

この時代のセラミックス



(国)名古屋工業大学
先進セラミックス研究センター(多治見)
藤 正督(ふじ まさよし)

大学院工学研究科 生命・応用化学プログラム
工学部 生命・応用化学科



名古屋工業大学 先進セラミックス研究センター 紹介

URL: www.crl.nitech.ac.jp

○設置目的

地球規模で直面する環境・資源・エネルギー問題を解決し、持続型社会の構築を実現するため、知的マテリアル創製学を核とし、地域の資源と技術が融合することで発展してきたセラミックス産業文化を範として、地域に即した多様な新価値を探索する、国際的・学際的・融合的な先進セラミックスの工学研究を実施し、社会に還元する。

○沿革

- 1973年 窯業技術研究施設創設
(名古屋市昭和区・名古屋工業大学御器所地区内)
- 1977年 岐阜県多治見市旭ヶ丘に新棟移転
- 1991年 セラミックス研究施設として拡充改組
- 2001年 セラミックス基盤工学研究センターとして改組
- 2010年 多治見駅前地区設立
- 2012年 先進セラミックス研究センターとして改組

○活動内容

・学術研究

本研究センターにおける研究成果は学術雑誌に論文として公表されています。さらに、毎年の研究活動は、オープンキャンパス、成果報告会の開催及び年報の発行により広く成果が利用されるよう工夫しています。

・学部・大学院教育

生命・応用化学科、生命・応用化学系プログラムに参画し、学部生、博士前期及び博士後期課程の研究指導を行います。また社会人大学院生の研究指導も行っています。

○組織

教員：7名（教授4名、准教授1名、助教2名）
職員：5名（技術職員2名、事務職員3名）
非常勤・ポスドク：17名、学生：50名



旭ヶ丘地区：井田、安達、羽田、西田
駅前地区：藤、石井
御器所地区：白井

- ・地球規模で直面する環境・資源・エネルギー問題を解決！
- ・地域・国の事情に即した多様な新価値を探求！

セラミックスを基盤とした
実利的な材料研究

他材料との融合

1973～
窯業
研究
1977～

ファインセラ
の基礎
研究
1991～

環境・エネル
ギーセラの
基盤研究
2001～

環境・エネルギー・資源
に関する
先進セラミックスの研究
2012～

国際的な新価値観を養った
人材の育成

国際プロジェクトor共同研究
教育(外国人研究員・学生の受入れ)

国際
拠点
地域
連携

プロジェクト
共同研究
専門教育

2023年度

成果発表会

3.7(木)

日時 2024年3月7日(木) 12:55 ~ (受付12:30~)

場所 名古屋工業大学 先進セラミックス研究センター駅前地区 講義室
(〒507-0033 多治見市本町三丁目101-1 クリスタルプラザ4F)

参加料 無料

申込先 電話: 0572-27-6811 FAX: 0572-27-6812 メール: jimu@crl.nitech.ac.jp

定員 35名(事前登録制)

締切 2024年3月1日(金)

プログラム

12:55 ~ 13:00 開会挨拶

13:00 ~ 14:00 成果発表

14:00 ~ 14:10 休憩

14:10 ~ 15:00 特別講演

I 「セラミックスにおける粒界設計と機械的特性の向上」

講師: 日本特殊陶業株式会社 科学研究所 フェロー
名古屋工業大学 客員教授 光岡 健 氏

15:00 ~ 16:00 ポスター発表

16:00 ~ 16:50 特別講演

II 「環境負荷低減のための強化磁器・コーディエライト・赤外線反射無機顔料」

講師: 愛知工業大学 工学部 応用化学科 教授 小林 雄一 氏

16:50 ~ 17:00 閉会挨拶



【交通のご案内】
中央自動車道多治見ICから車で約10分
JR多治見駅より徒歩約5分

主催: 名古屋工業大学先進セラミックス研究センター

共催: 東濃四試験研究機関協議会
岐阜県セラミックス研究所・多治見市陶磁器意匠研究所
土岐市立陶磁器試験場・瑞浪市窯業技術研究所

客員教授

大司 達樹 (産業技術総合研究所)

奥山 雅彦 (日本特殊陶業株式会社)

清原 正勝 (TOTO株式会社)

加藤 真示 (株式会社ノリタケカンパニーリミテド)

井須 紀文 (株式会社LIXIL)

Wang Feng (Beijing University of Chemical Technology; 中国)

Patrik Hoffmann (Swiss Federal Lab. for Material Sci. & Tech.; スイス)

Marco Daturi (Laboratoire Catalyse & Spectrochimie; フランス)

地域への還元

成果報告会

年報 2024年度 6月ごろ

センターホームページからダウンロード可能

オープンキャンパス(年1回)

最新技術体験セミナー(年1~2回)

公開講座(年1回)

その他 研究会、講演会

核融合科学研究所



基本協定概要



研究者交流
共同研究
人材育成
研究資源の効率的運用
地域・産業界との連携

名古屋工業大学

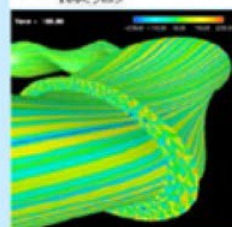


LHD 計測診断制御
高温非平衡反応場の科学
核融合プラズマ関連のシミュレーション科学

LHD

マイクロ波による
物質加熱・焼結

プラズマシミュレータ

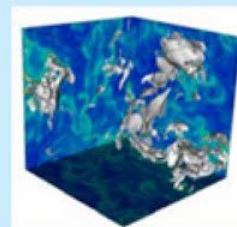
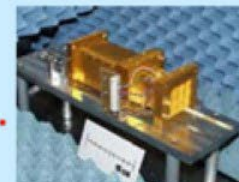
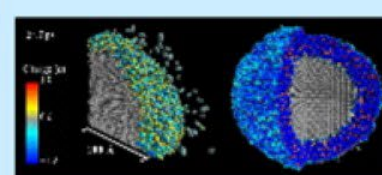
プラズマ乱流輸送
シミュレーション

計測技術
セラミックス科学
マルチフィジックスシミュレーション

プラズマ化ナノ粒子薄膜



テラヘルツ帯発振器

乱流スカラー輸送
シミュレーションアルミニウム粒子
酸化シミュレーション

平成21(2009)年7月8日 連携・協力の推進に関する基本協定

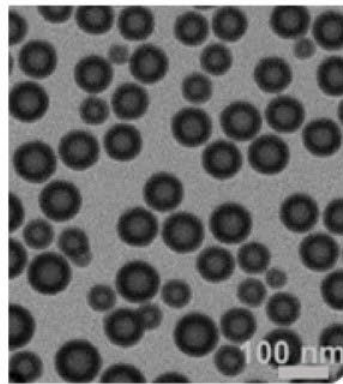
セラミックス、エネルギー、基礎科学分野の共同研究が一層活発化するでしょう。また、優れた研究を通じて次世代を担う人材を育成し国内外の学術及び科学技術の発展に大きく貢献するだけでなく、共同研究の直接・間接の成果が両地域の産業や文化発展にも還元されていくものと期待されます。



研究理念: 作る時も、使う時も、使い終わっても、環境に負荷をかけず本当に使える材料を!

キーワード: 材料化学、界面化学、粉体工学、SDGs、カーボンニュートラル、省エネルギー

ナノ中空粒子



ナノサイズの粒子が持つ
特別性質の探求と応用

- ・超断熱膜・反射防止膜
- ・高効率LED照明・蓄熱
- ・高速通信用低誘電率材料
- ・アルミ用防食膜
- ・滑り止め
バレーボール
に応用



無焼成固化



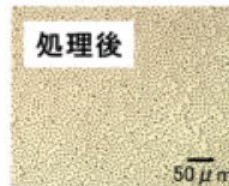
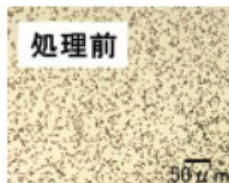
焼かずにセラミックスを
つくる特殊技術の展開

- ・全固体電池
- ・太陽電池
- ・半導体
- ・導電性材料
- ・透明電極
- ・蓄熱材
- ・3Dプリント



原料販売
製品化も

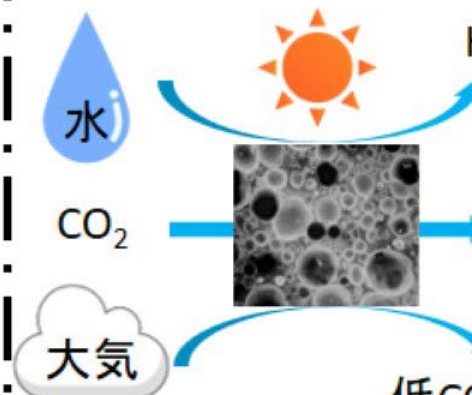
粒子分散系複合材料



固体材料以外にも
塗料、医薬品・化
粧品・食品に展開

- ・防食塗料
- ・異方性電極
- ・電磁気シールド材
- ・透明導電性薄膜
- ・自己組織化
- ・機能性塗料

環境改善材料



カーボンニュートラル
社会構築に必要な
材料創製

- ・水から水素
- ・CO₂の固定化
- ・CO₂をCOやCH₄
の有用材料へ
- ・海ゴミプラの活用
(沿岸油田計画)

