

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06798

研究課題名(和文) 共振器摂動法によるマルチフェロイックフェライトの材料定数精密評価

研究課題名(英文) Precise evaluation of material constants of multiferroic ferrites by cavity perturbation method

研究代表者

菊池 丈幸 (Kikuchi, Takeyuki)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50316048

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：種々のマルチフェロイックフェライトのGHz帯における材料定数(複素透磁率、誘電率)の個別精密測定を空洞共振器を用いた共振器摂動法により実施した。フェライト合成は全て錯体重合法により行い、塩化物原料を用いることでアスペクト比の高い板状フェライト粉末を作製した。泥しょう鑄込み法により共振器に挿入する長尺棒状焼結体試料を作製した。複素透磁率と複素誘電率の評価はSパラメータ測定の結果から算出して行った。複素誘電率のみを円筒型の空洞共振器を使用して共振器摂動法で測定した。GHz帯における透磁率スペクトルと共振器摂動法による誘電率に類似性が認められず、強誘電性と強磁性の結合を示唆する結果は得られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

共振器摂動法による測定結果には、複素透磁率との類似性が確認できず、GHz帯における強誘電性と強磁性の結合について明確なエビデンスを得ることは出来なかった。共振器摂動法で測定される誘電率の値は外的誤差要因が少なく精度が高いと考えられることから、Sパラメータ測定により得られた誘電率・透磁率スペクトルの類似性は、誘電率・透磁率を算出するプロセスにおいて生じた偽解である可能性が高い。一方で、共振器摂動法によって測定された比誘電率は従来の測定結果と比較して10以上高く、GHz帯におけるマルチフェロイックフェライトの優れた強誘電性を示唆する結果であり、新規デバイスに応用する上で重要な知見であるといえる。

研究成果の概要(英文)：Independent measurement of the complex permeability and permittivity of multi-ferroic ferrites at GHz frequency was attempted using a cavity resonator by perturbation method. Synthesis and morphology control of ferrites were investigated by polymerizable complex method. Synthesized powder of various ferrites from the raw material include chloride was plate-like crystal with relatively higher aspect ratio. To prepare the sample for the measurement using cavity resonator, molding of ferrites were investigated by slip casting method. The slurry which relatively has low volume fraction of ferrite particle, was successfully molded and sintered. Complex permeability and permittivity of ferrites were evaluated by the S-parameter measurement. Only complex permittivity was measured by perturbation method with cylindrical cavity resonator. A clear similarity with the complex permeability cannot be confirmed in the measurement results by the cavity perturbation method.

研究分野：無機固体化学

キーワード：ヘキサフェライト 透磁率 誘電率 マルチフェロイクス

1. 研究開始当初の背景

近年、磁気秩序と強誘電性秩序が共存する、いわゆるマルチフェロイクスを示す物質が、基礎・応用研究において注目を集めている。中でも螺旋磁気構造とよばれる複雑な磁気秩序により強誘電性が誘起される磁気秩序誘起型の強誘電性が、ヘキサフェライトの一種である $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ Z型フェライト(以下 $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$)において室温かつ弱磁場下で観測された^(1,2)ことから電気磁気(ME)効果を利用した新しい電磁気デバイスの実用化が現実的なものとなってきた。しかしながら、この $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ フェライトは、安定生成する温度範囲が極端に狭いため単相合成が困難であり、X線回折レベルでクリーンな試料を合成した例は無かった^(1,3,4)。そこで申請者は、複雑な化学組成を有する酸化物の精密合成に適しているとされる錯体重合法を適用することで、この $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ フェライトの単相合成に初めて成功した⁽⁵⁾。ここでの最も重要な成果は成分元素であるコバルトを亜鉛で置換することで、フェライトが持つ本質的な磁気特性の一つである結晶磁気異方性の制御に成功した点である。つまり室温マルチフェロイックフェライトにおいては、化学組成を精密にコントロールしフェライトの持つ結晶磁気異方性を変化させることで ME 特性を自在に制御することが可能である。しかしながら、現時点では室温マルチフェロイクスの実用デバイス化において、まだ解明されていない重要な疑問が存在する。ME効果を利用した多値メモリやセンサデバイスでは、電場や磁場の高速な変化に対しても遅延無く応答することが必要となるが、室温マルチフェロイックフェライトにおける電気-磁気の交差相関性については静的な電場・磁場掃印による評価しか行われておらず、高周波帯域における強誘電性と強磁性の結合については不明な点が多い。

