

NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ報告会

NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ (FCV・HDV用燃料電池) 40年シナリオ

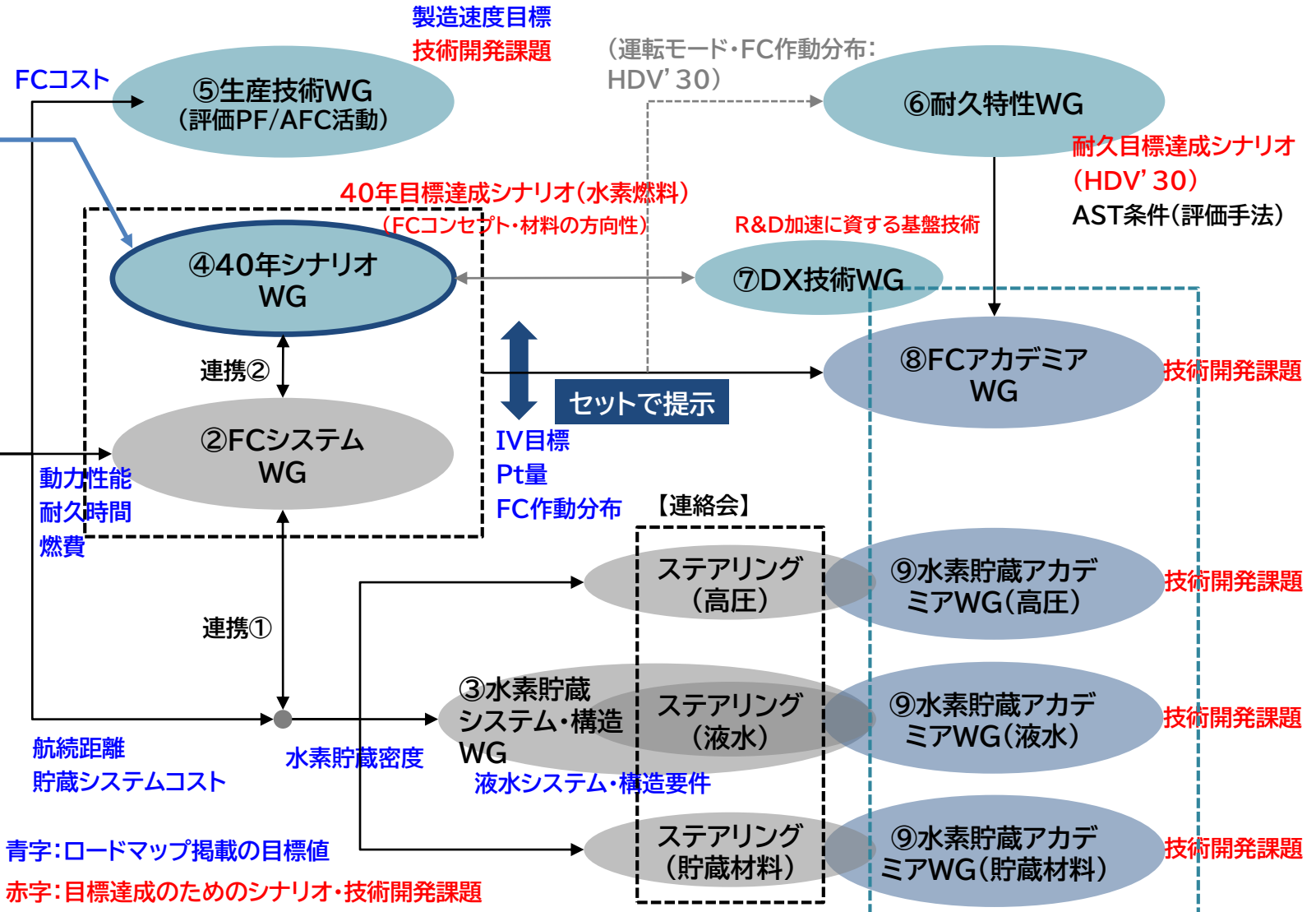
プレゼンター:辻庸一郎(FC-Cubic)、陣内亮典(豊田中央研究所)、冨中悟史(NIMS)
今井英人(FC-Cubic)、米田雅一(みずほリサーチ&テクノロジーズ)、葛谷孝史(豊田中央研究所)

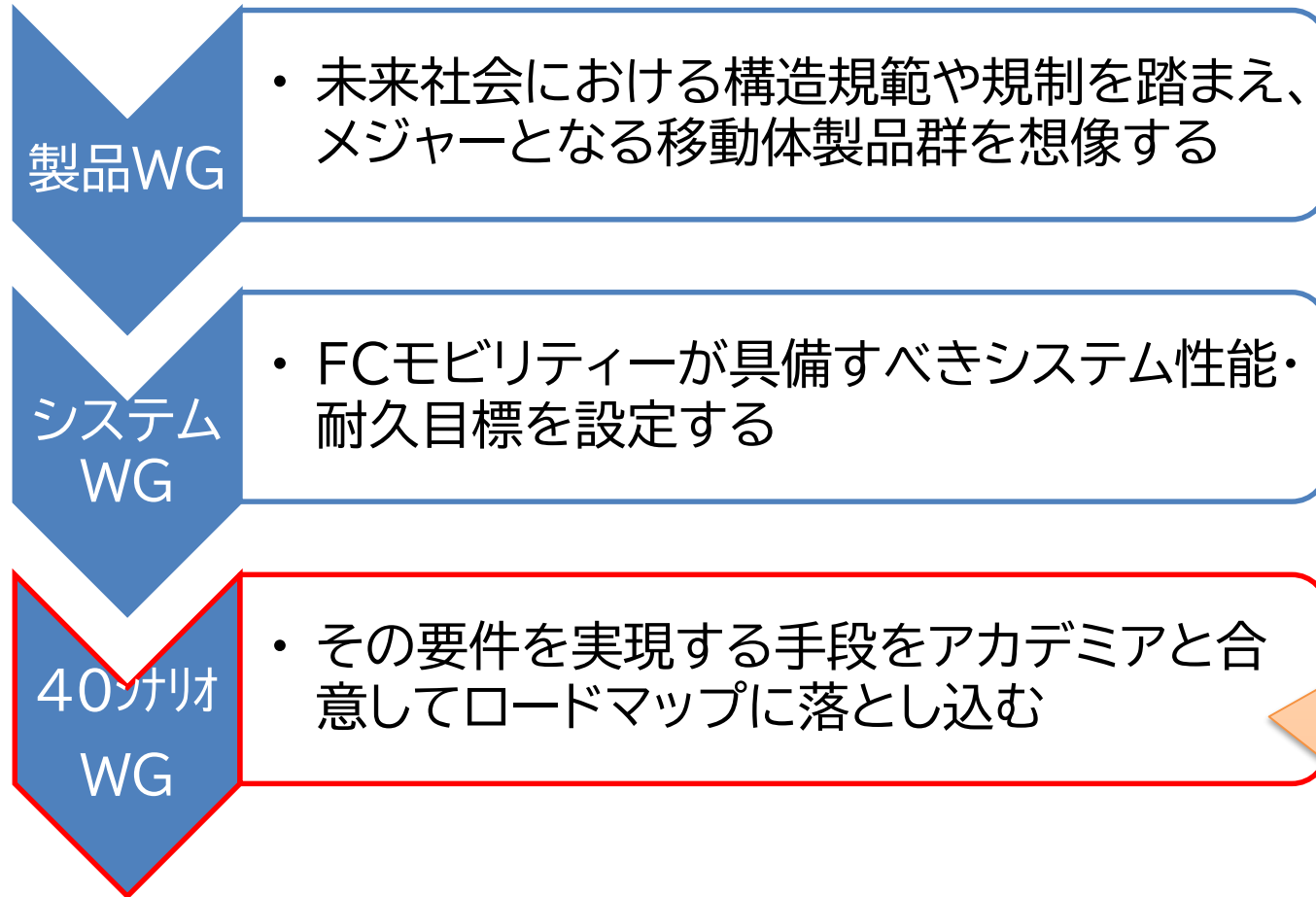
NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 燃料電池・水素室
(委託先)みずほリサーチ&テクノロジーズ

- 京都大学
 - 東京大学
 - 山形大学
 - NIMS
 - 豊田中央研究所
- 内本 喜晴
杉野 修
笠松 秀輔
富中 悟史
葛谷 孝史、長井 康貴、
陣内 亮典
辻 庸一郎、今井 英人
雨宮 一樹
米田 雅一、石田 純一

- 【FCアカデミア】
- 山梨大学
 - 東京都立大学
 - 九州大学
- 内田 裕之、柿沼 克良
川上 浩良
井上 元 【敬称略】

意見交換@合同mtg

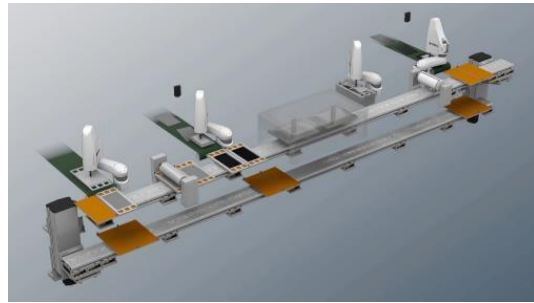




【例】

- シェアモビリティが発達した未来社会で、乗用車の使われ方は稼働率高いHDと同じになる予想(HDユースに絞込み)
- 高耐久化は必至且つ他のZEVパワートレインと比較して存続価値を出せる性能目標を考えると、例えば現在のPEFCのPt触媒系システムでは延長線上の改良だけで到達困難
- 新しい反応系含め、学理で成り立つ可能性のシナリオを複数検討し、将来研究ニーズとして明示する(定置型や水電解水素製造とも整合)
- 反応系、材料研究だけでなく、機構・現象解明(解析・計算科学)および、人材育成も織り込む

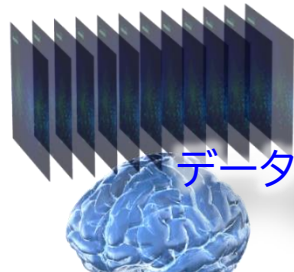
NEDO・経産省/JST・文科省にも精査頂き、水素分野の中長期的な産官学の研究開発ポートフォリオの参考にして頂く



生産
技術

革新
材料

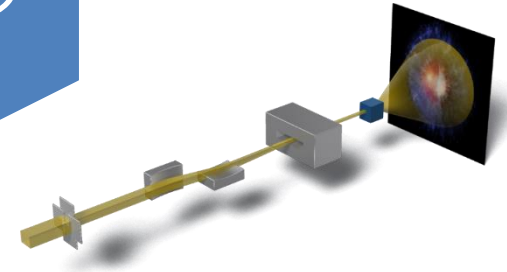
ロボ
ティク
ス



データサイエンス

DX

高度
解析



量子ビーム施設

人材
育成

計算
科学

ハード
ウェア



SPring-8



量子コンピュータ



 必要な技術

 技術に必要な武器

	現在	2030年頃	2040年頃
I-V要求性能(1セル)		BOL:0.77V@1.63 A/cm ² EOL:0.72V@1.76 A/cm ²	BOL:0.86V@2.29 A/cm ² EOL:0.81V@2.44 A/cm ²
作動最高温度 (FCスタック冷却水出口)	90-95℃	105℃	120℃
耐久性		50,000 h	50,000h
主要材料目標*1			
Pt目付量	0.17 mg/cm ² (空気極)	0.24 mg/cm ² (空気極0.20 mg/cm ²)	0.14 mg/cm ² (空気極0.12 mg/cm ²)
空気極触媒質量活性	500 A/g @80℃, 100%RH	1,740 A/g @80℃, 100%RH	39,000 A/g @80℃, 100%RH
電解質プロトン伝導率	0.106 S/cm @80℃, 80%RH 0.018 S/cm @120℃, 30%RH	0.12 S/cm @80℃, 80%RH 0.032 S/cm @120℃, 30%RH	0.15 S/cm @55℃~125℃, 12%RH
ガス拡散抵抗	67 s/m @80℃, 80%RH	28 s/m @80℃, 80%RH	26 s/m @80℃, 80%RH
2040年頃の目標達成に向けた技術開発課題			
材料系*3 (触媒)	<ul style="list-style-type: none"> ①現行原理の極限の貴金属触媒(単原子層、Volcanoの頂点) → 加速アイテム:計算による設計、MI、自律実験 ②新奇貴金属活性サイト(ハイブリッド化によるヘテロ界面サイト) → 加速アイテム:計算スクリーニング、MI、自律実験、局所構造計測 ③超低白金(アルカリ雰囲気(局所/大域含む))(単原子/数原子触媒活性サイト) ④非白金(酸窒化物等、貴金属に代わる新奇表面サイト) 		
(電解質材料)	<ul style="list-style-type: none"> ①随伴水を伴う膜の高度化(機能性補強層探索、薄膜化、作動域拡大*4) → 加速アイテム:膜化のPI、MI、計算予測、自律実験 ②随伴水を伴わない材料の膜化技術の検討 膜化技術のプラットフォーム化 → 超薄膜化、MEA製造技術におけるWEBハンドリング 		
(触媒層・MEA等)	<ul style="list-style-type: none"> ①触媒層、MEA、GDL、流路形成(セルレベル) → 加速アイテム:計算による設計、MI、PI、自律実験、局所構造計測 ②ラジカルエッチング → 加速アイテム:計算スクリーニング、MI、自律実験 新材料系触媒層、触媒層対応GDL/セルレベル検討 新材料MEA製造プロセス検討 新材料触媒層、GDL/セルレベル最適設計 新材料MEA量産技術開発 		
	<p>DX(各加速アイテム)による材料プロセス探索</p> <p>材料アイテム創生・データ蓄積</p> <p>DX早期活用による材料プロセス探索を推進、DX技術進展に伴いさらに材料プロセス探索⇔創生のサイクルを加速</p>		

