



環境に関する教育

名古屋工業大学では、2023年度に環境に関する以下のような教育を行いました。

学 科 名	工学部 全学科・課程（共通科目） 3年次	 秀島栄三 教授
授業科目名	持続環境学	
担当教員名	秀島 栄三	
<p>自然環境と人間生活の調和を図り、社会の持続可能性を指向する現代において、「環境」という言葉は、常に意識させられる言葉です。このような状況下において、製品の生産を行い、サービスを提供する企業と、政策を立案・実施する政府（国、自治体）は、何をどのように取り組むべきかについて考察します。</p>		

学 科 名	工学部 生命・応用化学科 3年次 創造工学教育課程 3年次	 岩本雄二 教授
授業科目名	環境調和セラミックス	
担当教員名	岩本 雄二	
<p>地球環境保全を意識したセラミックス材料設計および合成法を学ぶことを目的としています。前半は、環境材料開発に関連する基礎物性と応用例を学修し、後半は、ケーススタディとしてケミカルプロセスを利用した機能性セラミックスの合成方法や環境整備を考えたシステムへの機能性セラミックス材料の応用について学修します。</p>		

学 科 名	工学部 電気・機械工学科 3年次 創造工学教育課程 3年次	 安井晋示 教授
授業科目名	電気エネルギー工学	
担当教員名	安井 晋示	
<p>現代社会は、電気エネルギーによって支えられている一方で、膨大なエネルギー消費ともなう環境問題が顕在化しています。この授業においては、電気エネルギーの発生に関する各種エネルギー変換技術を理解するとともに、エネルギー資源の現状と環境問題との関係を説明できることを目標とします。</p> <p>また、エネルギー問題の現状と放射性廃棄物管理の考え方についても理解します。</p>		

学 科 名	工学部 社会工学科 3年次 創造工学教育課程 3年次	 小松義典 准教授
授 業 科 目 名	都市環境学	
担 当 教 員 名	小松 義典	
<p>多くの人が都市に暮らすことにより、多くの住宅建築と多種多様な建築が都市に立地し、都市環境と相互に影響し合っています。また、都市環境の問題は、地球規模での環境問題の原点にもなっています。</p> <p>本授業では、建築環境のスケールを時空間で拡大して捉えることで、都市に立地する建築の環境計画に必要な基礎的事項の修得を目的としています。また、都市環境のポテンシャルを活用することで、快適環境の構築と環境負荷の低減が両立する建築を考えるとともに建築—都市—地球環境が相互に影響している状況を理解して、建築の計画・設計に携われることを目標としています。</p>		

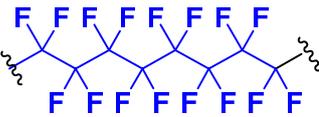
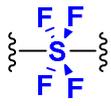
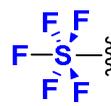
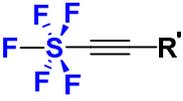
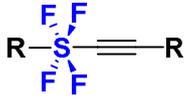
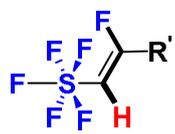
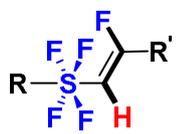
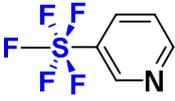
学 科 名	工学部 社会工学科 3年次 創造工学教育課程 3年次	 藤田素弘 教授
授 業 科 目 名	交通環境計画学	
担 当 教 員 名	藤田 素弘	
<p>人々が生活を営み、経済活動を行い、健康・快適に暮らすためには、住居と職場および商業施設等を結ぶ交通網の充実が不可欠です。一方で、交通（特に道路交通）からの環境被害（大気汚染、騒音、地球温暖化など）が深刻化しており、交通計画にとって環境への配慮は最重要課題となってきました。</p> <p>本授業では、交通計画学・交通工学に基礎を置きつつ、交通が環境に与える影響を予測・評価し、都市にとって適正最適な交通コントロールの施策を学修します。</p>		