この時代のセラミックス

1. セラミックスの運命は？

2. 無焼成固化の概要

3. 無焼成固化の詳細

4. まとめ

5. おまけ

パリ協定で変わる製造

2015年12月13日採択
2016年11月4日発効

環境順応社会

例えば
電気自動車普及
ビルや住宅の高い断熱性
二次電池
太陽光発電
風力発電
核融合発電

パリ協定

・産業革命以前比
で2°Cより十分低く
保ち、1.5°Cに抑え
る。

・温室効果ガス排
出量と吸収量のバ
ランスをとる

巨大な 再・省エネ市場 の出現

再・省エネの市場規模は化
石燃料関連の2.5倍

2040年までの累積投資額
化石燃料関連:1,900兆円
省エネ:3,850兆円
再生可能エネルギー:1,400兆円

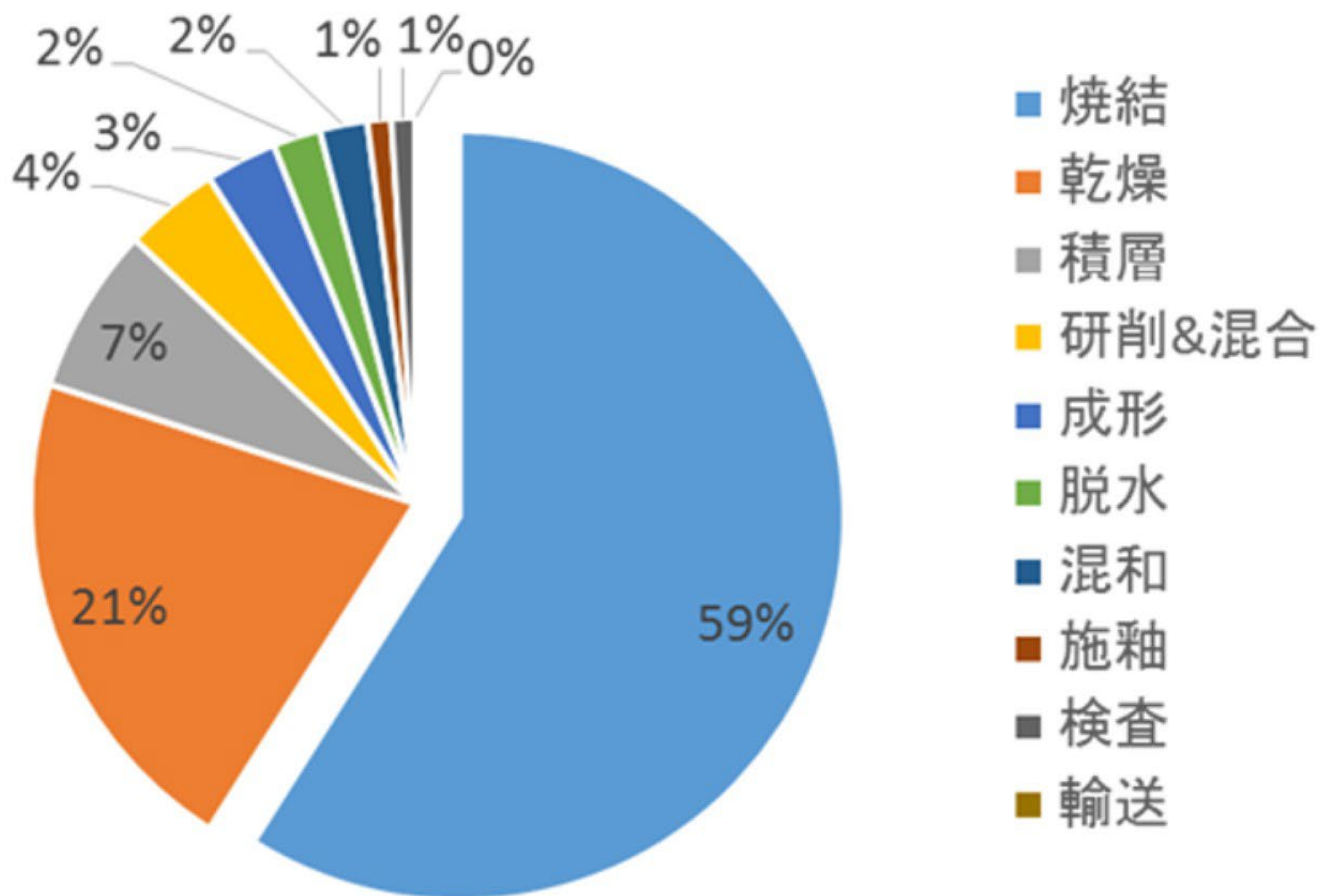
※イギリスの産業革命は1760年代から
1830年代までとされている。

IEA (International Energy Agency; 国際エネルギー機
関) の2016年版世界エネルギー見通し

日本経済新聞2020年10月27日1面

温暖化ガス2025年に実質0
10兆円越えの投資:再生可能エネルギー
日本出遅れ:EV、太陽電池、風力

セラミックス製造プロセスにおける各工程の二酸化炭素排出量



[1] Y. Kurashima, Annual Report of Ceramic Research Laboratory, Nagoya Institute of Technology, vol. 3, (2003) 37-45. (in Japanese)

この時代のセラミックス

セラミックス製造における選択肢

1. CO₂を貯蔵して製造・・・(CCS・CCUS)
2. グリーンなエネルギーリソースに変えて製造
太陽光, 風力, アンモニア、(原子力)など・・・
水素による焼成
核融合発電
3. 排出権を買って製造
4. これまで通り製造し炭素税等を払う
5. 薪を使う(登り窯、バイオマスはCNか?)
6. 焼くのをやめる

