

日本無機リン化学会

創立 40 周年記念行事

(総会・無機リン化学セミナー・祝賀パーティー)

10 月 24 日 (土)

日本大学理工学部 8 号館

明治大学紫紺館レストランフォレストタ樁山荘

日本無機リン化学会創立 40 周年記念行事 会場のご案内

1. 日本大学理工学部 8 号館 4 階 843 室（総会、無機リン化学セミナー）
〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14
JR 中央・総武線「御茶ノ水」駅 下車徒歩 3 分
東京メトロ千代田線「新御茶ノ水」駅 下車徒歩 3 分
東京メトロ丸ノ内線「御茶ノ水」駅 下車徒歩 5 分
<https://www.cst.nihon-u.ac.jp/campus/surugadai/>
2. 明治大学紫紺館 5 階 レストランフォレストタチ山荘（祝賀パーティー）
※日本大学理工学部 8 号館より徒歩 5 分
〒101-0052 東京都千代田区神田小川町 3-22-14
JR 中央線・総武線「御茶ノ水」駅 下車徒歩 5 分
東京メトロ丸ノ内線「御茶ノ水」駅 下車徒歩 5 分
東京メトロ千代田線「新御茶ノ水」駅 下車徒歩 5 分
都営地下鉄三田線・新宿線、東京メトロ半蔵門線「神保町」駅 下車徒歩 5 分
<https://hotel-chinzanso-tokyo.jp/restaurant/shikonkan/>



創立 40 周年記念行事 プログラム
(10 月 24 日 (土) 13 時開催)

令和 8 年度 総会 13:00～14:25

参加費：無料

(日本大学理工学部 8 号館 4 階 843 室)

表彰：令和 8 年度学術賞、令和 8 年度未来賞、

令和 8 年度創立 40 周年記念特別学術賞、令和 8 年度創立 40 周年記念無機リン化学産業賞
名誉会員称号授与

14:25～14:35 休憩

創立 40 年記念 無機リン化学セミナー 14:35～17:35

参加費：無料

(日本大学理工学部 8 号館 4 階 843 室)

14:35～14:40 開会の辞 橋本 和明 (千葉工業大学)

(第 1 部)

座長 武井 貴弘 (山梨大学)

14:40～15:10 令和 7 年度 学術賞受賞依頼講演

水熱反応による層状構造板状リン酸塩の創製と新機能性発現
殷 澍 (東北大学 多元物質科学研究所)

15:10～15:40 令和 8 年度 未来賞受賞依頼講演

超音波照射による水酸アパタイトの構造制御と機能性生体材料への展開
南澤 宏瑚 (日本大学 理工学部)

15:40～15:50 休憩

(第 2 部)

座長 川井 貴裕 (山形大学)

15:50～16:20 令和 8 年度 創立 40 周年記念 特別学術賞受賞依頼講演 1

生命や環境に調和する機能性リン酸カルシウム材料の創製
上高原 理暢 (東北大学大学院 環境科学研究科)

16:20～16:50 令和 8 年度 創立 40 周年記念 特別学術賞受賞依頼講演 2

アパタイトを基盤とした光感应性触媒の開発に関する研究
森口 武史 (埼玉医科大学 医学部)

16:50～17:00 休憩

(第3部)

座長 相澤 守 (明治大学)

17:00～17:30 令和6年度 功績賞受賞依頼講演

無機リン酸塩の機能性材料への応用に関する研究及び学会への貢献

中山 尋量 (神戸薬科大学 薬学部)

17:30～17:35 閉会の辞 松田 信之 (太平化学産業株式会社)

創立40年記念 祝賀パーティー 18:00～20:00

会費 9,000 円

(明治大学 紫紺館5階 レストランフォレストタチ山荘)

無機リン化学セミナー 要旨

(1) 水熱反応による層状構造板状リン酸塩の創

製と新機能性発現

令和7年度
学術賞

(東北大学多元物質科学研究所) ○殷 澍

**Hydrothermal Synthesis of Layered Plate-like Phosphates and
Their Novel Functions**

(IMRAM, Tohoku University) ○Shu YIN

問合先: yin.shu.b5@tohoku.ac.jp

1. はじめに

水熱反応は、高温高压の水を反応場とするソフト溶液プロセスであり、結晶性の高い無機材料を温和な条件下で合成できる手法として広く利用されている。なかでも層状構造を有するリン酸塩は、その二次元的な結晶構造に由来する多様な機能が期待される。一方、天然真珠の光沢を人工的に再現するパール顔料は、化粧品や塗料など多岐にわたる産業分野で不可欠な材料である。しかし、従来のパール顔料はマイカ基板への金属酸化物コーティングによる複層構造が支配的であり、高温焼成や多段階工程を要するほか、膜厚制御の困難さによる色相再現性の課題を抱えている。本研究では、基材を必要としない「自立型」板状単結晶をパール顔料として機能させるという発想の転換に立脚し、水熱反応を基盤として層状構造板状リン酸塩を創製する。バナジウムリン酸塩が本来有する層状結晶構造と光干渉効果を活用し、従来法と本質的に異なる基材フリー型パール顔料の構築と新機能性の発現を目指す。

