

2012年1月26日



水素貯蔵材料先端基盤研究事業

秋葉 悦男

産業技術総合研究所 客員研究員

(九州大学大学院工学研究院機械工学部門 教授
カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 部門長)

委託先：産業技術総合研究所、広島大学、日本原子力研究開発機構、
高エネルギー加速器研究機構、北海道大学、上智大学、大阪大学、
高輝度光科学研究センター、岐阜大学、東北大学、物質・材料研究機構

再委託先：Los Alamos 国立研、日本原子力研究開発機構、京都大学、山形大学、
福岡大学、新潟大学、産業技術総合研究所、日産自動車

内容

1. 本事業の背景・運営体制・取り巻く状況の変化
2. 研究の目的
3. 成果紹介
 - 3-1 高性能水素貯蔵材料に関する指針
 - ① 既存材料の高性能化
 - ② 新規材料の提案
 - 3-2 超先端的評価手法の開発
4. まとめ

本事業の背景

水素エネルギー

様々なエネルギーから造られる二次エネルギー

電力と相互変換可能な唯一の燃料

燃焼して水(水蒸気)しか生成しない最もクリーンな燃料

燃料電池の燃料として大いに期待

課題

- ・ ガソリンのような既存の液体燃料と比較して希薄な気体
→ 高密度に効率よく、安全に貯蔵輸送する技術確立が必要



「水素貯蔵材料」は「高密度貯蔵」実現の有力な候補
しかし、実用化レベルの性能に到達できていない



高性能化には基礎基盤に立返ったチャレンジが不可欠

運営体制 (発足当時)



推進助言委員会

プロジェクトリーダー(秋葉悦男)

金属系
(中村優美子)

非金属系
(小島由継)

材料物性
(町田晃彦)

計算科学
(小川浩)

中性子散乱
(大友季哉)

産総研
Los Alamos研*

広島大
北大
上智大

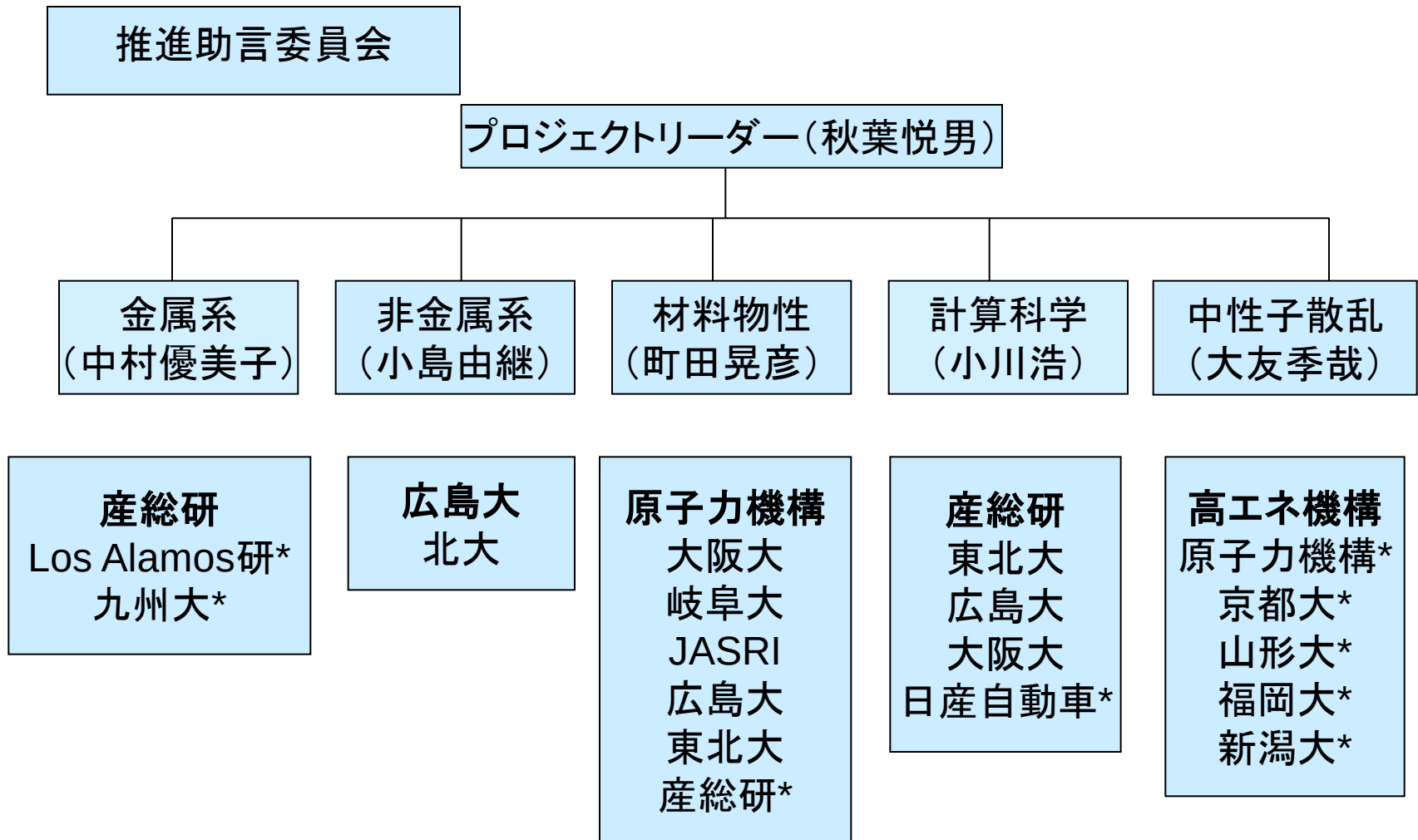
原子力機構
兵庫県立大
神戸大
大阪大
岐阜大
JASRI
広島大
東北大

産総研
物材機構
東北大

高エネ機構
原子力機構*
京都大*
山形大*
福岡大*
九州大*
新潟大*

*再委託

運営体制(平成23年度)