CCS: Carbon dioxide Capture and Storage

CCUD: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage

Outline

1. セラミックスの運命は？

2. 無焼成固化の概要

3. 無焼成固化の詳細

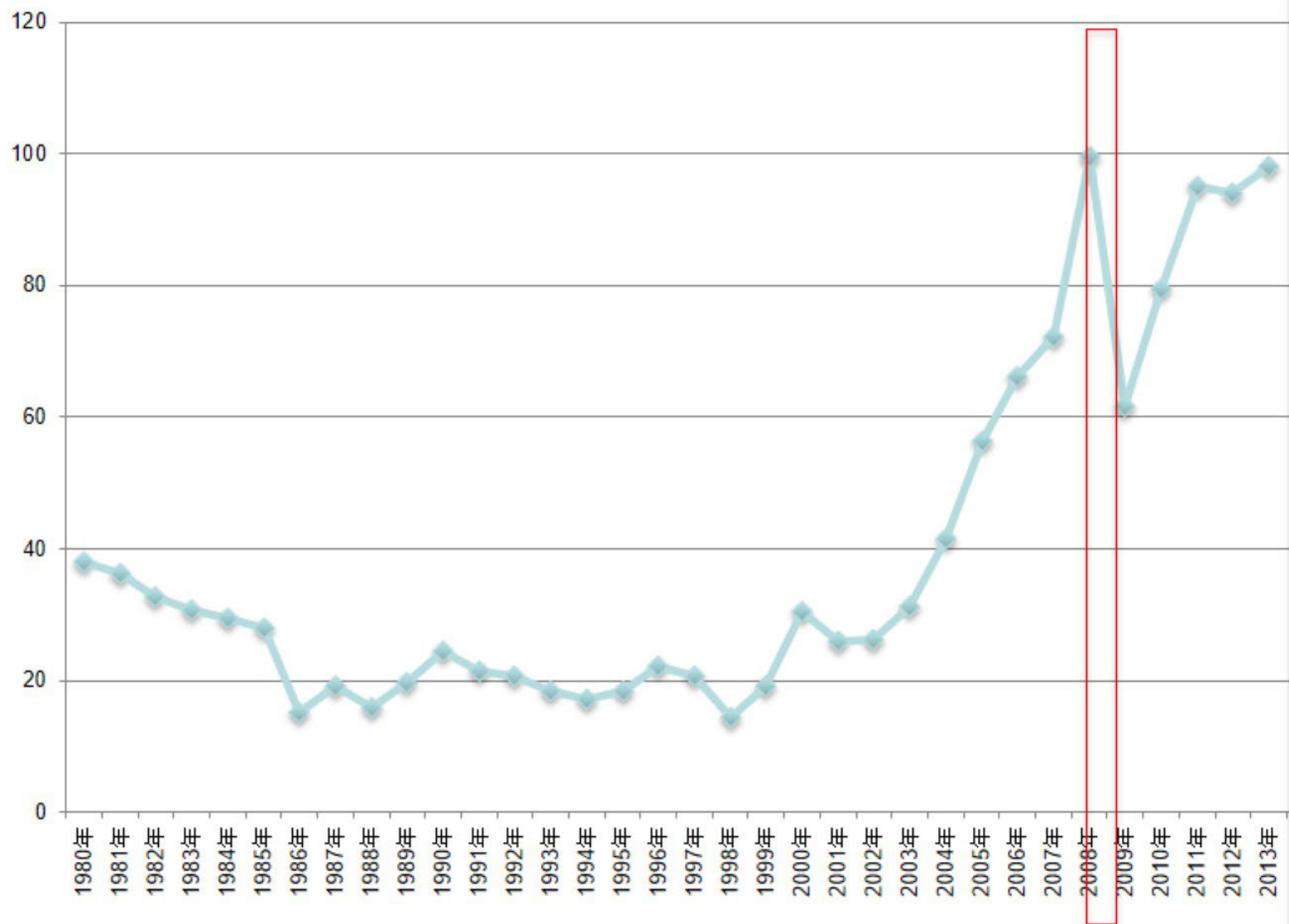
4. まとめ

5. おまけ

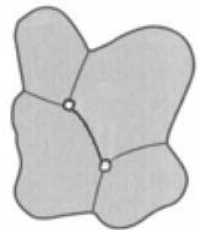
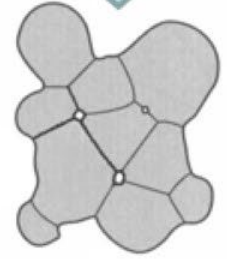
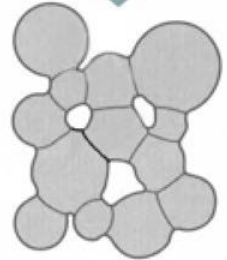
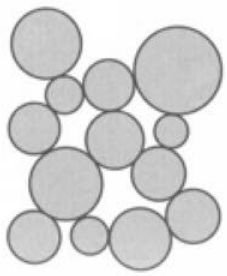
エネルギー消費量とCO₂排出量の比較

		燃料消費量 (MJ/Ton)	CO ₂ 排出量 (Ton/Ton)
レンガ	重油焼成TK	2,000	0.850
タイル	ガス焼成	1,200	0.550
無焼成A	セメント系	550	0.250
無焼成X	開発法	210	0.030 現状の実力

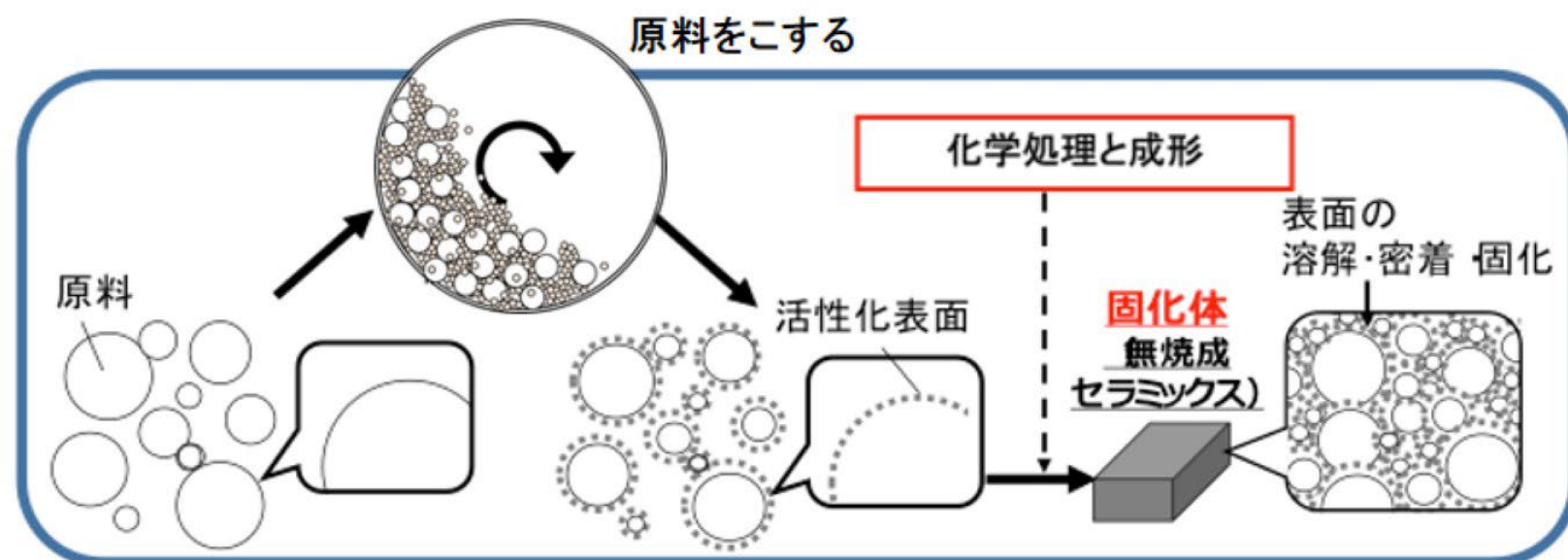
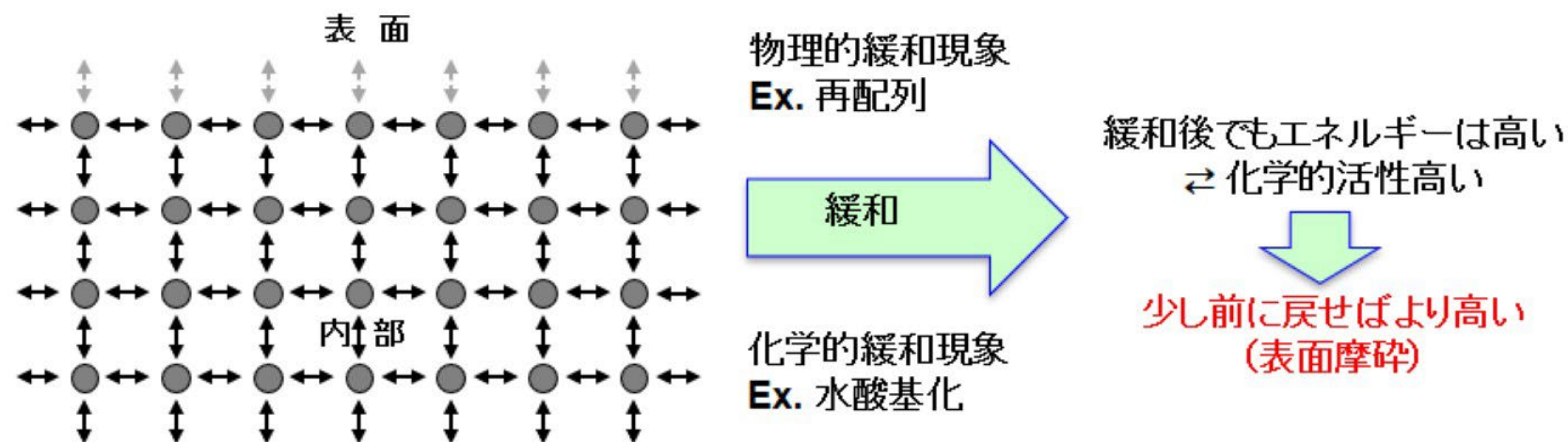
WTI原油価格



1600°Cで焼成したアルミナ (Al_2O_3)



焼かずにどのようにしてこのような構造をえるのか？



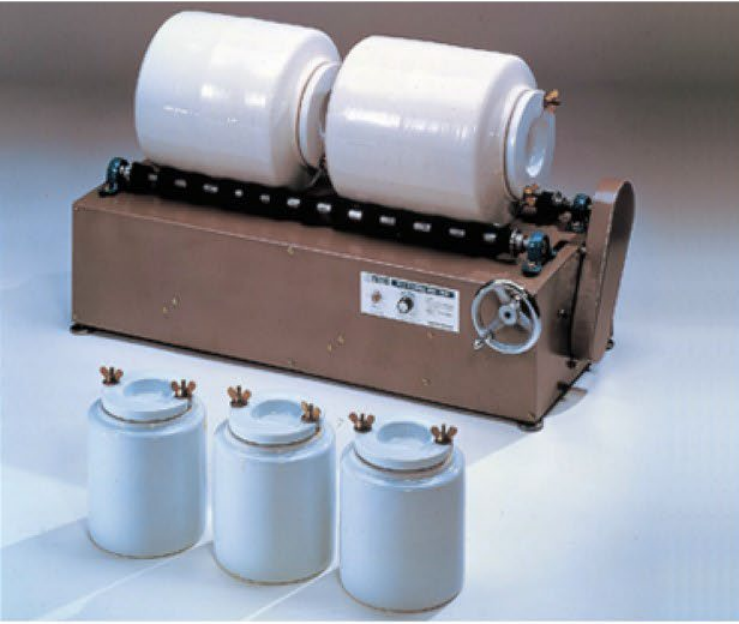
1) メカノケミカル処理による原料表面の活性化

2) 活性化原料と反応液の混合(表面溶解👉再析出👉固化)