専 攻 名	大学院工学研究科工学専攻 1年次	 VERMA Suresh Chand 特任教員
授 業 科 目 名	エネルギーシステムデザイン特論 I	
担 当 教 員 名	VERMA Suresh Chand	
<p>近年、世界的に再生可能なエネルギーを利用した電源の拡大が進んでいます。これらは地球環境の点では優れていますが、出力が間欠的で不安定です。</p> <p>本授業では、この問題に対して、蓄電池の利用拡大やIoT・VPP（バーチャルパワープラント）技術など、国内外でどのような取組みをしようとしているかを俯瞰しながら、将来のエネルギーをどう確保するかなど、エネルギー問題の解決について考察します。</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	環境に優しい新素材：PFAS 代替フッ素化合物の開発とその期待
研究者名	生命・応用化学類 柴田 哲男
概要	<p>PFAS（パーフルオロアルキルおよびポリフルオロアルキル化合物）は、耐薬品性や防水性など多様な特性を持つため、広範囲な製品で利用されています。しかし、この化合物は高い安定性を持つため、自然環境での分解が難しく、生物に蓄積される可能性があり、環境や健康への悪影響が懸念されています。したがって、PFAS の使用に対する規制は、環境保護を目指す上で不可欠です。</p> <p>私たちの研究室では、PFAS に代わる環境に優しい代替物質の開発に長年取り組んでいます。特に、テトラフルオロスルファニル（SF₄）やペンタフルオロスルファニル（SF₅）基を有する化合物に焦点を当てており、これらは自然環境で分解される性質を持ちます。また、これらの化合物は、PFAS の特性である高い脂溶性や電子求引性を保持しており、合成原料としても非常に有望です。</p> <p>これまでに、SF₄-フッ化ビニル化合物や SF₅-フッ化ビニル化合物、さらには SF₅-ピリジンや SF₄-アセチレンなど、多様な SF₄ および SF₅ 化合物の合成に成功しています。これらの化合物は、PFAS 規制の影響を受けずに、環境に配慮した含フッ素製品の開発を産業界で推進することが期待されます。</p> <p>SF₄ および SF₅ 化合物の活用は、産業界だけでなく、一般の人々にとっても、持続可能な社会を実現するための革新的な選択肢となります。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>PFAS (一般式)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SF₄化合物(一般式)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SF₅化合物(一般式)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>SF₅-アセチレン</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SF₄-アセチレン</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SF₅-フッ化ビニル</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SF₄-フッ化ビニル</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SF₅-ピリジン</p> </div> </div>

研究テーマ名	グリーン水素生成と電池発電を繰り返すヨウ化水素サイクル
研究者名	生命・応用化学類 川崎 晋司
概要	

カーボンニュートラル社会の実現に向けて太陽光などの自然エネルギーとともに水素ガスがクリーンエネルギーとして注目されています。しかし、現在商用化されている水素ガスのほとんどは天然ガスの主成分であるメタンを水蒸気改質法で分解して得られたものです。この分解過程で二酸化炭素を排出しており脱炭素ではなく、化石燃料を原料にしているから脱化石燃料にもなっていません。このような方法でつくられた水素ガスをグレー水素といいます。もちろん、グレー水素ではカーボンニュートラルに大きな貢献はできません。そこで期待されているのが再生可能エネルギーを使って水から水素をつくりだす方法です。この方法であれば二酸化炭素を排出することもなく、化石燃料を使うこともありません。この手法で得られた水素ガスをグリーン水素といいます。グリーン水素はまさにクリーンエネルギー源です。また、太陽光などの再生可能エネルギーは貯蔵することが一般に困難ですが、グリーン水素の形で再生可能エネルギーを貯蔵しているとも考えることもできます。

このグリーン水素の製造方法として光触媒による水素生成が期待されています。しかし、水素生成の対となる酸化反応として水からの酸素生成を考えると大きなバンドギャップの光触媒が必要となり太陽光の有効利用が難しくなります（図1）。これに対して酸素生成の代わりにヨウ化物イオンからのヨウ素の生成を水素生成の対反応とするとバンドギャップの小さい光触媒を利用することが可能となります（図1）。結果として太陽光エネルギーの有効利用が可能となり、水素の生成効率が高くなることが期待されます。

