

液化水素技術国際ワークショップ

(International Workshop on Liquefied Hydrogen Technology)

報告書

2015年3月

一般財団法人日本船舶技術研究協会

目次

1	はじめに.....	1
2	挨拶.....	3
3	基調講演.....	4
4	技術ワークショップ1:世界の主要プレイヤーの動向.....	9
5	技術ワークショップ2:液化水素の先端技術.....	13
6	技術ワークショップ3:液化水素の新しい利用	16
7	パネルディスカッション:液化水素利用・研究技術開発の促進に向けて	19

1 はじめに

2014 年末に燃料電池自動車(FCV)の市販も始まり、水素社会の実現に向けた取り組みが着実に進展してきている。

将来の大規模水素利用社会を実現するためには、効率的な水素の製造、輸送・貯蔵、利用に係る技術の確立が望まれ、液化水素はそのための重要な輸送・貯蔵技術の一つとして期待されている。

そのような中、液化水素関連の研究者・技術者の技術交流、産学連携の強化、そして研究開発を加速するために、国内外の主要な企業や研究者の方々を招聘し、世界的にも初となる「液化水素技術国際ワークショップ」を開催した。

液化水素分野に関して包括的に議論や意見交換を行う世界でも初めての機会となり、多くの知見と最新情報を関係者間で共有する場になった。

ワークショップの詳細

名称:	液化水素技術国際ワークショップ (International Workshop on Liquefied Hydrogen Technology)
日時:	2015 年 3 月 2 日(月) 9:30~17:30
場所:	リーガロイヤルホテル京都
主催:	一般財団法人日本船舶技術研究協会
共催:	独立行政法人科学技術振興機構



会場写真①:挨拶『戦略的イノベーション創造プログラム(エネルギーキャリア)』
村木茂プログラムディレクター(東京ガス(株)取締役副会長)



会場写真②:基調講演『水素事業における研究開発の概要』
渡邊昇治 / 経済産業省産業技術環境局研究開発課課長



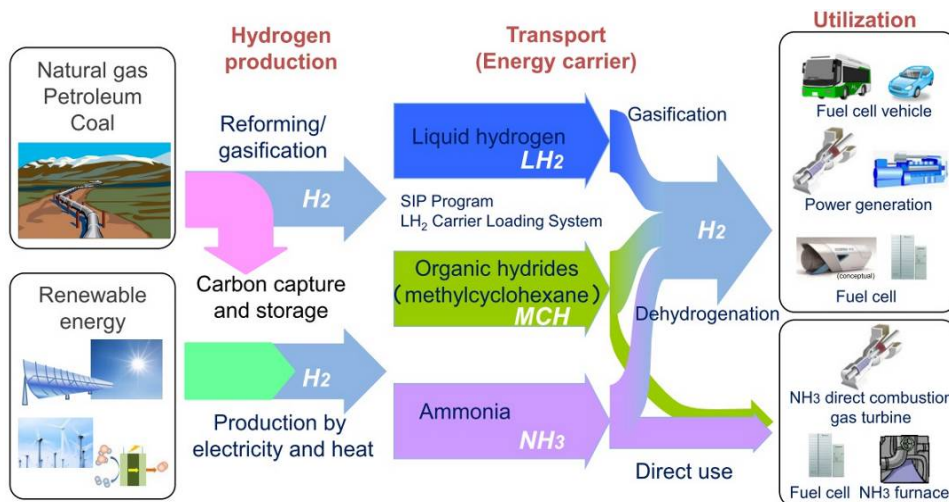
会場写真③:パネルディスカッション:液化水素利用・研究技術開発の促進に向けて

2 挨拶

2-1 村木 茂

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「エネルギーキャリア」プログラムディレクター(東京ガス株式会社 取締役副会長)

- 日本の科学技術の司令塔機能を果たしている「総合科学技術・イノベーション会議」では、2014年度に次の3つの矢を立ち上げた。
 - ・政府全体の科学技術関係予算の戦略的策定
 - ・戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
 - ・革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)
- SIPでは、社会的課題を解決し、経済成長につながる重要な技術を10テーマ選定した。そのうちの 하나가「エネルギーキャリア」で、水素関連技術開発全体をカバーしている。基本方針として、「CO2フリー水素チェーン」の構築を目指している。



「エネルギーキャリア」プログラムにおける「CO2フリー水素チェーン」の構築

- 液化水素関連のメインテーマの一つが、液化水素運搬船への積み込みや積降ろし用のローディングアームの開発である。2018年にローディングシステムを完成させることを目標としている。併せて国際規格化にも取り組んでいる。
- 「エネルギーキャリア」のビジョンは以下の通り:

第一フェーズ(～2020年):

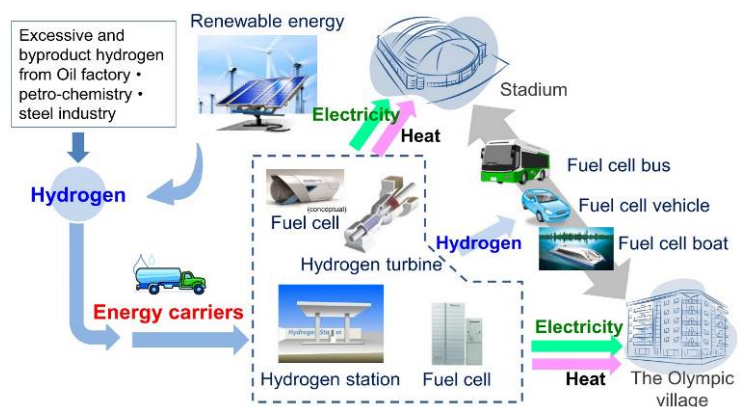
CO2フリー水素技術の開発
東京オリンピック・パラリンピック
での実証

第二フェーズ(2020～2030年):

大型水素発電の実証・実用化

第三フェーズ(2030年～):

CO2フリー水素の大規模導入
本格的な水素社会を構築



東京オリンピック・パラリンピックで技術実証のイメージ

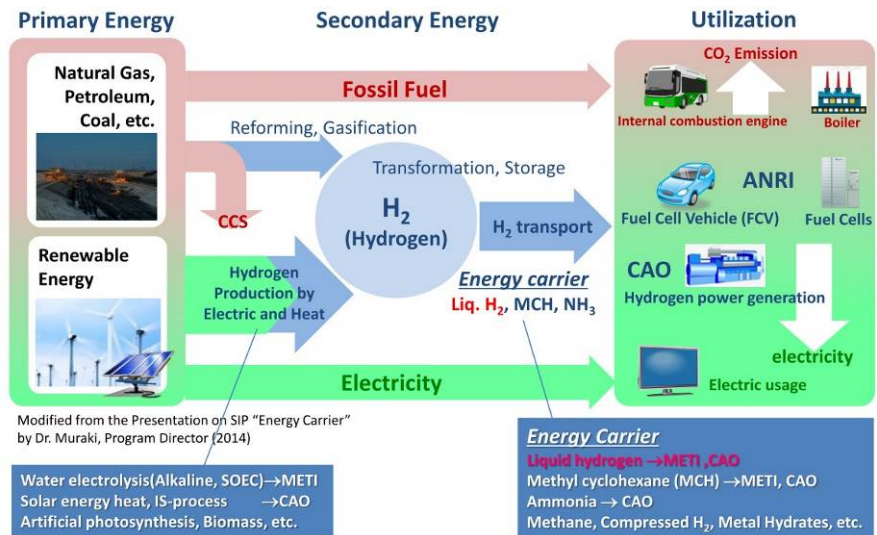
3 基調講演

3-1 水素事業における研究開発の概要

渡邊 昇治

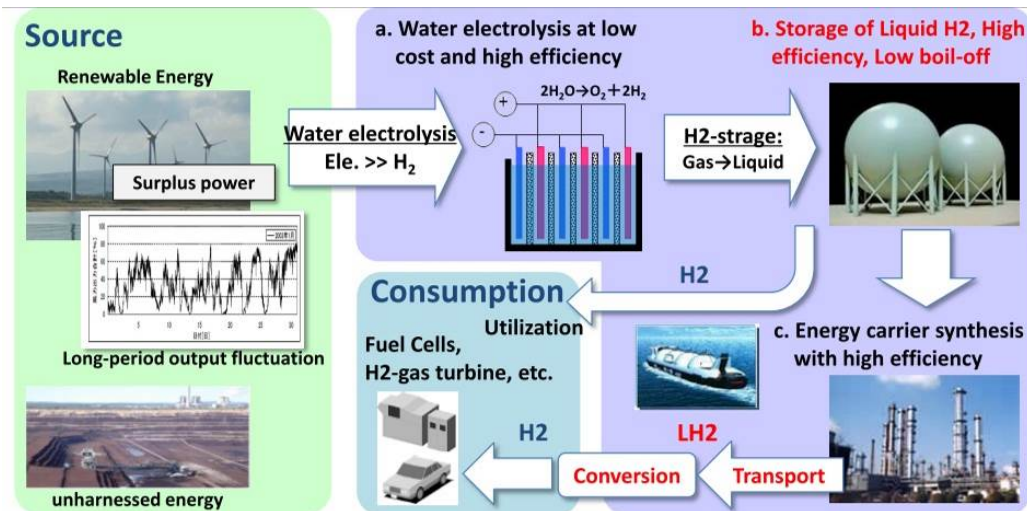
経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長

