

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25610159

研究課題名(和文)超高温域での絶対温度決定と輻射温度計校正精度向上への挑戦

研究課題名(英文)Challenge to the absolute temperature determination and improvement to the accuracy of the radiation thermometer measurement under ultra-high-temperatures

研究代表者

吉朝 朗 (Yoshiasa, Akira)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：00191536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：レーザー加熱・雰囲気制御・ガス浮上・角度分散型・超高温X線回折装置と透過力の高い放射光X線を組み合わせること、4000Kに及ぶ超高温域での精密X線回折実験を可能とした。2次元検出器を設置し、結晶粒成長の効果等を少なくする装置を開発した。真球の結晶試料や融体の高精度データが得られる。超高温域での絶対温度決定、構造解析の高精度化を試みた。高融点物質のバデレー鉱、HfO₂、ZrSiO₄ジルコン等の精密測定やZrO₂-SiO₂系等に適応した。試料内での温度勾配を明らかにし、深さ方向の温度勾配を高い精度で決定した。地球最古の物質研究に重要な組成系であるZrO₂-SiO₂系の詳細を高精度で明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Precise X-ray diffraction experiments were performed under ultra-high-temperature up to 4000 K using a laser heating, gas flotation atmosphere control, angle dispersive X-ray diffraction apparatus and high-energy synchrotron X-ray with the high penetrating power. We have developed a system to reduce the effect of grain growth by two-dimensional IP device detector. The diffraction data is obtained without contamination of impurities. We tried to improve the measurement accuracy of the radiation thermometers. Precise measurements were carried out for HfO₂, ZrO₂ baddeleyite and ZrSiO₄ zircon which belong to the high-melting-point materials. Temperature measurements of radiation thermometers and X-ray depth variable diffraction experiments were performed simultaneously. ZrSiO₄ zircon and ZrO₂ baddeleyite are the Earth's oldest-known minerals. The phase diagram in the ZrO₂-SiO₂ system was proposed by re-examination of phase relationship and chemical analyses.

研究分野：鉱物結晶学、無機化学、凝縮系物理学

キーワード：超高温域温度測定 高融点物質 ガス浮上法 熱膨張特性 放射光X線回折実験 融点・相転移点

1. 研究開始当初の背景

地球の内部の構造やダイナミクスの理解のために、超高温高压実験が行われる。ダイヤモンドセルとレーザー加熱装置による実験成果からマントルや核の詳細が解明されつつある。また、ハロゲンランプヒーターによる超高温 F Z 炉により優れた機能性結晶材料が作製されている。これら超高温下の温度は、輻射温度計(決定精度は 0.1~1%以下)を用いて測定するが、校正の手法が国際的に成立しておらず、窓の問題や測定系、試料温度勾配・形状、組成等がからみ、2500K 程度の温度域でも $\pm 70\text{K}$ 、4000K 程度の温度域では $\pm 200\text{K}$ ほどの誤差を伴うことがある。超高温域の温度の絶対値の決定や精度の向上は、超高温下での実験の重要テーマである。これまでに、我々は、放射光と角度分散型回折計により、3400 K 程度までの高温下での鉱物結晶や融体の X 線精密解析に成果を挙げてきた。今回高温域でのより高精度での実験が可能な装置を共同利用する機会を得たが、温度の測定精度向上・改善するという、新たな挑戦的テーマを提案する。

温度絶対値の決定は、科学の重要テーマである。水の 3 重点利用など室温域では確立された原理手法があるが、超高温域では基本となる理論が異なり、要求精度は異なる。地球内部の熱構造理解には、高い精度での超高温域での温度決定が要求されている。これまで、超高温域での合成、構造解析、物性測定を行ってきたが、熱電対の利用可能域と輻射温度計の分解能から鑑みて、装置の温度校正さえ行えば、4000 K 以上の温度域でも $\pm 10\text{K}$ 程度の精度で温度を決定することが可能であると経験から判断した。超高温下での測定は、試料保持台・セルやキャピラリーなどにより試料を安定に支える必要がある。2800 K を超えるとキャピラリーとの化学反応や昇華・揮発、金属の酸化、遷移金属酸化物中の陽イオンの還元、フレンケル欠陥・酸素欠陥の増加など配慮する必要のある点が多数ある。

