



ファインセラミックスセンターの 試験評価、機器利用

SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
GOALS

T-0

技術の
ポイント

長年培ってきた高精度な試験評価技術および高性能な各種
研究設備をご利用頂くことが出来ます。

機械的特性

各種強度評価、弾性定数、
破壊靱性、疲労特性、他



熱的特性

熱膨張係数、熱伝導率、
比熱容量、熱拡散率



優れた

研究者・技術者が一体と
なって獲得した技術と経験に
基づく分析・測定により
『精度のよい信頼性の高い
データ』を皆様にご提供致します。

微構造解析、結晶・形態解析

各種電子顕微鏡観察、X線回折 (XRD)、
エネルギー分散型X線分析、他



電気的特性

電波吸収特性、
誘電率、抵抗率



焼結プロセス、加工、試作

焼結体・テストピースの作製、
過熱水蒸気、薄膜スパッタ等試作



非破壊試験、表面分析

3次元X線CT、X線透過、
赤外分光、赤外線放射率

粉体特性

粒度分布、粉末真比重、比表面積、
ゼータ電位、粒子破壊強度

特殊解析

SiC結晶欠陥解析、ガス透過率、他



【問合せ先：材料評価・試作G analysis@jfcc.or.jp】

【担当者：黒山友宏】





セラミックスの加工技術

技術の ポイント

研究および材料評価に適した加工を行うための
切断、研削、研磨の高精度加工装置および技術を保有

保有装置



ラップ盤

- ・鏡面加工
- ・薄片加工



光学式倣い研削盤

- ・くびれ形状加工
- ・その他複雑形状加工



精密スライサー

- ・Vノッチ等の溝加工
- ・精密切断加工

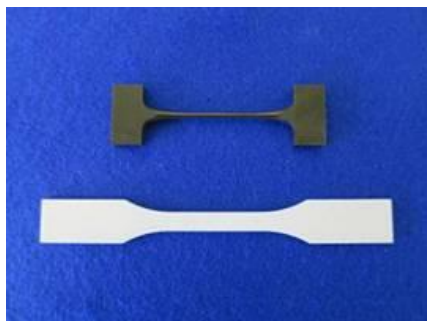
加工例

薄片加工



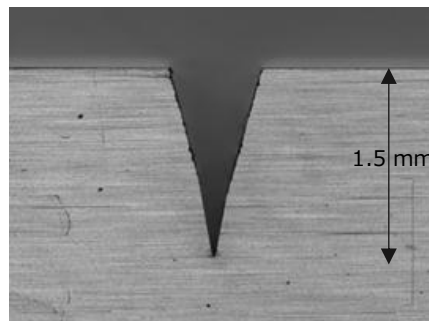
□30 mm×厚さ30 μm
多結晶SiC

引張試験片加工



くびれ形状部加工
上: SiC 下: Al_2O_3

破壊靱性試験片加工



Vノッチ (先端半径10 μm)
 Si_3N_4

ダイヤモンド砥石による薄物からバルク体の切断、平面や円筒等の研削加工
ダイヤモンド砥粒による研磨加工を実施。主に各種材料評価試験片を作製。
加工のみの対応も可能

適用分野

- ・加工から各種試験まで対応
- ・外部機関からの受託加工 (2025年度121機関504件)



セラミックス製造技術

技術の ポイント

高度なセラミックス製造プロセス技術によりセラミックス
の材料開発を支援（酸化物系・非酸化物系構造材料、各種機能性材料に対応可）

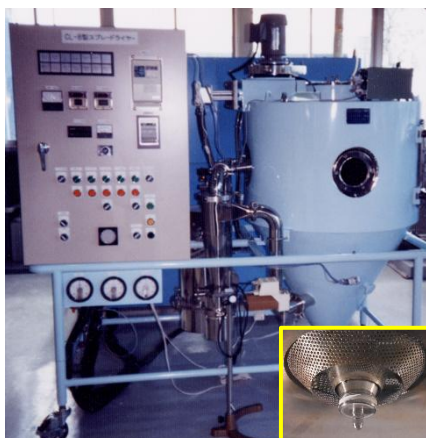
保有技術

ボールミル



- ①0.5～20 Lのポットに対応可能
- ②小型ポット用のローラーにより、少量のスラリーでも回転可能
- ③複数の配合条件のスラリーを一度に調合可能

スプレードライヤー



- ①コンパクトで少量実験が可能
- ②大気、N₂雰囲気での乾燥が可能
- ③防爆構造でアルコール溶媒にも対応可能

冷間等方圧プレス（CIP）



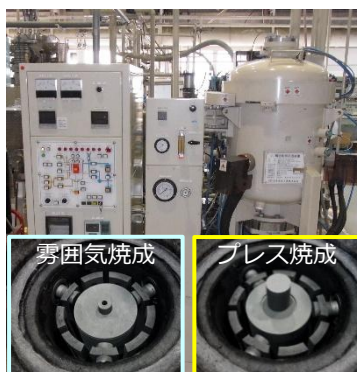
- ①最大150 MPaまで加圧可能
- ②一軸プレス成形品を均一に緻密成形が可能

脱脂炉



- ①大型品の脱脂処理可能（最高500℃）
- ②大気、Ar、N₂ガスフローでの熱処理可能（ガス流量：最大1000 L/hr）
- ③加圧容器仕様のため、大気、Ar、N₂ガス加圧下で熱処理可能（最大0.9 MPa）

雰囲気焼成炉



- ①Ar、N₂ガスの加圧雰囲気が可能
- ②最高2200℃まで加熱可能
- ③減圧下で加熱が可能
- ④最大10 tのホットプレス処理が可能

熱間等方圧加圧炉（HIP）



- ①高压ガス（Ar、N₂）による等方圧加圧中での熱処理が可能
 - ・最高圧力：186 MPa
 - ・最高：1800℃
- ②処理容器：φ100 mm × 200 mmH

適用分野

- ・原料粉末に焼結助剤・バインダー等の添加剤を加えた複合粉末の作製
- ・各種形状の成形および等方圧加圧成形による成形体の作製
- ・バインダー等の樹脂成分除去および空気・不活性ガスフロー中での熱処理
- ・高温ガス中および真空中での焼結、熱間等方圧加圧処理による高緻密体の作製



高温過熱水蒸気処理技術

技術の ポイント

過熱水蒸気※を用いた各種セラミックス成形体の高速脱脂
やCFRP廃材からの炭素繊維回収が可能

保有技術

※沸点以上に加熱された水蒸気で、空気と比較して高速かつ均一加熱が可能

過熱水蒸気処理装置 1



処理室

過熱水蒸気処理装置 2



処理室

仕様

常用温度	300～700 ℃
有効炉内寸法	250x300x250 mm（幅×高さ×奥行、標準棚板使用時）
炉内寸法	700 x 500 x 500 mm
雰囲気	過熱水蒸気
添加ガス	Air、N ₂ 、O ₂
過熱水蒸気流量	3～10 kg/h（標準5 kg/h）
試験水	イオン交換水

常用温度	400～900 ℃
有効炉内寸法	200x200x400 mm（幅×高さ×奥行）
炉内寸法	φ300 x 600 mm
雰囲気※	過熱水蒸気、Air、N ₂ 、N ₂ -4%以下H ₂
添加ガス※	Air、N ₂ 、N ₂ -4%以下H ₂
過熱水蒸気流量	0.9 kg/h
試験水	イオン交換水

※ 自動で雰囲気、添加ガスの切り替え可能

処理例

セラミックス成形体の高速脱脂

Al₂O₃モデル成形体
・φ120×H120 mm
・CIP成形：100 MPa

脱脂処理温度
・700 ℃×1 h

焼結温度
・1540 ℃×2 h

脱脂雰囲気	過熱水蒸気	大気（比較）
脱脂昇温時間	16 h	136 h (200 hで、き裂なし)
焼結体の外観	 き裂なし	 き裂あり

適用分野

- 樹脂バインダーを用いた厚肉・複雑形状成形体や積層コンデンサなどの金属を含む成形体の高速脱脂が可能
（酸素分圧制御による被処理材の酸化抑制）
- CFRP廃材のリサイクル処理



噴霧熱分解法による セラミックス粒子合成技術

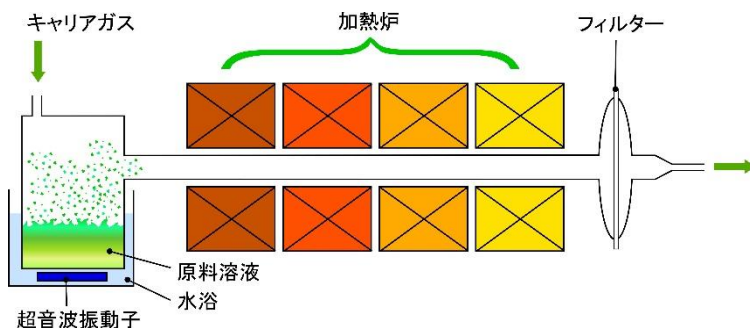
技術の ポイント

粒子径が揃った微粒子を合成可能
2相以上からなる複合微粒子を単一プロセスで合成可能

保有技術

目的組成の原料溶液からミストを生成し、乾燥・熱分解反応によって微粒子を得る技術

噴霧熱分解合成装置



原理

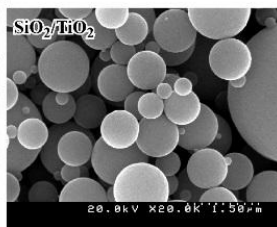
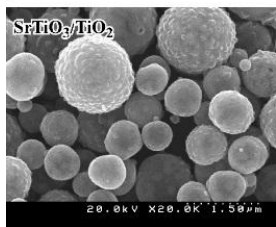
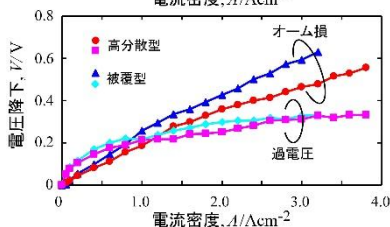
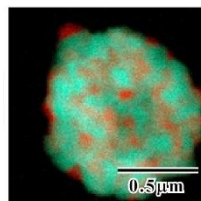
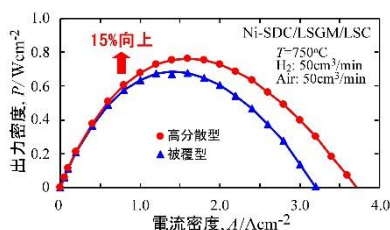
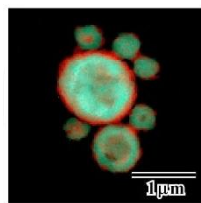
原料溶液からミストを生成
↓
加熱炉の中へ導入（熱分解）
↓
捕集

特徴

- ・ 組成調整が容易
- ・ 球状粒子が得られる。
- ・ 粒度の揃った粒子が得られる。

活用／成果例

高性能SOFC用電極材料や精密研磨用複合砥粒などへの適用



微細構造制御したSOFC用燃料極材料と
発電特性（関西電力（株）との共同研究）

単一プロセスで複合微粒子を直接合成可能

適用分野

- ・ 燃料電池用電極材料の開発
- ・ センサー材料の開発
- ・ 精密研磨用砥粒の開発
- ・ 多孔質触媒材料の開発



電子ビームPVDによる 先進汎用コーティング技術

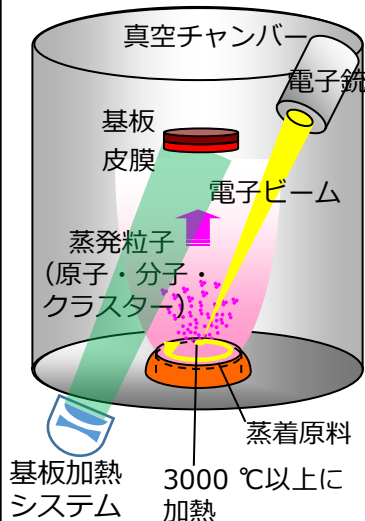
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
GOALS

T-5

技術の ポイント

国内最大級の電子ビームPVD装置により、多種多様なセラミックスコーティングの高速成膜が可能

保有技術



電子ビームPVDは蒸着原料を電子ビームで直接加熱・蒸発させることにより、従来技術では困難であった高融点セラミックスの高速成膜が可能なコーティング方法

シングル電子ビームPVD装置



ジルコニア等の高融点酸化物セラミックスを1分間に数 μm の堆積速度でコーティング可能

- ・電子銃 最高出力150 kW
- ・蒸着源 2個 ($\phi 63\text{ mm}$ 2個)
- ・基板サイズ 最大 $\phi 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$
- ・基板予熱温度 5 kgまで
- ・基板予熱温度 最高1100 °C
- ・基板回転速度 0~30 rpm
- ・到達真空度 $\sim 10^{-4}\text{ Pa}$

ダブル電子ビームPVD装置

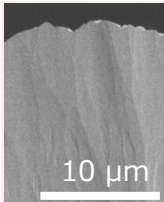
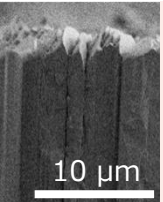
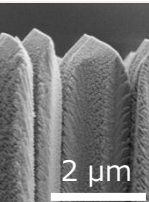


構成酸化物の蒸気圧が大きく異なる複合酸化物層、傾斜組成層などの形成が可能

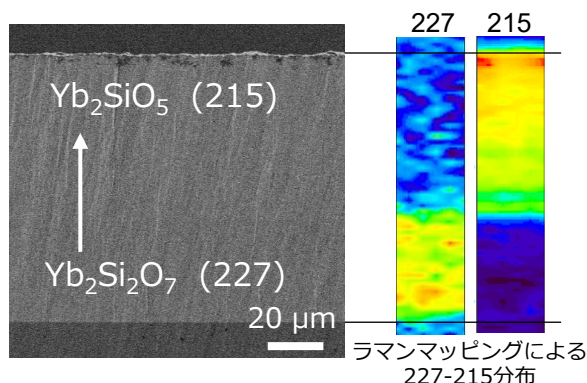
- ・電子銃 最高出力100 kW1基 + 30 kW1基
- ・蒸着源 2個 ($\phi 40\text{ mm}$ 2個)
- ・基板サイズ 最大 $\square 50\text{ mm}$
- ・成膜面到達 最高1300 °C
- ・温度
- ・基板回転速度 0~30 rpm
- ・到達真空度 $\sim 10^{-4}\text{ Pa}$

活用／成果例

- ・耐環境性に優れる緻密膜から、耐熱サイクル性、遮熱性に優れる多孔質セグメント構造膜までの微細構造制御が可能
- ・複合酸化物層、傾斜組成層の形成など、高度な組成制御が可能
- ・各種酸化物膜の成膜が可能

	緻密質	緻密質セグメント	多孔質セグメント
成膜速度	低	中	高
基板温度	$>1100\text{ °C}$	$>1100\text{ °C}$	$>1000\text{ °C}$
基板回転	無	無	有
微細構造			
相対密度	95%	90%	71%

ダブル電子ビームPVDによる Yb_2SiO_5 の微細構造制御



ダブル電子ビームPVDにより形成した緻密なYbシリケート傾斜組成層

適用分野

- ・耐熱・耐環境分野 : ガスタービン用遮熱・環境遮蔽コーティング
- ・高温機能性分野 : 電極、触媒、センサー
- ・その他 : 透明導電膜、光学膜、抗菌膜など

【担当者：山口哲央】

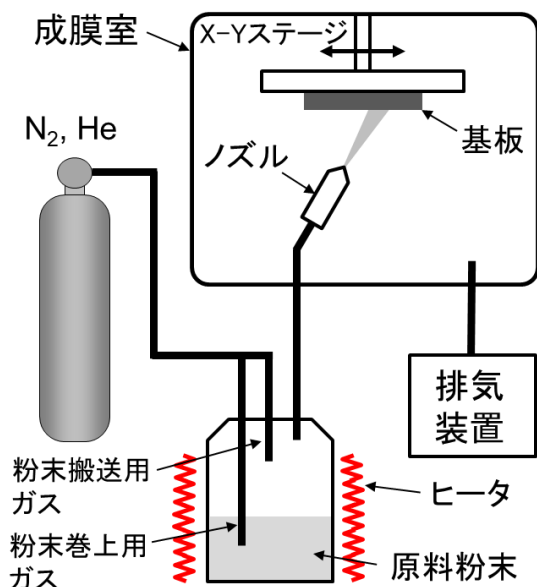


エアロゾルデポジション法によるセラミックス膜の形成

技術のポイント

エアロゾルデポジション（AD）法を用いたセラミックス膜の常温形成技術

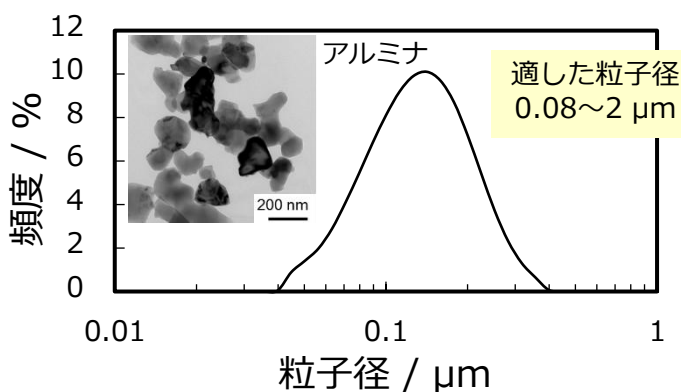
エアロゾルデポジション装置



AD法の特徴

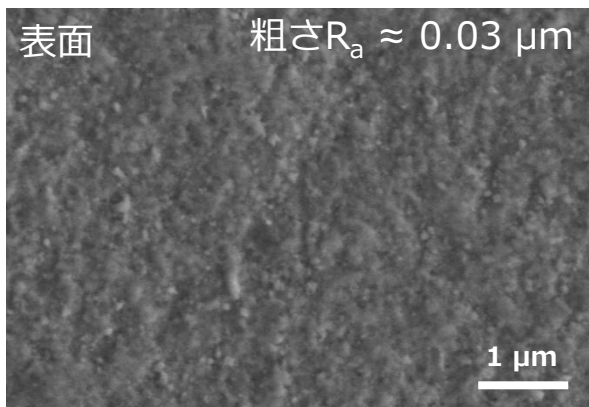
- ・ 室温で緻密質膜形成
- ・ 耐熱性に劣る基板上に成膜可能
- ・ 原料粉末と同一組成・結晶相の膜形成

原料粉末



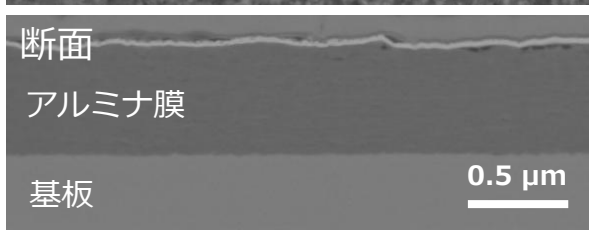
アルミナ膜の微細組織

表面 粗さ $R_a \approx 0.03 \mu\text{m}$



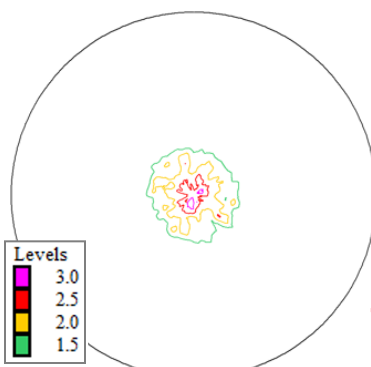
断面
アルミナ膜
基板

0.5 μm

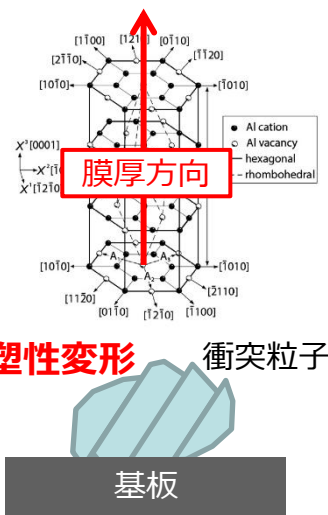


アルミナ膜の結晶配向性

(0001) 正極点図



(0001) 体積分率
約25 % (±15 °含む)



