



環境に関する教育

名古屋工業大学では環境に関する以下のような教育を行っています。

学 科 名	生命・応用化学科 3 年次 創造工学教育課程 3 年次	 准教授 園山範之	 教授 川崎晋司
授 業 科 目 名	電気化学		
担 当 教 員 名	園山 範之、川崎 晋司		
<p>現代のエネルギーデバイスの基礎原理を理解する上で必要不可欠な電気化学の基礎概念（電解質溶液，電気化学ポテンシャル，電池の起電力，電極反応速度，電気二重層，電気化学測定法など）について，その歴史を含めて解説している。また，全固体電池や二次電池を始め，光電気化学，燃料電池，太陽電池，電気化学センサー，金属の腐食・防食などのトピックスも交えながら，環境・エネルギー問題における電気化学の重要性についても折に触れて解説している。</p>			

学 科 名	第二部 機械工学科 3 年次	 教授 田川正人
授 業 科 目 名	伝熱学	
担 当 教 員 名	田川 正人	
<p>熱の移動（伝熱）という現象は，身の周りに観察されるだけでなく，エンジン，冷暖房装置，家電・電子機器，ボイラ，工業炉など多種多様な工業製品の性能を左右する因子であるとともに，近年注目されている都市から地球規模に至る環境問題にも深くかかわっている。伝熱工学では，数学，熱力学，流体工学などの知識を基礎として，熱移動がかかる多様な現象を熱伝導，熱伝達，熱放射という三つの基本形態に帰納して取り扱うことにより，複雑な実際問題に適切に対処できる力をつけることを目標とする。</p>		

専 攻 名	社会工学科 3 年次 創造工学教育課程 3 年次	 准教授 吉田奈央子
授 業 科 目 名	流域環境工学	
担 当 教 員 名	吉田 奈央子	
<p>水は地球上の生物にとって不可欠のものである。量を確保するだけでなく水質も良好に保たなければならない。本授業の前半 8 回では，水質の化学，法的規制，水環境保全（特に上下水道）の仕組み，水処理技術とその機構について学ぶ。また水環境保全のみならず，持続可能な社会の実現にむけた循環社会工学ならびに地球温暖化対策について学ぶ。</p>		

名古屋工業大学では環境に関する以下のような教育を行っています。

学 科 名	社会工学科 2 年次 創造工学教育課程 2 年次	 准教授 神田幸治
授 業 科 目 名	人間工学	
担 当 教 員 名	神田 幸治	
<p>人間工学は、「人間にとって働きやすい職場や生活しやすい環境を実現し、安全で使いやすい道具や機械をつくることに役立つ、人間に関する基礎理論の学術体系、及び実践的な科学技術」である。本授業では、産業場面や日常生活における人間の基本的特性や、それと調和するシステムの設計概念を理解するため、人間と機械や環境の間に存在する諸問題や最適な関係性について、人間工学の枠組みで複合的かつ総合的に学習する。さらにこれらの理論や知識を駆使することにより、産業・生活場面の多様な人間工学的課題に対する問題発見、分析、問題解決のためのセンスの涵養をはかる。</p>		

専 攻 名	生命・応用化学科 3 年次 創造工学教育課程 3 年次	 教授 高田主岳 教授 北川慎也 准教授 安井孝志
授 業 科 目 名	環境化学	
担 当 教 員 名	高田主岳、北川慎也、安井孝志	
<p>環境問題を化学的な観点を中心に学習する。また、環境の現状を解説し、問題意識を高めるとともに、その解決法を考えるきっかけとなる内容としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気圏環境(地球温暖化、酸性雨、オゾンホール)および環境とエネルギー(エネルギー、リサイクル)について学習する。 ・水環境および土壌環境では、試料採取法から、環境基準の各項目の内容および現状、保全等について解説する。また、それらの汚染によって引き起こされた公害についても学習する。 ・廃棄物処理、環境保全技術(水質汚濁対策、土壌汚染対策)について学習する。 		