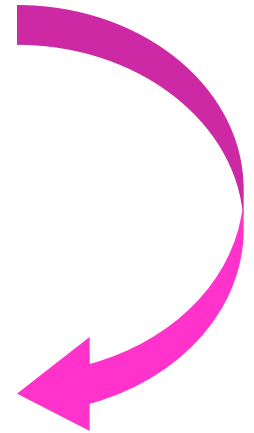


*再委託

水素の体積エネルギー密度

気体 H ₂ :	12 MJ/m ³
天然ガス:	39 MJ/m ³

液体 H ₂ :	10,070 MJ/m ³
ガソリン:	34,600 MJ/m ³



ガソリンのような既存の液体燃料と比較して希薄な水素を高密度に効率よく、安全に貯蔵輸送することが必要不可欠



技術的チャレンジ

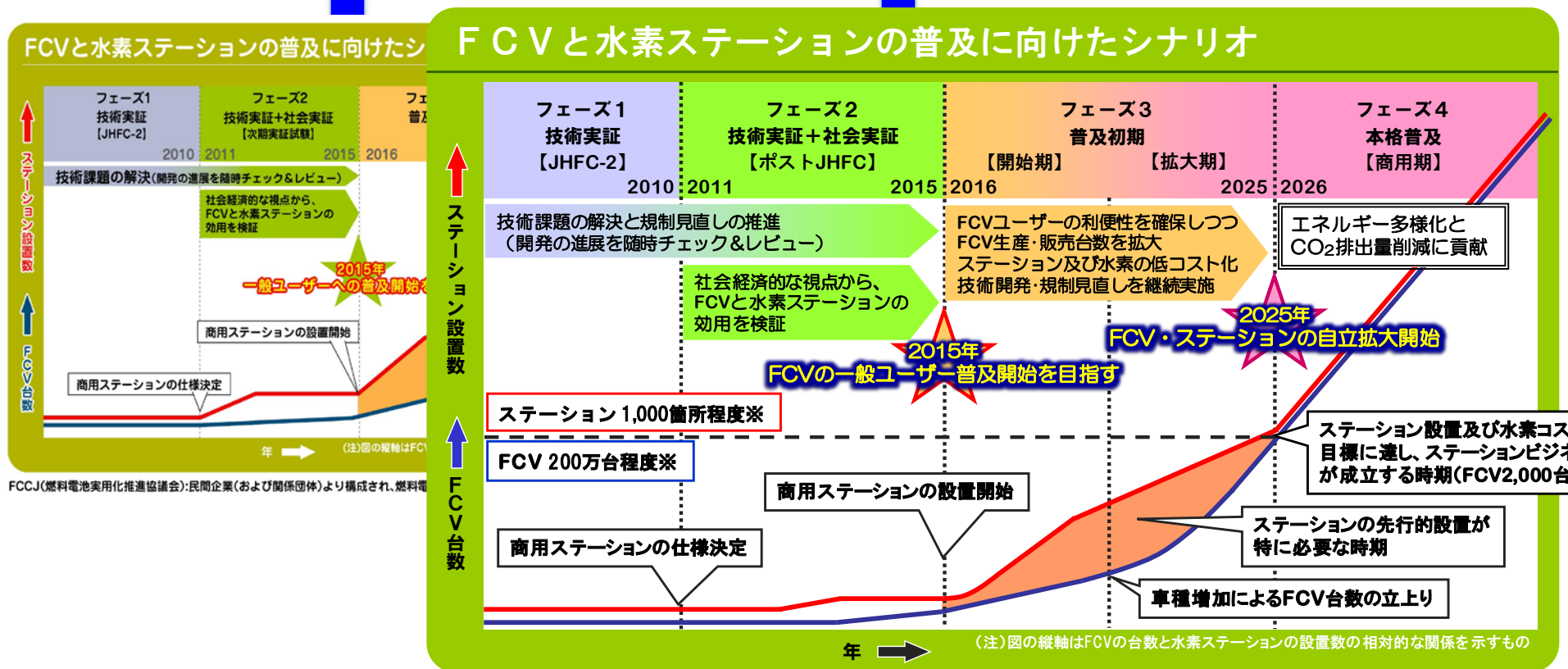
燃料電池自動車とインフラに関する動向

2007年度 2008年度 2009年度 2010年度 2011年度

発足

中間評価

13社による
声明



※前提条件:FCVユーザーのメリット(価格・利便性等)が確保されて、順調に普及が進んだ場合

研究の目的と内容

水素エネルギー社会実現のため

- ・高性能かつ先端的水素貯蔵材料開発に必要な水素貯蔵に関する基本原理の解明
- ・材料の応用技術に必要な基盤研究
- ・幅広い分野で横断的な取り組み
- ・成果を先端的材料開発の技術開発指針として産業界へ提供