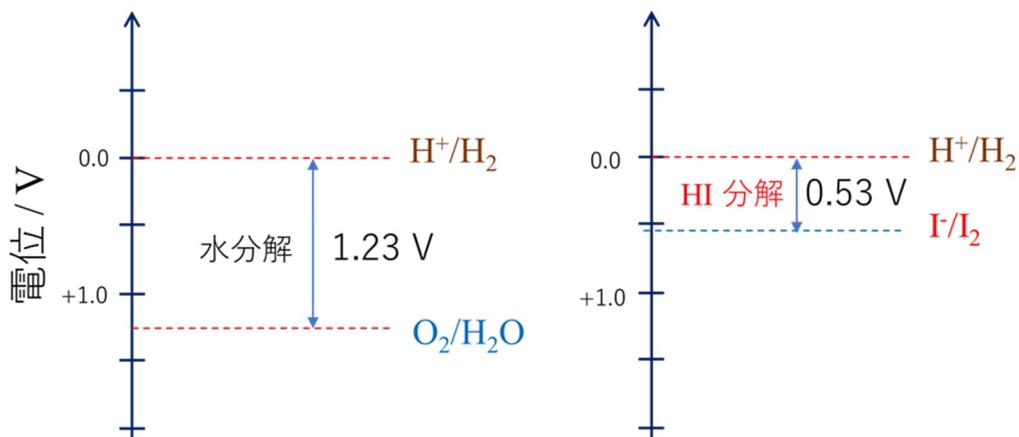


図1 水素生成の対反応として（左）酸素、（右）ヨウ素の生成を考えた時に光触媒に要求される最低エネルギーギャップ。

しかし、水素生成の対となる酸化反応としてヨウ素の反応を利用することに対して2つの問題が生じます。ヨウ化物イオンの逐次投入が必要なことが1つ目の問題です。もう一つの問題

はヨウ素の反応を利用するとポリヨウ化物イオン I_3^- が生成し溶液が茶色に呈色してしまうことです。このような呈色が起こると光触媒の光吸収が阻害され水素生成量が低下してしまうことが問題となります。この2つの問題を単層カーボンナノチューブ（SWCNT）を使って解決しようというのが本研究のねらいです。

2つめの問題であるポリヨウ化物イオン I_3^- の生成による溶液の着色については溶液中に SWCNT を入れると SWCNT が I_3^- からヨウ素分子 I_2 を引きはがしてチューブ内に取り込むことにより溶液が透明になることで解決できます（図2）。このとき副産物としてヨウ素を内包した SWCNT が生成しますが、これを亜鉛金属と組み合わせると電池として発電できます。この電池を発電するとヨウ化水素（HI）利用に関わるもう一つの課題を解決することができます。もう一つの課題というのはヨウ化物イオンを逐次投入しなければ水素生成の対反応としてヨウ素の反応を使い続けることができないという問題でした。しかし、上記した電池発電を行うと SWCNT に取り込まれていたヨウ素分子 I_2 がヨウ化物イオン I^- となって電解液中に溶けだし、系中にヨウ化物イオンを戻すことができ再び水素生成を行うことが可能となります（図2）。

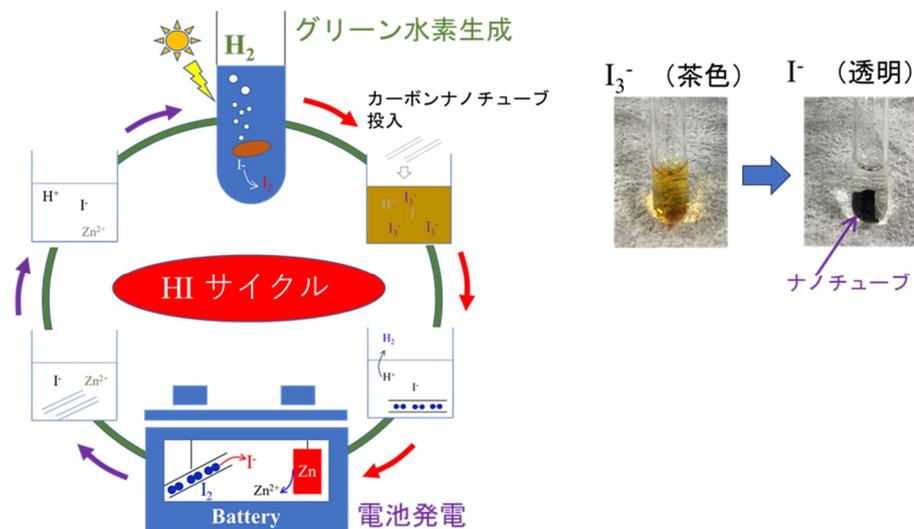


図2 光水素生成と電池発電を繰り返すヨウ化水素（HI）サイクル。

図2に示したヨウ化水素（HI）サイクルが動作すること、さまざまな光触媒が利用可能であることを確認して論文発表しています。[1,2] 一方で、どのような光触媒がHIサイクルに最も適しているのか、SWCNTはどのような直径・長さのものがよいのかといった最適化については今後の課題であると考え、現在これに取り組んでいます。

[1] Y. Ishii, M. Umakoshi, K. Kobayashi, R. Kato, A. Al-zubaidi, S. Kawasaki, Phys. Status Solidi RRL, 2300236 (2023).