- 産業競争力、環境改善の点では水素は重要なエネルギーとされており、その展開のためにはエネルギーキャリア技術がカギである。
- 2014年4月に閣議決定された第4次エネルギー基本計画では、水素が二次エネルギーの重要な一つと位置付けとしている。
- エネルギー基本計画をうけ、経済産業省は2014年6月に水素・燃料電池戦略ロードマップを策定した。現在から2040年までを見越しており、フェーズ3(2040年)にはCO2フリー水素の展開を目指している。
- 省庁をまたがって水素の製造・輸送・利用プロジェクトを実施中。SIPでは、液化水素、アンモニア、有機ハイドライドを実施。



素サプライチェーンと我が国における研究体制

- 経済産業省でも、水素サプライチェーンの R&D(2014~2022 年度)を行っており、その中で液化水素プロジェクトを実施中である。予算総額は 16.6 億円(2014 年度)。



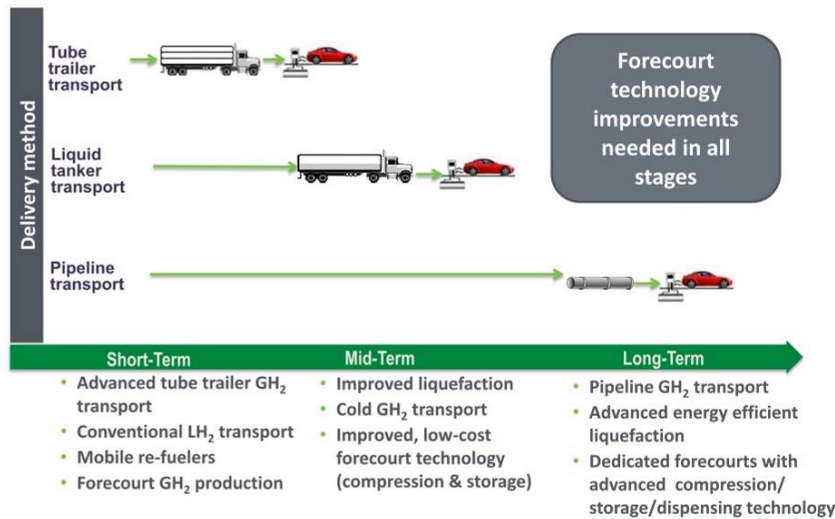
経済産業省の水素製造・貯蔵・輸送・転換に関するプロジェクト

3-2 米国の液化水素関連の技術動向

Dr. Will James

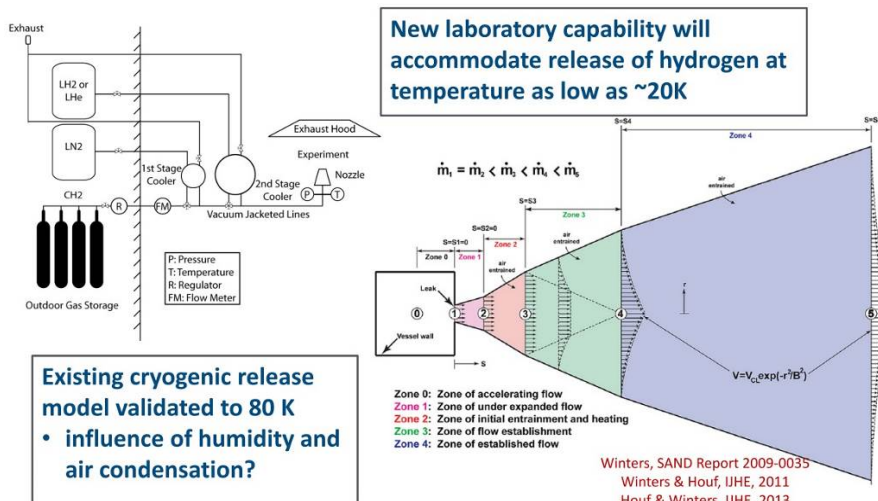
米国エネルギー省 燃料電池技術局 安全・基準・標準プログラムリーダー

- DOE も参画する官民パートナーシップ「H2USA」では、水素インフラ市場の立ち上げのため、水素ステーションのコスト低減、ロケーション選定、投資促進、市場化支援に取り組んでいる。
- 全米には、総延長 1500 マイルの水素パイプラインがあり、水素製造量は年間 900 万トンである。また水素ステーションは約 50 か所あり、そのうち約 10 か所が一般向けである。一般向けの大部分はカリフォルニア州であるが、同州は 2023 年までに 1 億ドルを投入し、100 か所を目指す。
- カリフォルニア州、コネチカット州、ニューヨーク州、マサチューセッツ州、メリーランド州、オレゴン州、ロードアイランド州、バーモント州は協力してゼロエミッション車(ZEV)を導入する覚書に署名した。コネチカット州、ニューヨーク州、マサチューセッツ州は水素インフラ整備も始めている
- 水素輸送では、短期的には高圧水素と液化水素が、長期的にはパイプラインが有望である。



水素輸送のモード(短期～長期)

- 米国には液化水素を利用した水素ステーションは 2 か所(ウエストサクラメント、アーバイン)。
- DOE は、液化水素の挙動のシミュレーションも実施している(安全距離やリスク分析など)。



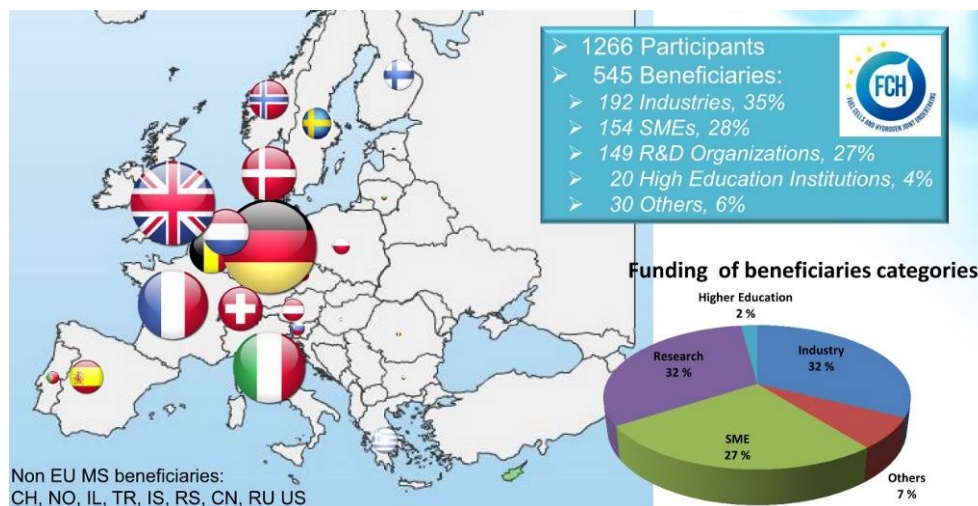
液化水素のリリース時の挙動のシミュレーションの実施

3-3 欧州における国際的水素動向

Dr. Steffen Møller-Holst

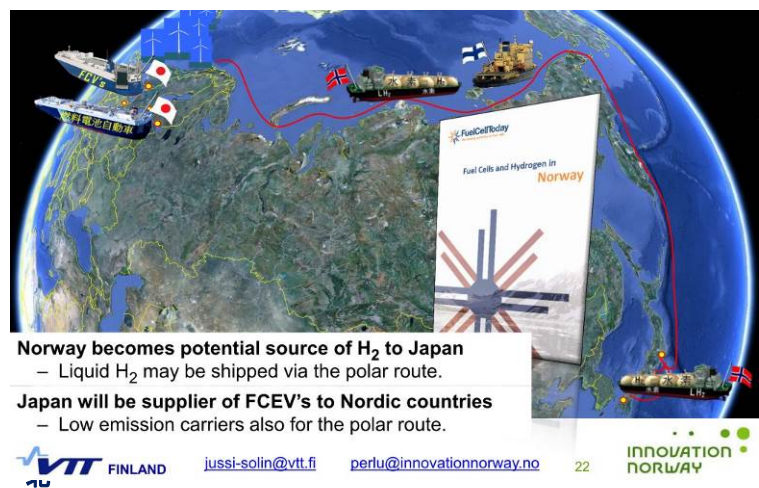
ノルウェー産業科学技術研究所(SINTEF)マーケティング担当副所長
(ノルウェー水素フォーラム水素協議会議長)

