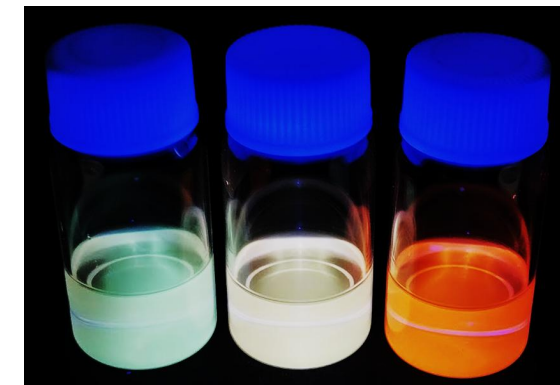
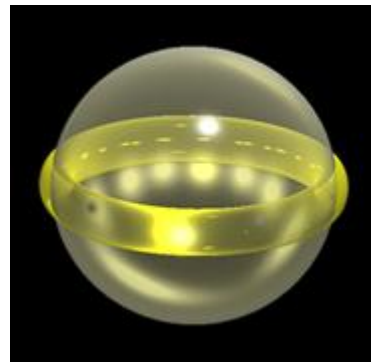
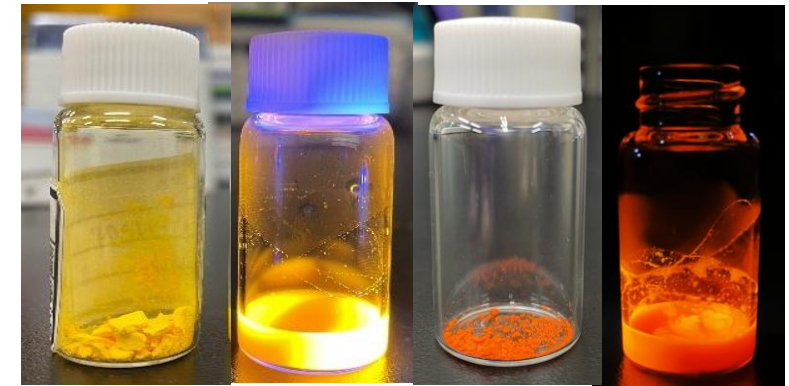
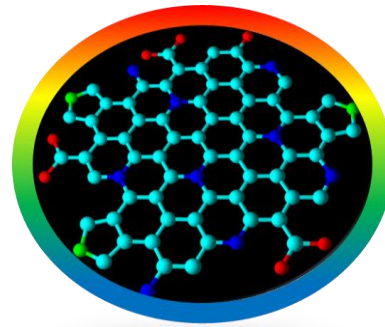


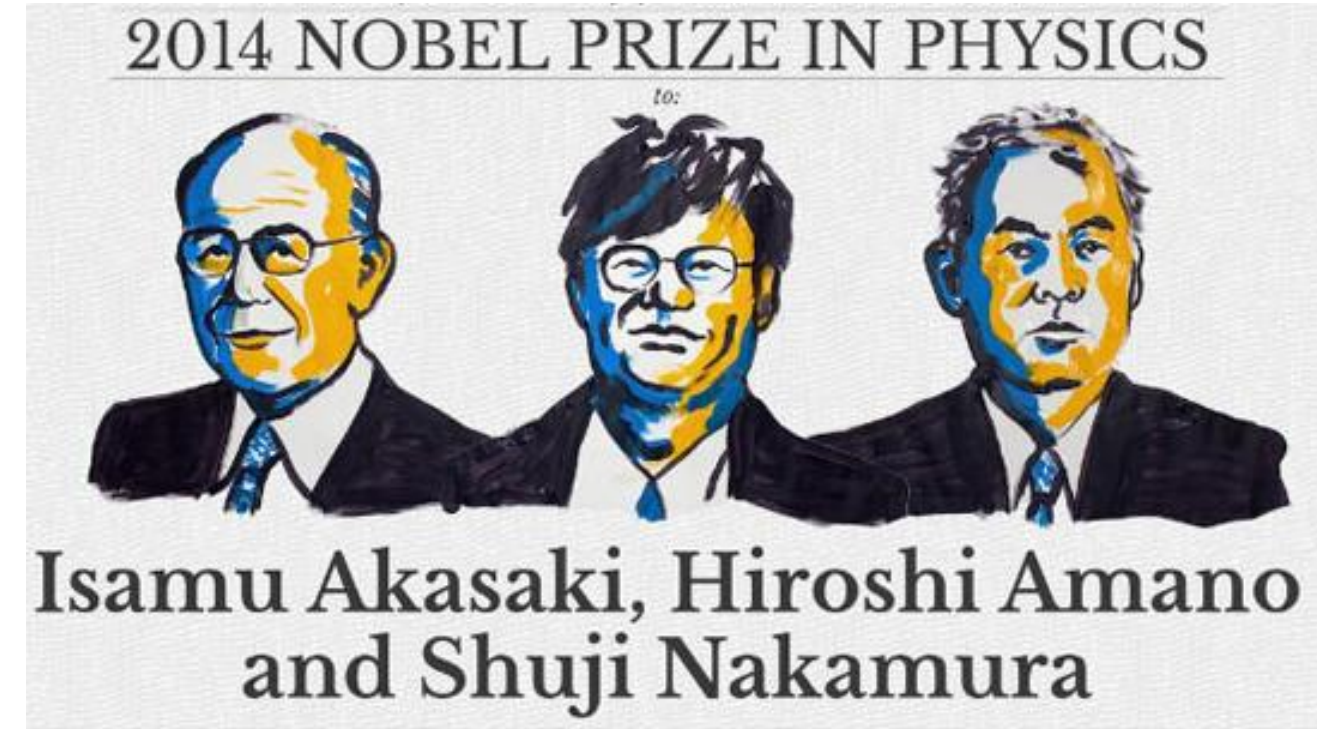
バイオマスを主原料として活用できる 多色蛍光材料

物質・材料研究機構 ナノアーキテクトニクス材料研究センター
ナノ光制御グループ グループリーダー 長尾 忠昭



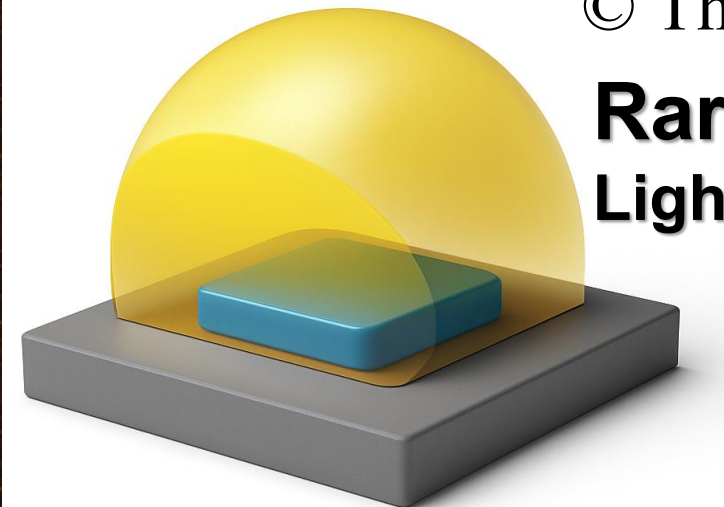
2025年7月31日

背景および動機



© The Nobel Foundation

**Rare Earth Free
Light Conversion Layer**



Blue/UV LED

背景および動機

Periodic Table of the Elements																		18
1 1IA 11A																2 VIIIA 8A		
1 H Hydrogen 1.0079	2 He Helium 4.00260																	
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218															10 Ne Neon 20.1797		
11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A		
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80	
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29	
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [208.9824]	85 At Astatine 209.9871	86 Rn Radon 222.0176	
87 Fr Francium 223.0197	88 Ra Radium 226.0254	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Uuq Ununquadium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Uuh Ununhexium [298]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown	
		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967		
		89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0796	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.0951	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.1009	103 Lr Lawrencium [262]		
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetals	Nonmetals	Halogens	Noble Gas	Lanthanides	Actinides							



量子ドット:
CdS, CdTe, PbS etc.

