

# 無機ナノ粒子を無機ナノ粒子で 分散させる技術

神奈川大学 化学生命学部 応用化学科  
特別助教 原 秀太

2024年2月22日

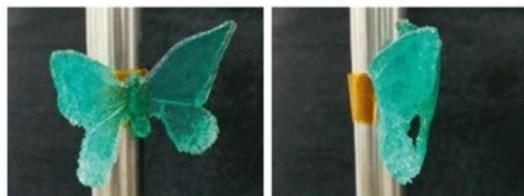
# 有機無機ハイブリット材料

形状記憶

構造化材料

Melt-mold

Shape memory

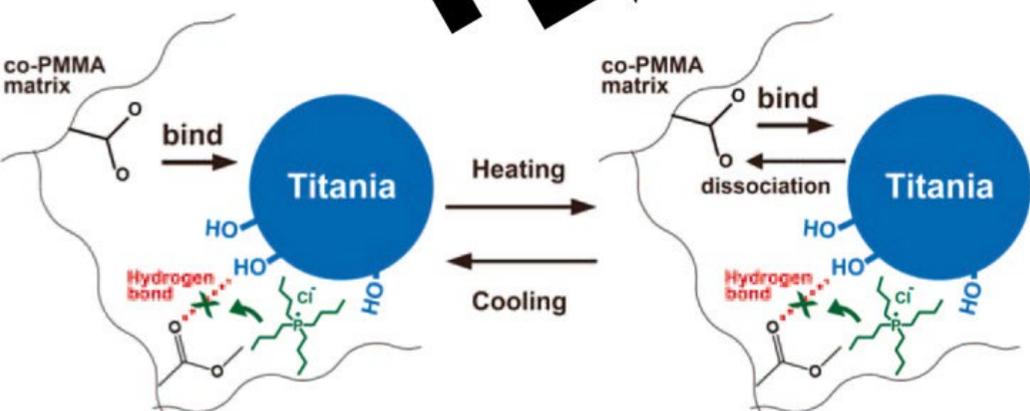


Initial shape

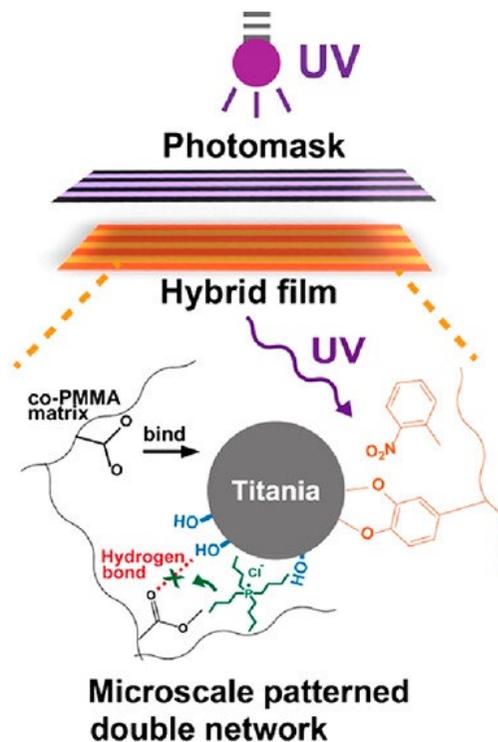
Temporary shape

2D

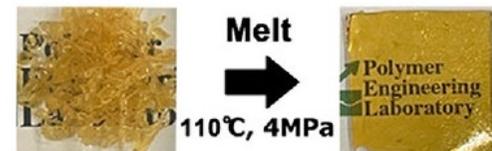
3D



S.Hara et.al. ACS Appl. Polym. Mater. 2020, 2, 12, 5654–5663



Microscale patterned double network



Fracture energy = 100 MJ/m<sup>2</sup>

