

年 報

兵庫県ビームライン BL08B2

1. はじめに

BL08B2は放射光の産業利用を目的として、BL24XUとともに兵庫県が国内の産業界に対して利用提供しているビームラインである。産業界が利用しやすいシステムを備え、多くの企業に利用頂いている。

BL08B2では産業界での利用ニーズの高い、小角X線散乱(SAXS)、X線吸収微細構造(XAFS)、イメージング・CT、単色X線トポグラフィ、粉末X線回折を備えている。以上の測定機能を基本として、動的観察を可能とする実験設備や、測定手法の複合化、高位置分解能化などの高機能化の整備も取り組んでいる。

以下に2013年度における各ステーションの利用状況および今後の方針について報告する。

2. 実験ステーションの現状

幅広い産業分野での放射光利用を支援することを目的として、BL08B2では複数の実験手法を提供している。各々の実験ステーションが活用され成果が得られているとともに、ビームラインスタッフがユーザの要望に応じた整備を行っている。

2. 1 SAXS

2013年度も引き続き高分子材料を中心として幅広い産業分野での利用があった。その中でも特にゴム材料、蓄電池材料、触媒材料において、目的元素の電子状態・局所構造と材料中の長周期構造との相関性評価が可能なQuick-XAFS/SAXS/WAXS同時測定(利用可能エネルギー:6~25.5 keV)の利用が増えた。今期は利用ユーザーの要望をもとに、EXAFS領域も可能とする改造、ならびに低濃度あるいは希薄な系も測定対象とするためにLytle検出器を利用した蛍光XAFS測定との同時測定系を整備した。また不活性ガスの雰囲気において蛍光XAFS/SAXS/WAXSの同時測定を可能とする加熱炉を独自に開発した。

以上のように、様々なニーズに対してSAXS測定を中心とした他手法同時利用の測定を適用できるよう、ハードおよびソフトの両面での整備に対応した。

また限られたビームタイム内で様々な実験条件での測定を計画するユーザーが増えている。この状況においては、光学系や実験装置の切替え、調整時間を短縮することが求められる。このうち測定系の変更をユーザー側でも実行できるシステムの整備に取り組んだ。今年度は8~15keVのエネルギー範囲に限定した調整システムを構築した。これにより異常分散測定といっ

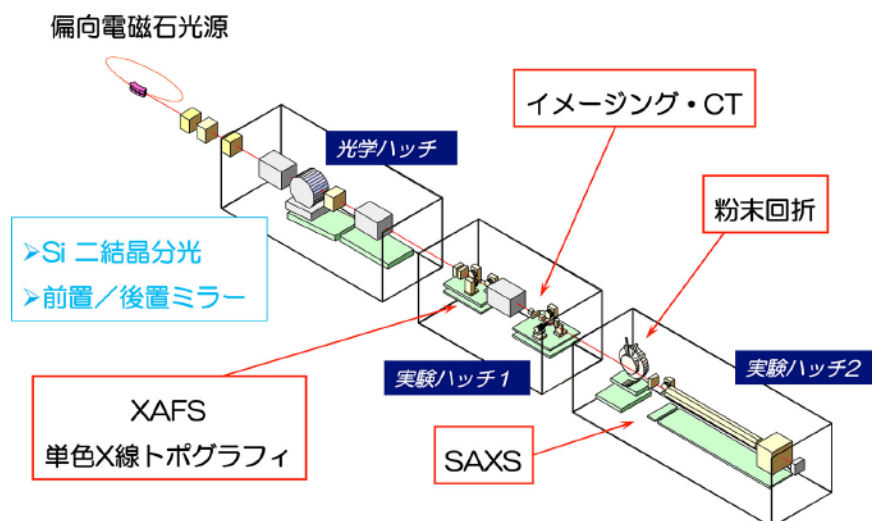


図 1. BL08B2 ビームライン構成

た特殊な測定も容易に実行可能となった。また従来調整に時間を要したカメラ長の変更を行わないままに、測定角度域の調整をユーザーで実行することが可能となった。

上記のような特殊条件下の同時測定や特殊試料台を用いた実験では、いまだ長い調整時間を要している問題がある。限られたビームタイム中にユーザーが多くの測定データを取得できるよう、今後は調整時間の短縮化の工夫を進めていく予定である。

2. 2 XAFS

2013 年度においてもクリーンエネルギー分野での利用が多くあった。リチウムイオン二次電池、燃料電池、排ガス浄化用触媒の開発への応用である。

その中でも電池正極材のように、結晶構造と注目原子周りの局所構造とを同時に評価したいとするニーズや、両スケールにおける構造変化を動的に把握したいとするニーズが増えている。この状況に対して Quick-XAFS と粉末 X 線回折の測定機能を連続的に利用可能とする複合的分析機能を新たに整備した。検出手段には PILATUS 100k を利用している。両測定系のデータ取得の速さを活かして、高い時間分解能を要する動的観察を可能としている。その性能検証のための実験を試みた。金ナノ粒子のペーストを評価用試料として、加熱炉を用いて室温から 420°C までに昇温させながら、その昇温過程における構造変化の観察を試みた。測定機能の同時適用としては、粉末 X 線回折測定に続いて Quick-XAFS 測定を行う連続的なものであり、この 1 セットを 60 秒周期で繰り返し実行した。粉末 X 線回折は、 2θ 角を 26.5° に固定した上で、PILATUS 100k の検出面が捉える角度領域を 1 ショットで撮像した。得られる二次元回折パターンについては、その場で一次元チャートに変換される測定システムを整備している。この 1 測定当たりには要する時間は 5 秒である。Quick-XAFS ではエネルギー走査範囲を 11.64keV から 12.93keV として試みた。走査時間は 30 秒である。

粉末 X 線回折の結果においては金の結晶構造が示す回折ピークの角度幅が過熱処理とともに狭くなる様子を捉え、結晶領域の成長を観察することができた。図 3 にその結果を示す。

