

欧米における既存の天然ガス供給インフラを活用した 水素輸送システムの現状¹

産業研究ユニット 石油・ガスグループ 研究主幹 鈴木 健雄
産業研究ユニット 石油・ガスグループ 主任研究員 河端 伸一郎
地球環境ユニット 新エネルギーグループ 研究主幹 富田 哲爾

1. はじめに

水素はガス体工業用原料として従来から幅広く利用されており、欧州・北米においては大量生産・大量供給のもとで石油化学産業などに利用されてきた。また、水素輸送に関しては、ローリー、ポンベなどを用いて輸送する手段とあわせて、特に大量消費される特定需要家に対してはパイプラインによる輸送も行われてきた。近年、水素は従来型の炭化水素エネルギーに代わるエネルギー源として注目されており、その利用技術については、燃料電池・燃料電池自動車など、新たなエネルギー社会の実現に向けて注目されている。エネルギー源としての水素と、工業原料としての水素との輸送・供給面での相違は、前者が不特定多数の需要家に対する供給となることである。そのため、この新たな技術が社会に浸透して行くには、エネルギーとしての水素の製造・供給技術とともに、その供給に係る輸送方法の検討も不可欠となる。このような観点から、21 世紀にはいって、欧米では水素の製造・供給のみならず、既存の輸送システムである天然ガスの輸送パイプラインに水素を混入させて輸送し、需要端において分離して利用するための技術的・経済的検討プロジェクトも開始されている。

本稿では、こうした既存の天然ガス供給インフラを活用した水素輸送に係るシステムに特に焦点を当てて調査し、現状を把握することを目的とした。まず、既設の水素輸送パイプラインを紹介するとともに、その特徴に触れた。さらに、国際エネルギー機関(IEA)、欧州、米国で実施されている 既存の天然ガス供給インフラを活用した天然ガス/水素混合輸送計画、既存の天然ガス供給インフラを活用した純水素輸送計画、新規インフラによる純水素輸送計画についての概要や活動の現状について詳述し、最後に若干の考察と現状の評価を述べた。

2. 既設の水素輸送パイプライン

現在、諸外国で敷設・供用・計画中の水素輸送パイプライン延長は、明示されているものを合算すると約 1,930km に及ぶ。これら既設の水素輸送パイプラインの特徴として、以下をあげることができる。

- ・パイプラインの事業主体はおもに、工業用ガス製造業者(Air Liquide, Air Products など)や、水素を特定用途に大量使用する団体(Los Alamos, NASA)である。かつ、欧州・北米に集中している。

¹本報告は、JFE エンジニアリング(株)殿からの委託により実施した調査「欧米における既存の天然ガス供給インフラ等を活用した水素導入の現状調査」(2004 年 12 月)の一部である。このたび、JFE エンジニアリング(株)殿より許可を得て公表できることとなった。関係者のご協力に謝意を表するものである。

- ・設計圧力は、1MPa 未満のものから 10MPa 以上にいたるまで、多岐にわたっている。
- ・パイプの材質は、炭素鋼あるいはステンレス鋼が使用されている。炭素鋼の場合は、高圧ガスパイプラインでも多用されている API 5L 規格材や、ASTM 材など、高強度材料が用いられている。
- ・近年に使用開始されたパイプラインほど、輸送する水素の純度が高い傾向がある。
- ・輸送する水素は、純度の高いものが大多数であり、工業目的とはいえ水素混合比率の低い混合気体を輸送している事例は存在しないといえる。

3. 水素インフラ関連プロジェクト概要

(1) IEA での取り組み

Hydrogen Implementation Agreement

国際エネルギー機関(IEA)における水素・燃料電池への取り組みは、IEA加盟国間の実施協定(Implementing Agreement)に基づいて行われており、主なものとして以下の3項目が挙げられる。

- 1) Hydrogen (再生可能エネルギーによる水素製造)
- 2) Advanced Fuel Cell (燃料電池)
- 3) Greenhouse Gas R&D Programme (CO₂の分離、固定化)

本調査の対象である“パイプラインによる水素輸送”については、Greenhouse Gas R&D Programmeの一環としてGastec社によって実施された調査が参考になる。CO₂抑制策としての混合ガス(水素/天然ガス)輸送の費用便益分析、及び混合ガス輸送インフラ・需要端機器に関する技術面での考察²がなされており、その要旨を以下に示す。

<要旨>

- ・本論文では、既存の天然ガスシステムに水素を最大25%添加した場合の環境面での費用便益評価を行い、あわせてガス輸送インフラ及び需要端機器に関する技術面での結論づけを行う。
- ・既存の天然ガスシステムを利用した場合、水素添加率3%までであればインフラへの追加投資はほとんど発生しない。一方、水素添加率25%の場合の追加投資額はCO₂-tonあたり12~23\$となり、これは他のCO₂抑制策に必要な投資額よりも高価である。
- ・国土の大部分での需要向けに水素を製造し、高圧導管との接続点で天然ガスに添加し、高圧導管網で混合ガス輸送ができるケースが最も効果的である。
- ・水素添加により、有効エネルギー輸送能力がわずかながら低下する。これに伴い、低圧供給では問題にはならないが、高圧輸送では部分的に能力増強が必要である。
- ・高圧での混合ガス輸送の場合、鋼管の水素脆化が生じることがわかっているが、更なる調査研究が必要である。これを含めて、技術的には多くの研究開発の余地がある。
- ・水素添加率3%以上の場合、需要端機器(ボイラー、エンジン、タービンなど)にも影響が生じる。

