

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360014

研究課題名(和文) 高電場印加・温度可変環境下での強誘電体の静的・動的構造物性研究

研究課題名(英文) Static and dynamical structural study of ferroelectrics under applied electric field at various temperatures

研究代表者

黒岩 芳弘 (Kuroiwa, Yoshihiro)

広島大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40225280

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,100,000円、(間接経費) 4,830,000円

研究成果の概要(和文)：高電場印加により人工的に大きく格子変形させた強誘電体の格子歪みをその場観察するための実験要素技術の開発を行った。研究目的を達成するために、試料印加電場および試料温度を精密に制御できる機能を備えたX線回折・誘電物性同時計測装置を広島大学に導入し、電場印加下での静的構造物性研究を大学で行うための研究基盤を構築した。一方、放射光施設SPring-8では、電場印加下で時分割X線回折実験のできる構造計測システムを確立した。これらの装置を使って、強誘電体単結晶に交番電場を印加したときに起こる分極反転と圧電振動の際の格子変形のダイナミクスを、マイクロ秒の時間分解能で精密にその場観測することに成功した。

研究成果の概要(英文)：In-situ measuring techniques for lattice strain in ferroelectrics under applied high electric-field have been developed. An X-ray diffractometer with a simultaneous measuring system for dielectric properties is installed in Hiroshima University. The basis of structural study to investigate the static change in crystal structures under electric field at various temperatures is established in the laboratory, while the time-resolved measuring system is built up in SPring-8 by our group for dynamical study. We have succeeded in capturing instantaneous change in lattice strain in ferroelectrics for millionths of a second during the polarization reversal and the piezoelectric vibration using the system.

研究分野：構造物性

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 応用物性・結晶工学

キーワード：誘電体物性 ペロブスカイト X線回折 電場印加実験 時分割実験 結晶構造解析 放射光

## 1. 研究開始当初の背景

最先端の電子機器に欠かせない積層セラミックコンデンサは全世界で需要が増加の一途を辿っている。近年では、より一層の薄層小型化と大容量化が求められ、数 100 nm 程度の誘電体層厚の製品が製造されるようになってきた。このような薄層化のためのナノテク技術革新が進む一方、強誘電体チタン酸バリウム BaTiO<sub>3</sub> からなる誘電体層の厚みが薄くなることで誘電体層に印加される電界強度は年々増加し、現在では 100 kV/cm を超える非常に高い電場が誘電体に印加された状態でコンデンサが使用されている。

本来、電場印加下での電気特性を理解するためには電場印加下で精密構造解析を行うべきである。しかし、通常の X 線では透過能が低く、高電場印加下で動作している電子デバイス内部の材料の構造変化を透視して、その場観察できない。一方、透過能の高い高エネルギー X 線を用いれば、デバイス内部の材料の構造を非破壊でその場観察することができ、また、相転移温度の特定に、より効果的な誘電率測定などの電気測定と同時計測システムを容易に構築できると考えた。

純粋な基礎科学の分野では、高電場印加下での構造計測は、誘電体薄膜の分野で盛んに行われてきた。薄膜実験では、誘電体層厚が薄いので、高電場を印加する目的に対して有利であるが、本質的に基板の影響を受けないバルク本来の性質を知ることは不可能である。バルク物質に対して電場印加下で、格子歪みや原子位置、さらには電子密度分布までも可視化する実験技術の開発が待たれている。

圧電性をもつ結晶に電場を印加すると、結晶の外形が変形する。強誘電性をあわせもつ圧電体結晶の場合、変形するしくみは 2 種類に大別される。1 つは強誘電分域の変化による外在的な変形で、ピエゾメータを用いたマクロ測定により観測可能である。もう 1 つは結晶を構成する原子の変位による本質的な格子変形で、X 線などを用いた回折実験が測定に威力を発揮する。この原子の変位量は、物質固有の本質的な圧電効果を理解するうえで重要である。今日では、さらに一歩進み、電圧がオンになった瞬間から、マイクロなレベルで結晶中の原子がどのように変位するのか、結晶格子がどのように変形するのか、その時間変化する動的構造変化のしくみを知ることが重要な課題となってきた。

