているため、検出器2θを固定して、試料回転軸であるω軸のスキャンを行う。
また、回折ベクトルが水平面と一致するようにBragg反射の最適化を行う。
測定ソフトによって専用の調整プログラムが用意されている場合がある。
垂直方向の受光スリットを狭めて試料あおり軸であるχ軸のスキャンを行う。

薄膜XRDの測定方法　回折ピーク位置の精密化②

Out-of-Plane XRDでの配置を例に



受光側にソーラースリットやモノクロメータ等の光学系を入れて、検出器位置2θのスキャンを行う。その後、検出器位置2θを固定して、試料回転軸であるω軸のスキャンを行う。ω が2θの1/2になるようにオフセットを行えば回折ピーク位置の精密な調整は完了である。
In-Plane XRDの場合Rx軸やRy軸の調整を行える装置もある。

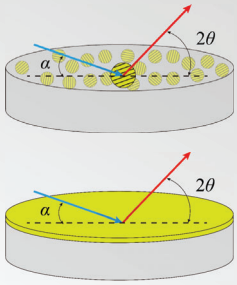
レジュメ

- XRDの原理
  - 粉末XRDと単結晶XRD
  - 薄膜試料について
  - ラウエの法則と逆格子
  - 逆格子のシミュレーション
- 薄膜XRD装置について
  - X線管球
  - 光学系
  - ゴニオメータ
- 薄膜XRDの分類
  - ゴニオメータ配置による分類
  - 測定手法による分類
  - 非対称面の測定方法
- 薄膜XRDの測定方法
  - 試料位置調整
  - 回折ピーク位置調整
- **実際の測定例の紹介**
  - **斜入射測定**
  - **Out-of-plane XRD**
  - **In-plane XRD**
  - **ロッキングカーブ測定**
  - **逆格子マッピング**
  - **X線反射率測定**
  - **極点図測定**
- **その他の測定方法**
  - **XRT**
  - **GI-SAXS**
  - **CTR**

薄膜XRDの分類

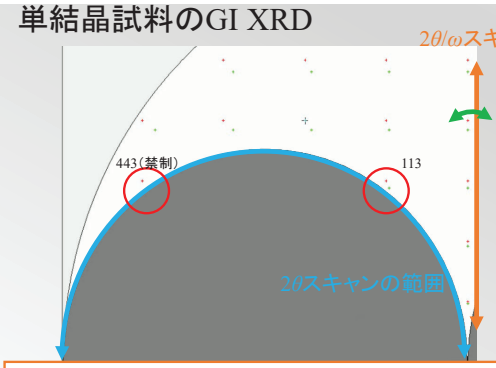
測定手法	スキャン軸	含まれる情報
斜入射測定（GI XRD）	2θ	定性分析, 格子定数, 結晶構造
Out-of-Plaen XRD	2θ/ω	定性分析, 格子定数, 結晶構造
In-Plane XRD	2θ/φ	定性分析, 格子定数, 結晶構造
ロッキングカーブ測定	ω（Out-of-Plane） φ（In-Plane） 2θ/ω	結晶性 膜厚, 格子歪み
逆格子マッピング	2θ-ωとωの組合せ	結晶性, 結晶配向, 格子歪み
X線反射率測定	2θ/ω	膜厚, 密度, 界面粗さ
極点図測定	χ, φ	結晶配向, 集合組織

GI(Grazing Incidence) XRD（斜入射測定法）



- 入射角度αを固定して2θのみスキャン。
- 入射角度によってX線の侵入深さが変わる。
- 入射角度が小さいほど侵入深さが浅くなり、試料表面の情報が得られる。
- バルク表面の測定に用いられる。高配向結晶や単結晶には不向き。
  - 酸化物層
  - 反応層（窒化、炭化、メッキなど）
  - 多結晶薄膜（ガラス状のスパッタ膜など）
  - etc.

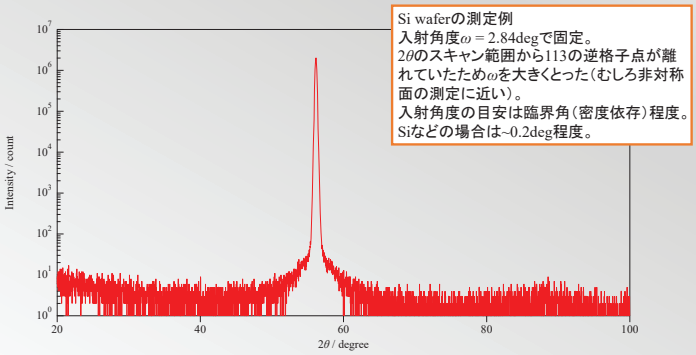
単結晶試料のGI XRD



多結晶は逆格子空間では点ではなくリング状となるため2θスキャンでも複数の回折ピークが検出可能

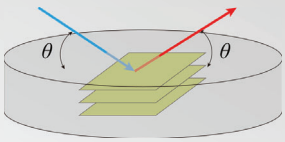
2θスキャン範囲近傍の限られた逆格子点からしかピークが検出されない

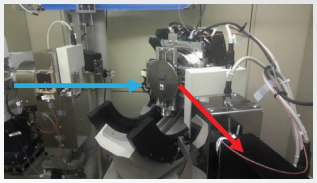
GI XRDの測定例



Si waferの測定例
入射角度ω = 2.84degで固定。
2θのスキャン範囲から113の逆格子点が離れていたためωを大きくとった（むしろ非対称面の測定に近い）。
入射角度の目安は臨界角（密度依存）程度。
Siなどの場合は~0.2deg程度。

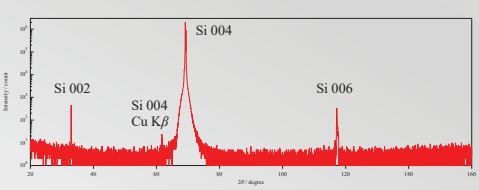
Out-of-Plane XRD（面外測定）

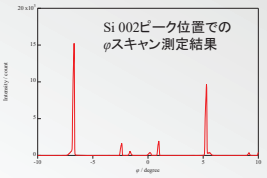




- 一般的なXRD測定で用いられる配置。
- 試料表面に対して平行な格子面、つまり試料表面に対して垂直方向に並んだ結晶からの回折を測定。
- 回折したX線が表面から外側（面外方向）に向かうためOut-of-Plane XRDと呼ばれる。
- 非常に強い基板からの回折ピークに対して、薄膜試料の強度は低くなる。
- 試料表面から垂直（深さ）方向の測定になるため、極薄膜や最表面を測定する場合には回折に寄与する結晶の数が少なすぎる。
- そのため分析に必要な回折パターンが得られないことがある。

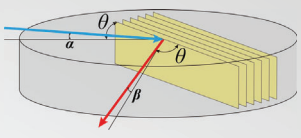
Out-of-Plane XRD（面外測定）

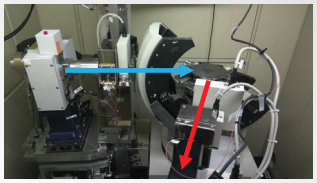




単結晶試料を測定した場合、禁制反射のピークが検出されることがある。
これは単結晶内部での多重反射（同時反射）によるもので、試料回転軸であるφ軸をわずかにずらすと検出されなくなる。
また、光学系によってはKβ線での回折ピークが検出されることもある。

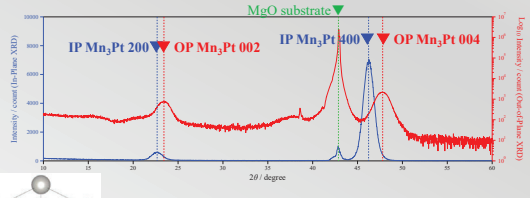
In-Plane XRD（面内測定）

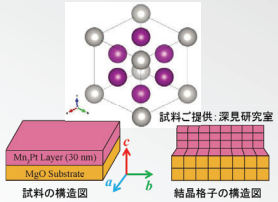




- 試料表面に対して垂直な格子面、つまり表面に対して平行方向に並んだ結晶の回折を測定。
- 回折したX線が表面と同じ方向（面内方向）に向かうためIn-Plane XRDと呼ばれる。
- 基板からの回折ピークを低減できる表面敏感な測定で、ナノオーダーの極薄膜や最表面の結晶構造の測定が可能。
- 薄膜を測定する場合でも回折の寄与する平行方向に並んだ結晶の数が十分多いため、定性分析などに十分な回折パターンが得られる。
- X線の入射角度αと出射角度βを変えることで、X線が侵入する深さを変えることが出来るので、X線回折パターンが得られる深さ方向の制御が可能。

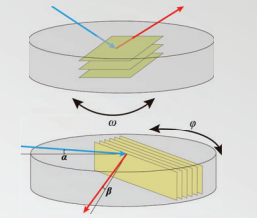
Out-of-Plane and In-Plane XRD

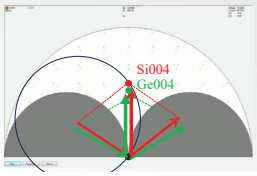




同一試料におけるOut-of-Plane XRDとIn-Plane XRDの測定例。
MgO基板上にMn_3Ptをエピタキシャル成長させた試料を測定。
In-Plane XRDではMgO基板からの回折ピーク強度が低減される。
Out-of-PlaneとIn-Planeとでは、Mn_3Ptのピーク位置が異なる。試料の垂直方向と水平方向とで、エピタキシャル成長させたことで格子定数が異なる（歪んでいる）ことを反映。

