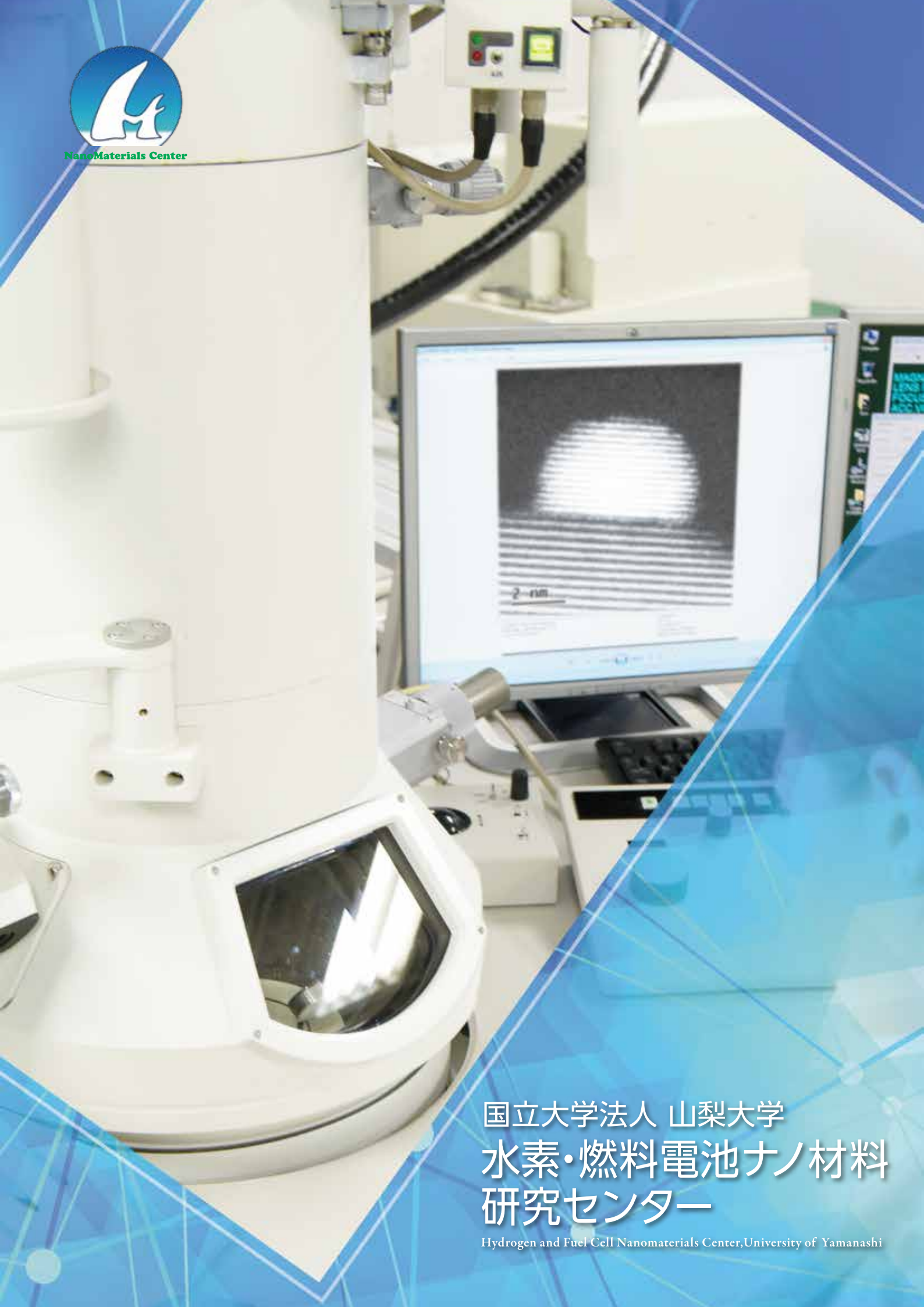




NanoMaterials Center



国立大学法人 山梨大学  
水素・燃料電池ナノ材料  
研究センター

Hydrogen and Fuel Cell Nanomaterials Center, University of Yamanashi



国立大学法人 山梨大学  
水素・燃料電池ナノ材料研究センター長

飯山明裕

Akihiro Iiyama

## 水素製造と燃料電池利用の飛躍的拡大を目指して

近年、水素・燃料電池に対する期待は飛躍的に高まってきています。水素は「エネルギー基本計画（第六次）」で、「2030年の電源構成において、新たに水素・アンモニアによる発電を1%程度見込む」と明記されました。海外においても、カーボンニュートラルへ向けたこれまでの意欲的な取り組みが地政学的なリスク対応によりさらに加速されています。例えば欧州では2022年3月に発表した「REPowerEU」においてグリーン水素の導入量を2030年までに2000万トンにすることが示されました。世界全体で見ると水電解の導入量は2030年までに134GWに達する見通しです（「IEA Global Hydrogen Review 2022」）。水素は燃料電池に用いて発電・熱供給ができますが、燃料として発電需要、産業熱利用、その他製油所などの脱炭素化が可能であり、さらにアンモニアはもとより、メタンや液体燃料そしてプラスチックなどの製造のための材料になるなど、カーボンニュートラルを実現する重要な手段として大変広範囲な用途が期待されています。燃料電池に関しては、2022年3月に国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が技術的課題を時系列に整理した「NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ」（以下、「NEDO技術マップ」という）において、2030年頃の商用車への適用を目指し運転温度の高温化やさらなる効率や出力そして耐久性の

向上を図る意欲的な目標と取り組み内容が示されました。このように水電解や燃料電池向けの材料の革新的なアプローチによる研究開発により、低コストで高効率、高出力、高耐久な水素製造装置や燃料電池の実用化が内外の産業界から強く期待されており、そのためには、産学官の高度な連携を最大限に活用した研究開発を行うことが必要です。