- 欧州では石油の 94%が運輸部門で使用されており、84%が輸入されている。石油消費量は 2011 年には 10 億ユーロ/日になった。また欧州の CO2 排出量の 25%が運輸部門である。
- 2013 年に承認された交通クリーンパワーイニシアティブでは、代替燃料の導入拡大をめざしており、水素もその一つである。
- 2014 年 10 月に欧州理事会は、「欧州気候・エネルギー政策フレームワーク」を採択し、20-20-20 目標(再生可能エネルギー導入量 20%、エネルギー効率 20%向上、温室効果ガス 20%削減)を再確認するとともに、2030 年目標として、再生可能エネルギー導入量 27%、エネルギー効率 27%向上、温室効果ガス 40%削減を設定した。
- 官民パートナーシップの「燃料電池水素共同実施機構(FCH JU)」が水素・FCの研究・開発・実証の推進の重要な主体で、22 か国が参加している。特に運輸部門を重視している。



燃料電池水素共同実施機構(FCH JU)の実施

- ノルウェーでは、北部が風力発電の適地であるが、システムの容量は低い。そのため、北部の風力を用いて水素を製造する検討を行っている。その水素を世界(日本)にも輸送可能である。



極海ルートによる水素の輸送

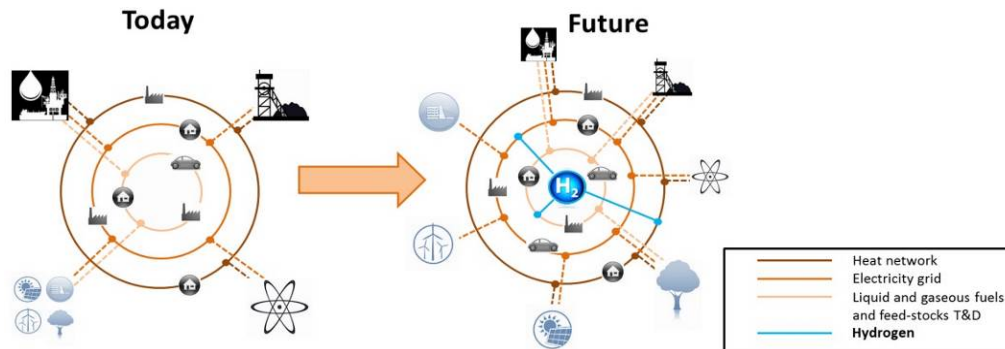
3-4 水素技術ロードマップ

佐久間 康洋

国際エネルギー機関(IEA) 再生可能エネルギー部門

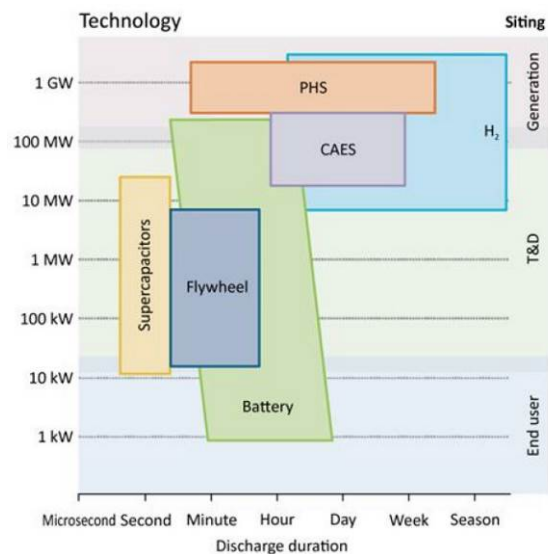
再生可能エネルギー及び水素に関する実施協定プログラム担当官

- IEA はすでに 24 の技術ロードマップを作成した。水素技術ロードマップは 2013 年に開始され、すでに3回の地域ワークショップを実施した(パリ、ワシントン DC、山梨)。2015 年第 2 四半期に発表予定。



水素技術ロードマップのビジョン: 現在(個別のエネルギー活用)と将来(水素によるエネルギー統合)

- 水素はフレキシブルな低炭素エネルギーシステム(エネルギー貯蔵システム)になる可能性があるが、その場合は全体的なエネルギー効率の悪さが問題。



再生可能エネルギーの余剰エネルギーの貯蔵



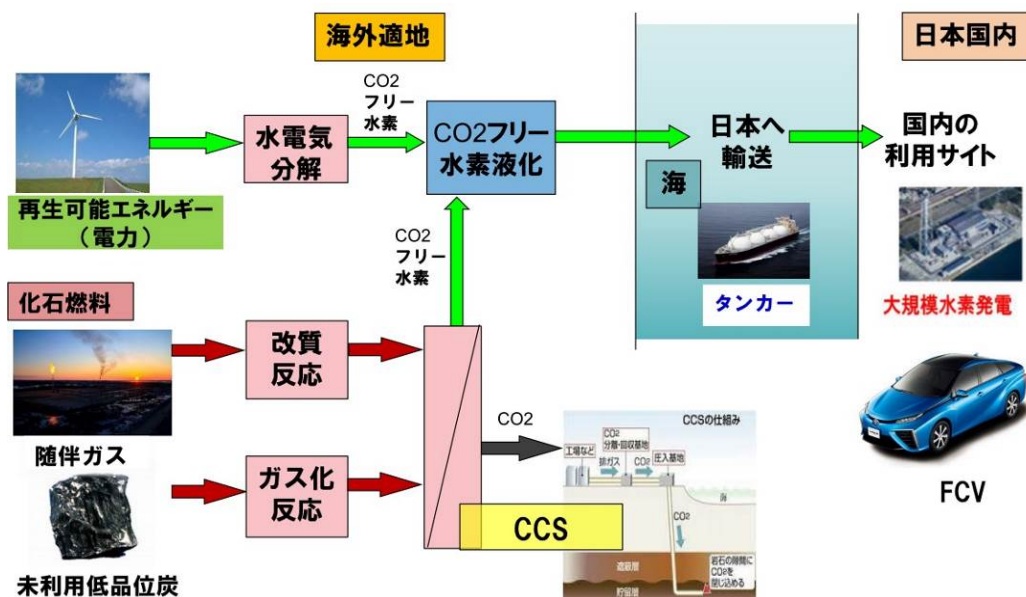
水素をエネルギー貯蔵に活用する場合の総合エネルギー効率

3-5 液化水素の最近の動向と将来ビジョン

坂田 興

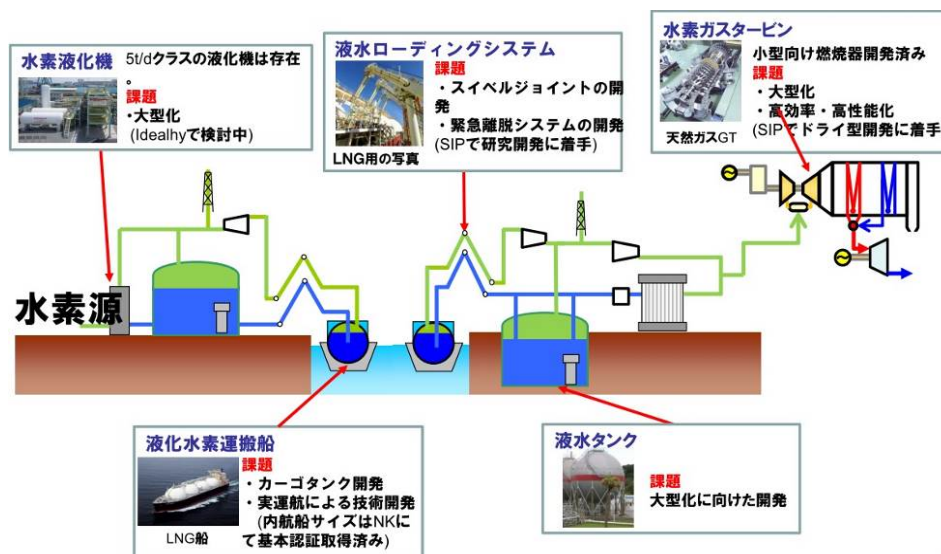
一般財団法人 エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長

