

平成22年 5月 26日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19750172

研究課題名 (和文) セラミックスナノチューブの合成・組織化と応用技術の開発

研究課題名 (英文) Synthesis, Organization, and Applications of Ceramics Nanotubes

研究代表者

矢田 光徳 (YADA MITSUNORI)

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：20274772

研究成果の概要 (和文)：

金属チタン上での銀ナノ粒子/チタン酸銀ナノチューブ薄膜の形成に成功した。この薄膜が MRSA に対する極めて高い抗菌性と優れたアパタイト形成能を有することを明らかにし、抗菌性生体材料に応用できることを示した。Co-Cr 合金やアルミナなどの種々の生体材料の表面にチタン酸塩薄膜を形成する技術も確立した。直線型及びらせん型のルテニウム化合物/界面活性剤ナノ複合体ナノチューブの合成と酸化ルテニウムや金属ルテニウムのナノチューブへの変換にも成功した。

研究成果の概要 (英文)：

We succeeded in the synthesis of a silver nanoparticle / silver titanate nanotube nanocomposite thin film on a titanium metal. We revealed its high apatite forming ability and high antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. The film is particularly promising as an antibacterial implant. Straight and helical ruthenium compound / surfactant nanocomposite nanotubes were synthesized. The nanotubes were transformed into ruthenium dioxide and metallic ruthenium, while maintaining their nanotubular morphology.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	360,000	3,560,000

研究分野：無機材料化学

科研費の分科・細目：材料化学・無機工業材料

キーワード：ナノチューブ、生体材料、抗菌、ナノ構造体、ナノ粒子、薄膜

## 1. 研究開始当初の背景

近年、ワイヤー、チューブ、ハニカム、球状等のナノ構造・形態を有する酸化物が合成

され、量子効果を含めたナノ構造特有の機能発現が期待されている。特に、酸化物ナノチューブに関しては、チタニア・チタネートナ

ノチューブにおけるプロトン伝導性、電子放出特性、水素検知能、骨形成能、エレクトロクロミズムなどの優れた特性に代表されるように、様々な特異的な物性を示すことが報告され、注目が集まっている。申請者も、有機／無機ナノ複合化反応等を利用して、希土類化合物やルテニウム化合物のナノチューブの合成を世界に先駆けて発表し、さらに、ごく最近にはより精緻に制御されたナノチューブである中空らせん型ルテニウム化合物／有機分子ナノ複合体の合成にも成功しているが、その形成機構は不明な点が多い。

また、ナノチューブの特性を最大限引き出して工学的応用に結びつけるためには、従来技術においてハンドリング可能な $\mu\text{m}$ 、 $\text{cm}$ 、 $\text{m}$ のサイズにナノチューブを組織化しなければならないが、現時点ではこのような研究例は数少ない。申請者はこの点に関しても検討を進め、希土類化合物ナノチューブの球状集合体及び薄膜の形成や金属チタン表面上でのチタン酸ナトリウムナノチューブ（外径約 $8\text{ nm}$ 、内径約 $3\text{ nm}$ ）の組織化などの成果を挙げている。

## 2. 研究の目的

本研究では、セラミックナノチューブに焦点を絞り、セラミックナノチューブの合成方法の開発と特性評価を行う。

まず、はじめに、申請者が独自に合成に成功したらせん状ルテニウム化合物ナノチューブの合成条件を最適化し、ナノチューブの形成機構を解明することにより、様々な組成のナノチューブ構造を得るための指針を得て、それをもとにして様々な組成のセラミックナノチューブの合成を試みたい。また、この化合物をベースとして、セラミックの酸化還元能を利用したレドックスキャパシタへの応用を検討したい。

また、組織化されたナノチューブとして、種々の形状のチタン酸ナトリウムナノチューブ／金属複合体を合成し、抗菌性人工関節用材料などのインプラントへの応用を検討する。さらに、本研究では、ナノチューブ材料の開発のみならず、同組成の他のナノ構造・形態（シート、不定形、ロッド状など）から生じる物性ととの比較を通して、“ナノチューブ”という構造・形態から生じる物性の特徴を明らかにしたい。

## 3. 研究の方法

### (1) ルテニウム化合物ナノチューブの合成と特性評価

ルテニウム化合物ナノチューブは、尿素を用いた均一沈殿法によって合成した。ルテニウム源として $\text{RuCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n=1\sim 3$ ) を、鋳型分子としては、1-ドデカンスルホン酸ナトリウム ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_3\text{Na}$ ) やビス (2-エチル

