

【個別特集】 **国際会議参加報告**

**DOE EERE Hydrogen Program 2006
Annual Merit Review Meeting 参加報告 (米国)**

栗山信宏

独立行政法人 産業技術総合研究所 コピキタスエネルギー研究部門
新エネルギー媒体研究グループ長 (NEDO 技術開発機構技術委員)

宇佐美 正博

三菱重工業株式会社 技術本部 長崎研究室 化学研究室 主席研究員
(前 NEDO 技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部 主査)

玉生良孝

NEDO 技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部 主査

はじめに：

「DOE EERE Hydrogen Program Annual Merit Review Meeting」は、2003年ブッシュ大統領が発表した「FreedomCAR & Fuel Initiative」の下で、DOE/EERE (米国エネルギー省/エネルギー効率及び再生可能エネルギー局) が実施する水素プログラムの年次報告会及び評価会で、今回 NEDO 技術開発機構の外部評価委員として、プロジェクト評価への参画 (栗山グループ長) 及び DOE のプログラムに係る情報収集 (玉生主査、宇佐美前主査、栗山グループ長) を行った。

本会議では 2006 年度の成果について発表し、5~6 人の評価委員からコメントと評点を受けた後、その結果が水素プログラムの運営及び予算配分に反映される。

今回の会議では、水素プログラムの、水素製造及び輸送、水素貯蔵、燃料電池、安全・規格・標準、技術評価、分析 (水素導入シナリオ等)、教育の各分野からの報告のほかに、BES (科学局) と連携して実施している水素貯蔵に関する基礎研究についても発表が行われた。「FreedomCAR & Fuel Initiative」の下で実施されている NE (原子力エネルギー局) や FE (化石エネルギー局 FutureGen) の水素製造プロジェクトについてもそれぞれの部局から基調講演があった。水素貯蔵に関するプロジェクトの総合講演では、DOE 目標はシステム目標であるので、貯蔵材料にはもっと高い貯蔵密度が必要であること、質量水素密度だけではなく体積水素密度も同等以上に重要であることが強調され、プロジェクト運営が数年前とかなり変わってきていることが感じられた。

主に水素貯蔵について聴講したが、ロスアラモス国立研究所 (LANL) の率いる Chemical Hydride の研究が、 NH_3BH_3 (アミノボラン: Amino Borane) の熱分解及び加水分解と新しいホウ素系物質の開発、水素放出温度が 100 程度の有機分子の開発が報告されて活発さが目立った。有機化学者が興味を持って「水素貯蔵材料」に取り組んでいる感があった。一方、金属水素化物 (Metal Hydride (複合水素化物:

Complex Hydride)) は新たな可逆系 (LiBH₄-MgH₂) や高水素貯蔵密度が期待される水素化アルミニウム Alane (AlH₃) の報告があった。高い平衡圧をもつが、Al の核生成が律速となって 10wt% の LiH や NaH を加えて分解温度が 180 から 150 に低下した程度である。再生方法の開発はこれからである。従来からの Alanate 系や Amide 系については、9wt% 実現への行き詰まり感と BH₄ 系への方向転換を示す発表 (サンディア国立研究所: SNL) と可能性を主張する発表 (サバンナリバー国立研究所: SRNL) があった。しかし、現場の研究者は研究を継続することであった。Carbon 系はホウ素の導入によって水素分子との相互作用を強くしようとする発表が目立ったが、ほとんど低温貯蔵 (77K) にシフトし、実質 MOF (有機金属構造体) と合わせた取り扱いになっていた。MOF は、77K-数十気圧で 7wt% を超える吸着が報告された。BES (DOE の基礎エネルギー科学を扱う部局、Office of Basic Energy Science) 関連の貯蔵関係基礎研究は、固体の熱力学的安定性まで理論計算で求めて、材料開発に役立てようとする研究が多数報告された。また、Alanate 系や Amide 系の反応機構解明や水素とカーボンナノチューブ (CNT) との相互作用の研究が贅沢な最新鋭の機器を用いて行われていた。



会議当日の開催案内



会議場の建物

会議内容 :

