

# 水素社会実現への大学の貢献

九州大学 副学長・水素エネルギー国際研究センター長 佐々木一成

(次世代燃料電池産学連携研究センター長、

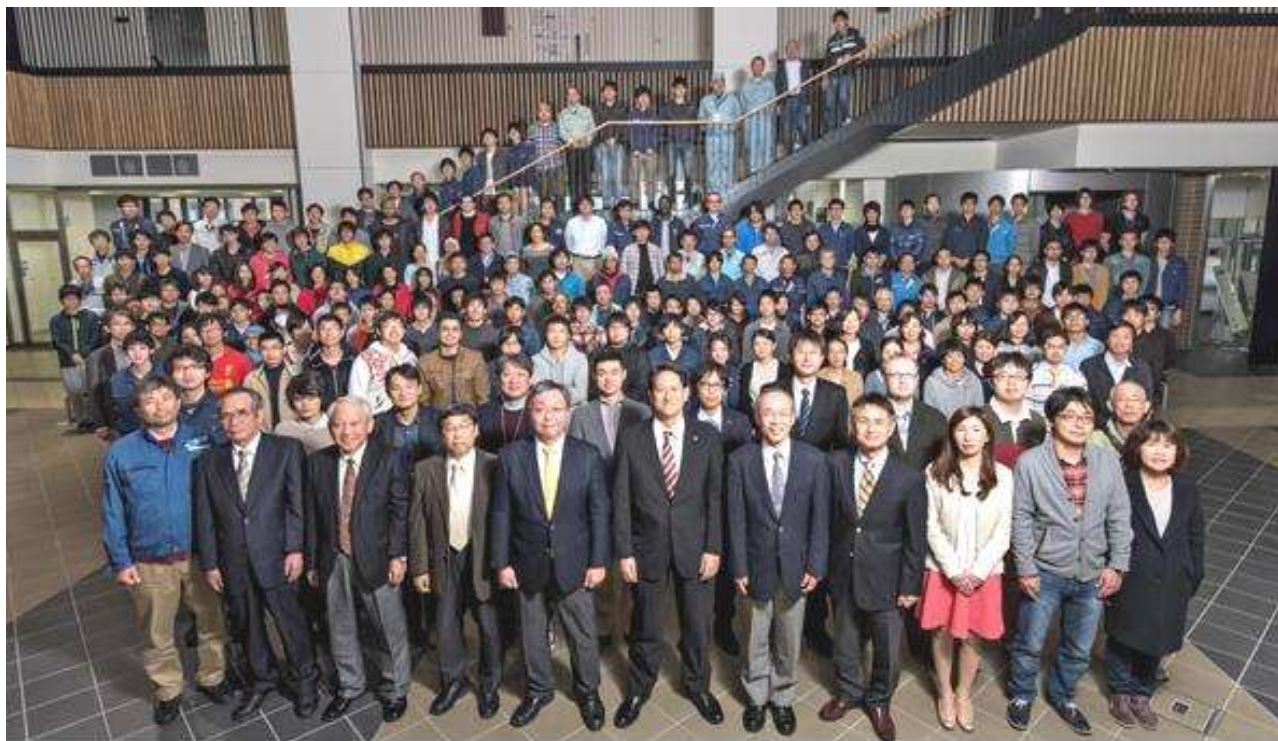
カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、工学研究院主幹教授)

(Email) [sasaki@mech.kyushu-u.ac.jp](mailto:sasaki@mech.kyushu-u.ac.jp) (研究室HP) <http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/~hup/index.html>