Quick-XAFS においても連続的に XAFS データが取得されている。結晶構造と局所構造の時間変化を連続的に、かつ繰り返し観察することができた。

今後は XAFS におけるエネルギー走査と同期させた粉末 X 線回折の測定機能を追加し、異常分散を利用した X 線回折も可能とする予定である。



図 2. Quick-XAFS と粉末 X 線回折の連続測定系。

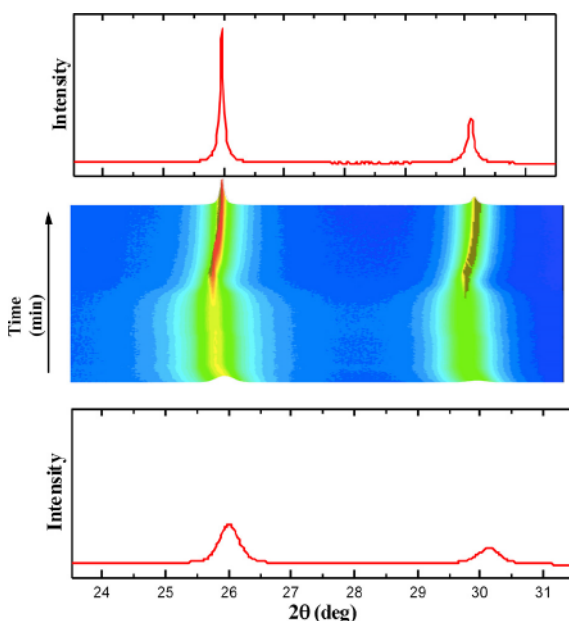


図 3. Quick-XAFS と粉末 X 線回折の連続測定系応用。金ナノ粒子の結晶成長過程の回折測定結果。

2. 3 イメージング

蓄電池等のクリーンエネルギー分野ではプロセスに対する材料構造の変化を捉える研究が実行されている中で、電極材の内部構造を実空間イメージング法で観察したいとするニーズがある。この場合、観察対象が平板形状である場合が多い。このような試料形態にも非破壊的な観察手法を適用するために、従来の CT 機能に加えて、平板型試料の三次元構造観察を可能にする X 線ラミノグラフィーの測定機能を追加した。

X 線ラミノグラフィーの測定配置においては、光軸に対して試料の回転走査軸を数十度傾ける必要がある。この配置を実現するために、CT 測定用のステージ構成に対して傾斜ステージを追加搭載した。



図 4. X 線ラミノグラフィーの装置構成

またユーザーの利便性を考慮し、試料ホルダのマウント方式は CT 用のものと共通化した。これにより CT と X 線ラミノグラフィー間の測定配置の変更が容易となり、様々な試料形態に対する測定を迅速に実行可能とした。

BL08B2 では画像再構成のデータ処理機能もユーザーに対して提供している。マシンタイムの間にデータ解析作業を実行可能とするために、演算処理速度を目的とした専用計算機の整備も行っている。具体的には、汎用の計算機に対して GPU (Graphics Processing Unit) を利用した並列演算処理機能を導入し、さらに大容量メモリ (DRAM) を用いた高速データ転送化の改造を図った。その結果、画像再構成に要する時間が従来システムの場合の 1/10 以下に短縮することができた。図 5 は平板形状である銅メッシュを X 線ラミノグラフィーで測定した場合の画像再構成結果である。

データ解析処理の基本プログラムは JASRI から提供されたものである。これをベースとして、操作経験の浅いユーザーも利用しやすいようプログラムのインターフェースは LabVIEW を用いて GUI 形式で作成した。

2. 4 単色 X 線トポグラフィ

2013 年度において 2 つの課題が実行された。いずれもシリコン半導体に代わる次世代材料として注目されるワイドギャップ半導体の開発に関係したテーマである。

SiC 半導体に関するテーマでは、ウェハに含まれる結晶転位の測定が行われた。市販 4H-SiC ウェハは、六方晶の基底面 (0001) に、表面がほぼ平行であるものが主流であり、エピタキシャル成長させるために、

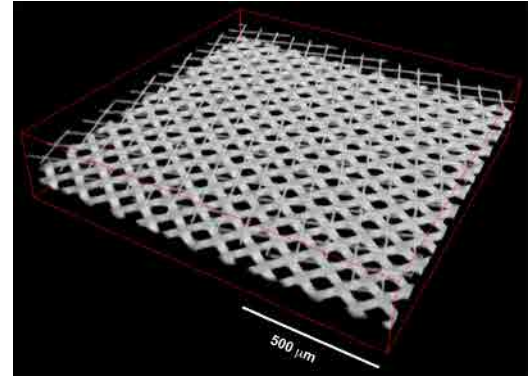


図 5. ラミノグラフィー観察結果。銅メッシュの画像再構成例。

11 $\bar{2}$ 0 方向に 4° オフさせて形成している。したがって、 c 軸はウェハ表面垂直に対して 4° の傾斜を有している。この場合において主に含まれる転位は、 c 軸方向 $\langle 0001 \rangle$ にバーガースベクトルを持った「らせん転位」と、基底面内方向 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ にバーガースベクトルを持った「刃状転位」「基底面内転位」となる。それらの転位の分布を、放射光ビームを利用することで鮮明なコントラスト像が取得された。高品質結晶の開発に対する貴重な情報として活用されている。

GaN 半導体のテーマでは、2013 年度に、Na フラックス法で作製された GaN 基板の結晶性評価を単色 X 線トポグラフィで観察する試みが実行された。試料の X 線吸収係数が非常に大きいため、放射光の波長選択性の特徴を活かし、高エネルギー X 線を利用している。光子エネルギーは 39.6 keV であり、表面が c 面である結晶基板について 1126 反射を利用した反射トポグラフィを撮像した。図 7 に示すように、表面側と裏面側とをそれぞれ観察し、異なるコントラスト像を得ている。表面側が種結晶からの成長後期側に相当する考えると、成長初期側である裏面との成長段階の差が結晶構造の違いに関係していることを確認した。

2. 5 粉末 X 線回折

2013 年度は蓄電池材料への応用として、正極材中の活物質が有する結晶構造に注目した研究が行われた。放射光実験用として準備されたラミネート型電池セルが用いられ、充放電プロセスをその場で行いながら、正極材中の Ni 系活物質の結晶構造変化が観察された。放電開始の後、時間経過と共にリチウムイオンの挿入に伴って、六方晶構造の活物質構造が僅かに格子定数

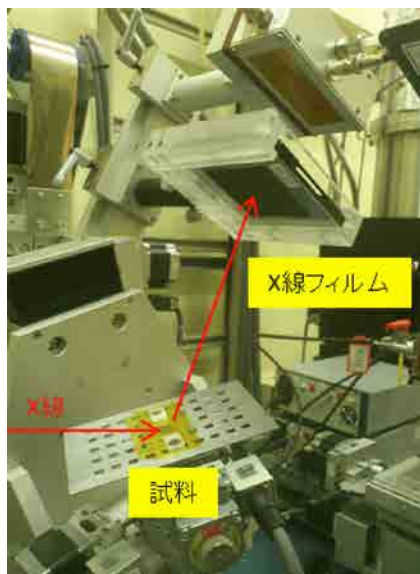


図 6. X 線トポグラフィ実験構成，反射配置の場合。

の異なる結晶相へと変化する様子を動的観察によって捉えている。また負極材のカーボン由来のピークシフトからリチウムの挿入に伴う電極ステージ構造の変化を捉えることに成功している。

