

機関番号：16101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20241020

研究課題名（和文） 希少資源リンの高度化利用に向けた新規リン戦略

研究課題名（英文） New strategic study on advanced utilization of rare phosphorus

研究代表者

杉山 茂 (SUGIYAMA SHIGERU)

徳島大学・大学院リソテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：70175404

研究成果の概要（和文）：リンは、先端材料の基盤となる原料である。しかし、リンの原料となるリン鉱石は将来枯渇するため、リン鉱石に依らない新たなリン資源に基づく体制の構築が求められている。本研究では、徳島大学の工学－薬学－歯学の研究者が結集して、新たなリン資源に基づく学術研究体制を構築することを目標として、(1)新リン資源探索と分析手法の開発、(2)リン回収装置の開発、(3)リン化合物の機能開発および(4)リン化合物の機能応用に関する研究を行った。

研究成果の概要（英文）：Phosphorus is an important element for various advanced materials. However it is pointed out that phosphorus ore, that is a main raw material of phosphorus, will disappear in the near future. Therefore a new system, that is not dependent on phosphorus ore, should be established as early as possible. In order to reply to the serious problem, researchers in the field of engineering, pharmacy and dentistry in the University of Tokushima have extensively studied the followings in the present project: (1) Search of new phosphorus sources and development of the qualitative and quantitative detection technique of various phosphorus-containing compounds. (2) Development of new process for the recovery of aqueous phosphorus-containing compounds. (3) Development of advanced functions of phosphorus-containing compounds. (4) Application of advanced functions of phosphorus-containing compounds.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	20,900,000	6,270,000	27,170,000
2009年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2010年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
年度			
年度			
総計	37,500,000	11,250,000	48,750,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：環境分析、触媒・化学プロセス、ナノ材料、表面・界面物性、資源開発、歯学

## 1. 研究開始当初の背景

古くはマッチ、肥料の原料、現在ではセンサー、触媒、製剤材料、人工骨などの先端材料の基盤原料であるリンを我が国は100%輸入している。リンはリン鉱石から産出されるが、リン鉱石の枯渇が叫ばれており、従来の

ように無尽蔵にリン鉱石があるような使い方、またリン鉱石に基づく産業構造やリンに関する学術体系を、リン鉱石に依らない体制に変更するのが緊急の課題である。リンは、工学はもとより、薬学、医歯学等広範囲に渡って使用されているため、リンの危機的な状

況を打破するためには、大学としては学際的な新複合領域で研究をいち早く進める必要があった。

## 2. 研究の目的

枯渇の危機にあるリンの状況を解決すべく、(1)水溶性リンの新規探索法、(2)探索したリンの新規回収装置の開発、(3)カルシウム水酸アパタイト(CaHAp)および関連リン化合物のナノ材料化による新規機能開発、(4)先端機能の応用を目指す工学、薬学、歯学臨床への展開という一連のリン利用の新規技術開発を徳島大学で既にリン化学の分野で実績を挙げている工学、薬学、歯学の研究者が集結し行う。

## 3. 研究の方法

(1)については、薬学部の研究者(田中秀治)が、振幅変調多重化フロー分析法による水溶性リンの形態別定量法を開発を行った。さらに、工学部の研究者(杉山茂)が、新規リン資源として水溶性リンおよび鉄鋼スラグに着目し、回収・分離の可能性を探った。(2)については、工学部の研究者(外輪健一郎)が、マイクロ流路を利用した新規リン濃縮技術の開発を行った。(3)については、工学部の研究者(中川敬三)が、界面活性剤を利用して層状CaHApを開発し、タンパク質を特異に吸着する新規材料を開発を計画した。(4)については、歯学部の研究者(有田憲司)が、CaHApとガラスイオノマーセメント(GIC)を複合化し、高強度でかつ高濃度F徐放による高う蝕予防・進行抑制能を有する新規化学硬化型GIC(AGIC)の開発することを計画した。また、薬学部の研究者(植野哲、嶋林三郎)は、正荷電を持つペプチドが、膜透過性ペプチドと称されるように、細胞外より、遺伝子、タンパク等を細胞内に輸送する能力を有していることに着目し、CaHApと複合化させたカチオン性ポリペプチドアパタイトナノ粒子を合成し、薬剤を生体膜を通過して患部に輸送する薬剤輸送にリン材料を高度化利用できること明らかにする研究を計画した。さらに、工学部の研究者(杉山茂)は、CaHApとマイクロアクタを複合化させ、希少資源であるリンの使用量を激減できる触媒装置の開発を行うとともに古典的リン材料であるリン酸水素マグネシウムを用いた魚飼育環境下で魚の致死原因となるアンモニアの除去に関する検討を行い、リン化合物の使用量削減と付加価値を向上することを計画した。

