

# エネルギー極限利用のための大フラックス輸送ダイナミクス

- メンバー（敬称略, 順不同）
  - 鹿園直毅（東京大学）
  - 飯山明裕（日産自動車）
  - 津島将司（東京工業大学）
  - 田渕雄一郎（日産自動車）
  - 長谷川洋介（東京大学）
  - 荒木拓人（横浜国立大学）
  - 井上元（京都大学）
  - 岩井裕（京都大学）
  - 篠原和彦（FC-Cubic）
  - 大島伸行（北海道大学）
  - 徳増崇（東北大学）
  - 鈴木崇弘（東京理科大学）
  - 焦震鈞（東京大学）
  - 岸本将史（Imperial College）
  - オブザーバ（トヨタ自動車, 住友電工, オートモーティブ  
エネルギーサプライ, 日産アーク）

# 背景および目的

- あらゆる機器の実使用時の省エネルギーを実現するためには、動特性を含めた広い動作範囲での性能向上と低コストの両立が不可欠
- 低コストを実現する上での最大の鍵は出力密度の向上。つまり、あらゆるエネルギーデバイスは高出力密度・高エネルギー密度・大ダイナミックレンジに向かう
- 熱、物質、イオン、電子の輸送フラックス(流束)が増大するにつれて、物質とエネルギーの輸送過程における不可逆損失が増大
- 本研究課題では、この“大フラックス”場をターゲットとし、その“輸送過程”での不可逆損失の低減を目的とする

# 第一回委員会

日時:平成25年2月16日(土)14:00~17:00

場所:京都大学 東京オフィス

参加者:鹿園直毅(東大),長谷川洋介(東大),焦震鈞(東大),津島将司(東工大),鈴木崇弘(東工大),飯山明裕(日産),田淵雄一郎(日産),篠原和彦(FC Cubic),岩井裕(京大),井上元(京大),岸本将史(京大),荒木拓人(横国大)



# 第二回委員会

日時:平成25年4月20日(土)14:00~17:00

場所:京都大学 東京オフィス

参加者:T. V. Nguyen(カンザス大),長谷川弘(FC-Cubic),篠原和彦(FC-Cubic),鹿園直毅(東大),田淵雄一郎(日産),飯山明裕(日産),焦震鈞(東大),荒木拓人(横国大),井上元(京大),岩井裕(京大),鈴木崇弘(理科大),津島将司(東工大),オブザーバ(トヨタ,住友電工)

# 第三回委員会

日時:平成25年7月27日(土)14:00~17:00

場所:東工大キャンパスイノベーションセンター

参加者:菰田悦之(神戸大),篠原和彦(FC-Cubic),鹿園直毅(東大),田淵雄一郎(日産),飯山明裕(日産),荒木拓人(横国大),井上元(京大),岩井裕(京大),大島伸行(北大),鈴木崇弘(理科大),津島将司(東工大),オブザーバ(トヨタ)



# 第四回委員会

日時:平成25年12月10日(火)14:00~17:00

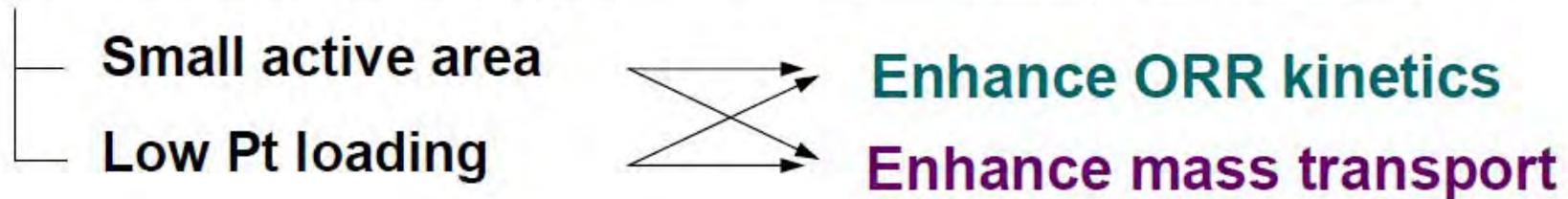
場所:京都大学 東京オフィス 会議室1

参加者:荒木拓人(横国大),飯山明裕(日産),田淵雄一郎(日産),井上元(京大),大島伸行(北大),大仲英巳(FC-Cubic),鹿園直毅(東大),篠原和彦(FC-Cubic),焦震鈞(東大),オブザーバ(トヨタ,オートモーティブエナジーサプライ,日産アーク)

