

多元系炭素（マルチナリーカーボン）の開発

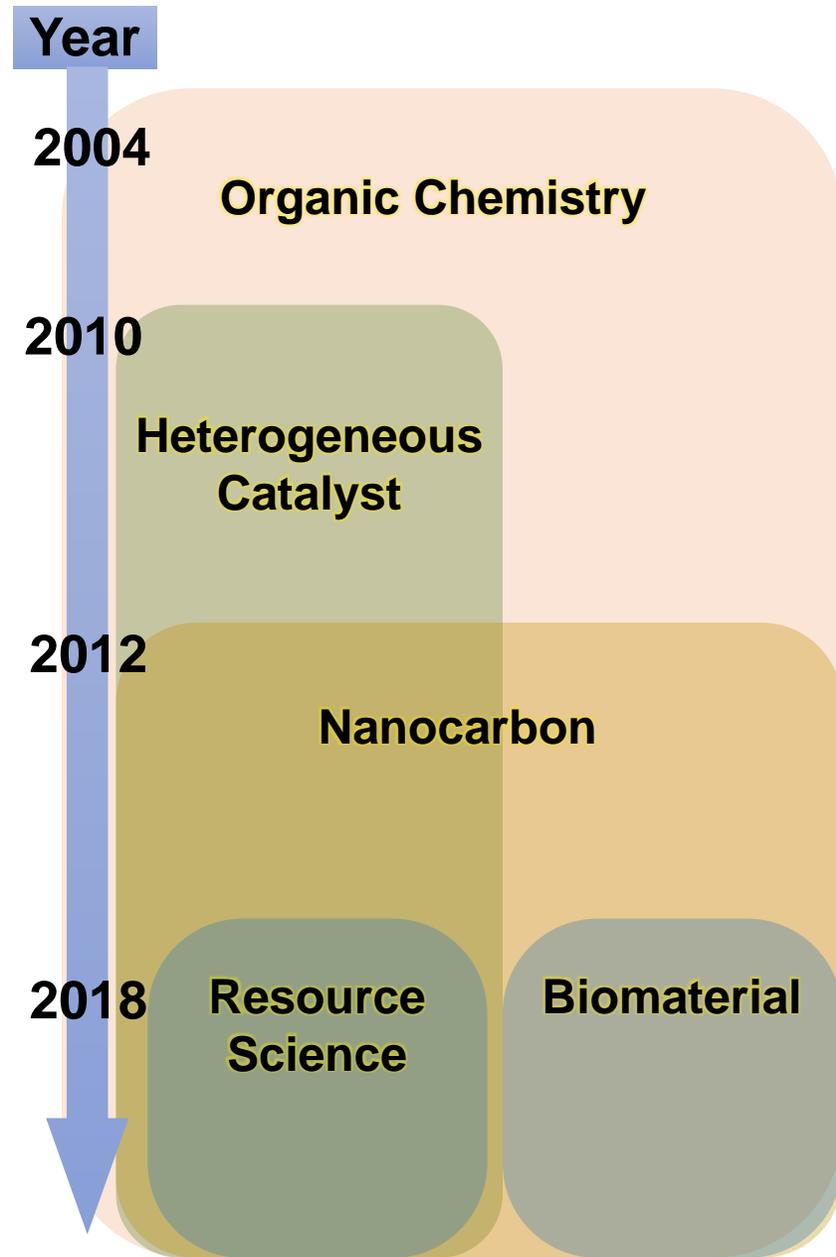
岡山大学 異分野基礎科学研究所

仁科 勇太

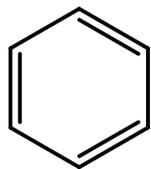
略歴



- 1984年 岡山県生まれ
- 2010年3月 岡山大学 博士（工学）取得
【学位論文：有機金属錯体の合成と有機合成への応用】
- 2010年4月 岡山大学 異分野融合先端研究コア 特任助教
【テニュアトラック，独立研究室】
- 2011年1月 フロリダ州立大学 客員研究員 兼任（～2011年2月）
- 2011年12月 南洋理工大学 客員教授 兼任（～2012年1月）
- 2012年11月 NiSiNa materials 代表取締役 兼任（～現在）
- 2013年10月 JSTさきがけ研究員 兼任（～2017年3月）
- 2014年4月 岡山大学 異分野融合先端研究コア 准教授
- 2017年4月 大阪大学産業科学研究所 招聘准教授，招聘教授 兼任
- 2018年10月 岡山大学 異分野融合先端研究コア 研究教授
- 2024年4月 岡山大学 異分野基礎科学研究所 教授
- 2025年1月 信州大学 アクア・リジェネレーション機構 特任教授



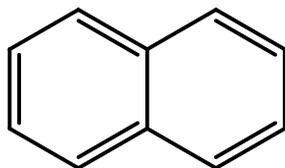
転換期：2012年 分子の価格のルール発見



ベンゼン

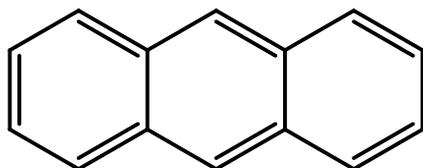
1gの価格

<¥1



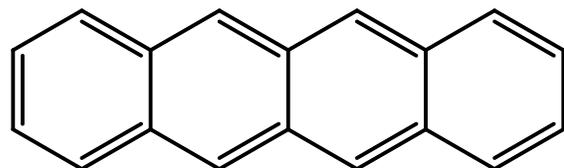
ナフタレン

¥5



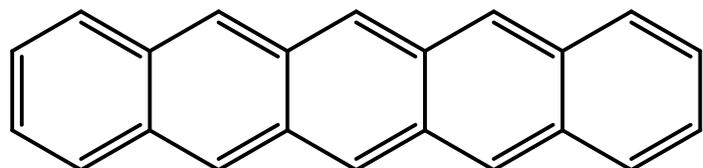
アントラセン

¥60



テトラセン

¥25,000

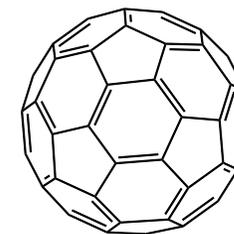


ペンタセン

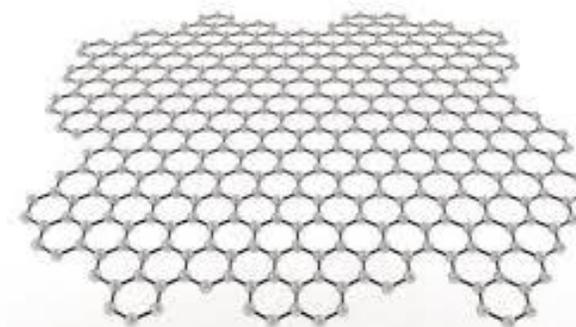
¥28,000



カーボンナノチューブ
>¥100,000



フラーレン
¥35,000

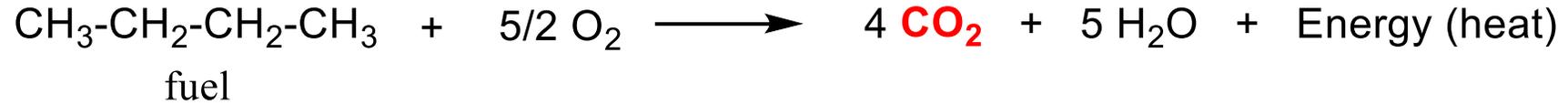


グラフェン
>¥100,000,000

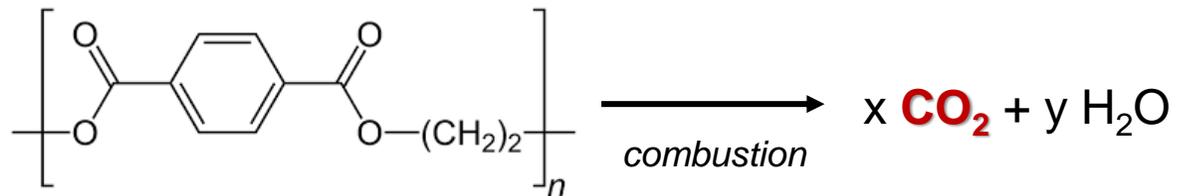
化学の視点でカーボンの研究をしてみよう!

あらゆる有機物はCO₂の発生源になる

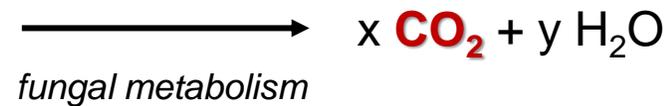
燃料の燃焼、火力発電



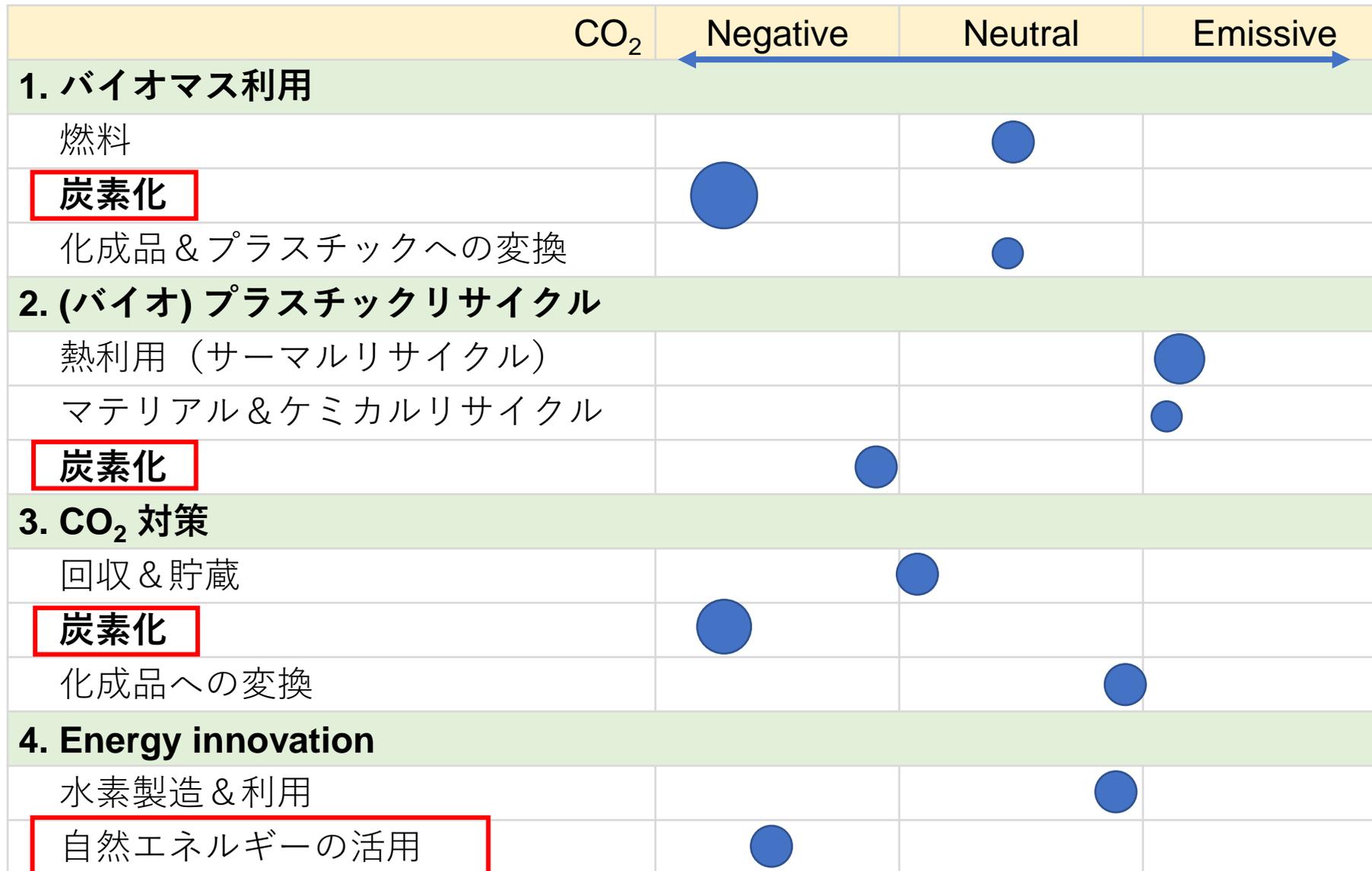
廃プラスチックの焼却



生物・植物の分解・腐敗



CO2発生を抑制する技術



CO2発生を抑制する技術

Organic materials + Oxygen → CO₂

気体（大気中に拡散）
温暖化効果
安定



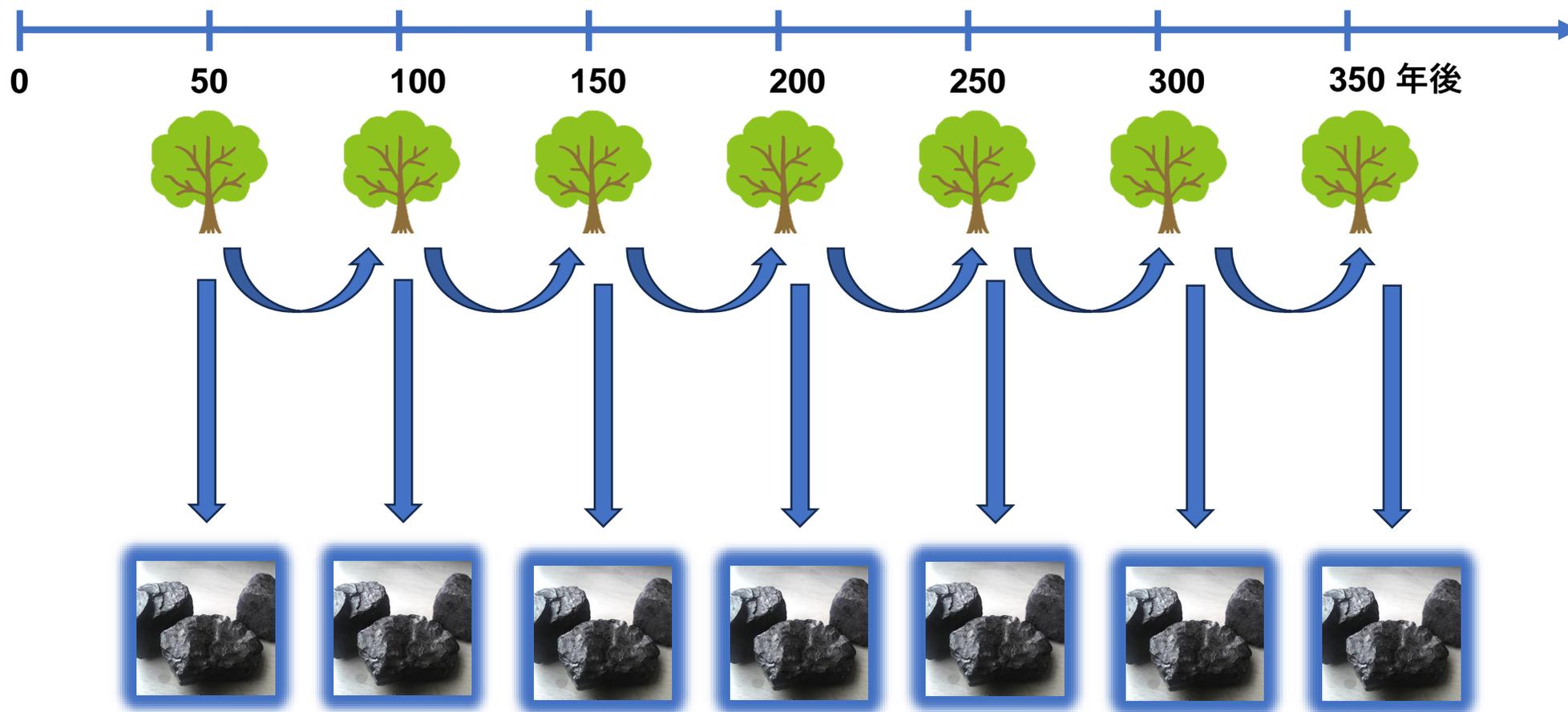
Organic materials →

C



固体（固定化）
多機能（無限の同素体が存在）
安定

CO2発生を抑制する技術



炭素として固定化することで、真のCO2削減へ。

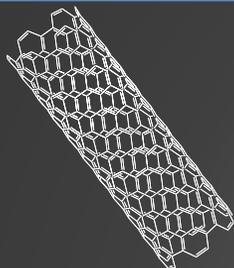
カーボンの定義と研究の対象

0次元材料



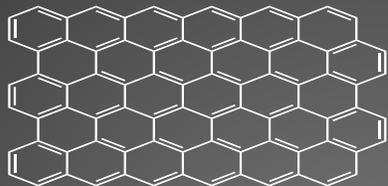
フラーレン

1次元材料



カーボン
ナノチューブ

2次元材料

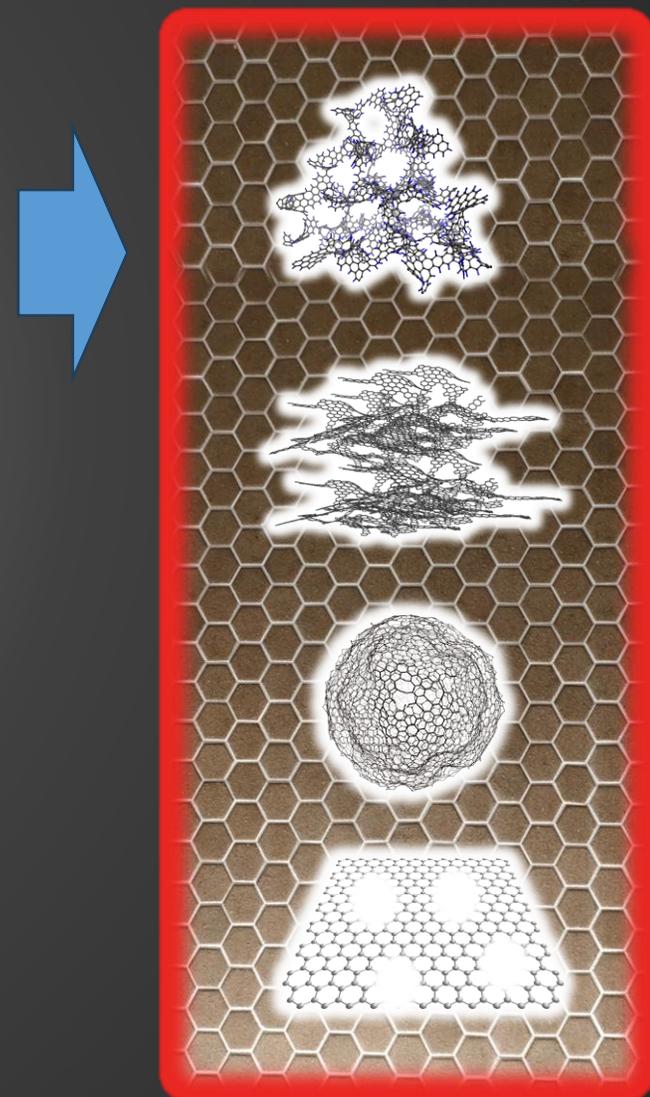


グラフェン

3次元材料

活性炭
炭素繊維
カーボンブラック
黒鉛
ダイヤモンド

従来の定義に留まらない
“マルチナリーカーボン”
(多元系炭素材料)



金属の代替となる可能性を秘めている

順位	導電率 (S/m)		表面積 (m ² /g)		強度 (ヤング率 GPa)	
1	グラフェン	7.5 × 10 ⁷	グラフェン	2,630	グラフェン	1,500
2	Ag	6.1 × 10 ⁷	活性炭	1,000	ダイヤモンド	1,200
3	Au	4.5 × 10 ⁷	ゼオライト	500	カーボン ナノチューブ	1,000

カーボン資源について

【課題】 偏在する資源“カーボン”：国内での創製および循環プロセスが未確立



【解決策】
未利用有機物から
“カーボン”を創製

↓

- ・カーボンの国産資源化
- ・カーボン使用量の増大
- ・炭素循環プロセスの確立

CO₂削減に貢献する研究

① カーボンブラックを代替する炭素材料の開発

CREST

② バイオマスの炭素化

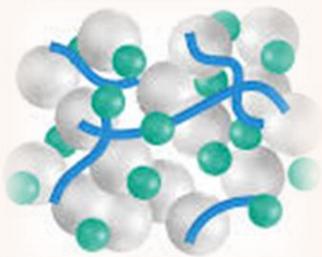


High temp.
Microwave
Catalyst



Crystalline carbon

導電助剤



潤滑添加剤



③ 有機物の炭素化



Catalytic
carbonization



Carbon

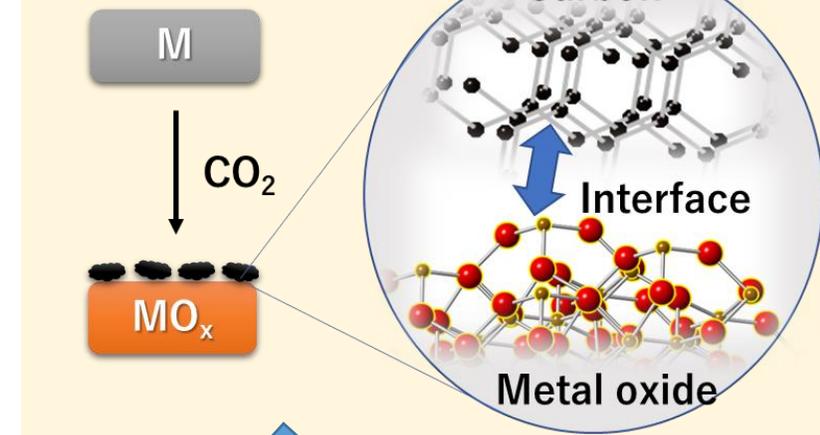
エネルギー貯蔵



科研費
KAKENHI

NEDO

④ CO₂の炭素化



建材

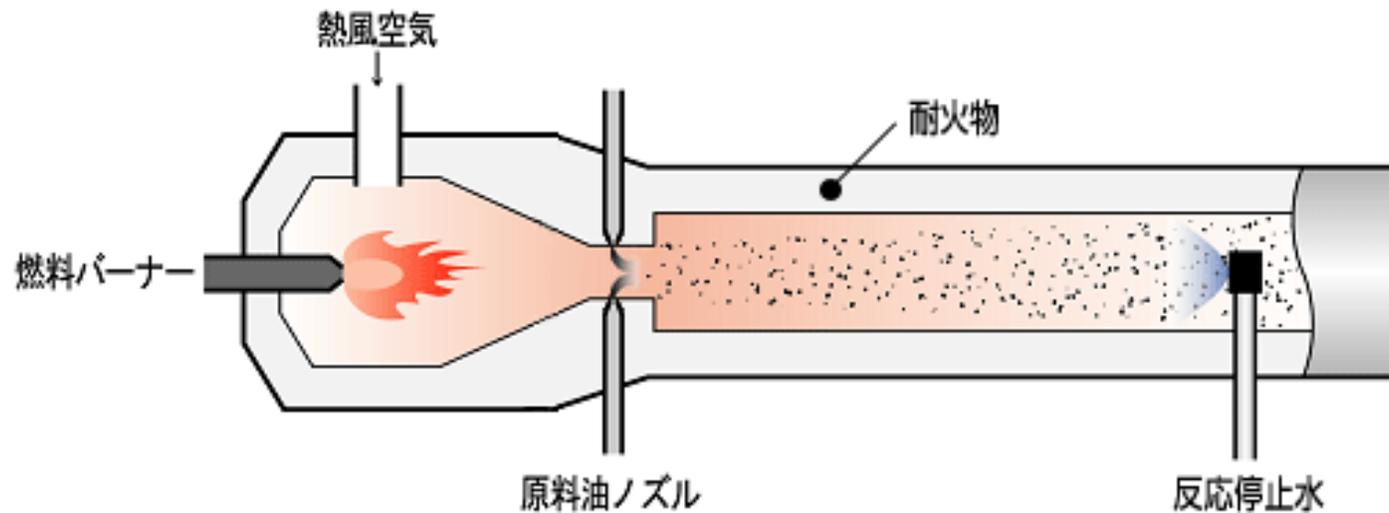


水・土壌環境浄化



① カーボンブラックを代替する炭素材料の開発

カーボンブラックの製法とその課題



燃料油は反応炉で完全燃焼させ高温の燃焼ガスを作り、そこへ原材料油を導入し不完全燃焼させることでカーボンブラックが作られる（60万t/年）。

カーボンブラック1 t あたり、2.06 t のCO₂を排出。

排出ガスには、CO・CO₂・CH₄ の合計濃度21.5wt%が含まれる。

CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業

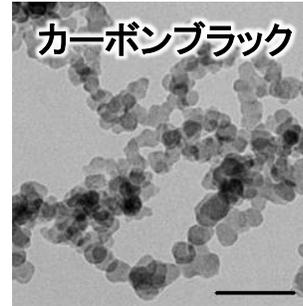
グラフェンの合成技術開発とエネルギーデバイスへの応用によるCO₂削減への貢献
(2017-2019年度)

事業概要

【技術開発の概要・目的】

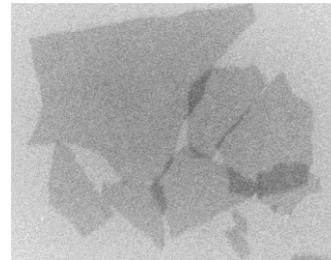
・カーボンブラックをグラフェンに代替

⇒CO₂排出削減 > 100万トン



・グラフェンの社会実装(電気自動車)

⇒CO₂削減 > 600万トン



グラフェン



電気自動車の普及によるCO₂削減を目指す

本事業の対象



リチウムイオン電池



ゴム添加剤



潤滑添加剤

【技術開発の目標】

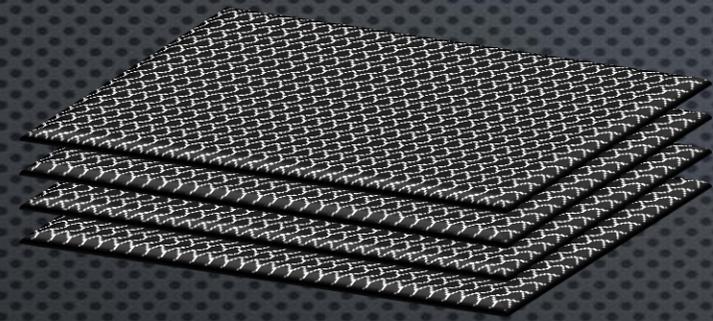
・グラフェンの年間**生産5万トン**が可能なプロセス開発(カーボンブラック:年間60万トン)

・リチウムイオン電池:容量を**黒鉛の2倍(700 mAh/g)**

・潤滑添加剤:**摩擦係数0.07以下**

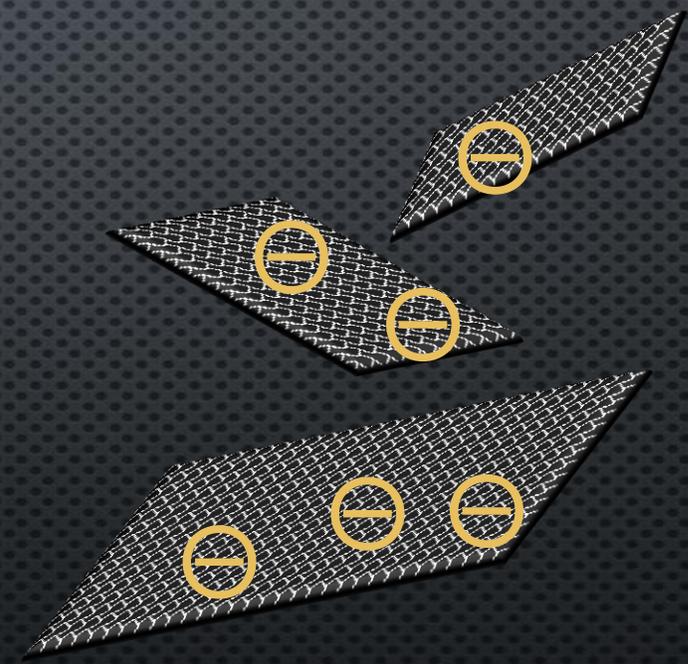
・タイヤ:カーボンブラック同等の引張強度

グラファイトを剥がす (CO2排出ゼロ)



黒鉛 (グラファイト)

剥離

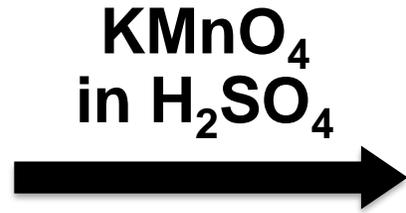


(酸化)グラフェン

- ・天然 or 人造の入手ソース
- ・安定かつ安価

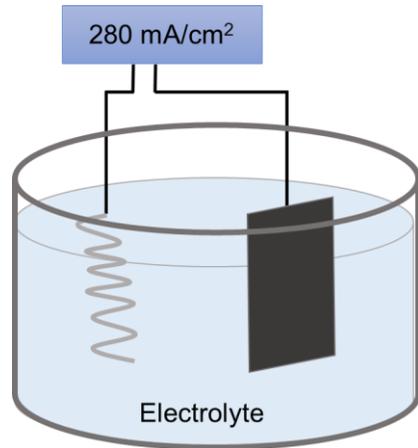
高効率でグラフェン類を作る

化学酸化・剥離



酸化グラフェン

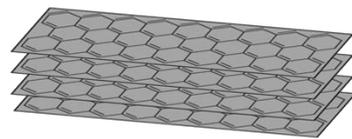
電気化学酸化・剥離



× 200 expansion
→
in HBF_4 /Water



直接剥離



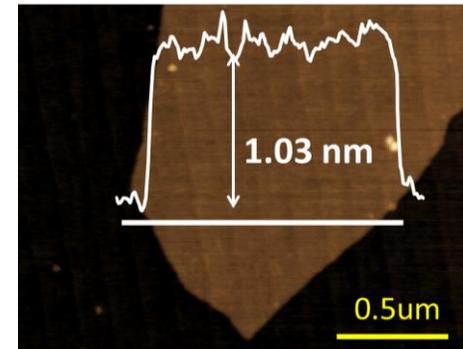
Bulk graphite



Ultrasound



dispersion



グラフェン

従来の酸化グラフェン製法の問題点

黒鉛 (1g)



Hummers, et al. *J. Am. Chem. Soc.* **1958.**

3万回以上引用(ただし、ほとんどの場合一部改変されている)

黒鉛の前処理

H_2SO_4 + 添加剤

$KMnO_4$ (3.0 ~ 7.5 g), 30 min ~ 5 days

H_2O

H_2O_2 aq.