## 4. 研究成果

各研究グループについて整理して以下にまとめる。

### (1)田中秀治

リン酸イオンの呈色反応としてマラカイトグリーン法を適用し、周波数解析にはロックインアンプを用いることで、リンの高感度

定量を実現した。種々濃度(0-2.91 mmol dm<sup>-3</sup>)のリン標準液を用いて得られた検量線の直線性は良好で( $r^2 = 0.999$ )、検出限界(3.3s)は0.17 mmol dm<sup>-3</sup>であった。吸光度の値そのものから定量を行う従来法に対し、その振幅から定量する本法は、呈色物質の吸着などによるベースライン変動の影響を受けない特長があることが明らかとなった。通常の海水や陸水レベルでの各種イオンの共存は、リン定量に影響を及ぼさなかった。河川水(淡水域、感潮域)を用いた添加回収試験では、100%前後の良好な回収率が得られた。液流に気節を導入することで、試料ゾーンの分散による振幅減衰を抑制し、感度を上昇させることができた。各種リン化合物のリン酸イオンへの変換率については、Co<sup>3+</sup>酸化及びTiO<sub>2</sub>光触媒反応が比較的良好な結果を与えた。

本研究の振幅変調フロー分析法は、連続フロー分析法に周波数解析の概念を導入した新しい自動連続分析法で、2008年に本研究者が発表したものである。計測プログラムも自作している。したがって学術的に独創性が高く、すでに国際学会2件、国内学会1件の招待講演の機会を得、フローインジェクション分析学術賞も受賞している。リン酸イオンの定量では、上述のように、目標通りの高い分析性能が得られた。一方、他のリン化合物については、リン酸イオンへの変換率が100%には達しない物質もある。今後さらに前処理法を検討することにより、各種リンの信頼性の高い化学形態別定量法が確立できると期待する。

### (2)有田憲司

#### ①進行抑制能を有する新規化学硬化型GIC(AGIC)の開発

充填用およびシーラント用AGICは性状の異なる数種のCaHApを添加しても強度は向上した。しかし、AGICの強さは、粒子径、結晶性、比表面積などに影響を受け、低結晶、粒子径10~30 μmおよび多孔質な構造のCaHApが最も有効であることが示された。試作AGICの強さは、充填用(8%CaHAp添加条件)、シーラント用(28%CaHAp添加条件)ともセメント硬化初期から1年後まで上昇し、従来型GICより24時間後で約2倍の値を示した。

#### ②F徐放量

F徐放量も、低結晶、粒子径10~30 μm、多孔質のCaHApが最も高い値を示した。90日間の徐放量は、従来型GICと比べ8%添加充填用AGICでは1.7倍であった。シーラント用28%添加AGICでは、F含有量が従来型GICの72%であるにも関わらず、F徐放量は従来型の2.4倍であった。

