

GXに向けた**水素**を“**使いこなす**”ための最先端研究

日本発信の統合的な水素科学：
新学術領域 **ハイドロジェノミクス** の成果と今後

折 茂 慎 一

東北大学

材料科学高等研究所（WPI-AIMR）所長
（材料科学世界トップレベル研究拠点 副拠点長）

金属材料研究所 水素機能材料工学研究部門 教授

高エネルギー加速器研究機構（KEK）
物質構造科学研究所 客員教授

九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所
エネルギーシステムデザイン研究センター 連携教授

GXに向けた水素を“使いこなす”ための最先端研究

日本発信の統合的な水素科学： 新学術領域 **ハイドロジェノミクス** の成果と今後

- 研究分野の課題 と “**研究マインド**” の変化
- **水素科学技術**のGXへの多面的な貢献
- **革新的水素貯蔵技術**の構築に向けた研究アプローチ
- 研究事例のご紹介（2名の先生方）

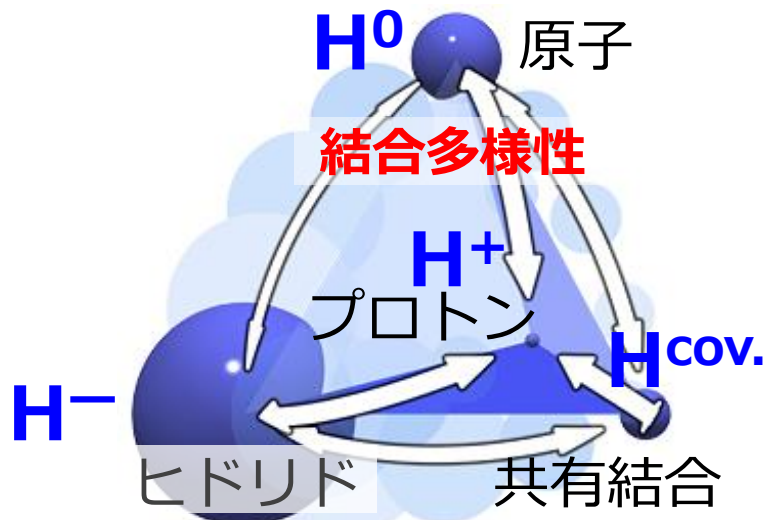
GXに向けた水素を“使いこなす”ための最先端研究

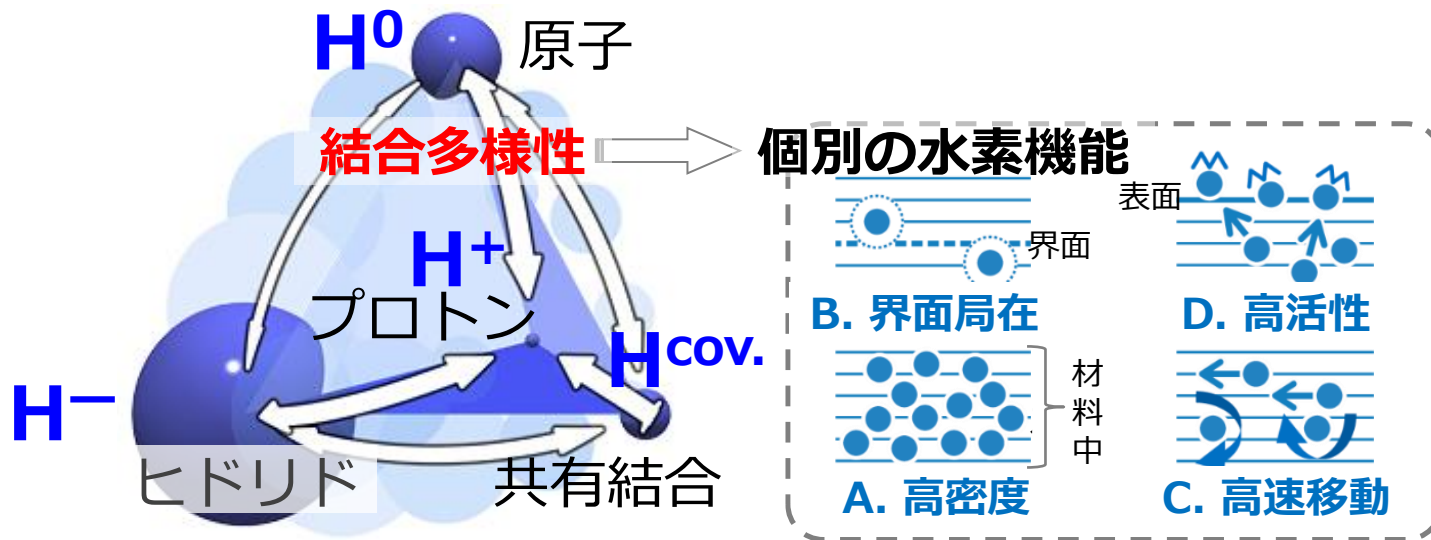
金属系水素貯蔵材料:
貴金属を使わずにアルミニウムと鉄で水素を蓄える

量子科学技術研究開発機構 齋藤 寛之 先生

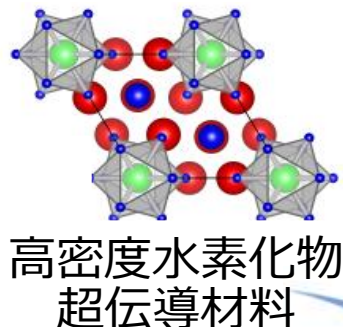
ポリマー系水素貯蔵材料:
循環型水素貯蔵エコマテリアルとしての展開

早稲田大学 小柳津 研一 先生

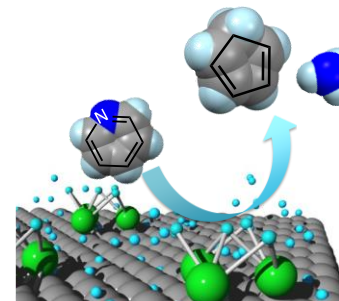




革新的材料・デバイス・反応プロセス



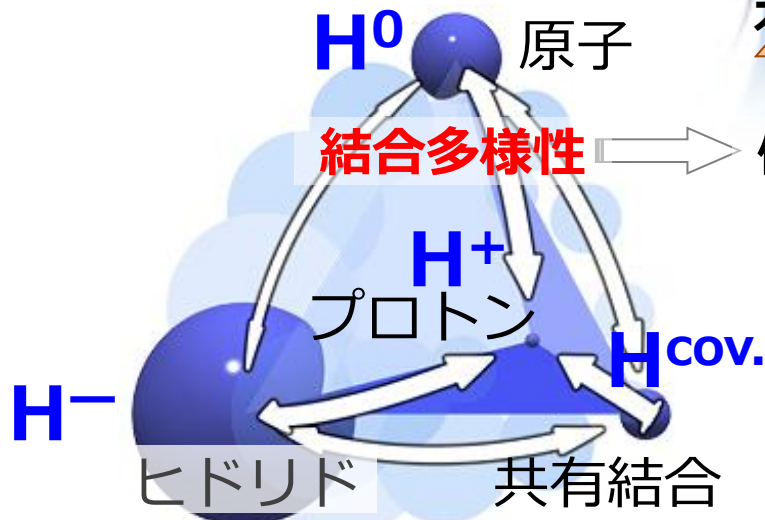
水素化物
超イオン伝導
デバイス



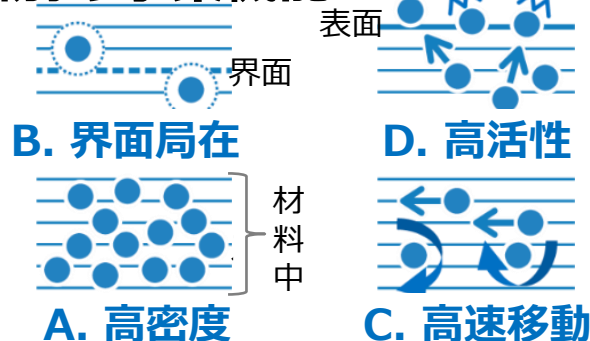
高活性水素
物質変換プロセス

多彩な高次水素機能

本領域: 複数の水素機能の相乗効果
(1+1>>2)



個別の水素機能



コアメンバー (工学、化学、物理学、生物学..)

複数の専門分野の融合・統合的なアプローチ

A01 研究代表/東北大学 折茂 慎一



高密度水素による超機能材料の合成

材料中での水素の高密度化過程を先端計測・シミュレーションにより解明し、領域内連携により高密度化しやすい初期の原子・電子構造の設計や新たな機構での高密度化を実現します。これにより従来の水素密度の限界を突破するとともに、新たな超イオン伝導・超伝導材料などの革新機能材料を合成します。

A. 高密度

A01メンバー



【研究分担】
山室 修
東京大学



【研究分担】
齋藤 寛之
量子科学技術研究開発機構



【研究協力】
清水 克哉
大阪大学



【研究協力】
亀川 厚則
京畿工業大学



【研究協力】
中村 優美子
産業技術総合研究所



【研究協力】
宮岡 裕樹
広島大学

A03-1 研究代表/山梨大学 宮武 健治



高速移動水素による次世代創発電子デバイスの設計

水素イオンが高分子薄膜中を高速移動する機能を極限まで追求します。領域内連携により薄膜内部や異種材料界面における水素イオン・電子の移動過程を制御し、従来材料・技術では見通すことができない高出力密度と高エネルギー密度を併せ持つ次世代創発電子デバイスの設計と物理実証を行います。

C. 高速移動

A03-1メンバー



【研究分担】
福井 賢一
大阪大学



【研究分担】
小柳澤 研一
早稲田大学



【研究協力】
湯川 宏
名古屋大学



【研究協力】
森本 正和
立教大学



【研究協力】
中村 将志
千葉大学

A02 研究代表/東京工業大学 一杉 太郎



局在水素によるヘテロ界面機能の強化

本新学術領域研究の様々な場面で「界面」が顔を出します。したがって、界面は共通のキーワードと言えます。領域内連携により研究の幅を広げ、界面における水素の位置、濃度、動き、役割を明らかにし、それらを制御することによって新機能を生み出します。

B. 界面局在

A02メンバー



【研究分担】
宇佐美 徳隆
名古屋大学



【研究分担】
秋山 英二
東北大学



【研究協力】
長田 実
名古屋大学

A03-2 研究代表/東京大学 森 初果



高速・局所移動水素と電子とのカップリングによる新発想デバイス設計

特異な水素-電子カップリング材料を開発して、その機能発現、機構解明を行い、さらに先端計測・シミュレーションを含めた領域内連携により反応プロセスや界面機能を精緻化し、また先端計測・計算で動作を最適化して、ヒドリリアクターなど新発想デバイスを作り上げます。

A04 研究代表/九州大学 山内 美穂



高活性水素の精密制御による新規反応プロセスの創出

クラスター・膜・ナノ粒子などのナノ構造体の特徴を活かして、高活性水素を高選択的に生成する方法を確立し、領域内連携により高選択反応、高難度反応、高効率反応を実現します。均一-不均一反応などの既存の概念の枠を超え、高活性水素の高度利用という観点から「創・新」を行います。

D. 高活性

A04メンバー



【研究分担】
吉信 淳
東京大学



【研究分担】
張 浩徽
中央大学



【研究分担】
島 隆則
理化学研究所



【研究分担】
藤田 健一
京都大学



【研究協力】
永岡 勝俊
名古屋大学



【研究協力】
館 隼人
大阪大学



【研究協力】
石元 李佳
広島大学

A05-2 研究代表/東京大学 常行 真司



水素の先端計算による水素分子の挙動予測

水素を含む物質の第一原理シミュレーションと理論解析を行います。実験だけ、シミュレーションだけではわからない、水素の位置、動き、役割を明らかにするため、最先端の計測実験データをシミュレーションに取り入れる「水素データ同化技術」を確立し、領域内連携によりハイドロジェノミクスの課題解決と学理構築を目指します。

A05-2メンバー



【研究分担】
濱田 幾太郎
大阪大学



【研究分担】
志賀 基之
日本原子力研究開発機構



【研究協力】
杉野 修
東京大学



【研究協力】
有田 亮太郎
東京大学



【研究協力】
越智 正之
大阪大学

A05-1 研究代表/東京大学 福谷 克之



水素の先端計測による水素機能の高精度解析

水素化合物の観測に有効な種々の計測法の高度化を行い、シミュレーション技術との融合により水素データ同化技術を開発することで、先進的な水素化合物解析を実現します。これらの手法を用いて、緊密な領域内連携により、本領域で創出される多様な水素化合物の機能発現メカニズムを解明するとともに、新規高機能水素化合物の創出を行います。

