

一次元ハイブリッド型半導体検出器を搭載したハイスループット放射光粉末 X 線回折システム

河口彰吾 公益財団法人高輝度光科学研究センター 〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
 杉本邦久 公益財団法人高輝度光科学研究センター 〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

要旨 大型放射光施設 SPring-8 の粉末結晶構造解析ビームライン BL02B2 において構築したハイスループット粉末回折計測を目的とするシステムについて紹介する。本システムは、一次元ハイブリッド型半導体検出器、コンパクトサンブルチェンジャー、窒素ガス吹付装置を用いた温度制御システム (90~1173 K) で構成されている。本装置の開発により、SPring-8 の高輝度・高エネルギー X 線と透過法を用いることで少量の試料から統計精度の高い粉末回折データが得られるだけでなく、全自動で短時間、且つ従来よりも高い角度分解能の粉末回折データを得ることが可能となった。また、本システムでは、その場観察を目的とする試料のガス雰囲気回折実験と同期してコントロール可能なモートガスハンドリング装置及び低温・高温アタッチメントについても開発を行ったので、実試料による測定例を交えながら紹介する。

1. はじめに

粉末 X 線回折法は古典的な手法ではあるが原子レベルでの物質・材料評価に有益な情報 (結晶構造や相同定、結晶子サイズなど) を簡便に得られることから、物質科学研究・材料開発の場において極めて利用頻度の高い計測手法である。放射光を光源として用いた場合、高い角度・空間分解能の回折データが短時間で得られ、さらに高エネルギー X 線と透過法を用いることで少量の試料から統計精度の高い粉末回折データが得られる。このことから世界中の多くの放射光施設にも粉末回折ビームライン (BL) は存在している。大型放射光施設 SPring-8 では、電子密度レベルでの精密結晶構造解析のための実験ステーション BL02B2 が建設され、共用開始から現在18年を迎えている。この間、SPring-8 の高輝度・高エネルギー X 線と大型デバイセラーカメラにイメージングプレート (IP) 二次元検出器を組み合わせた手法をベースに無機材料、有機材料等の粉末試料から薄膜試料までの精密構造物性研究で多くの実績を挙げ、現在1000本 (年間70~90報) 以上の学術論文創出に貢献している¹⁾。例えば、この装置で得られた高精度粉末回折データとリートベルト法、マキシマムエントロピー (MEM) 法による電子密度分布解析²⁾ を組み合わせ、金属内包フラーレン分子の構造決定³⁾、多孔性配位高分子におけるナノ細孔内のガス分子吸着状態の観測⁴⁾、ペロブスカイト型構造の多面体における化学結合の可視化⁵⁾、 $d > 0.2 \text{ \AA}$ 程度までの高分解能データによる超精密構造解析⁶⁾、遺伝的アルゴリズムを用いた医薬品の未知構造決定⁷⁾、元素間融合によるナノ結晶評価⁸⁾ など挙げら

れ、研究対象となる物質は多岐に渡っている。この類似の計測システムは、SPring-8 サイト内で他にも2つ BL で採用されており、国内の放射光施設 (SAGA-LS や Aichi-SR など) や、ドイツの放射光施設 PETRA III にも採用されている⁹⁾。イメージングプレートを用いた回折計は精度良く粉末回折データの強度を観測できる特徴を持つ。しかしながら、外場中での高速その場測定や使用動作下でのオペランド測定等の研究ニーズに対しては、データの読み取りに要する時間が、電氣的にデータを読み出す検出器に比べて圧倒的に不利である。したがって、限られたビームタイム内で高い時間分解能を必要とする測定には、オンラインでデータの読み取り可能な検出器の導入が不可欠な状況であった。