適用分野

- ・ 耐プラズマ性膜、絶縁膜
- ・ 各種セラミックス膜の形成
- ・ 低環境負荷型セラミックス膜成膜技術



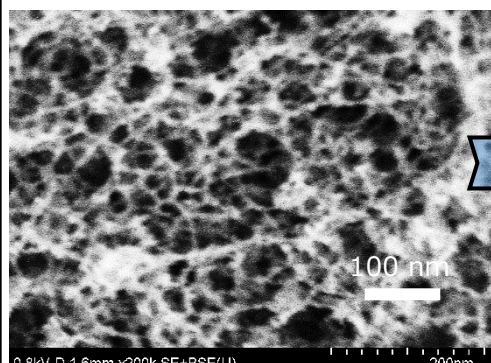
低密度・低熱伝導率特性を有する 各種屈折率のシリカエアロゲル

技術の ポイント

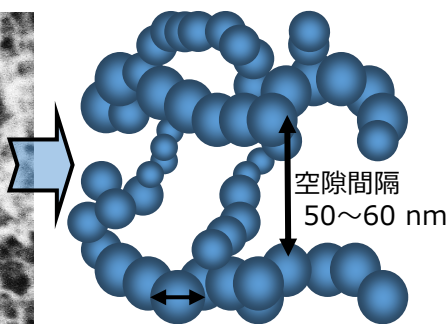
微構造を制御し、低密度・低熱伝導率特性を有する各種
屈折率のシリカエアロゲルを合成、頒布

シリカエアロゲルとは

シリカエアロゲルは、シリカ (SiO_2) 微粒子が3次元ネットワーク骨格を形成した構造を持ち、体積の95%以上が空隙から成る非結晶質の固体



エアロゲルの走査電子顕微鏡画像の例



エアロゲルの微構造の模式図



シリカエアロゲルの外観
形状：110×110×10 mm

シリカエアロゲルの特徴

- ・高い透光性 (85~88% @10 mm厚、波長：550 nm)
- ・高い化学的安定性 (石英ガラスと同程度)
- ・軽量、低密度 (0.04~0.20 g/cm³)
- ・低熱伝導率 (大気圧下でも20 mW/(m・K)以下)

シリカエアロゲルの仕様

* GHP法による
大気圧下の測定

品名	屈折率 (±0.002) @λ:532 nm	10mm厚での透過率 (%) @ λ:550 nm	熱伝導率* (mW/(m・K))	密度 (g/cm ³)
SP-10	1.010	85~86	23.1	0.04~0.05
SP-15	1.015	85~87	17.9	0.05~0.06
SP-30	1.030	85~88	12.4	0.12~0.13
SP-50	1.050	85	13.9	0.19~0.20

適用分野

- ・高断熱性、軽量、透明性 → 窓、壁など透明断熱材への応用
- ・低密度、透明性、安定性 → チェレンコフ光検出器、
宇宙塵捕集材



機械的特性に関する評価技術

技術の ポイント

各種材料に対して測定目的に合った機械的特性評価を提供
(基礎物性評価および信頼性評価)

保有技術

機械的特性評価技術一覧

評価項目	測定方法	測定環境	主な試料サイズ (mm)
曲げ強度	3、4点曲げ	室温～1500℃、大気、真空、不活性	3x4x40
圧縮強度	角型、丸型	〃	□5 (φ5) x12.5
引張強度	平型	〃	3x14x120～
破壊靱性	SEPB、IF法 他	室温、大気、真空、不活性	3x4x40
弾性係数	動的 (パルス、共振) 静的 (曲げ、圧縮他)	室温～1200℃、大気	100x20x2 15x15x15他
硬度	ビッカース他	室温、大気	□15x5
疲労特性	曲げ、引張	室温～1400℃、大気	3x4x40他
クリープ特性	曲げ、引張	〃	2x4x40他
熱衝撃抵抗	水中急冷法 (残存強度)	室温～1200℃、大気	〃
表面粗さ	接触、非接触式	室温、大気	—
密着性	せん断 (モードⅡ)	室温	3x5x10

料金表サイト <https://www.jfcc.or.jp/exam/exam1-1.html>

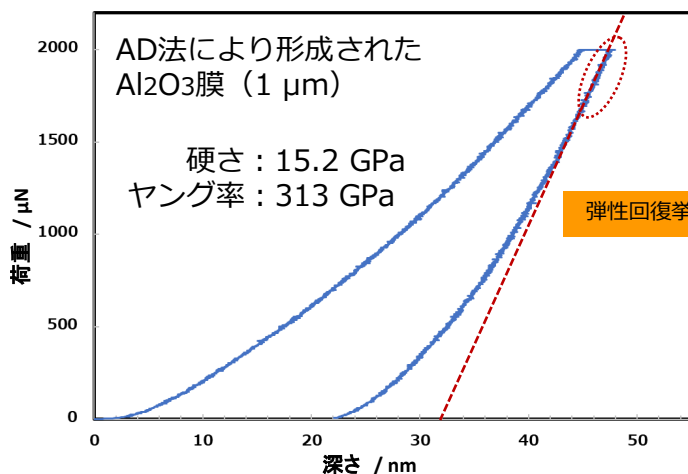


超微小硬度計 (ナノインデント)

試験荷重 : 1 μ N～1000 mN



薄膜の微小領域における硬さ・ヤング率を評価可能



適用分野

- セラミックス、金属、複合材料等の機械的特性評価
- 各種材料における温度依存性評価



技術の ポイント

最高1500℃の環境下で、JIS規格（R1604）に準じたセラミックスの曲げ強度試験を実施

保有技術



試験装置外観



真空炉内の12連治具

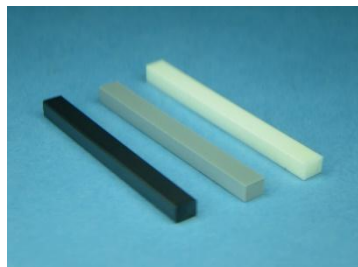
高温雰囲気機械特性評価装置の仕様

試験温度	室温 ～ 1500℃
雰囲気	高真空、不活性ガス（窒素またはアルゴン）
連続試験数	12 試料
試料形状	3×4×40 mm（JIS R1604準拠）

特徴

- ・真空チャンバー内へ最大12試料分の治具をセットできるため、チャンバー内の環境（雰囲気、温度）を12試料分の試験が完了するまで維持することが可能
→ **短時間且つ簡便に試験を実施**
- ・治具を取り換えることで、曲げ試験のみならず圧縮試験や破壊靱性試験等の機械特性評価も高温環境下で実施することが可能

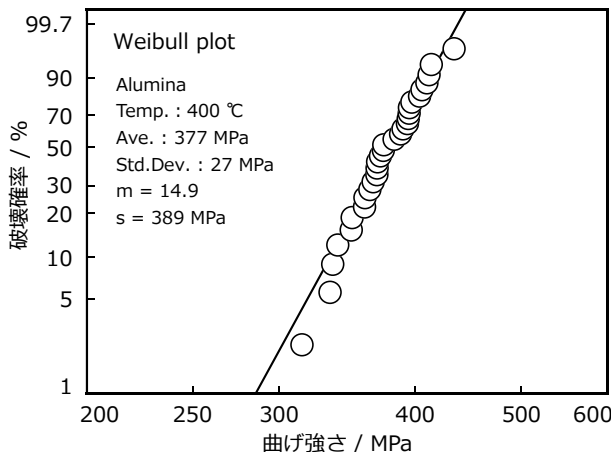
曲げ試験の例



曲げ試験片



4点曲げ試験治具



適用分野

- ・セラミックス材料の高温強度評価
- ・セラミックス強さデータのワイブル統計解析



圧子圧入（IF）法による 窒化ケイ素素材の破壊靱性評価

技術の ポイント

転がり軸受用窒化ケイ素素材の基本特性評価および等級分類
のひとつである破壊靱性評価が可能

JIS規格（R1669） 評価項目

弾性率・ポアソン比

曲げ強さ

ビッカース硬さ

◎破壊靱性 ($K_{I,IFR}$)

密度

熱膨張率

微細組織

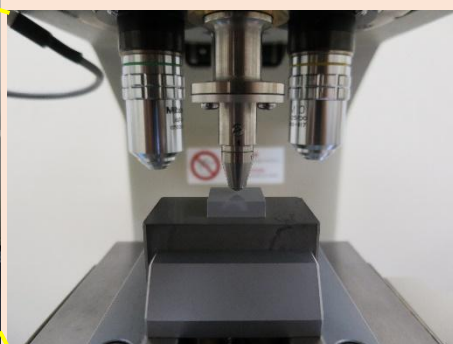
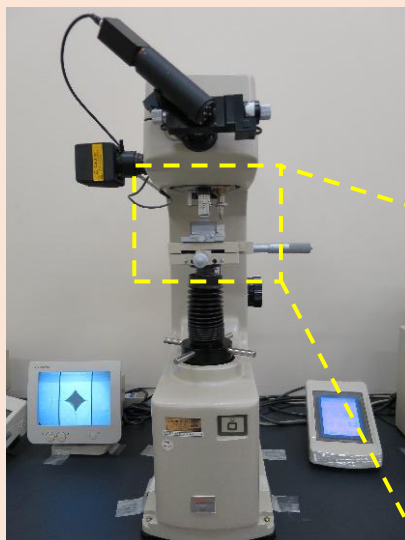
＜ビッカース硬度計＞

圧子押込荷重

9.8～490 N

主な試料サイズ

□15×5 mm



活用／成果例

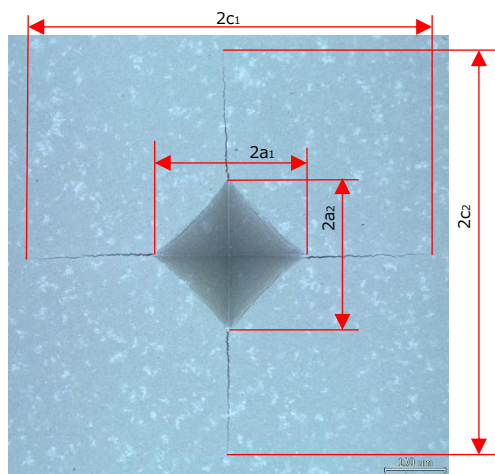
◎破壊靱性 ($K_{I,IFR}$) 試験

※ 算出式：JIS R1669 Niihara等の式

$$K_{I,IFR} = 2.64(E^{0.4})(P^{0.6})(a^{0.8}/c^{1.5})$$

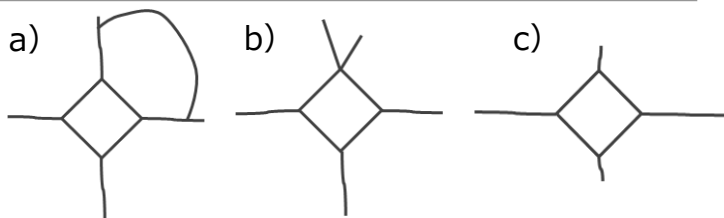
弾性率：同一試料で超音波パルス法にて算出

試料名	弾性率, E (GPa)	荷重, P (N)	圧こんの対角線長さ (μm)			き裂長さ (μm)			破壊靱性, $K_{I,IFR}$ (MPa · m ^{1/2})
			2a1	2a2	2a (平均)	2c1	2c2	2c (平均)	
Si ₃ N ₄	287	490	262	261	261	688	674	681	8.2



き裂長さ測定不可の例

- a) 表面が剥離している。
- b) き裂が枝分かれしている。
- c) 直行する2方向のき裂長さの差が平均
き裂長さの10 %以上



適用分野

- ・ JIS R1669に準じた破壊靱性評価
- ・ 転がり軸受用窒化ケイ素ボールの開発支援



技術の ポイント

バルク試料だけでなく原材料粉やフィルムといった様々な材料形態に対応した熱伝導率評価が可能

保有技術

①熱伝導率を直接測定

保護熱板法・GHP法（熱伝導率測定）



超低熱伝導率を測定

熱伝導率：0.001～0.1 W/(m・K)

☆雰囲気圧力や温度を可変しての測定可能

②熱拡散率・比熱容量から算出

熱伝導率 = かさ密度 × 比熱容量 × 熱拡散率

フラッシュ法（熱拡散率測定）



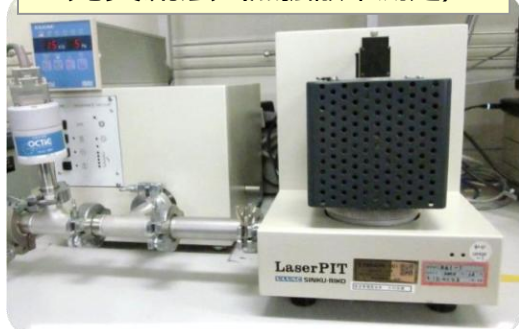
種々の熱拡散率を測定

- (1) 単一材の厚さ方向（通常法）
- (2) 単一材の面内方向（ラメラ法）
- (3) 基材上の膜（多層解析）

☆厚さ1 mm以下の試料も測定可能

☆室温～高温域での測定可能

光交流法（熱拡散率測定）



面内方向の熱拡散率を測定

☆薄いサンプル（厚さ数10～数100 μm）の熱拡散率測定が可能

※比熱容量測定については T-13 をご参照ください。

温度波熱分析法（熱拡散率測定）



厚さ方向の熱拡散率を測定

適用分野

- ・ 基板、放熱板の伝熱特性評価
- ・ 遮熱コーティング膜、断熱素材、熱電材料の熱伝導率評価
- ・ 真空断熱材の熱伝導率の雰囲気圧力依存性評価 など

【担当者：小川光恵、鈴木佐知子、山下陽斗】



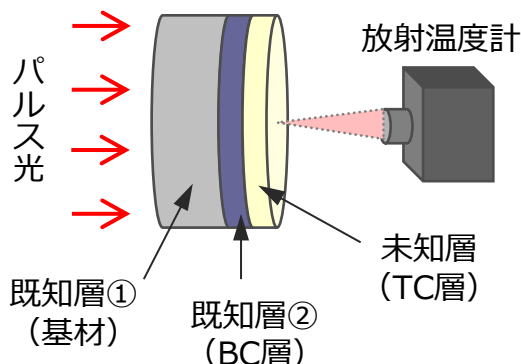
フラッシュ法による 遮熱コーティング膜の熱伝導率評価

技術の ポイント

フラッシュ法が多層解析により、基材およびボンドコート上に成膜された遮熱コーティング膜の熱伝導率評価が可能

保有技術

三層の状態で未知層の
熱伝導率（熱拡散率）を評価



※TC層：トップコート層、BC層：ボンドコート層

熱拡散率測定装置



<熱拡散率測定>

測定方法：フラッシュ法（多層解析）

装置：NETZSCH製 LFA457、LFA467

京都電子工業製 LFA-501、LFA-502

温度範囲：室温～1000℃程度

活用／成果例

遮熱コーティング材の熱伝導率評価結果

<測定試料>

TC層：ジルコニア多孔質層

BC層：CoNiCrAlY

基材：ハステロイ X

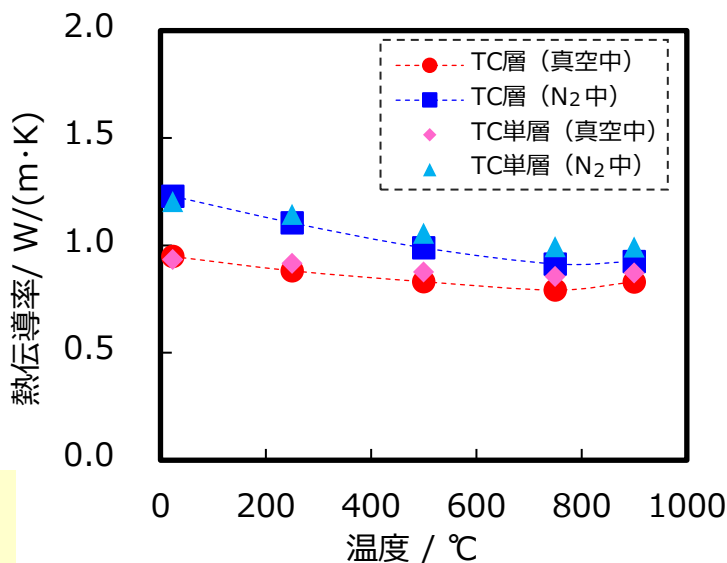
<比較試料>

TC単層材：ジルコニア多孔質層

※TC層、BC層は溶射成膜

室温～高温において、多層材で求めた
熱伝導率と単層材の結果が良く一致

熱伝導率は、比熱容量、かさ密度、熱拡散率から算出



TC層、TC単層材の熱伝導率測定結果

謝 辞：本データは、大阪科学技術センターが経済産業省から委託を受けて実施した遮熱コーティングの国際標準化事業の成果の一部として得られたものである。

適用分野

- ・ 遮熱コーティング材料、断熱膜などの性能評価
- ・ 多層材料の熱伝導率評価



固体の比熱容量測定 ～低温から高温まで～

技術の ポイント

フラッシュ法、入力補償型DSC法、熱流束型DSC法
各手法を用いて低温から高温までの比熱容量測定が可能

保有技術／設備

フラッシュ法



測定温度範囲

室温

測定試料サイズ

φ10×1～3 mm

装置

アルバック理工製
TC-9000特型

同一試料で
熱拡散率（熱伝導率）
も評価可能

入力補償型DSC法



測定温度範囲

-50～300 °C程度

測定試料サイズ

φ6×1 mm

装置

パーキンエルマー製
DSC 8000型

室温においてフラッシュ法
より高精度に測定
-50 °C迄の低温測定が可能

熱流束型DSC法



測定温度範囲

200～1200 °C程度

測定試料サイズ

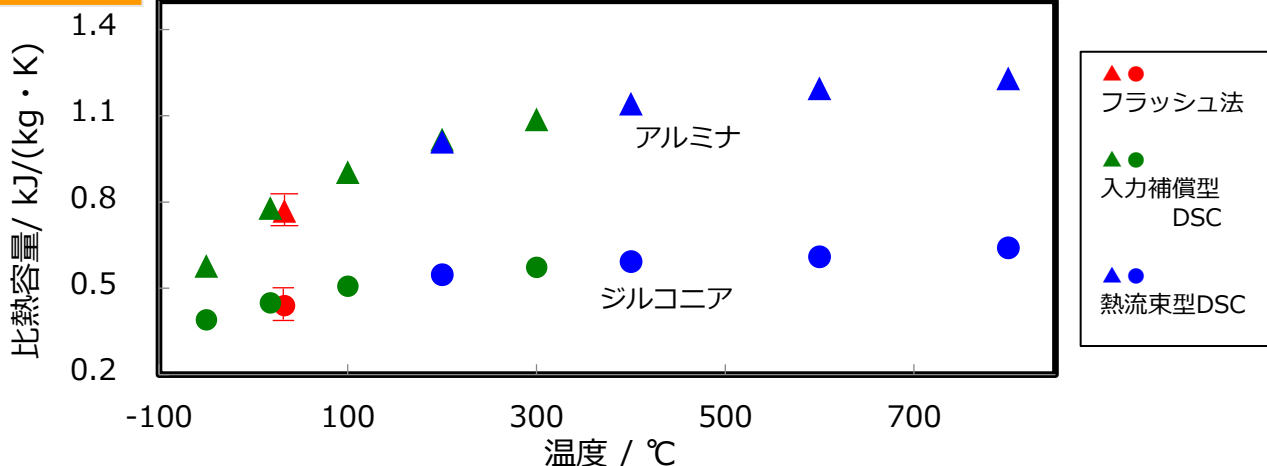
φ6×1 mm

装置

NETZSCH製
DSC 404 C

より高温の測定が可能
(条件により1500 °C
まで測定可能)