#### ③AGIC中のCaHApの効果

CaHApはポリアクリル酸と反応・溶解してCaイオンを放出し、GIC基質の強度を向上させる、CaHApはセメント反応成分を吸着して

ハイブリッド層を形成し自らを強化する、さらに、GIC基質だけでなくAGIC中のCaHApからもFが徐放することが判明した。

本研究によって、CaHApはGICの強度とF徐放量を同時に向上させることが明らかとなった。この発見を、我国、および米国、EPC（英、仏、独）に特許出願した。

#### (3) 植野 哲・嶋林三郎

ポリ-L-アルギニン(poly(Arg))では、水溶液並びにエタノール溶液からそれぞれランダムコイル及びβシート構造のポリペプチド鎖がCaHAp表面に吸着した複合体が合成された。それに対してポリ-L-リジン(poly(Lys))、コポリ-L-アルギニン-L-トリプトファン(poly(Arg, Trp))では、水溶液からのみ複合体の形成が見られた。粒子表面でのペプチドの2次構造は、ともにランダムコイル構造であった。

共焦点レーザー顕微鏡によって表面を蛍光標識 CaHAp-ポリペプチド複合体のリポソーム外水相から内水相への移行を観測した。この結果複合体の膜透過能は、poly(Arg) (ランダムコイル) > poly(Lys) > poly(Arg, Trp) > poly(Arg) (βシート) の順番に減少した。この結果から CaHAp-カチオン性ポリペプチド複合体の膜透過能は、ポリペプチドを構成するアミノ酸の種類に依存し、また同じペプチドであってもCaHAp表面での2次構造によって変化することを初めて明らかとした。CaHAp表面へのポリペプチドの吸着量並びに複合体表面のζ電位の変化より、poly(Arg)及びpoly(Lys)複合体ではポリペプチドはCaHAp表面に静電相互作用により単層で吸着しているが、poly(Arg, Trp)の場合は疎水性相互作用によって2層構造をとっている事が示唆された。

本研究によって poly(Arg)、poly(Lys)および poly(Arg, Trp)とCaHApナノ粒子との複合体を形成させる事でCaHApナノ粒子複合体に脂質生体膜透過能を付与することに成功した。また複合体の膜透過能は複合体を形成するカチオン性ポリペプチドのアミノ酸組成や、複合体表面におけるペプチドの立体構造を制御することでコントロールしうる事が明らかと成った。poly(Arg, Trp)複合体に見られる2層構造は、高機能薬剤輸送システムに要求される多様な機能素子の疎水性相互作用を利用した組み込みを可能とすると考えられる。

#### (4) 外輪健一郎

本研究でリン酸イオン濃縮に用いたマイクロ流路デバイスは、マイクロ流路の壁に電極が設けられており、流れに対して垂直な電場を形成させることができる。これを以降ではマイクロイオン濃縮デバイスと呼ぶ。電解質水溶液が供給されるとイオンはその電荷に応じて一方の電極付近に集まる。マイクロ

流路では代表サイズが小さいために流れが層流となるので、電極、すなわち壁付近に集まったイオンは壁に沿って下流に運ばれる。従って下流に分離流路を設けておくと一方からイオンが濃縮された液が、また一方からは除去された液を得ることができる。

陽極側、陰極側からの抜き出し速度が同一の条件では、理論的に最大の濃縮度は2となる。濃縮度とは、性能を評価する値として導入したもので、回収した液のイオン濃度をフィードのイオン濃度で除した値である。原料のリン酸イオン濃度が5 ppm程度の場合には、対象とした流量範囲のすべてで約1.8の高い濃縮度を示した。しかし、原料濃度が300 ppmまで高くなると、高流量条件では濃縮度がほぼ1に近く濃縮が有効に行われないことが分かった。100 ppm程度の濃度の場合には、流量が0.4 mL/minに近い条件であっても濃縮度が1.2程度となった。このため使用するフィード液中のリン酸濃度は100 ppm程度が適用限界であると考えられる。