1. 開催概要

日時 : 2006 年 5 月 16 日 ~ 19 日

場所 : Marriott Crystal Gateway, Arlington, Virginia, USA

2. 基調講演 Intensive Technology Reviews: Session I

2.1 Storage: Dr. Sunita Satyapal

・開発目標 (システム) はこれまでと変わらず。

2010 年 6wt%、45g-H₂/L、~\$133/kg-H₂

2015 年 9wt%、81g-H₂/L、\$67/kg-H₂

目標がシステムに関するものであり、材料にははるかに高い水素貯蔵密度が要求されること、現状では目標に達するものがないことを強調。

・ 開発戦略

系統的なアプローチ

設定条件に左右されにくい理論/モデリングと素早い探索

特性の最適化（貯蔵量、温度、圧力、反応熱）

・ 予算（EERE は水素貯蔵分、BES は水素分全体）

	2004	2005	2006	2007
EERE	\$30.0M	\$30.0M	\$29.9M	\$34.6M(request)
BES	-	-	\$32.5M	\$50.0M(request, 内水素貯蔵分\$7.25M)

・ 達成状況

Adv. Metal Hydrides	Chemical H ₂ Storage	Carbon/Sorbents & New Materials
Li-Mg Amides ~5.5wt%, ~2.8kWh/L (>200)	Phenanthraline/organic liquids ~7wt%, ~1.8kWh/L (>150)	Metal/Carbon hydrides, MetCars 6 to >8wt%, ~1.3kWh/L (Theory)
Alane ~7-10wt%, 5kWh/L (<150)	Ammonia Borane / Scaffolds ~6wt%, 2~4kWh/L (<100)	Bridged Catalysts IRMOF-8 ~1.8wt%, ~0.3kWh/L (RT)
Li Borohydrides >9wt%, ~5kWh/L (~350)		Metal-Organic Frameworks IRMOF-177 ~7wt%, ~1kWh/L (77K)
Destabilized Binary Hydrides ~5-7wt%, 2-3kWh/L (>250)		
LiMgAlane, M-B-N-H ~7-8.8wt%, >1.3kWh/L (~160-340)		

注 上記は材料レベルの実績であり、システムの値ではない。

・ トピックス

- Advanced Metal Hydrides: アルカリ及びアルカリ土類金属の Alanate 980 種類について探索したが、DOE 目標に適する有望な系は見つからなかった (GE)
- Destabilized Hydrides and Nano-Engineering
LiBH₄/MgH₂ にて~9-10wt%吸蔵、~240 にて放出、反応速度向上が必要。
- Chemical Hydrogen Storage :
 - Phenanthrene にて、>7wt%、89g/L、100cycle 以上を達成 (Air Products)
非 Pt 触媒も開発。
 - NH₃BH₃ + Mesoporous scaffolds, >6wt%、80 以下で水素発生。
 - 早い脱水素触媒の開発 (Washington 大学)

- Carbon and Sorbents
 - MOF-117 にて >7 wt.%, > 30 g/L (77K-6MPa)
 - CNT の設計 (MetCat), 6.1-7.7% (77K) の可能性
- Testing and Analysis
 - サウスウエスト研究所 (SwRI) に評価装置を設置して集中評価。
- ・新しい公募内容 :
 - EERE : 材料探索、エンジニアリング、システム開発に \$6M total (\$2M in FY07)
 - 3-6 件採択、\$200-400k/yr for 2-5 years
 - BES : 新規水素貯蔵材料、機能性膜、ナノスケール触媒を対象。
 - \$52.5M total (\$17.5M/yr starting in FY07)
- ・その他 : 水素貯蔵材料と高圧容器との組み合わせは小さなプロジェクトで始めている。
 - NH₃ による水素貯蔵は今のところ考えていない (考慮すべきとの意見多数)