材料

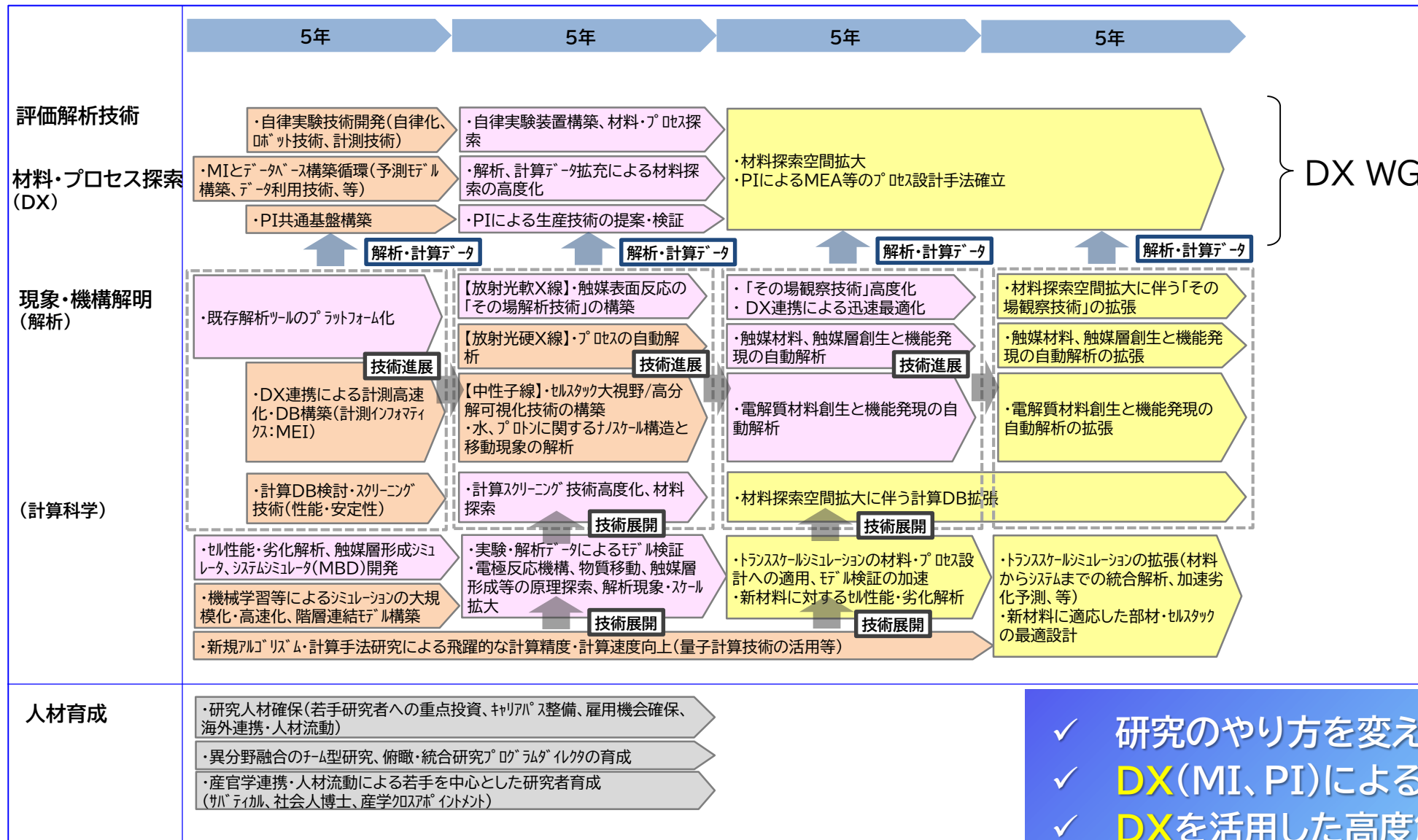
(注)材料のポテンシャルの科学的な理解を軸に分類、材料種を特定するものではない*5

生産技術WG

生産技術WG
DX WG

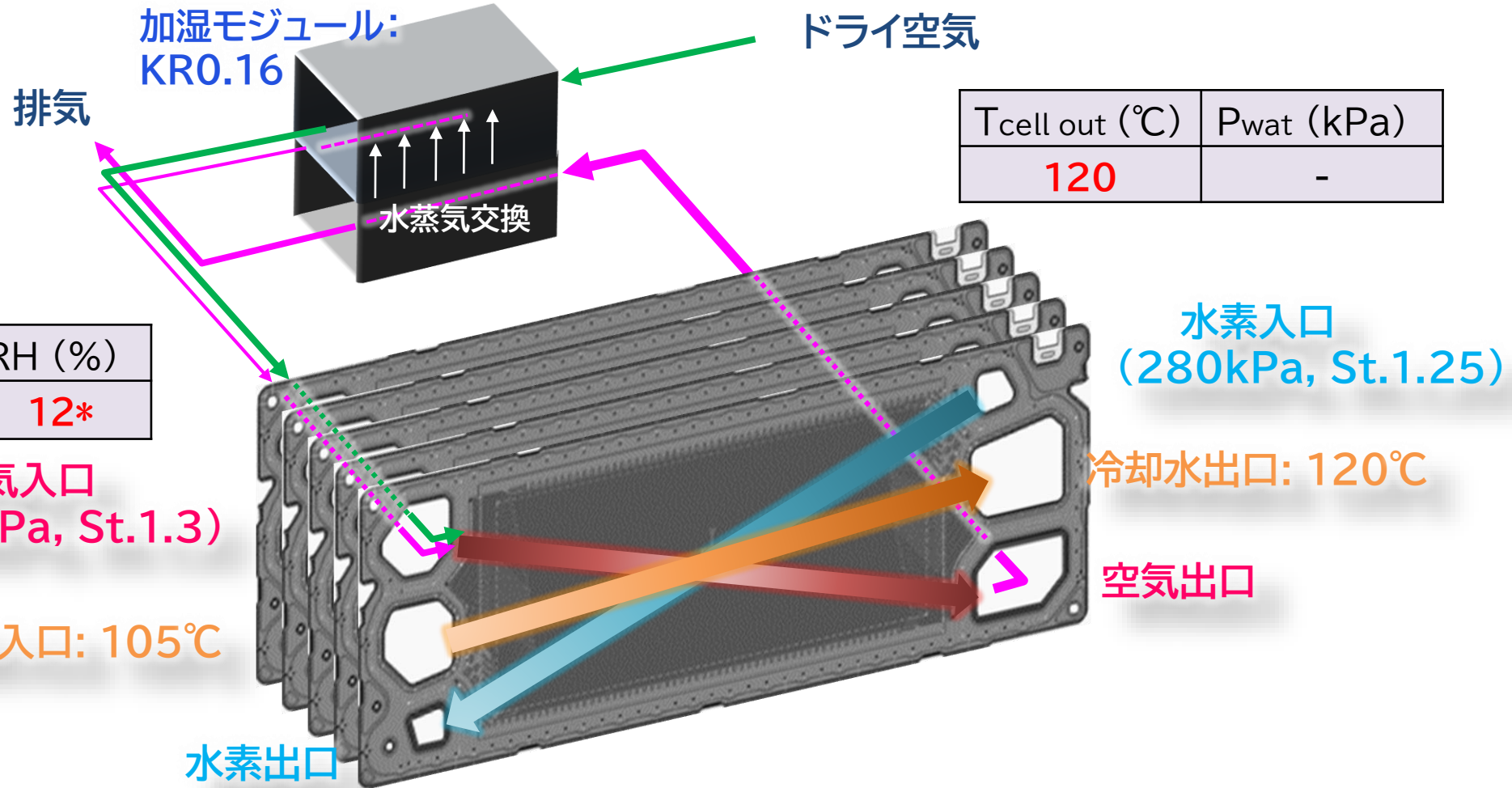
基盤技術

人材

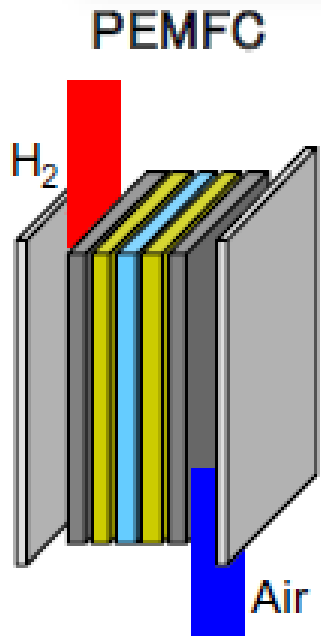


熱定格点 (120°C運転条件)	
電極面積 cm ²	293
動作点 A/cm ²	2.3
H ₂ St.	1.25
Air St.	1.30
※アノード循環あり	

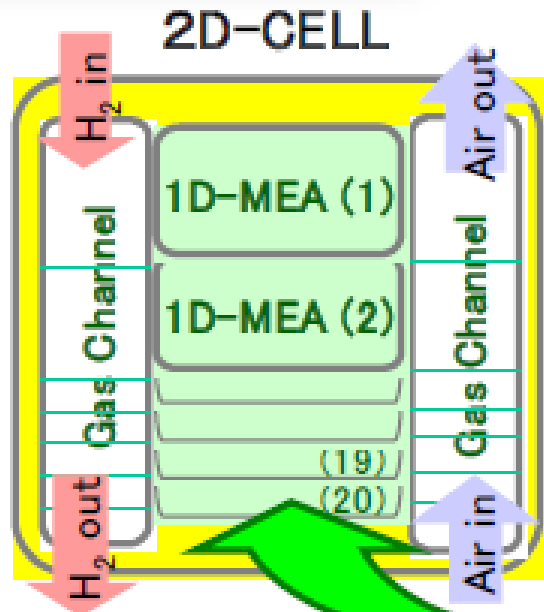
T _{cell in} (°C)	P _{wat} (kPa)	RH (%)
105	13.51	12*



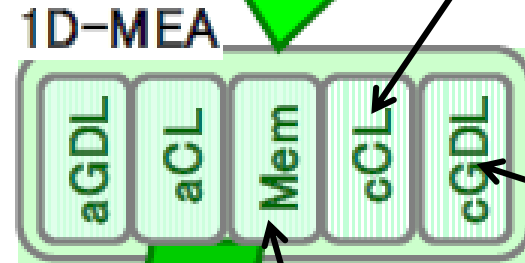
最高作動温度**120°C**@冷却水出口運転におけるセル冷却水入口(=空気入口)は105°C, 空気入口湿度は**12%RH***@105°Cと定義



=



Component models



0 z 1

【CL内反応】

$$j_{ORR} = (1 - \theta_{ox}) \left(\frac{p_{O_2}}{p_{ref}} \right) \exp \left[\frac{E_a^{ORR}}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] j_0$$

$$\times \exp \left[\frac{\alpha_c F}{RT} (\phi_{e^-,M} + \phi_{e^-,ORR} - \phi_{e^-,EL}) \right]$$

$$\theta_{ox} = \frac{1}{\exp \left[\frac{2\alpha_{ox} F}{RT} (\phi_{e^-,M} + \phi_{e^-,ox} - \phi_{e^-,EL}) \right] + 1}$$

