

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター  
SAGA Light Source (SAGA-LS)  
年報 2024

## 巻頭言

公益財団法人佐賀県産業振興機構  
九州シンクロトロン光研究センター  
所長 廣沢 一郎

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターの2024年度年報をお届けいたします。

当センターは、2006年2月の供用開始以来、多くの皆様にご利用いただきながら、まもなく20周年を迎えます。この間、県有ビームラインの新設や高度化を進めるとともに、佐賀大学様、九州大学様、住友電気工業株式会社様におかれましては、それぞれ独自にビームラインを設置・運営され、活発にご利用いただいております。

これまで当センターをご利用いただいた皆様、他機関ビームラインの関係者の皆様、そして日々の業務を支えていただいている受託企業の皆様をはじめ、センター運営に関わる多くの方々のご尽力とご協力により、2026年2月に無事供用開始20周年を迎える見通しです。この場をお借りし、長年にわたるご支援とご協力に心より感謝申し上げます。また、当センターの活動をご理解・ご支援いただいている地域の皆様にも、厚く御礼申し上げます。

一方で、長年使用してきた光源機器の老朽化が顕在化しており、2023年度から5ヵ年計画で大規模改修を進めております。そのため、2024年度は前年度に比べて利用可能時間が約200時間短縮され、他機関ビームラインおよび県有ビームラインをご利用の皆様にはご不便をおかけしました。改修完了後には、より安定したシンクロトロン光の供給が可能となる見込みですので、何卒ご理解を賜りますようお願い申し上げます。

本年報では、2024年度における当センターの活動状況を中心にご報告しております。これらの成果は、これまで積み重ねてきた努力と経験の上に築かれたものであり、過去の歩みを踏まえつつ、「将来の佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターのあるべき姿」を、利用者・関係機関の皆様とともに考えていきたいと存じます。

今後とも、より一層のご指導ご助言、ご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

# 目次

I	概要	1
II	利用	
1	利用実績	4
2	利用促進	7
III	加速器／ビームライン等の現状	
1	加速器	8
2	県有ビームライン	11
3	ナノスケール表面界面ダイナミクスビームライン（BL13：佐賀大学）	16
4	九州大学硬 X 線ビームライン（BL06：九州大学）	18
5	住友電工ビームライン（BL16・BL17：住友電気工業株式会社）	20
IV	研究開発	24
V	研究会、講習会	26
VI	広報、人材育成	27
VII	委員会	28
VIII	安全管理	29
IX	施設管理	30
X	出版物等	32
	付録	37
1	収支	
2	運営組織	
3	アクセス	

# I 概要

公益財団法人佐賀県産業振興機構は、指定管理者<sup>\*</sup>として、佐賀県が設置した「佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター」（英語名：SAGA Light Source。以下、「研究センター」という。）を管理運営し、2006年2月17日の開所（供用開始）以来、シンクロトロン放射光を用いた「地域産業の高度化、新産業の創出及び科学技術の振興」に取り組んでいる。

---

<sup>\*</sup>指定管理者：2003年9月の地方自治法改正で創設された指定管理者制度に基づき、公の施設を管理運営する運営主体を指す（地方自治法第244条2の第3項に規定）。

---

2022年度に2023年度から2033年度まで10年間の指定管理者として再指定を受け、2024年度はその2年度目として、「佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターの管理運営に関する基本協定書」に基づいて管理運営を実施した。

また、設立時より掲げている研究センターのミッションの実現を目指して運営を行っている。

<ミッション>

当研究センターのミッションは1999年に制定された「シンクロトロン光応用研究施設整備基本計画」の中で以下のように定められている。

- ①地域産業の高度化と新規産業の創出
- ②優秀な頭脳の集積
- ③多様な産学官連携拠点の集積
- ④先端科学技術を担う人材の育成
- ⑤科学技術への理解の促進

以下に、2024年度の管理運営状況を示す。また、付録1に今年度の管理運営に係わる収支状況を、付録2に運営組織について述べる。

## 【全般状況】

光源加速器とビームライン状況については、広範囲に及ぶ分野の利用支援を確実かつ迅速に行うために、光源加速器と7本の県有ビームラインを安定的に運転し、加えて機器高度化、老朽機器更新、及び保守点検等を継続して行った。また、他機関ビームライン（佐賀大学1本、九州大学1本、住友電気工業株式会社2本）とも連携し概ね順調に稼働した。

次に、放射光利用の深化と裾野拡大を促すことを目的として、毎年、研究成果報告会を開催しているが、今年度は『放射光でものづくり SAGA をイノベーション』と題し、18回目の研究成果報告会を開催した（2024.8.6）。

次に、II章以下の内容を概括して述べる。

---

## 「II 利用」

### 1 利用実績

#### 1-1. 加速器運転及びビーム供給状況

2024年度の加速器運転時間総計は、光源機器の大規模改修のため前年度よりも179時間短くなり、1,948.0時間であった。そのうちビームラインへのビーム供給は1,454.1時間（前年度1,666.5時間）、マシンスタディは454.0時間（前年度440.0時間）、加速器故障は39.9時間（前年度20.5時間）であった。

#### 1-2. ビームラインの状況

7本の県有ビームラインの公募利用と共同研究を合わせた外部利用及び当センターの職員による内部利用を合わせた延利用時間は3,046.6時間であった。

また、他機関ビームラインのBL13：佐賀大学、BL06：九州大学、BL16・BL17：住友電気工業株式会社も順調に稼働した。

#### 1-3. 県有ビームライン利用状況

##### (1) 全体統括

外部利用の時間数は2,890.0時間であり、ビーム

ラインへのビーム供給時間が短くなったにも関わらず、前年度（2,781.5 時間）比 103.9%となった。外部利用件数は 166 件で前年度（170 件）比減であった。

成果公開利用は増えており、県内外への利用促進活動に努めている。

## (2) 佐賀県内・九州域内の利用状況

今年度の県内及び九州地域の利用時間数の割合は、それぞれ 34.9%、45.9%となり昨年度に比べ県内及び九州地域の割合とも上昇した。

## (3) 所属区分・利用区分毎の利用状況

産学官の利用時間数の割合は、企業 50.6%、大学 37.0%、公設試 12.4%であり、成果公開利用は 33.2%（959.5 時間）、一般利用等の非公開利用及び共同研究利用は 66.8%（1,930.5 時間）であった。

## (4) 利用分野毎の利用状況

利用分野での利用時間数の割合は、電子デバイス 42.5%、エネルギー 15.4%、農林水産・食品が 14.7%、素材・原料 10.7%、バイオメディカル・健康 10.6%、資源・環境 2.6%の順であった。

## 2 利用研究の事例

企業、大学及び公的試験研究機関による利用研究の分野は、1- (4) に述べたように多岐にわたっており、ここ数年来同様の状況である。また、利用に関する発表論文を、X 章にまとめた。

## 3 利用促進

### 3-1 県内利用促進

佐賀県内の産業振興を目的に産業利用コーディネーター(3 名)を配置し、県内企業等に対して研究センターを利用した課題解決の提案等を行った。

また、包括利用制度による県内企業の支援や県試験研究機関との連携を通じた産業課題の解決を図った。

### 3-2 県外等全般的な利用促進

利用相談（Web 会議及び来訪等）の対応やユーザーアンケートにより、利用者の利便性向上を図った。

また、後述の「V 研究会、講習会」や「VI 広

報、人材育成」の取り組みについても、同時に利用促進の役割を果たしている。

---

## 「Ⅲ 加速器／ビームライン等の現状」

### 1 加速器

光源加速器は、入射用 255 MeV リニアックと 1.4 GeV 電子蓄積リングから成る。

1 週間の運転パターンは、月曜日がマシンスタディ、火曜日～金曜日がビーム供給（ユーザー運転）である。ビーム供給は火曜日が 2 回入射、その他は 1 回入射である。なお、1 日のユーザー運転時間は、1 回入射日は 11 時間（10：00～21：00）、2 回入射日は 9.5 時間（前半 10：00～15：00、後半 16：30～21：00）である。

光源加速器のアポートは約 41 時間であった。また、超伝導ウィグラーについては、ユーザー運転において、2 台同時励磁運用を定常的に行った（Ⅲ-1 節参照）。

### 2 ビームライン等

7 本の県有ビームライン（BL07、BL09、BL10、BL11、BL12、BL15、BL18）では、40 eV から 35 keV の幅広い光子エネルギー範囲でのシンクロトロン放射光を利用した実験が可能である。

2024 年度の主な整備として、回折測定の高度化のため、BL15 に高分解能 X 線 2 次元検出器を導入し、木材構造評価システムを開発した。また、2023 年度より開発していたテnder X 線 XAFS 測定装置が完成し、高効率な測定を実現した。さらに、複数の測定技術の供用を行っていた BL07 より大型多軸回折装置を BL15 に移設することで BL07 の効率的な利用を実現した。

一方、他機関ビームラインは、ナノスケール表面界面ダイナミクスビームライン（BL13：佐賀大学、Ⅲ-3 節参照）、九州大学硬 X 線ビームライン（BL06：九州大学、Ⅲ-4 節参照）、住友電気ビームライン（BL16・BL17：住友電気工業株式会社、Ⅲ-5 節参照）で引き続き利用実験が行われた。

---

#### 「Ⅳ 研究開発」

佐賀県から措置される試験研究費による研究が11件実施された。また、科学研究費による研究（研究センター研究員が研究代表者となっているもの）が3件実施された。

---

#### 「Ⅴ 研究会、講習会」

外部利用者や内部スタッフ、様々なシンクロトロン放射光分野の研究者、利用を検討している研究者等を対象とした研究会や講習会等について、研究センターが主催するもののみならず、関係機関の活動に共催、協賛又は後援等で参画し、利用促進に向けた情報交換や研究センターの成果普及に努めた。

主な研究会は、「第18回九州シンクロトロン光研究センター研究成果報告会」（2024.8.6）であった。

また、熊本大学と連携し、シンクロトロン光を用いた分析手法の基本を学ぶための講習会を実施した。

---

#### 「Ⅵ 広報、人材育成」

広報については、研究センターを公開し活動内容を広く一般へ紹介するため、施設の「一般公開」を行い、実験ホールの見学ツアーやワークショップ、地元の中学生の研究発表等を行い、198名の方に参加いただいた。

また、「一般見学」については年間を通じて一般の方、企業及び公共団体等の受入れを行い、987名に来所いただいた。

さらに、研究センターの設備や利用支援の仕組みを、学会や展示会等で紹介した。

人材育成については、研究センター研究員が講師となり、九州大学大学院にて特別講義「シンクロトロン光概論」を行った。

また、インターンシップや職場体験による地域の中学生の受け入れを行った。

---

#### 「Ⅶ 委員会」

研究センターの管理運営に当たり有識者、関係機関等の意見を広く反映するため、諮問委員会を設置している。

また、他機関ビームライン設置妥当性の協議及び決定を行うため、評価委員会を設置している。

2024年度は他機関ビームライン評価委員会を1回開催し、住友電工ビームラインの実績報告及び次期計画が承認された。

諮問委員会の開催実績はなかった。

---

#### 「Ⅷ 安全管理」

シンクロトロン放射光の利用を安全に行うために、放射線障害予防規程及び化学薬品管理規程等、安全に関する諸規程を運用し、定期線量測定及び放射線管理区域の管理並びに化学薬品等を持ち込む際の安全審査等を行った。

また、研究センター職員以外にも、利用者及び業者向けの放射線業務従事者教育訓練講習会を開催した（2024.5.27、2024.7.29、2025.1.24）。なお、放射線業務従事者登録数は454名（所内24名、所外430名）であった。さらに、実験廃液等の産業廃棄物処理を外部委託により適正に行った。

---

#### 「Ⅸ 施設管理」

電気、上下水道、都市ガス、排ガス等の一元管理と省エネルギーへの要請に取り組んだ。光源機器の大規模改修のため、例年よりシャットダウン期間が1ヵ月長かったことから、年間電気使用量は前年度比約6.3%減であった。年間水道水使用量は前年度比約2.9%増、年間都市ガス使用量は前年度比約5.9%増であった。

また、電気代の高騰については、効率的な設備運転や節エネによる経費節減と合わせ、佐賀県と協議しながら事業継続補助金等の活用により対応した。

---

#### 「Ⅹ 出版物等」

成果公開タイプの全ての利用について、利用報告書の提出を求めており、次年度にウェブサイトでもとめて公開している。

## Ⅱ 利 用

### 1 利用実績

2024年度の利用実績について、報告する。

#### 1-1. 加速器運転及びビーム供給状況

加速器運転時間総計は、1,948.0 時間で前年度比 91.6%となった。内訳は、表 1 に示すとおりビームラインへの「ビーム供給」、加速器の高度化・安定化研究を行う「マシンスタディ」、そして、「加速器故障」から成る。

2024年度は、加速器の設備保守・点検等のために、例年同様、9月下旬から10月をシャットダウン期間とした他、蓄積リング主要電磁石電源更新工事のため当初11月を予定していたシャットダウンを1月にしたことから、ビーム供給時間が前年度比 212.4 時間減となった。なお、当該更新工事は、納入直前のトラブルにより4月に繰り越すこととなった。

〈参考〉表 1 2024年度加速器運転状況

図 1 2024年度ビーム供給時間

表 1 2024年度加速器運転状況

項目	時間数 (時間)
ビーム供給	1,454.1
マシンスタディ	454.0
加速器故障	39.9
計	1948.0

時間

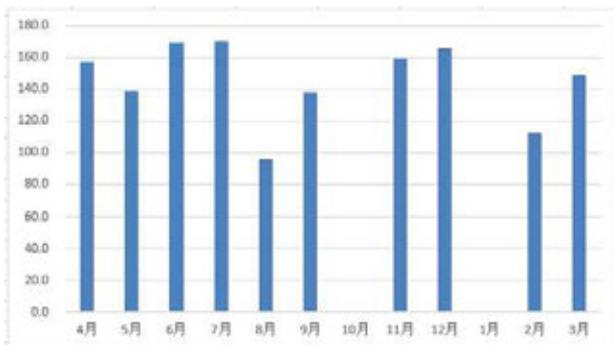


図 1 2024年度ビーム供給時間

#### 1-2. ビームラインの状況

7本の県有ビームライン (BL07、BL09、BL10、BL11、BL12、BL15、BL18) で利用実験が行われた。県有ビームラインの外部利用及び内部利用の延利用時間計は、前年度の 2,938.0 時間から 108.6 時間増加し、3,046.6 時間 (前年度比 103.7%) であった。これは外部利用のうち県内産業利用及び一般利用計が 209.5 時間増加したことによるものである。

なお、大幅な利用制度の変更が行われた 2023 年度の延利用時間計は、2022 年度の 3,013.5 時間から主に成果公開利用の減少により 75.5 時間減少していたが、前述のとおり今年度の延利用時間は前々年度並みに戻っている。

