

サンビーム年報・成果集

SUNBEAM Annual Report
with Research Results

Vol.8 2018



サンビーム年報・成果集

SUNBEAM Annual Report
with Research Results

Vol.8 2018



Table of Contents

巻頭言

産業用専用ビームライン建設利用共同体 運営委員長 平岡 俊郎

Part 1 サンビーム活動報告

1.1	サンビーム共同体 活動トピックス	3
1.2	BL16XU(サンビーム ID)	6
1.3	BL16B2(サンビーム BM)	9
1.4	X線・中性子線反射率解析ソフトウェア AXRef	13
1.5	サンビーム多素子検出器の計数率評価	17

Part 2 サンビーム成果集

2.1	三元触媒の貴金属に及ぼす温度とガス雰囲気の影響 (2)	27
	松田 千明 他 川崎重工業株式会社	
2.2	HAXPES を用いた Al 合金上酸化皮膜の変質挙動評価	31
	北原 周 他 株式会社コベルコ科研	
2.3	その場 X 線回折によるニッケル合金表面酸化挙動解析	36
	後藤 和宏 他 住友電気工業株式会社	
2.4	酸化物半導体 In-W-Zn-O の化学状態分析	40
	徳田 一弥 他 住友電気工業株式会社	
2.5	X 線吸収微細構造法を用いた GaInN 下地層による GaN/GaInN 量子井戸層の In 凝集状態の影響評価	44
	稲葉 雄大 他 ソニー株式会社	
2.6	硬 X 線光電子分光法を用いた $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_2$ の表面化学分析	47
	橋上 聖 他 関西電力株式会社	
2.7	XAFS 法を用いた水銀吸収剤中の銅の化学形態分析	51
	秋保 広幸 他 一般財団法人電力中央研究所	
2.8	電圧印加 HAXPES による次世代メモリの深さ方向電位解析	55
	藤井 景子 他 株式会社東芝	
2.9	リチウムイオン電池用新規負極材料の XAFS 解析	58
	沖 充浩 他 株式会社東芝	

2.10	溶液成長法により育成した高品質 SiC 単結晶中の X線トポグラフィーによる転位評価	62
	加渡 幹尚 他 トヨタ自動車株式会社	
2.11	X線回折による照明用 LED 実装時の応力評価	66
	宮野 宗彦 他 日亜化学工業株式会社	
2.12	XAFS による照明用 LED 蛍光体の劣化評価	70
	小林 裕 他 日亜化学工業株式会社	
2.13	放射光を用いた高エネルギーバッテリー正極材料の劣化メカニズム解析 ..	73
	高橋 伊久磨 他 日産自動車株式会社	
2.14	In situ XAS による Pd 系触媒のギ酸反応メカニズム解析	77
	松本 匡史 他 株式会社日産アーク	
2.15	Li イオン電池用新規正極材料の XAFS 解析	81
	夏井 竜一 他 パナソニック株式会社	
2.16	BL16XU における散漫散乱法を用いたフォノン分散評価の試み	84
	南部 英 他 株式会社日立製作所	
2.17	オペランド・トポグラフィー法を用いた SiC MOSFET 積層欠陥の リアルタイム観察の試み	90
	米山 明男 他 株式会社日立製作所	
2.18	強誘電体メモリの下部電極改良による量産性向上とメカニズム解明	94
	野村 健二 他 株式会社富士通研究所	
2.19	イオンビーム照射で誘起された界面ラフニングの表面 XRD 解析	99
	土井 修一 他 株式会社富士通研究所	
2.20	界面改質された SiO ₂ /Si 基板の界面準位の評価	103
	清井 明 他 三菱電機株式会社	
2.21	原子層堆積法による非晶質酸化アルミニウム薄膜の基板面方位依存性	107
	本谷 宗 他 三菱電機株式会社	

Part 3 第 18 回サンビーム研究発表会

3.1	XAFS によるアルカリ水電解用電極の表面解析	118
	大石 彩加 他 川崎重工業株式会社	
3.2	浸炭層の残留応力分布評価	120
	今村 嘉秀 他 川崎重工業株式会社	
3.3	HAXPES による金属-樹脂界面の劣化挙動分析	122
	山本 慎太郎 他 株式会社神戸製鋼所	

3.4	鋼板上酸化膜の高温その場残留応力測定	124
	北原 周 他 株式会社コベルコ科研	
3.5	XAFS を用いた鋼材腐食過程における添加元素の影響評価 (2)	126
	横溝 臣智 他 株式会社コベルコ科研	
3.6	銅合金の加工と熱処理に伴う 添加元素状態変化の X 線吸収分光による解析	128
	後藤 和宏 他 住友電気工業株式会社	
3.7	レドックスフロー電池の電解液中の金属イオン状態の解析	130
	徳田 一弥 他 住友電気工業株式会社	
3.8	X 線吸収分光法による GaInN 活性層の配位数精密解析法の検討	132
	稲葉 雄大 他 ソニー株式会社	
3.9	ハイニッケル正極材料の化学結合状態分析	134
	橋上 聖 他 関西電力株式会社	
3.10	石炭チャーに含まれる鉄の化学形態に対する熱分解温度の影響	136
	池田 敦 他 一般財団法人電力中央研究所	
3.11	リチウムイオン電池用新規負極材料の XAFS 解析	138
	沖 充浩 他 株式会社東芝	
3.12	次世代メモリ向け試料の電圧印加 HAXPES 測定	140
	藤井 景子 他 株式会社東芝	
3.13	硬 X 線光電子分光法 (HAXPES) による 強誘電体 HfSiO キャパシタ構造積層膜の化学結合状態解析	142
	臼田 宏治 他 東芝メモリ株式会社	
3.14	EV 用駆動系潤滑油による摩擦生成物の放射光分析	144
	高橋 直子 他 株式会社豊田中央研究所	
3.15	GaN 単結晶基板の X 線トポグラフィおよびダイオード評価	146
	兼近 将一 他 株式会社豊田中央研究所	
3.16	X 線回折による照明用 LED 実装時の応力評価	148
	宮野 宗彦 他 日亜化学工業株式会社	
3.17	XAFS による照明用 LED 蛍光体の劣化評価	150
	榎 篤史 他 日亜化学工業株式会社	
3.18	In situ XAFS による Pd 系触媒のギ酸反応メカニズム解析	152
	松本 匡史 他 株式会社日産アーク	
3.19	放射光を用いた 高エネルギーバッテリー正極材料の劣化メカニズム解析	154
	高橋 伊久磨 他 日産自動車株式会社	

3.20	La ₃ Si ₆ N ₁₁ :Ce ³⁺ 系蛍光体における Ce ³⁺ 近傍局所構造の解析	156
	長尾 宣明 他 パナソニック株式会社	
3.21	散漫散乱を用いたフォノン評価の検討	158
	南部 英 他 株式会社日立製作所	
3.22	オペランド・トポグラフィー法を用いた SiC MOSFET の積層欠陥の動的な観察	160
	米山 明男 他 株式会社日立製作所	
3.23	強誘電体メモリの下部電極改良による量産性向上とメカニズム解明	162
	野村 健二 他 株式会社富士通研究所	
3.24	イオンビーム照射で誘起された界面ラフニングの表面 XRD 解析	164
	土井 修一 他 株式会社富士通研究所	
3.25	電圧印加硬 X 線光電子分光法による MOS 界面準位評価	166
	清井 明 他 三菱電機株式会社	
3.26	長寿命高誘電率 Ta ₂ O ₅ 膜の開発	168
	今澤 貴史 他 三菱電機株式会社	
3.27	BL16B2 の放射光イメージング機器整備	170
	本谷 宗 三菱電機株式会社 (イメージングサブグループ)	
3.28	HAXPES 装置 SG 活動報告	172
	横溝 臣智 株式会社コベルコ科研 (HAXPES 装置サブグループ)	
3.29	サンビーム (BL16XU・BL16B2) の現状	174
	吉木 昌彦 株式会社東芝 (サンビーム共同体)	

Part 4	サンビーム成果発表一覧	181
--------	-------------	-----

編集後記



巻 頭 言

産業用専用ビームライン建設利用共同体
運営委員長 平岡 俊郎
(株式会社東芝 研究開発センター 次長)

サンビーム年報・成果集 Vol.8 の刊行にあたり、産業用専用ビームライン建設利用共同体（サンビーム共同体）を代表して一言ご説明申し上げます。

サンビーム共同体は、電機、機械、自動車、材料、電力など様々な分野の民間企業 13 社・グループが、放射光利用分析技術の産業利用を目的として結成したコンソーシアムです。1998 年に SPring-8 と専用ビームライン設置契約を締結し、1999 年 9 月より SPring-8 で 2 本の専用ビームライン BL16XU および BL16B2 を運用しています。各ビームラインでは建設以降も中間評価や契約更新などの節目に大型設備投資を行い、最新の技術と装置を用いて共同体各社の先端技術開発に活用してきました。そして 20 年目を迎える 2018 年 4 月には、施設側と 3 回目の専用ビームライン設置契約を締結し、第Ⅲ期の利用を開始しました。ここまで到達できたのも、文部科学省、理化学研究所、高輝度光科学研究センターなど関係諸機関の皆様によるご指導、ご支援の賜物であり、心より御礼申し上げます。次第です。

この間、共同体各社は分析・評価技術の開発や材料・デバイス開発への応用で数多くの成果を生み出し、産業分野における放射光利用の促進に努めてきました。このような成果を、産業界をはじめとした関係者に広く情報発信する手段として、サンビーム共同体では 2001 年からサンビーム研究発表会を開催するとともに、2011 年度からはこのサンビーム年報・成果集を発刊しています。サンビーム研究発表会は、2004 年から SPring-8 の産業関連 4 団体と合同で SPring-8 産業利用報告会として開催しており、放射光の産業利用に関する最大規模の報告会になっています。