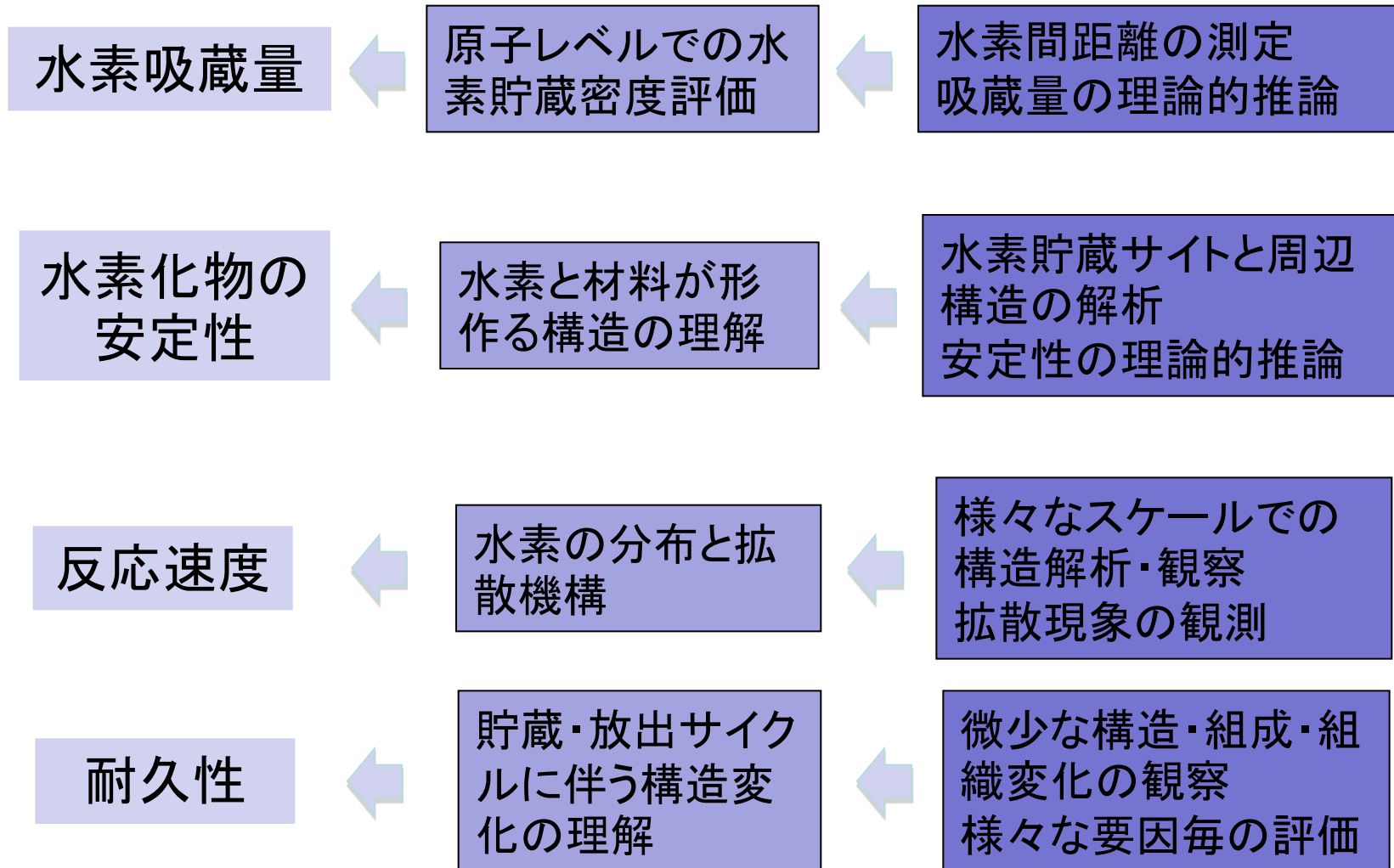
材料と水素の相互作用・構造等の解明のため

- ・大規模量子ビーム施設SPRING-8及びJ-PARCを活用
- ・計算科学の材料研究への応用

研究期間 平成19年度より5年間

- ・3年目である平成21年度に中間評価を受けた
- ・材料合成に優れた3機関を公募にて採用
- ・21年度に3機関、22年度末に2機関が終了

高性能水素貯蔵材料



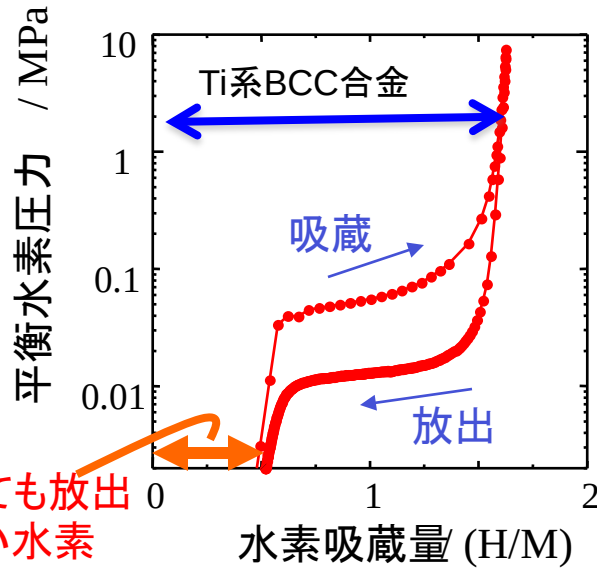
3. 成果紹介

3-1 高性能水素貯蔵材料に関する指針

- ① 既存材料の高性能化
- ② 新規材料の提案

高性能水素貯蔵材料指針

既存材料の性能向上



死蔵水素が無ければ4wt%の吸蔵量実現可能

死蔵水素は水素吸蔵と共にできた空孔と反

応

空孔生成を制御することは困難な事が判明

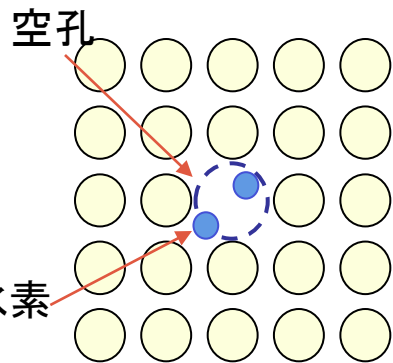
水素放出と共に空孔が無くなり、死蔵水素

が

存在しない水素貯蔵材料を発見(既存材料

の

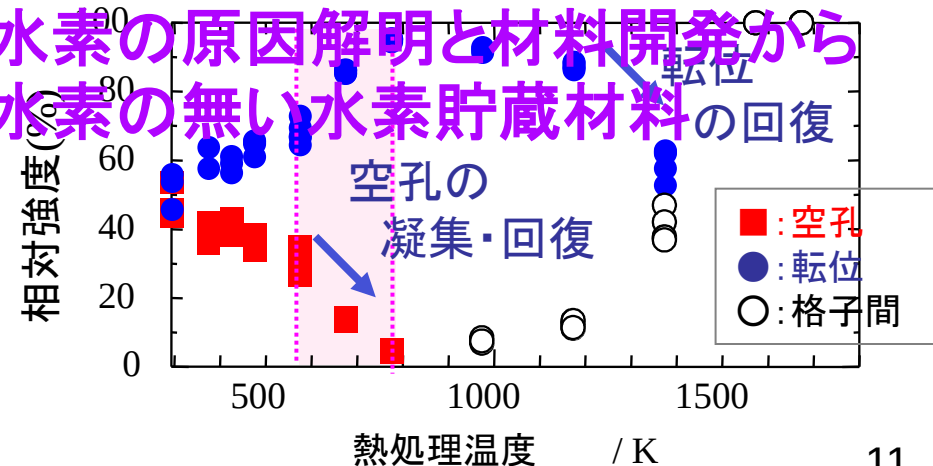
成分の制御で可能に)