ヘキシル) スルホホはく酸ナトリウム (AOT、 $\text{C}_{20}\text{H}_{37}\text{O}_7\text{SNa}$ ) などの陰イオン型界面活性剤を用いた。塩化ルテニウム、界面活性剤、尿素、水を所定のモル比になるように混合し、均一溶液とするために $40\text{ }^\circ\text{C}$ で2時間混合した。尿素を $60\text{ }^\circ\text{C}$ 以上で加熱すると、尿素の加水分解反応が促進されアンモニアが生成するため、混合溶液のpHは上昇することが知られている。混合溶液を $70\text{ }^\circ\text{C}\sim 90\text{ }^\circ\text{C}$ で加熱し、攪拌下もしくは無攪拌下で保持することによってpHが上昇して生成物が析出した。20時間反応後、尿素の加水分解反応を止めるため室温に冷却し、生成物を水やエタノールで繰り返し洗浄して空気中で乾燥した。また、得られた生成物は、空气中及び真空中にて昇温速度 $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ で $300\text{ }^\circ\text{C}\sim 700\text{ }^\circ\text{C}$ で熱処理した。特性評価として、導電率測定とCV測定を行った。

### (2) チタン化合物ナノチューブ薄膜の合成と抗菌性生体材料への応用

#### ① チタン化合物ナノチューブ薄膜の合成

金属チタン板を $10\text{ mol}/\ell$  NaOH水溶液中で $160\text{ }^\circ\text{C}$ で3時間水熱反応し、水洗することなく乾燥した後に $300\text{ }^\circ\text{C}$ で加熱し、その後に水洗して薄膜に付着した過剰なNaOHを除去するというプロセスによって、金属チタン板上に外径約 $8\text{ nm}$ のチタン酸ナトリウムナノチューブからなる薄膜を形成した。この薄膜を種々の溶液に浸漬してイオン交換反応を行うとともに、熱処理することによって、チタン化合物のナノ形態や結晶構造の制御を試みた。

#### ② 抗菌性の評価

人工関節置換手術において感染の原因菌となっているMRSAを用いて抗菌試験を行った。また、各種溶媒中における薄膜からの銀イオンの溶出挙動を調べた。

#### ③ 薄膜のアパタイト形成能の評価

薄膜の生体中での骨形成能を評価するために、薄膜を疑似体液に種々の時間浸漬し、アパタイト形成能を調べた。

## 4. 研究成果

### (1) ルテニウム化合物ナノチューブの合成と特性評価

$\text{RuCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n=1\sim 3$ )、尿素、 $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_3\text{Na}$ 、水を所定の条件で反応させることにより、長さ数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ で、規則的なピッチを有するらせん状形態のナノチューブ（図1）を得た。ナノチューブの内径は数十 $\text{nm}$ 程度のもが多く、チューブの穴部もらせん状であった。このナノチューブの壁部は正の電荷を有するルテニウム化合物相と負の電荷を有する $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_3^-$ 相からなるヘキサゴナル構造ナノ複合体により構成されていた。ナノチューブの構造の模式図を図2に示す。このよう



図1 Ru化合物  
ナノチューブの  
TEM写真

ならせん状形態の形成には、原料濃度の制御と、反応時に攪拌をしないこと、界面活性剤の種類が重要であることが分かった。実際、らせん状形態が形成される原料濃度範囲は狭く、攪拌下での合成ではらせん状形態は形成されない。また、界面活性剤としてビス(2-エチルヘキシルスルホホコ)はく酸ナトリウムを用いて合成すると、直線状形態のナノチューブが主として生成し、その壁部はルテニウム化合物相と界面活性剤相からなる規則性の乏しいナノ構造を有するナノ複合体で構成されていた。これらのナノ複合体ナノチューブを空气中500℃以上で熱処理することにより、界面活性剤が燃焼脱離するとともにRu化合物相がRuO<sub>2</sub>相に結晶化し、RuO<sub>2</sub>ナノチューブが生成した。例えば、500℃で熱処理すると、壁部が粒径数nmのRuO<sub>2</sub>ナノ粒子から形成されているメソ多孔質ナノチューブが生成した。一方、ナノ複合体ナノチューブを空气中300℃で熱処理した後に室温にて高圧水素で処理するか、ナノ複合体ナノチューブを真空中で700℃で熱処理すると、金属Ruナノチューブが生成した。ナノチューブの電気的性質を調べたところ、ナノ複合体ナノチューブは絶縁体であるのに対し、RuO<sub>2</sub>ナノチューブ及び金属Ruナノチューブは導電体であった。

