

戦略的国際科学技術協力推進事業 (CONCERT-Japan)

1. 研究課題名：「統合水素エネルギー利用システムの性能向上に資する水素貯蔵材料、及び貯蔵方法に関する基礎的研究」
2. 研究期間：平成 25 年 4 月～平成 27 年 3 月
3. 支援額： 総額 9,788,500 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	中納 暁洋	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 水素エネルギー技術グループ	研究グループ長
研究者	伊藤 博	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 水素エネルギー技術グループ	主任研究員
研究者	齊田 愛子	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 水素エネルギー技術グループ	主任研究員
研究者	前田 哲彦	産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギーセンター エネルギーネットワークチーム	主任研究員
研究者	松尾 元彰	東北大学 金属材料研究所 水素機能材料工学研究部門	講師
研究者	折茂 慎一	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構/金属材料研究所 水素機能材料工学研究部門	教授
研究期間中の全参加研究者数		7名	

相手側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Bjorn C. Hauback	Institute for Energy Technology (IFE), Physics Department	Professor
研究者	Stefano Deledda	Institute for Energy Technology (IFE), Physics Department	Senior Scientist
研究者	Magnus H. Sorby	Institute for Energy Technology (IFE), Physics Department	Senior Scientist

研究者	Olena Zavorotynska	Institute for Energy Technology (IFE), Physics Department	Post-Doctoral fellow
研究者	Oystein Ulleberg	Institute for Energy Technology (IFE), Energy Systems Department	Senior Scientist
研究者	Preben J. S. Vie	Institute for Energy Technology (IFE), Energy Systems Department	Senior Scientist
研究期間中の全参加研究者数			7名

	氏名	所属	役職
研究代表者	Martin Dornheim	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Nanotechnology Department	Head of Nanotechnology Department
研究者	Klaus Taube	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Nanotechnology Department	Research Scientist
研究者	Jose M. Bellosta von Colbe	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Nanotechnology Department	Research Scientist
研究者	Anna-Lisa Chaudhary	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Nanotechnology Department	Post-Doctoral fellow
研究者	Claudio Pistidda	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Nanotechnology Department	Research Scientist
研究者	Julian Jepsen	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Nanotechnology Department	Doctor-course student
研究期間中の全参加研究者数			9名

	氏名	所属	役職
研究代表者	Andreas Züttel	EMPA, Division Hydrogen & Energy	Head of division Hydrogen & Energy
研究者	Yigang Yan	EMPA, Division Hydrogen & Energy	Post-Doctoral fellow
研究者	Elsa Callini	EMPA, Division Hydrogen & Energy	Post-Doctoral fellow
研究期間中の全参加研究者数			3名

	氏名	所属	役職
研究代表者	Torben Rene Jensen	University of Aarhus, Center for Energy Materials, Interdisciplinary Nanoscience center	Associate Professor
研究期間中の全参加研究者数		1名	

5. 研究・交流の目的

本研究の目的は次世代の定置型水素エネルギー利用システムに関する設計・開発指針を得ることにある。日本側は主に低温型の統合型水素エネルギー利用システムの開発を担当し、欧州側は高温型の定置型水素エネルギー利用システムの水素貯蔵方法を検討する。材料特性の解明については日本側と欧州側が分担し研究を進める。日欧の研究チームが相互補完的に研究に取り組むことにより、水素エネルギー技術関連の貯蔵・輸送分野における技術進展、また、材料科学分野における技術革新に繋がることが期待される。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

室温・10気圧未満で運用する低温型の水素貯蔵システムについて、 $MmNi_5$ 水素吸蔵合金の熱伝導率をフィッティングパラメータとした数値解析コードを開発した。欧州側研究機関がその場測定可能な水素吸蔵合金の熱伝導率測定装置を保有していたことから、日本側の合金サンプルを相手機関に送付し協力して熱伝導率を測定した結果、実験結果から推算して用いていた熱伝導率の値がほぼ妥当であることが確認できた。