濃縮度を増大させるための手法として、流量比の変更、三分岐型流路の採用、それに多段化が考えられる。流量比を変更すると濃縮度の理論最大値が向上するので、実測値も改善することが期待される。ここでは負電荷をもつリン酸イオンの濃縮を目的としているので、陽極側からの抽出速度を、陰極側の抽出速度よりも小さく設定して実験を行った。その結果、陽極側、陰極側の抽出速度がそれぞれ0.1、0.4 mL/minの場合に濃縮度が3.2に達した。一方の三分岐型の流路とは流路の分岐部が3方向に分かれているもので、陽イオンリッチ、陰イオンリッチ、および未濃縮の液に分離できる。全ての抽出流量が同じ場合の濃縮度の理論最大値は3となる。検討の結果、濃縮度は最大でも2程度となり通常型と比べて性能の大幅な向上は見られなかったが、流路幅が狭い条件でも性能の低下が小さかった。これは通常型では観察されなかった特徴である。多段化による濃縮度の向上の検討では、一度濃縮された液をさらにマイクロイオン濃縮デバイスに供給すると濃縮度が一層向上することが確認された。溶液を複数回濃縮することが可能であることから、向流型の分離システムを構築することが考えられる。しかしながら、本研究での実験条件では、最大でも1.5程度の濃縮度しか得られなかった。この実験には、低流量で無脈動のポンプを用いるのが理想的であるが、一般的ではないためにペリスタポンプを採用した。このために脈動が大きく流れが乱れたことが原因と考えられる。

リン酸イオンの濃縮度に大きく影響を及ぼす因子として、他のイオンの存在が考えられる。そこで、塩化物イオンまたは硝酸イオンが共存する条件での性能を評価したとこ

る、異種イオンが存在すると濃縮度が低下した。さらに検討の結果、濃縮度がイオンの総濃度に依存することが示唆された。

マイクロイオン濃縮デバイスは、他のイオンの濃度や流動状態によって性能が大きく変化するが、条件を整えることで良好な濃縮を行うことができる。高い濃縮度を得るためのシステム設計技術や安定運転のための技術を開発することで有用なリン酸回収技術を構築できると考えられる。

#### (5) 中川敬三

リン酸界面活性剤であるドデシルリン酸ナトリウム(SDP)を利用して合成した試料は、pH=10、11、12の条件において面間隔 $d = 3.56$  nmの層状構造を有し、さらにCaHApの結晶構造を示した。またSEM像より形状を確認したところアスペクト比が10 - 15程度のロッド状粒子が形成していることがわかった。これはSDPが形成するラメラ構造の影響であると考えられる。リン酸源である $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ を加えずに合成した場合、ラメラ構造及びドデシルリン酸カルシウムが形成されたことから、SDPはカルシウムイオンとの親和性が高いことが示唆される。このことから、SDPはラメラ相の鋳型としてだけでなく、CaHApの核形成の基質として作用していることが考えられる。XPS測定によりCaHAp試料表面のCa/P比を測定したところ、SDPを添加した試料はCa/P = 1.0となり、CaHApの化学量論比Ca/P = 1.67と比べるとPの割合が高いことがわかった。

卵白リゾチーム(LSZ)の吸着結果を検討すると、興味深いことに、SDPを添加したCaHAp試料において、いずれもLSZ吸着量が高いことがわかった。pH = 7のリン酸緩衝液中において塩基性タンパク質のLSZは正に帯電するため、CaHApのリン酸イオンや負に帯電したサイトに吸着する。つまり本合成において得られたCaHApナノ粒子は、SDPが核形成において利用されるためCaHAp表面のPの割合が多くなり負に帯電したため、LSZの吸着量が高くなったと考えられる。

以上のことから、SDPが形成するラメラ相を利用した合成法により、効果的にCaHAp表面のP割合を多くさせ、優れたLSZ吸着特性を得ることができた。

ラメラ相を利用したCaHAp粒子はこれまで国内外においていくつか報告されていたが、その機能性の評価や応用例はほとんどなかったため、本成果はリン化合物合成分野に大きなインパクトがあると言える。得られた高機能性を有するCaHApナノ粒子は、今後生体材料や触媒など、様々な分野への利用が期待できる。