この状況を踏まえるとともに、ユーザーからのニーズに応えるために、2015年に DECTRIS 社製の一次元ハイブリッド型半導体検出器 (MYTHEN : Microstrip sYstem for Time-resolved experimeNts) を新たに6台導入した。MYTHEN は読出ノイズフリー、広いダイナミックレンジ (24 bit) とエネルギー領域 (7~40 keV) を有し、近年、Swiss Light Source (SLS) を初めとして、世界各国の放射光施設で導入されている。(例えば、SLS: 24 modules, Diamond (英) : 18 modules, Australian Synchrotron (豪) : 18 modules)¹⁰⁻¹²⁾。我々は、MYTHEN 検出器設置にあたり、電子密度分布解析に実績のある既設の二次元 IP 検出器と簡便に切替えができるように設計し、新しい計測システムを構築した。これにより、従来の静的な計測手法に加えて、時間分解能の高い粉末回折データを測定することが可能となり、外場・使用条件下での構造物性学創

成のための高速その場・オペランド構造計測システム及びアプリケーションの構築を戦略的高性能化と位置づけて進めてきた。さらに、その多連装次元半導体検出器に加えて、BL02B2ではコンパクトサンプルチェンジャーを導入し、幅広い温度領域においてユーザーフレンドリーな測定環境についても構築した。本稿では、BL02B2へ新しく導入されたハイスループット粉末構造計測システムとともに、その他のアタッチメントや、2016年より新しく導入されたガス・溶媒蒸気圧力制御システムを用いたその場計測技術等についても紹介する¹³⁾。

2. ハイスループット粉末回折システム

2.1 多連装次元半導体検出器

全ての開発及び実験は SPring-8 の偏向電磁石ビームライン BL02B2 で行われた。BL02B2 では Si(111) 二結晶分光器と前置・後置ミラーにより構成されており、前置ミラーで入射ビームの高次光除去とビーム垂直方向の平行化、後置ミラーで水平方向の集光 (2018年 A 期より) を行っている。利用可能な X 線エネルギーは 12~37 keV ($\Delta E/E \sim 2 \times 10^{-4}$)、ビームサイズは試料位置で 0.5 (V) × 2.0 (H) mm² である。開発以前の実験ステーションには、IP 検出器を搭載した二軸回折計が備わっており、この回折計に 6 台の MYTHEN モジュールを設置した。装置の写真を Fig. 1 に示す。MYTHEN 検出器は、シングルフォトンカウンティング方式で動作する次元 X 線検出器であり、50 μm ピッチの 1280 個の Si マイクロストリップからなる。我々は、ビームラインで使用頻度の高い X 線エネルギー ($E \geq 25$ keV) をより効果的に計数するために、厚さ 1 mm の Si センサータイプを採用した。その他 MYTHEN 検出器の詳細は文献に記載されているのでそちらを参照していただきたい^{7,8)}。軸発散効果による回折プロファイルの非対称化を軽減するため、各検出器の前面に受光スリット [8.0 mm (V) × 2.5 mm (H)] を取り付け、検出器は、スーパーインシュレーター窓を有するアルミ筐体内に配置されている。試料と検出器との間の距離は、角度分解能、測定可能な 2θ 領域、X 線の斜入射等による回折データの影響を考慮し 477.46 mm とした。1 つの検出器モジュールは 2θ で約 7.63° をカバーでき、角度分解能は 1 チャンネル当たり約 0.006° である。隣接する検出器モジュールの中心間の角度間隔は 12.5° であり、モジュール間の隙間は 4.87° となるように設計されている。構造解析を実施するためには、 2θ 領域において連続的な X 線回折プロファイルを得る必要があり、検出器モジュール間のギャップを埋める必要がある。我々は、2 箇所の 2θ 位置 ($2\theta = 0^\circ$ と 6.25°) で計測したデータを統合することにより、検出器間の 2θ ギャップを埋めた連続データ ($2\theta \sim 80^\circ$) を得ており、この走査モードを「Double-step mode」と呼んでいる (Fig. 2 : left)。なお、2 つの生データにおいては、