この利用成果のように，粉末 X 線回折を利用した研究では結晶構造変化の動的観察が主な応用となっている。蓄電池への応用に関しては XAFS が与える局所構造と併せた多面的な材料構造評価のニーズも高まりつつあり，前述の通り XAFS との分析複合化の改造を進めている段階である。

また結晶構造解析の機能充実のために，第一原理計算法の活用を検討している。高性能計算機を実験現場とリンク活用可能とすることで，その場での構造シミュレーションによるデータ解析環境の実現も目指す。

3. 産業利用の状況に関して

2013 年度において兵庫県ビームラインの管理運営組織が兵庫県立大学 放射光ナノテクセンターへ組織変更された。この新組織においても産業界をメインとした放射光の利用支援の方針は継続している。

2013 年度は，SPring-8 全体のマシンタイムのうち，ユーザーへの利用提供の総数は 68 日間であった。産業分野の中でも化学製品，電池・触媒テーマの利用が多い。

ユーザー利用を除くマシンタイムに関しては，測定手法を切り替えるための装置調整や，各実験ステー

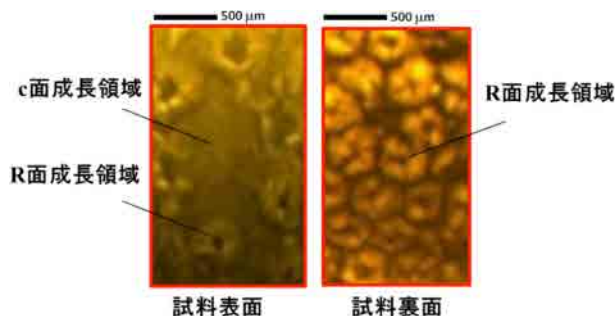


図 7. GaN 試料の X 線トポグラフィ像，反射配置により測定。

ションにおいて高機能化を図るためのスタディの活動で消化している。

ユーザーが利用した手法を見ると，小角 X 線散乱：44%，XAFS：29%，トポグラフィ：22%，イメージング：2%，粉末 X 線回折：3%であった。ただし，各ステーションの欄にも報告の通り，異なる測定手法を複合的に利用するケースが増えている状況がある。

利用形態として，成果公開についてはユーザー利用全体の 14%の割合である。成果占有での利用に関しては，その半数以上が測定代行の利用である。

スタッフによるサポート体制と共に，新組織移行後においても，(1) 利用課題は随時募集，(2) サイクル毎にユーザーのマシンタイムを配分，(3) マシンタイムの設定に関してはユーザーの要望を最大限考慮，以上の方針を変えることなく，スタッフ全員がユーザーフレンドリーな形でのビームラインの利用提供に努めている。

4. 今後の計画

BL08B2 は 2014 年度において供用開始から 10 年目を迎える。この間，多くの企業，様々な産業分野において活用されてきた。

今後は動的観察に向けた測定手法の高機能化や実験環境の整備，光学系も含めた装置運転の自動化などの工夫を行い，ユーザー側における実験効率のアップを図りたい。

放射光実験で得られるデータを最大限活用しながら材料構造の情報を引き出すことを目的として，放射光と計算科学の相補的な利用に関する試みも計画中である。その内容として，2014 年度は企業研究者を対象とした実習を開催する。第一原理計算を用い，材料構

造モデルを仮定した電子状態の計算や XANES スペクトルのシミュレーション技術に関する技術習得の機会を提供する予定である。また分子動力学を利用した計算コードの実習も検討中である。計算科学の取り組みによって XAFS や散乱回折測定機能の更なる有効活用が期待される。

軟 X 線が利用できる NewSUBARU 施設との連携利用に関しても、大学組織の中で整備を進める予定である。特に X 線吸収分光の応用に関して、BL08B2 で金属元素を、NewSUBARU のビームラインにおいて酸素や炭素等を対象とした観察を行うことにより、蓄

電池材料等の開発への寄与が期待される。特に国内において軟 X 線と硬 X 線の両実験施設を保有し産業利用を支援する組織は他に無い。この点を特徴として PR を行いながら、放射光の産業利用の支援活動を展開していきたい。

兵庫県立大学 産学連携・研究推進機構 放射光ナノテクセンター

横山和司, 李 雷, 桑本滋生, 漆原良昌, 野瀬惣一, 竹田晋吾, 松井純爾, 竈島 靖

兵庫県ビームライン BL24XU

BL24XU は、放射光の産業利用推進を目的として兵庫県が設置した、SPring-8 初の専用ビームラインである。高輝度アンジュレーターを光源に採用し、その特性を活かすためのマイクロビーム光学系やマイクロイメージング光学系に特化した測定ステーションを配備している。特にマイクロビーム利用に関しては、兵庫県立大学大学院物質理学研究科 X 線光学講座による専門的な運用を行っており、高度な技術をユーザー利用光学系として提供している。

ビームラインのハッチ構成の概略を図 1 に示す。2 本のブランチ（ブランチ A、ブランチ B）で構成されており、ダイヤモンド薄板結晶を利用した長オフセット 2 結晶分岐分光器により、モノクロ光をブランチ A、透過光をブランチ B へ同時に供給する。各ブランチにはそれぞれ 2 つの実験ハッチをタンデムに配置（実験ハッチ A1, A2, 光学ハッチ B2, 実験ハッチ B1）している。光源には 8 の字アンジュレーターを採用し

ており、大強度と低負荷を両立するだけでなく、半整数次の高調波を利用することで、垂直、水平偏光の選択を可能としている。

1. 各実験ステーションの状況

1. 1 ブランチ A

ブランチ A ではダイヤモンド結晶分光器による 10 keV の単色光が利用できる。実験ハッチ A1 では Bonse-Hart 型極小角散乱ステーション、実験ハッチ A2 では斜入射回折ステーションの運用を行っている。

Bonse-Hart 型極小角散乱ステーションでは図 2 に示すように、単結晶を用いた角度分解光学系を利用するため、一次元方向のみの測定に限られるが通常の小角散乱光学系では測定が困難な数ミクロンから数 100 ナノメートルの周期構造の観察が可能である。図 3 に標準試料であるシリカ粒子（平均粒径 1000 nm）の