高価 & 有害なミネラル



従来技術とその問題点

既に実用化されている蛍光材料や染料には石油化学系分子材料や希少金属元素を含むものが多いため、

- ・ 原料が高価で毒性のリスクがあり
- ・ 特にレアアースには地政学的な調達リスクがあり
- ・ 環境にかかる負荷の高い合成プロセスが必要

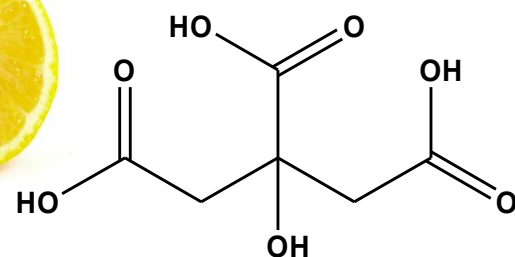
等の問題があり、SDG s に合う材料の開発が急務である。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 現行の蛍光体と異なり、国内調達できる材料のみで合成でき、地政学的調達リスクのあるレアアースなどを使用しない。
- 環境負荷の高い金属原料、石油化学系原料は用いず、合成化学的手法や高温炉も使用せずに合成が可能
- バイオマスを主原料とし、一回の加熱合成でバリエーション豊かな発色と蛍光を示す固体材料が合成出来る。
- 本技術は、200℃以下で合成するため、高温炉や特殊な化学反応ラインを必要することなく原料と製作コストが一桁程度削減されることが期待される。

食品を主原料とする発光材料

～安価で簡便な湿式合成法～



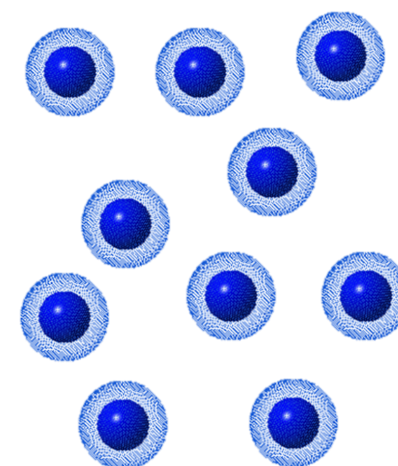
クエン酸

+



アミンやアミノ酸

水熱合成

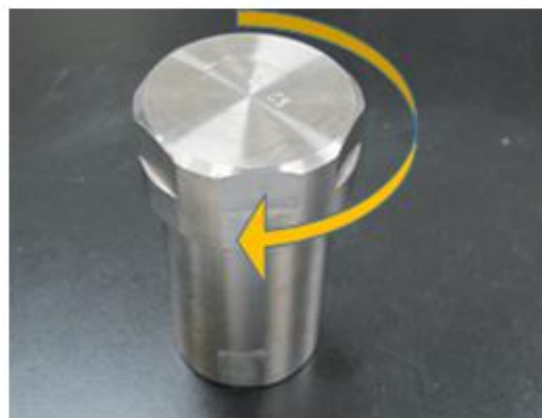
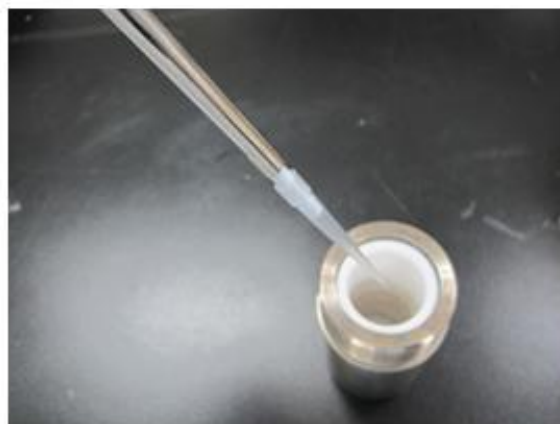
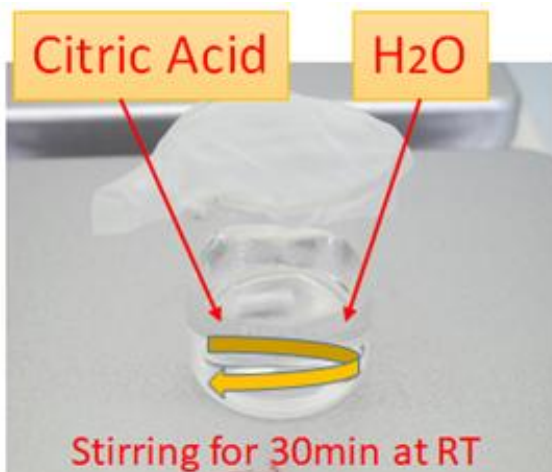