【GDL/CL内移流・拡散】

$$v_G = -k_G / \mu \nabla P$$

$$0 = \nabla \cdot \mathbf{N}_i$$

$$\nabla C_i = \sum_j \frac{C_i J_j - C_j J_i}{D_{ij}^{eff} C_{total}}$$

$$\mathbf{N}_i = \mathbf{J}_i + C_i \mathbf{v}_G$$

【電解質内移流・拡散】

$$0 = \nabla \cdot \mathbf{N}_{wat,M}$$

$$0 = \nabla \cdot \mathbf{N}_{H^+,M}$$

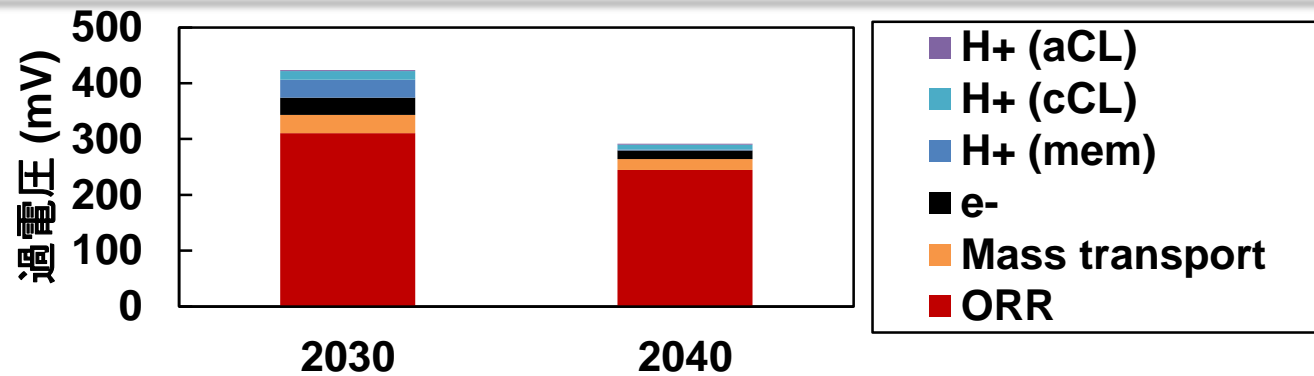
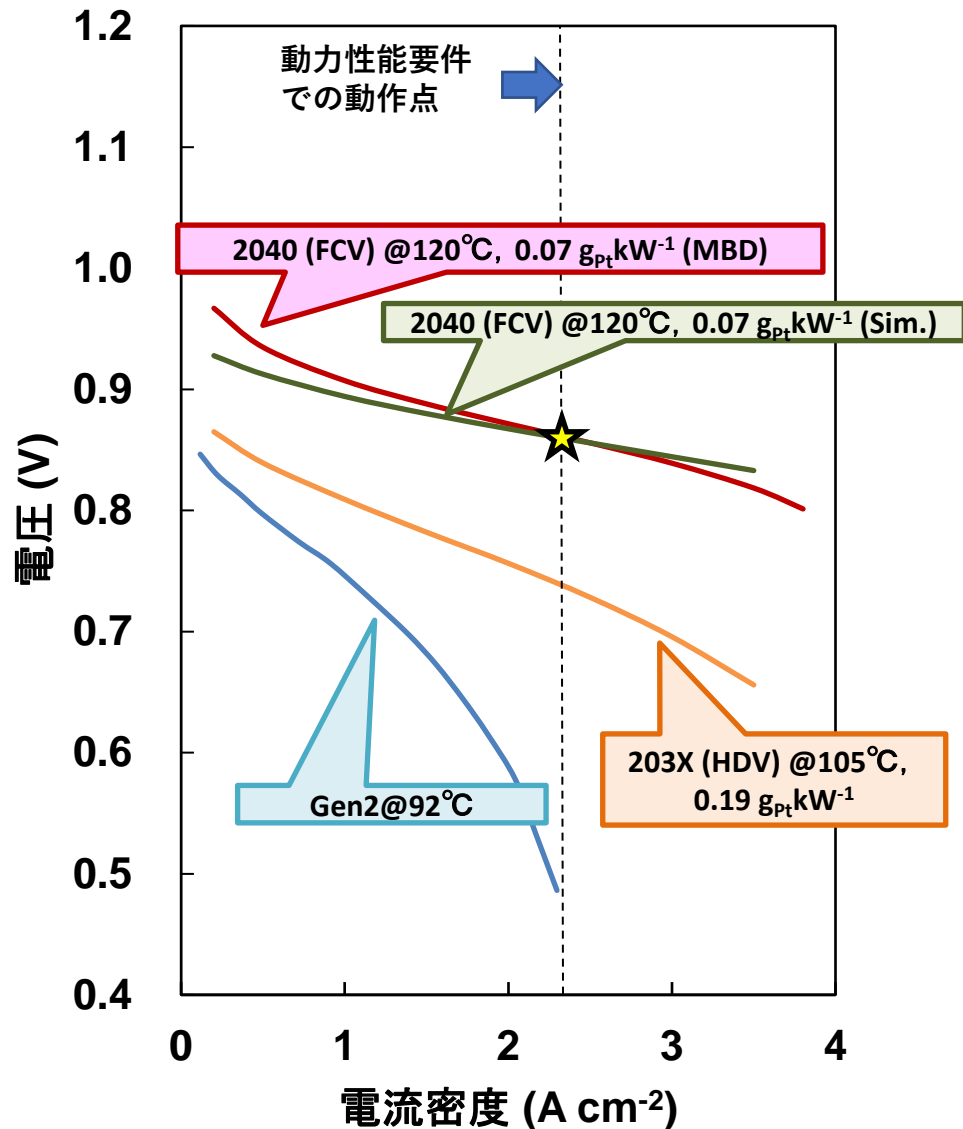
$$\mathbf{N}_{wat,M} = \xi \mathbf{N}_{H^+,M} - D_{wat,M} \nabla C_{wat,M}$$

$$F \mathbf{N}_{H^+,M} = -\kappa_{H^+,M} \nabla \phi_{H^+,M} - \kappa_{H^+,M} \xi \nabla \mu_{wat,M} / F$$

N. Nonoyama, *ECS Trans.*, 1613(2008)

膜直・流路方向の濃度・温度・電位分布を考慮し、GDL/CL内のガス拡散・反応、電解質膜内の水・プロトン輸送、電解質膜内のクロスリークを取り扱うマルチフィジクスモデルを利用

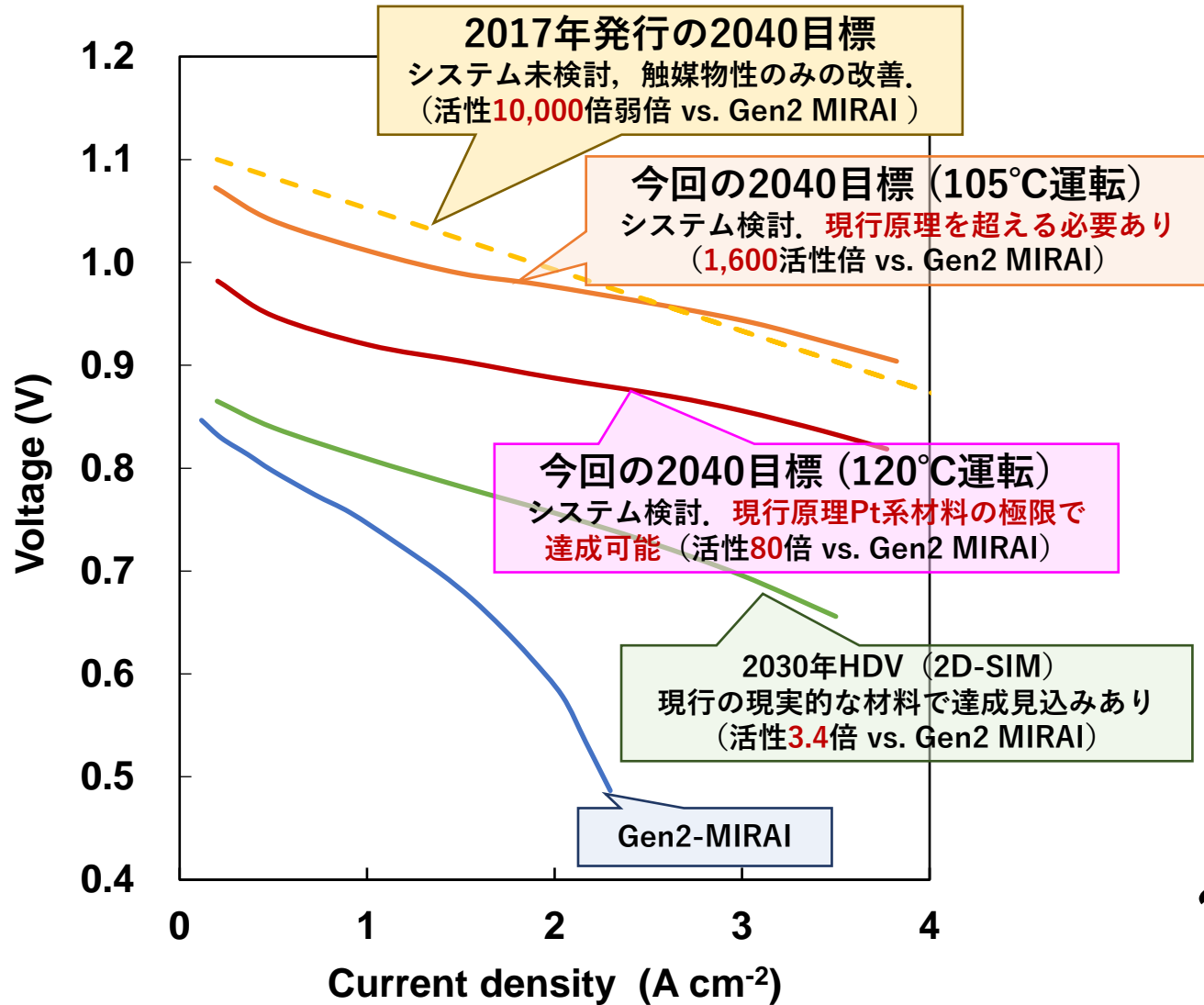
動力性能要件(2.3 A/cm²@BOL)にてMBDから提示されるIV目標を達成する



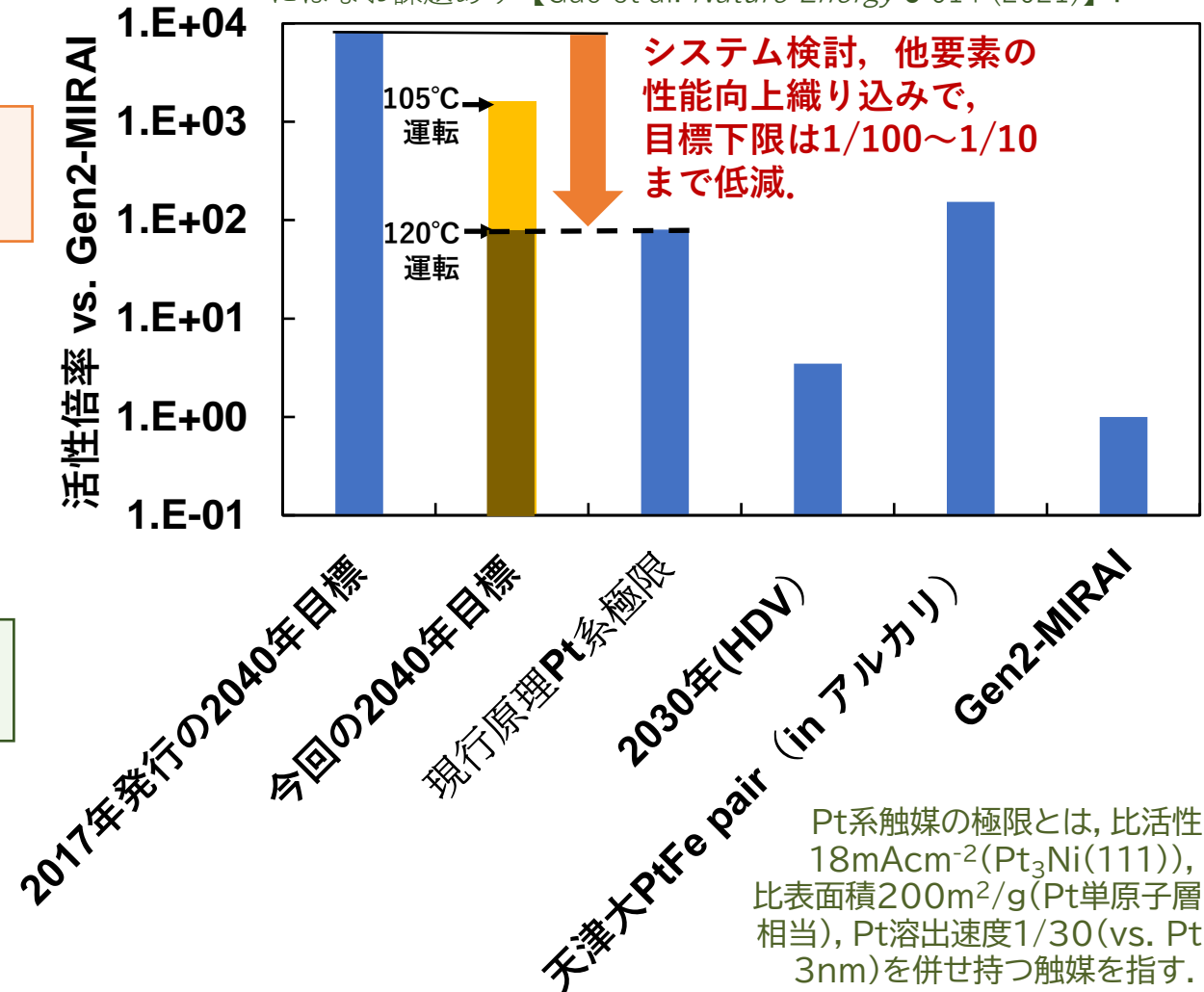
部材	物性	2030	2040
電解質膜	厚さ (μm)	8	1
	プロトン伝導率 (S/cm)	0.032 @120°C, 30%RH	0.15@55~125°C, 12%RH以上
	H2透過係数 (mol s ⁻¹ m ⁻¹ Pa ⁻¹)	8×10 ⁻¹⁵	4×10 ⁻¹⁵
空気極触媒層	触媒層厚さ(μm)	6	4
	Pt目付(mg/cm ²)	0.200	0.120
	質量活性 (A/g) @0.1 MPa _{O2} , 100%RH, 80°C	1,740	39,000
	プロトン伝導率 (S/cm)	0.032 @120°C, 30%RH	0.15 @55~125°C, 12%RH以上
	酸素輸送抵抗 (s/m)	10	8
	触媒溶出速度		×1/30 (vs. 粒子径3nmのPt)
空気極GDL	分子拡散抵抗 (s/m)	18	18

②触媒活性目標の位置づけ

2040年頃まで、①現行Pt系触媒の連続的進化と②新原理発見による不連続的進化、双方の多様なアプローチの参入を可能とするよう、現行Pt系触媒の極限(Volcano plotの頂点, 最大比表面積)の活性を目標の目安とする。

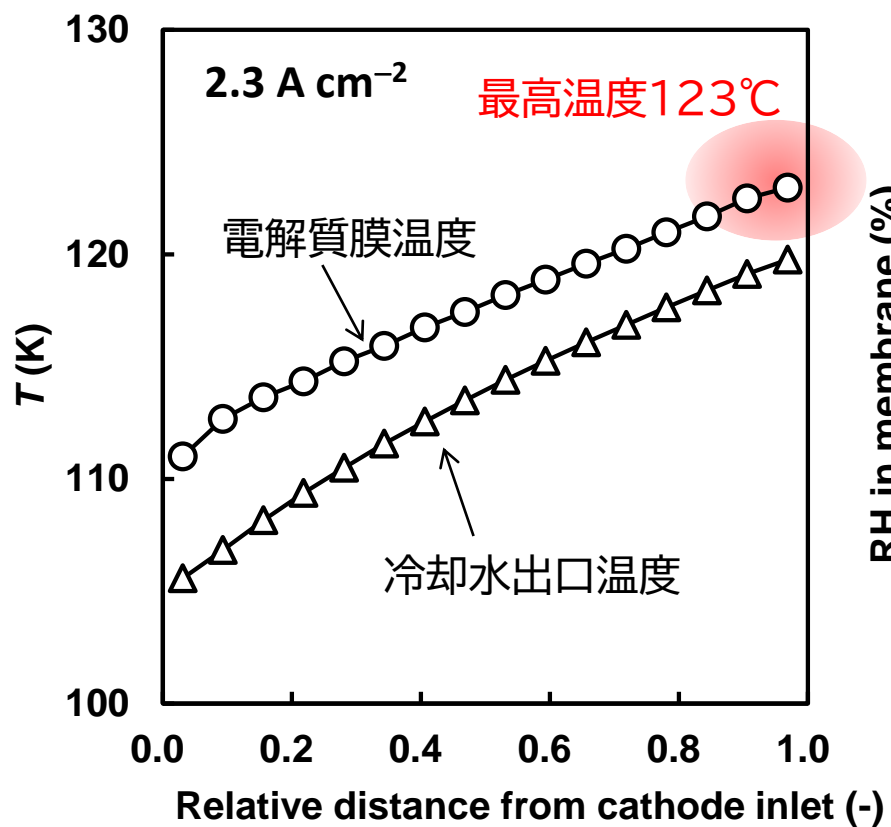


※天津大触媒はアルカリ中. 他機関での再現報告なく, 活性点密度にはなお課題あり【Gao et al. *Nature Energy* 6 614 (2021)】.