サンビーム年報・成果集は、Part 1 の共同体の活動報告、Part 2 の各社による論文形式での成果報告、Part 3 のサンビーム研究発表会の抄録、Part 4 の成果発表一覧から構成され、SPring-8 成果非専有課題の公開技術報告書として認定されています。1 年間のサンビームの活動状況と産業分野の幅広い成果を分かり易くまとめたものとなっており、多くの方にご覧いただけるよう、冊子以外にサンビームホームページ上でも公開しています[1]。

サンビーム共同体は、高度化し続ける放射光利用分析技術と産業界における課題を結び付け、放射光でなければ得られない知見による解決を目指しています。本誌をご一読の上、そのアクティビティを感じていただくとともに、産業分野での放射光利用拡大につながる一助となれば幸いです。今後とも私たちサンビーム共同体へのご指導、ご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

[1] 産業用専用ビームライン建設利用共同体ホームページ <https://sunbeam.spring8.or.jp/>

Part 1 サンビーム活動報告

2017年度下期～2018年度上期



サンビーム共同体 活動トピックス

1. はじめに

民間13社・グループからなる産業用専用ビームライン建設利用共同体（サンビーム共同体）は、1998年に専用ビームライン設置契約を締結し、1999年9月より2本のビームライン、BL16XU（サンビームID）およびBL16B2（サンビームBM）を運用している。第Ⅱ期設置契約満了を控えた2017年度には、専用施設審査委員会による第Ⅱ期の利用状況評価と第Ⅲ期に向けた次期計画書の審査を受け、2018年4月に再契約を行った。また各ビームラインでは、中間評価や契約更新などの節目に大型設備投資を行って、最新の技術と装置を産業利用に適した仕様で導入してきた。第Ⅲ期のスタートとなる2018年度も、新規技術の導入や現有装置の高性能化を目的とした大型設備導入を進めている。

本稿では、2017年度後半から2018年度前半にかけての主な活動について報告し、各ビームラインの現状や研究事例については、次稿以降で報告する。

2. 運営体制

Fig. 1に2018年度のサンビーム共同体運営体制を示す。2017年度からの変更点として、これまで2018年度大型設備導入を含む第Ⅲ期利用計画の検討・立案を行ってきた中長期計画プロジェクトを解散し、設備導入プロジェクトを設置した。同プロジェクトでは、5つの設備導入にともなう共同作業を効率的に進めるためのスケジュール調整等を行い、具体的な作業や業者との交渉等は各導入設備に関連する装置SGが担当することとした。これにより各SGメンバーの協力を広く仰ぐことができ、また設備立ち上げや調整作業を若手メンバーへの技術継承の場として活用することができる。

なお、ガス設備SGについては、同設備を

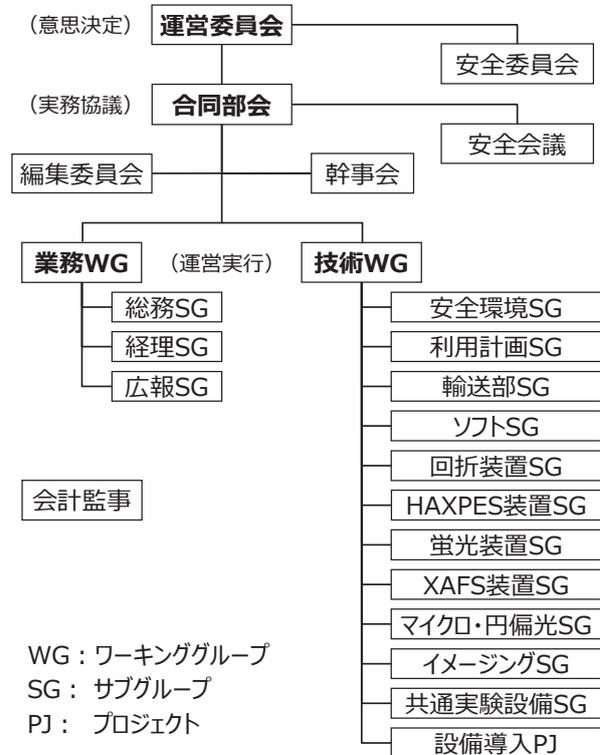


Fig. 1. 2018年度 サンビーム共同体運営体制

利用する社が減少したことから解散し、共通実験設備SGで管理、運用することとした。

3. 第Ⅱ期最終審査および第Ⅲ期契約締結

第Ⅱ期専用ビームライン設置契約満了を2018年度に控えたサンビーム共同体は、2017年4月に第Ⅲ期契約の申し入れを行い、9月に「専用施設利用状況等報告書及び次期計画書」を提出、10月に専用施設審査委員会にてプレゼンテーションを行った。審査の結果、次期計画において「成果公開と情報発信の在り方、及び運用体制と中期的な計画については、懸念もある」とされ、再契約は承認するものの、これらの改善策や中期的な計画について再提示を求められた。

これを受けて共同体では様々な検討を重ね、

[注] 川崎重工業(株)、(株)神戸製鋼所、住友電気工業(株)、ソニー(株)、電力グループ[関西電力(株)、(一財)電力中央研究所]、(株)東芝、(株)豊田中央研究所、日亜化学工業(株)、日産自動車(株)、パナソニック(株)、(株)日立製作所、(株)富士通研究所、三菱電機(株) (50音順)

成果公開に関する数値目標やその実現に向けた具体的な改善策を含む再提出次期計画書を提出、2018年7月のSPring-8選定委員会にて正式に承認された。

なお、第Ⅲ期専用ビームライン設置契約は4月1日付けで締結され、契約期間は2023年度末までの6年間、次回の間評評価は3年後を目途に実施されることとなった。

4. 大型設備導入

2018年度の大型設備導入計画については、中長期計画プロジェクトを中心に導入設備の提案、選定を行い、約2年をかけて詳細仕様や予算の検討を進めてきた。2018年3月に開催されたサンビーム運営委員会にてTable 1に示す5設備が最終承認され、4月より各担当SGが発注、立ち上げ調整等を開始している。2018A期終了後の夏季運転停止期間までに納品された設備についてはオフラインでの調整作業が始まっており、2018B期からはオンラインでの調整作業が本格化する。2018年度内にはすべての設備導入を完了し、2019A期から各社利用を開始する予定である。

5. 安全衛生活動

サンビーム共同体では日頃の安全な実験環境整備に加え、年に1回、各社の実験担当者および安全管理担当者が参加して現場の安全総点検を実施し、安全維持活動として指摘事項への対策を行っている。

2017年度2回目の安全維持活動は2018年3月2日に実施し、同年度の安全総点検での指摘事項153件への対応を終えた。

2018年度の安全総点検は9月21日に46名が参加して行われ、JASRI安全管理室の花木室長から最近の事故事例を含めた安全講話をいただいたあと、5班に分かれてビームライン周辺と各準備室および最寄りの避難場所Bの点検を行った。各社から回答いただいた指摘事項は、整理整頓や表示類見直し、物品固定、危険部保護など、重複を除いて134件で、早急な対応が必要な案件は11月に、その他は冬季停止期間中に安全維持活動で対策を行う。また、施設関連の7件の指摘については、要望としてJASRIへの申し入れを行う。

サンビーム共同体では無事故無災害を継続しており、今後も安全な実験環境および実験参加者の安全意識の維持、向上を図っていく。

Table 1. 2018年度導入設備

設備名	仕様概要および導入の効果
共焦点 X 線顕微鏡	高エネルギー対応二次元検出器とスパイラルスリットにより、材料深部を空間分解能 100 μm で連続的に任意の方向から非破壊評価可能 ⇒ 材料深部の結晶構造や歪みを迅速、精密に評価することで高機能化に寄与。
分光・マイクロ X 線 CT 装置	空間分解能 100 nm、観察視野 100 μm の結像型 X 線顕微鏡システム ⇒ X 線 CT(空間 3 軸) + エネルギーの 4 軸を駆使し、酸化還元状態、触媒反応、劣化反応など動的な変化を把握することで、材料・デバイスの高機能化に寄与。
ノイズフリー X 線 イメージングシステム	現有システムに比べて観察視野を2倍以上(40 mm \times 20 mm)、S/N比を1桁向上させ、数 100 μm オーダーの空間的強度ムラは 10%以下に低減 ⇒ マイクロクラック、結晶欠陥、転位等を、現状の 10 倍高感度に検出できるとともに、大きな構造体の内部構造を可視化可能。
大気非曝露 実験装置	ガス循環精製装置内蔵 Ar パージ式グローブボックス ⇒ 大気による試料の変質を抑制して電池・触媒反応を評価でき、実際の材料・デバイスの働きを解明して高性能化に寄与。
多素子検出器	25 ピクセル Ge アレイ検出器とデジタルアンプにより、エネルギー分解能および計数率を現有 19 素子 Ge 検出器より 10%以上向上 ⇒ 2007 年導入の現有設備の故障による XAFS 実験停止リスクの回避と、計数率、エネルギー分解能の向上による測定対象の拡大および測定時間短縮。