- 現行政策では社会は持続不可能であり、大規模な低炭素エネルギーシステムが必要。よって大量の低炭素エネルギーを海外から日本に、輸送することが必要。
- これまでも水素の大規模輸送は検討されてきた(欧州・カナダ間の EQHHP、ドイツ・サウジアラビア間の Hysolar、日本の WE-NET)。



低炭素水素輸送システムのイメージ

- 液化水素、有機ハイドライドの2方式の検討が進展中。それぞれの特徴に応じて、使い分けされる見込み。液化水素は工業的利用の実績があり有力技術。



エネルギー供給用途の大規模液化水素チェーン開発要素

- 今後の課題は、海上輸送向け大型液化水素運搬船の開発、現行の LNG と同等サイズの液化機の開発、水素発電に向けた水素ガスタービンの開発。

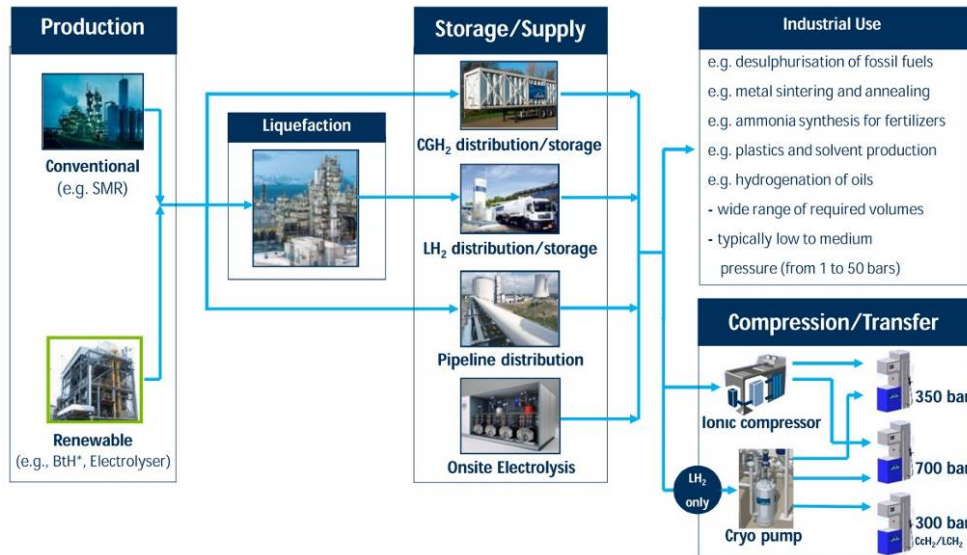
4 技術ワークショップ1:世界の主要プレイヤーの動向

4-1 Linde の液化水素技術

Mr. Markus Bachmeier

リンデガス事業部 水素ソリューション及び高度顧客事例部門長

- Linde では、用途に応じて水素の供給形態を選択している。検討する要因は主に輸送コスト、敷地スペース、需要量、純度である。



利用に応じた水素の利用形態

- 液化のエネルギー消費は 10.8~12.7kWh/kg であるが、将来は 7.5~9.0kWh/kg となる。
- 輸送では液化水素は 150km 以上で適当な需要量の用途が最適である。さらに需要量が増えるとパイプラインが適しているが、投資が必要である。

	Facts	Advantage	Disadvantage
Gaseous distribution & storage	 <ul style="list-style-type: none"> - Transport @ up to 500 bar - Capacity (varying): ca. 330 kg - 1.100 kg CGH₂¹ 	<ul style="list-style-type: none"> - Economic transport distance for HFS < ~ 150 km - higher number of CGH₂ sources compared to LH₂ sources (in most countries) 	<ul style="list-style-type: none"> - Lower capacity → high demand requires frequent deliveries - Relatively high storage space requirements
Liquid distribution & storage	 <ul style="list-style-type: none"> - Transport @ -253 °C - Capacity: ca. 3.500 kg LH₂² 	<ul style="list-style-type: none"> - Economic transport distance for HFS > ~ 150 km - high capacity increases delivery flexibility - significantly higher payload - relatively lower storage space requirements 	<ul style="list-style-type: none"> - relatively high energy consumption for liquefaction
Pipeline Distribution	 <ul style="list-style-type: none"> - Transport @ 20 - 100 bar - Capacity: 1.000 - 10.000 kg/h CGH₂³ 	<ul style="list-style-type: none"> - Economics strongly related to distance and transport volume - Very high capacity 	<ul style="list-style-type: none"> - relatively high investment cost - potentially long approval time - little flexibility if customer demand changes

¹ equals approx. 66 - 220 vehicles / Trailer; ² equals approx. 700 vehicles / Trailer; ³ equals approx. 180 - 1.800 vehicles / hour (assuming 5kg / vehicles)

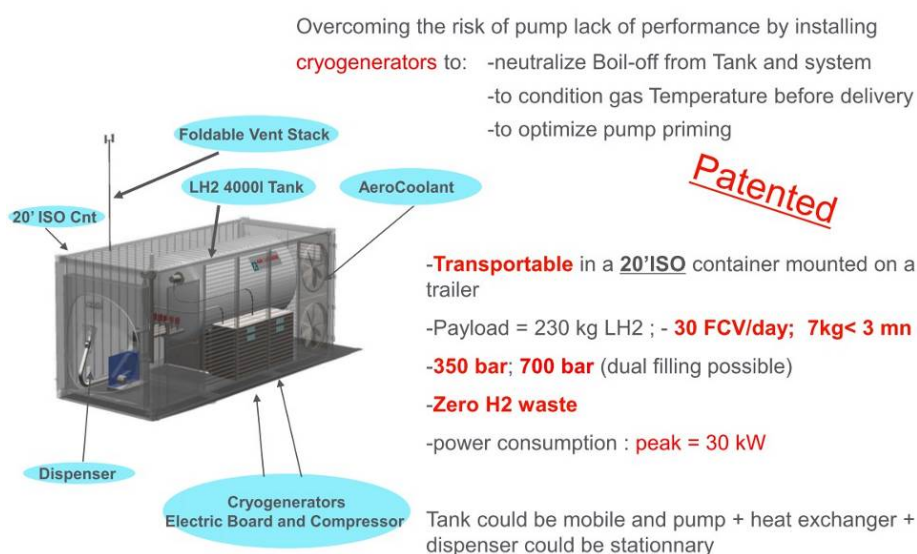
水素輸送において考慮する点: 距離と需要量

4-2 モビリティ、航空宇宙における液化水素のアプリケーション

Mr. Pierre Crespi

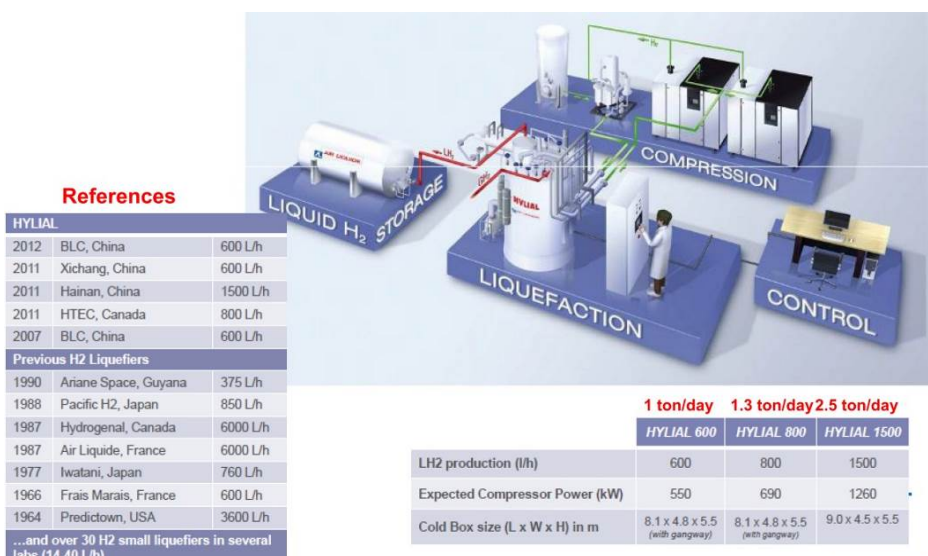
エアリキードアドバンスドテクノロジーズ、イノベーションディレクター

- エアリキードは世界で水素サプライチェーンを展開している。特に米国では総延長 545km、欧州では 950 km の水素パイプラインを有している。また世界で、4 千台の FC フォークリフトと 70 か所の水素ステーションの導入実績がある。
- ウィスラーに世界最大の液化水素ステーション(FC バス用、500kg/日)を運用していた。充填回数は 300 回以上。
- 液化水素ステーションは、圧縮ガス水素ステーションよりも安価・省スペースになる可能性がある。