(水素センターHP) <http://h2.kyushu-u.ac.jp/>

文部科学省・環境エネルギー科学技術委員会

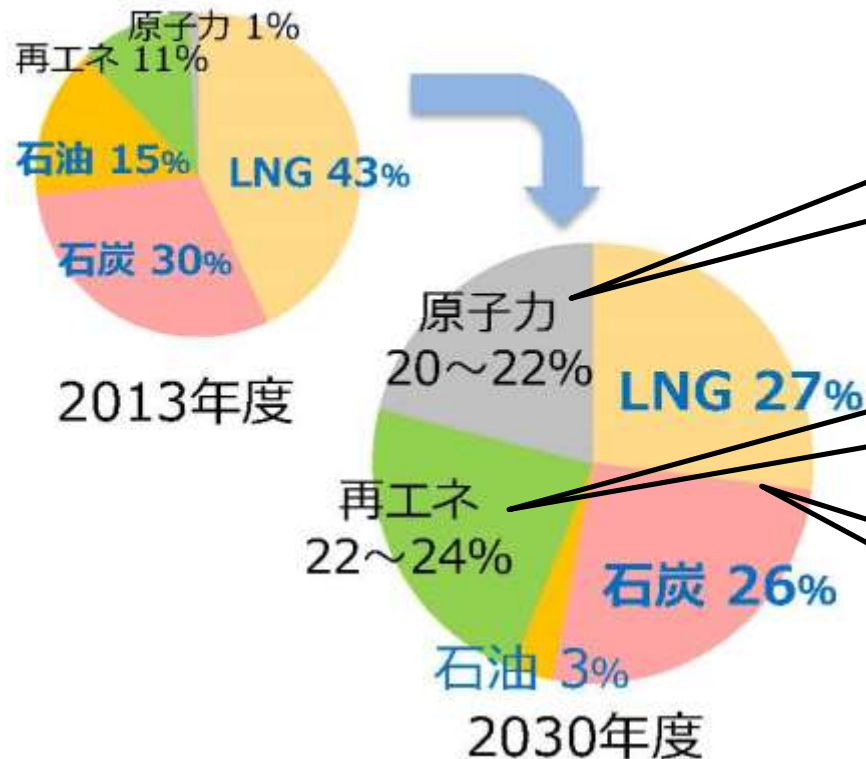
2018年12月20日



# 電気を今後、どのように作るか？

- エネルギーミックスの基本方針は3E+S(安全性、安定供給、経済効率性、環境適合)を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現するというもの。

## 2030年の電源構成



**原子力**: 出力調整できないベース電源増加(エネルギーマネジメント重要)

**再エネ**: 変動する電力の蓄エネが課題(蓄電池、水素、揚水)

**石炭+天然ガス**: 発電効率向上によるCO<sub>2</sub>排出削減が不可欠

(出典: 次世代火力発電協議会、2015年6月16日)

[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/jisedai\\_karyoku/pdf/001\\_01\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_karyoku/pdf/001_01_00.pdf)

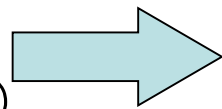
**パリ協定**: 『今世紀後半に人為的な温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成』= CO<sub>2</sub>排出が実質ゼロの社会へ

# 水素: 使って出るのは水だけ(炭素循環⇒水素循環)!

## 燃料電池: “燃やさない”直接変換で高効率化!

### 熱エネルギー変換(燃焼)

(化学エネルギー⇒**熱**⇒運動⇒電気)



### 電気化学エネルギー変換

(化学エネルギー⇒**電気**)

内燃機関(**集中型**): **量的**なCO<sub>2</sub>排出減

燃料電池(**分散型**): **質的**なCO<sub>2</sub>排出減



ニューコメンの熱機関  
(Newcomen, 1712)  
【当時の効率約1%】

ガソリンエンジン  
(Otto cycle, 1876)  
【実運転で十数%】

燃料電池

水素  
を介して  
燃やさず  
に発電!



エネファーム

(九大伊都に7台設置)

【家庭で発電効率50%  
総合効率約90%超】

燃料電池車

(トヨタ製、九大所有、  
世界初の大学公用車)

【車両効率約65%】



業務産業用・発電用燃料電池

(三菱日立パワーシステムズ製、九大伊都設置)

【将来、天然ガスで発電効率約70%へ】

蒸気タービン(Rankin cycle, 1854)

(日本機械学会編「熱力学」より引用)



# 意義：なぜ、水素？なぜ、燃料電池？

**背景・現状：**火力が全電力の約9割／鉱物性燃料輸入で年十数兆円国富  
流失／再エネ接続問題（蓄電困難）／地域の疲弊（光熱費が出費の約1割）

## ● 燃料電池で、燃料を燃やさずに効率良く電気を作る！

（水素を介した電気化学反応。家庭用や車用はもちろん、業務産業用、  
発電用、再エネ用、携帯用、宇宙航空用など、多岐用途で発電可能）

## ● 車からの排気ガスが無い社会へ！

（中長期的には、CO<sub>2</sub>フリー水素で走るゼロエミッションへ）

## ● 石油に過度に依存しない、持続可能な車産業・車社会へ！

（日本の基幹産業・我々の日々の移動が、特定の資源に依存しなくなる）

## ● 変動が激しい再エネ電力を、水素で貯蔵可能！

（電気を水素の形で蓄えることで、再生可能エネルギー由来の電力の  
受入余地が増加。エネルギー自給率アップ、エネルギーの地産地消へ）

# エネルギー革新戦略(エネルギー白書2016年版)

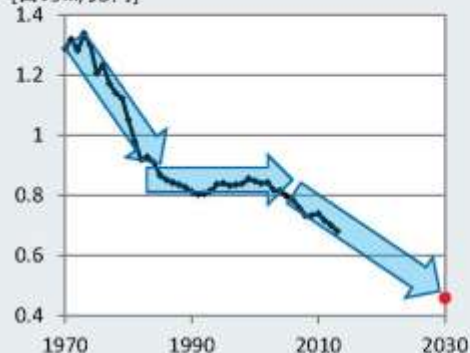
## 環境制約と成長の両立を実現する「エネルギー革新戦略」

- 気候変動問題を真に解決するためには、「持続的に」取り組む必要があり、経済成長との両立が不可欠。
- 両立の鍵は、①徹底した省エネ、②再エネの拡大、③新たなエネルギーシステム構築に向けたエネルギー投資の拡大とそれによる効率改善。このため、「エネルギー革新戦略」を策定・実行。