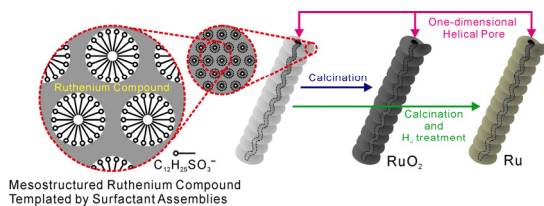


図2 ルテニウム化合物ナノチューブのナノ構造の模式図

RuO<sub>2</sub>やその水和物は電極触媒やレドックスキャパシタや水素製造用触媒やCO酸化触媒として、また、金属Ruは燃料電池用触媒として検討されており、本研究で得られたルテニウム化合物ナノチューブはそれらへの応用が期待される。また、既報のらせん状シリカは絶縁体であるのに対して、らせん状RuO<sub>2</sub>や金属Ruは導電性物質である。また、金属はセラミックスに比べて機械的強度に優れていることが知られている。したがって、本研究で得られた物質はマイクロ/ナノスプリングやアクチュエーターやマイクロ/ナノデ

バイスのための電磁誘導材料としても期待できる。界面活性剤を鋳型としたらせん状ヘキサゴナル構造体としてはシリカのみが知られていたが、本研究で得られた物質はシリカ以外の無機化合物としては初めての例であり、本研究の成果をもとに様々な酸化物においても界面活性剤を用いて精緻ならせん形態を合成できる可能性がある。

## (2)チタン化合物ナノチューブ薄膜の合成と抗菌性生体材料への応用

金属チタン板上に膜厚約5μm程度の外径約8nmのチタン酸ナトリウムナノチューブからなる薄膜を形成した。チタン酸ナトリウムナノチューブ薄膜を0.01mol/lのHCl水溶液に90℃で3時間浸漬することにより、チタン酸水素ナノチューブ薄膜を得た。一方、140℃で浸漬すると菱形のアナターゼ型TiO<sub>2</sub>ナノ粒子からなる薄膜が生成した。チタン酸水素ナノチューブ薄膜は、300℃及び450℃で熱処理するとアナターゼ型TiO<sub>2</sub>ナノチューブ薄膜に、600℃で熱処理するとアナターゼ型TiO<sub>2</sub>ナノワイヤー薄膜に変換された。一方、750℃以上で熱処理すると焼結の進行によりチタン化合物の一次元形態が失われた。

次にチタン化合物ナノチューブ薄膜の抗菌性生体材料への応用を検討した。人工股関節用材料としては、チタンやチタン合金が用いられていることから、本研究で得られた金属チタン上に生成したチタン酸ナトリウムナノチューブ薄膜に銀を担持することによる抗菌材料化を試みた。チタン酸ナトリウムナノチューブ薄膜を酢酸銀水溶液に浸漬すると、ナノチューブの形態を保持したままチタン酸銀に変換されるとともに、ナノチューブの表面には銀ナノ粒子が析出した。(図3)

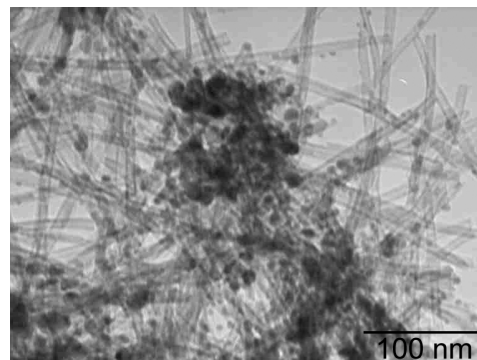


図3 銀ナノ粒子/チタン酸銀ナノチューブナノ複合体のTEM写真

得られた銀ナノ粒子/チタン酸銀ナノチューブナノ複合体薄膜を生理食塩水、PBS(+), PBS(-)、牛胎児血清中に浸漬することにより疑似生態環境中での銀イオンの溶出挙動を明らかにした。さらに、MRSAに対する抗菌試験を行ったところ、チタン酸ナトリウムナノチューブ薄膜が大きな抗菌性を示さなかつ

たのに対し、銀ナノ粒子/チタン酸銀ナノチューブナノ複合体薄膜は抗菌活性値 6.3 という非常に高い抗菌性を示した。ナノチューブ以外のナノ構造体（ナノファイバー、ナノシート、不定形）の薄膜に対しても同様な実験を行い、ナノ構造の違いにより抗菌性が若干異なることも明らかにした。