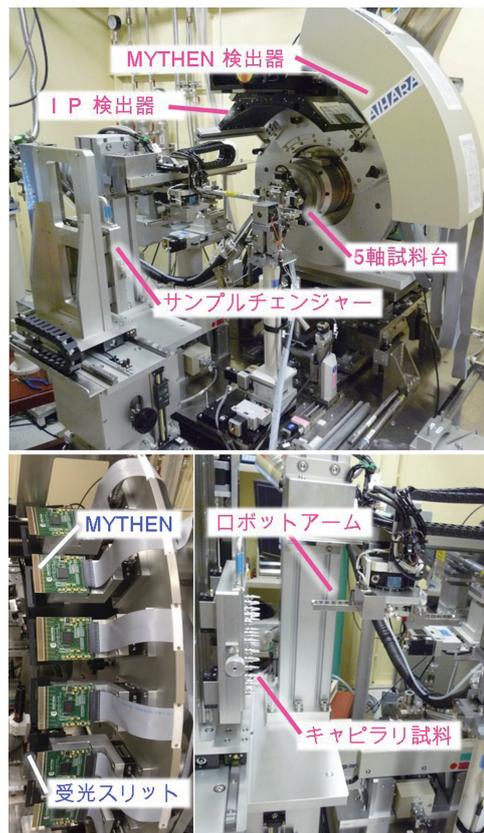


Fig. 1 (Color online) Photograph of powder X-ray diffraction measurement system at BL02B2 equipped with both a one-dimensional micro-strip MYTHEN detector and a sample changer. (Lower-left): MYTHEN detector inside Al-cover. (Lower-right): Capillary samples on the sample changer.

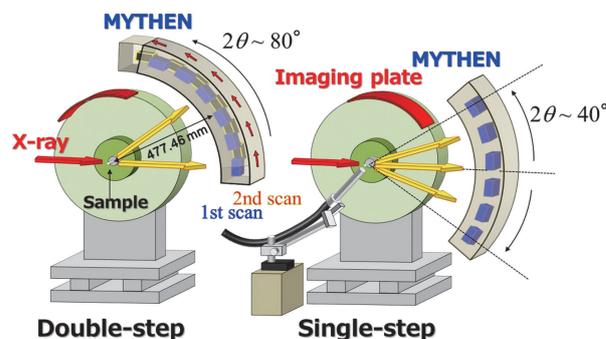


Fig. 2 (Color online) Two-types of the MYTHEN measurement mode at BL02B2.

各モジュールの端部からの重複した 2θ 領域 ($\sim 1.38^\circ$) が存在する。この領域は、データを結合するために使用されるとともに、様々な誤差を低減するために使用されている。MYTHEN 検出器の検出面は平板であるため、回折角 2θ に対する補正を必ず行わなければならない。この補正は幾何学的に行えるが、それに加えて、メカニカルなミスアライメントも避けられず、これも 2θ に対して重大なずれを引き起こす。そこで、我々は検出器のカメラ長 L 、検出

器の傾き R 、オフセット角度 $\Delta 2\theta$ 、オフセットシフト量 S を考慮して MYTHEN モジュールごとに 2θ 補正を行っている。その他、斜入射による回折強度・線幅の影響（すなわち、検出器へ斜めに入った回折 X 線が 1 mm の Si センサーを抜けて隣接するチャンネルに X 線が当たる）を避けるためモジュールの端部は実データとして使用していない。この効果はより高エネルギーの X 線およびカメラ長が短いほど影響が大きくなる。データ結合やその他の補正についての詳細は原著論文および文献を参照して頂きたい^{10,12,13,16}。

次に、シングルショットで $2\theta \sim 40^\circ$ の領域を同時に収集する「Single-step mode」と呼んでいる手法を紹介する (Fig. 2 : right)。この検出器の配置では、 2θ 正負方向へ非対称に検出器を並べており、 $+2\theta$ 領域のモジュール間の不感領域は、 -2θ 領域のモジュールによって検出することができる。例えば、 $+2\theta$ 領域における $6^\circ \sim 12^\circ$ の不感領域は、 -2θ 領域における $5^\circ \sim 13^\circ$ の領域によって収集することができる。なお、ここで使用されている検出器配置を用いた測定手法は、国立研究開発法人物質・材料研究機構の T. Katsuya と O. Sakata らによって開発された¹⁷。この手法は、 2θ 軸上での検出器の移動が必要ないため、その場計測および時間分解計測に対して非常に適しており、試料環境の動的変化（例えば、温度、時間、および圧力）の調査に有用である。これら Double-step と Single-step の計測手法は 2θ 軸を約 40° だけ動かすだけで、簡単に切り替えることができ、IP との切替えについても数分で行うことが可能である。なお、得られた生データは、Labview により開発した統合的な計測ソフトに組み込まれた補正プログラムによって計算され、BL ユーザーは手間を掛けることなく、 2θ に対する X 線強度の一次元回折データをすぐに得ることができ、そのまま多くの解析ソフトウェアに使用できる。