6. 対外発表

2017年度後半から2018年度前半において、サンビーム共同体として以下の発表を行った。

(1) サンビーム年報・成果集 Vol.7

2018年3月に発刊。2017年9月までの1年間のサンビームの活動と研究成果をまとめたもので、論文形式の各社成果24報を掲載。

(2) SPring-8/SACLA 施設公開

4月29日に開催された一般市民向けのイベントで、サンビーム共同体の概要と装置紹介のポスター展示およびBL16XU実験ハッチの見学を実施。

(3) SPring-8 シンポジウム 2018

8月25-26日に姫路市市民会館で開催され、「サンビーム (BL16XU・BL16B2) の現状」と題してポスター発表を実施。

(4) 第18回サンビーム研究発表会

9月6-7日に兵庫県民会館で開催された第15回SPring-8産業利用報告会内で、口頭5件、ポスター29件を発表。

(5) SPring-8・SACLA 年報 2017年度版

2018年12月発刊予定の年報で、2017年度のBL16XUおよびBL16B2の活動状況を報告。

参考文献

- [1] 産業用専用ビームライン建設利用共同体
ホームページ

<https://sunbeam.spring8.or.jp/>

サンビーム共同体 2018年度合同部会長
株式会社東芝 吉木 昌彦

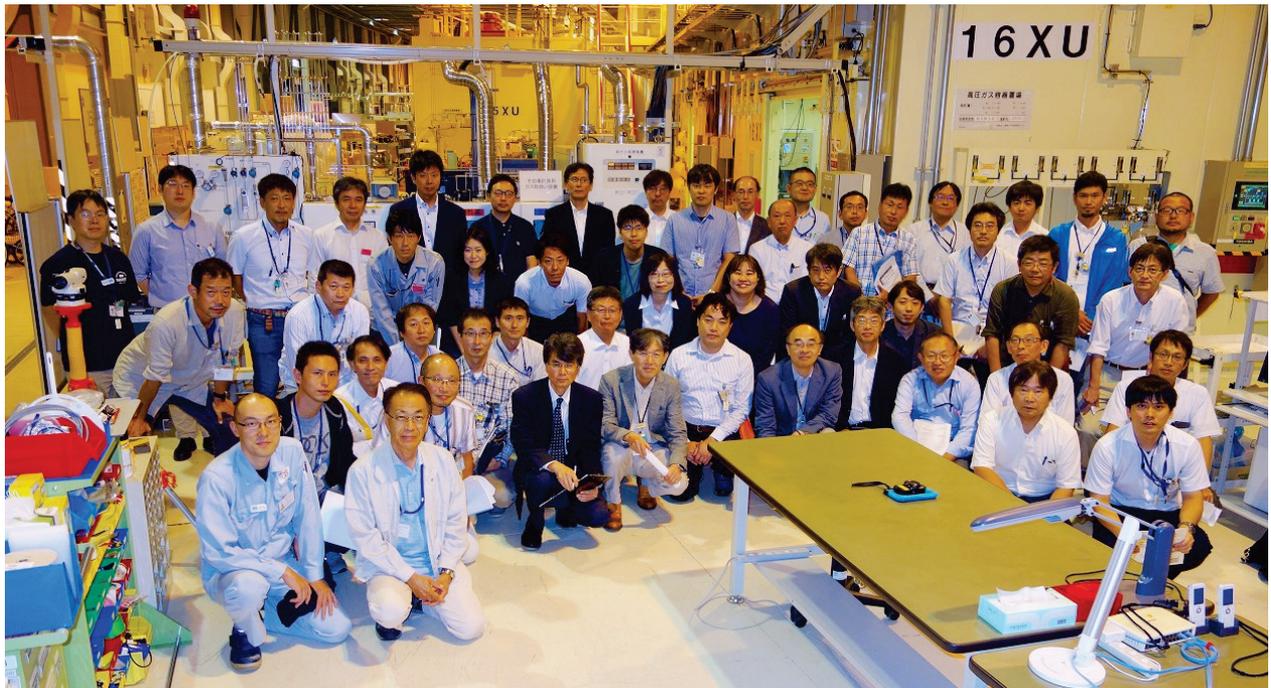


Fig. 2. 2018年度安全総点検の参加者 (2018年9月21日撮影)

BL16XU (サンビーム ID)

1. はじめに

BL16XU (サンビーム ID) は、BL16B2 とともに、民間 13 社・グループからなる産業用専用ビームライン建設利用共同体 (サンビーム共同体) が管理、運営する専用ビームラインである。放射光分析技術の産業利用を目的として SPring-8 稼働前の 1996 年に発足したサンビーム共同体は、1998 年に専用ビームライン設置契約を締結し、1999 年 9 月より 2 本のビームラインを運用している。各ビームラインは産業界の幅広いニーズに応えるため複数の実験手法に対応しており、利用開始以降も中間評価や契約更新などの節目に大型設備投資を行って、最新の技術と装置を産業利用に適した仕様で導入してきた。第Ⅲ期の再契約を行った 2018 年度は、サンビーム ID の設備として、共焦点 X 線顕微鏡および分光・マイクロ X 線 CT 装置の導入が進められている。

Table 1. BL16XU の基本仕様

光源	真空封止型直線偏光アンジュレータ 周期長 40 mm / 周期数 112
エネルギー	4.5~40 keV
単色器	液体窒素循環間接冷却式二結晶 Si(111)
光子数 ビームサイズ (マイクロ時)	~10 ¹² photons/s, 1.0 mm 角以下 (~10 ¹⁰ photons/s, 0.5 μm 角以下)
実験装置	HAXPES 装置 8 軸 X 線回折計 マイクロビーム形成装置・マッピング機構 (X 線回折 / 蛍光 X 線 / XAFS / XMCD) 蛍光 X 線装置 (波長分散型 / エネルギー分散型) その場測定用ガス設備

2. ビームライン概要

BL16XU の基本仕様を Table 1 に、BL16B2 を含めた機器配置を Fig. 1 に示す。

光源は磁石周期長を SPring-8 標準型の 32 mm より長い 40 mm とした真空封止型水平直線偏光 X 線アンジュレータで、標準型よりも低エネルギー側まで X 線を利用可能である。

光学ハッチには液体窒素循環間接冷却方式の Si(111)二結晶単色器が設置され、ベントシリンドリカルミラーとの組み合わせにより、サイズ 1 mm 角以下で高いフラックスと位置安定性を持ったビームが得られる。このほか光学ハッチ内には、XMCD 実験用のダイヤモンド位相子と HAXPES 実験用のチャンネルカット結晶分光器が設置されている。

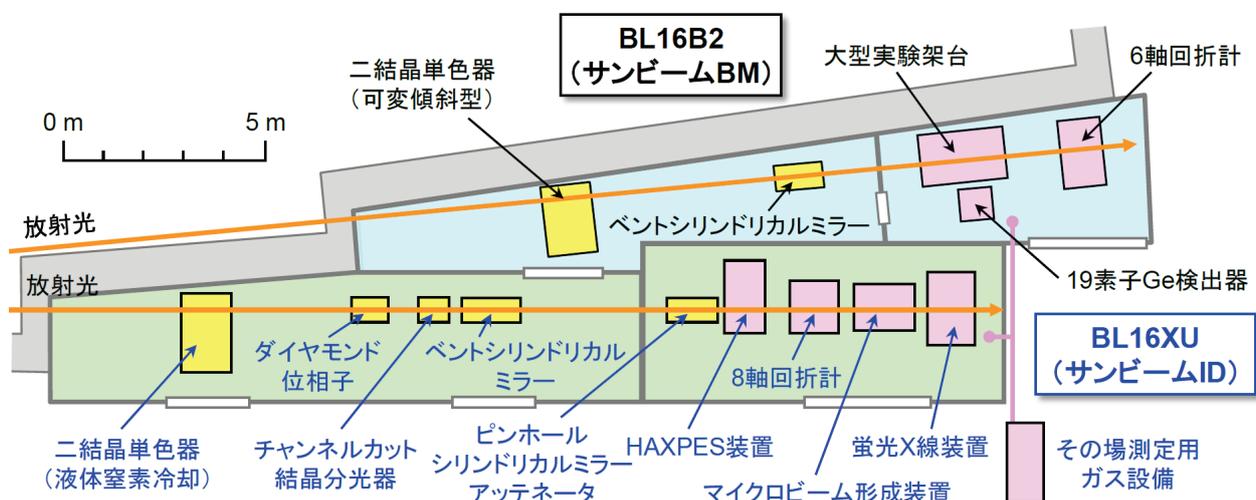


Fig. 1. BL16XU の機器配置 (2018 年 10 月時点)

実験ハッチ最上流には、マイクロビーム実験用のピンホール・スリットと HAXPES 実験用のシリンドリカルミラー、アッテネータを収容する He 雰囲気チャンバーが設置されている。その下流には、HAXPES 装置、8 軸 X 線回折計、マイクロビーム形成装置および可搬式の蛍光 X 線分析装置が一行に設置されており、各装置を用いる実験を短時間で切り替えることができる。また、ガス雰囲気下や昇温過程のその場測定を行うための反応性ガス供給・排気装置および試料加熱ステージや、CdTe 検出器、ピクセル検出器 (PILATUS 100K, MYTHEN 1K) など用途に合わせた X 線検出器が利用可能である。

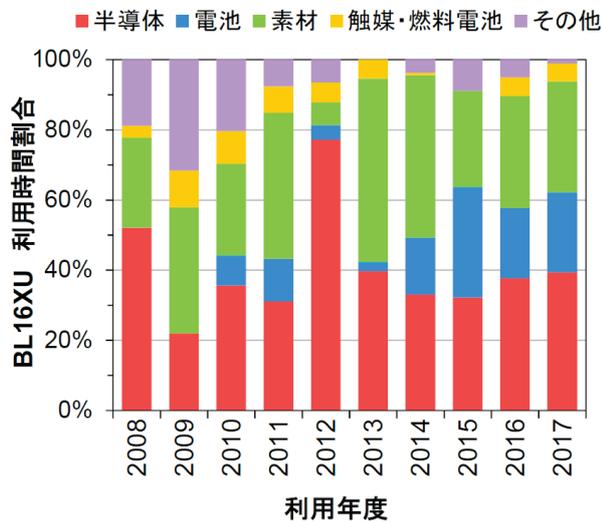


Fig. 2. 利用研究課題の適用分野の推移

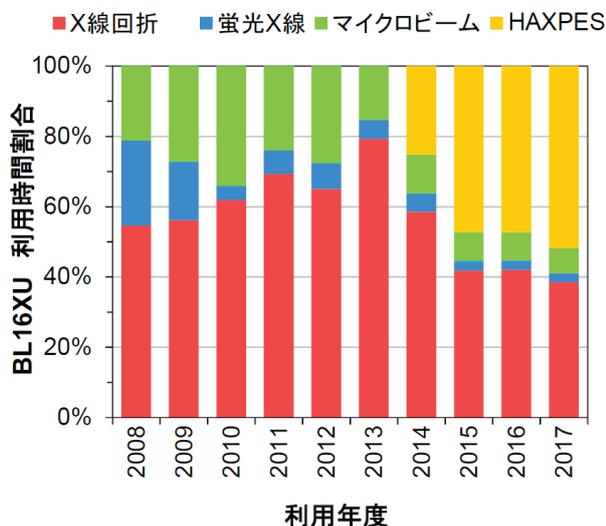


Fig. 3. 利用研究課題の測定手法の推移

3. 利用状況

BL16XU で実施された各社の利用研究課題の適用分野および測定手法について、2008 年度から 2017 年度までの推移を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。縦軸は各社利用に配分されたビームタイムに占める割合である。