### 省エネ

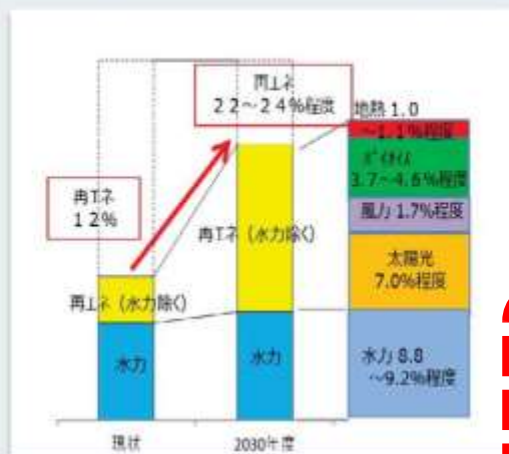
石油危機後並の効率改善  
(エネルギー効率35%改善)

最終エネルギー消費原単位の推移  
[百万kl/兆円]



### 再エネ

現状水準から2倍(12%から22-24%)



### 新たなエネルギーシステム

・ネガワット取引市場の創出



・燃料電池自動車の普及目標

(2030年80万台程度)

・水素ステーションの整備目標

(足下から4倍となる2025年度320箇所程度)



省エネや再エネをはじめとする分野の関連制度を一体的に整備する「エネルギー革新戦略」を策定

### 徹底した省エネ

(産業) トップランナー  
(運輸) 次世代車  
(家庭) 住宅や家電

### 再エネの拡大

FIT制度の見直し

### 新たなエネルギー システムの構築

IoTを活用した  
再エネ・省エネ融合

ポスト2030年に向けた  
水素社会戦略の構築

# 世界動向：水素が世界の脱炭素化の切り札の一つへ

## 水素協議会メンバー（企業CEO会合、2018年9月5日までの1年半で4倍増）

ステアリング・メンバー：33の様々な国の企業（3M、Airbus、Air Liquide、Air Products、Alstom、Anglo American、Audi、BMW GROUP、China Energy、Cummins、Daimler、EDF、ENGIE、Equinor、Faurecia、General Motors、Great Wall Motor、本田技研工業、Hyundai Motor、岩谷産業、Johnson Matthey、JXTGエネルギー、川崎重工業、KOGAS、Plastic Omnium、Royal Dutch Shell、Sinopec、The Bosch Group、The Linde Group、Thyssenkrupp、Total、トヨタ自動車、Weichaiの各社）

サポーティング・メンバー：20のバリューチェーン上の企業（AFC Energy、Ballard、Faber Industries、First Element Fuel (True Zero)、Gore、Hexagon Composites、Hydrogenics、丸紅、McPhy、三菱商事、三菱重工、三井物産、NEL Hydrogen、Plug Power、Re-Fire Technology、Royal Vopak、Southern California Gas、三井住友銀行、住友商事、豊田通商の各社）

## 「水素」が世界全体の2050年までのCO<sub>2</sub>排出量削減の約2割に貢献可能

ドイツ・ボン - グローバルリーダーがCOP23のためボンで会合を行う中、Hydrogen Council（水素協議会）の名の下に様々な業界の18名のリーダーが集結し、世界初となる水素利用の具体的なビジョン（調査報告）を公表。

（2017年11月13日）

### ●水素がエネルギー移行の主軸の一つ

### ●2.5兆ドルに相当するビジネス

### ●3,000万人以上の雇用を生み出せる可能性

### ●2050年までに水素利用はエネルギー消費量全体の約1/5を担うことが可能、CO<sub>2</sub>の削減量の約20%を担う

### ●2030年までに1,000万台から1,500万台の燃料電池乗用車、50万台の燃料電池トラック

### ●他の産業分野、例えば産業上の工程で、原材料、熱源、動力源、発電用、あるいは貯蔵して等々、様々な利用が想定

### ●水素技術は持続可能な経済成長を生み出す能力



(Hydrogen Council Homepage: <http://hydrogencouncil.com/>)

(トヨタ自動車ホームページ: <https://newsroom.toyota.co.jp/jp/detail/19712845/>)

# 燃料電池・水素エネルギーの研究開発

## 社会実装

次世代燃料電池  
超高効率発電



水素ステーション・  
燃料電池自動車



## 【将来のあるべき姿へ】

超高効率エネルギーシステム  
ゼロエミッションモビリティ  
「脱炭素・水素社会」実現

## 技術実証

- 定置用高効率燃料電池システム
- 移動体用燃料電池システム
- 再エネ水素エネルギーシステム

## 中核技術

- 燃料電池高効率化・高出力化・高耐久化
- 可逆燃料電池(発電+水電解)