2.2 全自動粉末回折計測

次に、コンパクトサンプルチェンジャーを導入した全自動粉末回折計測システムについて紹介する。サンプルチェンジャーは、BL19B2/SPring-8 で開発された JukeBox を基に設計した。サンプルチェンジャーの概観写真を Fig. 1 に示す。合計 30 個のキャピラリー試料を試料パレットにマウントすることができ、ロボットアームにより、サンプルチェンジャーから回折計へとキャピラリー試料が運ばれる。パレットは複数枚、用意しており、簡便にチェンジャーにマウントすることができる。なお、キャピラリー試料はキャピラリー内の試料を静置するために、常時水平に支持される。回折計へと運ばれた試料は、5 軸試料ステージ（水平：2 軸、アーク：2 軸、回転 (ϕ)：1 軸）、および CCD カメラと画像認識システムを用いて自動的に回折計の回転中心位置に自動調整される。これら、キャピラリー試料のアライメントを含むサンプル交換は、1 サンプルあたり約 1

分以内に迅速に行うことが可能である。測定中は、回折強度の均一性を向上させるために、スピナーによりキャピラリーが連続回転する。試料温度は、80 K/min の速度で制御可能な低温および高温窒素ガス吹付装置によって制御され、制御可能温度範囲はそれぞれ $90 \sim 500$ K および $300 \sim 1173$ K である。自動測定は、試料番号、測定時間、温度、温調速度などを記載した Excel ファイルを LabVIEW で開発した測定ソフトウェアに読み込ませるだけで制御することが可能となっている。上述の通り、本自動粉末回折計測では、試料のマウント、試料位置の調整、広範囲の温度にわたる温度可変、MYTHEN 検出器によるデータ収集まで一連の作業が完全自動化されている。なお、測定条件を書き込む Excel ファイルや操作マニュアル、測定条件決定のための、キャピラリー試料に対する X 線の吸収計算は、BL02B2 のホームページで公開されている。測定の様子は SPring-8 channel (Youtube) でも公開されているのでぜひご覧いただきたい¹⁸。

2.3 試料雰囲気制御

全自動粉末 X 線回折計測に加え、BL02B2 ではユーザーの多様な測定ニーズに応じるために、試料雰囲気制御装置も整備してきた。液体窒素温度以下の低温測定においては、日本サーマル㈱のヘリウムガス吹付装置が利用可能であり、この装置を使用すればキャピラリー試料を $25 \sim 300$ K 程度の温度領域で制御できる。従来のクライオスタット冷凍機を用いた場合と比較して、短時間（数十秒）での試料交換が可能であり、試料のハンドリングも簡便である。なお、吹付ガスの流量設定を適切に調整することにより、X 線が照射される領域に霜が付くことはほとんど無く、良質なデータを取得することができる。一方で、高温実験ではアントンパール社製の高温チャンバー (HTK1200N) が利用可能であり、キャピラリー試料を加熱/冷却速度は 50 K/min で最大加熱温度は 1473 K まで昇温することが可能である。電気炉の設置作業においては、二軸粉末回折計に外付けの一軸回折計上に電気炉を設置し、二軸粉末回折計に搭載できる (Fig. 3)。これにより、大きな実験レイアウトを変更することなく、設置作業による測定をしていないデッドタイムを大幅に削減している。