#### (6) 杉山 茂

##### ① リン資源開発

新規リン資源として河川中に排出されて

いるリンおよび鉄鋼プロセスから排出される脱リンスラグを取り上げた。前者に対しては、徳島の河川の状況に合致させたモデル廃液からペーマイトを用いてリンを回収する手法を検討した。後者に対しては鉄鋼プラントから直接入手した脱リンスラグを用い、種々の水溶液によってリンを溶出させる試みを検討した。

徳島県の河川には全国で最大量のリンが排出されており、さらに含窒素化合物がリンの濃度の10倍含まれている。このような河川の状況を反映したモデル廃液にペーマイトを添加すると、含窒素化合物の存在がリンの回収に影響を与えないことが明らかになり、この技術によってリン回収が可能であることを示した。次に、脱リンスラグからのリンの溶出を1Mの硝酸水溶液を用いて行くと、4時間でリンを完全に溶出できることが明らかになった。この溶出の際、リン以外の元素も溶出するが、溶出後水酸化カルシウムで処理するとリンと鉄を他の元素と選択的に分離できることが明らかになった。従って、新規リン資源としての水溶性リンおよび固体含有リンの可能性を示すことができた。

##### ② リン資源の新規機能開発

魚飼育下で魚の致死原因となっている水溶性アンモニウムの回収を、リン酸水素マグネシウムという古典的な含リン化合物で行った。対象サンプルは四国内の水族館、県水産試験場、ふぐ養殖場から入手したものを利用した。

魚飼育環境下においてアンモニアを効率よく回収できることが明らかになった。古典的なリン化合物に新たな機能を与え、利用できることを示すことができ、古典的なリン化合物であっても付加価値の高い化合物として利用できる例を示すことができた。

##### ③ リン資源の省資源化技術の開発

プロパンの酸化脱水素触媒に対して有望なリン含有触媒であるCaHAp触媒をマイクロリアクタに従来の触媒量の1/1000(0.4 mg)を搭載し、活性試験を実施した。

CaHApを従来の触媒量より1/1000マイクロリアクタに搭載するだけで従来の活性を凌ぐ高活性を得ることができた。リン化合物の新規機能開発と共に、利用する場を検討すれば、リンの使用量を激減できることを示した。

##### (7) 総括

上記のように危機感のあるリンを、新たな着眼点に基づき検討すれば、その危機感を著しく緩和できることを示すことができた。さらに、薬学、歯学、工学の学術研究により、各専門分野に偏っていたとすれば不可能な成果も出すことができ、当初の目的である学際的研究のモデルとなり得る成果が得た。また本研究実施期間中に無機リン化学討論会で2回シンポジウムを開催し、本研究の啓蒙

活動も行えた。この研究の全国展開を図るべく、本研究の研究代表者が領域代表となって平成 23 年度科学研究費補助金新学術領域研究に全国 10 グループの参加を得て申請を行い、徳島大学から全国への展開を図る切欠を作ることができた。

