

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H05347・20K20363

研究課題名（和文）機能性結晶材料開発のための元素・サイト制御型インテリジェントX線測定の開拓

研究課題名（英文）In-house-made AXS single crystal diffraction measurement for occupancy analysis

研究代表者

志村 玲子（Simura, Rayko）

東北大学・多元物質科学研究所・准教授

研究者番号：90420009

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,840,000円

研究成果の概要（和文）：通常放射光における波長選択可能なX線源を用いて行われる異常散乱X線回折（AXS-XRD）実験を実験室系の低強度の白色X線と高効率のエネルギー分散型検出器を組合せることで測定可能な手法（LAB-AXS）を構築した。この手法を用いることにより、元素サイト選択型X線回折測定が可能となった。また、AXS-XRDによる構造解析では特に隣接元素の識別に効力を発揮する。その観点から、隣席元素を組み合わせた物質の探索も行い、新物質も発見された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により従来放射光で行われてきた異常散乱X線回折測定を、実験室系で容易に行うためのシステムが実現した。放射光は測定機器がマシンタイムで分配されており、経済的・時間的制約の大きい巨大施設である。本研究でいつでもアクセスできる実験室系での測定と解析が可能となり、より頻繁で迅速な元素選択型の構造解析が可能となった。これにより、解析内容の材料作製現場へのフィードバックが効率化されるため、材料開発のスキームの改善につながる成果であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Temporary A laboratory system (LAB-AXS) was developed for measuring anomalous scattering X-ray diffraction (AXS-XRD), which is usually performed using a wavelength selectable X-ray source in synchrotron radiation, by combining low intensity white X-rays generated in a laboratory system with a high efficiency energy dispersive detector. This method enables site-selective X-ray diffraction measurements, and the AXS-XRD method is particularly useful for identifying neighboring elements in crystal structure analysis. From this point of view, new compounds were discovered by exploring the system with a combination of neighboring elements.

研究分野：結晶材料化学

キーワード：異常散乱X線 実験室系白色X線

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現代社会では、安全・快適で環境に優しい社会生活の実現のために様々な機能性材料が活躍している。機能性材料の多くでは、結晶母材の構成元素の一部を少量だけ別の元素に置換・添加して新しい特性を発現させたり、また、母材構成元素の特定の元素を大幅に別の元素に置換して母材特性を大きく変化させたりすることで、各種の発現機能の最適化がなされている。こういった材料の開発では、例えば、1)レーザー、シンチレーター、蛍光体などの励起・発光波長の制御のための微量元素の添加、2)機能性窓材などにおける吸収波長の制御のための微量元素の添加、3)非線形結晶の特性向上のための構成元素の置換、4)劈開の抑制のための微量元素の添加、5)構成元素の置換による安定相の創出、6)導体などにおける伝導性制御のための不純物の添加、7)磁気特性の向上のための構成元素の置換などにあげられるような効果を期待して元素置換が行われる。このような元素を置換する機能性材料の開発では、想定のおきて添加元素が目的のサイトに入ったか、他サイトや結晶原子配列・ドメインの隙間に入っていないかなどの情報が必要である。特に、置換原子の入ったサイトの価数や配位数などの局所環境情報を得ることが重要であり、そのための各種測定が不可欠である。しかし、現状では強力な光源を持ち、波長などの選択性の高い放射光などの大型施設を使用せざるを得ない。大型施設では、マシンタイムやそれに伴う時間的・経済的コストの制約があるため、実際の結晶作製現場への情報のフィードバック効率が悪く、結局、トライアンドエラーによる条件の最適化に頼っている面が大きい。そのため、実験室系で同様な測定が容易に可能になる技術の開発が期待された。

2. 研究の目的

本研究の開始当初のねらいは、背景で述べた点を解決するために、結晶学的観点からの情報を迅速にフィードバックするために、実験室系においての技術確率を実現することにあった。これが実現することによる材料開発効率化への貢献を通して材料開発技術の飛躍的発展・促進が期待される。