2.2 Fuel Cells: Ms. Valri Lightner

- ・耐久性とコストが最大の課題 :
 - 2010 までに \$45/kW、2015 までに \$30/kW、2010 までに 5000 時間の耐久性 (80 、 80kW)
 - 現状 : 80kW スタック用に \$110/kW (安すぎるとの燃料電池関係者のコメントあり)
 - 20 セルショートスタックにて 4000 時間のサイクル耐久性達成 (-10%) (UTC)
 - 分散型エネルギー用 (PEFC) : 2011 までに \$750kW、4 万時間耐久性、40% 発電効率。
 - 補助電源用 (SOFC) : 2010 までに出力密度 100W/kg、100W/L
 - 一般向け電源 (DMFC) : 2010 までにエネルギー密度 1000Wh/L
- ・予算 : 2004、2005 年は \$55M であったが、2006 年は \$32M、中でも改質は殆ど 0。
- ・戦略 :
 - 自動車用 PEFC に重点を置く。
 - システム開発よりも要素技術開発を重視。
 - 総額 \$100M、期間 2-4 年のプロジェクトの公募を実施。
- ・トピックス
 - 触媒 (白金系)
 - ウィスカー電極の耐久性向上 (3M)、表面への白金集中により質量活性 4 倍 (ブルックヘブン国立研究所 : BNL)
 - 触媒 (非白金系)
 - Co-based alloy (LANL)、2CN/2CN-X 系 (USC)
 - 解析
 - 燃料電池部材中の水のリアルタイムイメージング成功 (国立標準局 : NIST)
 - MEA の微細構造解析 (オークリッジ国立研究所 : ORNL)
 - 凍結開始のモデル化 (ANL)、-40 以下でのみ凍結による空気極剥離確認

(LANL)。

- ・ リサイクル
 - MEA からの膜と触媒の分離、白金の再生方法を確立 (Ion Power、 Engelhard)
- ・ 電解質膜耐久性
 - 化学的劣化モードと機械的劣化モードの同定と相互作用を実証 (DuPont、 UTC)

2.3 Coal-based hydrogen: Mr. Lowell Miller

- ・ 最大の国内化石燃料資源であり、安全保障の意味から水素転換技術を開発。
- ・ 2015 年に集中方式にて 60%の製造効率の達成を目標としている。
- ・ 石炭研究開発計画は 2005 年に策定。
 - “Hydrogen Coal Program” (www.fossil.energy.gov/programs/fuels/)
- ・ 開発項目：無機メンブレンリアクタ (Media and Process Technology)
 - 新規ガス生成・調整技術 (IGCC 用) (Siemens Power Corp.)
 - 合成ガス製造における新規改質触媒 (国立エネルギー研究所：NETL)

2.4 Nuclear-based hydrogen: Mr. Carl Sink

- ・ Nuclear Hydrogen Initiative (NHI)に従って実施。
- ・ 目標は、2020 までに原子力で水素を \$3.5/gge で製造することである。
 - (gge : “Gallon Gasoline Equivalent”の略、水素 1kg のエネルギーにほぼ等しい)
- ・ 技術開発の内容：
 - 熱化学サイクル (原子力研究所：NERI、GE、General Atomic、SRNL)
 - 高温水電解 (アルゴンヌ国立研究所：ANL、ORNL)
 - システム間の結合 (SNL)
 - 技術の構築 (SNL)

2.5 Hydrogen from distributed natural gas & renewables: Mr. Patrick Davis

- ・ 2015 年までに分散型水素ステーションを普及、水素製造コスト \$3.0/gge が目標。
 - それが難しければ水素配送の仕組みを考える必要がある。
- ・ 長期的には再生可能エネルギーによる水素製造。
 - 集中水電解、集中バイオマスガス化、光化学法、光水分解、太陽熱利用熱化学法、生物水素製造。

2.6 Delivery: Mr. Mark Paster

- ・ 目標：全体で < \$1/gge (2017 までに)
 - < \$.40/gge (for Forecourt operations by 2015)
- ・ 予算：2004 年 \$0.4M、2005 年 \$2.5M と増えたが、2006 年は \$1.0M に激減。
- ・ 実施内容：最も有利と考えられるパイプライン輸送について WG を作っている。
 - メンバーは、ORNL、SRNL、SNL、Illinois 大学、民間企業。

- ・低い体積密度は高配送コストの原因、液水、高密度水素輸送トレーラーかキャリアが必要。

Session III

2.7 Carbon capture and sequestration technology: Mr. Sean Plasynski

- ・炭素排出の削減には、排出の少ない技術の採用、効率の向上、貯留がある。
- ・炭素の貯留(Sequestration)には、地層への貯留と自然界に処理させる方法がある。
- ・予算：2007年要求\$97.971M(1997年以来\$260M投資)。
- ・実施内容：下記の項目を並行的に実施する。
 - システム構築(FutureGenとして発電・貯留技術の開発)
 - インフラ技術(貯留能力評価、環境影響評価等の支援技術開発)
 - コア技術開発(高効率CO₂回収、CO₂貯蔵、モニタリング等基礎技術開発)
- ・スケジュールは下記の通り：
 - 2003-2005 地下貯留に適した場所・貯留能力の調査。
 - 2006-2009 貯留能力の確認。
 - 2009-2017 地下貯留の実証。
- ・情報：http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/index.html