ナノカーボン

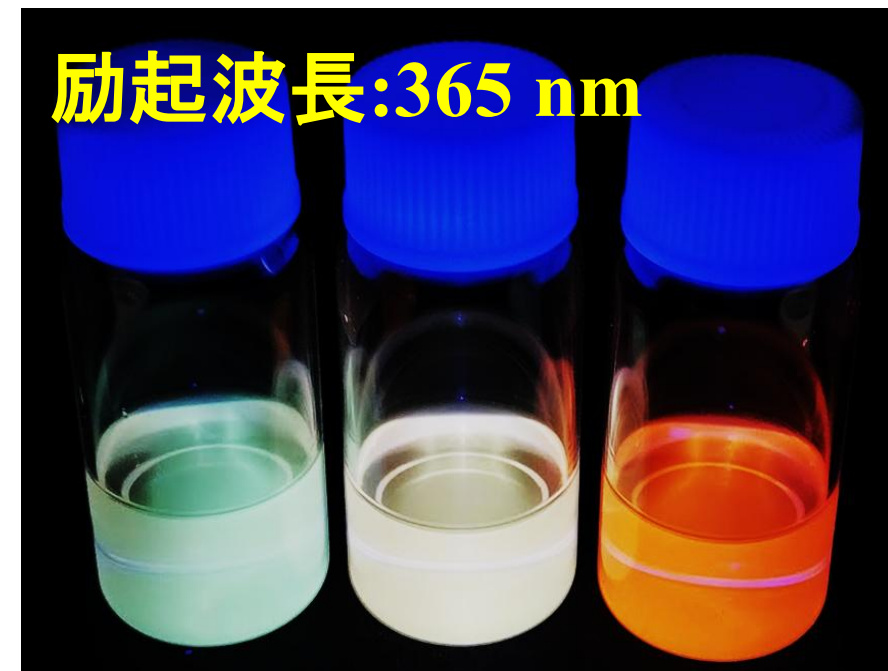
コロイド溶液
1.5g/1L



水熱合成の様子

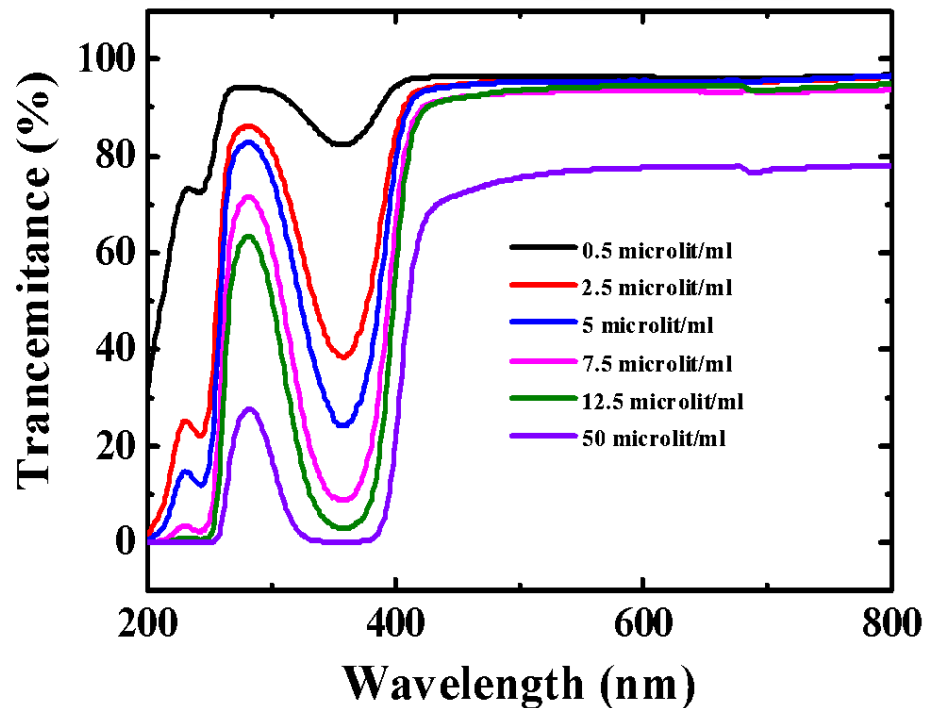


励起波長:365 nm

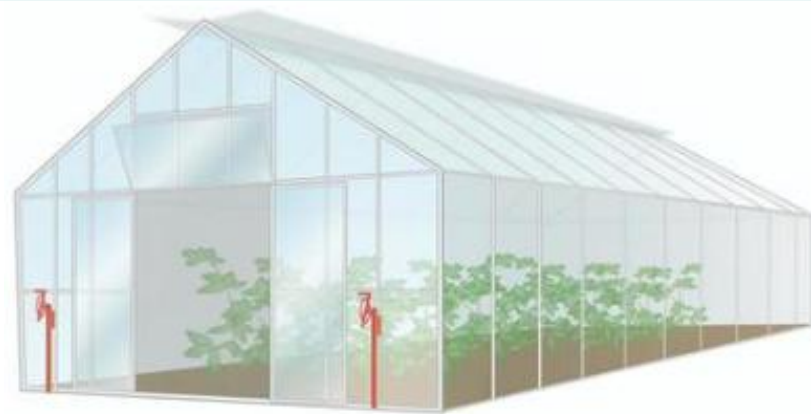


材料 I : PVAへ練り込んで、紫外線防御材料として使用可能

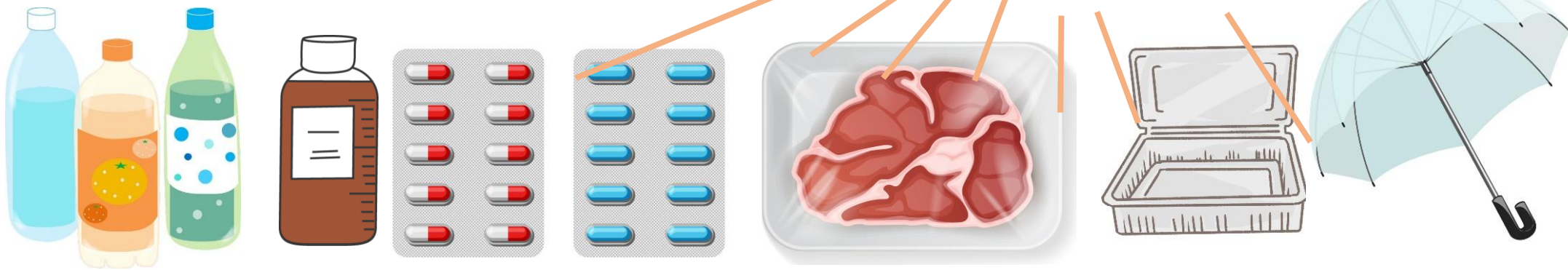
紫外光吸収、可視光透過



ビニルハウス(紫外光を吸収し青色育成波長へ変換)



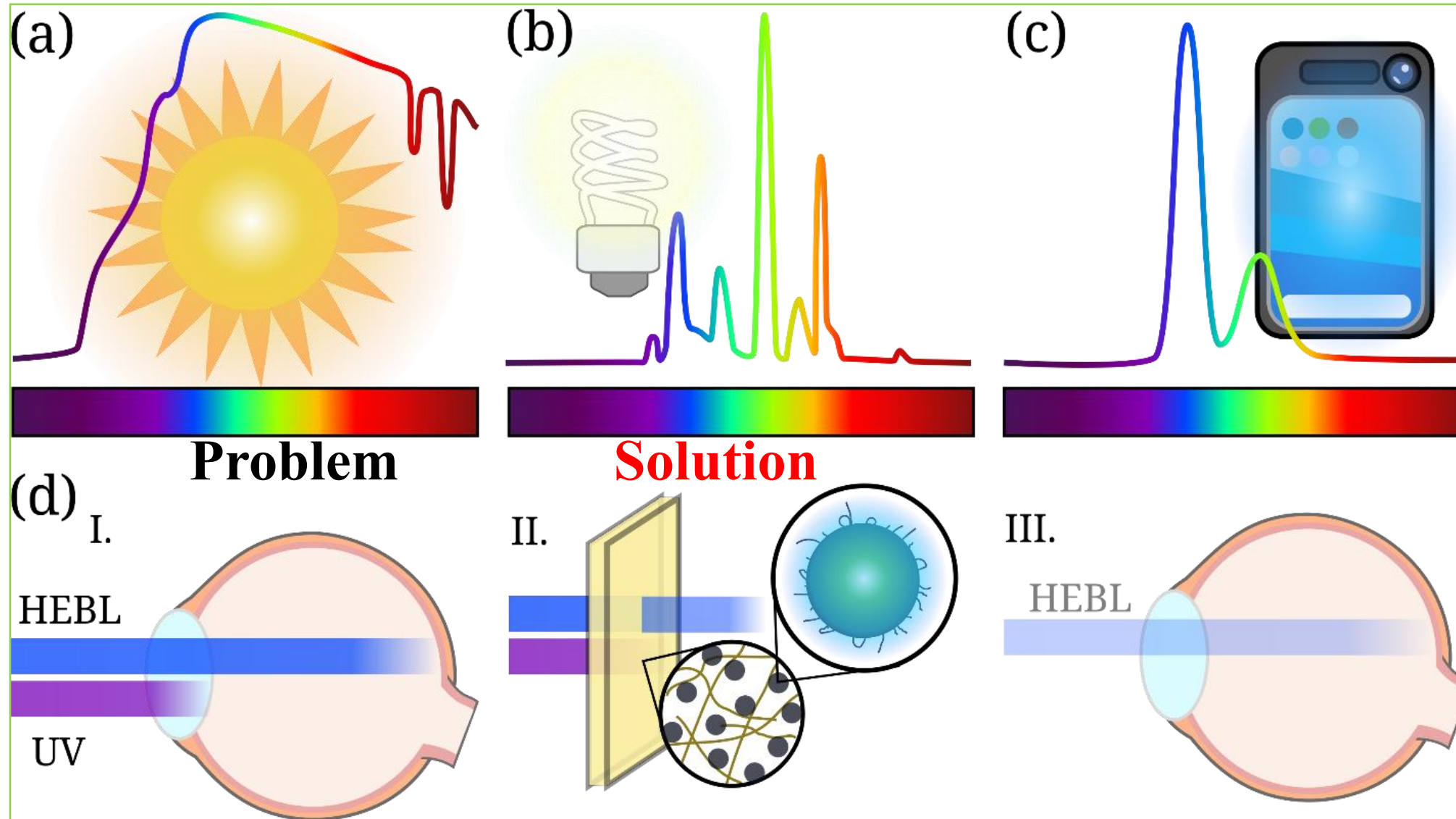
食品トレイ、飲料ボトル、薬品容器、透明日傘(紫外光カット、紫外光劣化を防ぐ)