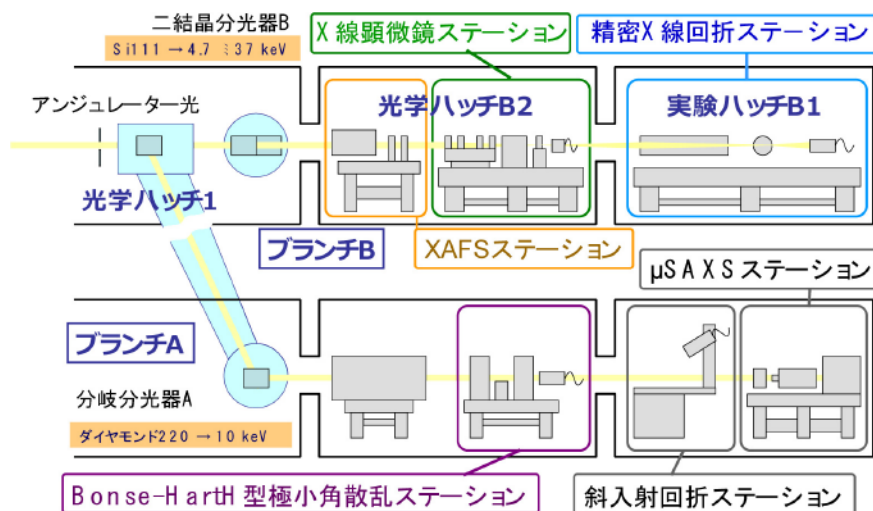


図 1. BL24XU ハッチ構成概略

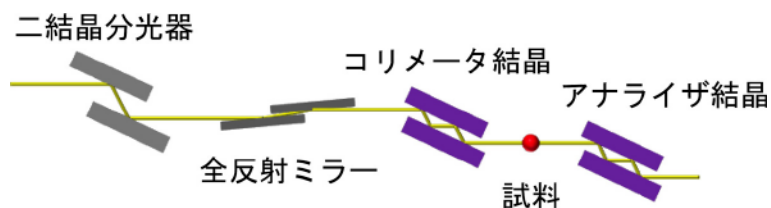


図 2. Bonse-Hart 型極小角散乱測定光学系

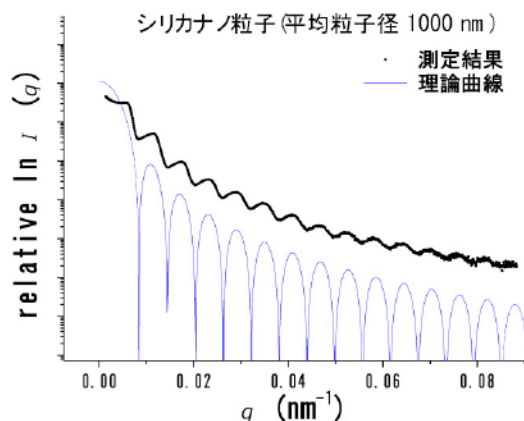


図 3. 標準試料（平均粒径 $1\ \mu\text{m}$ のシリカ球）の小角散乱測定データ

測定データを示す。2013 年度では測定の高速化を行ったため、約 90 秒間隔で試料の経時変化を測定することが可能となっている。

斜入射回折ステーションでは、図 4 に示すような 4 軸表面回折計を設置しており、斜入射条件で試料の回折測定を行なっている。表面・界面の結晶構造、薄膜構造の評価、カウンタ法を用いた粉末回折測定、さらには、2 次元検出器を利用した半導体試料等における反応過程のその場観察（加熱炉が搭載可能）への応用が行われている。

実験ハッチ A1, A2 間には 7 m の輸送チャンネルがあり、長い大口径真空パイプで接続されている。この特徴を利用したマイクロビーム小角散乱光学系についても、現在整備を進めている。

1. 2 ブランチ B

ブランチ B は水平オフセットのシリコン 2 結晶分光器を採用しており、5 keV～30 keV の単色光を利用す



図 4. Huber 4 軸表面回折計

ることができる。タンデムハッチの上流側（光学ハッチ B2）は光学ハッチ仕様であり、分光器を退避することによりアンジュレーター白色光の利用が可能である。光学ハッチ B2 には、マイクロビーム XAFS に特化した XAFS ステーション、空間分解能に特化したマイクロビーム利用光学系や高分解能イメージング光学系を利用できる X 線顕微鏡ステーションを設置しており、各種材料評価に利用されている。下流側の実験ハッチ B1 では高平行度マイクロビーム光学系を用いた精密 X 線回折ステーションを運用しており、主に次世代半導体基板や電子デバイス評価に応用されている。

1) XAFS ステーション

XAFS ステーションは図 5 に示す光学系構成をしており、全反射集光ミラーにより 1～2 ミクロンサイズに整形した X 線ビームを利用した微小領域における構造評価法として提供している。チャネルカット結晶を集光光学系に採用し、高エネルギー分解化を達成した。図 6 に $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の Fe 吸収端プレエッジ領域の XANES スペクトルにおける標準光学系との比較を示す。本光学系は、主に第一遷移金属の化学状態を調べ、酸素の配位構造を探るために利用されており、リチウムイオン二次電池、固体燃料電池、陶磁器釉薬の構造評価等に応用されている。図 7 に LiNiO_2 系リチウムイオンバッテリー正極材への応用例を示す。Ni-K α 蛍光 X 線マッピング像の任意の点において、局所での XANES スペクトルを取得しており、充放電状態下でのスペクトル変化を捉えることに成功している。

さらに、同一ステーション上で局所構造および結晶構造の両評価を実現する目的で、Pilatus 100K を利用した二次元粉末 X 線回折機能も追加搭載する予定である。今後、NewSUBARU における軟 X 線吸収分光法、スペクトルの理論計算法と併せて、統合構造評価ステーションのひとつとしての活用の可能性を探る。

2) X 線顕微鏡ステーション

X 線顕微鏡ステーションでは、X 線集光ビーム、X 線イメージング光学系を利用した、サブミクロン～ミクロンの空間分解能と高い時間分解能を有する測定のユーザー利用を展開している。また、兵庫県立大学 X 線光学講座の学術研究として、次世代 X 線集光素子である多層膜ゾーンプレート、全反射ゾーンプレート等の開発評価や、新規 X 線イメージング法の開発、