## 2. 研究の目的

高電場を印加し、人工的に大きく格子変形させた強誘電体バルク物質の結晶構造を調べるための実験要素技術の開発を行い、高電場印加下での強誘電体の静的・動的構造物性を明らかにすることが本研究の目的である。そのために、100 kV/cm を超える高電場を印加することができ、温度変化させながら電場印加のタイミングに対して時間分解して X

線回折実験を行うことのできる X 線回折・誘電物性同時計測装置を製作する。このような実験研究の有用性が実証されれば、強誘電体に限らず、本質的な不均一構造をもつ複雑系機能材料の電気特性と結晶構造を一对一に対応させて構造物性を議論するという研究分野が開拓できると期待する。また、強誘電体を用いた電子デバイスが実際に動作している環境下において、非破壊で構造評価をすることができるようになり、産業界への波及効果も極めて高いと思われる。

## 3. 研究の方法

電場印加下での X 線回折の手法は、非 180° ドメインの反転などに伴う試料全体のマクロな外形変化を見ずに、本質的な結晶格子(単位格子)の歪みだけを抜き出して測定できる手法として有効である。直流電界下での静的な格子歪みを調べるために、試料に印加する電場と温度を可変できる X 線回折装置を設計し、広島大学の研究室に導入した。この際、回折装置の上で誘電特性も同時計測できる装置を開発した。

交流電界下での動的な格子歪みを調べるために、放射光施設 SPring-8 に、電場印加のタイミングに合わせて時間分解して X 線回折実験のできる構造計測システムを構築した。このシステムを用いて、BaTiO<sub>3</sub> 単結晶に交番電場を印加したときに起こる分極反転と圧電振動の際の格子変形のダイナミクスを、マイクロ秒の時間分解能で精密にその場観測することに成功した。

大学に導入した装置で静的構造歪みを調べながら、SPring-8 での時分割実験に対する予備実験を行った。また、今後の電場印加実験に使用できる試料の探索も行った。研究成果については、学会発表の場や論文により成果公表した。特に注目された成果については、プレス発表を行った。

## 4. 研究成果

ここでは、広島大学に導入した X 線回折装置を紹介した後、最も注目された研究成果として SPring-8 での BaTiO<sub>3</sub> 単結晶に対する時分割格子歪み計測の成果を中心に紹介する。

### (1) X 線回折・誘電物性同時計測装置の設計

透過能の高い銀の特性 X 線(波長: 0.56 Å)を X 線源とし、試料印加電場および試料温度を精密に制御できる機能を備えた X 線回折・誘電物性同時計測装置を広島大学に導入し、高電場印加下での構造物性研究を大学で行うための研究基盤を構築した。この装置の主要部分は、本研究の予算で購入した試料水平型 X 線回折装置により構成されている。所有していた誘電物性測定装置、温度制御装置、電源などと組み合わせて X 線回折・誘電物性同時計測装置を自作した。

X 線回折装置のプロトタイプは、いわゆるバンザイ型の粉末回折装置であったため、試

料軸（ $c$  軸）の駆動をパルスモーター化し、棒状セラミックス試料および単結晶試料の方位を自動かつ精密に制御できるように改造した。この改造により、特定のセラミックスグレインからの電場に平行な散乱ベクトルをもつ回折線のみならず、垂直な方向の回折線も試料交換することなく測定できるようになった。したがって、格子歪みに関する圧電  $d$  定数のうち、 $d_{33}$  値のみならず実質的な  $d_{31}$  値も同時に測定できるようになった。また、ガラスキャピラリーに封止された微小な粉末試料等も透過法で測定できるので、物質探索にも有効利用できる X 線回折装置を導入することができた。