精製

酸化グラフェン
(GO)



- 酸化グラフェン形成の
必要条件を明らかにしたい
- 添加剤の効果 ($NaNO_3$ など)
 - 酸化剤の量
 - 反応時間
 - 反応温度

J. Am. Chem. Soc., **1958**, 80, 1339.

Chem. Mater., **1999**, 11, 771–778.

ACS Appl. Mater. Interfaces. **2015**, 7, 21356–21363.

J. Am. Chem. Soc., **2009**, 131, 898–899.

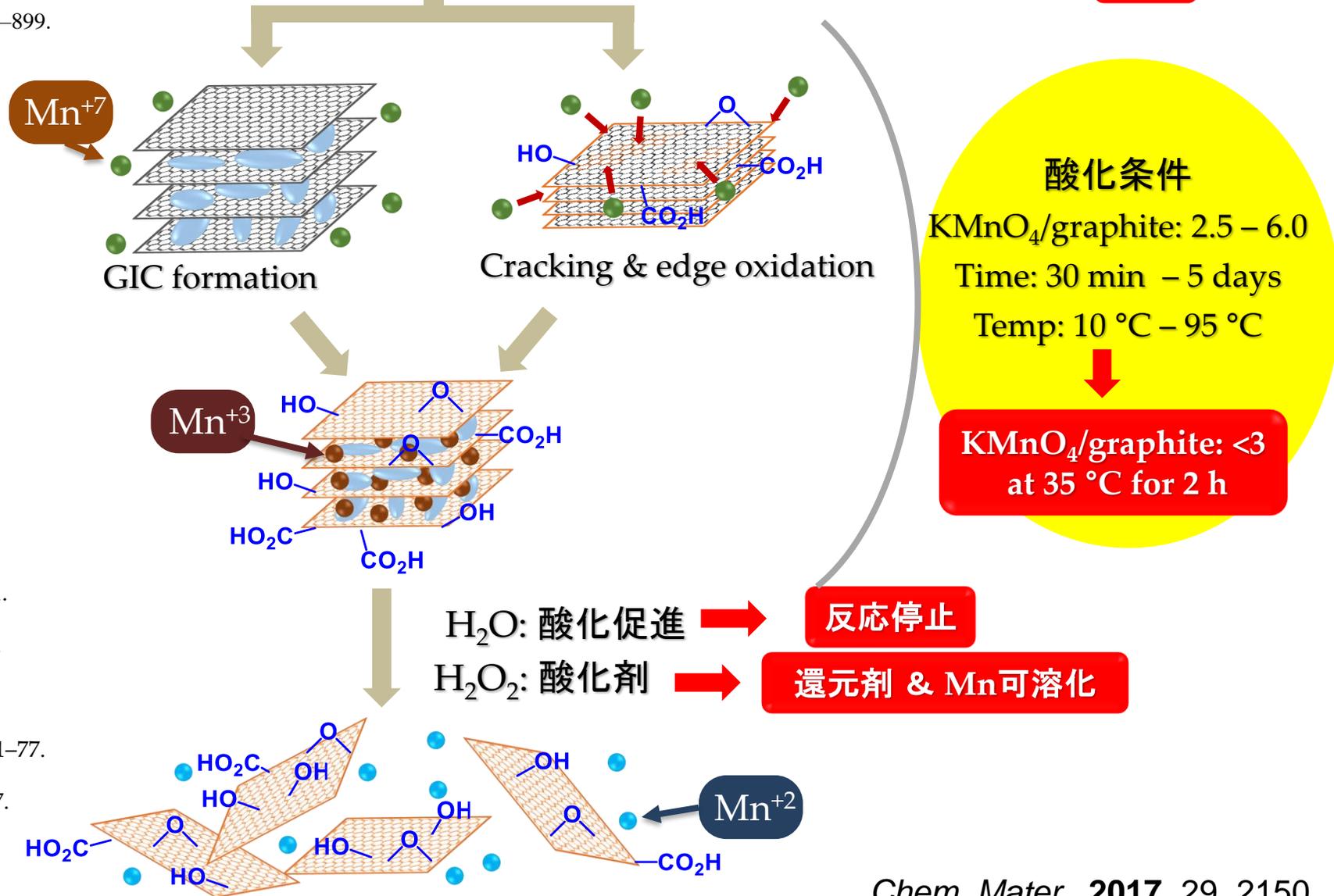
前处理: $P_2O_5 + K_2S_2O_8, MnO_2$, microwave

Graphite + $H_2SO_4 + KMnO_4$

不要

添加剂: $NaNO_3, H_3PO_4, H_2O$

不要



ACS Nano, **2010**, 4, 4806–4814.

ACS Nano, **2014**, 8, 3060–3068.

Phys. Rev. Lett., **2006**, 96, 176101.

RSC Adv., **2014**, 4, 15138–15145.

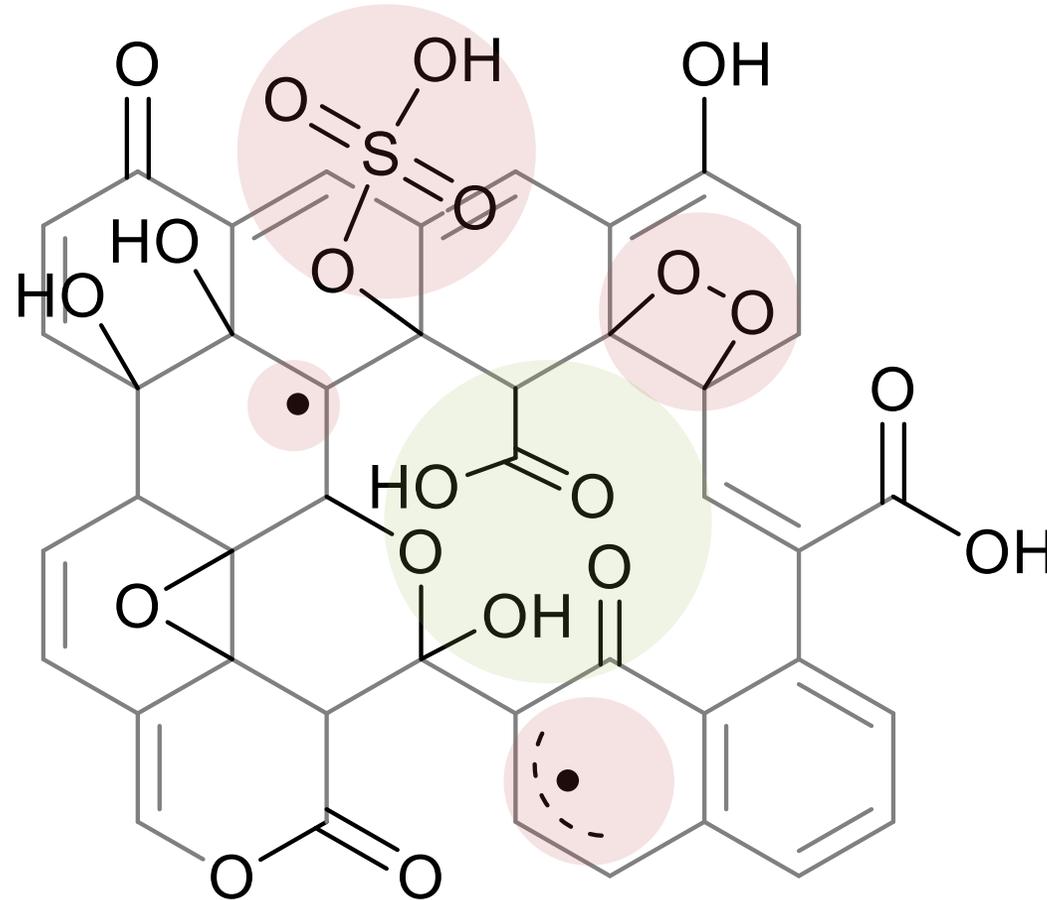
Inorg. Mater., **2007**, 43, 822–826.

Mater. Chem. Phys., **2015**, 164, 71–77.

Adv. Mater., **2013**, 25, 3583–3587.

Chem. Mater., **2017**, 29, 2150.

酸化グラフェンの構造について



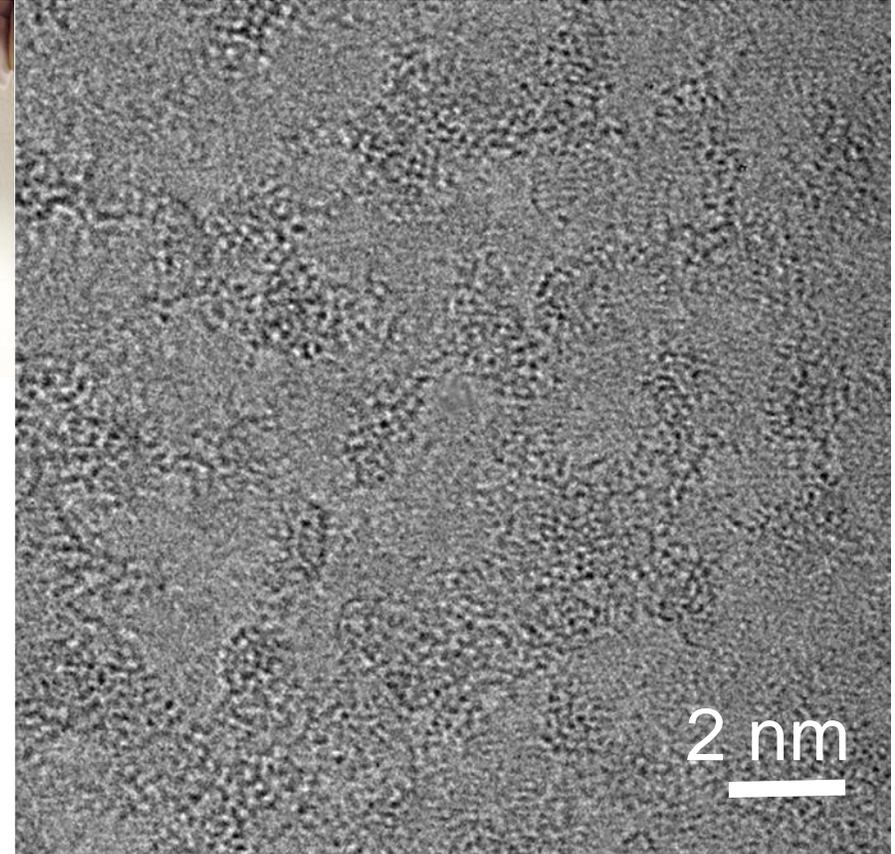
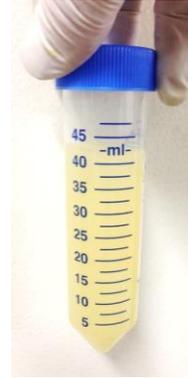
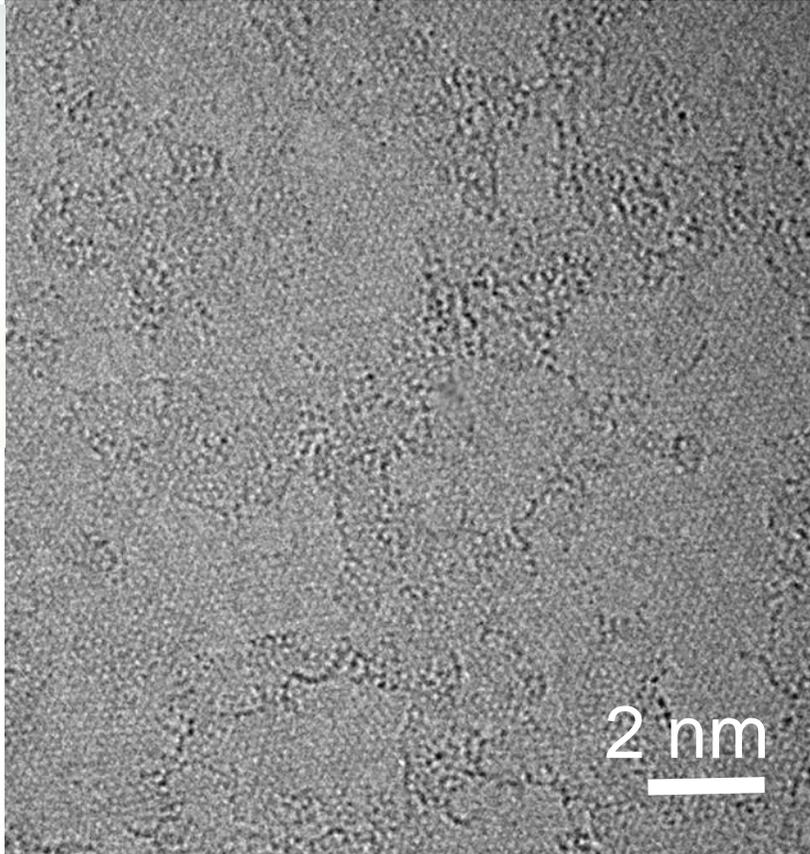
単純な酸素官能基だけでなく、
スルホン酸, ラジカル, 孔, 過酸化物など,
様々な官能基が存在する。

Y. Nishina, S. Eilger,
Nanoscale, **2020**, 12, 12731.

酸化度の調節

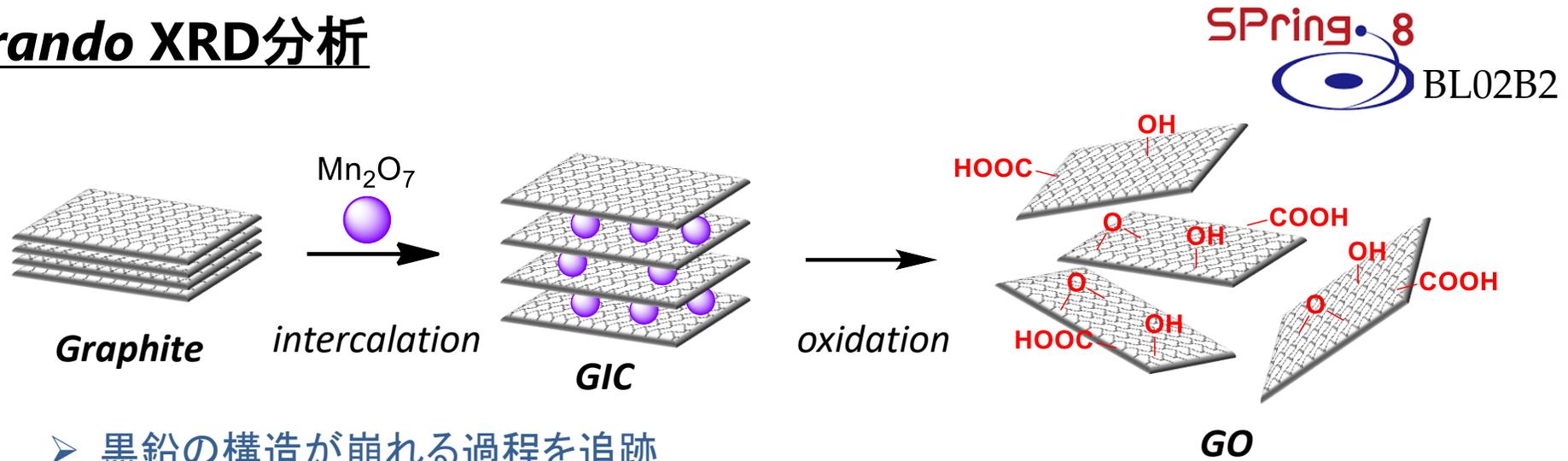
欠陥が少ない

欠陥が多い

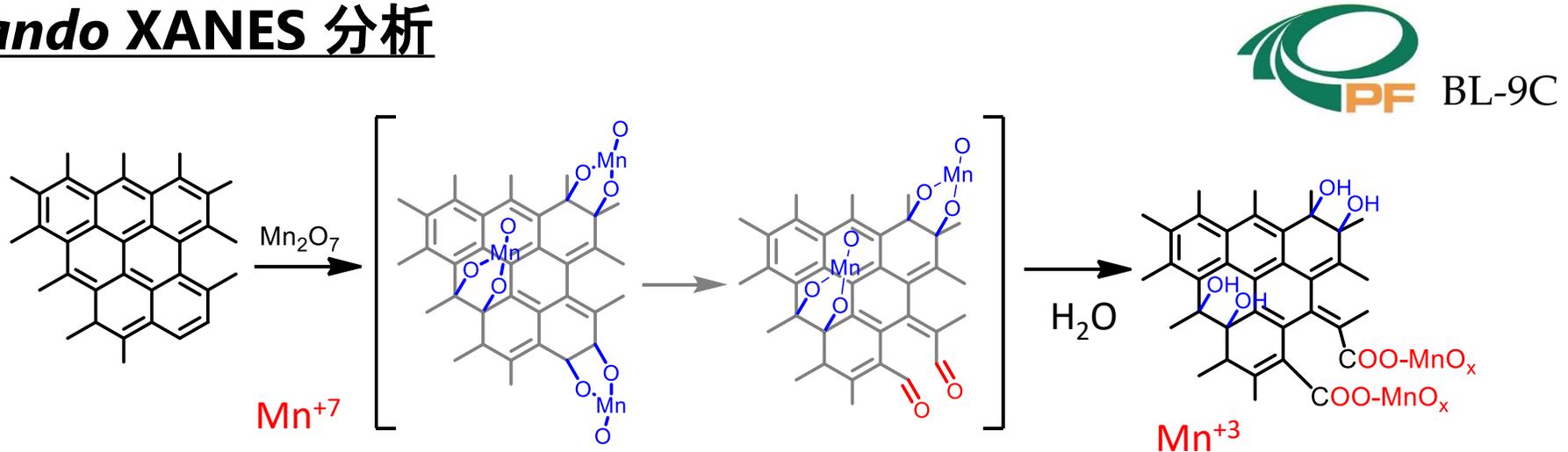


メカニズムの理解

Operando XRD分析



Operando XANES 分析



スケールアップ & 連続化



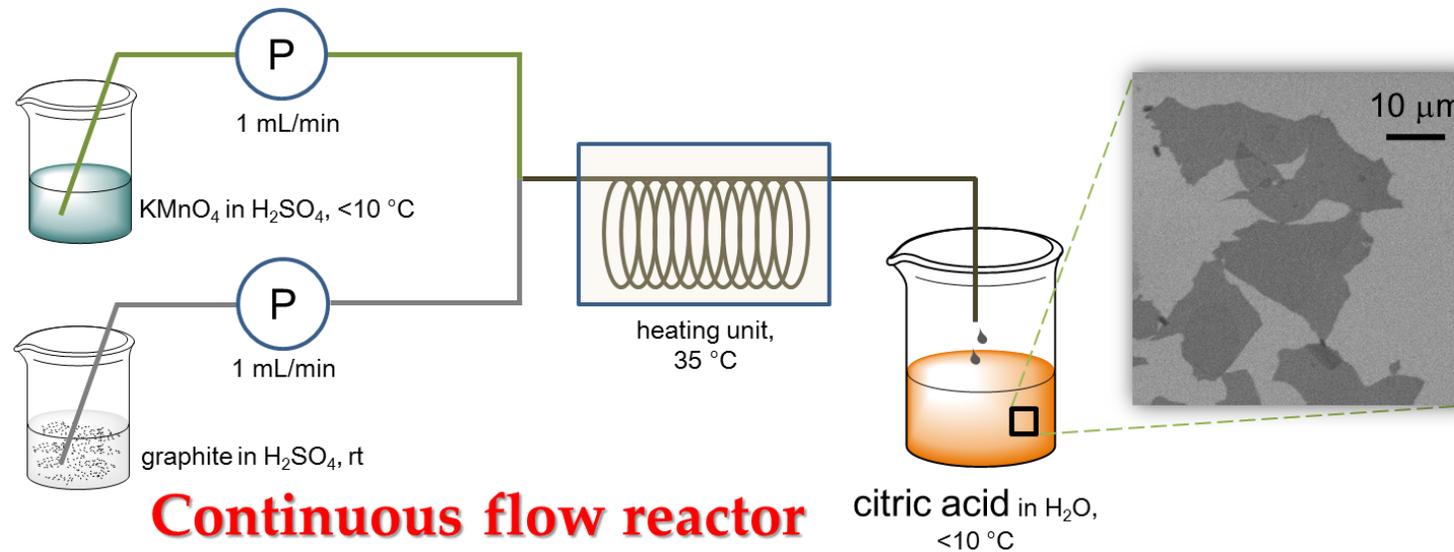
Reaction
(H_2SO_4 13 L)



After reaction (ca. 30 L)



Continuous centrifugation
(12 L)
>500 g / batch



オープンイノベーションの成功例



chemical industry. For instance, a major Japanese company has yet to hold a contest for technology development or set up a website that invites outsiders to find solutions to specific industrial problems—steps that Western firms such as AkzoNobel, BASF, and Dow Chemical routinely take

Mitsubishi Chemical Holdings as an example, a conglomerate that includes the chemical producer Mitsubishi Chemical, the drug firm Mitsubishi Tanabe Pharma, the industrial gas maker Taiyo Nippon Sanso, and other subsidiaries. The firm has several partnerships with

In 2015, the METI-funded New Energy & Industrial Technology Development Organization started an innovation committee with 177 companies—including 40 chemical firms—and 41 universities. The goal is to promote networking, expose scientists to research in different areas,

Japanese pairings Industry-academia collaborations yield an eclectic mix of research projects.

COMPANY NAME	ACADEMIC PARTNER	RESEARCH THEME
Asahi Kasei	Kyushu University	Refining of bamboo into raw materials for medicine and food
Asahi Kasei	University of Miyazaki	Chemical transformation of cellulose to create new molecules
Kaneka	Kansai University	Development of antifreezing protein derived from enoki mushrooms
Mitsubishi Chemical	University of Toyama	Technology to analyze the causes of sepsis
Nippon Shokubai	Okayama Univ.	Commercial production of graphene oxide
Sumitomo Chemical	Purdue University	Technology to optimize agrochemical use by analyzing photos of plant roots and leaves
Toray Industries	Waseda University affiliate	Thin films to prevent unwanted internal adhesion after surgery

now busy setting up alliances with other companies, academia, and government labs. Yoshiyuki Nakanishi, the chief executive officer of DIC, is among those backing the idea of open innovation, a method of conducting R&D in collaboration with outside partners including competitors, start-ups, universities, and research institutes. Not long after assuming his position in 2012, Nakanishi told his staff, "Don't stick to doing it all by ourselves." His support for collaboration with outsiders exemplifies

Japanese chemical industry benevolence. Customers, particularly in the electronics industry, often prefer to work with specialized materials suppliers that pursue their own unique technologies in isolation from competitors. Researchers at small and medium-sized Japanese chemical firms have amassed in-depth expertise in several niche performance materials. But times are changing. In recent years, Japanese electronic materials suppliers lost market share to emerging competitors

applications development, increasingly, firms are marketing not only materials but instead complete solutions that might consist of a mix of old and new products along with technologies for delivering them. "We are facing difficulty supplying value to our customers with the technology from just one material," acknowledges Ikuzo Ogawa, senior managing executive officer for R&D at Sumitomo Chemical. For now, open innovation is not nearly as developed in Japan as it is in the Western

CREDIT: SUMITOMO

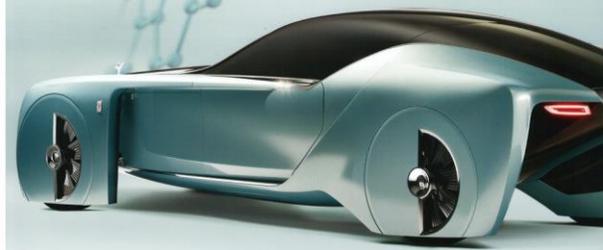
are convinced that open innovation is necessary to develop new products for the firm's information and electronics, environment and energy, and life sciences businesses. The company is also counting on collaboration with others to help it come up with new technologies for catalysts, precision machining, organic and inorganic chemicals, and polymers. Other firms are trying to move beyond garden-variety academic collaborations and into something more sweeping. Take

teus C&EN that western companies are more advanced in open innovation and that Japanese companies need to catch up. To that end, the government introduced a tax break two years ago that allows companies to deduct 30% of the expenses of joint research with academia, research institutes, and contract research firms. The 30% deduction also applies to the use of intellectual property from small and medium-sized firms. Firms already benefit from a 10% tax deduction on all R&D activities.

the science innovation Matching Forum to increase the frequency and depth of open innovation among Japanese industry, academia, and government research institutes. Like chemical companies, the government hopes the increased collaboration will help Japan keep up as a world-leading supplier of advanced materials. **Katsumori Matsuoka** has covered the chemical industry for Japan's Chemical Daily for the past four decades.