[2] 加藤瑠菜, 石井陽祐, 川崎晋司, クリーンエネルギー, 2 (2024).

研究テーマ名	溶剤フリーで常温流通可能な環境配慮型の高耐熱性接着シートを開発
研究者名	生命・応用化学類 林 幹大
概要	

本研究では、東洋紡株式会社および東洋紡エムシー株式会社との共同研究を介して、電子材料の接着剤用途向けに、“ビトリマー（Vitrimer（※1））”と呼ばれる新しい架橋（※2）樹脂を応用することで、溶剤フリーで常温流通（輸送・保管）を可能にした環境配慮型のポリエステル系高耐熱性接着シートを開発しました（図1）。“ビトリマー”とは、樹脂の構造の一部に「結合交換性動的共有結合（※3）」を持つ新しい架橋樹脂で、ビトリマーの最大の特徴は、ポリマー間の架橋状態を維持しながら高強度を達成しつつ、熱可塑性樹脂（※4）のように圧力や熱などに応答して軟化するという点にあります。林助教は、蓄積してきた基礎研究・機能開拓に関する知見を基に、本コンセプトの実用を目指すため、東洋紡株式会社との共同研究を2019年より開始し、2021年1月にNEDO（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）の「官民による若手研究者発掘支援事業（JPNP20004）」に採択され、無溶剤シート型接着剤の開発に本格的に着手しました。本開発品では、林助教の結合交換型架橋樹脂（ビトリマー）の基礎技術を、東洋紡グループが長年培ってきた樹脂の設計・重合というコア技術と組み合わせています。具体的には、電子材料向けの接着剤用途などで展開する共重合ポリエステル樹脂「バイロン®」にビトリマー特有の結合交換部位を導入することに成功し、常温流通可能な無溶剤シート型接着剤の開発に至りました。



図1. ビトリマーの結合交換を利用した固体接着シート

フレキシブルプリント基板などで電子部品の接着に用いる高耐熱接着シートは、データ通信の高速化、自動車の電装・電動化やデジタルトランスフォーメーション（DX）の進展などを背景とした電子部品の搭載点数の増加や回路の高集積化に伴い、ますます需要が拡大しています。近年、環境負荷低減のため、溶剤を含まない熱硬化型の接着シートの使用要請が高まっていますが、常温で硬化するのを避けるために冷蔵での保管や輸送が必要となるほか、接着シートを貼り合わせた後の被着体との固定に、一定時間の加熱を伴う熱架橋処理を要するなどの課題がありました（図2）。また、従来品として溶剤を含まない半硬化型の接着シートもありますが、この場合でも、常温環境下で徐々に架橋が進行し硬化してしまうため、輸送や保管の際に冷蔵による低温環境の維持や、完全な架橋構造を得るための加工工程において一定時間の加熱処理（※5）を必要とします。これに対し、ビトリマーを応用した本接着シートは製造時点で既に架橋反応が完了しているため、常温環境下で架橋による硬化が進むことはありません。短時間

の加熱・加圧処理を行うだけで寸法を保持したまま電子材料を接着できるため、長時間の熱架橋処理も不要です。シート状で溶剤を含まないことから VOC（揮発性有機化合物）の削減に寄与するとともに、熱架橋工程を省けることで生産工程の短縮や省エネルギー化にも貢献します。今後も高機能な架橋樹脂“ビトリマー”を応用した製品の研究・開発に注力し、環境配慮型製品の提供を通じて持続可能な社会の実現に貢献できるよう努めていきます。