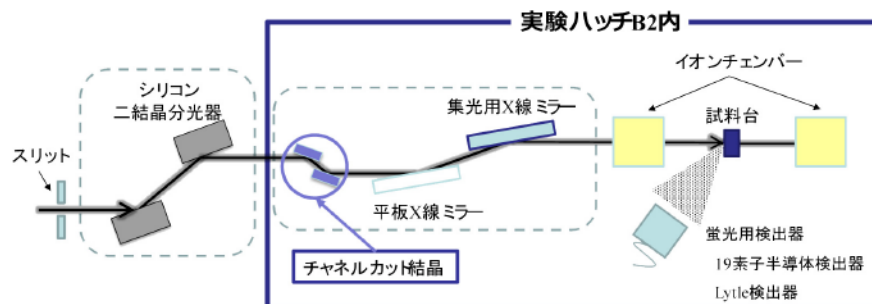
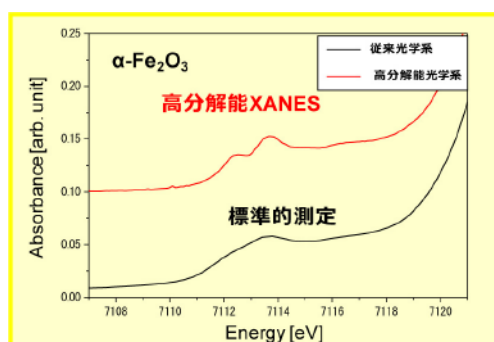


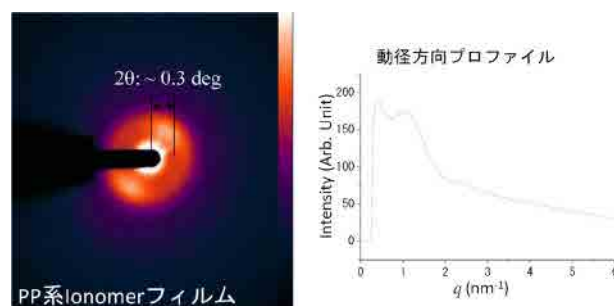
図 5. 高エネルギー分解マイクロ XAFS 光学系

図 6. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 吸収端プレッジ領域の XANES スペクトル

高度化も行われており、ユーザー利用光学系へフィードバックされている。測定光学系や測定条件は、技術相談内容によりオーダーメイド的に設定可能で、測定光学系の準備調整、実験サポート、解析アドバイスまで一貫して行っている。

集光ビームは、基本的にフレネルゾーンプレート (FZP) を用いて形成する。表 1 に代表的なマイクロビームの性能及びその応用測定系について示す。測定は、2次元検出器を用いた広角回折に加え、小角散乱

測定系の整備も進めている。その他、蛍光 X 線マッピングや高感度位相コントラストイメージング (CT への応用も可能) の利用が可能である。図 8 にポリプロピレン系アイオノマーフィルムの小角散乱測定例、図 9 に葉表皮の多元素同時蛍光 X 線マッピング測定例を示す。

図 8. ポリプロピレン系アイオノマーフィルムのマイクロビーム小角散乱測定例 (15 keV, ビーム径 2.5 $\mu\text{m} \times 8.5 \mu\text{m}$)

イメージング光学系では、従来型平行照明 CT 光学系において、ビーム伝播法による位相コントラスト再構成の導入を行った。図 10 に示した昆虫の測定例の

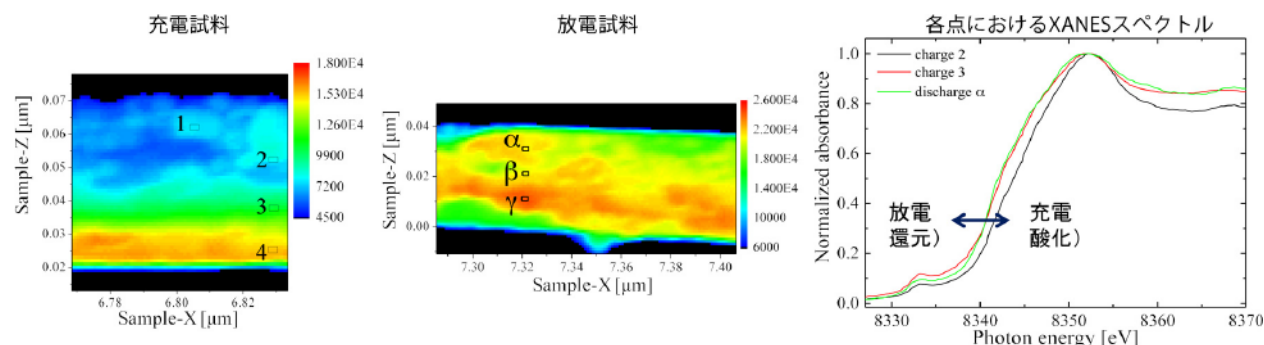
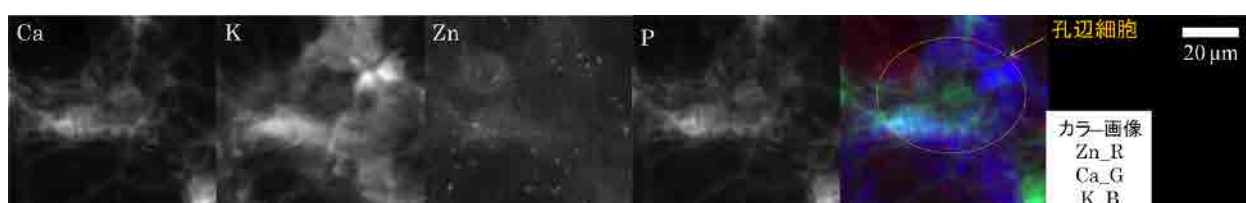
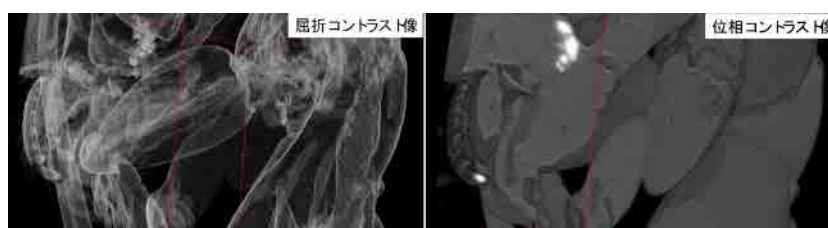
図 7. LiNiO_2 系リチウムイオンバッテリー正極材断面試料への応用例

表 1. 代表的なマイクロビーム性能

Energy (keV)	焦点距離 (mm)	集光サイズ (縦 × 横 μm)	発散角 (arcsec)	強度 (光子/s)	応用測定系
10	72	0.15×0.3	500	4×10^8	XRF, Imaging
	286	0.3×0.7	290	3×10^9	XRF, WAXD
	800	0.6×1.7	50	2×10^9	XRF, WAXD
	2000	1.5×9	25	4×10^{10}	WAXD, SAXS
15	108	0.2×0.4	333	3×10^8	XRF, Imaging
	108	0.2×4	10	5×10^6	精密回折
	3000	2.5×8.5	13	5×10^9	WAXD, SAXS
20	40.5	<0.1	310	$\sim 10^9$	XRF