2030年に花開く 10大材料

次世代パワー素子から人工クモの糸まで



2030年までに社会実装

安い酸化グラフェンに注目

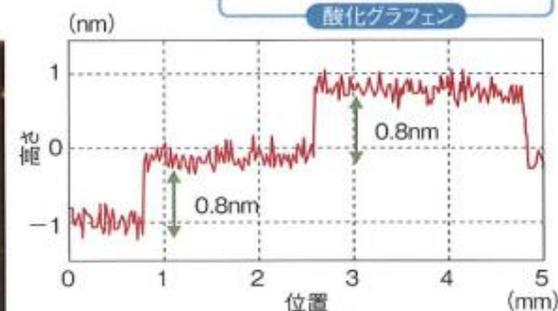
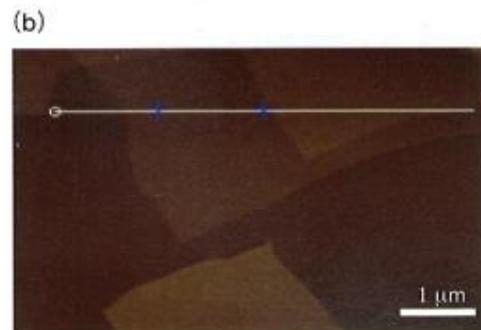
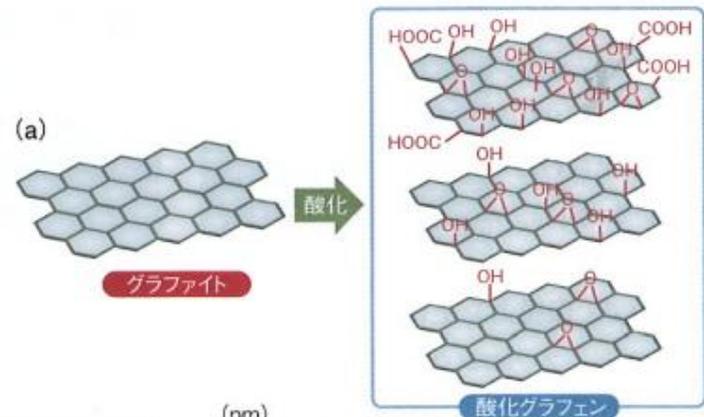
nm オーダーの炭素材料で、CNTと競い合う形で脚光を浴びる材料にグラフェンもある。6員環の炭素原子が並んだ構造はCNTと同じだが、円筒ではなくシート状のもの。シート1枚の単層グラフェンの理論的な電子移動度はSiの100倍と高く、トランジスタやセンサーに使うことが期待される。

ただし、現段階で安く量産する技術のメドが立っていない。自動車部品への採用はCNTに比べて時間がかかる。あるグラフェンの研究者は、「CNTに比べて5～6年遅れている」とする。

単層グラフェンの実用化には時間がかかるものの、最近、「安い疑似グラフェン」として産業界で注目を集める材料がある。酸化グラフェンだ(図4)。同材料を簡単に造りつつ、それなりの電子伝

図4 安価な酸化グラフェン

(a) グラファイトを酸化すると、薄く剥がれて、グラフェンのようになる。安価に造れて、グラフェンの代替品として注目が集まる。(b) 酸化グラフェンの写真と厚みを測った結果。写真中の白線部の高さを測ったのが右のグラフになる。グラフェン層の間隔は0.8nm程度。(出典：岡山大学准教授の仁科勇太氏)



導度や強度を実現する研究が進む。2020年頃に実用化するかもしれない。

岡山大学准教授の仁科勇太氏が、酸化グラフェンの酸化量を制御する研究成果を発表した。同材料は、グラファイト(黒鉛)に過マンガン酸カリウムや硫酸を混ぜて酸化させて造る。酸化すると黒鉛が薄く剥がれて、数～十数層の多層の酸化グラフェンになる。

ただ炭素原子が完全に酸化すると、

電子移動度などの性能が下がる。仁科氏は、生産過程の条件を制御して酸化量を抑える手法を見いだした。適度な酸化量に抑えると、グラフェンに近い性能になる。同氏は、酸化量を制御しながら大量に生産する技術も研究する。

応用先で早そうなのが、エンジンなどに使う潤滑油である。同材料の表面は滑りやすく、歯車の摩擦抵抗を抑えられる。タイヤに使う研究も進んでいる。

産学連携・事業化の将来構想

基礎研究

応用・開発

実証

事業化

TRL

1

2

3

4

5

6

7

8

9

商品化

科学的な
基本原理の
確認

原理の定式
化、応用可
能性の確認

コンセプト
の確認、要
素技術構想

開発要素の
作製、性能
確認

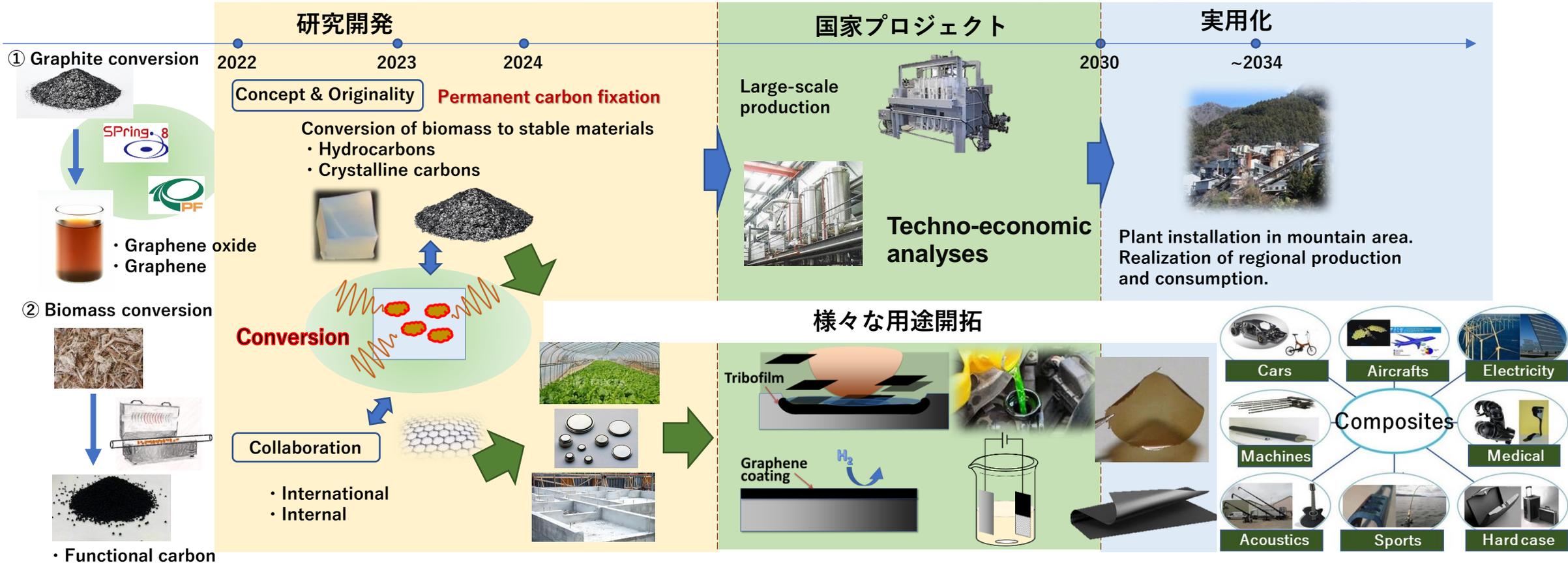
全てを統合
した試作品
の作製

システム導
入環境での
実証

製品候補の作
製、導入環境
で実証

製品作製
と販売

商品化、
大量生産



実際のところ、実用化可能か？

Graphite (1 kg)



H₂SO₄ (**30 L**)

KMnO₄ (**3.0 kg**), 2 h

H₂O, H₂O₂ aq.

Centrifugation (> 500 L H₂O)

Graphene Oxide (GO)

課題：精製，廃液処理，安全性（法律）

酸化反応は制御が困難・危険性あり



第一類危険物(酸化性)固体

品名	性質(指定数量)	代表物質
塩素酸塩類	第一種酸化性 固体 (50 kg)	塩素酸カリウム、塩素酸ナトリウム
過塩素酸塩類		過塩素酸カリウム、過塩素酸ナトリウム
無機過酸化物		過酸化カリウム、過酸化ナトリウム
亜塩素酸塩類		亜塩素酸ナトリウム
臭素酸塩類		臭素酸カリウム
硝酸塩類		硝酸カリウム、硝酸ナトリウム
よう素酸塩類	第二種酸化性 固体 (300 kg)	よう素酸カリウム、よう素酸ナトリウム
過マンガン酸塩類		過マンガン酸カリウム、過マンガン酸ナトリウム



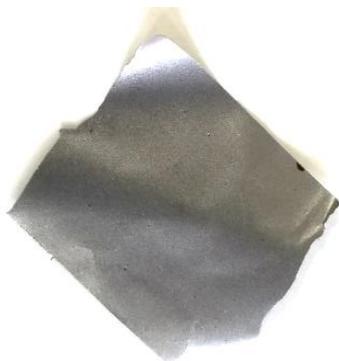
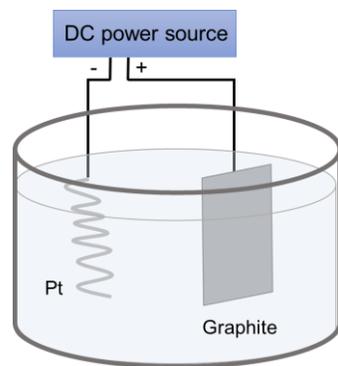
化学的酸化



KClO_3 or KMnO_4
in H_2SO_4



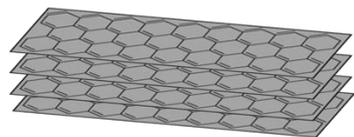
電気化学的酸化



アノード酸化



直接剥離



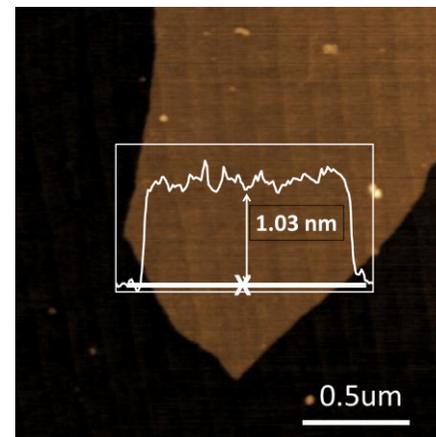
Bulk graphite



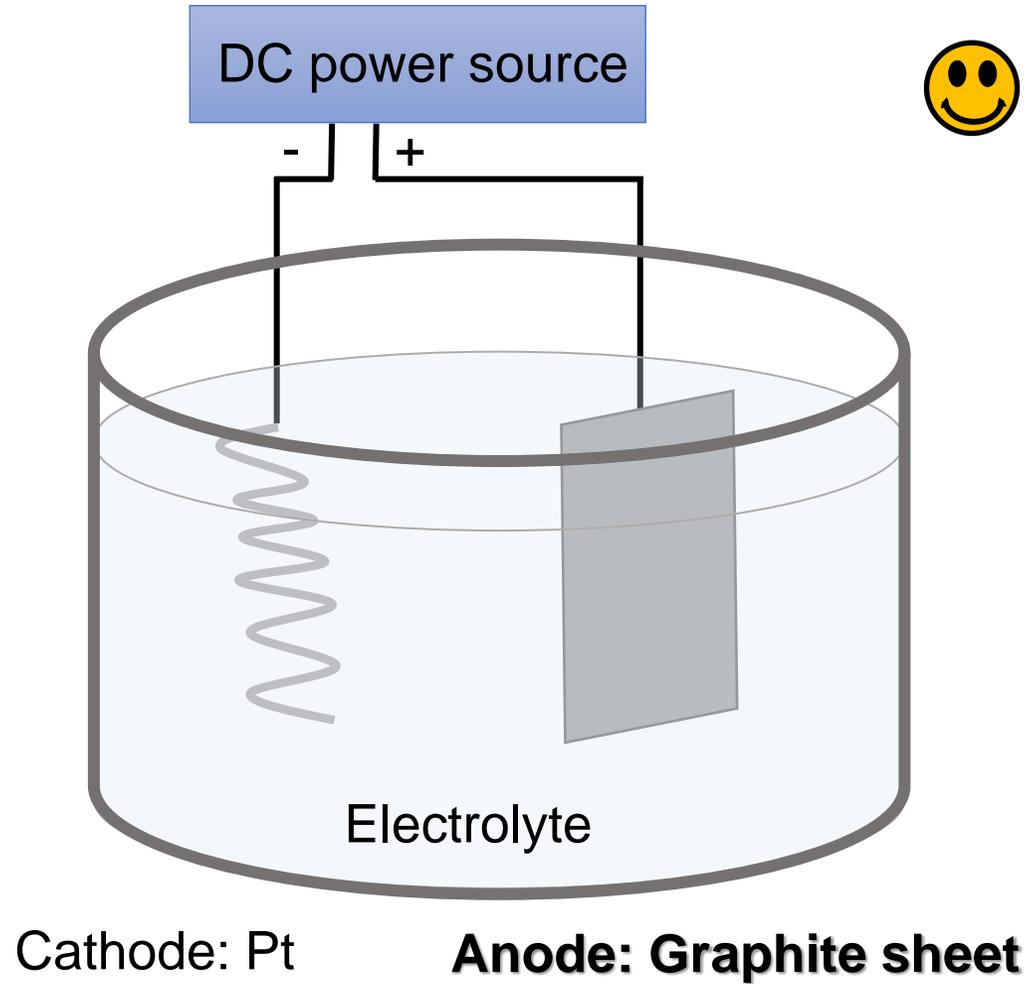
Ultrasound



dispersion



電気化学的に黒鉛を酸化する



水が酸素源。

濃硫酸, KMnO_4 は不要。

これらのコンタミ無し。

黒鉛の電気化学酸化プロセス



0~1 V
polarization



1.5 V
intercalation



2 V
H₂O decomposition



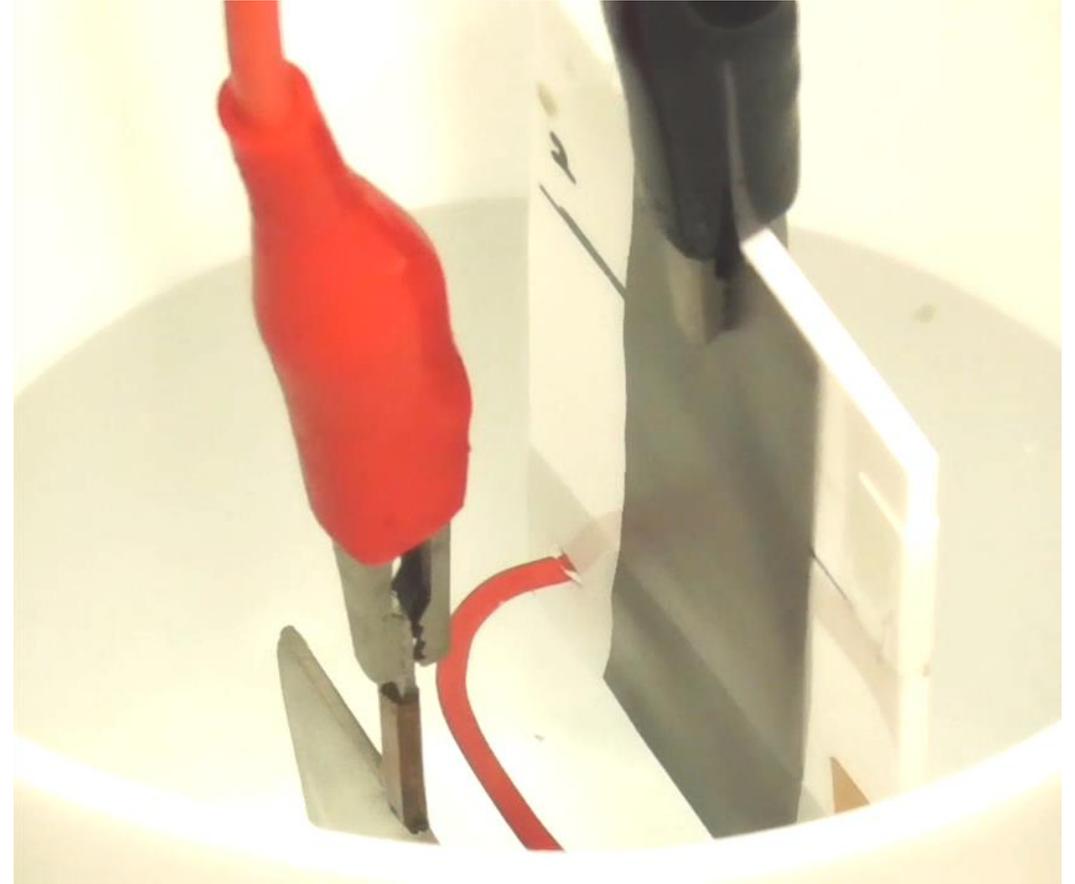
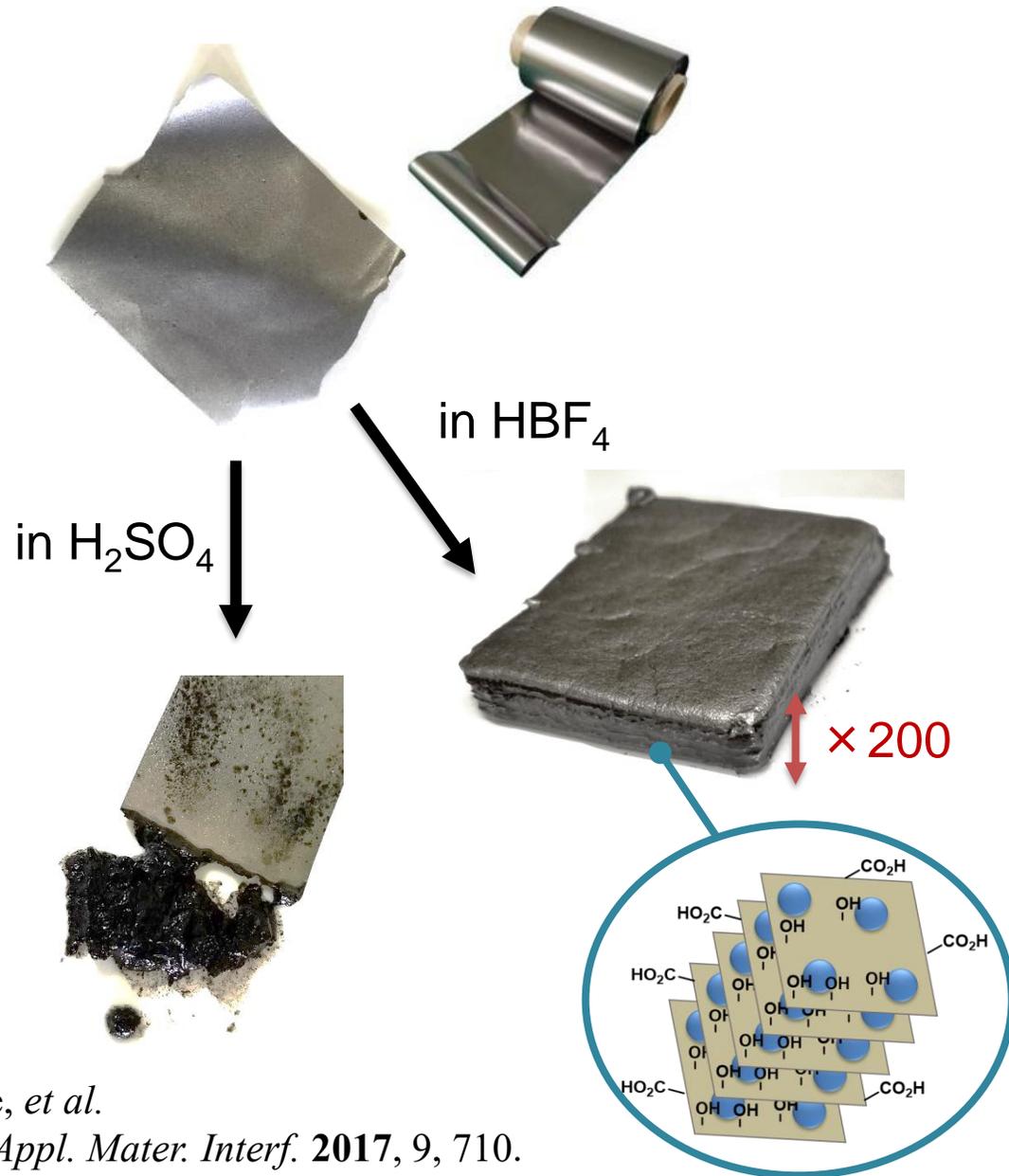
>4 V
oxidation & expansion



side view

Review:
ACS Nano, 2024, in press.

電解質が重要: SO_4^{2-} と BF_4^- の違い



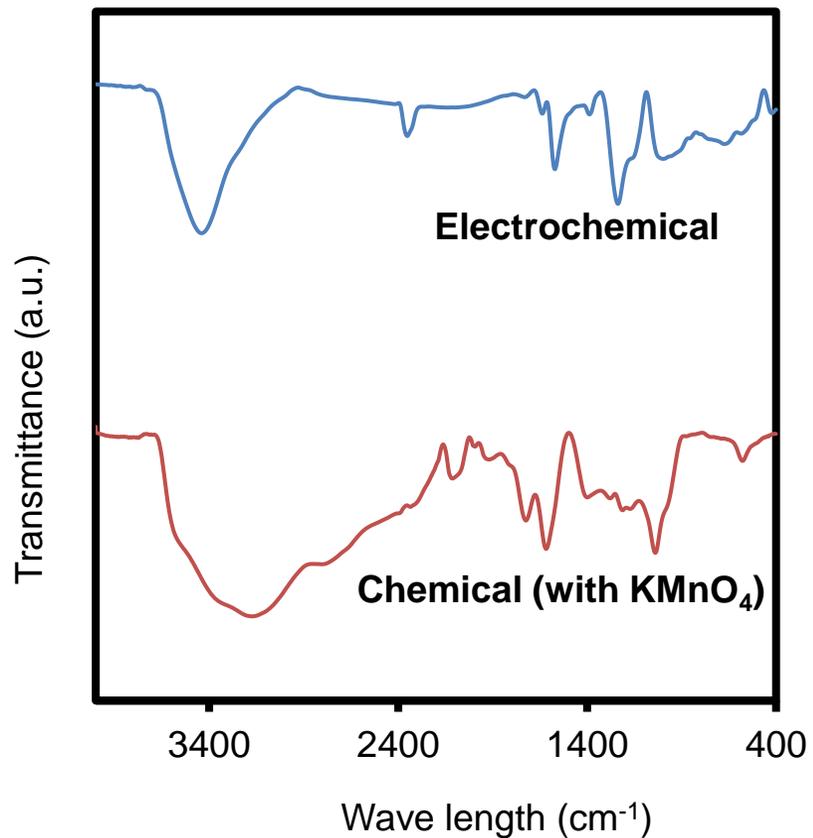
非常に高効率な黒鉛の電解酸化を実現

Carbon, 2020, 158, 356.

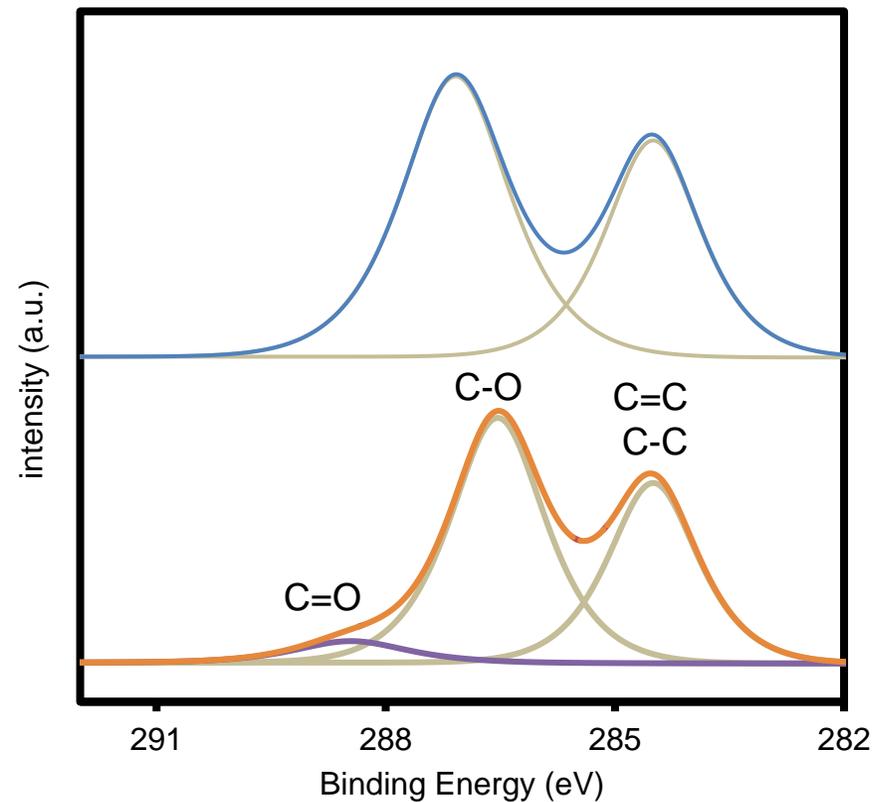
Dryfe, *et al.*
ACS Appl. Mater. Interf. 2017, 9, 710.