A05-1メンバー



【研究分担】
大友 孝哉
高エネルギー加速器研究機構



【研究分担】
町田 晃彦
量子科学技術研究開発機構



【研究協力】
幾原 謙
理化学研究所

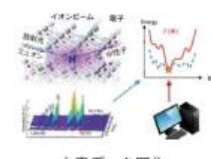
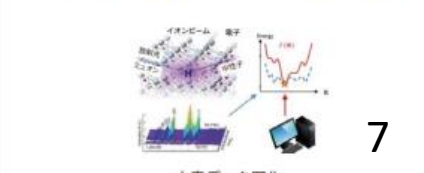
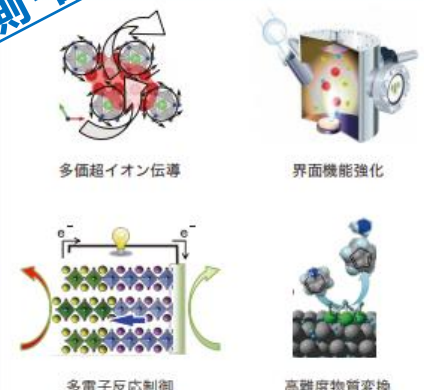


【研究協力】
下村 浩一郎
高エネルギー加速器研究機構



【研究協力】
田中 秀和
大阪大学

先端計測・計算



従来からの課題



水素貯蔵

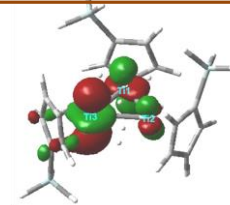
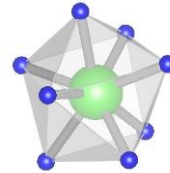


燃料電池

水素クラスター



水素クラスター



鉄鋼材料



太陽電池



従来からの課題



水素貯蔵



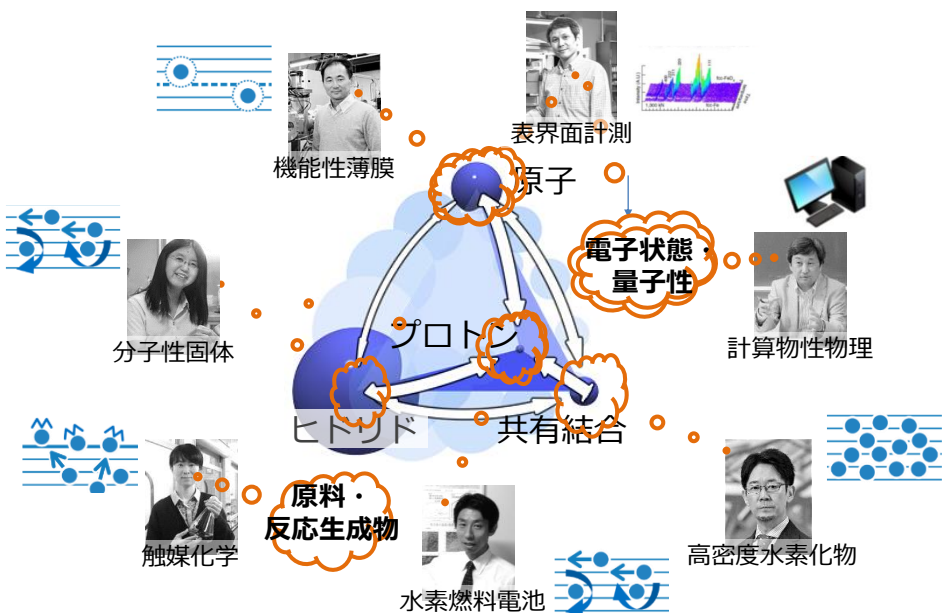
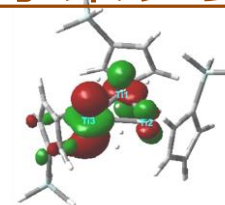
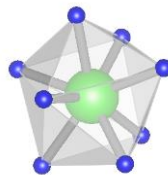
燃料電池