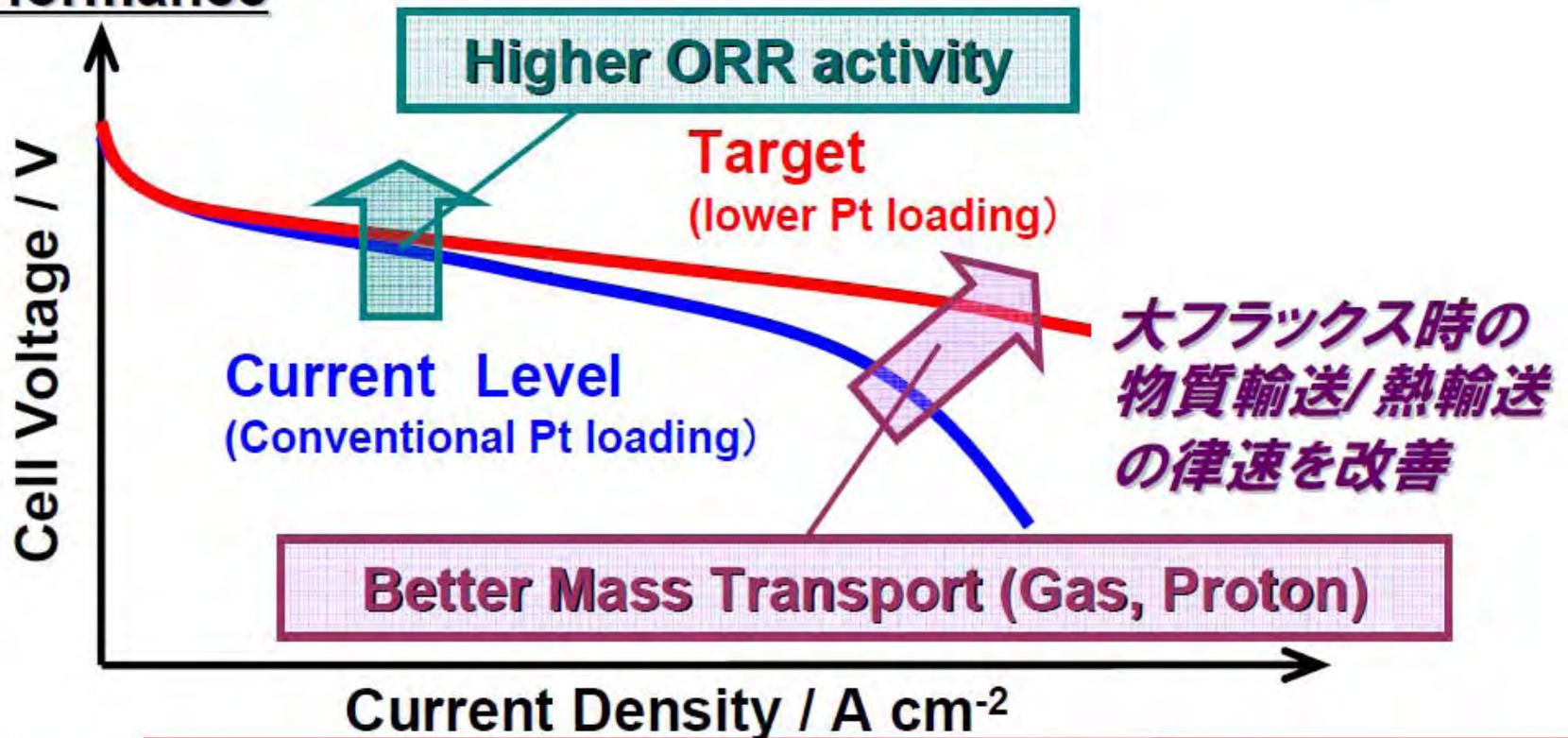
# Pt量低減のための方策

## ◆ Reduction of Pt Usage

→ Better I-V performance!



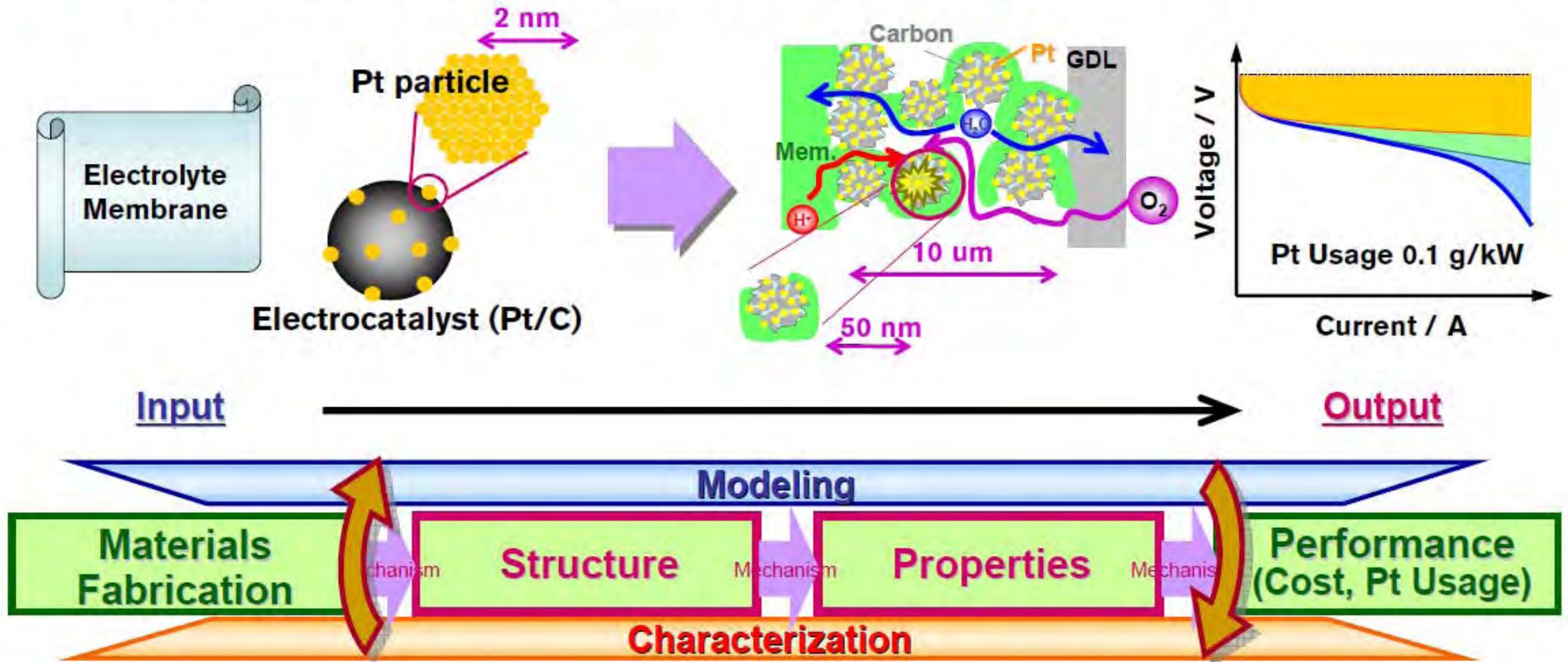
## I-V Performance



NISSAN

# マルチスケールの研究でブレークスルーへ

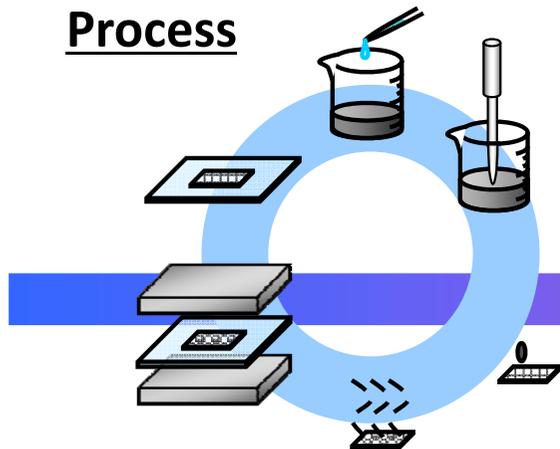
## ◆ How is MEA performance determined?