Young modulus = 0.2 MPa



Horizontal

Fracture energy

1554 MJ/m<sup>2</sup>



Rhombus

Young modulus

246 MPa

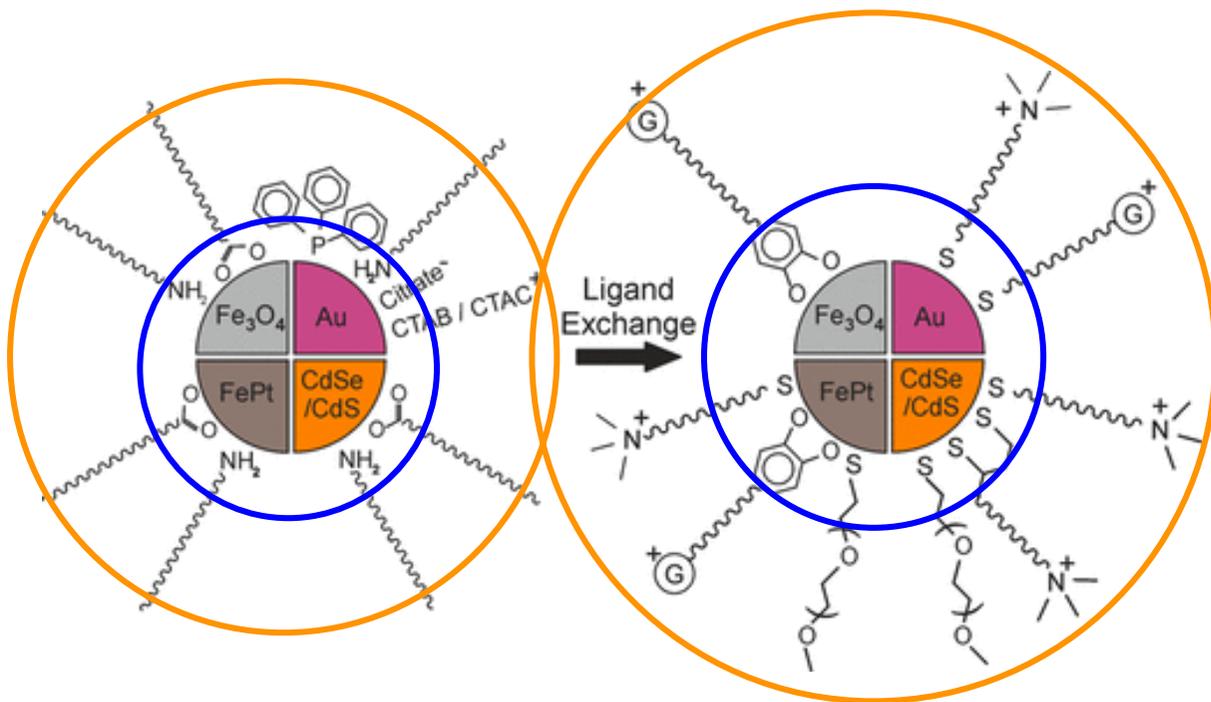
H. Ikake, S. Hara\* et al . ACS Macro Lett. 2023, 12, 7, 943–948

ナノコンポジット材料は最先端材料に必須である



ナノ粒子の分散には様々な課題がある

## 分散剤の設計指針



### 疎水系分散剤

### 親水系分散剤

## 課題 (分散剤の選択)

分散させたいナノ粒子と  
結合する官能基

×

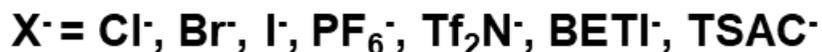
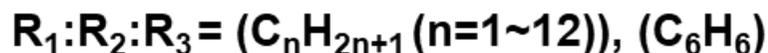
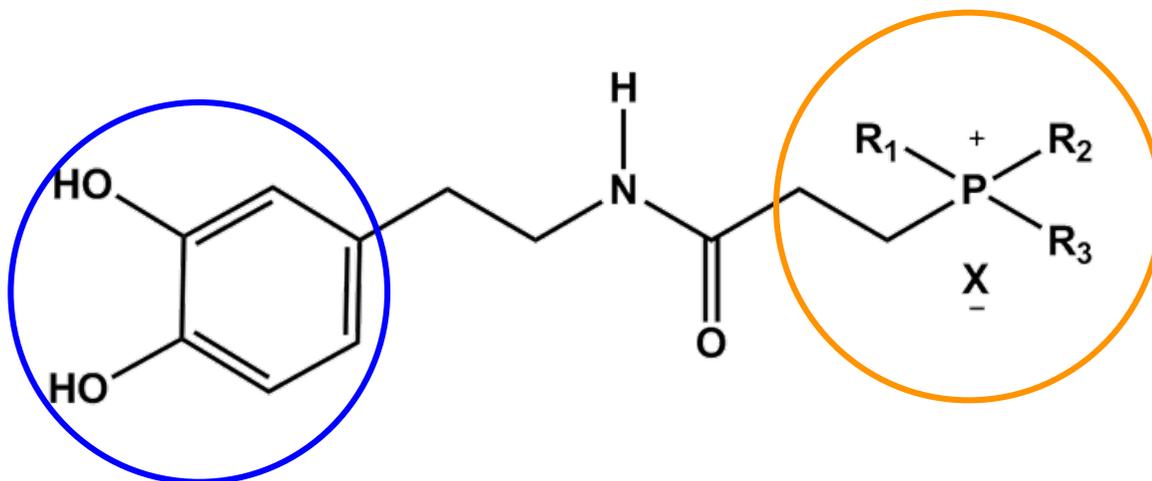
分散させたい媒体と  
親和性のある官能基