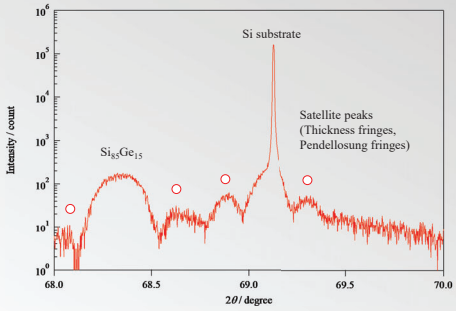
ロッキングカーブ（RC, Rocking Curve）測定





- 検出器を回折ピーク位置$2\theta_B$に固定して、試料回転軸ω（In-Plane XRDの場合はφ）軸周りに揺動（Rocking）してスキャンする。
- 多結晶薄膜の配向や単結晶の結晶性を評価することができる。
- 特に単結晶やエピタキシャル結晶の場合は、$2\theta/\omega$スキャンの場合でもロッキングカーブ測定と呼ぶこともある。
- 散乱ベクトルの方向が同じで格子面間隔が異なる格子面の回折が測定される。

ロッキングカーブ（RC, Rocking Curve）測定



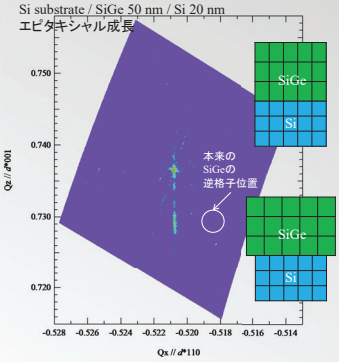
Si基板上にSiGeを50 nm、Siを20 nmエピタキシャル成長させた試料のXRDパターン。
エピタキシャル試料を2θ-ωスキャン測定すると、特有のサテライトピークが観測される。
サテライトピークの周期は膜厚に依存しており、これらのピークを解析することで膜厚と格子歪、組成が解析可能である。

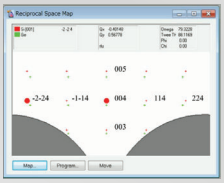
高分解能で測定する必要があるため、入射側は分光結晶光学系で出射側はスリット、入射側はミラー光学系で出射側は分光結晶、といった条件で測定される。

逆格子マッピング（RSM, Reciprocal Space Mapping ）

- 単結晶材料やエピタキシャル薄膜などの結晶性評価。
- 格子面間隔と結晶方位分布を2次元（3次元）表示したもので、基板との格子定数のズレや、結晶方位や格子定数のばらつきを視覚的に表す。
- ウェハの結晶性評価、エピタキシャル膜のミスフィット、結晶性評価などを視覚的に理解し、定量的な解析も可能。
- 非対称面を測定することで、表面に垂直な方向の格子定数と、水平な方向の格子定数とを同時に測定することが可能。
- 例：立方晶では非対称面(224)を測定することで、表面に垂直な方向[001]の格子定数（面間隔）と、水平な方向[110]の格子定数（面間隔）とを同時に測定することが可能。

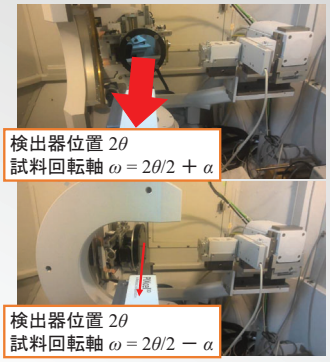
逆格子マッピング（RSM, Reciprocal Space Mapping ）

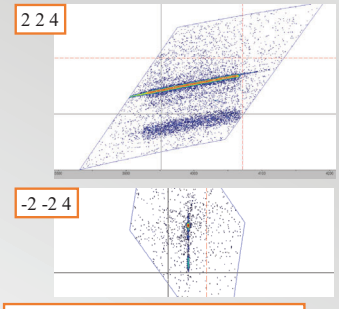




- 0次元検出器でも測定可能。ωをずらしながら$2\theta/\omega$スキャンを繰り返すため時間がかかる。
- 2次元検出器を用いることで短時間で測定。
- 近年は2次元検出器や制御技術の進歩によりIn-planeでのRSMや広範囲でのRSM測定が可能になってきた。

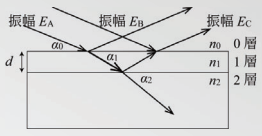
逆格子マッピング（RSM, Reciprocal Space Mapping ）



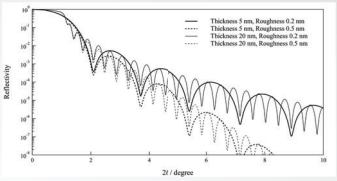


非対称面の測定時は、
検出器方向から試料が正面ではなく横向きに見えるようにωを回転させる

X線反射率測定（XRR, X-ray Reflectivity）

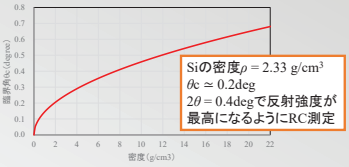


- 薄膜にX線を低角で入射させ膜の内部で屈折・干渉・反射した全反射X線の強度を測定して、薄膜の膜厚、密度、界面粗さを解析するのがX線反射率測定法(XRR, X-ray Reflectivity)である。
- 総膜厚が500 nm程度以下であれば、結晶/非結晶、有機/無機を問わずに、膜厚、密度、粗さの解析が可能。



- 膜厚と界面粗さを変化させたときのXRRプロファイルのシミュレーション。
- 膜が厚くなるほど振動の周期が短くなる。
- 界面が荒れるほど強度が減衰する。

X線反射率測定（XRR, X-ray Reflectivity）

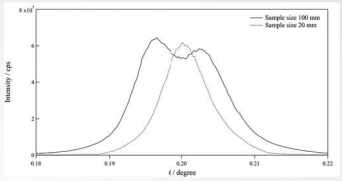


Siの密度$\rho = 2.33$ g/cm^3
$\theta c \simeq 0.2$deg
$2\theta = 0.4$degで反射強度が最高になるようにRC測定

密度ρと臨界角θcの関係

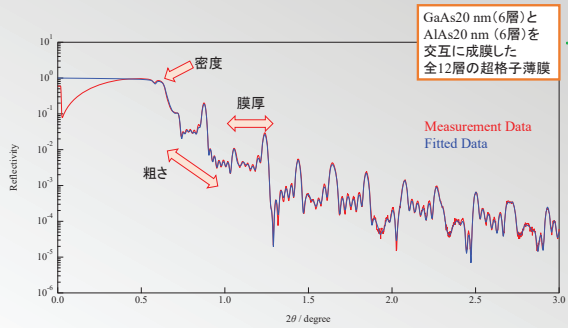
$$\theta_c = \sqrt{\delta}$$
$$\tilde{n} = 1 - \delta - i\beta$$
$$\delta = (r_e\lambda^2 N_A/2\pi)\rho_M f_0/A$$

ここで、古典電子半径r_e、アボガドロ定数N_A、原子散乱因子f_0（原子番号で近似）、質量数Aとして、原子番号と質量数の比を1/2で近似、波長などの単位はcmで計算して、角度をラジアンから度数に変換すると左のグラフが得られる。

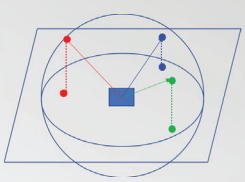


- 検出器を臨界角位置に固定して試料のみを回転させるロッキングカーブ測定の結果。
- 反射強度が最高になる位置で、$2\theta / 2 = \omega$となるようにオフセットを行うことで、試料の位置調整。
- 大型試料では、試料を固定した応力による歪みや、反りによって、反射方向が変わったり、X線を遮ったりして反射X線強度が低くなることがある。
- 表面粗さが大きい場合は、反射強度がガウス関数にならず、XRRを上手く測定できない場合がある。

X線反射率測定（XRR, X-ray Reflectivity）



極点図（PF, Pole Figure）



北半球のステレオ投影

極点図とは、3次元で生じる回折線を2次元図形としてステレオ投影したもの。

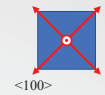
反射法だけでは試料の表側（北半球）の情報のみになる（不完全極点図）。

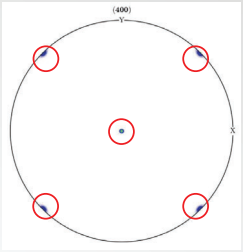
そのため透過法によって試料の裏側（南半球）の情報も取得して、これらを接続することで試料の全方向での情報が得られる（完全極点図）。

ただし、近年はPCやソフトウェアの進歩によって、不完全極点図から結晶方位分布関数（ODF, Orientation Distribution Function）解析を行うことで、完全極点図を再描画することができるようになった。

極点図（PF, Pole Figure）

単結晶Si100試料の
100極点図



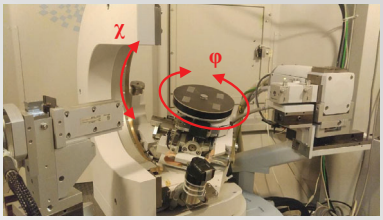


例として、単結晶Siの100極点図を示す。
(001)が試料の垂直方向を向いている。
試料の各辺は劈開面である{110}にあたるため、ほかの{100}は試料の各辺から45度ずれた方向を向いている。