直近 3 年間の主な適用分野は半導体、電池、および素材で、利用割合も 2016 年度と 2017 年度はほぼ同じとなっている。半導体では GaN や SiC などの化合物系半導体、電池では Li イオン二次電池、素材では金属部品や機能性ナノ粒子材料などへ適用されている。

測定手法も直近 3 年間はほぼ同じ割合で、2013 年にピクセル検出器や試料加熱ステージを導入して高度化した X 線回折と 2014 年に利用開始した HAXPES がそれぞれ 4 割以上を占め、ピエゾステージの導入で高速化されたマイクロビームがこれに続いている。X 線回折では試料加熱ステージを使った結晶化過程の観察、HAXPES では試料搬送ベッセルを利用した電池電極表面の分析が行われている。

4. 成果公開

サンビームで得られた共同体各社の成果は、適時、それぞれが関連する分野の学会や論文で公開されているが、技術開発などサンビーム共同体としての成果を含め、各社が連携して成果をアピールする場として、2001 年から開催している「サンビーム研究発表会」と、2011 年度から公開技術報告書として発刊している「サンビーム年報・成果集」がある。

2018 年度の第 18 回サンビーム研究発表会は第 15 回 SPring-8 産業利用報告会 (9/6-9/7、兵庫県民会館) として合同開催され、サンビームからは口頭 5 件 (以降、BL16XU と BL16B2 の合計件数)、ポスター 29 件の発表を行った。このうち口頭 1 件が最優秀発表賞を、またポスター 1 件が優秀発表賞を受賞している。

サンビーム年報・成果集は、2018 年 3 月に Vol. 7 が発刊された。共同体各社による 24 編の成果報告論文に加え、共同体の活動報告、サンビーム研究発表会の抄録、成果発表一覧が掲載されており、共同体関係者のほか SPring-8 産業利用報告会や施設公開などの場

で広く一般の方々にも配布している。サンビーム年報・成果集を含む共同体の成果は、サンビーム共同体のホームページでも公開している[1]。

5. 研究・技術検討事例

2017年度は、HAXPES装置を利用した技術開発として、チャンネルカット結晶分光器 (CCM) を退避させ二結晶単色器の定位置出射ビームを利用するエネルギー掃引HAXPESの検討を行った[2]。HAXPESにおいて励起エネルギーを連続的に変えることができれば、共鳴励起あるいはオージェスペクトルの励起エネルギー依存を利用した電子状態の詳細な解析や、オージェ電子収量法による状態選別XAFS測定を、従来よりも大きな検出深さで

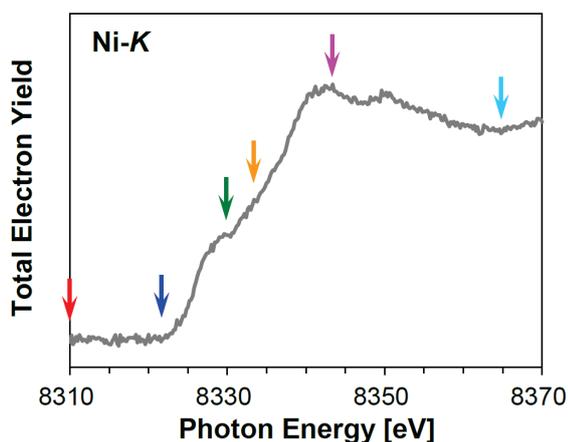


Fig. 4. Ni板のNi-K吸収端XANESスペクトル (矢印の励起エネルギーでNi-KLLを測定)

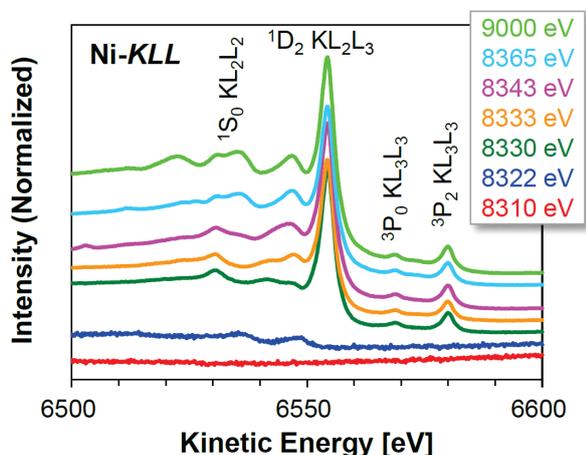


Fig. 5. Ni-KLL オージェスペクトルの励起エネルギー依存

行うことが可能となり、産業利用には極めて有効である。

通常のHAXPES測定用の光学系からCCMを退避するとビーム高さが変化するが、電子分光器の高さを調整することで対応した。また、励起エネルギー8 keVにおけるエネルギー分解能と測定感度をAu4f_{7/2}ピークで評価した結果、半値幅はCCM退避前の0.4 eVから1.2 eVに低下したものの、高さは約30倍に増大し、測定感度が大きく向上した。

Fig. 4はHAXPES装置内で試料電流法により測定したNi板のNi-K吸収端XANESスペクトルである。スペクトル形状は金属Niの文献データに近く、表面の自然酸化膜の影響を受けていないことが分かる。このスペクトル中の各矢印の励起エネルギーで測定したNi-KLLオージェスペクトルをFig. 5に示す。主ピークの左右に現れるサテライトピークの強度が、文献[3]と同様に励起エネルギーに依存して変化することを確認できた。

本検討により、CCM退避と簡単な装置調整のみでエネルギー掃引HAXPES測定が行えることを確認できた。励起X線のエネルギー幅の広がりによりエネルギー分解能は低下するものの、オージェスペクトルは原理的にこの影響を受けないため、特にオージェ電子収量法による高感度かつバルク敏感な状態分別XAFSの実用化が期待される。今後は、二結晶単色器によるエネルギー掃引と電子分光器によるスペクトル測定を連動させる制御ソフトウェアの開発など、利用環境の整備、向上を進めていく。

参考文献

- [1] 産業用専用ビームライン建設利用共同体ホームページ
<https://sunbeam.spring8.or.jp/>
- [2] 横溝 臣智:サンビーム年報・成果集, 7, pp.20-23 (2018).
- [3] L. Kövér et al.: Phys. Rev. B. 73, 195101 (2006).

サンビーム共同体 2018年度合同部会長
株式会社東芝 吉木 昌彦

BL16B2 (サンビーム BM)

1. はじめに

BL16B2 (サンビーム BM) は、BL16XU とともに、民間 13 社・グループからなる産業用専用ビームライン建設利用共同体 (サンビーム共同体) が管理、運営する専用ビームラインである。放射光分析技術の産業利用を目的として SPring-8 稼働前の 1996 年に発足したサンビーム共同体は、1998 年に専用ビームライン設置契約を締結し、1999 年 9 月より 2 本のビームラインを運用している。各ビームラインは産業界の幅広いニーズに応えるため複数の実験手法に対応しており、利用開始以降も中間評価や契約更新などの節目に大型設備投資を行って、最新の技術と装置を産業利用に適した仕様で導入してきた。第Ⅲ期の再契約を行った 2018 年度は、サンビーム BM の設備として、ノイズフリー X 線イメージングシステム、多素子検出器および大気非曝露実験装置の導入が進められている。

2. ビームライン概要

BL16B2 の基本仕様を Table 1 に、BL16XU を含めた機器配置を Fig. 1 に示す。

光源は偏向電磁石で、光学ハッチに設置した可変傾斜型 Si 二結晶単色器により、4.5～113 keV までの広いエネルギー範囲で単色 X

Table 1. BL16B2 の基本仕様

光源	偏向電磁石
エネルギー	4.5～113 keV
単色器	可変傾斜型二結晶 Si(111), Si(311), Si(511)
光子数 ビームサイズ	～ 10^{10} photons/s ミラーなし: 60 mm(H)×5 mm(V) ミラーあり: 0.1 mm(H)×0.1 mm(V)
実験装置	大型実験架台(XAFS/X線トポグラフィ/X線イメージング)、 6軸X線回折計、 その場測定用ガス設備

線を利用できる。また単色器の下流には、集光および高次光除去のためのベントシリンダリカルミラーが設置されており、最小でサイズ 0.1 mm 角程度のビームが得られる。

実験ハッチには、上流側に大型実験架台と可搬式の 19 素子 Ge 半導体検出器、下流側に 6 軸 X 線回折計が設置されている。大型実験架台はエアパッド浮上式ステージを採用しており、 θ - 2θ 型ゴニオメータや各種検出器を簡単かつ自由に配置できるため、XAFS や X 線トポグラフィ、X 線イメージングなどの実験を短時間で切り替えることができる。