Hydrogen Co-ordination Group

また IEA では、世界各国・地域で展開されている水素エネルギープロジェクト相互の情報交換の必要性から、2003 年 4 月に「水素調整グループ」(Hydrogen Co-ordination Group; HCG)

² E. A. Polman & M. Wolters, “Addition of Hydrogen to Natural Gas”, International Gas Research Conference (Vancouver), Nov./2004

が創設された。この水素調整グループは、IEA 内の Office of Energy Technology & Efficiency 内に設置されている。IEA HCG の主な役割は、水素・燃料電池の開発に関する各国・地域の政策及び方針の取りまとめである。

第 1 回会合では、IEA Greenhouse Gas R&D Programme から CO₂ 排出抑制を目的として、水素を発電用燃料として適用するための検討が報告された。この中で、天然ガスに水素を混合させて輸送する研究が紹介されており、その際の輸送配管材料、製造・供給能力、経済性などを主な研究項目としてあげている。

Hydrogen Coordination Group の Simbolotti 氏へのヒアリングによると、前述の Greenhouse Gas R&D Programme で行った調査結果をもとに水素を天然ガスと混合して輸送する方式について、CO₂ 削減オプションとして魅力的でない(他の選択肢と比較してコスト優位性に劣る)との見解を示している。

(2) EU での取り組み

EU 委員会では、欧州域内の多様な研究開発プロジェクトに対して、Framework Programme(FP)という枠組みの中で経済的・対外的支援を行っている。2002 年から始まった FP6 では、後述の NATURALHY プロジェクトに対する支援がなされている。

(3) 欧州の水素インフラ関連プロジェクト

欧州では幾つかの水素関連計画が進行中であるが、パイプライン輸送に関しては NATURALHY および VG2 の両プロジェクトが興味深い研究を実施している。

NATURALHY プロジェクト

A) 背景・経緯・位置づけ

新たに純水素専用の輸送、配給システムを構築するには長期間に渡る膨大な労力と費用が必要になるため、水素の輸送、配給手段として、長年に渡って投資・整備されてきた既存天然ガスシステムの活用に焦点を当てているのが、NATURALHY プロジェクトである。

本プロジェクトでは水素社会への移行期、即ち水素需要が少なく既存天然ガスシステムとの並存が想定される状況において、天然ガス/水素混合輸送が有効であると考えている³。

B) プロジェクト期間及び予算

本プロジェクトの実施期間は 2004 年 5 月から 5 年間の予定となっている。

プロジェクト予算は総額で 1,730 万ユーロとなっており、このうち 1,100 万ユーロは EU 委員会 FP6 からの援助を受けている。

C) 参加者とその役割

参加団体は、表 1 に示す 40 団体で構成されており、本プロジェクトの取りまとめは Gasunie

³ <http://www.gasunieresearch.nl/eng/news/Naturalhy%20project.html>

Research 社 (N.V. Nederlandse Gasunie)が行うこととなる。

表 1 NATURALHY プロジェクトの参加団体

参加団体名	国名
N.V. Nederlandse Gasunie (GASUNIE)	オランダ
Hogskolan i Boras (UCB)	スウェーデン
BP Gas Marketing Limited (BP)	英国
Commissariat a l'energie atomique (CEA)	フランス
Compagnie d'Etudes des Technologies de l' Hydrogene (CETH)	フランス
Computational Mechanics International Ltd (CMI)	英国
The European Association for the Promotion of Cogeneration (COGEN)	ベルギー
Centro Sviluppo Materiali Spa (CSM)	イタリア
DBI Gas und Umwelttechnik GmbH (DBGUT)	ドイツ
Public gas corporation S.A. (DEPA)	ギリシャ
Danish Gas Technology Centre (DGC)	デンマーク
Energy Research Centre of the Netherlands (ECN)	オランダ
EXERGIA, Energy and Environment Consultants S.a (EXERGIA)	ギリシャ
Technische Universitat Berlin (TU BERLIN)	ドイツ
Gaz de France (GDF)	フランス
General Electric PII Ltd (GE PII)	英国
EUROGAS Groupe Europeen de Recherches Gazieres (GERG)	ベルギー
The Health and Safety Executive (HSE; UK)	英国
Istanbul Gaz Dagitim Sanayi ve Ticaret A.S (IGDAS)	トルコ
Institut Francais du Petrole (IFP)	フランス
Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ)	ポルトガル
University of Leeds (UNIV LEEDS)	英国
Loughborough University (LOUGH)	英国
Tubitak Marmara Research Center Energy Systems and Environmental Research (MRC)	トルコ
Naturgas Midt-Nord I/S (MIDT-NORD)	デンマーク
Netherlands Standardization Institute (NEN)	オランダ
National Technical University of Athens (NTUA)	ギリシャ
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)	ノルウェー
Planet-Planungsgruppe Energie und Technik Gbr (PLANET)	ドイツ
Ecole Nationale d'ingenieur de Metz (ENIM)	フランス
SAVIKO Consultants ApS (SAVIKO)	デンマーク
Sheffield Hallam University (SHU)	英国
Shell Hydrogen B.V (SH)	オランダ
STATOIL ASA (STATOIL)	ノルウェー
SQS Portugal-Sistemas de Qualidade de Software, Lda (SQS)	ポルトガル
Total S.A (TOTAL)	フランス
Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)	オランダ
X/ Open Company Limited (TOG)	英国
Transco plc (part of National Grid Transco plc) (TRANSCO)	英国
University of Warwick (WPTG)	英国

