

研究成果展開事業

研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)

Adaptable and Seamless Technology Transfer Program through Target-driven R&D

2020.11

産業ニーズ対応タイプ

技術テーマ（平成28年度設定）

# セラミックスの高機能化と 製造プロセス革新



# 目次

■ 事業概要	1
・プログラムオフィサー	
・技術テーマの概要	
・技術テーマの実施期間	
・産業ニーズ対応タイプの概要	
・アドバイザー	
・研究課題	
■ 研究課題の概要	3
I 粉体作製・結合体化技術	
・セラミックス粉体の超微粉碎技術の確立と革新的粉体プロセスの開発（加納 純也）	3
・レイヤード結晶シェルによる“単一結晶面粒子”の創製とその超精密機能化（永田 夫久江）	5
・単結晶ナノキューブの自己組織化を利用した新成形技術の開発（三村 憲一）	7
・ナノブロック高次秩序化による配向性ナノ構造体の開発と表面ドーピングによる高機能化（増田 佳丈）	9
II 無焼成・低温焼成技術	
・無焼成セラミックスプロセスの解析とそれに基づく革新的材料の創生（藤 正督）	11
・非鉛圧電配向体の焼結しない低温作製法の確立 ～IoTセンサーおよびエネルギーハーベスター応用に向けて～（舟窪 浩）	13
III 成形・焼結・加工技術	
・セラミックスプロセスチェーン最適化を目指した構造形成過程のリアルタイム3次元OCT観察法による理解とその制御因子の科学的解明（多々見 純一）	15
・セラミックススラリーの新規分散評価技術を中心としたスラリー特性の完全定量化による湿式成形プロセスの高度化（森 隆昌）	17
・磁気科学プロセスによる単結晶性セラミックスの創出（堀井 滋）	19
・フラッシュ焼結の学理構築と革新的焼結技術への展開（山本 剛久）	21
・反応性プラズマを援用したセラミックス材料のダメージフリー形状創成・仕上げ加工技術の開発（山村 和也）	23

## プログラムオフィサー PO



### 目 義雄

国立研究開発法人 物質・材料研究機構  
機能性材料研究拠点 特命研究員  
グローバル中核部門グローバル連携室 調査役

専門分野 外場制御粉体プロセス  
多機能セラミックス

## 技術テーマの概要

セラミックスはさまざまな優れた特性を持ちながら、高価であることや突然の破壊・割れの発生する場合があります。こうしたことから、セラミックスの複雑な製造工程や高温焼成によるエネルギー多消費、製品の内部構造の不均一性に起因するこれらの課題の抜本的な解決と更なる高機能化が求められています。

本技術テーマは、原料粉の合成から後加工までセラミックス製造工程全体を見直して上記欠点を克服する基盤技術を基礎科学に立脚して確立し、製造プロセスのブレークスルーを目指します。

これにより、製品の競争力向上や従来品の機能を凌駕するさまざまな特性を実現すると共に、新たな用途の可能性を検討し、優れた特徴を持つセラミックスを社会に広めることを目指します。

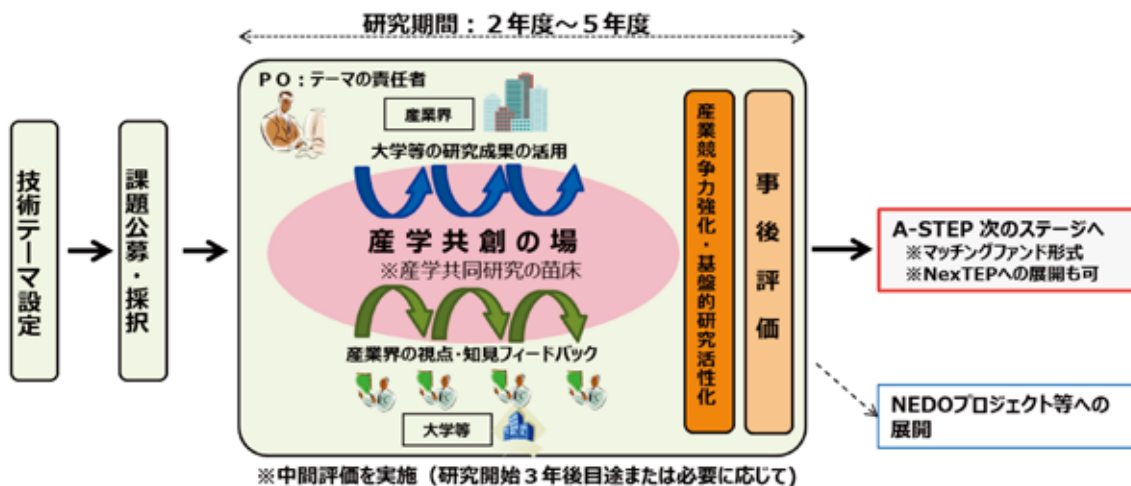
また、企業での製造に直結することを念頭に、原料粉の製造・成形・焼結・後加工までの製造技術全体を見直し、目視と勘と職人芸に頼る部分を廃し、科学的な観点から生産性の向上と機能向上のための「技術の体系化」に挑戦します。

## 技術テーマの実施期間

平成28年度～令和2年度

## 産業ニーズ対応タイプの概要

産業競争力強化、大学等の基盤的研究の活性化を目指し、産業界から提案された、産業界で共通する技術的課題（技術テーマ）に基づき、プログラムオフィサー（PO）によるマネジメントのもと、基盤的研究開発を実施するとともに、産業界と研究者との積極的対話を促しつつ技術テーマの解決に取り組みます。



## アドバイザー

※令和2年11月現在

伊吹山 正浩	デンカ株式会社 新事業開発部 シニアテクニカルアドバイザー
加藤 一実	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 理事
久保寺 紀之	株式会社村田製作所 執行役員 技術・事業開発本部 マテリアル技術センター長
後藤 孝	東北大学 名誉教授、未来科学技術共同研究センター 客員教授
篠崎 和夫	東京工業大学 名誉教授、特命教授（教育・国際連携本部）
須山 章子	東芝エネルギーシステムズ株式会社 エネルギーシステム技術開発センター シニアエキスパート
仲川 彰一	京セラ株式会社 研究開発本部 デバイス研究開発統括部長 兼 先進マテリアルデバイス研究所長
中野 裕美	豊橋技術科学大学 教育研究基盤センター 教授 学長特別補佐（ダイバーシティ推進担当）
中村 賢治	トヨタ自動車株式会社 第2材料技術部 機能材料室 室長

## 研究課題

採択課題総数	:	研究課題 11件
研究費	:	1課題あたり年間最大2,500万円程度（間接経費含む）
研究開発期間	:	2～5年度

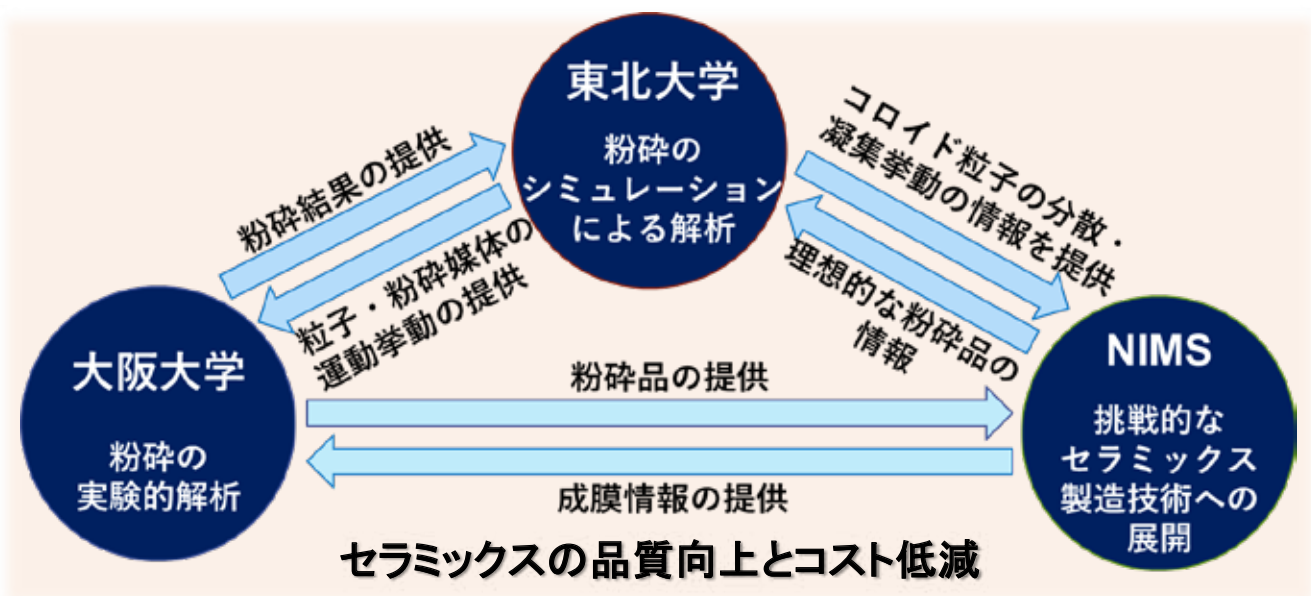
## I 粉体作製・結合体化技術

プロジェクトリーダー	加納 純也（東北大学 多元物質科学研究所 教授）
研究開発担当者	内藤 牧男（大阪大学 接合科学研究所 教授） 打越 哲郎（物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 グループリーダー）
課題名	セラミックス粉体の超微粉碎技術の確立と革新的粉体プロセスの開発
研究概要	セラミックスの品質向上とコスト低減の基盤である超微粉碎の制御技術は、いまだに十分に確立されていない。そこで、粉碎時の媒体ボールなどの運動状態のシミュレーションによって実験結果を解析し、粉碎限界粒子径、凝集粒子形成を支配する制御因子を体系的に明らかにする。また、このシミュレーションを用いて不純物混入を抑制する粉碎方法の提案ならびに、粉碎粉を活用する高品質コロイド調製技術や粉碎技術の新展開として非加熱のナノ粒子合成プロセスを開発する。

### 研究目標・成果

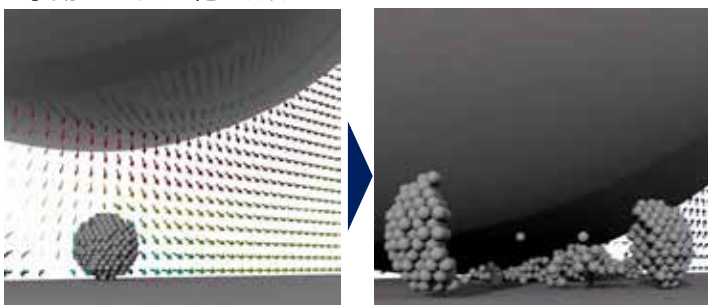
#### セラミックス粉体の超微粉碎挙動の解析・予測とコロイドプロセスへの粉碎粉の適用

#### セラミックスの品質向上とコスト低減に向けた3者の連携体制

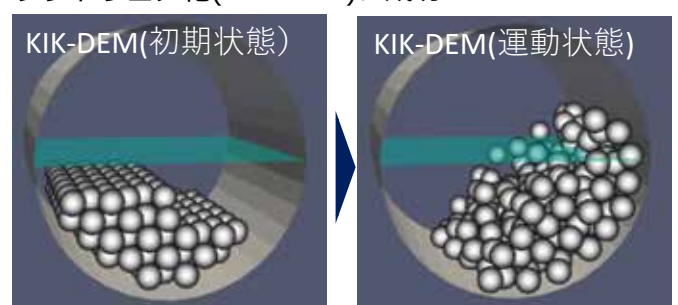


#### 粉碎挙動を解析・予測するシミュレーションツールの開発（東北大学）

マイクロ領域での媒体ボールならびに碎料の運動と破壊挙動のモデル化に成功

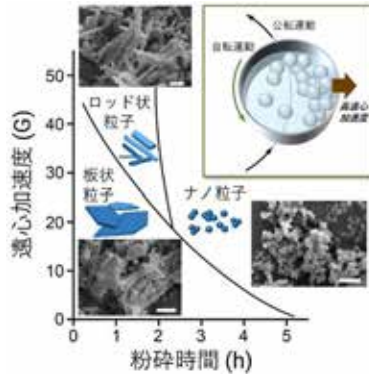
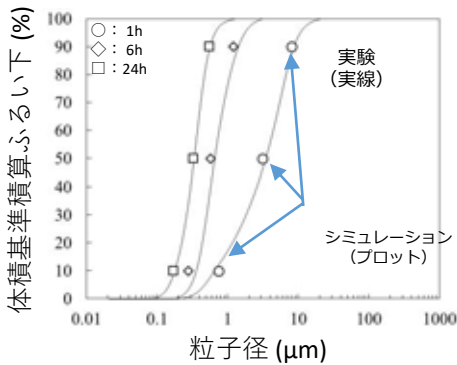