時間

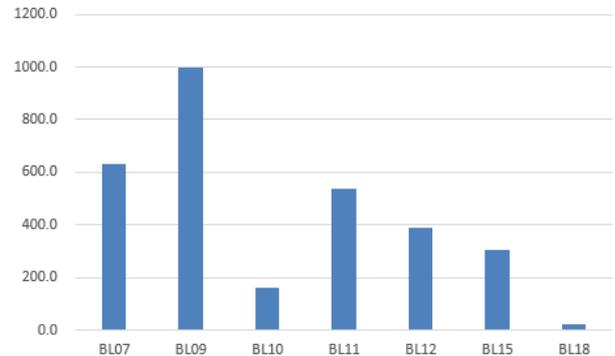


図 2 2024年度県有ビームライン毎の延利用時間

また、4本その他機関ビームライン (BL13: 佐賀大学、BL06: 九州大学、BL16・BL17: 住友電気工業株式会社) で利用実験が行われた。

なお、それぞれの延利用時間は、BL13 は 1,105.5 時間、BL06 は 1,080.5 時間、BL16 は 1,405.1 時間、BL17 は 1,330.3 時間であった。

#### 1-3. 県有ビームライン利用状況

県有ビームラインの利用区分は、2023年度より大

幅な改定を行い、県内を「一般利用」、「県内産業利用」、「包括利用」、県外を「一般利用」、「県外重点分野利用」、その他「トライアル利用」として、県指定管理事業で行う利用を設定した。また、共同研究契約に基づく「共同研究利用」も実施している。

「県内産業利用」は主に県内の産業振興に資する課題を選定し、利用支援を行った。また、「県外重点分野利用」については、県が推進する半導体関連分野、エネルギー関連分野における産業振興に資する課題を選定し、利用支援を行った。

なお、利用課題の募集は、年を3期に分けて行い、各期において月締めで課題を採択した。

### (1) 全体統括

外部利用の時間数については、前年度(2,781.5 時間)から 108.5 時間増え 2,890.0 時間 (前年度比 103.9%) となった。

今年度は前年度よりもビーム供給時間が少なかったにも関わらず、利用時間数が増加している。これは、県外の重点分野利用は 60.0 時間減少したものの、県内産業利用が 129.0 時間増えたほか、一般利用も 80.5 時間増えるなどして、トータルでは増加したためである。

一方、内部利用は、156.6 時間であり、前年度 (156.5 時間) 並であった。

〈参考〉表 2 2024 年度利用区分の概要

表 3 2024 年度利用状況

### (2) 佐賀県内・九州域内の利用状況

今年度の県内及び九州地域の利用時間数の割合は、それぞれ 34.9%、45.9%となり昨年度に比べ県内及び九州地域の割合とも上昇した。

〈参考〉図 3 2024 年度地域別の割合

### (3) 所属区分・利用区分毎の利用状況

産学官の利用時間数の割合は、企業 50.6%、大学 37.0%、公設試 12.4%であった。また、成果公開利用は 33.2% (959.5 時間)、非公開利用及び共同研究利用は 66.8% (1,930.5 時間) となっており、前年度の利用制度の改正により逆転した割合と同様の傾

向となっている。

成果公開利用における大学の利用の割合及び企業の成果非公開の利用の割合は前年比同水準で推移している。

〈参考〉図 4 2024 年度産学官の利用割合

### (4) 利用分野毎の利用状況

利用分野での利用時間数の割合は、電子デバイス 42.5%、エネルギー15.4%、農林水産・食品 14.7%、素材・原料 10.7%、バイオメディカル・健康 10.6% 資源・環境 2.6%の順で、おおよそ例年同様の割合となっている。

表 2 2024 年度利用区分の概要

利用区分	概要
一般利用 (県内・県外)	主に企業利用を想定 (学官可) 成果非公開可 有料
産業利用 (県内)	佐賀県内の地域振興や産業振興に対する貢献が大いに見込まれる課題 成果公開 有料
包括利用 (県内)	県内企業の課題解決を目的として実施 成果非公開可 有料
重点分野利用 (県外)	佐賀県が指定する重点分野 (半導体関連分野、エネルギー関連分野) に対する貢献が見込まれる課題 成果公開 有料
トライアル 利用	産学官の利用可 成果公開 初回 1 日無料
共同研究等 利用	機関間の契約に基づく研究

表3 2023年度及び2024年度の利用状況

利用区分		2023年度		2024年度	
		利用件数(件数)	利用時間(時間)	利用件数(件数)	利用時間(時間)
外部利用	一般利用	89	1,465.0	90	1,545.5
	産業利用	13	245.5	19	374.5
	包括利用	2	10.5	1	5.5
	重点分野利用 (半導体関連)	4	55.0	8	94.5
	重点分野利用 (エネルギー関連)	27	513.0	21	413.5
	トライアル利用	8	86.5	7	77.0
	共同研究等利用	27	406.0	20	379.5
	小計	170	2,781.5	166	2,890.0
職員による内部利用		—	156.5	—	156.6
合計		170	2938.0	166	3046.6

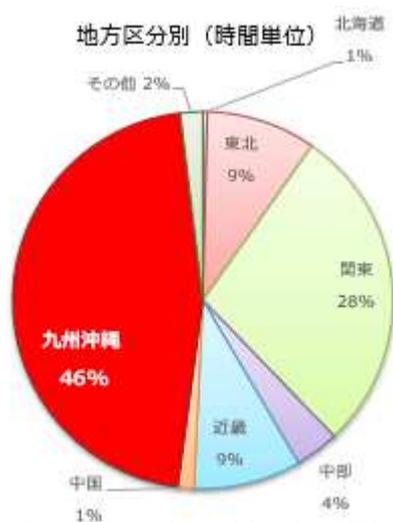


図3 2024年度地域別の利用割合

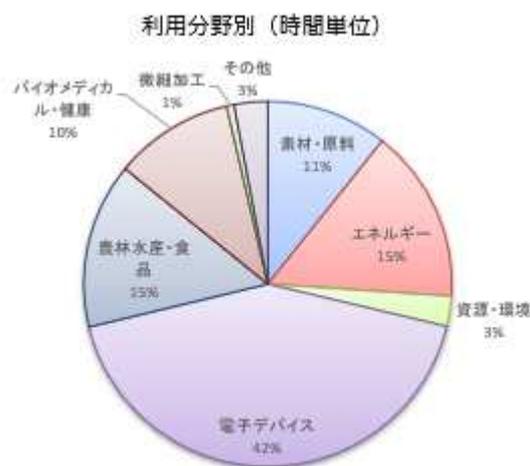


図5 2024年度分野別の利用割合

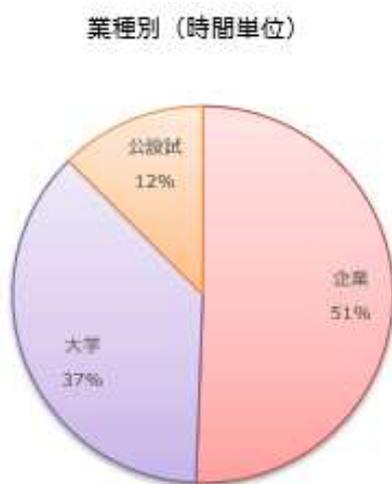


図4 2024年度産学官の利用割合

## 2 利用促進

### 2-1 県内利用の促進

#### (1) 産業利用コーディネーター活動

2024 年度は佐賀県内の産業振興を目的に産業利用コーディネーター(3名)を配置した。佐賀県内の企業及び試験研究機関を訪問し、課題解決のため技術分野に関する支援を行った。

年間延べ営業活動件数(企業等訪問件数)は114件。訪問先企業等は製造業を中心に49機関であった。その中で研究センターの新規利用につながった件数は7件となっている。

企業においては、主に自社製品の品質評価や技術開発、大学においては、半導体材料の解析、公設試においては、産業の高度化につながる新技術の開発のための研究を目的として利用された。

#### (2) 包括利用による支援

シンクロトロン光利用による分析に馴染みの薄い県内企業の利用を促進するための利用区分として設けている。内容は、実験計画の策定・測定・報告書作成等を包括的にセンターの研究員が行うものであり、2024年度の利用実績は1件であった。

#### (3) 県試験研究機関の利用促進・連携

県試験研究機関の地域課題や産業課題の解決に向けて、シンクロトロン光を活用した研究を支援した。特に県の基幹産業である農林水産の各分野における研究利用を促進するため、共同研究等を通じて農林水産業試験研究機関等との連携を図った。

また、2023年度に運用を開始した試験研究機関職員向けの課題研修制度の普及に向けて、制度の周知を行った。

### 2-2 県外等全般的な利用促進

#### (1) 利用相談等

企業、大学及び公設試験研究機関等からメール、電話及び来所等により多くの利用相談が寄せられ、随時相談に対応した。

また、実験終了後に実験責任者からビームタイム利用記録兼アンケート用紙を収集し、その要望を基に利用改善に努め、必要に応じて実験責任者へ報告を行った。

#### (2) 講習会等

「第18回九州シンクロトロン光研究センター研究成果報告会」における成果普及や、シンクロトロン光を用いた分析手法の基礎について学ぶ講習会「SAGA-LS 夏の学校」を熊本大学と連携して実施した。

また、学会や展示会等で研究センターのPRも行った。

詳細は「V 研究会、講習会」、「VI 広報、人材育成」で述べる。

## Ⅲ 加速器／ビームライン等の現状

### 1 加速器

#### 1. SAGA-LS 加速器概要

SAGA Light Source(SAGA-LS)加速器は全長約 30 m, 最大ビームエネルギー255 MeV 電子リニアック(線形加速器)及び周長約 75.6 m, 最大ビームエネルギー1.4 GeV の電子蓄積リングより構成される。リニアックにより加速された電子は 1Hz にて電子蓄積リングに入射される。電子蓄積リングに約 300 mA の電子を蓄積後、リング内にてビームエネルギーは 255 MeV から 1.4 GeV に加速される。ビーム入射及び加速に要する時間はそれぞれ約 3 分及び 2 分程度(可変:ビームロス等の状況に応じて変更する場合があります)である。ビームエネルギー1.4 GeV 到達後、2 台の超伝導ウィグラーを約 15 分間かけて励磁を行い、ビーム軌道補正、ビームサイズ調整等を行ったのち、放射光ユーザー運転が開始される。SAGA-LS にはフルエネルギー入射を可能とするブースターリングあるいはフルエネルギーリニアックは存在しないため、ビームは減衰モードにてユーザー運転が維持される。ビーム寿命はビーム電流 300 mA において大よそ 5 時間程度である。午前 10 時から 21 時までが公式な放射光ユーザー運転時間とされている。

SAGA-LS 電子蓄積リングは周長約 75.6 m のコンパクトな電子蓄積リングであるが、8 つの長直線部を持ち、現在 2 台のアンジュレーター (planer 型 1 台、APPLE-II 型 1 台)、2 台の 4T 超伝導ウィグラーが設置されている。ナチュラルエミッタンスは約 25nmrad である。周長に対して比較的 low エミッタンスなビームを供給する放射光用電子蓄積リングである。

#### 2. 運転状況

加速器の運転は緊急時及び光焼きだし等の例外を除き、平日の月曜日から金曜日にかけて行われる。週の初めの運転日(通常は月曜日、祝日明けなどは火曜

日以降)にマシンスタディーが実施される。マシンスタディーにおいては、ビームパラメーターの調整、記録、加速器構成機器類のメンテナンス、加速器高度化のための各種試験及び調整運転を実施する。マシンスタディーが実施された翌日の火曜日には 2 回のビーム入射、その他の曜日では蓄積リングへの入射回数は 1 回である。アンジュレーターのギャップ変更に伴うビーム軌道・チューン補償・カップリング補償はフィードフォワード方式にて制御されており、ビームラインユーザーによる自由なギャップ変更が行われている。ユーザー運転中はビーム軌道のフィードバック制御により安定したビームが供給される。ユーザー運転中は基本的には無人で加速器の運転が行われ、ビームロスもしくはマシントラブルの際に緊急の対応を行う。2024 年度のビームアポートタイムは約 41 時間であり、年間のビーム供給目標時間(1500 時間)に対するアポート率は約 2.7%であった。

#### 3. 主な加速器トラブル

2024 年度、ユーザー運転時間に影響があった主なマシントラブルは以下のとおりである。()内はアポート時間を示す。蓄積リング偏向電磁石電源ファン故障(1321 分 修理に伴うマシン停止期間を含む)、蓄積リング高周波加速空洞 RF 空洞反射波過大(905 分、16 回)、蓄積リングクライストロン収束コイル用流量計故障(45 分)、軌道補正用ステアリング電磁石電源故障(22 分)、外部 DCCT 系トラブル(87 分)、イオンポンプ電源故障(19 分復旧に要した時間含む)、入射・ランプアップ不調等(73 分)であった。RF 反射波過大によるビームロスの詳細なメカニズムは不明であるが経験則的な対処法として RF 空洞電圧を低下させる処置がとられてきた。2024 年度は RF 反射波過大の発生が計 16 回に達した。そのため、RF 空洞電圧は定格 500 kV に対し 310 kV まで低下させるこ

ととなった。しかしながら RF 空洞電圧の低下はビーム寿命の低下やビーム不安定性を引き起こす。図 1 に 2024 年度ユーザー運転中における蓄積ビーム電流の急落の様子を示す。蓄積ビーム電流の急落はビーム電流が 200 mA-70 mA 程度の領域で発生し、2024 年度秋のシャットダウン後から特に顕著となった。発生頻度、ビームロス量も次第に増大し、2024 年度ユーザー運転の大きな障害となった。RF 空洞電圧を低下させる処置は、RF 反射によるビームロス頻度を低下させる一方で、ビーム寿命を低下させビーム不安定性を誘発する。改善するためには RF 空洞電圧を上げる必要があるが、RF 空洞電圧の上昇は RF 空洞反射波過大によるビームの全ロスを引き起こしてしまう。蓄積 RF 空洞反射波過大によるビームロス、空洞内部もしくはカップラー部における放電がひとつの要因として考えられており、2025 年度秋に実施する RF 空洞更新による RF 空洞反射波過大によるビーム全ロス頻度の改善が期待されている。

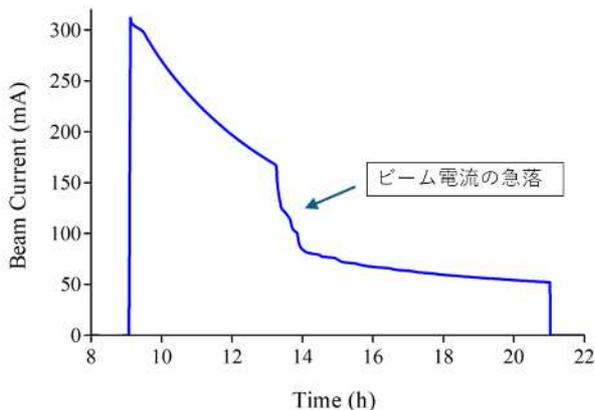


図 1. ユーザー運転中におけるビーム電流の急落 (2025 年 2 月 6 日) .