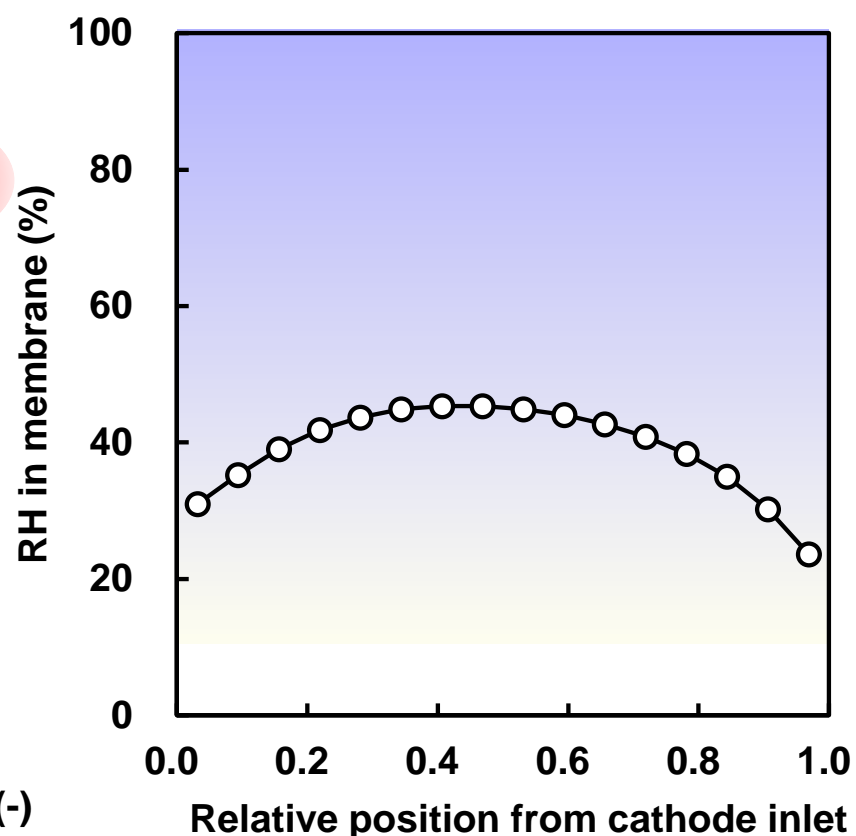


動力性能要件では、電解質膜最高温度は123℃. ただし通常走行時の冷却水出口温度70℃(空気極入口温度55℃)での燃費を担保するため、プロトン伝導率 0.15 Scm^{-1} を実現する温度を55~125℃に設定. 湿度は12%RH以上とする. 55℃以下の温度に関しては、起動システムに依存するところもあり、以後の検討事項とする.

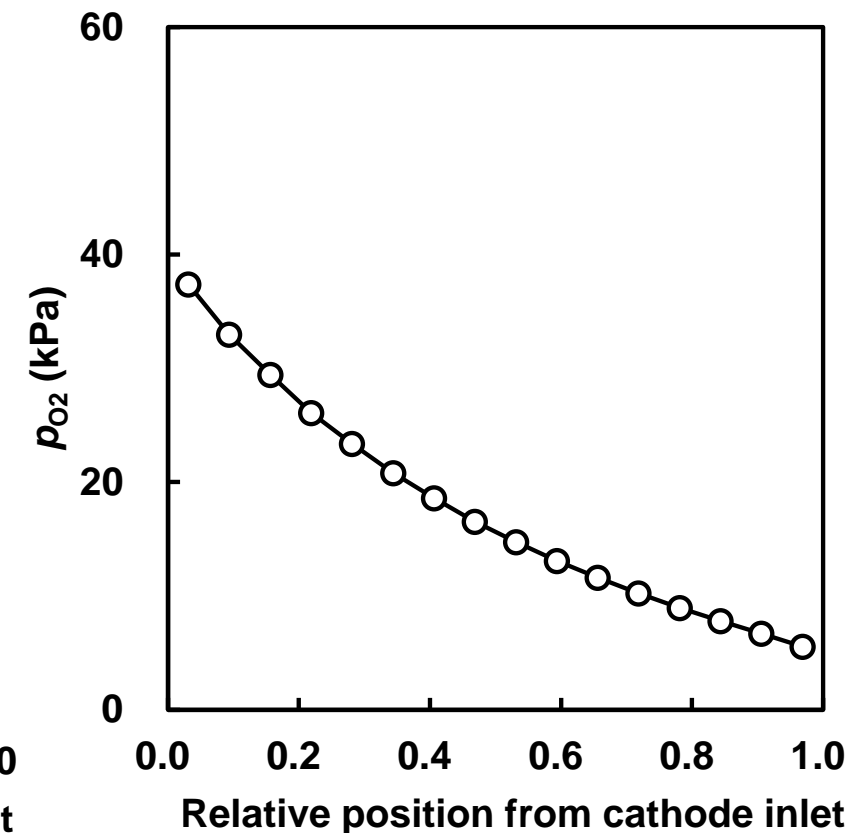
【温度分布】



【電解質膜平均で相对湿度分布】



【酸素分圧分布】



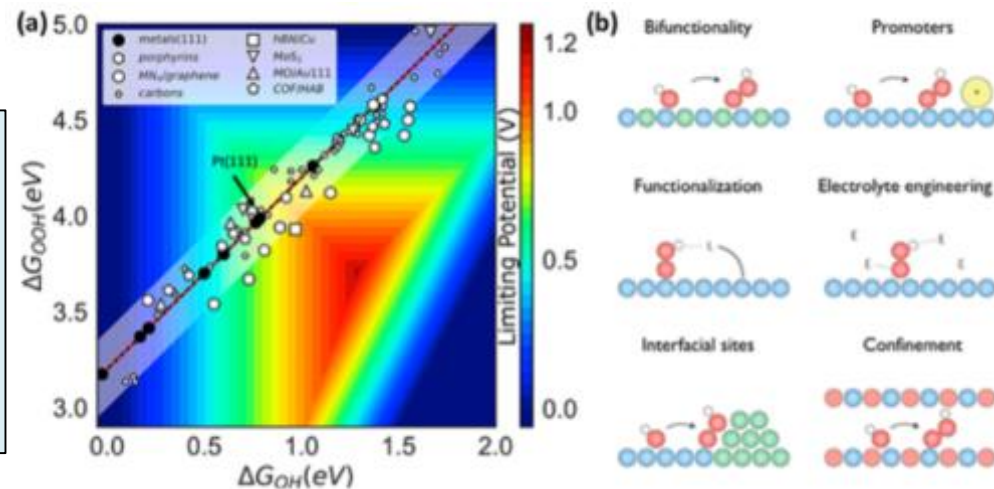
1. システム側からの必要条件をもとにロードマップの軸となる主要材料の整理（他の部材も必要だが検討開始時期が主要材料に連動するため詳細は割愛）
2. 可能性のある材料系の現時点での案の提示（排他的なものではない）
3. 個別の物質・材料にフォーカスせずに、材料のポテンシャルの科学的な理解を軸に分類
4. 加速アイテムを整理

触媒材料: スケーリング則をいかに脱するか

前提:

- ✓ 過電圧分離から、1桁以上の活性向上が必要(>70 mV)。
- ✓ 報告例のある既存触媒ベースでは2030年目標が限界と判断。
- ✓ 伸びしろは大きいが既存の触媒とは異なる開発が必要。

現行技術からの開発要素の新規度

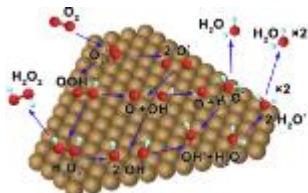


貴金属

(2030年目標技術の発展)

Pt単原子層化(究極の比表面積化)と電子状態最適化でPtの極限を狙う(質量活性~68倍 vs Gen2 Mirai)。

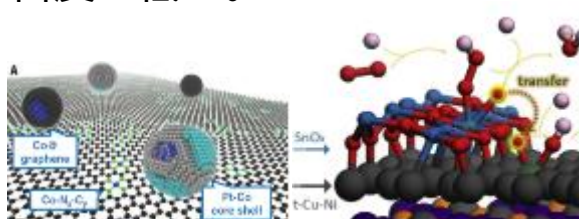
更なる伸びしろとして、電解液側の制御, 表面修飾で吸着中間体ごとの安定性を変化。



Chem 2019, 5, 1486-1511

ハイブリッド

異なる触媒サイトを分子レベルで近接させ、スケーリング則の支配を脱する可能性。活性点密度は低い。

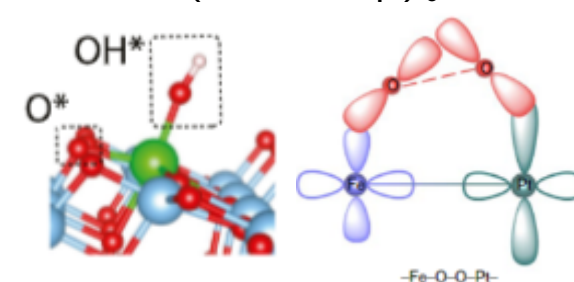


Pt合金+カーボンナノロッド Pt合金+酸化物

Science 2018, 62, 1276-1281
J. Am. Chem. Soc. 2019, 141, 9463

非白金、超低白金

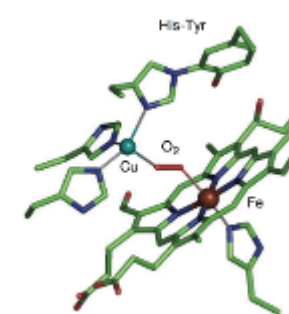
酸化物などの表面を利用し、中間体の吸着を適した状態を構築。世界最高活性が報告されている(アルカリ中)。



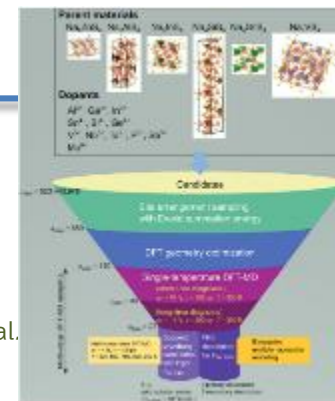
J.Phys.Chem.C2019, 123, 19486
Nature Energy 2021, 6, 614

錯体・シングルアトム触媒

Cyt c oxidaseのような理想的な活性サイトを追求。FCV用の大電流化と耐久性が課題。



Inorg. Chem.2010, 49, 3567-3572



Seong-Hoon Jang et al.
Adv. Energy Mater.
2206036 (2022).