Ryan M. Dragoman et.al. Chem. Mater., 2017, 29 (21), pp 9416–9428

## ポイント

- 1.官能基の組み合わせが膨大なため、分散剤の最適化にコストを要する
- 2.分散剤の価値として分散性能しか価値が創出できない

# 新規分散剤の設計



## 1. カテコール基

様々な無機ナノ粒子と自発的に結合するため、単層コートが容易

## 2. リンカチオン

→様々な溶媒・高分子に親和性を持つ

→アニオン ( $X^-$ ) の設計により媒体との親和性を調整できる

→金属表面と弱い相互作用をするためナノ粒子被覆できる

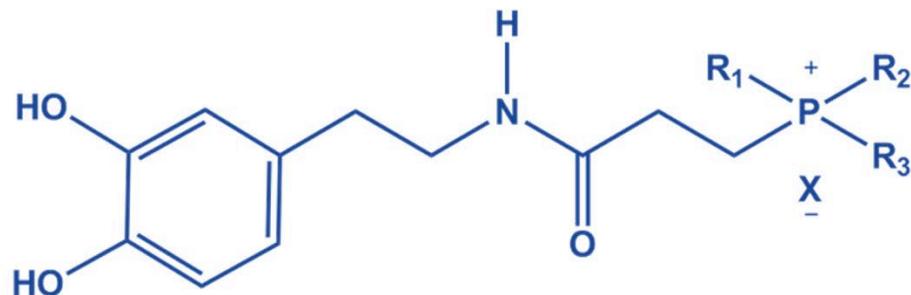
# 分散手法(ビーズミル)



ナノ粒子(粉末)



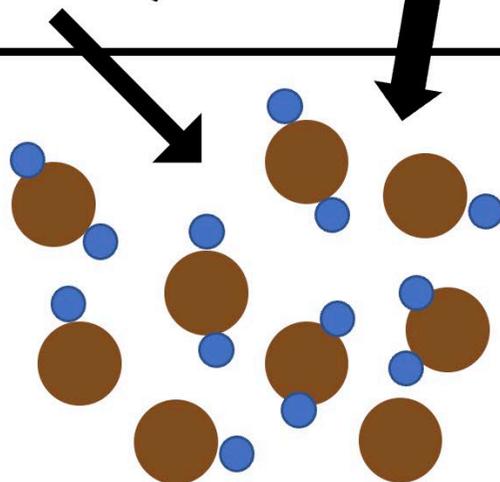
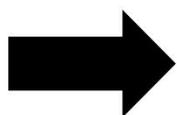
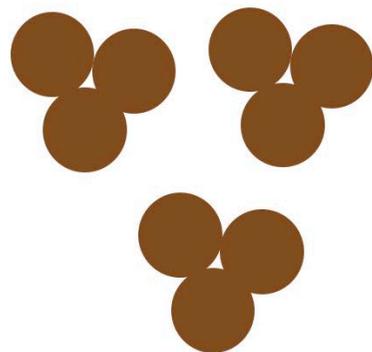
ビーズミル