単結晶やエピタキシャル薄膜、押出し・圧延・引張加工後の材料にみられる集合組織などについて、材料中の結晶の向きを測定する。

塑性変形における変形機構や、残留応力の測定、伸びや破断が生じた原因の分析に利用可能。

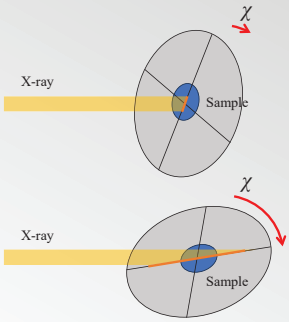
極点図（Pole Figure）

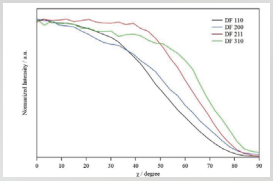


- 検出器を回折ピーク位置に固定して、試料あおり軸χを0°から90°（or 75°）まで、試料面内回転軸φを0°から360°まで回転させながら測定を行う。
- 通常はχとφのステップを揃える。5°ステップや3°、1°ステップなど。解析ソフトウェアによってはステップを揃えていない場合やステップが細かい場合は、データを読み込めないことがある。
- 複数の回折ピーク位置で極点図を測定して、Background処理やDefocus補整を行い、ODF解析を行う。
- 各装置メーカーの解析ソフト, LaboTex, TexTools, popLA, ATEX, StandardODF, MTEX（on MATLAB）

極点図（Pole Figure）

Defocus補整

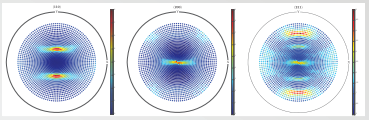




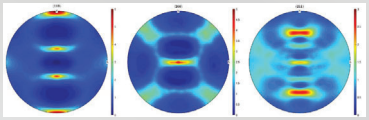
- 試料あおり軸χが大きくなるとX線が試料からはみ出す。
- それによって回折X線強度が低下する。
- 強度低下を補整するため**配向のないランダム試料**を用いてDefocus補整を行う。
- Defocusの傾向は試料形状や回折位置によって異なるため同一の物質や回折位置が近い物質を試料形状に成形して用いる。
- 通常75度程度までしか解析に使用しない。

極点図（Pole Figure）

極点図（BG処理、Defocus補整を実施）

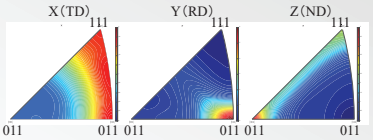


再計算極点図　この他に100, 110, 111などでも描画可能

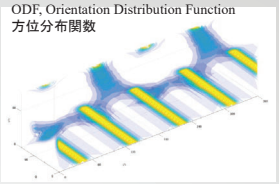


ランダムを1としてその何倍配向しているか集積度として表される。

逆極点図（IPF, Inverse Pole Figure）



ODF, Orientation Distribution Function
方位分布関数



その他の測定方法

- XRT（X-ray Topography）
  - 試料が完全結晶に近い場合は、結晶内部で多数の格子面で多重散乱が起こる。この多重散乱を考慮したのが動力学的回折理論。
  - 試料が完全結晶に近い場合、多重散乱を起こして、結果として回折強度が低くなる。逆に欠陥や転位が存在する場合は、回折強度が強くなる。
  - XRTではこの回折強度の強弱によって結晶の完全性を評価する。
- GI-SAXS（Grazing-Incidence Small-Angle X-ray Scattering）
  - 透過ではなくX線を薄膜表面にすれすれに入射して、鏡面反射方向に出射した散乱X線を測定する。
  - 薄膜中のナノ粒子な細孔、ナノスケールの繰り返し構造などによって生じる散乱X線を測定して、構造を評価する。
  - LSIに用いられるlow-k材料である多孔質SiO_2や、ナノ粒子、ナノドットなナノワイヤといったデバイスなどの形状評価に用いられる。
- X-ray CTR（Crystal Truncation Rod）Scattering
  - 結晶表面において電子密度だ裁断されることで生じるロッド上の散乱。
  - 表面構造に敏感で、原子位置や動的/静的な構造の揺らぎなどが解析できる。

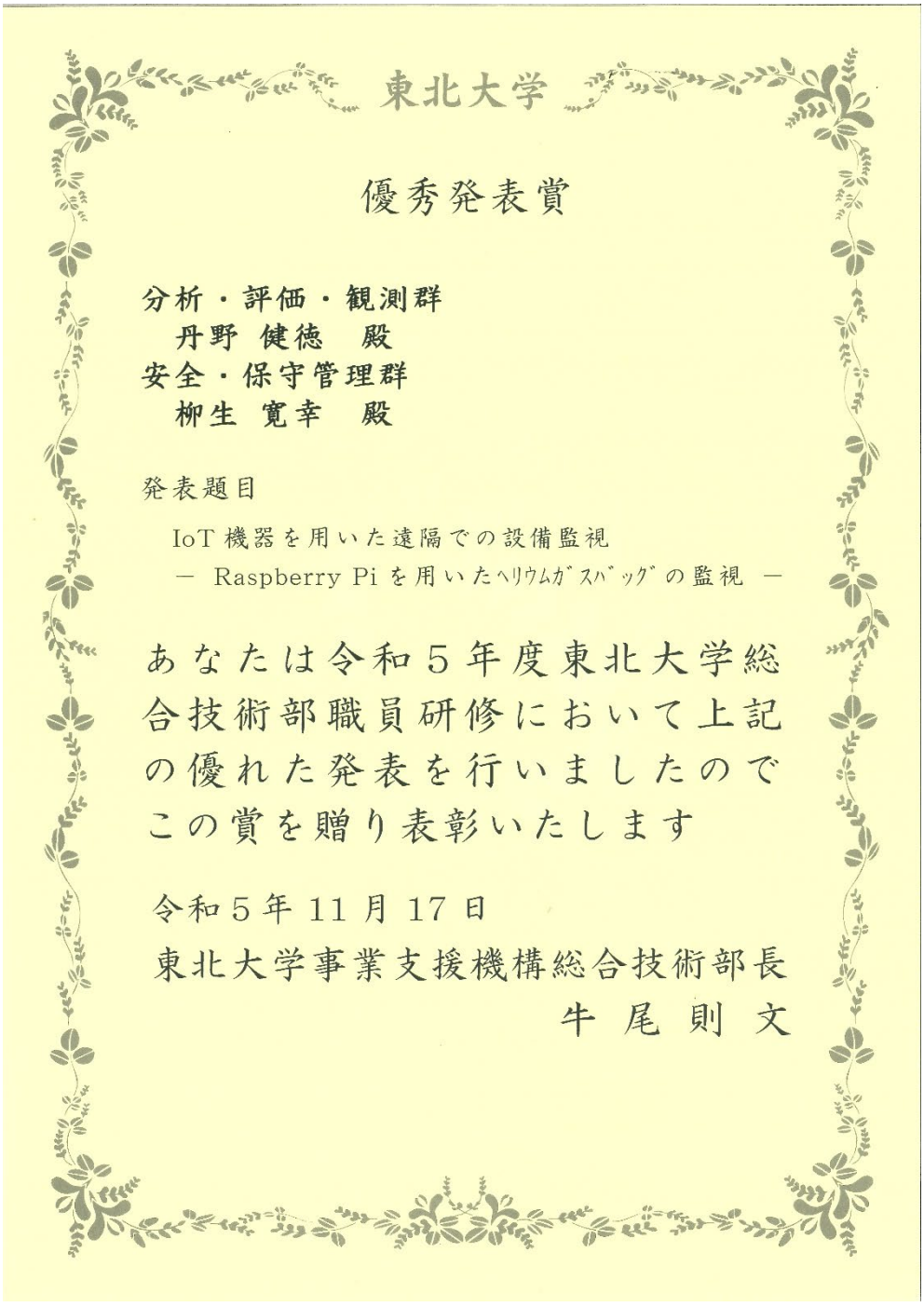
受賞報告一覧

対象期間：2023.4～2024.3

令和５年度総合技術部研修　優秀発表賞

題目「IoT 機器を用いた遠隔での設備監視」

○丹野健徳、柳生寛幸(評価部)23.11



東北大学

優秀発表賞

分析・評価・観測群
丹野 健徳 殿
安全・保守管理群
柳生 寛幸 殿

発表題目

IoT 機器を用いた遠隔での設備監視
－ Raspberry Pi を用いたﾍﾘｳﾑｶﾞｽﾊﾞｯｸﾞの監視 －

あなたは令和５年度東北大学総合技術部職員研修において上記の優れた発表を行いましたのでこの賞を贈り表彰いたします

令和５年 11 月 17 日
東北大学事業支援機構総合技術部長
牛尾則文

共著・謝辞掲載論文一覧

対象期間：2023.4～2024.3

＜査読付論文　共著＞

Anh Igarashi, Maho Abe, Shigeki Kuroiwa, Keishi Ohashi, and Hirohito Yamada,
“Enhancement of Refractive Index Sensitivity Using Small Footprint S-Shaped Double-Spiral Resonators for Biosensing”, Sensors, 2023, 23, 6177.
https://doi.org/10.3390/s23136177

Hiromasa Niinomi*, Kazuhiro Gotoh, Naoki Takano, Miho Tagawa, Iori Morita, Akiko Onuma, Hiroshi Y. Yoshikawa, Ryuzo Kawamura, Tomoya Oshikiri, and Masaru Nakagawa,
”Mie-Resonant Nanophotonic-Enhancement of Asymmetry in Sodium Chlorate Chiral Crystallization”
*責任著者：東北大学多元物質科学研究所 助教 新家寛正
掲載誌：The Journal of Physical Chemistry Letters
https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.3c03303