本センターは、燃料電池の本格普及に資することを目的として、山梨県および関係省庁の絶大なご支援を得て、2008年4月に設立されました。経済産業省、NEDOが委託するプロジェクト「劣化機構とナノテクノロジーを融合した高性能セルのための基礎的材料開発」（略称：HiPer-FCプロジェクト、2008年～2014年）、およびNEDOが委託する「セル・スタックに関わる材料コンセプトの創出／高出力・高耐久・高性能燃料電池材料のコンセプト創出」（略称：SPer-FCプロジェクト、2015年～2019年）に採択され、反応や劣化のメカニズムに関わる知見並びにナノテクノロジー等の先端技術の融合（HiPer-FCプロジェクト）や、触媒や担体及び電解質材料の新規創出とその機能を極限まで発揮させる触媒層の評価・解析を通じて、出力性能の向上・貴金属使用量の低減・耐久性の向上に取り組み、総合的效果で性能を10倍程度向上させる目標を達成（SPer-FCプロジェクト）してまいりました。

現在は、燃料電池の飛躍的利用拡大を可能にするため、高効率発電および高負荷運転さらには高耐久起動停止等技術や極限環境下劣化防止等の技術を実現する革新的材料技術開発（NEDO委託事業、命名：ECCEED' 30-FCプロジェクト）や、高温度・低湿度環境下でも作動可能な新規の高分子電解質膜コンセプト及びセラミック触媒技術のコンセプト創出（NEDO委託事業、命名：ECCEED' 40-FCプロジェクト）、さらには、種々の国家プロジェクトのご支援を受けて、安価で高効率・高耐久なアニオン交換型燃料電池や水電解装置を実現するための非貴金属触媒やアニオン交換型電解質材料の研究開発に活発に取り組んでおります。これらの研究開発の成果を広く産業界の皆様にご活用いただくことにより、水素・燃料電池利用の飛躍的拡大に貢献したいと考えております。

このように本センターは、水電解によるクリーンな水素と燃料電池を飛躍的に活用する本格的な水素社会に対応できるよう、多様な研究者陣容と世界トップレベルの先端設備をフル活用し、併せて産学官の共同研究、大学院教育にも積極的にに関わり、先端的研究成果の創出と当該グリーンエネルギー分野を牽引する研究者・技術者の育成に取り組んでいます。