測定例



各手法による比熱容量測定結果例

適用分野

・各種固体材料（セラミックス、金属、樹脂など）
（ただし、熱伝導率算出は室温以上）



積分球を用いた反射法による 赤外線放射率の測定

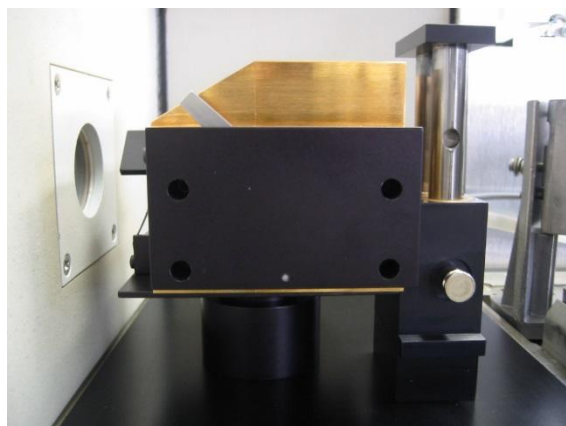
技術の ポイント

FTIRに積分球を取り付けることで
拡散成分を含めた分光反射率の測定が可能

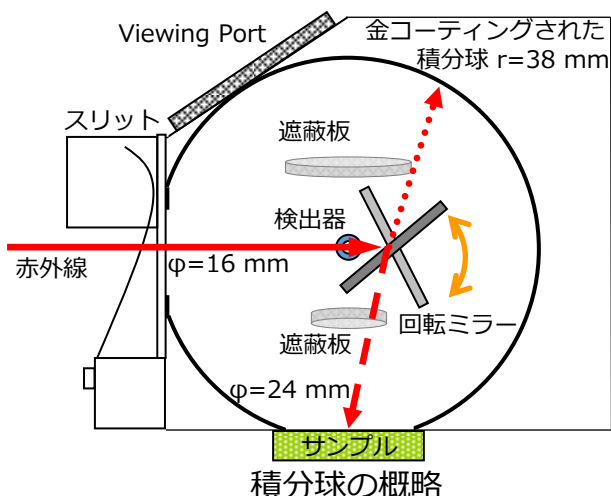
保有技術

JIS R 1693-2:2012 にて規格化

メリット ◆ 室温にて測定可能
◆ 粉体、繊維状でも可能

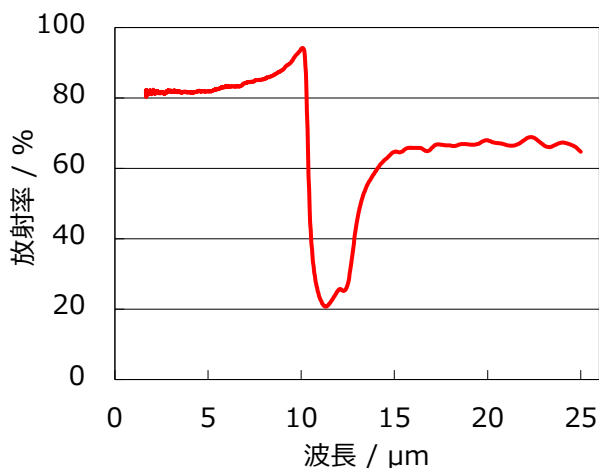


積分球の外観

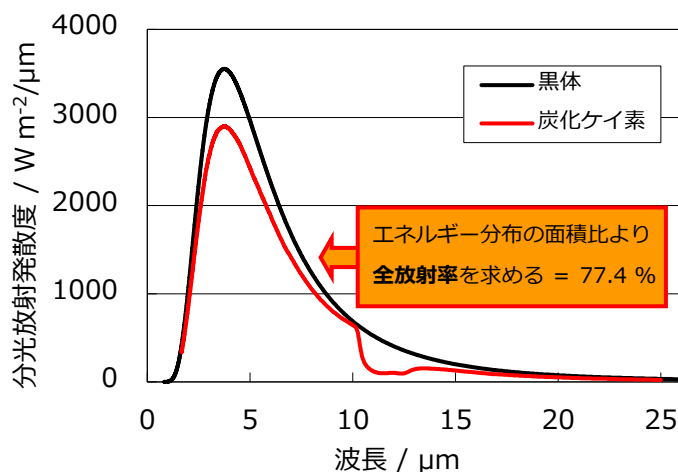


全放射率の算出法

- ① 室温にて分光反射率を測定 ※スペクトルは温度に依らず一定と仮定
- ② 分光放射率を放射率 = 1 - 反射率の関係から求める。
- ③ 任意温度（室温～1000℃）での全放射率を黒体との全放射エネルギーの比より算出する。



炭化ケイ素の分光放射率スペクトル



任意温度（500℃）における分光放射発散度

適用分野

- ・ 産業用部材 → 炉材、熱反射コーティング
- ・ 生活用部材 → 壁材、暖房器具



高温X線回折を用いた 粉末試料の熱膨張率評価技術

技術の ポイント

通常、熱膨張率測定はバルク試料を用意する必要があるが
本手法では粉末試料にて熱膨張率評価を行うことが可能

保有技術

仕様	X線出力	: 45 kV、40 mA
	制御温度	: R.T.~1200 °C
	試料加熱	: 間接加熱方式
	ヒーター	: W (タングステン)
	温度測定	: Pt 10 % RhPt熱電対
	最大圧力	: 大気圧+0.1 MPa
	測定範囲	: 0~164° (2θ)
	試料皿	: Al ₂ O ₃ (標準)
	試料台	: Al ₂ O ₃
	試料サイズ	: 粉末 (バルク試料の場合、最大φ16×2 mm程度)
	試料雰囲気	: 真空 (10 ⁻² Pa)、大気、不活性ガス (N ₂ 、Ar)
	標準粉末	: Si粉末

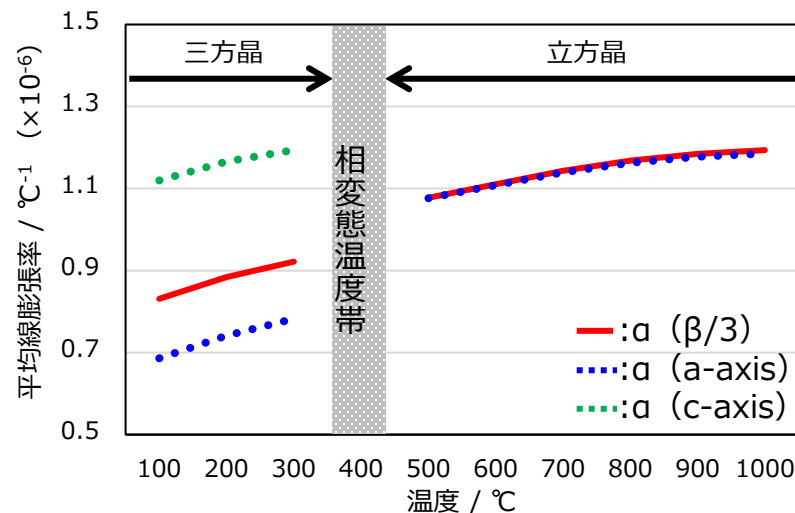


HKT1200N (Anton Paar製)

活用／成果例

LaAlO₃粉末の平均線膨張率測定結果

Siピーク位置より試料全体の位置補正を行い、LaAlO₃のピークから各軸の格子定数を算出する。得られた格子定数の値からLaAlO₃の体積膨張率 (β) を求め、その値を「β≒3α」の関係式より線膨張率 (α) に変換する。



本手法は粉末で実施するため、難焼結材料や粉末試料が少量 (数g程度) であっても測定可能
また、本手法は各結晶軸方向での熱膨張率を分離して評価することが可能

	°C ⁻¹ (×10 ⁻⁶)		
	(β/3)	a-axis	c-axis
R.T.~100°C	0.83	0.69	1.12
R.T.~200°C	0.88	0.74	1.17
R.T.~300°C	0.92	0.78	1.19
400°C	結晶相変態温度帯		
400°C~500°C	1.08	1.08	-
400°C~600°C	1.11	1.11	-
400°C~700°C	1.14	1.14	-
400°C~800°C	1.17	1.16	-
400°C~900°C	1.18	1.18	-
400°C~1000°C	1.19	1.19	-

適用分野

- ・ 難焼結性材料
- ・ 特定の結晶方位を有する組織
- ・ 遮熱コーティング材料、断熱膜 等



セラミックス材料の 電気抵抗評価技術

技術の ポイント

1200 °Cまでの高温域、各種雰囲気での測定が可能
被測定物の抵抗値により測定方法を2種類から選択

保有技術

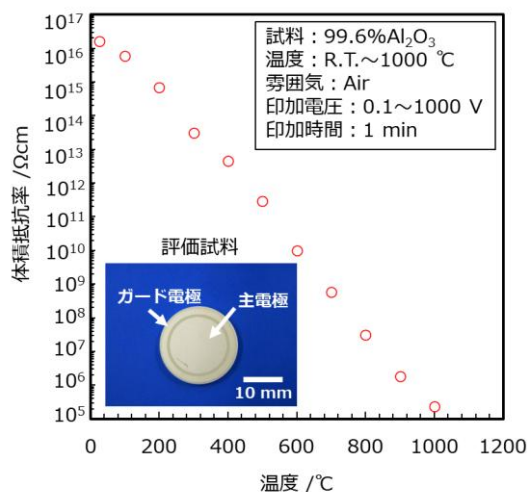
測定方法	測定範囲	試料形状・サイズ	測定温度 測定雰囲気	参考規格
直流3端子法	$10^6 \sim 10^{17} \Omega\text{cm}$	$\Phi 20 \text{ mm}$ 、 $t=1 \sim 3 \text{ mm}$	室温 $\sim 1200^\circ\text{C}$ Air、 N_2 、Ar	JIS C2141、C2319 JEC 6148 ASTM D257
直流4端子法	$10^6 \sim 10^{-6} \Omega\text{cm}$	$3 \times 4 \times 25 \sim 40 \text{ mm}$ (角柱又は円柱)	室温 $\sim 1200^\circ\text{C}$ Air、 N_2 、Ar、 H_2	JIS R1661 ASTM D991

活用／成果例

直流3端子法による抵抗率測定装置



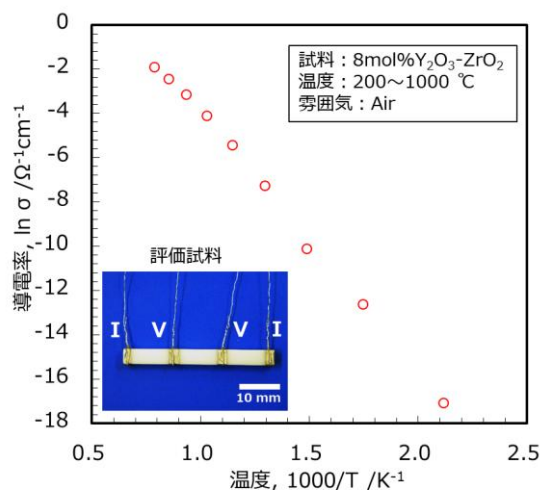
● 直流3端子法による抵抗率測定例



直流4端子法による抵抗率測定装置



● 直流4端子法による抵抗率測定例



適用分野

・酸化物、非酸化物系の機能材料や構造材料などの絶縁性および導電性評価（開発品の物性評価、製品の品質管理など）



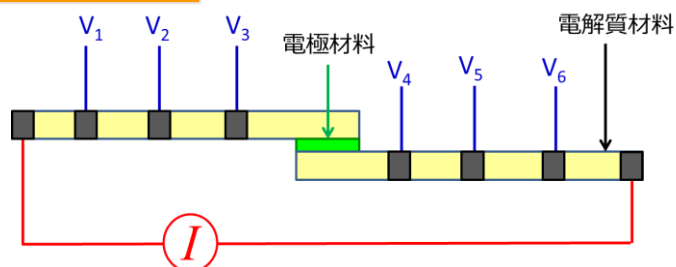
雰囲気制御下における 界面由来抵抗評価技術

技術の ポイント

SOEC/SOFCの耐久性向上に不可欠な界面由来抵抗評価
その試料間バラツキの課題を解決する新しい評価技術の提案

保有技術

評価方法



界面由来抵抗評価試料

測定温度範囲：400～800 °C

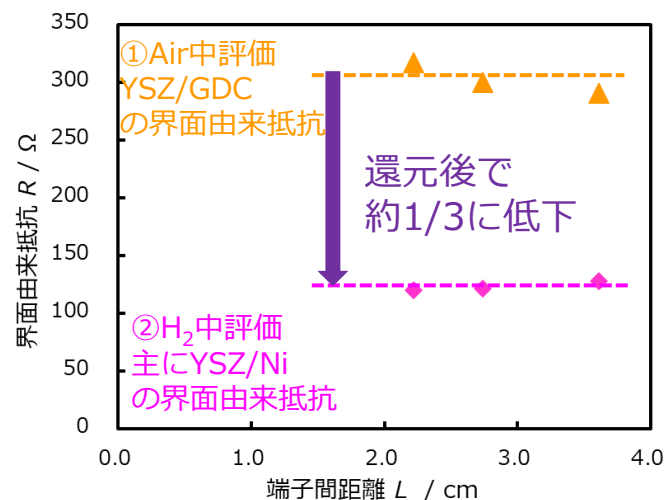
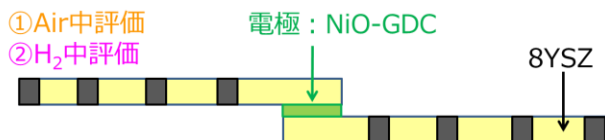
ガス雰囲気：Air、Ar、H₂、加湿水素

交流インピーダンス法による
各抵抗成分の解析方法

- 種々の端子間距離で交流インピーダンス測定を実施
- 端子間距離に依存する抵抗成分
→ 電解質由来の抵抗成分
- 端子間距離に依存しない抵抗成分
→ 界面由来の抵抗成分

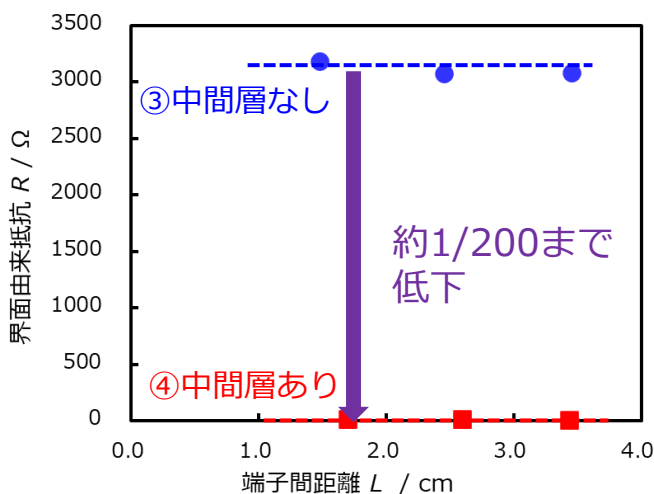
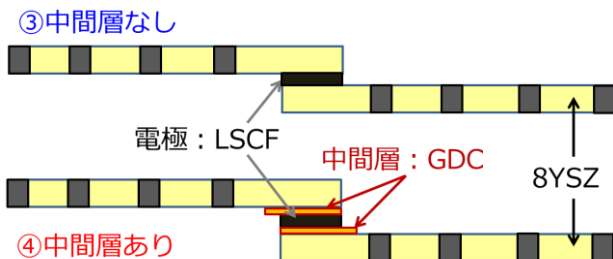
評価例

燃料極材料の界面由来抵抗



同一試料で還元前後を評価可能

空気極材料の界面由来抵抗



中間層による電極/電解質の界面反応を抑制

謝 辞：本データは、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託業務「水素利用等先端研究科開発事業/水電解技術高度化のための基盤技術研究開発/高温水蒸気電解技術の研究開発」（2018年度～2022年度）で得られたものである。

適用分野

- SOECやSOFCの新規材料開発
- ガスセンサー

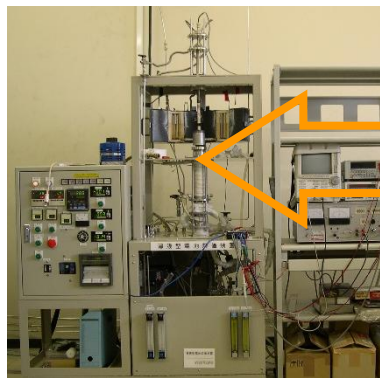


燃料電池・固体電解質の 電気化学評価技術

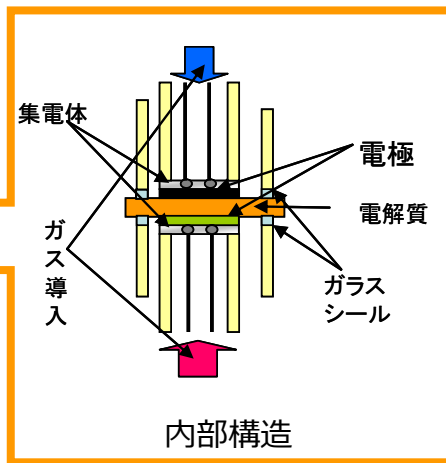
技術の ポイント

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 単セルの様々な
発電特性評価と固体電解質のイオン導電性の評価が可能

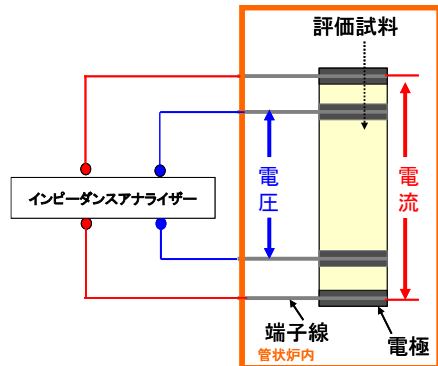
保有技術／設備



SOFC単セル評価装置



内部構造

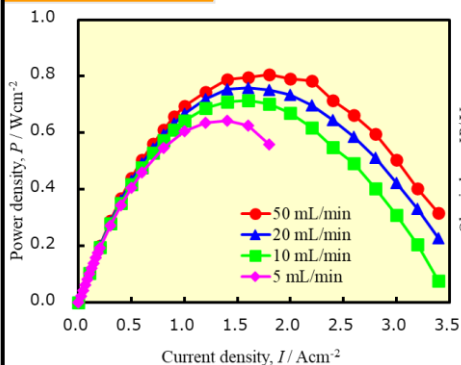


4端子法による交流
インピーダンス測定の模式図

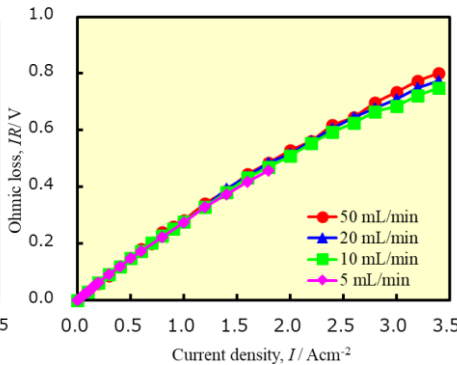
装置名	試料サイズ	測定温度範囲	ガス種
小型単セル評価装置	φ11~18 mm (電極面積φ6 mm)	400~1000 °C	H ₂ 、O ₂ 、Air、Ar、3~8% H ₂ O
中型単セル評価装置	φ31~38 mm (電極面積φ16 mm)	400~1000 °C	H ₂ 、O ₂ 、Air、Ar、3~8% H ₂ O
雰囲気制御型管状炉☆	3 mm×4 mm×36 mm	200~1000 °C	H ₂ 、Air、Ar

評価例

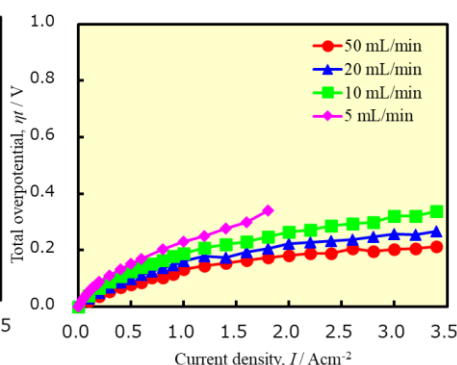
*Kawahara et al., Solid State Ionics, **180**(2009), 136.