## (2) 強誘電体 BaTiO<sub>3</sub> の電場誘起格子歪みの時分割 X 線回折による研究

電場誘起の格子変形は極めて小さく、その変化率は 0.1 pm/V 程度と考えられている。このような微小変化を明らかにするためには、高輝度で平行なビームである放射光を用いて、電場を印加したときの回折スポットの位置の変化を精密に測定することが必要である。圧電体結晶の圧電固有振動数は、物質の種類はもちろん、試料の形や大きさによって変化する。本研究では、正方晶チタン酸バリウム BaTiO<sub>3</sub> 単結晶に注目した。これを一辺が数 mm で厚み 0.1 mm 程度の板状に加工すると、固有振動数は MHz オーダーになる。そこで、SPring-8 において開発した小型高速 X 線チョッパーを利用してマイクロ秒オーダーで放射光を切り出し、電界印加と放射光照射のそれぞれのタイミングを同期させることにより、電場印加に対して特定のタイミングのみ放射光が照射されるようなシステムを構築した。この時間分解システムと BL02B1 に備えられている大型湾曲 IP カメラと組み合わせ、動的放射光 X 線回折像収集システムを構築した。これらのシステムの概略図を図 1 に示す。

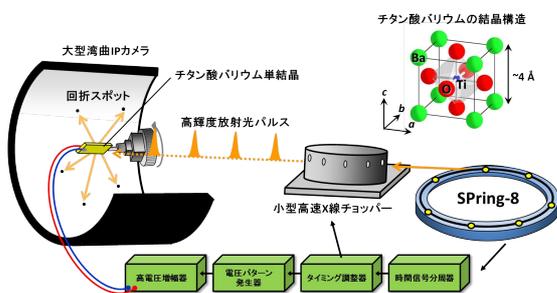


図 1 .SPring-8 に導入された動的放射光 X 線回折像収集システム

外部電場は、BaTiO<sub>3</sub> 単結晶の  $c$  軸方向に印加される。電場の波形は周波数 600 Hz で交番する矩形波とした。放射光のエネルギーは、試料の内部まで放射光が十分透過するように、35 keV（波長 0.35 Å）という高エネルギーのものを用いた。放射光のパルスは、電場

の向きがマイナスからプラスに変わった瞬間から  $t$  秒後にだけ結晶に照射される。その瞬間の回折スポット約 600 個を IP カメラで撮影し、ある時刻  $t$  での格子定数  $a$  と  $c$  を決定する。 $t$  を変えながら同様に  $a$  と  $c$  を決定し、格子定数  $a$  と  $c$  との比  $c/a$  の  $t$  に対する変化を調べたものを図 2 に示す。

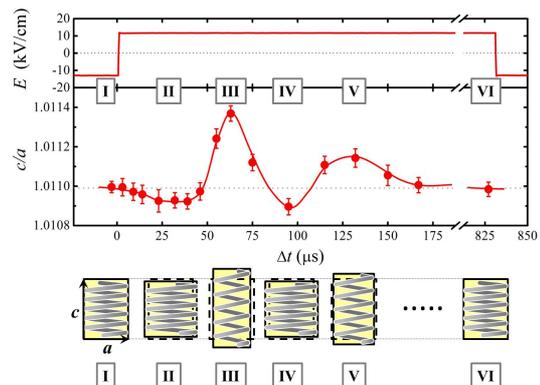


図 2 . BaTiO<sub>3</sub> 単結晶の  $c$  軸に印加された電界  $E$  に対する格子定数の比  $c/a$  の時間変化

$c/a$  は、 $t = 0$  のとき  $c/a = 1.01100(3)$  で、 $t \sim 60 \mu\text{s}$  付近で最大値  $c/a = 1.01137(4)$  をとり、その差はわずか 0.00037 である。このような微小変化を調べることができたのは、単結晶回折によって多くの回折スポットの位置を精度良く観測したからである。 $c/a$  は減衰しながら振動する。

このように、電界印加によって引き伸ばされた結晶格子が、あたかもバネが減衰振動するように変化していく様子が世界で初めて観測された。特に、結晶が大きく伸びる直前の分極反転が起こっている最中に、結晶格子が一度縮むという興味深い現象も観測できた。