＜査読付論文　謝辞＞

深見研究室（評価部：丹野）
https://doi.org/10.1038/s41563-023-01620-2
プレスリリース：http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2023/08/press20230804-02-spin.html

深見研究室（プロセス部：森田、小野、武者）
https://doi.org/10.1038/s44306-023-00003-2
プレスリリース：
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20240111_01web_stt.pdf

大塚研究室（全体）
https://doi.org/10.35848/1882-0786/ace415
https://doi.org/10.1063/5.0167212
https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.20.014035
プレスリリース：
http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20230718_01web_graphite.pdf

東北工業大学柴田研究室（全体、プロセス部小野）
https://doi.org/10.1038/s41467-023-43343-7
プレスリリース：
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20231201_02web_colloidal.pdf

石山研究室（全体）
https://doi.org/10.1063/5.0161296
プレスリリース：
https://www.riec.tohoku.ac.jp/wp-content/uploads/2023/10/press_taichigoto_231010a.pdf
https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114530
プレスリリース：
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20231116_01web_laser.pdf
https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.21.014061
プレスリリース：
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20240131_01web_spin.pdf

尾辻研究室（全体）
https://doi.org/10.1515/nanoph-2023-0256
プレスリリース：
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20231124_02_transistor.pdf

平野研究室（工作部阿部）
https://doi.org/10.1016/j.bpj.2023.08.019

平野研究室（評価部丹野）
https://doi.org/10.1021/acsanm.3c04080

第四章

技術報告

年度内ということに拘らず、長年をかけて培っていく技術の進歩を技術職員の視点から報告します。
今回は評価部、プロセス部からの報告になります。

Google Workspace を用いた DX による業務効率化

～共通利用装置の予約システム構築と展開～

電気通信研究所　研究基盤技術センター　評価部
丹野　健徳

1. はじめに

研究基盤技術センター評価部では、走査電子顕微鏡や X 線回折装置などの実験装置の共通利用を提供している。共通利用装置の予約は、評価部の管理室前に設置した紙媒体の予約簿に直接記入するか、電話などで担当者に連絡することで行っていた。ところが、新型コロナウイルス感染症の広がりを受けて、大学施設への立ち入りや実験などに様々な制限が生じることとなった。当センターにおいても、利用者の入構制限や担当者のテレワークによる不在などで装置の利用予約が滞るといった影響を受けた。

紙媒体の利用記録簿は、利用者が装置の予約や予約できる時間の確認などのために来所する必要があったり、管理者が電話対応する必要があったりと、利用者にも管理者にも少なからず不便さがあり、以前からオンライン化が課題だった。コロナ禍を受けて、円滑な共通利用の提供を行いうと同時に、利用者と管理者との間での接触を最低限に減らすために、装置利用予約のオンライン化が必要となった。

そこで、東北大メールに紐づいて利用できる Google Workspace の機能である Google アプリ（ドライブ、フォーム、ドキュメント、スプレッドシート、サイト、カレンダー、メールなど）と、これらのアプリと簡単に連携して操作ができる Google Apps Script（以下 GAS と表記）[1, 2]というプログラミング言語を用いて、オンラインでの装置利用予約システムを構築したので、これについて報告する[3, 4]。

2. 装置利用予約システムの概要

装置利用予約システムの構築にあたり、最初に利用予約に必要な動作を想定することから始めた。次に、それぞれの動作について GAS で構築していき、最後に全ての GAS が連動するように装置利用予約システムを構築した。今回のシステムで想定した動作は以下の通りである。

1. フォームに入力した内容をスプレッドシートに保存
2. 入力内容を GAS に読込み、装置毎にプログラムを分岐
3. カレンダーの空きを確認して、スプレッドシートの内容をカレンダーに反映して予約完了
4. 予約完了時、または予定が重複した予約失敗時のそれぞれで通知メールを送信
5. 予約内容の控えを管理者と利用者が所属する研究室の責任者にそれぞれ送信

それぞれの動作は、図 1 に示したフロー図に従って処理される。それぞれの GAS の動作や内容については、以降の項目で説明していく。

3. 装置利用予約システムの構築

3.1　フォームとスプレッドシート

フォームに入力した内容は、フォームに関連付けられたスプレッドシートに内容が記録されていく。さらに、そのスプレッドシートに拡張機能から GAS を記述することで、スプレッドシート内の記録内容を GAS のプログラムの引数として利用できる。

装置毎にプログラムを分岐させる関係上、装置名の表記揺れがあると分岐が動かないことが予想された。そのためプルダウンから装置名を選択させることで、入力時の表記揺れをなくして分岐条件の引数として利用しやすくした。また、所属研究室の入力もプルダウンとしている。利用申請を受けた研究室のみを選択肢とすることで、利用申請していない他研究室の利用制限、利用者の管理、研究室の責任者への連絡などを容易にするためである。

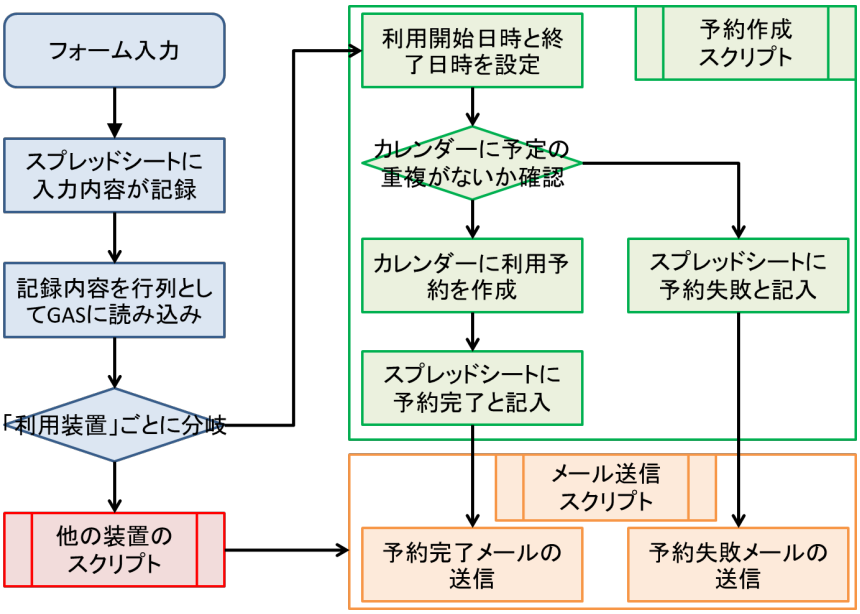


図 1　装置利用予約システムのフロー

表 1　スプレッドシートの入力内容と行列番号

スプレッドシートの記録内容	行列番号	GAS 上での使用用途
タイムスタンプ	***values***[0][0]	フォームの入力時間
メールアドレス	***values*** [0][1]	メールの送信先
利用者名	***values*** [0][2]	ドキュメントで置換
所属研究室	***values*** [0][3]	控えメールの送信先
利用装置	***values*** [0][4]	装置毎にプログラムの分岐
利用予定日 開始時間 終了時間	***values*** [0][5] ***values*** [0][6] ***values*** [0][7]	カレンダーでの 重複の確認と予定の作成

フォームには 7 つの入力項目があり、フォーム入力の時間（タイムスタンプ）を含めて 8 項目がスプレッドシートに記録される。スプレッドシートの記録内容を 1 行 8 列の行列として取り扱い、***values*** として GAS 上で宣言することで、行列内に保存された各列の記録内容を ***values***[0][i]として利用できる。スプレッドシートの記録内容と行列番号、GAS 上での主な使用用途について表 1 にまとめる。

3.2　利用装置毎のプログラム分岐

プログラムの分岐には、if 文と else if 文が利用される。今回作成した GAS の場合では、装置毎にプログラムを分岐させるので、入力された ***values***[0][4]の内容が if 文内の特定の文字列と一致すれば、予約作成プログラムに進む。一致しない場合は、次の else if 文に進み、他の装置の予約作成プログラムに進むように構築した。この方法以外でもより単純な分岐方法が考えられる。しかし、装置利用予約システムを構築当時は、各 GAS を分割して作成していったため、少々煩雑かつ迂遠になってしまっている。

利用者がフォームから入力した際に、装置名を間違えた場合や、表記揺れがある場合は、プログラムの分岐が上手くいかなくなる。そのため、前述の通り利用装置の入力はプルダウンメニューから行うこととした。

3.3　予約内容をカレンダーに反映

予約内容をカレンダーに反映する前段階の準備として、自身の東北大メールの Google カレンダーアプリに、各装置に対応するカレンダーを個別に作成しておく必要がある。次に、作成した各カレンダー

の『設定と共有』から、カレンダーID を確認する必要がある。GAS 上でカレンダーID を宣言することで、GAS からカレンダーにアクセスして予定の作成・変更などの操作が可能となる。また、他の管理者にカレンダーを共有したり、ホームページに埋め込んだりすることで、装置の予約状況を一目で管理できるようになった。

カレンダーに予定を作成するには、予定の開始日時と終了日時を設定する必要がある。今回作成した GAS の場合では、スプレッドシートに記録された ***values***[0][5], ***values***[0][6], ***values***[0][7]が、それぞれ利用予定日、開始時間、終了時間にあたる。日時の変数は通常の変数とは参照の仕方が異なるため、new Date で新たに生成する。また、生成された日付の変数は標準では 00 時 00 分 00 秒となっているので、setHours などを用いて hh 時や mm 分を入力していき、開始日時と終了日時についてそれぞれ YYYY 年 MM 月 DD 日 hh 時 mm 分という内容を設定する。