2. 研究の目的

種々の室温マルチフェロイックフェライトの多値メモリや様々なセンサデバイスへの応用を検討する上で必要とされるのが高周波帯域における材料定数、すなわち複素誘電率と複素透磁率の精密測定であるが、従来からセラミックス材料の材料定数評価に用いられてきた同軸型 S パラメータ法による測定では、測定データから誘電率および透磁率を数学的に算出する過程において、それぞれが相互に影響を及ぼし合うことで偽解が生じる恐れがある。そこで本研究では、矩形導波管のハーモニック共振を利用した共振器摂動法に着目した。共振器摂動法は、強誘電体の複素誘電率測定法のひとつとして知られているが、近年になって矩形導波管内のハーモニックによる多周波共振と組み合わせることで強磁性体の複素透磁率の精密測定が可能になっている。この測定法は、誘電率測定では共振器内部の電場最大、磁場最小部に試料を、透磁率測定では共振器内部の磁場最大、電場最小部に試料を配置し、それぞれの測定において相互に影響を受けない複素誘電率・複素透磁率測定法である。この手法を用いて誘電率と透磁率を個別に測定し、それらの周波数依存性を比較することで、種々の室温マルチフェロイックフェライトが実用周波数帯域で十分な ME 効果(交差相関性)を有するかを明らかにし、それらの高速デバイス化の可能性を探索することを研究の主たる目的としている。これらの室温マルチフェロイックフェライトに共通しているのは、結晶構造が六方晶系に属した層状構造をもつことから構造的な異方性が強いこと、磁気モーメントは基本的に結晶の *c* 面方向へ向こうとする面内異方性をベースとしたらせん磁気構造という複雑な磁気秩序構造をもつこと、さらにこの磁気構造により誘起される分極の方向が特定の結晶軸と平行であることから電氣的にも磁氣的にも強い異方性をもつという特徴である。そのため空洞共振器中に挿入する測定試料は単結晶または高度に配向させた焼結体試料であることが望ましい。また試料を空洞共振器内に挿入する都合上、測定試料の形状には制約があり、長尺棒状に成形または加工する必要がある。そこで、本研究では $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ をはじめとする室温マルチフェロイックフェライトの長尺棒状・高配向焼結体試料の作製法を確立し、空洞共振器を用いた複素誘電率・透磁率の精密測定を行うことを研究目的とした。

3. 研究の方法

I. 高アスペクト比のフェライト粒子作製と高配向厚膜試料の作製

$\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ をはじめとする種々のヘキサフェライトの合成は、全てクエン酸を用いた錯体重合法により行った。また一部のフェライトについては、塩化物フラックスを用いたフェライト粒子の高アスペクト化と圧粉配向性の向上を試みた。出発原料として SrCO_3 、 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を用いた。出発組成は室温でマルチフェロイクスを示すことが報告されている $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ の化学量論組成とした。秤量した原料を全て蒸留水に溶解し、全金属イオン量の5倍当量の無水クエン酸を加えたのち、約 393 K まで加熱して脱水縮合による重合を行った。得られたゲルを大気中で約 623 K で3時間加熱して熱分解することで前駆体粉末を作製した。得られた前駆体粉末を乳鉢で粉碎した後、アルミナ坩堝中で種々の温度で5時間、大気中または酸素気流中にて熱処理を行うことで、目的とするフェライトの単相合成を行った。得られたフェライト粉末の評価として粉末 X 線回折(XRD, Rigaku 製 RINT-2200V)による結晶相の同定、走査型電子顕微鏡(SEM, JEOL 製 JSM-7001FA)を用いた微細組織観察、SEM に付帯するエネルギー分散型 X 線分析器(EDX)を用いた組成分析を行った。さらにフェライト粉末を一軸