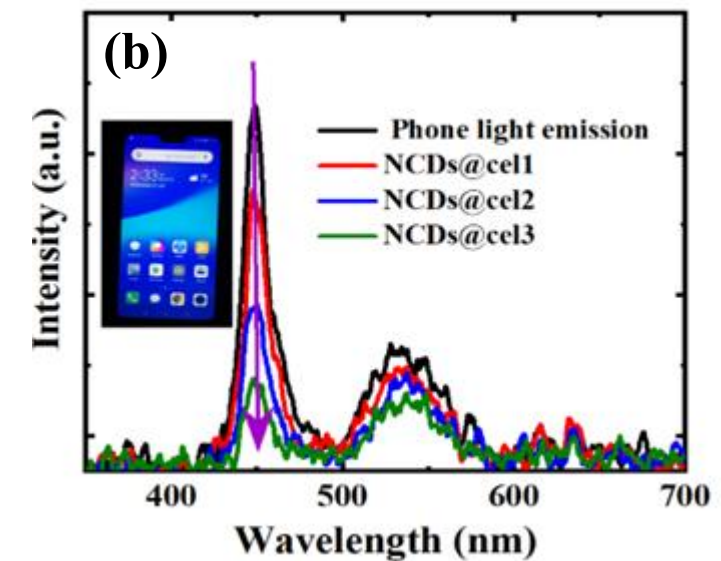
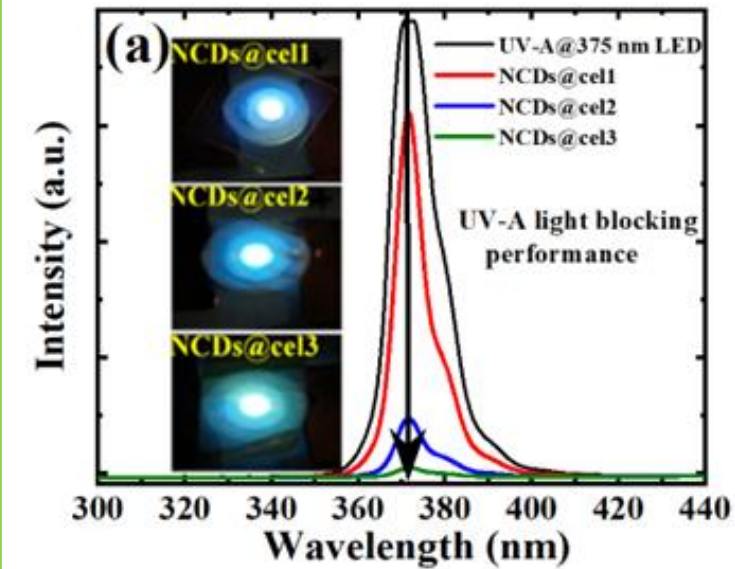
紫外光カット

紫外光カット

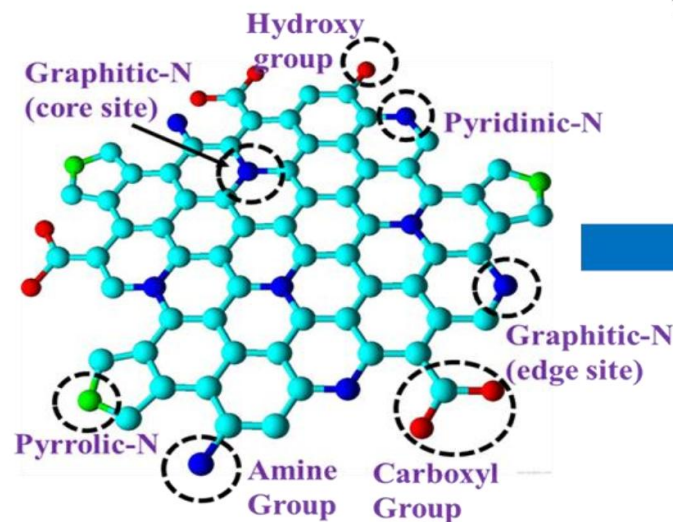
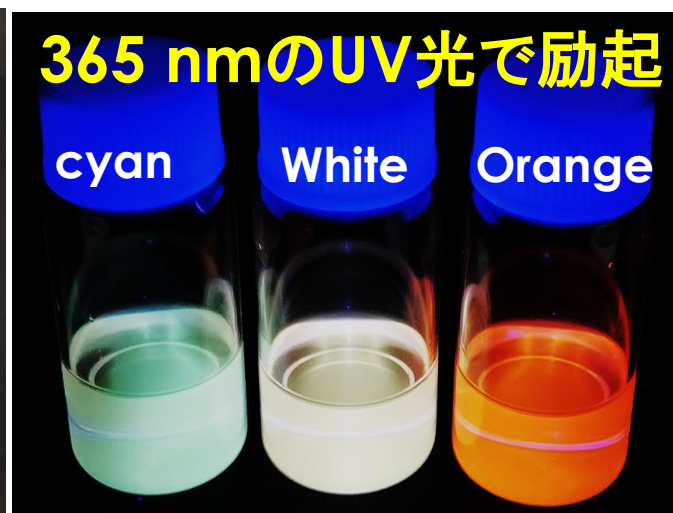
材料Ⅱ：セルロースと複合した紫外(UV-A)、短波長ブルーライト(HEBL)防御材料



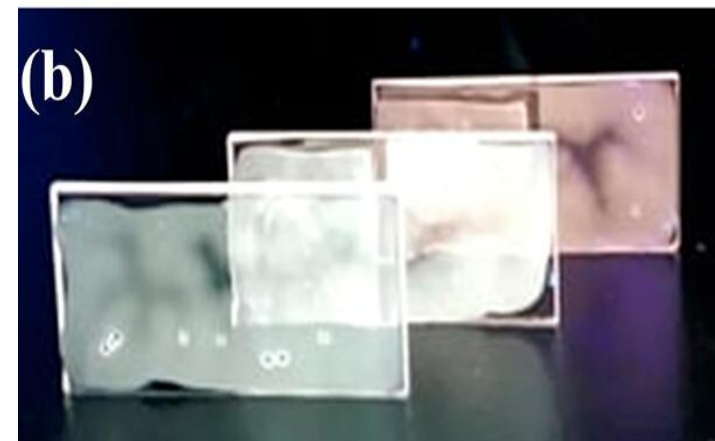
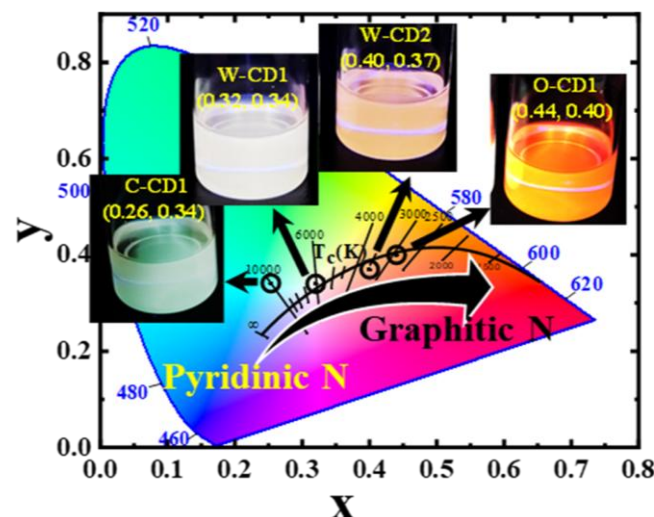
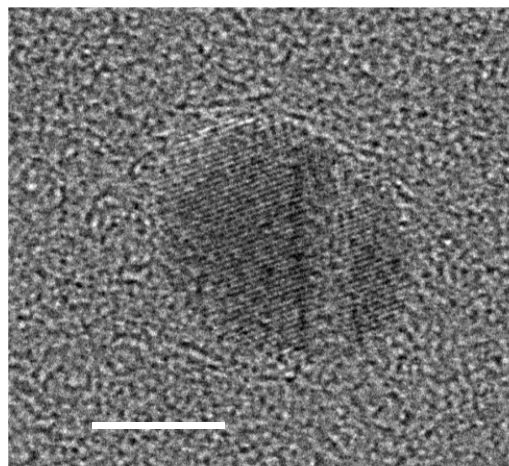
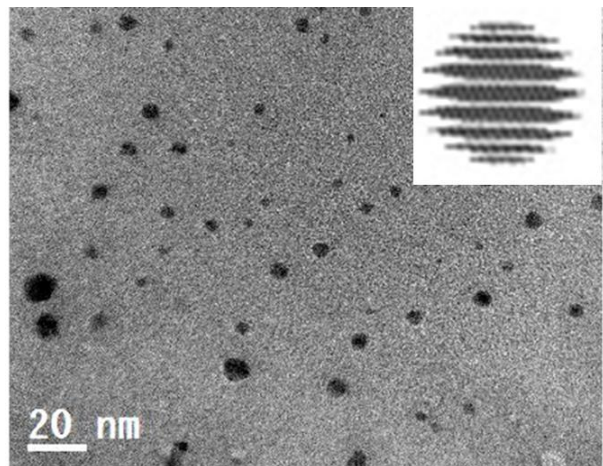
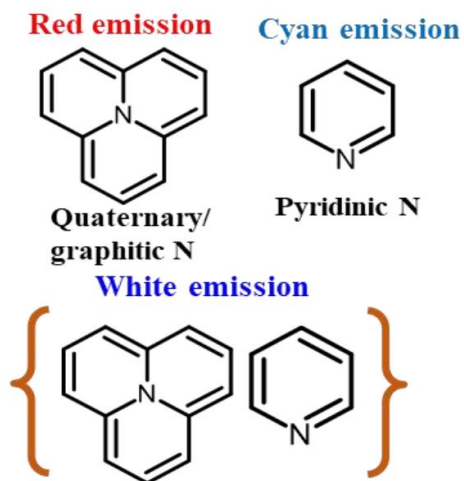
透明かつ耐久性あり