次に、設定した開始日時と終了日時との間でカレンダーに予定の重複がないかを確認して、重複がなければ利用予約の内容をカレンダーに予定として作成する。重複の確認には、getEvents を用いて開始日時から終了日時までの予定を取得して、それがゼロの場合は重複がないことになる。予定の作成が出来たならば、'予約完了'とスプレッドシートのセルに入力して、後で確認が取れるようにした。また、予定の重複があった場合は、'予約失敗'と入力するように構築した。これらの入力項目は、次項の予約完了時と予約失敗時のメール送信の分岐とし使用する。最後に GAS コードの一例を示す。

```
const startDate = new Date(values[0][5]);   //values[0][5]を「利用開始日」として定義
const startTime = new Date(values[0][6]);   //values[0][6]を「開始時間」として定義
startDate.setHours(startTime.getHours());   //「利用開始日」の時を設定
startDate.setMinutes(startTime.getMinutes());   //「利用開始日」の分を設定して、「開始日時」の設定完了
const endDate = new Date(values[0][5]);   //values[0][5]を「利用終了日」として定義
const endTime = new Date(values[0][7]);   // values[0][7]を「終了時間」として定義
endDate.setHours(endTime.getHours());   //「利用終了日」の時を設定
endDate.setMinutes(endTime.getMinutes());   //「利用終了日」の分を設定して、「終了日時」の設定完了
if (Calendar.getEvents(startDate, endDate) == 0){   //「開始日時」から「終了日時」の予定がない場合
  Calendar.createEvent(title, startDate, endDate);   //“title”という予定を作成
  sheet.getRange(lastRow,9).setValue('予約完了');   //確認や後の分岐のためにログを入力
}
```

3.4　予約完了時、予約失敗時の通知メール送信

GAS にはメール送信の方法として、MailApp.sendEmail と GmailApp.sendEmail という 2 種類のアプリケーションがあり、GmailApp.sendEmail の方が送信元の設定などの詳細な設定が可能である。例えば、GmailApp.sendEmail のオプション欄である{　}内に、bcc を追記することで、予約内容の控えメールを自身のアドレスなどに送る設定が出来る。さらに、送信元のメールアドレスは、デフォルトでは自身の東北大メールアドレスとなるが、オプション欄に noReply:true を追加することで、noreply@tohoku.ac.jp が送信元となる。加えて、Gmail アプリの設定からエイリアス機能でグループメールなどを追加すれば、追加したメールアドレスを送信元に設定できる。以下にプログラムの例文を示す。

```
GmailApp.sendEmail(user@tohoku.ac.jp, Title, Body, {bcc:'admin@tohoku.ac.jp', noReply:true});
GmailApp.sendEmail(user@tohoku.ac.jp, Title, Body, {from:'admin@grp.tohoku.ac.jp', name:'EAC'});
```

予約完了時と予約失敗時のプログラムの分岐は、3.3 でスプレッドシートのセルに入力した'予約完了'と'予約失敗'を if 文 else if 文の条件とすることで分岐させた。また、メール本文の内容は、ドキュメントで定型文を用意しておき、その中の一部をスプレッドシートの記録内容に置換した。GAS の本文中に直接メール本文を記入することも可能だが、メール本文の変更をしやすくするためにドキュメントを利用した。カレンダーの場合と同様にドキュメントを GAS で操作・利用する場合も、ドキュメント ID を確

認して GAS 上で ID を宣言する必要がある。図 2 に Google ドキュメントによるメール本文と送信されたメール文を示す。ドキュメント内で｛　｝で囲まれた部分が置換されていることがわかる。

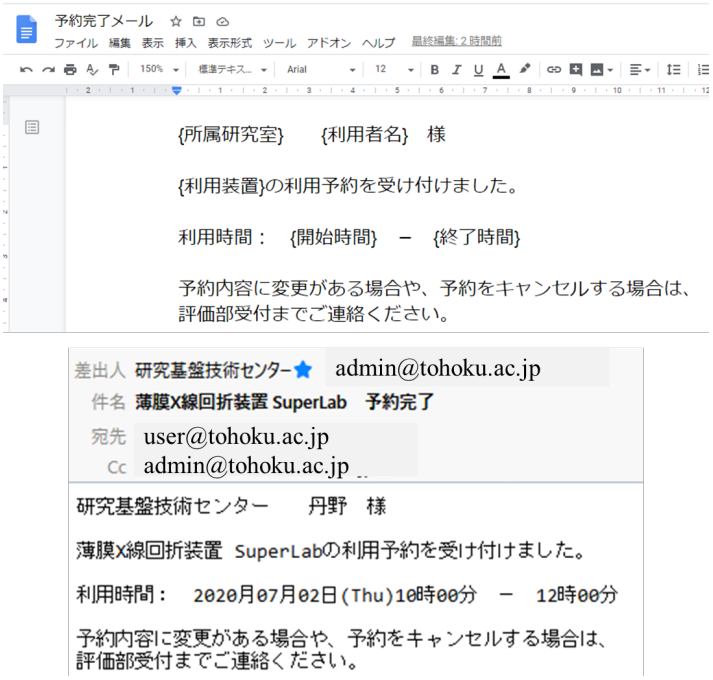


図 2　Google ドキュメントによるメール文と実際の送信メール

4.　装置利用予約システムの運用

装置利用予約システムの運用を行うために、Google サイトにカレンダーとフォームを埋め込んで公開した。Google サイトを用いることで、カレンダーとフォームの埋め込みが簡便に出来る。それに加えて、学外の一般者には Google サイトが表示されず、東北大メールアドレスをもった教職員と学生のみが閲覧できるように設定できる。図 3 に実際に運用している装置利用予約システムの画像を示す。

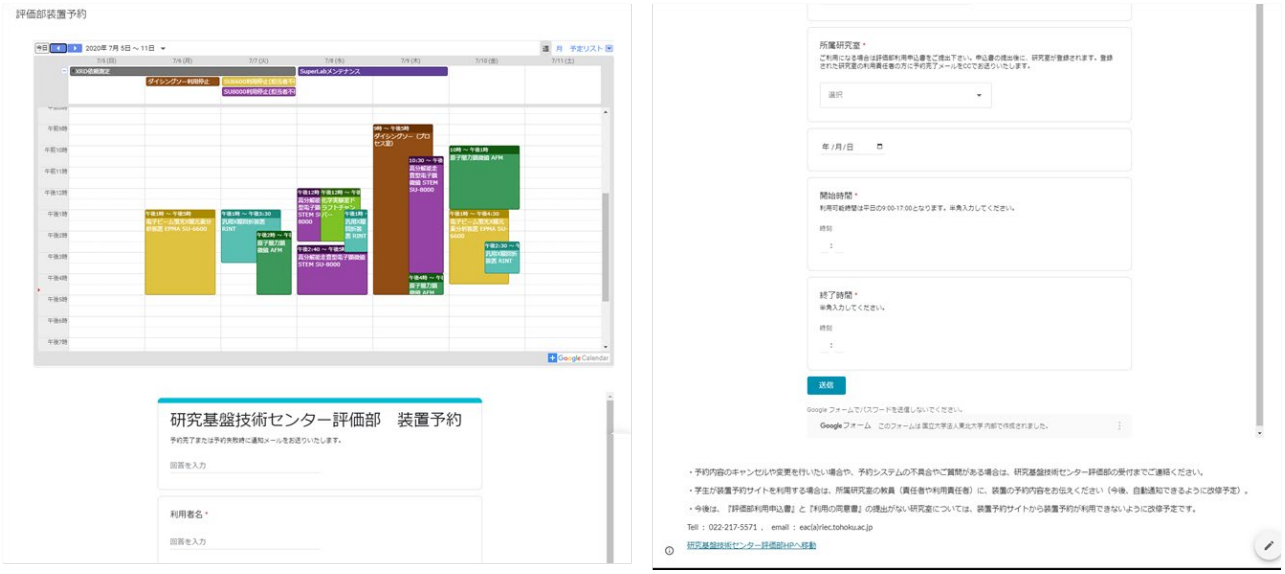


図 3　実際に運用している装置利用予約システムの Google サイト

当初は利用申請を受けた研究室のみが Google サイトの閲覧やフォームからの予約が可能になることを検討したが、共有化の設定やプログラムが煩雑になるため実装はしなかった。その代わり、所属研究室の入力欄を、利用申請を受けた研究室のみ表示させるプルダウンメニューとすることで、利用申請がない研究室が利用予約を出来ないようにしている。さらに、所属研究室ごとに各研究室の利用責任者のメールアドレスをスプレッドシートの別シートに纏めておき、所属研究室を入力することで研究室の利用責任者を CC に追加してメール送信し、学生が装置を利用することを研究室側でも把握できるようにした。

5. これまでの成果と展開

装置利用予約システムを作成するまでの私のプログラミングの経験について触れておく。これまで C 言語を用いた簡単なプログラミング実習を学生時代に受講したことがある。加えて、測定結果の解析にキャラクターユーザーインターフェースのソフトを利用している。プログラミングの入門的な知識を多少有しているが、本格的なプログラミングは行ったことはなかった。装置利用予約システムの構築にあたり、GAS のホームページ [1]や参考文献[2]をもとに行った。本格的なプログラミングの経験がなくても、各 Google アプリを連携させることで、はじめからプログラミングを行うよりも簡単にシステムを構築できた。