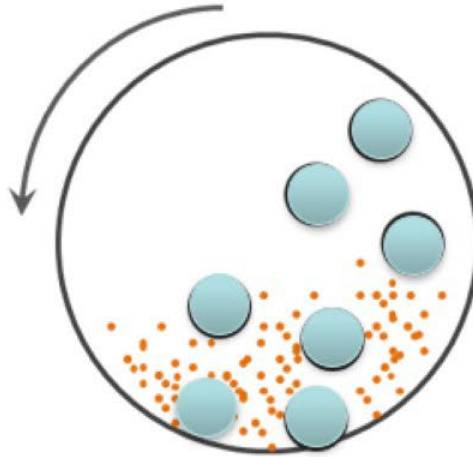
サンプル見せます！

メカノケミカル表面活性化処理 粉碎や解砕ではなく摩砕

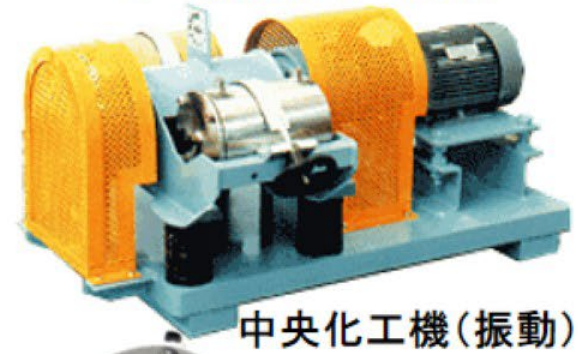
転動ボールミル



中工精機(大型転動)



粉碎・**摩砕**
衝撃力・剪断力



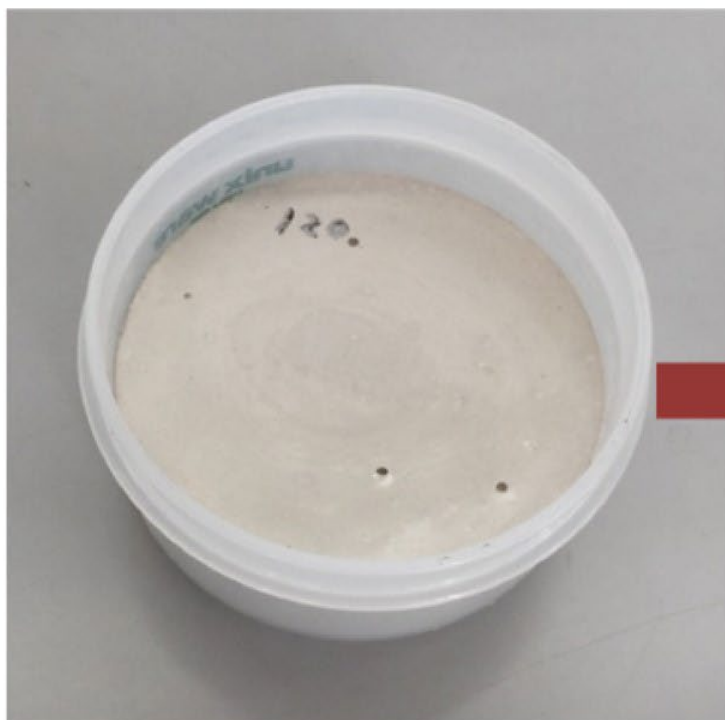
中央化工機(振動)



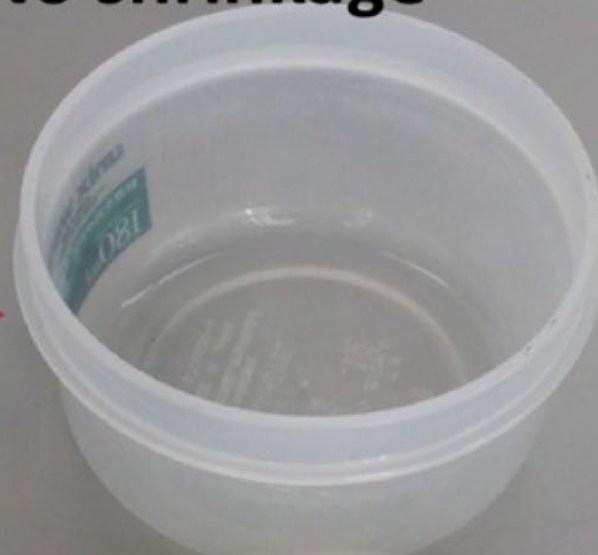
フリッチュ
(遊星)



日陶科学(転動ミル架台)



No shrinkage



原料と粒度分布しだいだが...