2. 層状構造板状バナジウムリン酸塩を利用した自立型パール効果の機能発現

天然真珠は炭酸カルシウムとタンパク質層が積み重ねる層状構造をとっており (Fig. 1 (a))、従来型の人工パール光沢顔料は、天然雲母 (マイカ) などの透明な薄板状基材表面に酸化チタンや酸化鉄などの金属酸化物を薄膜コーティングした複合粒子構造を採用している (Fig. 1 (b))。我々は、高輝度かつ鮮やかな発色と深みのある真珠光沢を両立させるため、従来の「基材-被覆」型複合構造パール顔料を転換し、「基材フリー」型単一物質組成パール顔料の構築を行い、内在的に層状構造と自立した板状形態を有する結晶粒子そのものを、新規パール顔料として直接利用するという全く新しいコンセプトのパール顔料創成プロセスを提案した (Fig. 1 (c))。我々は、バナジウム系層状化合物に着目し、ソルボサーマル合成、形態制御による光学特性の最適化、および価数制御による発色デザインとその評価を体系的に検証した^[1-3]。代表的な合成方法として、出発原料として五酸化バナジウム (V_2O_5) 粉末を用いた。 V_2O_5 粉末を蒸留水に分散し、攪拌下で溶解再析出を促進する効果のある添加剤を添加すると共に、リン酸を加え、90-120°C で 24 時間反応させ、黄緑色の VOP ($VOPO_4 \cdot 2H_2O$) を得た。得られた VOP に還元剤としてエタノールを加え、90°C でさらに 24 時間攪拌することで、HVP ($H_{0.6}(VO)_3(PO_4)_3(H_2O)_3 \cdot 4H_2O$) を合成した。ナジウムリン酸塩は、 VO_6 八面体と PO_4 四面体が頂点を共有して二次元シートを形成し、層間に水分子や陽イオンを取り込んだ層状構造を有する。VOP は、 V^{5+}

を含む黄色を呈する化合物であり、水分子が層状構造の層間を架橋することで安定化している。HVP は、 V^{4+} を主に含む緑色を呈する化合物であり、歪んだ VO_6 八面体と PO_4 四面体からなる層状構造を持つ(Fig.1(d,e))。水熱反応条では、アスペクト比 300~2000 程度、 $220\ \mu m$ を超える巨大な板状単結晶の合成ができ、粒子表面が平滑であり、単結晶性を有するが確認できた(Fig.1(f,g,h))。これらの板状粒子高い光沢度を示し、角度に依存した鮮やかな色調変化（ギミック効果）と強い真珠光沢(Fig.1(i,j,k))が観測され、光学顕微鏡写真でも単分散した板状粒子が確認でき、優れた透明性と均一性が確認できるまた、PMMA（ポリメタクリル酸メチル）プラスチックに配合した際に優れた装飾性が確認できる(Fig.1(l))。