ボールミルシミュレーションによる粉碎挙動の予測とソフトウェア化(KIK-DEM)に成功



シミュレーションによって予測した粉碎挙動と大阪大学による粉碎実験と一致することを確認

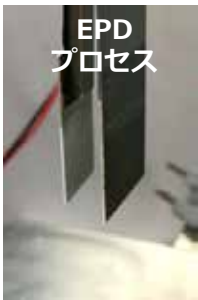
## 超微粉碎実験と機械的手法による材料合成（大阪大学）



- ・シミュレーションで予測された粉碎挙動と実験が一致することを確認
- ・加熱による固相法では合成困難な物質を機械的手法により液中合成することに成功
- ・Liイオン電池の電極材に変換可能な粒子の合成・形態制御に成功

粉碎粉スラリーを用いて得られた粒子をEPD(電気泳動堆積)の成膜に展開

## 高品質コロイド調製技術の開発（物質・材料研究機構）



- ・機械的手法で合成したLHTOスラリーに少量のGP(ジオポリマ)を添加し、EPDによって緻密に成膜することに成功
- ・液中で粉碎したアルミナスラリーにGPを添加することにより、EPDでの成膜に成功

より理想的な粒子の情報をシミュレーション解析にフィードバック

- ・湿式ボールミルにおける粉碎挙動をシミュレーションで予測
- ・湿式ボールミル内のマイクロ現象のモデルの開発および解析
- ・シミュレーション結果と実験結果の整合性を確認
- ・機械的手法により形態制御された機能性ナノ粒子を非加熱合成
- ・粉碎粉スラリーをEPDにより緻密に成膜する手法を開発

### 想定する分野・用途

- ・粉碎限界粒子径や凝集粒子形成、不純物混入を支配する制御因子の体系的な解明
- ・高品質コロイド調製技術の開発

### 最終目標

セラミックス粉体の粉碎プロセスにおける現象を詳細に理解することで、セラミックスの品質向上と製造コストの低減を目指す。

### 産業界への要望

シミュレーションツールの開発において、どのような機能が望まれているか意見を聞き、実用性の高いツールの開発を進めたい。産業界における粉碎に関する課題を議論をしたい。

お問合せ 仙台市青葉区片平2-1-1 E-mail : kano@tohoku.ac.jp

# I 粉体作製・結合体化技術

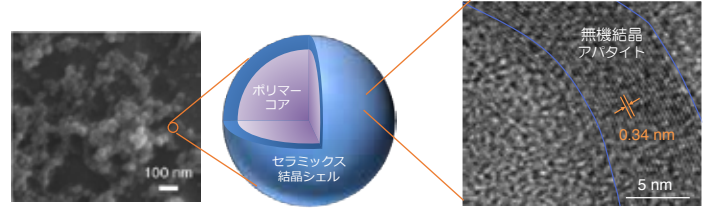
プロジェクトリーダー	永田 夫久江（産業技術総合研究所 マルチマテリアル研究部門 研究グループ長）
研究開発担当者	鳴瀧 彩絵（名古屋大学 大学院工学研究科 教授） 宮島 達也（産業技術総合研究所 マルチマテリアル研究部門 主任研究員） 李 誠鎬（産業技術総合研究所 マルチマテリアル研究部門 主任研究員）
課題名	レイヤード結晶シェルによる“単一結晶面粒子”の創製とその超精密機能化
研究概要	1つの結晶面しか持たない“単一結晶面粒子”を創製し、革新的なセラミックス機能制御プロセスを開発する。従来の概念では、セラミック粒子には複数の結晶面が存在するが、有機・セラミックスの共創により“単一結晶面粒子”を合成する。結晶面は機能と直結するため、究極の単一機能を有する粒子が得られ、その3次元構造化により超精密機能化を実現するという革新的なプロセスの確立を目指す。

## 研究目標・成果

### 単一の結晶面を有するコアシェル粒子の創製とその3次元構造化

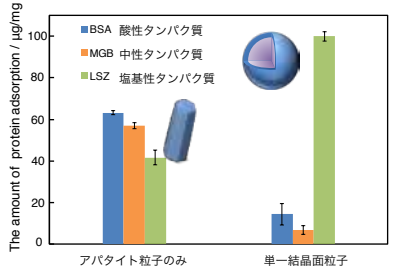
#### 単一の結晶面を有するコアシェル粒子

➤ 一つの結晶面だけが現れたコアシェル粒子を開発



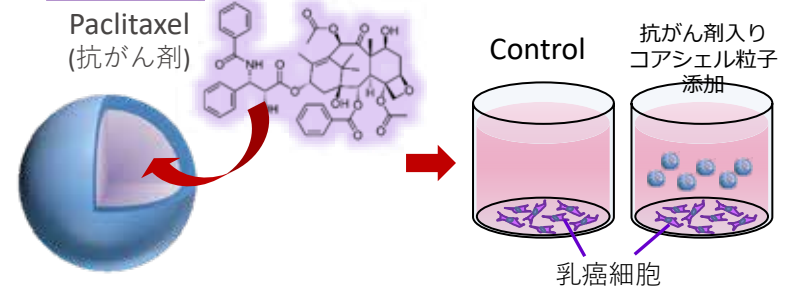
ユニークな機能  
 ・表面選択性  
 ・軽さと強さ（薄さ）  
 ・機能性化合物をカプセル化

開発したコアシェル粒子の優れた表面選択性

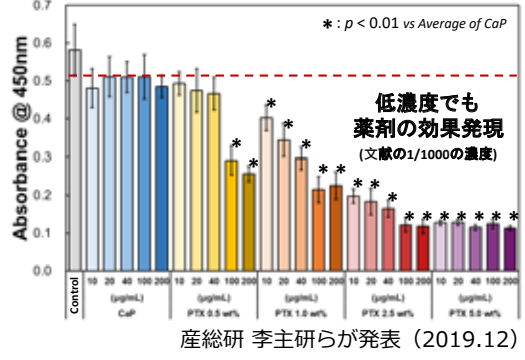


#### DDS(Drug Delivery System)への展開

➤ 難水溶性薬剤の輸送を可能にする

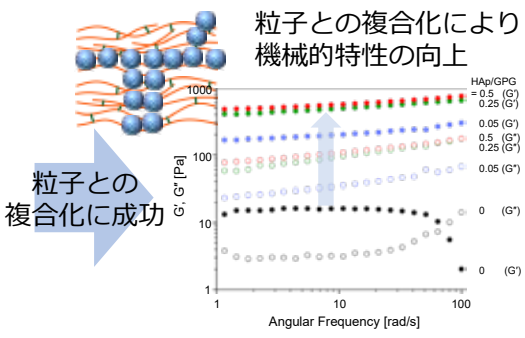
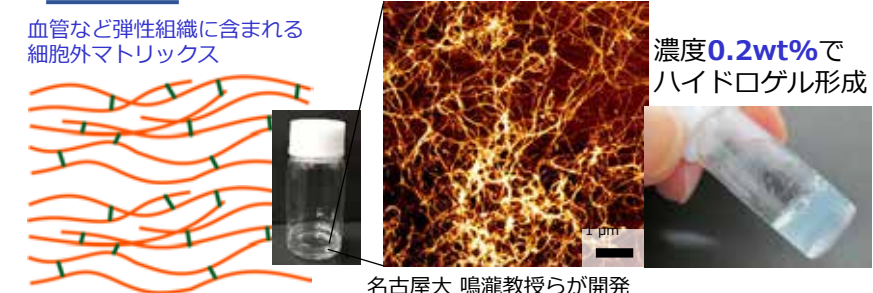


マウス乳癌細胞(4T1)の生存性



#### 新規ペプチドゲルによる3次元構造化

➤ エラスチン類似ポリペプチド



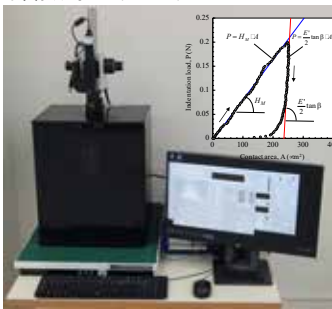
名古屋大 鳴瀧教授らが開発  
 Biomacromolecules 2013, Nanomedicine 2013, Biopolymers 2015,  
 Chem. Lett. 2015, J. Biomed. Mater. Res. A 2017.



## 顕微インデンターの開発

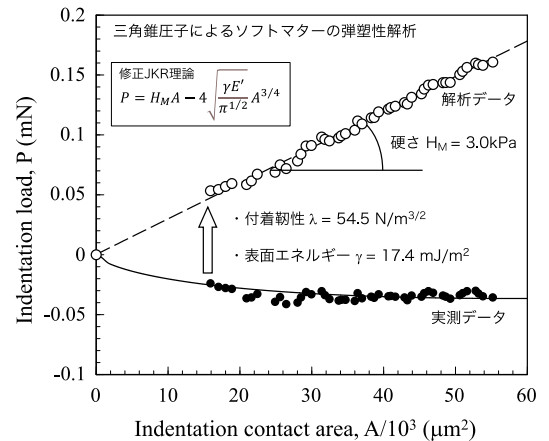
▶ ソフトマターの力学物性を正確に評価

顕微インデンター



産総研 宮島主研らが開発

ソフトマターの顕微インデンテーション結果と解析結果

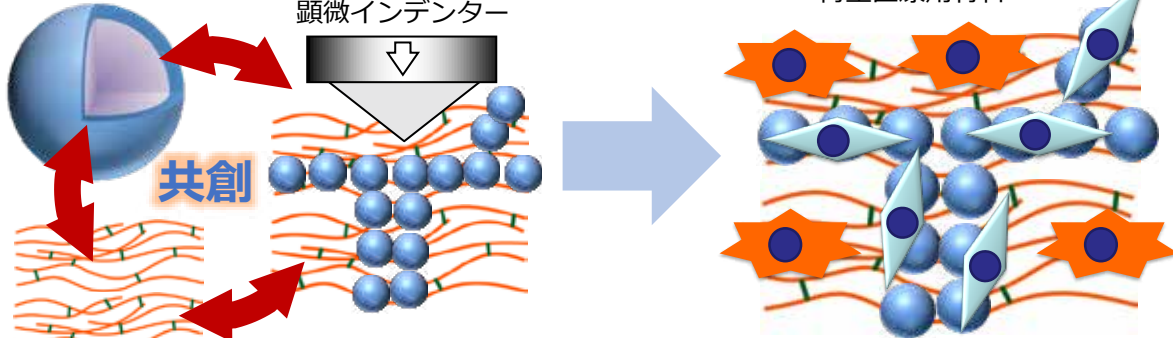


## 新しい技術の共創

コアシェル粒子

顕微インデンター

再生医療用材料へ



新規ペプチドゲル

- ・ユニークな機能を有する一つの結晶面だけが現れたコアシェル粒子を開発
- ・新規ペプチドゲルによる3次元構造化と機械的特性制御を実現
- ・ソフトマターの力学特性を正確に評価できる顕微インデンターを開発

### 想定する分野・用途

- ・ヘルスケア分野  
(再生医療用スキャフォールド、創傷被覆材、薬物送達システム用担体、化粧品など)
- ・機能性材料 (機能性物質徐放担体、カプセル材、温度応答性基材など)
- ・環境調和材料 (生分解性材料、生体親和性材料、環境親和性材料など)
- ・ソフトマターの力学物性を評価する新技術

### 最終目標

一つの結晶面だけが現れたコアシェル粒子創製し、その基盤技術を確立します。また、ペプチドゲルとの相互作用を用いたコアシェル粒子の3次元構造化を行い、再生医療用材料を目指します。

### 産業界への要望

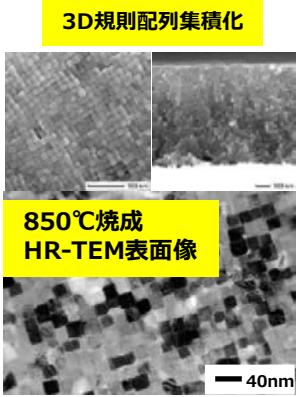
新しい再生医療用材料としての展開だけでなく、幅広い分野への展開を希望します。顕微インデンターは、従来困難であった材料の評価も可能にします。

お問合せ 名古屋市守山区下志段味六ヶ洞2266-98 E-mail : f.nagata@aist.go.jp

プロジェクトリーダー	三村 憲一（産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 主任研究員）
研究開発担当者	末廣 智（ファインセラミックスセンター 材料技術研究所 上級研究員）
課題名	単結晶ナノキューブの自己組織化を利用した新成形技術の開発
研究概要	革新的誘電性能を示すチタン酸バリウム単結晶ナノキューブについて、溶媒蒸発時にナノキューブ間に働く毛管力の制御や自己組織化挙動の最適化により、塗布、印刷、シート成形技術などへの適用を検討し、大面積かつ高規則配列の3次元ナノ構造体を形成する。レーザー照射や静電噴霧などの低温成膜技術を検討し、ナノキューブ間の界面制御を可能にする。これにより、飛躍的な電子・電気物性を検証し、次世代デバイスの設計指針を得る。