収縮率ほぼ0

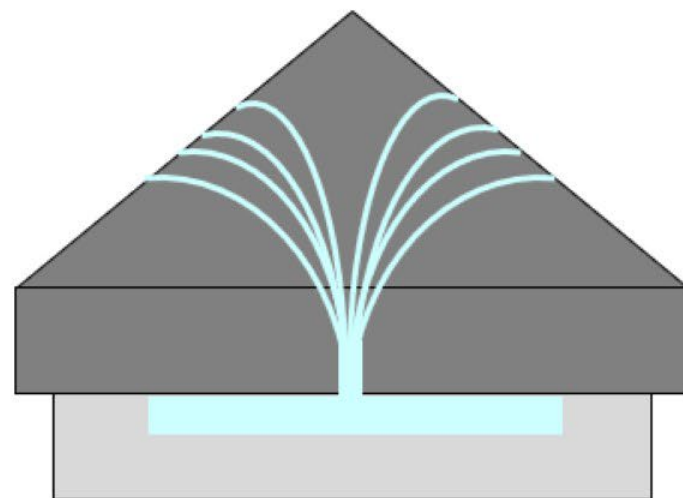
© E-61



PET

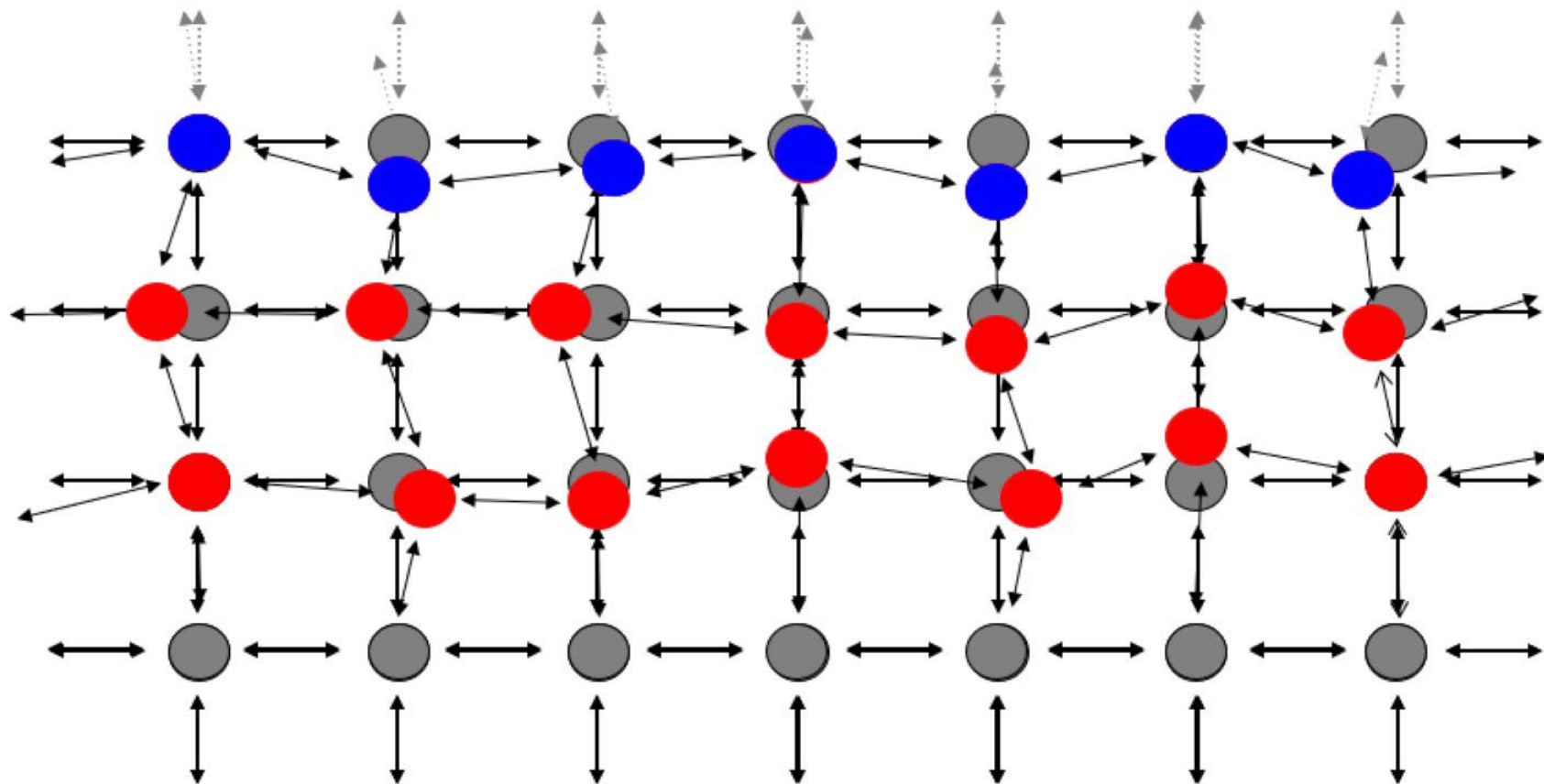
タリ-ンボールダエン500本本





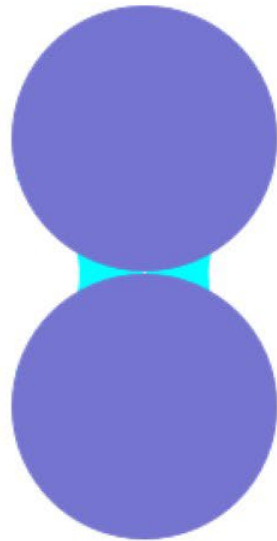
樹脂製光ファイバーと無焼成セラミックス
光のオブジェ

メカノケミカル表面活性化のイメージ



表面の初期状態は難しいが、高い活性表面を作製できる？

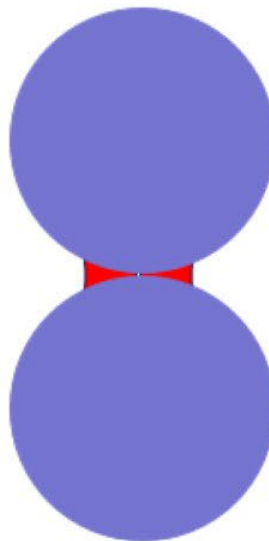
付着 → 固結



液体架橋

湿度が上がる
or
湿潤状態から乾燥中

表面が溶解
or
液中溶解物



固体架橋

湿度が下がる
or
湿潤状態から乾燥



45°C、75% RHで2日開放放置後の
L-アスパラギン酸塩ナトリウム
http://www.neusilin.com/product/pharmaceutical_application.php?langid=jp

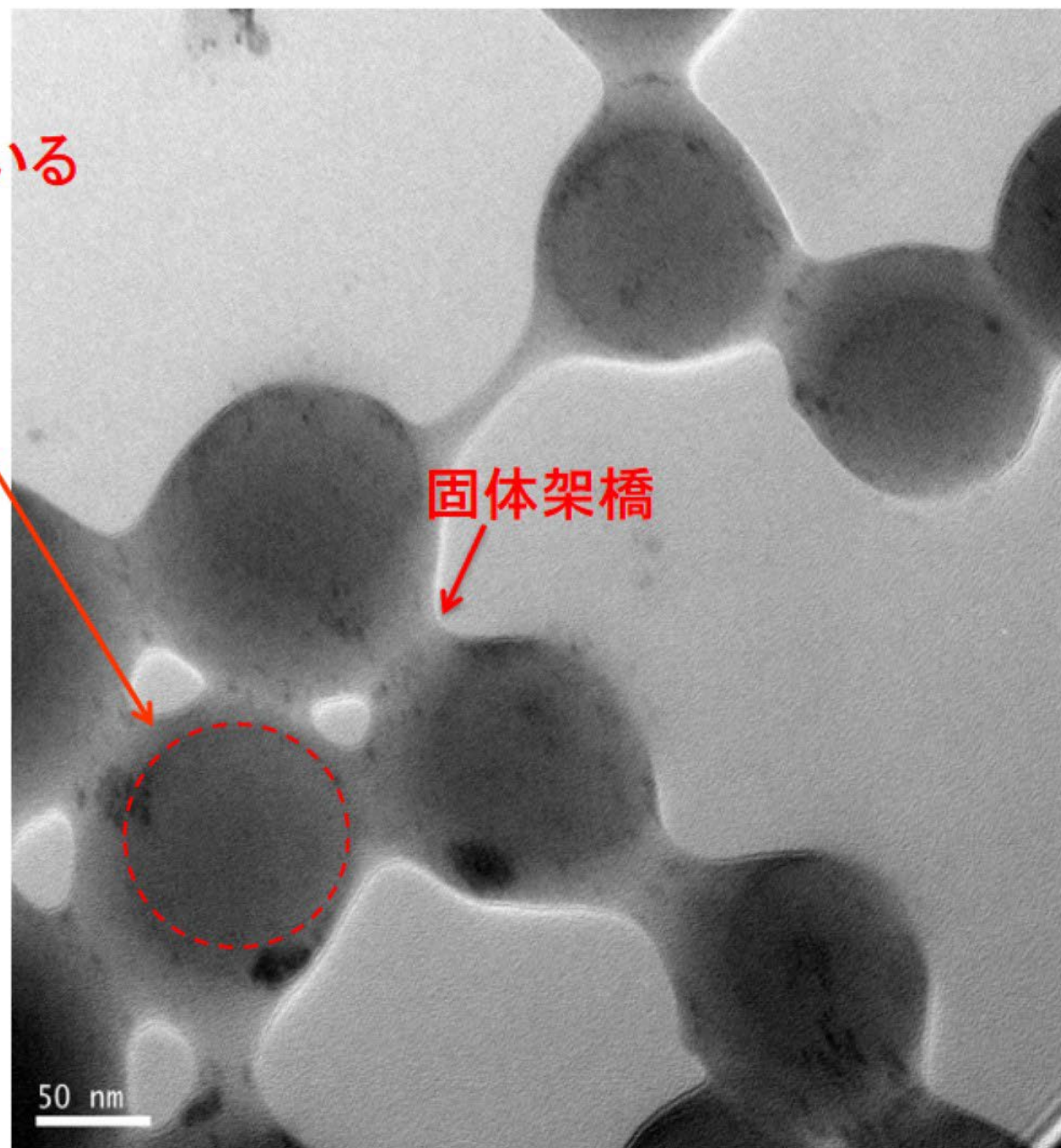
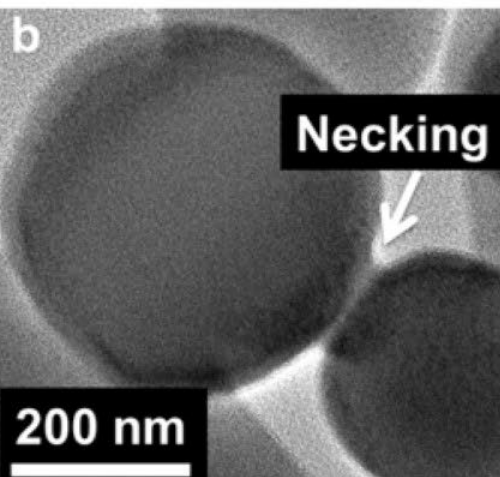
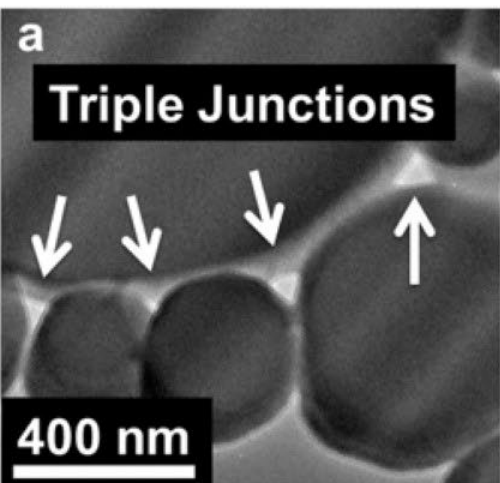
水溶性塩類の場合