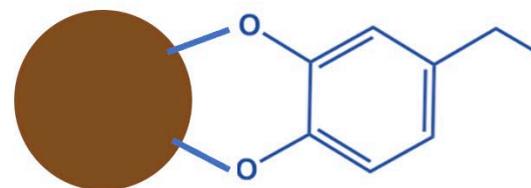
R<sub>1</sub>:R<sub>2</sub>:R<sub>3</sub> = (C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub> (n=1~12)), (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

X<sup>-</sup> = Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, PF<sub>6</sub><sup>-</sup>, Tf<sub>2</sub>N<sup>-</sup>, BETI<sup>-</sup>, TSAC<sup>-</sup>

## ナノ粒子の状態



解凝集



強い結合、添加するだけで  
単相被覆が可能

- シリル基(SiO-CH<sub>3</sub>)と比較して、混ぜるだけでナノ粒子に吸着するために、製造コストを抑えることができる

# チタニアナノ粒子の適用事例

## 分散剤の濃度

5%      10%      20%



高濃度で  
調整可能



1ヶ月間以上  
分散が安定



1mg/ml (ナノ粒子/メタノール)

10mg/ml

## 各溶媒の分散性(DLS)

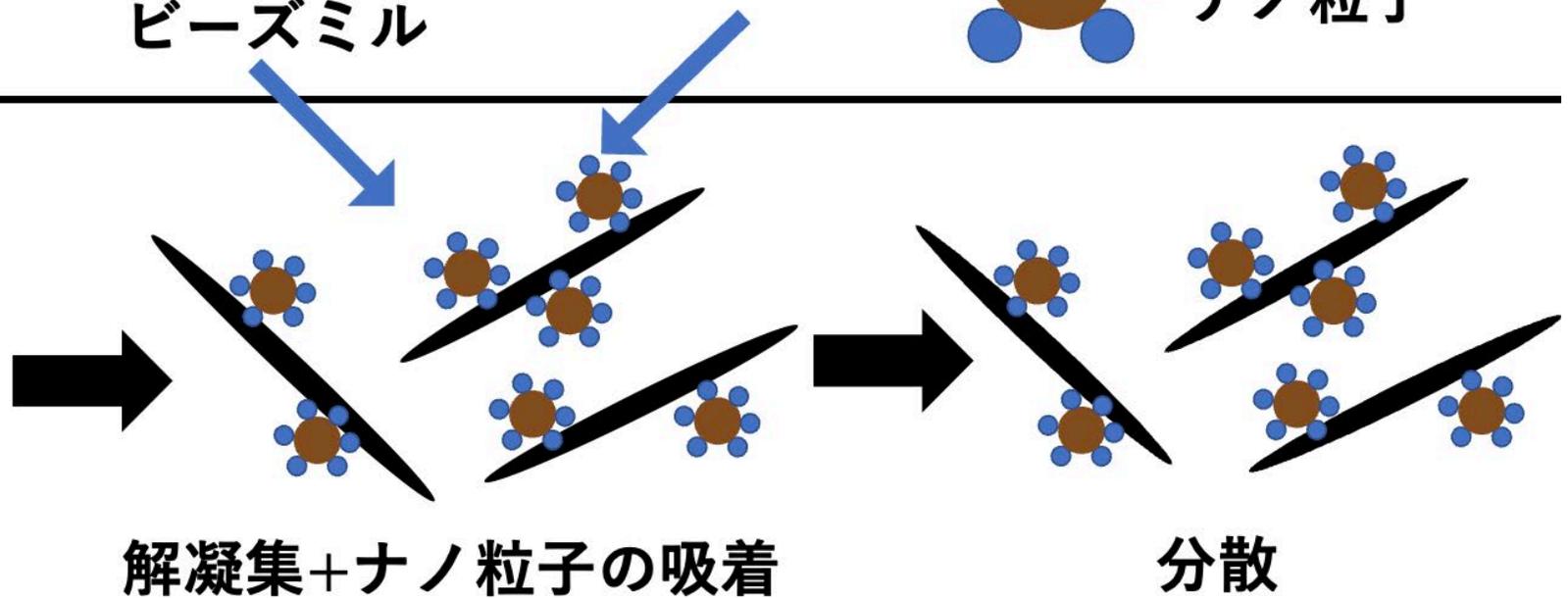
(TEMの粒径24nm)