専 攻 名	社会工学科 2 年次 創造工学教育課程 2 年次	 准教授 須藤美音
授 業 科 目 名	建築環境工学 I	
担 当 教 員 名	須藤 美音	
<p>日本の産業別エネルギー消費量をみると、建築物にかかるエネルギーが高い割合を占めています。本講義では、環境を配慮したサステナブル建築について取り扱っています。サステナブル建築とは、地域レベル及び地球レベルでの生態系の収容力を維持する範囲内で建築のライフサイクルを通しての省エネルギー・省資源・リサイクル・有害物質排出抑制を図るというものです。しかし、それだけではなく、その地域の気候・伝統・文化および周辺環境と調和、そして、人間の生活の質を適度に維持、向上という点も含めて講じています。</p>		



環境に関する研究

名古屋工業大学では環境に関わる多くの研究を行っています。その一例を紹介します。

研究テーマ名	魚鱗を用いたマイクロ波熱分解により世界最高の発光効率を示すカーボンナノオニオンの合成に成功 —SDGs 達成に貢献する機能性ナノ材料および次世代光源の創成への新たな展開—
研究者名	大学院工学研究科 先進セラミックス研究センター 白井 孝
概要	

カーボンナノオニオンは数層のフラーレン*1で構成された、特異な構造を持つカーボンナノ材料の一種類であり、無毒で資源量の豊富な元素で構成された材料です。高い電気伝導性、熱伝導性および比表面積を持つため、電気デバイス、太陽光発電、バイオイメージングおよび熱伝導デバイスなど様々な幅広い領域での応用が注目されています。カーボンナノオニオンの最も知られた合成手法として、ナノダイヤモンドの高温焼成法があり、真空中で高い加熱温度（1500～2000度）で合成させますが、サイズ制御が難しいなど工学的欠点があります。近年、グラファイトの水中アーク放電法、メタンなどの有機前駆体ガスを用いた化学気相成長法、グラファイトのメカノケミカル処理やレーザーアブレーション法などが報告されましたが、それら合成手法は厳しい実験条件、例えば高温、真空、もしくは長い反応時間を必要とし、高い原料費や触媒利用による製造コストの増大、後処理に化学溶媒を用いるなどの問題があります。また、これら合成手法により得られたカーボンナノオニオンは、強い分子間ファンデルワールス力および π - π スタッキング相互作用を持つため、極性/非極性溶媒中で分散できない特徴があり、表面修飾の後処理が必要となります。

本研究では、魚の鱗を活用してマイクロ波*2熱分解法により、超高発光効率のカーボンナノオニオン*3の合成に成功しました。

魚の鱗から抽出したコラーゲンを原料として、シングルモードマイクロ波による電場加熱により、コラーゲンの自発的かつ急激な温度上昇および熱分解により、数秒でカーボンナノオニオンを合成することを見出しました（図1）。

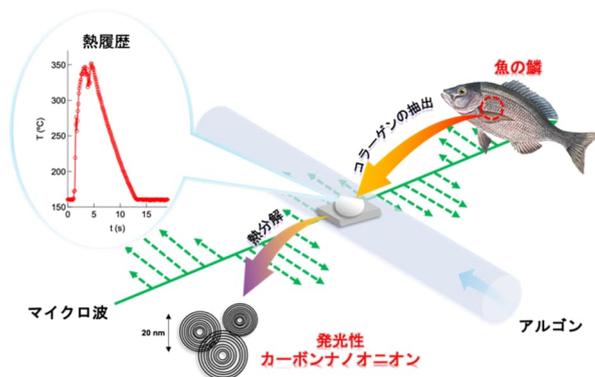


図1. 本研究で開発した魚の鱗を用いたマイクロ波熱分解によるカーボンナノオニオンの合成過程

図2aに示すTEM像により得られたカーボンナノオニオンのサイズは～20 nm前後で、多層なフラーレンで構成され高結晶性であることがわかりました。また、XPS分析により合成されたカーボンナノオニオンの表面化学状態を確認した結果を図2bに示します。C1s軌道のスペクトルのピーク分離により、合成されたカーボンナノオニオンの表面は、カルボンオキシリ