これまで、このような時分割構造計測は、薄膜やセラミックス試料を用いたものが主流で、試料中の基板や粒界の影響を含む現象を観測していた。今回、単結晶試料を用いたマイクロ秒レベルでの時分割回折実験の手法を確立したことによって、基板等の影響を受けない圧電体本来の性質を測定できるようになった。一方、現在、SPring-8 を利用した時間分解測定技術は既にピコ秒オーダーにまで達している。今後、このような時間スケールで結晶の中を動きだす瞬間の原子の挙動がわかるようになると、高速応答する新しい材料創成などにも活用できると考えられる。その際には、原子位置レベル、さらには電子密度レベルで時分割構造計測を行うための実験技術も同時に開発しなければならない。また、対象は圧電体材料に限らないため、蓄電デバイス等、様々な電子デバイスが実際に動作している瞬間の結晶構造を原子レベルで透視して観測することが可能となり、物質機能と結晶構造を一対一に対応させた材料開発にも大いに貢献できると期待

される。

この成果を記した雑誌論文リスト(17)のオリジナル論文は大変注目され、Jpn. J. Appl. Phys.の注目論文“Spotlights”に選定され、2か月連続でTop 20 Most Downloaded Articlesとなった。Spring-8からプレスリリースされ、施設の広告にも成果が使用された。また、このオリジナル論文は、第34回(2012年度)応用物理学会優秀論文賞を受賞した。2011年にJpn. J. Appl. Phys.で出版されたすべて論文の中から唯一選ばれ受賞したことは、特筆に値すると考える。

物質探索も含め、本研究では、24件の論文および解説記事を発表した。また、国内外の学会及び国際会議で39件の研究成果の発表を行った。そのうち、17件は招待講演(国際会議7件、国内学会10件)であった。

#### 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24件)

- (1) Y. Kitanaka, K. Yanai, Y. Noguchi, M. Miyayama, Y. Kagawa, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Non-180° Polarization Rotation of Ferroelectric  $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$  Single Crystals under Electric Fields, Phys. Rev. B 89 (2014) 104104/1-9. 査読有(Editor's Suggestion)  
DOI: 10.1103/PhysRevB.89.104104
- (2) H. Kamei, I. Fujii, K. Nakashima, Y. Kuroiwa, H. Minemoto and S. Wada, Preparation of  $(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$  Ceramics with Nanodomain Structure and Their Piezoelectric Properties, Key Engineering Materials 582 (2014) 88-91. 査読有  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.582.88
- (3) R. S. Solanki, S. K. Mishra, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi and D. Pandey, Evidence for a Tricritical Point Coinciding with the Triple Point in  $(\text{Pb}_{0.94}\text{Sr}_{0.06})(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ : A Combined Synchrotron X-ray Diffraction, Dielectric, and Landau Theory Study, Phys. Rev. B 88 (2013) 184109/1-15. 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevB.88.184109
- (4) S. Kawamura, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, N. Taniguchi, H. Tanaka, S. Maki, M. Takata and S. Wada, Electronic Polarization in  $\text{KNbO}_3$  Visualized by Synchrotron Radiation Powder Diffraction, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 09KF04/1-4. 査読有  
DOI: 10.7567/JJAP.52.09KF04
- (5) Y. Kitanaka, M. Ogino, K. Hirano, Y. Noguchi, M. Miyayama, Y. Kagawa, C.