Structure of chemical and electrochemical GO

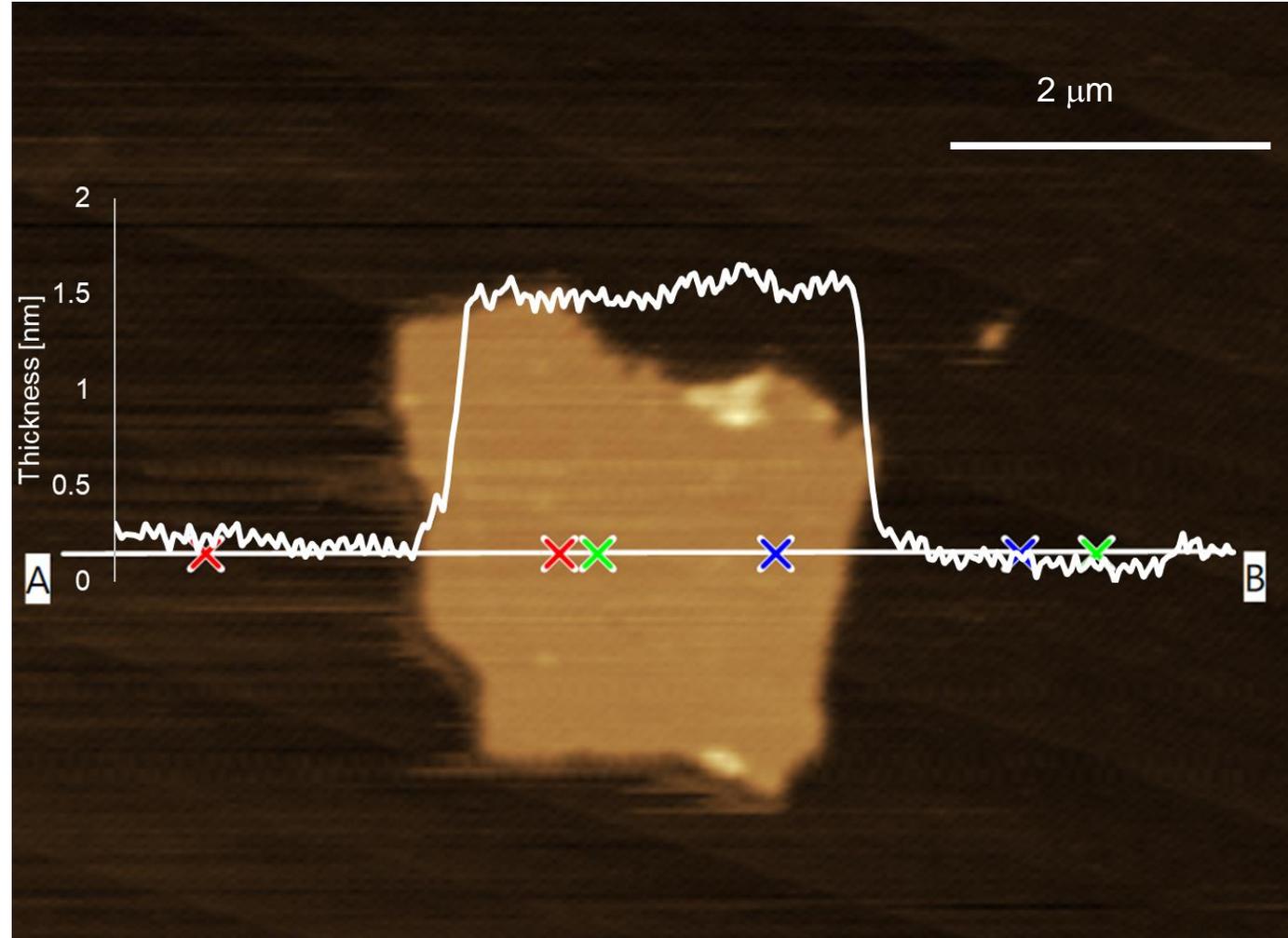
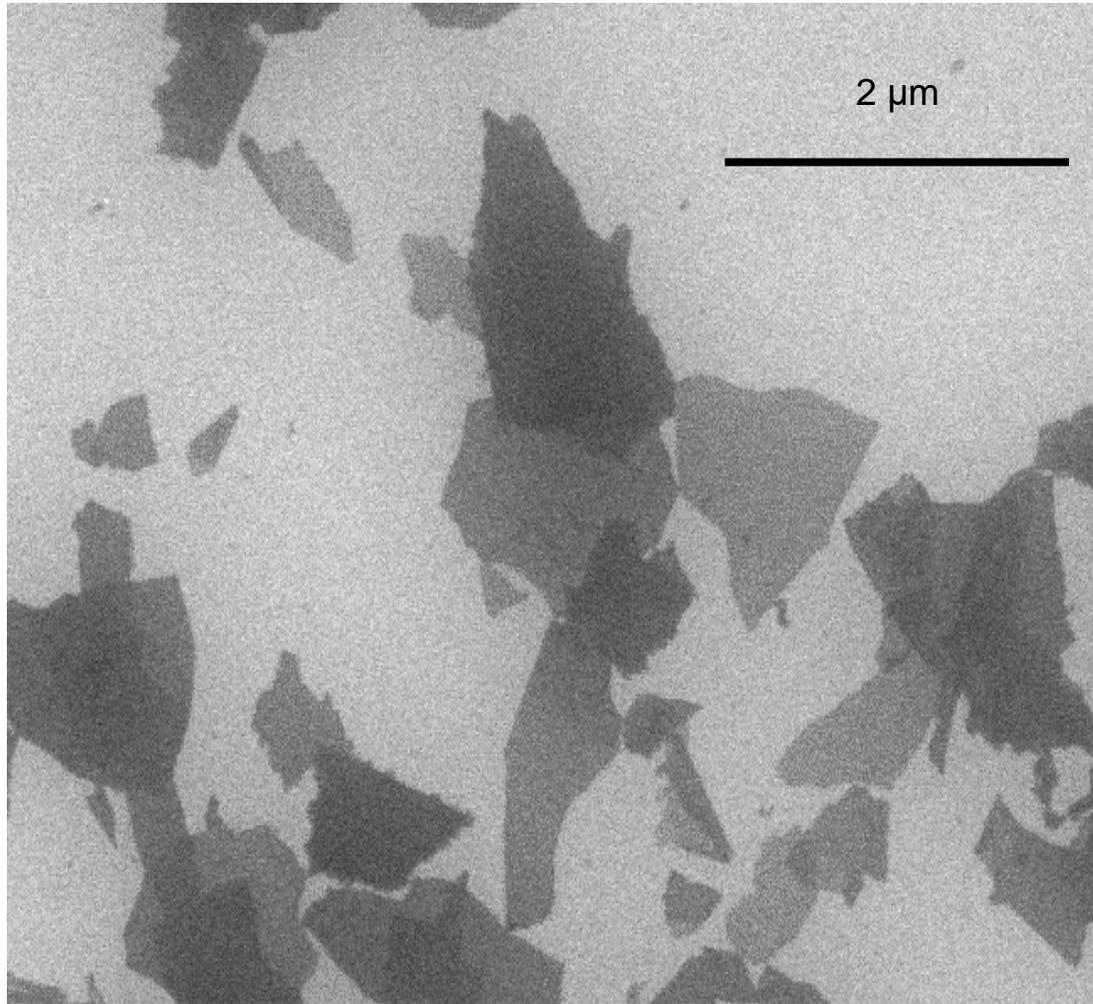
FT-IR



XPS (C1s)



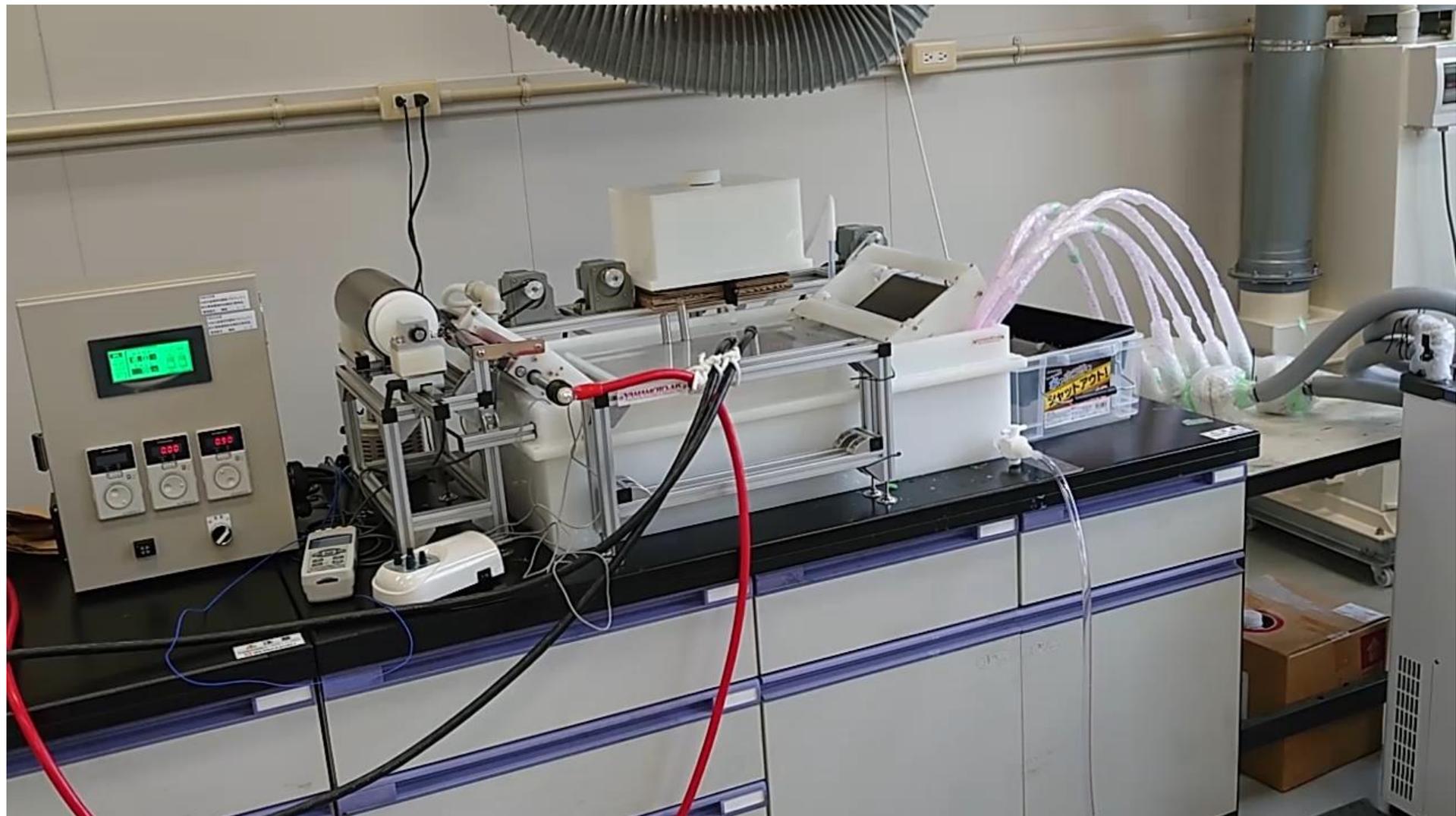
2次元であることの確認



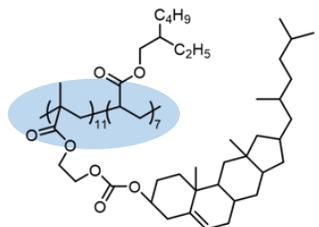
スケールアップ



スケールアップ

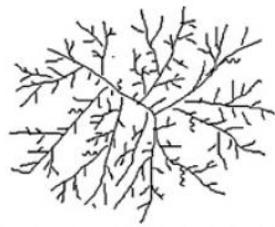


分散剤を用いて黒鉛を直接剥離する



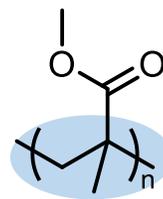
poly(CEM₁₁-b-EHA₇)
in isooctane

A.A.Shboul, et al., *Nanoscale*, **2017**, 9, 9893



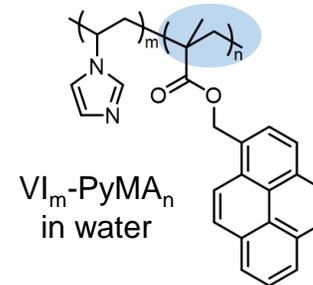
Hyperbranched polyethylene
in THF

L.Xu, et al., *J. Phys. Chem. C*, **2013**, 117, 10730–10742



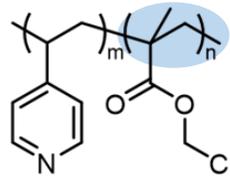
polymethylmethacrylate
in acetone

S.Gentiluomo, et al., *Chem. Eur. J.* **2020**, 26, 6715–6725



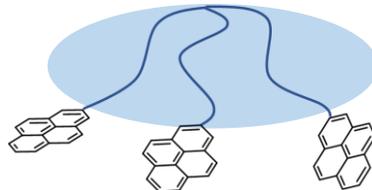
VI_m-PyMA_n
in water

J.Cui, et al., *Carbon*, **2016**, 99, 249-260



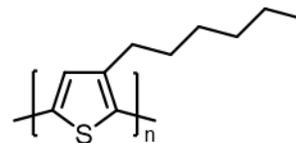
PTFEMA_n-b-PVP_m
in MeOH

H.M.Lee, et al., *Polymers*, **2016**, 8, 101



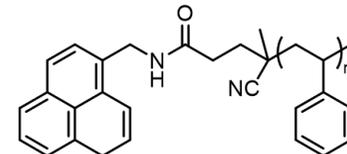
3-Arm [PMMA-Py]₃
in CHCl₃

S.S.Gkempoura, et al., *Nanoscale*, **2019**, 11, 915–931



poly(3-hexylthiophene)
in toluene

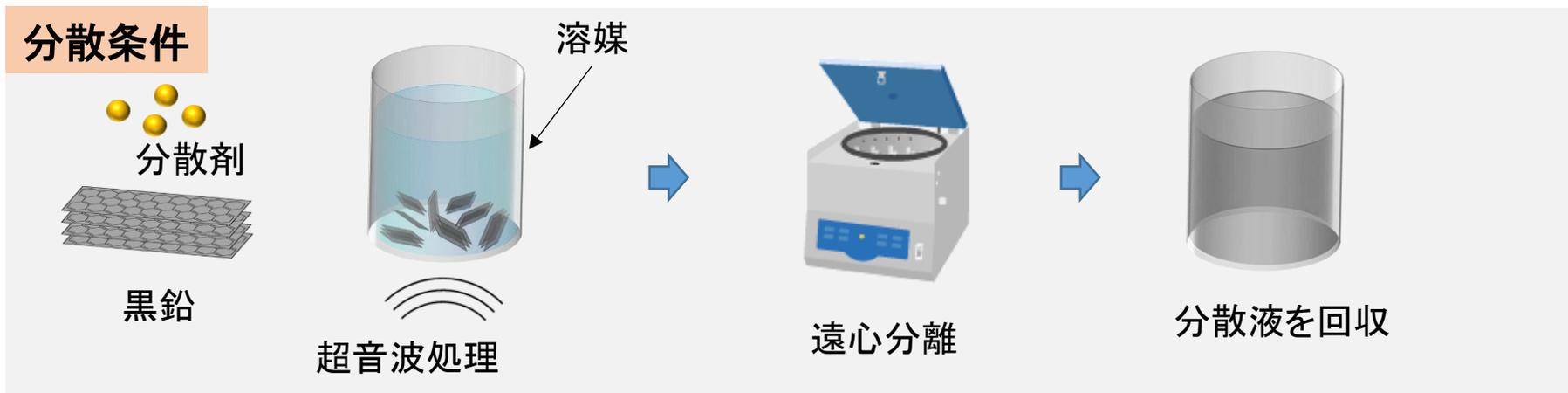
H.Iguchi, et al., *Sci Rep.* **2017**, 7, 39937



Py-PS
in THF, CHCl₃

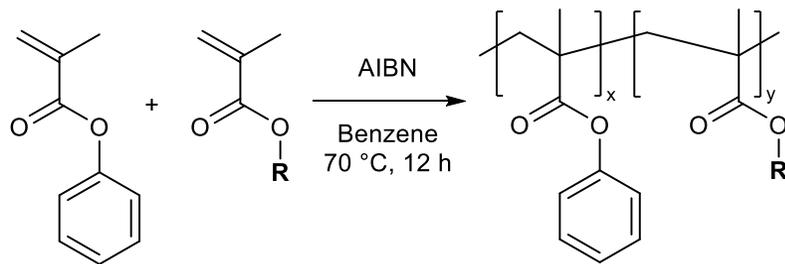
H.Wang, et al., *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.* **2015**, 53, 2175–2185

✓ 低沸点溶媒中でのグラフェン分散剤として、**メタクリレート系ポリマー**に着目。



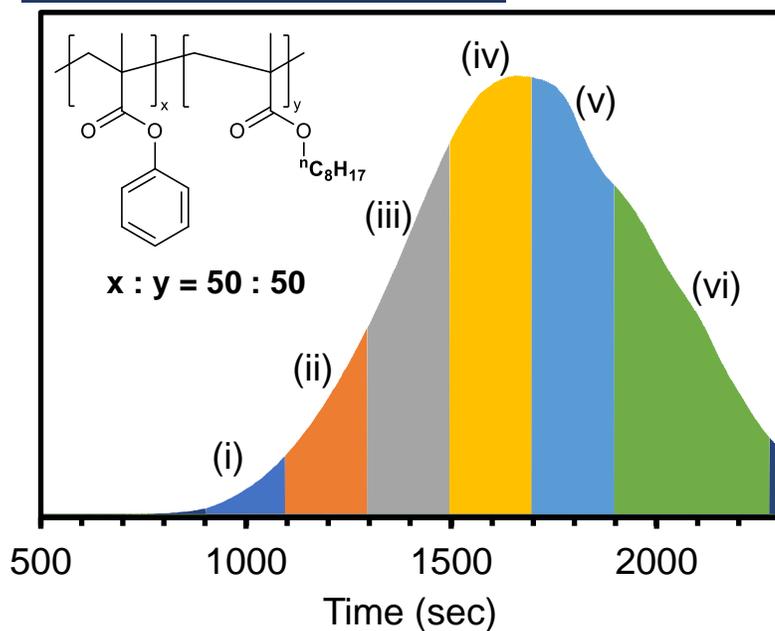
ポリマー分散剤の合成

Synthesis

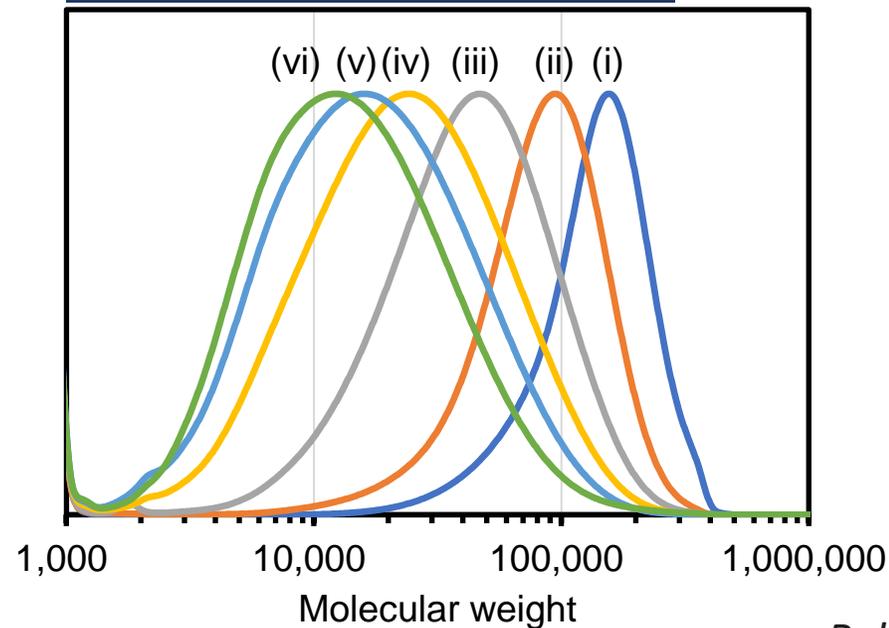


Entry	R	x : y ^a	Mp ^b	PDI ^b
1	ⁿ C ₈ H ₁₇	76 : 24	22,041	2.61
2	ⁿ C ₈ H ₁₇	50 : 50	18,400	2.96
3	ⁿ C ₈ H ₁₇	25 : 75	38,532	3.07
4	ⁿ C ₁₆ H ₃₃	75 : 25	10,634	3.09
5	ⁿ C ₁₆ H ₃₃	51 : 49	24,639	2.69
6	ⁿ C ₁₆ H ₃₃	25 : 75	16,170	3.89

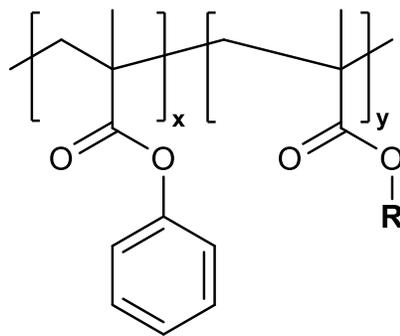
Separation with GPC



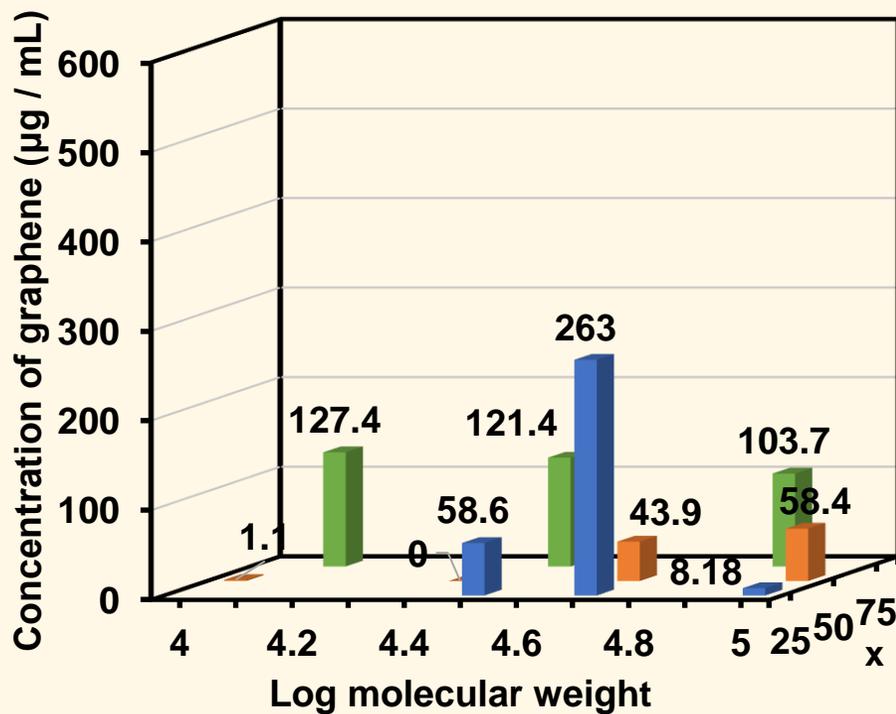
Molecular weight analysis



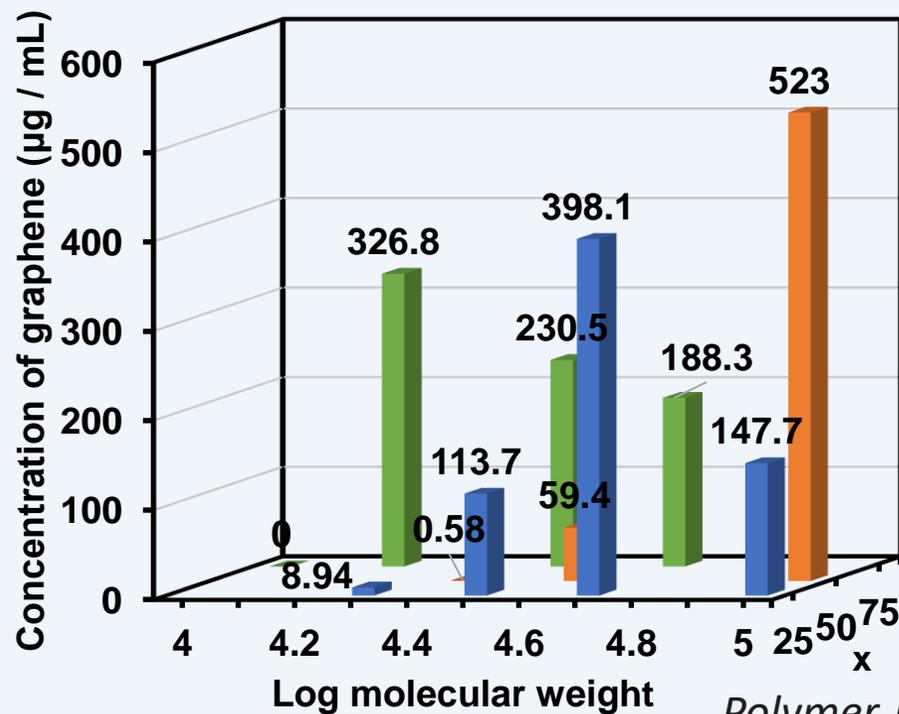
グラフェン分散性の評価



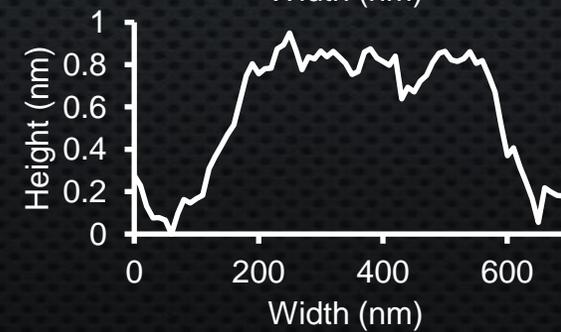
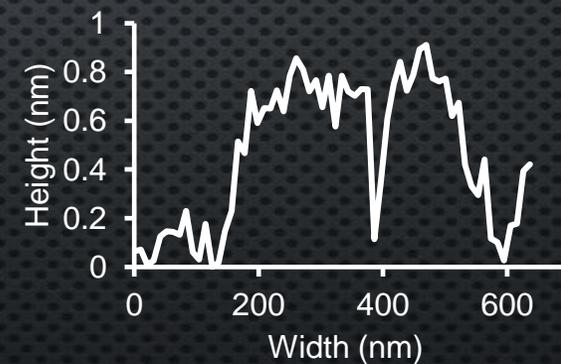
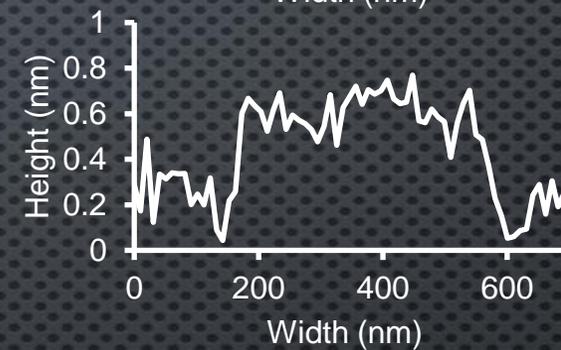
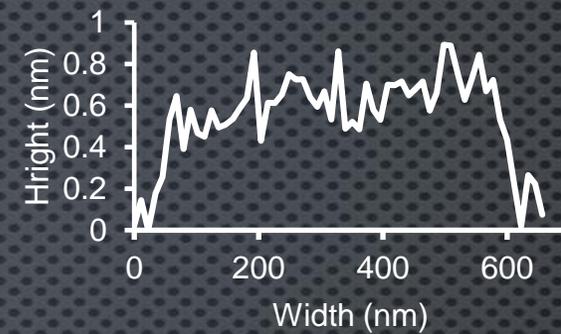
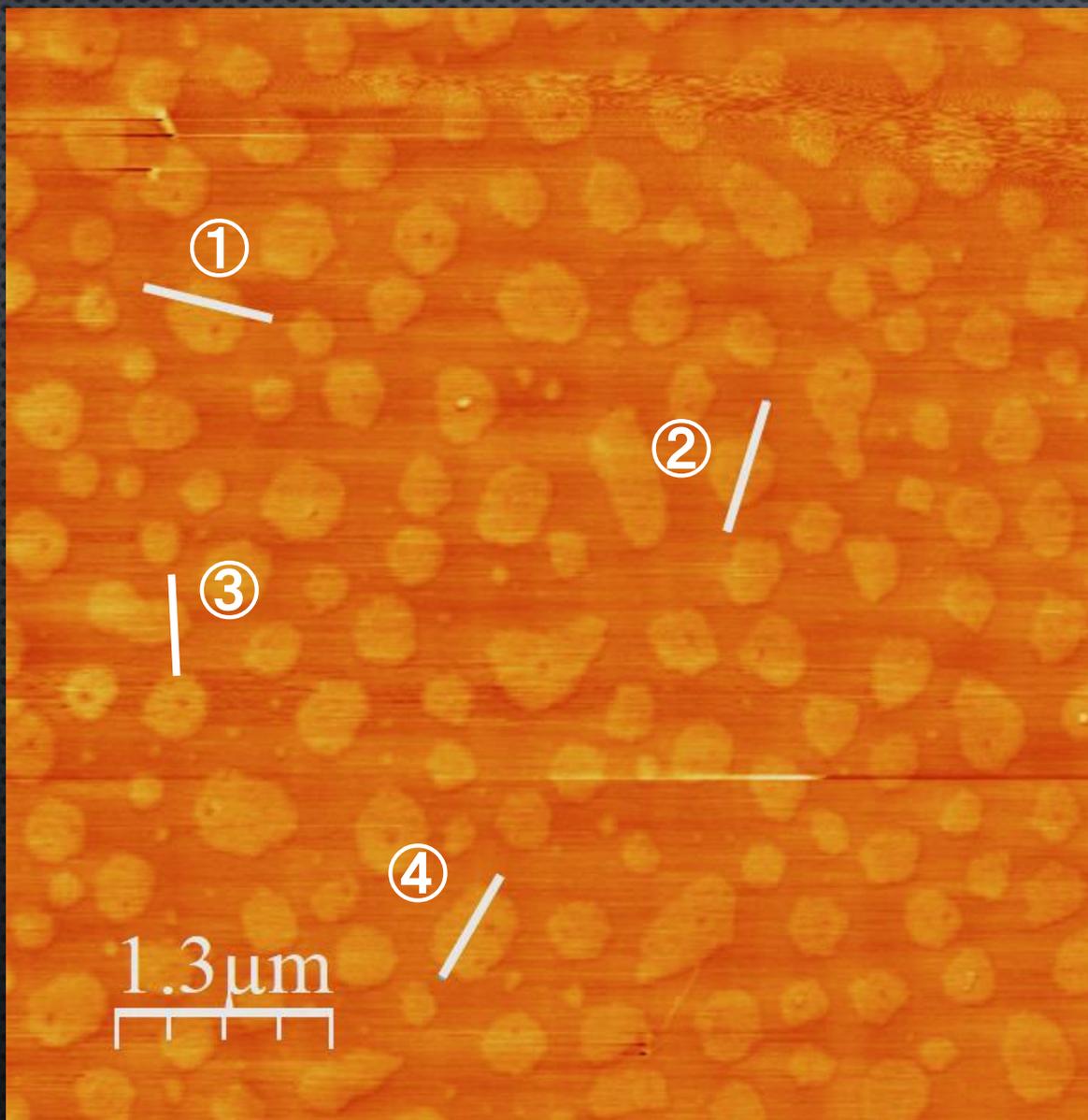
$R = nC_8H_{17}$



$R = nC_{16}H_{33}$

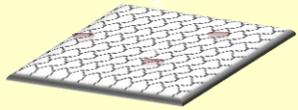


剥離したグラフェンのAFM像



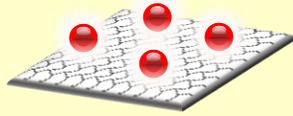
カーボン構造体の構築と用途開拓

Functional Nanomaterials



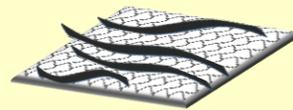
2D sheets

Sci. Rep. **2016**, 6, 25824.
ACS Mater. Lett. **2022**, 4, 2590.
Adv. Mater. **2023**, 2301506.