■ Reveal correlation from materials to performance via structure and properties by multiscale analysis.

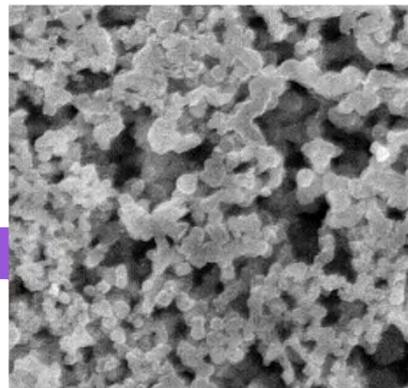
# プロセス・構造・性能をトータルに評価

## Process



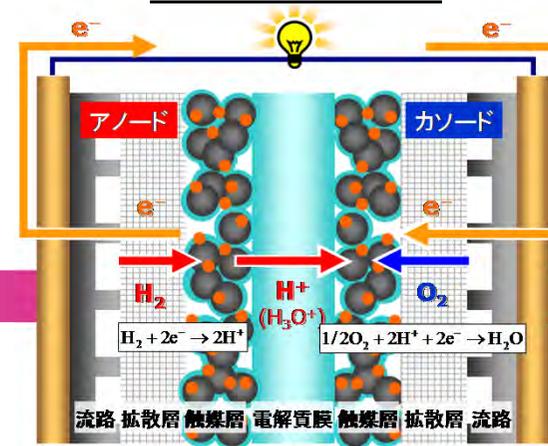
- ◆ 乾燥温度
- ◆ CLインク濃度
- ◆ イオノマーによるCB凝集効果
- ◆ CLインクの攪拌操作
- ◆ 部材の選定
- ◆ ホットプレス圧力
- ◆ インク塗布手法
- ◆ 粘弾性、沸点調整
- ◆ 多段階乾燥

## Structure



- ◆ 細孔形状
- ◆ 空隙率・屈曲度
- ◆ イオノマー被覆形状
- ◆ Ptの分布
- ◆ CBの凝集
- ◆ CB間接触抵抗
- ◆ CB内部細孔
- ◆ 傾斜構造

## Performance

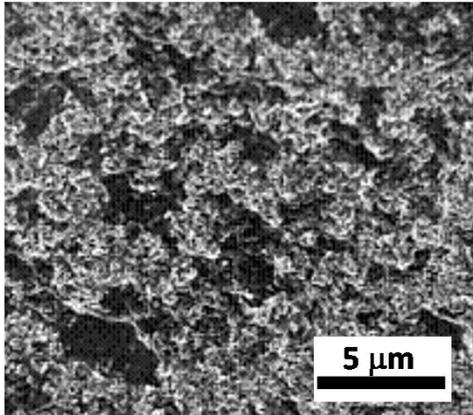


- ◆ 反応種存在分布
- ◆ 局所反応場
- ◆ 電流-電圧特性
- ◆ Ptあたりの反応量
- ◆ 部材の劣化
- ◆ 生成水の影響
- ◆ 温度分布
- ◆ サイクル特性
- ◆ 安定性

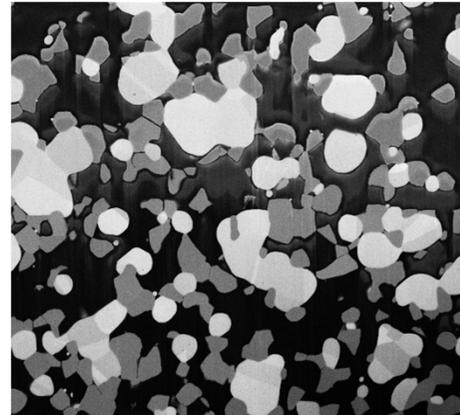
## 大フラックス環境における輸送現象の理解 & 実製造プロセスに基づく最適構造の実現

# 電極形成プロセスにおける熱技術

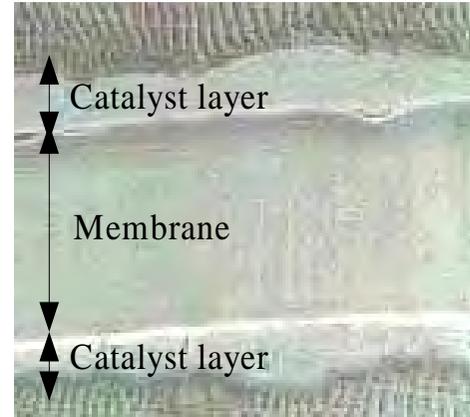
固体高分子形燃料電池(PEFC) リチウムイオン二次電池(LiB) 固体酸化物形燃料電池(SOFC)  
金属空気電池(Metal-Air) 電気二重層キャパシタ(EDLC) 次世代二次電池