#### 4. マシンスタディー

マシンスタディーにおいては、加速器運転パラメーター調整、定期的な（長期シャットダウン後）Beam Based BPM Alignment (BBA)、アンジュレーターギャップ変更に伴うビーム軌道及びビームサイズへの影響に対する再確認の他、前年度より問題となっている水平方向ビームサイズのステップ的な増大に関する調査を行った。また、ユーザー運転時に発生する蓄積ビーム電流の急落の問題に関し、RF 空洞固定チューナー (2nd チューナー) の位置サーベイを実施し

た。サーベイの結果 2nd チューナー位置変更に対してビーム寿命が大きく影響されることが判明したものの蓄積ビーム電流の急落に対する効果的な対策には繋がらなかった。また、ビームスクレーパー位置の調整により蓄積リング真空槽インピーダンスを意図的に変化させてみたが、これも有効な手段とはならなかった。蓄積ビーム電流の急落には蓄積リングの部分的な真空悪化には統計的な相関が見られるものの、明確な因果関係は存在せず対策には繋がっていない。

RF 空洞反射波過大のインターロックは、RF 空洞電圧反射波が所定の値を超えて検出された場合に発報し、発報と同時に RF が遮断される。蓄積ビーム電流 300 mA、ビームエネルギー 1.4 GeV、2 台の 4T 超伝導ウィグラー励磁時における蓄積リングクライストロン出力は約 80 kW であり、その際の RF 空洞反射波のレベルは正常時においては 5 kW 程度である。RF 空洞反射波過大インターロックレベルは建設期当初より 19.5 kW に設定された。RF 空洞反射波が 19.5 kW を超えて増大する根源的な原因は不明であるものの、ノイズ、誤作動、マスターオシレーターの瞬間的な位相飛び等のハードウェア由来の要因も考えられた。そこで、蓄積リング高周波系励振盤内インターロック処理回路ポテンショメーターにてインターロック発報レベルを 40 kW まで引き上げた。また、合わせてクライストロン進行波過大インターロックレベルの引き上げも行った。これはインターロック設定レベル 106 kW、モニター値 88 kW の状態においてもクライストロン進行波過大インターロックが発生する事があり、高周波励振盤回路の経年劣化に伴う誤作動が疑われたためである。RF 空洞反射波過大インターロックレベルの引き上げにより、蓄積ビームの全ロス頻度は抑制されつつあるが、数 10 mA 程度のステップ的なビームロスは依然として発生した。2025 年秋に更新される RF 空洞本体の他、2026 年度にはクライストロンの交換を行う。老朽化に伴う誤作動が懸念される高周波励振盤の更新に関しても準備を進めている。

2024 年度は蓄積ビーム電流の急落問題への対応に追われた。またステップライクな水平方向ビームサイズの増大の要因解明と対策のための各種スタディーも

実施した。ベータートロンチューン、クロマティシテイ、RF 周波数との関連性も調査したが、同一条件で測定しても測定日によって結果が異なるケースが相次ぎ決定的な対処には至っていない。これらの現象は蓄積ビームのビーム不安定性が要因と考えられている。要因解明のためのビーム診断システム（ビーム進行方向バンチモニタ）について整備を進めているところである。

水平方向ビームサイズのステップライクな影響はビームライン放射光実験での光量変化として観測される。ビームラインへの影響調査にご協力いただいた BL16・BL17 住友電気工業株式会社、山口氏、飯原氏に感謝したい。

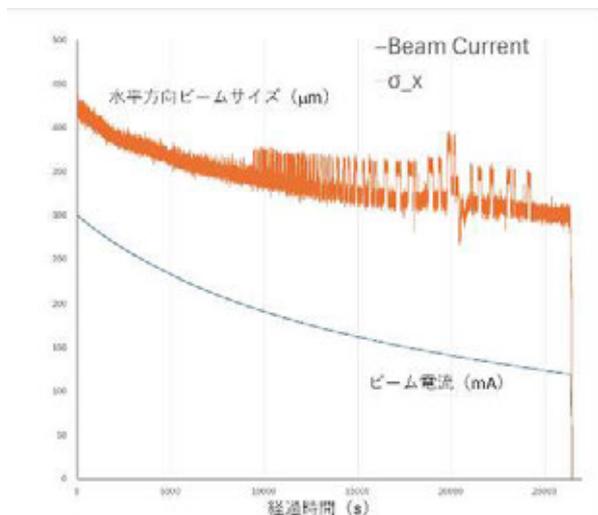


図2. 水平方向ビームサイズの変動. 最大で10%程度の水平方向ビームサイズのステップライクな増大が発生.水平方向ビームサイズの変動はBLでの光量変化として影響する。

## 5. 更新計画

SAGA-LS 加速器は 2003 年の機器類インストールから約 20 年が経過し機器類の老朽化が深刻となっている。今後の継続した加速器の維持のため、RF 空洞電圧の低下を引き起こしている空洞本体、重故障が発生する蓄積リング主電源、サイラトロン確保が不可能となっている入射系電磁石電源（セプタム・キッカー電源）及び耐久年数を超えるセプタム電磁石、蓄積リングクライストロン、内部部品類の入手が困難となっている蓄積リング小型電源の更新が進められている（図3）。2024 年度中に更新予定だった蓄積リング主

電源は当センター納入直前に電源内部ブスバー温度異常に伴う変色等のトラブルがあったため完成が少し遅れたものの、所定の精度を満たす電源 (BM, QF1, QD1, QF2, QFW1, QFW2, QDW1, QDW2, SF, SD: 計 10 台) がニチコン株式会社により製作された。

対象機器	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
蓄積リング主電源	■	■	■		
蓄積リングRF空洞	■	■	■		
クライストロン電源基板	■	■	■		
セプタム・キッカー電源			■	■	
セプタム電磁石			■	■	
蓄積リングクライストロン			■	■	
蓄積リング小型電源				■	■

図3. SAGA-LS 加速器大規模改修計画.

九州シンクロトロン光研究センター  
加速器グループ  
岩崎 能尊

## 2 県有ビームライン

7本の県有ビームラインでは白色X線、EUV、軟X線、Tender X線、及び硬X線を用いた利用研究が行われている。以下に県有各ビームラインの機器整備状況等について報告する。

### BL07

#### (1) X線回折

複数の測定技術が供され高頻度の機器調整が必要なBL07の利用効率向上を目的に実験ハッチ2に設置されていた大型多軸回折計(Huber製: 6-Circle Diffractometer 5021)を10月にBL15に移設した。

(馬込栄輔)

#### (2) イメージング

走査型蛍光X線顕微鏡の整備の一環として、サンプル上の集光ビーム照射位置を高精度にモニターできる長焦点顕微鏡の立上げと整備を行った。これにより、サンプルの形状を可視光で確認しながら、蛍光X線分析や元素マッピングが可能になり、計測スループットを大幅に向上することができた。また、サンプル周辺をHe雰囲気保持するHeチャンバーの改良(He濃度向上)を行い、Mgの計測が可能なることに加えて、S, P, Cl等の検出感度が向上した。さらに制御ソフト(CTRL7)について、SAKAS形式でデータを保存できるようにアップデートした。

マイクロCT関連では、計測時間の短縮を目的として、表面を砥粒で研磨したシリコン結晶の性能評価を行った。粒度1200~20000のSiC砥粒で研磨した結晶を対象に、白色放射光を用いて、回折の効率(反射率)、角度及びエネルギー発散を評価した。さらに木材(樺)を用いてマイクロCTによる3次元観察を行い、空間分解能やCT値に及ぼす影響を定量的に調べた。この結果、粒度10000で研磨した結晶の性能が高く、空間分解能を維持したまま計測時間を1/3に短縮できる可能性があることがわかった。今後、より詳細な評価を進め、有効性が確認できれば本結晶を用いた高速マイク

ロCT系を構築する予定である。

クライオ・イメージング関連では、溶液中の溶質が緩慢凍結によって凝集する現象を応用した「緩慢凍結コントラスト向上法」を開発した。そして、梨、ブドウ、ミカンなど各種果物や、マウス腎臓や心臓など生体試料の内部構造を、無造影で高精細に観察可能なことを確認した。さらに、凝集で形成される縞模様が溶質の濃度に依存することを利用して、果物の各細胞ごとの糖度を検出可能であることを明らかにした。本成果は”Fine visualization of biological cells using X-ray micro-CT with the slow freezing contrast improved method”のタイトルで、Scientific Reports (<https://doi.org/10.1038/s41598-025-09070-3>)に掲載された。(米山明男)

### BL09

#### (1) 利用状況

BL09ではX線リソグラフィー、X線照射効果、X線トポグラフィーが運用されており、2024年度の外部利用の案件数は41件、利用率67%であった。期毎の利用率においては、第I期で45%、第II期で88%、第III期で84%であった。

#### (2) SiC結晶のらせん転位の傾斜構造解析

2024年度の成果として、以下にX線トポグラフィーの研究例を紹介する。

SiC結晶の貫通らせん転位(TSD)はバーガースベクトル $b = \langle 0001 \rangle$ をベースとし、 $\langle 0001 \rangle$ 軸に平行に伝播するが、傾斜したTSDも確認されている[1]。そこで、結晶内の深部を観察できるX線トポグラフィー(deep XRT)によって、投影されたTSDイメージから実際の傾斜構造の解析を試みた。

4°オフ角4H-SiC(0001)結晶を用いてdeep XRT実験をBL09で行った。00012回折でエネルギー $E = 10.5$  keV、回折角 $2\theta = 90^\circ$ 、入射角 $\omega = 41^\circ$ とした。観察深さ $t_{obs}$ [2]は90  $\mu\text{m}$ である。

Deep XRT イメージに投影された TSD は白丸に見えるが、そこから黒いコントラスト線が伸びていた。バルク内を伝播する TSD 芯線の歪み場で、方向と長さは TSD 毎で異なっていた。この投影イメージから実際の TSD の傾斜構造(方向と角度)を見積もった。図 1 に平面 TSD から 3 次元化の解析のイラストを示す。X 線フィルムに投影された TSD の白丸中心を原点(0 μm, 0 μm)、投影 TSD ターミナル座標を(X1, Y1)、実際の TSD ターミナル座標を(X2, Y2, Z)とすると、Y1 は次式で補正されて Y2 となる。

$$Y2 = Y1 + t_{\text{obs}} \cdot \frac{\sin(2\theta - \omega - \beta)}{\cos\alpha \cdot \tan(2\theta - \omega - \beta) \cdot \cos\beta} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$  は入射ビーム方向と X 線フィルムのなす角、 $\beta$  はオフ角である。X1 = X2, Z = t<sub>obs</sub> なので、実際の TSD ターミナル座標(X2, Y2, Z)を得ることができる。表 1 に任意の TSD-A, B, C の解析後のターミナル座標、傾斜方向、傾斜角度を示す。傾斜角度に関して、TSD-A は<0001>軸に平行で、全 TSD の 10% 程度であった。一方、TSD-B, C は<0001>軸から傾斜しており、TSD-B は傾斜角度が 40° と大きかった。TSD の傾斜構造は混合成分との相関が指摘されており [3]、混合成分を理解するうえで TSD の傾斜構造が重要と考えられる。本研究の内容は [4] で報告されている。

(石地耕太郎)

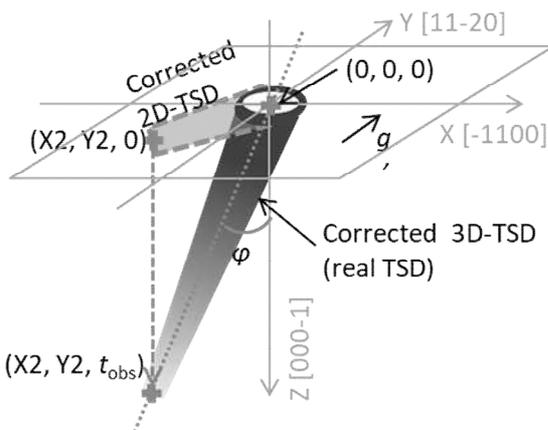


図 1. X 線フィルムに投影された SiC 結晶の TSD の 3 次元化解析のイラスト

TSD	A	B	C
Terminal coordinate	(0, 0, 90)	(66, 39, 90)	(-28, 0, 90)
Inclined direction	//c	[-12-10]	[1-100]
Inclined angle	0°	40°	17°

表 1 TSD のターミナル座標, 傾斜方向, 傾斜角

## BL10

BL10 は、光源として可変偏光アンジュレータ光が利用できる軟 X 線領域のビームラインで、可変偏角型の高分解能な分光器と角度分解光電子分光(ARPES)の実験ステーションが利用されている。

2023 年度には、ARPES 装置の制御 PC を更新した。これに合わせて、光電子エネルギー分析器のマルチチャンネルプレート、検出器からの 2 次元像を取得するための CMOS カメラ、電子レンズ系の電源と制御 PC 間の通信インターフェースを更新し、光軸再調整や分光エネルギーの再校正等も実施した。これにより 1 試料あたりの測定時間が短縮されたため、測定の更なる効率化を図るため 2025 年度の試料交換システム変更に向けた技術検討を行った。(吉村大介)

## BL11

2024 年度に BL11 で行った主な活動及び機器整備について報告する。

### (1) XAFS 測定でのテンダー-X 線の活用

BL11 では 2023 年度に導入したテンダー(Tender) X 線 XAFS 測定装置チャンバー本体周辺機器の整備を進めた。測定の際は、BL 測定プログラムから試料測定条件(試料位置、X 線入射角度)が連動して制御され、高効率での測定が実現された。また、試料からのサブ pA レベルの微小なシグナルを安定的に計測できるよう広帯域電流増幅器を整備した。

これにより有機薄膜半導体試料など数 10 nm 程度の薄膜試料を測定対象とした Tender XAFS 測定が安定的に行えるようになり、精度の高いスペクトルが得られ

るようになった。また、併せて試料トランスファーベッセルを開発整備し、大気非曝露の試料導入にも対応した。以上の整備後、11月からユーザー供用を開始した。当該装置の立上げ・利用研究（有機薄膜半導体材料の評価）を国内学会にて報告した[5, 6]。

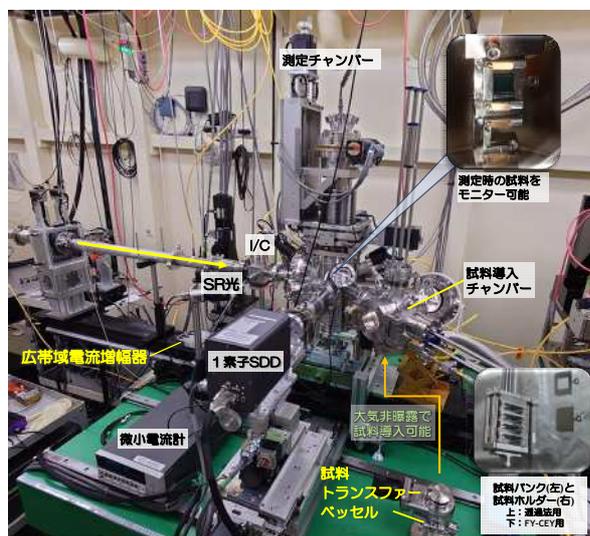


図 2. 新規開発しユーザー供用を開始した Tender XAFS 測定装置

(2) 表面敏感性の異なる転換電子収量(CEY)法・蛍光収量(FY)法同時XAFS計測用計測ユニットの開発

BL11 での 3d 遷移金属などを対象とした XAFS 測定において、基板上薄膜試料に対する表面近傍とバルクの情報を切り分けて測定を行うために、表面敏感性の異なる転換電子収量 (CEY) 法ならびに蛍光収量 (FY) 法測定が行えるようになってきている。しかし、測定装置の制約から同時計測には対応できていなかった。ビームタイムの有効活用を望むユーザーの声に応えるため、同時計測に対応した計測ユニットを開発した。本ユニットを用いて、亜鉛メッキ鋼板（トタン板）の同時計測を行い、表面敏感性の異なる XAFS データが取得できることを実証し、ユーザーに供用を開始した。

(瀬戸山寛之)