研究目標・成果

大面積三次元規則配列可能な単結晶ナノキューブの自己組織化因子の定量化

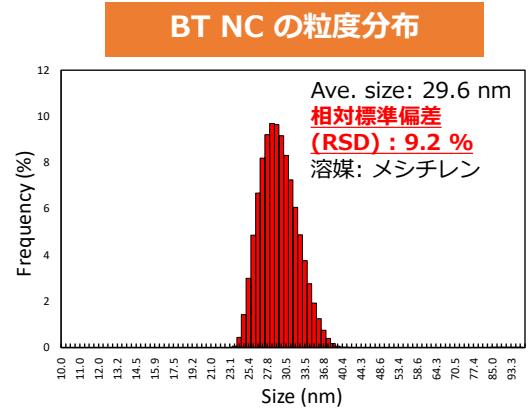


4000を超える高い比誘電率  
→単結晶由来+界面形成  
による特性向上

K. Mimura, K. Kato, J. Nanopart. Res., 15, 1995 (2013).

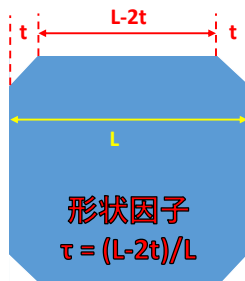


溶媒を選ばない高い分散性と狭い粒度分布 (RSD<10%) を達成



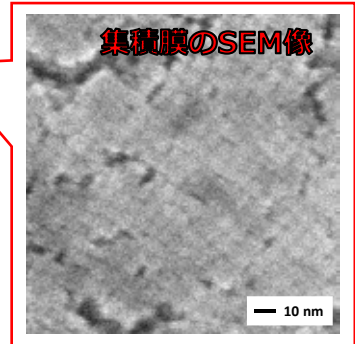
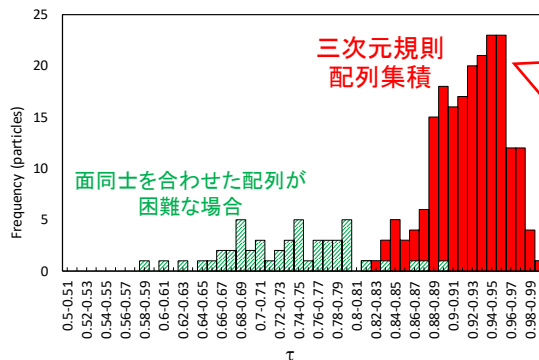
BT NC の形状因子と配列状態によるその分布の差異

形状因子\*  $\tau$



\* S. Disch et al., Nano Lett., 11, 1651-1656 (2011).

配列状態の異なるサンプルの形状因子の分布 (TEMによる解析)



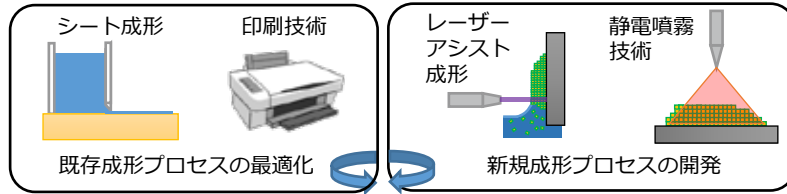
形状因子>0.9以上、RSD<4%において規則配列構造

三村憲一、加藤一実、粉体および粉末冶金, 65, 629 (2018).

- ・ 極性・非極性いずれの分散媒にも分散可能な表面修飾技術の開発
- ・ 非常に高い形状因子と狭いサイズ分布が三次元規則配列には必要不可欠

## 高速プロセス・大面積化に向けた新成形技術の開発

### 計算・微構造観察による成形プロセス・特性設計の指針

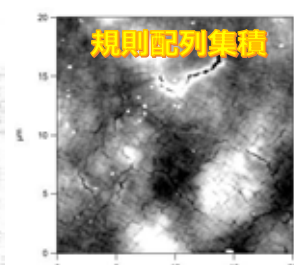
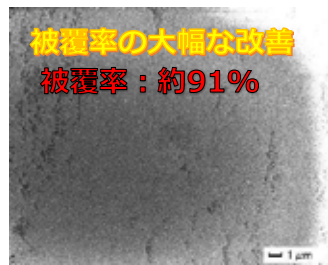
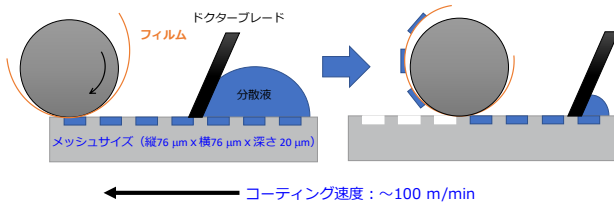


高速プロセス・大面積化

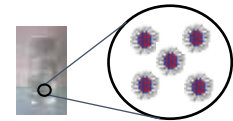
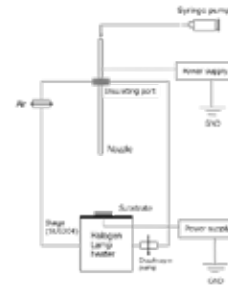
### グラビア印刷による集積化

グラビア印刷の模式図

メリット：インクの粘度が低くても均一な印刷が期待できる

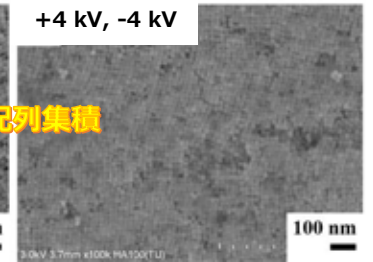
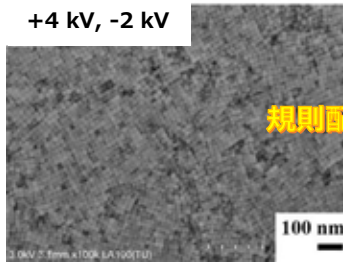


### 静電噴霧 + 外場による集積化



原料：BaTiO<sub>3</sub>メチレン分散液  
印加電圧：0-12 kV  
基材：シリコンウエハー

(特願2018-128213, H30.07.05)



S. Suehiro et al., *Langmuir* 35, 5496 (2019).

- ・ 印刷技術によるポリマーフィルム上への大面積集積かつ被覆率の向上と規則配列集積
- ・ 基板へ電圧を印加することにより規則配列集積化が可能

### 想定する分野・用途

- ・ 従来のセラミックスキャパシタ、コンデンサの超小型化・高性能化
- ・ マイクロパターンなどの直接実装による超微細なオンチップキャパシタなど次世代デバイス応用
- ・ 高性能小型磁性デバイス、光学デバイス、蓄電デバイスなど

### 最終目標

高速でクラックフリーかつ大面積なナノキューブ規則配列集積構造を連続で得るためのより高度なプロセス開発により、大容量超小型キャパシタ等の次世代デバイスの応用を目指す。

### 産業界への要望

- ・ 単結晶ナノキューブの合成法、配列技術、誘電特性評価、微構造観察、圧電応答解析などを有しています。
- ・ サンプル提供、技術相談が可能です。お気軽にお問い合わせください。

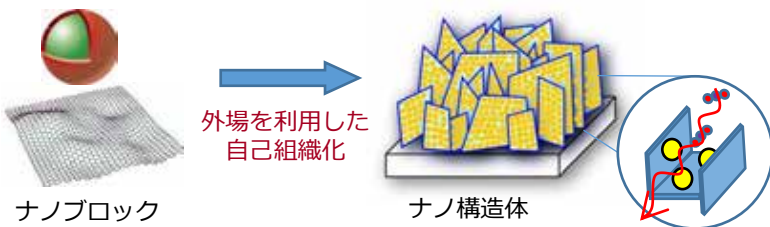
お問合せ 名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞2266-98 E-mail : k.mimura@aist.go.jp

## I 粉体作製・結合体化技術

プロジェクトリーダー	増田 佳文（産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 研究グループ長）
研究開発担当者	白幡 直人（物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点 主幹研究員） 伊豆 典哉（産業技術総合研究所 材料・化学領域研究戦略部）
課題名	ナノブロック高次秩序化による配向性ナノ構造体の開発と表面ドーピングによる高機能化
研究概要	各次元の高比表面積ブロックとして2次元シート、1次元ニードル、0次元粒子を合成し、高次秩序化により配向性ナノ構造体を開発する。ナノブロックの表面ドーピングにより表面電子物性などを変調し、高機能化・高活性化を図る。特に、常温、常圧、水溶媒での自己組織化により、産業基盤部材となる高比表面積・高活性ナノ構造体の開発を行う。ナノ構造制御に加え、低コスト製造、有機材料との複合化、大面積化を図る。

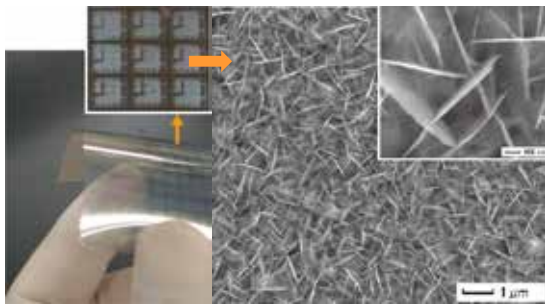
### 研究目標・成果

#### ナノ構造コーティングの開発

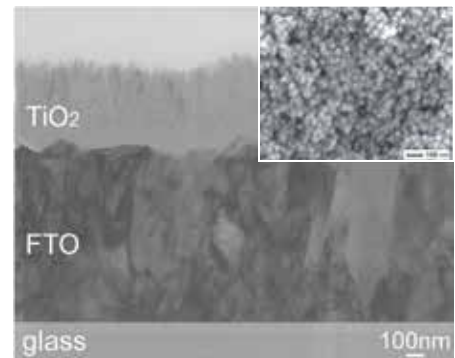


- ・表面の高機能化
- ・精密な構造設計を可能とするナノ物質のビルトアップ技術

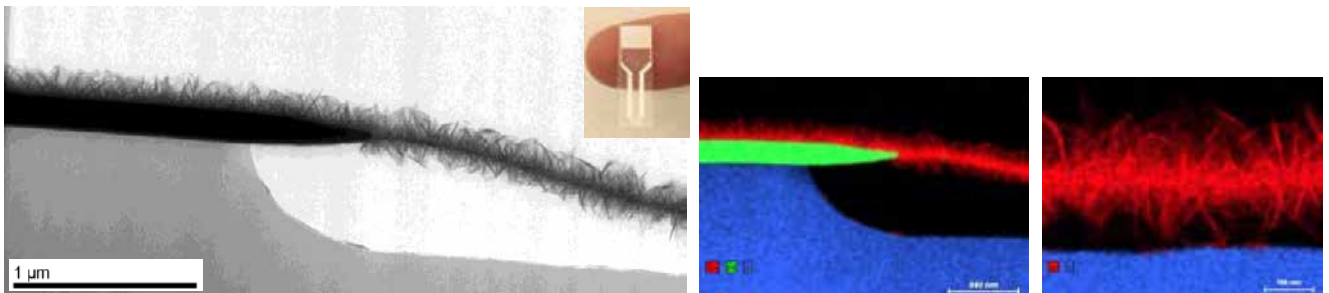
#### 酸化スズナノシート集積膜のマイクロパターン



#### 二酸化チタンナノニードル集積膜



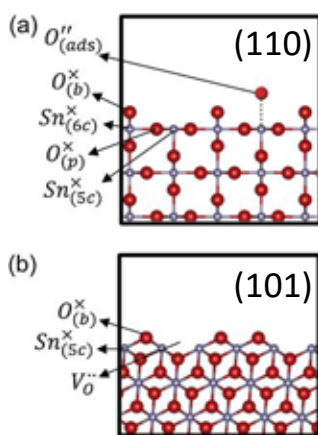
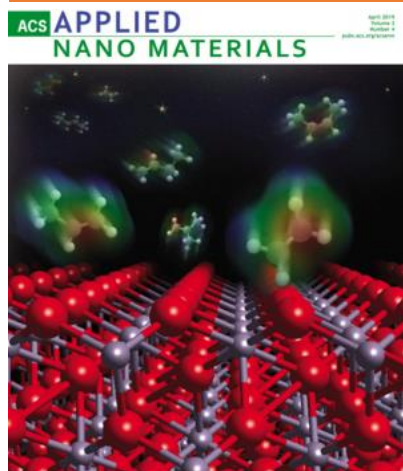
#### ブリッジ型酸化スズナノシート集積膜



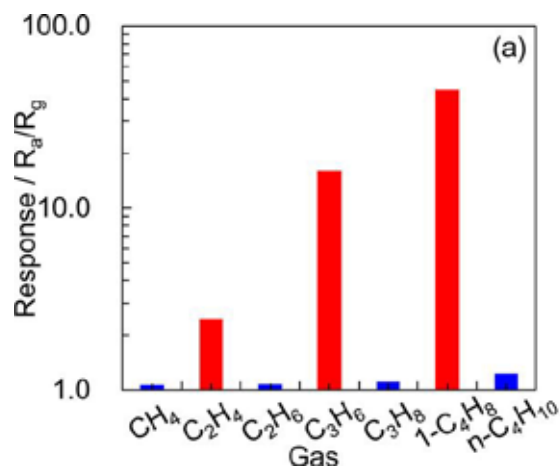
- ・常温・常圧・水中でのセラミックス合成を実現
- ・プラスチックフィルム表面へのナノ構造コーティングが可能
- ・高比表面積、ナノサイズの凹凸構造、耐薬品性、耐熱性、耐摩耗性などが特徴