## 要素技術

- 電極触媒・電解質材料・周辺材料
- 革新的コンセプト・社会モデル

## 基盤工学

- 原子～デバイス～システムレベルの可視化など

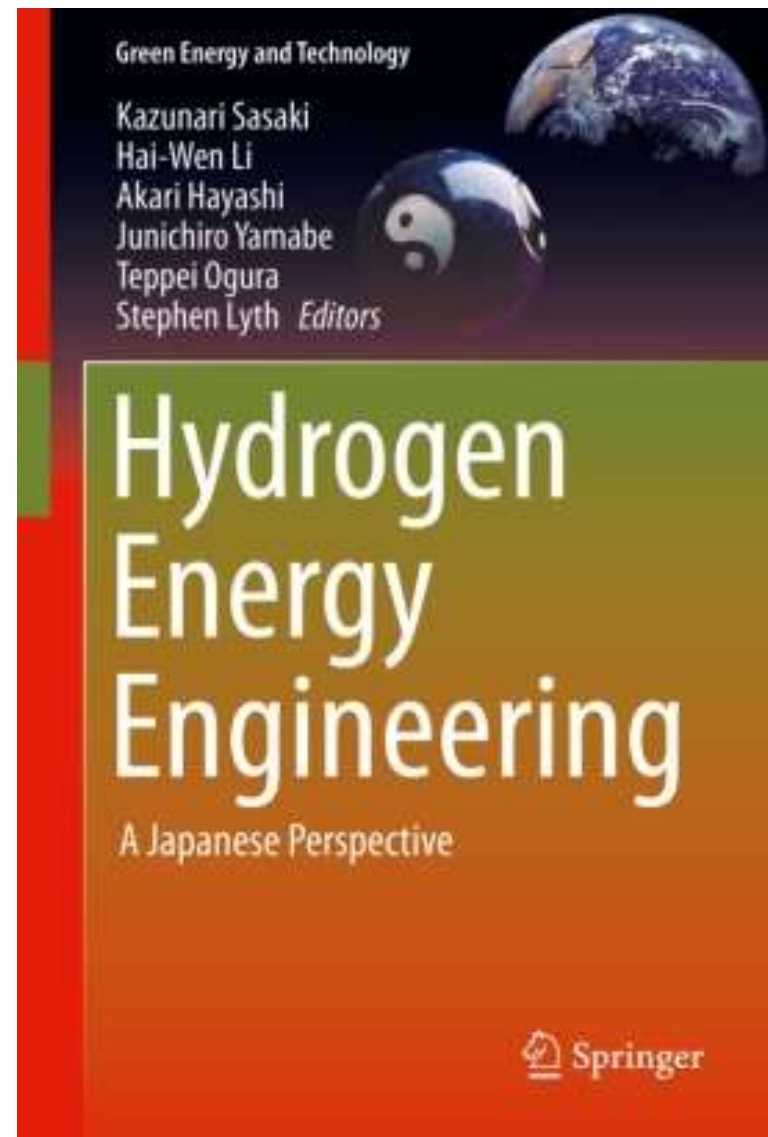
経産省・環境省など

文科省など

# 展望：水素分野で大学が貢献できること

- 革新技术開発への挑戦
- 水素イノベーションハブ形成
- 水素エネルギー科学技術の体系化
- イノベーション人材育成  
(学生、若手研究者、企業技術者)

出展・詳細情報  
(2016年10月6日発売開始 計593ページ)  
(ダウンロード件数：世界で5万回以上)





# 例：九大水素拠点 (大学が社会に貢献できることを組織・形に！)

**エネルギー研究教育機構** (オール九大で、今世紀後半のエネルギー社会を提案)

## 社会実装

### 水素タウン

(世界最大規模、150台の燃料電池が集中設置)



### センターオブイノベーション

(社会実装のためのイノベーション拠点)



### 水素ハイウェイ

(九大水素キャンパスから、全国へ展開)