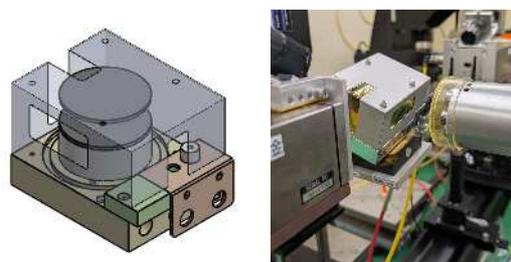


図 3. 新規開発した CEY-FY 同時計測用ユニットの透視図 (左) および BL に設置した様子 (右)。アオリ角および  $\theta_y$  軸の調整 ( $0 \sim 20^\circ$ ) により CEY・FY 同時測定を可能とした。

### BL12

軟 X 線ビームライン BL12 では、軟 X 線吸収端近傍微細構造(NEXAFS : Near-edge X-ray absorption fine structure)測定と X 線光電子分光 (XPS : X-ray Photoelectron Spectroscopy) 測定が可能で、最近ではペロブスカイト型酸化物[7]やリチウムイオン電池[8]などが NEXAFS 分光法を用いて分析されている。NEXAFS 分光法においては、主に試料の電流を測定する電子収量法が利用されるが、材料によっては非常に微弱な試料電流しか流れないことがあるため、数 10 fA オーダーの電流を感度よく測定できるシステムを開発してきた。本年度は感度低下の原因となるマニピレータからのノイズの低減対策を行った。図 4 はシリコン自然酸化膜の Si L-edge NEXAFS スペクトルである。今回開発した装置は従来の装置よりも高感度なスペクトルが得られたことがわかる。以上のように BL12 での NEXAFS 分光法で測定可能な試料が拡大した。

(小林英一)

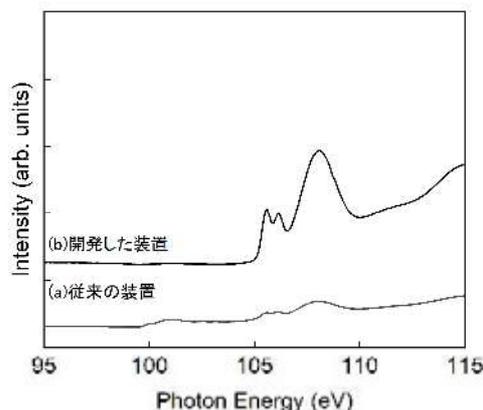


図 4. シリコン自然酸化膜の Si L-edge NEXAFS スペクトル

## BL15

BL15では、主に、薄膜X線回折、粉末X線回折、X線反射率測定の利用が行われている。これらに加え、BL07から移設した大型多軸回折装置(Huber 5021)に木材構造を評価するための新たなX線回折システム(木材構造評価システム)を開発し、スギ材を対象に測定を実施した。以下に装置の特徴と得られた成果の概要を報告する。

### (1) X線回折法による木材構造評価システムの概要

木材を構成するセルロースマイクロフィブリル(CMF)の構造的特徴は、木材の曲げヤング率(MOE)と密接な相関があることが知られており、木材の材質評価においてCMFの構造解析は極めて重要である。開発された木材構造評価システムは、CMFの構造的特徴量を「簡便・迅速・高精度」に取得することを目的としている。図5に、開発された木材構造評価システムを示す。このシステムは、2024年度にBL07からBL15に移設された大型多軸回折計(HUBER社製:5021)上に構築された。測定試料は木材から切り出された柁目板(標準サイズ:板目方向130×木口方向10×柁目方向2mm<sup>3</sup>)である。X線(エネルギー:12.4 keV)を試料の柁目面に垂直に入射し、板目方向に走査(走査間隔:0.25mm、最大走査距離:200mm)しながら、透過および回折X線強度を、2024年度に新規導入された2次元X線検出器(DECTRIS社製:EIGER2 S 500K)で測定する。本システムにおいて、1つの試料の測定に要する時間は、約1時間である。測定されたX線回折強度分布を解析することで、CMFの構造的特徴量として、主に、仮道管長軸方向とCMF配向方向のなす角度(MFA)と、CMFの相対量(NMF)を得ることができる。



図5. 開発された木材構造評価システム

### (2) 成果例:スギ材弾性とCMFの構造的特徴の関係

本システムを用いて、14品種・48個体のスギ材を対象に測定を行い、MOEとの関係を調べた。その結果、図6に示すように、スギ材のMOEはCMF長軸方向の歪みのみに基づく近似力学モデル( $NMF \times \cos^2(MFA)$ )によって説明可能であることを初めて明らかにした[9]。今後、スギ以外の樹種にも対象を拡大し、本モデルが木材全般に適用可能かどうかを検証していく予定である。(馬込栄輔)

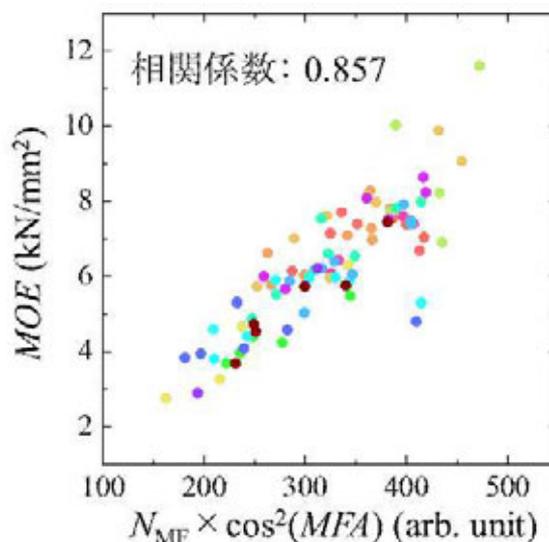


図6. スギ木材の曲げヤング率(MOE)とCMFの構造的特徴量との関係。点の色は品種の違いを示す。

## BL18

本ビームラインは偏向電磁石を光源とし、単色EUV光(E=92 eV、λ=13.5 nm)の利用に特化した装置構成になっている。ビームサイズは0.5×0.7 mm<sup>2</sup>であったが、2回にわたる全館停電により、X線光学系のミラーに大きな位置変動が生じ、集光サイズが1 mm以上に広がった。本光学系は20年以上前に建設され、当センターに約10年前に移管された設備で、関連資料の不足等もあるが、復旧に向けた調整を検討している。(米山明男)

## 参考文献

- [1] M. Nagano et al., Jpn. J. Appl. Phys., **52**, 04CP09 (2013).
- [2] K. Ishiji et al., Jpn. J. Appl. Phys., **56**, 106601 (2017).
- [3] H. Saka et al., Jpn. J. Appl. Phys., **53**, 111302 (2014).
- [4] K. Ishiji et al., Jpn. J. Appl. Phys., **63**, 12SP18 (2024).
- [5] 瀬戸山他、第38回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、12P-76 (2025).
- [6] 瀬戸山他、第72回応用物理学会春季学術講、16p-P05-9・16p-P05-10 (2025).
- [7] S. Shimizu et al., Chem. Sci., **15**, 10350 (2024).
- [8] Y. Du et al, Electrochim. Acta, **473**, 143421 (2024).
- [9] 馬込他、第 75 回日本木材学会 B20-08-1045.

### 3 ナノスケール表面界面ダイナミクスビームライン (BL13 : 佐賀大学)

#### 1. はじめに

佐賀大学ナノスケール表面界面ダイナミクスビームラインは、平面型アンジュレータからの高輝度な真空紫外光・軟エックス線を利用する実験ステーションと偏向電磁石からの紫外・真空紫外光を利用する実験ステーションにおいて、高分解能内殻光電子分光、角度分解光電子分光および吸収・蛍光測定による実験が可能である。また、短パルスレーザーとの組み合わせによる時間分解光電子分光も可能となっている。本ビームライン設備を用いて、シンクロトロン光を利用する研究開発の促進、人材育成ならびに地域活性化などに学術的立場から支援協力するとともに、九州地域の大学や国内外の研究教育機関との連携によるシンクロトロン光応用研究および関連する研究教育活動などに利用する目的や、種々の固体や表面における電子ダイナミクスを解明する目的での研究を遂行してきた。2024 度においては、高度化改修により整備した電子スピン回転器と VLEED 型スピン検出器を用いた 3 次元スピン分解システムをエンドステーションに据え付けるとともに、フェムト秒レーザーシステムの立ち上げ調整を進めることができた。また、シンクロトロン光による光電子分光実験およびレーザーとの組み合わせによるダイナミクス研究を中心とするプロジェクト研究と利用実験と学内外の研究者に向けた利用支援を継続して推進した。

#### 2. 測定システムの状況

平面型アンジュレータからの高輝度光を用いる VLS ステーションと、偏向電磁石からの紫外・真空紫外光を利用する PGM ステーションの光電子分光エンドステーションは同様の構成である。いずれにおいても電子軌道偏向による 2 次元角度マッピング機能を持つ高エネルギー分解能型光電子エネルギー分析器 (MB Scientific 社製、A-1/Lens4) を備えて

おり、試料導入槽と試料準備槽を設置している。試料は 6 個までのストック機構を備えた試料導入槽から装置に導入され、ターボ分子ポンプでの排気開始後およそ 30 分で試料準備槽へ移動可能となる。試料導入槽へはグローブボックスを取付けることができ、不活性ガス雰囲気中で調製した試料を大気に晒すことなく測定槽へ搬送することもできる。試料準備槽には、試料加熱機構、イオンスパッタ銃、電子ビーム蒸着源、水晶振動子膜厚計、ガス導入用バリアブルリークバルブ、低速電子線回折(LEED)装置を備えており、試料表面の清浄化や表面処理、薄膜作製などが可能である。また、“その場で”作製することが必要な種々の原子層物質の試料準備を希望する外部ユーザーからの要望に応じて、ユーザー持ち込みの蒸着源を簡便に入れ替えることができるように、試料準備槽には局所的に大気解放し短時間のベーキングで超高真空の復旧ができる蒸着ポートを備えている。また、分子性試料の薄膜作製のためには、試料準備槽に接続できる専用の有機薄膜作製用真空槽を用意しており、真空蒸着可能な分子性薄膜試料の課題に使用されている。

光電子測定槽では、試料は循環型ヘリウム冷凍機の先端に固定される。光電子分析装置の電子レンズは広角度範囲モードの $\pm 18^\circ$ から高角度分解能モードの $\pm 3.5^\circ$ まで可変の 2 次元マッピング型であり、試料位置を変更することなく 2 次元でのバンド分散の決定が可能である。また、光電子測定槽においては、全電子収量法による吸収測定も可能である。マニピュレータについては、X, Y, Z, および $\theta$ の 4 軸をステップモータ駆動とすることにより、試料位置と試料角度を測定用 PC から設定し、多数の試料位置条件に対しての自動測定を行う。近年の更新では、試料の角度決め精度を向上させるための高剛性型の中空回転導入機(真空光学社製、iRS152)と低振動型

クライオスタットの導入、MCP 増幅部の寿命と計測効率を向上させるための感度特性と転送速度が向上した光電子分析装置の二次元検出器用カメラの導入、電子スピン回転器と VLEED 型スピン検出器を用いた3次元スピン分解システムの導入、広帯域波長可変のフェムト秒レーザーシステムの導入などを行った。



図1. VLS ステーションの光電子分析システム

PGMステーションの第1集光点には、種々の半導体材料の深紫外域での光学特性評価のための分光システムを設置している。真空槽は、試料導入槽と分析槽から構成されており、導入槽は6個までの試料ストック機構を備える。分析槽において、試料は約20 Kまで冷却可能な循環型低振動ヘリウム冷凍機の先端に固定され、透過法での吸収測定、可視-紫外蛍光測定を行う。蛍光測定では、真空中に配置したφ1.45 mm丸型の24芯バンドルファイバ端面より蛍光を取込み、大気側の0.25×6 mm 1列ライン型端面まで導く。回折格子は、150 l/mm (ブレース波長500 nm), 1200 l/mm (330 nm), 2400 l/mm (330 nm)の3種を用意している。

PGMステーションの第2集光点においては、25 eV以下などの低エネルギー領域でのARPES実験を中心に実験を行っており、光子エネルギー8-9 eVの範囲でMgF<sub>2</sub> 1/4波長板の利用により左右円偏光での円2色ARPES測定も可能である。

### 3. ビームライン利用状況

本学の重点領域研究としての「シンクロトン光応用研究」による教育研究活動に加え、2022年度から2028年度までの計画で、ミッション実現戦略分の事業として「九州地域シンクロトン光活用拠点における革新マテリアル研究と人材育成」を進めている。本事業では、シンクロトン光施設での軟エックス線領域の学術研究の実績とレーザーとの組合せによる先導的な研究実績や、継続してきた連携研究の体制を土台とし、ウルトラワイドギャップ半導体材料作製技術やシンクロトン光とレーザー光を活用した先端分析とDXを活用した高度解析を融合した研究に取り組んでおり、社会課題の解決に資する革新的な材料開発研究、地域の研究者の分野横断的な連携を促進する共同研究と利用支援、先導的分析技術の社会実装、アウトリーチ活動などの研究・教育・社会貢献での成果を循環させ、シンクロトン光利活用に関する九州地域の知的拠点としての活動を行う。これらの取り組みでは、次世代のナノスケール光・電子・スピンドバイス材料として期待される新規化合物半導体、薄膜・微粒子材料の作製技術を高度化し、その電子状態や光学特性等を明らかにするとともに、非平衡状態分析システムの高度化のために新規なコヒーレント計測技術の開発を行い、創エネルギーデバイスなどを評価できるシステムの高度化を進めている。さらに、学内外の研究者に向けたBL13利用実験の支援を継続して行っており、2024年度は学内他部局向け5件、学外向け17件の支援を実施した。これらの研究成果は佐賀大学シンクロトン光応用研究センターHP(<http://www.slc.saga-u.ac.jp/>)にて公表している。

佐賀大学シンクロトン光応用研究センター  
高橋和敏、東純平、今村真幸、山本勇、  
水津理恵、江口正徳、齊藤勝彦、郭其新

## 4 九州大学硬X線ビームライン (BL06 : 九州大学)

### 1. はじめに

九州大学ビームライン (九大BL) は、近年では、ユーザーの研究に合わせた試料環境制御の開発に力を入れており、テンダーX線でも利用できる昇温セル、また、湿度制御システムを実現してきた。2024年度は、X線計測の高感度化を目指して変調励起分光法の開発を進めた。また、放射光と電子顕微鏡の融合的な活用の取り組みを進めた。

### 2. 利用状況及び成果

2024年度のユーザー利用は、48件で99日間であった。その内、XAFS利用課題36件、SAXS利用課題11件、また、XRD利用が1件であった。ユーザー利用以外の時間は、新規研究利用への準備・高度化として利用された。

九大BLにおける実験結果を基にした研究成果では、査読付き学術論文数は、2024年に5報発表され、これまでの累計として115報となった。なお、これまでの累計として、学術会議等での招待講演51件、口頭発表244件、ポスター発表188件、11件の学会賞等の受賞となった。教育研究の成果として、博士論文9件、修士論文73件、学部卒業論文32件に九大BLにおける実験結果が使用された。