## セラミックスナノ構造によるガスセンシング

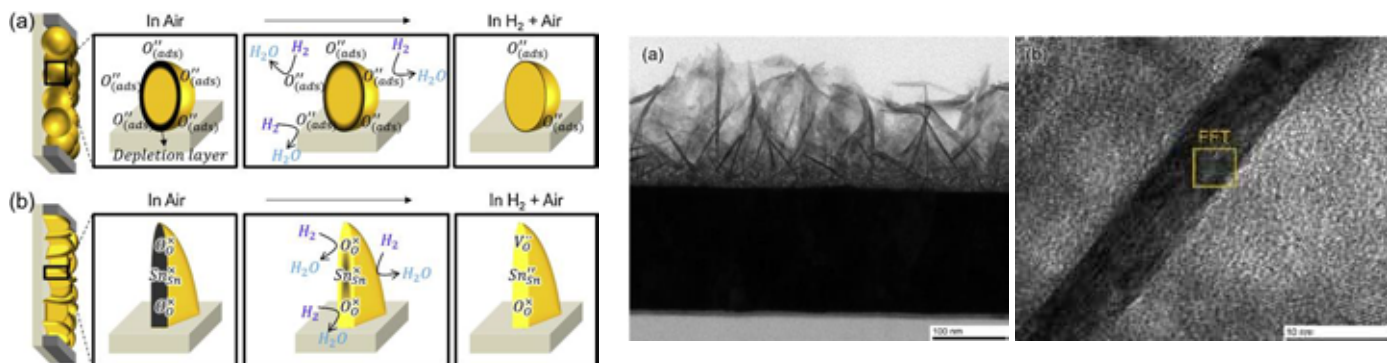
### 酸化スズナノシートの(101)表面構造



### 酸化スズナノシートのアルケンガス選択性



### 酸化スズナノシートの解析とセンシングメカニズム



P.G. Choi, N. Izu, N. Shirahata, Y. Masuda, *ACS Appl. Nano Mater.*, (2019),  
*Sensors & Actuators: B. Chemical*, (2019), *Thin Solid Films*, (2020), *ACS Omega*, (2018)

- ・(101)面を有する酸化スズナノシート型ガスセンサを開発
- ・アルカンガスと比較して、高いアルケンガス選択性を実現
- ・酸化スズナノシート特有のセンシングメカニズムを検討

#### 想定する分野・用途

- ・各種基材へのナノ構造コーティング（素材：プラスチックフィルム、金属、ガラスなど）
- ・ガスセンサ、分子センサ、電池、親水性/疎水性制御、光触媒など

#### 最終目標

- ・複数のセラミックスナノシート、ナノニードルを開発しており、センサ等への搭載を実施する。
- ・特にガスセンサにおいては、低濃度ガスの検出（高感度化）およびガス選択性向上を行う。
- ・シリコン等のナノ粒子において、さらなる光学特性等の機能性向上を図る。

#### 産業界への要望

- ・複数の登録特許があり、試料提供、共同研究、受託研究が可能です。

お問合せ 名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞2266-98 E-mail : masuda-y@aist.go.jp

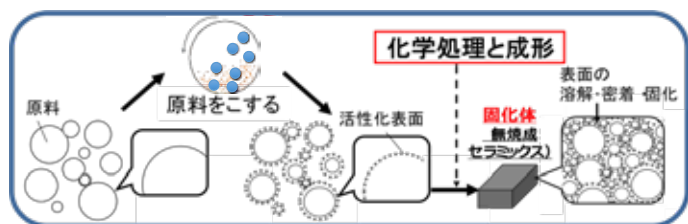
## II 無焼成・低温焼成技術

プロジェクトリーダー	藤 正督 (名古屋工業大学 先進セラミックス研究センター 教授)
研究開発担当者	佐藤 知広 (関西大学 システム理工学部 准教授) 尾畑 成造 (岐阜県セラミックス研究所 研究開発部 専門研究員) 高井 千加 (岐阜大学 工学部 助教)
課題名	無焼成セラミックスプロセスの解析とそれに基づく革新的材料の創生
研究概要	セラミックス製造におけるエネルギーの半分以上を消費する焼成工程が不要な無焼成セラミックスは、エネルギー的観点からのみでなく、難焼結性セラミックスの固化、ポリマーや金属との複合化など革新的プロセスとなる可能性が高い。ところが、その強度発現メカニズムの解析は十分ではなく、職人芸的要素が高い。そこで、この部分をセラミックス成形前プロセス解析技術とシミュレーションを用いて材料設計可能なレベルに底上げる。

### 研究目標・成果

#### 無焼成セラミックスの固化メカニズムの解明

##### 無焼成セラミックスのコンセプト



##### 常温固化反応

- 表面の化学的活性の向上が必要
- 結晶内部に比べ表面はエネルギーが高いが、物理的緩和現象と化学的緩和現象でエネルギーは低下
- 表面摩砕により活性を得る

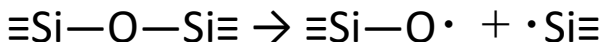
##### 焼成セラミックスとの特性比較

	無焼成セラミックス	焼成セラミックス
1.組成バリエーション	○	○
2.生産時の省エネ性	◎	×
3.二酸化炭素排出量	◎	×
4.強度	○	◎
5.機能材料への展開	◎	◎
6.複合化	◎	△
7.意匠性	◎	×

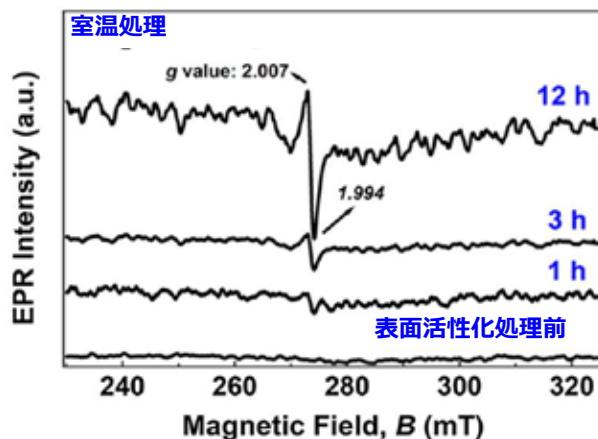
セラミックス製造で排出されるCO<sub>2</sub>の約70%が焼成工程。COP21で成立した「パリ協定」の主軸は「世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して、2℃より充分低く抑え、1.5℃に抑える努力を追求する。」である。

原料表面レベル、無焼成原料の二粒子間レベル、バルク体レベルでの評価を実施した。

##### 粒子表面をこする意味(原料表面レベル)

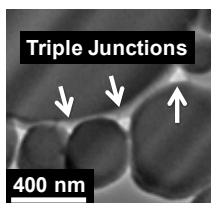
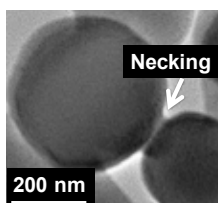


メカノケミカル表面活性処理されたシリカ粒子の電子常磁性共鳴 (EPR) のプロファイル。中央付近の変化が、ラジカルの発生を意味しており、メカノケミカル処理によって、共有結合の破断が生じたと考えられる。表面最表面は水和により表面水酸基となるが、その下層の乱れた構造が保持されることによって、化学活性が保持されると考えている。



原料表面をこすることで表面近傍の構造が部分破壊され活性化される。

## 粒子表面をこする意味(二粒子間レベル~バルク体レベル)



6時間メカノケミカル表面活性処理を行った原料で得た無焼成セラミックスの透過型電子顕微鏡写真。粒子間に固体架橋が形成されておりバルク強度との相関が確認できた。粉体充填層強度と二粒子間相互作用力の関係を記述したRumpf式で整理可能であった。本粒子の場合のメカノケミカル表面活性処理の最適時間は12時であり、表面からのイオン溶出が速くて多く活性が高いことが確認できた。また、固化体の相対密度は約90%で圧縮強度は約280MPaであった。

- ・ 固体架橋形成が材料強度と関係している。
- ・ 固体架橋の生成は表面活性化処理条件と関係している。

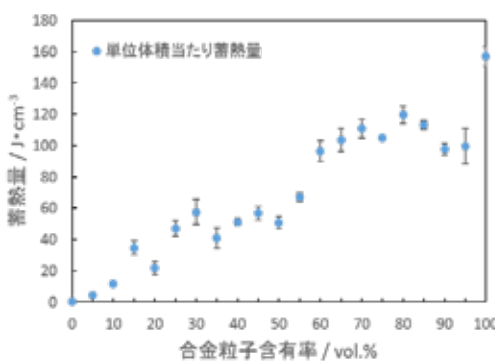
## 無焼成セラミックスの応用展開にむけて

### 転写性・複雑形状の例



従来のセラミックス成形法を応用でき、複雑形状や大型化も可能。左：鋳込成形、右：加圧成形

### 金属との複合化例



粒状低融点合金と無焼成セラミックスの複合化。試料は加圧成形で得た。80℃前後での相変化に伴い吸排熱量を示している。80vol.%までは合金配合量と蓄熱量がほぼ比例する。

### 有機物との複合化例



樹脂製の光ファイバーを包埋した無焼成セラミックス。光源はLED。

- ・ 色々なものと複合化可能 (ポリマー、CNT等の炭素材料、CNF、PTFE等)
- ・ 原料調製で無収縮も可能
- ・ 難焼結材の固化も一部可能に

### 想定する分野・用途

無焼成セラミックス造形用3Dプリンターの開発、難焼結性セラミックスの無焼成固化体作製、カーボンナノチューブ(CNT)とセラミックスの無焼成複合化、有機蛍光体とセラミックスの複合化、無収縮セラミックス固化体の作製

### 最終目標

強度発現メカニズムの解析を行い、セラミックス成形前プロセス解析技術とシミュレーションを用いて材料設計可能なレベルに底上げする。これにより圧縮強度200MPaを達成する。

### 産業界への要望

無焼成固化、無焼成セラミックスの用途、生産プロセスに対して意見を頂き、用途を決めた材料開発、量産化に向けたプロセス開発を行いたい。

お問合せ 多治見市本町3-101-1 クリスタルプラザ4F E-mail : fuji@nitech.ac.jp

## II 無焼成・低温焼成技術

プロジェクトリーダー	舟窪 浩（東京工業大学 物質理工学院 教授）
研究開発分担者	木口 賢紀（東北大学 金属材料研究所 准教授） 内田 寛（上智大学 理工学部 教授）
課題名	非鉛圧電配向体の焼結しない低温作製法の確立 ～IoTセンサーおよびエネルギーハーベスター応用に向けて～
研究概要	サブミリメートル厚さの非鉛圧電配向体を、水熱法を基にしたプロセスにより焼結することなく、KやNa成分などの熱揮発を生じることなく作製する。センサーや発電機の性能指数を結晶配向性と材料組成の制御によって最大化し、高性能圧電材料の利用を通じて環境にやさしい非鉛圧電体を用いたIoTセンサーおよびエネルギーハーベスター応用を目指す。

### 研究目標・成果

### 水熱法による配向体合成法の開発

IoTによって、次世代型のものづくりや、環境保全が実現（1兆個のセンサ時代）

**自立型センサネットワーク**  
 高性能センサ ⇒ 圧電体、焦電体を用いたセンサ  
 自立電源 ⇒ 圧電体を用いた振動発電

医療サービス  
 ビル等構造物管理  
 無線センサネットワーク  
 ・多種多様なセンサを大量配置  
 ・さまざまな環境情報を取得  
 ・効率的な制御などを行う