皆様方の温かいご支援とご指導をよろしくお願い申し上げます。

- 1978.4～1988.3 工学部附属燃料電池実験施設設置
- 1989.4～2001.3 学内特別施設電気化学エネルギー変換研究室設置
- 2001.4～ クリーンエネルギー研究センター設置
- 2008.4～ 燃料電池ナノ材料研究センター設置
- 2022.6～ 水素・燃料電池ナノ材料研究センター改名





金属研究部門 部門長  
内田 誠

# 金属研究部門

Metals Research Division

## 各種実作動条件に即した評価を実現する装置群

高度な解析装置やセル評価装置群を活用し実作動条件に即したPEFC向け各種評価を実施。各種開発材料の特徴を最大限発揮する触媒層構造、各種材料間の相互作用、界面状態の影響や劣化メカニズムを明らかにし材料技術開発にフィードバックし触媒層技術を構築しています。

<活用するセル評価装置群>



通常&ガス置換対応機



温度環境評価対応機



ガス置換・高温・高圧対応機

## アルカリ形燃料電池・水電解評価

アルカリ形燃料電池および水電解の材料開発やデバイス実証のための評価機器を整備。非貴金属触媒・アニオン膜・触媒層の飛躍的な高効率化および高出力化の実現をめざしています。



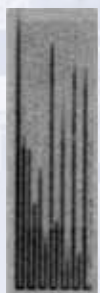
アルカリ形水電解評価装置



アルカリ形燃料電池/水電解評価装置

## オペランド計測

開発した触媒層を利用した燃料電池を発電しながら、内部の反応の様子を実時間、実空間で観察します。得られた情報を、新たな材料、触媒層の開発や運転モードの最適化に利用します。



液体水可視化



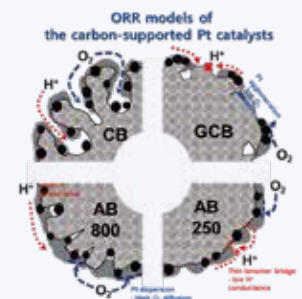
酸素分圧可視化



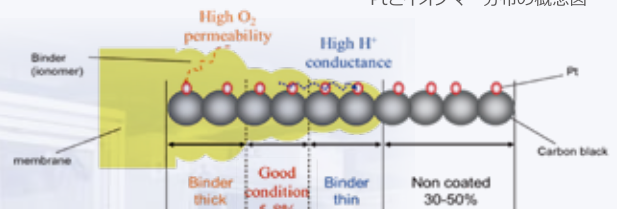
光学プローブを用いた  
ガス拡散層内部の酸素分圧測定

## 触媒層構造・触媒・イオノマー分布の研究

触媒材料や高分子電解質材料の性能を最大限発揮させる触媒層の構築を目指して、触媒の電解質材料の被覆状態・界面構造と酸素とプロトン拡散の理想形態を解明し、各種担体の細孔構造とPt触媒の担持状態やイオノマー被覆状態の性能・耐久性への影響を詳細に研究しています。

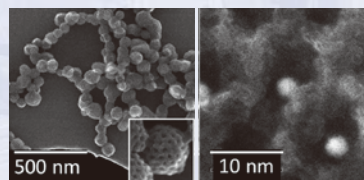


細孔構造の異なる各種カーボン担体でのPtとイオノマー分布の概念図

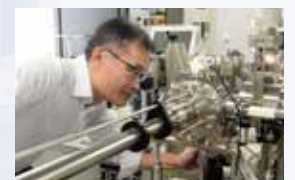


触媒層のPtのイオノマー被覆状態と、酸素とプロトン拡散の概念図

担体の細孔構造に着目した触媒開発の一例として、規則的メソ多孔カーボン微粒子が3D網目構造を形作るユニークな担体上に白金ナノ粒子を選択担持することで、飛躍的高効率化および高出力化の実現をめざしています。