図 9. 葉表皮のマイクロビーム XRF 測定例 (15 keV, ビーム径 $0.7\ \mu\text{m}\times 1\ \mu\text{m}$)図 10. 昆虫の標準 CT 観察例 (10 keV, 実効画素サイズ $1.3\ \mu\text{m}$, 試料径 $1.5\ \text{mm}$)

ように、従来の屈折コントラスト像では判別が難しい高密度領域の情報を効果的に判別することができる。また、ラミノグラフィ法の導入を行い、加工の困難な試料や平板状の試料の観察を可能とした。図 11 にリチウムイオン電池電極の測定例を示す。両極とも集電材を含めた測定を行っており、従来の CT 法では観察が困難であった電極材の微細構造観察ができるようになった。X 線結像光学系を利用した高空間分解能 CT 法の整備も進め、最大視野 $250\ \mu\text{m}$ において最高分解能 $0.3\ \mu\text{m}$ を達成する光学系の利用が可能となった。図 12 に毛髪試料の測定例を示す。

3) 精密 X 線回折ステーション

主に半導体結晶の微小領域高感度歪み計測を目的に、高平行度マイクロビーム光学系を用いた微小領域精密回折実験を行っている。光学系は図 13 に示すよ

うに、(+, -, -, +) 配置の 2 つのチャンネルカット結晶とベントシリンドリカルミラーを組み合わせ形成しており、試料に対する高い歪み感度と高い位置分解能を両立している。ユーザーは、以下の 3 種のビームから選択して実験できる。光学系 1 は、ビームサイズ $0.8\ \mu\text{m}\times 1.7\ \mu\text{m}$ 、発散角 $25\ \mu\text{rad}$ 、光学系 2 は、 $0.4\ \mu\text{m}\times 1.0\ \mu\text{m}$ 、発散角 $50\ \mu\text{rad}$ 、光学系 3 は、 $35\ \mu\text{m}\times 35\ \mu\text{m}$ 、発散角 $3.5\ \mu\text{rad}$ である。焦点には $\theta-2\theta$ 回折計が設置され、ロッピングカーブ測定や逆格子空間マッピングが可能である。

兵庫県立大学

大学院物質理学研究科¹、産学連携・研究推進機構放射光ナノテクセンター²

高野秀和^{1,2}、竹田晋吾²、横山和司²、津坂佳幸^{1,2}、
籠島 靖^{1,2}

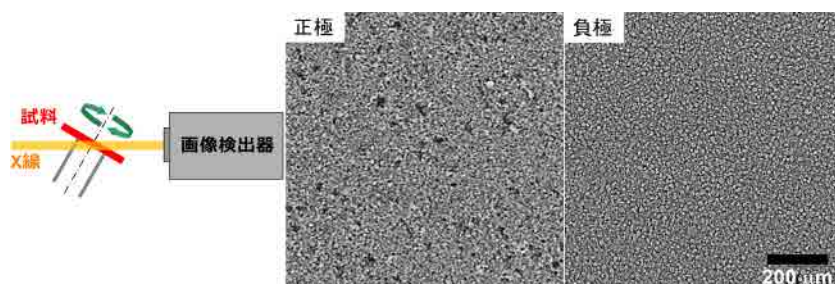


図 11. リチウムイオン電池電極材のラミノグラフィ測定例 (10 keV, 実効画素サイズ $1.3 \mu\text{m}$, 試料径 10 mm)

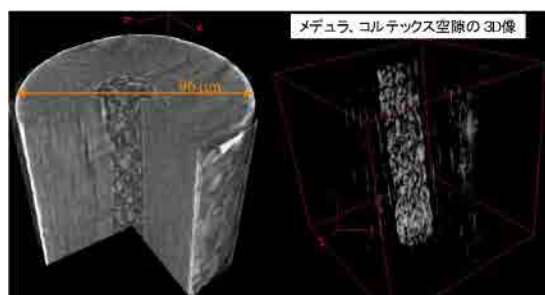


図 12. 毛髪の結像 CT 測定例 (7 keV, 実効画素サイズ $0.21 \mu\text{m}$, 試料径 250 μm)

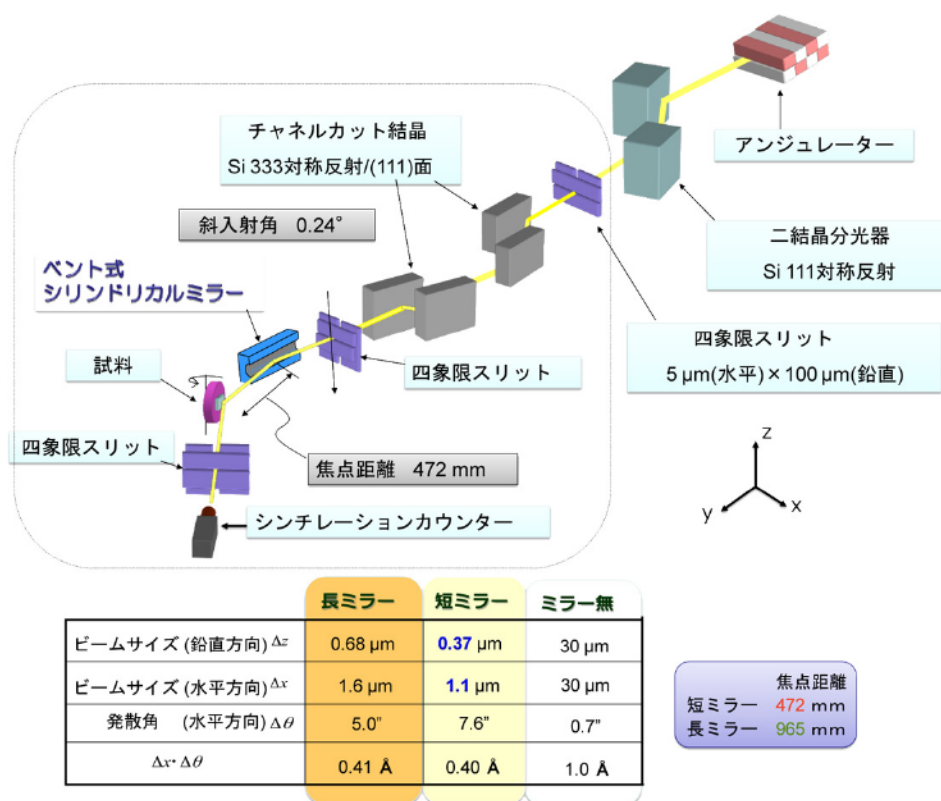


図 13. 高平行度マイクロビーム精密 X 線回折装置

施設運用および利用状況

SPring-8 の誘致を行ってきた兵庫県では、放射光研究における産業利用の促進を図ることを目的として、兵庫県ビームラインの整備を行ってきた。1 本目の県専用ビームラインである BL24XU は SPring-8 の供用開始とともに整備を始め、1998 年度に供用を開始した。マイクロビームを使った各種イメージング、回折装置等を活用して、半導体材料、生体材料、高分子材料等幅広い材料分野での局所分析に対応し、具体的な研究成果を挙げてきた。