基と水酸基が選択的に修飾されていることが確認できました。合成したカーボンナノオニオンは、後処理せずにそのままエタノール中に分散させることができ、紫外線励起による高輝度な青色発光を示します（図 2c）。励起波長を変化させる際の 3D 発光スペクトルを図 2d に示します。合成したカーボンナノオニオンは 400~500 nm 波長での発光中心を示し、励起波長（300~400 nm）に依存する異なる表面状態起因の発光と、励起波長（250~200 nm）に依存する n-n 遷移による発光の二種類の発光成分で構成されています。励起波長が 350 nm の際の絶対量子収率は 40% であり、従来の合成手法で合成されたカーボンナノオニオンより 10 倍高い値を示し、現在報告されているカーボンナノオニオンの絶対量子収率としては世界最高値です。この高い量子収率は、本研究で開発されたマイクロ波熱分解法で合成されたカーボンナノオニオンのコア部分の高い結晶性と、効率的な表面修飾より得られた結果と考えられます。また、表面にカルボンオキシル基と水酸基が豊富に存在することにより、様々な極性溶媒に簡便に分散させることができ、また溶媒置換後の発光および量子収率の安定性も確認できました。図 2e に異なる極性溶媒（左から右：水、メタノール、イソプロパノール）中に分散させたカーボンナノオニオンおよびその発光写真を示します。

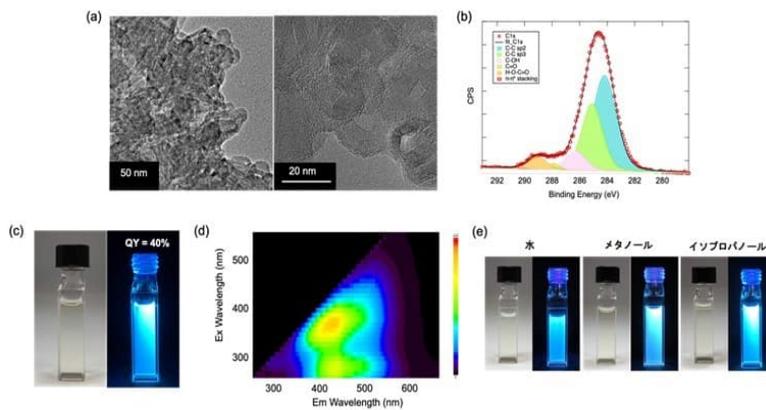
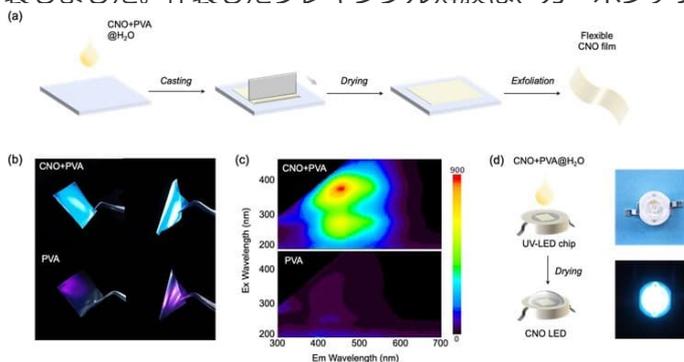


図 2. 合成したカーボンナノオニオンの (a) TEM 画像 (b) XPS の C1s 軌道スペクトル (c) エタノール分散液およびその発光写真 (d) 3D 発光スペクトル (縦軸：励起波長、横軸：発光波長) (e) 水、メタノールおよびイソプロパノール分散液における発光写真

カーボンナノオニオンの水分散液を用いて、水溶性の熱可塑性樹脂であるポリビニルアルコール (Polyvinyl alcohol: PVA) と混合し、図 3a に示す液体塗布法によりフレキシブル薄膜を作製しました。作製したフレキシブル薄膜は、カーボンナノオニオンの分散液と同じ青色発光（図 3b） および 3D 発光スペクトル（図 3c） を示しました。またカーボン



ナノオニオンと PVA の混合液を UV-LED チップに塗装することにより、青色発光 LED の作製にも成功しました（図 3d）。

図 3. (a) 合成したカーボンナノオニオンを用いた液体塗布法によるフレキシブル薄膜の作製手順、(b) フレキシブル薄膜とその発光写真（図内下：比較試料としての PVA 単体膜）、(c) フレキシブル薄膜の 3D 発光スペクトル（下：比較試料としての PVA 単体膜の 3D 発光スペクトル）(d) カーボンナノオニオンと PVA の混合液を用いた LED の作製と発光写真