- Moriyoshi, Y. Kuroiwa, S. Torii and T. Kamiyama, Crystal Structural Analyses of Ferroelectric Tetragonal  $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-7%BaTiO}_3$  Powders and Single Crystals, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 09KD01/1-5. 査読有  
DOI: 10.7567/JJAP.52.09KD01
- (6) Y. Kitanaka, Y. Noguchi, M. Miyayama, Y. Kagawa, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, H. Fujisawa and M. Shimizu, Synchrotron Radiation Analyses of Lattice Strain Behaviors for Rhombohedral  $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  Single Crystals under Electric Fields, J. Ceram. Soc. Jpn. 121 (2013) 632-637. 査読有  
DOI: 10.2109/jcersj2.121.632
- (7) Y. Kitanaka, Y. Noguchi, M. Miyayama, Y. Kagawa, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Synchrotron Radiation Analyses of Domain Switching and Lattice Strain Behaviors for Ferroelectric  $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$  Single Crystals under Electric Fields, Ferroelectrics 443 (2013) 1-7. 査読有  
DOI: 10.1080/00150193.2012.741915
- (8) S. Ishikawa, Y. Kitanaka, T. Oguchi, Y. Noguchi, M. Miyayama, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, Synchrotron Radiation Analyses of Domain Switching Behaviors for Ferroelectric  $\text{BaTiO}_3$  Single Crystals under Electric Fields, J. Korean Phys. Soc. 62 (2013) 1046-1050. 査読有  
DOI: 10.3938/jkps.62.1046
- (9) R. Mitsui, I. Fujii, K. Nakashima, N. Kumada, T. Watanabe, M. Shimada, J. Hayashi, H. Yabuta, M. Kubota, T. Fukui, Y. Kuroiwa and S. Wada, Microstructure and Piezoelectric Properties of  $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$  ceramics, Key Engineering Materials 566 (2013) 59-63. 査読有  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.566.59
- (10) C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Time-Resolved Measurements of Lattice Strain in Ferroelectric Crystals Induced by Application of Electric Field: Single Crystal Diffraction Study, Transactions of the Symposium held at the 2013 American Crystallographic Association Annual Meeting, Honolulu, HI, July 20-24, 2013, (2013) 170-181. 査読無  
<http://www.amerocrystalassn.org/document/s/2013%20Transactions/13-Moriyoshi.pdf>
- (11) 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 高エネルギー放射光回折によるチタン酸バリウム系強誘電体の静的・動的構造解析, セラミックス 48 (2013) 512-517. 査読有
- (12) C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, Capturing Instantaneous Lattice Distortion of Tetragonal  $\text{BaTiO}_3$  Induced by

Application of Voltage for Millionths of a Second, SPring-8 Research Frontiers 2012 (2013) 52-53. 査読無

(13) S. Wada, K. Yamashita, I. Fujii, K. Nakashima, N. Kumada, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, Y. Fujikawa, D. Tanaka and M. Furukawa, Nanostructure Control of Barium Titanate-Potassium Niobate Nanocomplex Ceramics and Their Enhanced Ferroelectric Properties, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) pp. 09LC05/1-5. 査読有

DOI: 10.1143/JJAP.51.09LC05

(14) E. Magome, Y. Kuroiwa, H. Yoshimura, C. Moriyoshi, K. Yamashita, I. Fujii, K. Nakashima, N. Kumada and S. Wada, Crystal Structure of BaTiO<sub>3</sub>-KNbO<sub>3</sub> Nanocomposite Ceramics: Relationship between Dielectric Property and Structure of Heteroepitaxial Interface, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 09LE05/1-4. 査読有

DOI: 10.1143/JJAP.51.09LE05

(15) 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 強誘電体 BaTiO<sub>3</sub> の電場誘起格子歪みのダイナミクス: 時分割 X 線回折による研究, 放射光 25 (2012) 285-291. 査読有

(16) C. Moriyoshi, S. Hiramoto, H. Ohkubo, Y. Kuroiwa, H. Osawa, K. Sugimoto, S. Kimura, M. Takata, Y. Kitanaka, Y. Noguchi, and M. Miyayama, Success in Capturing Instantaneous Atomic Movement Induced by Application of Voltage for Millionths of a Second, J. of Synchrotron Rad. 19, Part 2, March (2012) facility information of SPring-8 2012 年 2 月 22 日. 査読無

(17) C. Moriyoshi, S. Hiramoto, H. Ohkubo, Y. Kuroiwa, H. Osawa, K. Sugimoto, S. Kimura, M. Takata, Y. Kitanaka, Y. Noguchi and M. Miyayama, Synchrotron Radiation Study on Time-resolved Tetragonal Lattice Strain of BaTiO<sub>3</sub> under Electric Field, Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 09NE05/1-4. 査読有 (Spotlights, Top 20 Most Downloaded Articles 2011 Oct. & Nov. Press Release) DOI: 10.1143/JJAP.50.09NE05

〔学会発表〕(計 39 件)

(1) 森吉千佳子, パルス放射光活用による格子ダイナミクスの可視化, SPring-8 コンファレンス 2014, 大阪, 2014 年 3 月 7 日. (招待講演)

(2) Y. Kitanaka, K. Hirano, M. Ogino, T. Oguchi, Y. Noguchi, M. Miyayama, Y. Kagawa, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, S. Torii and T. Kamiyama, Electric-Field-Induced Ferroelectric-Ferrielectric Phase Transition in (Bi<sub>1/2</sub>Na<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>-BaTiO<sub>3</sub> Single Crystals, 第 23 回日本 MRS 年次大会, 横浜, 2013 年 12 月 9-11 日.