水素クラスター



水素クラスター



鉄鋼材料



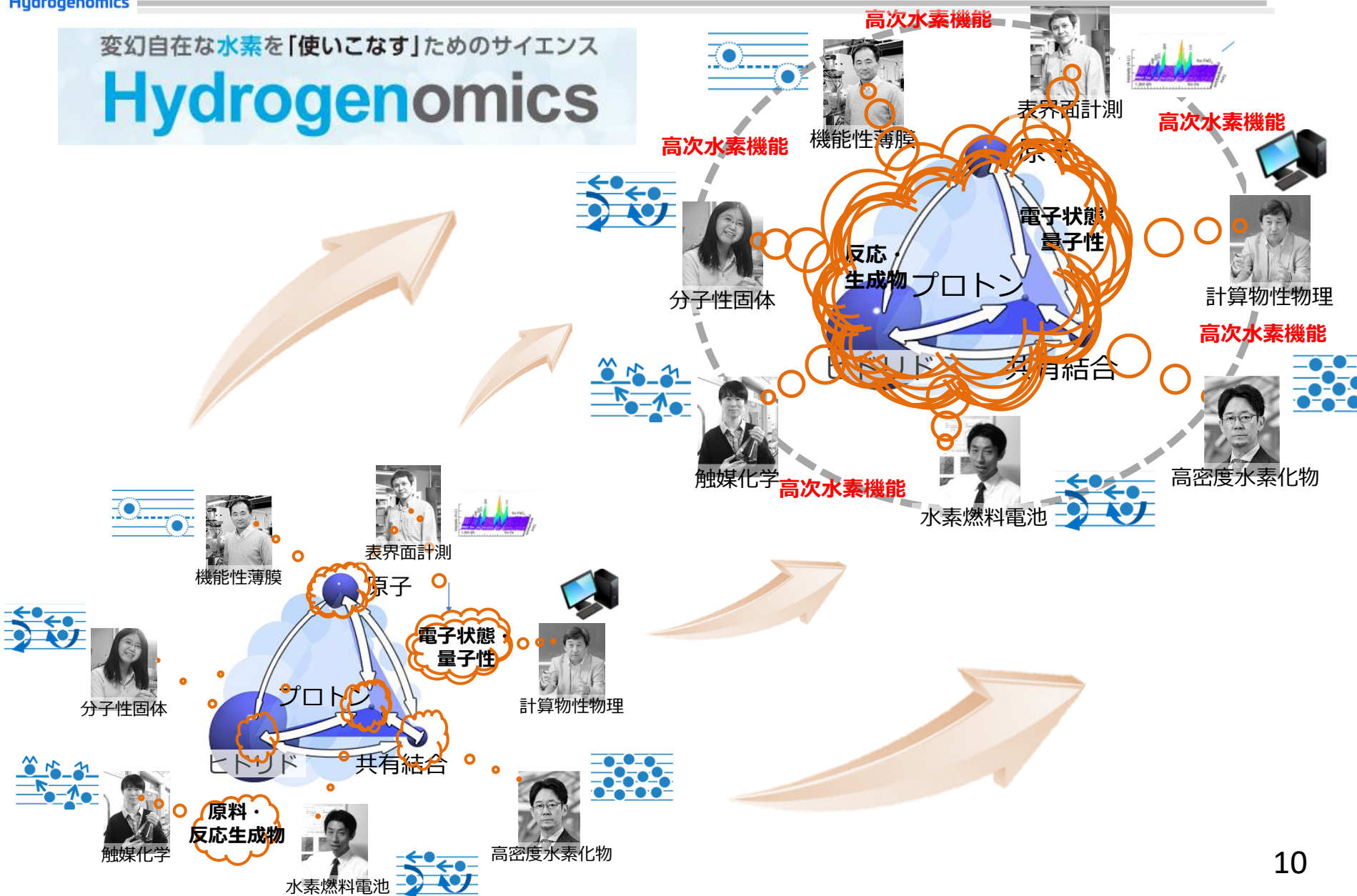
太陽電池



“研究マインド” の変化

変幻自在な水素を「使いこなす」ためのサイエンス

Hydrogenomics



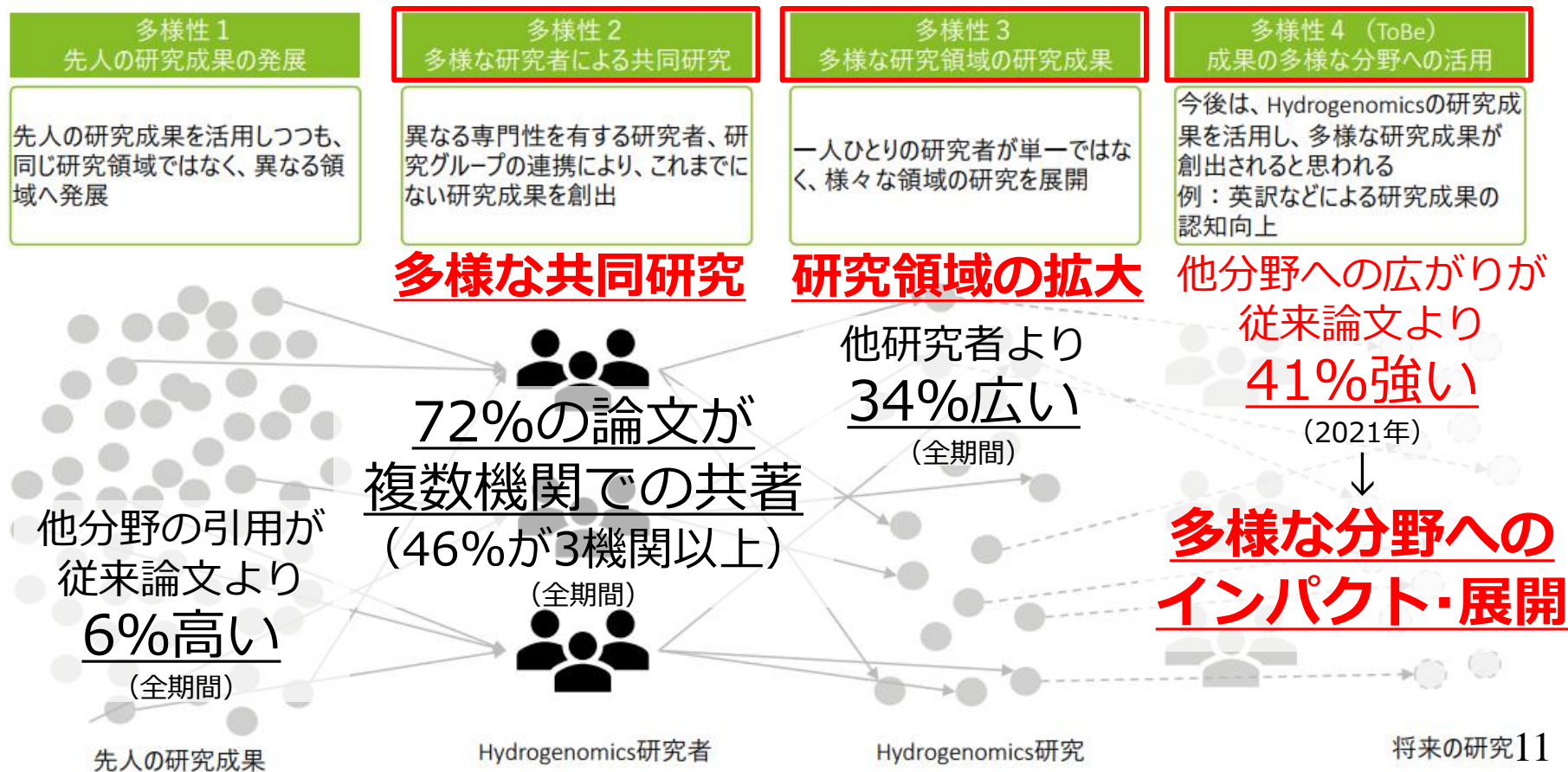
“研究マインド” の変化

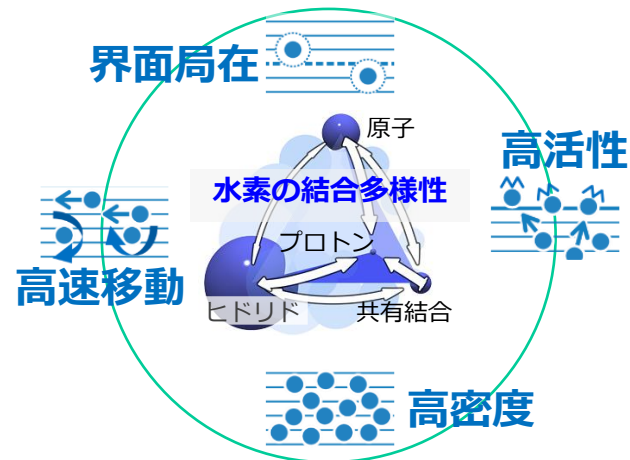
まとめ

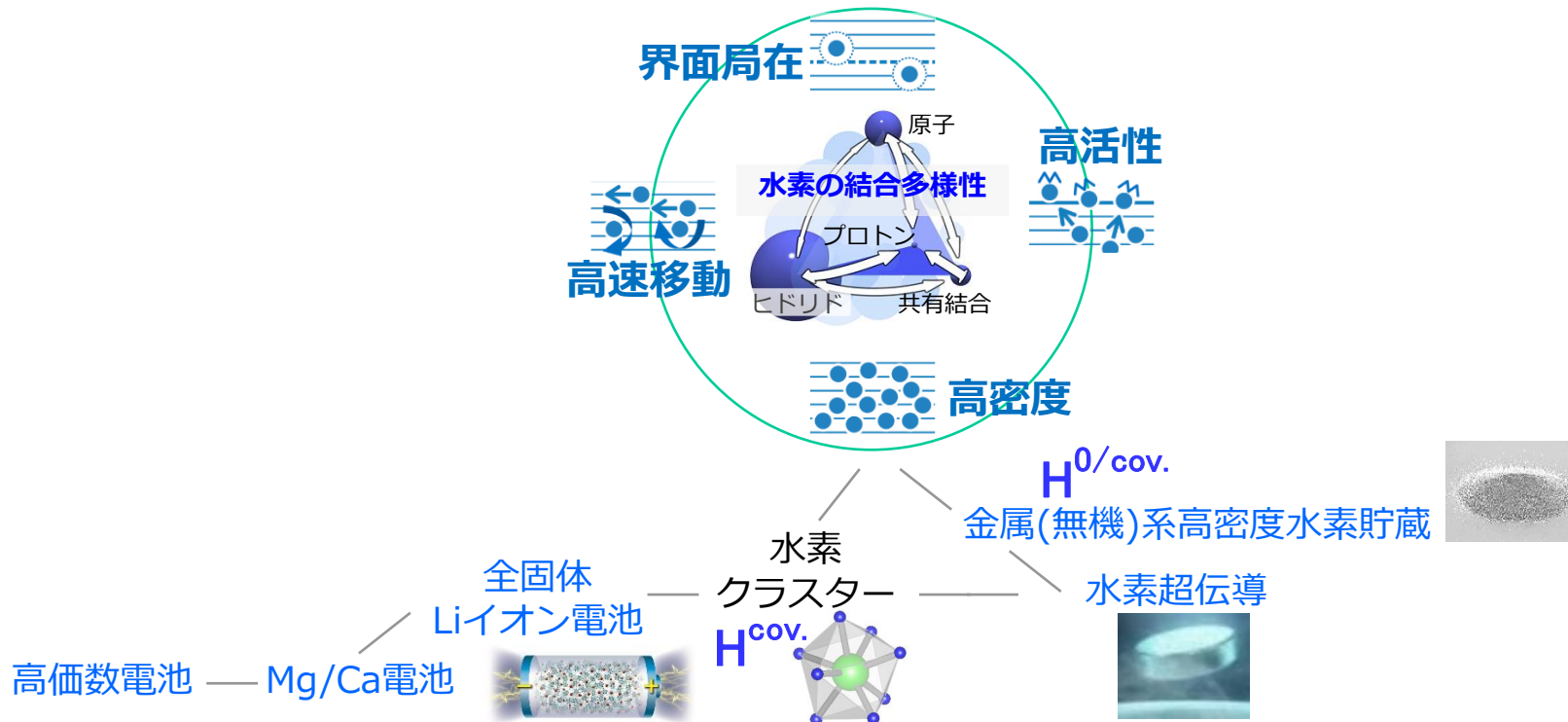
分析： Deloitte Tohmatsu Financial Advisory LLC

分析結果からHydrogenomics研究における多重の多様性が確認された。今後はこれらの研究成果の認知の向上により、より多様な分野へ研究が広がっていくことが期待される

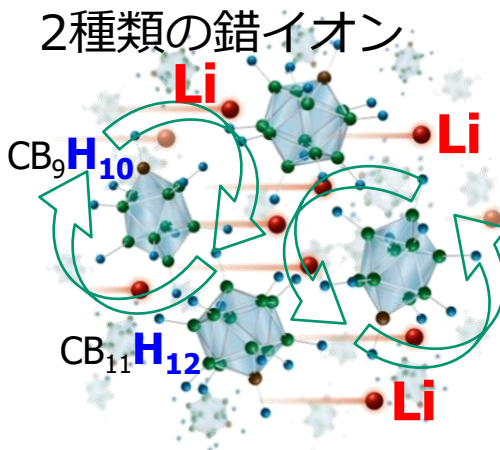
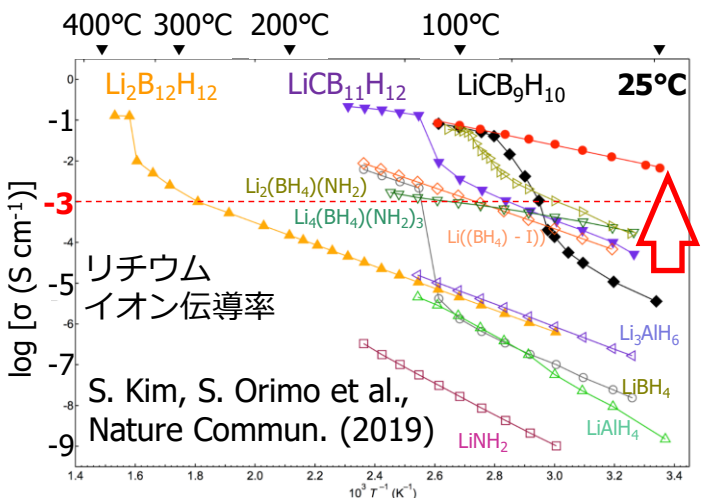
Hydrogenomicsによる研究の多様性



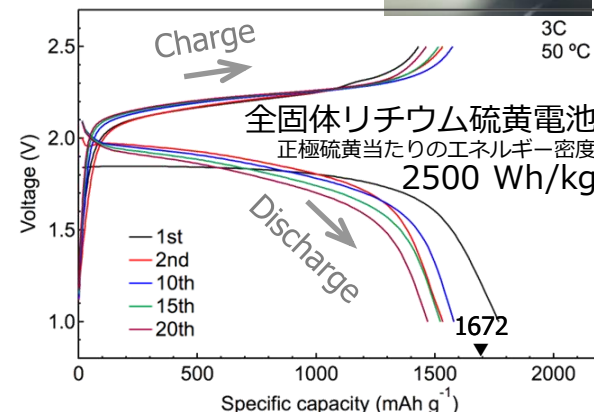




錯体水素化物のLi高速イオン伝導性と全固体電池への応用

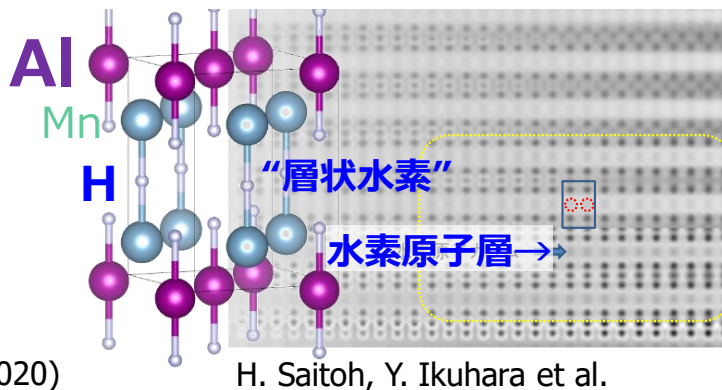
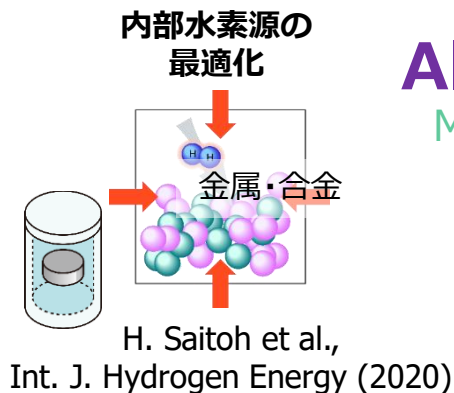