### 3. 変調励起XAFS (ME-XAFS) の開発

変調励起分光法をXAFSと組み合わせ、表面動態を高感度に抽出する変調励起XAFSの開発を前田 修孝准教授(九州大学 I<sup>2</sup>CNER)と進めた。[1] 透過XAFS用の*in-situ*昇温ガスセル(幕張理化学硝子製作所製)を用い、セルのガスインレット側に二種のガスを切り替えられる四方バルブ(VALCO製)を取り付けて実験システムを構築した。測定対象として、Ptナノ粒子担持アルミナ触媒によるメタン酸化反応を選択した。セル内にメタンと酸素を周期的に切り替え流通させ、その切り替えのタイミングに同期させながら連続的にXAFS測定を行った。ガス変調に同期したXAFSスペクトルの解析に成功し、反応中に酸化還元を繰り返すのは表面Pt原子のみで、バルクPtは金属状態を維持することが確認された。Pt担持量が低い試料ほど酸化されやすく、メタン酸化活性は低下し、金属Ptがメタン解離に有効であることを裏付けた。(図1) さらに、粒子サイズや温度による構造変化の可逆性を明らかにし、低担持量では酸化還元変化が顕著であることが示された。これにより、Pt酸化物の生成が活性低下に関与すること、また高温での粒子凝集が反応性に影響することが示された。変調励起XAFSは、従来の手法

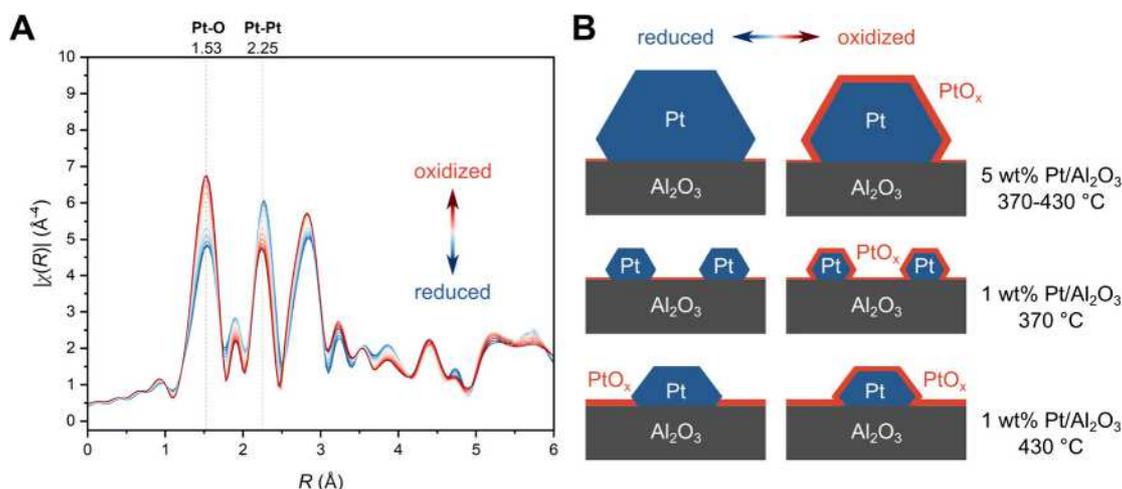


図1 変調励起XAFSによるEXAFSの解析結果 (参考文献[1]のFig.4より引用)

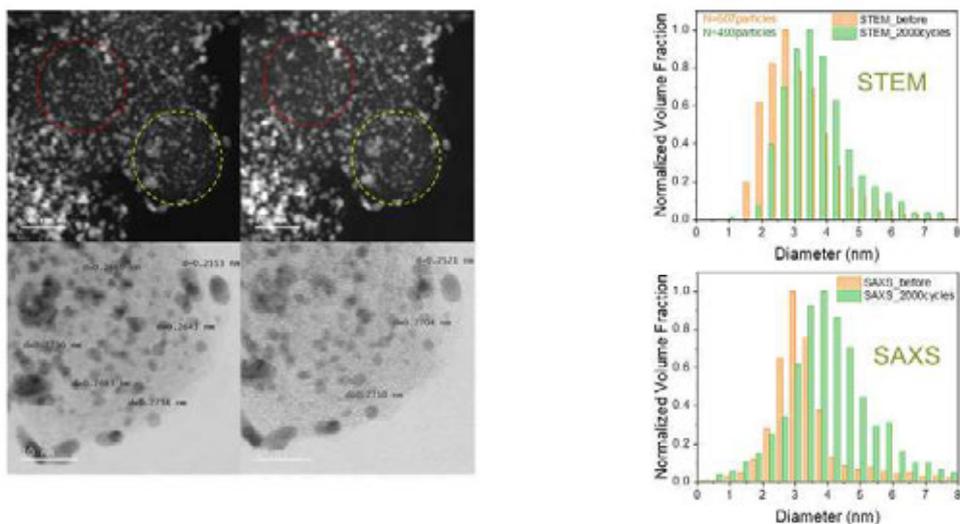


図2 (左) 電気化学反応前後での同一粒子のSTEM観察、(右) SAXSとSTEMによる粒径分布評価の比較

では捉えにくい表面特異的な動態を高いS/N比での抽出や速度論的な解析が可能であり、触媒設計における表面・バルク構造の理解を飛躍的に向上させることが期待される。また、ガスによる変調だけでなく、試料の各種条件による変調にも適用可能な応用範囲の広い手法である。

#### 4. 放射光と電子顕微鏡の相補利用

本学の超顕微研究解析センターと連携し、また、JASRI研究員との共同研究の下、放射光利用分析と電子顕微鏡観察の相補的な活用、また、融合的な解析方法の検討を進めている。固体高分子形燃料電池に用いられるPtナノ粒子触媒 (TEC10E50E) を対象として、電気化学反応前後についてSTEM観察、及びSAXS測定を行った。STEM観察においては、TEMグリッドを先端に固定できる作用電極を開発し、電気化学反応前後で同一粒子を観察した。(図2左) STEM観察では、粒径や凝集状態、格子定数を高い空間分解能で評価するとともに、画像解析により粒径分布を抽出した。SAXSでは、X線散乱像から空間平均的な粒径分布を抽出した。(図2右) 双方の結果とも電気化学反応後にPtナノ粒子の粒径の増加が確認されたが、SAXSでは、より大きな平均的な増加を示した。この差異は、統計範囲の違いが要因の一つと考えられるが、更に検証を進める予定である。また、XAFSでは、*in-situ*測定を行い電気化学反応によるPtの状態変化を明らかにした。放射光分析と電子顕微鏡観察は、それぞれの優位性に基づいて既に多く活用されているが、双方

の結果を精度良く結びつける新しい解析的なアプローチを開発できれば、化学状態や構造の変化と物性や反応性との相関、また、反応プロセスの本質的な解明に繋がる。今後、同一試料、同一条件で放射光分析と電子顕微鏡観察を行える装置の開発、また、新たな解析方法の開発を進める予定である。

#### 参考文献

[1] Abdullah J. Al Abdulghani, Yucheng Qian, Ken-ichi Shimizu, Takeharu Sugiyama,\* Nobutaka Maeda,\* “Surface Dynamics and Size Sensitivity of Pt-Catalyzed Methane Oxidation Probed by Modulation-Excitation X-ray Absorption Spectroscopy”, *J. Phys. Chem. Lett.* 16(18), 4474–4479 (2025).

九州大学シンクロトロン光利用研究センター  
 杉山武晴・石岡寿雄・吉岡聡・前田修孝  
 ・原田明・山内美穂・永長久寛  
 ・徳永信 (センター長)

## 5 住友電工ビームライン (BL16・BL17：住友電気工業株式会社)

### 1. はじめに

住友電気工業株式会社（以下、当社）では、原子レベルの分析や製造プロセスのその場評価など、放射光を用いた最先端の材料分析を光ファイバや通信用デバイス、各種電線、切削工具など当社製品の信頼性や性能向上、新製品の開発促進に活用している。これらを日常的に利用することを目的として、佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターにビームライン（以下、BL）の建設を進め、2016年11月より、本格的に活用を開始した<sup>[1]</sup>。

当社製品は多様に展開しており、軽元素から重元素まで多くの元素が使用されている。このため、住友電工ビームラインでは、Liより重い全元素のX線吸収分光（XAFS）測定を実施可能とするため、ウィグラを光源とするBL16（硬X線BL）と偏向電磁石を光

源とするBL17（軟X線BL）の二本のBLで構成し、50 eV～35 keVの広い帯域をカバーしている。ビームラインの構成を図1に、基本性能を表1に示す。

2020年1月に締結した設置契約が2025年1月で満了するため、2024年7月に実績報告書と次期計画書を提出し、同年11月の評価委員会で再契約のご承認を頂き、2025年1月に再契約を締結し、2030年3月まで利用を継続することとなった。

### 2. ビームライン利用状況

図2に2024年度のBL16/17の利用分野別、利用手法別の利用状況を示す。

分野別：当社および当社グループの業態や製品構成から、稼働当初より、素材・原料が60%～70%、通信用途を主とした電子デバイスが15%～20%、エ

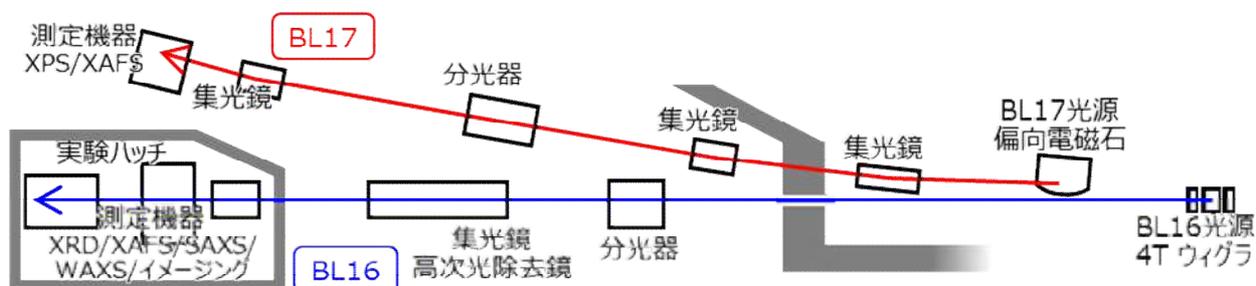


図1 住友電工ビームラインの構成

表1 住友電工ビームラインの基本性能

	BL16:硬X線ビームライン	BL17:軟X線ビームライン
光源	4T 超伝導ウィグラ	偏向電磁石
分光器	二結晶分光器: Si111/Si311/InSb111	可変偏角型回折格子分光器: 400/800/1400/2000 Lines/mm
エネルギー範囲	2 keV ~ 35 keV	50 eV ~ 2000 eV
光子数 (photons/s)	$2.7 \times 10^{10}$ @7 keV $> 10^{10}$ @3.2~11 keV	$2.0 \times 10^{10}$ @400 eV $> 10^9$ @50~1400 eV
エネルギー分解能	$E/\Delta E > 5000$ @10 keV	$E/\Delta E > 3480$ @400 eV
ビームサイズ	$1.0 \text{ mm}^H \times 0.2 \text{ mm}^V$ @回折計 $1.7 \text{ mm}^H \times 0.5 \text{ mm}^V$ @XAFS $0.015 \text{ mm}^{\square}$ ポリキャピラリ使用	$0.5 \text{ mm}^H \times 0.05 \text{ mm}^V$

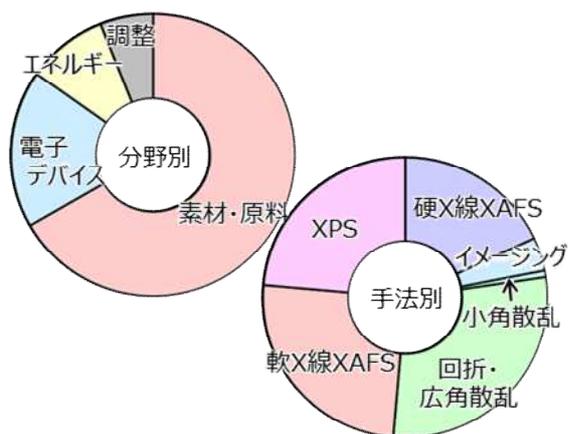


図2 住友電工BLの2024年度の利用状況

エネルギーと環境・資源をあわせて 5%~10%、調整が 10%~15%という利用状況に大きな変化はない。

手法別：BL16 は回折・広角散乱マッピングが増えており、2022 年度から実戦に投入したイメージングシステムの利用も進んでいる。BL17 では軽元素や極表面の化学結合状態分析を目的とした XAFS の利用が増えてきている。

### 3. ビームライン整備

2024 年度には、大きな改良、改造等は実施していないが、これまでに導入した機器を活用した分析手法の整備を継続的に行なっており、2 件を紹介する。

#### 3-1. XRD/XRF 同時計測システム

高分子は軽量かつ高い絶縁性を持つ優れた材料であり、当社でも電線や光ファイバの被覆樹脂、コネクタ等、幅広い製品で活用している。多くの製品では、樹脂を融かして金型に流し込んで成型しており、製造プロセスにより、製品内に結晶化度、結晶配向、着色剤な難燃剤のような添加物濃度などが分布を持ち、強度や熱膨張率等の製品特性の分布に繋がる。品質のバラツキの低減、もしくは分布を活かした高機能化を実現するためには、分布評価技術が必要である。そこで、X線の回折と蛍光を用いて高分子材料中の分布可視化技術を構築した<sup>[2,3,4]</sup>。

BL16での実験配置を図3に示す。X線は手前から照射される。透過X線はダイレクトビームストッパーに埋め込んだフォトダイオードで強度を測定、回折は2次元検出器PILATUS 100Kで各点の回折像を取得、蛍光X線は7素子SDDを用いて各点の蛍光スペクトルを測定している。

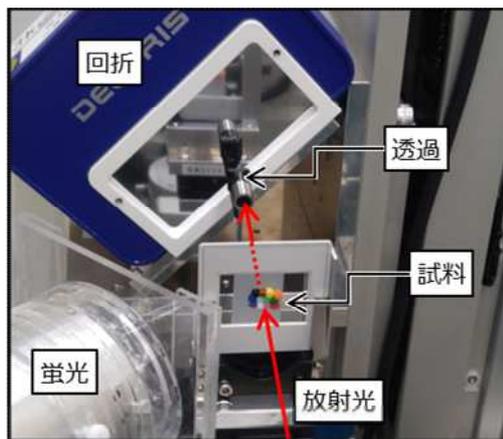


図3 蛍光/回折同時測定

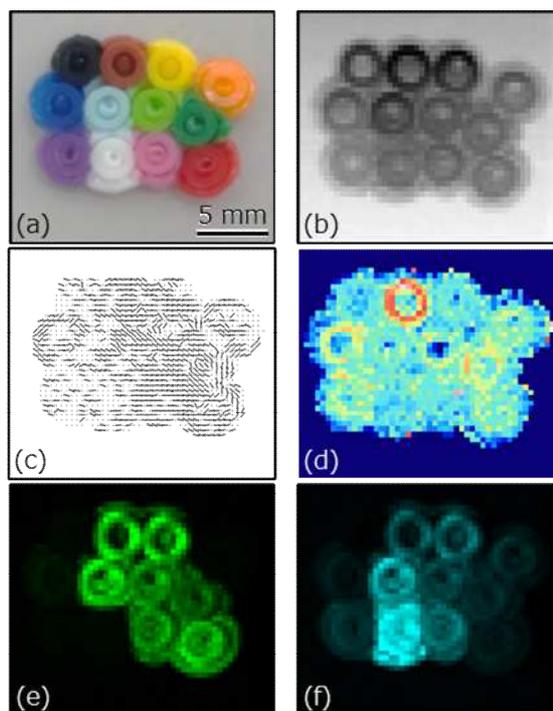


図4 測定例：(a)測定試料、(b)透過強度、(c)分子鎖配向、(d)結晶化度、(e)Ca分布、(f)Ti分布

測定例を図4に示す。試料は図4(a)に示すもので、ポリエチレン製の2.6 mm φ × 2.8 mm<sup>h</sup>の色違いの円筒12個を加熱して一体化させたものである。X線は15 keV、0.3 mm角に成形されたものであり、試料を走査して横61点×縦51点のマッピング測定を実施した。