(3) 森吉千佳子, SPring-8 BL02B1 及び BL02B2 における強誘電体構造物性に関する

最近の研究, 誘電体研究委員会 第 129 回定例会・技術交流会, 東京工業大学, 2013 年 9 月 13 日. (招待講演)

(4) C. Moriyoshi, Time-Resolved Measurements of Lattice Distortion in Ferroelectric Crystals Induced by Application of Electric Field: Single Crystal Diffraction Study, American Crystallographic Association Annual Meeting, Hawaii, USA, July 20 -24, 2013. (招待講演)

(5) Y. Kuroiwa, Valence Electron Density Study of Perovskite-type Ferroelectrics, Korea-Japan the 12th Joint Workshop, Jeju, Korea, May 18-20, 2013. (招待講演)

(6) 黒岩芳弘, ペロブスカイト型誘電体の精密電子密度解析, 日本物理学会第 68 回年次大会, 広島大学, 2013 年 3 月 26-29 日. (招待講演: シンポジウム)

(7) 引地奈津子, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 大沢仁志, 杉本邦久, 北中佑樹, 野口祐二, 宮山勝, 日本物理学会第 68 回年次大会, 広島大学, 2013 年 3 月 26-29 日.

(8) 森吉千佳子, BL02B1 を用いた誘電体結晶の時分割構造計測, SPRUC 構造物性研究会・キラル磁性・マルチフェロイクス研究会合同研究会, 名古屋大学, 2013 年 1 月 12 日. (招待講演)

(9) 森吉千佳子, 放射光単結晶回折による誘電体結晶の電場下時分割構造計測, 日本セラミックス協会第 25 回秋季シンポジウム, 名古屋大学, 2012 年 9 月 19-21 日. (招待講演)

(10) C. Moriyoshi, S. Hiramoto, H. Ohkubo, Y. Kuroiwa, H. Osawa, K. Sugimoto, S. Kimura, M. Takata, Y. Kitanaka, Y. Noguchi, and M. Miyayama, Synchrotron Radiation Study on Time-Resolved Tetragonal Lattice Strain of BaTiO<sub>3</sub> under Electric Field, 第 73 回応用物理学会学術講演会, 愛媛大学, 2012 年 9 月 11-14 日. (招待講演: 応用物理学会優秀論文賞受賞記念講演)

(11) 黒岩芳弘, セラミックス材料における優れた誘電特性創出のための構造物性研究, SPring-8 粉末材料構造解析研究会 (第 4 回) ~ 材料構造解析のための最新手法情報 ~, (社) 日本化学会化学会館, 2012 年 9 月 11 日. (招待講演)

(12) M. Ogawa, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, N. Inoue and T. Okamoto, Electric-field-induced Phase Transition of BaTiO<sub>3</sub>-based Ceramics, The 9th Korea-Japan Conference on Ferroelectrics (KJC-FE09), University of Ulsan, Korea, August 7-10, 2012.

(13) C. Moriyoshi, Challenge in Capturing Instantaneous Atomic Motion in Ferroelectric Crystals Induced by Application of Electric Field: Time-Resolved Single Crystal Diffraction

Study, The Sagamore XVII, Great Potential from Advanced Probes, IUCr Commission on Charge, Spin and Momentum Densities, Hokkaido, July 15-20, 2012. (招待講演)

(14) Y. Kuroiwa, Electron Charge Density Study on Emergence of Ferroelectricity in Perovskites, International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF), Aveiro, Portugal, July 9-13, 2012. (基調講演)