新たな固体電解質



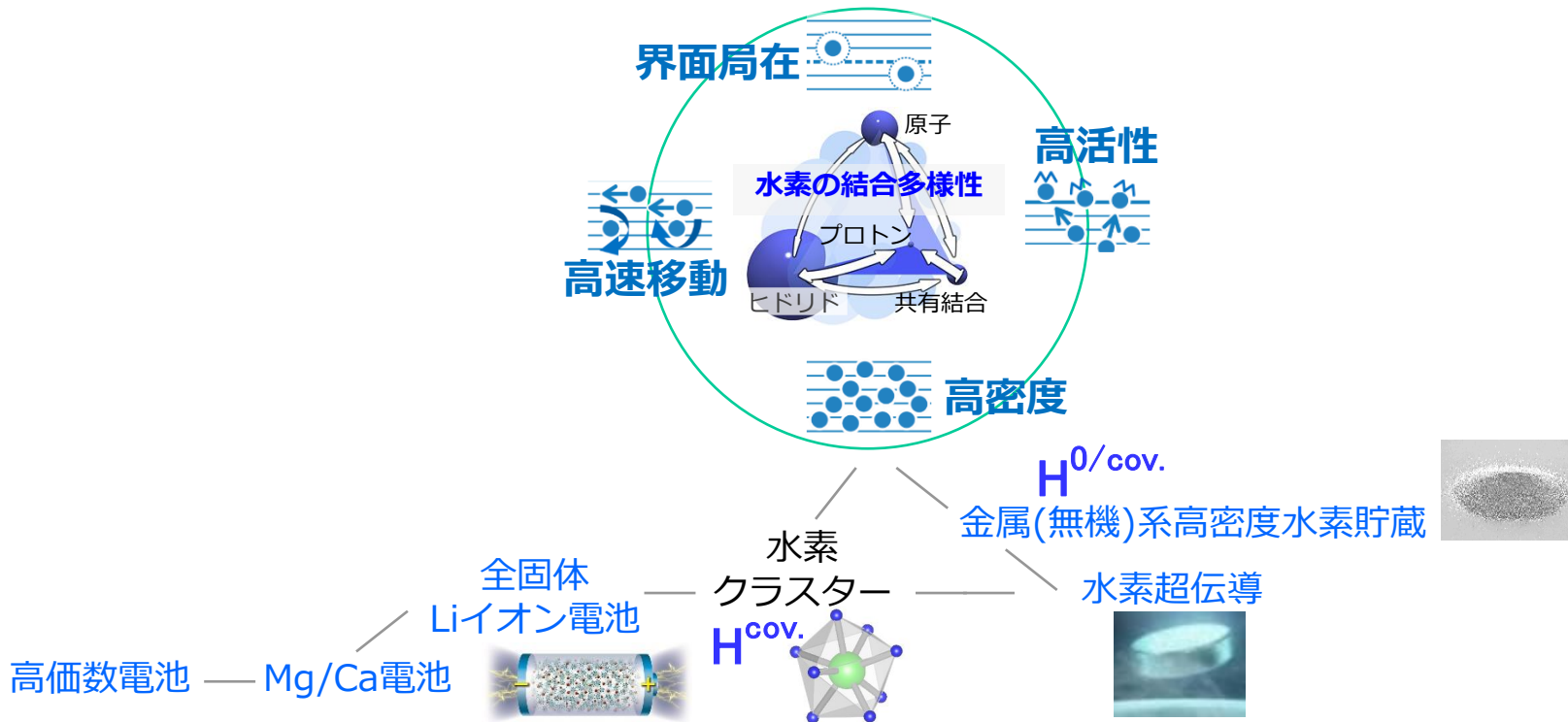
QST・齋藤先生

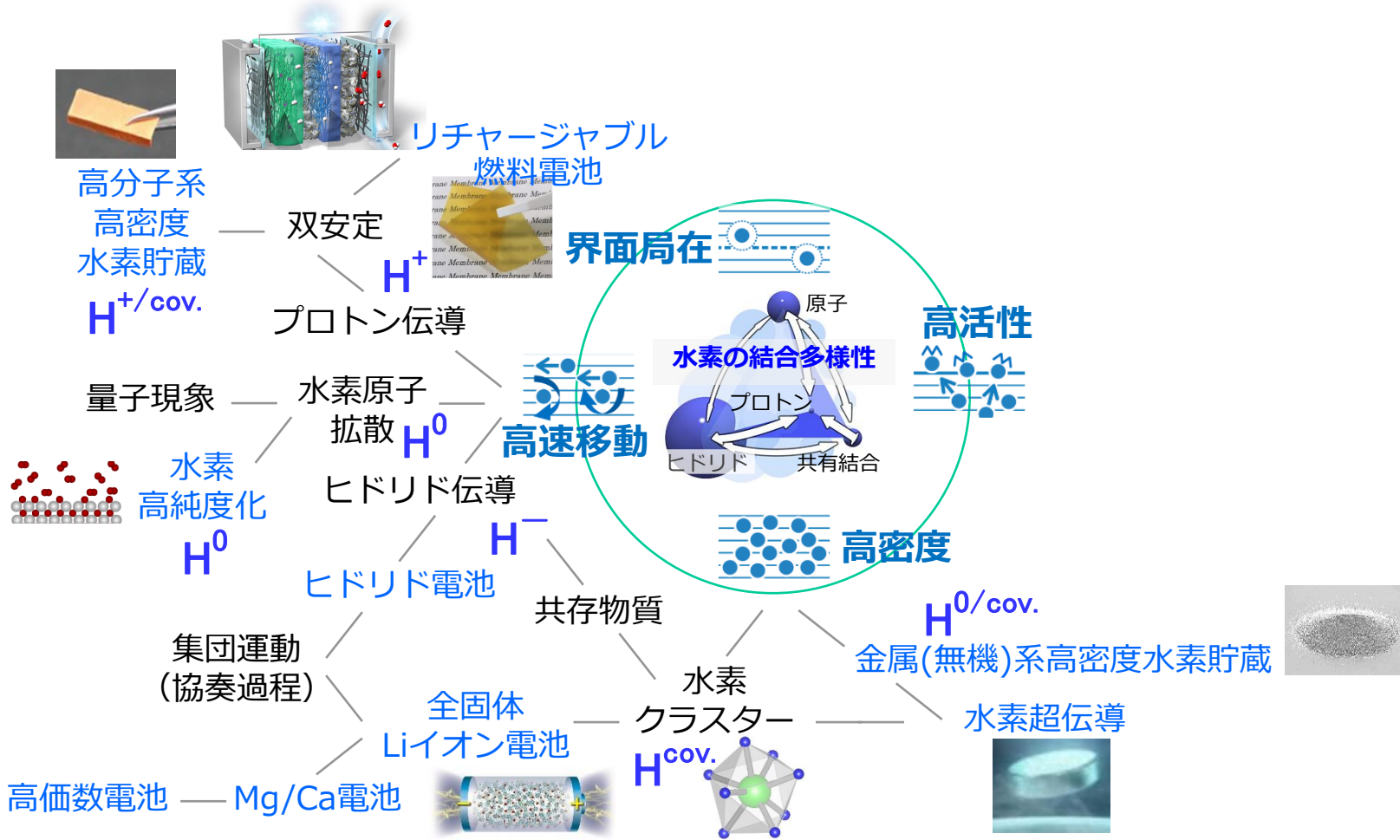
高压合成によるAl系新水素化物群の設計



新たなAl系水素化物群
従来は未開拓の物質群

Be												B
Mg												Al
Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	
Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	
Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	

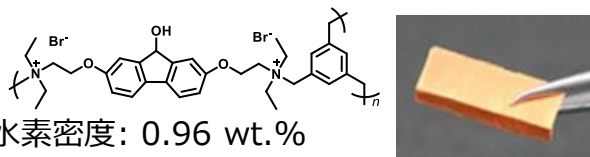




水素の高速移動に関する研究成果

早稲田大・小柳津先生、山梨大・宮武先生

架橋フルオレノールポリマー

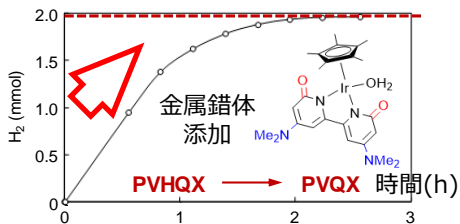
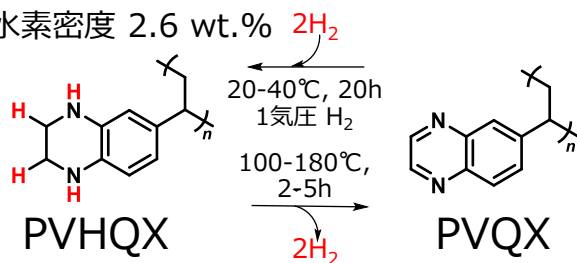


水素密度: 0.96 wt. %

K. Oka et al., Eur. J. Org. Chem. (2020)

ポリビニルテトラヒドロキノキサリン

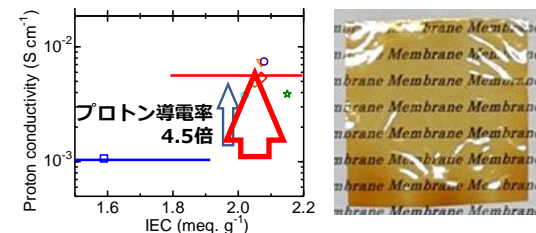
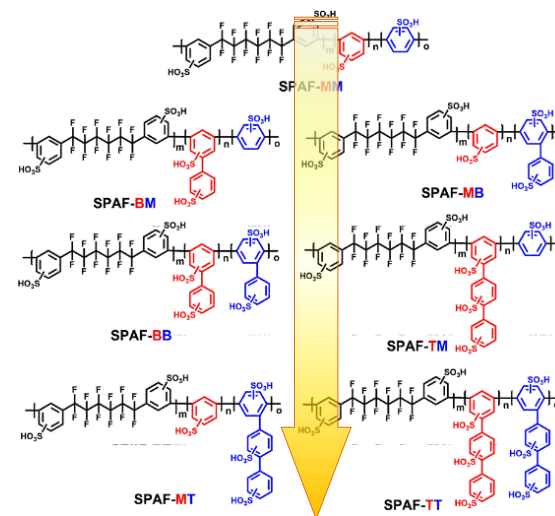
水素密度 2.6 wt. %



高密度水素貯蔵

K. Oka et al., ACS Appl. Polym. Mater. (2020)

高密度スルホン酸化



高速プロトン伝導

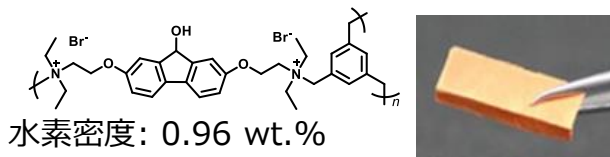
Z. Long et al., ACS Appl. Energy Mater. (2019)

水素の高速移動に関する研究成果

早稲田大・小柳津先生、山梨大・宮武先生

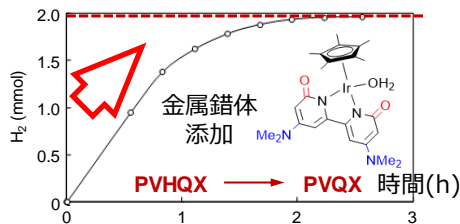
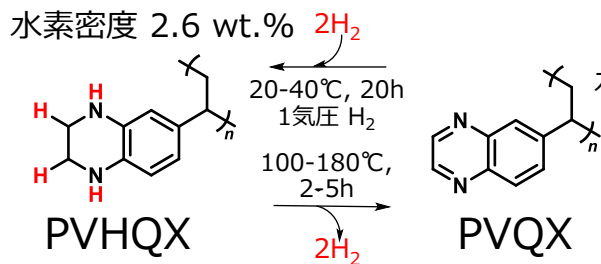
リチャージャブル燃料電池(RCFC) の設計

架橋フルオレノールポリマー



K. Oka et al., Eur. J. Org. Chem. (2020)

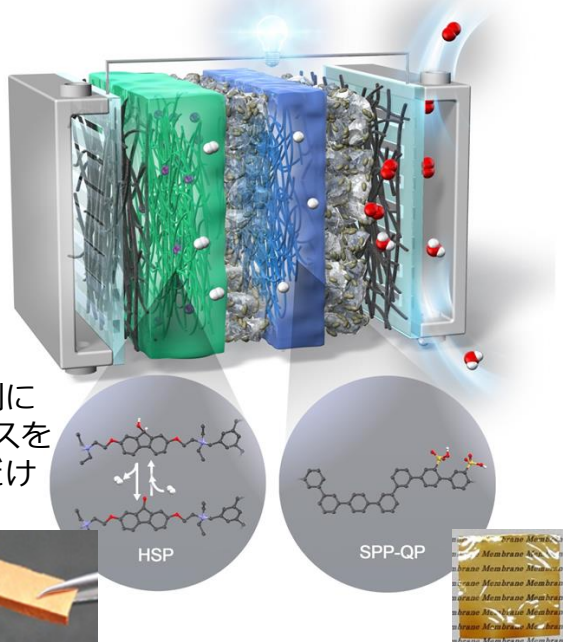
ポリビニルテトラヒドロキノキサリン



高密度水素貯蔵

K. Oka et al., ACS Appl. Polym. Mater. (2020)

水素発生型RCFC



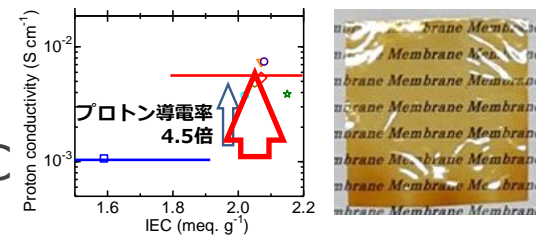
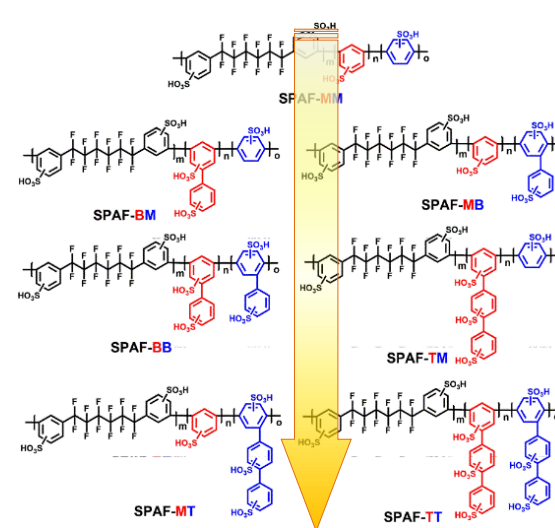
水素の可逆的吸/脱蔵が可能な
高分子シートを用いた充電式FC

J. Miyake et al., Comm. Chem., (2020)

直接酸化(プロトン)型 RCFCの原理実証

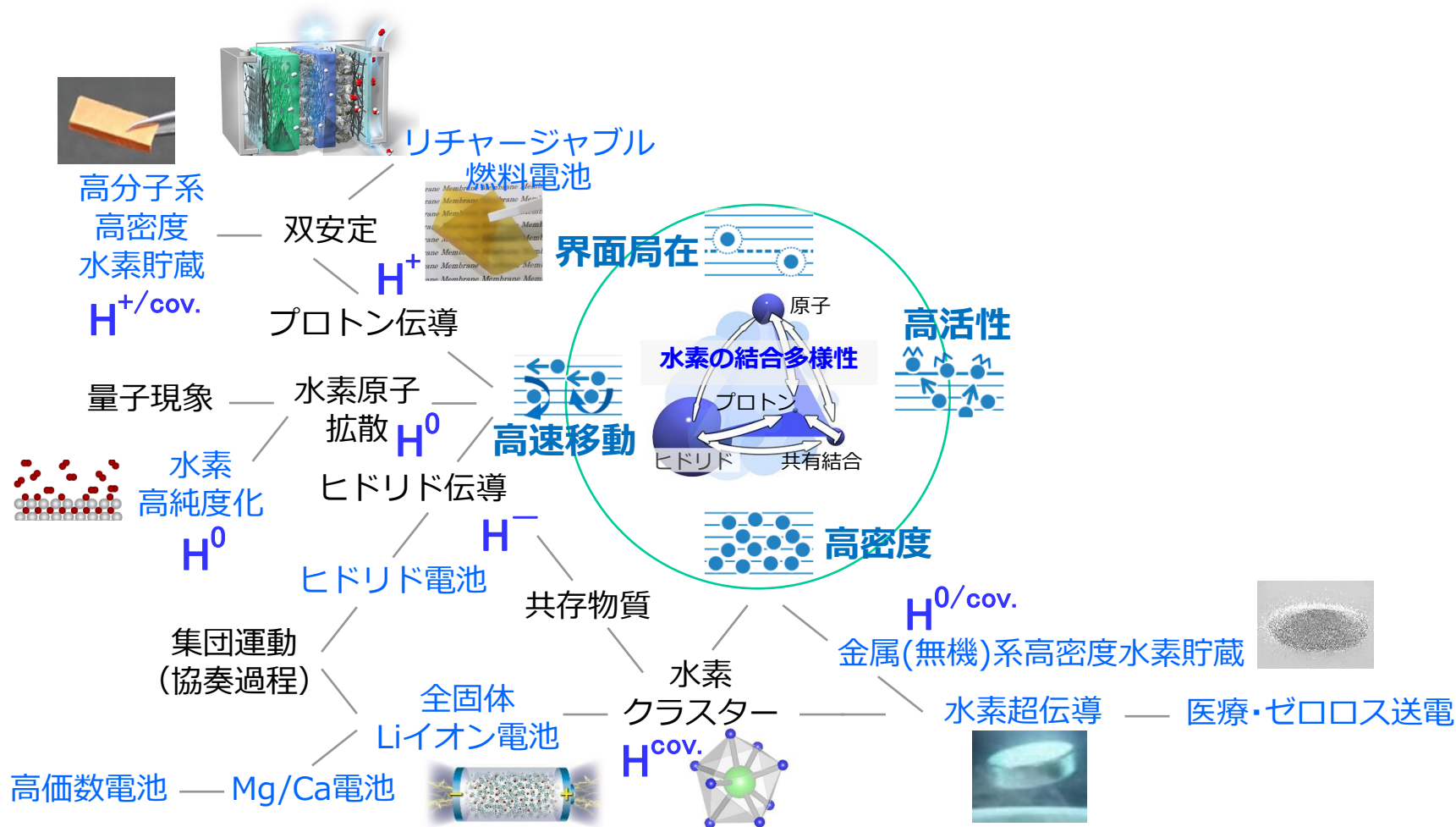
K. Oka et al., Chem. Comm. (2020)