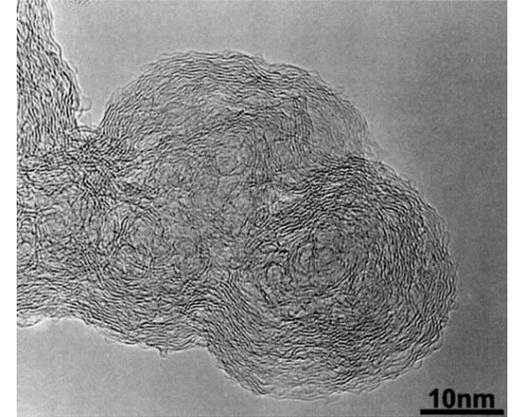
PEFC触媒層表面



Ni-YSZサーメット電極



PEFC膜電極接合体断面



カーボンブラックTEM像

## 塗布・乾燥

溶媒・溶質の流動,  
相変化, 偏析,  
割れ(クラック)形成

## 焼結

物質拡散, 反応,  
粒成長

## 加熱圧縮

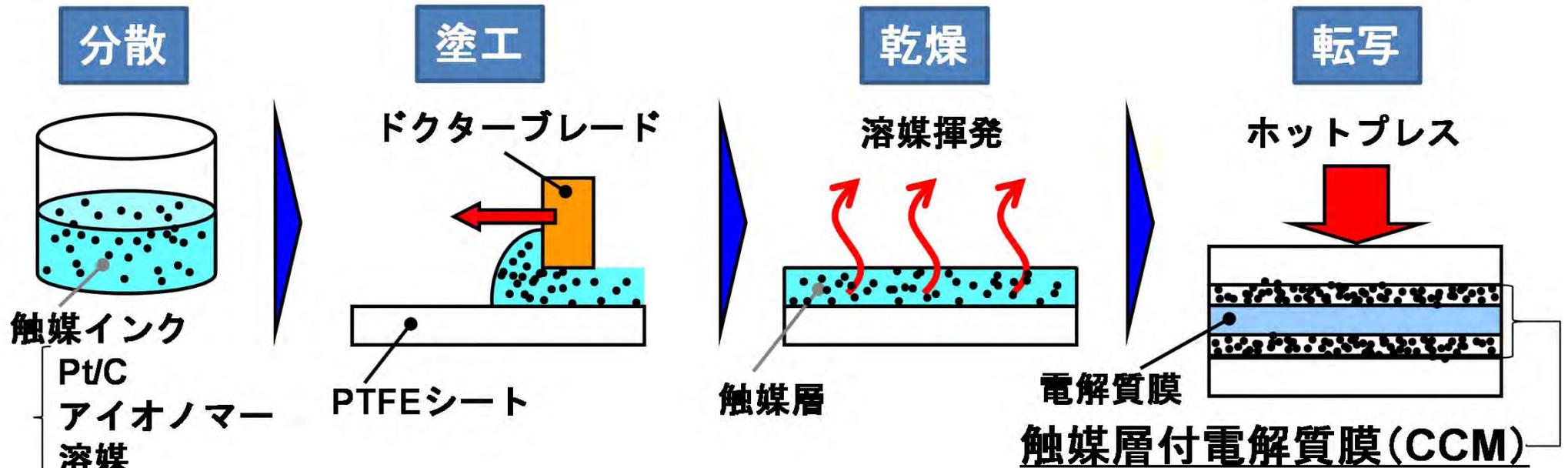
部材間界面性状,  
熱物性

## 前処理加熱

結晶化, 黒鉛化,  
不均化

熱技術

# PEFC触媒層の作製過程と伝熱現象

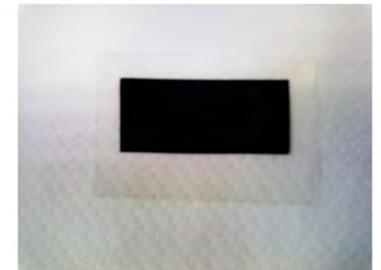
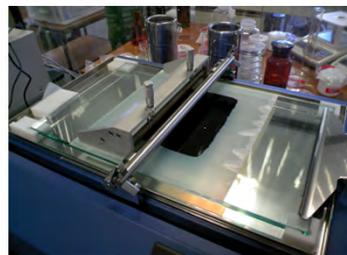


- ・固液二相(懸濁液)の混合・分散
- ・分散状態と熱物性(粘性)