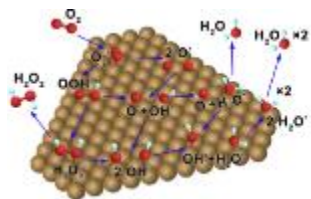
検討数 vs 検討範囲の技術的なロードマップが必要:

- ✓ DX技術が必須(MI、計算、自動自律実験を含む)
- ✓ 計算は検討範囲を狭めるスクリーニング技術が重要
- ✓ 検討可能な数の飛躍的増加のための技術も重要

貴金属 (2030年目標技術の発展)

合金の検討×表面形成
×電解液(など)

という検討の場合の数を想定。
3x用の検討で前2つが固定できれば探索空間は1次元(数百個規模?)か。

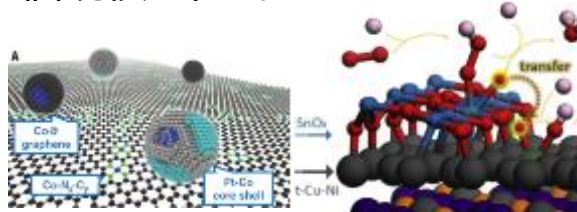


Chem 2019, 5, 1486-1511

ハイブリッド

合金の検討×助触媒
×ハイブリッド条件

という検討の場合の数になる。
3x用の検討で前2つが固定できれば探索空間は1次元(数百個規模?)か。



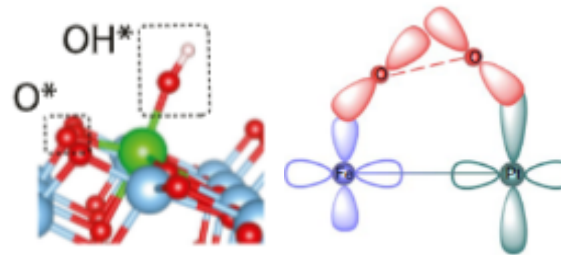
Pt合金+カーボンアロイ
Pt合金+酸化物

Science 2018, 62, 1276-1281
J. Am. Chem. Soc. 2019, 141, 9463

非白金、超低白金

母相表面×表面サイト
×電子伝導

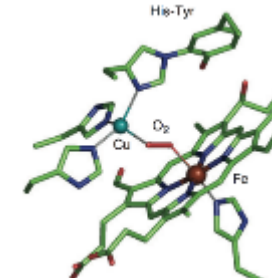
の3つの次元が必要か。前者2つが活性サイト、それに加え、金属的な電子伝導が自明ではないため、伝導性の検討の軸も重なって来る。



J.Phys.Chem.C2019, 123, 19486
Nature Energy 2021, 6, 614

錯体・シングルアトム触媒

計算でのシミュレーションでの候補材料のスクリーニングが現実的か。分子系材料の場合、有機合成が必要か、販売されている分子で検討できるかで実験の時間は大きく異なり、探索範囲も限定されてしまうため、計算の主導が望まれる分野。



Inorg. Chem. 2010, 49, 3567-3572

個々の材料の研究より、3x技術が発展しきるまでは、検討数/検討範囲を向上させる戦略の先鋭化が重要か。

電解質膜材料：伝導メカニズムの想定をクリアにした開発が必要

前提：

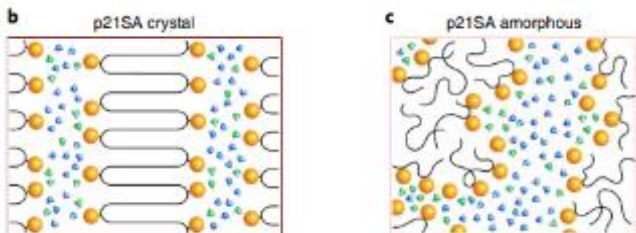
- ✓ 過電圧分離から、数十mV程度の伸びしろが存在。
- ✓ 膜厚1 μm 程度がターゲット(~ 40 mV向上)。機械強度が確保できる限り、薄膜化で抵抗は低減。水管理でも有利。
- ✓ 既存技術ではガス遮蔽性と抵抗値が膜厚でトレードオフ。

プロトン伝導体はメカニズムの視点から2つのタイプに分類。既存の膜はType 1であり、随伴溶媒(水)を必要とするものであり、100 $^{\circ}\text{C}$ 以上での利用を目指すには、検討方向は以下の2つが主要なもの。機械的強度は共通課題。

現行技術からの開発要素の新規度

Type 1

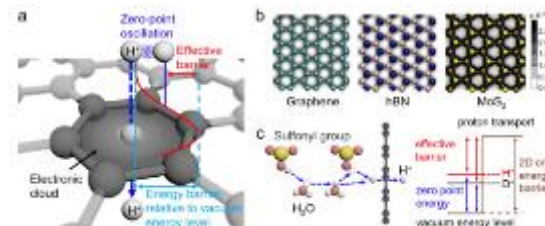
- 溶媒の検討(高沸点、溶出無し)
- 保水性向上(120 $^{\circ}\text{C}$ でも保水)
- イオンチャネルの屈曲度の低減



Nature Materials 2018, 17, 725

Type 2

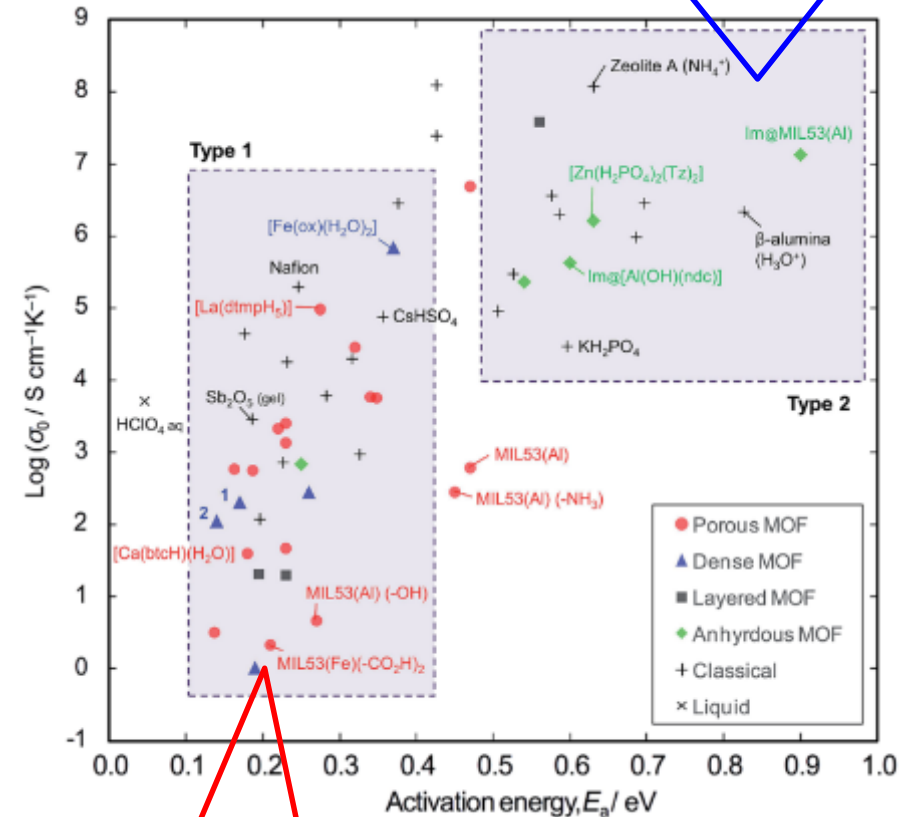
- 膜化技術の検討(量子篩効果やグロツタス機構による伝導材料の薄膜化)
- プロトン選択性がType 1より遥かに高いため薄膜化が原理的に有利(強度は除く)。
- MEA設計や加湿システムへ大きな変化



J.Phys.Chem.Lett.2021, 12, 12376

Type 2

- プロトンとガスの選択性が高い
- ×膜化しにくい
- ×抵抗が高い(高温化に強い)



RSC Adv., 2014, 4, 54382-54387

- ×プロトンとガスの選択性が低い
- 膜化しやすい
- 抵抗が低い(水の蒸発域に弱い)

Type 1

既存の膜はこの領域

電解質膜(AEM): 系が変わる材料アイテムの一つ

検討の位置づけ:

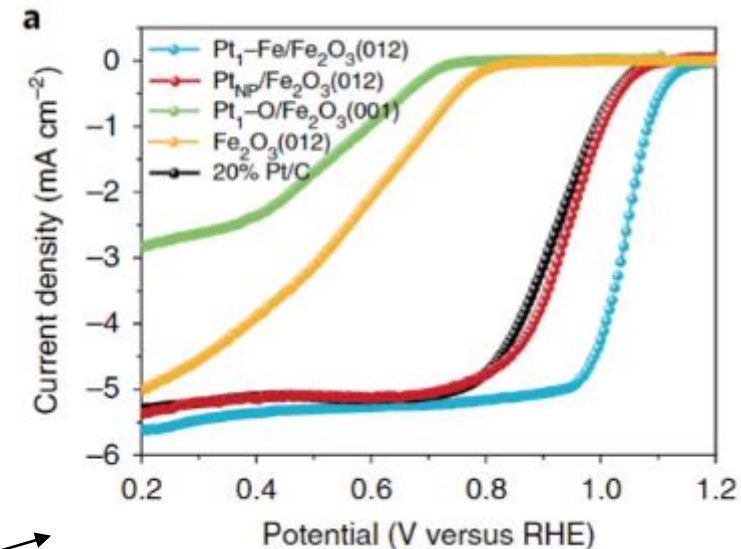
- ✓ 現行システム(純水素PEM)との材料の視点からの技術的比較
- ✓ セル性能の伸びしろの包括的な理解。
- ✓ 脆い材料を電解質膜として利用する革新的な技術が共通課題か。アカデミックな興味のみを追求した研究だと加速されにくいテーマ。
- ✓ 膜単独での視点ではなく、全体を俯瞰して改善の検討も必要か。

AEMのメリット(対PEM)

- 触媒材料の高い元素自由度
- ORR触媒の高活性(世界最高活性もアルカリ性で報告)
- 耐酸性材料が不要
- 水電解の分野での利用(開発の相乗的な加速が可能)

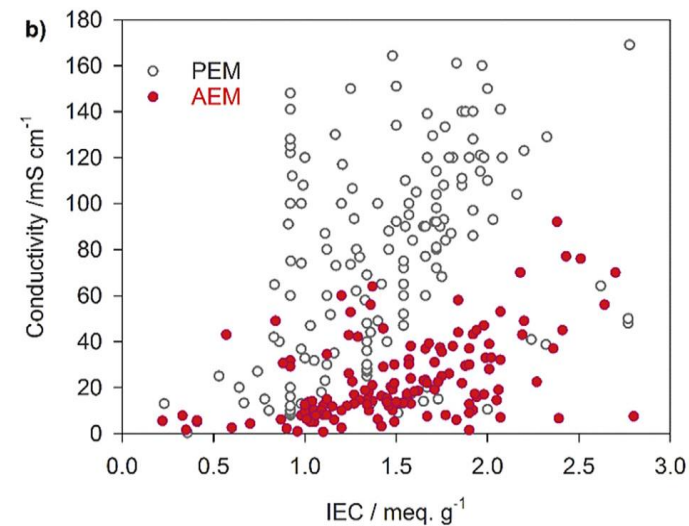
AEMのデメリット(対PEM)

- PEMの1/2~1/3以下の低イオン伝導率(活性化エネルギーが高い)
- 第四級アンモニウム不安定性(検討例は蓄積されてきたのでMI研究?)
- 機械的に脆い(薄膜化が難しい)
- HOR触媒の低活性
- CO₂除去が必要(システム課題)
- 水管理のシステム設計から再検討が必要(システム課題)



Nature Energy 6 (2021) 614-623

イオン伝導率のPEMとAEMの比較



J. Power Sources 375 (2018) 170-184

部材(触媒層、MEA、集電体、ラジカルクエンチャーなど)

これらのアイテムは触媒材料や膜材料の特徴に大きく依存するため、3x用の検討データや知見の蓄積をもとに、系が大きく変わった場合にも迅速に最適化が行える技術の醸成が優先課題と言える。

触媒層

- 触媒や担体の変更によりガス拡散性や濡れ性などが全く異なる可能性があるため最適な状態を予測するシミュレーション技術や最適化プロセスを可視化する計測技術、データの解析を迅速化するMI技術などを準備しておくことで、新材料の産業利用を迅速化する。

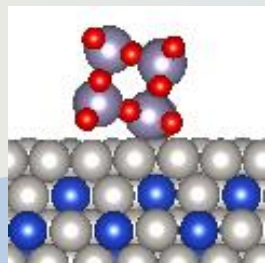
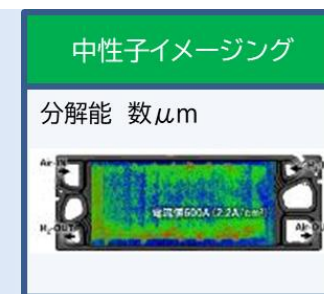
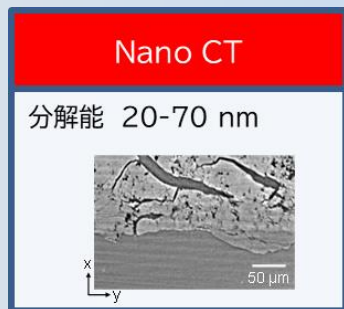
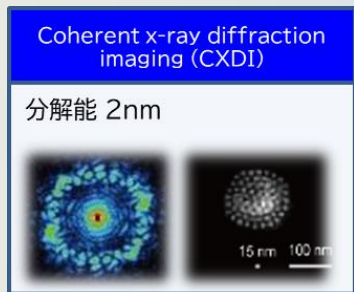
MEA、流路、集電体

- 材料側の変化への対応と、製造プロセスの効率化や新技術の導入による最適化という2つの視点が存在するため、特に容易な変更が難しい後者については早い時期に検討を進める必要があると考えられる。計測技術(中性子イメージングなど)やシミュレーション技術は成熟しつつあり、目標を具体化しつつ、開発をより支援するための体制作りが必要である。

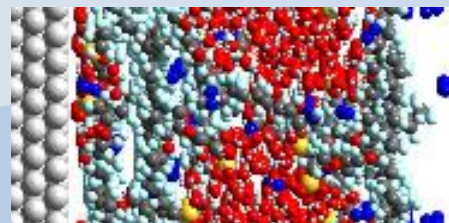
ラジカルクエンチャー、触媒コーティング剤など

- 膜や触媒材料と組み合わせて用いることで、性能や耐久性を向上可能なアイテムも存在する。これらの検討は、材料そのものの特性に大きく依存するため、材料の検討が一定レベルに達してから検討を始めるものと、圧倒的な性能変化をもたらす、材料の設計すら変えられるゲームチェンジを起こせる可能性のあるものに分けて検討時期を整理すべき。