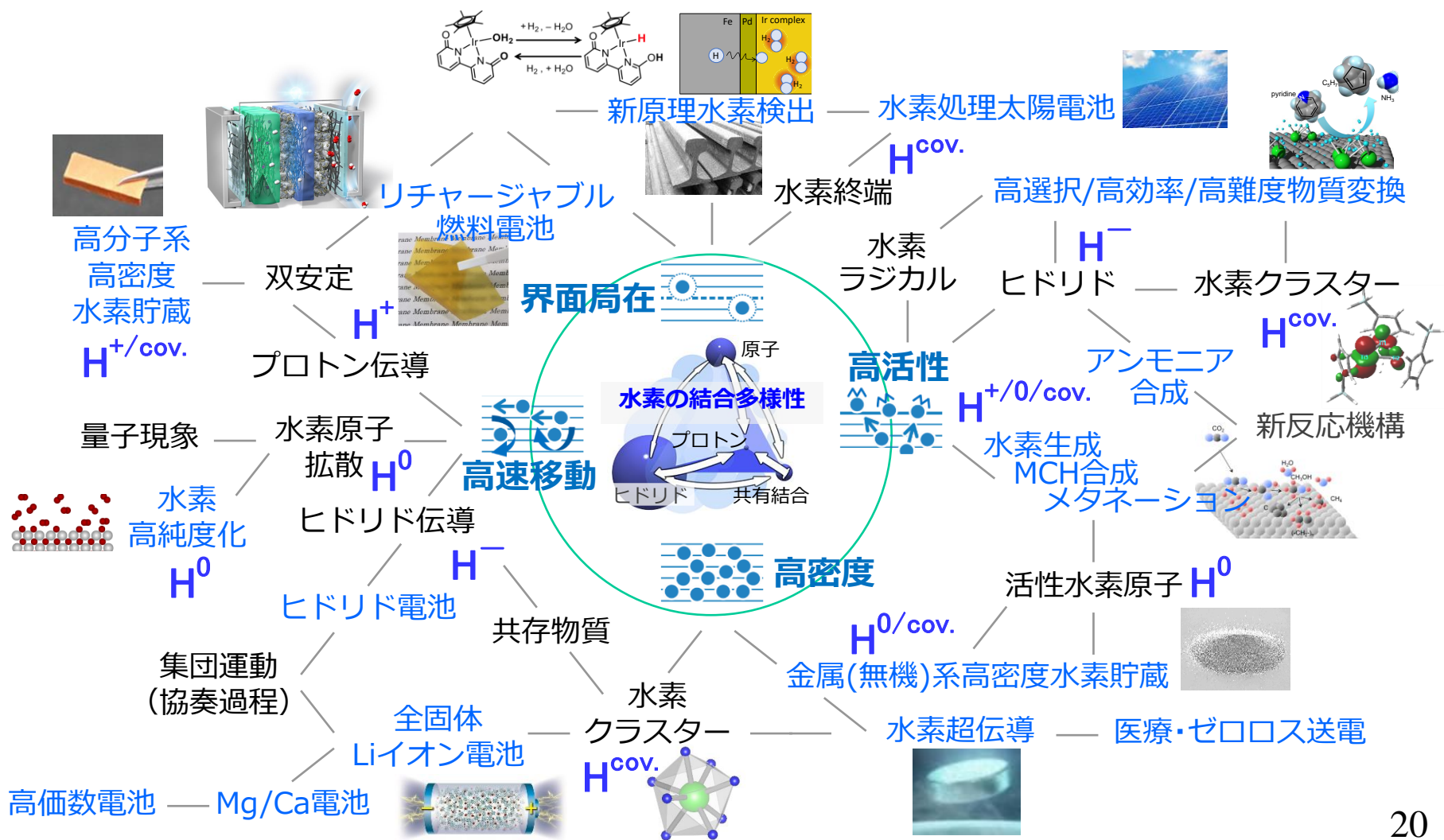
高密度スルホン酸化



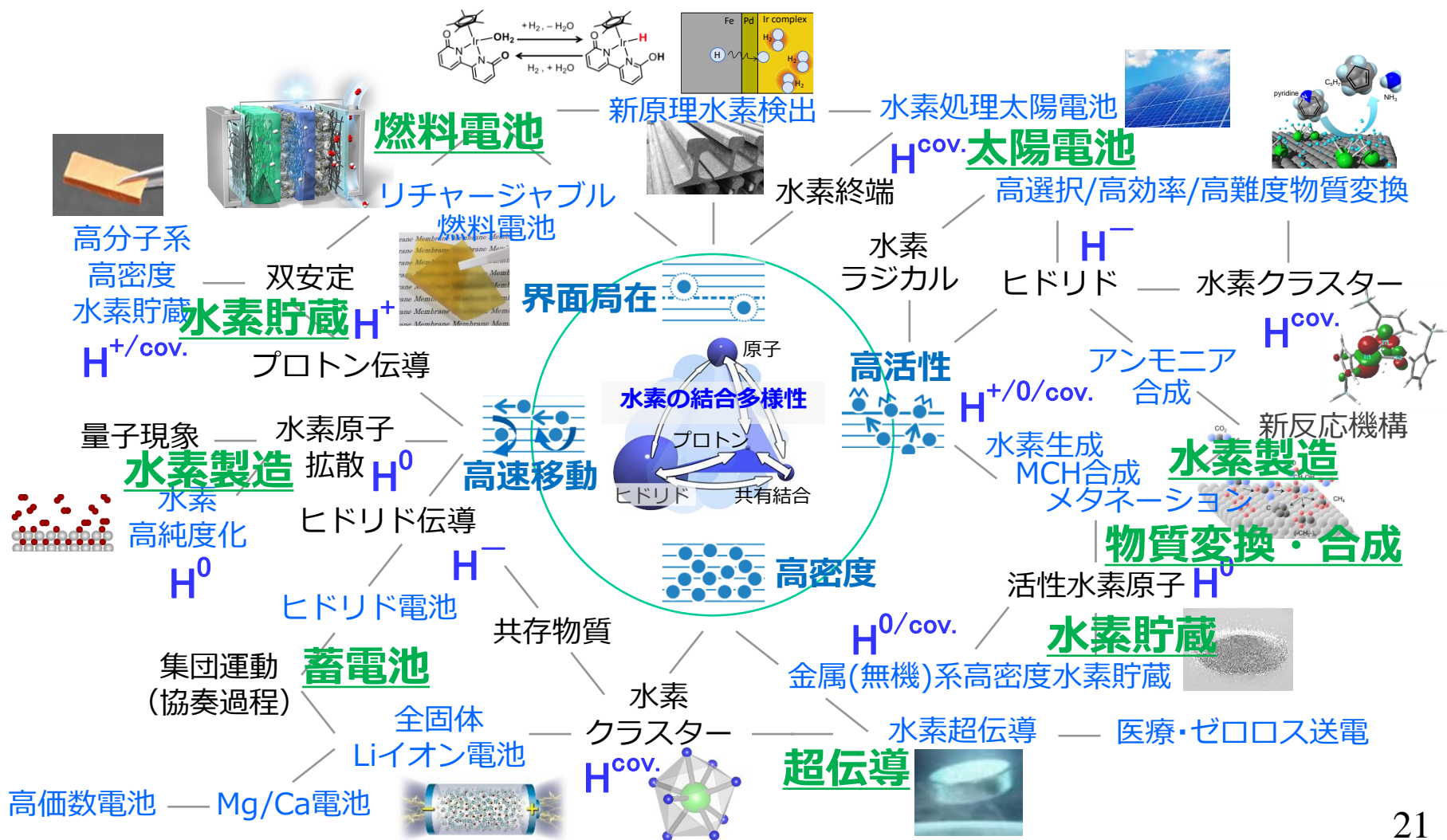
高速プロトン伝導

Z. Long et al.,
ACS Appl. Energy Mater. (2019)





水素科学技術 の GXへの多面的な貢献





ハイドロジェノミクス 水素を使いこなすためのサイエンス

折茂慎一・福谷克之・藤田健一 編著



共立出版

ハイドロジェノミクスの視点

変幻自在な水素を“使いこなす”ために

世界規模でのエネルギー・環境問題がクローズアップされるなか、わが国においても温室効果ガス排出量を2050年までに実質ゼロとする目標が掲げられており、今後、水素の有効活用に向けた技術開発の推進やそれを支える水素に関連する基礎科学の探究および学理の構築が、一層重要になると考えられる。

水素には、もちろん二次エネルギーとしての側面があるが、それに加えて私たちの暮らしに欠かせない多様な物質・材料の合成および改質や高性能化などの役割もある。後者に関しては、たとえば鉄鋼材料での水素脆性などは抑制すべき長年の技術課題である一方、最近注目される有用有機物質と水素の同時合成反応や次世代創薬デバイスでの新たな水素化合物の利用、また室温にも迫る水素化合物超伝導の探索など、数多くの萌芽研究も進んでいる。さらに、物質・材料中や反応過程での水素の挙動を精密に捉えるための中性子や放射光などを用いた量子ビーム計測や計算科学などにおいて目覚ましい進展もみられる。

編集委員・執筆者一覧

折茂慎一	福谷克之	藤田健一
秋山英二	小林玄器	中田明伸
味戸沙耶	近藤剛弘	濱田幾太郎
有田亮太郎	齋藤寛之	一杉太郎
飯村壮史	志賀基之	福嶋 貴
宇佐美德隆	島 隆則	福谷克之
小柳津研一	清水克哉	藤田健一
折茂慎一	清水亮太	宮武健治
加藤浩之	杉野 修	森 初果
木須一彰	高木成幸	山内美穂
北野政明	張 浩徹	山田鉄兵
金 相侖	常行真司	吉信 淳
後藤和泰		

改訂/英語版も
近日刊行予定

2022年1月 共立出版

グリーンTRANSフォーメーション(GX)に貢献する アカデミアへの研究開発支援の方向性

-Green technologies of excellence-

(中間まとめ)

令和4年 6月24日

研究開発局環境エネルギー課

重点技術領域②水素・燃料電池における研究開発のあり方

(アカデミア基礎基盤研究戦略検討会における議論の整理)

各国の政策動向等

日本 経産省/NEDOが中心的役割で、海外動向を踏まえて戦略的に支援。一方、文科省/JSTによるアカデミアへのまとまりある支援は限定的。

欧州 グリーンディール投資や政策により、水素社会の覇権を狙うべく、オールヨーロッパの取組を実施。産官学を効果的に活用し高い製品レベルの燃料電池開発を実現。

米国 大規模な水素拠点プロジェクトや、水素関連の化学・材料科学基礎研究から応用研究までのR&D支援等の大胆投資。

中国 補助金政策で燃料電池大国を目指す構え。製品レベルも現在では世界トップレベルに迫る。

背景・課題

水素は極めて多様な性質を有する

- 水素は、使用時に二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギー媒体であり、2050年カーボンニュートラル目標実現のキーテクノロジー。水素は極めて多様な性質を有し、未知な部分も多く、アカデミアによる学理の追求と人材育成を通じて、水素技術を強化していくことが急務。
- 日本企業において、商品化・実証が進んでいる技術には、アカデミア・国の支援を受けて発展したものやアカデミアのシーズが発展したものがあり、産業界からアカデミアに対してはシーズの創出が強く求められている。

研究開発の現状

アカデミアによる学理の追求と人材育成

- 水電解・燃料電池において、電解・発電効率の向上、大容量化、コスト低減、長寿命化が求められている。
- コスト低減およびエネルギー安全保障の観点より、触媒の非貴金属・非希少金属化も重要。また、2040年以降に求められる燃料電池の性能（電流-電圧特性）等、野心的な中長期目標に対して具体的な達成シナリオやシーズがないものもある。アカデミアに対して、これらの課題を解決するサイエンスの追求、新規材料の創成、新規プロセスの探索等が期待されている。
- 一般的なファンディングの期間(4~6年程度)に対して、エネルギー関係のテーマは息が長く、単一事業での完結が難しい。一方、本分野における文科省としての、アカデミアに対する中長期・長期的な推進戦略や研究開発ロードマップは不在。