2.8 FutureGen update: Mr. Joseph Giove III

- ・国内に多量に存在し、発電での利用率の高い石炭を、ゼロエミッション化するために、電力と水素の併給技術(石炭ガス化技術、高効率発電技術)CO₂の貯留技術の開発を行う。高効率発電技術としてはSOFCとタービンのハイブリッドを想定しており、SOFCの技術開発はSECAプロジェクトとして実施中。
- ・2003年2月27日にブッシュ大統領が“FutureGen Initiative”を発表。
- ・2020年までにゼロエミッションの上記石炭利用技術を経済的に成立するところまで完成させる。275MWの実証施設を運転する。
- ・国際プロジェクトとして運営されており、現在韓国とインドが参加。

2.9 EU Hydrogen Update: Dr. Bill Borthwick (European Commission)

- ・EUのFP6(6th Framework Programme)では、2002-2006年の5年間に総額288Mユーロが水素・燃料電池技術に投資された。この中でEUの水素に関する戦略も作られた。2007-2013年の予定で総額48.1Bユーロが投資され、次期のFP7が進められる予定である。
- ・代表的なプロジェクト及び開発内容は以下の通り。
- ・MEA：自動車用130 作動高温膜開発
- ・SOFC：Real SOFC、SOFC600、FCTESQA、FCTESTNET
- ・水素製造：SolarHy、バイオ水素製造
- ・水素貯蔵：70MPa 軽量高圧タンク及び充填技術開発

- ・ 規格・標準
 - HyPer：EU 内規制緩和のための研究開発。
 - HySafe：水素に関する安全技術開発。
 - Storhy：水素貯蔵に関する安全技術開発。
- ・ 自動車のための水素供給：CUTE、ECTOS 等。

所感：

- ・ 水素貯蔵材料に関しては、従来からのシステムとしての開発目標で変更無く進められている。
 - 2010年 6wt%、45g-H₂/L、~\$133/kg-H₂
 - 2015年 9wt%、81g-H/L、\$67/kg-H₂
- ・ 質量水素密度だけでなく体積水素密度も同等以上に重要であることが強調され、反応速度、熱管理、エネルギー効率、システムコスト、安全性等のトータルな特性が求められている。
- ・ 従来からのアラネート系については、9wt%実現への行き詰まり感が感じられ、今年度中にGo/No-Goの判断をするという発表が多かった。
- ・ ケミカルハイドライドに関してはボロハイドライドの研究にシフトしてきており、反応温度の低下や反応速度向上のための触媒の研究が中心となっていた。
- ・ 炭素系材料に関しては、理論計算により水素吸収機構の検討等が活発に行われている。MOF等では分子構造のモデリングを行い計算化学で水素吸収サイトを評価している。
- ・ ブレークスルーをもたらす新しい水素貯蔵材料探索に関してもモデリングが活用されている。
- ・ アミド系、イミド系に関しては微量のアンモニア生成の課題が依然として懸案として残っている。実験を減速し、理論計算を優先するよう方向転換が図られているようだ。
- ・ 開発目標が現実離れしており、目標達成/実用化までの道程は長いとの印象を受けた。(高圧タンクと貯蔵材料を組み合わせたシステムの貯蔵量：2006時点での到達度、2wt%程度)
- ・ 研究対象の材料系には、NEDO 研究では未検討(NH₃BH₃等)の物もあり、今後の進捗状況をフォローしていく必要がある。
- ・ 基礎的な研究が多く、実用化までのハードルは多い感じを受けた。(昨年度も出席した日本の燃料電池関係者によると、本年は基礎研究の報告が多く、基礎研究に力を入れていることが判ったとのこと。)
- ・ 有機化学者が興味を持って「水素貯蔵材料」に取り組んでいる感があった。

以上