エアリキードのパッケージ型液化水素ステーション(特許)

- エアリキードの特許技術(Turbo-Brayton)で液化装置を開発。エネルギー効率は 30%向上する可能性あり。



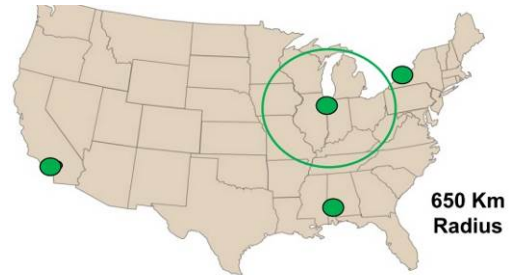
エアリキードの特許技術による水素液化設備のイメージ

4-3 製造拡大における課題

Mr. Al Burgunder

プラクスエア、エネルギー・環境ビジネス開発部門ディレクター

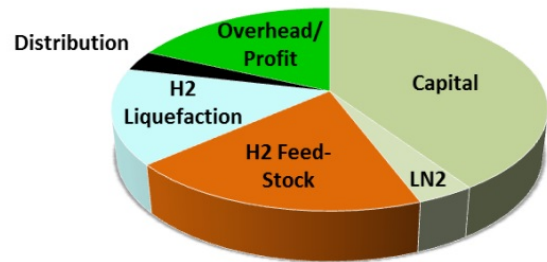
- Praxair は北米の液化水素の 45%を製造しててる (4 箇所)。



プラクスエアの米国の液化水素プラント

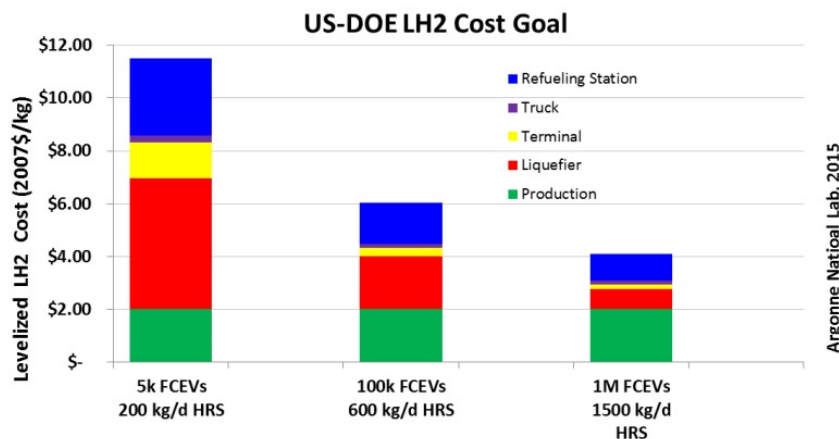
- 液化水素のサプライチェーンでは、投資コストと原料コスト(水素等)の割合が非常に大きい。液化水素の経済性を良くするには、投資コストの低減、より豊富な水素資源の利用、液化エネルギー効率の向上が必要である。他の課題として、FCV 需要にあわせた投資、投資回収(リスクの回避)が必要

LH2 Unit Economics



液化水素のサプライチェーンのコスト分析

- 米国 DOE の液化水素輸送でのコスト目標は 4 ドル/kg であり、特に液化過程のコストダウンが必要。



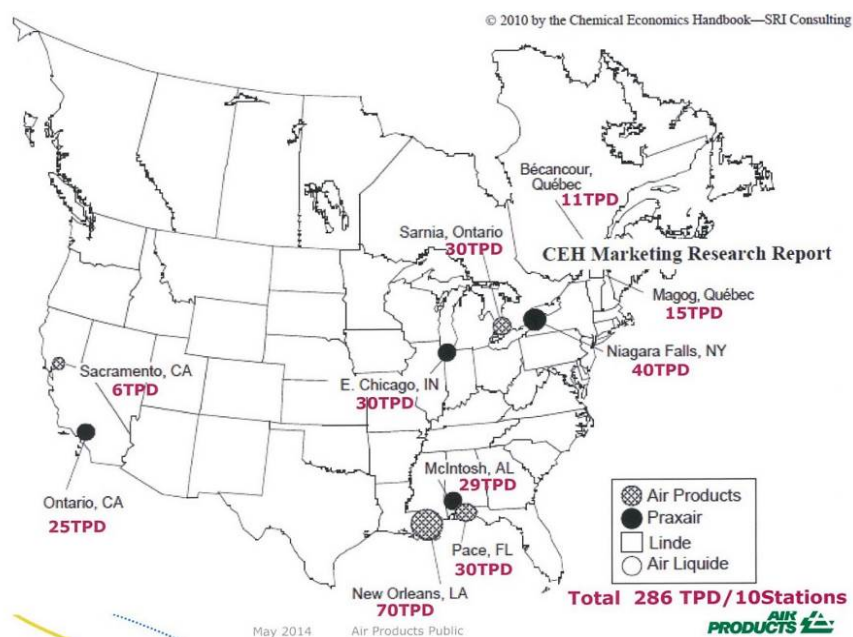
DOE の液化水素輸送でのコスト目標

4-4 エアプロダクツの液化水素技術

重清 秀雄

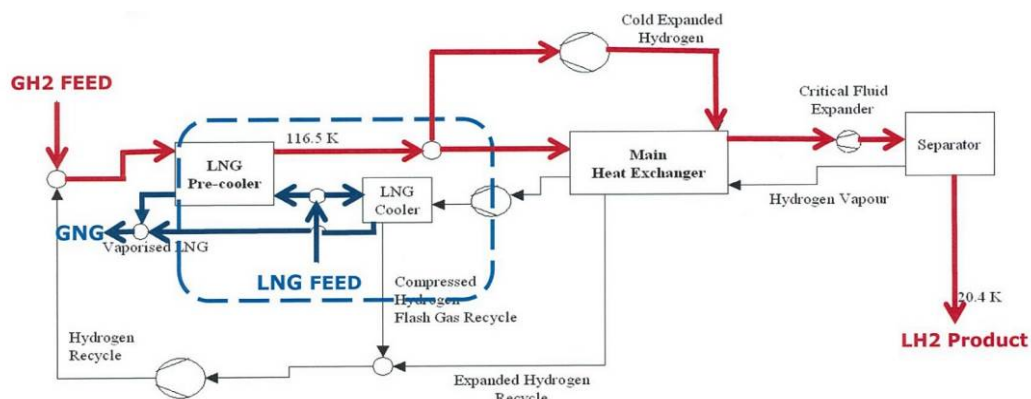
エアプロダクツジャパン株式会社 TGEE グループ顧客プラントサポート部門
販売／技術マネジャー

- 北米の液化水素プラントは 10 箇所、うち 4 箇所がエアプロダクツである (Pace 工場は 2003 年に閉鎖)。シェアは 45% (110 トン/日以上) で 500 社以上の顧客に提供している。



米国の液化水素プラント (エアプロダクツは 4 箇所)

- 液化水素の生産では LNG 設備と統合してエネルギー効率を向上させている (液化エネルギーは 11kWh/kg から 2~3.2kWh/kg へ。20.4kg の LNG で 1kg の液化水素を製造)。



LNG の冷熱を活用した液化水素の生産

- 高容量クライオポンプを開発 (ワンステップで 96.5MPa まで昇圧、250kg/hr)。液化水素と圧縮水素の混合でも圧縮が可能。
- デュアルフェイズ水素トレーラーは液化水素・圧縮水素の輸送が可能。