3. 研究の方法

本研究では、放射光施設のマシンタイムにとらわれずに実験できる実験室系での元素サイト選択型 X 線回折測定の実現に挑戦した。実験室系の低強度の白色 X 線と高効率のエネルギー分散型検出器 (Energy Dispersive Detector: EDD) を組み合わせることで、従来、特に非晶質や液体に対して行われてきたエネルギー分解型 X 線回折 (Energy Dispersive X-ray Diffraction: EDXD) 法を発展させ、特定の回折光を特定のエネルギーでピックアップしてデータを取得し解析することで、実験室系で異常散乱 (Anomalous X-ray Scattering: AXS) X 線回折 (AXS-XRD) を行う手法 (LAB-AXS) を構築する。手法開発も研究成果に含まれるため、研究成果の項目に記載する。

4. 研究成果

(1) 研究方法

X 線結晶構造解析では、規則的に配列した原子の電子によって散乱される X 線の回折現象を観測し、得られたデータと構造モデルから求めた位相を用いてフーリエ合成により電子密度分布を計算することで、結晶を構成する各元素の原子位置を決定する。そのため、電子数が近い隣接元素が結晶構造中に共存する場合、それらの元素の原子は X 線散乱能が近く、元素の識別が困難であることが多い。しかし、X 線吸収端近傍の X 線波長で顕著に現れる X 線異常散乱の現象を利用すると、結晶中で特定の元素の原子が存在するサイトを直接決定することができる。AXS を利用した代表的な解析方法である δ 合成法では、X 線吸収端近傍の 2 つの異なるエネルギーで測定された XRD 強度の差分を利用する (Wulf, 1990, Wendschuhjosties, 1994, Hodeau *et al.*, 2001)。 δ 合成法に必要なデータは、従来放射光白色 X 線源を分光結晶で単色化した高強度の X 線で測定されてきた (Wulf, 1995, Waseda, 2002, Sugiyama *et al.*, 2010, Oeckler *et al.*, 2011, Arima *et al.*, 2018, Kitahara *et al.*, 2020)。白色 X 線を分光結晶により単色化すると X 線の強度が大きく低下するため、実験室系の低強度の X 線源を利用した δ 合成法による研究は、二軸回折計で測定された粉末試料の XRD 強度データを用いたものに限られていた (Waseda, 2002, Shinoda *et al.*, 1996)。

白色 X 線をエネルギーごとに分離し、各エネルギーの X 線強度を測定できる半導体検出器 (solid state detector: SSD) を回折計に搭載できれば、分光結晶で単色化する場合と比較して強度低

下を抑えて X 線吸収端近傍の特定エネルギーの XRD 強度データを取得することが可能になる。NaI(Tl)シンチレーション検出器のエネルギー分解能 (半値幅 full width at half maximum, FWHM) ~660 eV at 5.9 keV (Swiderski *et al.*, 2006)) は、SSD の場合 (Ge-SSD; ~165eV at 5.9 keV) と比較して 4 倍以上高く、シンチレーション検出器では δ 合成法に必要なエネルギー分解能で XRD 強度を測定することはできない。近年、液体窒素の冷却が不要な小型シリコンドリフト検出器 (silicon drift detector, SDD) が開発された。そのサイズは通常の XRD 回折計で用いられるシンチレーション検出器と同程度かそれ以下で、容易に汎用の単結晶 4 軸回折計に SDD 検出器を取り付けることができる。これにより、 δ 合成法が適応可能なエネルギー分解能で選別されたエネルギー (波長) で、回折角度走査による XRD 強度測定が現実的になった。本研究では、元素を識別した単結晶構造解析を目的として、実験室内で δ 合成法に必要な XRD データを測定できる装置 (δ -AXS 測定システム) を構築した。この測定システムを用いて、隣接元素の Sr と Y を含む $\text{Sr}_3\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ (Simura & Sugiyama, 2014) について、実際に測定を行い測定条件や解析手法について検討した。