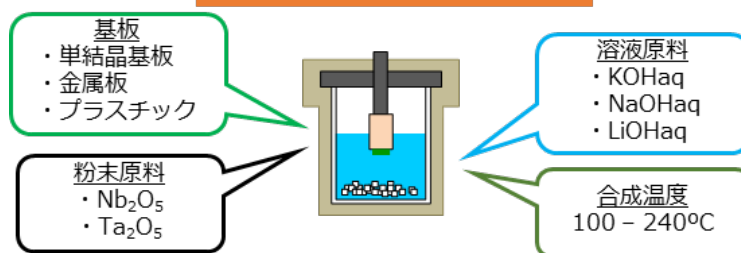
土壌管理  
 安心・安全

環境適用性の高い非鉛圧電体が不可欠

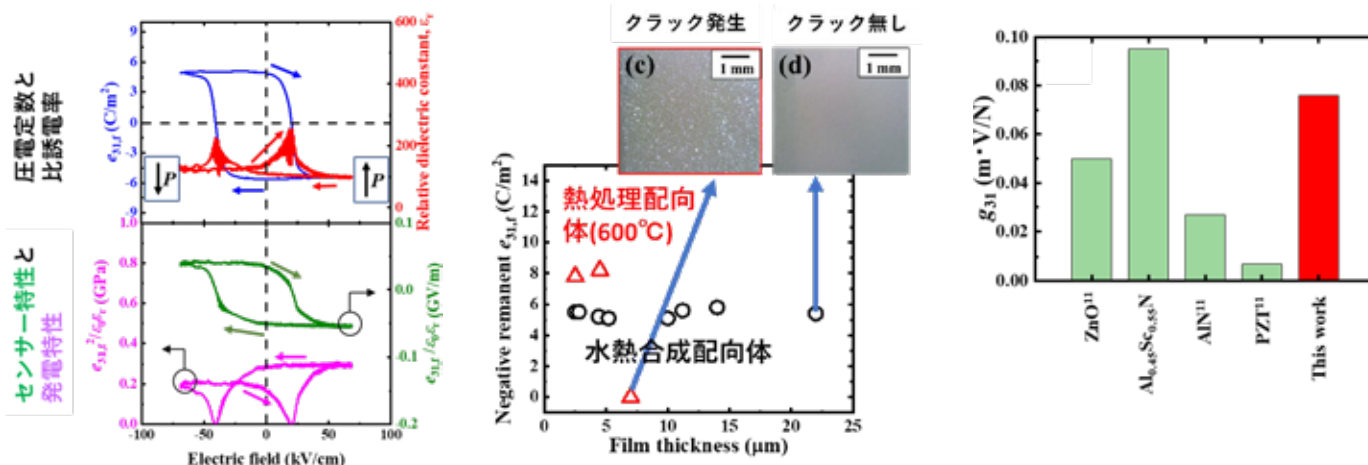
#### 最終目標

ミリメートル厚さの非鉛圧電配向体を、水熱法を基にしたプロセスにより焼結することなく、KやNa等の成分が揮発しない低温で作製する。

#### 水熱合成プロセスの確立



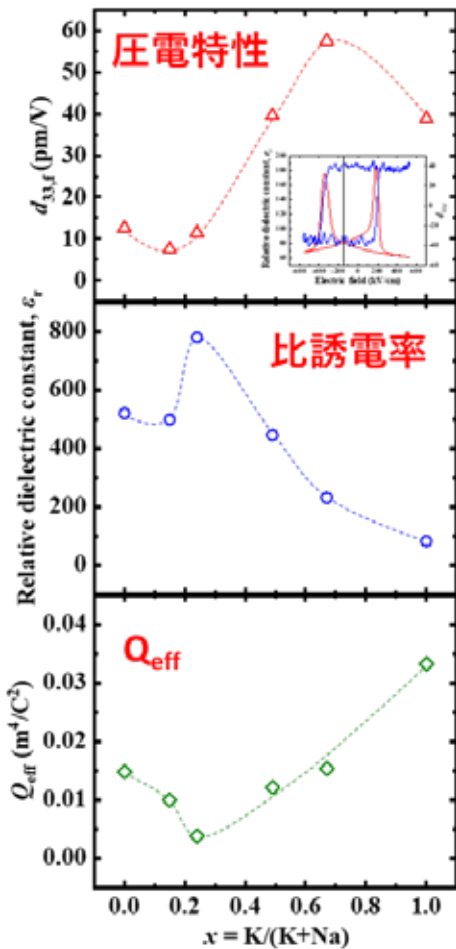
### 水熱合成配向体の特長を生かした高性能化



- ・低温作成法の特長を生かした、低い誘電率の特長を用いた、高いセンサ特性および振動発電特性の達成
- ・低い熱歪による厚膜化の実現
- ・高い $g_{31}$ 特性の実現

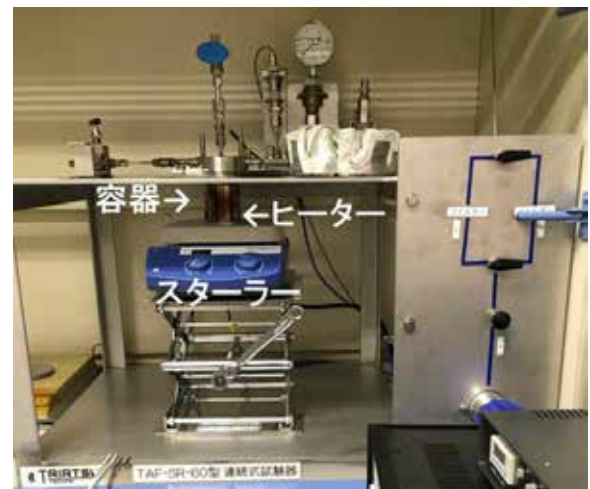
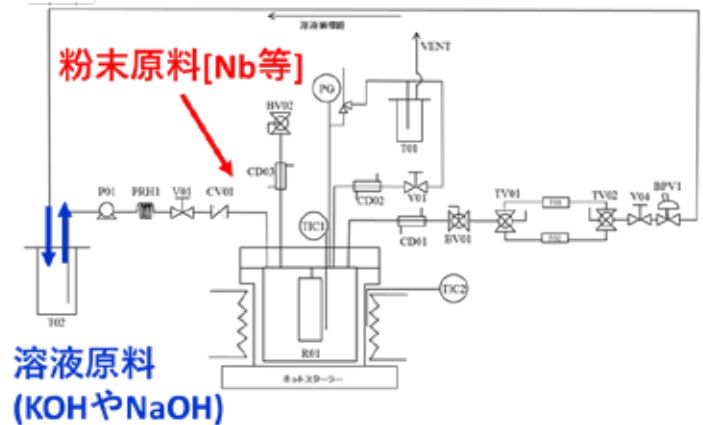


低温作成法の特長を生かした、  
高性能新規物質の実現



作製が難しい  $(Bi_{1/2}K_{1/2})TiO_3$ -  
 $(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO_3$  の全組成の配向体の  
作成に成功

連続合成装置の開発



マイクロ波加熱による短時間低温合成法を開発  
内部温度、圧力のモニタリングを可能とする、溶液  
を連続供給する合成法を開発

想定する分野・用途

IoTで用いるセンサ（振動、圧力、温度、加速度等）、IoTで用いる振動発電機（エネルギーハーベスタ）、  
医療用超音波診断器、SAWデバイス

最終目標

- ・ 圧電体層 配向度：95%以上
- ・ 圧電体層 厚さ：～ミリ領域
- ・ 材料特性：圧電定数  $d_{33} = 100 \text{ pm/V}$
- ・ プロセス温度：600°C以下

産業界への要望

- ・ 用途開発（複雑形状作製可能、mmまで配向体膜作製可能、分極処理無しで使用可能）
- ・ 連続製造装置の共同開発

お問合せ 横浜市緑区長津田町4259-J2-43 E-mail: funakubo.h.aa@m.titech.ac.jp

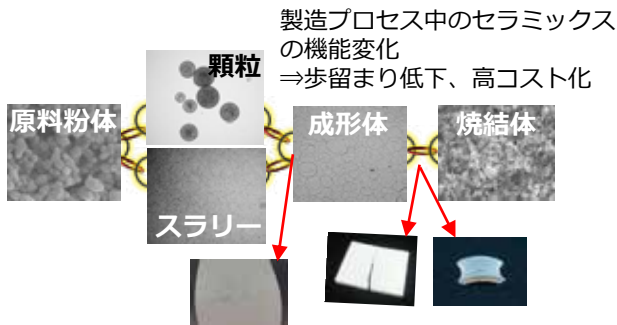
### Ⅲ 成形・焼結・加工技術

プロジェクトリーダー	多々見 純一（横浜国立大学 大学院環境情報研究院 教授）
研究開発担当者	高橋 拓実（地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所 常勤研究員）
課題名	セラミックスプロセスチェーン最適化を目指した構造形成過程のリアルタイム3次元OCT観察法による理解とその制御因子の科学的解明
研究概要	光コヒーレンストモグラフィーを用いたセラミックスプロセス中の構造形成過程のリアルタイム3次元観察による理解と、粒子界面設計およびマスターシタリングカーブを基軸として構造形成過程の制御因子の科学的解明を行い、セラミックスプロセスチェーンの最適化を目指す。得られた成果を活用して、具体的なセラミックスとして透明体、配向体、積層体を実現する。

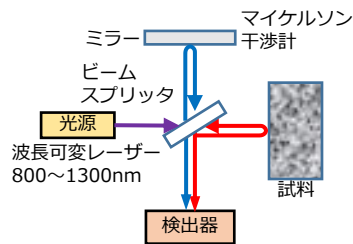
#### 研究目標・成果

### セラミックス構造形成過程のリアルタイムOCT観察法の開発

#### セラミックス構造形成過程の理解と制御



#### 光コヒーレンストモグラフィー(OCT)

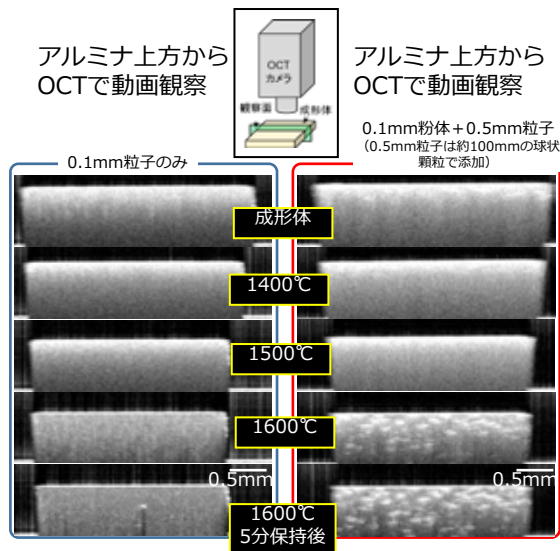


散乱の影響を受けない反射直進光のみを使用  
(原理：1991年MITのグループが提案)  
…光の干渉を利用した内部構造観察法

- ◎非破壊 ◎3次元 ◎高速
- ◎高分解能 ◎高温可

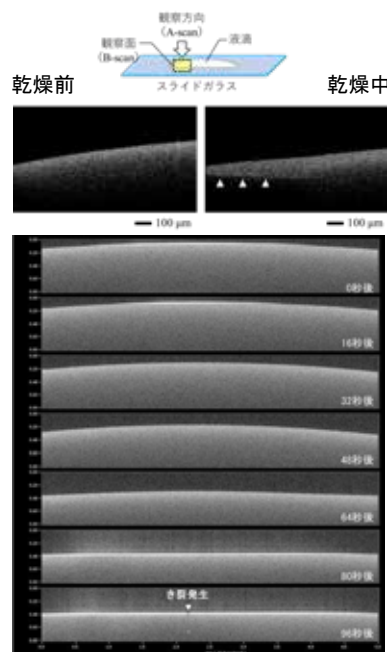
#### OCT観察例

##### 焼結過程のその場観察



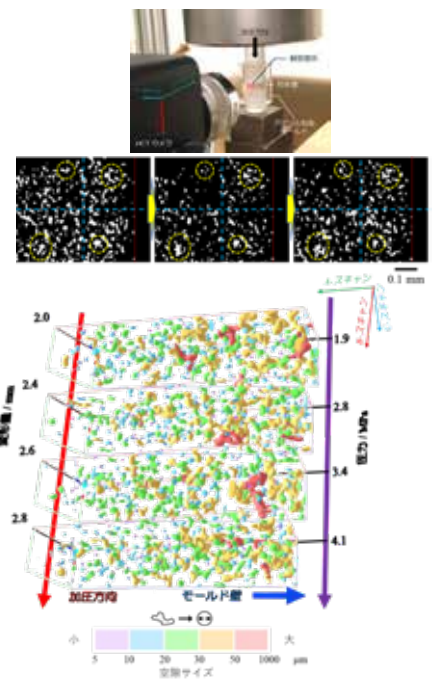
高温でも室温と同様に不透明なセラミックスの内部構造を高分解能・高深度・リアルタイム・3次元で観察可能（脱脂挙動観察にも展開）

##### 乾燥過程のその場観察



レオメーターと組み合わせたせん断場印可時の内部構造変化も観察可能

##### 乾式成形過程のその場観察



乾式成形時の不均質構造 (=空隙分布) を可視化・・・

OCTでスラリー構造形成過程、スラリー乾燥過程、乾式・湿式成形過程、脱脂・焼結過程のリアルタイム3次元観察を実施

# セラミックス製造プロセスにおける構造形成過程とその制御因子の相関の解明

## 構造形成過程制御のための粒子界面設計法の確立

従来の界面設計



- × 粉体・分散媒に応じて経験的に選定
- × 精密な合成・・・多大な時間

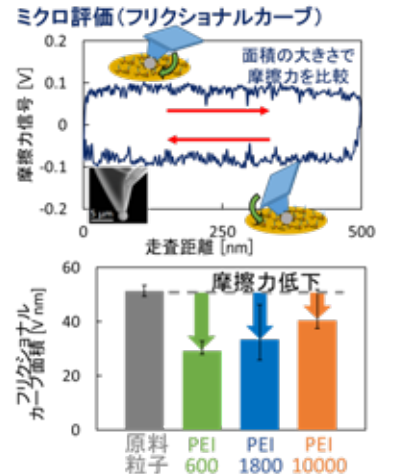
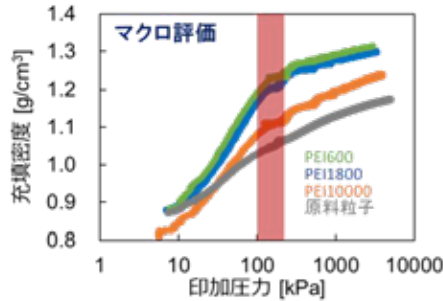
本研究：PEI-脂肪酸会合体の利用