加圧により機械的に圧粉することで配向処理を施したのち、種々の温度で5時間、酸素気流中にて焼結してバルク体試料を作製した。得られたバルク体試料の配向度は Lotgering 配向度 $F^{(6)}$ を用いて評価した。

II. 泥しろう鑄込み法を用いた長尺棒状焼結体試料の作製

上記の実験で得られたフェライト粉末試料を用いて空洞共振器への挿入に適した長尺棒状焼結体試料 (1.4 mm 角 × 長さ 120 mm) の作製を試みた。グリーン体の作製法として、泥しろう鑄込み法を用いた。スラリーの調製は、純水を分散媒として用い、フェライト粉末を所定の体積分率 (20~50 vol%) で加えたのち、分散剤とバインダーを加えて遊星式ボールミルを用いて行った。分散剤およびバインダーの添加量はフェライト粉末に対して 0.5~3.0wt% の範囲で検討を行った。スラリーの粘度を回転式レオメータ (TA instruments 社製 AR 2000ex) を用いてコーンプレート法により評価することで、種々のスラリー条件 (粉体の体積分率, 分散剤およびバインダー添加量) の最適化を行った。二種類の型枠材料 (石膏および多孔質セラミックス) を用いてグリーン体を作製し、乾燥、脱脂の後、種々の温度で大気中または酸素気流中にて焼結を行った。得られた焼結体の評価は、X線回折法による相同定、走査型電子顕微鏡観察、アルキメデス法による密度測定、直流四端子法による電気抵抗測定、インピーダンスアナライザ (Hewlett-Packard 製 HP4194A) を用いた交流二端子法によるインピーダンス測定により行った。

III. 空洞共振器を用いた共振器摂動法による複素誘電率測定

研究開始当初は、矩形導波管のハーモニック共振を利用した共振器摂動法による複素透磁率・複素誘電率の測定を計画していたが、装置メーカーの方針変更にもない上記の測定に必要な空洞共振器および材料定数測定ソフトの購入が不可能となった。そこで実験計画を変更し、複素透磁率は従来通りの同軸型試料の S パラメータ測定により算出し、複素誘電率のみを円筒状の空洞共振器を用いた共振器摂動法によって測定した。S パラメータ測定の試料は超音波加工機を用いて、外径 7 mm, 内径 3 mm の同軸形状に切削加工して作製した。複素透磁率の測定はベクトルネットワークアナライザ (VNA, Agilent Technology 製 8720ES) を用いて測定した S パラメータ (透過・反射係数) から Nicolson-Ross 法により算出した。測定周波数範囲は 100 MHz から 20 GHz とし、測定前に校正キットを用いた TRL (Transmission-Reflection-Load) 校正を実施した。共振器摂動法による複素誘電率測定は、泥しろう鑄込み法により作製した $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ の長尺棒状焼結体試料を用い、誘電率・透磁率測定専門業者 (EM ラボ株式会社) への依頼測定によって実施した。ベクトルネットワークアナライザ (VNA, Keysight 社製 N5290A) と空洞共振器 4 種 (EM ラボ社製 CP-001,002,003,005) を使用して、測定周波数 1, 2, 3, 5 GHz の 4 点で複素誘電率測定を行い、S パラメータから算出した結果と比較・検討を実施した。