また、コラーゲンのマイクロ波熱分解中に生成されたガス成分および分解前後の固体成分の定性分析から、図4に示すカーボンナノオニオンの生成メカニズムを推測しました。まず、マイクロ波照射により、コラーゲン分子中のペプチド官能基およびその三重螺旋構造に形成されたマクロ双極子モーメントがマイクロ波を吸収します。その際、急激な温度上昇が生じ、短時間でコラーゲンが熱分解します。熱分解中、主成分のトルエンのほか、ピロールやジケトピペラジン類などの六角形・五角形分子が生成し、それらの分子の脱水素反応により活性ラジカルが生成され、活性ラジカルの多量化および空間的な架橋反応によりカーボンナノオニオンが形成したと考えられます。

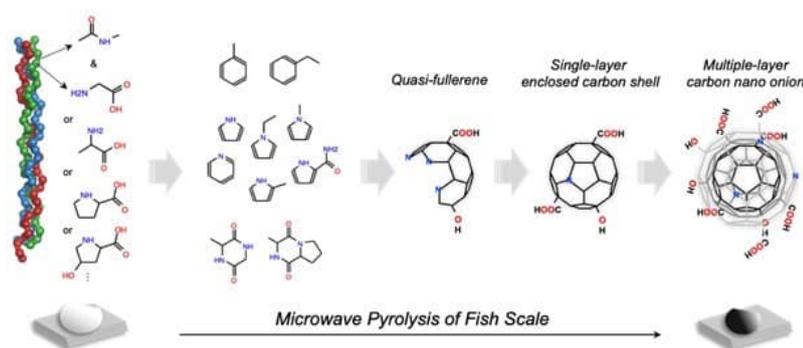


図4. 魚の鱗を用いたマイクロ波熱分解によるカーボンナノオニオンの生成メカニズム

本研究で得られたカーボンナノオニオンは世界最高の発光効率を示し、広い発光面積を持つ次世代固体光源および発光デバイスへの応用が期待できます。また用いる原料もこれまで利用価値のなかった魚鱗由来のコラーゲンであり、海洋資源が豊富な日本における未利用資源のサステナビリティ有効利用技術として有用です。材料化学に関する重要な進歩としてだけでなく、SDGs 達成に貢献する機能性ナノ材料および次世代光源の創成への新たな展開につながると考えています。

(*1) フラーレン (fullerene) : 6 員環と 5 員環炭素原子で構成された閉殻空洞状の炭素クラスターの総称。

(*2) マイクロ波 : 波長約 1 mm ~ 1m の電磁波。マイクロ波を物質に当てる際に、物質内部の誘電体、磁性体を構成する双極子、空間電荷、イオン、スピンなどが激しく振動・回転することにより熱が発生させ、加熱手法の一つとして液相固相での化学合成に多く応用されている。

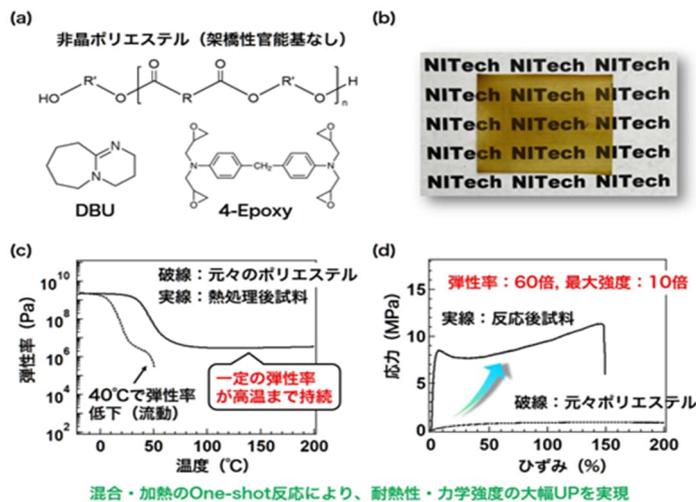
(*3) カーボンナノオニオン (carbon nano onion) : 数層のフラーレンで構成された閉殻同心球状炭素ナノ構造の一つ (サイズは 100 nm 以下)。たまねぎと似たような構造をもつため、カーボンナノオニオンと呼ばれ、他にオニオンライクカーボン (onion-like carbon) という別名も使われている。