研究開発・人材育成方針

サイエンスの追求、新規材料の創成、新規プロセスの探索

- 単なる基礎研究ではなく、出口も見据えたシーズ創出が重要であり、そのためには、電気化学、材料科学、化学工学や、AI・データ解析技術、評価・解析技術等の複数の専門分野の融合・統合的なアプローチが必要不可欠。
- 技術テーマ（もしくは機能）毎のグループを複数統合し、プロジェクトマネージャーのもと統合的に取り組む体制や、計測機器等の先端技術を共有可能なチーム体制の構築が重要。加えて、早い段階からの産学連携によるオープンイノベーション（共同研究に限らず、コミュニケーション、人的交流含め）も効果的。
- 材料科学、プロセスエンジニアリング、水素科学等、各分野の専門家の育成は重要。その上で、幅広い関連分野を総合的、俯瞰的に理解できる人材育成が重要であり、分野融合・チーム型体制の研究開発は、このような人材育成につながる期待が高い。
- 一方、重要な学術分野であるにも拘わらず、研究者が少ない分野があり、文科省がその分野において人材育成を含めて注力することを示し、ファンディングと情報発信等で大学の研究を盛り上げる必要がある。特に若手の育成が急務。国際的な人材育成のため、戦略的な国際連携・体制構築も重要。

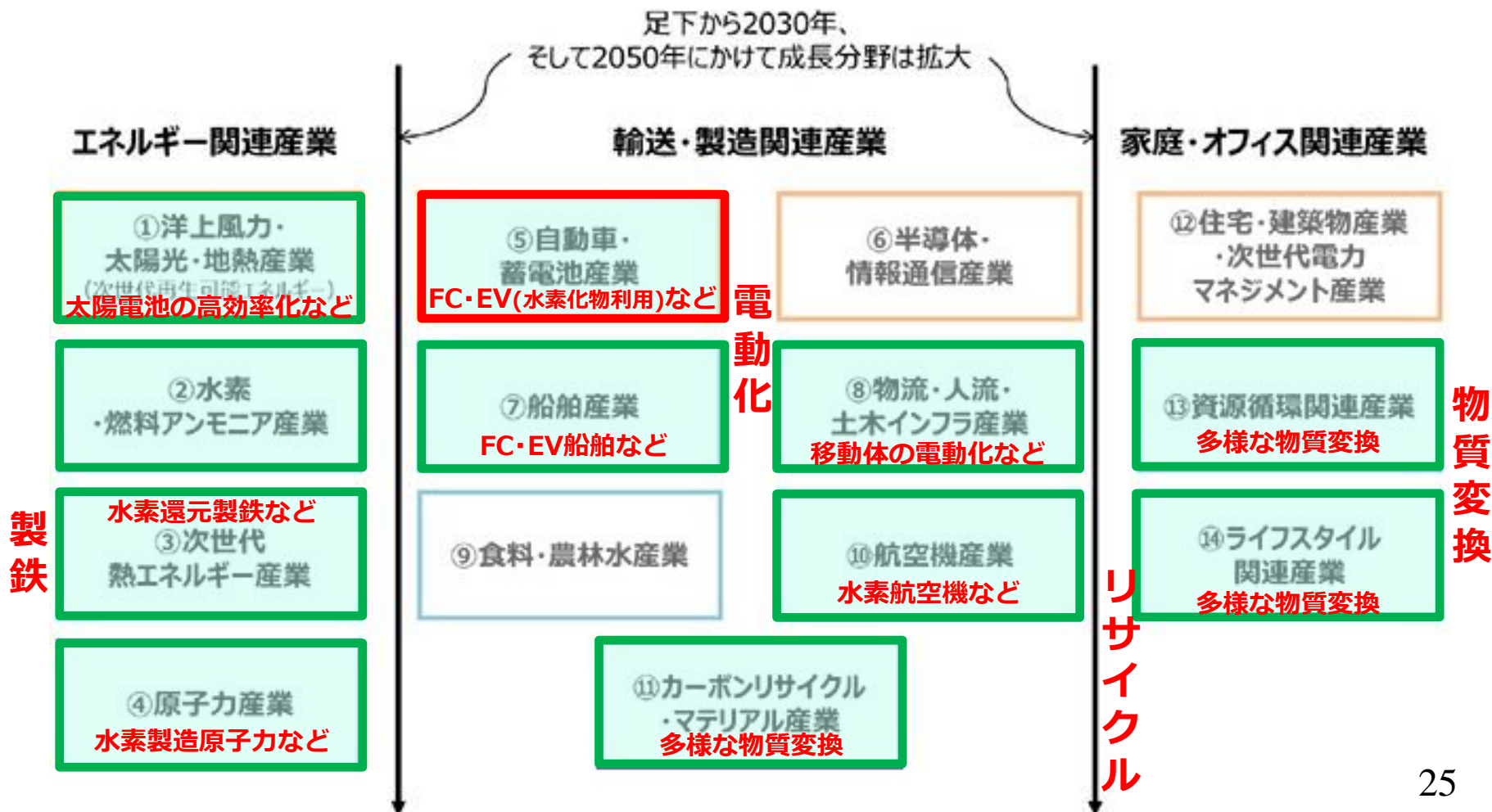
複数の専門分野の融合・統合的なアプローチが不可欠

2050年カーボンニュートラルに向けたGX

* 令和3年6月18日ニュースリリースに基づき加筆



(成長が期待される 14 分野) **水素科学技術** が関与する **産業分野**



産学連携への展開

学問分野（工学，化学，物理学，生物学，地球科学など）／技術分野／
研究プロジェクト／研究コミッティなどの枠を超えた連携・異分野融合

2022年2月23日設立研究会

ご挨拶： 東北大・岡田益男 先生、分子研・川合真紀 先生

特別講演： 東工大・細野秀雄 先生、トヨタ・射場英紀 先生

日本MRS
水素科学技術連携研究会
Hydrogenomics Alliance, Japan

ホーム

研究会概要

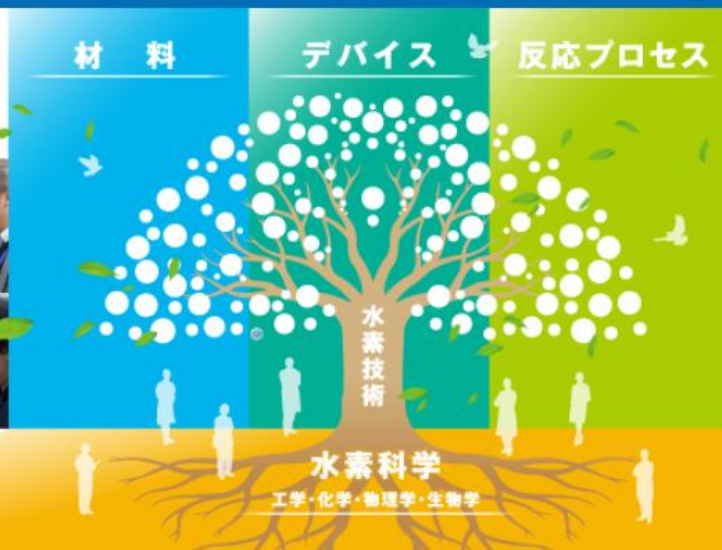
入会案内

講演会

分科会

会員専用ページ

水素科学技術の



将来のために

産学官連携／国際連携への展開

2022年10月1日に東北大学AIMRに設置

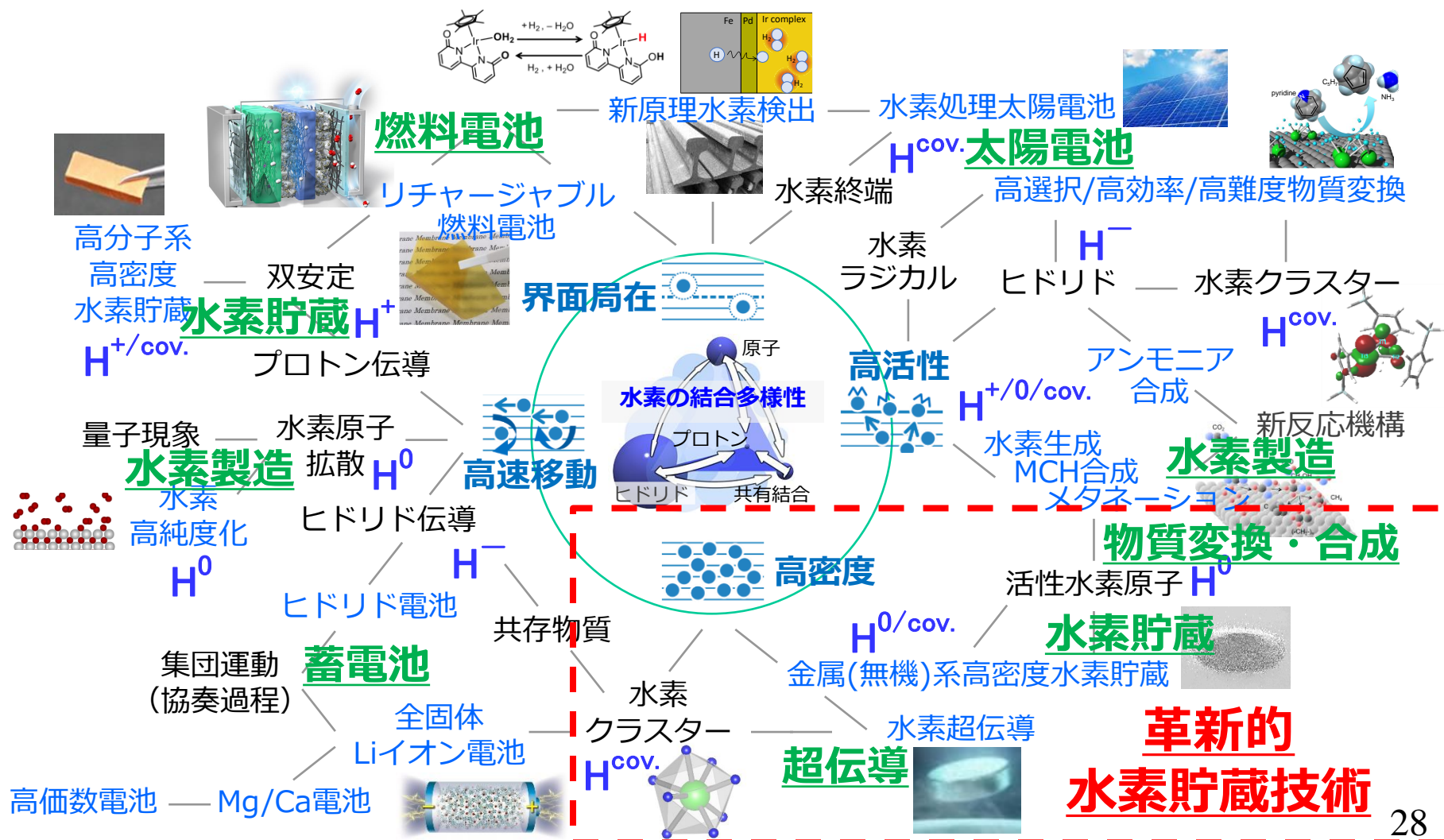
水素科学GXオープンイノベーションセンター

Open Innovation Center of Hydrogen Sciences for Green Transformation (GX)