試料の真空・ガス雰囲気制御においては、ガラスキャピラリーに特化した試料セルを開発し、粉末回折実験と同期したリモートガスハンドリングシステムを構築している (Fig. 3)。このシステムは、マスフローコントローラ、圧空駆動バルブ、真空計およびターボ分子ポンプで構成されており、キャピラリー内の試料のガス圧力をリモート操作で自動制御できる。ガス雰囲気は O_2 , H_2 , N_2 , CO_2 , Ar, He 等が利用可能であり、 10^{-5} Pa 程度の真空から指定した圧力 (0.1 Pa ~ 130 kPa : 絶対圧) に制御することが可能である。制御ソフトは LabVIEW により構築されており、MYTHEN 測定システムと連動することにより、マニユ

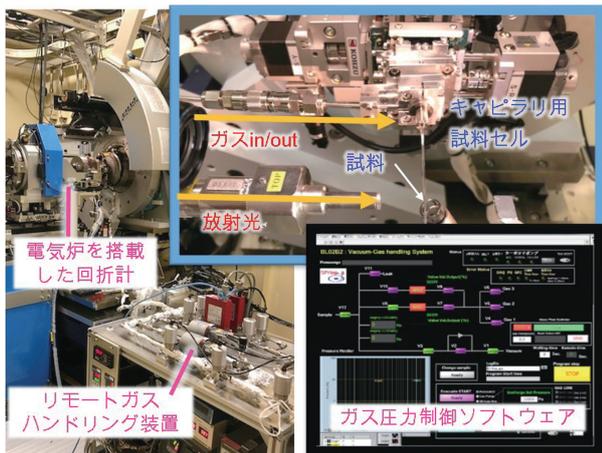


Fig. 3 (Color online) Photograph of powder diffractometer equipped with a furnace and remote-gas handling system. (Upper-right): Capillary gas cell mounted on the sample stage. Gas cell for capillary sample (Lower-right) Control software of automatic gas pressure.

アルでのバルブ操作などは一切不要で試料の雰囲気制御下での測定が自動化されている。なお、2017年より溶媒蒸気も導入可能である。これらの装置を利用することにより、25 K から1473 K までの広範囲の温度範囲だけでなく、多種多様なガスや溶媒蒸気雰囲気または真空下での、その粉末構造計測を実施できる環境を構築している。

3. 実試料の測定例

Fig. 4 に Double-step mode により 60 秒の測定時間で CeO_2 を測定した粉末回折データに対するリートベルト解析の結果を示す。入射 X 線の波長は 0.5 \AA である。全ての回折ピークは、非対称項を考慮していない Pseudo-voigt 関数を用いてフィッティングしており、 R 因子は $R_{\text{wp}} = 0.062$, $R_{\text{B}} = 0.015$, Goodness of fit = 1.03 であった。**Fig. 4** の挿図は、Si 粉末の 311 のピークプロファイルを示している。ピークプロファイルは低角度領域においても対称的であり、その半値幅 (FWHM) は 0.0178° と非常に高い角度分解能を示していることが分かる。このように、試料によっては数十秒の測定時間でも粉末構造解析に耐えうる十分な S/N 比の粉末回折データを測定できる。**Figs. 5 (a), 5 (b)** に Single-step mode で実施したコランダム型酸化物 V_2O_3 , Ti_2O_3 についての温度可変その場粉末回折計測例を示す。試料温度は、低温および高温窒素吹付装置により 100 K から 750 K まで制御され、5 K/min の昇温速度で温度を上げながら回折データの連続測定を行った。粉末回折データは、1 データあたり 5 秒で計測しており、入射 X 線は 22 keV を用いている。 V_2O_3 の回折パターンでは、約 160 K で六方晶から単斜晶系への構造相転移を示した。また、 Ti_2O_3 は、110 および 104 反射のピーク位置が約 500 K で変位していることが明瞭に分かり、これらはよく知られ