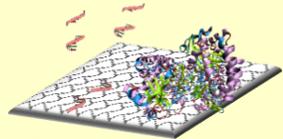
Nanoparticles

Commun. Chem. **2021**, 4, 75.
Chem. Sci. **2020**, 11, 5866.
ChemPlusChem **2023**, 88, e202300328



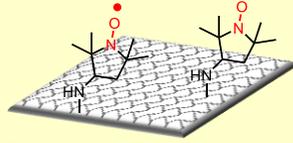
Polymers

J. Mat. Chem. A **2021**, 8, 13718.
Macromol. Rap. Commun. **2020**, 42, 2000577.
FlatChem **2023**, 39, 100489.



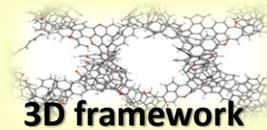
Biomolecules

Nanoscale **2020**, 12, 21780.
Nanoscale **2014**, 6, 6501.
Nature Commun **2024**, in press.



Organic radicals

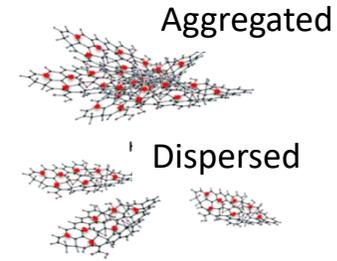
Org. Lett. **2019**, 21, 8164.
J. Catal. **2018**, 365, 344.
Bull. Chem. Soc. Jpn **2023**, 96, 581.



3D framework

Biosens. Bioelectron. **2021**, 189, 113357.
Angew. Chem. Int. Ed. **2020**, 59, 1542.
Small **2023**, 19, 2208227.

Biomaterials



Antibacterial property



Electric Vehicles



LIBs

ACS Polymers Au **2023**, 3, 394.

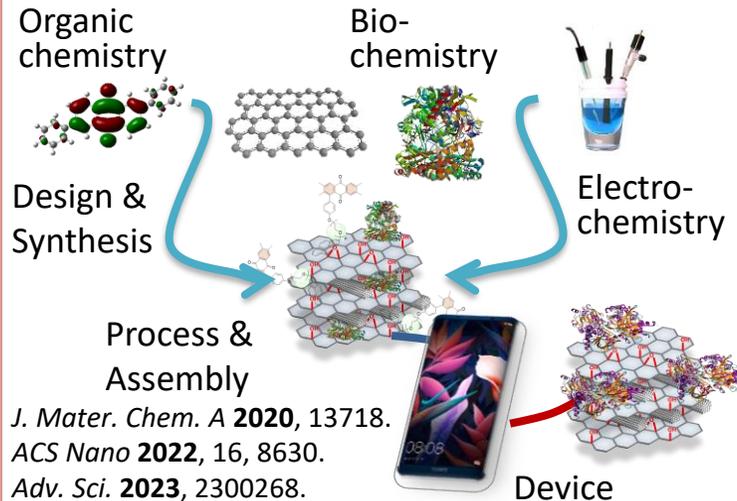


Tires



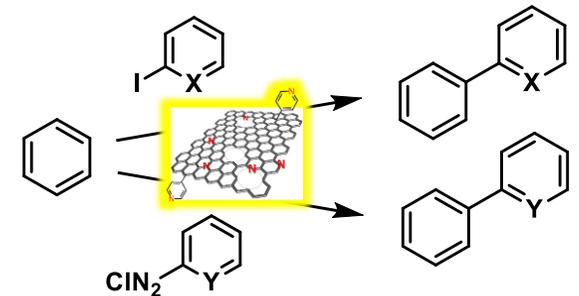
Greases

Next-generation batteries



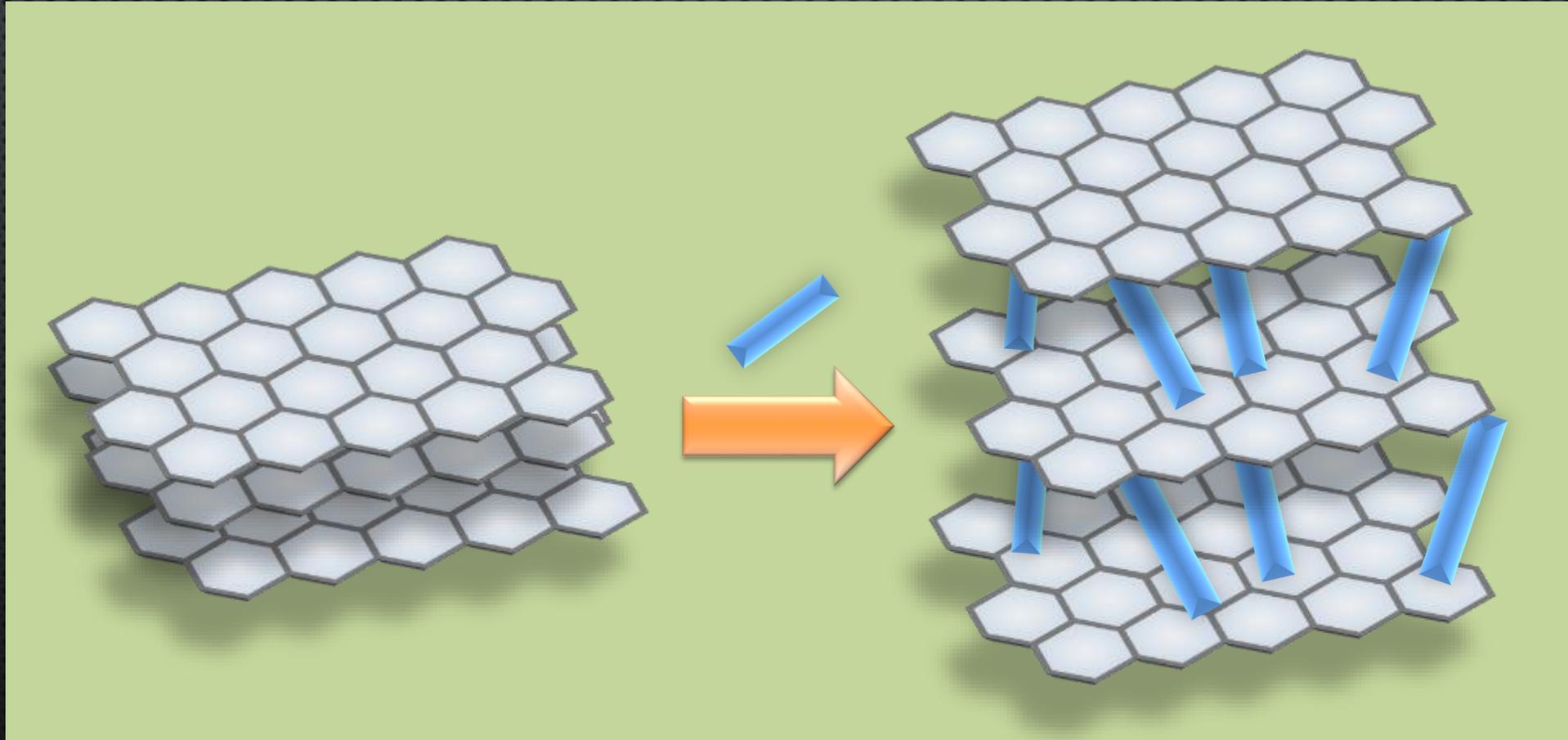
Carbocatalysts

Metal-free coupling

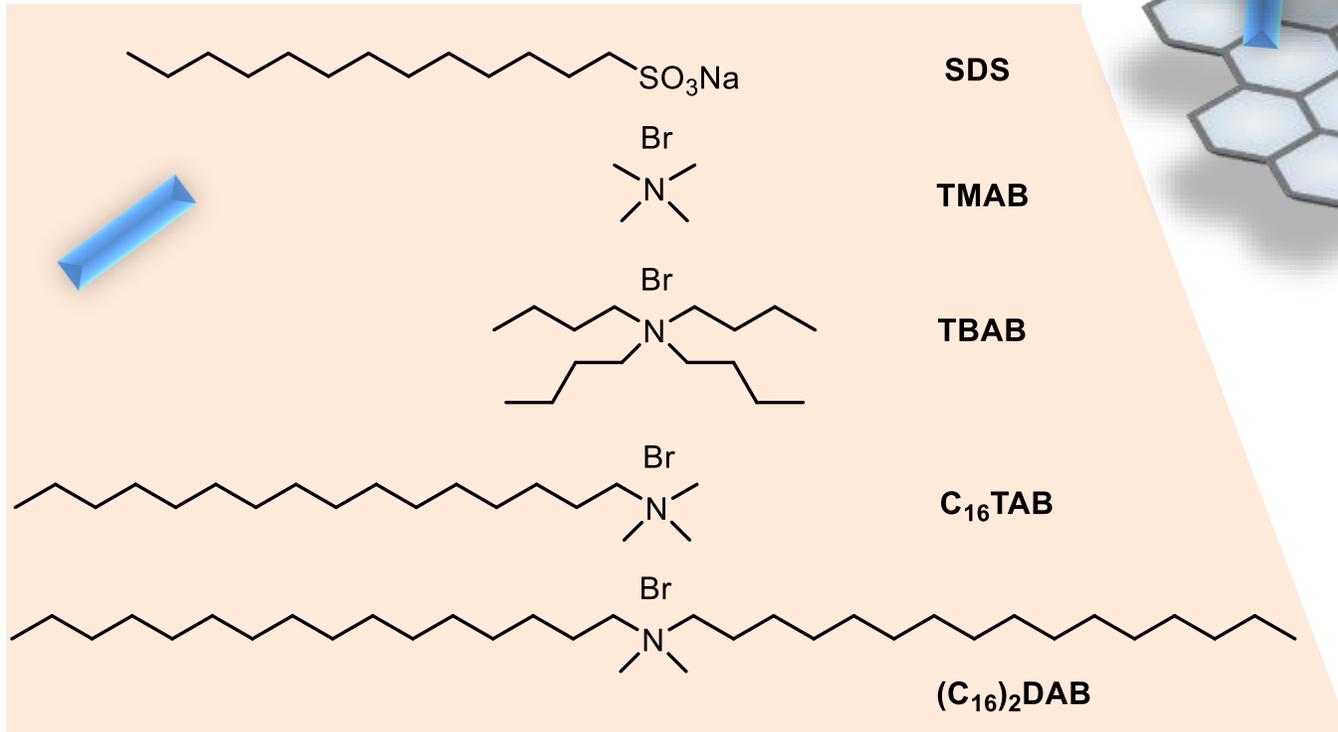
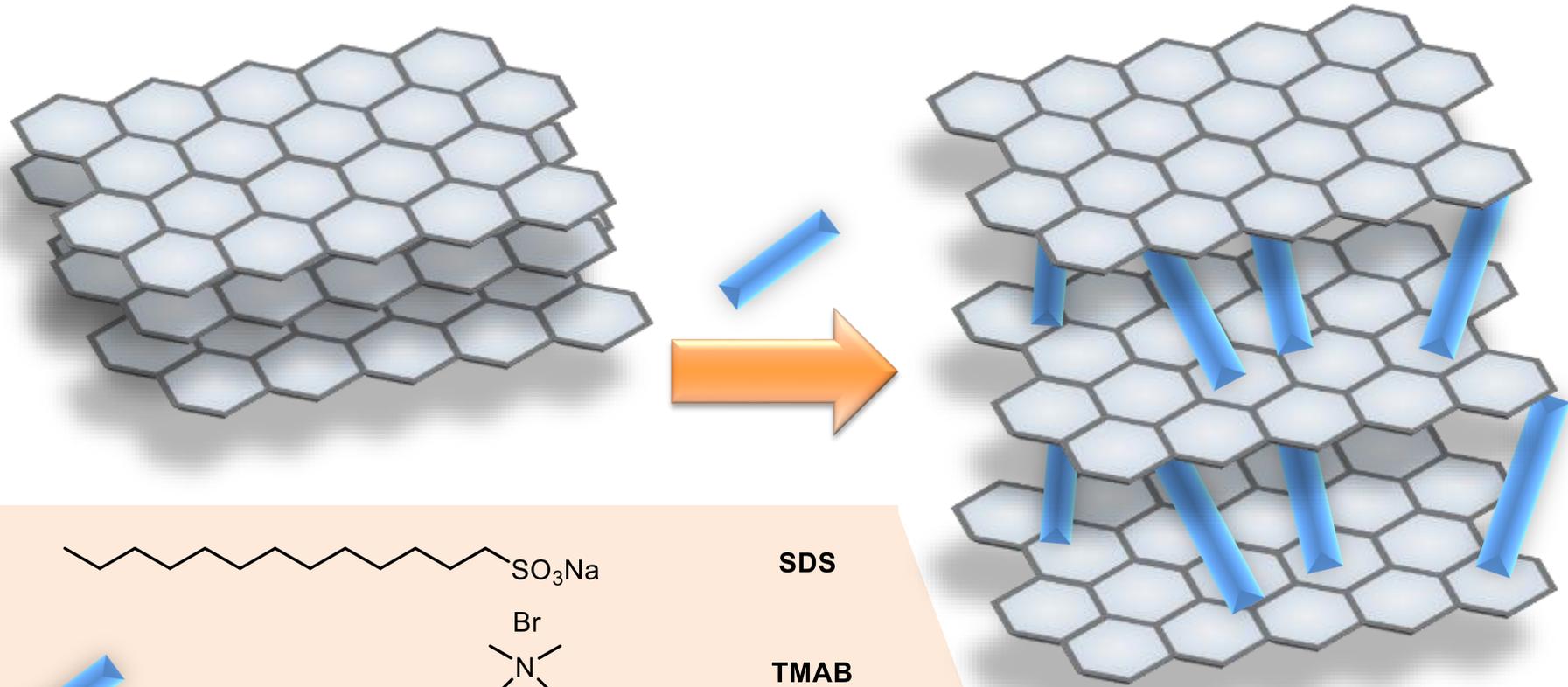


Chem. Mater. **2017**, 29, 2150.
ACS Nano **2019**, 13, 10103.
Bull. Chem. Soc. Jpn. **2023**,

3D構造をつくることができる

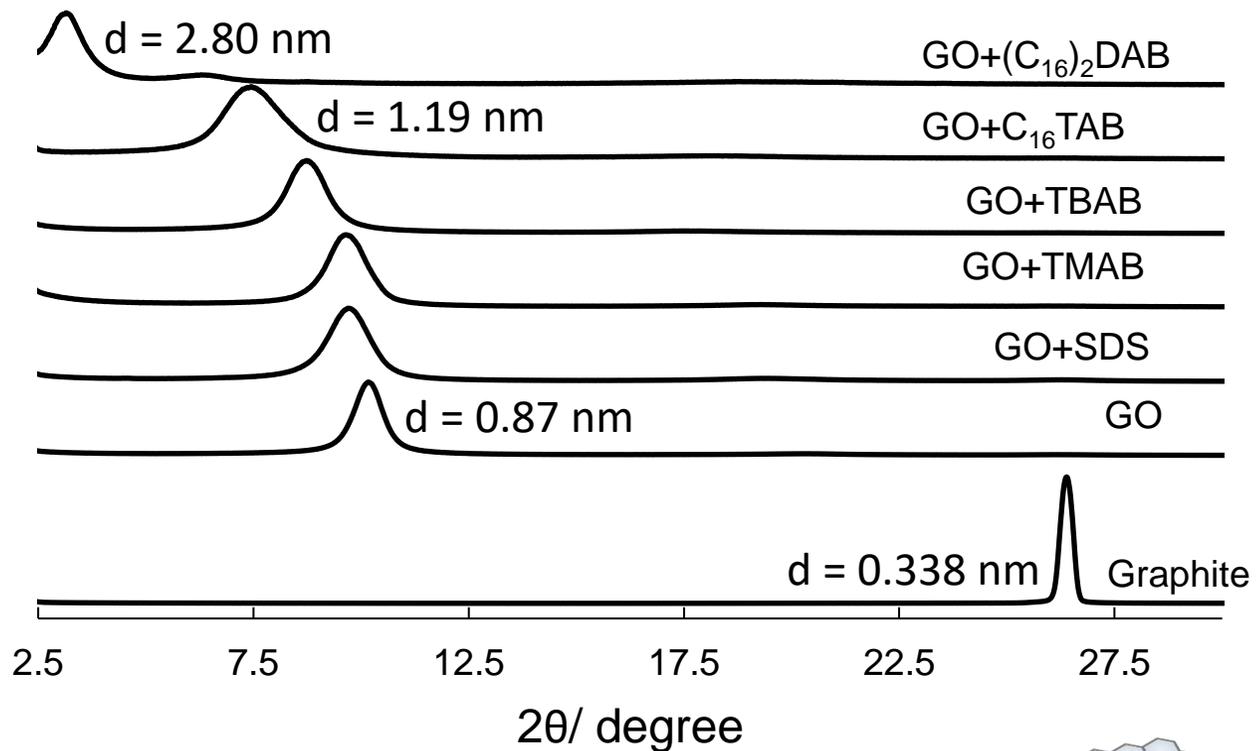


層間に分子を入れる



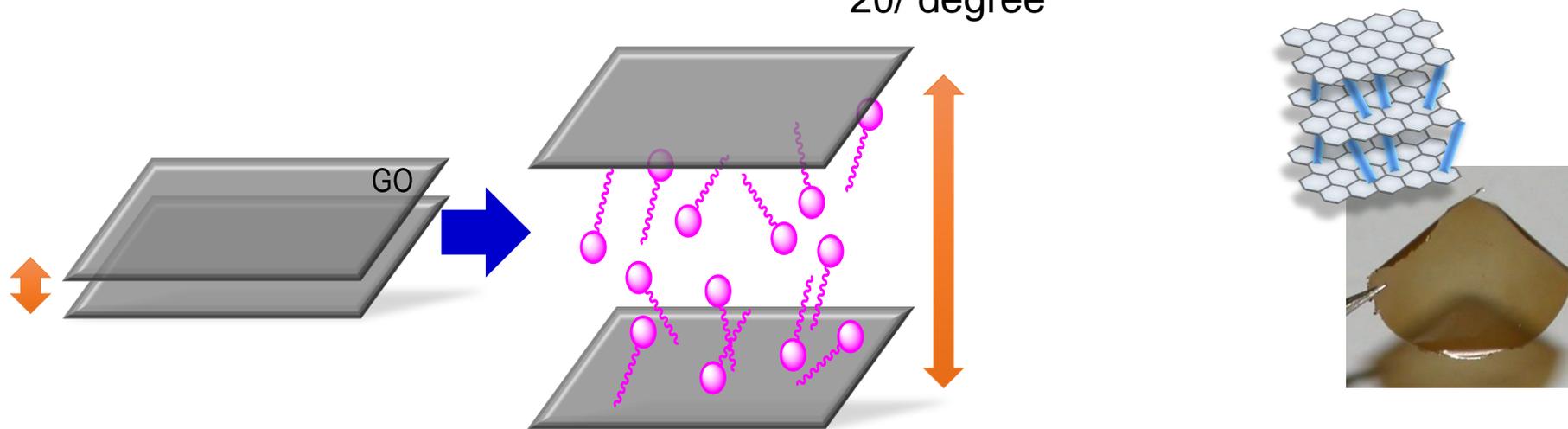
層間距離を制御する: 水の浄化

XRD



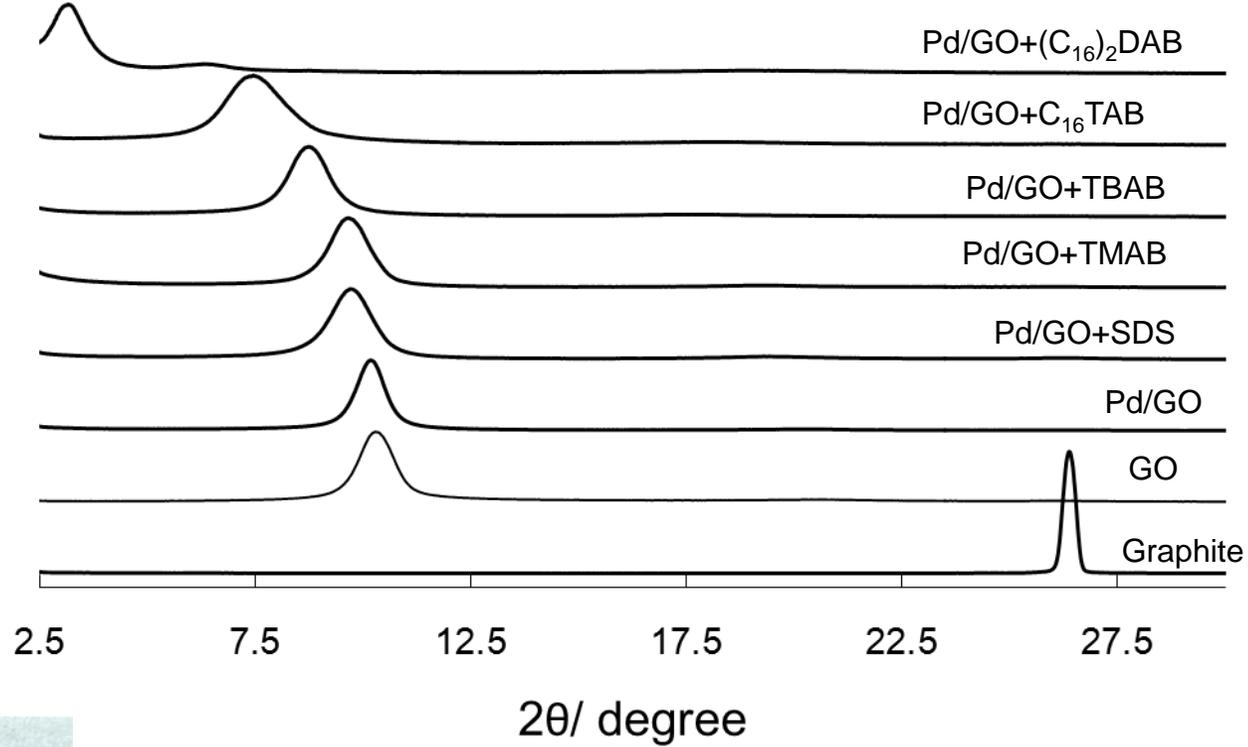
層間大

分子サイズ

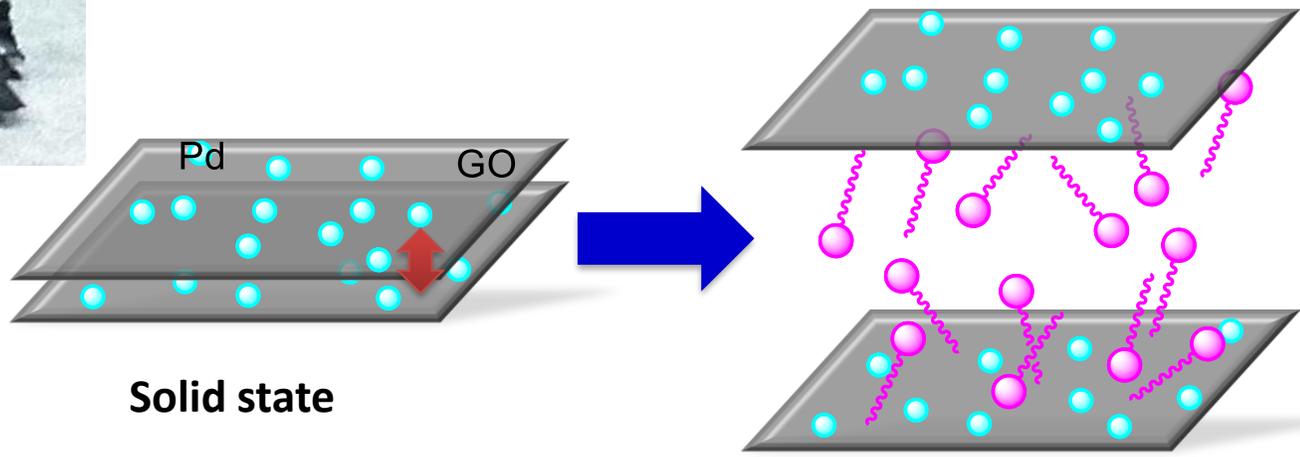
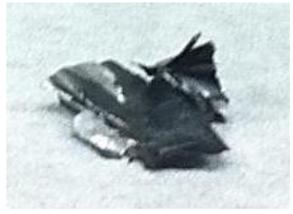