役割・・・粒子への吸着：PEI

溶媒との親和性：脂肪酸



PEI-OAのPEI分子量が粉体圧密挙動に及ぼす影響



- ・分散剤として有効なPEI-OAは粉体圧密挙動にも影響を及ぼし、その挙動はPEIの分子量に依存
- ・粒子界面設計した粉体を用いたスラリー調製、粉体成形挙動についてOCT観察に展開

## MSCを基軸とした焼結プロセスでの構造形成過程制御法の確立

マスターシタリングカーブ(MSC)理論

$$\frac{k}{\gamma\Omega D_0} \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{(G(\rho))^n}{T\Gamma(\rho)} d\rho = \int_0^t \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) dt$$

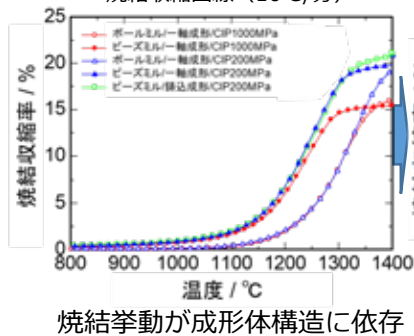
- ✓ 成形体構造とMSCの相関解明
- ✓ 応力下でのMSCの理論的・実験的導出

+

FEMによる焼結シミュレーション

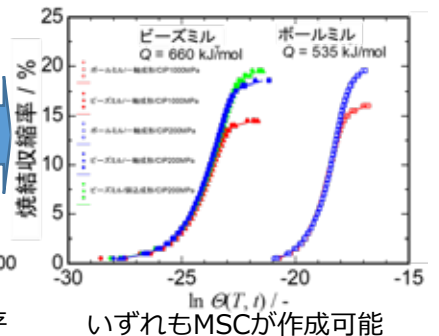
- ◎ 焼結プロセスの制御因子の導出
- ◎ 等方体とともに積層体や配向体に適用

構造の異なる成形体のMSC  
焼結収縮曲線 (10℃/分)



焼結挙動が成形体構造に依存

MSC



いずれもMSCが作成可能

- ・ MSCは焼結初期～中期には原料粒子の性状に、焼結後期には成形体の気孔の空間・寸法分布に依存
- ・ 応力印可時のMSC、これを構成式としたFEMシミュレーションを実施

想定する分野・用途

スラリー中微粒子の分散・凝集過程、成形・脱脂・焼結中の内部構造変化、破壊挙動などセラミックス製造プロセス全般の課題解決

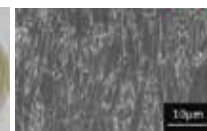
最終目標

セラミックスプロセス中の構造形成過程の理解と構造形成過程の制御因子の科学的解明を行い、セラミックスプロセスチェーンを最適化する。

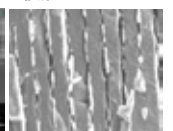
透明セラミックス



配向セラミックス



積層セラミックス



産業界への要望

実際の原料粉体、スラリー調整、成形、焼結プロセスに関する課題を、OCT観察・粒子界面設計・焼結最適化などを通じた科学的アプローチによる共同研究で解決したいと考えています。

お問合せ 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7 E-mail : tatami-junichi-xv@ynu.ac.jp

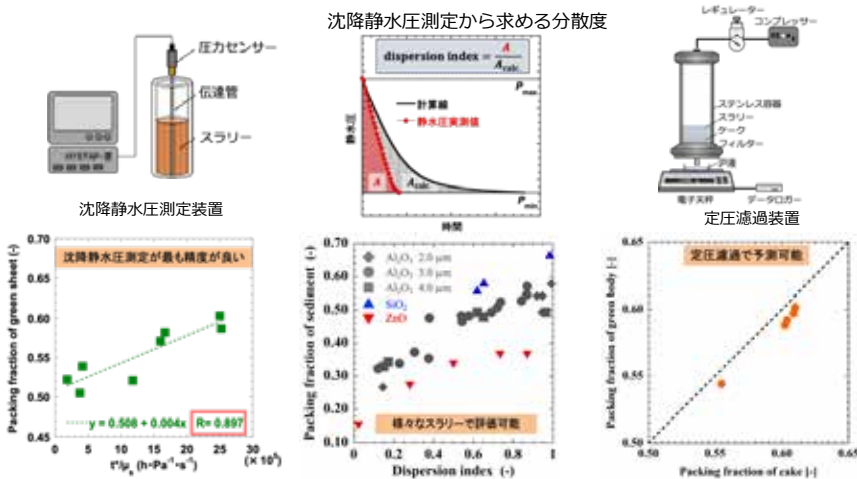
### Ⅲ 成形・焼結・加工技術

プロジェクトリーダー	森 隆昌 (法政大学 生命科学部 教授)
研究開発担当者	石田 尚之 (岡山大学 大学院自然科学研究科 准教授) 酒井 幹夫 (東京大学 大学院工学系研究科 准教授) 佐藤根 大士 (兵庫県立大学 大学院工学研究科 准教授)
課題名	セラミックススラリーの新規分散評価技術を中心としたスラリー特性の完全定量化による湿式成形プロセスの高度化
研究概要	スラリー中の粒子分散状態を的確に評価できる簡便・安価な方法及び装置を開発する。粒子間相互作用の直接測定法および新規シミュレーション法との融合により、勤と経験によらない最適スラリー調製を実現する。さらに微粒子の良分散・高濃度スラリー調製を可能にするスラリー高濃縮装置を開発し、セラミックス成形プロセスの高度化に貢献する。

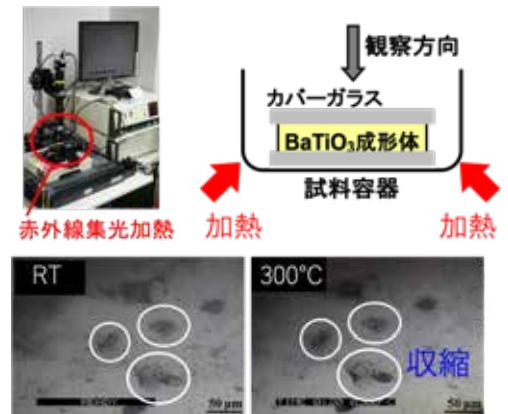
#### 研究目標・成果

勤と経験に頼ることのないスラリー調製  
～スラリー評価から成形体密度を予測する～

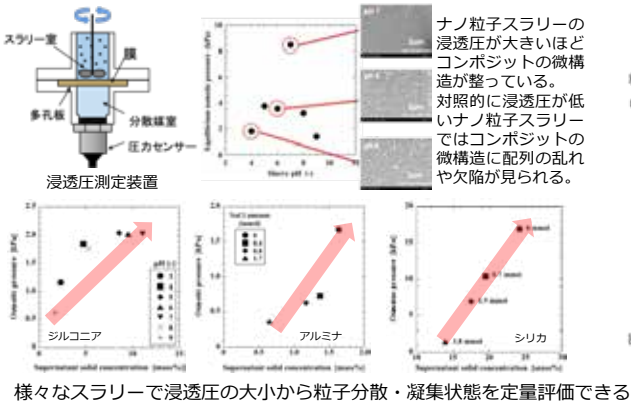
#### シート成形体及び鑄込み成形体の密度予測



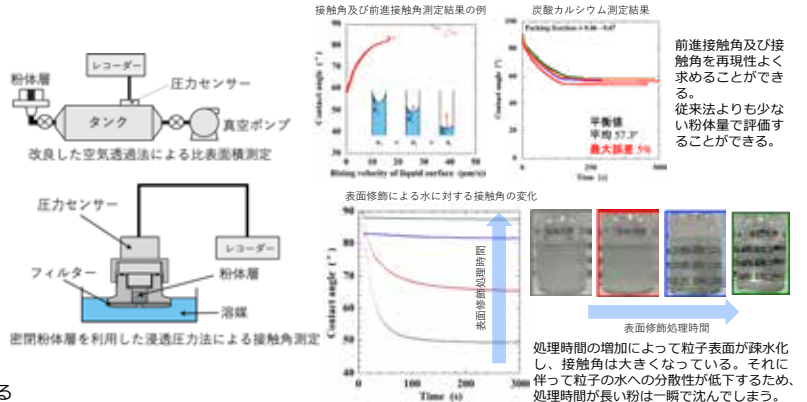
#### 成形体の脱バインダー工程の解析



#### 浸透圧測定によるナノ粒子分散評価



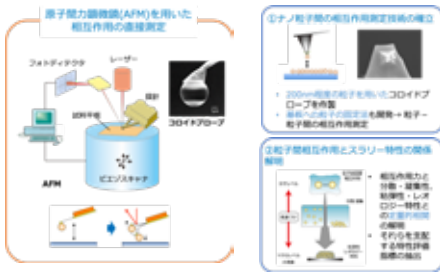
#### 粉体層への液浸透を利用した粉体の濡れ性評価



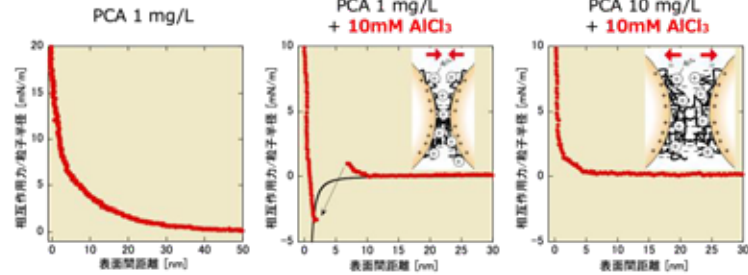
- ・ シート成形では沈降静水圧試験、鑄込み成形は定圧濾過試験により成形体密度を予測
- ・ 成形体の乾燥・熱処理過程の解析から欠陥生成を抑制する指針を確立
- ・ 粒子の接触角（濡れ性の指標）を密閉粉体層への液浸透に伴う圧力上昇から決定する手法を確立
- ・ 様々なナノ粒子スラリー中の粒子分散・凝集状態を浸透圧測定から定量評価

# スラリー評価技術との連携による粒子間力測定・粒子シミュレーション・濃縮技術の応用

## AFMによる粒子間力直接測定

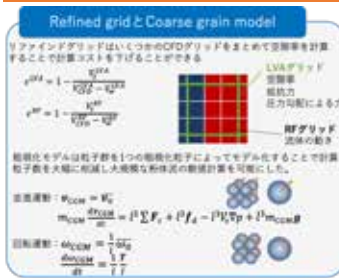


表面：アルミナ，分散剤：ポリカルボン酸(PCA)



高分子分散剤を含むスラリーや、高分子分散剤とバインダーが相互作用するスラリーなど、複雑な粒子間相互作用を持つスラリーであっても、粒子間力を直接測定し、最適スラリー条件の決定に活かすことができる。

## 粒子シミュレーションによるミル内媒体粒子挙動の可視化



DEM-CFD法

固相：運動要素法

$$\frac{dv}{dt} = \sum F_c + f_d - V_g \nabla p + mg$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \tau$$

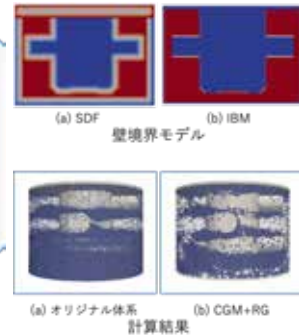
固相-液相の運動量交換

$$f_s = \frac{\sum f_d}{V_{grid}} = \frac{\sum \beta V_g (v - u_f)}{(1 - \epsilon) V_{grid}}$$

液相：局所体積平均法

$$\frac{\partial(\epsilon \rho u_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\epsilon \rho u_f u_f) = -\epsilon \nabla p - f_s + \nabla \cdot (\epsilon \tau) + \epsilon \rho g + F_b$$

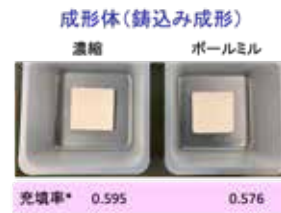
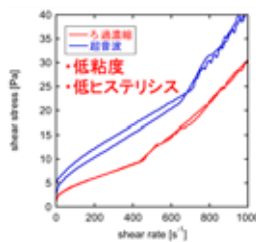
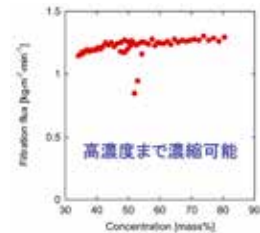
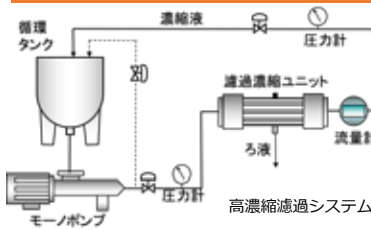
$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \nabla \cdot (\epsilon u_f) = 0$$



・ Signed Distance Function (SDF)とImmersed Boundary Method (IBM)を融合した壁境界モデル・オリジナル粒子群を大きなモデル粒子で代表して計算するDEM粗視化モデル  
 ・ 固体粒子の体積分率と流体計算を別々に計算することのできるRefined Grid Model