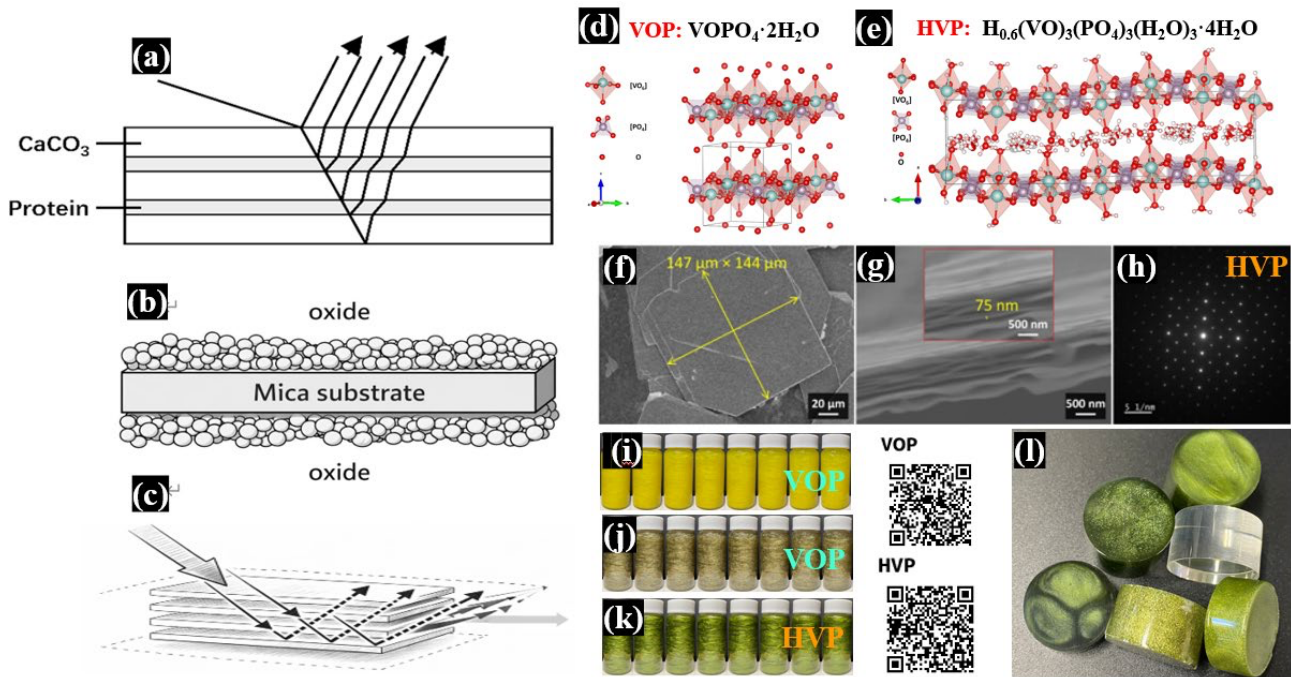


Fig.1 (a)天然真珠, (b)従来型人工パール顔料、(c)新概念人工パール顔料の原理及びバナジウムリン酸塩(d)VOP,(e)HVP の層状結晶構造、VOP 粒子の(f)板状と (g)層状形態、(h)単結晶性；(i,j,k) VOP,HVP のパール効果写真と動画 QR コード；(l)PMMA に配合した際の装飾プラスチック応用イメージ。

3. まとめ

従来の「基材＋コーティング層」という複合構造に代わり、単一組成の層状結晶自体が光干渉機能を担う「基材フリー単結晶型パール顔料」という全く新しい概念を発案・実証した。従来のパール顔料材料を遥かに凌駕するアスペクト比を実現し粒子の超異方的形態は、光の干渉・反射効果を最大化し、従来品を凌駕する輝度と色純度をもたらす。本手法ではバナジウムリン酸塩に限らず、層状構造酸化物や炭酸塩など多様な層状化合物へ展開可能な汎用性も実証し^[4]、学術コンセプトが汎用性を有することが示唆された。

4. 参考文献

- [1] Q.Cheng, S.Yin*, et al., *J. Alloys Compd.*, **1010**, 177735, 2025.
- [2] 殷 澍*, 程 秋雨、他、塗装技術、特集「塗料・塗装の研究最前線」, No.6. 47-55, 2025.
- [3] 殷 澍*, 程 秋雨、他、塗装工学、Vol.61、No.6, 213-218, 2026.
- [4] Q.Cheng, S.Yin*, et al., *Mater. Lett.*, **405**, 139680, 2026.

(2)

超音波照射による水酸アパタイトの構造制御と機能性生体材料への展開

令和8年度
未来賞

(日本大学 理工学部) ○南澤宏瑚

Structural control of hydroxyapatite by ultrasonic irradiation and its application to functional biomaterials

(Nihon Univ.) ○Hirogo Minamisawa

問合せ先: minamisawa.hirogo@nihon-u.ac.jp

1. はじめに

水酸アパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$: HAp) は、歯や骨などの生体硬組織の主要な無機構成成分であり、優れた生体適合性やイオン交換能を有する無機リン化合物として、整形外科・歯科領域等の生体材料分野をはじめ、幅広い分野で応用されている。HAp の更なる高機能化や用途展開に向けて、表面への機能性分子の修飾など多様な手法が検討されているが、材料本来の機能向上を目指し、粉体の「微細化 (高比表面積化)」に着目したナノレベルでの構造制御の開発に取り組んだ。

この HAp の微細化に向けて、超音波照射を液相合成に導入するアプローチを展開してきた。超音波照射がもたらす特異的な反応場は、ナノ粒子の核生成や成長過程に多大な影響を与えるため、自在な粉体構造制御への応用が期待できる。本手法を用いることで、高比表面積を有する超微細水酸アパタイト (HApHS) の合成法を確立した。

本稿では、HApHS の合成メカニズムから高比表面積化による諸特性の向上、さらには、キレート硬化型セメントをはじめとする機能性生体材料への展開について報告する。

2. 液相合成プロセスへの超音波導入と生体材料としての機能実証

【超微細水酸アパタイト (HApHS) の合成と基礎特性】¹⁻³⁾

水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 懸濁液にリン酸水溶液を添加した後、超音波ホーンを反応溶液中に直接挿入して照射を行う手法を HAp の液相合成プロセスへ導入した。反応過程では、非晶質リン酸カルシウムを経由して速やかに結晶化が進行し、ホーン径等の照射条件の最適化により、 $150 \sim 300 \text{ m}^2/\text{g}$ の高比表面積を有する HApHS 粉体を得られた。

図 1 に HApHS 粉体 (比表面積: $250 \text{ m}^2/\text{g}$) の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像を示す。さらに、この反応液への直接照射のみならず、出発原料である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 懸濁液のみに照射した後、リン酸と反応させる手法においても同様に粉体の微細化が可能であることを見出し、超音波照射を組み込むタイミングを変更しても高比表面積化が達成できるという合成プロセスの多様性・有用性を明らかにした。