2. 研究の目的

超高温域での物質の温度の精密測定と絶対温度決定に向けた実験法の高精度化を目指す。熱電対の利用可能域と輻射温度計の分解能をうまく使うことで装置を最大限高精度化し、3000 K 以上の温度域で $\pm 3\text{K}$ 程度の精度で温度を決定することに挑戦する。超高温域の構造研究用に開発された雰囲気コントロール可能な、レーザー加熱・ガス浮上法角度分散型超高温 X 線回折装置と透過力の高い X 線を組み合わせることで、超高温域 4000 K 以上での精密 X 線回折実験を目標にする。本手法は真球の試料を既知の雰囲気下で不純物の混入無く、融解後の融体までも回折データが得られ、融点や相転移の決定が高精度で行える。Planck の関係を用いた輻射温度計等の温度測定と X 線その場観察実験を同時に行う。温度校正法を確立し、高融点化合物

の高温下で実験を行う基盤を整え、超高温下での構造解析・評価法の手法開発としての絶対温度決定法確立に向けた新しい挑戦を行う。格子定数(熱膨張率)、軸比、融点、相転移点等を高精度で決定する。格子定数や a/c のような軸率を多くの温度で測定することで正確な温度変化、熱膨張特性を決定し、中・低温域の結果や分子軌道法シミュレーションによる理論との値との比較・外挿することから、相対値の決定や精度の向上、輻射温度計への温度校正法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

高温レーザー加熱ガス浮上法による角度分散型 X 線回折実験装置を用いる。高温 X 線回折装置・X 線吸収分光装置と透過力の高い X 線・偏光 X 線を組み合わせることで、試料深さ方向の解析により、温度分布等を観測する。直径 1-3mm 程度の新球に成型した焼結試料を用いる。粉末焼結体の真球を作製する(図 1)。HfO₂ や ZrO₂ 焼結体と黒色の W、Pt、Ta、Re 等の粉末を数%添加した焼結体試料を作製する。白金族の色によりレーザーの吸収効率を高め、超高温の到達を容易にし、温度勾配も少なくなる。白金族の添加と無添加の効果調べる。HfO₂ や ZrO₂ は熱伝導性の低い、断熱材として用いられる化合物である。空气中、アルゴン雰囲気、二酸化炭素雰囲気、混合ガス雰囲気等の既知の雰囲気下で不純物の混入無く、高精度の回折実験を行う。各粉末結晶焼結体の吸収率と回折線の分解能を考慮して、X 線のエネルギーを変え、最良エネルギーを決定する。各種レーザーを用いた試料を加熱し、Planck の関係を用いた輻射温度計の測定システムにより温度を測定する。X 線その場観察実験から格子定数、軸率 a/c を精密化し、融点、相転移点を決定する。格子定数を多くの温度で測定する(図 2)。これまでの融点の公表値を再検討する。輻射温度計による温度校正法の確立や精度向上を達成する。無色結晶や白金黒を添加した焼結試料、有色結晶など加熱効率も確認しつつ、各試料固有の係数を見出し、温度校正法を確立することで $\pm 10\text{K}$ 以内の精度で温度の決定を試みる。決定した格子定数、軸率の温度変化、熱膨張特性を決定し、精度の高い低温域の結果や分子軌道法シミュレーションによる理論との値との比較・外挿することから、絶対値を決定する。これまでの融点の公表値を再検討する。Rietveld 法による構造解析を超高温域で行い、融体等への転移メカニズム、還元雰囲気下での構造変化を原子レベルで明らかにする。回収試料の SEM 観察、化学分析、構造精密化を行い、ラボの装置との中温度域での結果と比較を行う。試料での急冷ガラス部位と共存結晶部位の分析を行う。理論との比較、実験結果との比較検討し、温度の絶対値化を試みる。ラボでの熱電対による高温域での実験も広げ、衝撃圧縮実験による