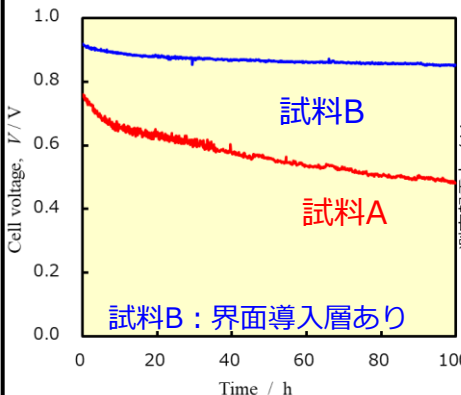
流量依存測定時の発電特性*



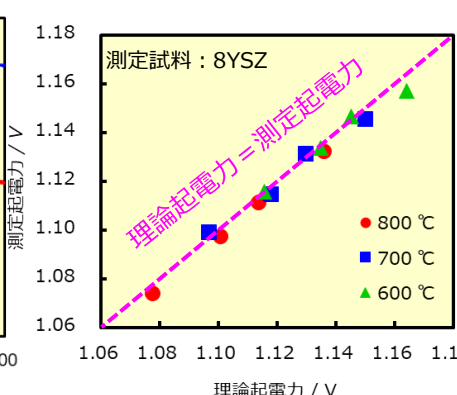
流量依存測定時のオーム損*



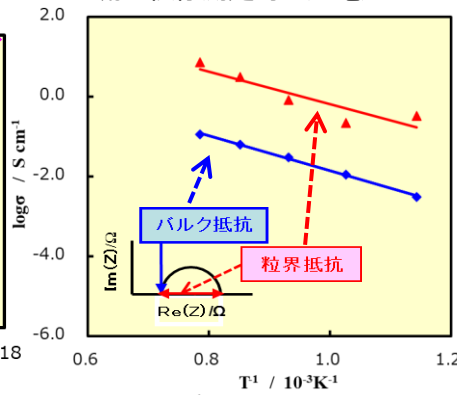
流量依存測定時の過電圧*



SOFC単セルの長期試験



濃淡電池法による起電力測定



交流インピーダンス測定による
固体電解質導電率測定☆

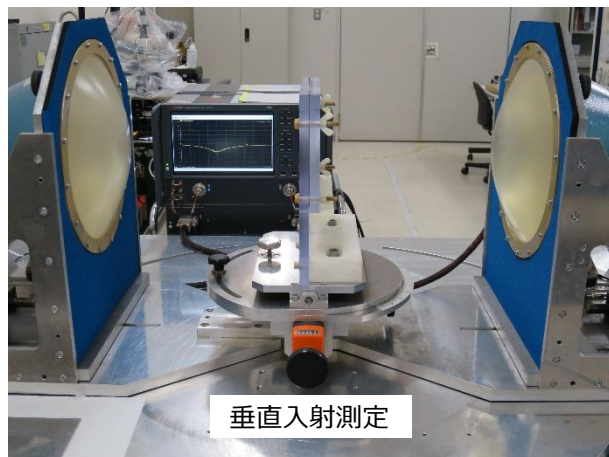


自動運転車向けミリ波帯の 電波特性評価

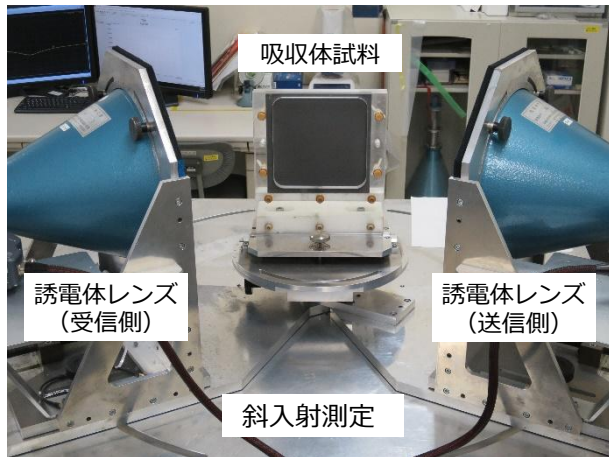
技術の ポイント

自動運転技術を支援する車載監視用レーダーに用いられる
材料（樹脂材、吸収体など）の電波特性を高精度に評価

保有技術（フリースペース法）



垂直入射測定



吸収体試料

誘電体レンズ
(受信側)

誘電体レンズ
(送信側)

斜入射測定

フリースペース法の仕様

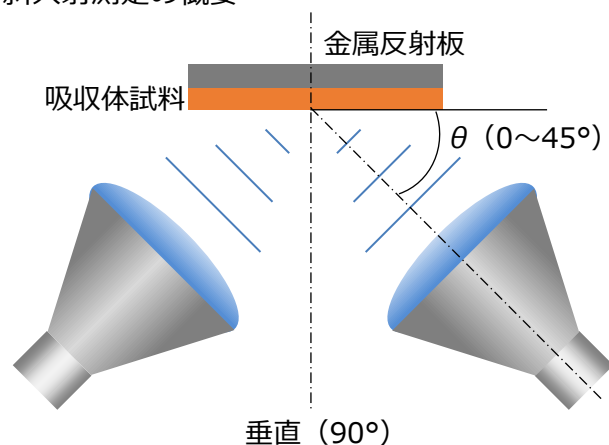
計測器	N5291A PNAミリ波システム (キーサイト・テクノロジー)
周波数※1	5.6～110 GHz
試料サイズ※2	50×50×1～200×200×10 mm
入射角度※3	垂直 および 0～45°
測定精度	測定値 40 dB のとき ± 1 dB 以下

※1 バンドC～W（計7バンド）を使用

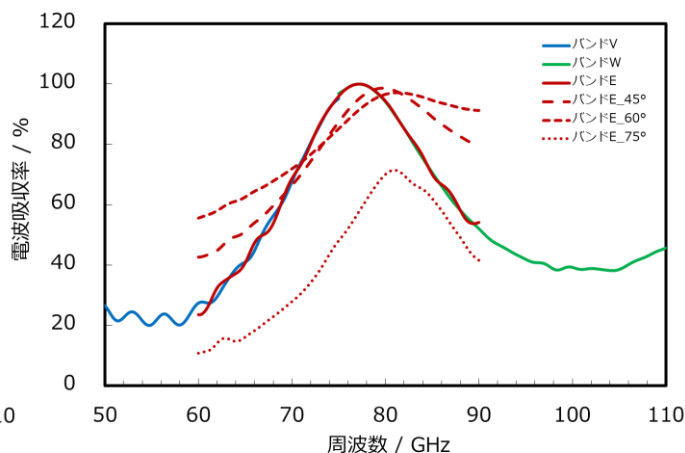
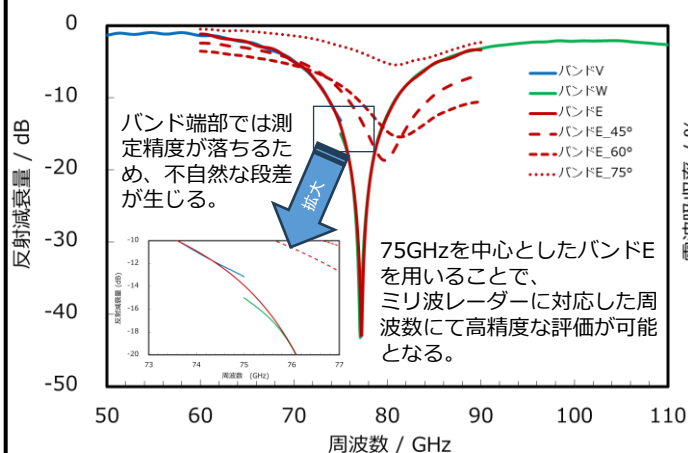
※2 測定周波数（波長）により最適試料サイズは異なる。

※3 斜入射測定の概要（右図）を参照

斜入射測定の概要



活用／成果例



市販吸収シートの測定例（反射減衰量（左）と電波吸収率（右））

適用分野

・自動車用衝突防止レーダー、自動料金収受システム（ETC）、高度道路交通システム（ITS）等の電子デバイス



ミリ波帯での高精度評価技術 ～5G通信、自動運転への貢献～

技術の ポイント

ミリ波帯での無線通信デバイス向け材料の誘電特性および
電波吸収特性の高精度な評価

電波吸収特性

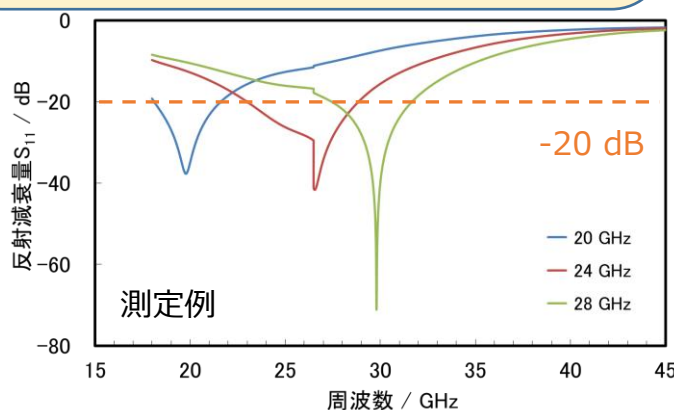
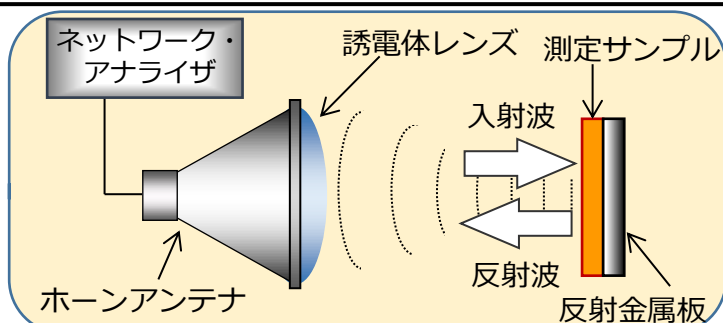


自由空間法（高温測定用）

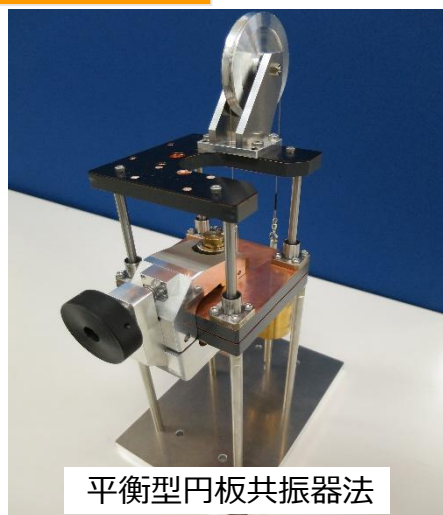
周波数：5.6～110 GHz

温度：室温～1000 °C

試料形状：□50～□200 mm



複素比誘電率



平衡型円板共振器法

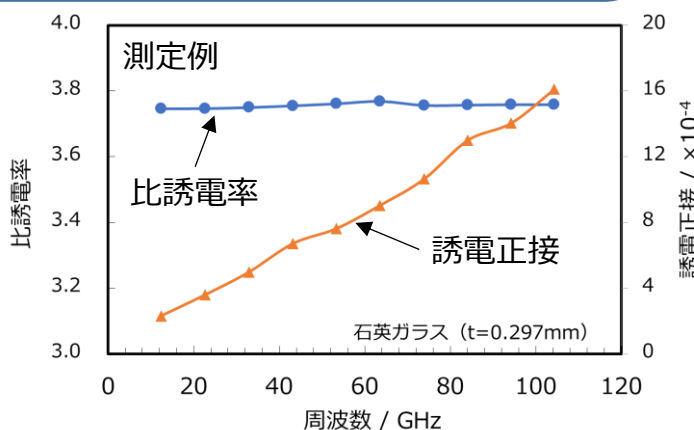
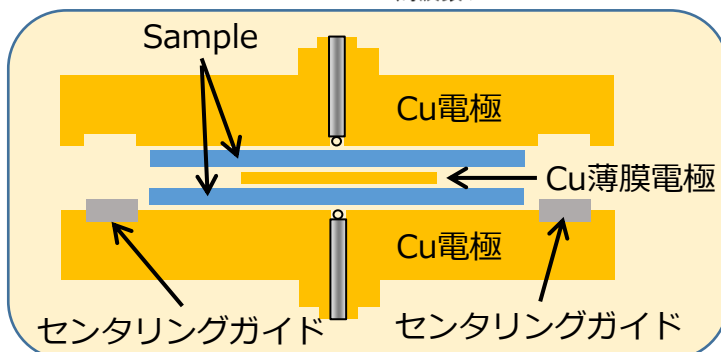
周波数：およそ10～100 GHz

温度：室温

試料形状：φ50×0.5 mm 程度を2枚

範囲、精度： ϵ' 1.1～10 ±1～5%

$\tan\delta$ 10^{-2} ～ 10^{-4} ±10～30%



適用分野

5G対応スマートフォン用基板、車載レーダー用高周波基板、ミリ波無線LAN/PAN用回路基板、携帯電話基地局用誘電体共振器材料、平面アンテナ基板材料、コンデンサ材料等の誘電体デバイスなど

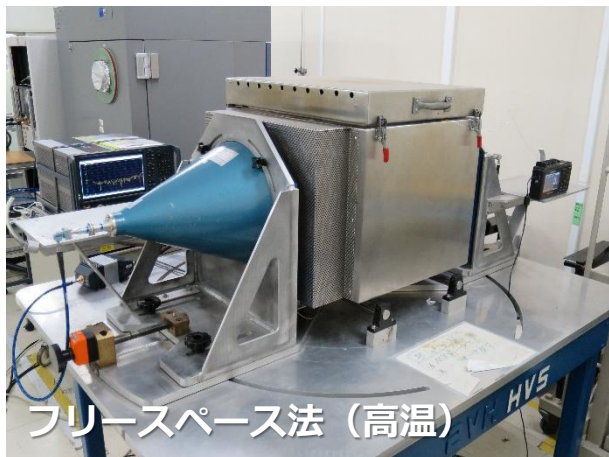


高温雰囲気下における 電磁波特性評価技術

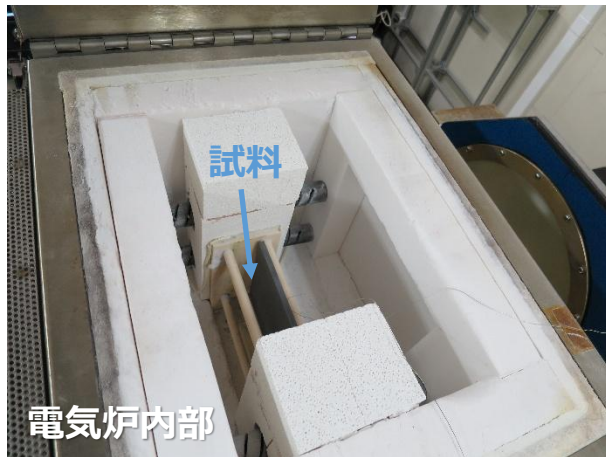
技術の ポイント

高温環境下で使用する電子デバイス向け材料における
電磁波特性の温度依存性を高精度に評価

保有技術



フリースペース法（高温）



電気炉内部

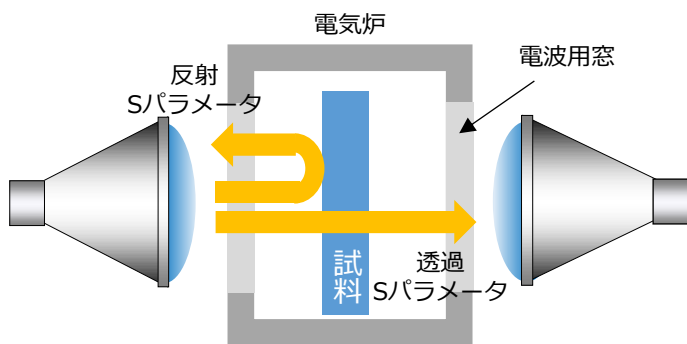
仕様

計測器	N5291A PNAミリ波システム (キーサイト・テクノロジー)
周波数※1	5.6 GHz ~ 110 GHz
試料サイズ※2	□150 mm × t (1 ~ 10) mm
測定温度※3	室温 ~ 1000 °C
測定精度	測定値 40 dB のとき ± 1 dB 以下

※1 バンドC~W (計7バンド) を使用

※2 測定周波数 (波長) により最適厚みは異なる場合あり。

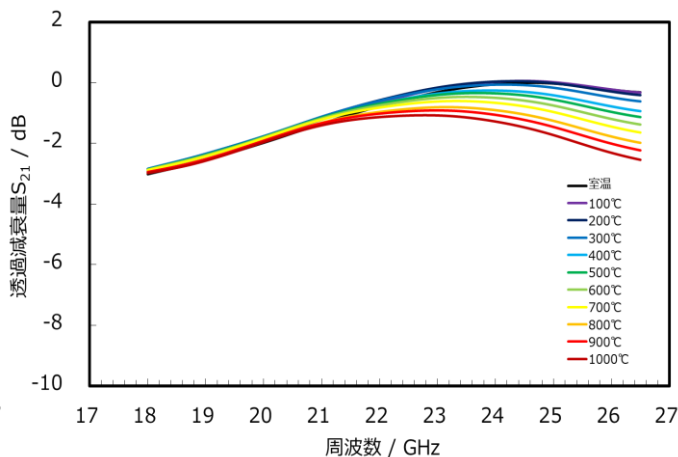
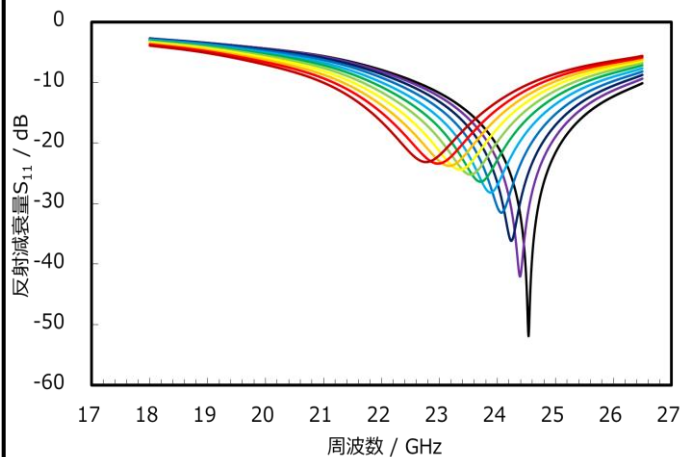
※3 測定雰囲気は大気のみ



概略図

活用／成果例

アルミナ板 (□150×2 mm)



適用分野

- ・ 産業・自動車分野 (車載用電子機器 : ECU、センサなど)
- ・ 航空宇宙分野 (エンジン近傍の電子機器、センサ類)



粉体材料の誘電特性評価技術

技術の ポイント

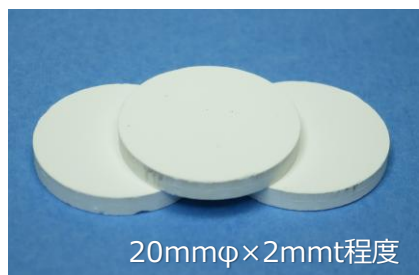
焼結工程を介さず粉体状態の誘電特性を、高密度な成形体を作製することで簡便かつ定量的に評価が可能

保有技術

高密度な成形体を作製

1軸プレス成形
(バインダーレス)

CIP処理
(高密度化)

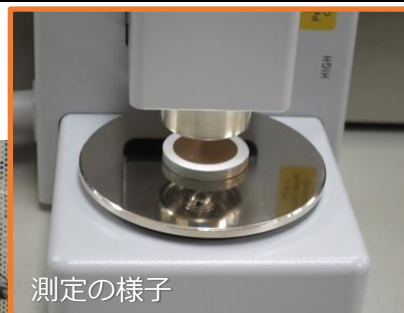


20mmφ×2mm程度

誘電特性評価



測定器外観



測定の様子

サンプル部拡大

測定器 : E4990Aインピーダンス・アナライザ
(キーサイト・テクノロジー製)

電極治具 : 16451B 誘電体テストフィクスチャ
(キーサイト・テクノロジー製)

測定法 : 平行板コンデンサ法 (二端子・ガード電極なし)

活用／成果例

2種類の粉体材料を測定

＜粉末材料＞

- ・アルミナ粉末 : AKP-30
- ・ジルコニア粉末 : TZ-3YS

➤ CIP処理条件を調整し、密度が異なる3種の成形体を作成

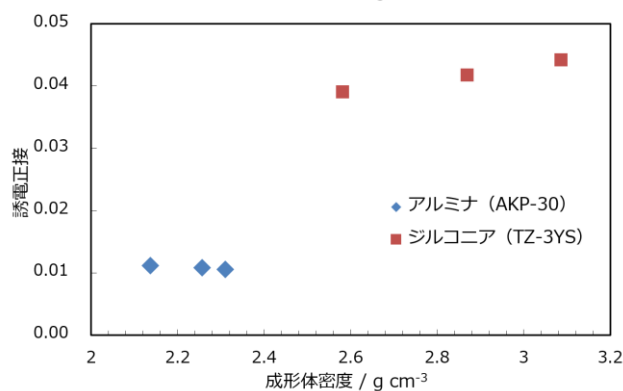
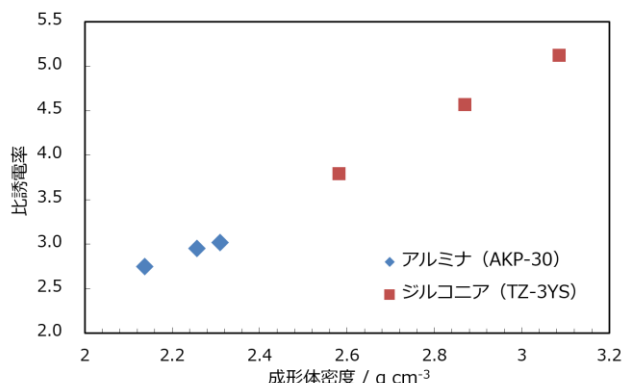
＜測定条件＞