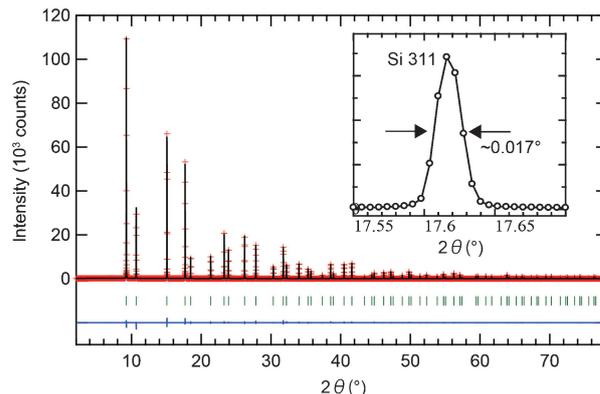


Fig. 4 (Color online) Rietveld refinement of CeO_2 standard powder. The inset shows X-ray diffraction profile of Si standard powder.

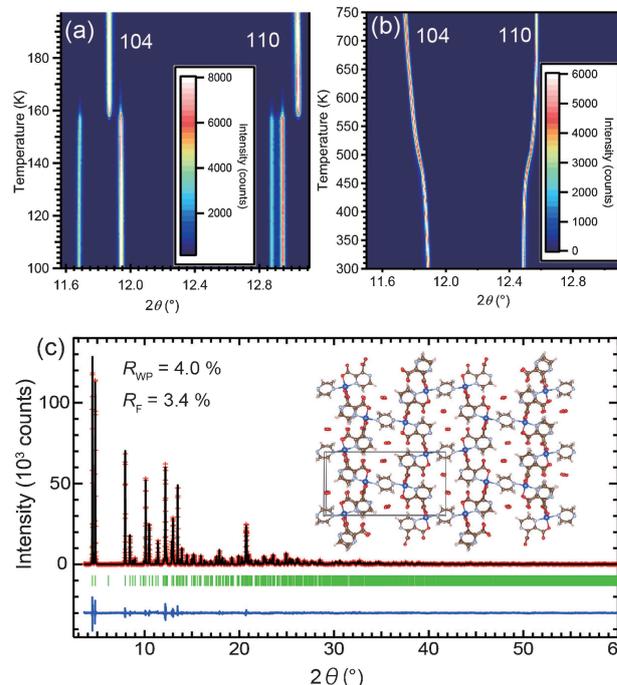


Fig. 5 (Color online) Temperature dependences of powder diffraction patterns recorded in single-step mode for (a) V_2O_5 and (b) Ti_2O_3 . (c) Rietveld refinements of CPL-1 at 95 K in O_2 at 90 kPa. The inset shows the obtained crystal structure of CPL-1.

た金属絶縁体転移と対応している。なお、各々のデータで測定している $\sin \theta / \lambda$ の範囲は、 $\text{CuK}\alpha$ 線源によって測定された $5 \leq 2\theta \leq 120^\circ$ の範囲の回折パターンとほぼ同等であり、放射光を使用すれば、実験室系のデータよりも高い角度分解能と統計制度の回折データを数秒で測定できることを示している。これらの測定は、試料交換、温度調整や計測に至るまで完全に自動化されており、ユーザーは実験ハッチに立ち入ることなく全ての操作を制御 PC から行い、実験データと環境ログ(温度や時間などが記載されている)

を得ることができる。

次に、試料雰囲気制御したその場計測として、リモートガスハンドリングシステムを用いた多孔性配位金属錯体 $\{[\text{Cu}_2(\text{pzdc})_2(\text{pyz})]_n\}$ (pzdc=pyrazine-2,3-dicarboxylate; pyz=pyrazine) (CPL-1) のガス吸着時のリートベルト解析を Fig. 5(c) に示す。キャピラリーセル内の酸素圧力は、90 kPa に制御されており、15.5 keV の X 線を用いて10分間の測定時間でデータを収集した。Rietveld 解析は GSAS ソフトウェアを用いて行われた。Fig. 5(c) では、酸素分子が CPL-1 のナノチャンネル内で綺麗に並んでいる様子が観察され、フーリエマップおよび MEM 電子密度分布解析においても O_2 ガス分子を見出すことが可能であった。