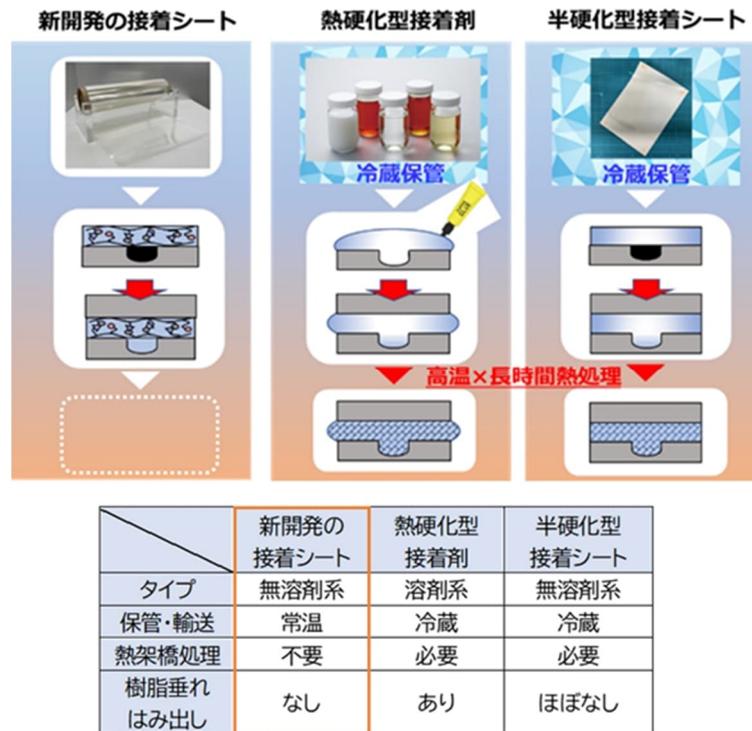


図 2. 従来の接着技術と比較した本開発の長所.

(※1) Vitrimer

「Vitrimer」は FONDS ESPCI PARIS の登録商標です。

(※2) 架橋

物理的、化学的な刺激によってポリマー同士の性質を変化させ結合させる反応。架橋反応により 3 次元網目構造となり、強度・耐熱性が向上します。

(※3) 結合交換性動的共有結合

共有結合のうち、熱や光などの外部刺激により交換反応が起きる結合種のこと。分子網目構造中に導入すると、刺激により架橋点の組み換えが生じ、分子運動性が増加します。

(※4) 熱可塑性樹脂

高温で軟化・流動する性質を有する樹脂のこと。加熱により成形でき、再び冷やすことで固くなります。

(※5) 一定時間の加熱処理

一般的な架橋のための熱処理には、150℃で 4 時間程度必要とされています。

研究テーマ名	ラックカイガラムシからの新規バイオマテリアル開発 ～皆さんも食べたことのある天然樹脂セラックから再生医療にも 利用可能な細胞培養材料開発に成功～
研究者名	生命・応用化学類 水野 稔久
概要	

2030年までに達成すべき世界共通の目標として17種類の持続可能な開発目標（SDGs）が定められていますが、安価で省エネルギーにより生産、入手可能な天然樹脂の有効活用は、様々な目標達成への貢献が期待されます。例えば医療分野においては、「細胞接着性・増殖性」と「生体適合性」、「生体吸収性」などを同時に備え、かつ十分な力学強度を持った樹脂性バイオマテリアルが、特に再生医療分野で利用される医用材料（すなわちスキャッフオールド治療）におけるベース樹脂として、あるいは今後市場規模の大きな拡大の期待される細胞治療における細胞治療薬・細胞シートなどの大量調製のための要素技術として高い興味を持たれています。さらに現在そこまで議論はないものの、細胞治療薬の特定幹部へのリリースを可能とする細胞デリバリー材としても、今後高いニーズが期待されており、その場合には、光などの外部刺激により、細胞接着性や生体吸収速度が制御できることも望ましいです。天然樹脂由来の上記目的に合致したバイオマテリアル開発といえば、コラーゲンやゼラチン、キトサンやヒアルロン酸、また最近であれば蚕やクモ由来のシルクフィブロイン、トウモロコシ由来のゼインなどを用いた検討が主になされておりますが、材料特性の異なる新たな天然樹脂由来のバイオマテリアルの登場は、目的用途に応じた利用用途を広げる意味から非常に興味深いところです。



図1 本研究でベース材料として用いた天然樹脂セラックとは

（熱帯地方に住むラックカイガラムシが産生する樹脂状物質であり、チョコレート菓子や医薬品などのタブレットにコートされ利用されています。可食性の天然樹脂として薬事法の認可もされるほど生体安全性の保証された素材であったものの、細胞接着性のバイオマテリアルとしての応用研究・製品開発は、意外なことに世界的にも全くなされておりました）