次に、得られた薄膜の生体内での骨形成能を評価するため、薄膜の疑似体液中でのアパタイト形成能を調べた。銀ナノ粒子/チタン酸銀ナノチューブナノ複合体薄膜は、疑似体液に二日間浸漬すると薄膜表面がアパタイトと塩化銀粒子で完全に覆われ（図4）、そのアパタイト形成能は、アナターゼ型TiO<sub>2</sub>ナノチューブ薄膜より形成能が若干高く、チタン酸ナトリウムナノチューブ薄膜やチタン酸カルシウムナノチューブ薄膜やチタン酸水素ナノチューブ薄膜よりもはるかに高いことが分かった。

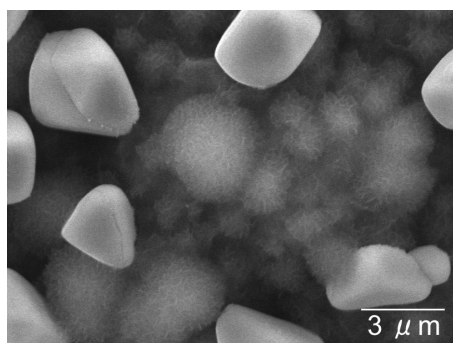


図4 銀ナノ粒子/チタン酸銀ナノチューブナノ複合体薄膜を疑似体液に二日間浸漬した後の薄膜表面のSEM写真

優れたアパタイト形成能の理由について調べたところ、銀がアパタイト形成能を示さないことや、XRD測定やFT-IR測定の結果から、チタン酸銀の結晶構造に起因する特異な表面構造がアパタイト形成能に大きく寄与していることがわかった。

以上の結果より、本研究で得られた銀ナノ粒子/チタン酸銀ナノチューブナノ複合体薄膜が高い抗菌性と優れたアパタイト形成能を併せ持つことが明らかとなった。現在、人工股関節置換手術において、1~2%の割合で感染が生じることが知られており、早急な人工股関節用材料の抗菌化が待望されている。本研究で得られたナノチューブ薄膜は、ナノチューブ内部に様々な物質（例えば薬剤など）を取り込むことが可能であるため、さらなる高機能化が可能であり、抗菌性人工関節用材料として極めて有望であると考えられる。

さらに、生体材料として知られる、ステンレス、Co-Cr合金、アルミナ、ジルコニア等の各種基板上への、水熱転写法によるチタン酸ナトリウムナノ構造体（ナノシート、ナノ

ファイバー、ナノチューブ等）薄膜の形成技術や膜厚の制御方法を確立した。チタン酸ナトリウムは優れたアパタイト形成能を有することが知られていることから、アパタイト形成能を有さないこれらの基板に対してアパタイト形成能を持たせることが可能になったと考えられる。

酸化チタンやチタン酸塩に代表されるチタン化合物は本研究で取り上げた生体材料のみならず、光触媒や色素増感型太陽電池等への応用が検討されており、本研究で得られた種々のチタン化合物ナノチューブ薄膜は、これらへの応用も期待される。

## 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7件）

1. M. Yada, Y. Inoue, A. Gyoutoku, I. Noda, T. Torikai, T. Watari, T. Hotokebuchi, "Apatite-Forming Ability of Titanium Compound Nanotube Thin Films Formed on a Titanium Metal Plate in a Simulated Body Fluid", *Colloids and Surfaces B : Biointerfaces*, accepted. (査読有)
2. Y. Inoue, M. Uota, T. Torikai, T. Watari, I. Noda, T. Hotokebuchi, M. Yada, "Antibacterial properties of nanostructured silver titanate thin films formed on a titanium plate", *J. Biomed. Mater. Res. A*, **92A**, 1171-1180, 2010. (査読有)
3. Y. Inoue, I. Noda, T. Torikai, T. Watari, T. Hotokebuchi, M. Yada, "TiO<sub>2</sub> nanotube, nanowire, and rhomboid-shaped particle thin films fixed on a titanium metal plate", *J. Solid State Chem.*, **183**, 57-64, 2010. (査読有)
4. Y. Inoue, S. Ohtsuka, T. Torikai, T. Watari, M. Yada, "Nanostructural and Morphological Control of Ruthenium Compounds Templated by Surfactant Assemblies", *Crystal Growth & Design*, **9**, 5092-5100, 2009. (査読有)
5. 矢田光徳, "ルテニウム化合物のナノ構造制御と電極触媒への応用", *財団法人日本板硝子材料工学助成会 成果報告書*, **27**, 197-205, 2009. (査読無)
6. Y. Inoue, M. Uota, M. Uchigasaki, S. Nishi, T. Torikai, T. Watari, M. Yada, "Helical Ruthenium Compound Templated by 1-Dodecanesulfonate Assemblies and Its Conversion into Helical Ruthenium Oxide and Helical Metallic Ruthenium", *Chem. Mater.*, **20**, 5652-2626, 2008. (査読有)
7. M. Yada, Y. Inoue, M. Uota, T. Torikai,