空孔—水素
が複合体を
形成して水
素死蔵

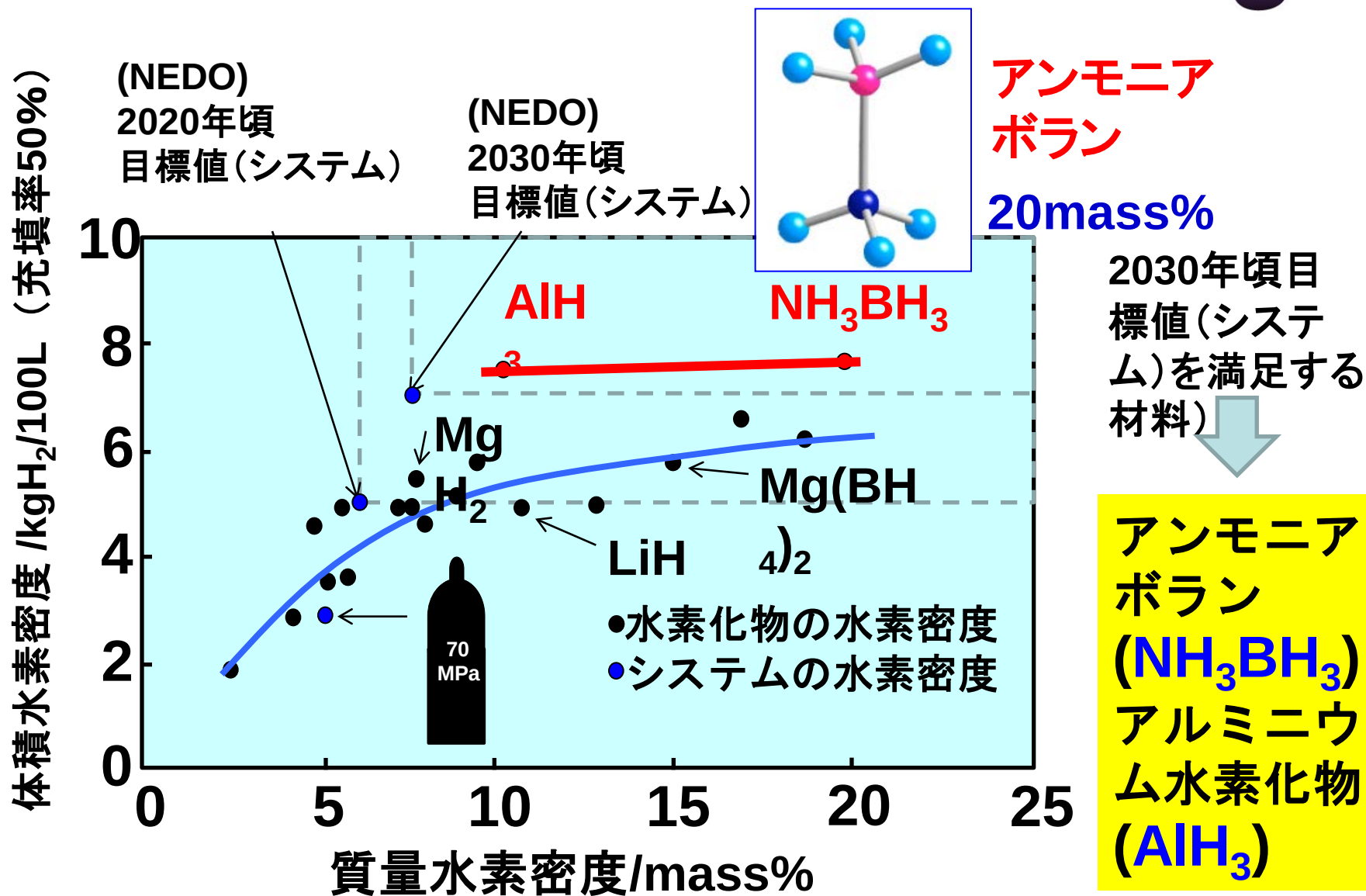
指針:

死蔵水素の原因解明と材料開発から
死蔵水素の無い水素貯蔵材料の回復



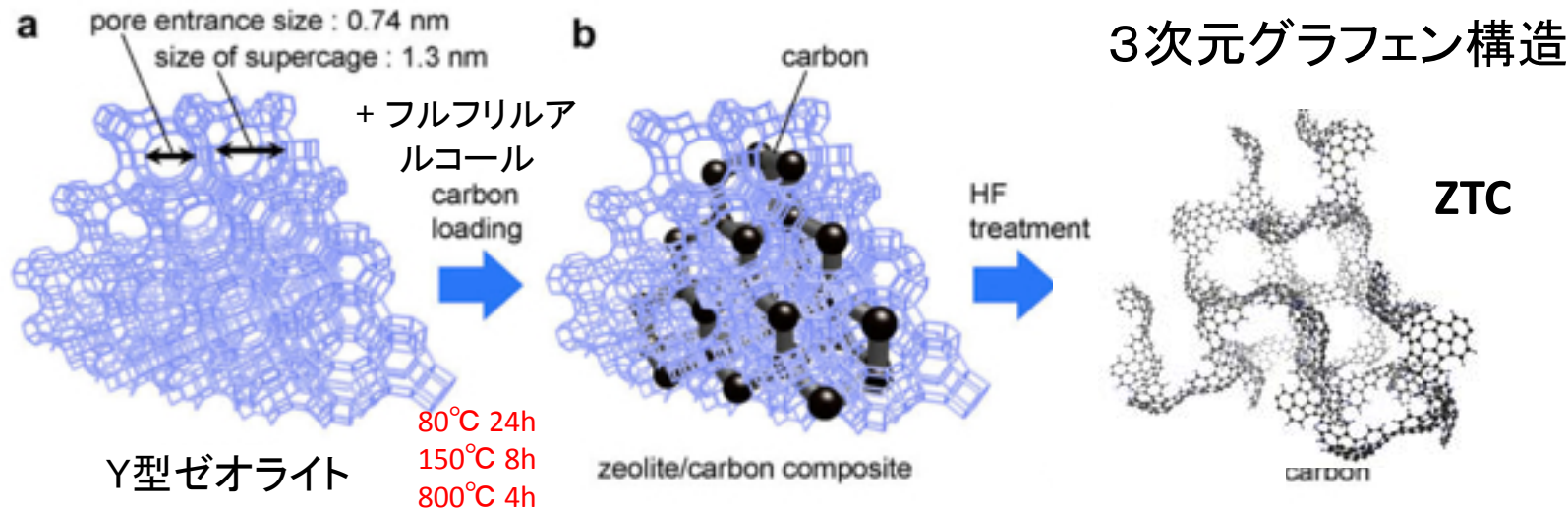
空孔の量を減らすことにより、死蔵水素を減少させ、有効水素量を増加できる

高性能水素貯蔵材料指針：高性能材料の提案



先端炭素材料による水素貯蔵 実験と計算の融合

ZTC = Zeolite-Templated Carbon (ゼオライト鋳型炭素)
世界が注目の室温で水素を大量吸蔵できる炭素系材料

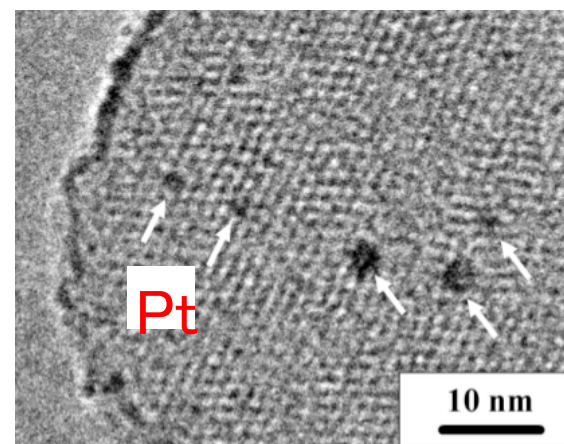


比表面積 約3,600 m²/g

水素貯蔵能

2.2 wt%H₂ 室温, 34 MPa

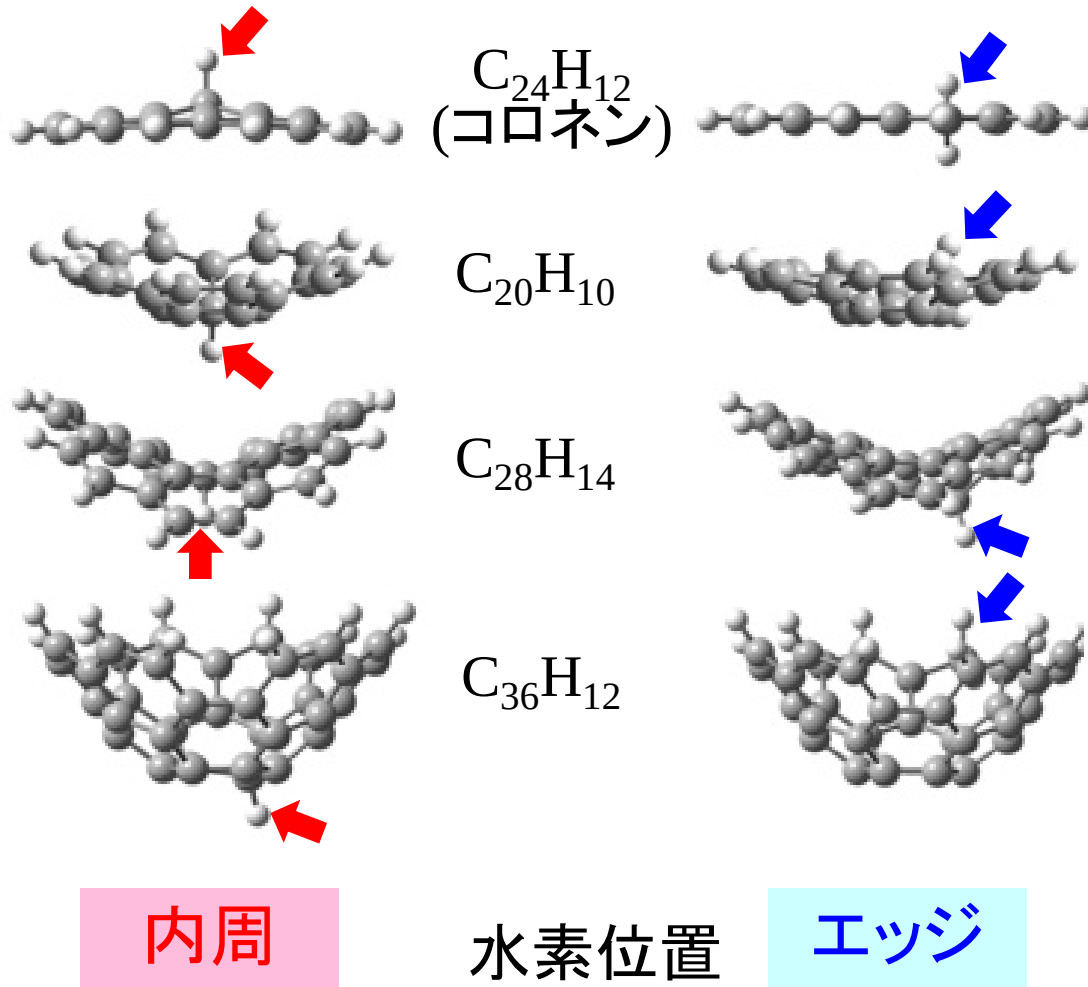
更なる向上が金属の添加で可能



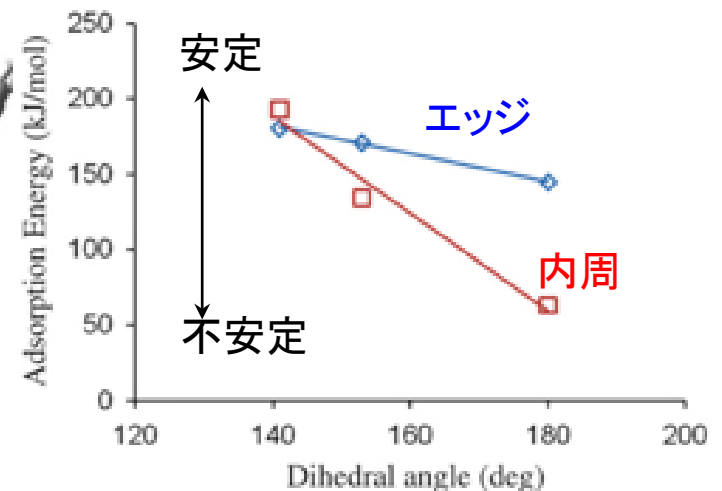
西原ら(2009)



湾曲した炭素平面のどこに 水素が吸着するか？



	E_{ad} (kJ/mol)	
	center	edge
$C_{24}H_{12}$	63.5	<u>144.9</u>
$C_{20}H_{10}$	151.3	<u>171.1</u>
$C_{28}H_{14}$	134.1	<u>167.4</u>
$C_{36}H_{12}$	<u>193.1</u>	180.6