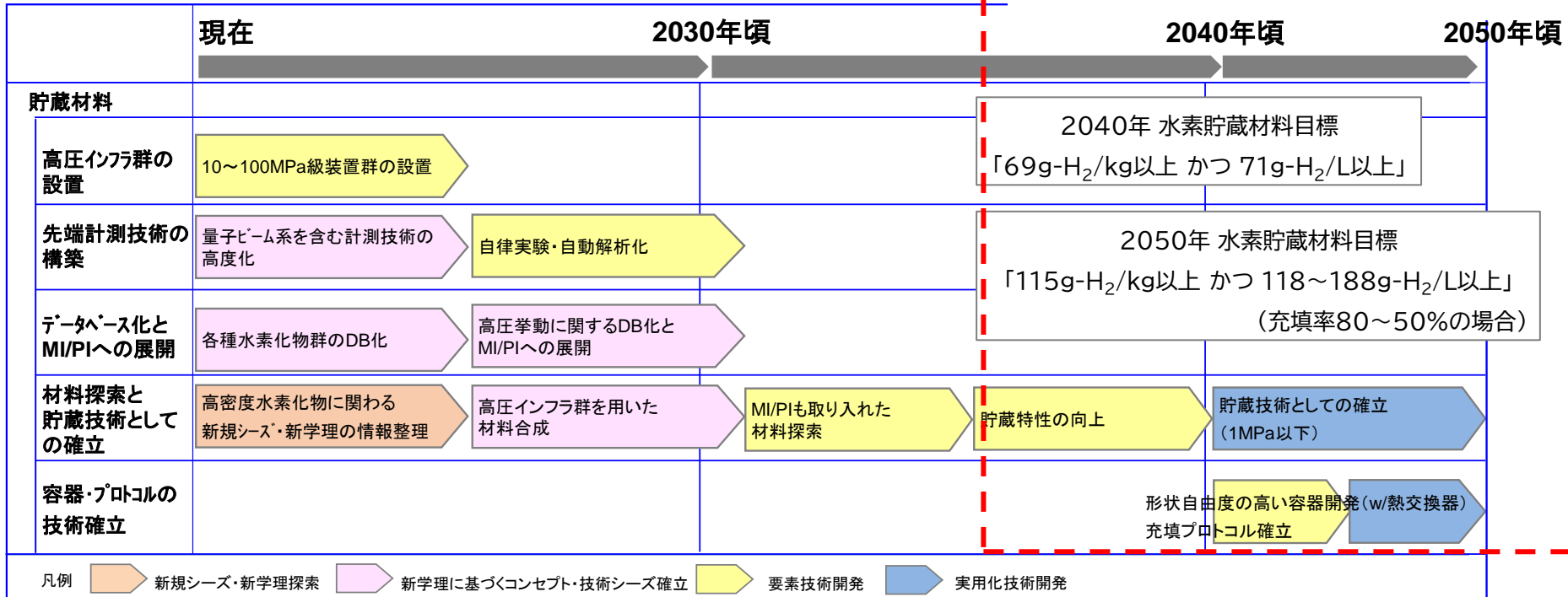
- 先端材料／先端計測（ナノテラス、等）／DX・数理科学など
- 産学官連携／国際連携に関する中・長期研究プラットフォーム

水素科学技術 の GXへの多面的な貢献



改訂版NEDOロードマップ

革新的水素貯蔵技術



革新的水素貯蔵技術のための研究アプローチ

- **液化アンモニア** を基準とする ($H/M=3$, 17.8 wt.%, $107 \text{ kgH}_2/\text{m}^3$)
- **材料探索領域** を拡大する (外場：高圧力 等、材料系：ポリマー系 等)
- **データ科学／先端計測** を導入し、**異分野連携** を推進する
 - 例：スーパーハイドライドを用いた超伝導研究

Topical Review

Compressed superhydrides: the road to room temperature superconductivity

Mingyang Du¹, Wendi Zhao², Tian Cui^{1,2} and Defang Duan^{1,*} 

¹ College of Physics, Jilin University, Changchun 130012, People's Republic of China

² Institute of High Pressure Physics, School of Physical Science and Technology, Ningbo University, Ningbo, 315211, People's Republic of China

E-mail: duandf@jlu.edu.cn

Received 3 December 2021, revised 12 January 2022

Accepted for publication 25 January 2022

Published 24 February 2022



CrossMark

スーパーハイドライド

= 超・化学量論組成水素化物

Periodic table of binary hydride superconductors

		IA											0					
		H											He					
1		IIA																
2	LiH ₂ 300 177	BeH ₂ 400 46											III A	IV A	V A	VIA	VII A	
3	NaH ₆ 200 260	MgH ₁₂ 500 294											BH ₃ 360 125	C	N	O	F	Ne
4	KH ₁₀ 150 134	CaH ₆ 172 215*	ScH ₉ 300 233	Ti ₂ H ₁₃ 350 149	VH ₈ 200 63	CrH ₃ 81 31	Mn	FeH ₅ 150 34	CoH ₅ 130 35	NiH ₃ 130 3	Cu ₂ H 40 0.028	Zn	AlH ₅ 250 132	SiH ₃ 275 139	PH ₃ 200 83*	H ₃ S 155 203*	H ₂ Cl 450 44	ArH ₄ 1500 72
5	RbH ₁₂ 150 133	SrH ₁₀ 300 259	YH ₉ 201 243*	ZrH ₁₀ 300 199	NbH ₁₁ 300 117	MoH ₁₁ 250 176	TcH ₃ 300 7	RuH ₃ 100 4	RhH 0 2.5	PdH 0 20	Ag	Cd	InH ₃ 200 34	SnH ₁₄ 300 86	SbH ₄ 150 95	TeH ₄ 170 95	H ₂ I 240 24	XeH 100 29
6	CsH ₇ 100 90	BaH ₁₂ 140 20*	57-71 La~Lu	HfH ₁₀ 300 213	TaH ₆ 300 124	WH ₁₁ 300 152	Re ₈ H 1 3	OsH 100 2.1	IrH 80 7	PtH 77 25	AuH 220 21	Hg	Tl	PbH ₈ 200 162	BiH ₅ 200 110	PoH ₄ 150 33	At	Rn
7	FrH ₇ 100 64	RaH ₁₂ 200 116	89-103 Ac~Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

Compounds
Pressure (GPa) T_c (K)

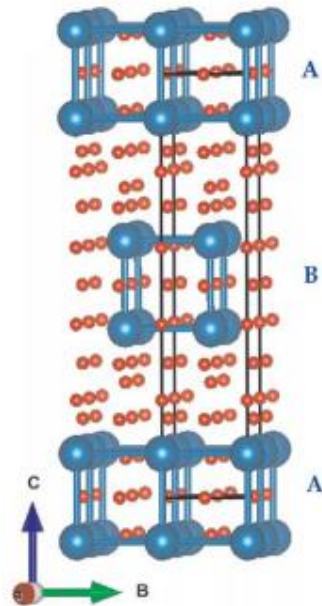
FeH_x(<1) → **FeH₅**
CaH₂ → **CaH₆**

Lanthanides	LaH ₁₀ 151 250*	CeH ₁₀ 95 115*	PrH ₉ 126 9*	NdH ₉ 110 4.5*	PmH ₁₀ 250 6.3	SmH ₁₀ 250 5.8	EuH ₁₀ 250 6.9	GdH ₁₀ 300 2.3	TbH ₁₀ 400 8.5	DyH ₁₀ 400 2.5	HoH ₄ 150 37	ErH ₁₅ 150 32	TmH ₆ 50 19	YbH ₆ 200 121	LuH ₆ 200 227
Actinides	AcH ₁₀ 200 204	ThH ₁₀ 174 161*	PaH ₉ 150 63	UH ₈ 50 35	NpH ₇ 50 9.6	PuH ₈ 50 8.2	AmH ₅ 50 0.31	CmH ₅ 50 0.94	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

スーパーハイドライド

FeH₅ (2017, France)

レイヤー型



Synthesis of FeH₅: A layered structure with atomic hydrogen slabs

C.M. Pepin *et al.*, *Science* (2017)

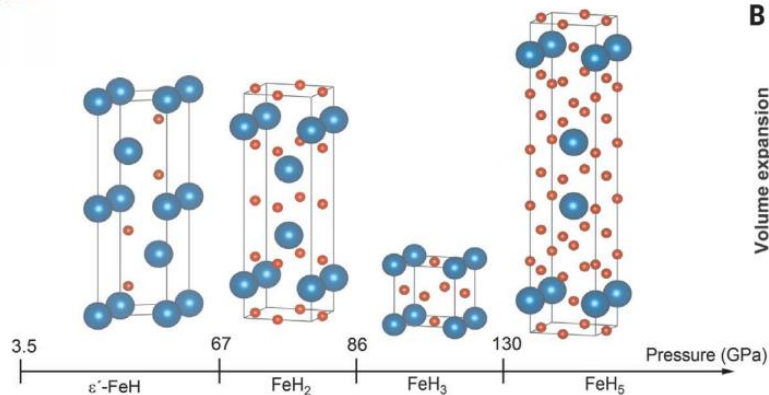
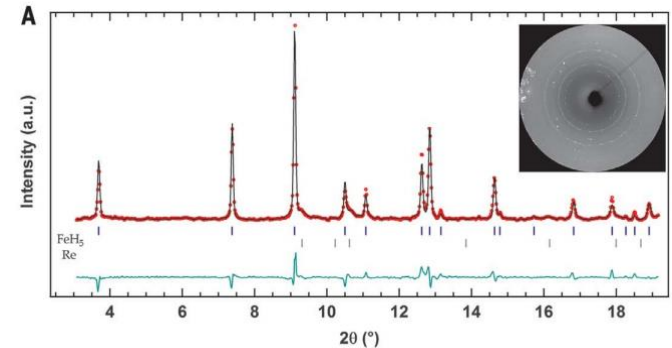
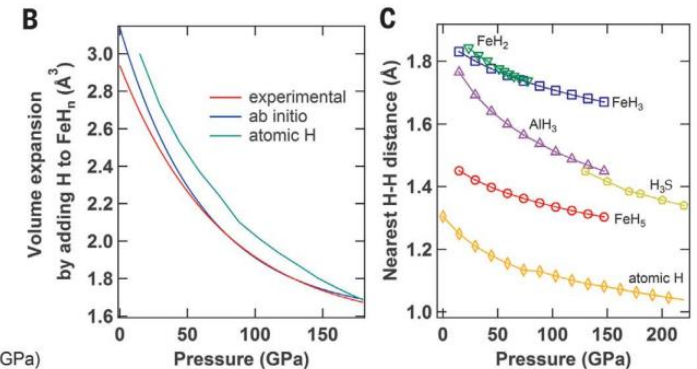


Fig. 2. Hydrogen in the host lattice. (A) Evolution of the stoichiometry and of the structures of iron hydrides synthesized in excess of hydrogen as the pressure increases. (B) Volume expansion by adding one H to FeH_n, compared to the equation of state of pure atomic hydrogen. The volume



(A) Powder x-ray diffraction pattern and Rietveld refinement structure (iron atoms only) at 130 GPa for $\lambda = 0.3738 \text{ \AA}$. Vertical ticks correspond to the Bragg peaks for $I4/mmm$ -FeH₅ and hexagonal close-packed-rhenium (gasket material). The conventional reliability factors for the Rietveld refinement are (in %) $R_{\text{Bragg}}(\text{FeH}_5) = 8.72$, $R_p = 19.3$, $R_{\text{wp}} = 17.3$. (Inset) Image plate. (B) Molar volume per formula

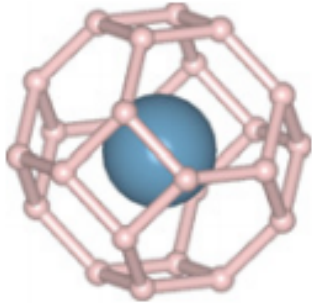


expansion is determined as the slope of the equation $V(\text{FeH}_n)$ versus stoichiometry at various pressures. (C) Comparison of the nearest H-H distances in AlH₃ (29), H₃S (30), FeH₂, FeH₃ (19), metal H (25), and FeH₅ as a function of pressure.

スーパーハイドライド

CaH₆ (2022, China)

ケージ型



High-Temperature Superconducting Phase in Clathrate Calcium Hydride CaH₆ up to 215 K at a Pressure of 172 GPa

L. Ma *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* (2022)

Also from Z. Li *et al.*, *Nature Comm.* (2022)

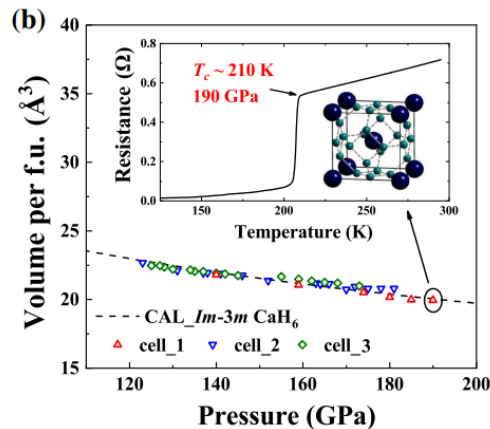


FIG. 1. (a) Synchrotron x-ray diffraction pattern of the clathrate calcium hydride from cell_1 obtained following laser heating of Ca and BH₃NH₃ at 190 GPa and the Rietveld refinement of the clathrate CaH₆ structure. (b) Experimental EOS from the different samples in this Letter in comparison with that of the predicted clathrate CaH₆. The EOS data from cell_1, cell_2, and cell_3 were marked with red triangles, blue inverted triangles, and green rhombus, respectively. The superconducting transition with T_c ~ 210 K was observed in the electrical measurement for cell_1 at 190 GPa as shown in the top inset.