その後、産業界においては、より製品化に直結する技術開発段階での材料分析ニーズが増加、また材料利用技術の高度化に伴って、新しい機能を有する材料の開発等が盛んになってきたことなどから、BL24XU が有する手法に加え、小角 X 線散乱 (SAXS)、広域 X 線吸収微細構造解析 (XAFS)、高精度粉末 X 線回折、単色 X 線トポグラフィ等の手法についても対応すべく、2 本目の県専用ビームラインである BL08B2 を建設し、2005 年度より供用を開始した。

2008 年 1 月には、SPring-8 の利用企業等を支援し、産業界の課題解決の地域拠点として、兵庫県放射光ナノテク研究所の供用を開始した。

同研究所は、2 本の兵庫県ビームラインの産業利用推進の拠点となり、多くの産業界で実施されている新材料開発上必要な分析評価に放射光を積極的に適用することを目的に設置した。研究所には、各種 X 線回折装置、電界放出型走査電子顕微鏡、走査プローブ顕微

鏡、共焦点レーザーラマン顕微鏡などの分析装置や試料準備室を備えている。

また、大学や企業との共同研究を行うための共同研究室、会議室なども備えた多機能施設であり、コーディネーターや研究員が配置され、利用企業等からのさまざまな相談・要請に対応するとともに、兵庫県ビームラインの利用企業等に対し、各種申請、実験準備、分析アドバイス等を行っており、放射光利用が未経験である企業に対しても、技術相談・トライアル的な利用機会の提供を通じて技術的支援を行っている。

兵庫県ビームラインおよび兵庫県放射光ナノテク研究所の管理・運営については、これまで公益財団法人ひょうご科学技術協会が兵庫県からの委託を受けて実施してきたが、平成 25 年度から、公立大学法人兵庫県立大学に委託先を移管し、学内に産学連携・研究推進機構放射光ナノテクセンターを組織し、同センターにより管理・運営を行っている。

これは、産業界における放射光の利用が進み、SPring-8 サイト内に設置されている放射光施設ニュースバルを有する兵庫県立大学の機能を連携、活用し、産学共同研究に対する体制・設備を強化することにより、これまで以上に新技術・製品開発の促進が期待される。

また、産業界における放射光の利用が進み、また世界トップレベルのスーパーコンピュータ「京」や産業利用専用のスーパーコンピュータである「FOCUS」

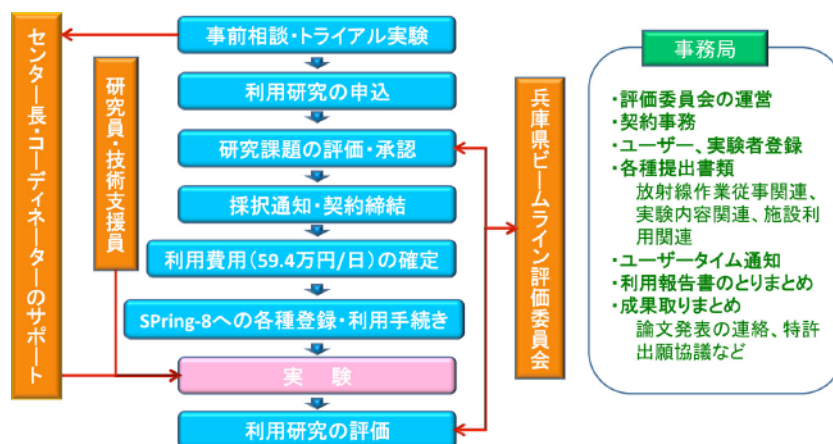


図 1. 兵庫県ビームラインの利用体制

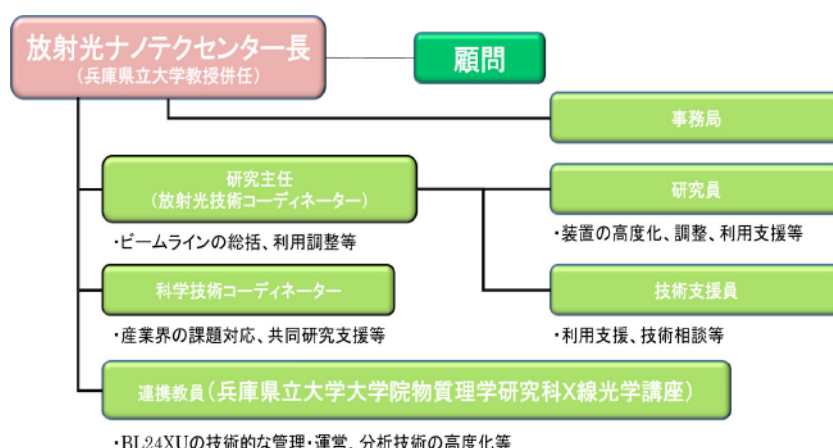


図 2. 兵庫県ビームラインの運営体制

が兵庫県内に設置され、放射光の解析とスーパーコンピュータによるシミュレーション技術を組み合わせた革新的な材料開発のニーズが高まってきていることから、兵庫県立大学の機能の連携・活用がより一層図られることが期待されるからである。

放射光ナノテクセンターでは、平成 26 年度に放射光施設及びスーパーコンピュータの相互利用を促進するため、企業の技術者等に材料シミュレーション技術の習得支援を行ってきたところであり、継続して支援していきたいと考えている。

これまで以上に、利用企業等にとって使い勝手の良い環境を整え、産業分野における放射光の利用が円滑に進むよう努めるとともに、各種研修会・技術相談・受託研究制度等の実施を通じて、県内に立地する特長ある多数の中堅・中小企業や地場産業への放射光利用が進むよう、放射光利用の裾野の拡大にも取り組んでいく。また、関西地域に止まらず、全国の先端的技术開発を進める企業にも兵庫県ビームラインを積極的に提供し、新材料の評価・開発等に多くの知見を蓄積することで、利用企業等のニーズに応じた高度な技術的課題に対応できるよう努めていく。