研究テーマ名	ポリエステルの新規アップサイクル技術を開発 ―分解と結合交換を利用したワンショット材料変換―
研究者名	大学院工学研究科 工学専攻 (生命・応用化学領域) 林 幹大
概要	

SDGs を軸とした社会背景を考慮すると、リサイクル可能なポリマー開発およびリサイクル技術開発は急務である。ただし、「リサイクルが可能である」ということと「リサイクルをする」という行動は全く別物である。その最大の理由はリサイクルに掛かるコスト問題である。リサイクルには、回収・洗浄・リサイクル(再加工)プロセスが必要であるため、最終コストは新製品の生産コストを上回ってしまう。また、リサイクルしたとしても、熱劣化や光劣化により新品と比べて物性が低下してしまう場合がほとんどである。このような理由から、例えば PET の場合は回収したとしても約 8 割は焼却され、(熱) エネルギーとして消費される。

資本主義の中でビジネスとして成立させるためには、やはり付加価値の高い樹脂製品への変換が必須である。付加価値を向上させるため、物性向上や機能化を伴うリサイクルプロセスは「アップサイクル(アップグレードリサイクル)」と呼ばれ、現在その技術開発が国際的に注目されている。

本研究では、商用ポリエステルを出発物質とし、「ポリエステルの主鎖分解」と「結合交換反応(※1)」を駆使した材料変換(アップサイクル)技術を開発した(図1)。



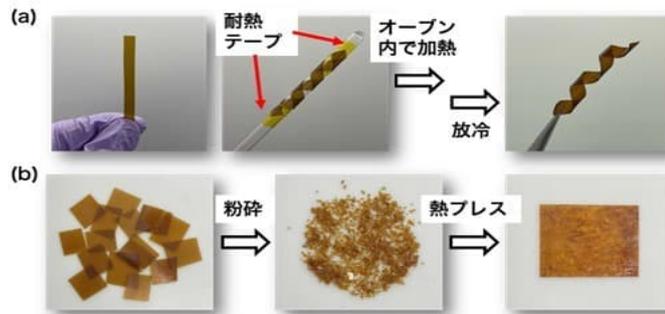
【図1】

- (a) 分子設計
- (b) 架橋反応後試料の外観
- (c) 元々の試料と熱処理後試料の熱-力学物性(温度分散粘弾性測定)
- (d) 引っ張り試験に基づく力学物性の比較

本反応は、ポリエステルに対し多官能エポキシ化合物(図1中の4-Epoxy)と塩基性有機触媒(図1中のDBU)とを混合し、200°Cでの熱処理により完結する。熱処理下でポリマー鎖が連結していく架橋反応が起こり、結果として、初期の状態よりも耐熱性および力学物性が向上された材料への変換が可能となった(反応後において弾性率は約60倍、最大強度は約10倍)。また、得られた架橋体では高温で結合交換が活性化し、再成形性・修復性などのサステナブルな機能も発現した(図2)。

通常、架橋反応を施すためには、ポリマー鎖への架橋性官能基(※2)の導入が必須であるが、本ポリエステル中には架橋性官能基が元々含まれていない。詳細な分析の結果、本架橋反応は、従来の架橋反応とは全く異なり、ポリマー鎖の(加水)分解をトリガーとして進行することがわかった(図3)。分解により、ポリマー鎖の両末端に架橋性官能基(カルボキシル基お

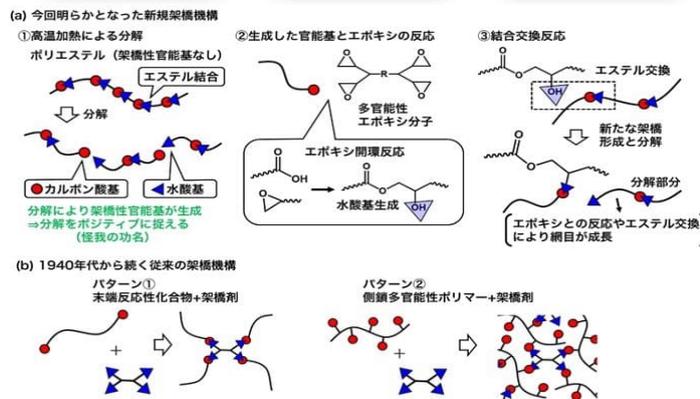
よび水酸基)が生成する。生成したカルボキシル基および水酸基はエポキシ化合物と反応し、さらにエステル交換反応(※3)を介して網目構造が成長し、最終的にゲル分率~100%となる架橋体が生成する。