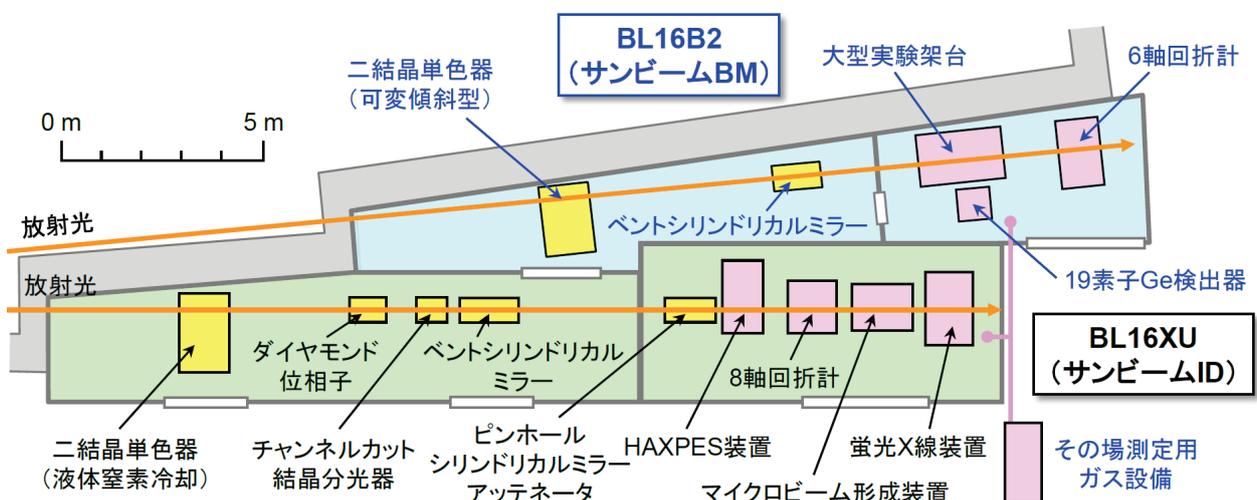


Fig. 1. BL16B2 の機器配置 (2018 年 10 月時点)

XAFS 測定では、イオンチャンバー、ライトル検出器、転換電子収量検出器および 19 素子 Ge 半導体検出器を利用可能で、単色器の高速駆動によるクイックスキャン XAFS にも対応している。イメージング測定では、PILATUS 検出器、フラットパネル検出器、12 インチ X 線イメージインテンシファイアおよび CMOS カメラを利用可能で、X 線トポグラフィや X 線 CT、ラミノグラフィ、2 次元 XAFS など幅広い手法に対応する。6 軸 X 線回折計では、通常の X 線回折のほか、高エネルギー X 線回折および DAFS 測定が可能である。また BL16XU と共用で、その場測定用ガス設備や試料加熱ステージも利用可能である。

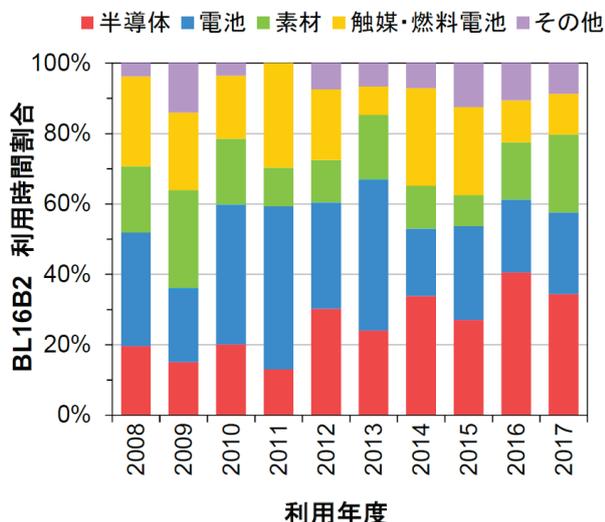


Fig. 2. 利用研究課題の適用分野の推移

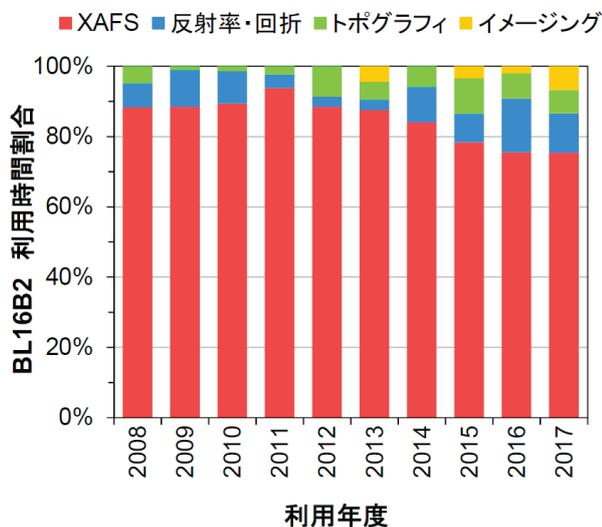


Fig. 3. 利用研究課題の測定手法の推移

3. 利用状況

BL16B2 で実施された各社の利用研究課題の適用分野および測定手法について、2008 年度から 2017 年度までの推移を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。縦軸は各社利用に配分されたビームタイムに占める割合である。

直近 3 年間の主な適用分野は半導体、電池、および素材だが、触媒・燃料電池やその他の分野でもある程度利用されている。これは測定対象の広い XAFS に加えて、X 線回折、トポグラフィ、イメージングなど多様な手法を短時間で切り替えて利用できるという BL16B2 の特長によるものと考えられ、GaN や SiC などの化合物系半導体、Li イオン二次電池、鋼材や蛍光体、排ガス浄化触媒など幅広い分野へ適用されている。

一方、測定手法は XAFS が 7 割以上を占めるが、2016 年度に比べると 2017 年度はイメージングの割合がやや増加した。これはイメージング測定のニーズの高まりと、これに対応した X 線 CT およびラミノグラフィ用高精度試料ステージの導入や測定、解析環境の整備の相乗効果によるものと考えられる。また XAFS については、透過法 XAFS とエネルギー走査 X 線回折を組み合わせた Li イオン二次電池電極のオペランド解析や、イメージング用検出器を用いた 2 次元 XAFS 解析など、他の手法と組み合わせた利用も行われており、今後もこのような複合的かつ高度な測定方法の開発、利用が期待される。

4. 研究・技術検討事例

2017 年度は、イメージング測定の機能向上を目的として、平板試料で X 線 CT 観察を行うためのラミノグラフィシステムの導入、立ち上げを行った[1]。これにより、これまで BL16B2 の X 線 CT では観察できなかった電子基板など平板試料の観察が可能となった。

ラミノグラフィシステムでは、平板試料が回転しても透過光量が大きく変化しないよう、X 線の透過軸に対して試料回転軸を傾斜させる必要がある。このため、試料重量等によらず傾斜回転軸の偏心がないよう、偏心精度 1 μm 以下の高精度回転ステージと、試料位置調整用の高精度自動並進ステージを導入した。

鮮明に観察できた。さらに(c)新規ステージによるステップスキャン測定と比較したところ、有意な画質の差は認められず、連続スキャンによる測定時間短縮で測定効率が大幅に向上することを確認できた。また、(d)実験室装置による結果と比較すると、特に小さなボイドでは BL16B2 の方が圧倒的に鮮明な画像が得られており、実効的な分解能が高いことを確認できた。

今回のラミノグラフィシステム導入により、X線 CT・ラミノグラフィ測定の高精度化、高速化、高効率化を実現できた。2018 年度にはイメージング測定の大視野化、高分解能化を実現するノイズフリーX線イメージングシステムの導入を予定しており、本システムとの組み合わせでさらなる成果創出が期待される。

参考文献

- [1] 高尾 直樹:サンビーム年報・成果集, 7, pp.16-19 (2018).

サンビーム共同体 2018 年度合同部会長
株式会社東芝 吉木 昌彦

連番のデータを読み込み、連結データ（拡張子はdat）として出力するソフトである。測定データの読み込みには、計測時間の行番号、データがスタートする行番号、及びX値の列番号、計数値の列番号等を指定する必要がある。連結の際、シンチレーション検出器のタイプ（NaIもしくはYAP）を選択するか数え落とし時間（dead time）を直接入力することによって、観測強度が補正される。

XRR及びNRにおいて、測定した薄膜・多層膜試料の設計膜厚が不明な場合だけでなく、測定試料表面の酸化や汚染、多層膜界面での拡散や反応によって、観測されたデータの振動周期が測定者の予想と大きく異なることが往々にしてある。こういった場合、Fig. 3に示したAXRefのFourierタブメニューを利用して、測定データの振動成分のフーリエ変換を行うことで測定試料に含まれる膜厚成分を抽出すると便利である[1]。連結データを読み込み、フーリエ変換するデータ範囲、ウェイトの設定（基準となるフレネル反射率の使用の有無の選択）、フーリエ変換の方式等を指定することによって、測定データのフーリエ変換が可能となる。抽出した膜厚成分は、後述するAXRefのModel Fitメニューにおいて、解析パラメータの初期値として入力すると良い。Fig. 3では例としてSi基板上に存在する膜厚75 Å相当の振動成分を抽出した例を示す。

Fig. 4及びFig. 5は、AXRefのModel Fitメニューを利用してXRR及びNRのシミュレーションやデータ解析を行うために必要なパラメータファイル（拡張子はpar）を作成するユーティリティソフトである。AXRefでは、各層を構成する物質の原子散乱因子及び散乱長は物質固有の値を持ち、すなわちフィットパラ

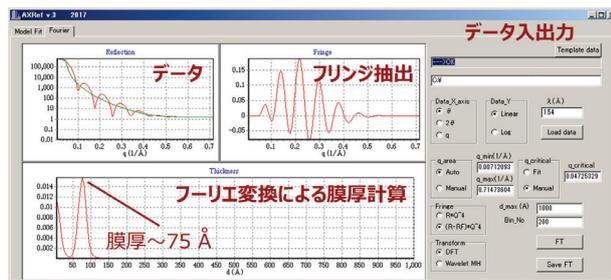


Fig. 3. フーリエ変換による膜厚予測計算 (AXRefのFourierタブメニュー)