T. Watari, I. Noda, T. Hotokebuchi, "Formation of Sodium Titanate Nanotube films by hydrothermal transcription", *Chem. Mater.*, **20**, 364-366, 2008. (査読有)

〔学会発表〕(計24件)

1. 井上侑子、抗菌性人工関節用材料の開発、平成21年度総合分析実験センターセミナー第7回、佐賀、2010年2月23日。
2. 井上侑子、嶋田昌平、鳥飼紀雄、渡孝則、矢田光徳、コバルト化合物ナノワイヤーの合成、2009年日本化学会西日本大会、講演番号1P-015、愛媛、2009年11月7日。
3. 井上侑子、矢田光徳、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、チタン酸ナトリウムナノファイバー薄膜の抗菌性評価、佐賀大学・九州大学合同研究集会「人工関節のバイオメカニクスとバイオマテリアル」、福岡、2009年9月26日。
4. 井上侑子、行徳聡人、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、矢田光徳、銀-チタン酸銀ナノ複合体薄膜のアパタイト形成能、第46回化学関連支部合同九州大会、講演番号2\_3\_034、福岡、2009年7月11日。
5. 深川翔太、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、矢田光徳、水熱転写法による種々の機材上へのチタン酸ナトリウムナノ構造体薄膜の形成、第46回化学関連支部合同九州大会、講演番号2\_3\_033、福岡、2009年7月11日。
6. 井上侑子、矢田光徳、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、チタン酸ナトリウムナノファイバー薄膜の抗菌性評価、第32回日本骨・関節感染症学会、講演番号2-7、北海道、2009年6月19日。
7. 井上侑子、矢田光徳、ルテニウム化合物の多様ならせん形態、日本セラミックス協会2009年年会、セラミックス顕微鏡写真展、東京、2009年3月16~18日。
8. 井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、矢田光徳、野田岩男、佛淵孝夫、チタン酸ナトリウムナノファイバー薄膜の高抗菌性、日本セラミックス協会2009年年会、講演番号3G10、東京、2009年3月18日。
9. 井上侑子、行徳聡人、鳥飼紀雄、渡孝則、矢田光徳、野田岩男、佛淵孝夫、銀-チタン酸銀ナノ構造体薄膜の特性評価、日本セラミックス協会2009年年会、講演番号2P091、東京、2009年3月17日。
10. Y. Inoue, T. Torikai, T. Watari, M. Yada, Titanite nanotube and nanofiber films formed on a titanium plate, *Microprocesses and Nanotechnology* 2008, 講演番号29D-9-75、福岡、2008年10月28日。
11. 矢田光徳、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、抗菌性を有する人工関節材料の開発—ナノ構造チタン酸塩薄膜の