装置利用予約システムは、2020 年 6 月の運用開始から 2024 年 3 月までに、1200 件を超える利用予約を受け付けてきた。これまでに装置利用予約システムについて東北地区技術職員研修[3]や総合技術研究会 2021 東北大学[4]において発表を行い、少なくない反響があった。例えば、他部局の技術職員からプログラムを知りたいといった問い合わせもあり、プログラム提供を行った。装置利用予約の簡便化・効率化だけでなく、他部局への広がりや、GAS のプログラミングの習得など多くの成果が得られた。

2024 年 4 月からは､コアファシリティ統括センター(CFC)が運用する設備統合管理システム(SHARE)[5]に装置利用予約の役割は移行した。しかし、装置利用予約システムの役割が完全になくなったわけではない。これまでのシステムを発展させて、SHARE での予約内容を Google カレンダーに反映させるプログラムを構築しており今後も運用が続く。

Google アプリや GAS は、講習会などの出席者の管理や実験データの抽出にも応用でき、プログラマでなくても作業の自動化などの業務改善に利用することができる。装置利用予約システムを通して GAS を学んだことで、アンケートや講習会の申込みといった簡単なものから、講習会の申込に対する返信メールの自動送信、業務報告メールの下書き作成の自動化、装置の利用があった場合や逆に一定期間の利用がなかった場合のメンテナンス作業のリマインド、IoT 機器からのデータ取得など様々な物事に展開しており、GAS を利用して業務の効率化につながっている。

参考文献

[1] Google Apps Script, https://developers.google.com/apps-script

[2] 高橋宣成,『詳解!Google Apps Script 完全入門』, 秀和システム, (2018).

[3] 丹野健徳, 令和 2 年度東北地区国立大学法人等技術職員研修 技術発表会, (2020).

[4] 丹野健徳, 総合技術研究会 2021 東北大学 報告誌, pp199-200, (2021).

[5] 設備統合管理システム（SHARE）, https://share.cfc.tohoku.ac.jp/share/

FIB を用いた SiC 試料の TEM 薄片作成

電気通信研究所　研究基盤技術センター　プロセス部
武者　倫正

1. はじめに

透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope, TEM)は高電圧で加速した電子線を試料に照射し、試料を透過した電子を用いて微小領域の観察を行う手法であり、結晶構造や格子欠陥、結晶方位など材料の構造観察に有効な手法である。TEM 観察には電子線を透過させるため、厚さ 100nm 以下の薄片試料を作製する必要があり、その作製法の一つとして集束イオンビーム(Focused Ion Beam, FIB)による微細加工が用いられている。今回は研究室よりシリコンカーバイド(SiC)の結晶構造観察の依頼を受けた際の FIB 装置による TEM 薄片作製について報告する。

2. FIB による TEM 薄片作製概要

FIB 装置ではイオン化した原子に加速電圧を付与し、細く絞ったビームにして試料に照射することで、主に観察・加工・成膜の 3 つの機能を発揮することができる。これら 3 つの機能を複合的に活用することで、FIB による TEM 観察用薄片の作製が可能となる[1]。

・観察…イオンビームを試料に走査させ、試料から発生した二次電子や二次イオンを検出することで SIM(Scanning Ion Microscopy)像を観察することができる。走査電子顕微鏡像(Scanning Electron Microscopy, SEM)よりも分解能は劣るが、極表面の形態情報、元素、結晶方位による二次電子放出率の違いをコントラストとして観察することが可能である。

・加工…加速電圧を付与したイオンを試料表面に衝突させ、試料表面の原子を弾き飛ばす(スパッタリング)ことで、試料を微細加工することができる。集束させたビームで指向性を持って加工するため、特定領域をサブ μm 単位で指定して加工できる利点があるが、数百 μm~mm 単位以上の広域加工は不得手である。

・成膜…試料表面に反応性ガスを導入し、イオンビームによりエネルギーを与えて反応させることで、特定の領域に局所的に材料を成膜(デポジション)することができる。ビーム照射箇所をコントロールすることにより、直線、円形など任意形状の成膜が可能で、導電性材料としては W や Pt, 絶縁物としては SiO_2 などが用いられている。

TEM 試料の作製手法には FIB 加工の他に、化学研磨、電解研磨、イオンスライス法、イオンミリング法などがあるが、FIB 加工がそれらと比較して最も優れている点として、ピンポイント加工・サンプリングが可能であるという点が挙げられる。上記に挙げたその他手法はバルク状の試料を薄片化する手法であり、μm 単位で試料の特定部位を狙って薄片化・観察することはできない。一方 FIB では細く絞ったビームにより μm~サブ μm 単位での観察・加工が可能なため、試料中の特定部位の TEM 観察が必要な場合に最も有効な試料作製法となる。反面、高加速電圧を付与したイオンを試料に照射するため、試料表面にダメージを与えてしまうという欠点があり、これが試料を極薄片化する際の障害になることがある[2]。FIB の試料へのダメージによる具体的な問題発生状況は 4 節で述べる。

3. 試料作製手順

SiC TEM 薄片の作製にはプロセス部管理の FIB-SEM 装置(Curl Zeiss 製 NVision40)を用いた。表 1 に装置の基本性能を示す。本装置は FIB,SEM のダブルビーム方式であり、FIB の代わりに SEM を使用して加工箇所の観察・特定を行うことで FIB による試料へのダメージを最小限にすることが可能である。またチャンバー内にピックアップ用マイクロプローブ(Kleindiek 製 Nanocontroller NC40)を備えており、チャンバー内での直接サンプリングが可能となっている。

表 1　FIB-SEM 装置(Curl Zeiss 製 NVision40)の基本性能

イオン源	Ga liquid-metal(Ga^+)
加速電圧	0.1~30kV(SEM) 1~30kV(FIB)
検出信号	InLens,SE2,BSE
分解能	1.1nm at 20kV(SEM) 4nm at 30kV(FIB)
倍率	30x~900kx (SEM) 475x~500kx (FIB)
デポジション材料	C, Pt, Insulator(SiO_2)

今回の SiC 薄片試料作製にはマイクロピックアップ法(またはリフトアウト法)と呼ばれる手法を用いた[3,4]。マイクロピックアップ法の各段階の実施の様子を図 1 に示し、以下に各段階の加工詳細を述べる。

① 試料表面のピックアップ箇所に、ピックアップする大きさに応じた厚さ 1.5μm 程度の保護デポを形成する。これは後ほど側面からの薄片化加工の際に試料が削られないよう保護するためのものである。
今回は SiC 表面への付着の良さおよび成膜時間の短さから、デポ材料に C を用いた。

② ピックアップ箇所の上下を長方形に切削する。

③ ピックアップ箇所の左右 1 辺を長方形に切削する。

④ ピックアップ用マニピュレータを試料に接近させ、デポを用いて薄片とマニピュレータを接着する。接着後、薄片の左右残り 1 辺と底辺を切断し、薄片を試料全体から切り離す。

⑤ ピックアップした薄片を TEM 観察用グリッドに貼り付ける。グリッドの側面に薄片の 1 辺を近接させ、薄片とグリッド間にデポを形成して固定する。
今回は④薄片-マニピュレータ間の接着および⑤TEM グリッド-薄片間の接着にはデポ材料として Pt を用いた。Pt は C より形成に時間がかかるが、脆性破壊が起こりにくいためピックアップ中および試料作製後に衝撃等によりデポが破損し、薄片を紛失するリスクを低減することができる。

⑥ 薄片をグリッドに固定後、薄片-マニピュレータ間のデポを切断し、マニピュレータを切り離す。

⑦ 試料側面(画像上下方向)から段階的な加工を行い、薄片化していく。

⑧ 試料厚が 100nm 付近まで薄くなったら、段階的に加速電圧を引き下げ、低加速電圧による仕上げ加工を行う。今回の加工では試料形状に問題が生じたため、当初加工は加速電圧 30kV で行い、試料厚 130nm 程度から 10kV、更に 5kV と段階的に下げて仕上げ加工を行った。この試料形状の問題は 4 節で詳しく述べる。

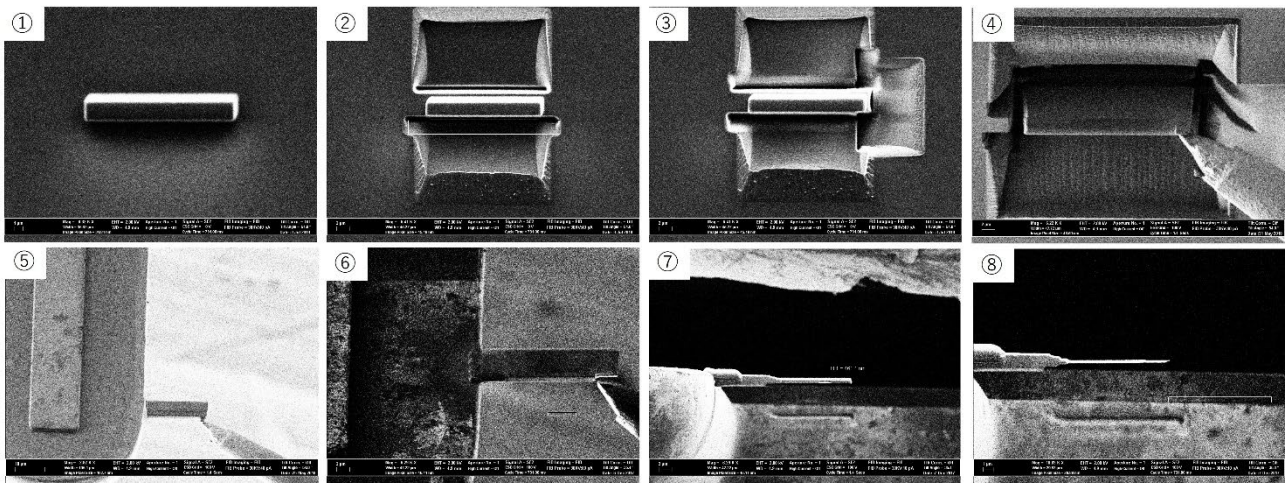


図 1 マイクロピックアップ法による TEM 試料作製の様子

4. 試料作製時の問題点

今回の SiC 薄片作製においては主に以下 2 点の問題が発生した。これまで Si 基板や金属薄膜の薄片化でも起こっていた共通の問題もあれば、新しく発生した SiC 特有と思われる問題もあった。以下に各問題の状況と対処を述べる。