また、得られた HApHS の機能性評価を行った。フッ化物イオンに対する迅速かつ高いイオン交換能を示したほか、

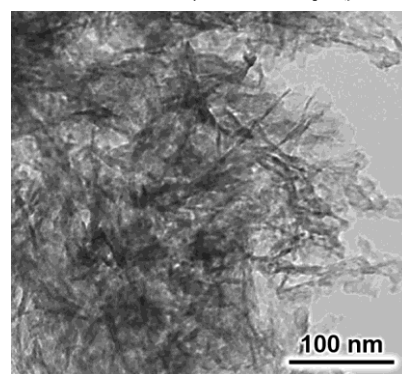


図 1 HApHS 粉体
TEM 像
($250 \text{ m}^2/\text{g}$)

市販 HAp（収縮開始温度：1000℃付近）と比較して著しく低温である 300℃付近から初期焼結が開始する特異的な低温焼結特性を示すなど、高機能な無機粉体材料としての優れた基礎特性を明らかにした。

【キレート硬化型骨修復セメントへの適用と機能評価】^{4,5)}

HApHS 粉体の生体材料への応用として、相澤らによって開発されたキレート結合により硬化するキレート硬化型骨修復セメント⁶⁾の原料としての適用と機能性評価を行った。本セメントの原料に用いられる HAp には、生体関連物質であるイノシトールリン酸 (IP6) を表面修飾させる。そこで、まずは HApHS 粉体への IP6 吸着特性を、市販 HAp 粉体と比較して評価した。HApHS への IP6 吸着量は、市販 HAp の約 2 倍に達する高い吸着量を示すことを確認した (図 2)。さらに、HApHS の吸着機構を解析したところ、従来の HAp でみられる単分子層吸着ではなく、ナノ微細構造に特徴的な多分子層吸着であることを明らかにした。

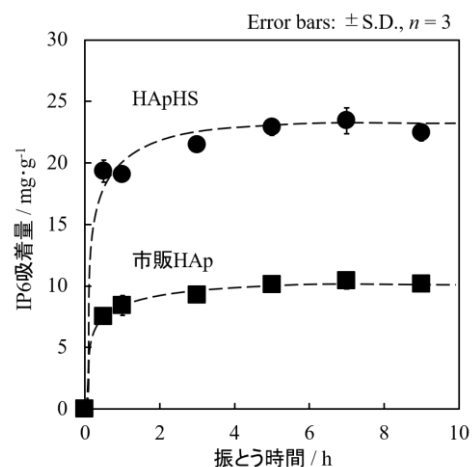


図 2 IP6 の吸着
(振とう時間の決定)

この成果を踏まえ、IP6 修飾 HApHS 粉体を用いてキレート硬化型セメントを作製した。その結果、ナノ粒子の高い充填性や優れた吸着能によりセメントの機械的強度を市販 HAp よりも確実に向上させた。Transwell®を用いた細胞毒性試験においても、セメント試料に細胞毒性は認められず、高い安全性を実証した。以上より、超音波法によりナノレベルで構造制御された HApHS 粉体が、優れた機械的強度と高い生体安全性を兼ね備えた新規キレート硬化型骨修復セメントの原料として極めて有用であることを示した。

3. 今後の展開

今後は、本研究で培った超音波による微構造制御と生体材料の知見を応用展開し、優れた骨置換性を有する「炭酸アパタイトセメント」の機能向上（高強度化）に挑戦する。本セメントの硬化反応は粉体の溶解を起点とする。そこで、超音波を出発原料である炭酸カルシウム（バテライト等）の合成に導入し、粒径・形態・結晶構造を精密に制御した粉体を合成することで、セメント硬化体の機械的強度の飛躍的な向上を目指す。

4. 参考文献

- 1) H. Minamisawa, T. Umegaki, Y. Kojima, *Phosphorus Res. Bull.*, **35**, 42-47 (2019).
- 2) H. Minamisawa, T. Umegaki, Y. Kojima, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan*, **28**, 247-252 (2021).
- 3) H. Minamisawa, S. Koike, T. Umegaki, Y. Kojima, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan*, **27**, 37-43 (2021).
- 4) H. Minamisawa, Y. Kojima, M. Aizawa, *Materials*, **15**, 2176 (2022).
- 5) H. Minamisawa, K. Suzuki, S. Kato, T. Sato, K. Tsuru, Y. Kojima, M. Aizawa, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **132**, 602-608 (2024).
- 6) Y. Horiguchi, A. Yoshikawa, K. Oribe, M. Aizawa, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **116**, 50-55 (2008).