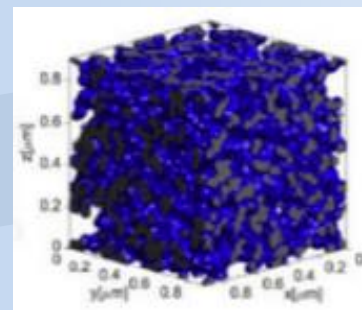
- ◆ 燃料電池には、様々な空間・時間分布を有する反応の階層構造が存在するため、様々な階層の機構・現象を解析するための解析技術のプラットフォーム化が重要
- ◆ 40年シナリオで想定される材料の解析には、さらなる計測技術の高度化が必要(ハード、計測インフォマティクス)



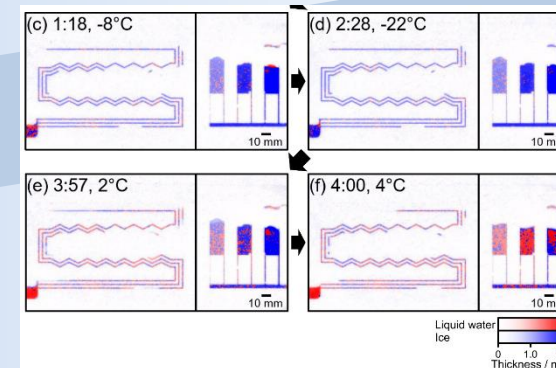
触媒反応機構



電解質・触媒層



セル



スタック

軟X線XAFS
RIXS
全反射XRD・XAFS
反射率、HAXPES
中性子反射率
電子分光、振動分光、核磁気共鳴、
電子スピン共鳴、走査プローブ顕微鏡

X線小角散乱
GI-WAXS, GI-SAXS
高エネルギーX線回折・PDF
軟X線XAFS
中性子準弾性散乱(QENS)
中性子小角散乱(SANS)

位置分解XRD
位置分解XAFS
コヒーレントイメージング

位置分解XRD
位置分解XAFS

青:軟X線、赤:硬X線、緑:中性子、黒:電子顕微鏡、振動分光等

- ◆ 世界最高性能を持つ大型解析施設の活用により、触媒反応のその場解析、水・プロトンのナノスケール解析、実機レベルの現象解析、プロセスの自動解析の実現が期待される。
- ◆ 高度なDX化、オペランド計測、自動自律実験等を可能にするための専用ビームライン設置が望まれる。



SPring-8

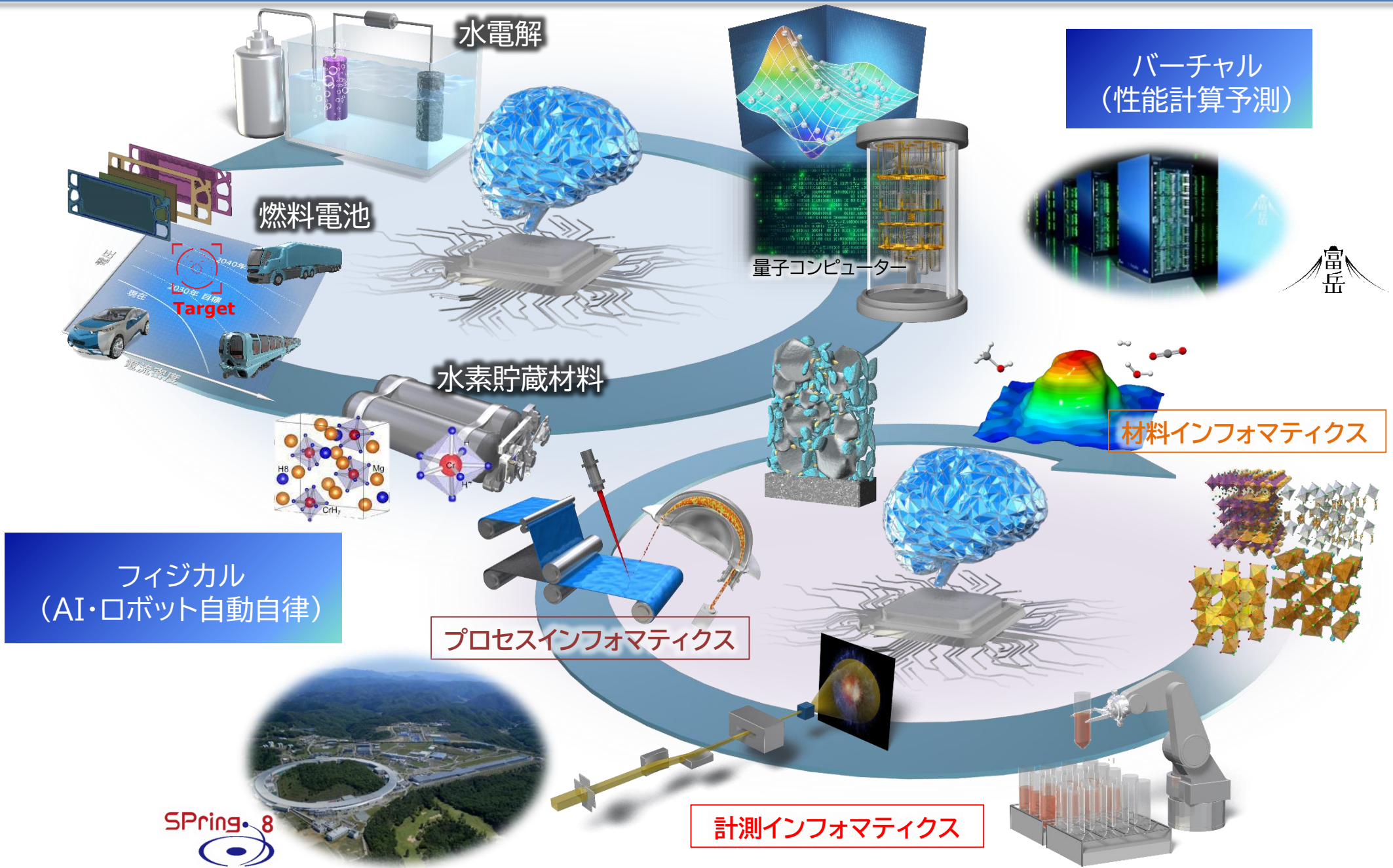


NanoTerasu

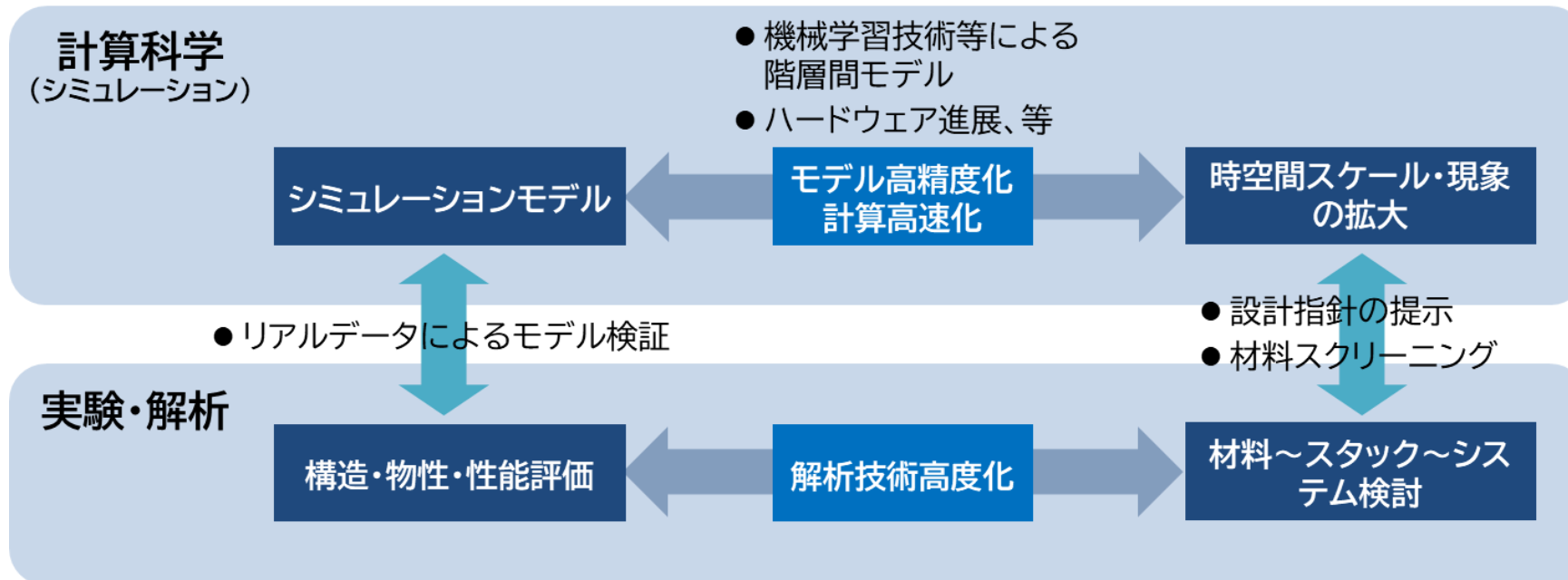


J-PARC

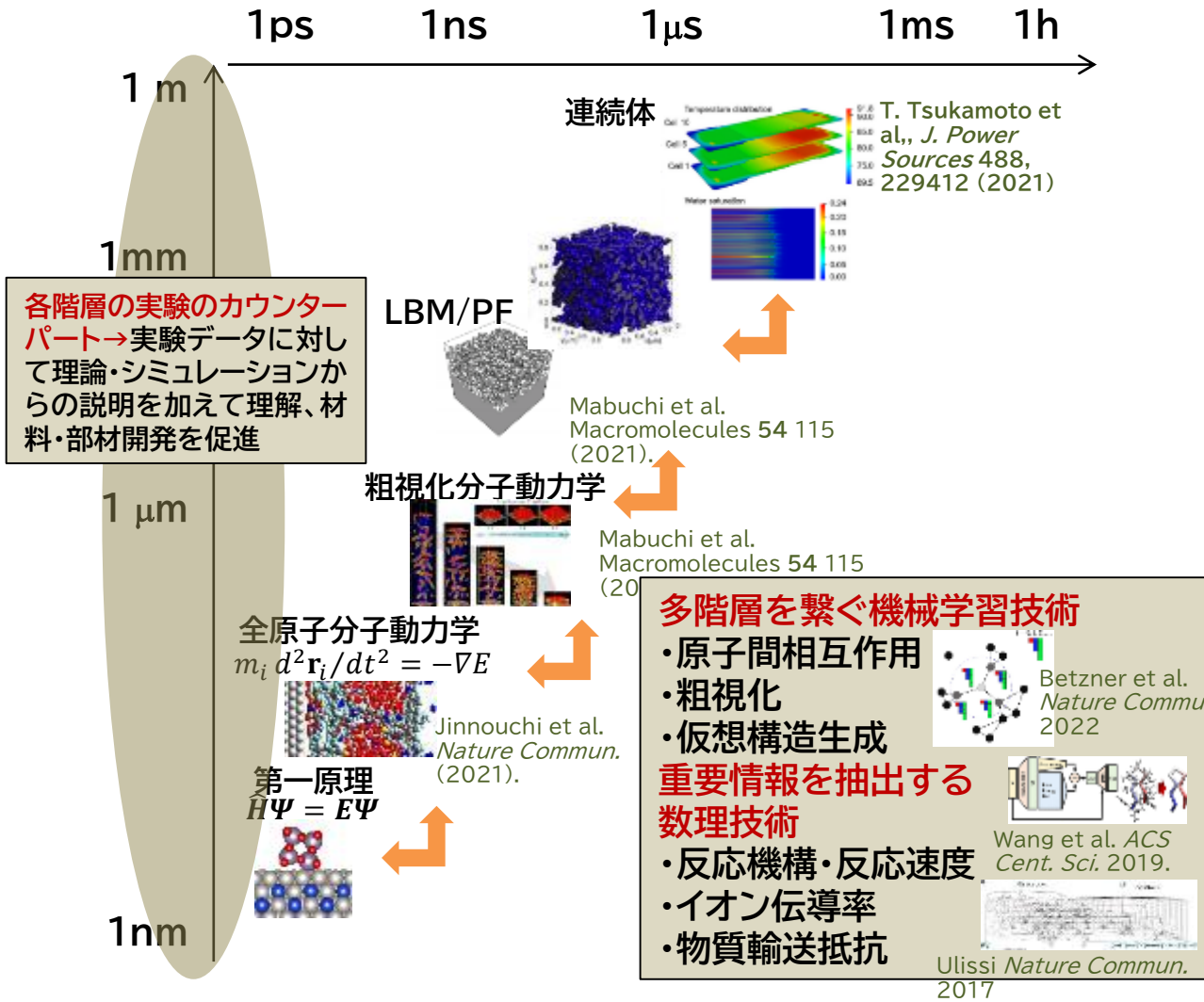
線源	放射光X線		中性子線
	高エネルギー領域(硬X線)	低エネルギー領域(軟X線)	
対象	構造 セルイメージング プロセス技術	界面構造/反応解析 化学結合 新原理材料開発	構造・分子運動(水、プロトン) 大視野イメージング 実機・材料・部品開発
技術 (手法ニーズ例)	高エネルギーX線回折・全散乱 雰囲気制御下の触媒および触媒担体の 中長期構造	軟X線XAES 燃料電池反応進行時の触媒上の酸素種の 電子構造・局所構造	中性子イメージング 燃料電池作動状態でのフルサイズセルの 水/氷分布状態
	X線小角散乱(SAX) 雰囲気制御下の電解質のマクロスケールの 規則構造の解析	高分解能軟X線RIXS 雰囲気制御下の触媒および触媒担体の 酸素種の電子構造・局所構造	中性子小角散乱(SANS)/反射率(NR) アイオノマ/電解質膜、接合界面のナノスケール 構造
	GI-WAXS, GI-SAXS 雰囲気制御下のアイオノマーの構造、配向性	高分解能軟X線タイコグラフィ 触媒層中のカーボン担体、アイオノマーの三次元構造	中性子準弾性散乱(QENS) 触媒層/電解質膜の水・プロトンの分子運動 (拡散・振動・回転)