3. 成果紹介

3-2 超先端的評価手法の開発

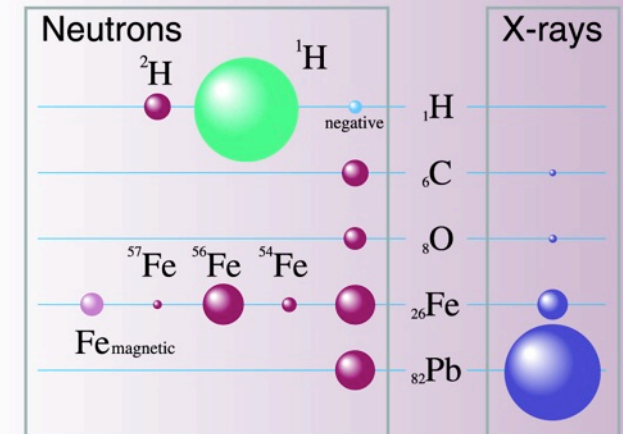
中性子研究の概要

世界最高強度中性子施設J-PARCを活用した水素貯蔵材料
の評価装置の開発と水素貯蔵材料への適用

- ・中性子全散乱装置NOVAの建設
- ・水素貯蔵材料計測用の周辺設備の整備
(ビーム施設に高圧水素設備を導入)
- ・産業界からの提供を含む水素貯蔵材料の評価

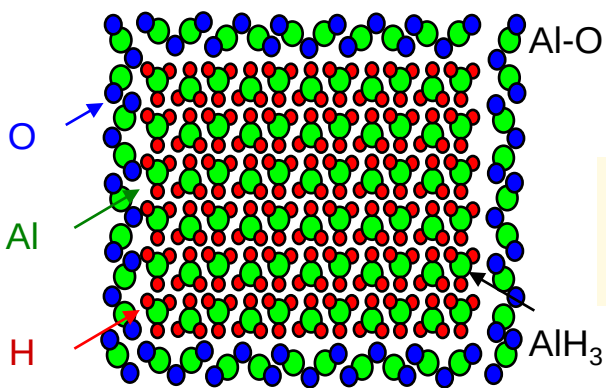
水素は原子核と相互作用する手法以外
で「見る」ことは難しい

中性子が最適かつ事実上唯一の方法
結晶のみならず、ナノ構造、非晶質、液
体状態の水素貯蔵材料の計測・解析
ができる装置を建設



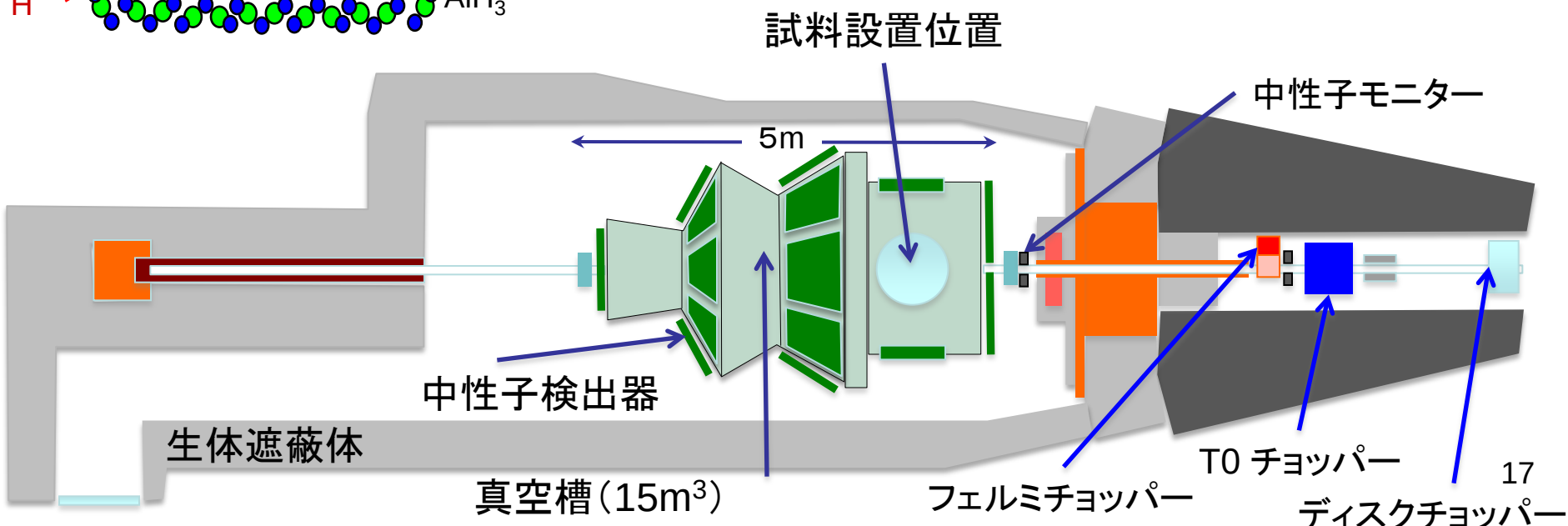
超先端的評価手法の開発

水素を「見る」には中性子が必須 → 世界最強の中性子源(J-PARC)を活用
23台しか装置設置ができない中、水素貯蔵材料専用装置を建設 (NOVA)



表面Al酸化物の測定
(χ - Al_2O_3 , amorphous- Al_2O_3)

アルミニウム水素化物表面に存在し反応を阻害している微量のアルミニウム酸化物の検出に成功



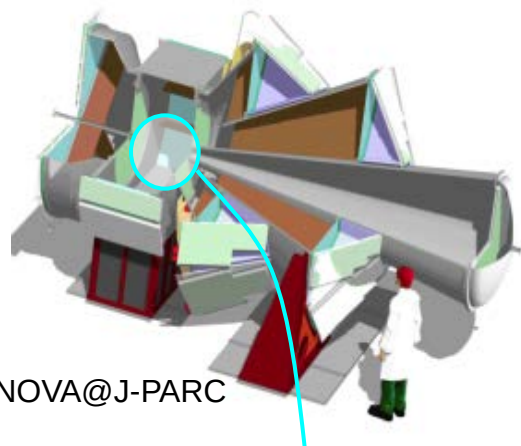
中性子と放射光の相補的利用による水素の状態観察

J-PARCとSPring-8の協調

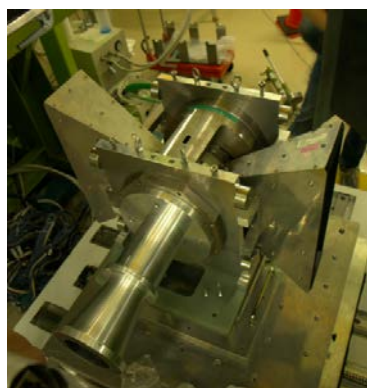
HYDRO-STARで始めて実現

(原子力機構)