図4(b)に透過強度分布を示すが、上側はあまり潰れず試料が厚いと考えられる。(c)は分子鎖配向であり、円筒面に沿った配向が一部で見られている。(d)は結晶化度の分布であり、結晶化度が異なることがわかる。

図4(e)(f)は蛍光で得られた情報であり、それぞれCa、Tiの分布であり、着色剤の違いを反映している。

この測定には約60分を要し、解析は独自のスクリプトの開発により30分以内の短時間で実行している。こ

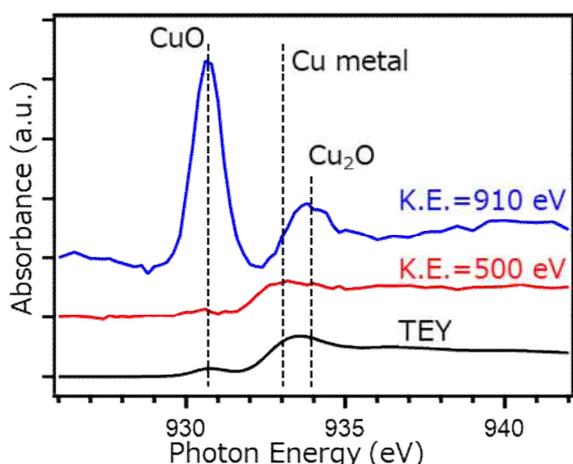


図5 オージェ収量法および全電子収量法による真鍮表面の銅の化学状態評価

のように、短時間で高分子材料の組成と結晶性の分布を可視化することに成功しており、当社製品のタイムリーな評価に活用を進めている。

### 3-2. オージェ電子を用いた極表面 XAFS 測定

BL17 では 2023 年度に光電子分光器の検出系のアップグレードにより高感度化を達成するとともに、外部からの制御が可能なソフトウェアへの更新も実施した<sup>6)</sup>。これにより、輸送部 (X 線分光器) と光電子分光器を連携した制御が可能となった。この機能を利用して、特定の運動エネルギーの電子を選択して信号とする XAFS 測定 (AEY-XAFS) を立ち上げた<sup>6)</sup>。

図5に真鍮表面の銅の化学状態評価を実施した結果を示す。全電子収量法 (TEY) では表面から数十 nm の情報が得られており、931 eV 付近の CuO、934 eV 付近の Cu<sub>2</sub>O に加え、933 eV 付近に金属 Cu が見られている。一方、深さを制御した測定が可能な AEY-XAFS で、運動エネルギー (K.E.) を 910 eV、パスエネルギーを 50 eV とした表面敏感とした測定では最表面に存在する CuO が検出され、K.E. = 500 eV とした測定では、TEY と似た結果が得られている。

このように、新たに表面敏感な XAFS 測定を可能としており、特性が表面性状に依存する材料の分析に活用していく。

## 4. 応用事例：硬 X 線分析と軟 X 線分析を組み合わせた半導体材料のバンドアライメント評価<sup>7)</sup>

通信用デバイス開発の一環として行った、GaN 系

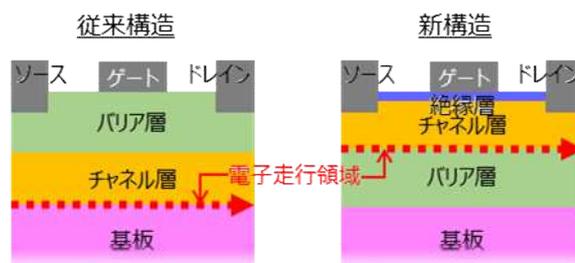


図6 GaN HEMTの構造 (模式図)

高電子移動度トランジスタ (GaN HEMT) のバンドアライメント測定への応用事例を紹介する。

GaN HEMT を用いたデバイスは、高効率・高周波動作の無線通信を可能にすることで、高速・大容量化する情報化社会を支えるキーデバイスである。当社は携帯電話基地局や通信衛星などに向けた、数 GHz 以上の広い帯域に対応する製品群を製造している<sup>8)</sup>。

### 4-1. HEMT 構造とバンドアライメント

図6に GaN HEMT の模式構造を示す。新型構造では電子走行領域をゲート電極に近づけることで、高周波動作を可能にする。一方で絶縁性の向上、ゲートリーク低減のために絶縁層を入れる必要がある。この絶縁層とチャネル層のバンド同士の相対的なエネルギー準位の関係がバンドアライメントと呼ばれるもので、デバイスの特性を決める重要な要素の1つである。そこで、硬 X 線により主に内部のチャネル層を、軟 X 線により表面の絶縁層を評価し、バンドアライメントを求めた。

### 4-2. 実験方法

試料は半絶縁の SiC を基板とし、キャリア濃度  $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  の n 型 GaN エピ (チャネル層) の表面に厚さ 10 nm の SiN<sub>x</sub> の絶縁層を作ったものである。

硬 X 線評価は SPring-8 の BL09XU 及び BL16XU で、軟 X 線光電子分光および XAFS 測定は SAGA-LS BL17 で実施した。

準位の精密な評価には、帯電シフトの抑制が重要である。実験では銀ペーストにより試料台との導通処理を施した。更に、SAGA-LS では X 線強度の減衰により、帯電シフト量が経時的に変化するため、一定の積算回数毎に C1s を測定し帯電シフト補正を行うことで、帯電シフトの影響を 0.1 eV 以下に抑えた。

### 4-3.結果

SPring-8 で実施した GaN 層の評価の詳細は略する。軟 X 線光電子分光から SiN<sub>x</sub> の Si2s と SiN<sub>x</sub> の価電子帯の頂上との準位差を、X 線吸収 (Si L<sub>1</sub> 端) から伝導帯の底までの準位差を測定することができる<sup>9)</sup>。これらの結果を図 7 に示す。横軸はエネルギーで C1s が 284.6 eV となるよう原点を決めている。SiN<sub>x</sub> のバンドギャップは 5.55 eV で、設計意図の Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> のバンドギャップ 5.3 eV に 凡そ一致した<sup>9)</sup>。絶縁膜の Si2s の準位を硬 X 線光電子分光の測定値に置き換えた結果を図 8 に示す。

それぞれの層の価電子帯間の差、伝導帯の差は  $\Delta E_v = 1.42 \text{ eV}$ 、 $\Delta E_c = 0.68 \text{ eV}$  となる。今回得られた界面のバンドの相対関係は、別途、評価した界面リーク電流などの電気的特性の観点からも妥当なものと考えられる。

以上のように、SiN<sub>x</sub>/GaN 系のバンドアライメント測定の手法を確立し、新規デバイスの設計、プロセス開発に活用している。

### 5. まとめ

2024年度の住友電工BLの活動概要を報告した。

当社および当社グループにおいて、放射光を利用した原子レベルの材料・デバイス解析、その場測定などの最先端分析はものづくりを進めるうえで必須のアイテムであり、今後も施設の皆様をはじめとした多くの方のご支援、ご協力をいただいで、高度化と安定運用を進めていきたい。

### 参考文献

- [1] 山口浩司、飯原順次、上村重明、斎藤吉広、SEIテクニカルレビュー, **192**, 143 (2018).
- [2] 徳田一弥、第 36 回放射光学会年会 (2023、草津)
- [3] 徳田一弥、第17回九州シンクロトロン光研究センター研究成果報告会 (2023、佐賀)
- [4] 徳田一弥、第 59 回 X 線分析討論会 (2023、東京)
- [5] SAGA-LS 年報 2023
- [6] 飯原順次、徳田一弥、山口浩司、後藤和宏、第 38 回放射光学会(2024、筑波)
- [7] 井崎学、斎藤吉広、第 21 回 SPring-8 産業利用報

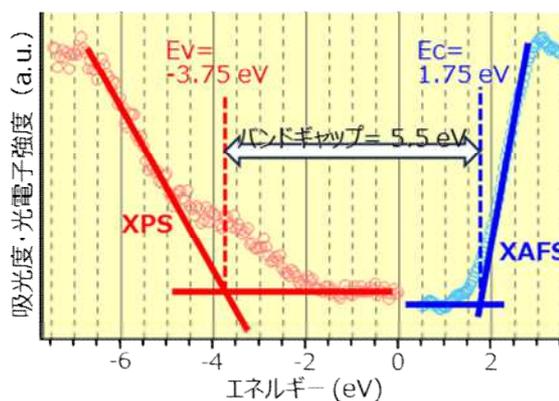


図7 軟X線分析の結果



図8 バンドアライメント測定結果

告会(2024、東京)

- [8] 牧山剛三、吉田成輝、中田健、SEIテクニカルレビュー, **203**, 8 (2023).
- [9] S. Toyoda, et al., Appl. Phys. Lett. **87** (2005).

住友電気工業株式会社  
山口 浩司

## IV 研究開発

### 1. はじめに

研究センターの2024年度の研究開発について、報告する。研究開発は、光源加速器及びビームライン等の高度化並びに新規実験技術開発等を目的とし、研究センターの試験研究費及び国の科学研究費等に基づいて実施した。以下に、その概略を述べる。

### 2. 研究開発の概略

#### 2-1 試験研究費による研究

2024年度実施された研究は、表1のとおりである。

表1 2024年度に実施された研究

課題名	代表者
蓄積リング主要電磁石電源更新に係わる制御システムの開発	加速器グループ 岩崎能尊
相対論的電子ビームとシリコン単結晶薄膜におけるレインボー散乱の初観測	加速器グループ 高林雄一
原子蛍光偏光計の開発II	加速器グループ 金安達夫
入射ビームの画像認識システムの構築	加速器グループ 竹田晴信
SAXS測定及びデータ処理	ビームライングループ 廣沢一郎
デュアルエネルギーCT同時計測系の検討	ビームライングループ 米山明男
マイクロCTの高精度化に関する研究	ビームライングループ 米山明男
高感度・高S/N軟X線吸収分光システムの開発	ビームライングループ 小林英一
薄膜デバイス試料を対象とした転換電子収量法XAFS計測技術の高度化検討	ビームライングループ 瀬戸山寛之

植物の放射光変異のゲノム解析の試みII	ビームライングループ 石地耕太郎
X線回折法によるMFA評価装置の構築	ビームライングループ 馬込栄輔

#### 2-2 科学研究費助成事業による研究

研究センターは、2006年度から科学研究費補助金取扱規程による学術研究機関の指定を受けており、研究員は科学研究費の応募が可能である。

2024年度の実施状況は表2のとおりである。

表2 2024年度実施状況一覧

期間	種目	課題名	代表者
2022～2024年度	基盤研究(B)	軟X線超高速光電子分光法による内殻電子ダイナミクスの実時間観測	金安達夫
2024～2026年度	基盤研究(C)	テラヘルツ遷移放射が運ぶ軌道角運動量の測定	高林雄一
2024～2026年度	基盤研究(C)	軟X線吸収分光法を用いた水素雰囲気下での水素吸蔵合金表面の研究	小林英一

#### 2-3. 外部機関との共同研究

2024年度は大学・企業・公設試験研究機関等と共同研究契約に基づく、研究課題を16件実施し、産学官連携による技術の高度化を図った。

特に県内の試験研究機関等との地域課題解決に向けて共同研究も積極的に行った。

**【主な事例】**

◇シンクロトロン光を用いた佐賀海苔の品質とその評価に関する研究

・共同研究先 佐賀県有明水産振興センター

◇画像解析による牛胚及び精子の凍結手法評価技術の検討

・共同研究先 佐賀県畜産試験場

## V 研究会、講習会

### 1. 研究会

#### 1-1 第 18 回九州シンクロトロン光研究センター研究 成果報告会

『放射光でものづくり SAGA をイノベーション』  
と題して、研究成果の報告会を実施した。

本報告会は、研究センターの概況報告、特別  
講演(1 件)、企画講演 (8 件) のプログラムで開  
催した。ポスター発表は 18 件であった。

- ・開催日：2024 年 8 月 6 日
- ・開催地：マリターレ創世 (佐賀市)  
※オンラインとのハイブリッド開催
- ・主 催：研究センター
- ・参加者：96 名



### 2. 講習会

#### 2-1 SAGA-LS 夏の学校 (熊本大学の放射光実習)

熊本大学と連携し、主に学部生を対象とした講習  
会を実施し、シンクロトロン光を用いた分析手法の  
基礎講義や SAGA-LS ビームラインでの実習を行った。

- ・開催日：2024 年 8 月 26 日～27 日
- ・開催地：研究センター
- ・主 催：熊本大学
- ・共 催：研究センター
- ・参加者：9 名

## VI 広報、人材育成

### 1. 広報

年に1度の施設の一般公開の開催や施設見学の随時受入れなど、研究センターの活動や研究成果等の広報に努めた。

#### 1-1 一般公開

研究センターを地域住民や県民に広く知ってもらうため、施設の一般公開を行い、実験ホールの見学ツアーや工作体験、地元の中学生の研究発表等を行った。

- ・開催日：2024年9月28日
- ・参加者：198名

#### 1-2 施設見学及び学校研修の受入れ

年間を通じて、専門の研究者から一般の方まで広範な分野から見学者を受け入れ、研究センターの紹介を行っている。また、中学校や高等学校及び大学等からの要請により学校研修の受入れも行っており、科学への理解を深めてもらうことにも努めている。

- ・見学者数：987名

#### 1-3 施設紹介

研究センターの装置や設備の概要については、学会や展示会等で広報を行っている。

#### 1-4 ものすごフェスタへの出展

佐賀県主催の佐賀のものづくりをテーマにしたイベント「SAGA ものすごフェスタ 11」に出展した。子どもたちに科学への興味をもってもらうため、ガウス加速器の展示やくるくるモーター作り等の科学体験講座を行った。

- ・開催日：2025年8月23日(土)～24日(日)
- ・場 所：SAGA アリーナ
- ・参加者：269名

### 2. 人材育成

佐賀県立香楠中学校2年生（1名）を職場体験として受け入れ、利用企画課の業務補助を行ってもらった。

また、研究センターの研究員が講師となり、九州大学大学院にて特別講義「シンクロトン光概論」を行った。

## Ⅶ 委員会

### 1. 委員会の開催

#### 1-1 諮問委員会

開催なし。

#### 1-2 他機関ビームライン評価委員会

第1回

- ・期日 2024年11月5日
- ・場所 九州シンクロトロン光研究センター
- ・議題 他機関（住友電気工業株式会社）ビームラインの評価
- ・結果 実績報告及び次期計画を承認

### 2. 委員会委員

#### 2-1 他機関ビームライン評価委員会

第1回

○高原 淳

九州大学ネガティブエミッションテクノロジー研究センター 特任教授

○雨宮 健太

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授

○長井 康貴

株式会社豊田中央研究所 エマージングエレクトロニクス研究部門 部門長

○田中 徹

佐賀大学 理工学部 教授

## VIII 安全管理

### 1. はじめに

施設、利用者及び職員に対する安全管理については、安全管理室が担っており、以下にその詳細を述べる。

### 2. 放射線の安全管理

放射線障害予防規程に規定する放射線管理区域の放射線管理業務を行った。

#### 2-1 許認可申請及び届出

2023年10月1日に施行された法改正（放射線の量等の測定の信頼性確保のための放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則の一部を改正する規則）に伴い、2022年度より審議を行っていた予防規程を2023年10月1日付けで改定し、原子力規制委員会へ提出した。当該委員会からは帳簿の記帳について記載するよう所見があったため、2025年2月1日付けで適切に改定を行い、原子力規制委員会へ提出した。