## 人材育成

**水素エネルギーシステム専攻**  
(世界初。工学府に平成22年度新設)



## 産学連携

**次世代燃料電池産学連携研究センター**  
(SOFC分野の世界初の本格的な産学連携集中研)



**(公財)水素エネルギー製品研究試験センター(福岡県)**  
(伊都近郊に立地。産業化を支援)



## 燃料電池

**水素エネルギー国際研究センター**  
(水素・燃料電池インキュベーター)



## 水素エネ

**水素材料先端科学研究センター**  
(水素に触れる材料に関する集中研)



**カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所**  
(低炭素エネルギー分野の世界トップレベル研究所)



## 国際連携

## 技術実証

**次世代エネルギー実証施設**  
(大学発技術をキャンパス内で実証)



**稲盛フロンティア研究センター**  
(世のため、人のための未来科学研究)



## 未来科学

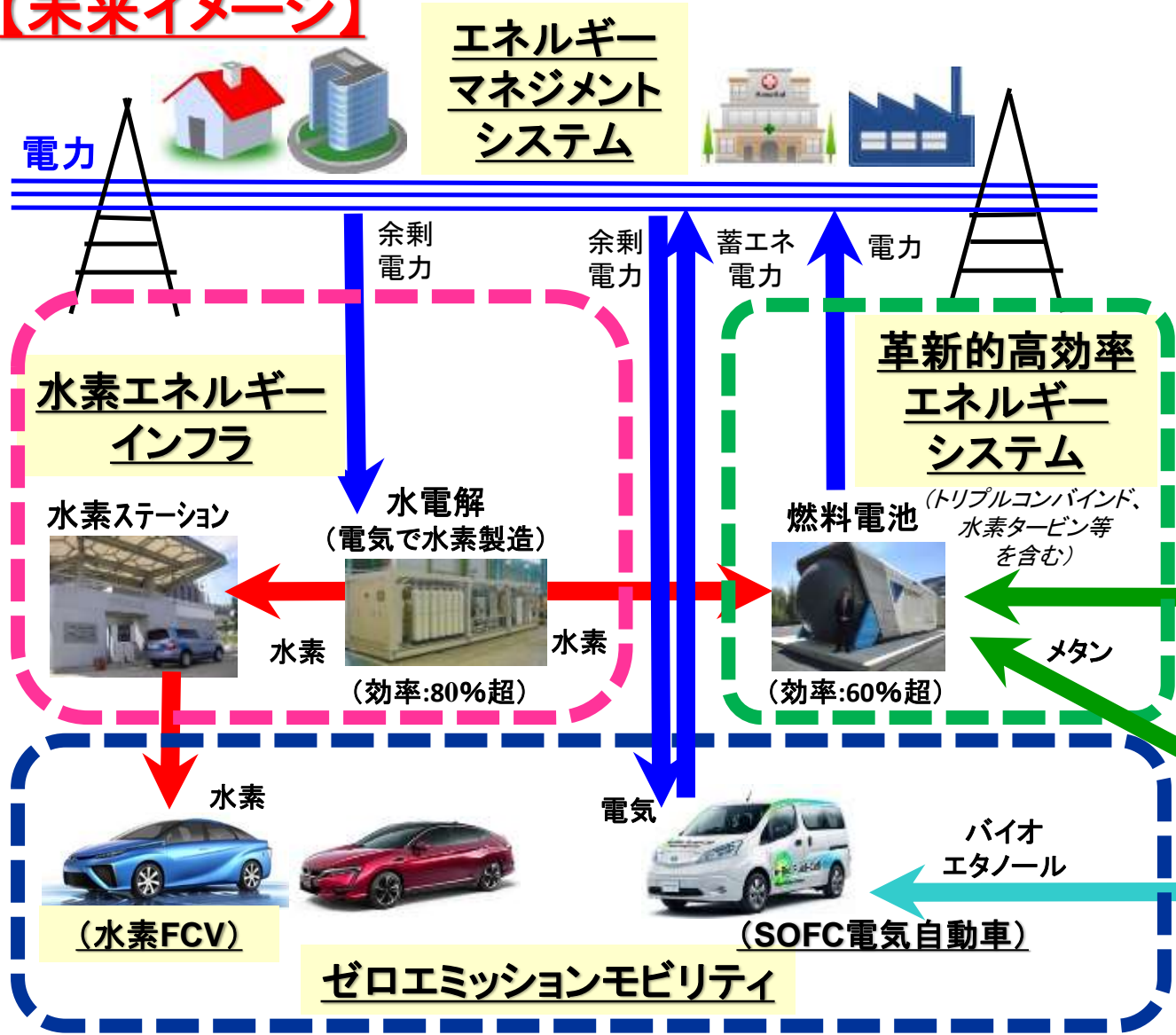
## 基盤研究

**産学官地域連携：基礎基盤研究から産学共創、そして本格普及へ**

# 例：脱炭素・水素社会実現加速 (COI事業：九大佐々木、東大松橋ほか)

これまでどおり快適にエネルギーを使いながら、**CO2排出8割減**を実現！

## 【未来イメージ】



## COI 現状 目標 例

再生可能エネルギー (メガソーラー等)

10% (水力含む)

50% (再エネ水素不可欠)

天然ガス等化石燃料

90%弱

40% (超高効率化不可欠)

バイオ燃料 (バイオガス・消化ガス・サトウキビ等)

約0%

10% (SOFC-EV不可欠)

(原子力の導入分、CO2排出削減のハードル低下)

# NEXT-FC: 燃料電池分野で世界と戦うイノベーションハブ

(九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター、センター長:佐々木一成 副学長・主幹教授)

- 次世代燃料電池分野の**世界初の産学連携集中研**「**大学内に自社ラボ!**」
  - 機密を守れる企業ラボ**。**約15社が入居**。**産学共創が日々可能**に。
  - ワンストップ支援**:基礎研究から実証までを一貫実施「**困ったら九大へ!**」
  - 大学の多様な最先端技術シーズを活用可能**「**ドラえもののポケット!**」
- ⇒入居企業が製品化・市販開始・受賞(日本機械学会賞、日経地球環境技術賞など)へ