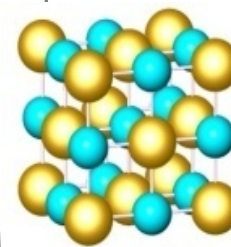
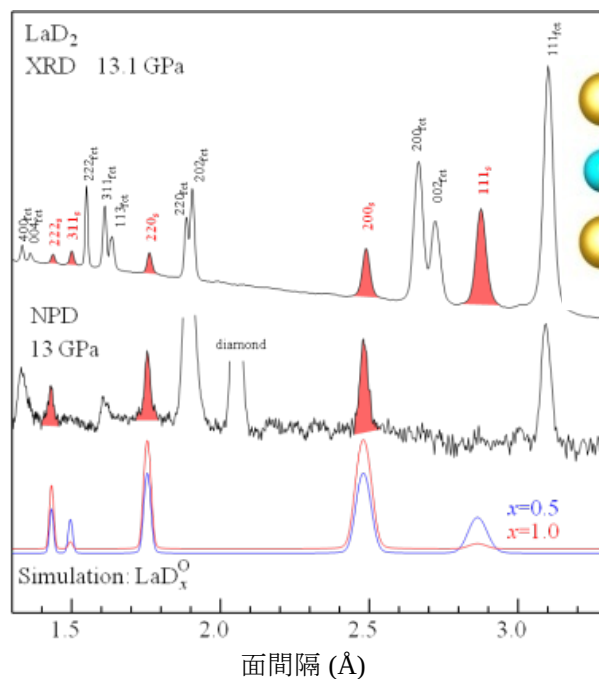
放射光X線・中性子回折により高圧下で新たな水素:金属比の状態の形成を観測



NOVA@J-PARC



外場による水素安定サイトの制御



H/M=2、3の水素化物に加えて、H/M=1の状態(NaCl型構造)が形成されることを発見。

同じ金属格子、異なる占有サイトの状態を実現



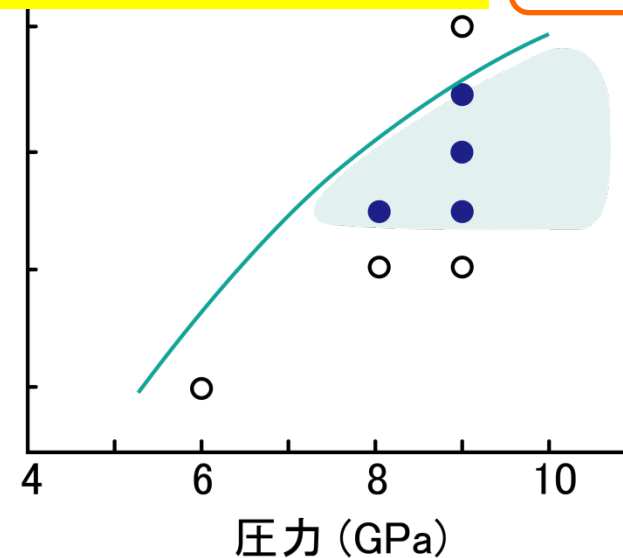
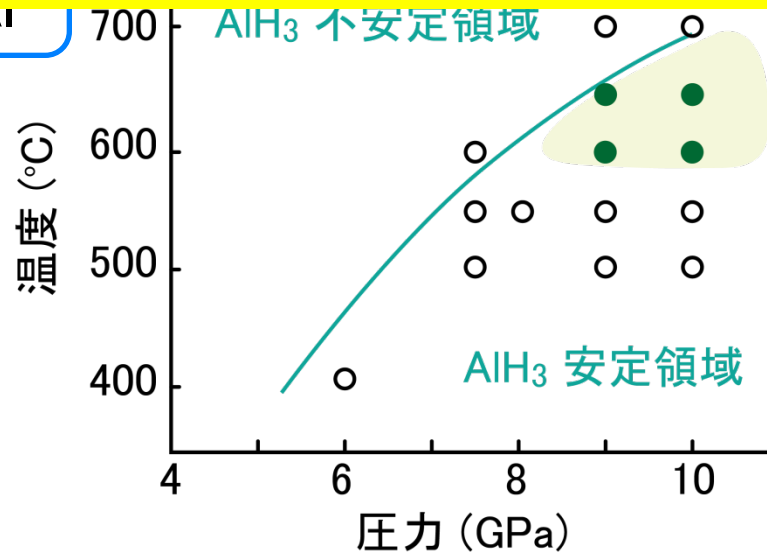
結合状態の占有サイト依存性の解明へ大きく前進

高濃度水素化物実現のための基本情報

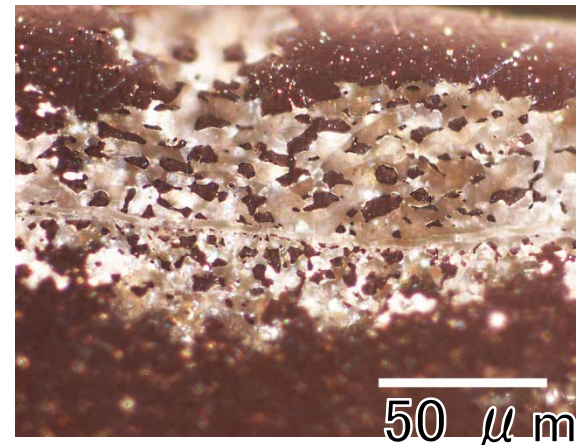
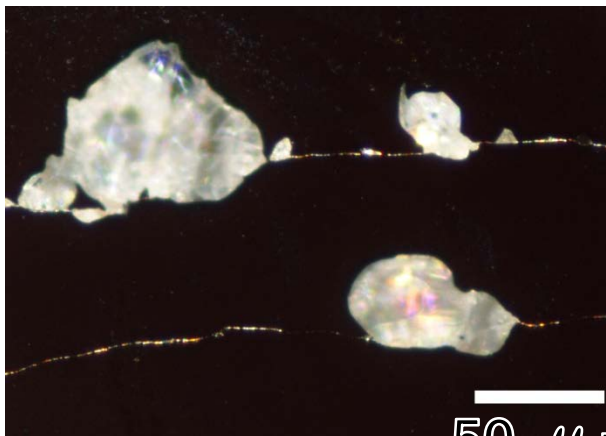
高圧容器用実用合金A6061合金の水素化