4. 研究成果

I. 高アスペクト比のフェライト粒子作製と高配向厚膜試料の作製

2種類の塩 (硝酸塩・塩化物) を Fe 源として種々の温度条件にて $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ の合成を行った結果、Fe 源として硝酸塩を用いた場合の単相合成温度は 1473 K であるのに対して、Fe 源として塩化物を用いた系では約 15 K 低い 1458 K で単相試料が得られることが明らかになった。図 1 に得られた $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ 単相試料の SEM 観察写真を示す。塩化物を原料として用いた系では、明らかに板面方向へ著しく結晶成長しておりアスペクト比の高い板状 (薄片状) 粒子が得られた。

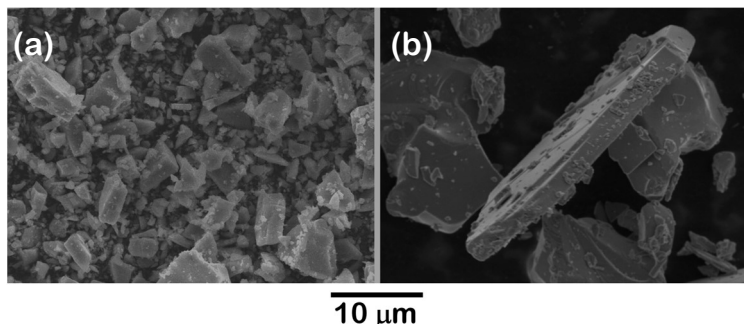


Fig.1 SEM images of $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ -type hexaferrites synthesized from (a) nitrate precursor and (b) chloride precursor.

組成分析の結果、合成したフェライトには塩素の残留が確認されなかった一方、前駆体粉末には、仕込み原料の約 13% に相当する塩素が残留していた。X線回折パターンには明瞭な塩化物の回折ピークは観測されていないが、固相法を基としたフラックス法と同様に錯体重合法の水溶液段階における塩化物イオンの共存がフェライトの粒子形態を制御する因子となり、フラックス法の様なポスト処理を行わなくても塩化物原料を用いるだけで錯体重合法においてフェライトの粒子形態を制御できることが明らかになった。次に塩化物を原料として用いて合成した板状 $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ 型フェライト粉末を一軸加圧により配向処理を施したのち、1473 K で 5 時間、大気中で熱処理を行うことで焼結体試料を作製した。得られた焼結体の表面 XRD パターンを図 2

に示す。観測された回折ピークのうち{00l}面の回折強度が相対的に増加しており、Lotgering 配向度 F は約 0.32 であることから、塩化物を原料とした合成による粒子形態の制御は配向性の改善に一定の効果があることが明らかになった。

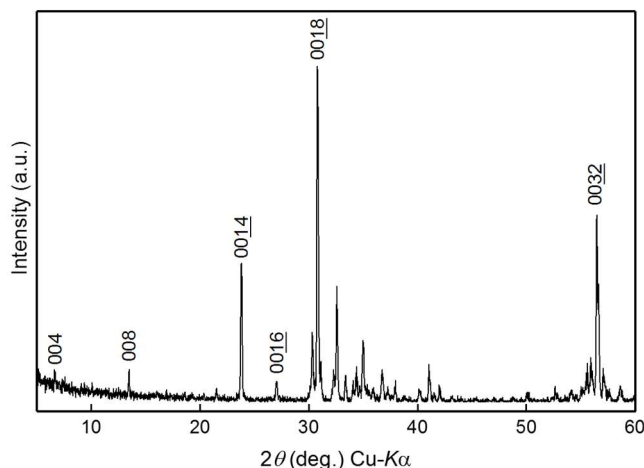


Fig.2 Surface XRD pattern of $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ -type hexaferrite sintered at 1473 K for 5h in air.