なぜ多色発光が可能なのか？ 窒素ドーパントの役割



The N doping sites & emission correlation



- 窒素ドーパントのサイトの比率調整により単一の材料で白色光を放射する蛍光体を実現できる。
(複数色の光源や蛍光体を合わせる必要がない)
- 暖色から寒色系の白色発光を調整可能。黒体軌跡に近く、演色性が高い (CRI 92)発光が可能。

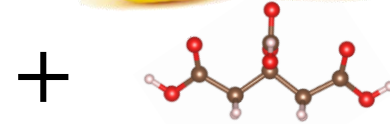
材料Ⅲ：食品を主原料とするマイクロビーズ

(a) 天然食品添加物

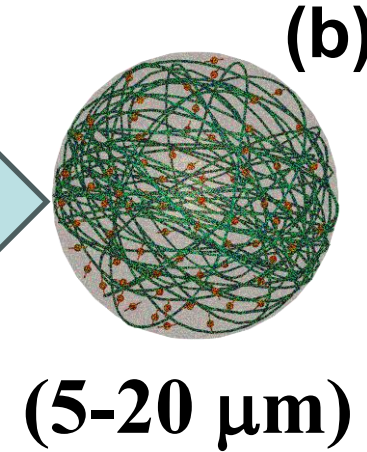
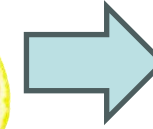


発酵によって得られる
天然由来のカチオン性高分子

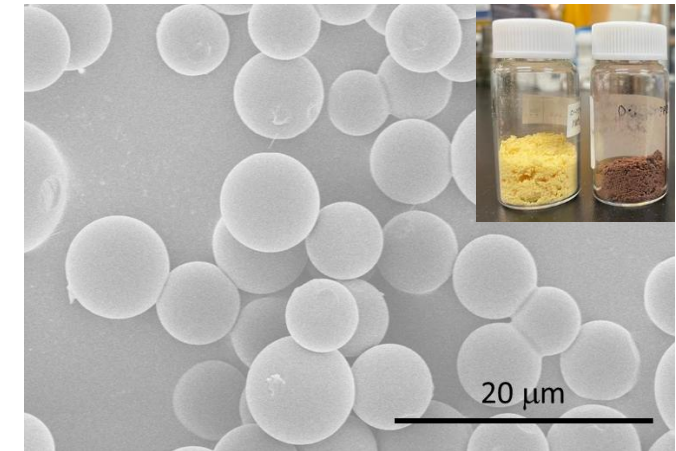
柑橘類



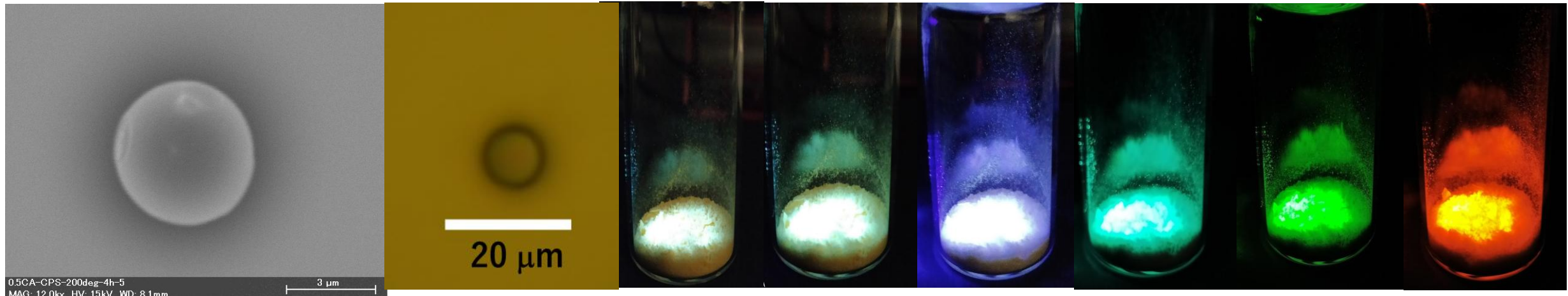
クエン酸



炭化ポリマーマイクロビーズ (CPM)

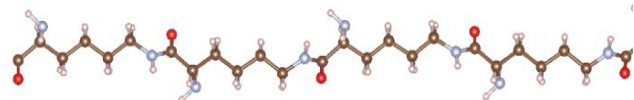


マイクロ球への光閉じ込めと、高い量子効率を示すマルチカラー発光



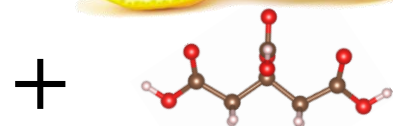
材料Ⅲ： 食品を主原料とするマイクロビーズ

(a) 天然食品添加物

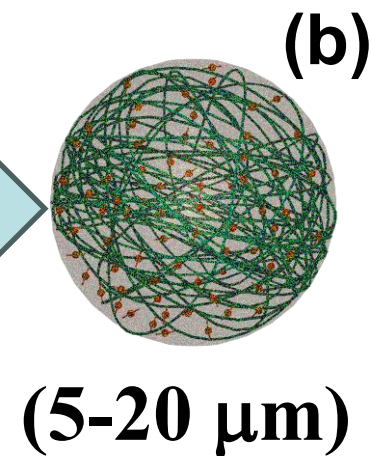
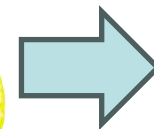


発酵によって得られる
天然由来のカチオン性高分子

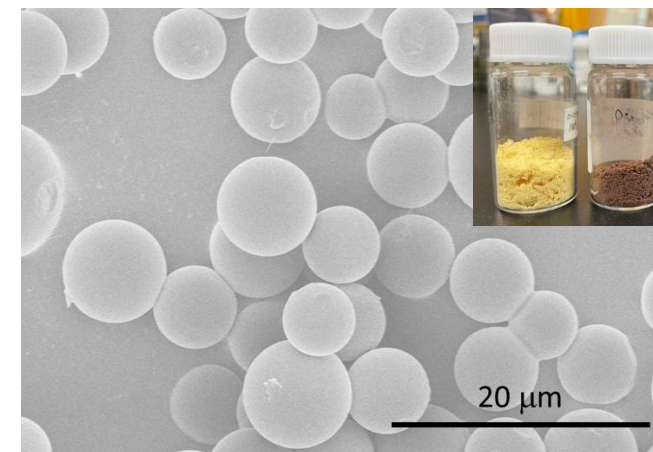
柑橘類



クエン酸



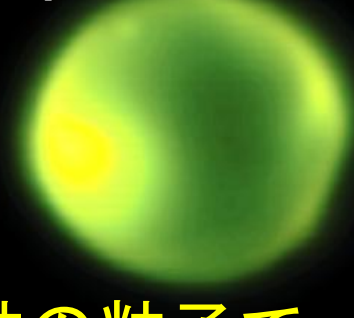
炭化ポリマーマイクロビーズ (CPM)