#### 2-2 放射線モニタリング等

蓄積リング及び各ビームライン等、各評価点において、年2回の定期線量測定を行った。また、モニタリングポスト等による定常監視を実施した。

いずれも、法令の基準内であった。

#### 2-3 教育訓練実施状況

放射線業務従事者の登録に必要な教育訓練を次のとおり実施した。

##### (1) 実施日：2024年5月27日

講師：岩崎能尊、石地耕太郎（研究センター 放射線取扱主任者）

受講者：16名

##### (2) 実施日：2024年7月29日

講師：岩崎能尊（研究センター 放射線取扱主任者）  
立石雄一（業務委託者 放射線取扱主任者）

受講者：13名

##### (3) 実施日：2025年1月24日

講師：岩崎能尊、瀬戸山寛之（研究センター 放射線取扱主任者）

受講者：10名

### 2-4 放射線業務従事者管理及び入退管理

研究センターで放射線業務従事者として登録し、個人被ばく線量計により個人被ばく管理を行った。表1に放射線業務従事者登録者数を示す。

表1 2024年度放射線業務従事者登録数

	放射線業務従事者登録数 (名)
研究センター職員	24
外来者	430
計	454

個人被ばく線量計の最小検出限界は、X線、ガンマ線に対して0.1 mSv/月である。全ての業務従事者について被ばく線量は検出限界未満であった。

### 3. 化学薬品等の安全管理

化学薬品管理規程及び生物試料安全管理規程に基づき、高圧ガス等を含む化学薬品等を研究センター内に持ち込む際の安全審査を行った。

また、ビームライン利用者の持込試料等についての安全審査も行った。

### 4. 環境保全への取組み

実験廃液等の産業廃棄物については、業者に収集運搬及び処分を委託し、処理を行った。

### 5. 緊急時対応

緊急時連絡先等を利用の手引き及び安全の手引き（ウェブサイト）等に掲載しているほか、第1出入口及び実験ホール内に掲示している。

## IX 施設管理

2024年度の施設管理の状況について、報告する。

### 1. 光熱水管理

#### 1-1 電気

研究センターの電力は、九州電力株式会社から供給されており、受電電圧は6,600Vである。

表1に電気使用量を、図1に月別の比較を示す。

表1 電気使用量(単位:kWh)

	2023年度	2024年度
電力使用量	4,817,483	4,511,365



図1 月別電気使用量(単位:kWh)

※1月電気使用量減の理由:光源機器の大規模改修により1月をシャットダウン期間としたため。

#### 1-2 水

研究センターの水道水は、鳥栖市から供給されている上水道水で、飲料水、マシンの冷却設備、空調設備等に使用している。

表2に水道水の使用量を、図2に月別の比較を示す。

表2 水道水使用量(単位:m³)

	2023年度	2024年度
水道水使用量	6,529	6,724

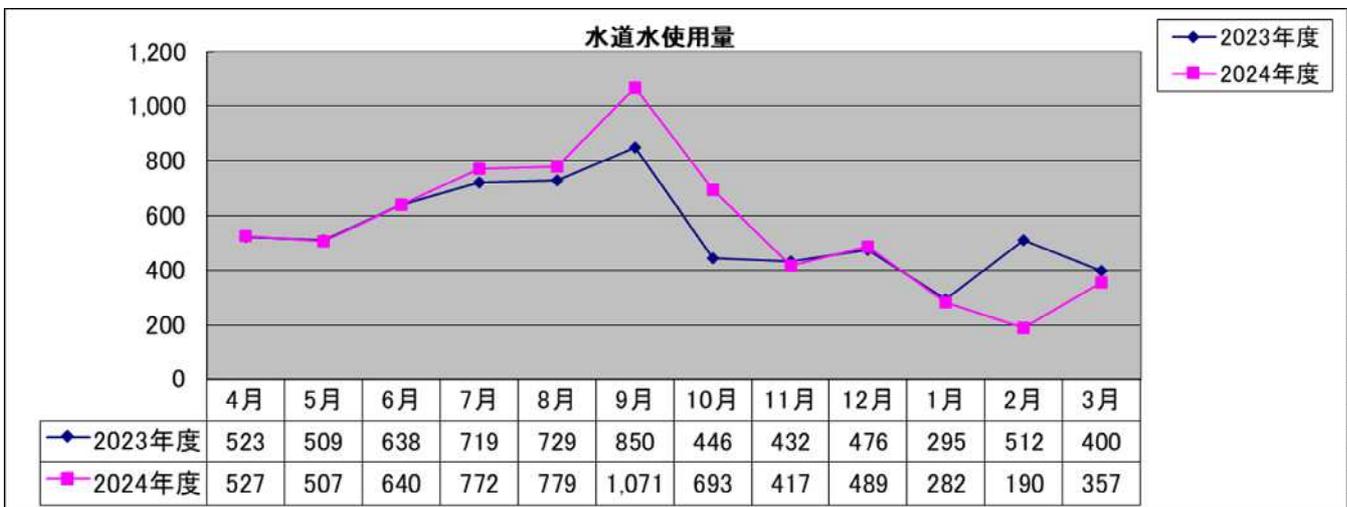


図2 月別水道水使用量(単位:m³)

※2月水道水使用量減の理由:光源機器の大規模改修により1月をシャットダウン期間としたため。(計測期間のずれにより2月に反映)

### 1-3 ガス

研究センターの都市ガスは、鳥栖ガス株式会社から供給されており、実験ホール空調設備の熱源として使用している。

表3に都市ガスの使用量を、図3に月別の比較を示す。

表3 都市ガス使用量 (単位 : m<sup>3</sup>)

	2023年度	2024年度
ガス使用量	81,563	86,456



図3 月別都市ガス使用量(単位 : m<sup>3</sup>)

## X 出版物等

### 1. 利用報告書

利用報告書は成果公開を前提とする利用区分（県内産業利用、県外重点分野利用及びトライアル利用）の利用者が実験終了後 60 日以内に研究センターへ行う報告である。以下にそのタイトル、所属及び氏名を示す。利用報告書は研究センターのウェブサイトに掲載している。

成果非公開としている一般利用は 90 件、包括利用は 1 件であった。

#### 産業利用

	実験責任者	所属	実験課題名
1	嘉数 誠	佐賀大学大学院理工学研究科	シンクロトンX線トポグラフィー観察によるHVPE成長 $\beta$ 型酸化ガリウムのマクロクラックの生成機構の解明
2	嘉数 誠	佐賀大学 大学院理工学研究科	シンクロトンX線トポグラフィー観察によるHVPE成長 $\beta$ 型酸化ガリウムの成長ファセットとボイド欠陥の生成機構の解明
3	権田 幸祐	東北大学 大学院医学系研究科	血管病変を含むヒト疾患モデルマウス組織のマイクロCTイメージング
4	嘉数 誠	佐賀大学 大学院理工学研究科	傾斜基板を使ったCVD成長ヘテロエピタキシャルダイヤモンドのシンクロトンX線トポグラフィー観察
5	中原 啓太	佐賀県有明水産振興センター	放射光マイクロ CT を用いた 佐賀海苔の「美味しさ」の可視化
6	徳留 嘉寛	佐賀大学	エミューオイル適用時における皮膚角層構造変化の解析
7	大坪 亜希子	佐賀県農業試験研究センター	シンクロトン光を活用した花き類の県オリジナル品種の育成
8	嘉数 誠	佐賀大学 大学院理工学研究科	シンクロトンX線トポグラフィー観察によるHVPE成長 $\beta$ 型酸化ガリウムのアニール中の転位運動の解明
9	権田 幸祐	東北大学 大学院医学系研究科	血管病変を含むヒト疾患モデルマウス組織のマイクロCTイメージング
10	徳留 靖明	大阪公立大学	NiAl-Cl系層状複水酸化物ナノ結晶から成る材料のX線マイクロCT向け造影剤としての利用可能性評価
11	権田 幸祐	東北大学 大学院医学系研究科	血管病変を含むヒト疾患モデルマウス組織のマイクロCTイメージング
12	江口 正徳	佐賀大学 大学院理工学研究科	HVPE成長 $\beta$ 型酸化ガリウム厚膜(15 $\mu$ m)のシンクロトンX線トポグラフィー観察
13	権田 幸祐	東北大学 大学院医学系研究科	神経変性疾患を有すモデルマウス組織の蛍光X線イメージング
14	中原 啓太	佐賀県有明水産振興センター	放射光マイクロCTを用いた佐賀海苔の「美味しさ」の可視化
15	権田 幸祐	東北大学 大学院医学系研究科	血管病変を含むヒト疾患モデルマウス組織のマイクロCTイメージング
16	中里 一郎	長崎県農林技術開発センター 果樹・茶研究部門	シンクロトン光照射によるカンキツの突然変異個体作出手法の開発
17	江口 正徳	佐賀大学 シンクロトン光研究センター	高速成長(>12 $\mu$ m/h)のHVPE成長 $\beta$ 型酸化ガリウムのシンクロトンX線トポグラフィー観察
18	高橋 和敏	佐賀大学 シンクロトン光応用研究センター	マルチバンドギャップ半導体を用いた中間バンド型太陽電池のためのバンド整列の特性評価
19	田端 正明	佐賀大学	中国景德鎮磁器と有田焼の胎土組成の比較からみた有田における磁器製作技術の発展

## 重点分野利用(半導体関連分野)

	実験責任者	所属	実験課題名
1	関口 淳	リソテックジャパン株式会社 ナノサイエンス研究所	EUVリソグラフィー用レジストの感度評価とラフネス評価(2)
2	大谷 亮	九州大学 理学研究院化学部門	新規プルシアンブルー類縁体の合成法開拓
3	大谷 亮	九州大学 理学研究院化学部門	新規プルシアンブルー類縁体の合成法開拓
4	神永 健一	東北大学 大学院工学研究科応用化学専攻	無機液晶デバイス実現に向けたGI-XRDによる前駆体層状酸化ポロフェンの結晶構造解析と液晶相転移挙動の検証
5	大谷 亮	九州大学大学院 理学研究院化学部門	新規プルシアンブルー類縁体の合成法開拓
6	大谷 亮	九州大学大学院 理学研究院化学部門	融解するシアノ架橋配位高分子の合成と融解の起源の解明
7	関口 淳	リソテックジャパン(株) ナノサイエンス研究所	EUVリソグラフィー用レジストの感度評価とラフネス評価(3)

## 重点分野利用(エネルギー関連分野)

	実験責任者	所属	実験課題名
1	吉井 文晴	東北大学 多元物質科学研究所	3次元グラフェンを基盤とした空気電池・キャパシタ中のリチウム・酸素・ホウ素・窒素のXPS・軟X線XAS解析
2	鈴木 秀俊	宮崎大学工学部 応用物理工学プログラム担当	逆格子マッピング測定を用いた、格子不整合InGaAs太陽電池の転位滑り面の面内分布異方性の観察
3	朝倉 大輔	産業技術総合研究所	X線吸収・共鳴光電子分光による蓄電池材料の電子状態解析2
4	高松 大郊	株式会社日立製作所 研究開発グループ	走査型X線蛍光顕微鏡によるCO <sub>2</sub> 電解用カソード触媒のオペランド観察
5	パントン パチヤ	福岡大学 研究推進部	プラスチックの長期寿命性ならびに高度な資源循環を実現できる革新的成形プロセスに関する基礎研究
6	猪石 篤	九州大学 先端物質化学研究所	ハライド系固体電解質のX線吸収分光による構造解析
7	吉本 則之	岩手大学 理工学部	X線イメージングによる蓄熱材料ハスクレイの組織観察
8	渡部 創	日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所	BWR一次冷却水中の除染対象元素とイオン交換樹脂との相互作用に関する研究
9	神永 健一	東北大学 大学院工学研究科応用化学専攻	XAFS測定を用いたリチウムイオン二次電池正極材LaドープLiCoO <sub>2</sub> エピタキシャル薄膜の置換サイトの検証
10	吉井 文晴	東北大学 多元物質科学研究所	3次元グラフェンを用いたNaイオン電池・Li空気電池・電気二重層キャパシタ電極の軟X線XAS解析
11	吉井 文晴	東北大学 多元物質科学研究所	3次元グラフェンを用いたNaイオン電池・Li空気電池・電気二重層キャパシタ電極の軟X線XAS解析
12	鈴木 秀俊	宮崎大学 工学部 応用物理工学プログラム担当	X線逆格子マッピング法を用いた、GaAsN/GaAs超格子薄膜中のN分布評価
13	鈴木 秀俊	宮崎大学 工学部 応用物理工学プログラム担当	X線逆格子マッピング法を用いた、GaAsN/GaAs超格子薄膜中のN分布評価
14	檜垣 勇次	大分大学 理工学部理工学科	高耐久性燃料電池セパレータ用新規多元オレフィン系共重合自己修復性樹脂の小角X線散乱測定による分子鎖凝集構造解析
15	高松 大郊	(株)日立製作所研究開発グループ	走査型X線蛍光顕微鏡によるCO <sub>2</sub> 電解用カソード触媒のオペランド観察(2)
16	光田 暁弘	九州大学 大学院理学研究院物理学部門	XAFS測定による価数揺動ユーロピウム化合物の電子状態研究
17	渡部 創	日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所	BWR一次冷却水中の除染対象元素とイオン交換樹脂との相互作用に関する研究
18	本橋 宏大	大阪公立大学 大学院工学研究科	粉末X線回折法による塩化物固体電解質の構造解析
19	北野 翔	北海道大学 工学研究院	高効率水電解のためのRhM合金ナノシート(M=Fe, Ni, Cu)の特性分析
20	渡部 創	日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所	BWR一次冷却水中の除染対象元素とイオン交換樹脂との相互作用に関する研究
21	吉井 文晴	東北大学 多元物質科学研究所	NaおよびLiイオン電池用の炭素アノードおよび酸化物カソードの軟X線XAS解析

トライアル利用

	実験責任者	所属	実験課題名
1	ソン ジュンテ	九州大学工学研究院応用化学部門	Amorphous Bi/Zr化合物のXAFS分析による構造解析
2	禪野 光	熊本大学	双安定状態を有する脱溶媒錯体の構造解析
3	神永 健一	東北大学 大学院工学研究科応用化学専攻	XAFS測定を用いたリチウムイオン二次電池正極材LaドーピングLiCoO <sub>2</sub> エピタキシャル薄膜の置換サイトの検証
4	後藤 知代	大阪大学 高等共創研究院・産業科学研究所	XAFSを用いた無機イオン交換体の放射性金属イオン除去機構の解明
5	原 武嗣	有明工業高等専門学校	同軸アークプラズマ蒸着法を用いて金属基板上に直接形成した電気化学電極用カーボン膜の構造解析
6	和知 慶樹	東京科学大学 総合研究院 フロンティア材料研究所	高原子価鉄を含むペロブスカイト酸化物触媒におけるリガンドホール状態の解明
7	松原 裕拓	ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング(株)熊本TEC プロセス技術部	X線回折法によるTiN薄膜の結晶性評価