(2) 装置の構築と検討

管球型汎用 X 線発生装置にとりつけた W 管球から放射される白色 X 線を利用し、SDD とマルチチャンネルアナライザーを使用した。SDD を単結晶 4 軸回折計に設置し、単結晶試料をゴニオヘッドに取り付けた。4 軸回折計の各軸とスリット幅の制御用には、それぞれステッピングモーターコントローラーとステッピングモータードライバを、入射シャッターおよび受光側の上下・左右のハーフシャッター開閉にはロータリーソレノイドドライバを使用した。回折強度測定には汎用回折計制御ソフト SPEC を使用し、各軸の正負の符号は、Busing and Levy (1967) の設定に従った。

W 管球からの白色 X 線は単結晶試料により回折される。回折した X 線は受光装置の測定面内 (2θ 水平面上) で、幅 ΔD を持っている ($\Delta D = R(2\theta_1 - 2\theta_2)$)。ただし、 R : 4 軸回折計の回折計半径 ($R = 235 \text{ mm}$)、 d : 結晶面間隔、 λ : X 線波長、 θ : 回折角度、である。SDD の受光効率は、 $E = 1 - 20 \text{ keV}$ ($\lambda = 12.4 - 0.62 \text{ \AA}$) のエネルギー範囲において 40% を超えている。例えば、Sr 吸収端エネルギー近傍の ($E = 17 \text{ keV}$, $\lambda = 0.73 \text{ \AA}$) でエネルギー幅 $\Delta E = 120 \text{ eV}$ の範囲 ($E = 16.94 - 17.06 \text{ keV}$) とした場合、 $\Delta D = 0.24 - 2.0 \text{ mm}$ (ただし $d = 5 - 0.7 \text{ \AA}$) となる。したがって、120 eV の差をスリットの絞りで識別するためには、 $0.03 - 0.25^\circ$ (検出器位置で $0.24 - 2.0 \text{ mm}$) 以下のスリットが必要となる。

しかし、SDD でエネルギー (波長) 分解して異なる波長の回折反射の重なりを除去することで、このスリット幅が大きくても必要な分解能で XRD データを得ることができる。

テストケースとして後述の通り、Sr 含有試料を対象とし、Sr の吸収端 ($E_{\text{edge}}^{\text{Sr}} = 16.108 \text{ keV}$) から約 -190 eV と約 -70 eV ずらしたエネルギー (以後 $E_{\text{far}}^{\text{Sr}}$ と $E_{\text{near}}^{\text{Sr}}$) を中心に、ROI を設定して回折強度 I を測定した。Sr の吸収端では、 $E_{\text{far}}^{\text{Sr}}$ と $E_{\text{near}}^{\text{Sr}}$ のそれぞれにおける Sr の異常散乱因子の実数項 f_{Sr}' の差 $\Delta f_{\text{Sr}}'$ が、Y や B, 0 の $\Delta f'$ と比較して 1 桁以上大きい。したがって、Sr の存在分布関数 ρ_{Sr} は、吸収端近傍の 2 つのエネルギーにおける結晶構造因子 F を用いて、

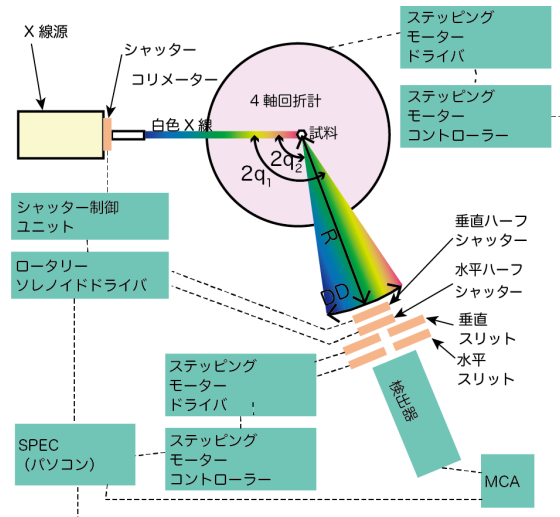
$$\rho_{\text{Sr}}(x, y, z) = \frac{1}{V} \sum_{h,k,l} \left[\left| F_{hkl}^{E_{\text{far}}} \right| e^{-i\alpha_{hkl}^{E_{\text{far}}}} - \left| F_{hkl}^{E_{\text{near}}} \right| e^{-i\alpha_{hkl}^{E_{\text{near}}}} \right] e^{-2\pi i(hx+ky+lz)} \quad \text{式(1)}$$