制御した層間を活用する：触媒

XRD

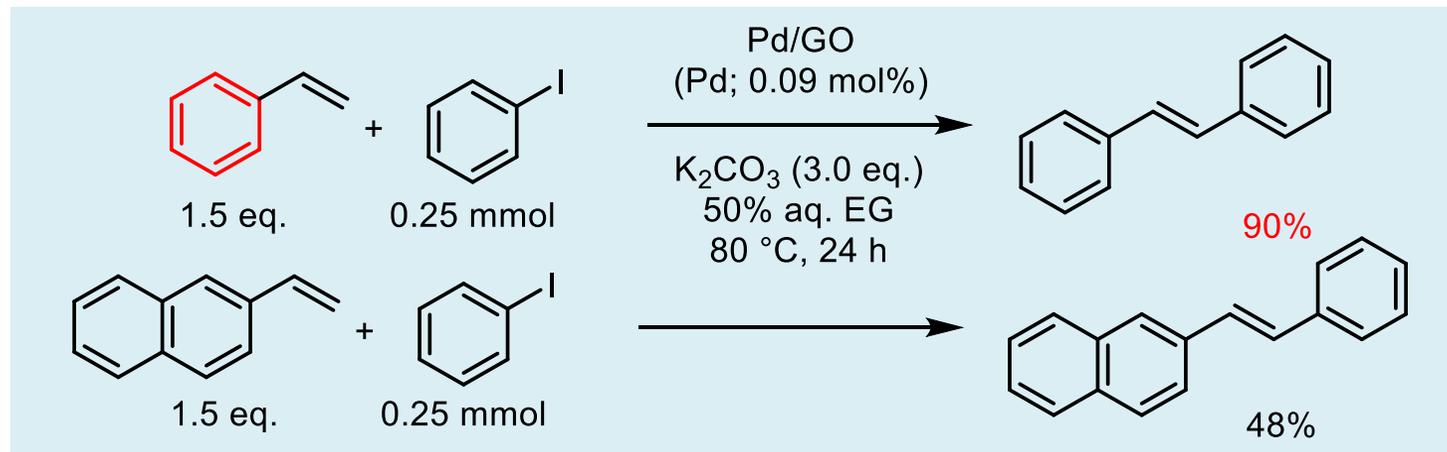
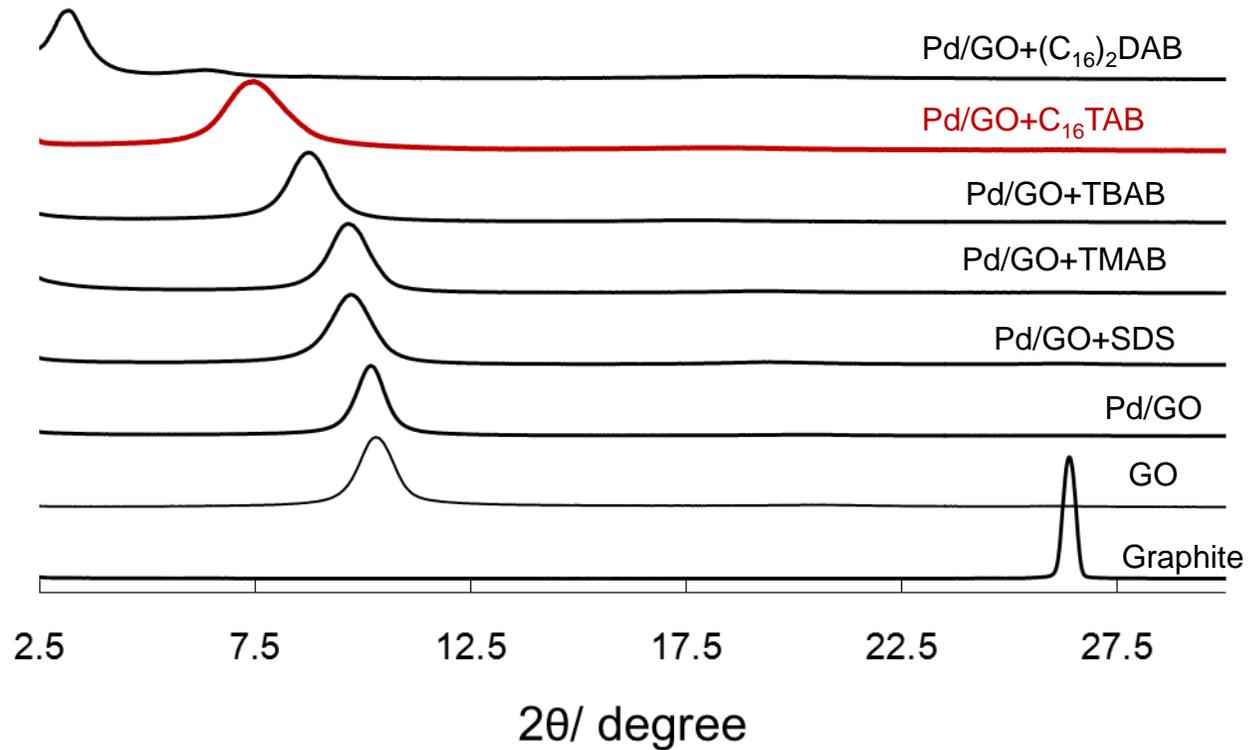


大
↑
界面活性剤の
サイズ



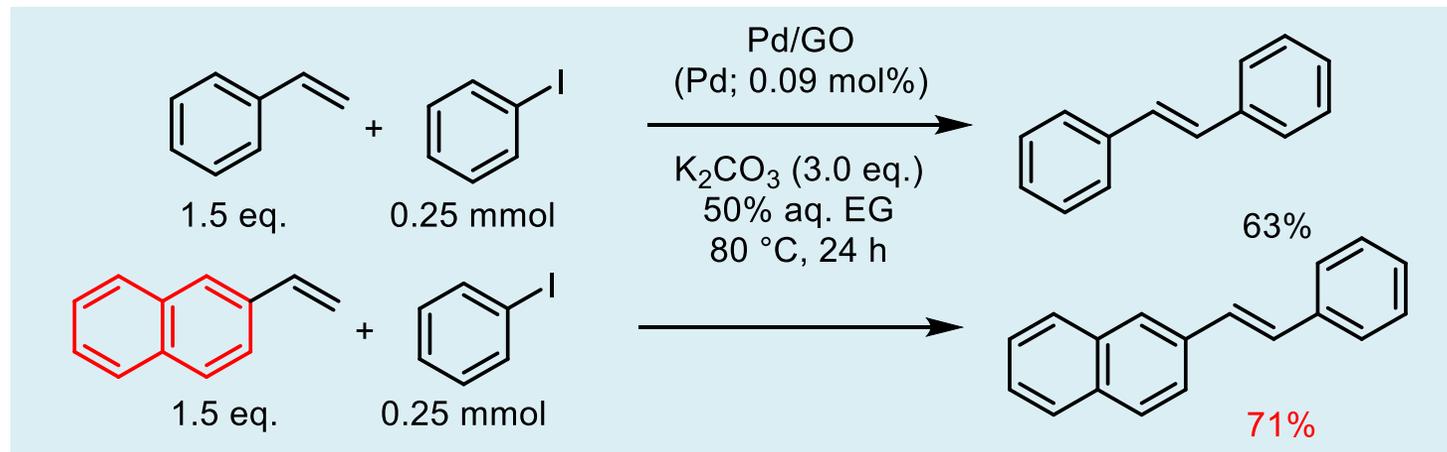
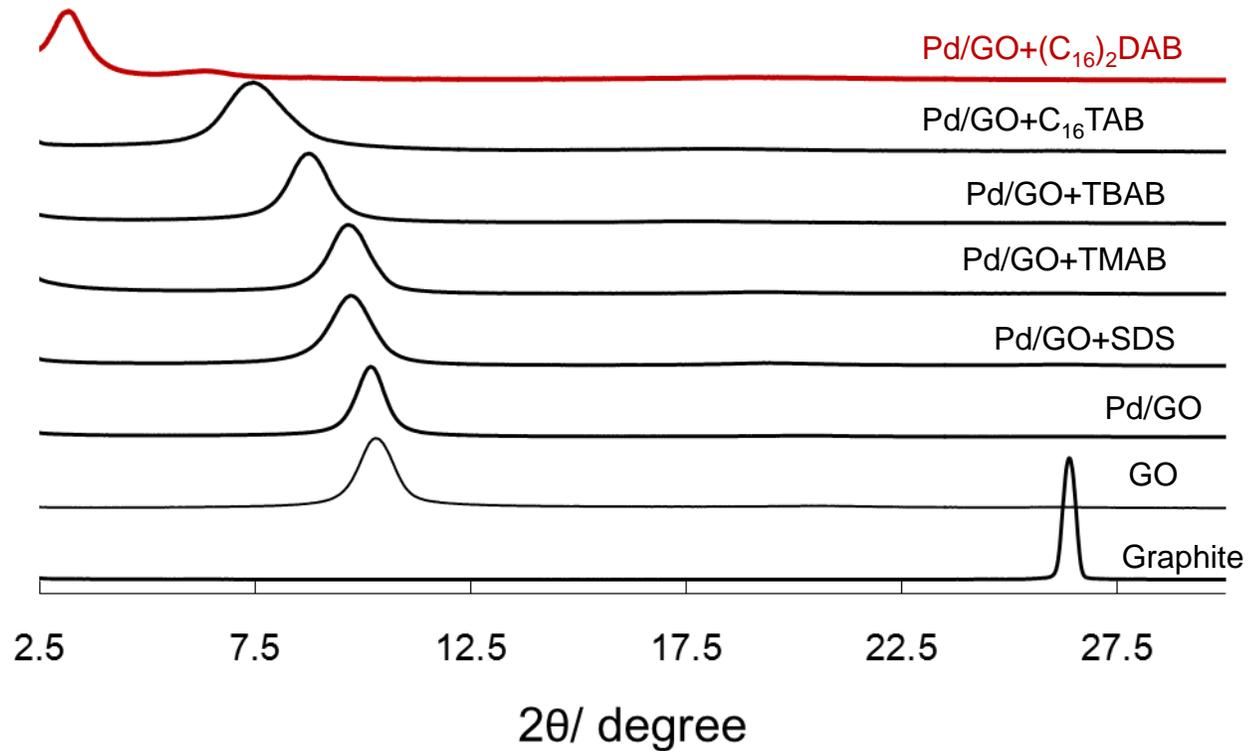
制御した層間を活用する：触媒

XRD

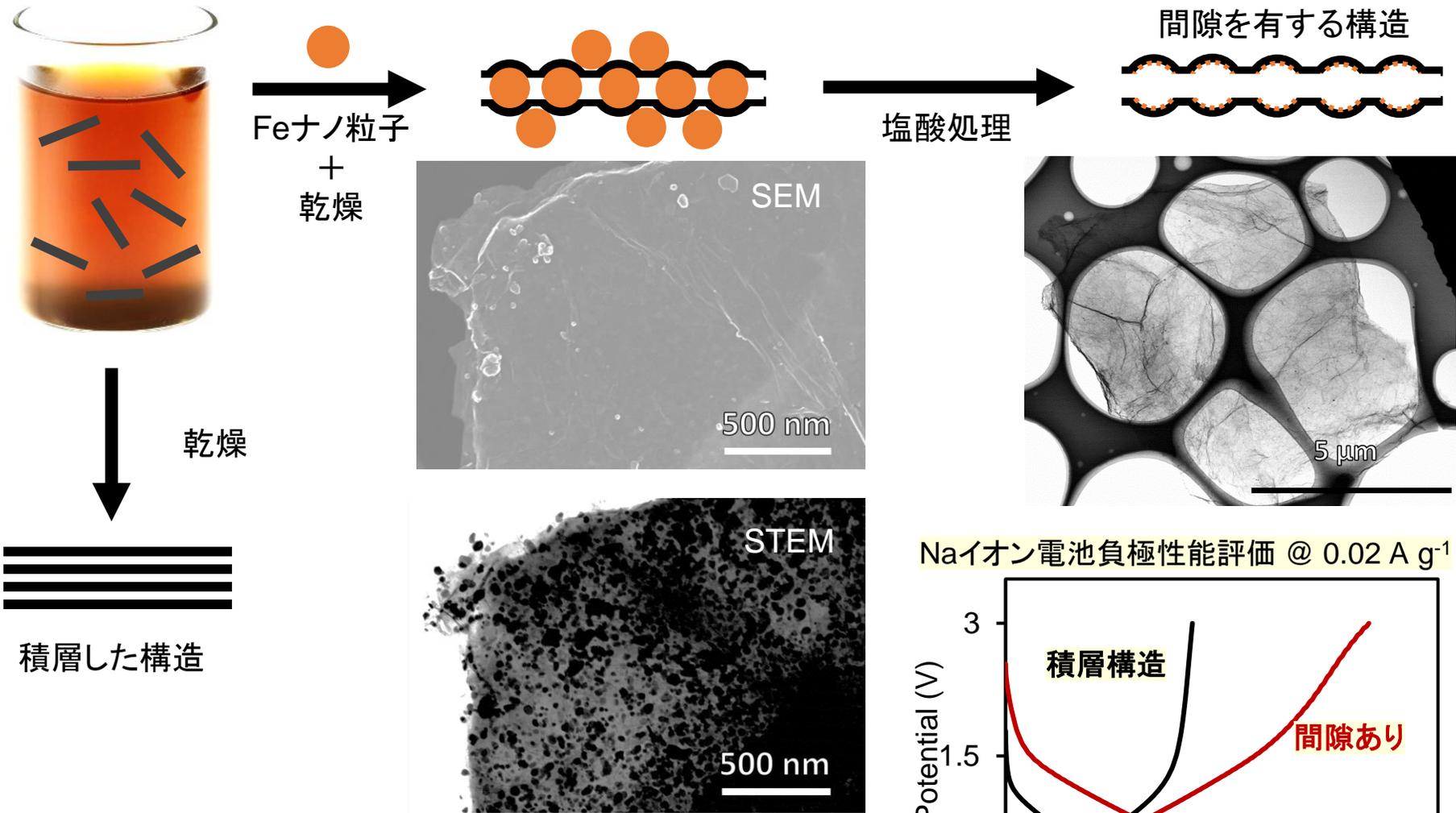


制御した層間を活用する：触媒

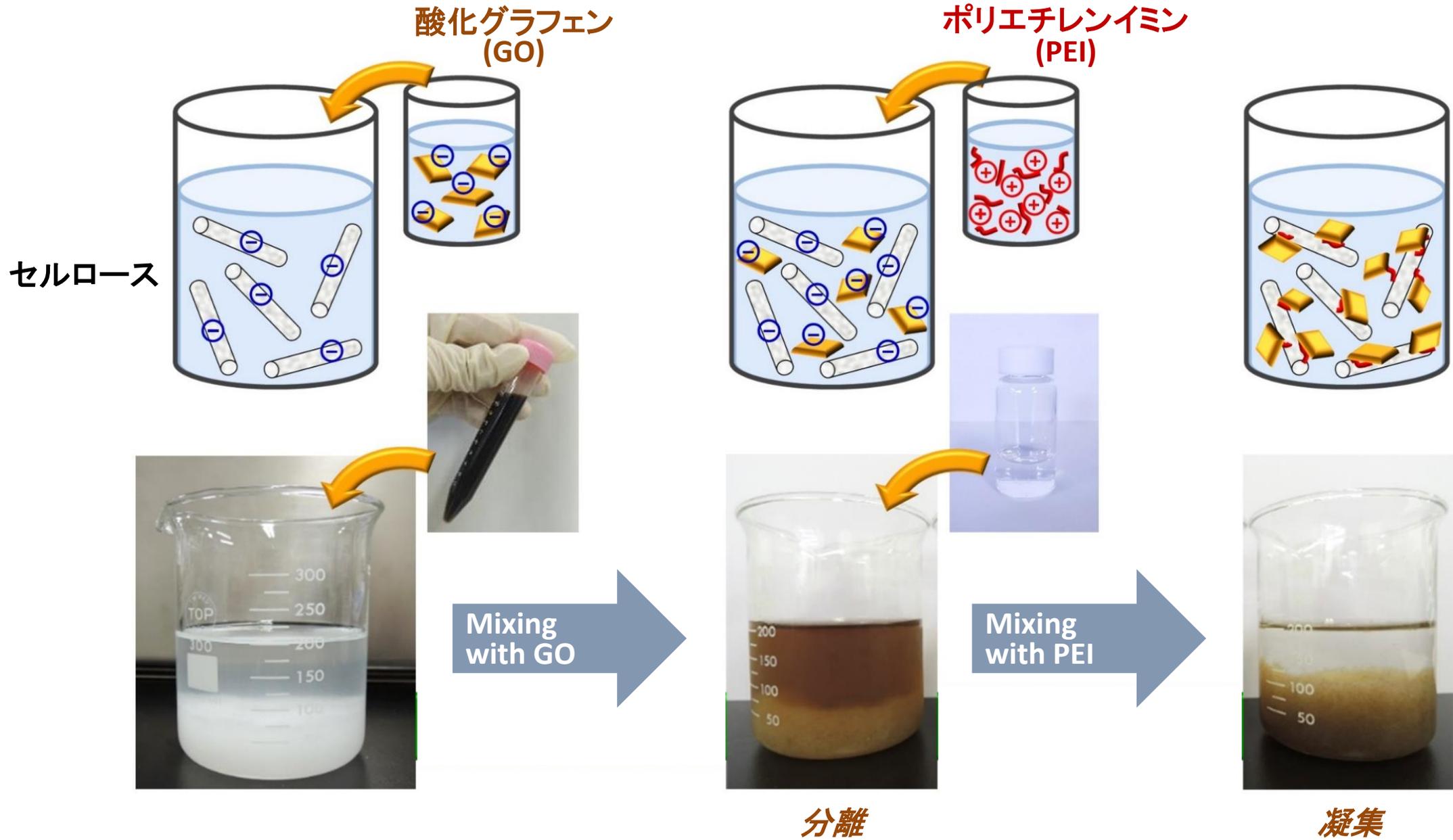
XRD



2次元 + ナノ粒子 = 3次元カーボン



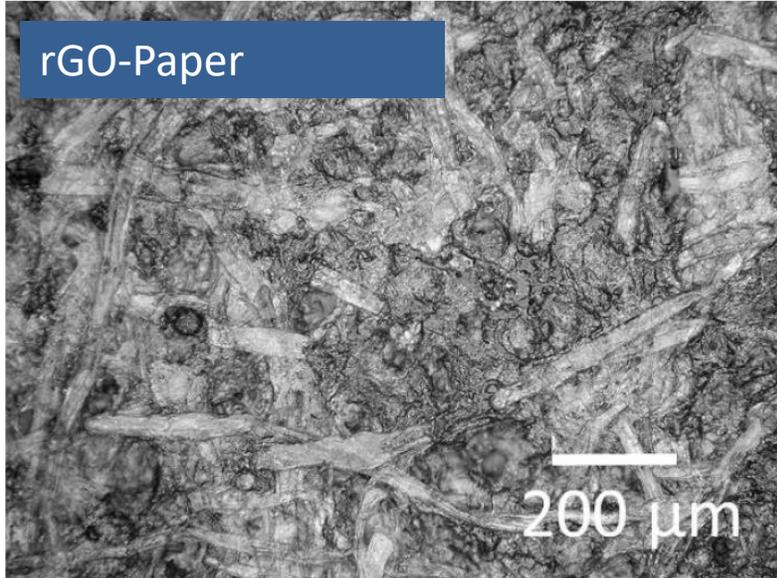
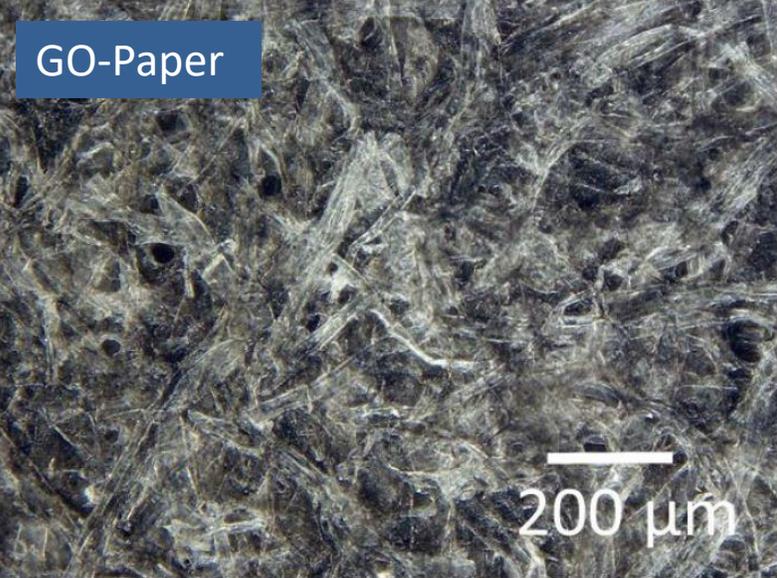
2次元 + セルロースファイバー = 3次元カーボン



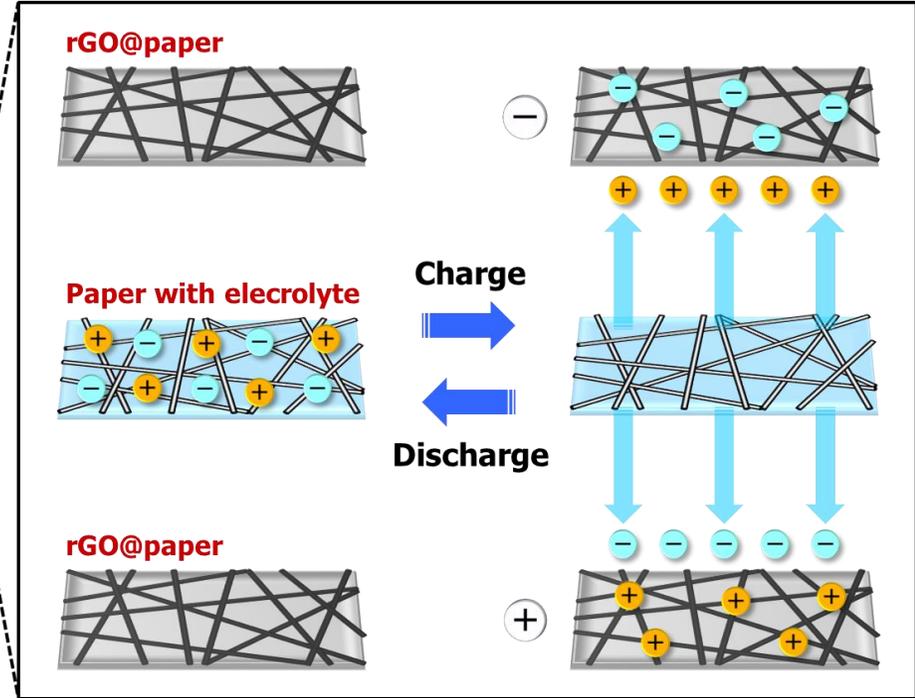
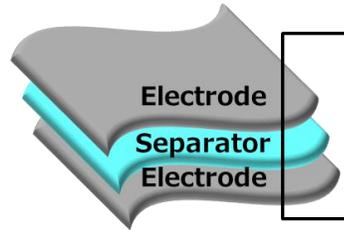
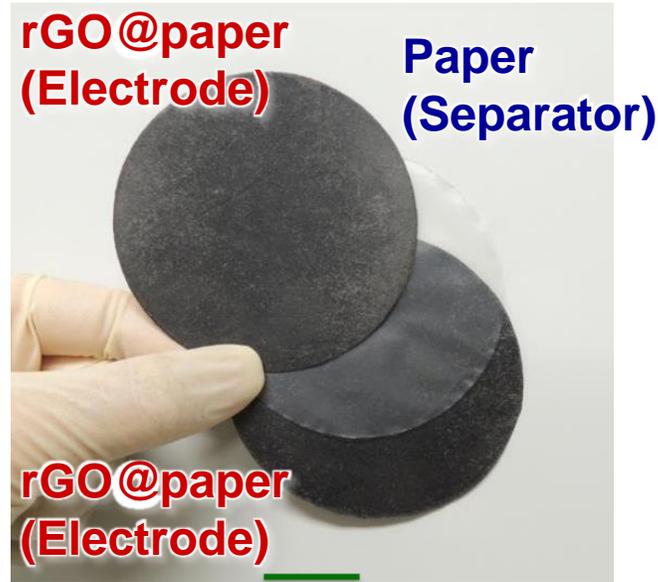
光照射による導電性の付与