II. 泥しょう鑄込み法を用いた長尺棒状焼結体試料の作製

種々の体積分率で調製したフェライト粉末スラリーの粘度のせん断速度依存性を図3に示す。フェライト粉末の体積分率が増加するにしたがってスラリーの粘度は測定範囲全般で増加した。また全ての体積分率において、せん断速度が高くなるにつれて粘度が低下する非ニュートン流体の挙動を示した。泥漿鑄込み法では、分散媒が型枠材料に時間をかけて吸収されることから、使用するスラリーは比較的低いせん断速度において低粘度であることが望ましい。本研究では、せん断速度 1.0 s^{-1} において 粘度 $1.0 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ を基準として判定し、フェライト粉末の体積分率は 20 vol% とした。

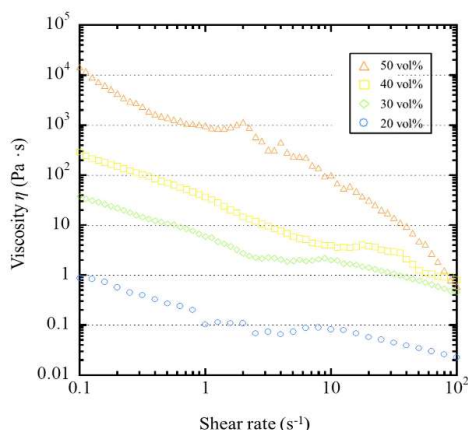


Fig.3 Shear rate dependence of Viscosity for the slurry with various volume fraction of $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ hexaferrite.

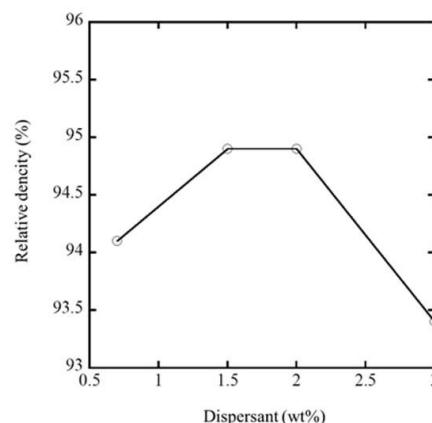


Fig.4 Relationship between relative density of sintered ferrite and the amount of dispersant added in slurry.

またバインダーの添加量を固定値 (0.5wt%) とし、種々の分散剤添加量にて作製したスラリーを泥漿鑄込み法で成型したのち、1473 K で焼結したフェライトバルク試料の相対密度を、図4に示す。得られた焼結体の相対密度は、分散剤添加量 1.5 および 2.0wt% で最大 ~95% となった。以上の実験結果から、長尺棒状焼結体試料の作製において使用するフェライトスラリーの条件は、フェライト粉末の体積分率 0.2、分散剤添加量 2.0wt% (対フェライト粉末)、バインダー添加量 0.5wt% (対フェライト粉末) とした。このスラリーを、1方向にだけ長い直方体形状に作製した型枠を用いて泥しょう鑄込み法により成型し、所定の温度・時間条件にて乾燥・脱脂したのち、1473 K で5時間、酸素気流中で熱処理を行うことで長尺棒状のフェライト焼結体試料を作製した。得られた試料の加工前(a)と切削・研磨加工後(b)の外観写真を図5に示す。焼結後の試料(a)には、グリーン体と比較して試料のわずかな反りが観察された。泥しょう鑄込み時には、試料下部からフェライト粉末が充填し緻密化が進行するため試料の上下方向にフェライト粉末の充填密度の差が生じるため、収縮率の違いによって生じた変形であると考えられる。切削・研磨加工を施すことで、空洞共振器に挿入可能な寸法にするだけでなく、試料上部の低密度部分を取り除くことで、全体的に高密度な長尺棒状形状 (1.4 mm 角 × ~120 mm) の $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ フェライト焼結体試料(b)を作製することが出来た。