で求められる。ここで、 $F = \sum_{j=1}^N f_j(Q, E) e^{2\pi i(hx_j+ky_j+lz_j)}$ であり、原子散乱因子は $f(Q, E) = f^0(Q) + f'(E) + f''(E)$ 、ただし $Q = 2\sin\theta/\lambda$ である。 $E_{\text{far}}^{\text{Sr}}$ と $E_{\text{near}}^{\text{Sr}}$ の各エネルギーで測定された構造因子の差をとると、エネルギーに依存しない $f^0(Q)$ は消去され、Sr の分布を示す $\rho_{\text{Sr}}(x, y, z)$ は異常散乱項のみから計算が可能となる。

(3) Sr と Y の識別 (方法)

$\text{Sr}_3\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ 単結晶をエポキシ樹脂でガラスファイバーの先端に固定後、ゴニオヘッドに取り付けた。半導体二次元検出器を搭載し MoKa 線を用いた汎用単結晶 X 線回折計と解析ソフトウェアを用いて、格子定数と方位行列 (UB) および結晶形状データ (面指数と距離) を求めた後、XRD 強度測定と通常の結晶構造解析を行った。

単結晶試料をとったゴニオヘッドを本研究で構築した δ -AXS 測定システムの 4 軸回折計に



載せかえ、汎用装置で求めた UB のパラメータを初期値として再度精密化した。偏光補正・ローレンツ補正を行った。管球からの入射 X 線の強度はエネルギー(波長)に依存し、Kramer の式 $I(\lambda) = (k_1 i Z) / \lambda^2 \cdot (\lambda / \lambda_0 - 1)$ (I : 強度、 λ : 波長、 k_1 : 経験的定数、 i : 管球の電流、 Z : 管球の原子番号、 λ_0 : 臨界 X 線波長) で与えられる。本測定で使用した加速電流・電圧条件において、計測エネルギーにおける発生 X 線の相対強度を計算した結果、測定範囲の最大強度差は 0.4 % であり、 E_{far}^{Sr} と E_{near}^{Sr} における強度差は 0.2 % であった。したがって、これらの差は無視できるとして入射 X 線強度補正は行わなかった。UB 行列から計算した方向余弦(Busing & Levy, 1967) と単結晶外形寸法を用いて、PLATON(Spek, 2009) に収録されたプログラム(de Meulenaer & Tompa, 1965) を用いて X 線吸収補正を行った。汎用装置で測定した XRD データの解析で精密化された格子定数と原子座標を用い、 E_{far}^{Sr} と E_{near}^{Sr} で測定した XRD 強度データから SHELXL-2014 (Sheldrick, 2008) で各エネルギーでの F_o を得て、 $\rho_{Sr}(x, y, z)$ のフーリエ合成図を作成した。