(3) 生命や環境に調和する機能性リン酸カルシウム材料の創製

令和8年度 特別学術賞

(東北大学) ○上高原 理暢

Creation of functional calcium phosphate materials harmonized with life and environment

(Tohoku Univ.) ○Masanobu Kamitakahara

E-mail: masanobu.kamitakahara.a6@tohoku.ac.jp

1. はじめに

リン酸カルシウムは骨や歯の主成分であり、生命に必要となる元素であるカルシウムとリンを含む物質である。リン酸カルシウムは、生体材料、食品添加物や肥料など生命に調和する用途で広く利用されている。リン酸カルシウムは、生体に対して毒性がなく自然界に放出されても有害な影響を及ぼしにくいために、環境に調和が求められる用途での利用も期待される。本講演では、生命や環境に調和する機能性リン酸カルシウムの創製について紹介する。

2. リン酸カルシウムを用いた骨修復材料の創製

リン酸カルシウムの骨組織との親和性に注目した骨修復材料の創製を行っている。水酸アパタイト (HA , $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) や β 型リン酸三カルシウム ($\beta\text{-TCP}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) などリン酸カルシウムからなる人工骨が広く利用されているが、患者自身の骨である自家骨に比べ骨再生能力が低いため、より骨再生能力の高い人工骨が求められている。我々は水溶液プロセスも利用することで、骨再生を促進するケイ酸含有を添加した α 型リン酸三カルシウム ($\alpha\text{-TCP}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) を合成した。ケイ酸含有 $\alpha\text{-TCP}$ からなる球状多孔質顆粒をラット大腿骨の骨欠損に移植したところ、ケイ酸を含まない $\alpha\text{-TCP}$ 球状多孔質顆粒よりも、顆粒周辺において新生骨が旺盛に形成され、生体内で早期の骨形成を促すことを明らかにした[1]。また、水溶液プロセスを利用することで、熱分解してしまうために焼結成形が困難であるが骨再生能力の高いリン酸八カルシウム (OCP ; $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) を主結晶相とした球状多孔質顆粒の作製に成功した [2]。球状の多孔質顆粒を利用して、骨再生能力の高い顆粒を骨格としてつなぐことで、大きな骨欠損を治療できるリン酸カルシウムセメントの創製にも取り組んでいる。数百 μm の球状多孔質顆粒をつなぐことで、球状顆粒間の隙間によりマクロ気孔を形成させることを検討した。柱状粒子からなる Ca 欠損 HA や OCP を主結晶相とする球状多孔質顆粒を、水との反応で硬化するリン酸カルシウム粉末を結合材として結合させることで、マクロ気孔とミクロ気孔の両方を有するセメントの作製できることを明らかにしている [3]。

3. リン酸カルシウムを用いた微生物担体の創製

生体に対して親和性の高い材料は、微生物に対しても親和性が高いのではないかとの発想に基づき、人工骨として用いられている HA が微生物のための担体として機能する

可能性があるか調べた。その結果、担体として広く用いられている高分子材料であるポリ塩化ビニルやポリウレタンよりも、HA 表面において微生物が多く接着することを明らかにした。さらに、この研究において水の接触角が小さい材料の方が、微生物の接着数が増加する傾向があることを明らかにした [4]。これらの知見をもとに、HA からなる球状多孔体を設計・作製し、微生物の懸濁液に浸漬したところ、微生物が接着することを明らかにした[5]。微生物用担体への HA の適応の可能性を示すものである。

4. リン酸カルシウムを用いた環境浄化材料の創製

リン酸カルシウムは生体に対しても安全な材料であるため、環境浄化に適用しても安全に利用できることを期待できる。HA の吸着特性やイオン交換能力を利用した環境浄化材料の創製に取り組んだ。HA がフッ化物イオン (F⁻) を取り込む性質を利用し、廃棄物を利用して HA を基礎とする F⁻除去材料についても作製した。廃棄される家畜骨を種々の温度で加熱処理することで活性炭と HA の複合体である骨炭を作製し、骨炭中の HA の粒子サイズが小さく表面積が大きいことが F⁻除去に重要であることを明らかにし、F⁻除去のために最適な加熱温度を明らかにした[6]。また、炭酸カルシウムを主成分とするカキ殻を、リン酸イオンを含む水溶液中で処理することで、表面に HA を形成した材料を作製した。未処理のカキ殻は F⁻をほとんど除去できないのに対し、表面に HA を形成した試料は F⁻を除去できた。形成される HA の粒径は処理温度により制御でき、HA の粒径が小さく表面積が大きいことが F⁻除去に重要であることを明らかにした[7]。また、HA の吸着特性と環境浄化材料として注目されている光触媒であるアナターゼを複合することを試み、アナターゼ粒子を HA 柱状粒子からなる多孔体内に保持したり、柱状粒子表面にアナターゼ微粒子を析出させた複合体の創製に成功した[8]。これらの複合体が、紫外線照射下において、アセトアルデヒドや汚染物質のモデルである色素に対して高い分解能力を示すことを明らかにした。

5. まとめ

リン酸カルシウムは、生体や環境に対して安心して利用できる材料であると考えられる。生命と材料の相互作用を理解し、生体や環境に対して安全な材料を利用していくことは、我々の健康や安全を考えるうえで非常に有益であると考えられる。