電極 : 金蒸着 (厚さ300 nm)
温度、雰囲気 : 室温、大気中
印可電圧 : 500 mV
周波数範囲 : 100 kHz～1 MHz

＜測定結果＞

未焼結粉末成形体において、密度上昇に伴い比誘電率は増加した。一方で誘電正接の密度依存性は材料により異なり、粒子間接触および伝導機構などの違いが影響している可能性が示唆された。

➤ 今後はガード電極を用いた測定により、表面リークの影響を分離するなどの検討を予定。



適用分野

- ・電子機器 (5G/6G通信、車載レーダーなど) 向け材料の開発
- ・新規材料の迅速なスクリーニングや開発初期段階での適用検討



技術の ポイント

誘電材料の温度特性を把握することで、電子デバイスの
安全性・快適性・省エネルギー性能の向上に寄与

保有技術

インピーダンス・アナライザ E4991B



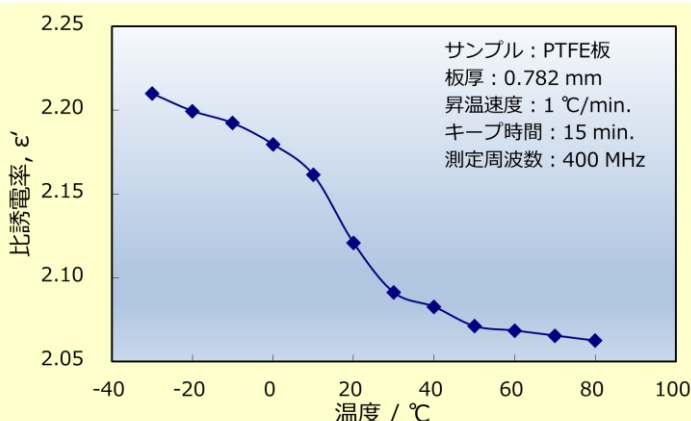
周波数：1 MHz～3 GHz
基本確度：±0.65%
温度：-30 °C～80 °C
誘電／磁性材料の評価

PNAネットワーク・アナライザ N5227A



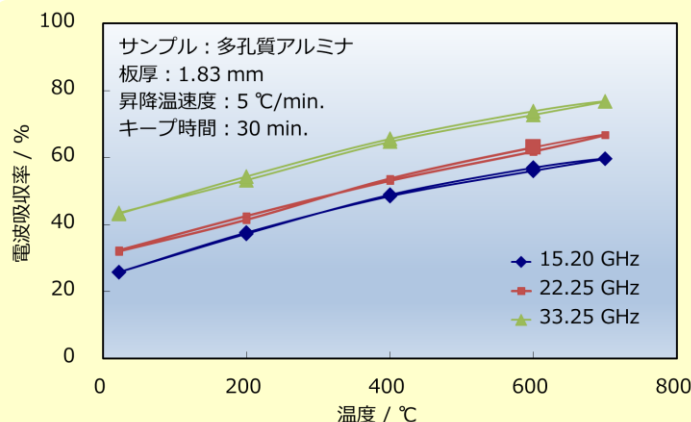
周波数：5.6～110 GHz
測定精度：40 dBのとき±1 dB以下
(@ダイナミックレンジ60 dB)
温度：室温～1000 °C
電波吸収特性／誘電特性の評価

事例 1：PTFEの温度特性評価



20 °C付近にPTFEの相転位と思われる
比誘電率の変曲点がみられる。

事例 2：断熱材用多孔質アルミナの マイクロ波吸収特性評価



各周波数にて温度を室温→700 °C→
室温と繰り返し変化させたが、温度
履歴がほぼみられない。

適用分野

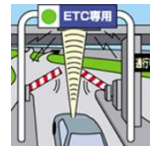


○誘電特性評価

- ・プリクラッシュセーフティシステム
- ・ミリ波無線LAN/PAN用高周波回路基板
- ・フィルタ基板材料
- ・アンテナ基板材料
- ・コンデンサ材料
- ・誘電体共振器材料

○電波吸収特性評価

- ・電波吸収体パネル
- ・ノイズ抑制シート





液体材料における 誘電率の温度特性評価

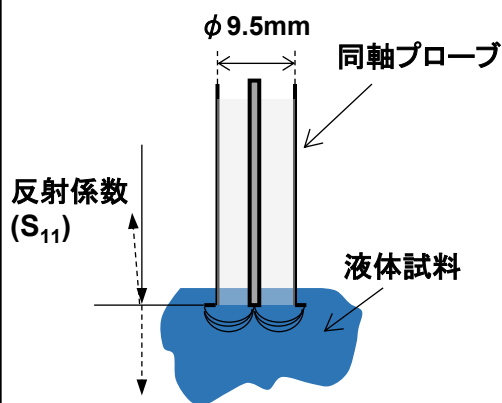
技術の ポイント

同軸プローブ法を用いることで、液状や半固体（ゲル状）
材料の温度特性および周波数特性を評価可能

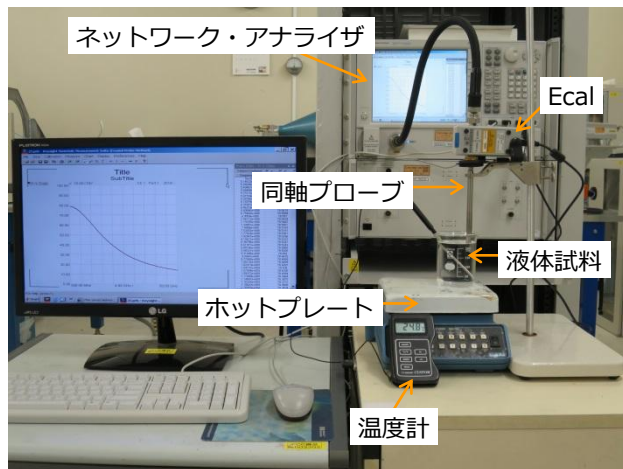
保有技術

同軸プローブ法

同軸プローブとは伝送ラインの切断面である。
プローブを液体の中に入れたときプローブ端で
の電界は材料の周囲に入り込み試料と接触する
と変化する。その際の反射信号（ S_{11} ）を測定
して、誘電率等に変換することができる。



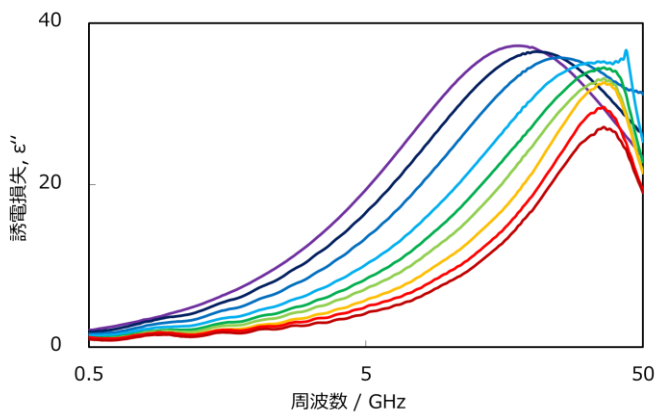
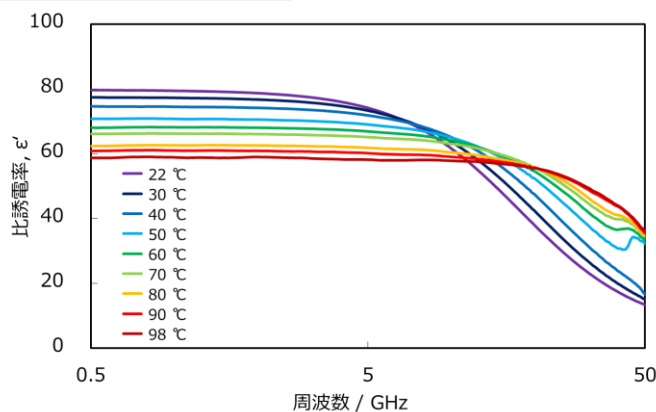
同軸プローブ法の概要



仕様	高性能プローブ
周波数レンジ	500 MHz～50 GHz
温度範囲	-40～200 °C
試料サイズ	浸漬長5 mm以上 プローブチップ周囲の厚さ1 mm以上
測定範囲	比誘電率 < 100、誘電正接 > 0.05
確度（代表値）	$\epsilon'_r = \epsilon'_r \pm 0.05 \epsilon'_r $ $\epsilon''_r = \epsilon''_r \pm 0.05 \epsilon''_r $
再現性/分解能	確度の2～4倍以上
測定機器	PNAネットワーク・アナライザ N5227A Ecal モジュールN4694A 材料測定ソフトウェア N1500A

活用／成果例

※実用的な周波数レンジ、確度、分解能は試料の特性により異なる。



水の温度特性評価の例（各温度における誘電率（左）と損失係数（右））

適用分野

- ・ 食品、飲料、薬品などの品質管理
- ・ 損失の多い材料（液体、半固体）の誘電特性評価に最適

【担当者：伊岐見大輔】

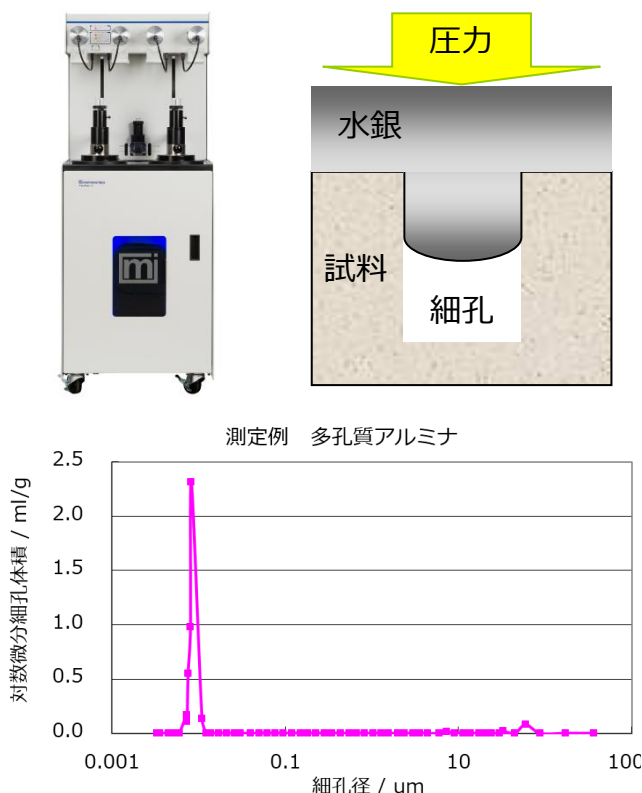


技術の ポイント

原料・成形体・焼成体特性といった情報の多面的な提供
材料開発や品質管理に貢献

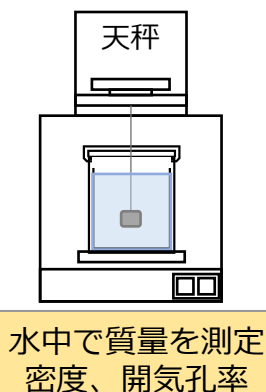
保有技術

細孔分布（水銀圧入法）

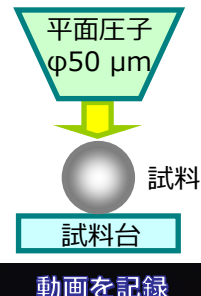


水銀に圧力を加えて圧入
0.003~360 μm の細孔分布を測定

密度（アルキメデス法）

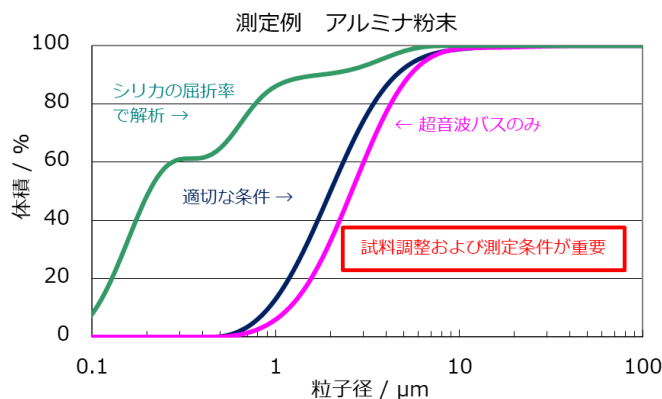


粒子破壊強度



10 μm ~の微小な粒子、繊維の強度評価

粒度分布（レーザー回折散乱法）



0.02~2000 μm の粒度分布を測定

見かけ密度（気体置換法）



見かけ体積（→ 密度）を測定 粉体も可

適用分野

・粉体、多孔体、顆粒体、成形体、スラリー、繊維など



サブナノ～ミクロンオーダーの 細孔径分布測定と機能性評価

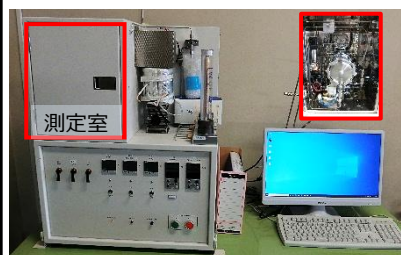
技術の ポイント

液体、気体透過に関わる貫通孔の機能性を特徴づける
ネック部の細孔径分布とガス透過率を評価

保有技術

細孔径分布評価

ナノパームポロメーター



- ・手法 : 毛管凝縮法
- ・細孔径 : 0.5~12 nm (水蒸気)
- ・形状 : チューブ、板

パームポロメーター



- ・手法 : バブルポイント法、
ハーフトライ法
- ・細孔径 : 0.015~300 μm
(Galwick、 H_2O 等)
- ・形状 : チューブ、板

機能性評価

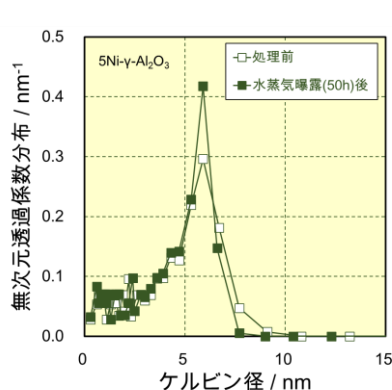
ガス透過率測定装置



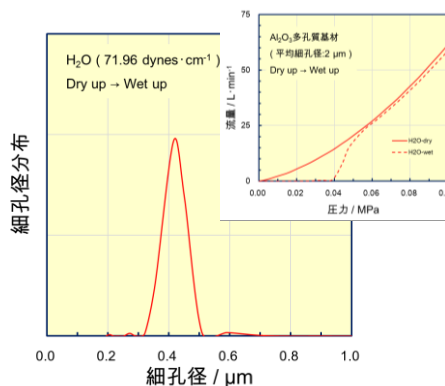
- ・手法 : ガス透過法 (減圧、加圧)
- ・細孔径 : 0.26~0.55 nm
(He 、 H_2 、 CO_2 、 Ar 、 N_2 、 SF_6)
- ・温度 : 室温~ (150 $^{\circ}\text{C}$) ~600 $^{\circ}\text{C}$
- ・形状 : チューブ、板

活用／成果例

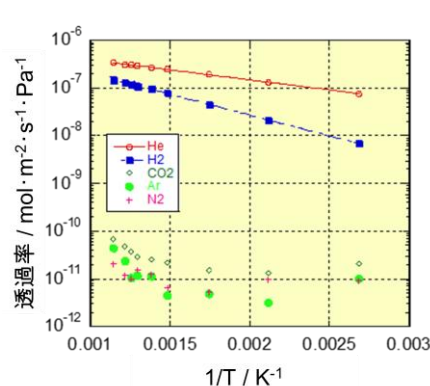
多孔質材料の耐久性・膜のガス分離特性評価



水蒸気暴露後のNi添加
 γ アルミナ膜の細孔径変化¹⁾



アルミナ多孔質基材の細孔径



シリカ膜のガス分離特性²⁾

1) T. Nagano et al., J. Ceram. Soc. Jpn. 117 (7) (2009), 832-835.

2) T. Nagano et al., J. Am. Ceram. Soc. 91 (1) (2008), 71-76.

適用分野

- ・分離膜、フィルター開発 : ガス透過、分離特性評価
- ・新規機能性材料開発 : 細孔径分布

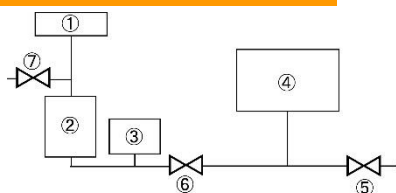


技術の ポイント

多孔質材のガス透過率を非破壊で簡便に精度よく評価可能

保有技術

評価機器の構成



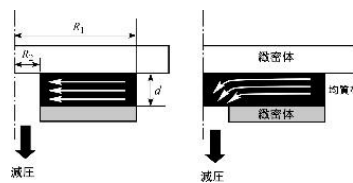
- ①: 試験片ホルダーおよび試料
②: チャンバー
③: 圧力センサー
④: 真空ポンプ
⑤, ⑥, ⑦: ペローズバルブ



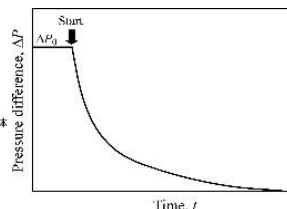
試料保持部分

リーク試験における差圧と時間の
関係からガス透過率を評価

評価原理



円盤状試験片（右）を円筒状
試験片（左）として解析



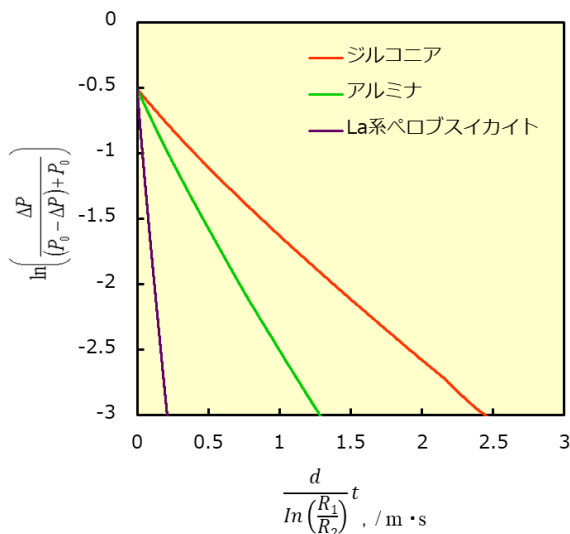
リーク曲線の模式図

$$\ln \left(\frac{\Delta P}{(P_0 - \Delta P) + P_0} \right) = - \frac{RT}{V} \cdot \frac{2\pi dK}{\ln \left(\frac{R_1}{R_2} \right)} t + \ln \left(\frac{\Delta P_0}{(P_0 - \Delta P_0) + P_0} \right)$$

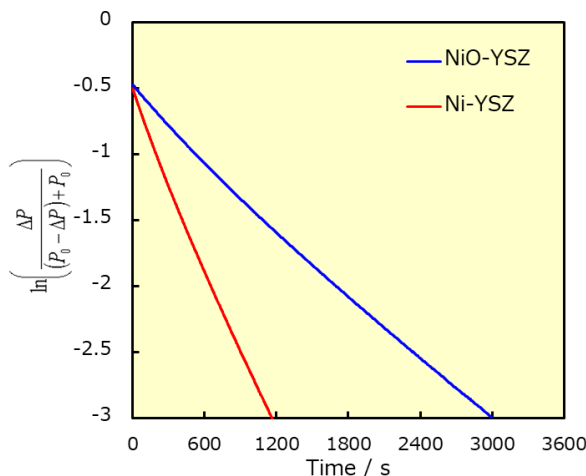
K : ガス透過率、 ΔP : 差圧、 ΔP_0 : 初期差圧、 t : 経過時間、
 d : 多孔質膜の膜厚、 R_1 : 多孔質膜外径、 R_2 : 吸引部分の半径
 V : チャンバー体積、 T : 温度、 R : 気体定数