原子レベル観察



3次元観察



**世界最先端  
分析設備群**  
(入居企業が  
利用可能)

非破壊観察



最表面観察



# NEXT-FC: 燃料電池のあらゆる可視化・評価を目指して

**高出力**  
**X-ray CT**  
(非破壊  
分析用)



**最先端の  
燃料電池  
可視化**

**低エネルギーイオン散乱**  
**LEIS**  
(最表面元素  
分析用)



**集束イオン  
ビーム  
加工観察  
装置**  
**FIB-EDX**  
(3D元素  
分析用)



**FIB-  
ESEM**

**走査透過電子  
顕微鏡STEM**  
(原子分解能  
観察、高温  
雰囲気制御  
その場観察  
など)



**ETEM**

**表面元素分析装置**  
**TOF-SIMS**  
(I2CNER  
所属装置)



**走査分析  
電子顕微鏡**  
**SEM-WDX-  
EDX**



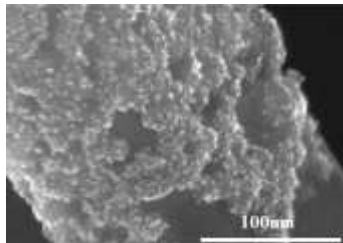
燃料電池実験スペース 約6500 m<sup>2</sup>、燃料電池評価システム60台超、燃料電池実機試験サイト (1000m<sup>2</sup>、500kW、電気・ガス・保安設備完備)、各種電気化学計測システム、各種材料評価装置、各種高温試験装置、SOFC/PEFC材料・セル製造装置群、各種薄膜製造装置など

将来: “水素研究ネットワーク”の中核ハブの一つとして貢献! ?

# 革新技术開発例：次世代電極触媒創製 (固体高分子形燃料電池)

## 高耐久Pt/Nb-SnO<sub>2</sub> 電極触媒の創製

(九大佐々木発明。燃料電池車寿命相当の  
6万回起動停止+40万回負荷変動耐久！)

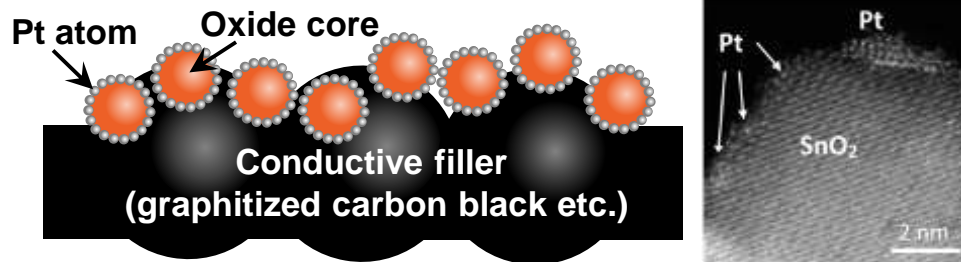


(Takasaki, Sasakiほか、*J. Electrochem. Soc.*, (2011),  
Nakazato, Sasakiほか、*J. Electrochem. Soc.*, (2018),  
Matsumoto, Sasakiほか、*J. Electrochem. Soc.*, (2018))

## 酸化物コア・シェル触媒の創製

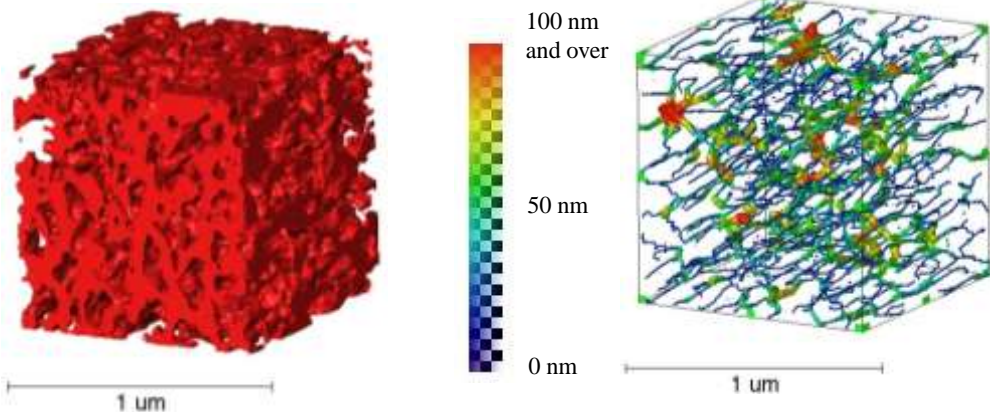
### Oxide-core Pt-shell concept

(白金有効利用+電位サイクル耐久性+集電性向上！)



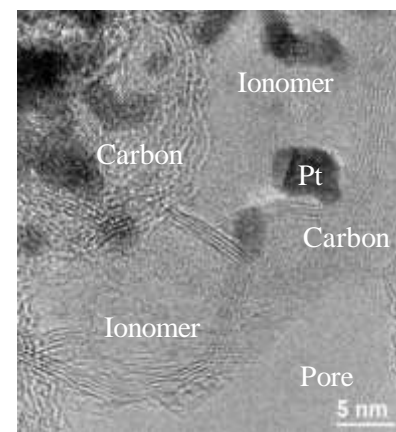
(Nagamine, Sasakiほか、*ECS Trans.*, (2018))