温度決定結果や高温高压実験結果との整合性を確認する。



図 1. 高温下での真球試料

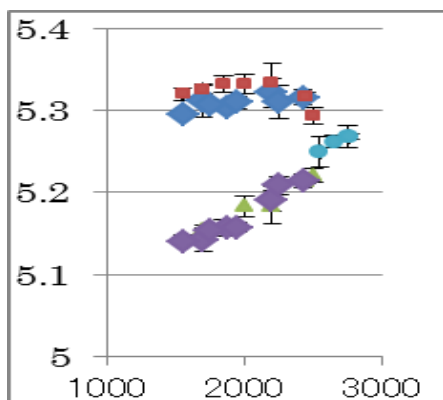


図 2. 高温下での格子定数の測定。立法晶相への転移が観測される。

Spring-8・BL04B2 での放射光による強力高エネルギー X 線と高温レーザー加熱ガス浮上法による角度分散型高精度 X 線回折実験を用い、雰囲気コントロール下で、格子定数（熱膨張率）軸比、融点、相転移点等を高精度で決定した。2000 度を超えると試料保持フォルダーやキャピラリー材料の制限により、実験が困難になる。そのために数 mm の新球の試料を空気・磁場浮上することで、不純物の混入無く雰囲気も変えられる超高温下での高精度の回折実験を行った。YAG レーザーや CO₂ レーザーを用いた加熱実験では試料の表面付近と中心部では温度勾配が生じ、その詳細な研究が必要であった。多くの温度下で正確な格子定数変化、熱膨張特性、融点、相転移点を決定し、中・低温域の結果や分子軌道法シミュレーションによる理論との値との比較・外挿することから、相対値の決定や温度決定精度の向上、輻射温度計への温度校正法を確立した。外挿した温度、相転移点温度、融点温度等の公表値を再測定し、輻射温度計の温度校正値と再確認を行った。同位体効果や不純物効果が観測された。構成済みの輻射温度計を用いて、各装置付随の輻射温度計の温度を校正を試みた。ガス浮上には真球試料が必要で独自の技術により作製可能とした。HfO₂ や ZrO₂ 焼結体と黒色の W、Pt、Ta、Re 等の微粉末を 25%-数%添加した焼結体試料を用い、レーザーの吸収効率を高め、超高温の到達の効果や温度分布、精密温度決定法への影響等を詳細に調べた。高融点化合物を用いた温度校正法を提案し、広い分野に展開を目指し、可能性を提案する。



図 3. 超高温下での回折実験。二次元検出器により粒成長の影響を削減した。

4. 研究成果

放射光施設 Spring-8 ビームライン BL04B2 に設置されている、高温レーザー加熱・ガス浮上法による放射光 X 線回折実験を用い、真球の試料を既知の雰囲気下で不純物の混入無く、高精度の回折実験を行った（図 3）。この装置は、融体の構造研究用に開発されており、融体が自ら真球になることで、浮上が可能となる。我々は、固体の真球を作製することで、浮上実験を可能とした。浮上させた新球試料を各種レーザーで加熱し輻射温度計にて非校正の温度を測定しながら、格子定数や軸率を角度分散型回折法にて精密化した。雰囲気コントロール可能な、このレーザー加熱・ガス浮上法角度分散型超高温 X 線回折装置と透過力の高い高エネルギー X 線を組み合わせることで、超高温域の精密 X 線回折実験が 4000 K 以上で行える工夫を行った。試料を上昇風にて浮上させ、一定位置に安定化するためには、試料が真球である必要がある。また、一定の回転運動を行うことで、温度の均一性を保つことに成功した。我々は、真球の作製が行える技術を開発した。数 mm の固体結晶焼結体は、X 線吸収から考え、透過力の高い高エネルギー X 線を用いる必要がある。レーザーも用いた加熱と Planck の関係を用いた輻射温度計等の温度測定と X 線その場観察実験、その他の観測とが同時に行う。波長の長さや吸収率の関係から、X 線のエネルギーを変えられる放射光を用い、最適の条件での高融点化合物の研究や温度校正実験は、将来大きく展開でき、絶対温度確立と汎用温度校正法の確立により卓越した成果がえられた。

広い温度域を測定することで、既知の温度域の熱膨張率と超高温域の測定結果を理論値と組み合わせ、試料温度を $\pm 3\text{K}$ ほどの誤差で見積もられる。ただし測定深度の温度勾配も見積もり、 $\pm 15\text{K}$ で決定できた。中温域での測定や理論計算と比較して、見積もられた温度から輻射温度計の温度校正を行い、色などの物質依存項や、流量等の装置・試料セル構造依存項等の影響を確認した。試料深さ方向で最大 220K の温度差が観測された。表面付近では温度校正効果は 3000K で誤差 10K 以下と見積もれた。基礎データの蓄積から高温域の絶対温度決定に向け新方法を確立し

た。格子定数や軸比から外挿した温度、相転移点、融点温度から放射温度計の温度校正を行い、構成済みの放射温度計を用いて、各装置付随の放射温度計の温度を校正した。同位体効果や不純物効果のため、数K以上の偏差が観測された。吹き付けるガスを酸素やアルゴン、混合ガスなどに換え、雰囲気をコントロールすることで、金属の酸化や欠陥形成、昇華による減量等の影響を調べた。ZrO₂-SiO₂系ではSiO₂成分の揮発の効果が明瞭に現れた。温度の正確さを向上することで、地球中心部の理解や地球活動・モデル化の確度が増す。