- ・懸濁液のせん断・レオロジー挙動
- ・気液の界面現象

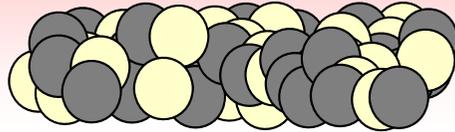
- ・懸濁液の蒸発・細孔形成
- ・ナノ・マイクロ粒子の凝集と堆積

- ・ナノ・マイクロ多孔場の熱変形・粒子/高分子接触界面の熱圧着

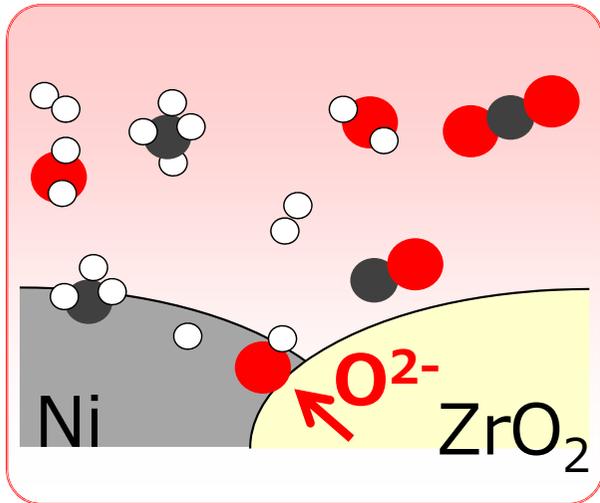


# SOFCの例

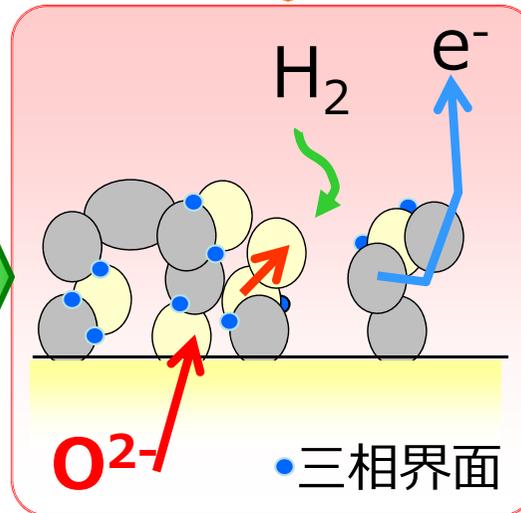
原料・グリーン体



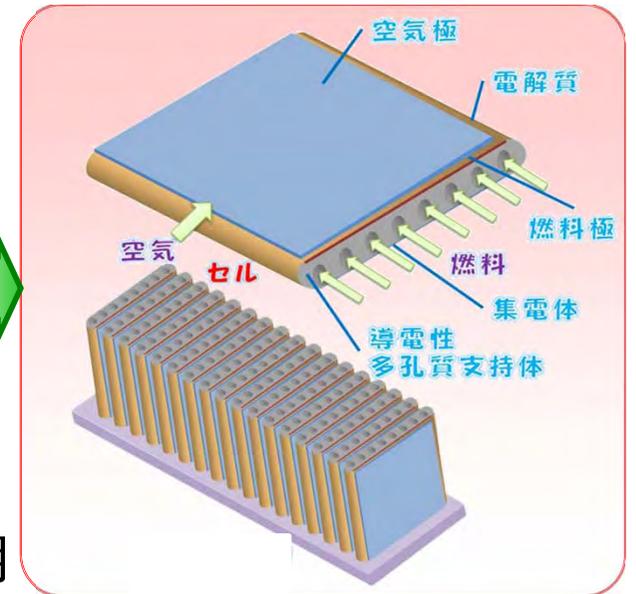
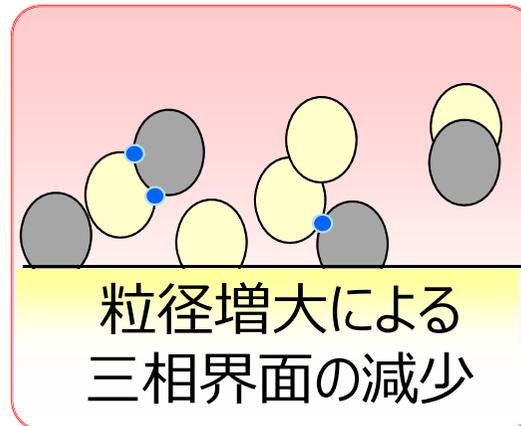
湿式プロセス・焼成・還元



ナノ・ミクロ

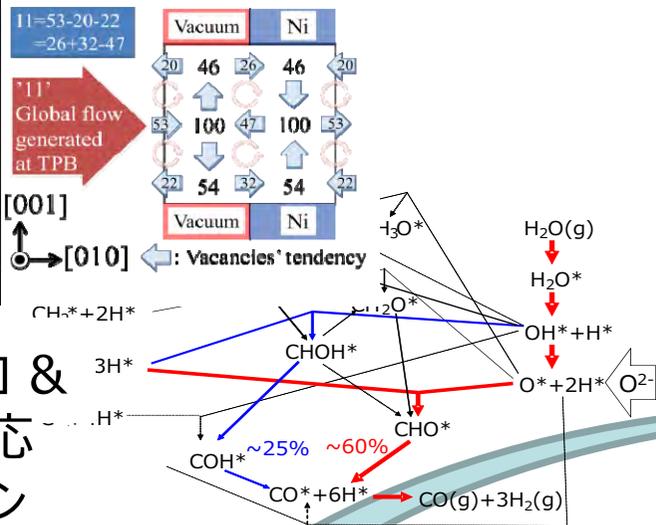
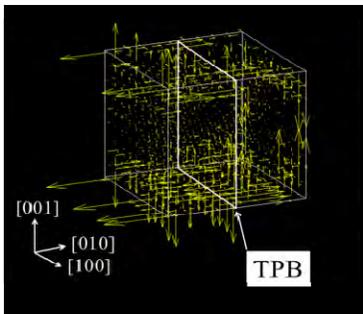