## 電極触媒層の3次元定量化実現



(Okumura, Sasakiほか、*J. Electrochem. Soc.*, (2017))

## 電極触媒層高分解能観察実現



(Okumura, Sasakiほか、*J. Electrochem. Soc.*, (2017))

**目標：不可能を可能にする革新技术開発や評価手法確立！**

# 革新技术開発例：超高効率化(固体酸化物形燃料電池)

## SCIENTIFIC REPORTS

“Effect of Proton-Conduction in Electrolyte on Electric Efficiency of Multi-Stage Solid Oxide Fuel Cells”,

Y. Matsuzaki, Y. Tachikawa, T. Somekawa, T. Hatae, H. Matsumoto, S. Taniguchi, K. Sasaki, *Scientific Reports*, 5, 12640 (2015).

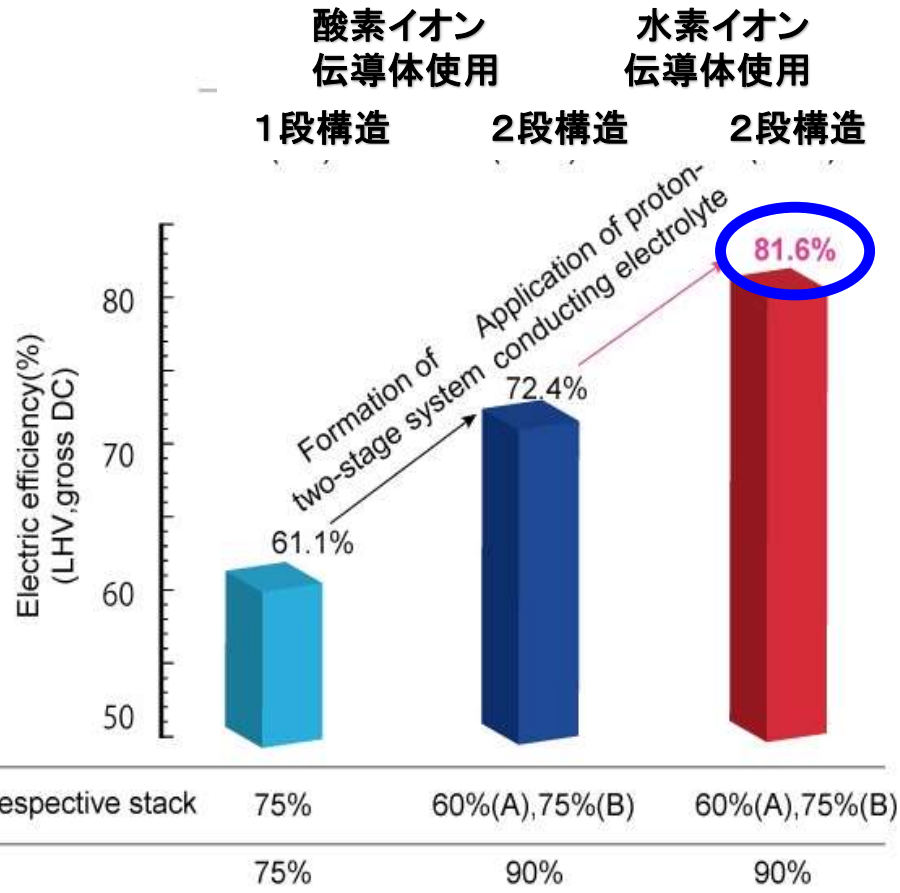
<https://www.nature.com/articles/srep12640>