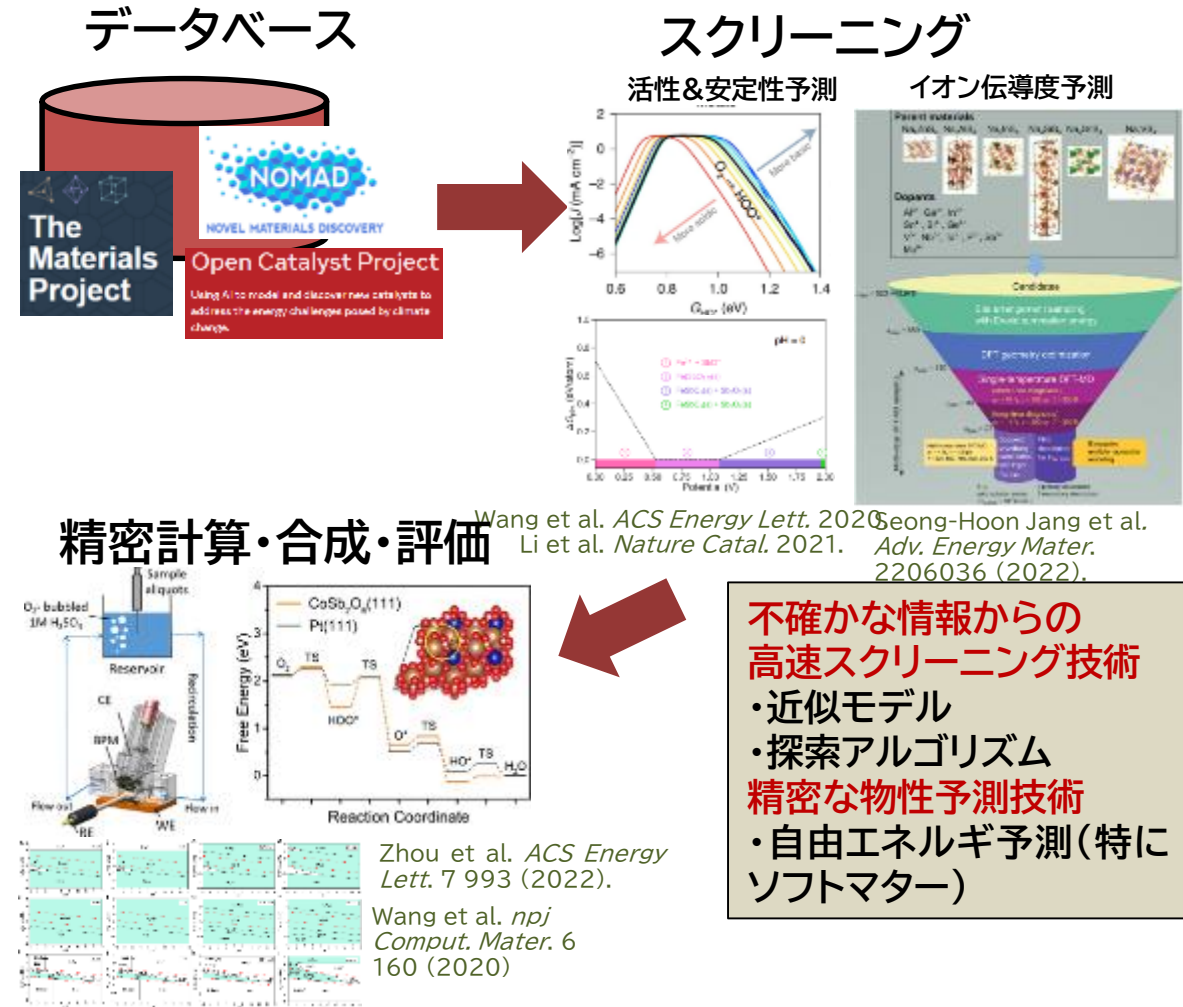
- 実験のみでは困難な**現象・機構の相互、材料の特性や製品の性能を向上する方針**を提示
 - 触媒・電解質のナノスケール構造における反応機構の解明や物性予測
 - 触媒層・GDL等のメゾスケールの不規則多孔体構造に起因した物質移動特性の予測
 - 材料特性に基づくセル・スタック性能予測、実運転モードに対するFCシステムの予測、等
- 触媒の活性や安定性、電解質材料のイオン伝導度などを高速に予測し、これらのデータを蓄積し、データベースから効率的かつ自動的に有望な材料を探索する**ハイスループットスクリーニング技術**
- モデルならびに予測の妥当性を検証するための**実験・解析との密接な連携が重要**



【トランススケールシミュレーション技術】

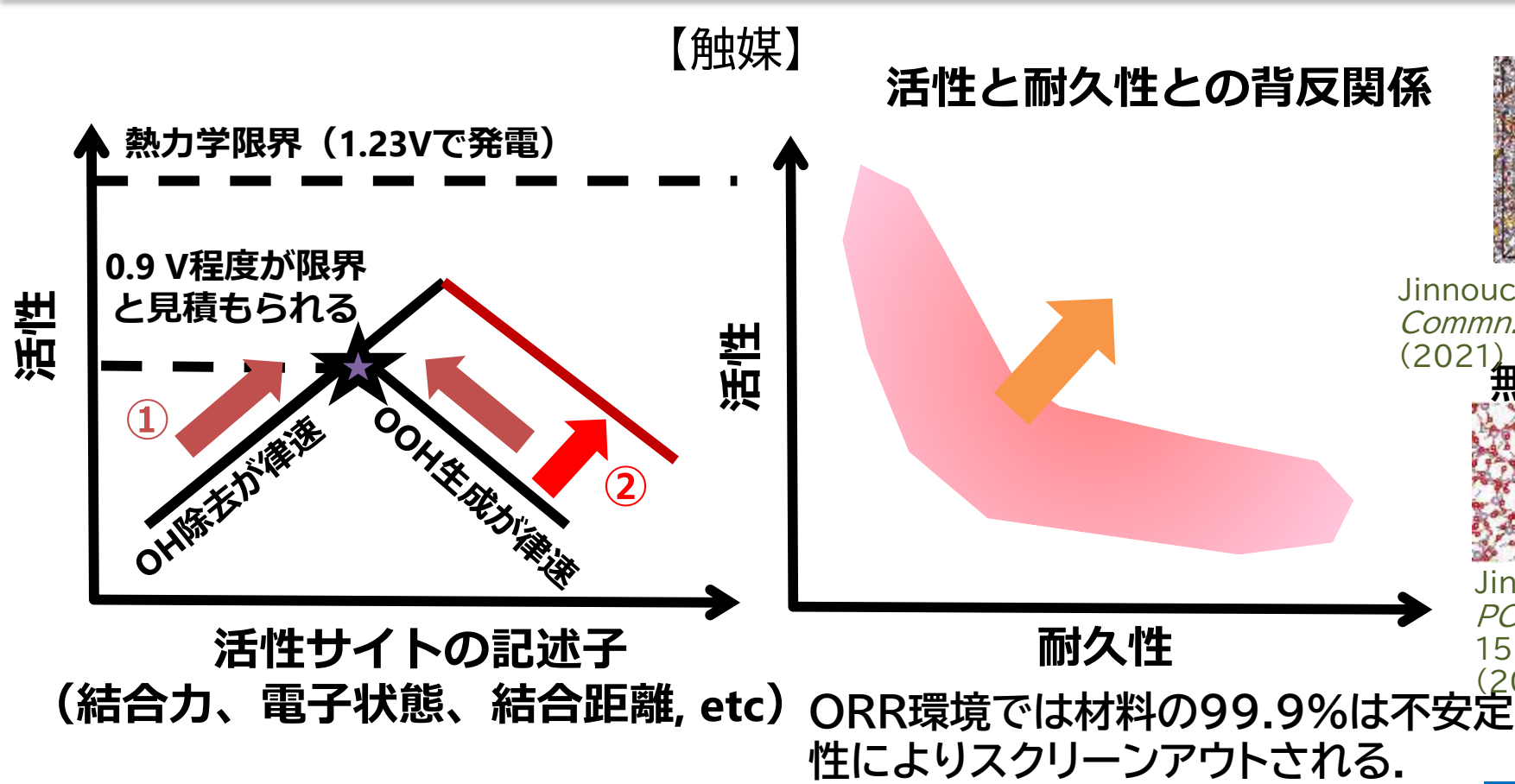


【ハイスループット材料探索技術】

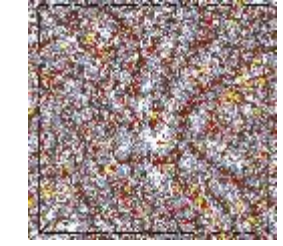


各階層の実験のカウンターパート→実験データに対して理論・シミュレーションからの説明を加えて理解、材料・部材開発を促進

不確かな情報からの高速スクリーニング技術
 • 近似モデル
 • 探索アルゴリズム
 精密な物性予測技術
 • 自由エネルギー予測(特にソフトマター)

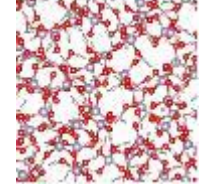


現行型 【電解質膜】



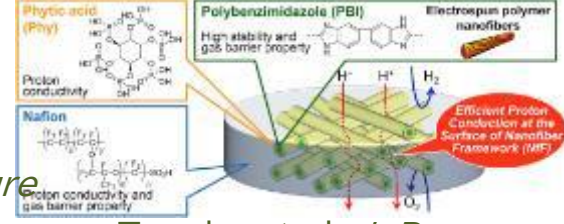
Jinnouchi et al. *Nature Comm.* 12 4956 (2021)

無水型



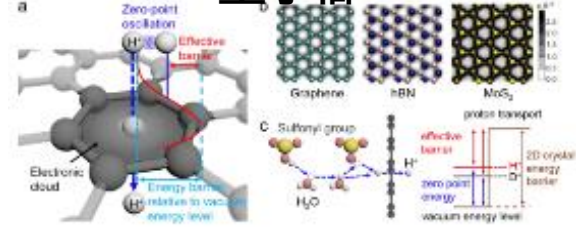
Jinnouchi *PCCP*, 24, 15522 (2022).

ハイブリッド



Tanaka et al. *J. Power Sources*, 342 125 (2017).