高温長期運用

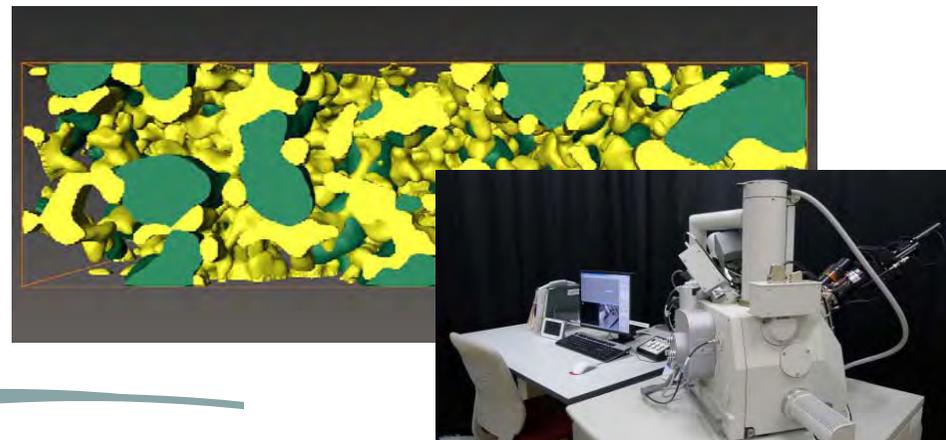


マクロ

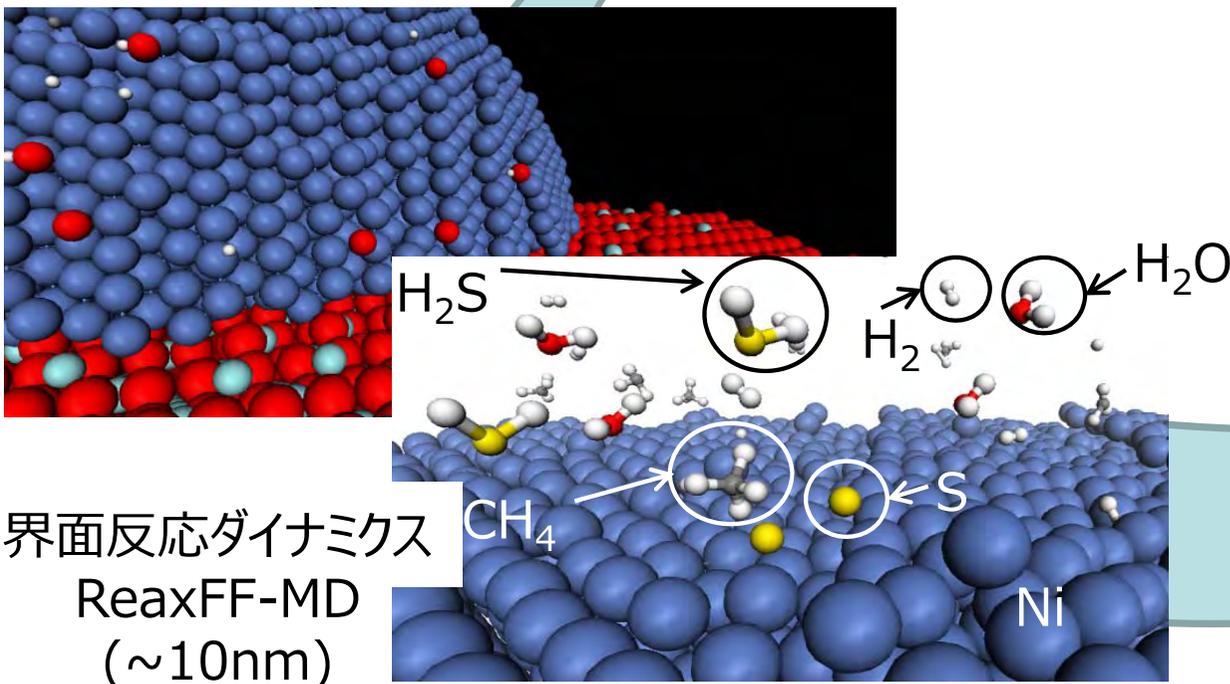
# SOFCにおける三相界面反応解析アプローチ



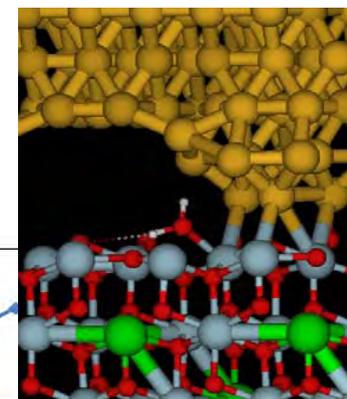
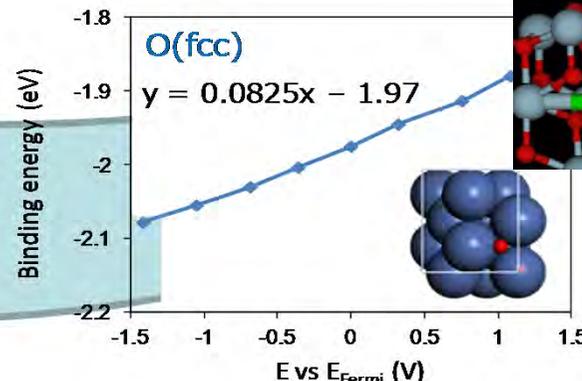
動的モンテカルロ & 電気化学反応シミュレーション  
( $10^{-2} \sim 10^0 \mu\text{m}$ )



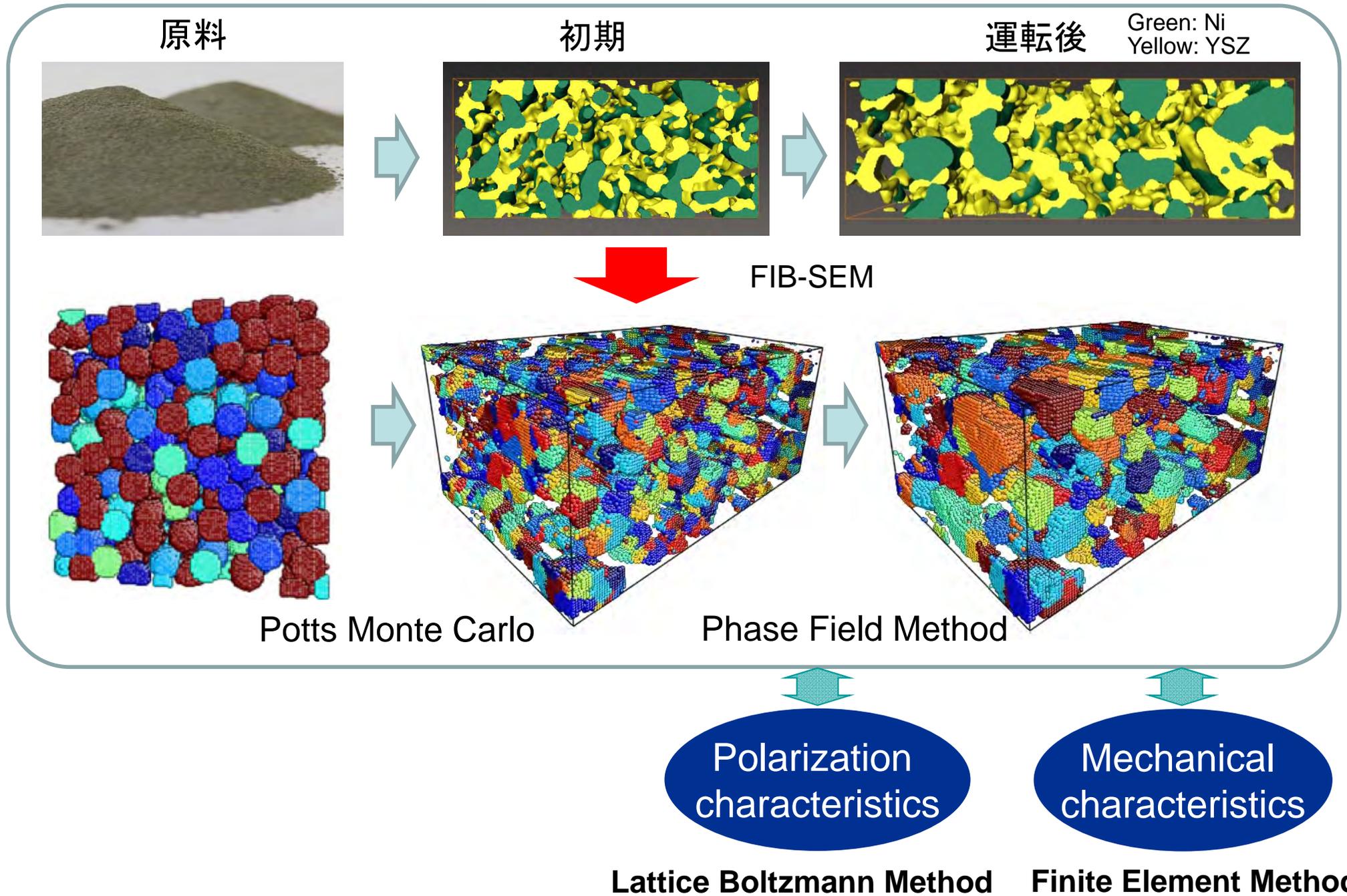
FIB-SEM再構築⇒格子ボルツマン法  
( $10^{-1} \sim 10^1 \mu\text{m}$ )