5. 参考文献

- [1] M. Kamitakahara et al., *J. Mater. Sci.: Mater. Med.*, **27**, 97 (9pp) (2016).
- [2] N. Ito, M. Kamitakahara, K. Ioku, *Mater. Lett.*, **120**, 94–96 (2014).
- [3] M. Kamitakahara et al., *J. Asian Ceram. Soc.*, **10**, 731-738 (2022).
- [4] M. Kamitakahara et al., *Mater. Sci. Eng. C*, **61**, 169-173 (2016).
- [5] M. Kamitakahara et al., *J. Ceram. Soc. Japan*, **126**, 732-735 (2018)
- [6] S. Terasaka, M. Kamitakahara et al., *J. Ceram. Soc. Japan*, **122**, 995–999 (2014).
- [7] S. Terasaka, M. Kamitakahara et al., *Mater. Trans.*, **56**, 1509-1512 (2015).
- [8] M. Kamitakahara et al., *Mater. Res. Bull.*, **46**, 2283-2287 (2011).

(4) アパタイトを基盤とした光感応性触媒の開発に関する研究

令和8年度
特別学術賞

(埼玉医科大学 教養教育) ○森口 武史

Study on the Development of Apatite-Based Photosensitive Catalysts

(Dept. of Liberal Arts, Saitama Med. Univ.) ○Takeshi Moriguchi

問合せ先 : tksmorig@saitama-med.ac.jp

1. はじめに

ヒドロキシアパタイト $\text{Ca}_{10}\text{PO}_4(\text{OH})_2$ は、生体適合性の高い医療用の人工組織としての応用だけでなく、水中におけるイオン交換能や分子吸着能を有しているため、吸着分離や触媒としての応用について幅広く研究が行われている[1]。なかでも、触媒としての応用については、アパタイト自体の水溶性の低さから、水中で利用可能な不均一系固体触媒の開発に興味をもたれる。本講演では、河川や湖などに存在する溶存有機物の分解を可能にするアパタイト基盤型光感応性触媒の開発の研究成果について報告する。

2. アパタイト表面への分子吸着メカニズムの解析

ヒドロキシアパタイト (HAP-300) [2] や鉄イオン (Fe^{3+}) で処理したヒドロキシアパタイト (HAP-400-Fe) [3] は、水中において、色素化合物アリザリンレッド S (ARS) を効率よく吸着する。ARS を吸着したアパタイトを回収、乾燥し、その表面を赤外線吸収スペクトルにより測定した結果、Fig.1 に示す通り、ARS 分子は、HAP-300 では Salt Form (Fig.1a)、HAP-400-Fe では Chelate Form (Fig.1b)でそれぞれ吸着しており、表面の金属種によって吸着メカニズムが異なることが分かった。この結果は、次に述べる金属処理型アパタイト触媒の開発に向けての重要な糸口となった。

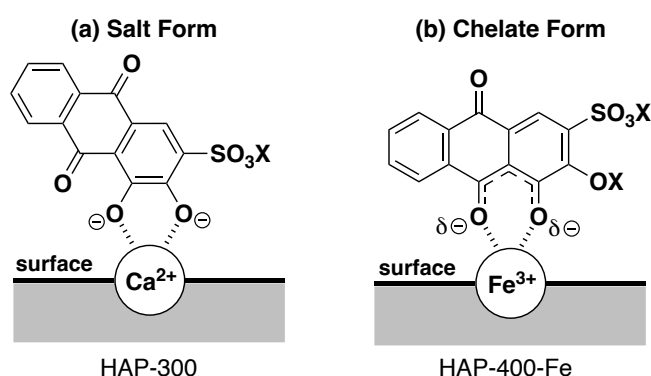


Fig.1 Structures of ARS adsorbed on HAP-300 and HAP-400-Fe (X = H, Na)

3. 鉄処理型ヒドロキシアパタイトを触媒とした光フェントン反応

鉄処理型ヒドロキシアパタイト HAP-400-Fe は、ARS を含む様々な色素化合物[4]、農薬の一種であるアトラジン[5]、腐植物質[6]の光フェントン分解反応の不均一系触媒と

して有効であることが分かった。特に、ARS の反応においては、6 時間後に 99% の ARS が消費され、CO₂ や H₂O への無機化率が 60% に達していた。光フェントン反応とは、Advanced Oxidation Process における水中での有用な溶存有機物の分解反応の 1 つとして知られ、Fe 触媒、H₂O₂、紫外光の 3 つを組み合わせた酸化分解反応であり、紫外光を用いないフェントン反応よりも効率よく・OH を生じさせ、反応を促進させることを可能にしている。また、HAP-400-Fe は、ほとんど触媒能を低下させることなく繰り返し触媒として利用することが可能であることも分かった。

さらに、HAP-400-Fe は、その表面を腐植物質で修飾することにより、光フェントン反応の触媒能を向上することができた[7]。特に、Nordic Fulvic Acid (NFA) で修飾した触媒である HAP-400-Fe-NFA は、最も活性が高く、HAP-400-Fe では分解されにくかったメチルオレンジ (MO) やアトラジンが、HAP-400-Fe-NFA を用いることにより、6 時間で 90% 以上の分解率を示した。ここでは、腐植物質 (NFA) は、HAP-400-Fe 表面への修飾により疎水性を付与する要因となっている。これにより触媒表面の有機物に対するアフィニティが向上し、触媒の活性化につながったものと考えられる。