評価例

種々の多孔質材料の評価結果



SOFC用電極材の還元前後の評価結果



材質	ガス透過率 K ($\text{mol m s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$)
ジルコニア	1.63×10^{-9}
アルミナ	3.16×10^{-9}
La系ペロブスカイト	1.91×10^{-8}

材質	ガス透過率 K ($\text{mol m s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$)
NiO-YSZ (還元前)	1.34×10^{-9}
Ni-YSZ (還元後)	3.42×10^{-9}

非破壊で評価できるため、
同一試料を還元前後で評価可能

※JIS R1761: 「固体酸化物形燃料電池用多孔質セラミックスのガス透過率測定方法」
2016年7月20日制定

適用分野

- ・ SOFC用電極材料のガス透過率評価
- ・ 多孔体内ガス流れの定量評価



エッチピット法によるSiCウエハの 欠陥解析評価技術

技術の ポイント

大口径ウエハ中の結晶欠陥情報を安価かつ多面的評価が可能
パワーデバイスの信頼性向上に有用な情報を提供

保有技術

<エッチピット法>

溶融KOH+Na₂O₂を用いたエッチングによる欠陥検出法
特許第5519305号

<特長>

SiC単結晶およびデバイスの結晶欠陥位置、種類、密度を
正確に判別可能
従来評価手法で用いられているX線トポグラフィーと比較
して、簡便かつ安価に評価可能

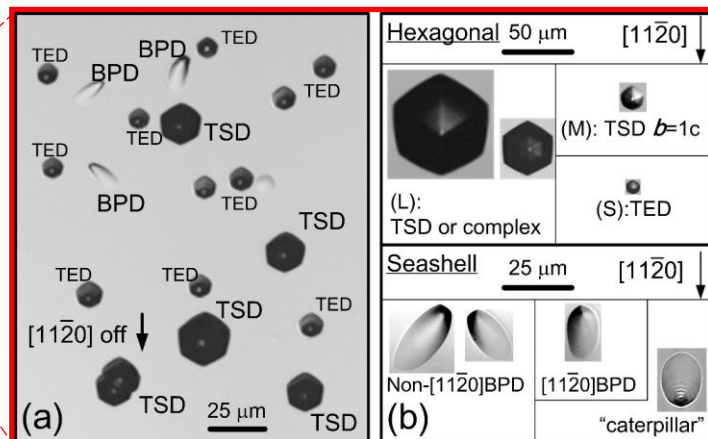
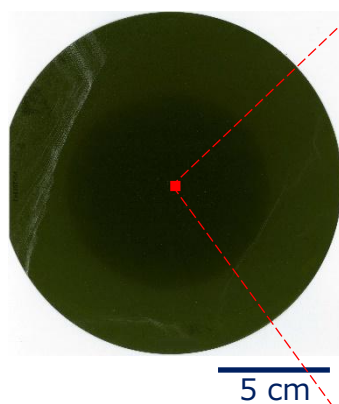
<適用可能な単結晶>

p型-n⁺⁺型SiC基板・エピ膜のSi面に適用可能
直径8インチまで適用可能
SiCのC面およびGaN、AlN、Ga₂O₃、ダイヤモンドについても
対応可能



エッチング装置
(直径8インチ対応)

活用／成果例



SiCベアウエハの
エッチング面の取込画像

エッチピット法による実施例
(a) エッチング後のレーザー顕微鏡写真
(b) ピット形状と転位の対応

解析

- ・転位種毎の密度算出
- ・サイズからの転位の判別（統計処理）

Y. Yao et al.,
Jpn. J. Appl. Phys.
50 (2011), 075502.

適用分野

・ SiCデバイスの開発：SiCウエハ、エピタキシャル膜品質評価、
ウエハの品質保証、デバイス不良解析等



機能性材料の構造・化学結合の 分析評価技術

技術の ポイント

化学結合状態・構造・光学的特性といった情報を多面的に
提供し、半導体や光学材料等の開発、品質管理に貢献

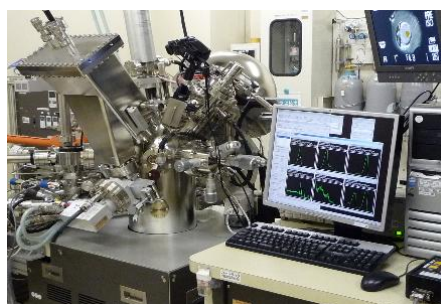
保有技術

ラマン分光法 (Raman Spectroscopy)



励起光 : 355、488、532、785 nm
回折格子 : 2400、1800、600、150 本/mm
検出器 : 電子冷却CCD
波数範囲 : 50~18,000 cm^{-1}
偏光測定 : 励起、検出側とも0、90°
波数分解能 : 0.4 cm^{-1} 以下
空間分解能 : 1 μm
機能 : マッピング、3次元計測、
深さプロファイル

X線光電子分光分析法 : XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)

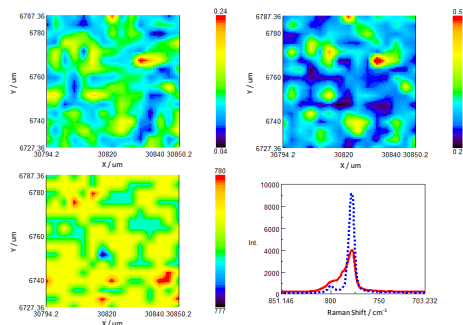


励起X線 : Mg、Al、Al-K α
(Max : 15 kV、600 W)
分解能 : 0.5 eV
深さプロファイル測定 : Arイオン銃
絶縁物測定 : 中和銃

活用／成果例

ラマン分光法 : 分子・格子振動を測定

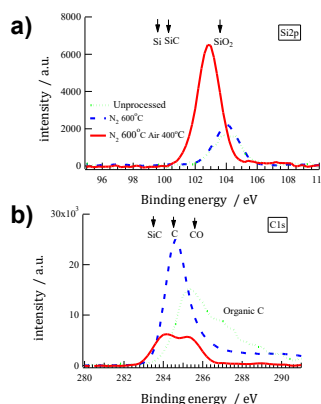
- ①化学結合状態の決定
- ②結晶多形の決定
- ③ひずみの検出
- ④温度依存性の評価
- ⑤ラマン信号と発光の対応



SiCの結晶多形・歪発生のマッピング

XPS : 光電子を測定

- ①物質表面の組成
- ②化学結合状態の評価



発光する粉殻の結合状態

Y. Ishikawa et al., Jpn. J. Appl. Phys. 51(2012), 1AK02.

適用分野

・電子機能材料開発 : 透明導電膜、ワイドギャップ半導体 (SiC、
ダイヤモンド、GaN)、カーボン材料 (電極、
フィラー等)



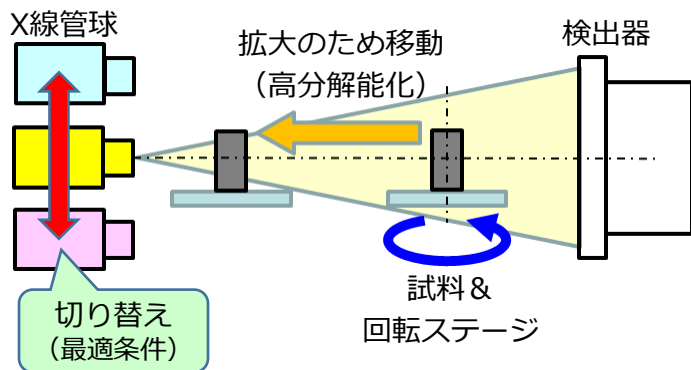
X線CTによる材料評価技術

技術の ポイント

【直交型（一般的）】JFCCでは3種類のX線管球を選択可能
【斜め照射型】基板形状の試料を切り出し不要で撮影可能

保有技術

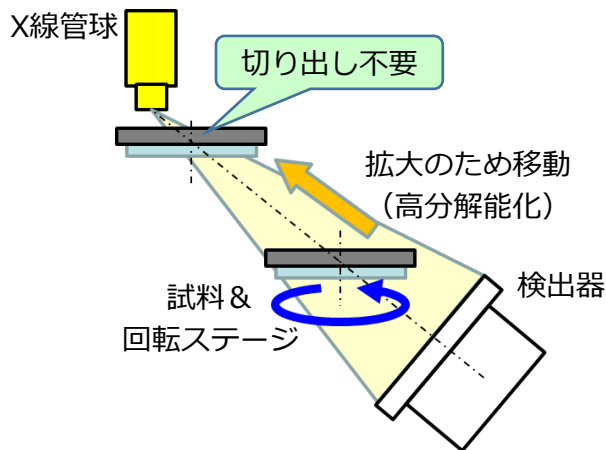
直交型X線CT



仕様

X線管球	通常	高分解能	低エネルギー
X線管電圧 (上段：高精細)	Max. 150 kV	Max. 100 kV Max. 160 kV	Max. 100 kV
焦点寸法 (上段：高精細)	7, 20, 50 μm	0.25 μm 0.8 μm	7 μm
CT画素数	1024 × 1024 pixels		
試料サイズ	分解能による (最大 ϕ 100 mm) 高分解撮影時は□ 1 mm程度にする必要あり		

斜め照射型X線CT

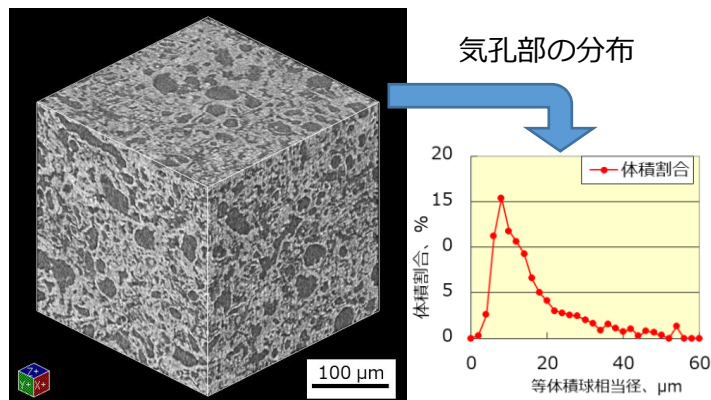


仕様

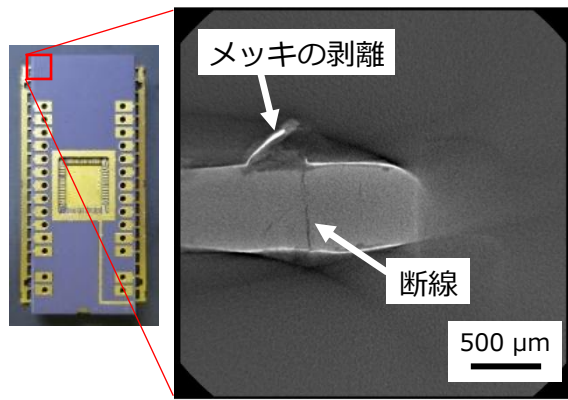
X線管電圧 (上段：高精細)	Max. 100 kV Max. 160 kV
焦点寸法 (上段：高精細)	0.25 μm 0.8 μm
CT画素数	1920 × 1920 pixels
試料サイズ	最大 ϕ 310 mm 基板形状に有効

活用／成果例

多孔体の3D構築と解析例



ICチップの配線部



適用分野

- セラミックス、金属、高分子、CFRP等の複合材料等の各種素材
- 多孔体（ハニカム）、接合材料、実装基板、電子部品



X線回折による測定・解析技術

技術の ポイント

X線を使用し、様々な光学系を組み合わせることで目的とする情報を取得することが可能

目的および対応測定手法

バルクや粉末の結晶相を同定したい。

粉末X線回折測定

薄膜の結晶相を同定したい。

微小角入射X線回折測定
out-of-plane法

微小領域の結晶相を同定したい。

微小部X線回折測定
・スポットサイズ：100 μm

高温での結晶相の変化を測定したい。

高温X線回折測定
・雰囲気：大気/真空/ N_2 /Ar
・温度：RT $\sim$ 1200 $^{\circ}\text{C}$

バルクの残留応力を測定したい。

残留応力測定(並傾法、側傾法)

バルクや膜の結晶方位解析をしたい。

極点測定

薄膜の厚さや密度を測定したい。

X線反射率測定

試料の大きさや形状、空孔分布を測定したい。

小角散乱測定

単結晶の格子定数を精密に測定したい。

単結晶格子定数精密測定
保証分解能：0.01 $^{\circ}$

単結晶の欠陥分布解析をしたい。

X線トポグラフィー

逆格子マップを取得したい。

逆格子マップ測定

特殊な解析を行いたい。

PDF測定
・使用X線源：Ag

適用分野

- ・セラミックス、金属等無機材料全般の評価
- ・各種構造および分離膜、電池等機能性材料の開発
- ・半導体の欠陥評価
- ・非晶質材料の構造評価



高温X線回折による In-situ測定・解析技術

技術の ポイント

結晶相転位などの加熱による反応過程をリアルタイムで測定可能
材料開発や高温下での安定性評価に有用な情報を提供

保有技術

仕様	X線出力	: 45 kV、40 mA
	制御温度	: R.T.~1200 °C
	試料加熱	: 間接加熱方式
	ヒーター	: W (タングステン)
	温度測定	: Pt 10% RhPt熱電対
	最大圧力	: 大気圧+0.1 MPa
	試料皿	: Al ₂ O ₃ (標準)
	試料台	: Al ₂ O ₃
	試料サイズ	: 粉末 (バルク試料の場合、最大φ16×2 mm程度)
	試料雰囲気	: 真空 (10 ⁻² Pa)、大気、不活性ガス (N ₂ 、Ar)

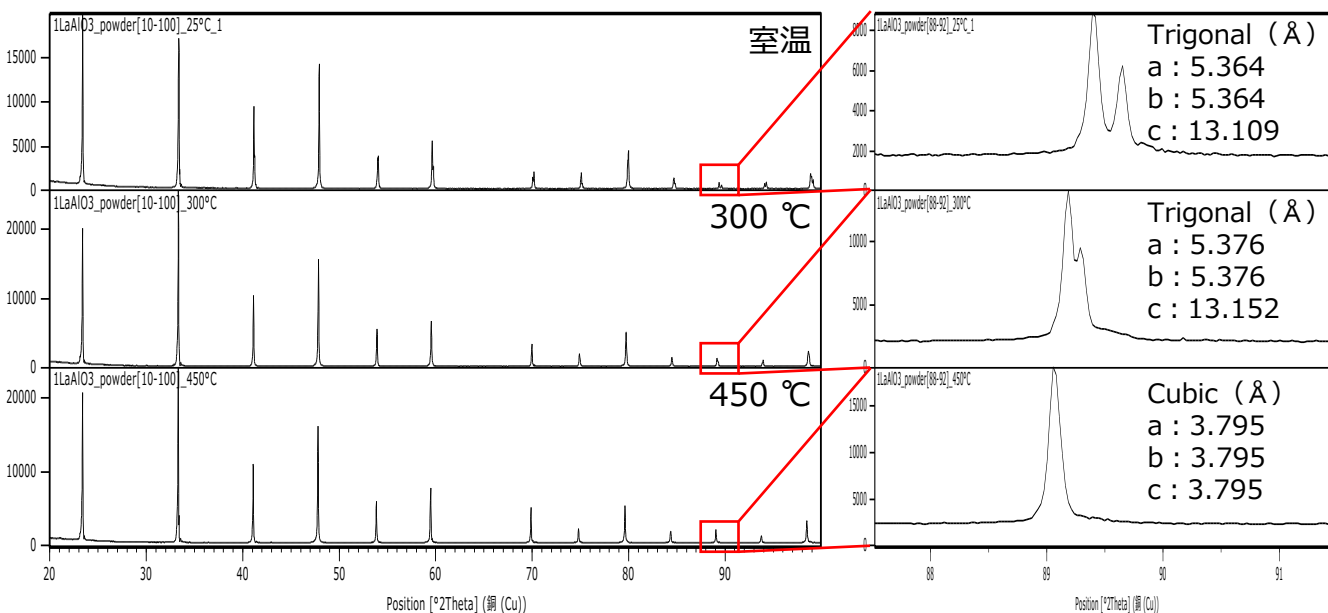


HKT1200N (Anton Paar製)

活用／成果例

LaAlO₃粉末の高温X線回折試験結果

θ-2θ : 20-100° 試料雰囲気 : Air、大気圧 昇温速度 : 5 °C/min キープ時間 : 30 min



高温への昇温過程で起こるLaAlO₃の三方晶から立方晶への相転位を確認

適用分野

- ・ 高温環境下における結晶構造安定性評価
- ・ セラミックス、金属等無機材料全般の結晶構造評価
- ・ 各種構造および分離膜、電池等機能性材料の開発



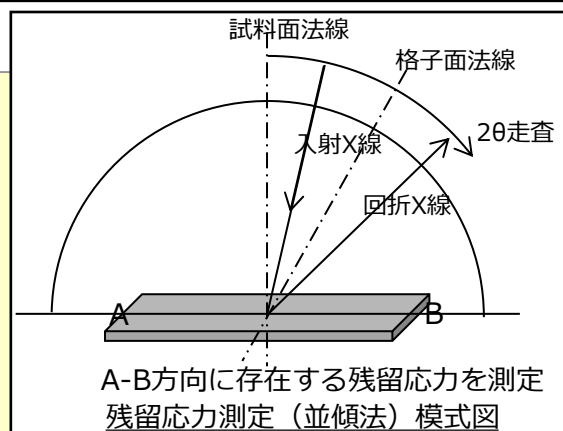
高温環境における 残留応力評価技術

技術の ポイント

残留応力を有する材料の昇温による応力緩和の様子や熱膨張差を持つ膜／基板の高温環境下での膜の応力を評価可能

保有技術

仕様	X線出力	: 45 kV、40 mA
	制御温度	: R.T~1200 ℃
	試料加熱	: 間接加熱方式
	ヒーター	: W (タングステン)
	温度測定	: Pt 10%RhPt熱電対
	最大圧力	: 大気圧+0.1 MPa
	試料台	: Al_2O_3
	試料サイズ	: 最大 $\phi 16 \times 2$ mm程度
	試料雰囲気	: 真空 (10^{-2} Pa)、大気、不活性ガス (N_2 、Ar)

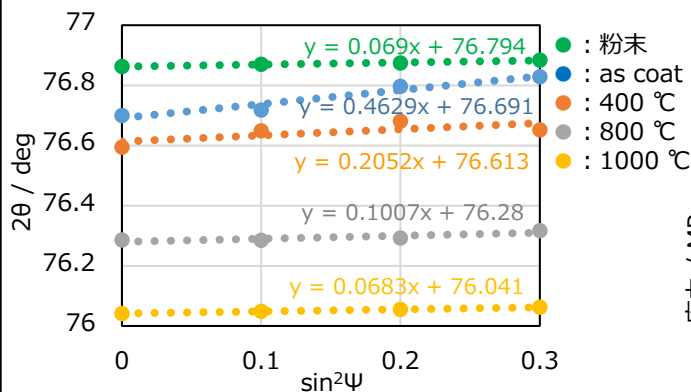


活用／成果例

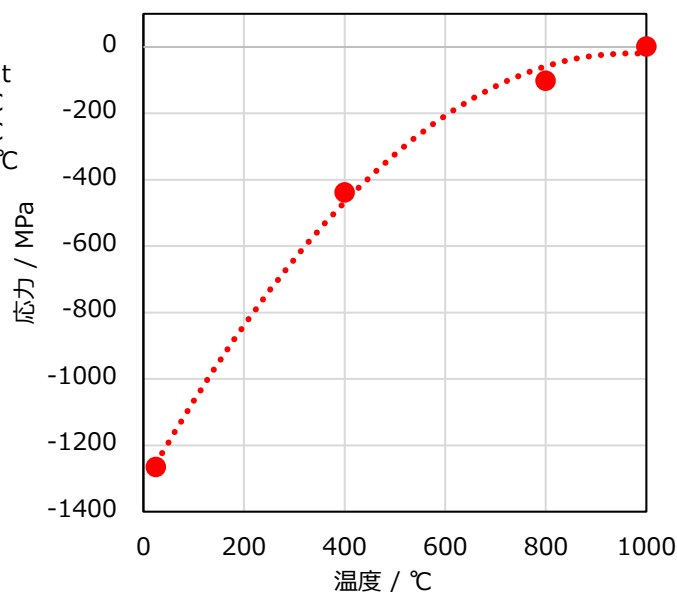
Mo基板上にAD法にて成膜した Al_2O_3 膜の高温残留応力測定結果

測定条件： Al_2O_3 (1 0 -1 10) ピーク ($2\theta=76.84^\circ$) を使用

測定温度：R.T.、400 ℃、800 ℃、1000 ℃



$\sin^2\psi$	R.T.	400 ℃	800 ℃	1000 ℃
0	76.7002	76.5941	76.2861	76.0416
0.1	76.7182	76.6488	76.2846	76.0484
0.2	76.7968	76.6803	76.292	76.0546
0.3	76.8283	76.652	76.3172	76.0623
勾配	0.4629	0.2052	0.1007	0.0683
残留応力 (MPa)	-1265.36	-437.53	-101.83	2.24