#### 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 40 件)

- ① K. Nakagawa, Y. Umezaki, K. Kitamura, K.-I. Sotowa, S. Sugiyama, “Improved Adsorption Property for Basic Protein on Hydroxyapatite Nanoparticles Synthesized Using a Lamellar Template of Sodium Dodecylphosphate” *Chemistry Letters*, in press (2011); 査読有
- ② K. Inui, M. Takeuchi, H. Tanaka, “Air-Segmented Amplitude-Modulated Multiplexed Flow Analysis” *Analytical Science*, in press (2011); 査読有
- ③ S. Ueno, “Formation of Poly-L-lysine - hydroxyapatite Nanoparticle Complex and Interactions between These Complexes and Lipid Bilayer Membranes” *Phosphorus Research Bulletin*, Vol. 24, No. 1, 32-37 (2010); 査読有
- ④ S. Sugiyama, N. Sugimoto, A. Ozaki, Y. Furukawa, K. Nakagawa, K.-I. Sotowa, “Application of a Microreactor in the Oxidative Dehydrogenation of Propane to Propylene on Calcium Hydroxyapatite and Magnesium ortho-Vanadate Doped and Undoped with Palladium” *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 43, No. 7, 575-580 (2010); 査読有
- ⑤ Y. Kurokawa, M. Takeuchi, H. Tanaka, “Investigation on Analytical Parameters for Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis” *Analytical Science*, Vol. 26, No. 6, 791-796 (2010); 査読有
- ⑥ T. Uemura, T. Ogusu, M. Takeuchi, H. Tanaka, “Spectrophotometric Determination of Trace Phosphate Ion by Amplitude Modulated Flow Analysis Coupled with Malachite Green Method” *Analytical Science*, Vol. 26, No. 6, 797-801 (2010); 査読有
- ⑦ T. Aydan, M. Takeuchi, H. Tanaka, “Spectrophotometric Determination of Anionic Surfactant Based on Ion-pair Formation with Methylene Blue in Reversed Flow Injection Mode” *Journal of Flow Injection Analysis*, Vol. 26,

No. 2, 133-137 (2009); 査読有

- ⑧ S. Ueno, S. Shimabayashi, “Poly-L-arginine-Hydroxyapatite Nanoparticle Complexes Translocate Through Lipid-bilayer Membranes” *Bio-Medical Materials and Engineering*, Vol. 19, No. 2-3, 111-119 (2009); 査読有
- ⑨ Y. Shinonaga, K. Arita, “Surface Modification of Stainless Steel by Plasma-based Fluorine and Silver Dual Ion Implantation and Deposition” *Dental Material Journal*, Vol. 28, No. 6, 735-742 (2009); 査読有
- ⑩ S. Sugiyama, T. Manabe, D. Ioka, K. Nakagawa, K.-I. Sotowa and N. Shigemoto, “Removal of Aqueous Ammonium from Industrial Wastewater with Magnesium Hydrogen Phosphate” *Phosphorus Research Bulletin*, Vol. 23, 15-19 (2009); 査読有
- ⑪ S. Sugiyama, Y. Shimizu, T. Manabe, K. Nakagawa, K.-I. Sotowa, “Preparation of Hydroxyapatite Film and Its Application in the Removal and Regeneration of Aqueous Cations” *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 332, No. 2, 439-443 (2009); 査読有
- ⑫ S. Sugiyama, Y. Inaba, T. Manabe, K. Nakagawa, K.-I. Sotowa, “Effects of Several Harmful Anions on the Removal of Aqueous Phosphate” *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol. 116, No. 9, 984-988 (2008); 査読有
- ⑬ H. Tanaka, T. Mima, M. Takeuchi and H. Iida, “Amplitude Modulated Multiplexed Flow Analysis” *Talanta*, Vol. 77, 576-580 (2008); 査読有
- ⑭ T. Murata, S. Ueno, T. Hino, S. Shimabayashi, “Solubility of Monoalkyl Phosphate in Water in the Presence of Arginine and Triton, and Solubilization of Methyl Yellow through the Mixed Micelle” *Phosphorus Research Bulletin*, Vol. 22, No. 1, 41-47, (2008); 査読有

[学会発表] (計 199 件)

- ① 林 友希, 猪岡 大, 野口真規子, 中川敬三, 外輪健一郎, 杉山 茂, “スラグからのリンの溶出挙動” 化学工学会第 76 年会 (東京農工大学) 2011 年 3 月 22 日 ~24 日
- ② 植野 哲, 齋藤博幸, “正電荷型ポリペプチド - ヒドロキシアパタイトナノパーティクル複合体形成と脂質二分子膜との相互作用に及ぼす疎水性アミノ酸残基の影響” 日本薬学会第 131 年会 (静岡県立