第一原理解析  
( $\sim \text{nm}$ )



# 製造プロセスから劣化特性まで



# Anode Sintering Experiment

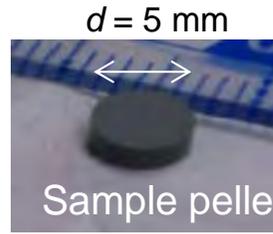
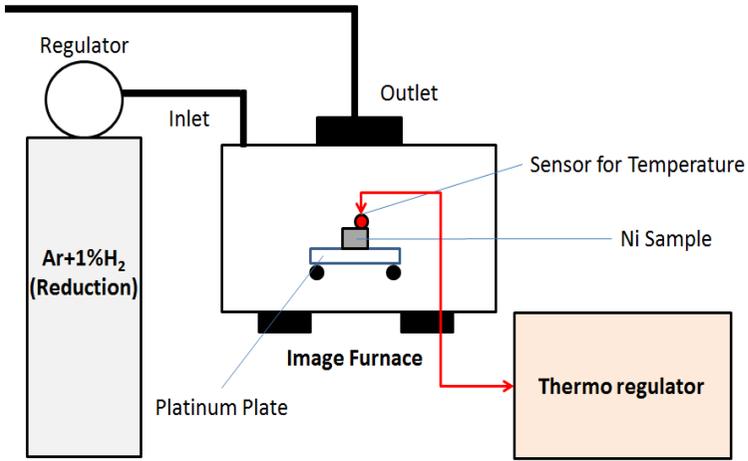
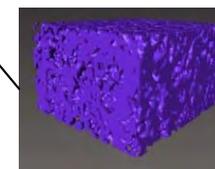
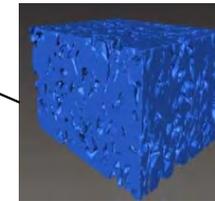
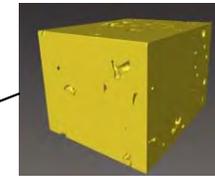
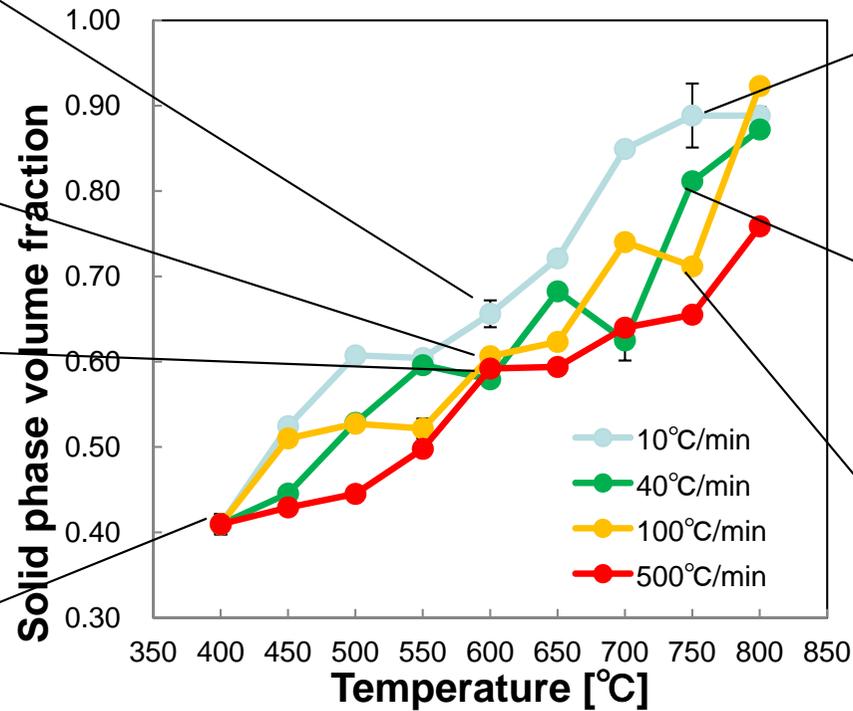
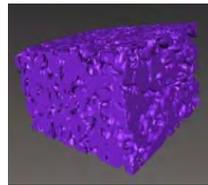
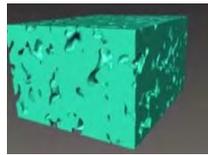
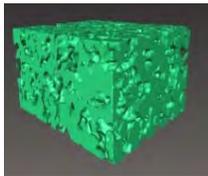
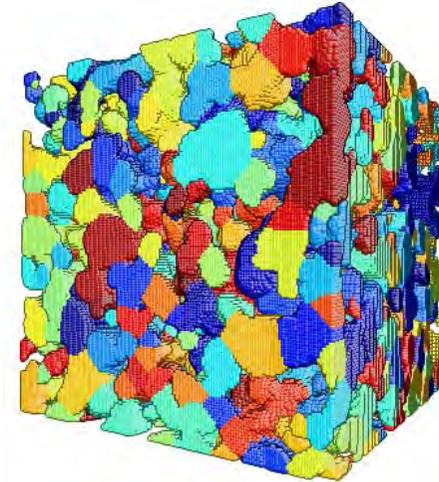
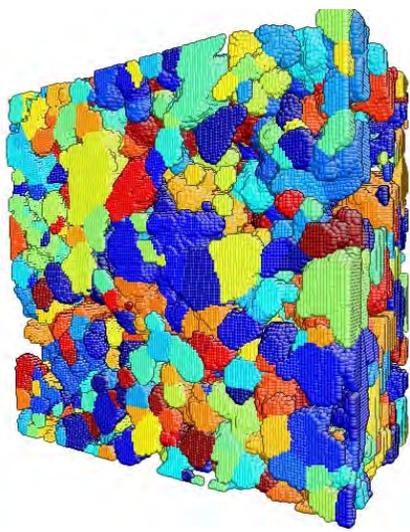