200 V, 1.0 J/cm²
36 ms, room temp,
under Air



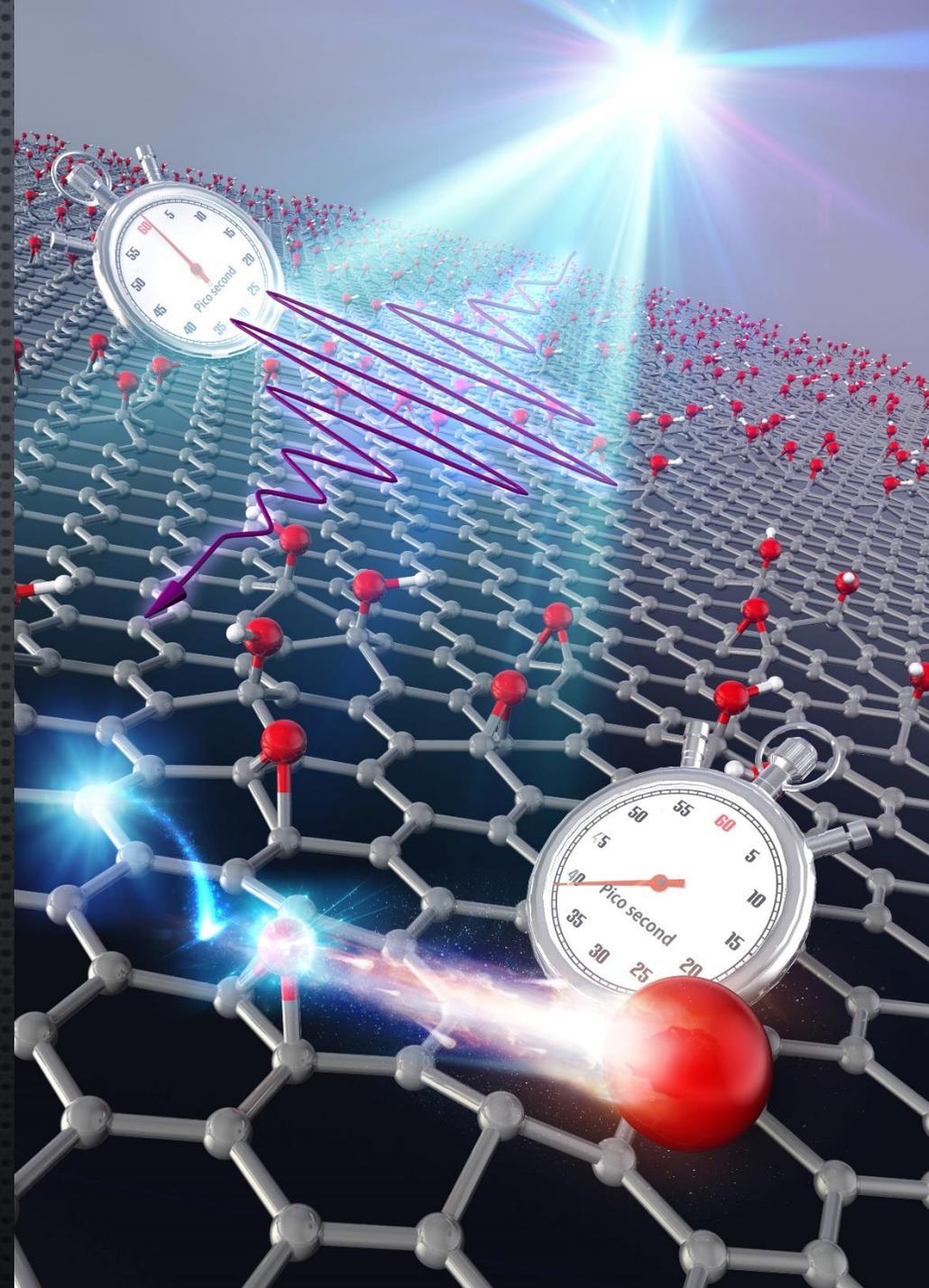
フレキシブルスーパーキャパシタへの応用



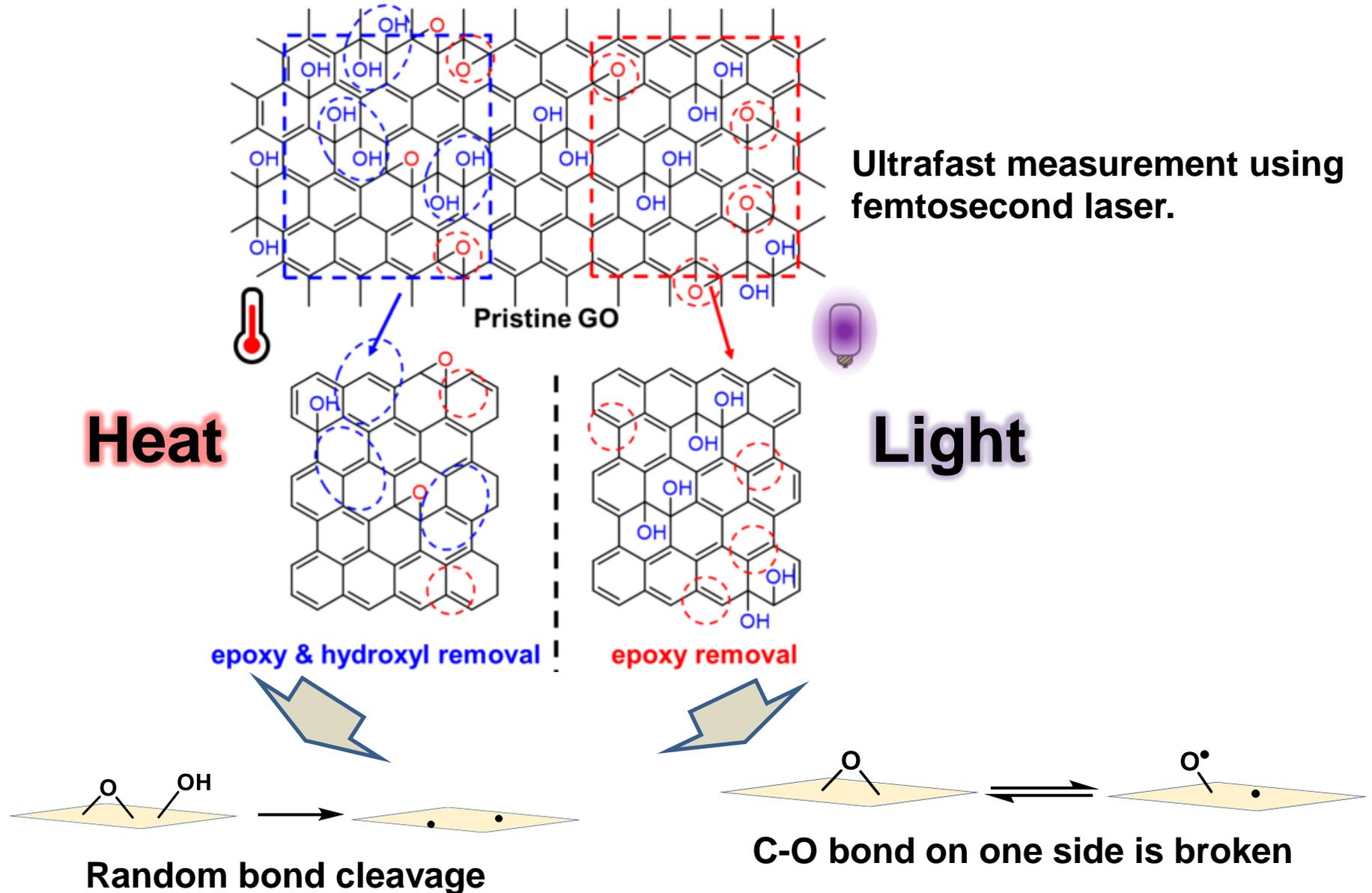
- 薄い
- 軽量
- 柔軟
- 貼り付け可能

Capacitance: 200 F/g

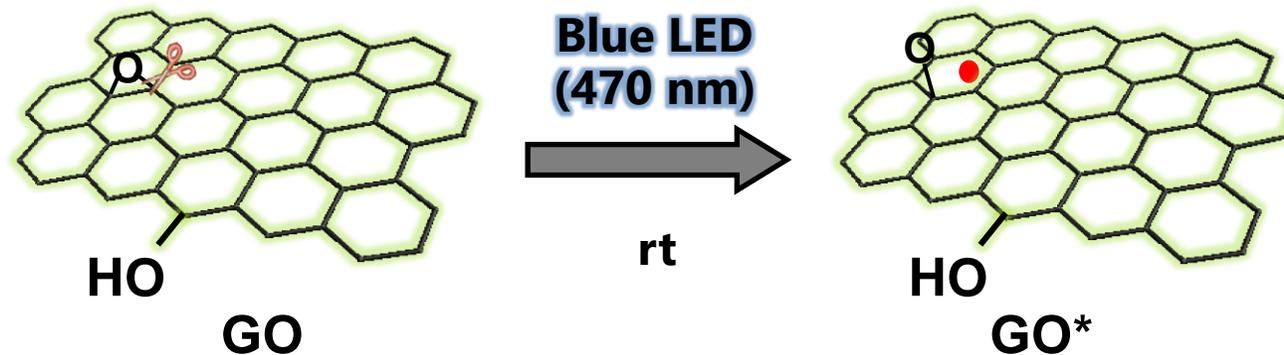
GOは光に反応する



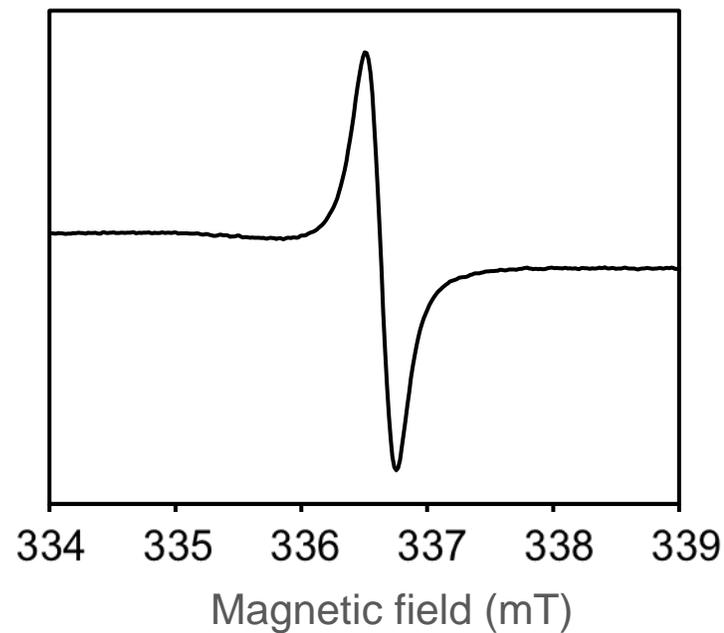
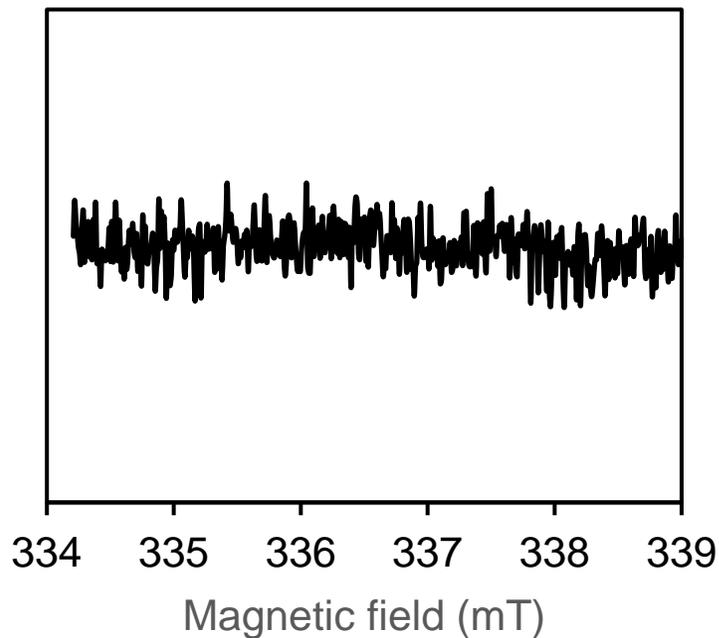
熱 or 光による結合の開裂



酸化グラフェンへの光照射

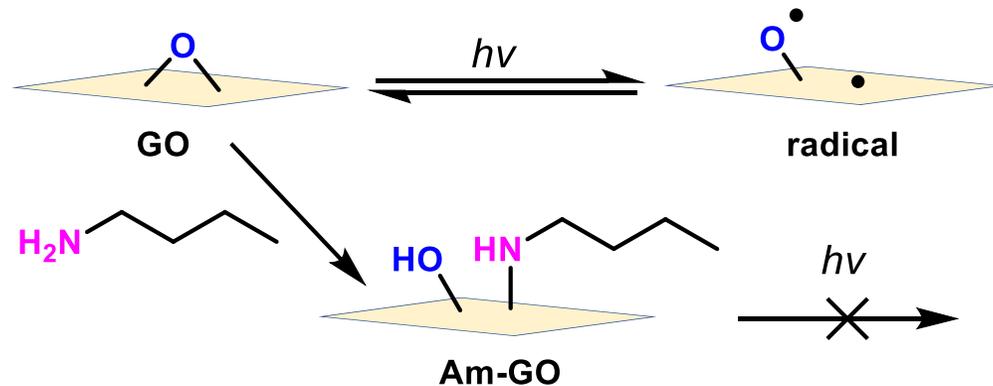
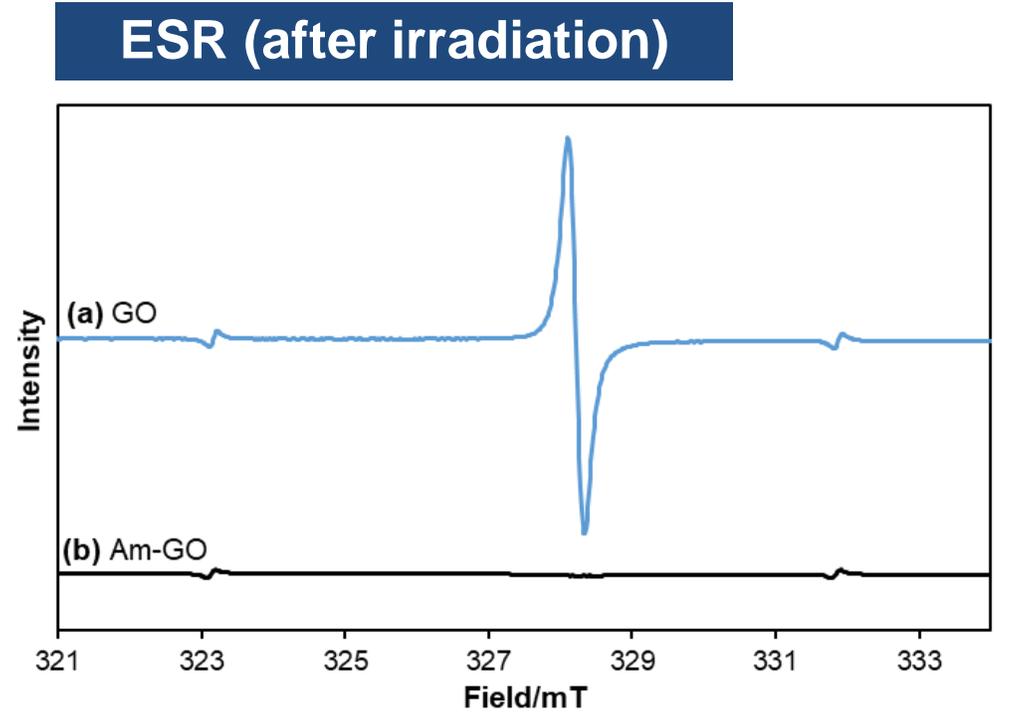
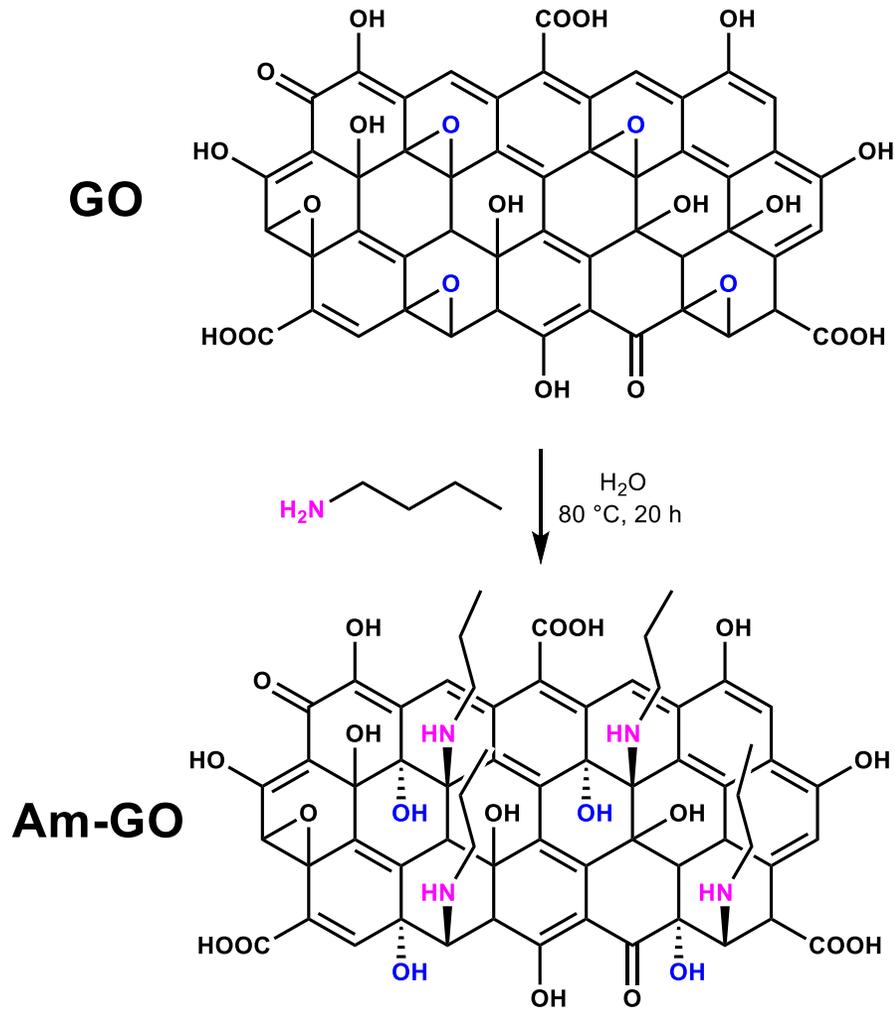


ESR



光照射により、ラジカルが発生

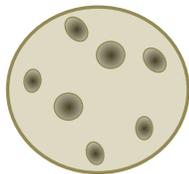
ラジカル発生にはエポキシ基が重要



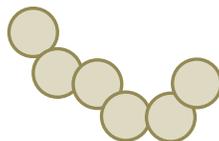
GOが最もラジカルを発生



Graphene oxide
(GO)



Ox. activated carbon
(O-AC)



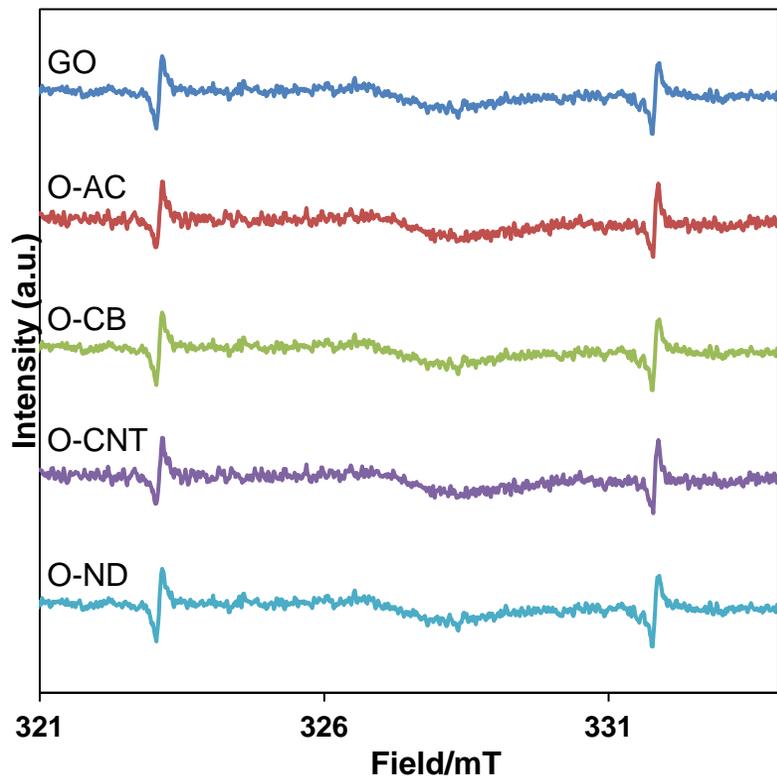
Ox. carbon black
(O-CB)



Ox. carbon nanotube
(O-CNT)

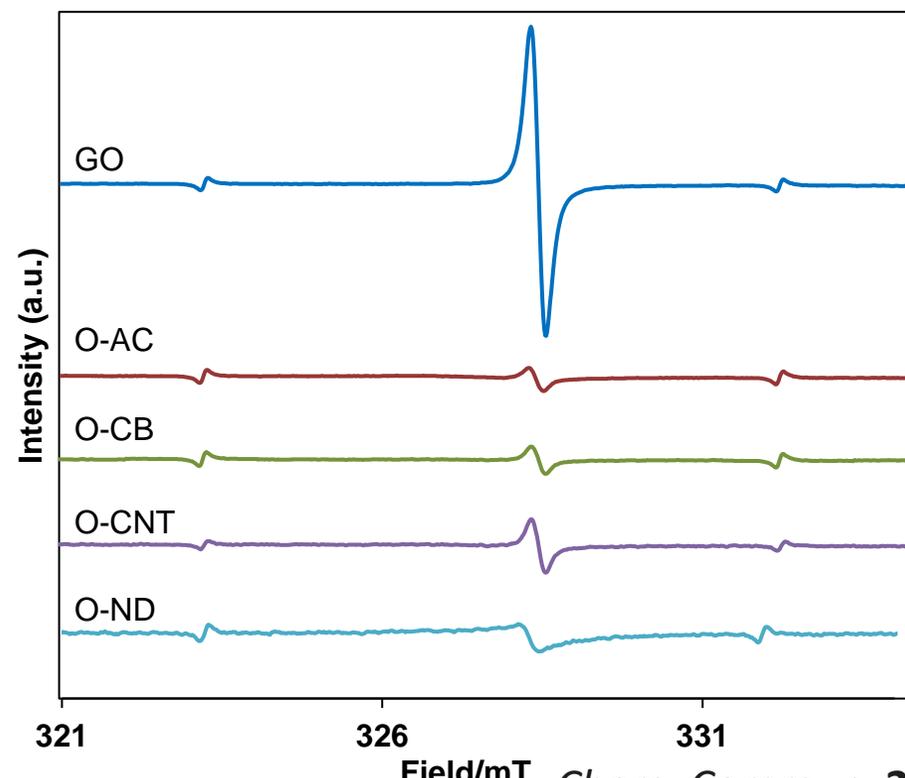
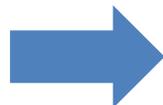


Ox. nanodiamond
(O-ND)



ESR

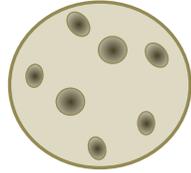
Blue LED
(470 nm)



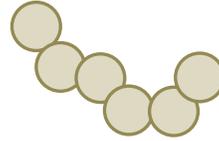
GOが最もラジカルを発生: エポキシ基の効果



Graphene oxide
(GO)



Ox. activated carbon
(O-AC)



Ox. carbon black
(O-CB)

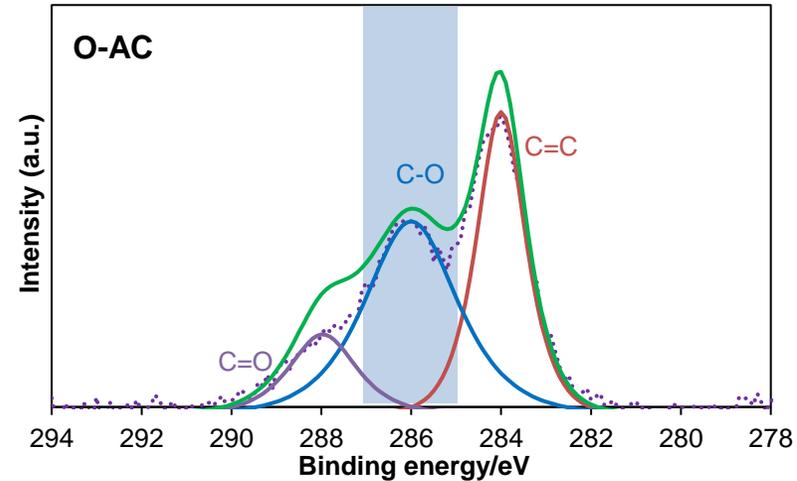
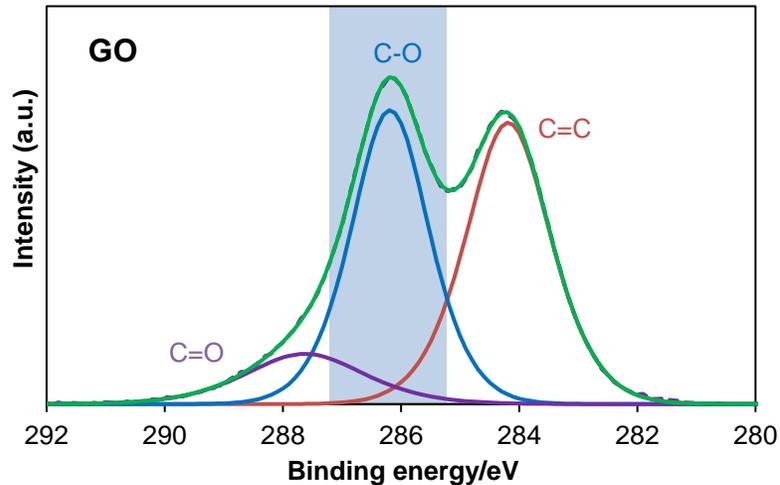


Ox. carbon nanotube
(O-CNT)



Ox. nanodiamond
(O-ND)

XPS (C1s)

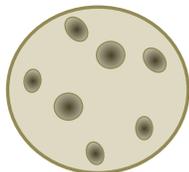


Epoxide plays an important role in radical generation.

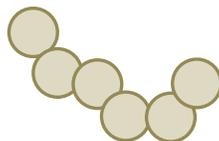
GOが最もラジカルを発生



Graphene oxide
(GO)



Ox. activated carbon
(O-AC)



Ox. carbon black
(O-CB)

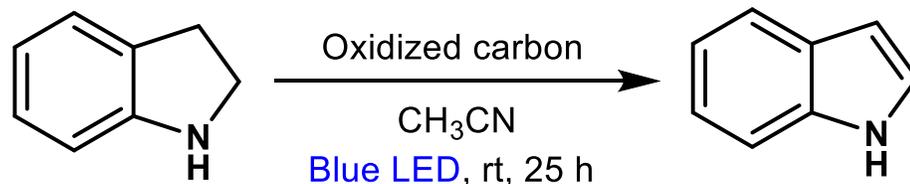


Ox. carbon nanotube
(O-CNT)



Ox. nanodiamond
(O-ND)

Catalysis

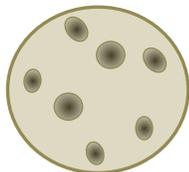


Entry	Oxidized carbon	Yield (%)
1	GO	85
2	O-AC	12
3	O-CB	10
4	O-CNT	7
5	O-ND	5
6	-	0

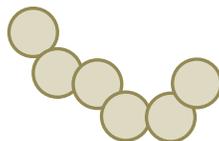
GOが最もラジカルを発生



Graphene oxide
(GO)



Ox. activated carbon
(O-AC)



Ox. carbon black
(O-CB)

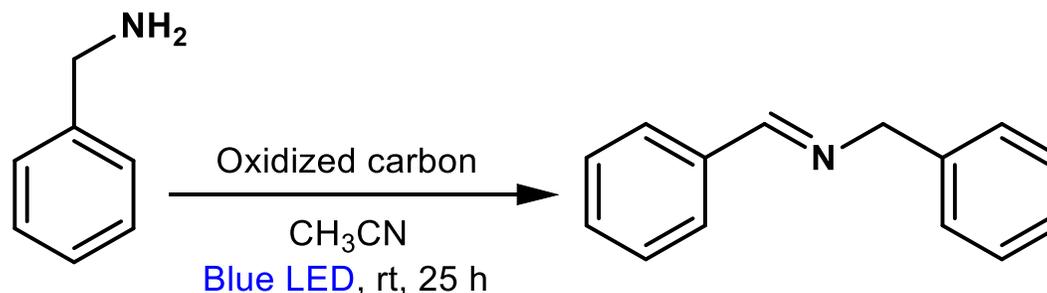


Ox. carbon nanotube
(O-CNT)



Ox. nanodiamond
(O-ND)

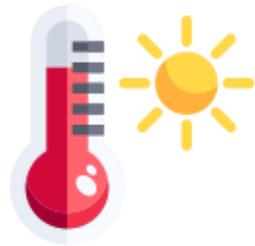
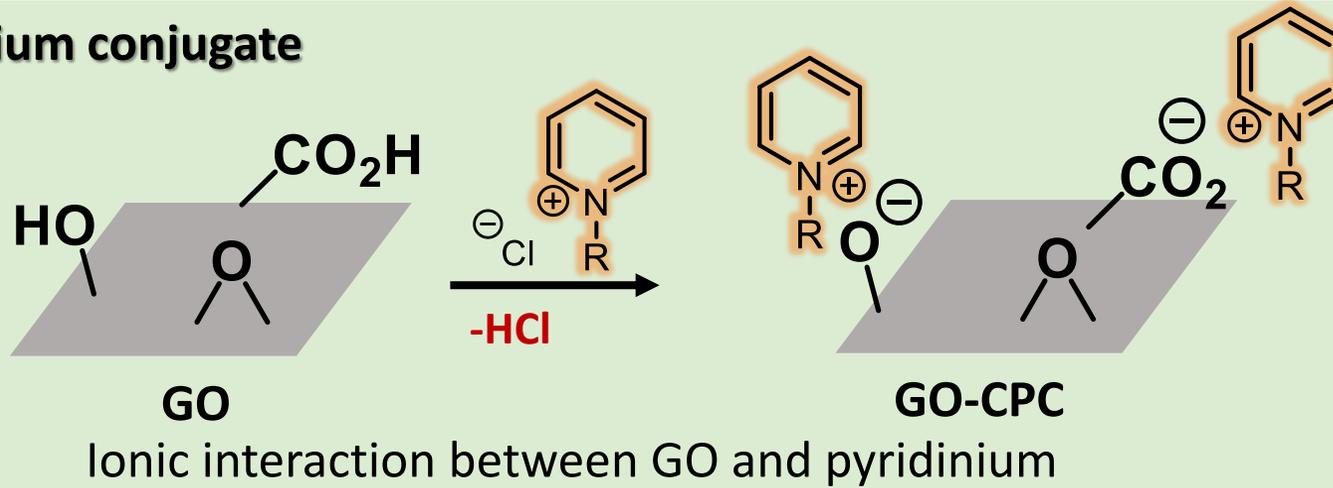
Catalysis