4. まとめ

本稿では、多連装一次元半導体検出器を搭載したハイスループット放射光粉末 X 線回折システムについて紹介した。2015年より、新たに設計及び開発した多連装 MYTHEN 検出器システムは、十分に粉末結晶構造解析のための高精度な粉末回折データを得ることが可能である。本システムは、従来よりも短時間での計測、(無機材料：数十秒から数分、有機材料：数分～数十分) かつ、ユーザーフレンドリーな測定環境を提供でき、誰にでも簡単に放射光を用いた粉末回折データの収集が可能である。また、材料物性研究における多様な研究ニーズに応えるべく、全自動粉末回折システムとその場構造計測が両立して実施できる計測システムを実現しており、現在、化学反応プロセス、ガス貯蔵脱離過程、光照射下、電池の充放電過程など多岐にわたり、様々な試料雰囲気を変えたその場構造計測やミリ秒～秒スケールでの高精度な粉末回折実験が実施されている。

最後に、海外の大型放射光施設の粉末回折ビームラインでは、大面積の二次元検出器が次々に導入され、自動測定とその場計測において異なった計測手法を用いた複合計測(例えば、高分解能 XRD と X 線小角散乱法、XRD と X 線全散乱法を組み合わせた手法) が併用できるように整備されており、これまで以上に、*in-situ, operando* における計測が、マテリアルサイエンスをより発展させるために今後ますます重要となってくると感じている。BL02B2 においても、今後は高エネルギー X 線に対する計測効率を上げるため、GaAs や CdTe 素子を用いた X 線検出器に移行し、全自動粉末回折計測を継承しつつ、複合的な計測が可能な測定環境へシフトしていき、これまで以上にマテリアルサイエンスに貢献できる環境を整備していきたい。今後も、多くのユーザーが BL02B2 を活用されることを期待している。

放射光粉末回折実験と装置開発は SPring-8 BL02B2 の以下課題 (Nos. 2013B1925, 2013B1926, 2015A1434, 2015A2058, 2015B1988, 2016A1845, 2016B1959) で行わ