(4) $Sr_3Y(BO_3)_3$ の解析結果

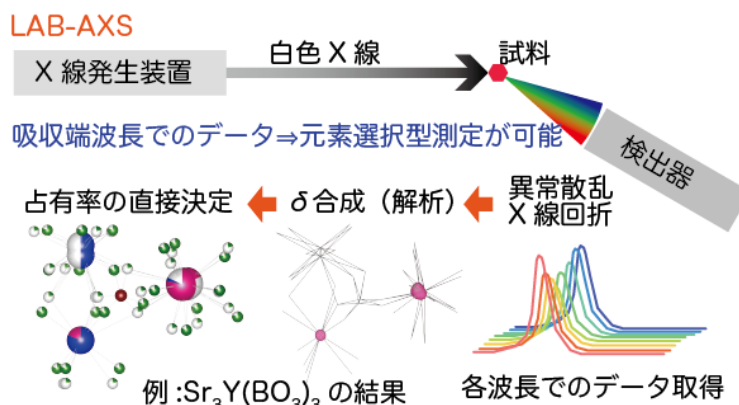
$Sr_3Y(BO_3)_3$ の結晶構造は、Maczka *et al.* (2008) や Simura and Sugiyama (2014) により、チョクラルスキー (CZ) 法や浮遊溶融帯 (FZ) 法で作製された単結晶について、三方晶系、空間群 $R\bar{3}$ の構造モデルで解析されている。本研究で、Mo 線源で測定された $Sr_3Y(BO_3)_3$ 単結晶の XRD 反射は、六方晶系の格子定数 $a = 12.4956(3) \text{ \AA}$ $c = 9.2644(2) \text{ \AA}$ となり、従来報告の値 ($a=12.527(2) \text{ \AA}$, $c=0.9280(2) \text{ \AA}$ (Maczka *et al.*, 2008) ; $a=12.520(3) \text{ \AA}$, $c=9.260(2) \text{ \AA}$ (Simura & Sugiyama, 2014)) にほぼ一致した。

Maczka *et al.* (2008) が報告した結晶構造では、 $3a$ サイトと $3b$ サイトに Y が、 $18f$ サイトに Sr が存在する (秩序配列モデル)。他方、Simura and Sugiyama (2014) は、放射光 X 線源を用いた δ -AXS 法で結晶構造解析を行い、 $3a$ サイトに Sr、 $3b$ サイトに Y がそれぞれ占有率 1 で存在し、 $18f$ サイトに Sr と Y がそれぞれ占有率 5/6 と 1/6 で混合占有されていることを示した (混合サイトモデル)。

本研究で測定したデータをこれらの秩序配列モデル (Maczka *et al.*, 2008) と混合サイトモデル (Simura & Sugiyama, 2014) を初期モデルとして異方性原子変位変数を考慮して精密化した結果、 R 値は、それぞれ $R = 0.0433$ と $R = 0.0432$ となり、Sr と Y の分布の区別することができなかった。そこで、 $3a$ 、 $3b$ 、 $18f$ の各 Sr/Y サイトをすべて Y 原子として構造精密化を進めた。 F_o フーリエ合成図で $3b$ サイトの電子密度分布が c 軸方向に伸びていたことから、このサイトを $6c$ サイトに分割した。さらに、 $F_o - F_c$ 差フーリエ合成で Sr/Y3 ($18f$) サイトや、B1、O1、O2、O3 のサイトの近くに残差電子密度が観察されたため、これらの位置に各原子サイトの一部が分割されたモデルを設け、各サイトの占有率を精密化したところ、最終的に R 値が 0.0233 に減少したため、本研究ではスプリットサイトモデルを採用した。

Mo 線源で測定されたデータで精密化された構造モデルを用い、 δ -AXS 測定システムで測定した $Sr_3Y(BO_3)_3$ の回折データを用いて式 (1) で計算された Sr 分布の等値面の 3 次元描画を行った。先に浮遊溶融帯 (FZ) 法で作製された単結晶で放射光 X 線源を用いた δ -AXS 法で解析された混合サイトモデルと同様に Sr 原子

は、 $Sr1/Y1(3a)$ および $Sr3/Y3a(18f)$ と $Sr3/Y3b(18f)$ のスプリットサイトに入っていることが示された。 δ -AXS 測定システムで求めた Sr と Y のサイト占有モデルで、MoKa で測定されたデータで結晶構造の精密化を行った結果、 R 値は 0.0235 でほぼ変わらず、スプリットサイトの共通占有率はおよそ 0.8:0.2 となった。



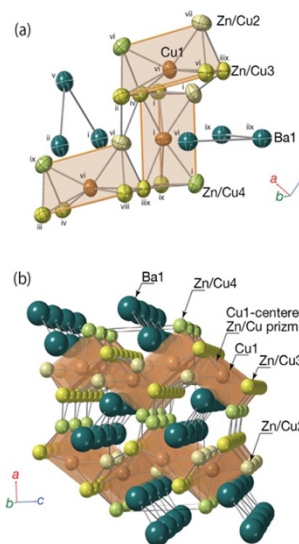
装置などの成果については、

R Simura, H. Yamane, T. Sakakura, K. Sugiyama, "In-house-built single-crystal anomalous X-ray diffraction measurement system using white X-rays and an energy dispersive detector", *Journal of the Ceramic Society of Japan* (under review) で詳述した。