【図2】

結合交換特性を活かした有用機能

- (a) 再成形性
- (b) 修復性



【図3】

(a) 本研究で明らかとなった新規架橋機構

(b) 1940年代から続く従来の架橋機構

上記で示した「加水分解」という現象は、材料物性低下を招くため、通常はネガティブな事象として考えられている。一方、本架橋反応では、加水分解により架橋性官能基が生成するため、「怪我(分解)の功名(官能基生成)」的発想の転換から、安定な架橋構造形成のための"ポジティブな要素"として捉えている。1940年代から続く従来の架橋の概念(Floryのゲル化理論)では、ポリマー鎖末端や側鎖の架橋性官能基を利用することが前提とされており、ポリマー鎖の分解は想定されていない。つまり、「分解をトリガーとして反応が進行する」という架橋反応には新規性が高く、これをポリエステル等材料変換およびアップサイクルに利用できるということを実証した先駆的知見となった。

本研究においては、PET類似の非晶ポリエステルについてのみ技術を確認したが、今後は、PETやポリウレタン・ポリカーボネート・ポリアクリルなど、他の商用ポリマーへの技術展開に挑戦していく。

(※1) 結合交換反応: 熱や光などの外部刺激により、結合が交換する特別な反応。本設計で用いたエステル交換反応はその代表例。架橋樹脂中で結合交換反応が起きる場合、再成形性・リサイクル性・修復性など、従来の架橋樹脂では発現し得ない機能を示す。

(※2) 架橋性官能基: 加熱などにより反応が進行する官能基のこと。本設計では、エポキシ化合物と反応するカルボン酸基や水酸基のことを指す。

(※3) エステル交換反応: 加熱下でエステルとアルコールを反応させた際に、それぞれの主鎖部分が入り替わる反応であり、通常の場合、酸または塩基が触媒として利用される。

Hayashi, M., Kimura, T. J. Mater. Chem. A, 2022, 34, 17406 - 17414.

研究テーマ名	CO ₂ 排出を削減！ カーボンニュートラル時代を支える 低温及び無焼成でつくるセラミックス
研究者名	先進セラミックス研究センター 藤 正督、石井 健斗
概要	

身の回りには多くのセラミックス製品があふれています。コップやお皿などの食器をはじめとしてパソコン・スマートフォンなどに使用される電子材料も原料となるセラミックス粉末を高温で焼き固めることで作られています。焼く工程では多くの熱エネルギーが消費され、二酸化炭素も排出されます。セラミックス製造で排出される二酸化炭素の約 6 割がこの焼成工程で生じます(図 1)。2050 年カーボンニュートラル社会達成のために改善されるべき課題の一つになっています。

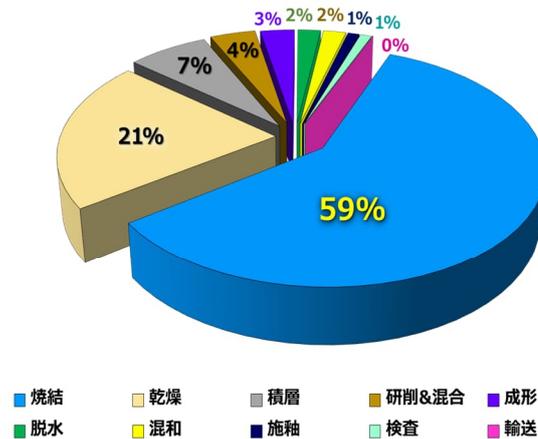


図 1 セラミックス製造プロセスにおける各工程の二酸化炭素排出量

『知識の活用で常識を打ち破る』ことをモットーとする当研究グループでは、焼かずにセラミックスをつくる「無焼成セラミックス」について研究しています。セラミックス粒子の表面は内部とは結晶状態が異なるため、本来であれば活性な状態にあります(図 2)。