れました。また、本研究の一部は科学研究費補助金 (Grant Nos. 16K17548, 18K18310, 16H06514 (Coordination Asymmetry)) の補助のもと行われました。また、CPL-1 粉末試料は、名古屋大学の松田亮太郎先生から提供されました。サンプルチェンジャーおよび試料雰囲気キャピラリーセルはそれぞれ物理学相原精機、(株)マイクロトラックベルのご協力のもと開発されました。本研究は JASRI 産業利用推進室の大坂恵一氏、技術支援スタッフの竹本道教氏、BL02B2 の PU グループ (広島大学：森吉千佳子先生、筑波大学：西堀英治先生、大阪府立大学：久保田佳基先生) との共同研究開発であるとともに、多くの JASRI/RIKEN スタッフのご協力により実現されました。末筆ながら皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) E. Nishibori, M. Takata, K. Kato, M. Sakata, Y. Kubo-ta, S. Aoyagi, Y. Kuroiwa, M. Yamakata and N. Ikeda: Nucl. Instrum. Meth. A **467**, 1045 (2001).
- 2) M. Takata: Acta Cryst. A **64**, 232 (2008).
- 3) C. Wang, T. Kai, T. Tomiyama, T. Yoshida, Y. Koba-yashi, E. Nishibori, M. Takata, M. Sakata and H. Shi-nohara: Nature **408**, 426 (2000).
- 4) R. Kitaura, S. Kitagawa, Y. Kubota, T. Kobayashi, K. Kindo, Y. Mita, A. Matsuo, M. Kobayashi, H. Chang, T. Ozawa, M. Suzuki, M. Sakata and M. Takata: Sci-ence **298**, 2358 (2002).
- 5) Y. Kuroiwa, S. Aoyagi, A. Sawada, J. Harada, E. Nishibori, M. Takata and M. Sakata: Phys. Rev. Lett. **87**, 217601 (2001).
- 6) E. Nishibori, E. Sunaoshi, A. Yoshida, S. Aoyagi, K. Kato, M. Takata and M. Sakata: Acta Cryst. **A63**, 43 (2007).
- 7) E. Nishibori, T. Ogura, S. Aoyagi and M. Sakata: J. Appl. Cryst. **41**, 292 (2008).
- 8) K. Kusada, H. Kobayashi, R. Ikeda, Y. Kubota, M. Takata, S. Toh, T. Yamamoto, S. Matsumura, N. Sumi, K. Sato, K. Nagaoka and H. Kitagawa: J. Am. Chem. Soc. **136**, 1864 (2014).
- 9) T. Straasø, J. Becker, B. B. Iversen and J. Als-Nielsen: J. Synchrotron Rad. **20**, 98 (2013).
- 10) A. Bergamaschi, A. Cervellino, R. Dinapoli, F. Gozzo, B. Henrich, I. Johnson, P. Kraft, A. Mozzanica, B. Schmitt and X. Shi: J. Synchrotron Rad. **17**, 653 (2010).
- 11) R. G. Haverkamp and K. S. Wallwork: J. Synchrotron Rad. **16**, 849 (2009).
- 12) S. P. Thompson, J. E. Parker, J. Marchal, J. Potter, A. Birt, F. Yuan, R. D. Fearn, A. R. Lennie, S. R. Street and C. C. Tang: J. Synchrotron Rad. **18**, 637 (2011).
- 13) S. Kawaguchi, M. Takemoto, K. Osaka, E. Nishibori, C. Moriyoshi, Y. Kubota, Y. Kuroiwa and K. Sugimoto: Rev. Sci. Instrum **88**, 085111, (2017).
- 14) B. Schmitt, Ch. Brönnimann, E. F. Eikenberry, F. Gozzo, C. Hörmann, R. Horisberger and B. Patterson: Nucl. Instrum. Meth. A **501**, 267 (2003).
- 15) B. Schmitt, Ch. Brönnimann, E. F. Eikenberry, G. Hülsen, H. Toyokawa, R. Horisberger, F. Gozzo, B. Patterson, C. Schulze-Briese and T. Tomizaki: Nucl. Instrum. Meth. A **518**, 436 (2004).
- 16) F. Gozzo, A. Cervellino, M. Leoni, P. Scardi, A. Bergamaschi and B. Schmitt: Z. Kristallogr. **225**, 616 (2010).

- 17) Y. Katsuya, C. Song, M. Tanaka, K. Ito, Y. Kubo and O. Sakata: Rev. Sci. Instrum. **87**, 016106 (2016). 18) BL02B2 ホームページ : <http://www2b1.spring8.or.jp/>

● 著者紹介 ●



河口彰吾

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用研究促進部門 研究員

E-mail: kawaguchi@spring8.or.jp

専門：構造物性，X線回折

【略歴】

2014年大阪府立大学大学院物理科学専攻 博士後期過程修了，博士（理学），
2014年より現職。



杉本邦久

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用研究促進部門 主幹研究員

E-mail: ksugimoto@spring8.or.jp

専門：構造物性学，錯体化学

【略歴】

2000年近畿大学大学院化学研究科化学専攻 博士後期課程修了，博士（理学），
2000年-2008年 株式会社リガクX線研究所，2008年より公益財団法人高輝度光科学研究センター研究員，2018年より現職。

High-throughput synchrotron powder diffraction measurement system with multiple one-dimensional MYTHEN detectors

Shogo KAWAGUCHI Japan Synchrotron Radiation Research Institute, 1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198 Japan

Kunihisa SUGIMOTO Japan Synchrotron Radiation Research Institute, 1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198 Japan

Abstract We developed a user-friendly automatic powder diffraction measurement system for Debye-Scherrer geometry at beamline BL02B2 of SPring-8. The measurement system consists of six one-dimensional MYTHEN detectors, imaging-plate, a compact auto-sample changer, wide-range temperature control systems. This system is available for automated data collection of powder diffraction for temperature, gas atmosphere, humidity dependent experiments.