(5) 隣接元素含有試料の作製

① Zn と Cu を含有

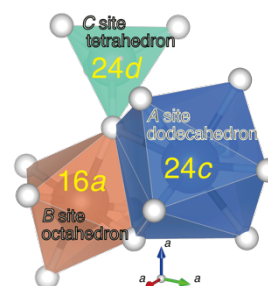
新規金属間化合物 $\text{BaZn}_{2.6}\text{Cu}_{2.4}$ の合成と結晶構造解析を行った。Ba, Zn, Cu の金属片をアルゴン雰囲気中で 700°C まで昇温し、徐冷した原料から単結晶を採取し、組成分析と X 線結晶構造解析を行った。その結果、単結晶の化学組成は $\text{BaZn}_{2.6}\text{Cu}_{2.4}$ で、その結晶構造は BaZn_5 ($Cmcm$) とは異なり、 $\alpha\text{-SrZn}_5$ ($Pnma$) と同型で、格子定数は $a = 12.9858(3)$, $b = 5.2162(1)$, $c = 6.6804(2)$ Å であった。 $\text{BaZn}_{2.6}\text{Cu}_{2.4}$ の結晶構造では、Cu と Zn 原子の四面体と三角柱の組み合わせにより b 軸に沿った楕円柱状の筒状構造フレームワークが構成され、その中に Ba 原子が配置されている。格子体積は BaZn_5 より約 6% 小さく、 $\alpha\text{-SrZn}_5$ とほぼ同等である。Sr が Ba に置換されることでアルカリ土類金属 (A)-金属元素 (M) の原子間距離が大きくなる効果と、Zn の一部が Cu で置換されることで A-M 距離が小さくなる効果が幾何学的に相殺され、 $\alpha\text{-SrZn}_5$ 型構造が安定になったものと考えられる。



R Simurab & H Yamane, " $\alpha\text{-SrZn}_5$ -Type solid solution, $\text{BaZn}_{2.6}\text{Cu}_{2.4}$ ", *Acta Crst.* E 75 1490 - 1493 (2019)

② Y と Zr を含有

Ca-Y-Zr-Ga-O 系新規ガーネット相の合成と結晶構造解析を行った。 CaCO_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , Ga_2O_3 の原料粉末の混合物を大気中 1600°C で 1 h 加熱することで得た試料から $(\text{Ca}_x\text{Y}_y\text{Zr})_5\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ の単結晶を採取し、単結晶 X 線結晶構造解析を行った。MoKa 線を使った汎用 X 線回折 (XRD) 装置での測定データの解析では隣接元素の Y と Zr の識別が困難であった。実験室系 X 線異常散乱回折法 (LAB-AXS-XRD) 装置を利用し、YK 吸収端でデータを測定した。これを用いて単結晶構造を行った結果、ガーネット型結晶の 24c サイトと 16a サイトの両方に Y が含有されていることが示された。構造精密化により得られた結晶が $(\text{Ca}_{0.8}\text{Y}_{2.2})(\text{Y}_{1.2}\text{Zr}_{0.8})(\text{GaO}_4)_3$ であることを明らかにした。



R. Simura, K. Sawamura, H. Yamane, and T. Sakakura, "Occupancies of Y in garnet-type $\text{Ca}_{0.8}\text{Y}_{3.4}\text{Zr}_{0.8}\text{Ga}_{3.0}\text{O}_{12}$ " in preparation