5 技術ワークショップ2: 液化水素の先端技術

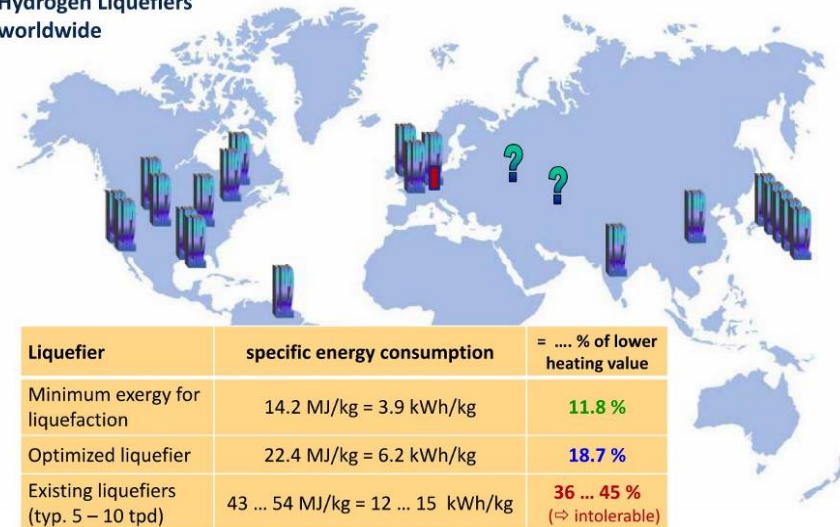
5-1 ドレスデン工科大学における IDEALHY プロジェクト及び水素動向

Dr. Christoph Haberstroh

ドレスデン工科大学機械工学部 エネルギー技術研究所 准教授

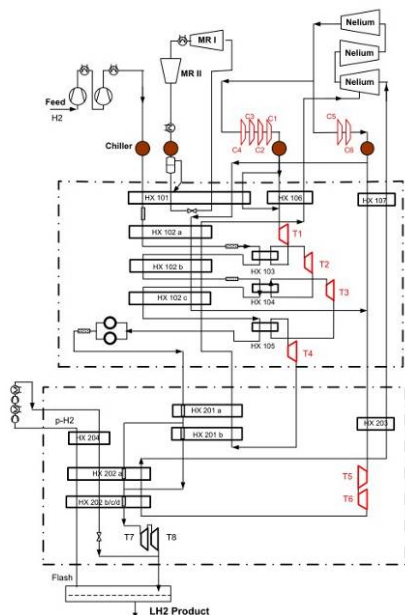
- ドレスデン工科大学は液化水素はじめ低温研究を実施している。液化水素では、車載タンクやクライオコンプレッサ、オルトパラ変換、液化水素ローディングアームなどを研究している。
- 液化エネルギーは最適化条件下では 6.2kWh/kg(水素のエネルギーの 18.7%)、既存技術では 12~15kWh/kg(同 36~45%)である。さらに高効率化が必要である。

Hydrogen Liquefiers worldwide



世界の液化水素設備と液化エネルギー

- 液化エネルギーを 50%削減する IdealHy を実施している。液化コストは 1.72 ユーロ/kg となる。



Definition of key boundary conditions:

H₂ feed	20 bar / 293 K / 99.99 % purity
LH₂ outlet parameters	2 bar / 22.8 K / > 98 % para

⇐ final IDEALHY proposed cycle

- 80 bar
- Mixed refrigerant pre-cooling cycle
- Brayton cycle (expander partly overlapping in temperature, power recovery)
- „Nelium“ as working fluid ⇒ highly efficient multi-stage turbo compressors
- 6 °C Chiller
- Liquid expander instead of JT valve
- Flash gas recycling

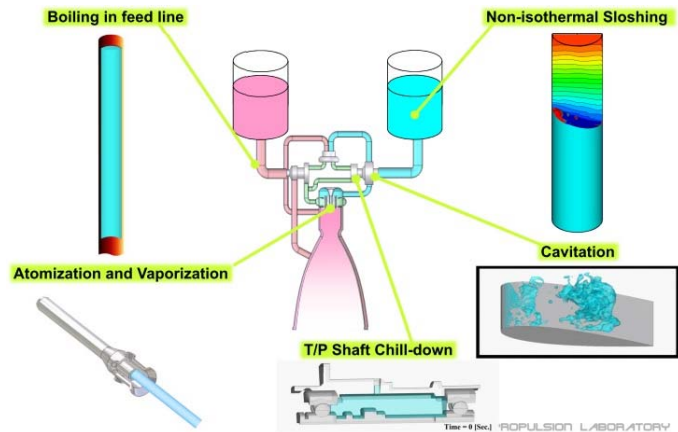
IdealHy プロジェクト

5-2 宇宙推進システム内における液体運動と熱交換の予測

姫野 武洋

東京大学 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 准教授

- 液化水素応用では、3相流的挙動の予測が重要。モーションと熱挙動の解析が課題。

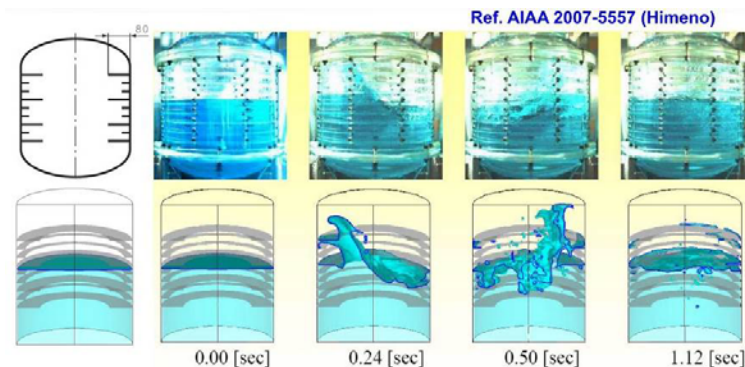


液化水素ロケットの水素タンクにおける3相流的挙動

- ロケットでは液体推進剤が大きく揺動する。動的な加速度環境での液体揺動の予測が必要であり、再使用型ロケットを用いて実験を行うとともに、模型タンクの加振実験や CIP-LSM によるシミュレーションを実施している。
- 液化水素は気体のような振る舞いをする物質である。東京大学は宇宙航空研究開発機構と協力し、沸騰現象が絡む液体の挙動を解析しており、これは液化水素の配管や密閉容器中での挙動解析にも有効である。



再使用型ロケットを用いた実験



再使用ロケットにおける水素タンク内の挙動のシミュレーション

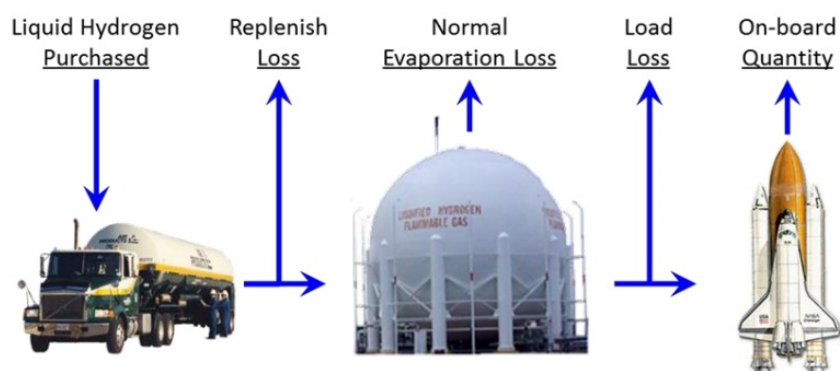
5-3 液化水素のコスト効率のよい貯蔵と輸送

Mr. James E. Fesmire

アメリカ航空宇宙局(NASA)ケネディ宇宙センター

極低温試験研究所 シニア主任調査員

- 航空宇宙産業では大規模に液化水素を利用している。
- NASA のケネディ宇宙センターでは、購入した液化水素のうち、ロスが 45%程度ある。



Liquid Hydrogen Consumption over Entire Space Shuttle Program

Liquid Hydrogen Purchased	100.0%	54,200,000 lb
Replenish Loss	12.6%	6,800,000 lb
Normal Evaporation Loss	12.2%	6,600,000 lb
Load Loss	20.6%	11,200,000 lb
On-board Quantity	54.6%	29,600,000 lb

ケネディ宇宙センターでの水素利用

- 水素の液化と貯蔵を一体化した統合冷却・貯蔵システム(IRAS)は、水素ロスを削減できるとともに、コスト削減と安全性向上が期待できる。ラボスケール(150L)では実証済み。



統合冷却・貯蔵システム(IRAS)

- 液化水素の輸送と貯蔵では、断熱材料が重要で、その国際規格の議論もすすめられている (ASTM C1774 - Standard Guide for Thermal Performance Testing of Cryogenic Insulation Systems、ASTM C740 – Standard Guide for Evacuated Reflective Insulation in Cryogenic Service)。
- 企業と協業で商業利用が拡大している。他産業(海上輸送、超伝導、LNG、医療など)とのシナジーも期待。