新規ナノ構造カーボン担持触媒

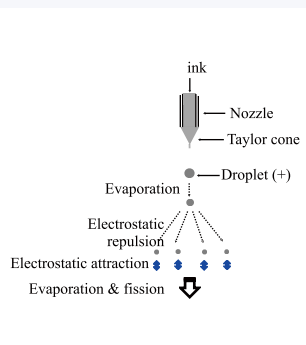


超高真空加熱室付きX線光電子分光装置

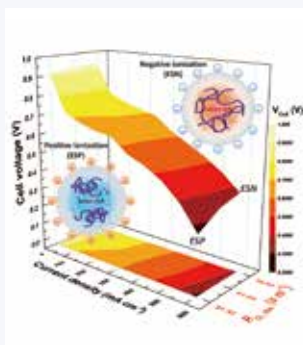


## 触媒層形成プロセスの研究(静電スプレー法)

材料の特徴を最大限発揮する触媒層構造を具現化する方法の一つとして静電スプレー(ES)法に取り組んでいます。イオン化モードを制御することによって高分子電解質バインダーの均一被覆と多孔質触媒層を、乾燥工程を必要としない工程で実現し、燃料電池セルの性能および耐久性の飛躍的な向上を実証しています。



ES噴霧の様子と概念図



イオン化モードの制御と性能



マルチノズルES塗工装置(原型機)

CERAMIC



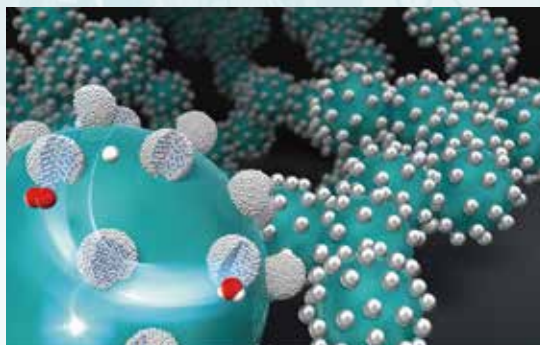
セラミック研究部門 部門長  
柿沼 克良

## セラミック研究部門

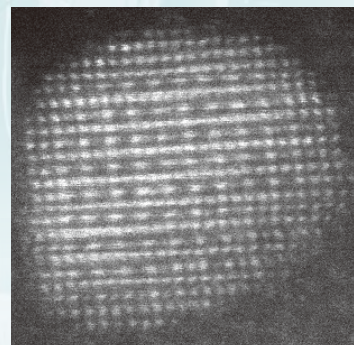
Ceramic Research Division

### 燃料電池用セラミック担体触媒

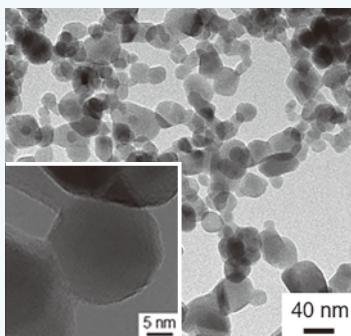
従来のカーボン担体の課題(耐久性)を解決するため、カーボンと類似した導電性・微細構造をもつオリジナリティの高いセラミックナノ粒子担体を合成しました。従来より厳しい条件(高温・高電位)でも安定に作動する高耐久で高活性なPt担持触媒を開発し、燃料電池の利用拡大に貢献します。



連珠構造を有するセラミック担体にPt・合金ナノ粒子を担持した触媒 (イメージ図)



Pt合金ナノ粒子触媒の高解像電子顕微鏡像



連珠構造を有するセラミックナノ粒子担体の電子顕微鏡像



触媒粒子の比表面積測定装置

### 水素製造用セラミック触媒

水素社会の構築には安価で効率的な水素製造技術が必要です。最新技術を駆使してマルチスケール(原子スケールからミクロスケール)にて触媒設計を行い、PtやIrといった貴金属を用いなくて高効率な水素製造を可能にするセラミック/金属複合触媒の開発をしています。