成膜時には圧縮残留応力が確認されたAD- Al_2O_3 膜は1000 ℃まで昇温することで残留応力が緩和する様子を確認

適用分野

- ・ 遮熱・耐熱コーティング材料
- ・ 断熱膜
- ・ 残留応力を含む結晶質材料全般



第一原理計算による材料設計

技術の ポイント

高精度な量子力学計算により原子・電子状態を求め、材料特性の理論的解明や新たな材料の設計に貢献

保有技術

密度汎関数理論（DFT）を基盤とする第一原理計算により、原子配置を入力として経験的なパラメータを用いず多原子・多電子系のシュレーディンガー方程式を近似的に解き、電子構造や安定性、欠陥、拡散、熱的性質などの材料特性を理論的に導出。実験結果との対照を通じて見えないナノスケールの物性理解や材料設計の高精度化に寄与

搭載ソフトウェア環境

第一原理計算：VASP、CASTEP、Quantum ESPRESSO

構造可視化・支援ツール：MedeA、Materials Studio

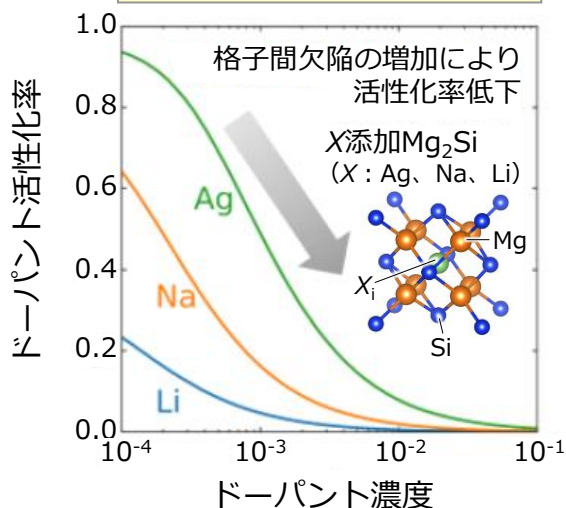
その他：LAMMPS、NanoLabo、pydecis



クラスタ計算機

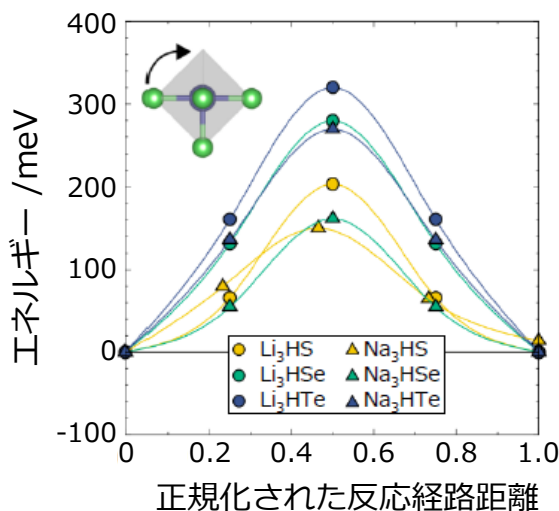
活用／成果例

p型熱電材料 Mg_2Si におけるドーパント有効性



点欠陥濃度の系統的解析によりドーパント濃度依存の活性化率を理論的に予測

イオン伝導機構の 理論解析



逆ペロブスカイト型材料における Li^+/Na^+ のイオン伝導機構を解析

1) T. Ogawa et al., *npj Comput. Mater.* **8**(2022), 79.

2) S. Gao et al., *Nat. Commun.* **12**(2021), 201.

適用分野

- ・エネルギー材料（二次電池、固体酸化物燃料電池、熱電材料）
- ・機能性材料（誘電体、磁性体、半導体、光触媒）
- ・触媒・界面材料（ CO_2 還元、水分解、表面反応機構解析）
- ・熱・構造材料（遮熱膜、断熱材、多層・高温材料）
- ・構造安定性・相変態（結晶安定性、欠陥、相図予測）



焼結シミュレーションSinterPro -新材料開発の支援ツール-

技術の ポイント

焼結シミュレーションソフトウェアにより焼結部材開発における課題を解決し、開発の期間短縮・高効率化に貢献

保有技術

JFCC独自の技術をもとに開発した焼結シミュレーションソフトウェア SinterPro ver.2（頒布中）

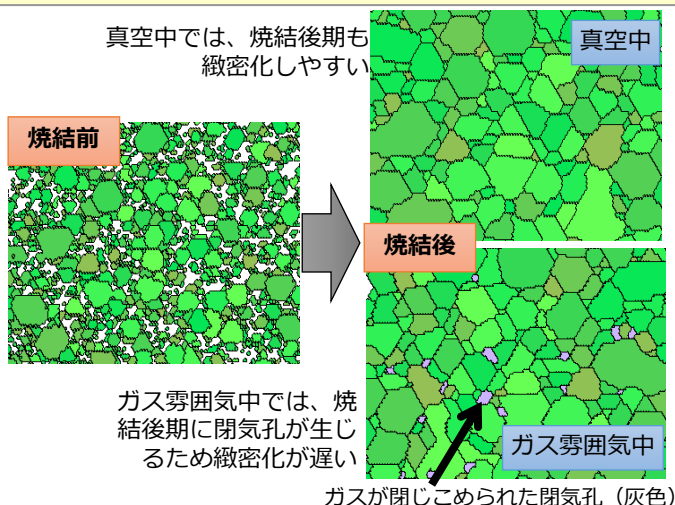
- シミュレーションにより焼結現象が見える、分かる。
- 焼結シミュレーションを活用し、要因を分析して対策立案
→ 材料開発や焼結プロセス問題解決の期間短縮・高効率化へ

活用例

ミクロ事例 MC版使用

ガス存在下の固相焼結・粒成長シミュレーション

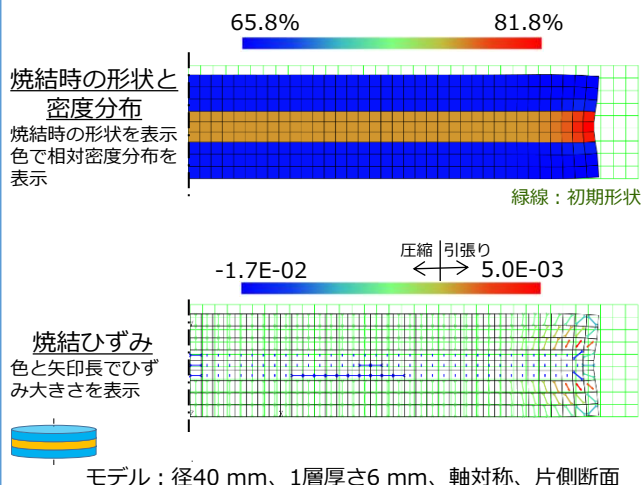
- ◆ 雰囲気により焼結性が異なることを再現
- ◆ ガス種類により、ガスの抜ける経路や抜けやすさを変更することで模擬



マクロ事例 FEM版使用

積層体の焼結挙動に関するシミュレーション

- ◆ 低速焼結層を上下に設置し反りを抑制
- ◆ 界面端に引張ひずみが発生→クラック発生の可能性



焼結シミュレーションSinterProのご利用方法

ソフトウェア購入

SinterProを購入し、自社マシンへ導入
希望によりオーダーメイド改良し納入可能

JFCCへ委託

JFCCによりシミュレーション研究を実施
シミュレーション結果を報告書で提出

焼結シミュレーションフォーラム

SinterProを使った会員による研究
スタッフによるサポートや全体発表会による議論
シミュレーション習得、活用検討に

適用分野

- ・ 焼結部材開発の支援（適用材料系：セラミックス、金属等）
- ・ 焼結プロセス問題発生時の解決支援



技術の ポイント

低加速電圧でも高分解能な次世代SEM
従来の高加速電圧では得られなかった微構造情報を提供

保有技術



インレンズショットキーPlus FE-SEM

JSM-7800F PRIME (日本電子製)

- ・電子銃 : インレンズショットキー Plus FE
- ・加速電圧 : 0.01~30 kV
- ・減速電圧 : ~5 kV
- ・低真空 : 10~300 Pa
- ・長焦点観察モード
- ・搭載分析検出器: EDS (元素分析)、EBSD (結晶方位解析)



コールド FE-SEM SU8000 (日立製)

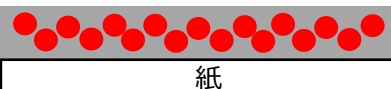
- ・電子銃 : コールド FE
- ・加速電圧 : 0.1~30 kV
- ・減速電圧 : ~2 kV
- ・搭載分析検出器: EDS (元素分析)

目的に合った

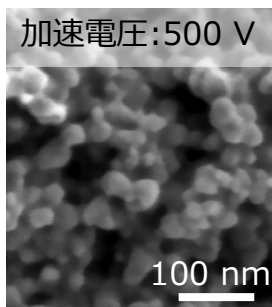
「調製・装置・条件」にて観察・分析を実施

活用／成果例

インク表面の低加速電圧SEM観察



- インク ● 顔料: 数十nm程度の粒子
■ バインダー: 顔料を覆う樹脂膜。数~数十nmの厚みで形成

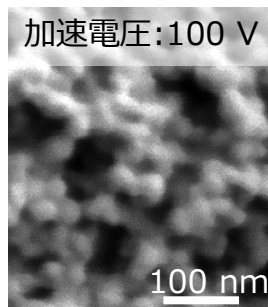


バインダー電子線侵入深さ
: ~10 nm程度

観察から想定される構造



最適加速電圧より高い:
インク最表面情報が埋没し、インク内の顔料を覆う数nmの厚みのバインダー観察が困難
顔料が露出していると誤認識する危険あり



バインダー電子線侵入深さ
: ~2 nm程度

観察から想定される構造



最適加速電圧:
試料内への電子線侵入深さを数nmに制限し
インク内の顔料を覆うバインダーの表面観察に成功

適用分野

- ・ 試料極表面の異物・析出物の観察・解析
- ・ 非導電性材料の表面微細構造観察
- ・ 結晶粒径分布解析
- ・ 積層構造材料の断面観察および組成分布解析 等



積層構造体の断面SEM観察用の 試料調製技術

技術の ポイント

高度な微構造観察を可能にする試料調整を提供
高精度だけでなく測定目的に最適な試料調整方法を提案

保有技術

- ・機械研磨（砥粒種：ダイヤモンド、コロイダルシリカ等）
- ・凍結割断（液体窒素）
- ・Arイオンミリング（CP）装置（表面、断面、冷却、大気非曝露）

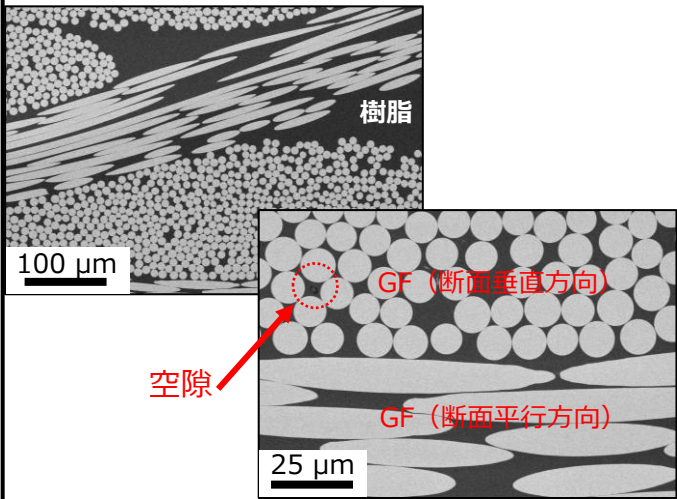
試料調製対応例

	割断	凍結割断	機械研磨	Ar-断面 イオンミリング(CP)
粒子形態	○	◎	△	△
膜厚	△	△	○	◎
EDS(元素分析)	×	×	△	◎
EBSD(結晶方位)	×	×	△	◎
広領域加工	○	○	◎	△
条件検討難易度	低  高			

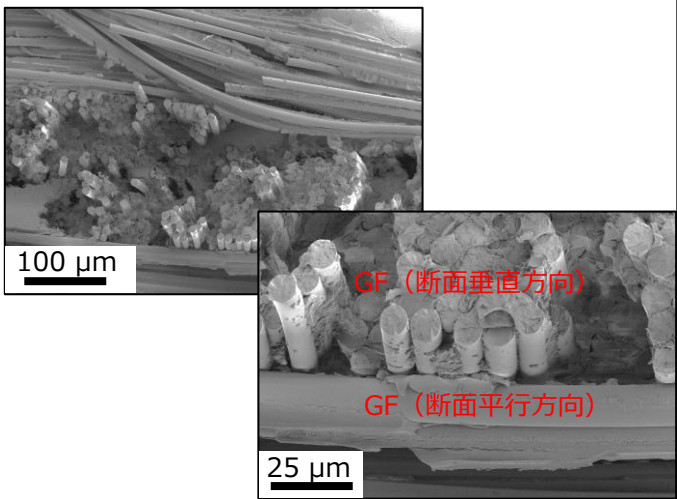
活用／成果例

試料調製の異なるGFRP基板の断面SEM観察比較

Ar断面イオンミリング（CP）調製
GFおよび樹脂の分布状態や空隙等が明瞭に観察可能。各相の面積割合や繊維径測定、各種分析に対応可能な平坦な面を取得



凍結割断調製
GFの表面凹凸や樹脂との密着性についての観察が可能



適用分野

- ・積層構造体の断面SEM観察・解析
- ・樹脂包埋を行った粉末や繊維の断面SEM観察・解析
- ・電子線後方散乱回折（EBSD）用試料調製
- ・エネルギー分散型X線分析（EDS）用試料調製 等



高角度分解能EBSD法を用いた 微小歪み解析技術

技術の ポイント

EBSD-KAM法等による解析で検出が困難な極めて小さな歪みを検出することが可能

保有装置および技術

- ・電界放出型走査電子顕微鏡 JSM-7800F Prime (日本電子製)
- ・結晶方位解析装置 Digiview V EBSD System (TSLソリューションズ製)
- ・Fast CrossCourt4 歪み解析ソフトウェア

電子線後方散乱回折 (EBSD) 法 : 試料に照射された電子が試料内で拡散し、回折され反射電子として試料から放出される。その際に生じる反射電子回折パターンを用いて局所領域の結晶方位や結晶構造を解析する。

EBSD-KAM歪み解析手法 :

EBSD方位解析にて各点の結晶方位を算出後、その値を用いて、1つの測定点とそれを取り囲む周囲の測定点との方位差を平均化し、中央の測定点の値とする。

HR-EBSD歪み解析手法 :

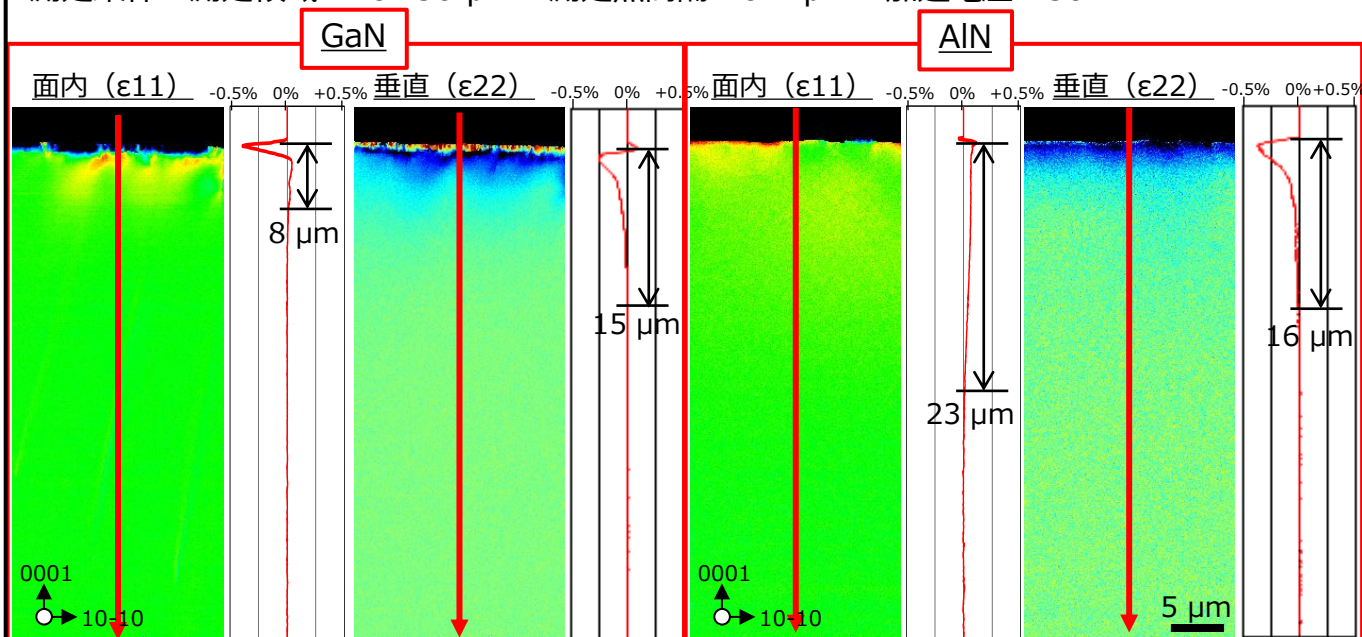
(※HR : High angular resolution)

ある測定点のEBSDパターンを基準にそれ以外の測定点との比較を行い、結晶粒内の歪みを解析する。

活用／成果例

- ・研磨シート (#1000相当) にて研磨を行ったGa_N、Al_N基板の結晶歪みマップ

測定条件 : 測定領域 : 20×50 μm 測定点間隔 : 0.1 μm 加速電圧 : 30 kV



HR-EBSD法による歪み解析にてEBSD-KAM法による解析では検出困難であった微小な歪みの解析に成功

適用分野

- ・微小領域での結晶系解析
- ・結晶方位分布解析
- ・結晶歪み分布解析
- ・結晶相分布解析
- ・結晶粒径分布解析



EBSD-EDS同時検出による 結晶方位および相分離解析技術

技術の ポイント

従来のEBSD法では結晶相分離が困難な材料系に対して、
EDS元素分析と組み合わせることで相分離解析が可能

保有装置

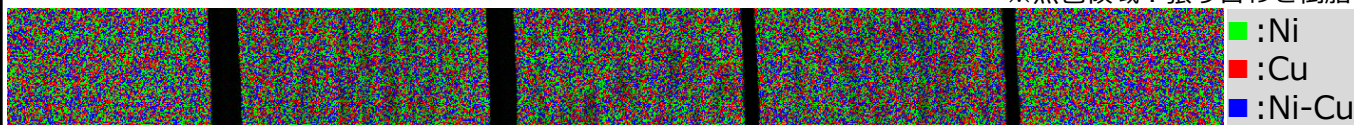
- ・電界放出型走査電子顕微鏡 JSM-7800F Prime (日本電子製)
- ・結晶方位解析装置 Digiview V EBSD System (TSLソリューションズ製)
- ・エネルギー分散型X線分光装置 JED-2300 (日本電子製)