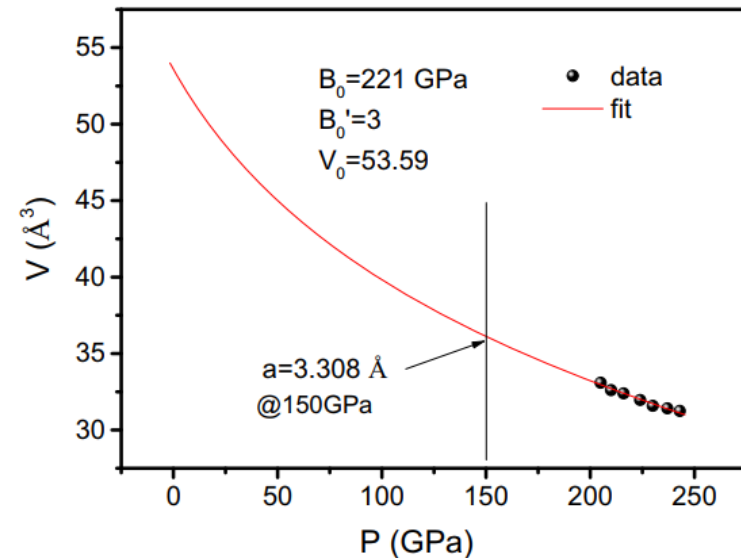
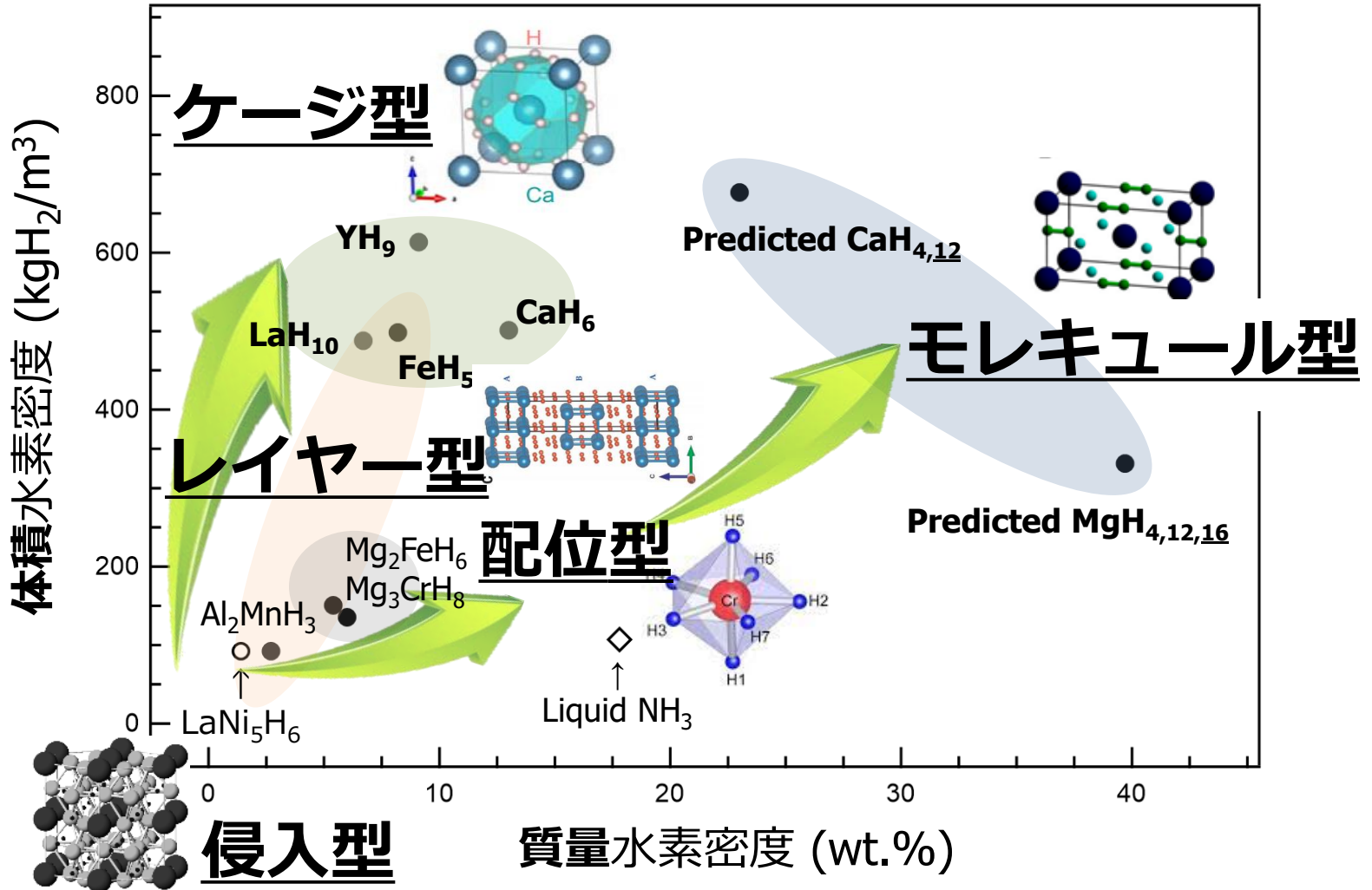


Fig. 5 The structure characterizations. The pressure dependence of unit cell volume of the CaH₆. The red line is the fit to equation of stat.

スーパーハイドライド



スーパーハイドライド

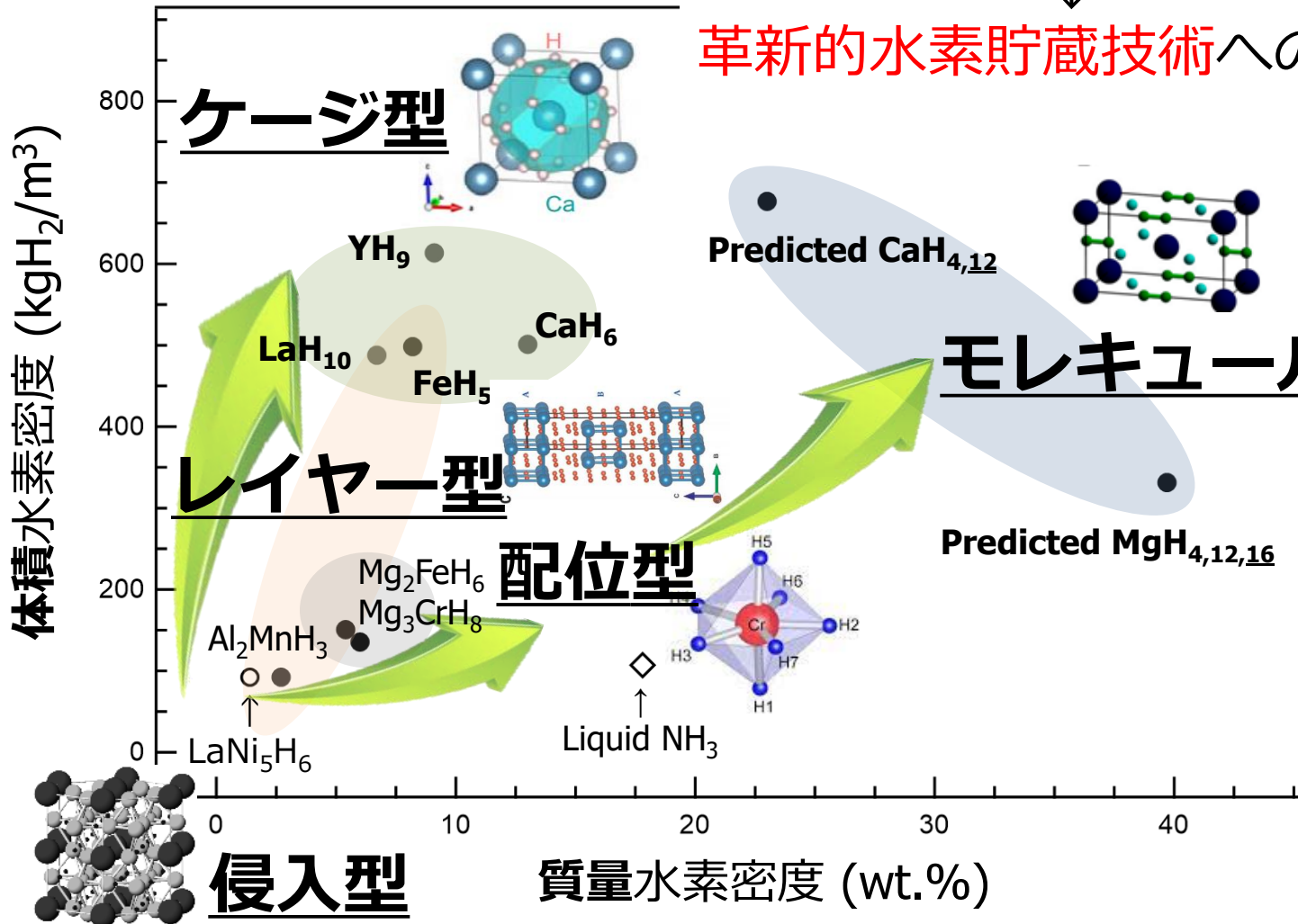
変幻自在な水素を「使いこなす」ためのサイエンス

Hydrogenomics

→水素の**高密度化機構**の解明



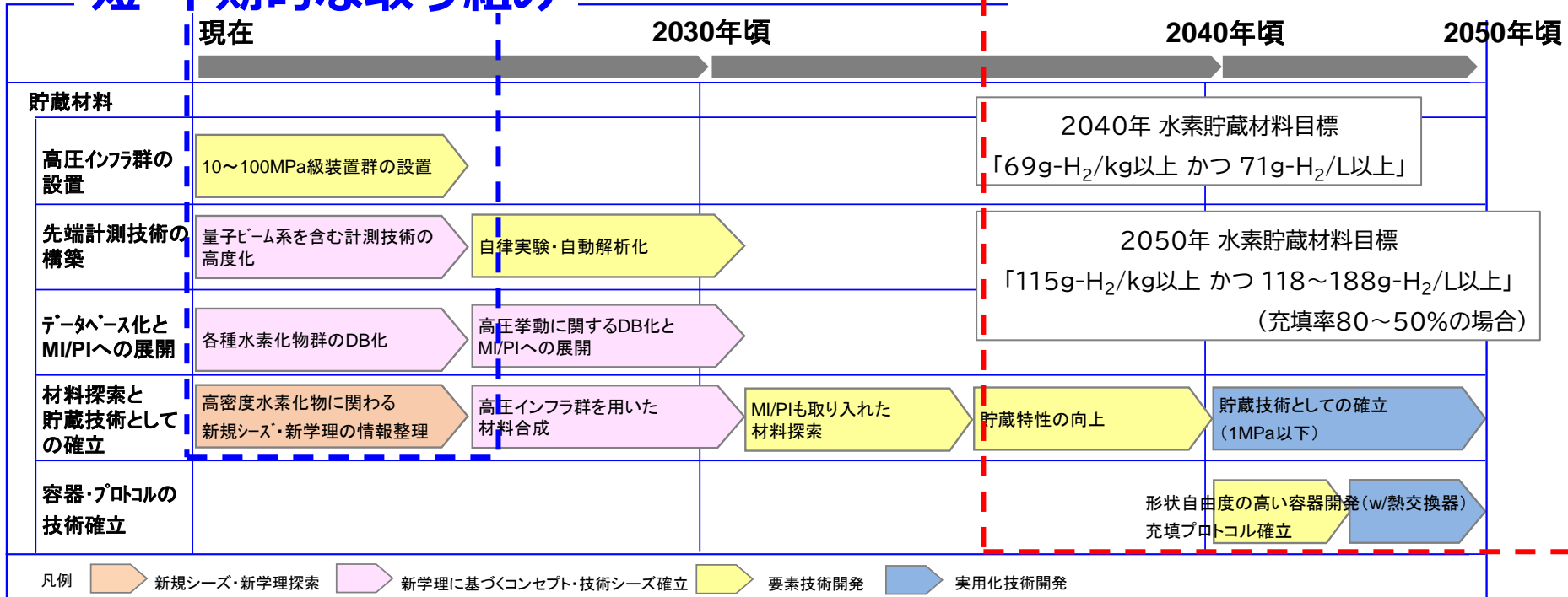
革新的水素貯蔵技術への展開



改訂版NEDOロードマップ

短・中期的な取り組み

革新的水素貯蔵技術



<今後の研究のステップ>

- 1) 水素圧力を拡張(~100MPa)した材料探索や高精度での材料特性評価のための**共同利用設備**の設置、および分野融合や若手育成を目指した**研究者ネットワーク**の拡充
- 2) 自律実験・自動解析も含む大型研究施設と連携した**先端計測技術**の構築
- 3) 系統的な**データベース**の構築とそれに基づく**MI・PI**への展開
- 4) 研究者ネットワークに基づく確実かつ迅速な材料探索と水素貯蔵技術としての高度化
- 5) 社会実装を目指した充填プロトコルや貯蔵材料・形状自由度の高い容器(w/熱交換器)の量産技術の確立 36

- 研究分野の課題 と “**研究マインド**” の変化
- **水素科学技術**の**GX**への多面的な貢献
- **革新的水素貯蔵技術**の構築に向けた研究アプローチ

ご清聴ありがとうございました

今後ともご指導賜りますよう
どうぞよろしくお願い申し上げます