ホウ素系錯体水素化物 MBH_4 ($M=Li, Na, Mg$ など) は、先行的に水素貯蔵装置への利用が検討されている $MmNi_5$ 合金と比較して5倍以上もの水素貯蔵密度を有するため、高密度水素貯蔵材料としての応用が期待されている。そのためには、水素放出温度をより低下させることが課題として挙げられている。水素放出温度を制御する方法として、これまで陽イオン置換や触媒添加などが報告されていたが、本事業により遷移金属系錯体水素化物 Mg_2FeH_6 との複合化が有力手段となることを新たに見出した。しかも、 MBH_4 の放出温度が低下するだけでなく、元々の水素放出温度が $200^{\circ}C$ 以上も異なる MBH_4 と Mg_2FeH_6 とが同時に水素を放出するという、これまでに錯体水素化物において報告例のない優れた特性も観測された。高度なその場放射光 X線回折測定・解析技術を有するノルウェー・エネルギー技術研究所 (IFE) との共同研究を推進することにより、その反応のメカニズムの一端を明らかにすることができた。また、ドイツ・ヘルムホルツ協会 (HZG) の試料合成技術を基にして、 $LiBH_4$ 以外のその他のホウ素系錯体水素化物に対しても一般的に Mg_2FeH_6 との複合化効果が観測されることがわかり、今後の錯体水素化物の研究を推進する上で非常に重要な成果が得られた。

6-2 人的交流の成果

日本側の低温型システムで使用している水素吸蔵合金の熱伝導率測定のため産総研の若手研究員を相手方研究機関であるドイツ・ヘルムホルツ協会に派遣して共同で測定実験を実施し有意義なデータが得られたことに加え、相手方研究員と現場で共同作業を行うことで、それが良い刺激となり派遣した研究員の思考・視野の幅が広がった。また、本事業開始前は、東北大学グループはスイス連邦材料試験研究所 (EMPA) との交流しか行っていなかったが、本事業を端緒としてドイツ・ヘルムホルツ協会 (HZG) およびノルウェー・エネルギー技術研究所 (IFE) との共同研究を始めた。また、デンマーク・オーフス大学との

共同研究を見据えた研究交流へと繋げることができた。ドイツ・ヘルムホルツ協会 (HZG)、ノルウェー・エネルギー技術研究所 (IFE)、スイス連邦材料試験研究所 (EMPA) の若手研究者数名が来日し、東北大学グループと一緒に実験を行うことにより、水素雰囲気中でのその場ラマン分光および赤外分光などの欧州グループでは不可能であった測定技術を習得することができた。本事業終了後も引き続きすべての欧州グループと水素貯蔵材料開発の観点で研究交流を継続するが、それ以外にもイオン伝導や超伝導など水素化物のその他の機能に関しても研究展開する予定であり、さらに交流が深まることが期待される。

7. 本研究交流による主な論文発表・主要学会での発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年、DOI ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
論文	G. Li, M. Matsuo, S. Deledda, R. Sato, B.C. Hauback, S. Orimo, "Dehydrating property of LiBH ₄ combined with Mg ₂ FeH ₆ ", Materials Transactions, vol. 54, No. 8, pp.1532-1534, 2013, http://dx.doi.org/10.2320/matertrans.M2013145	
論文	G. Li, M. Matsuo, S. Deledda, B.C. Hauback, S. Orimo, "Dehydrating property of NaBH ₄ combined with Mg ₂ FeH ₆ ", Materials Transactions, vol. 55, No. 8, pp.1141-1143, 2014, http://dx.doi.org/10.2320/matertrans.MG201404	
論文	T.D. Humphries, S. Takagi, G Li, M. Matsuo, T. Sato, M.H. Sørby, S. Deledda, B.C. Hauback, S. Orimo, "Complex transition metal hydrides incorporating ionic hydrogen: Synthesis and characterization of Na ₂ Mg ₂ FeH ₈ and Na ₂ Mg ₂ RuH ₈ ", Journal of Alloys and Compounds (in press) 2015, http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.12.113	
論文	A. Nakano, H. Ito, B. Satyasekhar, T. Motyka, C. Corngnale, S. Greenway, B. C. Hauback, "Research and development for a metal hydride tank with double coil type heat exchanger below 1.0 Mpa(G) operation", Int. J. Hydrogen Energy, 40, 6, pp.2663-72, 2015, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.12.051	
特許	特許、"真空断熱材及びその製造方法", 日本, 2014.08.27, 特願 2014-172127、産総研、中納暁洋、伊藤博	