さらに、IP検出器による2次元データ観測装置を設置し、結晶粒成長の効果を校正する装置を開発した。この装置により高融点鉱物ジルコンの超高温実験、融体共存相等の精密測定に成功した。ジルコンは太古代研究に不可欠な最古の地球物質の一つである。高精度の二次元検出器付きX線回折装置を備えた高温レーザー加熱ガス浮上法により融体・結晶の回折実験を立ち上げた。試料保持ホルダーやキャピラリー材料の制限により、実験が困難になること避け、真球のジルコン試料を空気・磁場浮上することで、不純物の混入無く雰囲気も変えられる超高温下での高精度の回折実験、レーザーも用いた加熱と放射温度計の測定システム、X線その場観察実験、同時その場観測実験を行った。試料の表面付近と中心部では温度勾配が生じ、その詳細を明らかにした。HfO₂やZrO₂、ZrSiO₄ジルコンなど高融点化合物や関連超イオン導電体の高温高圧下で、X線回折実験、X線吸収分光法測定を行い、成果が得られた。今後、表面ラフネス等影響等をさらに詳細に調べる。格子定数を多くの温度域で測定し、決定した格子定数、軸率の温度変化、熱膨張特性を決定し、精度の高い低温域の結果や分子軌道法シミュレーションによる理論との値との比較し、絶対値の決定を試みた。Rietveld法による構造解析を超高温域で行い、転移メカニズムを原子レベルで明らかにした。

同鉱物は現在確認される地球最古のもので、西オーストラリアのジャックヒル地域で発見されたものから、地球最古の44億年という形成年代が得られた。ジルコンは、地球最古の鉱物粒子の研究として注目されている。本実験でジルコンの高温高圧での動態を明らかにすることで、初期地球の表層環境を探る重要な手がかりになると考える。SiO₂-ZrO₂系相図は現在Butterman and Foster(1965)によるものが引用されることが多いが、2250~2430の範囲において、SiO₂とZrO₂の不混和性液相が提案されている。しかし、ZrとSiは共に4価の元素で、ZrO₂とSiO₂は同じ酸化物で、化学的にこのような類似する化合物の2液体は高温下では混和するのが一般的である。Butterman and Fosterの研究ではこの不混和液相が存在すると解釈した理由についての詳細な言及が

なされていない。本研究では、ZrSiO₄粉末から作成したサンプルの高温融解実験(大型放射光施設Spring-8, BL04B2)を行い、SEM・EDSを用いて急冷試料のガラス部分の定量分析を行うことで相図の再描画を試みた。図4にジルコン融点以上での観測値と提案されている相図の比較を行った。成果の詳細は国際誌により公表する。さらに、高融点化合物を用いた温度校正法を提案し、広い分野に展開を目指し、超高温域研究の可能性を追求する。

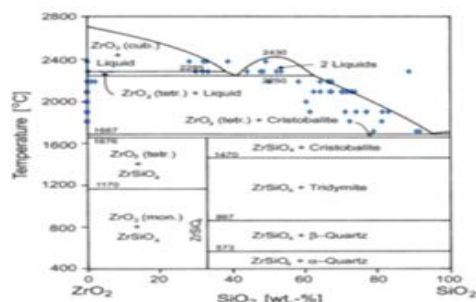


図4. 提案されている相図と試料ガラス・結晶組成。分析粒子サイズと揮発の効果が現れている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 18件)

1. Akira Yoshiasa, Akihiko Nakatsuka, Maki Okube and Tomoo Katsura, Single-crystal metastable high temperature C2/c clinostatite quenched rapidly from high temperature and high pressure. *Acta Crystallographica Section B*, 69 (2013) 541-546
2. Tatsuya Hiratoko, Akira Yoshiasa, Maki Okube, Akihiko Nakatsuka et al., Temperature dependence of pre-edge feature in Ti K-edge XANES spectra for ATiO₃ (A= Ca and Sr), A₂TiO₄ (A=Mg and Fe), TiO₂ rutile and TiO₂ anatase. *Journal of Synchrotron Radiation*, 20 (2013) 641-643
3. Ai Koganemaru, Akira Yoshiasa, Akihiko Nakatsuka, Maki Okube, et al., Effective pair potential for Ca-O bonds in CaGeO₃ polymorphs. *Journal of Physics: Conference Series*, 430 (2013) 012068 4pp
4. L. Wang, A. Yoshiasa, M. Okube, et al. Local structure of Titanium in natural glasses probed by X-ray absorption fine structure, *Journal of Physics: Conf. Series*, 430 (2013) 012121 4pp.
5. Ling Wang, Akira Yoshiasa, Maki Okube, et al., Local structure of iron in tektites and natural glass probed by X-ray absorption fine structure

spectroscopy, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 108 (2013) 288-294

6. T. Tobase, A. Yoshiasa, M. Okube, et al. XAFS study on Ca local structure in natural glasses and tektite., Journal of Physics: Conference Series, 430 (2013) 012070 4pp.