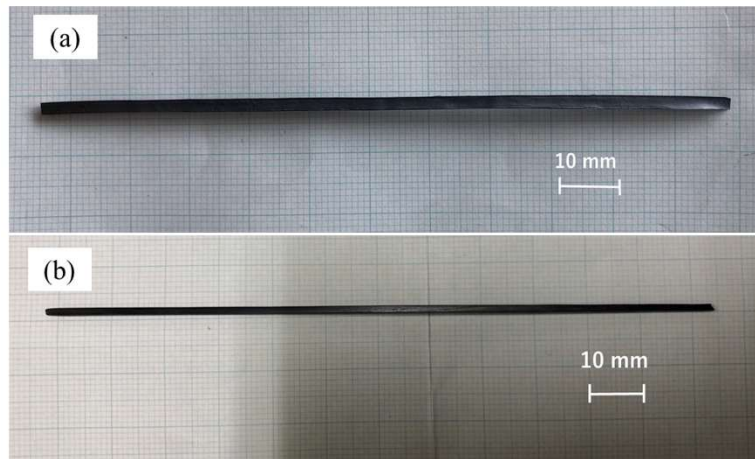


Fig.5 Appearance photo images of sintered $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ hexaferrite, (a) as-sintered and (b) after cutting and polishing.

III. 空洞共振器を用いた共振器摂動法による複素誘電率測定

図7に、先述の長尺棒状焼結体試料について共振器摂動法により測定した複素誘電率の測定結果を示す。比較のために、同軸状試料の S パラメータ測定から算出した複素誘電率スペクトルのあわせて示す。 S パラメータからの誘電率スペクトルには、透磁率スペクトルと同様に2~5 GHzの周波数範囲に誘電率の周波数分散が観測されている(特に虚数部で顕著)が、空洞共振器を用いた共振器摂動法による測定結果には、複素透磁率との明確な類似性が確認できず、この周波数帯における強誘電性と強磁性の結合について明確なエビデンスを得ることは出来なかった。一般的には、共振器摂動法で測定される誘電率の値は同軸試料の S パラメータ測定より外的誤差要因が少なく精度が高いと考えられることから、 S パラメータ測定により得られた誘電率・透磁率スペクトルの類似性は、強誘電性と強磁性の結合に起因するものではなく、測定された S パラメータから誘電率・透磁率を算出する数学的プロセスにおいて生じた偽解である可能性が高い。しかしながら、共振器摂動法によって測定された比誘電率は従来の測定結果と比較して10以上高い値となっており、高周波帯における $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ フェライトの優れた強誘電性を示唆する結果であり、磁場により誘起される強誘電性を新規デバイスに应用する上で重要な知見であるといえる。

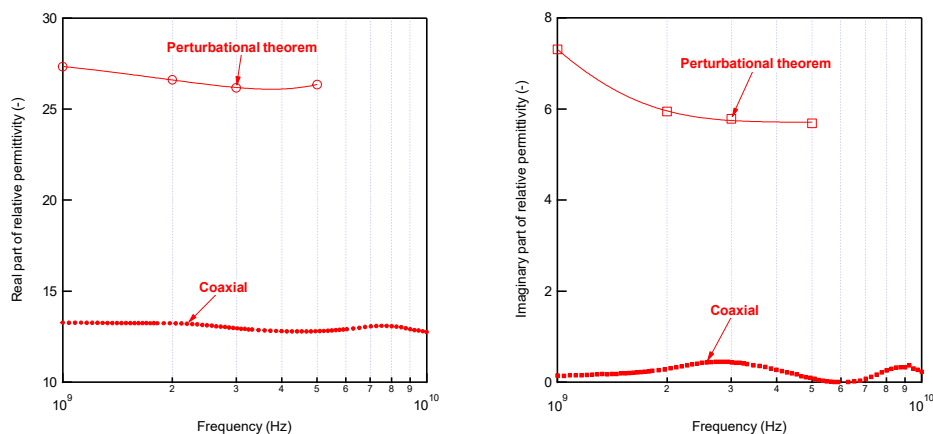


Fig.7 Relative complex permittivity spectra of $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Z}$ hexaferrite measured by perturbational method and coaxial method.