利用体制

兵庫県ビームラインの利用に至る過程を図 1 に示す。

運営体制

兵庫県ビームラインの利用に関わる運営体制を図 2 に示す。

受託研究（分析サービス）

兵庫県ビームラインが備える汎用的な分析ツールを活用し、産業界が放射光を利用しやすいシステムを提供するとともに、産業界における潜在的ニーズの開拓を進めるため、2009 年度より、企業等からの委託を受けて放射光ナノテクセンターの研究員が、試料の測定・解析を行う受託研究を実施している。

分析の内容としては、当初、XAFS と小角 X 線散乱の両測定法を対象としてスタートしたが、産業界の要望を踏まえ、X 線イメージング、トモグラフィなど、順次分析サービスの測定法を充実させている。

維持管理・経費負担

兵庫県ビームラインおよび兵庫県放射光ナノテク研究所の維持管理・機器更新、ユーザーサポートについては、放射光ナノテクセンターが実験ハッチ内の機器と一元的な管理を行っている。なお、BL24XU の技術的な管理・運営部分に関しては、兵庫県立大学大学院物質理学研究科 X 線光学講座の教員が、放射光ナノテクセンターとともに担っている。

兵庫県ビームラインの維持管理にかかる費用については、設置者である兵庫県が負担しているが、兵庫県の負担で賄う設備以外のうち、実験に必要な主要機器等の整備費、人件費、研究費については利用企業等から負担いただいております。この費用については、ユーザータイムの配分に応じた金額（59.4 万円/日）を、各利用企業等が公立大学法人兵庫県立大学に支払っている。

利用状況

兵庫県ビームラインの利用に当たって、利用申請は随時受付けており、利用時期についても、毎月実施しているスケジュール会議において、兵庫県ビームラインの効率的な運用を考慮しつつ、企業の意向をなるべく尊重する形で日程調整を行っており、SPRING-8の全ビームタイムに対する兵庫県ビームラインの稼働率は、ほぼ100%となっている。

兵庫県ビームラインにおける、最近4カ年の装置別利用割合を図3に示すが、小角X線散乱(SAXS)、X線吸収微細構造(XAFS)の利用が高い割合で推移している。

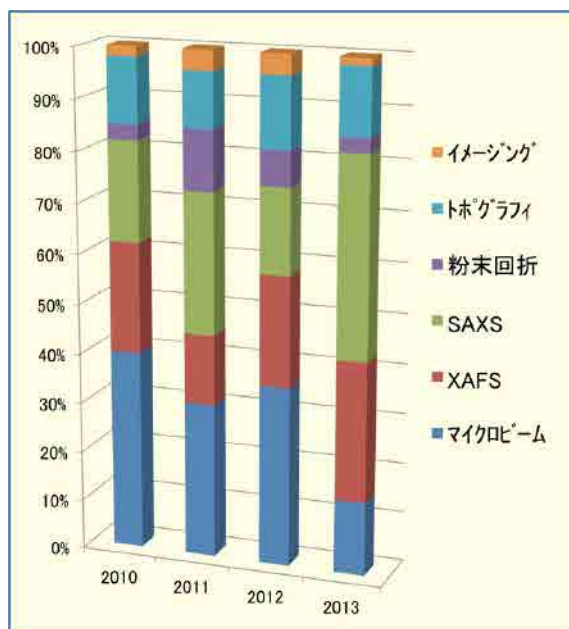


図3. 兵庫県ビームラインの装置別利用割合

また、利用分野については図のとおりであり、兵庫県の主たる産業である鉄鋼や金属関係の利用割合はごく僅かで、「関西イノベーション国際戦略総合特区」において、次世代エネルギー関連材料の開発を最重点課題として取り組んでいることも関係していると思われるが、県内及び関西企業のニーズが高い電池や半導体といった省エネ、次世代エネルギー関連材料の利用が多い。

兵庫県立大学産学連携・研究推進機構放射光ナノテクセンター

〔事務局社会貢献部課長（放射光ナノテク担当）〕

堅田 誉

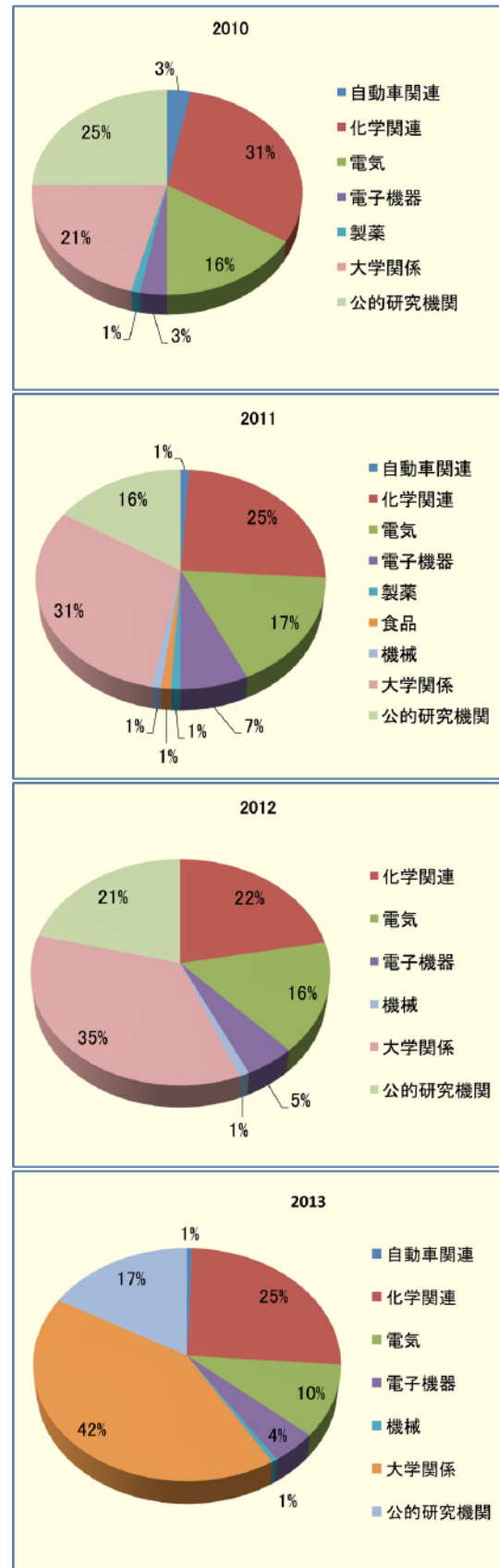


図4. 兵庫県ビームラインの分野別利用割合