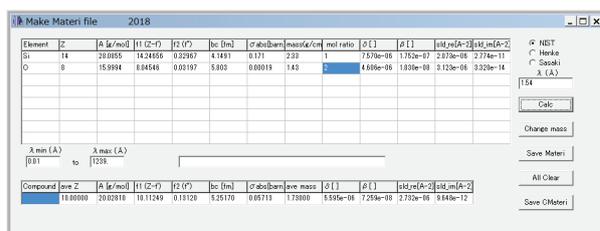


Fig. 4. 物質のX線散乱因子、及び中性子散乱長を計算するMake_Materi_fileソフトウェア

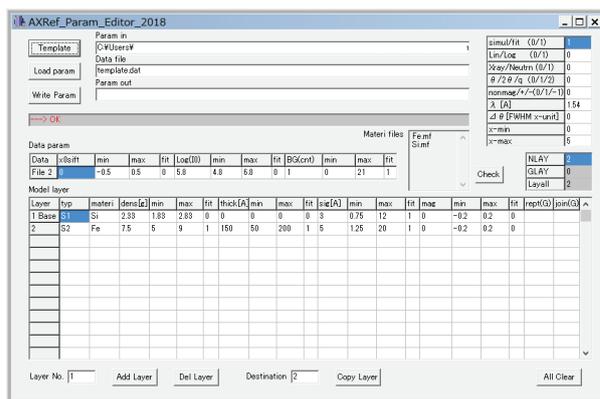


Fig. 5. AXRefのModel Fitメニューを使用してXRR及びNRの解析を行うためのモデルパラメータを作成するAXRef_Param_Editor

メータではなく、質量密度が材料の状態や作製方法に依存すると考え、これをフィットパラメータとして取り扱う。解析においては、原子散乱因子及び散乱長と質量密度の積が各層の反射率に寄与する。従って、AXRefでは物質に固有な原子散乱因子及び散乱長を予めマテリアルファイル（拡張子はmf）として連結データやパラメータファイルと同じフォルダに格納しておく必要がある。AXRefのModel Fitメニューでも膜厚や密度など各層のパラメータを直接入力・編集が可能であるが、AXRef_Param_Editorを使用することで、層の追加や削除、パラメータの複製などを容易に行える。Fig. 6にパラメータファイルの例を示す。Fig. 6はSi基板上のFe単層膜に対応したパラメータファイルを示している。パラメータファイルには、光源の種類、波長、バックグラウンドなどの光学系のパラメータの他に、マテリアルファイルを指定して基板及び薄膜・多層膜の構造パラメータを入力する。

上記の作業により、連結データ、マテリアルファイル及びパラメータファイルの準備が

利用した高度な XRR 及び NR データの解析例について紹介する。

AXRef は 6 個までのパラメータファイルを順次読み込むことが可能である。読み込んだパラメータファイルは、それぞれ独立に、もしくは同時に解析することができる。この機能を利用して、同じ測定試料に対して波長や光源の違いなど異なった条件で測定した複数の反射率を、同じモデル構造を用いて同時に解析することが出来る (マルチコントラスト法)。この機能は、AXRef の Model Fit メニューにおいて、複数のパラメータファイルを読み込んだ後、「multi fit」ボタンを押すことによって実行可能である。Fig. 8 に 3 種類の X 線波長で取得した XRR データをマルチコントラスト法で解析した例を示す。

AXRef では、同じ層構造が周期的に繰り返される「超格子構造」を持った測定試料の解析が可能である。この場合、単位構造となる層を G# (#には番号を入力) で指定し、繰り返し回数をパラメータファイルに入力する。また、通常超格子膜は成膜中に界面ラフネスは徐々に増大することがあるため (ラフネスの伝播)、周期の最初と最後のラフネスに比例して界面ラフネスを変化させるオプション (sigjoin) も準備した。Fig. 9 に超格子膜の XRR データを解析した例を示す。

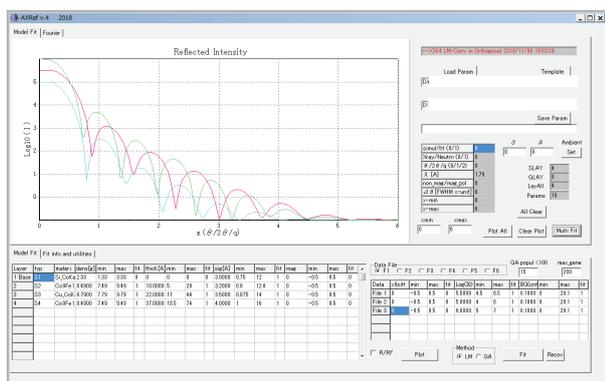


Fig. 8. AXRef を利用したマルチコントラスト法の解析例

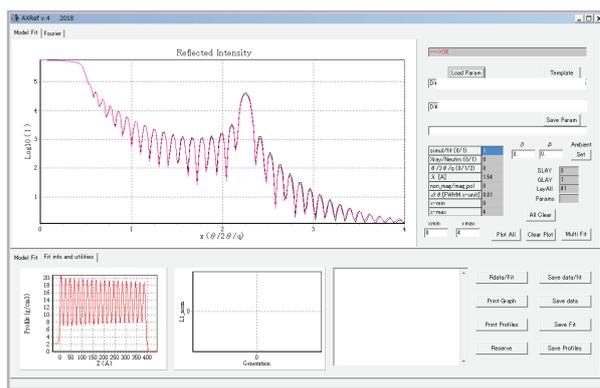


Fig. 9. AXRef を利用した超格子膜試料の法の解析例

4. まとめ

本稿では、サンビーム共同体ソフト SG において新しく準備した、XRR 及び NR 用の解析ソフトウェア AXRef の紹介を行った。測定データの連結機能から、実際に AXRef を用いて XRR 及び NR データのフィッティングを実行する過程、さらに AXRef の高度な機能について解説した。ただ、AXRef は XRR 及び NR データを解析するための多種多様な機能を持っており、本稿では説明しきれなかった部分も多くある。その点に関しては、ソフトウェアに付属したマニュアルを参照されたい。

注意事項

[動作環境] AXRef は、現在サポートされている Windows OS 環境での動作を確認していますが、動作を保障するものではありません。ソフトの実行にインストールは不要です。

[免責事項] このソフトウェアは、利用者の責任において実行するものとし、このソフトウェアの実行により発生した、いかなる直接的・間接的被害についても、ソフト SG 及び作者は、その責任を負いませんのでご了承下さい。

参考文献

[1] K. Sakurai and A. Iida: Jpn. J. Appl. Phys. **31**, L113 (1992).

サンビーム共同体 ソフト SG 主査
株式会社富士通研究所 土井 修一

サンビーム多素子検出器の計数率評価

1. はじめに

BL16B2 のように偏向電磁石を光源とするビームラインは、BL16XU のようにアンジュレータを光源とするビームラインと比べて広いエネルギー領域を連続的にカバーする。このことは原理的に、X線のエネルギー掃引が必須であるX線吸収測定（X線吸収微細構造法, X-ray Absorption Fine Structure ; XAFS）[1]との相性が良い。実際、昨年の統計において、BL16B2 で行われた実験のうち、8割近くがXAFS実験として計上されている[2]。実験原理としてXAFSは吸収分光法の1種であり、本来は試料を透過する前後のX線の強度を直接測ることが要求される（透過法）。しかし特に産業応用の場合は、工業製品をなるべくそのまま計測したいという要請から、試料の加工を最低限に抑えたいという要求もあり、試料を透過法に適した形状への加工が好まれず、透過法の適用が難しいことも多い。そこで、吸収量を測る代わりにX線を吸収した試料から放出される電子あるいはX線（蛍光）の強度がX線吸収量に比例するとの仮定の下、放出される電子あるいはX線（蛍光）の強度を測定して吸収量を見積もる電子収量法（Electron Yields）や蛍光収量法（Fluorescence Yields ; FY）が用いられる。実際 BL16B2 では微量元素や薄膜試料、あるいは表面敏感計測のために蛍光収量法が多用されている。

以上のような背景から、FY-XAFS実験に必要な高感度の蛍光検出器の導入はXAFS装置SGとしては非常に重要な課題であり、2008年にSPring-8の他ビームラインでもよく用いられているキャンベラ社製の19素子半導体検出器（19素子SSD）を導入し、ビームラインの主要な実験設備として活用している。次年度以降に予定されているサンビームの第Ⅲ期計画においても、新たな多素子検出器と信号処理システム導入を計画している。XAFS装置SGでは新多素子検出器導入の効果と19素子SSD検出器の経年劣化の定量的評価を目的として、19素子SSDの計数率評価を行

っており、その結果を本稿で報告する。

2. 実験

計数率評価の実験は、BL16B2で行われた。試料として6 μm厚の銅箔を用い、9 keVに単色化したX線をこの試料に照射して行った。試料と検出器の位置関係は決まっており、アルミニウム製のアッテネーターの厚さを変えることで、試料に照射されるX線強度（IC）を制御し、試料前におかれた10チャンバーの電流強度と銅箔から放出される蛍光X線強度を19素子SSDを用いて計測した。詳細は後述するが、SPring-8ではフィリングパターンによりX線の時間構造が変化する。半導体検出器の計数率は実はこのX線の時間構造にも影響を受けるため、各フィリングパターンでの計数率評価が必要となる。そのため、計数率評価実験はXAFS装置SG作業として単体の作業ではなく、サンビーム各社の利用枠における調整時間等を利用し、各実験担当者が行った。Table 1に2018A期のフィリングパターン（運転モード）一覧を示す。

Table 1. フィリングパターンとDeadtime

2018A フィリングパターン一覧	2018A (μs)			2009年度 (μs)		
	τ_{ICR}	τ_{SCA}	τ_{total}	τ_{ICR}	τ_{SCA}	τ_{total}
A-mode : 203 bunches	0.32	1.32	1.63	0.31	1.27	1.58
B-mode : 4 bunch train×84	0.30	1.33	1.63			
C-mode : 11 bunch train×29	0.32	1.29	1.61	0.28	1.3	1.58
D-mode : 1/7-filling+5 bunches	1.17	2.07	3.24	0.86	2.33	3.19
E-mode : 2/29-filling+26 bunches	0.82	0.67	1.49			
H-mode : 11/29-filling+1 bunch	0.59	1.97	2.56			