水素化物の生成条件は純アルミとほぼ同じ
室温、10 MPa 程度の条件では水素化物は不安定
生成する AlH_3 の形状に違い

A6061-T6

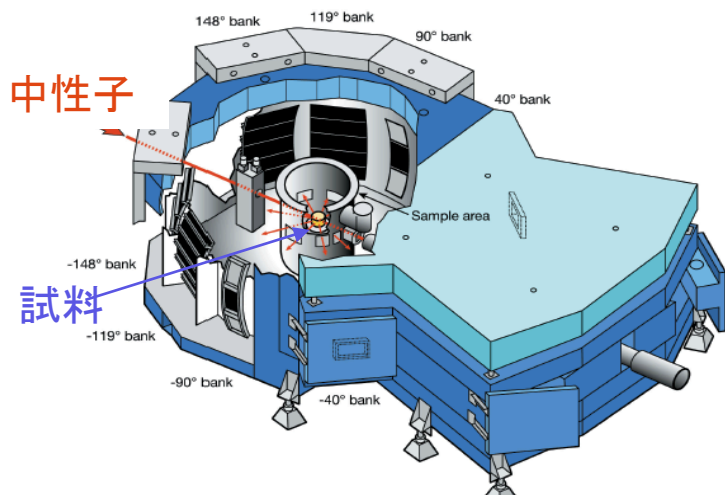


生成した AlH_3 の
顕微鏡像



1. 経済産業省とロスアラモス研究所は、2006年9月12日（火）にエネルギー分野における研究開発に関し、密接に情報交換を行うとともに、双方で合意したプロジェクトについて、研究開発協力を行うことに同意した。
2. 2007年度より「水素貯蔵材料先端基盤研究」を共同で推進。このため、双方は、秋葉悦男・産業技術総合研究所主幹研究員及び William Tumas ロスアラモス国立研究所・水素燃料電池研究所長を責任者として指名した。

2007年度から本年度まで5年間、産総研からの再委託事業としてロスアラモス国立研究所と共同研究を推進。

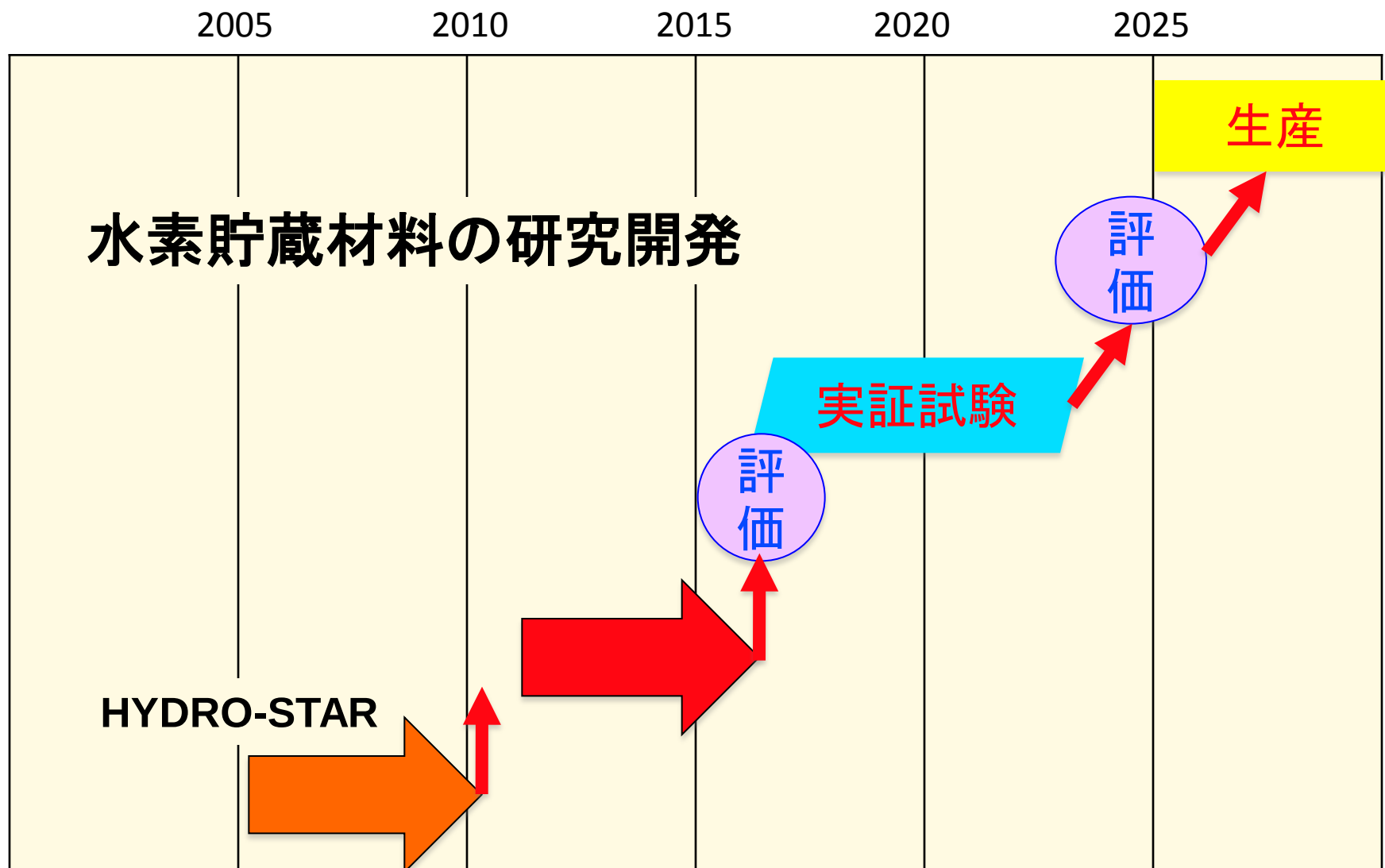


ロスアラモス国立研の
中性子装置NPDP



LANL-AIST-NEDOワークショップ開催

燃料電池自動車の大量生産を目指して



成果発信

- 論文数 285報
(Nature Materials に投稿準備中を含む)
- 海外の有名出版社より成果を書籍として出版準備中
- 成果報告書の発行(2012年2月予定)
- プレス発表 6件
- テレビ放映 3件
「J-PARC高強度全散乱装置の完成式典」(平成21年6月2日)など
- 測定サンプル数(2008～2010年度) 1600 種以上

まとめ

目的

ガス状である水素をコンパクト、高効率、安全に輸送貯蔵するために必要な高性能水素貯蔵材料の研究開発指針を産業界へ提供する

成果 ○材料開発指針

- － 既存材料の性能向上指針
- － 新規材料の提案

○超先端的水素貯蔵材料評価手法の確立

○国際共同研究

今後の展開 事業の成果を最大限に活用しつつ、実用化に資する高性能水素貯蔵材料の実現を目指す