# ナノ粒子をナノ粒子で分散させる手法



## ナノ粒子の状態

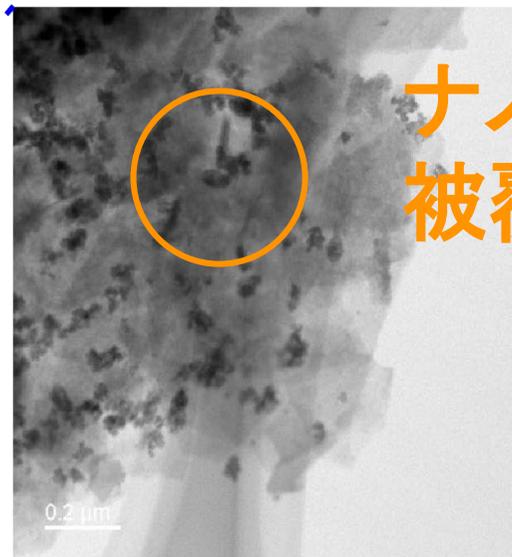
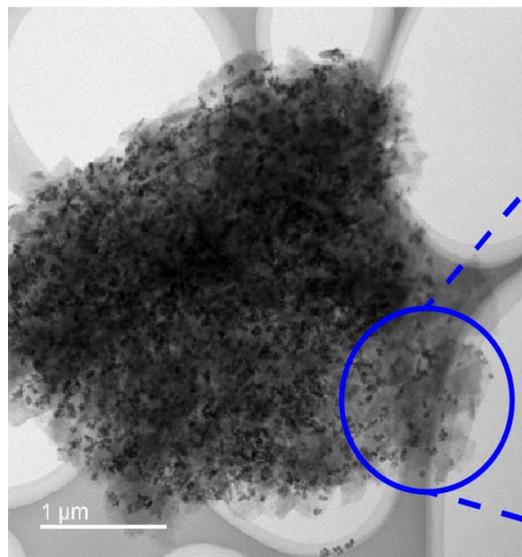


- ナノ粒子分散剤の表面のリンカチオンが、ナノ粒子の表面に吸着する結果的にナノ粒子の表面が分散剤に被覆されることで、分散する

# Mxene(TiC)の適用事例



Mxene(TiC)  
分散液



ナノ粒子の  
被覆を確認

TEM画像

TiC 0%

5%

10%

20%



スチレンブタジエンブロックポリマーとのハイブリット材料

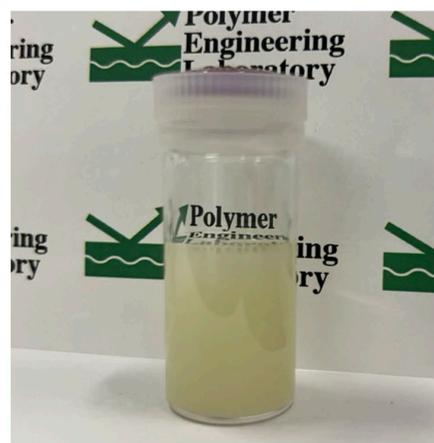
# 他の無機微粒子への適用事例

窒化ホウ素(5 $\mu$ m)