文献

- (1) Y. Kitagawa et al., *Nature Materials* **9** (2010), pp. 797-802.
- (2) K. Okumura et al., *Appl. Phys. Lett.* **98** (2011), 212504 (3pp).
- (3) R. C. Pullar and A. K. Bhattacharya, *Mater. Res. Bull.* **36** (2001), pp. 1531-1538.
- (4) Y. Takada et al., *J. Appl. Phys.* **100** (2006), 043904-1-7.
- (5) T. Kikuchi et al., *Mater. Res. Bull.* **46** (2011), pp. 1085-1087.
- (6) F. K. Lotgering, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **9** (1959), 113.

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 0件）

1. 著者名 Kikuchi Takeyuki, Kobune Masafumi, Nakanishi Makoto, Fujii Tatsuo	4. 巻 43
2. 論文標題 Mössbauer study of zinc-substituted strontium cobalt Z-type hexaferrite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 S386 ~ S390
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ceramint.2017.05.264	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 1件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 菊池丈幸, 赤松剛史, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 Sr系M型ヘキサフェライトの低温合成と構造解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第15回関西支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池丈幸, 赤松剛史, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 2)低温で合成したSr系M型ヘキサフェライトの結晶構造および微細構造解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kikuchi, M. Kobune, M. Nakanishi, T. Fujii
2. 発表標題 Chemical State Analysis of Sr ₃ Co ₂ -xZnFe ₂₄ O ₄₁ by Auger Electron Spectroscopy
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林優一, 市野元太, 菊池丈幸, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 泥しょう鑄込み法による六方晶系フェライト焼結体の作製
3. 学会等名 第14回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市野元太, 菊池丈幸, 小舟正文, 中西真, 藤井達生
2. 発表標題 錯体重合法を用いて合成したX型フェライト Sr ₂ Co ₂ Fe ₂₈ O ₄₆ の磁気特性評価
3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池丈幸, 市野元太, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 Sr ₂ Co ₂ Fe ₂₈ O ₄₆ X型ヘキサフェライトの高周波応答特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤松剛史, 赤井涼人, 菊池丈幸, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 磁気記録向けM型Srフェライトの低温合成
3. 学会等名 第14回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池丈幸, 赤松剛史, 小島啓輔, 小舟正文, 中西真, 藤井達生
2. 発表標題 高密度磁気記録向けM型ヘキサフェライトの低温合成の試み
3. 学会等名 第57回粉体に関する討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市野元太, 菊池丈幸, 小舟正文
2. 発表標題 高配向を目指した扁平板状ヘキサフェライト粒子作製の試み
3. 学会等名 第13回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤井涼人, 原田慶太, 菊池丈幸, 小舟正文, 中西 真, 藤井 達生
2. 発表標題 錯体重合法により合成した(Na, Fe)共置換La-Sr-Co系M型フェライトの磁気特性評価
3. 学会等名 第13回日本セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池丈幸, 市野元太, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 粒子形態制御によるSr3Co2Z型ヘキサフェライト配向焼結体の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池丈幸, 赤井涼人, 赤松剛史, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 錯体重合法による磁気記録媒体向けM型ヘキサフェライト微粉体の作製
3. 学会等名 第56回 粉体に関する討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池丈幸, 赤井涼人, 赤松剛史, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 錯体重合法による磁気記録向けSrフェライト粉末の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池丈幸, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 Zn置換Sr-Co系Z型ヘキサフェライトの合成と磁気特性
3. 学会等名 電気学会マグネティクス研究会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原田慶太, 菊池丈幸, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 錯体重合法により合成した La -(Co, Zn)共置換Sr M型フェライトの磁気特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 廣田和也, 菊池丈幸, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 錯体重合法により合成したZn 置換Z 型ヘキサフェライトの電気磁気特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本 憲汰, 菊池丈幸, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 Al 置換Z 型ヘキサフェライトの作製と特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池丈幸, 赤井涼人, 原田慶太, 小舟正文, 中西 真, 藤井達生
2. 発表標題 (Na, Fe)共置換La-Sr-Co系M型ヘキサフェライトの合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------