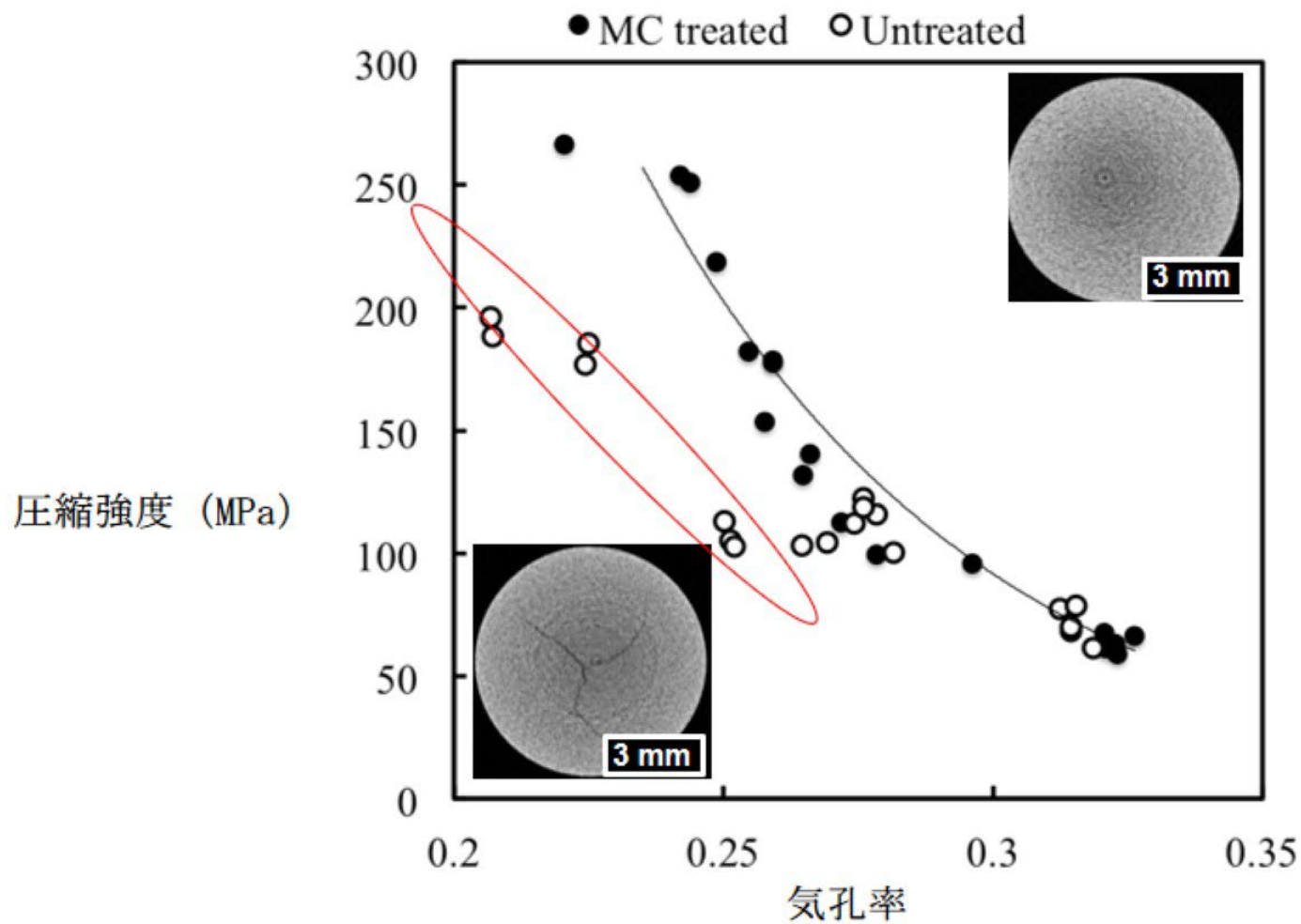
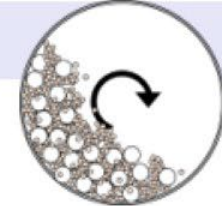
- 1) 水蒸気の単分子層吸着
- 2) 多分子層吸着
- 3) 水和イオンの形成
- 4) 飽和溶液膜形成
- 5) 潮解 ($0.25 < p/p_0 < 0.5$)

近澤正敏、中島 渉、金澤孝文：
粉体工学研究会誌、14, p17
(1977)

無焼成セラミックスのHR-TEM像

ほとんどの粒子が残っている





← 固体架橋の成長



Outline

1. セラミックスの運命は？

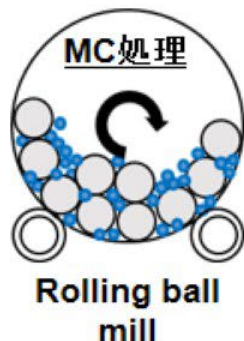
2. 無焼成固化の概要

3. 無焼成固化の詳細

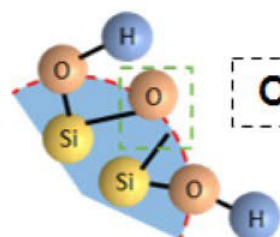
4. まとめ

5. おまけ

メカノケミカル表面活性化処理の効果はまだ仮説

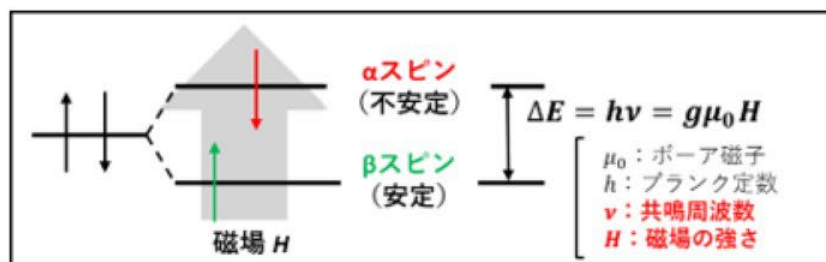


$\equiv \text{Si}-\text{O}-\text{Si} \equiv$ (シロキサン結合) が破壊 $\rightarrow \equiv \text{Si} \cdot, \cdot \text{O}-\text{Si} \equiv$ が生成



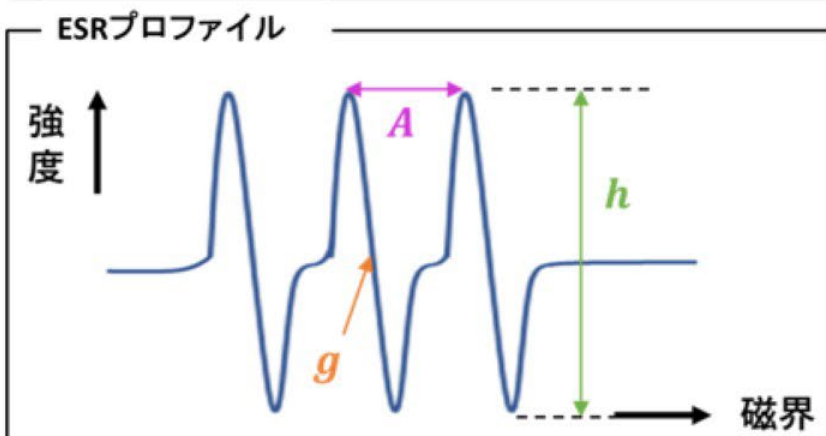
O原子, Si原子に不対電子が生成

ESRによってMC処理前後のシリカ粉体のラジカルの有無を調査



周波数, 磁場により **g値** が分かる

電子スピン周辺の環境によって
決まる物質固有の値

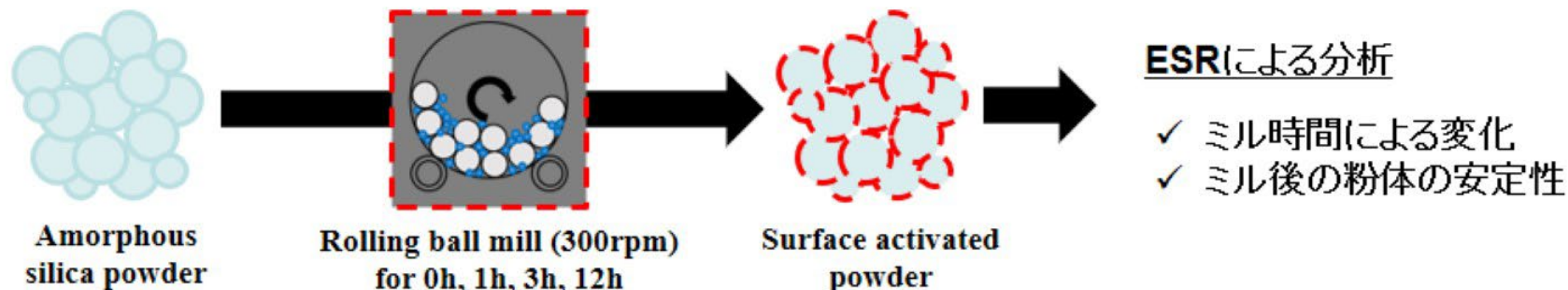


A : 分裂幅 (近隣の核の情報)

h : 信号強度 (不対電子の量)

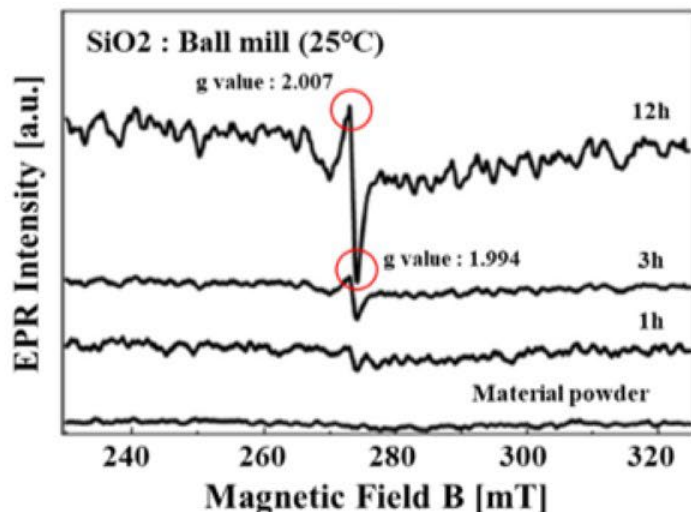
g : 信号の中心位置 (電子状態の情報)