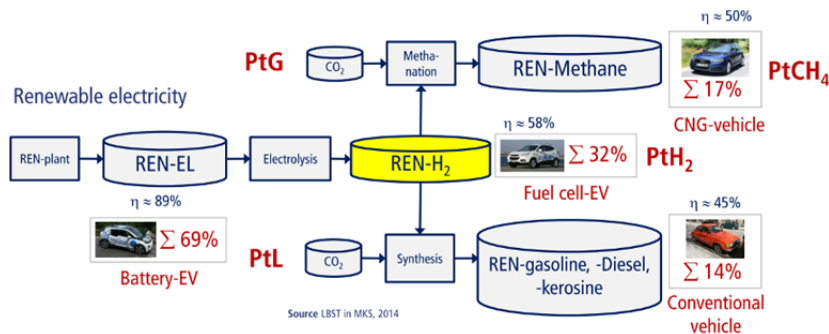
6 技術ワークショップ3: 液化水素の新しい利用

6-1 大規模水素利用: Power-to-Gas

Dr. Ulrich Buenger

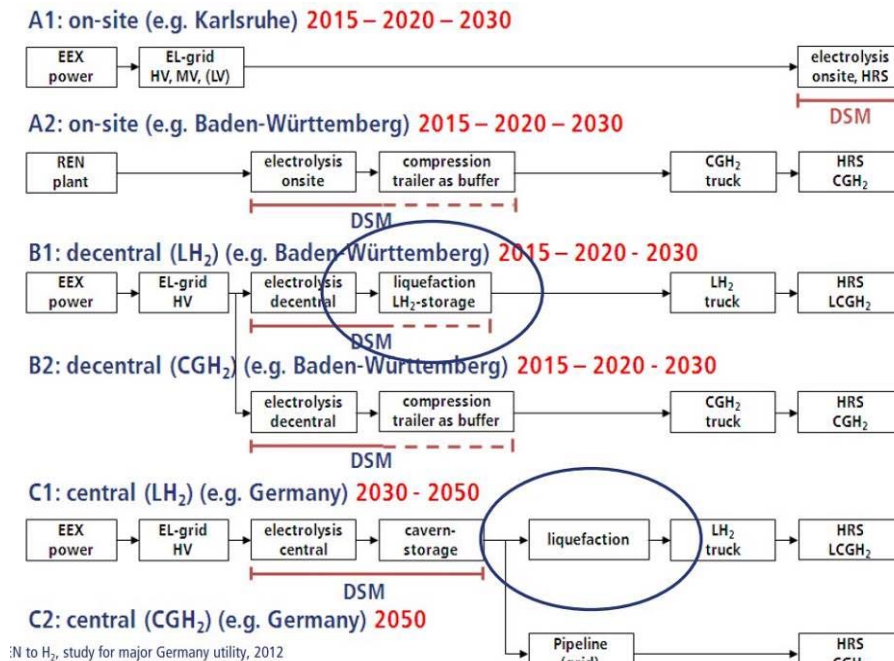
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik シニアサイエンティスト

- Power-to-Gas (PtG) は、再生可能エネルギー由来電力の水素化、メタン化技術である。
- ドイツでは、電力を 2030 年に 50%、2050 年には 80% 以上を再生可能エネルギー由来とする目標があり、エネルギー貯蔵技術が必要である。電力グリッドの安定に水素変換は寄与する。
- 再生可能エネルギー電力の自動車への供給では、そのままバッテリーEV に供給する(総合効率 69%)、水素変換して FCV に供給する(同 32%)、メタンに変換して CNG 車に供給する(同 17%)、ガソリン等を合成して内燃機関自動車に供給する(同 14%) が考えられる。



再生可能エネルギー電力の自動車への供給

- PtG では、液化水素は将来的には遠方への輸送に有効である。国際輸送の可能性もある。



Power-to-Gas における液化水素の位置付け

- 米国は Gas-to-Power(シェールガスブームのため)、欧州は Power-to-Gas(再生可能エネルギー導入政策のため)、日本は Gas-to-Power(発電用の LNG や液化水素の輸入)である。

6-2 液化水素運搬船の紹介

孝岡 祐吉

川崎重工業株式会社 船舶海洋カンパニー 技術本部 担当部長

- 川崎重工業は、大量な埋蔵量のある豪州の褐炭をガス化し、現地で水素を製造、液化、その生成過程で発生する CO₂ を豪州政府プログラムである CarbonNet などを通じて、海底下に炭素隔離貯留(CCS: Carbon Capture & Storage)することで CO₂ フリー水素とし、液化水素を、専用運搬船を用いて、日本に輸入するプロジェクトを推進している。その一環として液化水素運搬船を開発している。
- 現在、パイロットプロジェクト用として、カーゴ容積 2,500 m³ の液化水素運搬船(パイオニア船)を開発中である。このパイオニア船はディーゼル電気推進を採用する予定であるが、ボイロブガス(水素ガス)の推進機関への利用を含めた、船上での有効利用を将来的に見据えて、燃料電池や水素ガスタービンなどの試験設備を設置できる船上試験スペースを確保している。
- パイロット船は液化水素を貯蔵する極低温蓄圧式の貨物格納設備(容積 1,250m³ x 2 基)を船体の前後方向に設置しており、この断熱には、LNG に比べて蒸発しやすい液化水素の輸送に適した真空断熱構造を採用している。真空断熱構造の採用により、この貨物格納設備は二重殻貨物槽構造としており、内側貨物槽には、液化水素積載時にスムーズに低温収縮できる横置きシリンダー型圧力容器を採用している。その貨物槽の支持には、熱を伝えにくく、強度的にも優れた支持構造を採用し、断熱性能の向上を図っている。
- 本貨物格納設備は液化水素運搬船の貨物格納設備(1,250 m³ x 2 基)として、2013 年 12 月に日本海事協会(ClassNK)から基本認証を取得済である。
- 液化水素を豪州—日本間で海上ばら積み運送するためには、規則面としては、IGC コード(液化ガスのばら積み運送のための船舶構造および設備に関する国際規則)をベースに日本政府が提案した「液化水素の海上ばら積み運送に関する IGCコードのミニマム要件」を二国間(日本国及び豪州)で合意することが必要であるが、この作成にも参画している。現時点で、このミニマム要件は両国間で暫定合意に達している。
- また、川崎重工業は液化水素運搬船の開発に加えて、陸側の基地における液化水素の出荷設備および荷卸し用設備として、ローディングアームの開発を SIP に参画し、日本船舶技術研究協会の傘下で、取り組んでいる。この開発では、関連するルールや国際規格の整備、開発もテーマの一つとなっている。

6-3 水素ステーションへの液化水素の展開

宮崎 淳

岩谷産業株式会社 常務執行役員

- 岩谷産業は 1941 年より水素エネルギーの展開に取り組んできた。
- 液化水素の日本の市場は 4000 万 m³で、米国の 1/60 程度に過ぎない。
- 液化水素の優位性は、大量輸送(液化水素ローリーは圧縮ガス水素トレーラーの 7 台分)、大量供給、大量貯蔵、小スペース(従来スペース 200m²が 70m²に)、超高純度(99.9999%)、極低温(20K)である。
- 岩谷は国内に 3 か所の液化水素プラントがあり(ハイドロエッジ(大阪府堺市)、岩谷瓦斯千葉工場(千葉県市原市)、リキッドハイドロジェン(山口県周南市))、その供給では日本全国をカバーしている。
- 経済産業省の水素・燃料電池戦略ロードマップでは、2020 年に「ハイブリッド車の燃料代と同程度以下の水素価格を実現」と目標が定められているが、すでにそのレベルが達成されている。
- 有明水素ステーションは国内初めての液化水素ステーションである。実証ステーション(35MPa)であるが、70MPa 化し、また FC バスに対応する計画。
- 岩谷産業は、商用ステーションを 20 か所整備する予定で、2014 年 7 月には日本で最初の商用ステーションを尼崎市にオープンした。また東京タワーの近くにショーケースとなる水素ステーションも建設する。またコンビニ併設水素ステーションも東京都と愛知県に展開する。
- 水素ステーションも将来は液化水素になると考えている。液化水素貯槽とイオンック圧縮機あるいは液化水素ポンプの組み合わせになる。今後、パッケージの内製化、規制見直しと低コスト化、建築体制の構築が課題である。

7 パネルディスカッション: 液化水素利用・研究技術開発の促進に向けて

座長: 姫野 武洋 (東京大学 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 准教授)
パネリスト: Dr. Ulrich Büniger (Ludwig-Boelkow-Systemtechnik)
Dr. Steffen Møller-Holst (SINTEF ノルウェー産業科学技術研究所)
坂田 興 (エネルギー総合工学研究所)
原田 英一 (川崎重工業)
宮崎 淳 (岩谷産業)

7-1 各セッションのまとめ

パネルディスカッションに先立ち、座長より基調講演と各セッションのまとめがあった。

基調講演のまとめ

- (1) 主要国は低炭素社会に向かって、水素が重要なエネルギーであると考えており、その展開について明確なコミットメントとビジョンを有している。
- (2) 液化水素は「大規模水素展開における重要技術のひとつ」と理解されている。
- (3) 複数の国では水素の国際的な輸送も真剣に検討している。
- (4) 水素発電は、大規模水素需要を生み出す一つの方法である。