7. 吉朝 朗, 回折法と X 線吸収分光(XAFS)法を用いた地球惑星物質の精密構造解析, 岩石鉱物科学, 42 (2013), 111-122

8. A. Nakatsuka, A. Yoshiasa et al., Low- and high-temperature single crystal X-ray diffraction study of CaGeO₃ perovskite synthesized at 12 GPa and 1253K, Bulletin of the Am. Phys. Society, Vol. 58, (2013) 61-62

9. T. Mashimo, A. Yoshiasa et al., Hugoniot-measurement experiment of high- temperature sample on W and Au for discussion of Grüneisen parameter, Bulletin of the Am. Phys. Society, Vol. 58, (2013) 200

10. Lilang Chen, Tsutomu Mashimo, Hiroki Okudera, Akira Yoshiasa et al. Synthesis of novel CoC_x@C nanoparticles. Nanotechnology, 24(2013)0450602(10pages)

30. 佐藤庸平, 寺内正己, 居波 涉, 吉朝 朗, 高分解能 EELS による六方晶ダイヤモンド粒子の誘電特性, 日本結晶学会誌 55(2013)245-252

11. A. Yoneda, A. Nakatsuka, A. Yoshiasa, et al., Single crystal elasticity of Cmc₂m- and Pbnm-CaIrO₃: The D'' diversity interpreted by lattice preferred orientation of post perovskite, Nature Communications, 5, (2014) 3453 doi:10.1038/ncomms4453.

12. Tsubasa Tobase, Akira Yoshiasa, et al., XAFS study on the zirconium local structures in tektites and natural glasses. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 110 (2015) 1-7

13. Akihiko Nakatsuka, Akira Yoshiasa et al., Crystal structure of SrGeO₃ in the high- pressure perovskite-type phase Acta Crystallographica, E71 (2015) 502-504.

14. A. Nakatsuka, A. Yoshiasa et al., Temperature dependence of crystal structure of CaGeO₃ high-pressure perovskite phase and experimental determination of its Debye temperatures studied by low- and high-temperature single crystal X-ray diffraction. American Mineralogist, 100 (2015) 1190-1202

15. Tsubasa Tobase, Akira Yoshiasa et al., XAFS

study of Zr in Cretaceous-Tertiary boundary clays from Stevns Klint. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 110 (2015) 88-91

16. Tomotaka Nakatani, Akira Yoshiasa et al., Variable-temperature single-crystal X-ray diffraction study of tetragonal and cubic perovskite-type barium titanate phases.. Acta Crystallographica, B72 (2016) 151-159,

17. T. Tobase, A. Yoshiasa et al., Local structures of Ca, Ti and Fe in meteorite fusion crusts. Journal of Physics: Conference Series, accepted

18. Akira Yoshiasa, Tomotaka Nakatani et al. High temperature single-crystal X-ray diffraction study of tetragonal and cubic perovskite-type PbTiO₃ phases.. Acta Crystallographica Section B. B72 (2016) 381-388.

[学会発表](計 19 件)

1. A. Yoshiasa, A. Nakatsuka, M. Okube, et al.: Mean square relative displacements and mean square displacements in CaGeO₃ high pressure perovskite and garnet phases, European High Pressure Research Group International Meeting (EHPRG51), London, UK, September 2, 2013.

2. A. Nakatsuka, A. Yoshiasa et al.: Temperature dependence of crystal structure of CaGeO₃ high pressure perovskite phase. European High Pressure Research Group International Meeting (EHPRG51), London, UK, September 2, 2013.

3. A. Nakatsuka, A. Yoshiasa et al.: Low- and high-temperature single crystal X-ray diffraction study of CaGeO₃ perovskite synthesized at 12 GPa and 1253 K. AIRAPT-24, Seattle, USA, July 8, 2013.