4.1. 薄片の湾曲

薄片厚を約 130~140nm まで加工したところで、試料が加工方向に湾曲するという問題が発生した(図 2)。通常、Si 基板や金属材料などでは 100nm を切る程度まで薄片化しても、試料が削れて消失するまでこのような問題は発生しなかったため、今回 SiC の薄片化にて初めて見られた現象であった。原因ははっきりとは判明していないが、SiC は形成時に 1,000℃以上の高温下で反応させるため、形成時の熱応力が残留しており、薄片化されて強度が低下した際にそれが表れた可能性や、試料が硬く弾性が低いため、イオン衝突による運動エネルギーを逃がすことができず変形してしまった可能性などが考えられた。

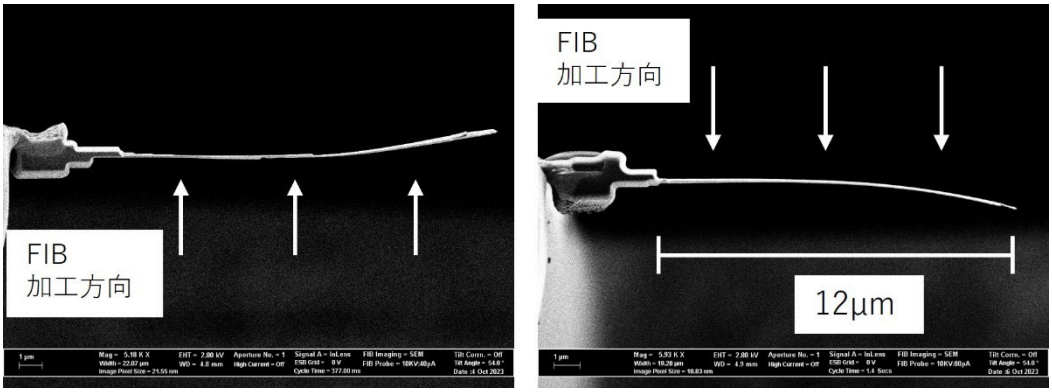


図 2　加工後に湾曲した SiC 薄片の SEM 像(左図:約 5,000 倍, 右図:約 6,000 倍, SE2 信号)

図 2 に示したように、FIB を当てるのと同じ方向に曲がりが生じていたため、対策としてイオン衝突のエネルギーを低減することを考えた。通常、Si 基板などの材料では試料厚 100nm 程度から低加速加工を行うが、今回は衝突エネルギーの低減のため、試料に曲がりが生じる 130nm 付近から 10kV、更に 110nm 付近から 5kV と、通常より早い段階で低加速電圧に切り替えて加工を実施した。また通常は観察領域を確保するために図 2 のように薄片長さを 10μm 以上確保していたが、先端部分にかかる曲げモーメントを小さくするため試料長さを 5~6μm に限定した。以上 2 点の対策を施すことにより、少量の曲がりは発生したが、TEM 本体の試料傾斜範囲内で問題なく観察できる程度に収めた薄片を作製することに成功した(図 3)。

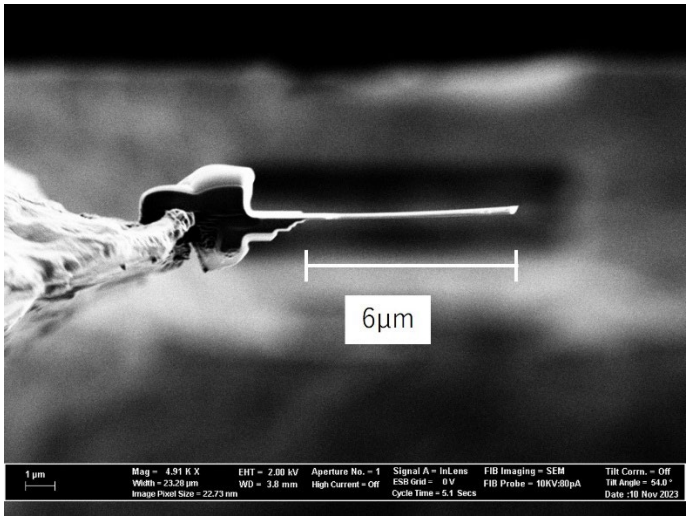


図 3 試料湾曲対策を施した SiC 薄片 SEM 像(約 5,000 倍, SE2 信号)

しかしこれら対策を施しても、試料厚 100nm 以下になると急激に試料が曲がり始めるという問題が解決できなかったため、100nm 以下の薄片化は FIB ではなくイオンミリング装置を用いて加工することにした。イオンミリングによる加工は次節 4.2.の問題解決にも寄与しているため、加工の詳細は次節にて述べる。

4.2. ダメージ層の除去

2 節で述べた通り、FIB では照射イオンの打ち込みやミキシング、イオン衝突によるエネルギー集中での試料温度上昇などが原因で、ビームを当てた試料表面にダメージが生じる。ダメージ層ではアモルファス層の形成や結晶欠陥の形成などが発生し結晶格子観察が不可能となってしまうため、ダメージの低減、もしくはダメージ層の除去が必要となる。

ダメージ層の厚さは材料およびビームの加速電圧によって変化し、Si 基板であれば 30kV の加工で試料表面から 20~23nm、10kV で 11~12nm、5kV で 7~8nm となる事が判明している[2]。マイクロピックアップ法では薄片の両面から加工を行うのでダメージ層が両面から発生し、この層が電子線の透過、回折を妨げるため、中央部分に非ダメージ層が残っていたとしても TEM 像の観察に支障をきたしてしまうことになる。今回は高分解能観察のため最終的な理想試料厚を 60~70nm と設定したが、この場合最終的に 5kV の FIB で加工したとしても、両面合計で 14~16nm、試料厚に対し約 20%以上がダメージ層となってしまう(図 4)。

また 10kV, 5kV では 30kV に比べてフォーカスの集束および信号量に限界があるため、観察像質の悪化、加工箇所の指定および終点試料厚の確認が困難になるという問題もあり(図 5)、前節 4.1.の湾曲の問題も重なって、試料厚 100nm 以下時の適切なダメージ層除去の障害となった。

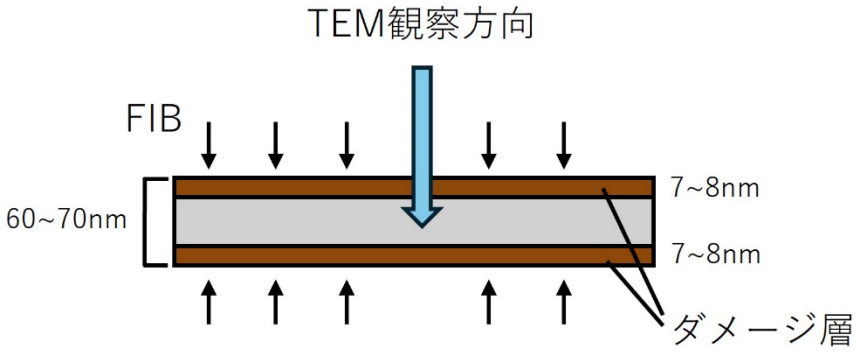


図 4　FIB による TEM 薄片へのダメージ層形成(5kV 仕上げ加工)

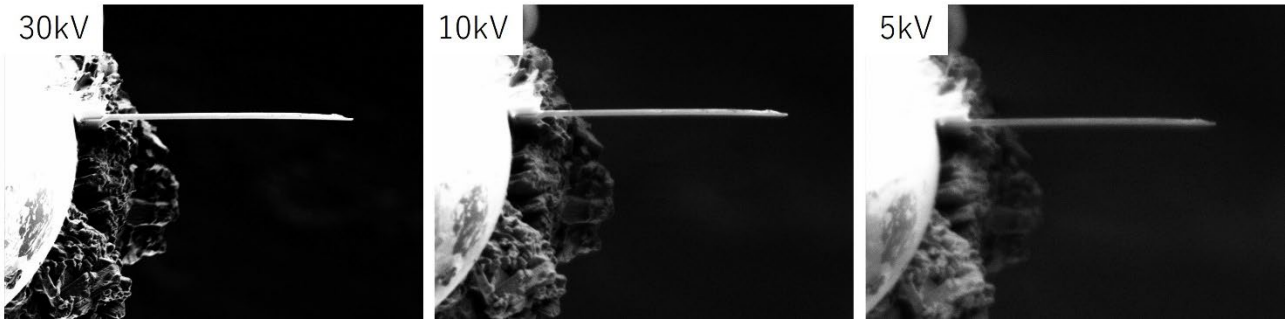


図 5　同観察条件における加速電圧別 SIM 像(5,000 倍, SE2 信号)