活用/成果例

Ni/NiCu合金/Cu/NiCu合金/Ni金属シートを樹脂で張り合わせた構造体の
EDS元素マッピングおよび結晶相分離、結晶方位解析

1. EBSDのみでの解析結果

※黒色領域：張り合わせ樹脂



EBSD結晶相分離解析結果

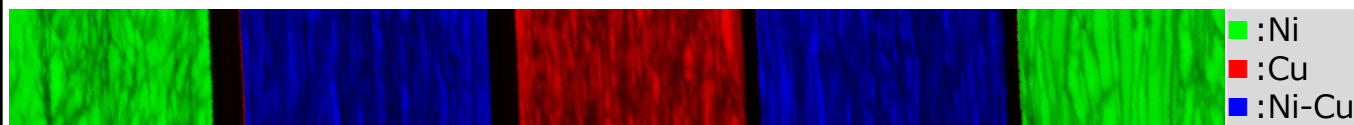
- ・ NiとCuおよびNiCu合金は結晶構造 (cubic) および空間群(Fm-3m)が同一のため、同様の菊池パターンが形成される。

EBSD解析では同一の結晶構造を有する組織の相分離は困難

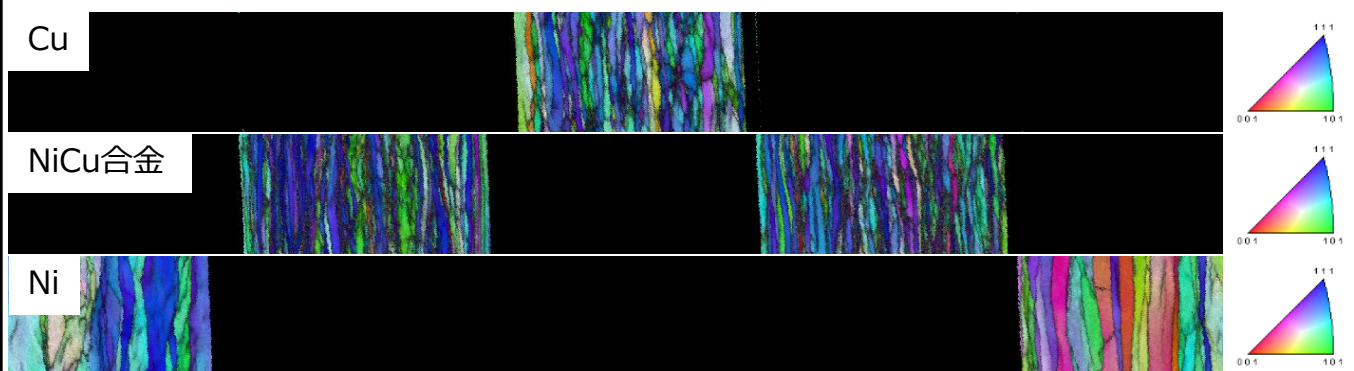
2. EBSD-EDS同時検出による複合解析結果



EDS元素マッピング結果



EDS元素マッピング結果を反映したEBSD結晶相分離解析結果



結晶方位解析結果

EBSD-EDS複合解析を行うことで同一結晶構造組織の相分離に成功

適用分野

結晶化合物全般を対象に

- ・ 結晶相分布解析
- ・ 結晶粒径分布解析

・ 微小領域での結晶系解析

- ・ 結晶方位分布解析
- ・ 結晶歪分布解析



ガリウムFIB-SEMを用いた 3次元構築

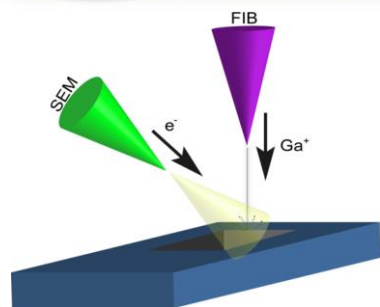
技術の ポイント

FIB-SEM像と最新材料科学向けソフトウェアAvizoとの
連携による高精度3次元情報の提供

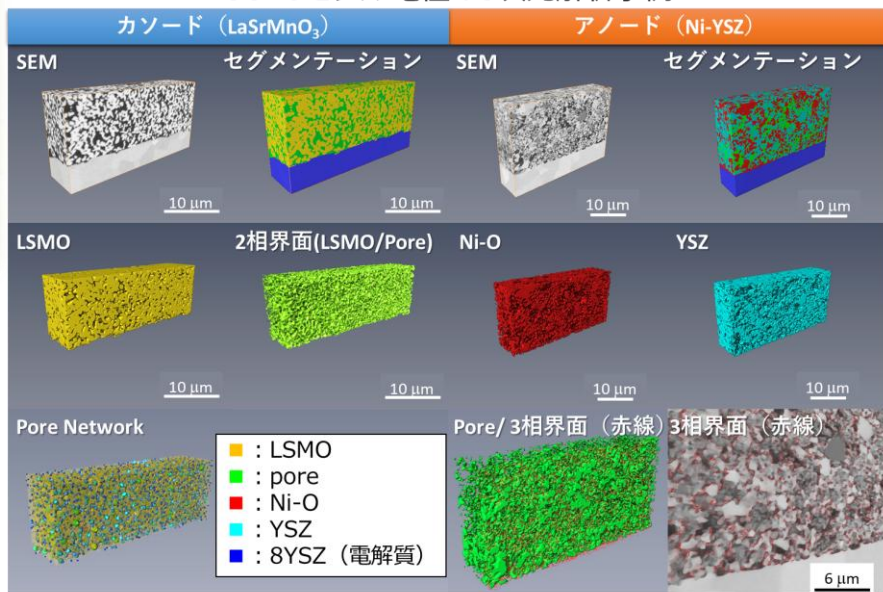
手法概要／解析事例



日立ハイテク NB5000

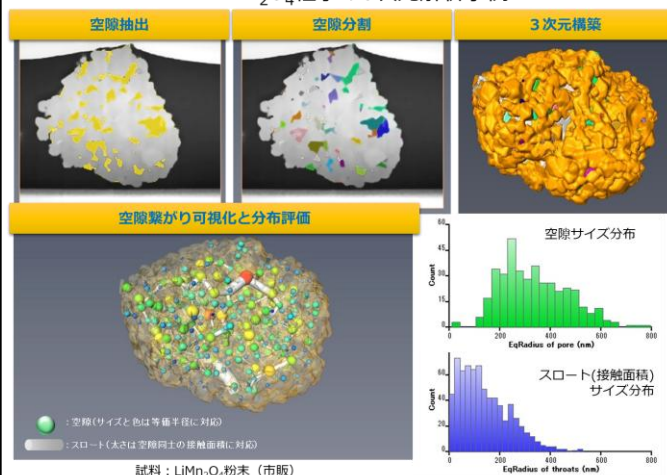


SEM像のコントラストから三次元化
最大50 μm 角領域に対応
他の手法と組み合わせてマルチスケール評価
SOFCモデル電極の3次元解析事例

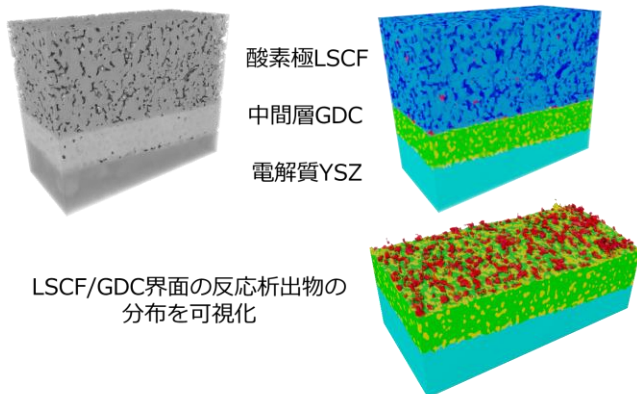


試料: JFCC環境・エネルギー材料G内製 SOFCモデル電極

LiMn₂O₄粒子の3次元解析事例



SOEC長期評価 (3,000時間) 後試料の3次元解析事例



謝辞: 本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託業務「水素利用等先導研究開発事業/水電解技術高度化のための基盤技術研究開発/高温水蒸気電解技術の研究開発」(2018~2022年度) で実施されたものである。

◆ 最新ソフトウェアAvizo 2025.1で様々なパラメータを抽出
体積、表面積、界面の面積/長さ、空隙の数、平均径、分布 etc

適用分野

・電池材料、粉末、各種焼結体における構造、体積、表面積、
空隙、空隙のつながり、粒子径などの3次元評価



大気圧走査電子顕微鏡による 電気化学反応その場観察

技術の ポイント

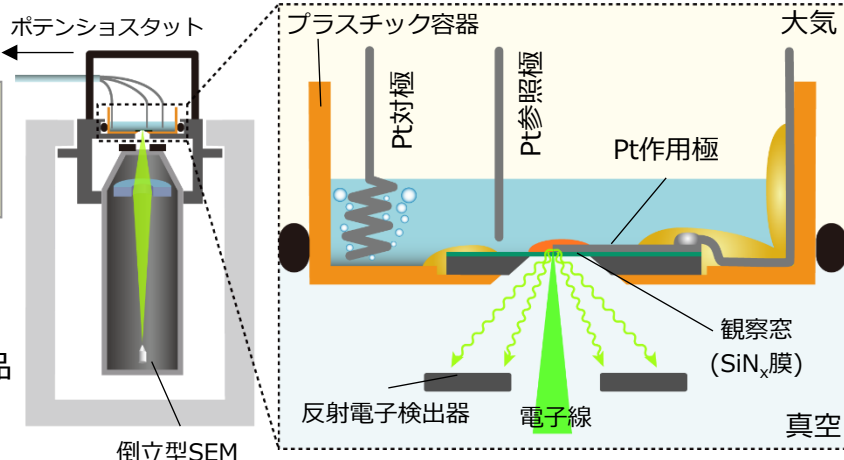
大気圧走査電子顕微鏡への電気化学反応システム導入により、液中反応のナノスケールその場観察を実現

保有技術

独自の電気化学反応ディッシュにより信頼性の高い反応制御とその場観察を両立

<大気圧SEM>

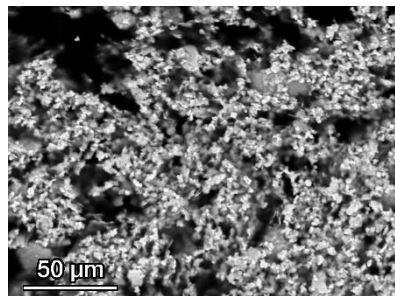
装置：日本電子製ClairScope
標準ディッシュ：日本電子社製品
電気化学ディッシュ：自製品



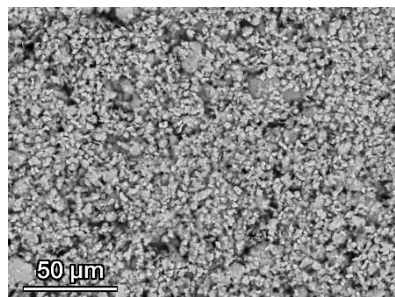
大気圧走査電子顕微鏡と電気化学反応システムの概要

活用／成果例

標準ディッシュによる観察事例



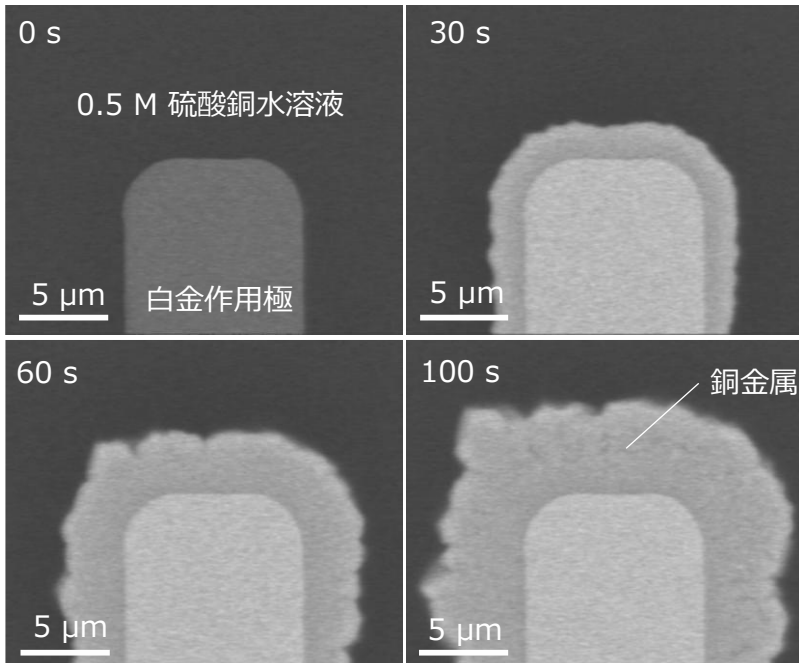
ペースト状態のSEM像



乾固後のSEM像

導電性ペースト内銀粒子の分散状況

電気化学ディッシュによる観察事例



定電流 (1 μ A) での銅電析過程の動的観察

謝辞：本成果の一部は、NEDO「電気自動車用革新型蓄電池開発」(JPNP21006)において得られたものである。

適用分野

- ・電池内電極反応過程のその場観察
- ・電解メッキなどの表面化学処理過程のその場観察



先進分析TEM JEM-F200

技術の ポイント

極低倍から原子レベルまで同一のTEMで微構造観察・元素
分析が可能な汎用TEM

装置概要



日本電子 (JEOL) JEM-F200

主な仕様

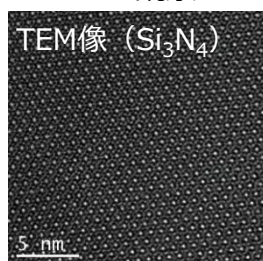
《TEM本体》収差補正器なし

- ・電子銃：Cold-FE電子銃
- ・TEM分解能：0.23 nm（構造像）@200 kV
- ・STEM分解能：0.16 nm@200 kV
- ・加速電圧：200 kV、120 kV、80 kV、60 kV

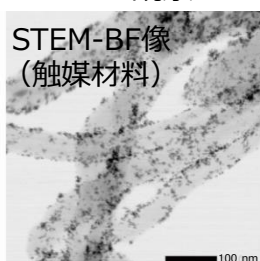
《各種検出器》

- ・EDS検出器：日本電子 JED-2300 SDD
100 mm² ×2本（1.7 sr）
- ・EDSアナライザー：Thermo Scientific Pathfinder
- ・カメラ：Gatan Oneview CMOS
- ・STEM明視野／暗視野検出器、反射電子検出器

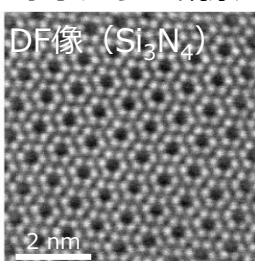
TEM観察



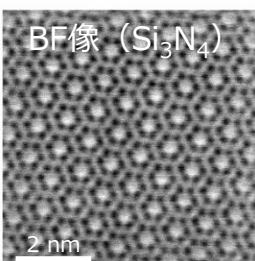
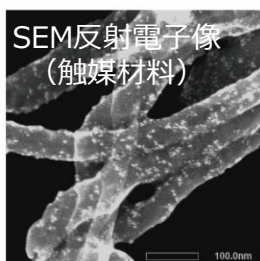
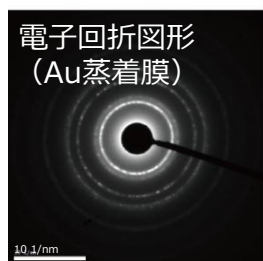
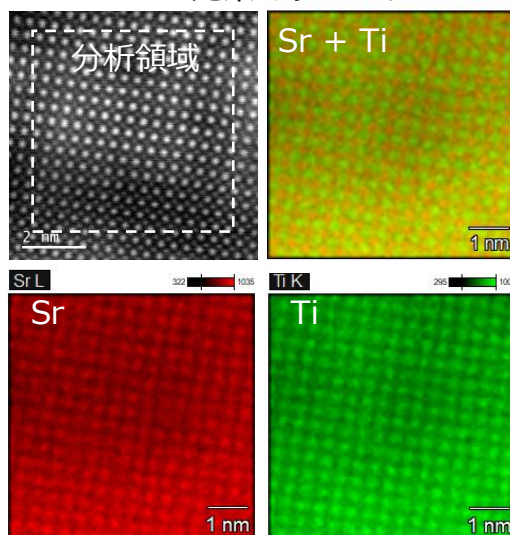
SEM観察



原子カラム観察



EDS元素マッピング



適用分野

- ・ TEM／STEM観察全般
- ・ 高感度EDS元素分析
- ・ オープンラボ利用、単発の機器利用にも対応



ナノシールドによる Naイオンの移動抑制技術

技術の ポイント

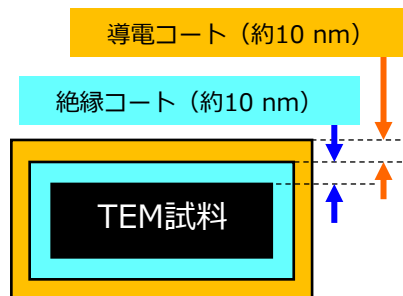
ナノシールドを粉末試料用に改良し、イオン移動抑制層に応用することで組成ずれを防いだ電子顕微鏡観察が可能

保有技術

Atomic Layer Deposition (ALD)

- ・主に半導体向けで使われる特殊な成膜方法
- ・前駆体ガス（有機金属化合物、ハロゲン化物等）と反応ガス（水蒸気、アンモニア等）を交互に導入し、試料表面の化学反応により1原子層ずつ成膜する手法（例：アルミナの場合 0.1 nm/min程度の成膜速度）
- ・表面形状に沿った均一な膜厚のコートが可能
- ・膜の種類は使用可能な前駆体ガスの種類で制限される。（例：アルミナ、チタニア、ハフニア、白金等）

ナノシールド



ALDによる絶縁コートと導電コートを組み合わせたTEM試料の前処理手法

Yuki Nomura et al.,
Microscopy, 67, 178 (2018)

活用／成果例

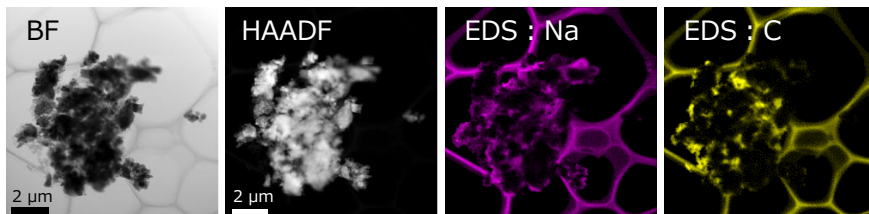
ナノシールドのNaイオン 移動抑制層への応用

<測定試料>

粉末： $\text{Na}_3\text{Zr}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{PO}_4)(\text{NZSP})$
+結晶性カーボンの混合粉末
支持体：非晶質カーボン膜



ナノシールド無

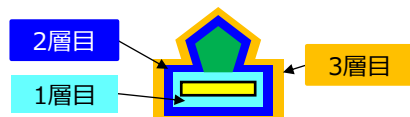


NaがNZSP粉末からカーボン支持膜に移動

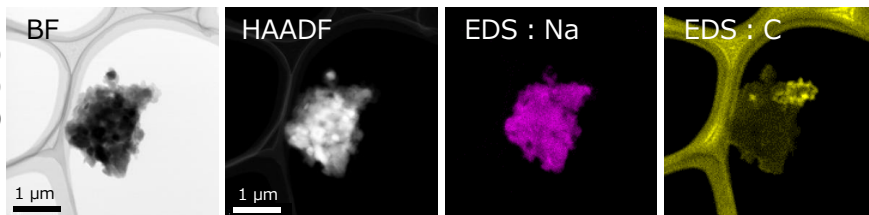
<ナノシールド処理>

（粉末用の改良手順）

- 1層目：非晶質アルミナ（ALD:10 nm）
- 2層目：非晶質アルミナ（ALD:10 nm）
- 3層目：非晶質カーボン（蒸着:10 nm）



ナノシールド有



ナノシールドによりNaはNZSP粉末内に保持

謝 辞： $\text{Na}_3\text{Zr}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{PO}_4)(\text{NZSP})$ サンプルは電力中央研究所の沓澤大博士、小林剛博士から提供いただいた。また、本成果は、NEDO「エネルギー・環境新技術先導研究プログラム」（JPNP14004）として実施されたものである。

適用分野

- ・電子顕微鏡を用いた電池材料、イオン伝導体の分析・評価
- ・X線や放射光を用いた電池材料、イオン伝導体の分析・評価