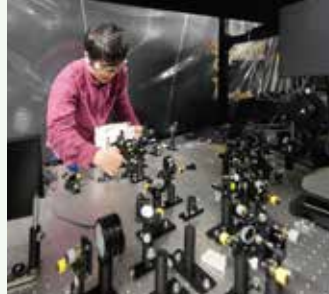


## 高分子膜およびバインダーの構造と機能解析

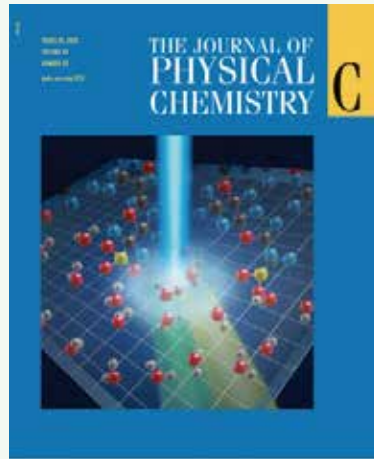
プロトン・アニオン導電性高分子膜およびバインダーの構造を、原子レベルからマイクロメートルレベルで理解するため、中性子線反射率や斜入射小角X線散乱、斜入射X線吸収分光などを用いて解析しています。さらに、機能発現メカニズムを解析するために、電流検出型原子間力顕微鏡、中性子準弾性散乱、非線形レーザー分光などを駆使して、イオンや水分子の動きを解析しています。さらなる性能向上を目指し、これらの情報を、新しいイオノマー材料の合成にフィードバックします。



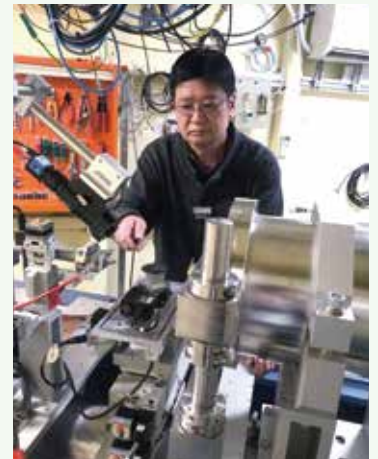
高工研 フォトンファクトリー



酸素分圧測定用レーザー光路セッティング



電解質内部のCARS測定



斜入射小角放射光X線散乱

## セラミックナノ粒子の量産化

上記触媒及び触媒担体などの研究成果を社会に還元するため、企業と共同して量合成を検討しています。安価で量産性に適した生産工程・方法を検討し、成果物をベースにユーザーとの共同研究も積極的に実施しています。



耐久性の高いセラミックナノ粒子担体



高耐久性と高導電性を兼ね備えるセラミックナノ粒子担体



セラミックナノ粒子合成装置



1

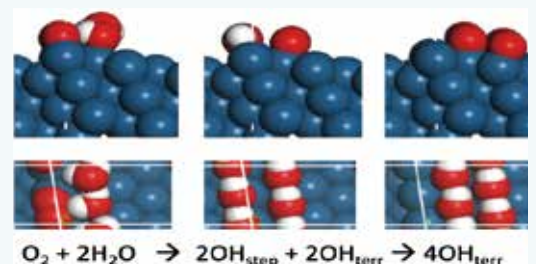


2

- 1.電気化学-光電子分光測定装置
- 2.環境制御型X線小角散乱測定装置
- 3.回転ディスク電極装置

## セラミックナノ粒子の機能解析

世界最高レベルの最新分析機器を駆使し、触媒開発で重要なセラミック・金属触媒の表面/界面構造を原子レベルで解析して、そのメカニズムを解明すると共にその知見の体系化をめざしています。本センター独自の分析技術の開発も積極的に行い、セラミック担体・担持触媒の新たな機能・現象の発見に寄与しています。



DFT計算に基づくPt上での酸素還元反応解析



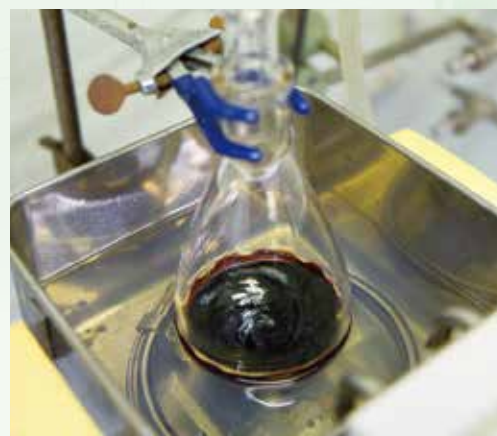
高分子研究部門 部門長  
宮武 健治

# 高分子研究部門

Polymer Research Division

## プロトン導電性高分子膜

燃料電池の高効率・高出力・高耐久を実現する高性能なプロトン導電性高分子膜の開発を行っています。薄膜化とガスバリア性の両立が可能で、高温や低湿度などの過酷な条件でも安定、安価に製造できる炭化水素系電解質膜を目指しています。これまでの炭化水素系電解質膜の弱点であった低湿度条件におけるプロトン導電率や化学耐久性を解決する独自の分子設計指針を展開し、機械強度の改善や触媒層との界面設計にも取り組んでいます。