実際に試料を作製して TEM 観察してみたところ、FIB のみで 5kV 仕上げを行った試料では適切な回折像が得られず、結晶格子の様子を観察することが出来なかった(図 6[a])。SiC は Si より硬度が高く、ダメージ層が薄くなることを想定していたが、それでも観察した像では十分な解像度および電子線回折が得られておらず、ダメージ層が観察の障害になっていることが示唆された。

低加速電圧における SIM 像・ビーム集束の悪化、および 4.1.節の試料湾曲の問題により、FIB による 100nm 以下でのダメージ層の除去が困難であったため、100nm 以下の膜厚では FIB ではなくイオンミリング法を用いることとした。イオンミリング法は数百 V~数 kV で加速したイオン(主に Ar^+が用いられ

る)を広域に照射し試料を加工する手法である。FIB と比べて低加速電圧で加工できるため、試料表面のダメージ層を少なくすることが出来、一般に Si 基板に対して Ar^+イオン、加速電圧 1kV で加工した場合はダメージ層が約 2nm になる事が判明している[2]。また 4.1.節の試料湾曲の問題に対しても、FIB の 5kV より低加速・低エネルギーでの加工のため試料を曲げにくいことが期待されたため、最後の仕上げ加工にはイオンミリング法を用い、これらの問題を解決することを試みた。

イオンミリング加工は東北大学　金属材料研究所　分析電顕室[5]所有のイオンミリング装置(Gatan 製 PIPSⅡ)を用いて、Ar^+イオン、加速電圧 1kV にて行った。加工時は 5 分の加工と TEM による確認を 5～6 回繰り返し、試料の過剰ミリング・破損に十分に注意した。

イオンミリング加工後 SiC 薄片の TEM 観察像を図 6[b]に示した。図 6[a]と異なり、原子配列に対応した輝点配列が明瞭に観察できる格子像が観察でき、目的の結晶構造を確認することができた。TEM 観察方向と直行しているため、ダメージ層が何 nm まで低減できたか実際に測定することはできなかったが、イオンミリングにより高解像度の観察が十分可能な程度(数 nm 以下)までダメージ層を低減できたことが示唆された。

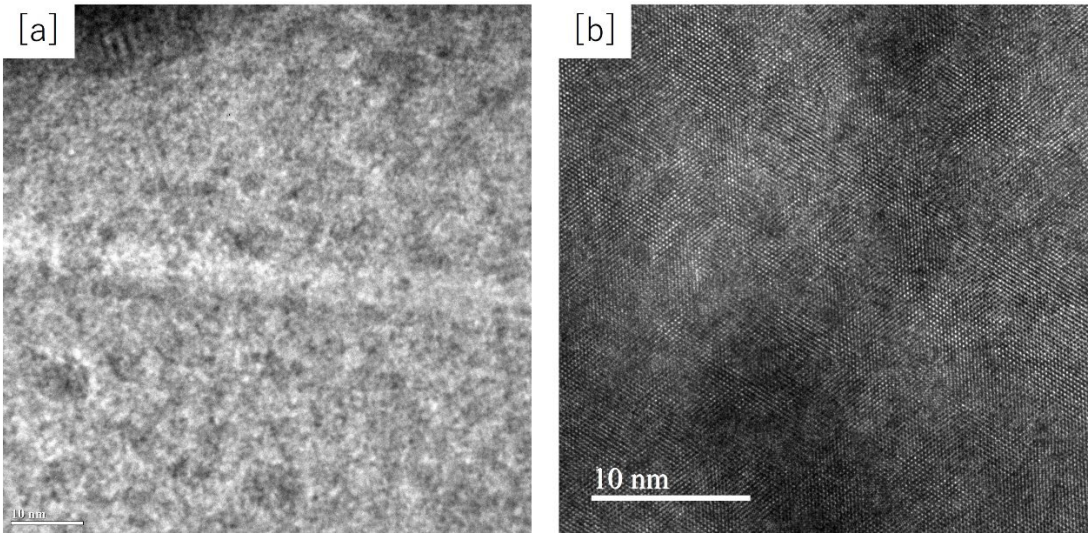


図 6　イオンミリング加工前の SiC 薄片 TEM 像[a]と
加工後の SiC 薄片 TEM 像[b]
(加速電圧 200kV, [a]:300,000 倍、[b]:600,000 倍)

5. おわりに

今回は SiC の TEM 薄片作製について報告した。SiC はこれまで多く作製していた Si 基板上薄膜や金属材料の TEM 試料と比べて非常に硬いため、試料が破損しにくく薄片化した際の問題が少ない、すなわち試料作製の難度はあまり高くないと当初は想定していた。しかし実際に薄片化してみると湾曲など想定外の問題が発生し、硬度による加工時間の長時間化と相まってこれまで経験した中で最も難度の高い TEM 試料作製となった。TEM 薄片では材料を 100nm 以下という他では考えられない領域まで薄くするが、この領域になると材料が通常の状態では見られないような挙動を示すことがあるという事を実体験として学んだので、今後はより多くの材料の薄片加工を経験し、各材料の特徴を把握することが大切だと考えている。

謝辞

今回の SiC 薄片試料作製では､イオンミリング加工および TEM 観察に東北大学　金属材料研究所　分析電顕室所有の装置(Gatan 製 PIPSⅡ, 日本電子製 JEM-2100plus)を利用させて頂きました。またイオンミリング加工､および TEM 観察に際しては同室技術職員の伊藤俊氏に多くの有用な助言を頂きました。ここに御礼申し上げます。

参考文献

[1] 平坂雅男, 朝倉健太郎, 『FIB・イオンミリング技法 Q&A』, アグネ承風社, (2002).

[2] 佐々木宏和, 加藤　丈晴, 松田　竹善, 平山　司, 顕微鏡, Vol.46, No.3, (2011).

[3] 武者倫正, 2019 年度　分子化学研究所　機器・分析技術研究会, (2019).

[4] 今野充, 日本印刷学会誌, 49, 6, 401-405(2012).

[5] 金研分析電顕室, https://aem-www.imr.tohoku.ac.jp/

編集後記

～研究基盤技術センター年次報告書発刊にあたって～

第 6 号となる 2023 年度の研究基盤技術センターの年次報告書を作成することとなりました。日々の業務をはじめ、技術職員の様々な活動に関する取り組みについて紹介することが出来たら幸いです。

本書ではこれまでの構成を見直し、序章として各部の役割や保有する技術、機械設備等の紹介を行っています。第 1 章でははじめにセンターが主体となって開催した行事をはじめとした活動報告、次にセンター各部の 1 年間の業務報告について紹介しています。第 2 章では研修や研究会、セミナー等の参加報告が、第 3 章では共著・謝辞掲載論文、研修・講演会等での業務に関する発表報告、受賞や資格の取得など、業務に関する成果がまとめられています。第 4 章では技術報告として評価部とプロセス部から業務上の長期的な取り組みや新しい試みについて報告していただきました。

昨年度はコロナ禍で中止していた当工作部の外来利用が再開され、それに伴い利用講習会のオンライン受講を新たに始めました。これまで実地で行っていた講習を動画視聴で行えるようにする試みだったが受講者からは概ね好評で、利便性や業務の効率を向上することが出来ました。こちらについては第 1 章の講演技術発表会や第 3 章の資料でも触れておりますのでご覧ください。

また、各部で外部から受託利用や技術支援に関する取り組みも展開されており、工作部でも今年度から部局の垣根を越えた依頼の受け入れについて検討が始まりました。今後より一層多様化していくであろうニーズに向けて技術の研鑽に励みたいと思います。

最後になりますが、今号の発刊にあたり編集作業でご支援ご協力をいただきました皆様に、この場を借りて感謝を申し上げます。

研究基盤技術センター　工作部　阿部健人

研究基盤技術センター年次報告書 2023（第 6 号）　2024 年 9 月 1 日発行

発行　　：東北大学電気通信研究所　研究基盤技術センター
編集　　：東北大学電気通信研究所　研究基盤技術センター
　　阿部健人、月本佳奈、丹野健徳、武者倫正、太田憲治
連絡先　：〒 980-8577　宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 － 1　研究基盤技術センター
HP　　：https://www.ftc.riec.tohoku.ac.jp/

各部問い合わせ先

研究基盤技術センター

Web　：http://www.ftc.riec.tohoku.ac.jp/

工作部

E-mail　：kojyo_riec@grp.tohoku.ac.jp
Web　：http://www.kojyo.riec.tohoku.ac.jp/

評価部

E-mail　：eac-riec@grp.tohoku.ac.jp
Web(学内)：http://www.eac.riec.tohoku.ac.jp
Web(学外)：https://portal.cfc.tohoku.ac.jp/
https://share.cfc.tohoku.ac.jp/share/
YouTube　：https://youtu.be/qahWXnDWY9U

プロセス部

E-mail　：riyou@nanospin.riec.tohoku.ac.jp
Web(学内)：https://www.process.ftc.riec.tohoku.ac.jp/
Web(学外)：https://portal.cfc.tohoku.ac.jp/
https://share.cfc.tohoku.ac.jp/share/

情報技術部

E-mail　：riec-fir@grp.tohoku.ac.jp
Web　：http://www.fir.riec.tohoku.ac.jp/