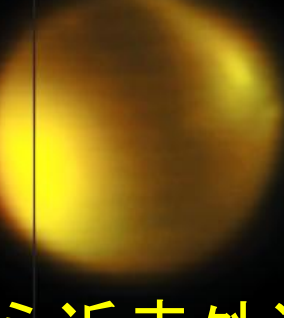
青



緑



黄



赤



近赤外



同じ一粒の粒子で、可視から近赤外波長の光を放射できる！

Excitation Wavelength λ_{ex} : 355 nm

λ_{ex} : 470 nm

λ_{ex} : 525 nm

λ_{ex} : 570 nm

λ_{ex} : 785 nm

Emission Wavelength λ_{em} : 510 nm

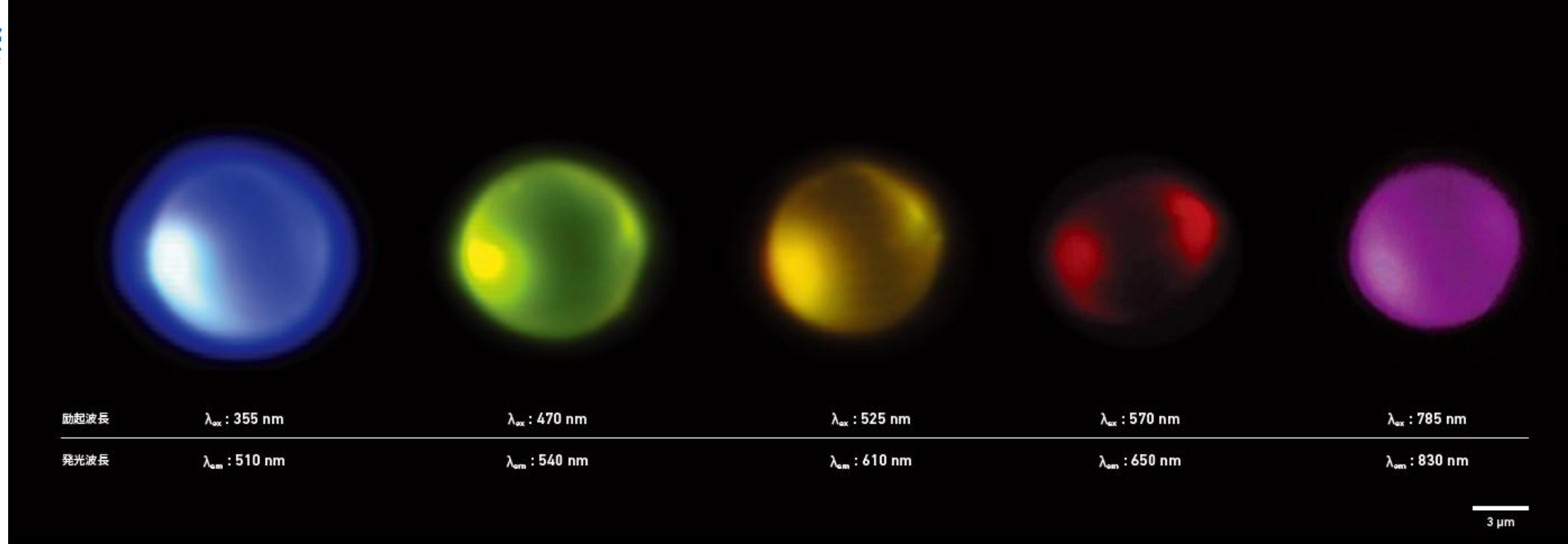
λ_{em} : 540 nm

λ_{em} : 610 nm

λ_{em} : 650 nm

λ_{em} : 830 nm

3 μm



PICK UP

01 可視光から近赤外まで 変幻自在の発光マイクロビーズ

闇を彩るカラフルな光——実はこれ、同一の粒子からの発光なんです。長尾忠昭博士とバルン・バルマン博士らが開発したマイクロメートルサイズの球「マイクロビーズ」は、照射する光（励起波長）を変えるだけで、発光色（発光波長）が可視光から近赤外光まで変幻自在。単一の物質でこれほど幅広い波長領域をカバーする発光材料は世界に類を見ません。

主原料は、天然由来のクエン酸やポリアミン酸。現在普及している発光素子に不可欠な希少金属を含まず、1回の加熱プロセスで合成可能です。また、環境負荷が少なく優れた発光特性をもつ材料の代表格であるグラフェン量子ドット（GQD）やカーボンドット（CD）と同様に、マイクロビーズはナノグラフェン構造によって光を生じますが、マイクロビーズならではの利点は乾燥固体にでき

ること。GQD や CD の場合、ナノグラフェンがひしめきあっているため、乾燥して凝集すると光を打ち消しあってしまいますが、マイクロビーズの場合、ビーズ中にナノグラフェンが適度な距離間で分散しているため、発光を維持できるのです。

また、マイクロビーズの発光原理は、ナノグラフェンから発生した光が球の表面に沿って複数の経路で周回し、それらの共鳴により光を放つというもの。これは「ささやきの回廊モード（WGM）」と呼ばれる現象で、ビーズの“個性”に応じて発光スペクトルの特徴が変化します（図）。そこで期待できるのが、識別タグとしての役割。偽造防止用インクやバイオマーカーなど、多彩な応用に期待がふくらみます。

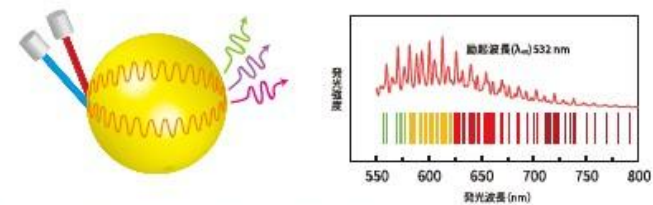


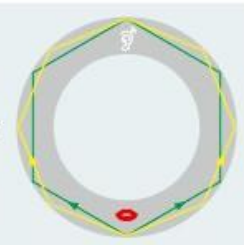
図 マイクロビーズの発光イメージ（左）と発光スペクトルの例（右）

長尾博士とバルマン博士らが開発したマイクロビーズは、照射する光（励起波長）に応じて発光色に変化する。発光スペクトルには、WGM 現象によりシャープな輝線が現れるが、ビーズの形状やサイズなどの偏性を反映してピーク的位置や間隔、強度などが変わる。そのため、バーコードになぞらえて（波長はバーの分布、強度はバーの太さ）、新しい認証技術としての使用が可能。

NOTE

ささやきの回廊モード（WGM）

ロンドンのセント・ポール大聖堂の中央ドームは直径約 34 m もの大空間であるにもかかわらず、壁の近くでひそみそ話をすると反対側にいる人に聞こえてしまうという現象が知られています。これは、円形ドームの壁に沿って形成された特別な音波伝搬モードに、ある振動数の音が共鳴し、遠くまで伝わる現象です。電磁線の波である光でも同様に WGM 現象が存在し、本材料でも球の表面に沿って光の波が伝わる WGM 現象が生じています。