4. ビスマスやチタンで処理したフルオロアパタイトを触媒とした分解反応

鉄以外にもビスマスで処理したフルオロアパタイト FAP-Bi を合成し、これを光フェントン反応と同じ条件下で触媒として用い、色素化合物の分解を行ったところ、触媒活性を示したが、HAP-400-Fe よりは活性が低くなることが分かった [8]。

また、現在、Ti で処理したフルオロアパタイト FAP-Ti を合成し、これを触媒として用いた水中での色素化合物 (ARS, MO) の光分解反応についても行っており、上述の HAP-400-Fe-NFA を用いた光フェントン反応よりも高い分解率や無機化率が得られ、繰り返し利用できることが分かった。[9]。

5. まとめ

アパタイトを Fe、Bi、Ti で処理することにより、水中の溶存有機物を効率よく分解することができる光感応性の触媒を合成できた。これらは、水資源の保全という意味では重要な触媒であり、また、再利用が可能なため、上下水道の水処理施設などへの実際の応用も期待される。

6. 参考文献

- [1] A. Brahmi, *Next Materials*, **9**, 101203 (2025).
- [2] T. Moriguchi et al., *J. Colloid Interface Sci.*, **260**, 19-25 (2003).
- [3] T. Moriguchi et al., *Phosphorus Res. Bull.*, **24**, 62-72 (2010).
- [4] T. Moriguchi et al., *Phosphorus Res. Bull.*, **26**, 117-130 (2012).
- [5] T. Moriguchi et al., *Phosphorus Res. Bull.*, **28**, 10-23 (2013).
- [6] T. Moriguchi et al., *Phosphorus Res. Bull.*, **29**, 11-20 (2014).
- [7] T. Moriguchi et al., *Phosphorus Res. Bull.*, **29**, 11-20 (2014).
- [8] T. Moriguchi et al., *Phosphorus Res. Bull.*, **39**, 1-13 (2023).
- [9] T. Moriguchi et al., *Pacificchem 2025*, Abstract #4284460 (2025).

(5) 無機リン酸塩の機能性材料への応用に関する研究及び学会への貢献

令和6年度 功績賞

(神戸薬科大学) ○中山尋量

Application of inorganic phosphates for functional materials

(Kobe Pharmaceutical University) ○Hirokazu Nakayama

問合先: hiro@kobepharma-u.ac.jp

1. はじめに

私たちの研究室では、故津波古充朝元会長の指導の下で、無機リン酸塩を利用した新しい機能性材料の研究開発を続けてきました。ここでは、私の代に行ってまいりました層状リン酸塩をベースにした機能性材料の開発及び無機シクロ三リン酸塩を用いた機能性材料の開発を紹介する。これらの研究は、林重紀助教および前田秀子講師が中心となって行った研究である。この場をお借りしてお礼を申し上げる。

2. 層状リン酸塩を用いた機能性材料の開発

層状構造をもつ出発材料を基盤とした機能性材料の開発は様々研究者によって精力的に取り組まれてきた。昨年ノーベル賞を受賞された北川進教授のMOFの研究もそのひとつで金属錯体の層を有機化合物で橋渡しした層空間を機能性材料として活用する研究である。

無機層状リン酸は、Zrに配位したリン酸が2次元層を形成し、その層間にリン酸のプロトンが突き出ているイオン交換体で、そのプロトンを金属イオンや有機陽イオンなどと交換することにより、層空間を自在に設計することが可能である。有機陽イオンなど大きな分子状のイオンと交換することをインターカレーションと呼んでいる。

図1は、ジエチレントリアミン(2E3A)を層間にインターカレートした化合物の模式図を示している。2E3Aのインターカレート量により2つのタイプ構造(I, II)の化合物が得られた。このうちIIの化合物は、ガス状のカルボン酸を吸着し、それに伴い層間がひろがる。また、カルボン酸の分子サイズが大きくなると広がりもおおきくなった。吸着したカルボン酸が、アミンリン酸層との間にはさまるように吸着していることがわかる¹⁾。なお、タイプIの化合物では吸着は全くおこらなかった。