一方でラックカイガラムシが産生する天然樹脂セラックは、チョコレート菓子や医薬品錠剤に対する表面コート材として、すでに産業利用されており、非常に身近な生体適合性の高い天然樹脂です(図1)。しかし哺乳類の細胞に対して全く接着性を持たないため、意外なことに、世界的にも細胞接着性を持ったバイオマテリアルとしての開発や検討は全くなされておりました。

しかし我々の検討により、わずかな化学修飾を導入することによって、セラックに哺乳類細胞に対する接着性付与が可能と世界で初めて明らかとし、セラックのバイオマテリアルとしての新たな産業用途の開拓に成功しました。ヒトなどの哺乳類の細胞は、血球系細胞のような浮遊細胞と、表皮細胞や筋細胞、神経細胞などの接着細胞に大別されますが、接着細胞の増殖には、何某かの培養基材への接着が必須であり、セラックに細胞接着性が付与されることで、これを元にした細胞培養材料の開発が可能となりました。またこの化学修飾を、光により切断可能なものに置き換えることで、光照射により細胞接着性を失わせることが可能な、セラックベースの細胞培養材料開発にも成功しました(図2, 3)。

現在はこれらのセラック製品の性能改良に取り組むとともに、SDGsにも貢献可能な産業シーズとしての社会実装を目指し、企業との共同研究も含めた研究展開に取り組んでおります。

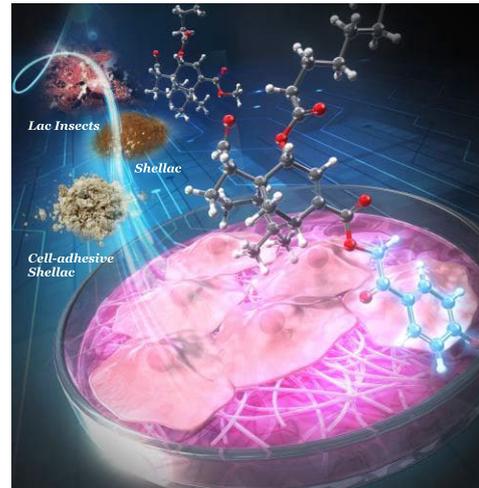


図2 セラックからの光応答性細胞培養材料の開発(水色にハイライトされた一部分の化学構造が光により切断されることで、細胞接着性が失われます)

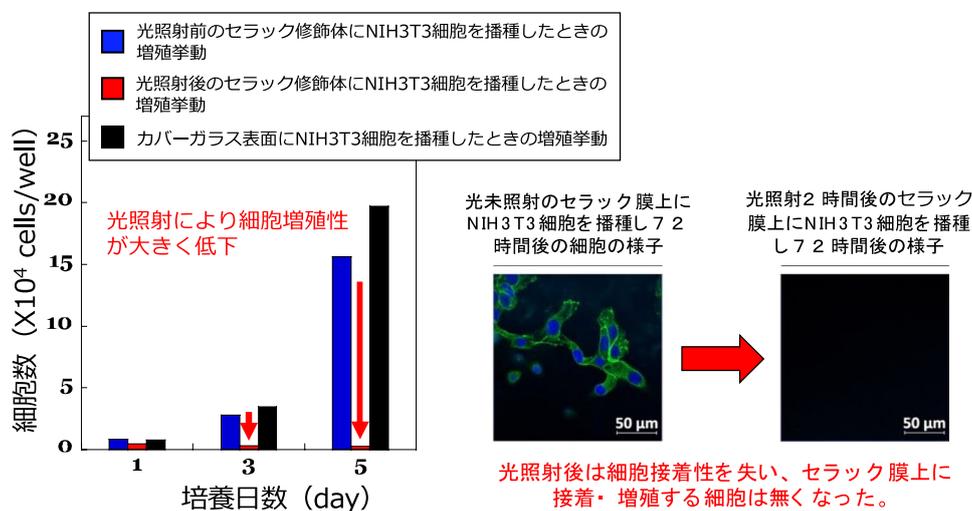


図3 光応答性細胞培養材料であるセラックのスピコート膜に NIH3T3 細胞を播種したときの細胞増殖挙動の評価。光照射をしていないセラックに、NIH3T3 細胞を播種したときには、ポジティブコントロールとなるカバーガラスに NIH3T3 細胞を播種したときと同様に、良好な細胞増殖が見られました。一方で、光照射(340 nm を2時間)後のセラックでは、全く細胞増殖性が得られなくなりました。