ワークショップ1(主要プレーヤーの動向)のまとめ:

- (1) 主要プレーヤーは水素需要や距離によって水素輸送技術を使い分けている。
- (2) 液化水素では、エネルギー効率の向上が共通の課題と認識されている。
- (3) 主要プレーヤーは、液化水素をビジネスにしており、大規模な水素輸送・貯蔵では、液化水素が有益技術と考えている。
- (4) 信頼できる液化水素技術はあるが、さらに性能向上とコスト低減のために研究開発が必要である。

ワークショップ2のまとめ(液化水素の先端技術)のまとめ:

- (1) 研究組織は液化水素の基礎技術に取り組んでおり、コスト低減やエネルギー効率向上につながる可能性がある。
- (2) 液化水素の挙動シミュレーションや安全技術は実用化の促進につながる。
- (3) 国際的な研究協力も進められているが、さらなるその強化が必要である。

ワークショップ3のまとめ(液化水素の新しい利用)のまとめ:

- (1) 大規模な水素の利活用手段が期待されている(Power-to-Gas、水素発電、既存の産業での利用拡大など)。
- (2) 大規模な水素利活用では、エネルギー貯蔵技術が必要である。
- (3) 液化水素は、その輸送効率の良さから、中規模水素利用(水素ステーション等)にも適用できる。
- (4) 大規模な液化水素の輸送(特に国際的な輸送)では、制度的な枠組みが必要である。

7-2 まとめに対する意見

- 各国で事情が異なる。米国では初期には圧縮ガス輸送が主流になるだろうが、FCV が増えてくると液化水素が有望になってくる。
- 水素はすでにコモディティであるが、低圧輸送されている。FCV や FC バスや FC 列車などで水素需要が増えてくると実用がされると、液化水素が有利になってくる。液化水素には特定の役割があると思われる。
- ノルウェーはエネルギー輸出には積極的だが、水素に対する認識は低い。日本の取り組みがノルウェーを刺激してくれることを期待している。フロントランナーである日本政府や日本企業(川崎重工業、岩谷産業)の取り組みに期待する。
- 国際的なエネルギーの需給バランスをとることが必要になってくる。日本では LNG が主流であったが、今後は未利用エネルギー由来水素の国際輸送など、新しいエネルギー物流が必要になってくる。その場合、水素輸送技術が必要な手段になってくる。
- 褐炭はじめ世界の未利用エネルギーの活用のためには、液化水素船を活用して行くことが求められる。LNG も夢物語だったが、日本が先陣をきって、現在は日本がビックユーザーである。液化水素も日本が先陣を切って開発し、世界に貢献していくことを期待したい
- 水素はコストが高いと普及しない。そのためには水素需要の喚起が必要。FCV に関しては世界に先駆けて市場化したが、さらにエネルギー全般において水素が重要なであることを示していくことが求められる。

7-3 パネルディスカッション トピック

以上のまとめをもとに、座長から3つのパネルディスカッショントピックが示された。

- (1) エネルギーキャリアとしての液化水素の位置付けをどう考えるか
- (2) 本日に指摘された課題(たとえばコスト、エネルギー効率、液化プロセスの負荷効率、制度設計の必要性など)を踏まえ、これらの課題を克服して液化水素の利用と R&D を促進するには何が必要か
- (3) 液化水素を用いた水素の国際ネットワークの可能性はあるか。

7-4 エネルギーキャリアとしての液化水素の位置付けをどう考えるか

パネリストからの意見

- 液化水素の更なる導入においては、各国政府主導で実施すべき課題として「国際協力関係構築」、企業間で実施すべき課題として「技術協力」が掲げられる。
- 液化水素は大規模水素輸送と小規模水素輸送をつなぐものである。液化水素技術は、大規模輸送におけるパイプラインや、小規模におけるオンサイト水素製造やトレーラー輸送と競合していく必要がある。水素自体は、再生可能エネルギー導入において、電力と補完的關係にある。
- 液化水素で利益が出る用途を特定する必要がある。またフロントランナーをサポートしなければいけない。その点では日本の努力に敬意を表明する。「鶏と卵」の問題は常につきまとうが、液化水素はさらに大きな鶏であり、国際的な協力が必要。このワークショップはよいきっかけ。

- 大陸間の水素輸送では、パイプラインよりもタンカー輸送(液化水素)が有利になってくる。液化水素の他に有機ハイドライドやアンモニアも研究されているが、液化水素技術は成熟が高いため、これを突破口として、大規模水素の研究が進むことを期待している。
- 大陸間水素輸送では、概念がシンプルなだけ液化水素が有利。液化にエネルギーを要するが、エネルギーコストが安価なところで実施すればよい。また理論効率からみても、技術的にはまだ改善の余地があると考えている。
- 国内での水素輸送技術は確立している。国際間の輸送では、コストなどの問題もあるが、有利な点もある。BOG の問題などを整理し、液化水素の優位性を明確化にすることが必要であり、またそれを世界に示していくが重要。

座長による取りまとめ

- 大陸間水素輸送では液化水素が優位。
- 他のエネルギーキャリアとの比較では、成熟技術であり、まだエネルギー効率を向上させることも可能で、それに取り組むことが必要。
- 日本はフロントランナーとして展開して、見せていくことが重要。

7-5 本日に指摘された課題(たとえばコスト、エネルギー効率、液化プロセスの負荷効率、制度設計の必要性など)を踏まえ、これらの課題を克服して液化水素の利用とR&Dを促進するには何が必要か

パネリストからの意見

- 特にセッション 3 で指摘があったが、規制面も重要。米国でも水素ステーションの経験から、液化水素の安全面での検討が進められている。さらに海上輸送を含む国際的な基準標準も重要。
- 過去には、ノルウェーからドイツへの液化水素輸送、カナダから欧州への液化水素輸送の研究があり、その後 WE-NET も実施された。それ以来、液化水素技術は改善され、より効率的でより魅力的なオプションになっている。研究の継続は必要。
- 継続がキーワード。研究開発における量と、公的資金も必要であり、行政における認識を高めることが重要。
- 事実上課題はコスト。まずは競合技術を定義し、それに勝てるだけのコストダウンを行うこと。大陸間輸送では、どのような方法であれ、輸送の課題を検討する共通の場が必要。その意味ではオーストラリアの褐炭を利用して水素を日本にもってくるのがモデルケースであり、IMO や相手国との交渉含め、様々な国際協調が必要である。
- エネルギーの大量輸送のためにはさらに強力な研究開発が必要。それは各国が個別に実施するのは非効率なので、普及のためには基準の共通化も必要。
- 各国で安全に関する考えが違う。安全対策や安全規制について共通化と連携が必要。

座長による取りまとめ

- 液化技術研究開発だけでなく、国際的なルール作りと共通のビジョンが必要。
- これらは1国だけでできるのではなく、国際連携が必要。

7-6 液化水素を用いた水素の国際ネットワークの可能性はあるか。

パネリストからの意見

- 国際的なネットワークは必要である。ワークショップから進めるのは、いくつかのパスがある。一つは政府ベースの形態(例. IPHE)、また日米独スカンジナビア諸国で実施している水素インフラワークショップのような形がある。関係者によって適切なパス(フレキシブル、実地的)を特定することが必要。
- これまでも国際協調プロジェクトを実施してきたので国際ネットワークの構築は可能。各国で条件が違おうが、目的は同じで、水素ベースのシステムを達成すること。我々もこのネットワークの活動に参加することが重要と思われる。最初のタスクは共通ビジョンを構築すること。
- 液化技術だけでなく、R&D 全体の効率化が必要。また意思決定における効率化も必要。一つの考えは、国際エネルギー機関(IEA)の中に新しいタスクを設置することも有益。
- IEA のメッセージは低炭素社会であるので、CO2 フリー水素技術に親和性がある。CO2 フリー水素技術については、国際協調が必要。IEA は一つの有益な考え。研究機関のネットワークも有益。
- 国際的なエネルギーネットワークは1社では構築できない。コンセプトの賛同する方々と研究開発とビジョン策定の母体として「Liquid Hydrogen Network(LH-NET)」を構築して、さらに情報交換し、早く実際のネットワークを構築できるようにしたい。
- 水素社会を目指すのであれば、規制面含めて海外との連携が必要。その意味ではネットワークも有益で立ち上げに協力したい。

座長による取りまとめ

- 「液化水素ネットワーク(Liquid Hydrogen Network(LH-NET))」の立ち上げという提案をいただいた。賛同されるパネリストの方は拍手いただきたい。
(一同賛同)

以上