またこれらの化合物にホルムアルデヒドを吸着させたところ、こちらはタイプI, IIともに吸着し、かなり吸着した段階では、化

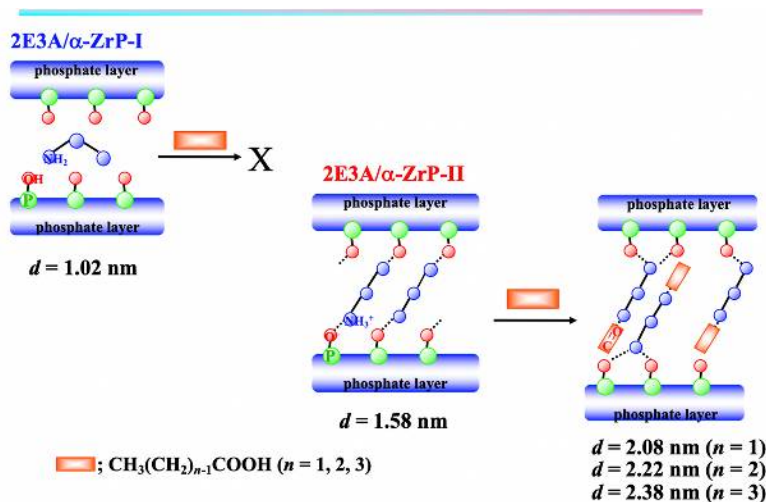


図1 2E3A/ α -ZrP へのカルボン酸ガス吸着

化合物が変色した。これは、塩基存在下で起こる自己酸化還元反応が制限された層空間で起こっていることをしめしている。

これ以外にもアミノエタンチオールをインターカレーとした化合物が重金属イオンを吸着すること²⁾、4級アンモニウムイオンをインターカレーとした化合物が、ガス状の芳香族炭化水素を吸着すること、ブチルアミンをインターカレーとした化合物が、水溶液中のフェノールを吸着すること³⁾を明らかにしてきた。

3. シクロ三リン酸塩によるリン酸化化合物の合成

DNA など有機化合物のリン酸塩は、生体内で重要な働きをする化合物が多数存在する。我々研究室では、シクロ三リン酸塩 (P_{3m}) を用いることにより様々な有機化合物のリン酸化が可能であることを見出した。ここでは、糖類のリン酸化について紹介する。代表的な糖類であるグルコースは、 α 体と β 体が水溶液中では平衡状態で存在する。しかしながら、シクロ三リン酸塩でリン酸化反応をすると選択的に β 体のグルコースの三リン酸塩が生成することがわかった (図 2)。この反応は両水溶液を混合するだけで反応がはじまり非常に簡便な反応であるが、これにより選択的リン酸化が起こることを明らかにした⁴⁾。この方法を他の単糖や二糖にも適応したところ同様な結果がえられた⁵⁾。さらに、機能性材料として広く利用されているオリゴ糖の一つであるシクロデキストリンについても同様にリン酸化が可能であることを明らかにした⁶⁾。

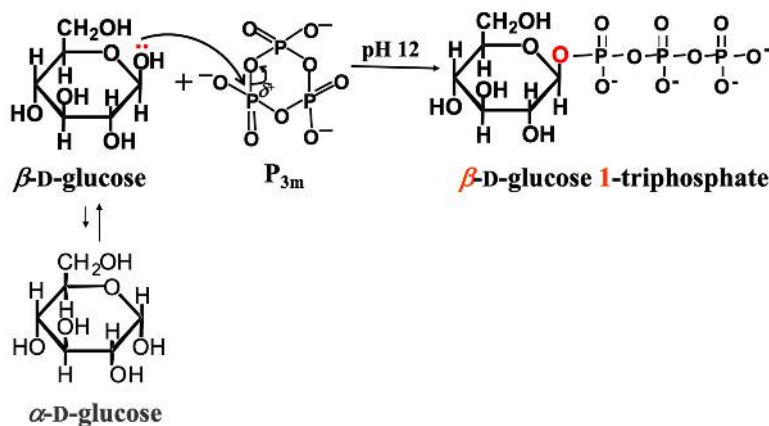


図 2 D-グルコースの P_{3m} によるリン酸化

4. 参考文献

- 1) H. Nakayama, A. Hayashi, T. Eguchi, N. Nakamura and M. Tsuchiko, *J. Mater. Chem.*, **12**(10), 3093-3099 (2002).
- 2) A. Hayashi, H. Saimen, N. Watanabe, H. Kimura, A. Kobayashi, H. Nakayama, and M. Tsuchiko, *Langmuir*, **21**(16), 7238-7242 (2005).
- 3) A. Hayashi, H. Nakayama and M. Tsuchiko, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **76**(12), 2315-2319 (2003).
- 4) H. Inoue, M. Watanabe, H. Nakayama, M. Tsuchiko, *Chem. Pharm. Bull.*, **46**(4), 681-683 (1998).
- 5) H. Inoue, H. Nakayama and M. Tsuchiko, *Carbohydr. Res.*, **324**(1), 10-16 (2000).
- 6) H. Inoue, N. Tone, H. Nakayama and M. Tsuchiko, *Carbohydr. Res.*, **338**(20), 2067-2074 (2003).

=====

創立 40 周年記念行事プログラム要旨集

発行日 2026 年 10 月 13 日

発 行 日本無機リン化学会

〒350-0495 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷 38

埼玉医科大学 医学部 教養教育内

「日本無機リン化学会」事務局 森口 武史

tksmorig@saitama-med.ac.jp

=====

許可なく転載・複写することを禁じます。