しかし実際には、大気に曝されている表面は水分などを吸着して不活化し、安定な状態にあります。本技術では、セラミックス粉末粒子の表面を機械的活性処理(ボールミル)することで、その表面を活性化させます。その高い活性状態を粒子同士が結合するための駆動力として活用する手法が、無焼成固化法です。「セラミックスは焼き固めるもの」という常識を打破した技術になります。無焼成セラミックスにおける固化は、粒子を粉砕するほどの強力なエネルギーを加える必要がなく、単に表面を擦る(摩砕)程度の弱いエネルギーを加える程度で十分であるため、低環境負荷プロセスであるといえます。

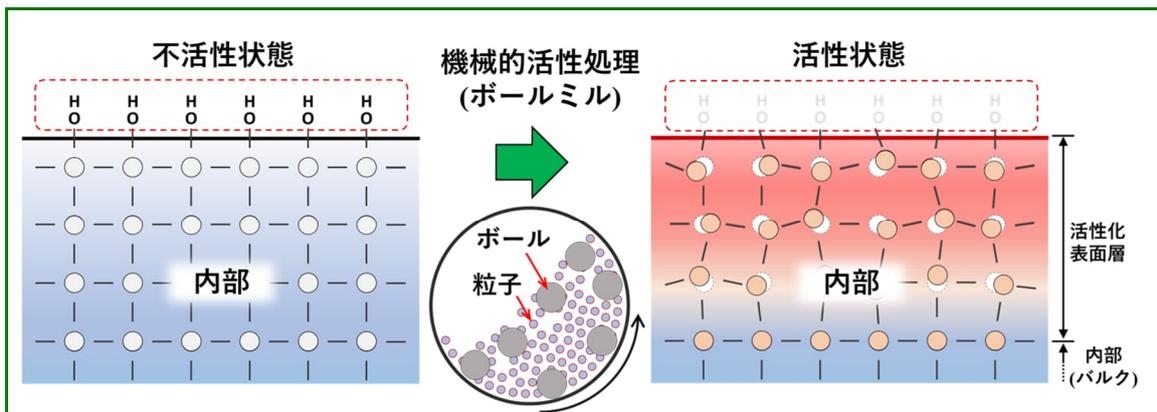


図2 活性および不活性状態にあるセラミックス粒子の表面状態

無焼成セラミックスはコンクリート並かそれ以上に強固で緻密性を有するため実用にも耐える材料です。また、これまで実現不可能だった焼けない素材（プラスチック、木、金属など）との複合化が可能となります。写真(図3左)は、高温での焼成では焼失してしまう有機蛍光染料を無焼成セラミックス原料に混合して固化させた試料ですが、固化後でも蛍光しています。写真(図3右)の樹脂製光ファイバーを無焼成セラミックスに包埋した光のオブジェはその一例となります。これは単なる飾りですが、素材の組み合わせで新たな機能性を発現させることが可能となります。例えば、先進的な電子回路基板への応用や3Dプリントにより構造物をつくることのできるようになるなど様々な可能性を秘めています。

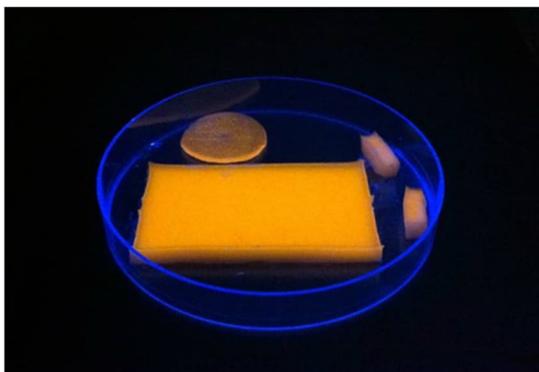


図3 有機蛍光染料を混合した無焼成セラミックス(左)、樹脂製光ファイバーを無焼成セラミックスに包埋したオブジェ(右)

先進セラミックス研究センターは日本一の陶磁器産地である岐阜県多治見市にあることから地元企業と当センター間の産学連携も進んでおり、本技術の実用化とともに環境問題の解決に向けた取り組みを積極的に行っています