## 2. 発表論文

### 2-1 利用者

1. Satoshi Takeya, Sanehiro Muromachi, and Akio Yoneyama, "X-ray Imaging of Clathrate Hydrates as Gas Storage Materials: Absorption Contrast of Low-Density and Low-Absorption Materials Using Energy-Dependent X-ray Computed Tomography", *Energy Fuels*, **36**, 10659-10666 (2022).
2. Satoshi Takeya, Akihiro Hachikubo, Hirotohi Sakagami, Hirotsugu Minami, Satoshi Yamashita, Masayoshi Takahashi, Keiichi Hirano, Kazuyuki Hyodo, and Akio Yoneyama, "Microstructural Study on Dissolution of Natural Methane Hydrate by Multicontrast and Multiscale X-ray Computed Tomography", *J. Phys. Chem. C*, **127**, 23973-23979 (2023).
3. Meku Maruyama, Satoshi Takeya, Akio Yoneyama, Tomoaki Ishikawa, Takuma Misawa, Shun Nagayama, Saman Alavi, Ryo Ohmura, "Characterization of clathrate hydrates with CO<sub>2</sub> + 1-propanol or 2-propanol: Implications for flow assurance, refrigeration, carbon capture, and skincare applications", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **131**, 305-314 (2023).
4. Satoshi Takeya, Sanehiro Muromachi, Michihiro Muraoka, Kiyofumi Suzuki, Norio Tenma, Keiichi Hirano, Kazuyuki Hyodo, Masahide Kawamoto, Akio Yoneyama, "Microstructural investigation of morphology and kinetics of methane hydrate in the presence of tetrabutylammonium bromide: Insights for preservation and inhibition", *J. Chem. Phys.*, **160**, 154704 (2024).
5. Anna Nagai, Ryosuke So, Kenji Shida, Tohru S. Suzuki, Motohide Matsuda, "Orientation of Co<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup> ions introduced L-type zeolite observed with a magnetic field", *Microporous and Mesoporous Materials*, **381**, 113324, (2025).
6. S. Hosokawa, J. R. Stellhorn, L. Pusztai, Y. Yamazaki, J. Jiang, H. Kato, T. Ichitsubo, E. Magome, N. Blanc, N. Boudet, K. Ohara, S. Tsutsui, H. Uchiyama, and A. Q. R. Baron, "Structural and Dynamical Changes in a Gd-Co Metallic Glass by Cryogenic Rejuvenation", *Acta Materialia*, **284**, 120616-1-10 (2025).
7. Shinya Hosokawa, Jens Rüdiger Stellhorn, Nathalie Boudet, Nils Blanc, Eisuke Magome, László Pusztai, Shinji Kohara, Kazutaka Ikeda, and Toshiya Otomo, "Local- and Intermediate-range Partial Structure Study of As-Se Glasses", *Journal of the Physical Society of Japan*, **93**, 014601, (2023).

### 2-2 加速器グループ

1. N. Nešković, M. Ćosić, Y. Takabayashi, "Doughnut effect with relativistic electrons and a Si crystal", *Eur. Phys. J. Plus*, **139**, 196 (2024).
2. A.V. Berdnichenko, A.V. Budko, V.V. Kolodochkin, A.S. Skliarova, Y. Takabayashi, I.E. Vnukov, "Use of parametric X-ray radiation of electrons in crystals to determine the parameters of imaging-plates", *Journal of Instrumentation*, **19**, C06005 (2024).
3. A.V. Berdnichenko, A.V. Budko, V.V. Kolodochkin, Y. Takabayashi, I.E. Vnukov, "Influence of the reflectivity of a crystal on the angular distribution of diffracted

transition radiation of relativistic electrons”,  
Journal of Instrumentation, **19**, C05043  
(2024).

## 2-3 ビームライングループ

1. Takafumi Ishibe, Seiya Kozuki, Yuki Komatsubara, Yuto Uematsu, Takashi Yoshizaki, Yuichiro Yamashita, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, Eiichi Kobayashi, and Yoshiaki Nakamura,  
“Selective Anion Manipulation for Controlling Thermoelectric Properties of Epitaxial SnO<sub>2</sub> Films on r-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>”,  
ACS Applied Energy Materials, **8**, 4411-4417 (2025).
2. Shunsuke Shimizu, Takeharu Yoshii, Ginga Nishikawa, Jingwen Wang, Shu Yin, Eiichi Kobayashi, and Hiroto Ishihara,  
“Unlocking the chemical environment of nitrogen in perovskite-type oxides”,  
Chemical Science, **15**, 10350–10358 (2024).
3. Yating Du, Sayoko Shironita, Daisuke Asakura, Eiji Hosono, Yoshitsugu Sone, Yugo Miseki, Eiichi Kobayashi, and Minoru Umeda,  
“Post-mortem analysis of the Li-ion battery with charge/discharge deterioration in high- and low-temperature environments”,  
Electrochimica Acta, **473**, 143421 (2024).
4. Hirokazu Masai, Masanori Koshimizu, Hiroki Kawamoto, Hiroyuki Setoyama, Yohei Onodera, Kazutaka Ikeda, Shingo Maruyama, Naoki Haruta, Tohru Sato, Yuji Matsumoto, Chika Takahashi & Teruyasu Mizoguchi,  
“Combinatorial characterization of metastable luminous silver cations”,  
Sci Rep, **14**, 4638 (2024).
5. Yasuhiko Igarashi, Fabio Iesari, Hiroyuki Setoyama, Toshihiro Okajima, Hiroyuki Kumazoe, Ichiro Akai and Masato Okada,

“Appropriate Basis Selection Based on Bayesian Inference for Analyzing Measured Data Reflecting Photoelectron Wave Interference”, J. Phys. Soc. Jpn., **93**, 074001 (2024).

6. 瀬戸山寛之, “SAGA-LS における有機半導体薄膜評価装置”, 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会誌 **36**, 20 (2024).
7. Kotaro Ishiji, Makoto Arita, Mariko Adachi, Ryuichi Sugie, Yukihiro Morita, Tsutomu Araki,  
“Effect of carbon coating on surface structure in annealing process of high-dose implanted/annealed SiC”,  
J. Appl. Phys., **135**, 185703 (2024).
8. Phongsaphak Sittimart, Yu Sasaguri, Sarayut Tunmee, Tsuyoshi Yoshitake, Kotaro Ishiji, Shinya Ohmagari,  
“Enlargement of effective area in Schottky barrier diodes on heteroepitaxial (001) diamond substrates by defect reduction and their radiation tolerance”,  
Dia. Rel. Mater., **147**, 111346 (2024).
9. Kotaro Ishiji, Akio Yoneyama, Isaho Kamata,  
“Analysis of the inclined structure of threading screw dislocation in SiC using deep X-ray topography”,  
Jpn. J. Appl. Phys., **63**, 12SP18 (2024).

## 3. 学会発表

研究センター研究員が国内・国外で開催される学会等での口頭発表・ポスター発表等を行った。

## 4. 出版物

九州シンクトロトン光研究センター年報 2023

## 5. 特許

特許権設定登録：1件

1. 特許第 7598128 号

発明の名称：真空装置への試料搬送導入装置

登録日：2024年12月3日

# 付 録

# 1 収 支

佐賀県より 2023 年度から 2032 年度まで 10 年間の指定管理者の再指定を受け、佐賀県と締結した「佐賀県立九州シンクロトン光研究センターの管理運営に関する変更協定書」に基づき、研究センターでは施設の運営、維持管理、安全管理及び利用推進等に関する業務を行っている。

※初回の指定期間

2004 年 1 月 1 日～2023 年 3 月 31 日

2024 年度の決算額は、収入が前年度比 24,641 千円増の 675,163 千円、支出が前年度比 24,657 千円増の 675,179 千円であった。表 1 に収支の決算状況を示す。

表1 収支決算状況（単位：千円）

科 目	2023 年度	2024 年度
収 入	650,522	675,163
受託料等収入	552,420	580,023
資産運用収入	4	15
施設利用料収入等	90,039	85,944
雑収入	1,493	2,304
他会計繰入金収入	6,566	6,877
支 出	650,522	675,179
人件費	245,235	227,405
謝金	765	189
旅費	11,298	8,676
庁費	368,857	413,670
公租公課	22,758	24,155
他会計繰入金支出	0	2
固定資産購入	1,609	1,082
収支差額	0	△15

## 2 運営組織

図1に組織図を、表1に職員リストを示す。

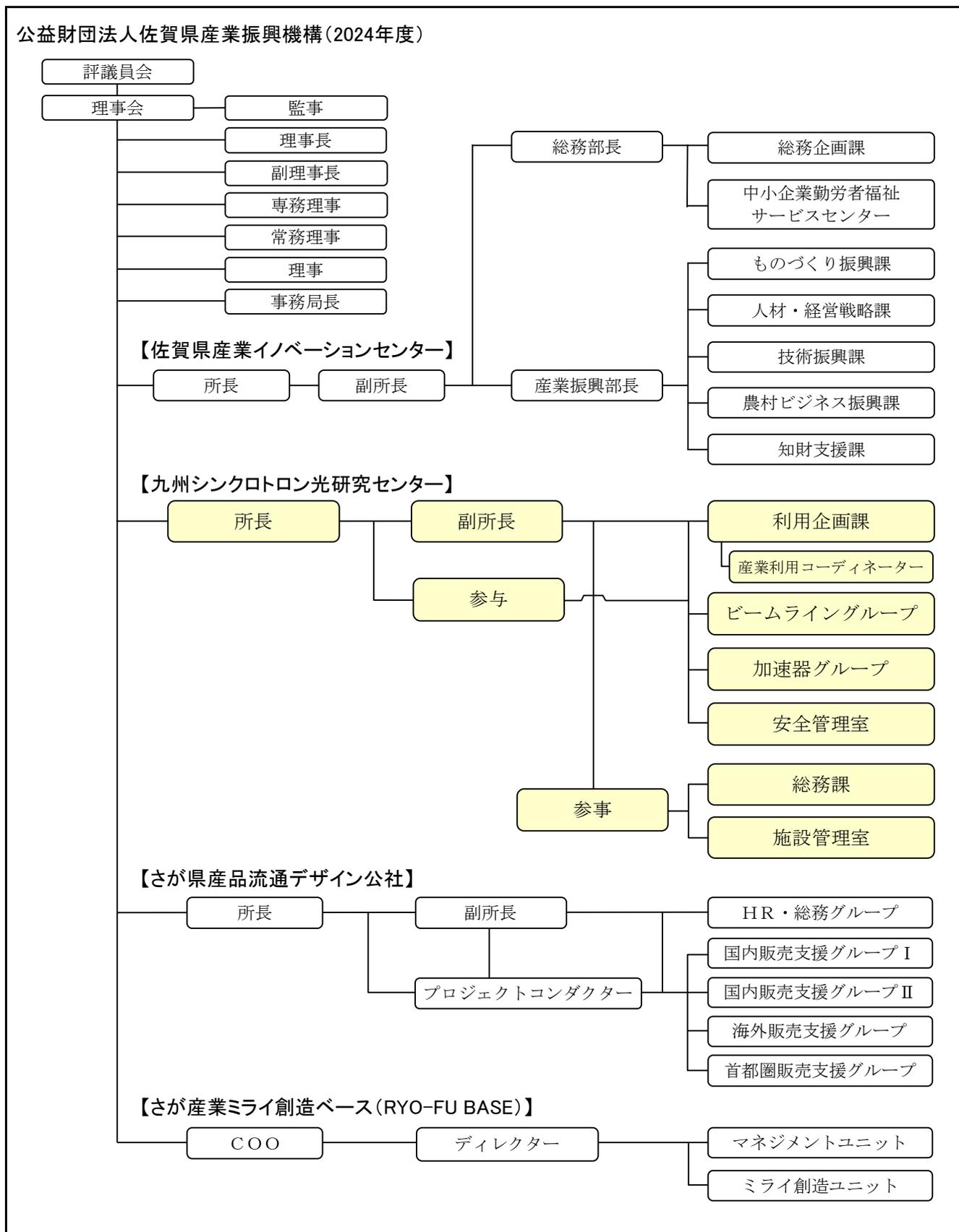


図1 組織図

表1 職員リスト

(2024年度)

所長（財団業務執行理事）	妹尾 与志木		
参与（財団常務理事）	白仁田 和彦		
副所長	山津 善直		
参事（兼総務課長）	内田 隆裕		
<b>利用企画課</b>		<b>総務課</b>	
課長（～10月）	松尾 剛勇（佐賀県派遣）	主任主査（兼施設管理室）	竹原 伸子
課長（10月～）	土肥 憲治（佐賀県派遣）	主事（8月～）	小副川 浩子
主任主査（兼安全管理室・施設管理室）	堤 大輔	嘱託（～10月）	藤田 加津子
主査（兼安全管理室・総務課）	福島 慶一	嘱託	山内 愛
嘱託	山田 涼子	嘱託	雪竹 美来
嘱託	井上 奈津	他2名兼任	
産業利用コーディネーター	玉井 富士夫		
産業利用コーディネーター	鈴木 直幸		
産業利用コーディネーター（～8月）	前田 英明		
産業利用コーディネーター（12月～）	高尾 芳行		
<b>ビームライングループ</b>		<b>安全管理室</b>	
グループ長（兼安全管理室長）	廣沢 一郎	7名兼任	
副グループ長（兼安全管理室）	米山 明男		
副グループ長（兼安全管理室）	河本 正秀		
主任研究員（兼施設管理室長）	小林 英一	<b>施設管理室</b>	
主任研究員（兼安全管理室）	吉村 大介	非常勤嘱託	大澤 薫弘
副主任研究員（兼安全管理室）	瀬戸山 寛之	他7名兼任	
副主任研究員（兼施設管理室）	石地 耕太郎		
副主任研究員（兼施設管理室）	馬込 栄輔		
<b>加速器グループ</b>			
グループ長	岩崎 能尊（放射線取扱主任者）		
主任研究員（兼施設管理室）	高林 雄一		
副主任研究員（兼施設管理室）	金安 達夫		
研究員（兼施設管理室）	竹田 晴信		

### 3 アクセス



#### 鉄道

- JR 鳥栖駅から
  - ・タクシー【約 10 分】
  - ・バス(鳥栖プレミアムアウトレット行き)【約 15 分】
- JR 新鳥栖駅から
  - ・タクシー【約 10 分】
- JR 弥生が丘駅から
  - ・タクシー【約 5 分】
  - ・徒歩【約 20 分】
  - ・バス(鳥栖プレミアムアウトレット行き)【約 6 分】

#### 自動車

- 高速道路[鳥栖インター]から【約 5 分】
- 久留米基山筑紫野線[柚比インター]から【約 1 分】

#### 飛行機

- 福岡空港(地下鉄)～JR 博多駅【約 6 分】
  - ・JR 博多駅(特急)～JR 鳥栖駅【約 20 分】
  - ・JR 博多駅(新幹線)～JR 新鳥栖駅【約 13 分】

著作権法に基づき、本書のいかなる形式の複製または転載も、研究センターの事前の許可が必要です。

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター年報 2024  
2026年2月発行

**【指定管理者】**

公益財団法人佐賀県産業振興機構

九州シンクロトロン光研究センター

〒841-0005 佐賀県鳥栖市弥生が丘八丁目7番地

電話：0942-83-5017

URL：<https://www.saga-ls.jp>