□ 電子スピン共鳴(ESR)によるシリカ粉体の解析*



ボールミル処理による比表面積の変化は無し → 粉砕ではなく、**摩砕**が起きている

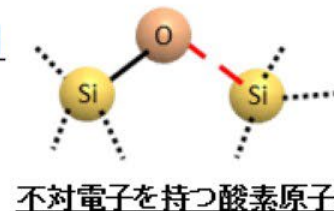
✓ ミル時間による変化



➤ ミル時間の増加により原料にはない信号が出現

信号の中心位置 (g値): 2.001

酸素原子にトラップされている不対電子*



転動ボールミルによりシリカ粉体表面が摩砕され、**Si-O-Si**結合が切れたことが分かった

Fig.1 ESR profile of ball milled and raw silica powders

*H. Razavi-Khosroshahi, T. Sato, M. Fuji, *Advanced Powder Technology* 31, 2020, 2020-2024

*G. Hochstrasser, J.F. Antonini, *Surf. Sci.* 32 (1972) 644-664

✓ ミル後の粉体の安定性

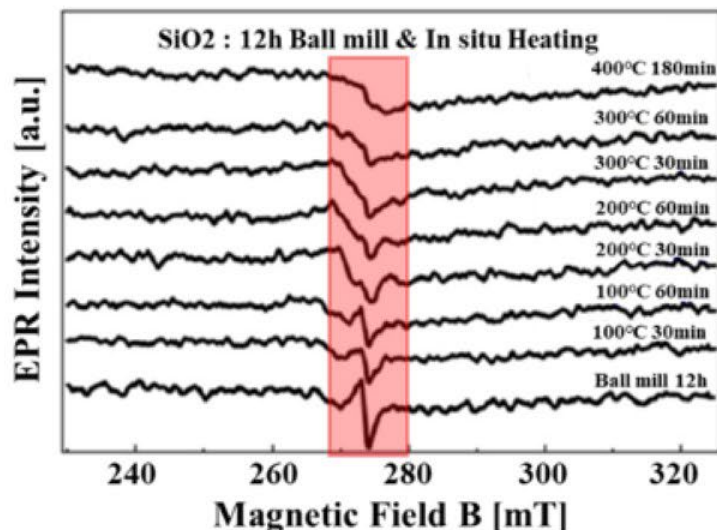
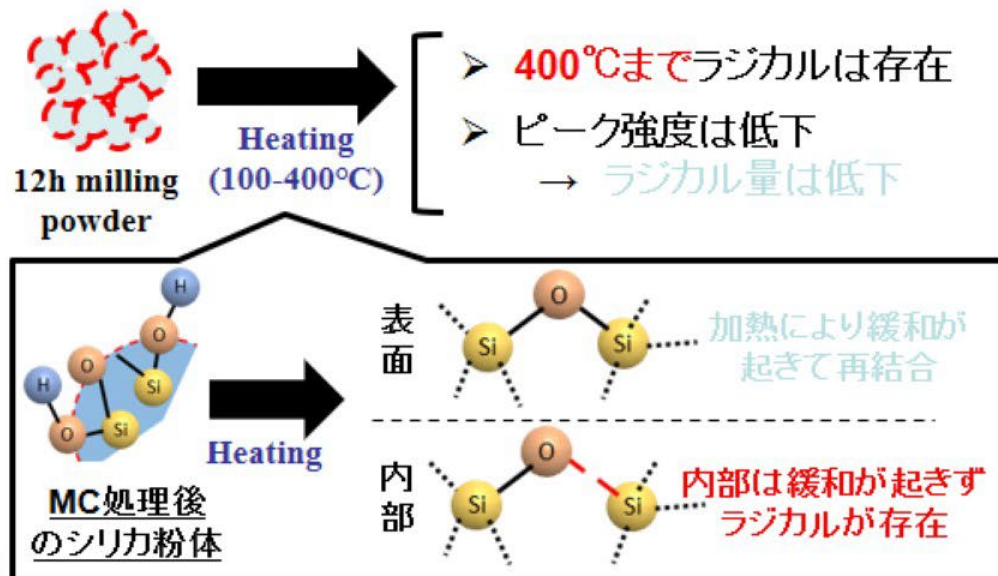
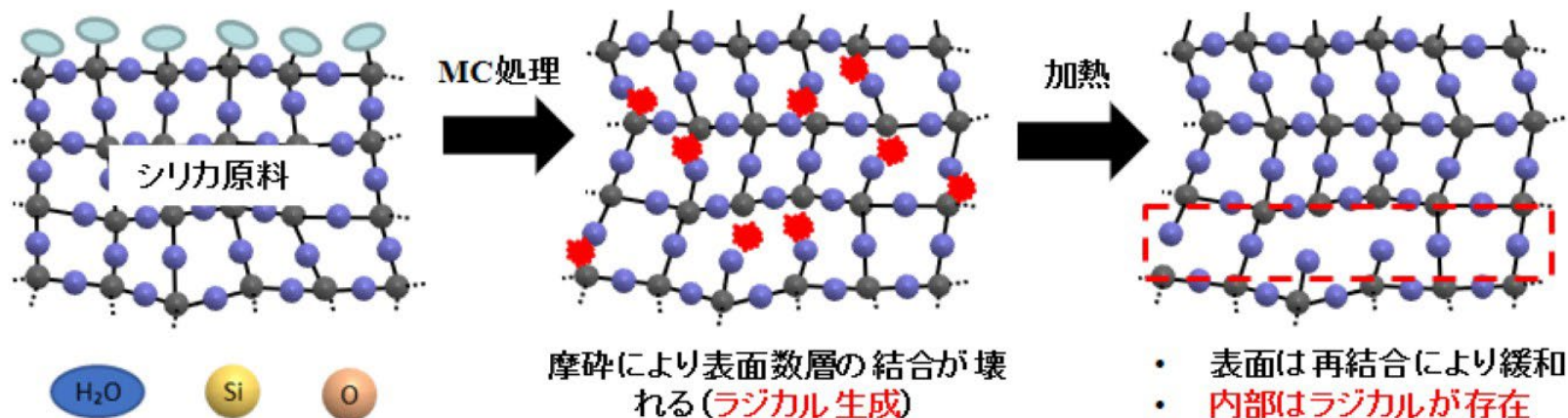


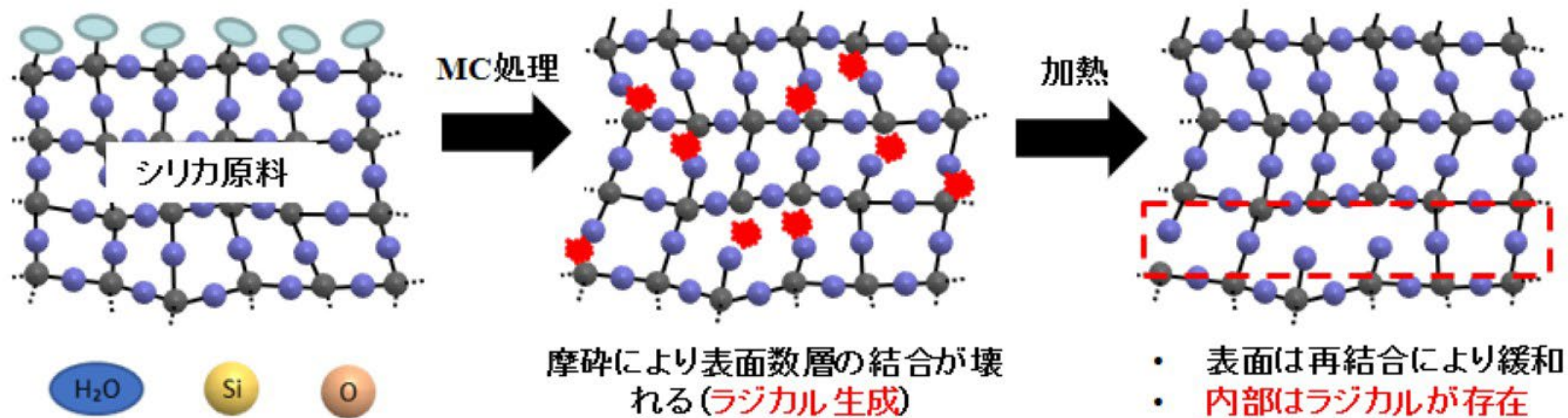
Fig.2 ESR profile of ball milled and heated silica powders