KYUSHU UNIVERSITY



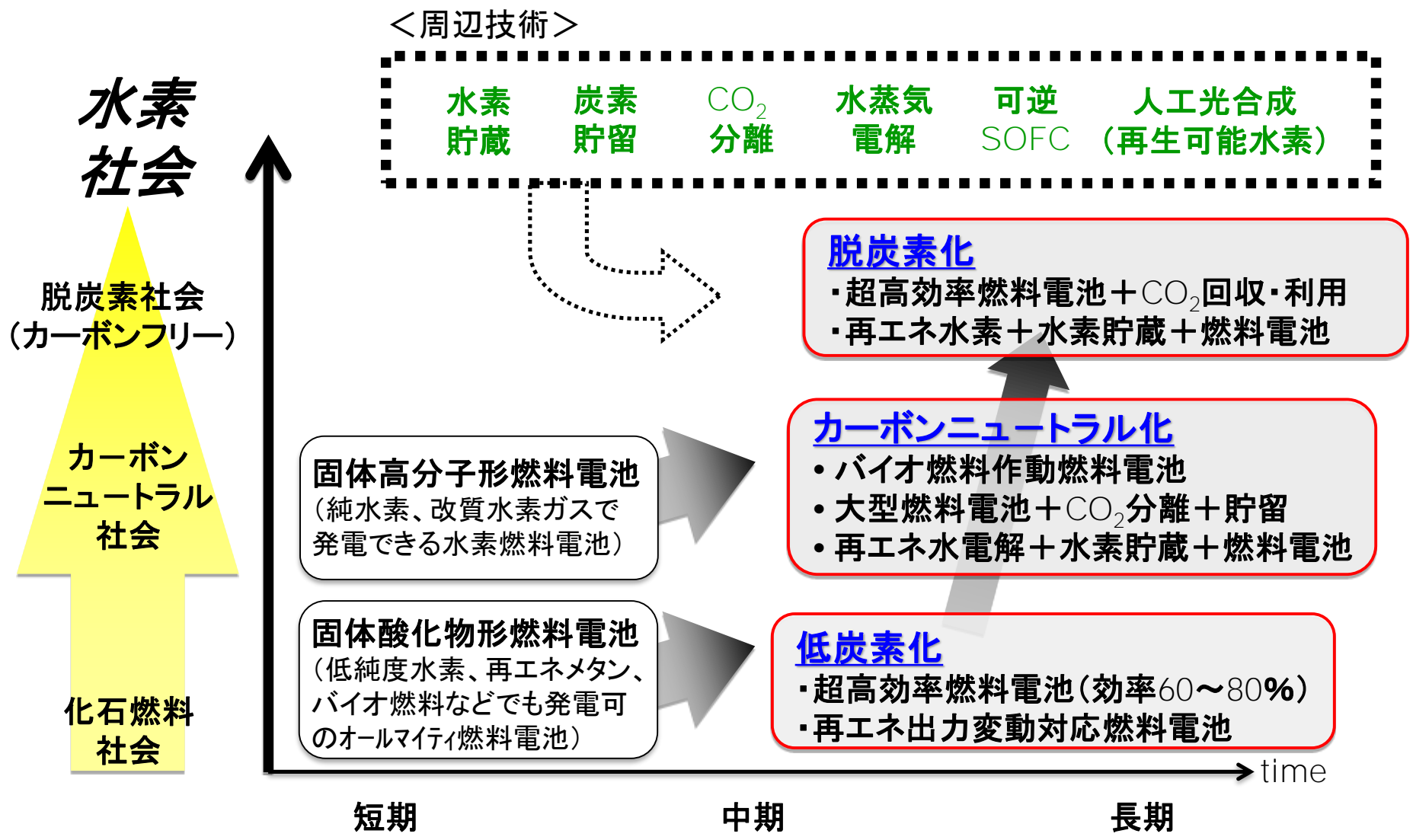
発電効率 (%)



●燃料電池の多段化と水素イオンが動く固体電解質材料の利用で発電効率として80%LHVを超える“超高効率”が可能であることを理論的に明示。(2015年7月28日、Nature姉妹紙『Scientific Reports』で公開)

目標：世界最高効率の発電システム・世界を圧倒するエネルギーシステムへ！

# 水素エネルギー工学の確立：技術シーズの体系化へ



**目標：燃料電池・水素エネルギーの次世代科学技術の確立！**

# 水素社会実現への技術開発・研究開発 (総力戦!) 16

## <短中期課題:スケールアップ技術開発>(産業界主導)

**【水素価格大幅低減・量的普及】**:スケールアップ、大規模実証、導入補助(サプライチェーン、水電解、水素を使う産業プロセス、脱炭素システム・コミュニティー・Society5.0など)

## <中長期課題:次世代基盤研究開発>(大学・国研主導可)

### 【水素製造】

- 低コスト水電解(高分子形)**:起動停止容易、分散型再エネ利用、低貴金属化(Ir)は必要
- 高耐久性水蒸気電解(酸化物形)**:超高効率電解可、メタネーション等とも組み合わせ可

### 【水素貯蔵】

- 常圧水素貯蔵材料・システム**:10気圧未満での簡便な水素貯蔵で本格普及・蓄電池代替

### 【水素利用】

- 超高効率燃料電池(酸化物形、60%超)**:究極の発電技術、CO<sub>2</sub>フリーメタン利用で脱炭素
- 金属支持型燃料電池(急速起動・変動対応)**:高効率発電の低コスト化実現
- 高耐久性・低白金燃料電池触媒設計(高分子形)**:燃料電池車の白金使用量大幅低減
- 水素燃焼(水素タービン等)・液体水素対応(断熱)**:大型システム開発に伴い基礎も重要

### 【共通技術】

- 観察(3D・原子レベル・その場)・計算(量子化学、熱流体)手法**:次世代手法で開発加速
- 材料と水素との相互作用解明(高分子、金属)**:水素社会で使える汎用材料増

### 【水素社会】

- 水素エネルギーインフラ最適化(調整力など)**:変動する再エネの最適利用モデル検討
- 水素社会の経済・環境性、社会受容性**:量的・経済的・社会的検討、事業モデルなど

イノベーションの基盤となる技術が重要!(世界的な競争激化!省庁連携で要加速!)