プロトン導電性高分子の合成



核磁気共鳴装置 (NMR)

## アニオン導電性高分子膜

水酸化物イオン導電率が高く耐久性にも優れるアニオン導電性高分子膜の開発を行っています。プロトン導電性高分子膜で得られる構造設計指針を発展させて、イオン交換基や主鎖構造の最適化を進めています。開発したアニオン導電性高分子膜は、関連企業との共同研究を通してアルカリ形燃料電池や水電解デバイスへの実用化のための応用研究も進めています。

## 薄膜大判化と補強膜

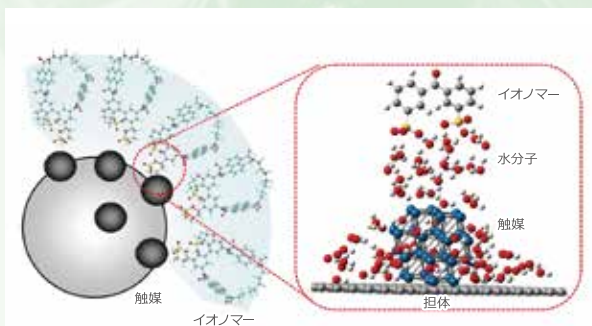
炭化水素系電解質膜の量合成プロセスの開発と製膜方法の最適化を行っています。重合反応、精製方法、単離方法などのスケールアップ検討に加えて、溶液キャストからバーコートやロール法など各製膜方法の課題を抽出し、新型炭化水素系電解質膜を大判化するために適した製膜方法を提案します。さらに、炭化水素系電解質膜の薄膜化と強化を可能とする補強膜の検討にも取り組んでいます。



ロール製膜した炭化水素系電解質膜

## 触媒層用イオノマー

電極触媒層バインダーに適した高性能なイオノマー材料の開発を行っています。プロトン導電性およびアニオン導電性高分子膜で得られたイオン導電性と耐久性に関する指針を活用し、さらにイオノマーとして求められる気体や水の透過性、触媒粒子との吸着特性の改善を目指しています。炭化水素系高分子の構造・合成方法の自由度を活かして、各種用途に適したイオノマー材料を提案します。