4. AKIRA YOSHIASA (invited): XAFS and diffraction analyses of advanced material and melt under high-pressure and high-temperature. IX Conference of the Polish Ceramic Society, 2013年09月19日 ~ 09月22日 Zakopane Polish

5. T. Tobase, A. Yoshiasa et al. XANES and EXAFS study on Zr local structure in impact-related glasses. The 2013 Asian Crystallographic Association Meeting (AsCA'13), 2013年12月07日 ~ 12月10日 Hongkong

6. A. Yoshiasa (invited) : Detail structure characterization of advanced material and melt using synchrotron radiation under

high-pressure and high-temperature. THERMEC: the 8th international conference on advanced materials, 2013年12月02日~06日 Las Vegas

7. Akira Yoshiasa, Akihiko Nakatsuka, Maki Okube: High temperature C2/c clinoenstatite single crystals, detail structure and transition mechanism. the 21st General Meeting of the International Mineralogical Association 2014年09月01日~09月05日 SouthAfrica.

8. Akira Yoshiasa (invited): Detail structure analyses of the earth's interior and melt under high pressure and high temperature, The Sixth Meeting of Research Consortium on High-pressure Research, 2014年09月26日~09月27日, Kumamoto

9. Hidetomo HONGU, Akira YOSHIASA, Maki OKUBE et al.: Local structure of Sb in Cretaceous- Tertiary boundary clays from Stevns Klint by the XAFS method, The AGU Fall Meeting 2014年12月15日~12月19日, SanFrancisco,USA.

10. Akira Yoshiasa et al.(invited): High temperature single-crystal X-ray diffraction study of tetragonal and cubic perovskite-type PbTiO₃ phases., First International Forum on the Advanced Materials Processing using Extreme Conditions. 2015年03月06日~03月07日, Kumamoto.

11. Akira Yoshiasa et al.: Unique local structures of Ca, Ti, Fe and Zr in natural glasses formed by meteorite impact. The 19th American Physical Society Shock Compression of Condensed Matter (SCCM-2015) conference. 2015年6月14日~6月19日 Tampa, USA.

12. Akira Yoshiasa et al.: Unique temperature dependence of Zr and Ti XANES spectra for para- and ferro-electric perovskite-type compounds. The 12th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2015) 2015年7月06日~7月10日 New York, USA.

13. Akira Yoshiasa et al.: Displacement correlation functions and mean square displacements in CaGeO₃ perovskite and garnet phases. 12th International Congress for Applied Mineralogy. 2015年8月10日~8月12日 Turkey, Istanbul

14. Akira Yoshiasa et al.: Temperature

dependence of Zr K-edge XANES spectra for para-electric perovskite-type PbZrO₃. The 16th International conference on X-ray absorption fine structure. 2015年8月23日~8月28日 Karlsruhe, Germany

15. Akira Yoshiasa (invited): Detail structure analyses of advanced material and melt using XRD and XAFS under high-pressure and high-temperature. The Seventh Meeting of Research Consortium on High-pressure Research 2015年9月8日~9月09日. Kumamoto

16. 本宮秀朋、吉朝 朗他: K-T 境界粘土層中の Sb の形態とその濃集要因. 日本鉱物科学会年会. 2015年9月25日~9月27日. Tokyo

17. 吉朝 朗他: ペロブスカイト型 PbTiO₃、BaTiO₃ 強誘電体の 結晶構造精密化と温度依存性. 高エネルギー加速器研究機構 サイエンスフェスタ. 2016年3月14日~3月15日. Tsukuba

18. Akira Yoshiasa (invited): Detail structure and chemical bonding characterization of advanced material using synchrotron radiation under high-pressure and high-temperature: the usefulness of the synchrotron XRD and XAFS experiments. SOLARIS poland synchrotron facility meeting 2016. 2016年4月11日~4月12日. Krakow, Poland

19. Akira Yoshiasa (invited): Detail structure and chemical bonding characterization of advanced material using synchrotron radiation: the usefulness of combined synchrotron XRD and XAFS experiments. Poland IMT2016, 2016年4月14日~4月18日 Krynica Zdroj, Poloshi

〔図書〕(計 1件)

1. 吉朝 朗, 「日本の結晶学(II) - その輝かしい発展 - 」, 日本結晶学会「日本の結晶学(II)」出版編集委員会編, 2014. (株)日本印刷 (ISBN: 978-4-9903861-1-5)

〔その他〕

ホームページ等

URL: <http://www.sci.kumamoto-u.ac.jp/~yoshiasa/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉朝 朗 (YOSHIASA Akira)
熊本大学・自然科学研究科・教授
研究者番号: 00191536