3. 半導体検出器の動作原理

まず、半導体検出器の動作原理を簡単に説明する[3]。通常、半導体である検出素子（19素子SSDの場合はGe）にある一定以上のエネルギー（ $h\nu$ ）を持つ光子（フォトン；X線）が照射されると、価電子帯にある電子がフォトンのエネルギーを受け取って伝導帯に励起され電子・正孔対が生成される。この時検出素子に電圧がかかっている場合電子・正孔は電圧に従って移動して電流が流れる。1個のフォトンから生成される電子数 n は次の式で計算できる。

$$n = h\nu/\epsilon$$

ここで $h\nu$ はフォトンのエネルギー、 ϵ は一つの電子を価電子帯から伝導帯に励起するのに必要なエネルギーになる。例えば、Geでは ϵ の値は2.96 eVとされている。よって、1個のフォトンにより $1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \times n$ の電荷パルス電流が生じることとなり、このパルス電流を波高分析することで、入射したフォトンのエネルギーが求められる。しかし、このパルス電流の波高分析処理している間に別のフォトンが飛来してもそのフォトンによるパルス電流は検出することができず数え落としが生じる。一般的に、放射光で行われる実験は高計数率実験になることが多く、数え落としは常に気にしておく必要がある。

203 bunches

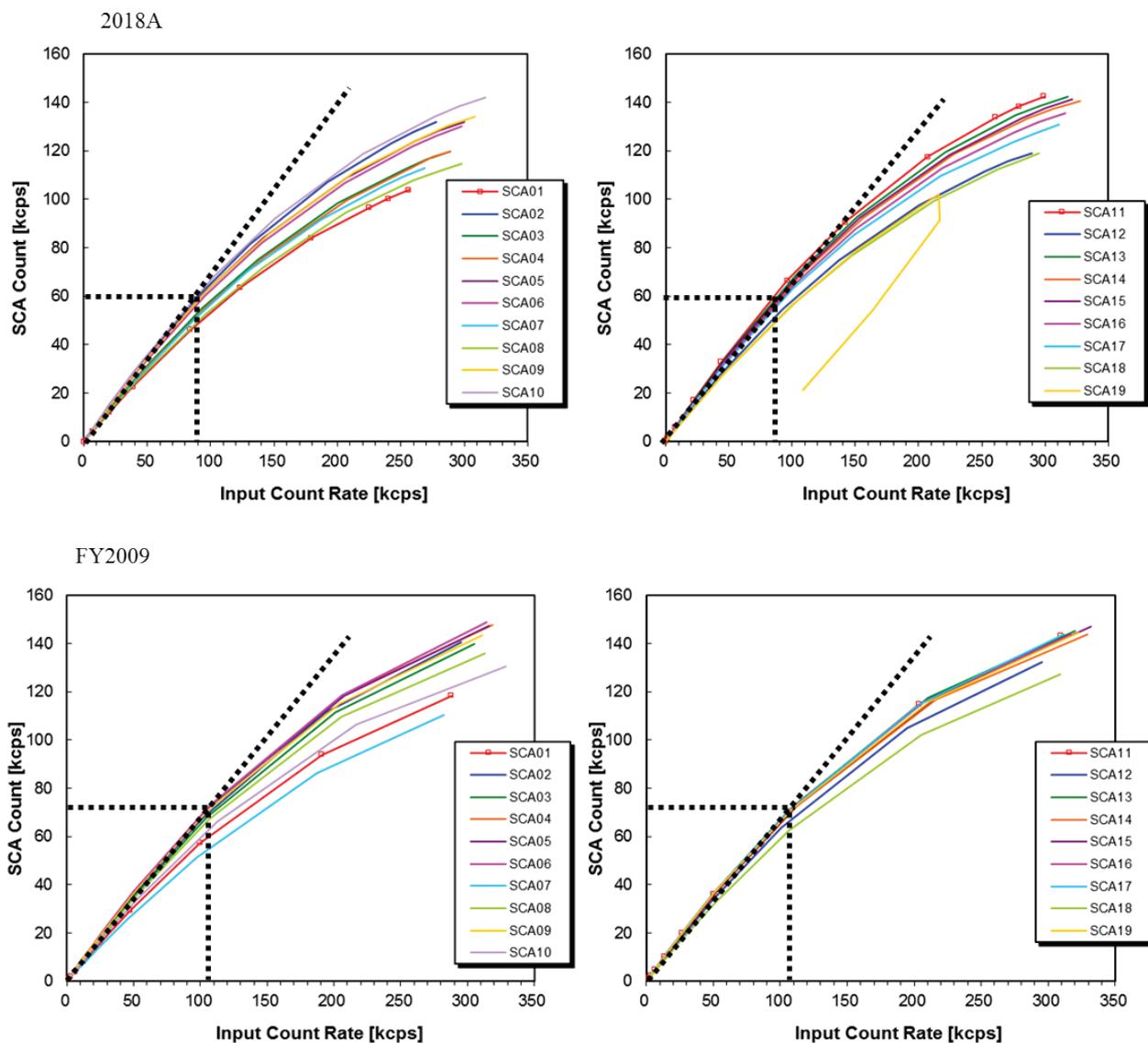


Fig. 1. 上2枚：2018A期の測定結果。左側がch1-10、右側がch11-19の結果。
下2枚：2009年度の測定結果。左側がch1-10、右側がch11-19の結果。

数え落としの評価は、I0チャンバーで計測するX線の強度 (I0) に対して、19素子SSDによって計測されるすべての信号 (ICR) と銅の蛍光線 (K線) をウインドウを切って切り出した信号 (SCA) の相関をプロットすることで行う。通常は、I0とICR、ICRとSCAの関係をプロットし、以下のような理論式にフィッティングすることによって不感時間 τ を求める。

$$N_{\text{obs}} = A \cdot N_{\text{true}} \cdot (1 - N_{\text{true}} \cdot \tau)$$

I0とICRの関係から τ_{ICR} が、ICRとSCAの関係から τ_{SCA} が求められる。 τ_{ICR} と τ_{SCA} の和を不感時間 τ_{total} すると、この値が大きくなること

は数え落としが多発していることを意味し、素子あるいは回路が劣化していることが疑われる。

また、SSDと検出系回路が1つのパルス进行处理するのにかかる時間は μs のオーダーであるが、SPring-8のマルチバンチ運転 (203 bunches mode) ではバンチの間隔は23.6 nsであり、あまり影響を受けない。しかし、他のフィリングパターンではバンチ長が1 μs を超えるものもあり、こういった条件ではX線の時間構造が計数率に影響を与える。よって、フィリングパターン毎の計数率の評価が必要になる。

11 bunch train \times 29

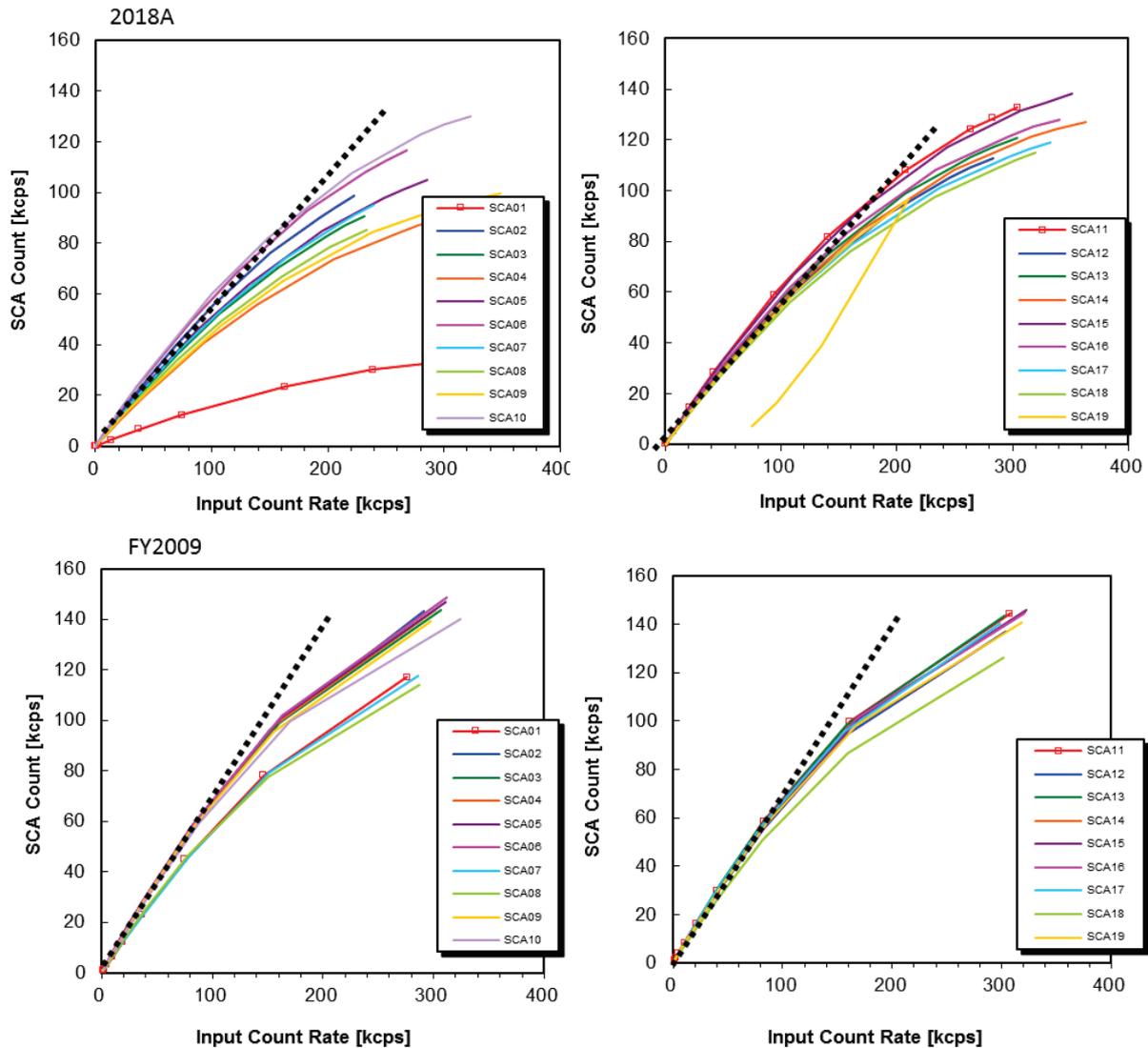


Fig. 2. 上2枚：2018A期の測定結果。左側がch1-10、右側がch11-19の結果。
下2枚：2009年度の測定結果。左側がch1-10、右側がch11-19の結果。