イオノマー被覆触媒

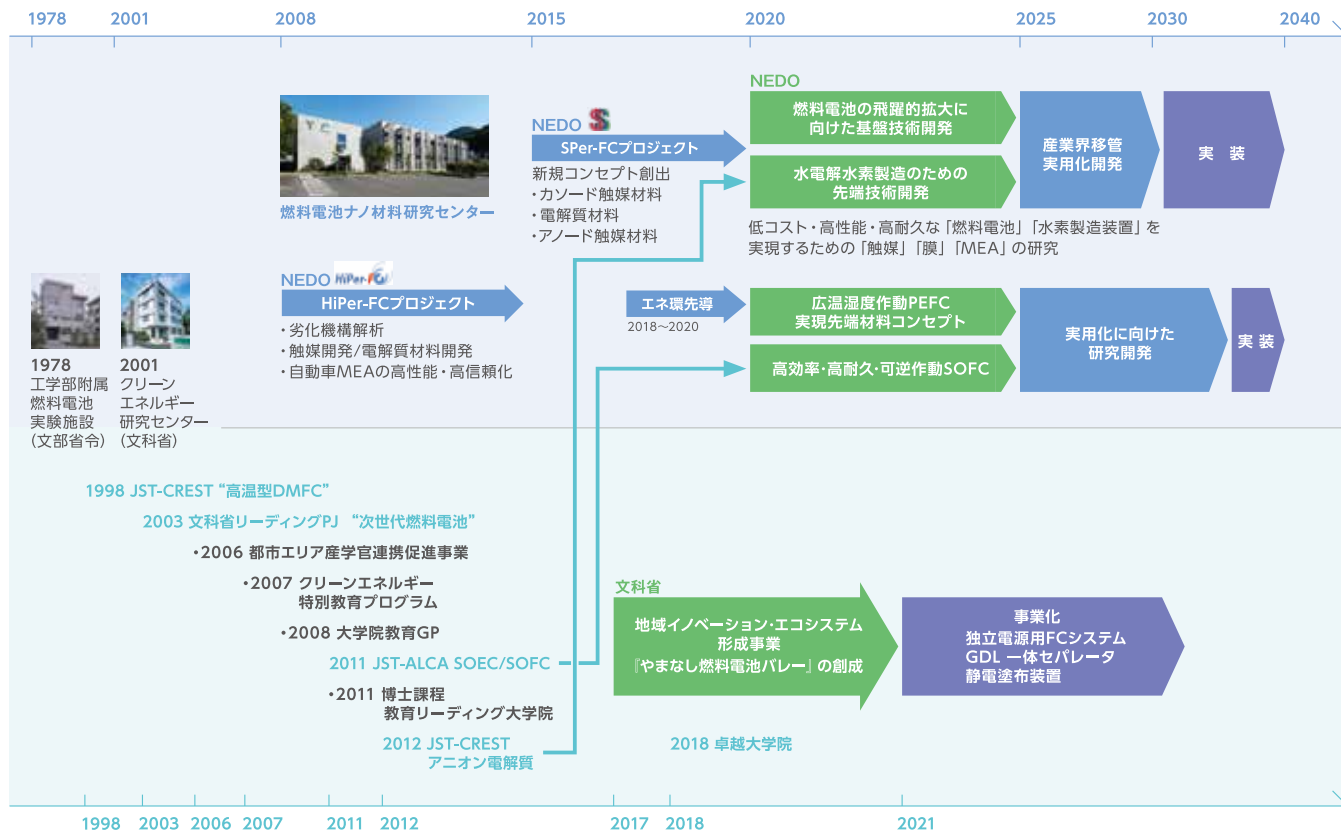


イオノマー粉末



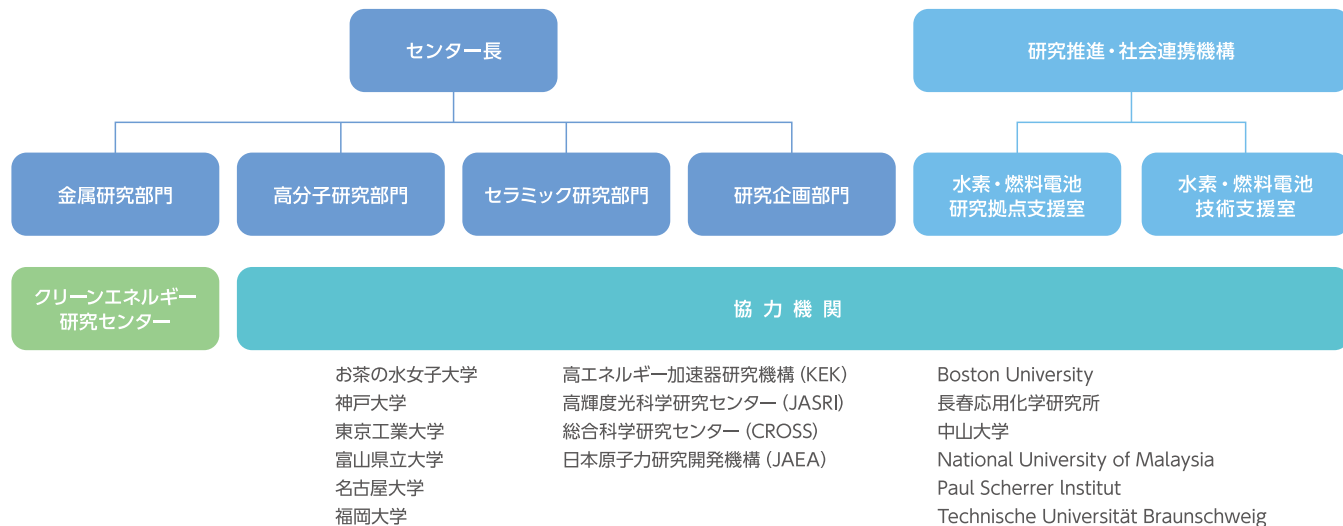
# 研究開発体制 Organization of the R&D

山梨大学が代表となって、他の大学研究機関とともに、素材・材料メーカー、加工・製造メーカー、セット・システムメーカーと一体となって、研究と実用化を進めています。（最新はHP参照）