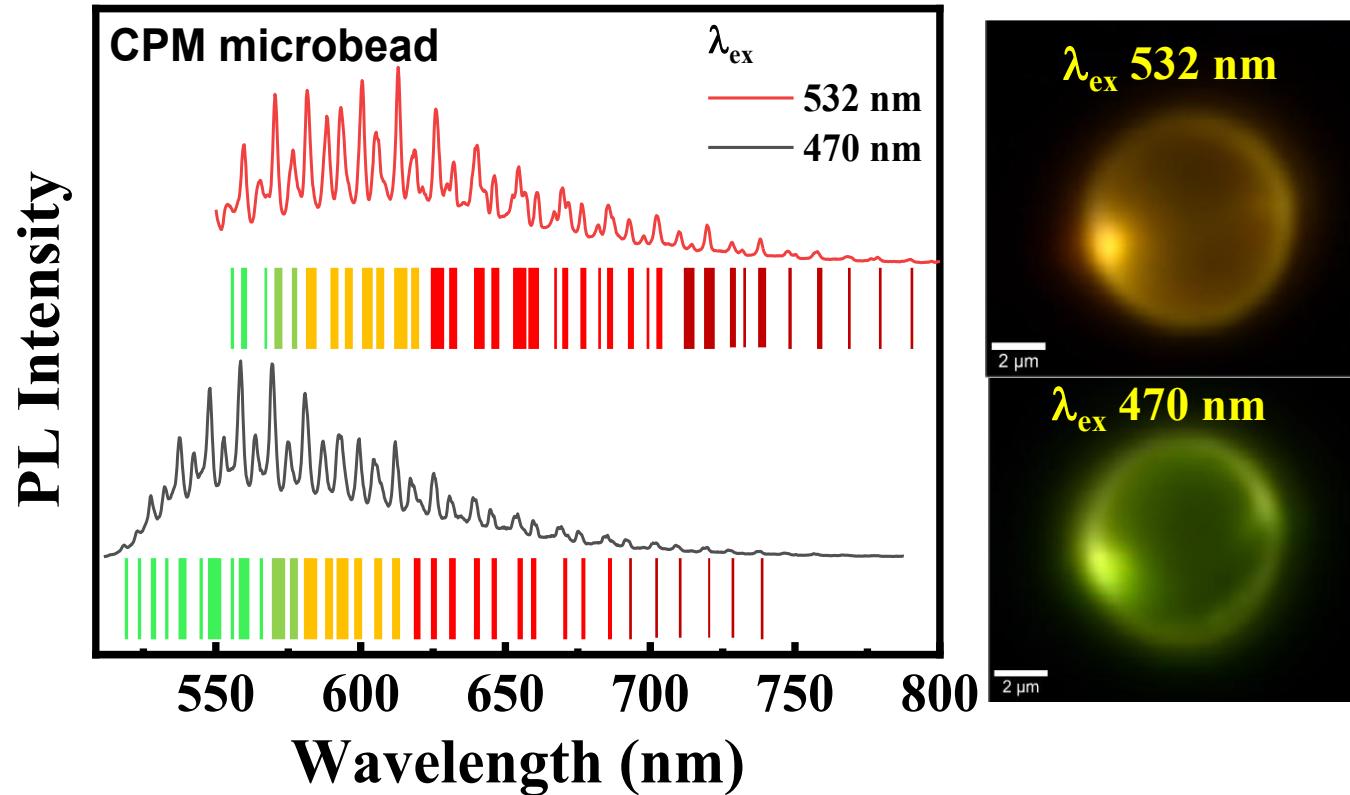
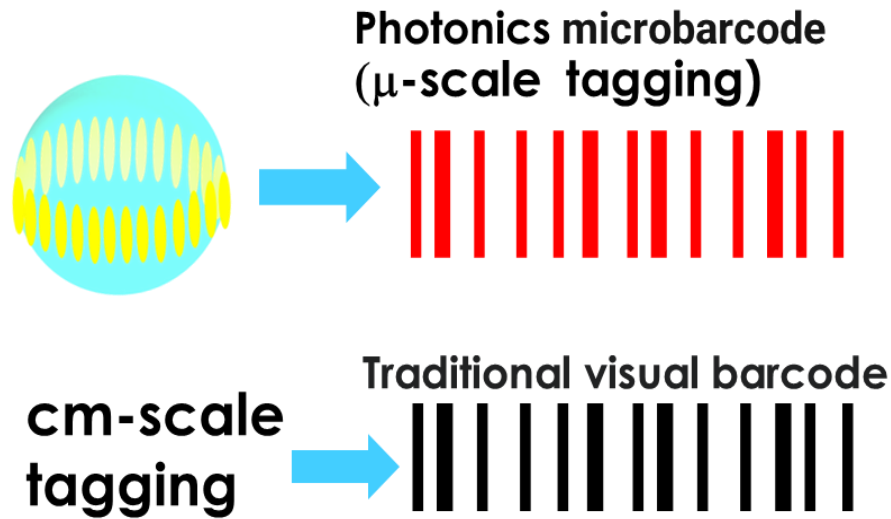


Title
可視光から近赤外まで発光が
様々に変化するマイクロビーズ
Date : 2024.6.12







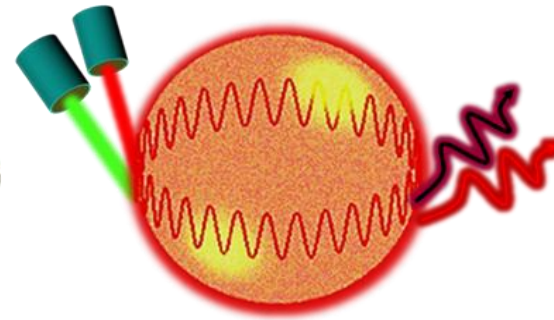


発光スペクトルのシャープな輝線をバーコードになぞらえて使用可能。
照射する光の波長によって、バーコードが変わる。⇒より高度なセキュリティ。

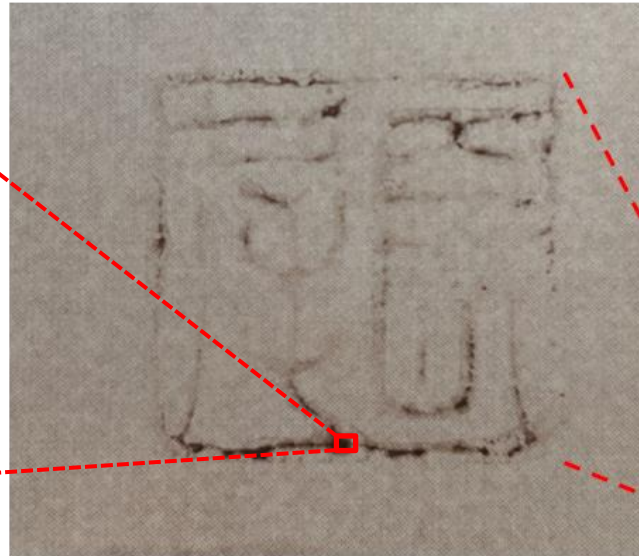
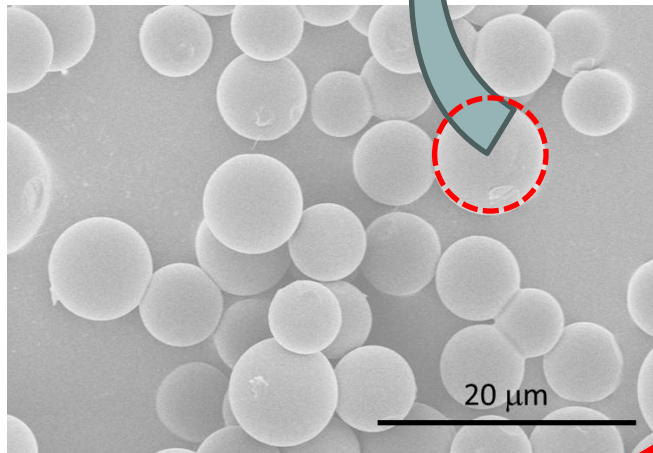
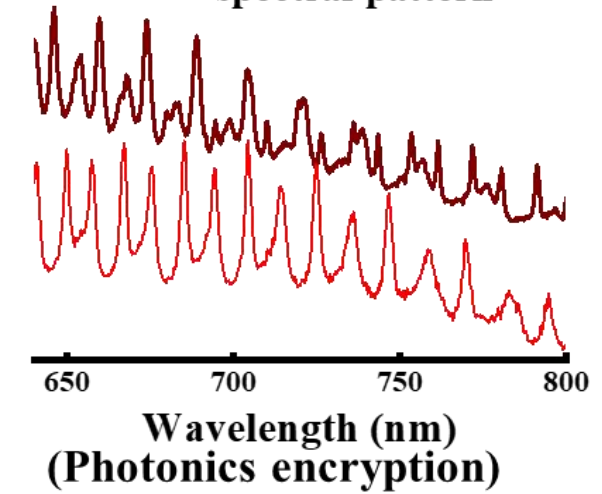
不可視かつ複製不可能なマイクロ認証技術