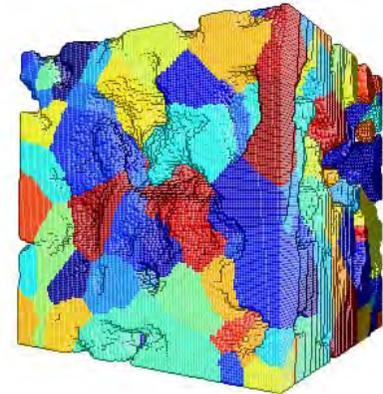
Image Furnace : Motoyama SVF-QP2-6



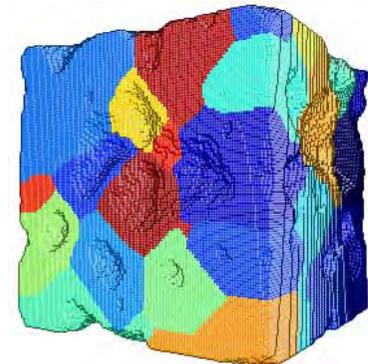
# 焼結による粒成長の予測



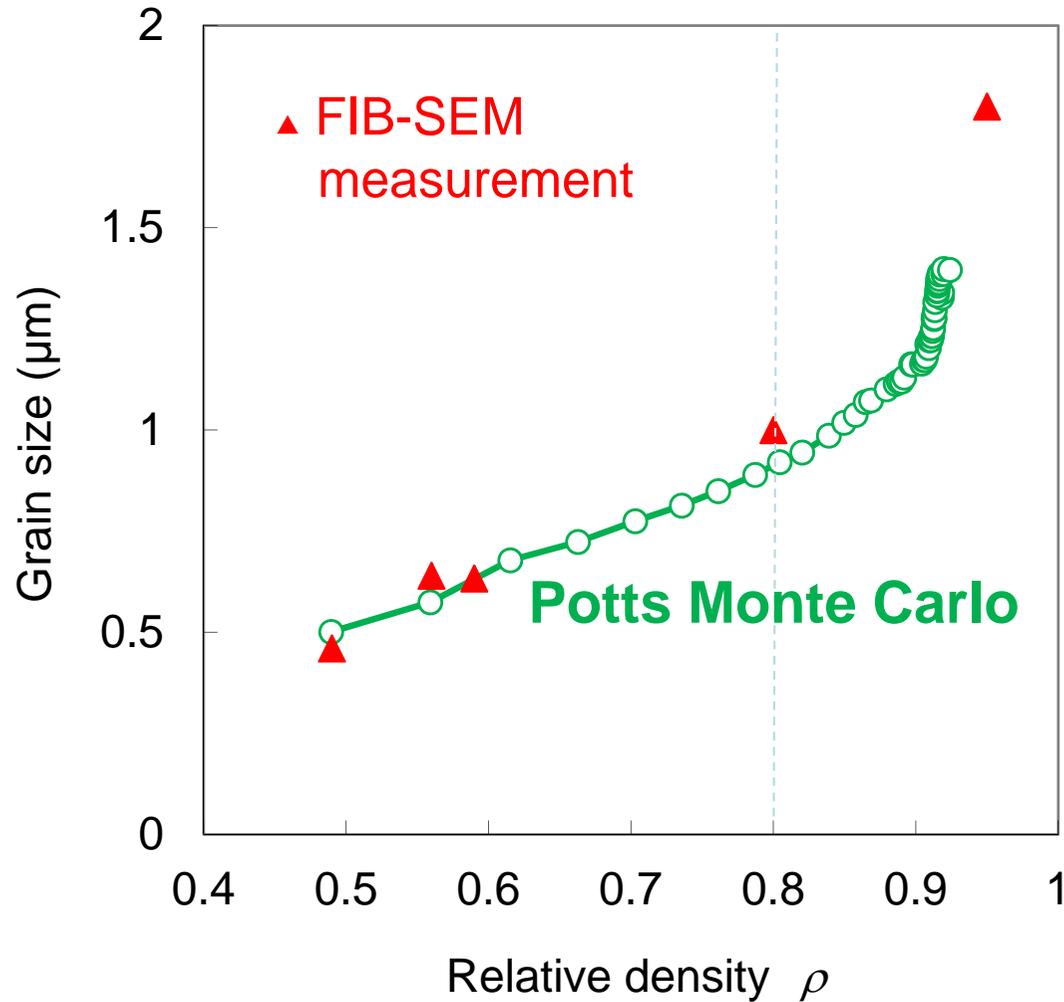
$\rho = 0.5$



$\rho = 0.8$



$\rho = 0.93$



# まとめ

- 大フラックス場において、顕在化する反応活性点への活物質の輸送現象の不可逆損失を低減させることが、様々なエネルギー機器の重要課題  
⇒そこでの輸送現象を解明し、物質とエネルギー輸送を促進するための学術を一層高度化する必要がある
- 最適構造の形成プロセスには、非常に多くの制御パラメータが存在し、その複合された結果として特性や機能が発現される。すなわち、形成プロセスから特性評価に至る一連のプロセスを一体として研究することが重要  
⇒混合、塗布、乾燥、焼結等の熱流動プロセスの素過程を解明するための基礎科学とともに、制御パラメータを最適化するための設計科学の革新が不可欠
- 新たな計測・シミュレーション技術の開発など挑戦的課題に満ちた研究領域が広がっており、輸送現象を基軸とする伝熱学会において横断的に取り組むべき研究領域である