↓  
 ビーズミル内の媒体粒子挙動を的確にシミュレーション可能

## 濾過濃縮による高濃度・良分散スラリーの調製



ミリングのみで高粒子濃度スラリーを調製するよりも、低粒子濃度の良分散スラリーを高度に濃縮することで、より高性能なスラリーの調製を目指す。

- ・ 400 nmの微粒子を用いたコロイドプローブAFMで粒子間力を直接測定
- ・ スラリー特性の ①金属イオンによる変化、②バインダーの粒子架橋による変化とAFMで測定した粒子間力の変化が定性的に一致することを確認
- ・ ボールミル、ビーズミルの媒体運動を粒子シミュレーションで精密に予測・再現可能
- ・ スラリーの濾過濃縮により、80 mass%を超える高濃度・良分散スラリーを調製

### 想定する分野・用途

- ・ セラミックス、電池材料、インク等の最適スラリー条件の探索、決定及びスラリーの品質管理
- ・ 粒子シミュレーションによる最適混合条件の探索、及び、スケールアップ検討
- ・ 高濃度・良分散スラリー調製による製品の高性能化、低コスト化

### 最終目標

- ・ スラリー評価から鋳込み成形、シート成形により作製される成形体密度を予測できるようにする
- ・ 試行錯誤によらず最適スラリー条件、スラリー調製条件を決定できる指針を確立する

### 産業界への要望

- ・ 受託・共同研究：モデルスラリーではなく、実際のプロセスに用いるスラリーの評価、最適化
- ・ スラリー調製・評価に関する要望・提言を教えてください。

お問合せ 小金井市梶野町3-7-2 E-mail: tmori@hosei.ac.jp

### Ⅲ 成形・焼結・加工技術

プロジェクトリーダー	堀井 滋（京都先端科学大学 工学部 機械電気システム工学科 教授）
研究開発担当者	和田 昌久（京都大学 大学院農学研究科 教授） 下山 淳一（青山学院大学 理工学部 教授） 安藤 努（日本大学 生産学部 教授）
課題名	磁気科学プロセスによる単結晶性セラミックスの創出
研究概要	回転変調磁場を用いた磁場配向法は室温で三軸結晶配向が可能な非真空の材料作製プロセスとされ、エピタキシー技術にはない技術的優位性をもつ。磁場配向とコロイドプロセスの融合による異方的機能物質の擬似単結晶セラミックスの創出を目的とし、造粒（合成条件・双晶・粒径）、磁場配向条件（磁場、回転条件、粘性）、焼結条件（温度、圧力、雰囲気）の最適化により、90%以上の緻密性と10度以内の配向度を目指す。

#### 研究目標・成果

#### 連続プロセスに対応した三軸磁場配向法の開発

##### 磁場配向法

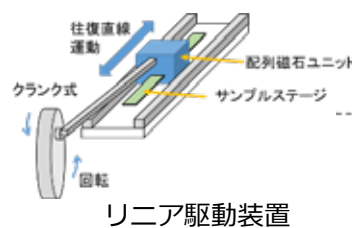
- ・室温プロセス・非真空プロセス→低コスト
- ・遠隔力による非接触での配向→複合材料への展開
- ・回転磁場で磁化困難軸配向
- ・回転変調磁場で三軸結晶配向 →擬似単結晶組織
- ・10テスラ程度まで強磁場利用可
- ・高いコロイドプロセスとの親和性



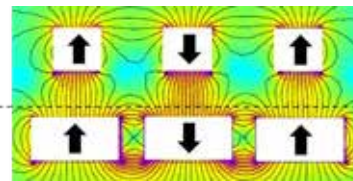
従来法：超伝導磁石と回転機構

##### 本プロジェクトの成果：リニア駆動型回転変調磁場発生装置

- ・永久磁石配列の直線往復運動を利用した新しい回転変調磁場発生方法を考案。
- ・試料の回転制御は一切不要。
- ・シート状の製造物・複合材料に特に好適。



リニア駆動装置



配列磁石概念図



外観写真

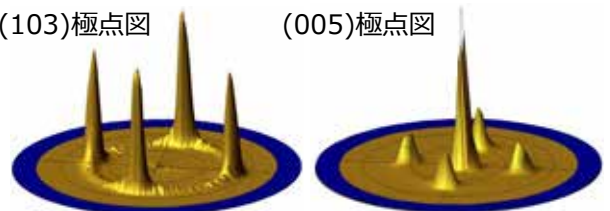
##### 実施例（樹脂+粉末の複合材料の三軸配向）

対象物質：DyBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>（高温超伝導物質、斜方晶）  
クランク回転速度：10rpm、試料：固定（無回転）

- ・常磁性物質が樹脂中で三軸配向した。
- ・配列磁石は所望の回転変調磁場を発生できることを実証した。
- ・現状課題：印加磁場の増強

(103)極点図

(005)極点図

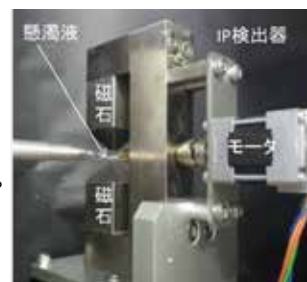


- ・直線(往復)運動のみで回転変調磁場を発生し、フィラーを非接触で配向
- ・三軸配向を実現した。
- ・エピタキシーが利用できない複合材料に好適である。

## 回転磁場配向の動的挙動の理解

### XRDを利用した磁場配向挙動のその場観察

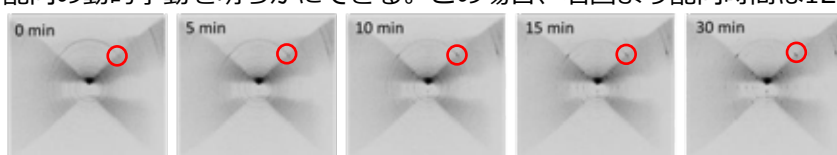
- ・ X線回折法+イメージングプレート → 約3分ごとの配向変化を決定できる。
- ・ 対向永久磁石+試料回転機構 → 無回転：静磁場、回転：回転磁場
- ・ 特に、回転磁場では、磁場追従モードと非追従モードがあり、磁化困難軸配向は非追従モードで実現する。 → 最低限の高速回転速度を決定できる。
- ・ コロイドや樹脂との混合状態でも測定が可能。  
特定の粘度における配向に要する時間や磁場回転速度を決定できる。



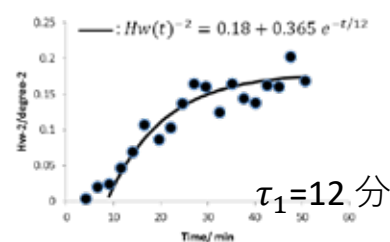
磁場印加/試料回転装置付XRD装置

### 配向の時間発展観測への利用

- ・ 下図は、静磁場配向を例として示した。
- ・ 結晶学的知見に基づき、特定の回折スポットの強度変化、半値幅変化から配向の動的挙動を明らかにできる。この場合、右図より配向時間は12分。

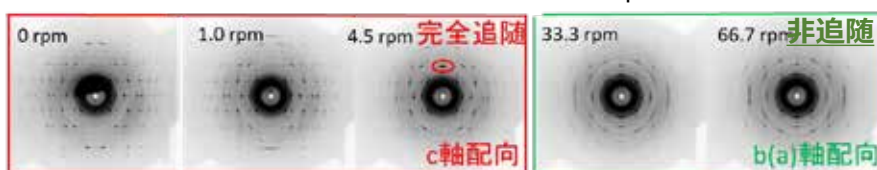


懸濁媒体10 % PEG4M、静磁場中での高温超伝導Dy123粉末の配向効果

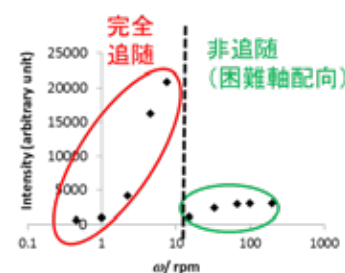


### 回転磁場速度変化による配向モードの質的変化の観察

- ・ 結晶学的知見に基づき、特定の回折スポットの強度変化、半値幅変化から配向モードの質的変化を明らかにできる。  
この場合、磁化困難軸配向に必要な磁場回転速度は約10rpmと推測される。



懸濁媒体10 % PEG4M、回転磁場中での高温超伝導Dy123粉末の配向効果



- ・ 本装置を利用することで、未知の材料の磁場配向条件を明らかにできる。
- ・ 本装置で決定された基礎的な条件を踏まえて、前項のリニア駆動装置の配列磁石設計にフィードバックできる。

### 想定する分野・用途

- ・ 樹脂中のフィラーの配向制御などの複合体
- ・ 配向制御を要する異方的セラミックスの配向制御
- ・ 銅酸化物系高温超伝導線材などの長尺製造物

### 最終目標

リニア駆動型回転変調磁場発生装置の配向性機能材料製造プロセスへの実装

### 産業界への要望

磁場配向法の適用範囲拡大のため、配向制御を通じた材料化を要する異方的機能性材料の情報を求めています。当該装置や超伝導電磁石を使ったお試し実験も承ります。

お問合せ 京都市右京区山ノ内五反田町18番地 E-mail : horii.shigeru@kuas.ac.jp

プロジェクトリーダー	山本 剛久 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授)
研究開発担当者	小山 敏幸 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授) 吉田 英弘 (東京大学 大学院工学系研究科 教授) 森田 孝治 (物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 主席研究員)
課題名	フラッシュ焼結の学理構築と革新的焼結技術への展開
研究概要	強電場を印加することで、大気中無加圧下で低温・短時間焼結を実現する新たな焼結法であるフラッシュ焼結法を確立させ、セラミックス焼成プロセスの革新的省エネルギー化を達成するとともに、フラッシュ接合技術の開発も行う。粒界・界面の先端ナノスケール計測と理論計算シミュレーションを連携させて強電場下の素過程を解明し、フラッシュ焼結の基礎学理を構築するとともに、産業展開のためのプロセス設計指針を示すガイドラインを整備する。

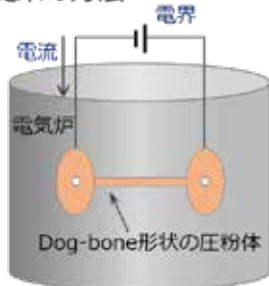
研究目標・成果

フラッシュ焼結時に生じる電界印加に起因した不均一組織の解析とその抑制技術の開発

一般的な直方体形状の圧粉体を高密度化

フラッシュ焼結実験には、電極部と収縮部（ゲージ部）との形状が異なる“Dog-bone”形状の圧粉体を用いられてきました。この形状の圧粉体は、電極部が高温となるゲージ部から離れているために、焼結時に投入できる電力量に余裕が生じます。これに対して本研究では、より一般的な直方体形状の圧粉成型体を用いてフラッシュ実験を実施するための装置を工夫し、さらに、その形状での高密度化を実現するためのフラッシュ焼結条件の検討を行いました。

従来的方法



本研究の方法



DC電界印加時に生じる強還元状態

フラッシュ焼結にはDC電界が用いられています。DC電界の場合には一方向の電界印加に起因するイオン拡散が誘起されます。断面積が大きい直方体形状の圧粉体を用いることで、この効果を調べることが可能となります。DC電界印加によって焼結体内部に形成される特徴的な組織の解析を行い、その結果を、より均一な組織を有する焼結体を得るための電界条件などの検討へとつなげます。



DC電界印加によって生じる強還元(黒色化部分)組織 (Heat Core) 部分安定化ジルコニアセラミックス (3mol%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> (3YSZ) の例)



強還元(黒色化部分)組織中に現れる金色に着色した組織

- ・従来からの吊り下げ式から、より一般的な直方体形状の圧粉体を用いてフラッシュ焼結を実施できる電気炉を作製し、収縮過程のリアルタイム計測を実現した。
- ・電極が高温部に直接接する直方体形状の圧粉体の場合には、投入できる電力量が電極部の融点で制限される。そのために、より綿密な電界条件が求められる。
- ・DC電界印加時には、一方向の電界印加に起因する強還元状態が生じ、焼結体内部には黒色化したHeat Coreが形成される。ジルコニアセラミックスでは、この黒色化領域において大気中酸窒化物が形成されることが確認された。
- ・従来用いられていたDC電界印加時に生じる強還元状態や、不均一な組織形成を回避するためには、適切なAC電界を印加、制御できるよう工夫が必須である。



## フラッシュ焼結技法を様々な用途に展開していくための基礎技術の開発

### 電界印加タイミングの検討

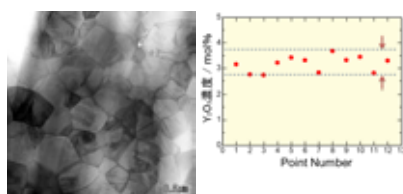
フラッシュ温度は、印加する電界に依存して変化します。電界が増加するとフラッシュ温度は低下します。適切な電界でフラッシュ焼結を実施するためには、無電界下で昇温し、より高い温度で電界を印加する手法が有効となります。その条件の検討を行っています。