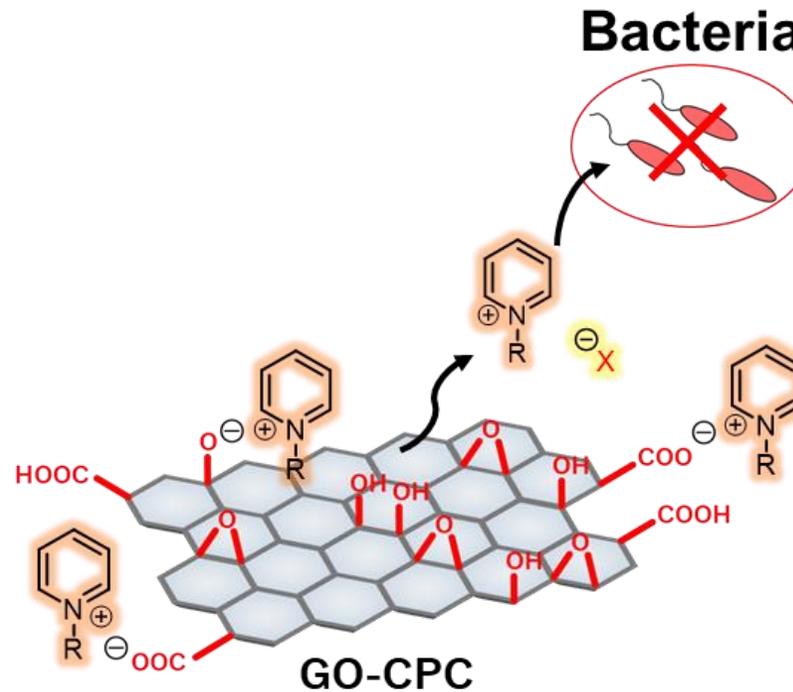
Entry	Oxidized carbon	Yield (%)
1	GO	90
2	O-AC	10
3	O-CB	5
4	O-CNT	7
5	O-ND	3
6	-	0

抗菌成分の固定化、光・熱による放出

GO-pyridinium conjugate

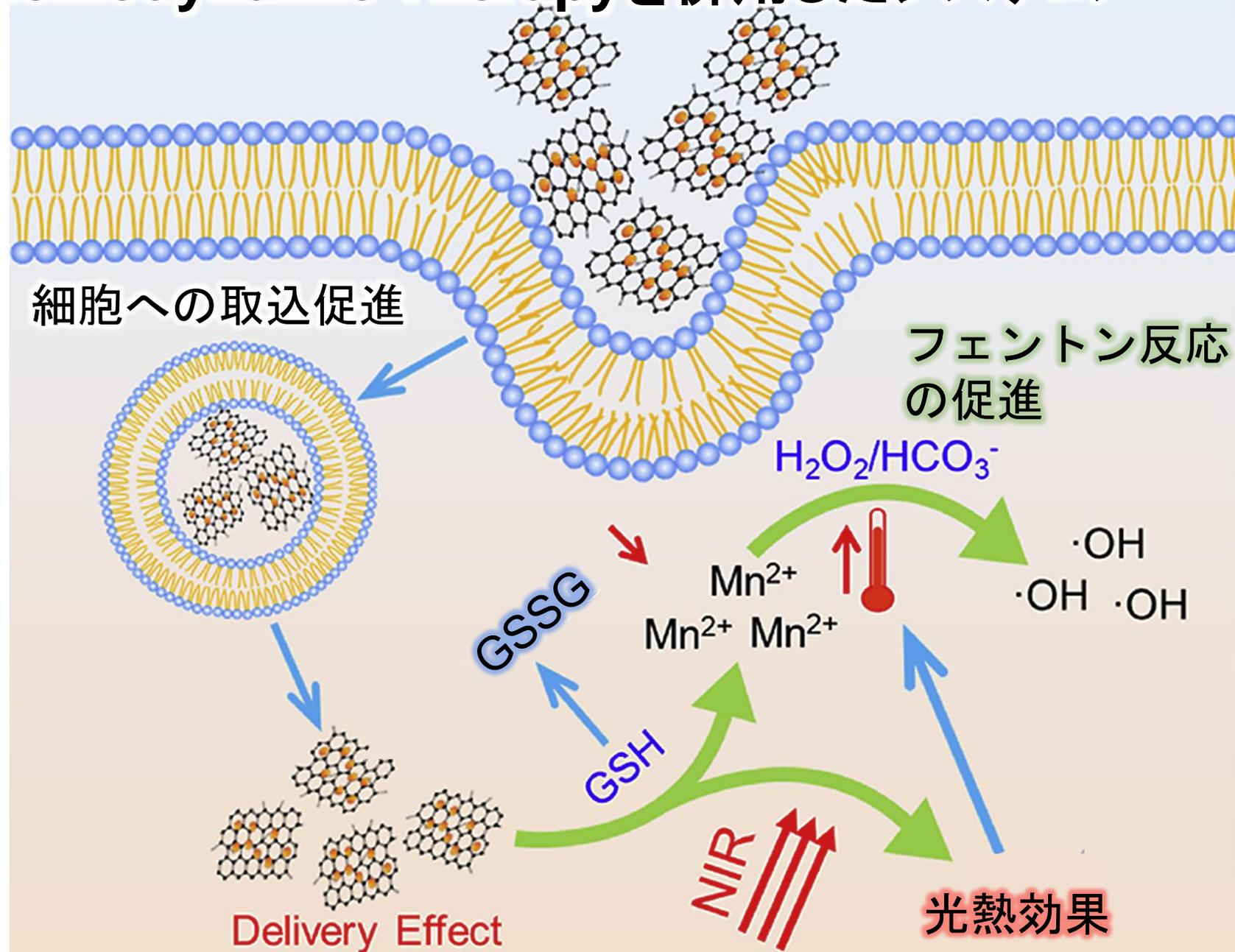
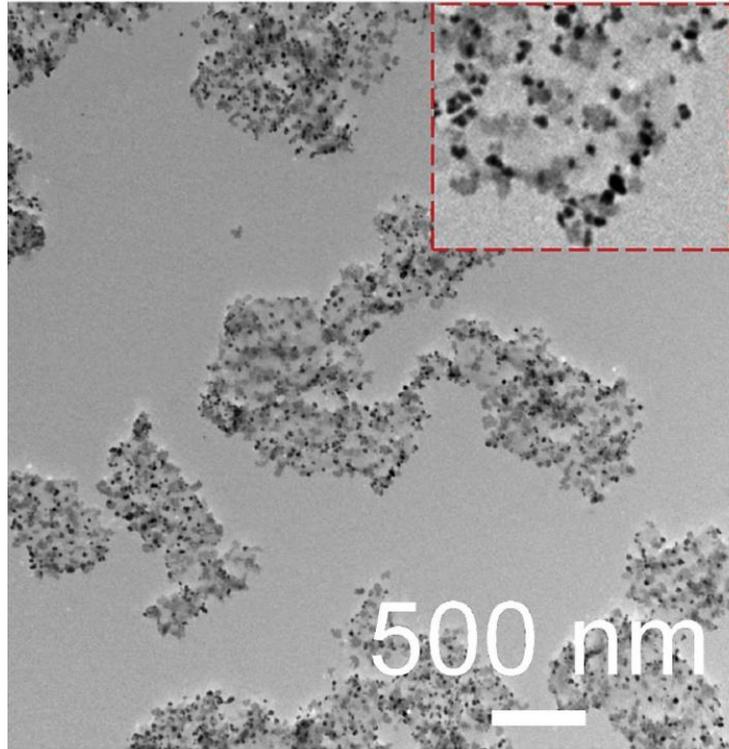


熱または光により、
抗菌剤を放出

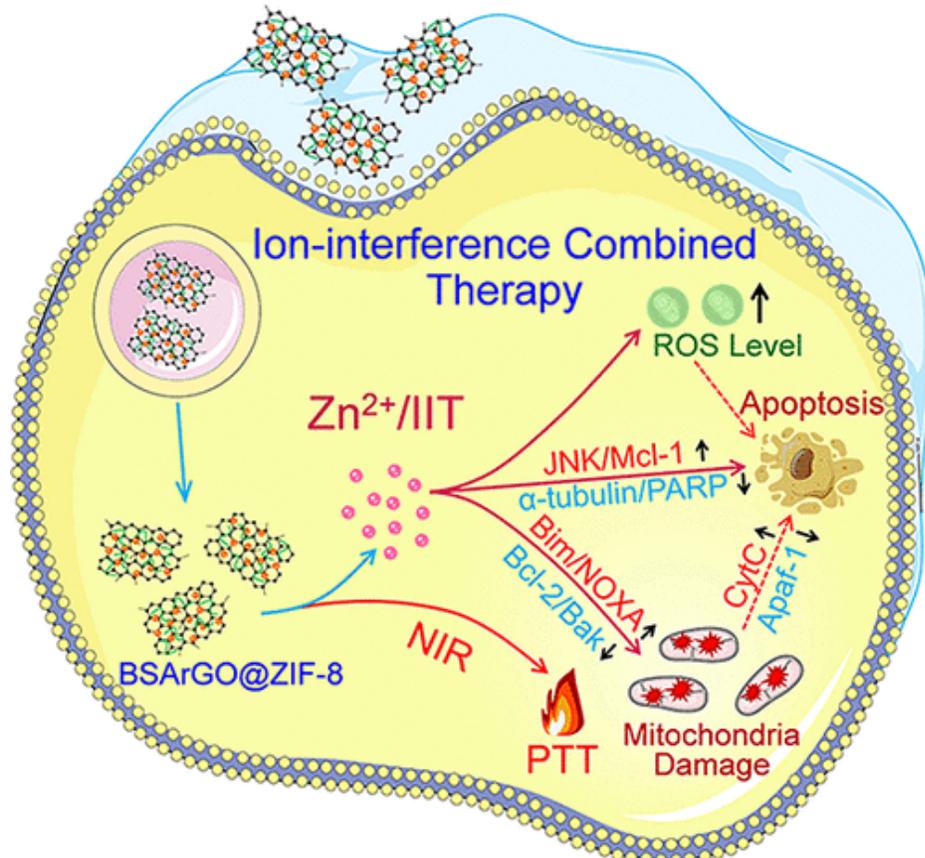
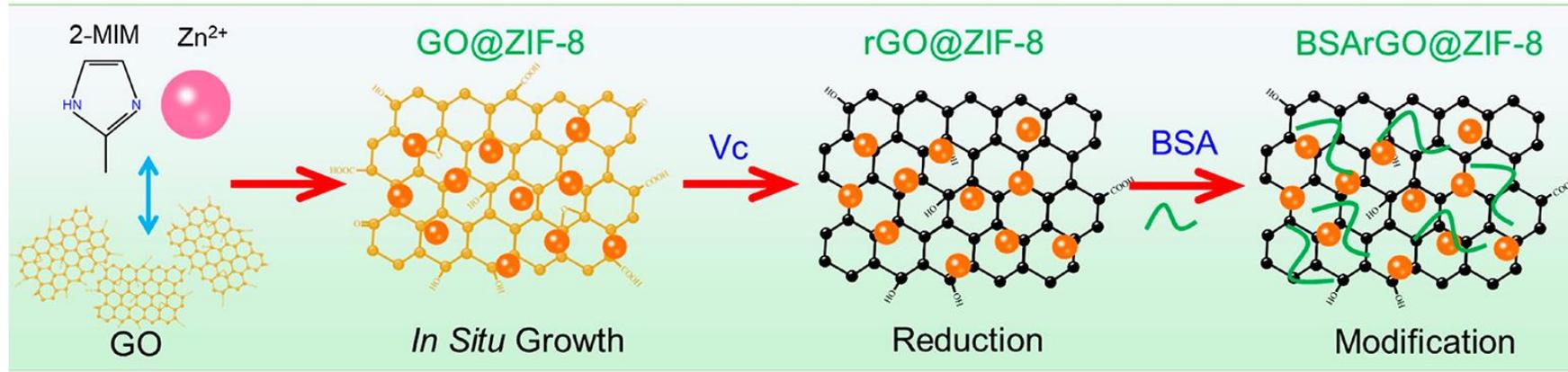


Photothermal & Chemodynamic Therapyを併用したシステム

MnO₂/GO composite



Other Photo-therapy Materials

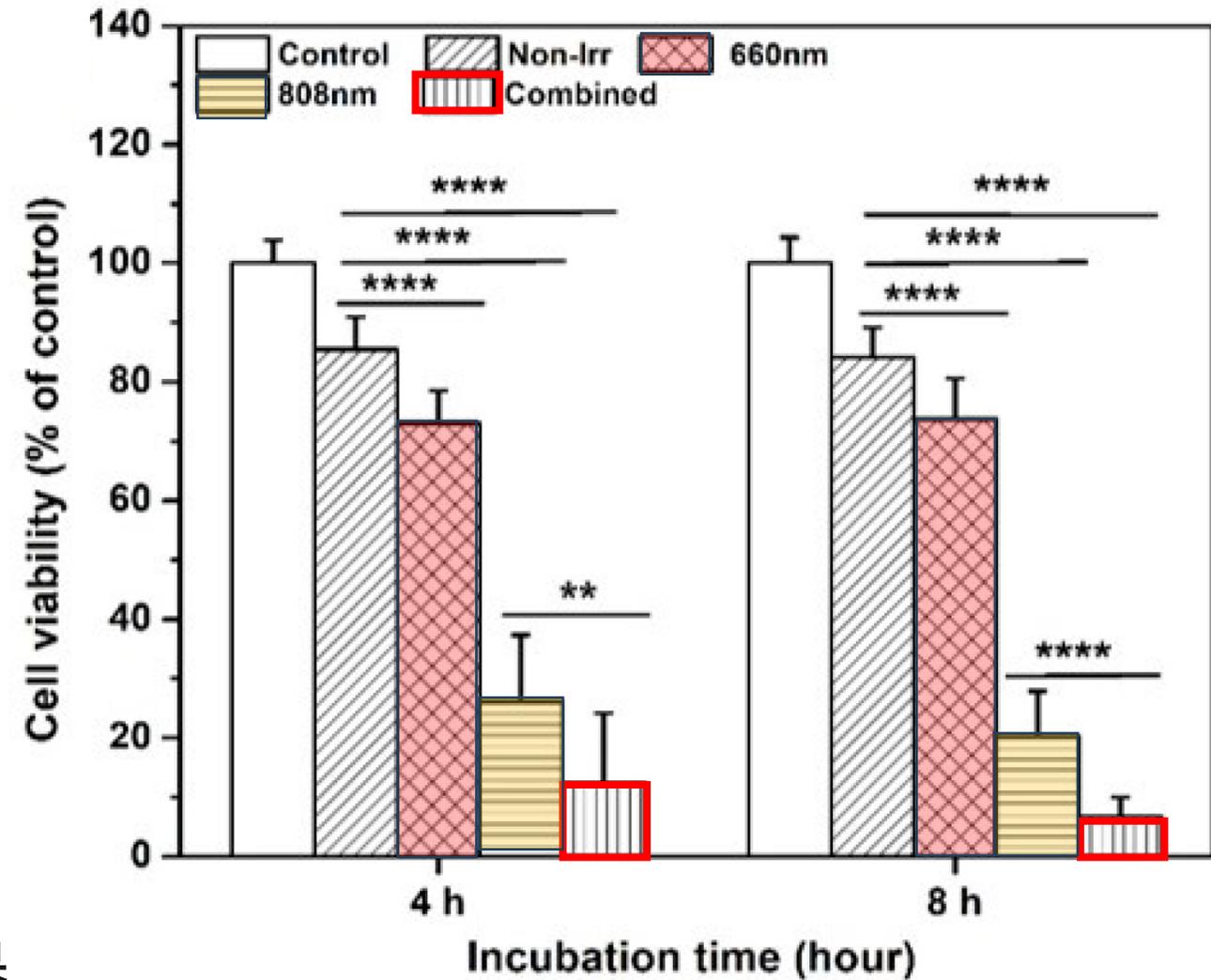
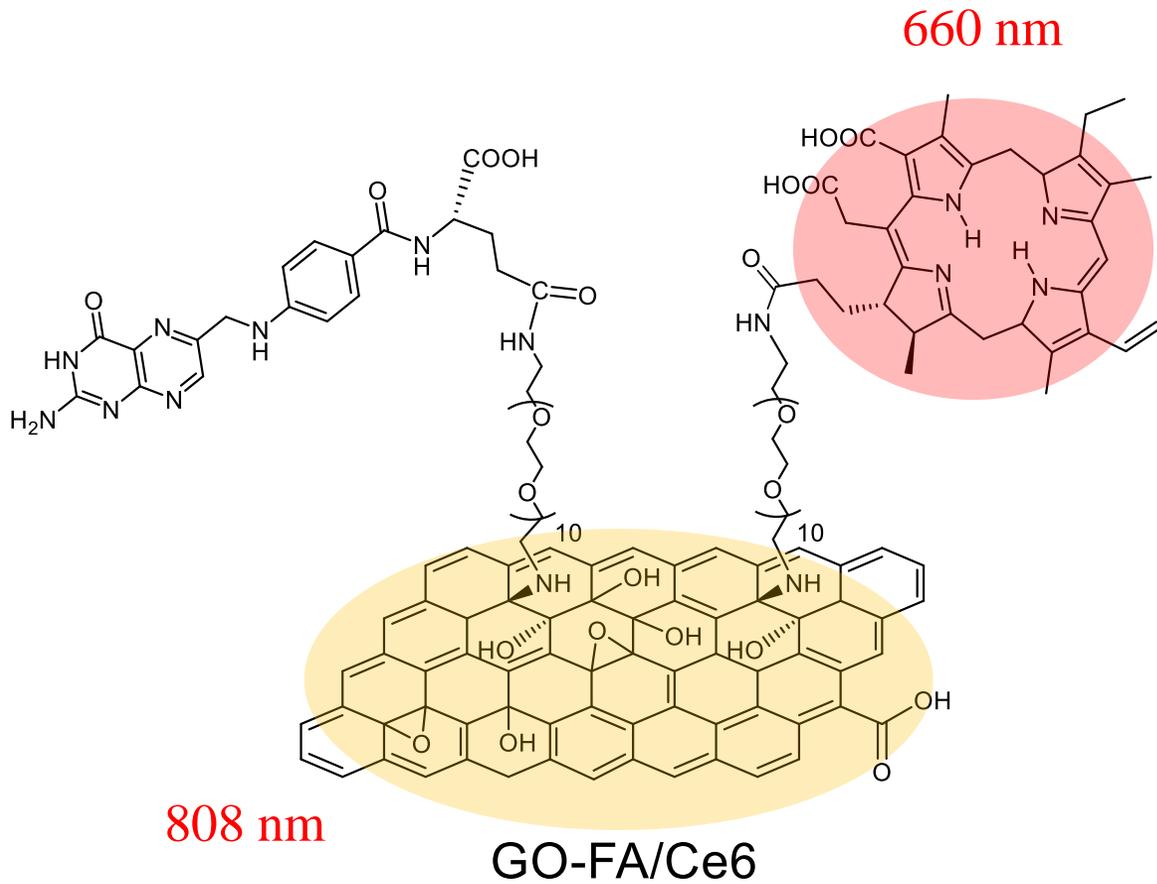


ウシ血清アルブミン(BSA)がコロイド安定性と生物学的適合性を向上。

Zn²⁺の放出によりイオン干渉効果が増強され、活性酸素種が生成。

NIR照射による光温熱効果。

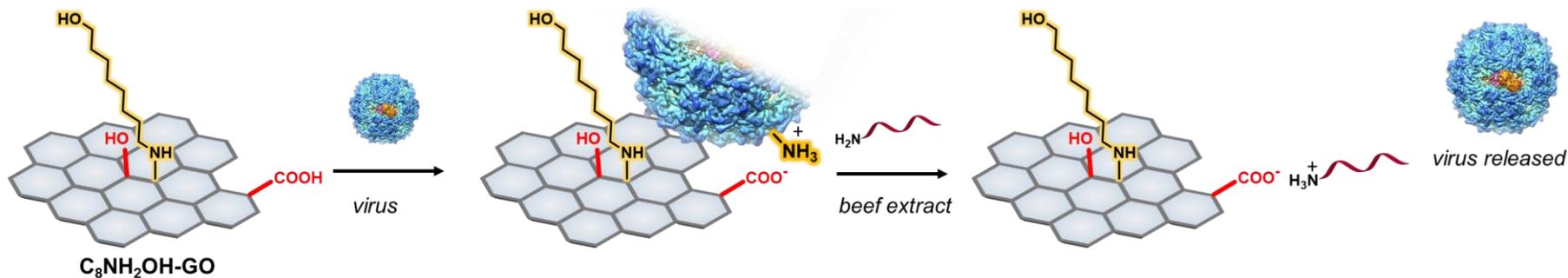
Other Photo-therapy Materials



2つの波長の光を照射することによる増強効果

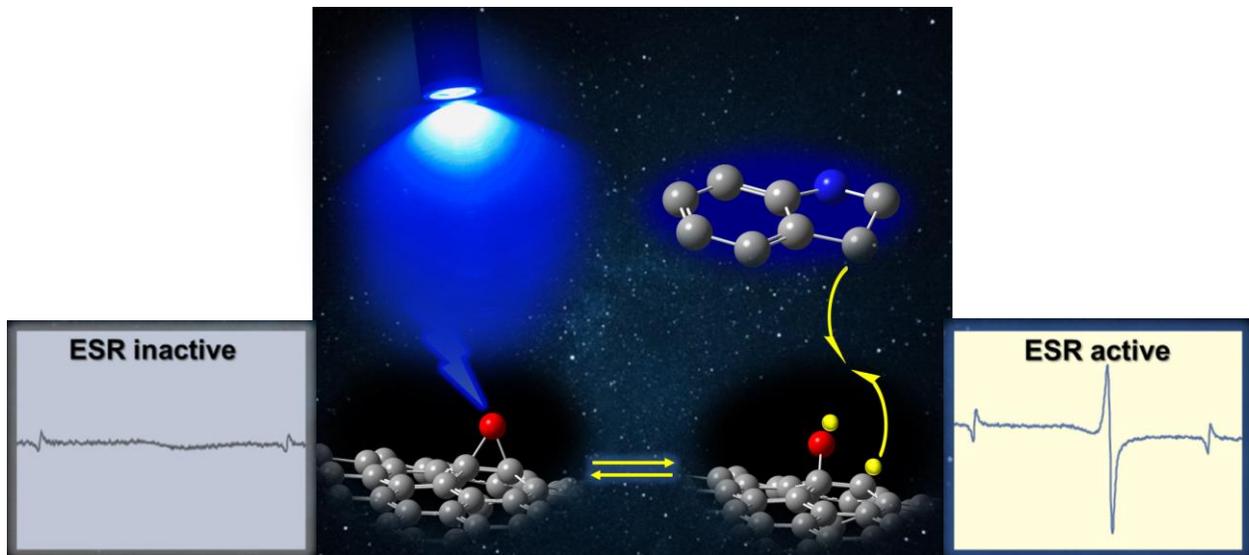
進行中の研究

1. ウイルス濃縮材

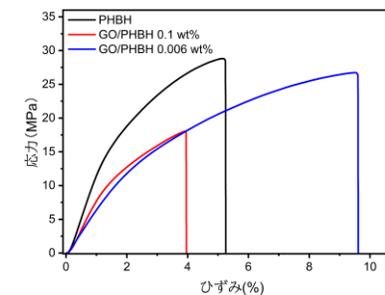
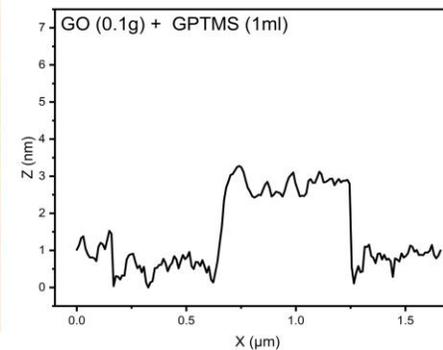
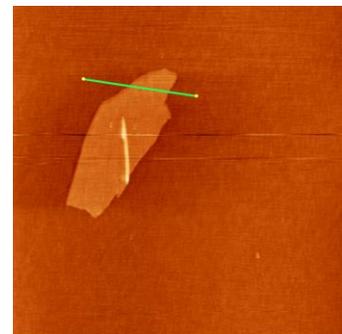


PCR detection from diluted sewage water

2. 光機能材料



3. 生分解性材料



CO₂削減に貢献する研究

① カーボンブラックを代替する炭素材料の開発



② バイオマスの炭素化

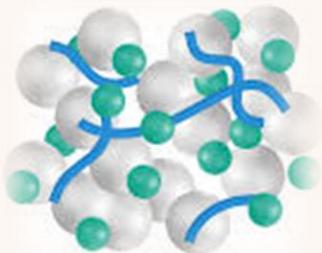


High temp.
Microwave
Catalyst



Crystalline carbon

導電助剤



潤滑添加剤



③ 有機物の炭素化

CREST



Catalytic
carbonization



Carbon

エネルギー貯蔵



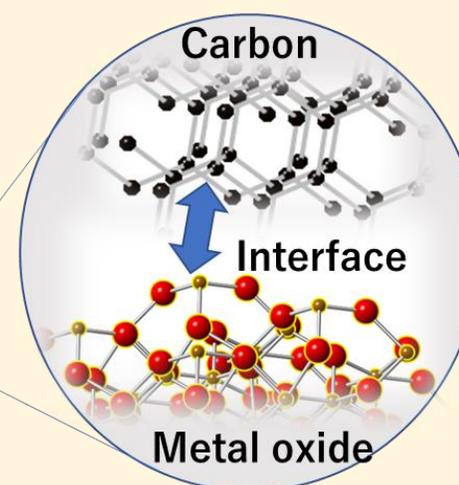
科研費
KAKENHI

④ CO₂の炭素化

M

CO₂

MO_x



建材



水・土壌環境浄化

カーボンの用途開拓

For billion tons of CO₂ reduction,
produce and use billion tons of C.



水・土壌の浄化

- ☑ High surface area.
- ☑ High affinity with microorganisms.
- ☑ Strong interaction with metals (negative charge).

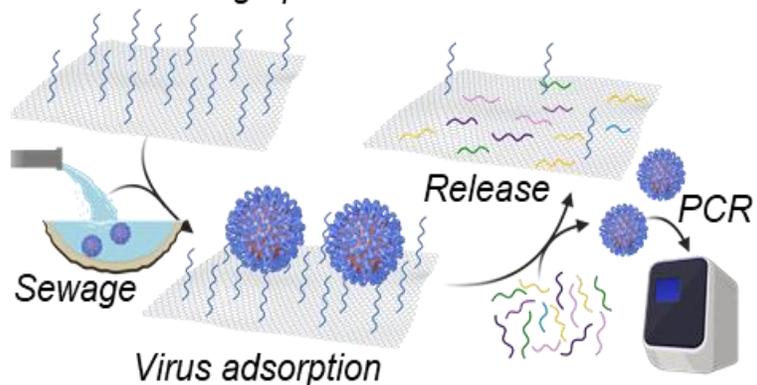


エネルギー貯蔵

- ☑ High crystallinity.
- ☑ High electron conductivity.
- ☑ High stability.



Functionalized graphene oxide



下水サーベイランス（ウイルス検出）

- ☑ Surface functionalization of graphene.
- ☑ High virus capture/release performance.
- ☑ Non-toxic & biodegradable.

目標: 炭素循環システムの構築