量子櫛



J.Phys.Chem.Lett. 2021, 12, 12376

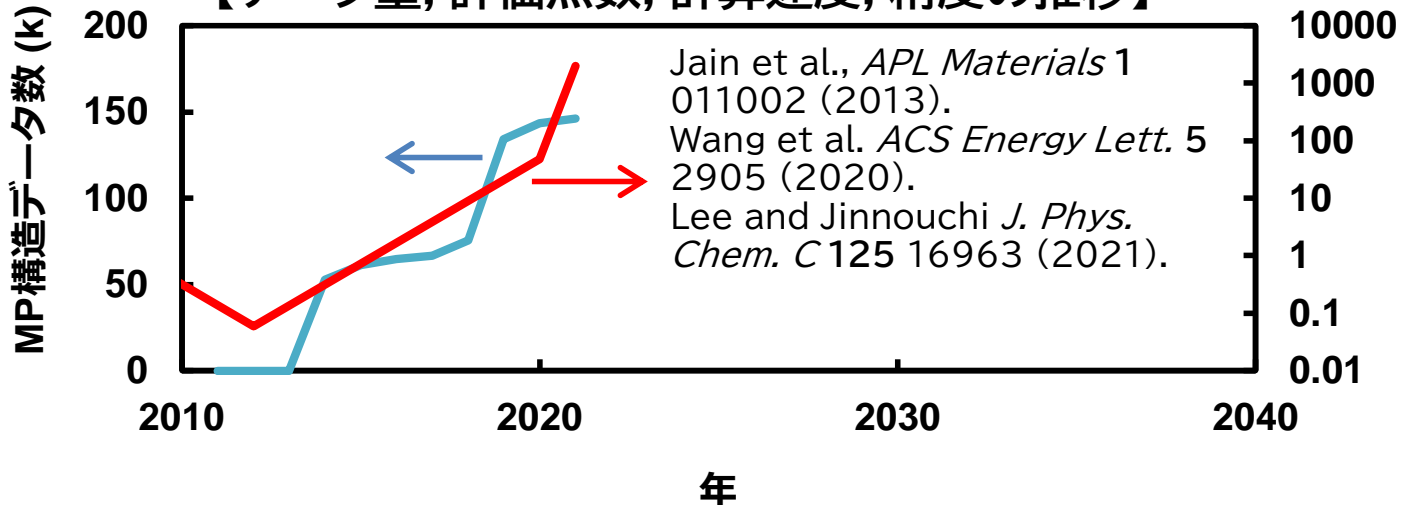
安定性を評価しつつ、

① 現行原理(スケーリング則)・現行材料(Pt系)の極限を目指す。

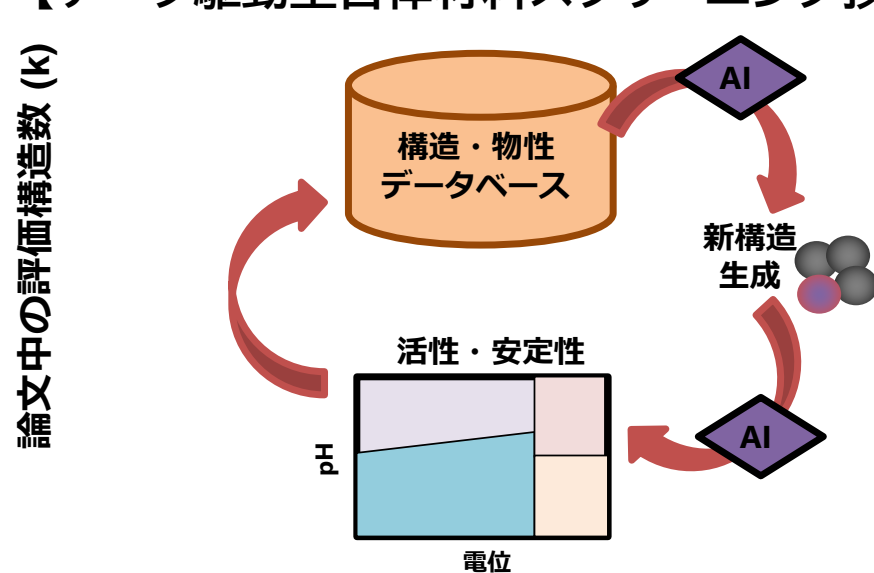
② 新原理(脱スケーリング則)を目指す。

伝導率(保水性 or 無水)・機械・化学耐性・膜化技術、理学・工学に跨る材料創生が必要。

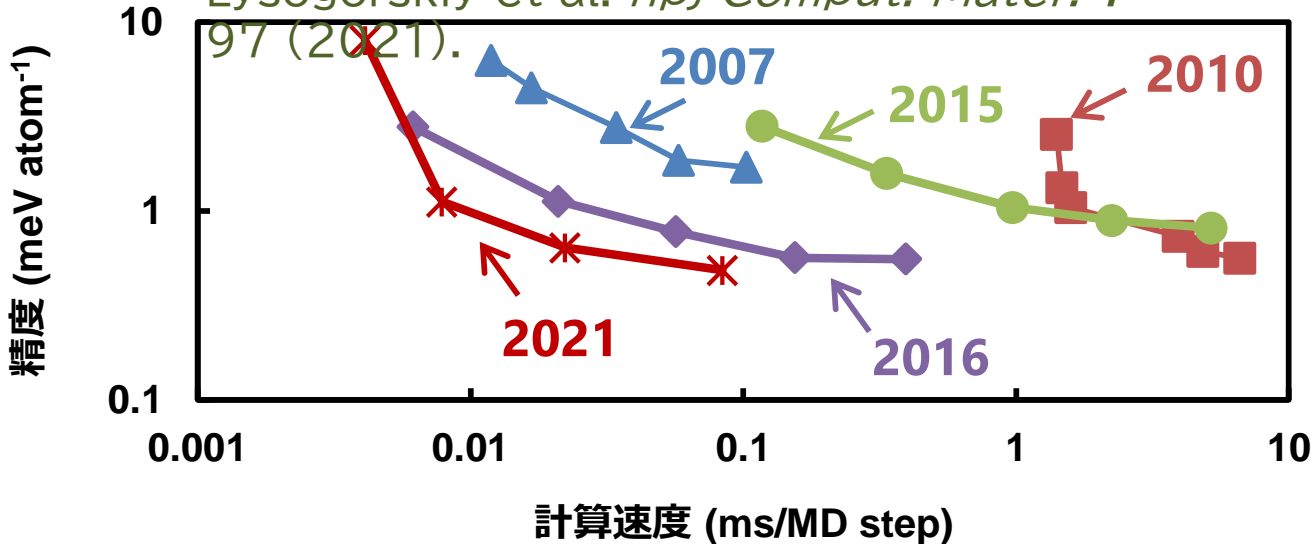
【データ量, 評価点数, 計算速度, 精度の推移】



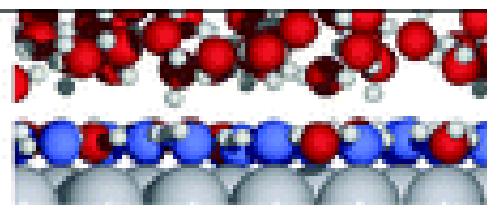
【データ駆動型自律材料スクリーニング技術】



Lysogorskiy et al. *npj Comput. Mater.* 7 97 (2021).

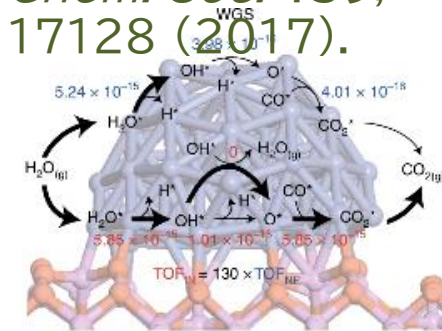


【機械学習等活用したトランススケールSim.技術】



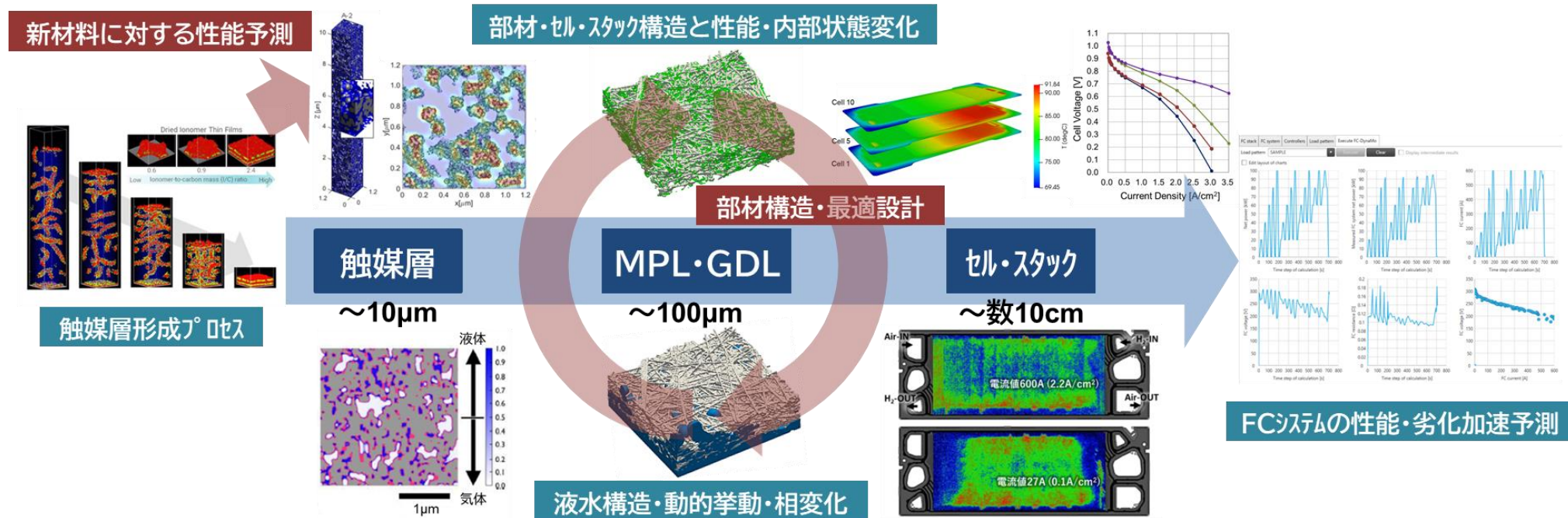
Mikkelsen et al. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 24 9885 (2022).

Foppa et al. *J. Am. Chem. Soc.* 139, 17128 (2017).



材料合成・実験解析と連携し, ①自律型材料探索計算技術, ②高速・高精度大規模トランススケール計算技術により新材料・新原理発見.

- 触媒層やGDL・MPLおよびセパレータを含む**ガス拡散抵抗低減は限界に近い設計が必須**
- 40年に向けた**新たな材料に対する触媒層の在り方(担体・アイノマ構造、表面濡れ性等)も変わる可能性**→上記部材の構造・機械特性を含めてセル・スタック性能への影響の予測、MBDによるFCシステム性能・劣化予測の加速
- 通常走行時・氷点下起動の**液水挙動(部材間スケールギャップ)とガス拡散性、劣化との相関、液水も考慮した性能向上のための部材構造および組み合わせの設計・最適化**



求められる人材

- ・現状技術の究極や原理原則の追求によりイノベーションを実現する人材
- ・個別要素技術を融合し、セル・スタックの機能設計ができる人材

研究人材の確保

- ・研究人材・若手研究者への長期的視点での投資
- ・若手(高校/学士/修士)から、水素・燃料電池に触れる機会の創出
- ・博士課程・取得後の異分野経験などを含めたキャリアパスの整備
- ・博士取得後の雇用機会の確保
- ・海外研究機関との連携・人材の流動

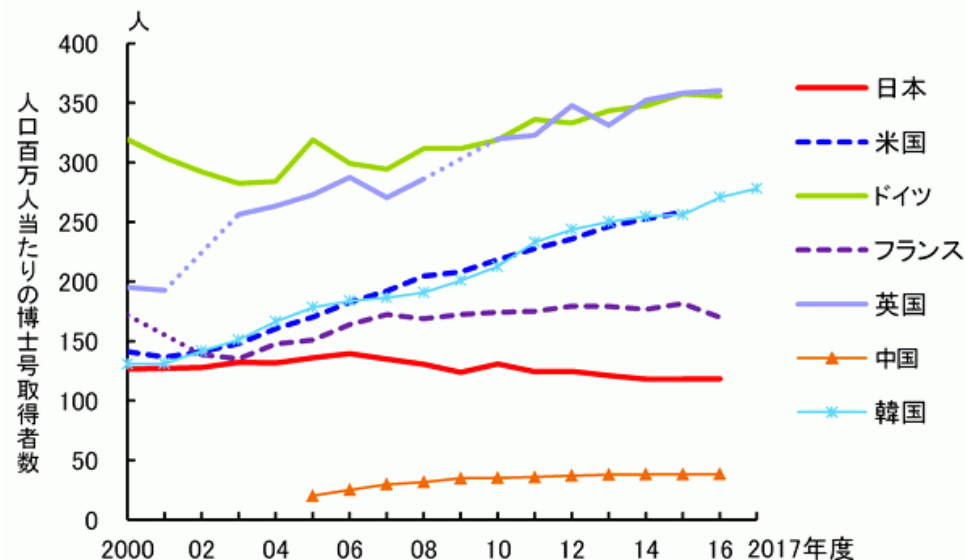
異分野融合のチーム型研究

- ・複数の専門分野融合で構成されたチーム構成
材料/電気化学/分析解析/計算機科学/化学工学/
プロセス/流体/伝熱/機械工学・・・
- ・俯瞰的・統合的なマネジメントができる
プログラムダイレクタの育成

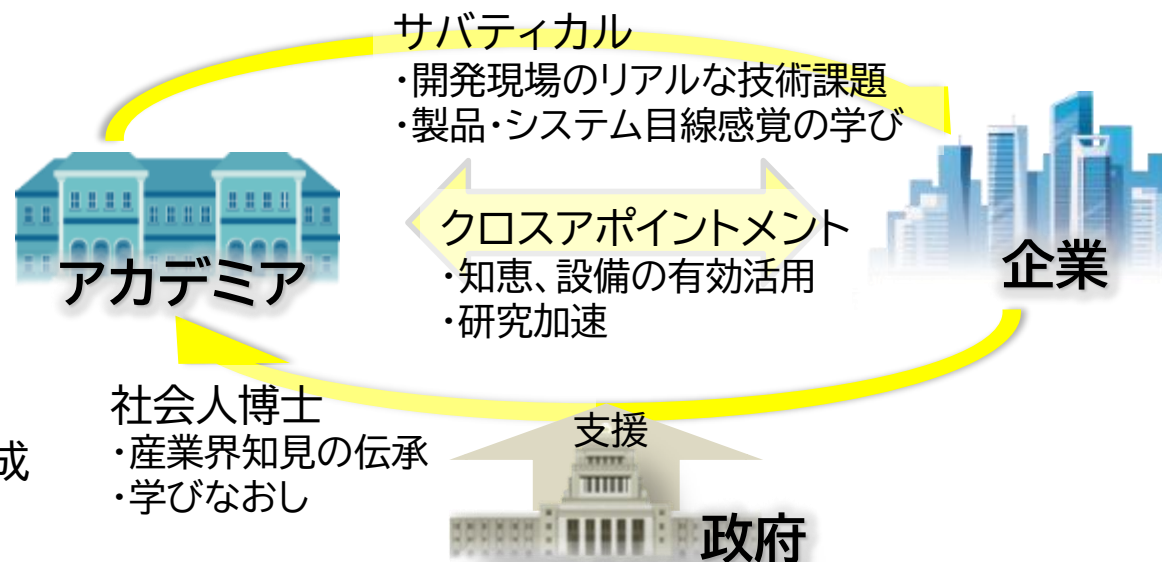
産官学連携・人材流動による研究者育成

- ・学から産(サバティカル)
- ・産から学(社会人博士)
- ・産学クロスアポイントメント

の**人材流動**を通じた研究者育成



科学技術・学術政策研究所(文部科学省)
https://www.nistep.go.jp/sti_indicator/2019/RM283_35.html



ご清聴をありがとうございました