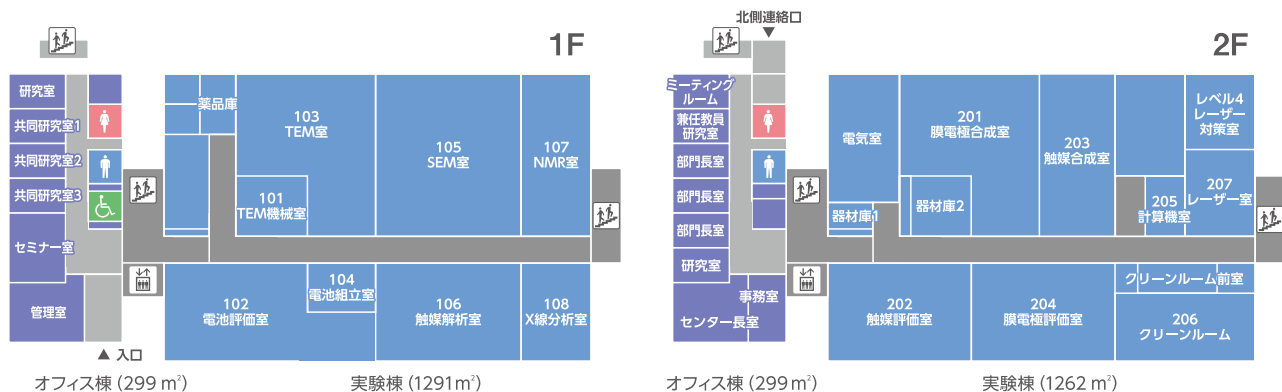


# 組織体制 Members of the Center

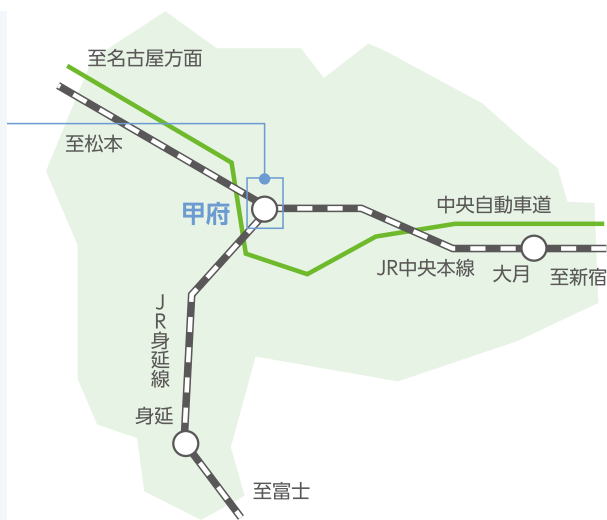
センター長のもと、金属研究部門、セラミック研究部門、高分子研究部門、研究企画部門の4部門で研究に取り組んでいます。また、山梨大学 研究推進・社会連携機構に設置の燃料電池研究拠点支援室、水素・燃料電池技術支援室のサポートを受けています。本学クリーンエネルギー研究センターとは強い連携のもとで運営しています。さらには、国内外の研究者と緊密な連携を図り研究を推進しています。



センター配置図 水素・燃料電池ナノ材料研究センター



アクセスガイド



水素・燃料電池  
ナノ材料  
研究センター



水素・燃料電池技術支援室



国立大学法人 山梨大学  
水素・燃料電池ナノ材料研究センター

〒400-0021 甲府市宮前町6-43 TEL 055-254-7092  
6-43 Miyamae-cho, Kofu 400-0021  
(甲府駅より徒歩20分、タクシー10分)

<http://fc-nano.yamanashi.ac.jp/>