参考文献

- Arima, H., Tani, Y., Sugiyama, K. & Yoshiasa, A. (2018). *J. Miner. Petrol. Sci.* **113**, 273-279.
Busing, W. R. & Levy, H. A. (1967). *Acta Crystallogr.* **22**, 457-464.
de Meulenaer, J. & Tompa, H. (1965). *Acta Crystallogr.* **19**, 1014-1018.
Hodeau, J. L., Favre-Nicolin, V., Bos, S., Renevier, H., Lorenzo, E. & Barar, J.-F. (2001). *Chem. Rev.* **101**, 1843-1867.
Kitahara, D., Arima, H., Kawamata, T., Sugiyama, K. & Mikouchi, T. (2020). *J. Miner. Petrol. Sci.* **115**, 227-235.
Mączka, M., Waśkowska, A., Majchrowski, A., Kisielewski, J., Szyrski, W. & Hanuza, J. (2008). *J. Solid State Chem.* **181**, 3211-3216.
Oeckler, O., Schneider, M. N., Fahrnbauer, F. & Vaughan, G. (2011). *Solid State Sci.* **13**, 1157-1161.
Sheldrick, G. M. (2008). *Acta Crystallogr A* **64**, 112-122.
Shinoda, K., Sugiyama, K., Omote, K. & Waseda, Y. (1996). *Int. J. Soc. Mat. Eng. Res.* **4**, 20-29.
Simura, R. & Sugiyama, K. (2014). *1st Conference on Light and Particle Beams in Materials Science 2013* **502**.
Spek, A. L. (2009). *Acta Crystallogr D Biol Crystallogr* **65**, 148-155.
Sugiyama, K., Genba, M., Hiraga, K. & Waseda, Y. (2010). *J. Alloys Compd.* **494**, 98-101.
Swiderski, L., Moszynski, M., Czarnacki, W., Syntfeld-Kazuch, A. & Gierlik, M. (2006). Non-proportionality and Energy Resolution of NaI(Tl) at Wide Temperature Range (-40°C to $+23^\circ\text{C}$), 2006 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, pp. 1122-1128.
Waseda, Y. (2002). *Anomalous X-Ray Scattering for Material Characterization Atomic-Scale Structure Determination*. Berlin, Heidelberg: Springer.
Wendenschuhsties, M. (1994). *Zeitschrift Fur Kristallographie* **209**, 107-112.
Wulf, R. (1990). *Acta Crystallographica Section A Foundations of Crystallography* **46**, 681-688.
Wulf, R. (1995). *Mineralogy and Petrology* **52**, 187-196.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Simura Rayko, Yamane Hisanori	4. 巻 75
2. 論文標題 -SrZn5-Type solid solution, BaZn2.6Cu2.4	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Crystallographica Section E Crystallographic Communications	6. 最初と最後の頁 1490 ~ 1493
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1107/S2056989019012532	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 志村玲子、山根久典
2. 発表標題 Ba(Cu,Zn)5の合成と結晶構造解析
3. 学会等名 日本結晶学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村 玲子, 澤村 恭輔, 山根 久典, 坂倉 輝俊
2. 発表標題 Ca-Y-Zr-Ga-O系新規ガーネット相の合成と結晶構造解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊智輝, 志村玲子, 山根久典
2. 発表標題 新規化合物 Sr3La2W2O12 の合成および結晶構造解析
3. 学会等名 令和2年度 日本セラミックス協会 東北北海道支部 研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤村恭輔, 志村玲子, 山根久典
2. 発表標題 BaO-ZnO-Al ₂ O ₃ 系 新規化合物の合成と特性評価
3. 学会等名 日本結晶学会2020年度年会および会員総会70周年記念大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤村恭輔, 志村玲子, 山根久典
2. 発表標題 Ba-Zn-Al-O系新規酸化物の合成と結晶構造
3. 学会等名 令和2年度 日本セラミックス協会 東北北海道支部 研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	杉山 和正 (Sugiyama Kazumasa)	東北大学・多元物質科学研究所・教授 (11301)	
研究協力者	山根 久典 (Yamane Hisanori)	東北大学・多元物質科学研究所・教授 (11301)	
研究協力者	坂倉 輝俊 (Sakakura Terutoshi)	東北大学・多元物質科学研究所・助教 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------