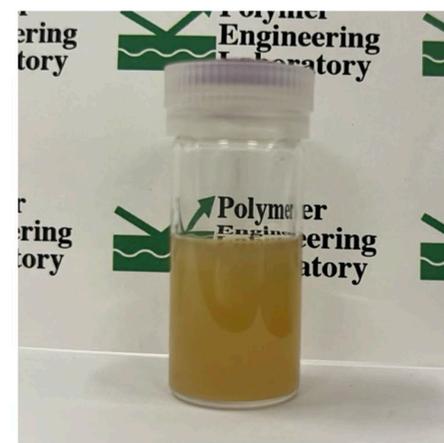
ナノ粒子なし



30wt%



30wt%

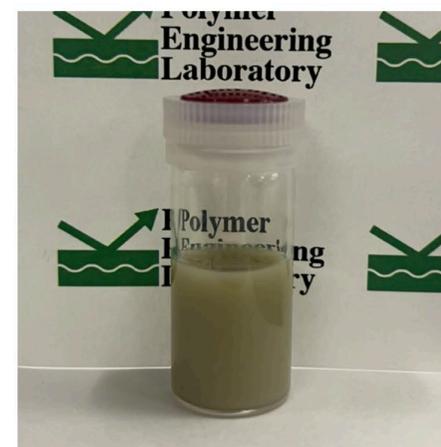
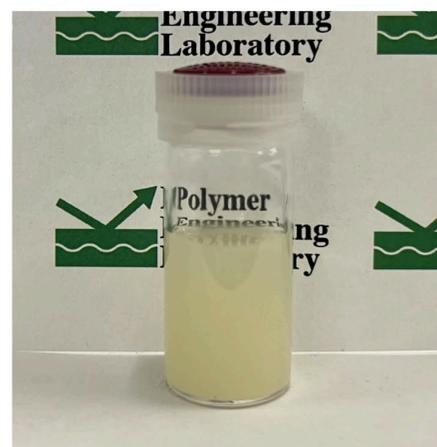


ナノ粒子分散剤

チタニア(20nm)

酸化鉄(20nm)

異方性チタンナノ粒子  
(100nm/20nm)



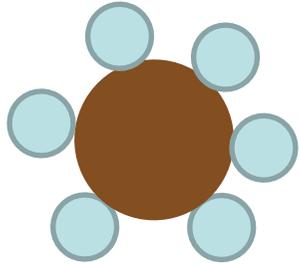
ナノ粒子分散剤

チタニア(20nm)

酸化鉄(20nm)

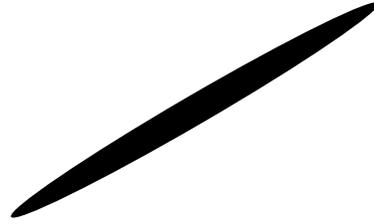
# 新技術の特徴・従来技術との比較

分散剤被覆ナノ粒子



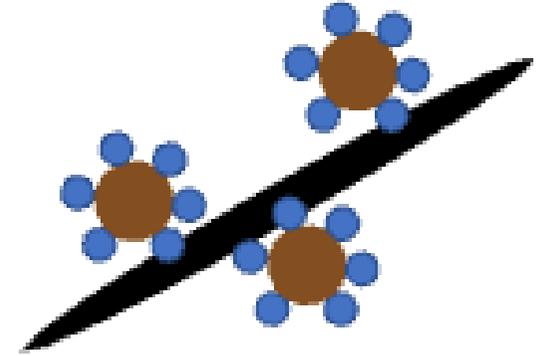
+

ナノ粒子



=

複合ナノ粒子



例 磁性

導電性

磁性 + 導電性

◆ ナノ粒子の機能 ✕ ナノ粒子の機能  
導電性 ✕ 磁性 ✕ 光学特性 ✕ 熱伝導性  
多機能ナノ粒子をワンステップで調整できる

◆ 異方性ナノ粒子表面にナノ粒子を局在できる  
ため、導電パスを効率よく構築できる

# 想定される用途

- 高分子材料の機能性フィラー
  - センサーの材料
  - 導電性インク
- など

独自開発したナノ粒子を組み合わせることで、異なる用途のナノ粒子を容易に開発できるため、現在の市場を拡大できる。

## 実用化に向けた課題

高分子や分散媒体の適応事例が少ない。  
アニオンをチューニングすることでより適応範囲  
を拡大できる可能性

二つのナノ粒子の機能を同時発現することを  
立証はしていない。  
今後最適化が必要。

## 企業への期待

現行で使用しているナノ粒子のチューニング  
プロセスへの導入

この分散剤を入り口として、新たな機能性分散  
剤開発の共同開発

具体的なデバイス(センサーなどの)への  
適用事例の拡大

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 分散剤、それにより表面修飾された複合体及び磁性複合体、並びに分散液
- 出願番号 : 特願2023-039180
- 出願人 : 神奈川大学
- 発明者 : 原 秀太 , 池原 飛之

# お問い合わせ先

**神奈川大学**

**研究推進部 産学官連携課**

**TEL 045-481-5661**

**FAX 045-481-6077**

**e-mail [sakangaku-renkei@kanagawa-u.ac.jp](mailto:sakangaku-renkei@kanagawa-u.ac.jp)**