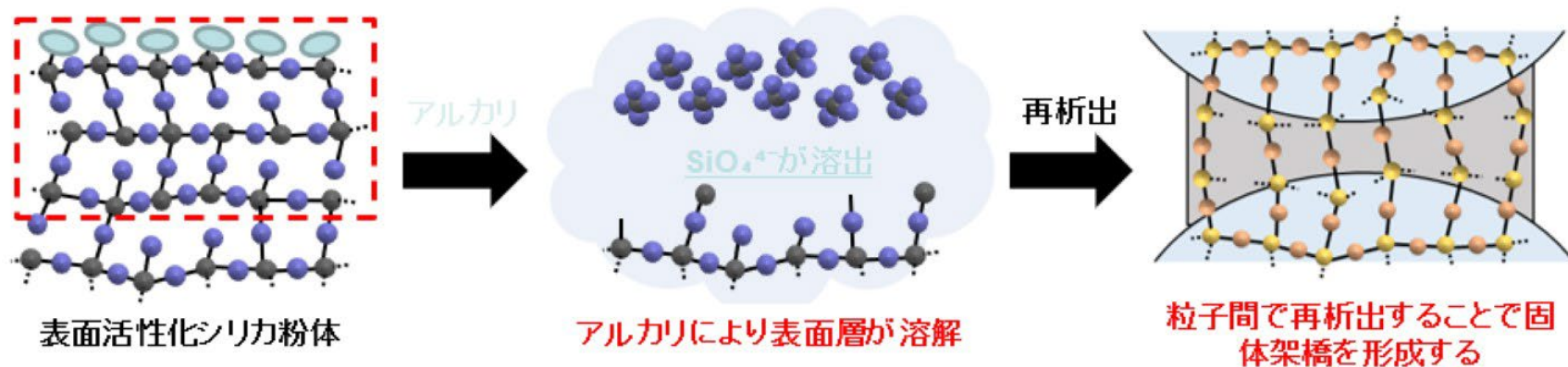
□ メカノケミカル表面活性化処理のメカニズム



□ メカノケミカル表面活性化処理のメカニズム



□ 固化のメカニズム



Outline

1. セラミックスの運命は？

2. 無焼成固化の概要

3. 無焼成固化の詳細

4. まとめ

5. おまけ

ここまでのまとめ

メカノケミカル表面活性化と化学反応によりシリカの無焼成固化体は**最大圧縮強度280MPa**となった。

無焼成固化体の強度は、**粒子間固体架橋によって発現**していることが証明された。

硬い固体架橋を得る為には、固化反応中に原料粒子の大部分が残っていることが重要な条件であることを見出した。

転動ミル、**乾式粒子複合化装置**など原料量産可能
鋳込、加圧、押出成形可能 ←地場の力に期待！

無焼成セラミック

世界の環境、資源、エネルギーの問題の解決に貢献

複合材料

カーボン、ポリマー、金属、紙、木
、その他有機物など

ハイブリッド材料

IC チップ
電子回路
電子デバイスなど

Low technology
High performance

多くの原料が使える

砂、スラグ、スラッジ、堆積物
おが屑、木片、
その他廃棄物

単純で簡便

特別な装置がいらない
環境調和型で低コスト
世界のどこでも実施可能

Outline

1. セラミックスの運命は？

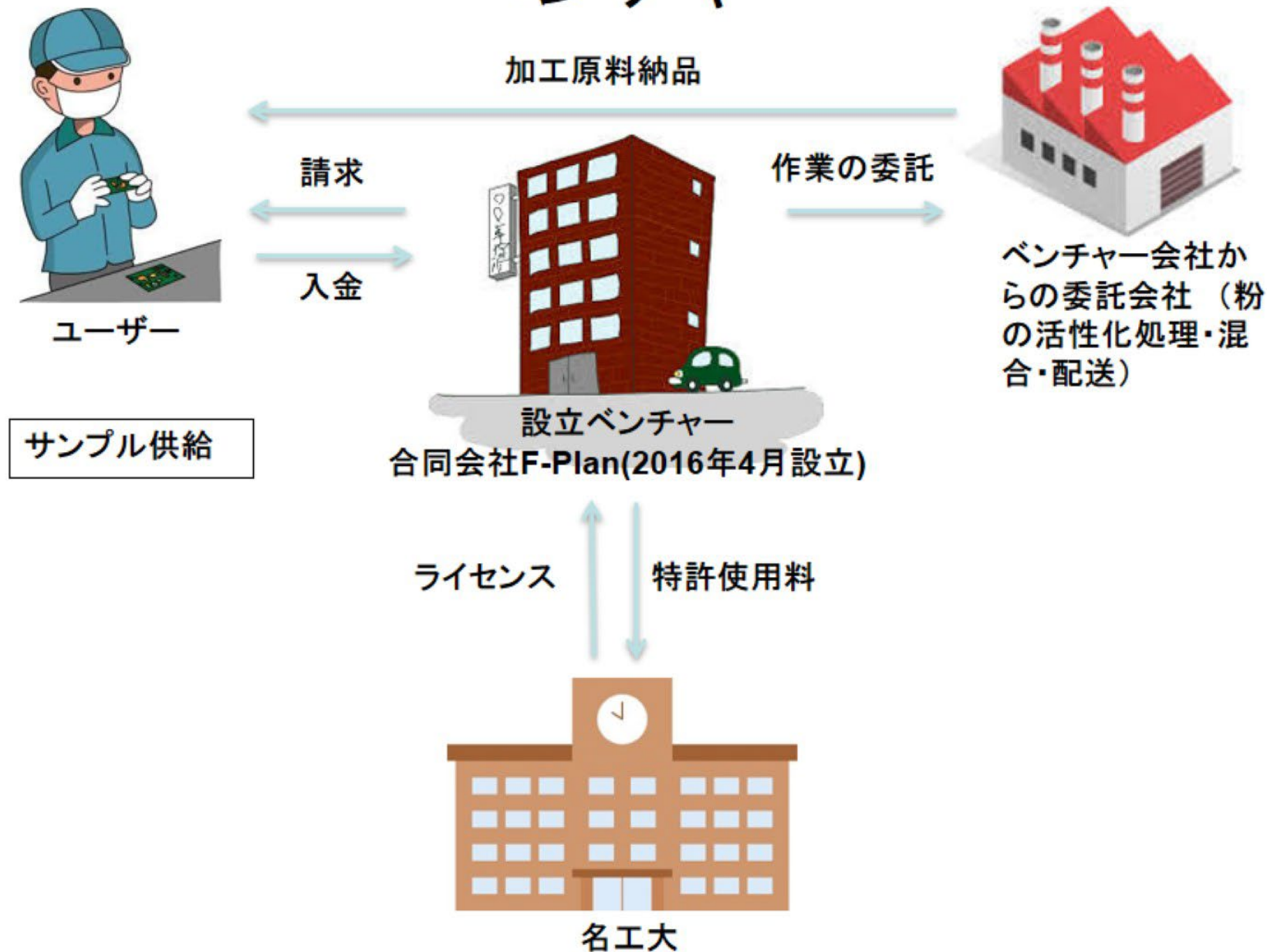
2. 無焼成固化の概要

3. 無焼成固化の詳細

4. まとめ

5. おまけ

ベンチャー





関連の論文

- 1) Non-firing ceramics: Activation of silica powder surface for achieving high-density solidified bodies, Advanced Powder Technology, Vol. 29, 2018, 1900-1903 [<open access>](#)
- 2) Non-firing ceramics: Effect of adsorbed water on surface activation of silica powder via ball milling treatment, Advanced Powder Technology, Vol.30, 2019, 1160-1164
- 3) Non-firing ceramics: Activation of silica powder surface by a planetary ball milling, Advanced Powder Technology, Vol. 30, 2019, 461-465
- 4) High-Strength Non-Firing Ceramics by Mechanochemical Treatment, Advanced Powder Technology, Vol. 31, 2020, 4672-4678 [<open access>](#)
- 5) Non-firing solidification: A new room temperature ceramics processing, Advanced Powder Technology, Vol.31, 2020 , 2020-2024 [<open access>](#)

謝 辞

平成28～32年度、国立研究開発法人科学技術振興機構、研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム「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」

平成28～30年度、愛知県知の拠点あいち重点研究プロジェクト(Ⅱ期)「モノづくりを支える先進材料・加工技術開発プロジェクト」

平成28～30年度、環境省、「セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託事業」

平成26、27年度、岐阜県ぎふ革新センター運営協議会共同研究助成事業「セラミックス3D造形に関する研究開発」

研究協力

岐阜県セラミックス研究所 尾畑成造 氏、立石賢司 氏

岐阜大学 高井千加先生

関西大学 准教授 佐藤知広 先生

産業技術総合研究所 中島佑樹 氏

スタンフォード大学 Sena Hadi 先生

研究室 研究員、研究補助員、学生（含むOB&G）