- 大学) 2011年3月29日～31日
- ③ T. Hayashi, D. Ioka, K. Nakagawa, K. -I. Sotowa, S. Sugiyama, “Recovery of Aqueous Ammonium from Seawater and Fresh Water with Magnesium Hydrogen Phosphate” 23rd Symposium on Chemical Engineering (International Convention Center (Kyushu Sangyo University) Dec. 4, 2010, Silver Award at Poster Session of The 22rd International Symposium on Chemical Engineering
- ④ 上村剛史, 大楠剛司, 竹内政樹, 田中秀治, “振幅変調フロー分析法による微量リン酸イオンの定量” 第20回無機リン化学討論会(東北大学) 2010年10月7日～8日, 第20回無機リン化学討論会若手優秀研究発表賞
- ⑤ 杉山 茂, 猪岡 大, 林 友希, 野口真規子, 中川敬三, 外輪健一郎, “未利用資源からのリンの回収” 第20回無機リン化学討論会(東北大学) 2010年10月7日～8日
- ⑥ 植野 哲, “poly-L-lysine - ヒドロキシアパタイトナノパーティクル複合体形成と脂質二分子膜との相互作用” 日本薬学会第130年会(岡山大学) 2010年3月28日～30日
- ⑦ 杉山 茂, 杉本直登, 尾崎あづさ, 古川幸美, 中川敬三, 外輪健一郎, “マイクロリアクタによるプロパン酸化脱水素反応への酸化物およびリン酸塩触媒の適応性” 第105回触媒討論会(触媒討論会A)(京都テルサ) 2010年3月24日～25日
- ⑧ 篠永ゆかり, 有田憲司, “フッ素および銀を含むDLC成膜アクリルレジンの耐歯ブラシ磨耗性に関する研究” 第54回日本歯科理工学会学術講演会日本歯科理工学会学術講演会(鹿児島大学) 2009年10月1日, 第54回日本歯科理工学会学術講演会日本歯科理工学会学術講演会発表優秀賞
- ⑨ 植野 哲, 嶋林三郎, “Poly-L-arginine-ヒドロキシアパタイトナノパーティクル複合体形成と脂質二分子膜との相互作用” 日本薬学会第129年会(国立京都国際会議場) 2009年3月26日～28日
- ⑩ 杉山 茂, 稲葉雄一, 真鍋智行, 中川敬三, 外輪健一郎, “ペーライトによる水質改善ーリンの回収に対するフッ素の効果ー” 第18回無機リン化学討論会(奈良新公会堂) 2008年10月7日～8日
- ⑪ K. Arita, A. Kimura, M. E. Lucas, Y. Shinonaga, Y. Abe, “Mechanical and Fluoride Properties of a Newly-Developed Hydroxyapatite Glass-ionomer Cement” FDI Annual World Dental Congress (Stockholm (Sweden))

Sep. 24～27 (2008)

[図書] (計6件)

- ① 外輪健一郎 他, “分離技術ハンドブック” 分離技術会, 414-444, 2010年2月

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 歯科小窩裂溝封鎖用ガラスポリアルケノエート系セメント

発明者: 有田憲司

権利者: 徳島大学

種類: 特願

番号: 2010-146955

出願年月日: 2010年6月28日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.chem.tokushima-u.ac.jp/C3/kaken-special/kakentop.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

杉山 茂 (SUGIYAMA SHIGERU)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号: 70175404

### (2) 研究分担者

田中 秀治 (TANAKA HIDEJI)

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・教授

研究者番号: 40207121

有田 憲司 (ARITA KENJI)

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・准教授

研究者番号: 20168016

植野 哲 (UENO SATORU)

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・准教授

研究者番号: 40176615

外輪 健一郎 (SOTOWA KEN-ICHIRO)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号: 00336009

中川 敬三 (NAKAGAWA KEIZO)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・講師

研究者番号: 60423555

嶋林 三郎 (SHIMABAYASHI SABURO)

大阪薬科大学・薬学部・客員研究員

研究者番号: 20025703

### (3) 連携研究者 なし

### (4) 研究協力者

大久保 彰 (OOKUBO AKIRA)

富田製薬株式会社・研究開発部・部長

研究者番号：なし