(15) Y. Kuroiwa, Charge Density Studies of Piezoelectric Ceramics: Characteristic Chemical Bonding and Thermal Motion, 4th International Conference "Smart Materials, Structures and Systems" (CIMTEC2012), Montecatini Terme, Italy, June 10-14, 2012. (招待講演)

(16) 森吉千佳子, 強誘電体材料研究における電場印加時分割測定, 平成 23 年度 GIGNO 研究領域創成支援プロジェクト研究会 高繰り返しシングルパンチ切り出しチョッパーが拓く科学 - 放射光による時分割計測の新展開 -, 国際ファッションセンター, 東京, 2012 年 3 月 21-22 日. (招待講演)

(17) 杉本邦久, 安田伸広, 大沢仁志, 工藤統吾, 二澤宏司, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 藤原明比古, SPring-8 BL02B1 における単結晶を用いた時間分解システムの開発, 第 25 回日本放射光学会年会, 鳥栖, 2012 年 1 月 9 日.

(18) C. Moriyoshi, Time-resolved Structural Study on Dielectric Materials under Electric Field using Synchrotron Radiation Single Crystal Diffraction, NCRLAB- Hiroshima Univ. Joint Workshop, Yangsan, Korea, December 1-2, 2011. (招待講演)

(19) Y. Kuroiwa, Advances in Electron Charge Density Study for Structural Materials Science, NCRLAB- Hiroshima Univ. Joint Workshop, Yangsan, Korea, December 1-2, 2011. (招待講演)

(20) 森吉千佳子, 平本尚三, 黒岩芳弘, 大沢仁志, 杉本邦久, 木村滋, 高田昌樹, 北中佑樹, 野口祐二, 宮山勝, 電場を印加した強誘電体 BaTiO<sub>3</sub> の正方晶歪みの時分割測定, SPring-8 コンファレンス 2011, 東京ステーションコンファレンス, 2011 年 11 月 1 日.

(21) H. Yoshimura, Y. Kuroiwa and S. Wada, Structural Study of BaTiO<sub>3</sub>-based Ceramics under Device-operating Environment, 2011 Korean-Japanese Student Workshop, Pusan National University, Busan, Korea, September 29-October 1, 2011.

(22) 森吉千佳子, 平本尚三, 大久保寿紀, 黒岩芳弘, 大沢仁志, 杉本邦久, 北中佑樹, 野口祐二, 放射光単結晶回折による BaTiO<sub>3</sub> の電場誘起格子歪みの時分割測定, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011 年

9 月 23 日.

(23) 黒岩芳弘, ペロブスカイト型強誘電体の放射光精密構造物性研究についての新展開, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 北海道大学, 2011 年 9 月 7 日. (招待講演)

(24) Y. Kuroiwa, H. Ohkubo, C. Moriyoshi, N. Inoue and T. Okamoto, Crystal Structure of BaTiO<sub>3</sub>-based Ceramics in MLCCs under Applied High Voltage, XXII Congress and General Assembly of the Int'l Union of Crystallogr. (IUCr 2011), Madrid, Spain, Aug. 22-30, 2011.

(25) 黒岩芳弘, 放射光を用いた強誘電体の構造物性研究, 第 28 回強誘電体応用会議 (FMA-28), 京都, 2011 年 5 月 27 日. (招待講演: チュートリアル)

(26) 森吉千佳子, 平本尚三, 大久保寿紀, 黒岩芳弘, 大沢仁志, 杉本邦久, 木村滋, 高田昌樹, 北中佑樹, 野口祐二, 宮山勝, 放射光単結晶回折による BaTiO<sub>3</sub> の電場印加正方晶歪みの時分割測定, 第 28 回強誘電体応用会議 (FMA-28), 京都, 2011 年 5 月 25 日.

〔その他〕

ホームページ

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/xtalphys/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

黒岩 芳弘 (KUROIWA YOSHIHIRO)  
広島大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 4 0 2 2 5 2 8 0

### (2) 研究分担者

森吉 千佳子 (MORIYOSHI CHIKAKO)  
広島大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 0 0 3 2 5 1 4 3

大沢 仁志 (OSAWA HITOSHI)  
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  
研究者番号: 0 0 4 4 3 5 4 9