4. 結果の解析

XAFS装置SGとしては同様の調査を2009年度にも行っており、この2009年度の実験結果と比較することで検出器計数率の経年劣化の評価を行う。2018A期と2009年度の共通のフィリングパターンは203 bunches、11 bunch train×29、1/7-filling + 5 bunchesの3つのフィリングパターンであり、この3つのモードの比較を行う。

203 bunchesはいわゆるmulti bunch モードであり、蓄積リング全周において等間隔(23.6 ns毎)に203個のバンチに電子が入っている。11 bunch train×29は連続11バンチのかたまりが、全周において等間隔に29ある。バンチのかたまりは19.7 nsの長さがあり、かたまり同

士は145.5 nsの間隔になっている。1/7-filling+ 5 bunchesは全周を7等分し、1/7には連続して85 mA相当の電子が入り、残りの部分は等間隔5カ所に各3.0 mA相当のバンチがある[4]。

Fig. 1に203 bunchesに対するICRとSCAの相関図をチャンネル(素子)毎に示す(SCAXXのXXが素子の番号)。上段の二つが2018A期、下段の二つが2009年の計測結果である。2018A期はSCAが60 kcps程度まで直線性が保たれているのに対し、2009年度の結果では70 kcpsを超える程度まで直線性が保たれており、10~15%ほど直線性が悪化しているような結果が得られている。また、ch19の素子に関しては明らかに挙動がおかしく、この素子そのものあるいは回路系に何らかの経年劣化が生

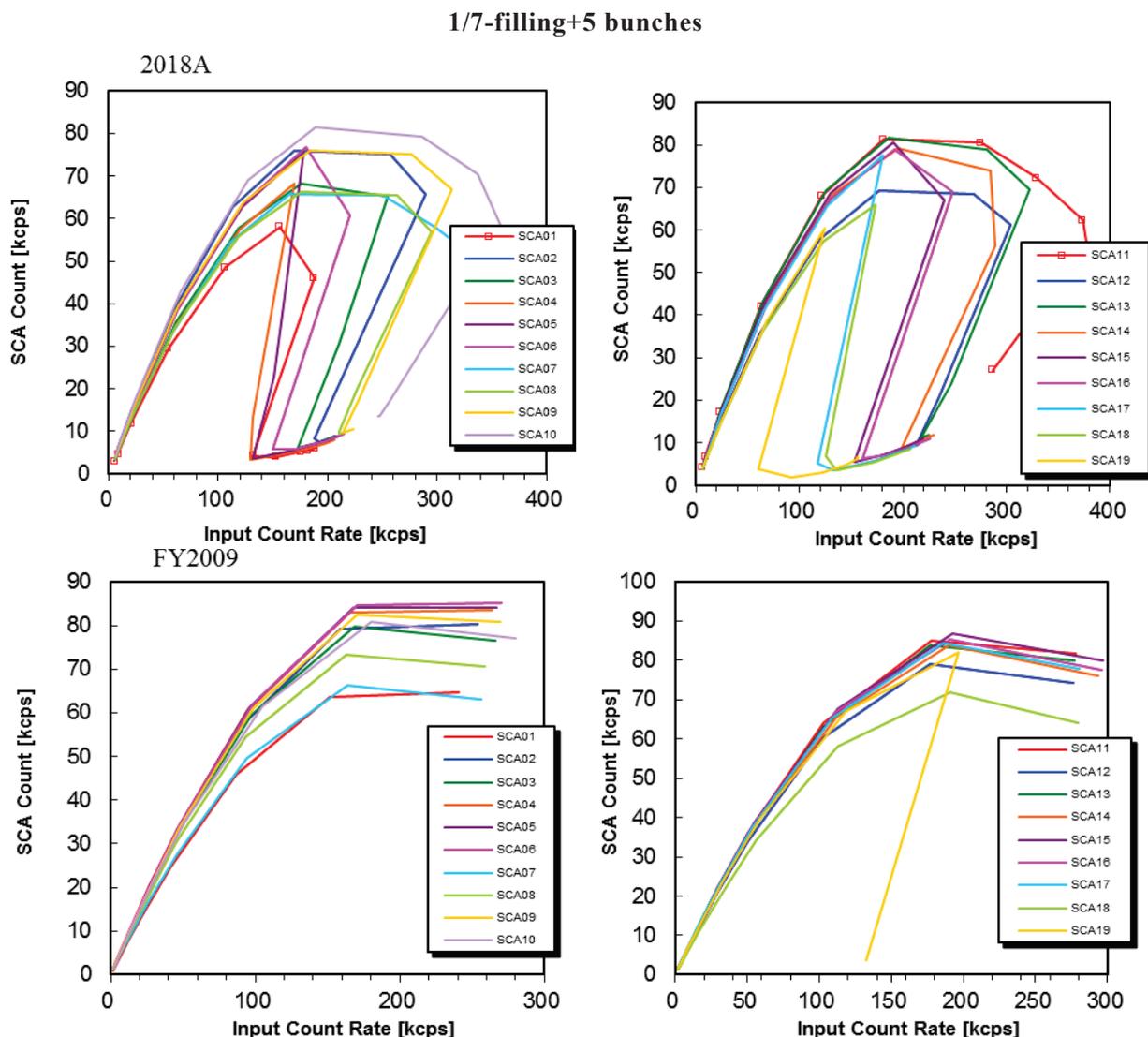


Fig. 3. 上2枚：2018A期の測定結果。左側がch1-10、右側がch11-19の結果。
下2枚：2009年度の測定結果。左側がch1-10、右側がch11-19の結果。

じていると考えられる。

次にFig. 2に11 bunch train×29の結果を示す。2009年の結果ではこちらも同じく60 kcps程度まで直線性が保たれているように見えるが、2018A期の結果では30 kcps程度までしか直線性が保たれていない。また、203 bunchesで挙動のおかしかったch19に加えてch1の挙動もおかしくなっており、素子ごとに素子そのものあるいは回路系の劣化の程度が異なることが見て取れる。

最後にFig. 3に1/7-filling+5 bunchesの結果を示す。2009年度の測定結果でもch19の挙動が若干おかしいなど本質的にこのフィリングパターンと19素子SSDの相性が悪いことがわかる。2009年度の測定結果はch19を除くとICRの値150 kcps程度までは単調増加しており先に示した理論式での補正曲線作成可能と考えられるが、2018A期の測定結果はほぼすべての素子の挙動がICRが150 kcpsを超えた程度から理論式から大きく外れており、補正曲線の作成も慎重に行う必要があることがわかる。

Table 1に先に示した理論式に従って求めたdeadtime τ を示す。203 bunchesは2009年度に比べ2018Aでは値がわずかに悪化しており、経年劣化の効果が表れていると考えられる。11 bunch train×29は挙動のおかしいch1とch19を除いた結果で τ を算出しているが、やはりdeadtimeの悪化は見られているが、 τ_{SCA} に関しては若干値が良化しており、この結果についてはもう少し丁寧な解析が必要と考えられる。1/7-filling+5 bunchesでも2009年度に比べて τ_{SCA} の値が2018A期のほうがよくなっているように見えるが、これは先にみたように理論式からかなり乖離した測定結果を無理やりにフィットした結果であり、取り扱いに注意が必要である。

5. まとめと今後の展望

2008年に導入した19素子SSDについて、導入直後の2009年と約10年後である2018年の計数率を半定量的に比較した。その結果、比較した3つのフィリングパターンいずれでも経年劣化と考えられる変化が見られたが、その程度は放射光X線の時間構造が平坦である203 bunchesと11 bunch train×29にくらべて時間構造が不均一で比較的長いパルス光が入るようなフィリングパターン（1/7-filling+5 bunches）で顕著になっている。

半導体検出器、特にGe素子半導体検出器の経年劣化の原因は、電極層形成のためにGeに薄くドーパされたLiが、素子の冷却と加熱（室温まで）を繰り返す過程で拡散することが一つとされているが、その他信号処理回路系の劣化も原因と考えられる。サンビームでは今後新しい多素子検出器の導入と並行して、多素子検出器に対応したデジタル信号処理系の導入も進めており、今回の結果をデジタル信号処理系を用いた結果と比較することで、経年劣化の原因をさらに詳しく調べることができると考えている。

現在、放射光で行われる実験の光源として主流になっているのはアンジュレータなどの挿入光源であるが、得られるエネルギー帯域が狭くXAFSとは相性が良いとは言えない。Tapered Undulatorなどの新しい技術を使ったXAFS測定も検討されているが、当面は挿入光源に比べると2桁ほど暗いといわれる偏向磁石光源を用いた実験がXAFS測定の主流に位置づけられると考えられる。XAFSの一つの特徴は微量元素検出で、より微量な元素の検出、さらに構造解析をするためには光源を明るくするか、検出器の性能を上げるかの二つの方法が考えられるが、今のべたような事情から、XAFS実験においては光源を明るくすることは難しく、検出器の性能向上が有力になる。

今後、サンビーム・XAFS装置SGとしては高性能の多素子検出器の導入とともにデジタル信号処理系の整備などを進め、検出システム全体の性能向上をとおしてより優れた実験系を構築していく計画である。

参考文献

- [1] 太田俊明 (編): *X線吸収分光法—XAFS とその応用* (アイピーシー, 2002).
- [2] 本谷宗: サンビーム年報・成果集 7, 13 (2018).
- [3] 伊藤真義, 谷田肇: 放射光 21(4), 221 (2008).
- [4] SPring-8 Web Site を参照
http://www.spring8.or.jp/ja/users/operation_status/schedule/bunch_mode

サンビーム共同体 XAFS 装置 SG 主査
株式会社日立製作所 南部 英