60V/cm、1200℃×5分

### 適切な緻密化速度の制御

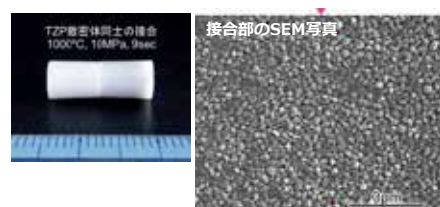
一般的なフラッシュ焼結の場合には、焼結体内部と外周部で結晶粒径に差が現れます。これは、焼結体内部の実温度が、外周部よりも、より高温となることと関係します。そこで、均一な組織を有する焼結体の作製条件を検討しています。具体的には、収縮量を制御しながら電流量を制御する手法です。



電流制御で作製した3YSZ焼結体のTEM組織像とEDS分析値

### フラッシュ接合

フラッシュ現象を利用したセラミックの接合法の開発にも取り組んでいます。鏡面仕上げを施したセラミックスを互いに重ね合わせ、上下に電極を取り付け、炉温を1000℃に調整の上、フラッシュを実施しました。フラッシュ接合後の接合界面の組織解析を行い、その結果を接合条件へとフィードバックします。



1000℃、～10秒ほどで接合可能です

- ・電界の印加タイミングを検討し、印加電圧で決まるフラッシュ温度に対して200℃～300℃高温の状態では電界を印加すると効率よく緻密化できることが分かった。例えば、3YSZの場合には1200℃において5分で～99%の相対密度を得ることができる。
- ・収縮量を一定とするように電流値を制御する焼結法では、炉温約800℃、10分程度で～99%の相対密度を得ることが可能となる。この条件下では、イットリウムが再分配が大きく低下する。
- ・鏡面処理を施したジルコニアセラミックスを重ねて、フラッシュさせることで容易に接合できることが確認された。

### 想定する分野・用途

ファインセラミック分野のセラミック焼結体製造など（フラッシュ焼結により添加物の強制固溶・均一分布、大気中における窒化、結晶粒の微細化など様々な効果を得られる場合があります。）

### 最終目標

フラッシュ焼結時に生じるフラッシュ現象の発現機構、短時間での大規模な物質拡散に関する素過程など、フラッシュ焼結機構の解明とその技術展開

### 産業界への要望

従来の焼結法では得られなかった新たな焼結体作製の検討などの共同研究を希望します。技術移転についてもお問い合わせください。

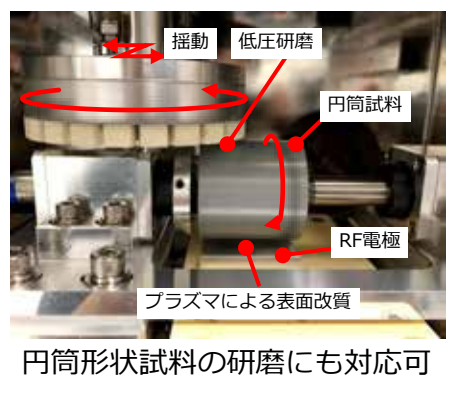
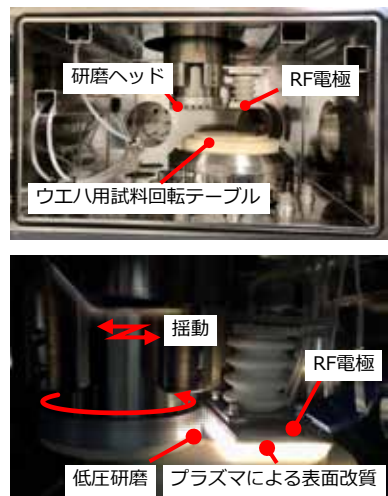
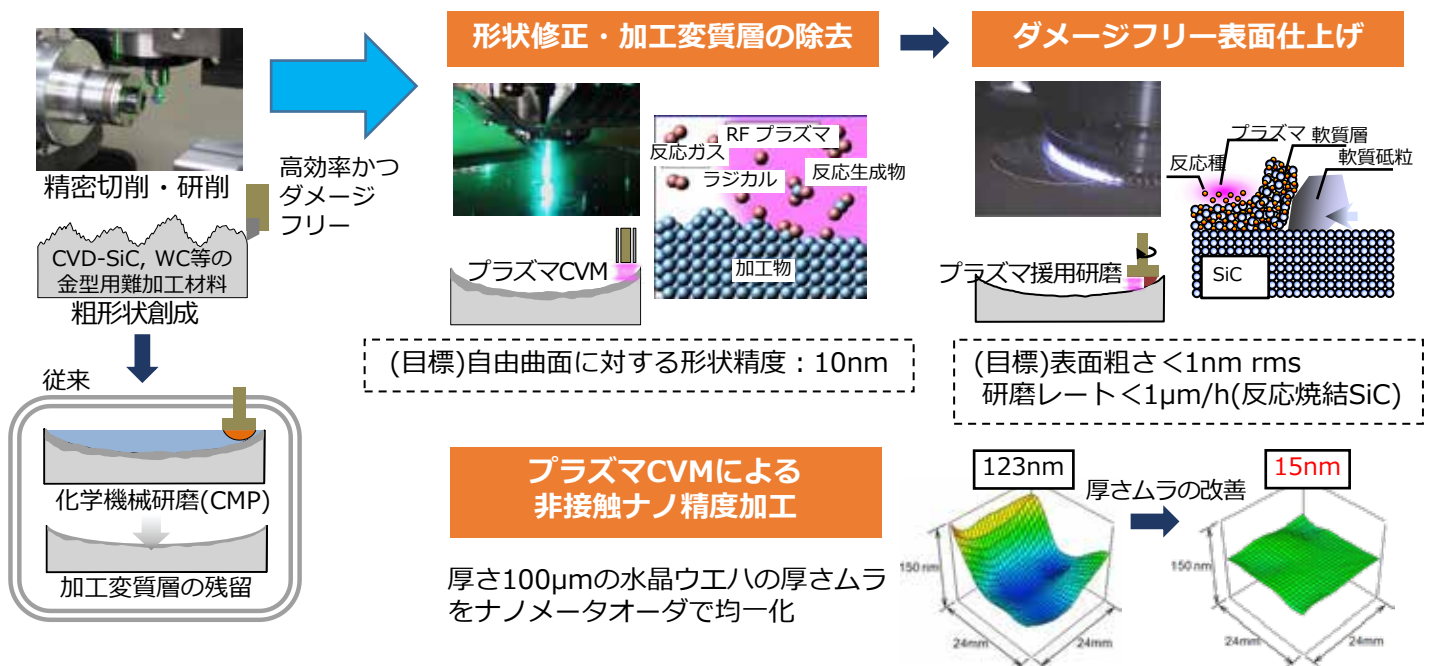
お問合せ 名古屋市千種区不老町 E-mail : yamamoto.takahisa@material.nagoya-u.ac.jp

### Ⅲ 成形・焼結・加工技術

プロジェクトリーダー	山村 和也 (大阪大学 大学院工学研究科 教授)
課題名	反応性プラズマを援用したセラミックス材料のダメージフリー形状創成・仕上げ加工技術の開発
研究概要	硬脆難加工材料である機能性エンジニアリングセラミックス材料に対して、反応性プラズマを援用した『プラズマナノ製造プロセス』の適用により、高能率かつダメージフリーに目的形状を得るプロセスを開発する。本プロセスにより、従来の機械加工技術では不可避であった機械的・熱的・化学的な特性を低下させるマイクロクラックなどの加工変質層の形成を回避できるため、金型の作製などに応用すれば寿命の飛躍的な増大が期待できる。

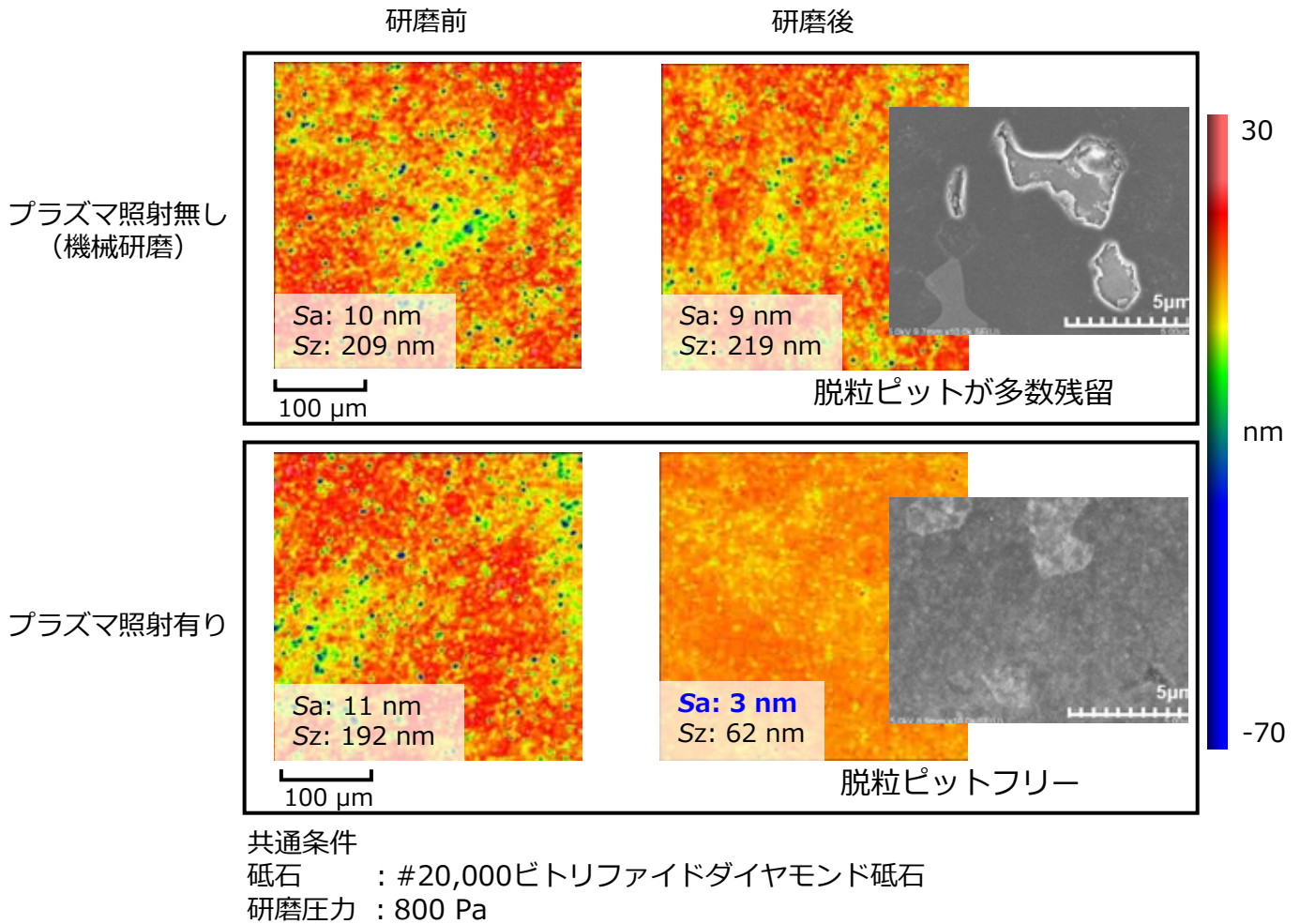
### 研究目標・成果

## プラズマナノ製造プロセス(Plasma nanoManufacturing)の開発



形状修正・加工変質層の除去、ダメージフリー表面仕上げをする複合加工装置を試作

研究成果の一例：窒化アルミニウム(AlN)基板の脱粒ピットフリー研磨



AlN焼結基板の研磨にプラズマ援用研磨を適用することで脱粒ピットの生成が抑制され、機械研磨の限界を超える平均粗さ3 nmの超平滑表面が得られた。

想定する分野・用途

- ・ パワーデバイス用半導体ウエハ (SiC, GaN, ダイヤモンド, etc.) のスラリーレス表面仕上げ
- ・ 難加工セラミックス材料 (SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, etc.) のダメージフリーラッピング・研磨仕上げ
- ・ 反応焼結SiC、CVD-SiC材を用いた宇宙望遠鏡、金型加工への応用展開

最終目標

- ・ 自由曲面形状に対する形状精度 : 10 nm
- ・ 表面粗さ : 1 nm rms (反応焼結SiC)

産業界への要望

プラズマCVMによる形状加工、プラズマ援用研磨による表面仕上げが活かせる、必要とされる具体的なターゲットのご提示、サンプルのご提供をお願いします。

お問合せ 吹田市山田丘2-1 E-mail : yamamura@prec.eng.osaka-u.ac.jp

お問合せ



産学連携展開部 テーマ型研究グループ  
(〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's 五番町)

TEL : 03-3238-7682

E-mail: [kyousou@jst.go.jp](mailto:kyousoou@jst.go.jp)

URL : [https://www.jst.go.jp/a-step/kadai/h28-s1/h28\\_sangyo01.html](https://www.jst.go.jp/a-step/kadai/h28-s1/h28_sangyo01.html)