- 合成と抗菌性評価—、佐賀大学・九州大学合同研究集会「人工関節のバイオメカニクスとバイオマテリアル」、福岡、2008年9月27日。
12. 加賀裕也、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、矢田光徳、チタネートナノファイバー薄膜の合成と抗菌特性、第45回化学関連支部合同九州大会、講演番号1\_3\_031、福岡、2008年7月5日。
  13. 行徳聡人、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、矢田光徳、チタン酸銀ナノ構造体薄膜のMRSA抗菌特性とアパタイト形成能の評価、第45回化学関連支部合同九州大会、講演番号1\_3\_030、福岡、2008年7月5日。
  14. 内ヶ崎雅夫、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、矢田光徳、ルテニウムマイクロコイルの合成、第45回化学関連支部合同九州大会、講演番号1\_3\_027、福岡、2008年7月5日。
  15. 大塚誠史、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、矢田光徳、酸化コバルトナノワイヤーの合成、第45回化学関連支部合同九州大会、講演番号1\_3\_026、福岡、2008年7月5日。
  16. 矢田光徳、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、らせん状ルテニウム化合物の合成と特性、2007年日本化学会西日本大会、講演番号1PA-02、岡山、2007年11月10日。
  17. 井上侑子、行徳聡人、野田岩男、安藤嘉基、鳥飼紀雄、渡孝則、佛淵孝夫、矢田光徳、チタン酸化合物ナノ構造体薄膜のMRSAに対する抗菌特性評価、2007年日本化学会西日本大会、講演番号1I1-04、岡山、2007年11月10日。
  18. 矢田光徳、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、佛淵孝夫、チタネートナノ構造体薄膜の合成と生体材料への応用、九州大学応用力学研究所研究集会「人工関節とバイオメカニクス・バイオマテリアル」、福岡、2007年9月29日。
  19. 矢田光徳、井上侑子、御厨俊介、安藤嘉基、野田岩男、鳥飼紀雄、渡孝則、佛淵孝夫、金属チタン上でのチタネートナノ構造体薄膜の合成と抗菌特性評価、第60回コロイド及び界面化学討論会、講演番号P165、長野、2007年9月21日。
  20. 井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、矢田光徳、らせん状ルテニウム化合物/有機分子ナノ複合体の合成と特性評価、第60回コロイド及び界面化学討論会、講演番号P044、長野、2007年9月21日。
  21. 矢田光徳、井上侑子、御厨俊介、鳥飼紀雄、渡孝則、安藤嘉基、野田岩男、佛淵孝夫、チタネートナノ構造体の抗菌特性、日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウム、講演番号2P1-05、愛知、2007年9月13日。
  22. 井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、矢田光徳、らせん状態を有するルテニウム化合物ナノ構造体の合成と特性、日本セラミックス協

会第20回秋季シンポジウム、講演番号2P1111、愛知、2007年9月13日。

23. 矢田光徳、チタン酸化合物ナノ構造体薄膜のMRSAに対する抗菌特性評価、ナノチューブ材料研究の最前線、宮崎、2007年8月3日。

24. 矢田光徳、井上侑子、鳥飼紀雄、渡孝則、野田岩男、安藤嘉基、宮本比呂志、馬渡正明、佛淵孝夫、銀系抗菌生体材料の開発(1)―チタネートナノチューブの抗菌応用―、第30回日本骨・関節感染症学会、講演番号4-3、山梨、2007年6月2日。

[図書] (計5件)

1. M. Yada, Y. Inoue, "Synthesis and Applications of Zirconia and Ruthenium Oxide Nanotubes", Inorganic and Metallic Nanotubular Materials -Recent Technologies and Applications-, Springer, 109-124, 2010.

2. M. Yada, "Synthesis and Applications of Rare-Earth Compound Nanotubes" Inorganic and Metallic Nanotubular Materials -Recent Technologies and Applications-, Springer, 91-108, 2010.

3. 矢田光徳、"多孔質希土類化合物"、多孔体の精密制御と機能・物性評価、サイエンスアンドテクノロジー、84-90, 2008.

4. 矢田光徳、井上侑子、"酸化ジルコニウム・酸化ルテニウムナノチューブの合成と特性"、有機・無機・金属ナノチューブ、フロンティア出版、165-173、2008.

5. 矢田光徳、"希土類化合物ナノチューブの合成と物性"、有機・無機・金属ナノチューブ、フロンティア出版、148-156、2008.

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

名称：抗菌製品及びその製造法

発明者：矢田光徳、佛淵孝夫、井上侑子、野田岩男

権利者：佐賀大学、日本メディカルマテリアル株式会社

種類：特許

番号：PCT/JP2009/068198

出願年月日：

国内外の別：国外

名称：抗菌製品及びその製造法

発明者：矢田光徳、佛淵孝夫、井上侑子、野田岩男

権利者：佐賀大学、日本メディカルマテリアル株式会社

種類：特許

番号：特願2008-277985

出願年月日：

国内外の別：国内

名称：Antibacterial member coated with titanate

発明者：M. Yada, T. Hotokebuchi, Y. Inoue, I. Noda, Y. Ando, N. Ishida

権利者：佐賀大学、日本メディカルマテリアル株式会社

種類：特許

番号：PCT Int. Appl., W02008081861

出願年月日：

国内外の別：国外

[その他]

新聞掲載 ("金属へのチタン酸ナノ構造体のコーティング技術の開発"、化学工業日報、2007年4月23日。)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢田 光徳 (YADA MITSUNORI)

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：20274772

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：