Carbonized polymer microsphere

Each of μ -sphere has different spectral pattern



VIS-NIR WGM emission
Individual μ -sphere identity



紹介した炭化ペプチドビーズ材料の応用展望

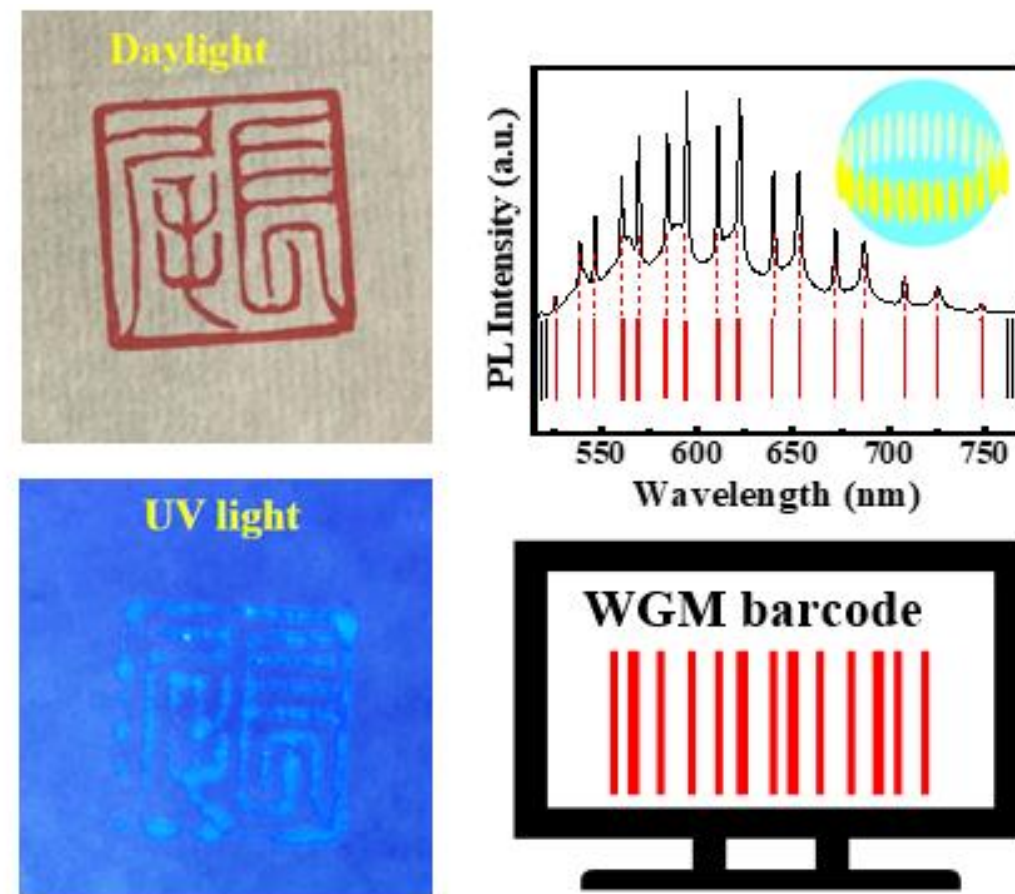
塗料、蛍光体



太陽反射、増白剤



偽造防止、光バーコードなど



UV光、ブルーライトカット材料

太陽熱防御、スマートウィンドウ

色度可変積層薄膜
レーザー

想定される用途

- 本材料の特徴的な呈色と発光を生かすためには、印刷、室内塗料、化粧品などに適用することで、高付加価値化やSDGs 貢献へのメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、紫外線防御材料や増白剤としてのニーズも期待される。
- また、特徴的な発光スペクトルに着目すると、塗料や蛍光体とともに、認証用発光インクや偽造防止技術に展開することも十分可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、蛍光材料として青色から近赤外までの発光材料が開発済み。可視光は40-90%の発光量子収率を示すが、近赤外はまだ数%であり改善の途上。
- 今後、色度や演色性について実験データを取得し、カラーバリエーションを増やし、材料や合成条件の探索と確立、そして整理を行っていく。
- 太陽光反射やUVカット、増白剤などの高性能化と実用化に向けて、技術を確立する。建材や宇宙機用の塗料としては耐久性や信頼性評価をJAXA様と行う予定。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・ナノグラフェン状の発光中心を含む蛍光マイクロビーズの光機能制御の指針が確立。（原料の配合と合成条件）	出来た材料の構造と光学機能の対応関係を明らかにし、出口に合わせて最適化する。
現在	・上の指針をもとに材料探索を進め、可視から近赤外の発光を実現（自然材料を用いた合成プロセスを確立し、多色発光が実現）	クエン酸と天然ポリアミノ酸を基軸とした合成法を見出し、発色と粒径の制御を実施
1年後	・塗料、インク、蛍光剤や増白剤の進展 ・多色インク、発光インク応用、増白剤、（インクによる印刷実現）	インク、塗料としてデモンストレーション実施 ：JSTやJAXA事業へ応募し企業との実用化研究資金を獲得
2年後	・演色性の高い材料、意匠性の高い印刷技術（性能、信頼性試験の実施） ・分光コード応用を実証（蛍光ビーズのスペクトル計測技術）	評価基礎データの提供 サンプル提供と評価が実現 分光コードの計測と認証技術の実証
3年後	・発色と蛍光の多色化と発光効率向上（PL測定、耐熱性、耐腐食性、生体試験の実施）	塗料、、インク、化粧品、認証技術の試験サービスの実現

企業への期待

- 色の種類や発光波長が増え、耐久性も向上しつつある。塗膜化や印刷技術のデモや必要な特性のリクエストをフィードバックいただくことで、改良し実用化へ進めることができると考えている。
- 太陽光発電や太陽光遮熱、UV防御、増白剤を開発中の企業、宇宙分野への展開を考えている企業にも、本材料技術の導入は有効と思われる。
- 認証や偽造防止のニーズを持つ企業との連携も可能。
- 認証技術として利用可能な小型分光計測器も開発したい。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、塗装や照明、透明な紫外フィルタ用コーティング、印刷産業に貢献できると考えている。
- 認証タグや偽造防止分野の新製品創出で貢献の可能性
- 本技術は環境調和性が高く持続可能な技術であるため、我が国の企業のSDGsに貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等で協力可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 組成物, その製造法, および、その用途
- 特許番号 : 特許第6854022号
- 出願人 : 物質・材料研究機構
- 発明者 : 長尾 忠昭、ナンダ カルナ カル

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 蛍光体、その製造法、および、それを用いた発光装置
- 出願番号 : 特願2022-057828
- 出願人 : 物質・材料研究機構
- 発明者 : 長尾 忠昭、バルマン クマール バレン、
岡野 佳子

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 波長変換素子、および、それを用いた発光装置
- 出願番号 : 特願2022-100756
- 出願人 : 物質・材料研究機構
- 発明者 : 長尾 忠昭、バルマン クマール バレン、エルナンデス ピニャ ダビード

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 多重分光コード生成用発光材料、
多重分光コード生成方法及び
多重分光コード生成装置
- 出願番号 : 特願2025-039833
- 出願人 : 物質・材料研究機構
- 発明者 : 長尾 忠昭、バルマン バレン クマール

産学連携の経歴

- 2013年-2019年 JST－CREST事業に採択
- 2019年-2023年 計測システムメーカーと共同研究実施
- 2018年-2022年 化学メーカー1社と共同研究実施
- 2019年-2023年 計測装置部品メーカーに試料貸与契約
- 2025年- 材料メーカー2社と試料貸与契約

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構
外部連携部門 企業連携室

企業様向けお問い合わせフォーム
(スマホ対応)



<https://www.nims.go.jp/contact/collaboration.html>