出所)O. Florisson & R. Huizing (2003)⁴

また、本プロジェクトは、研究・開発項目ごとに 8 つの Work Package(WP)で構成されている。WP 名称とそのリーダーとなる団体は表 2 のとおりである。これら WP の活動内容については次節で述べる。

⁴ The NATURALHY-project, International Conference "Hydrogen, our future", 26-27/Nov./2003

表 2 NATURALHY プロジェクトの Work Package

	名 称	リーダー
WP1	Socio-economic and Life Cycle Analysis (社会経済性分析、ライフサイクル分析)	Sheffield Hallam Univ.
WP2	Safety (安全性)	Loughborough Univ.
WP3	Durability (耐久性)	Gaz de France
WP4	Integrity (健全性)	TNO
WP5	End Use Appliance (需要端での適応性)	Warwick Univ.
WP6	Decision Support Tool (意思決定支援ツール)	ISQ
WP7	Dissemination (啓蒙)	Exergia
WP8	Project management (プロジェクトマネジメント)	Gasunie Research

出所)0. Florisson & R. Huizing (2003)⁵

D) プロジェクト概要 (研究・開発項目)

本プロジェクトでは、水素経済への移行の初期段階として「既存天然ガスインフラに水素を混入させて輸送する」ことを研究目的としており、最終的には 100%水素を輸送させるための研究を行う、としている。

プロジェクトで実施する研究・開発項目は、以下のとおりである⁶。

- ・ 技術的条件の定義づけ

漏洩防止、ひいては需要家に対するシステム・重要性の低下を避けるため、ある程度のリスクを許容しつつ、水素が既存の天然ガスシステムに適応できるための条件を定義づける。

- ・ 社会経済的側面の分析

水素・天然ガス混合輸送システムあるいは水素輸送システムに関する分析を行い、雇用創出・維持管理・資本投資・経済効果などを算出・参照して、従来の天然ガス輸送システム(周辺設備を含む)との比較を行う。

- ・ ライフサイクルアセスメント(LCA)の実施

水素製造方法を含めて、必要な(エネルギー)資源及び環境への影響について、従来システムとの比較を行う。

- ・ 水素分離装置(膜)の開発

この開発により、純水素輸送への展開が加速できるものと考えている。

- ・ すべての出資者への啓蒙

水素の製造から最終消費にいたるすべての関係する出資者に対して、(水素経済への移行に関する)啓蒙活動を行う。この対象には、公的機関、需要家、ガス輸送システムの管理者、機器メーカーなども含まれる。

- ・ 現行基準・標準の現況評価

⁵ The NATURALHY-project, International Conference "Hydrogen, our future", 26-27/Nov./2003

⁶ [http://www.unece.org/ie/se/pdfs/GasS&U_Gasunie%20\[Read-Only\].pdf](http://www.unece.org/ie/se/pdfs/GasS&U_Gasunie%20[Read-Only].pdf)

・意思決定ツールの開発

既存の天然ガスシステム（輸送、貯蔵、供給、需要家側インフラなど）への水素混合の適応性を評価するためのツールを開発し、あわせて製造から最終消費にいたるすべての設備において経済的・環境配慮面でのメリットを決めるためのモデルを開発する。

各研究・開発項目に対する活動は、前述の Work Package(WP)において遂行される。このうち、WP2～WP6 は技術的事項を取り扱うものとなっており、いずれも水素の物性が天然ガスとは明らかに異なっていること、及びこのことによる水素の安全性への影響が検討のベースとなっている。また、これもすでに知られている事象ではあるが、水素と天然ガスとの燃焼特性の相違や、水素が配管材料に浸透した時に及ぼす影響（水素脆化）についても、WP での検討のベースとなっている。そのため、許容される腐食欠陥及び脆化域における欠陥に関して、WP3 では関連する評価基準の改訂を行い、WP4 では混合ガスを輸送している状態でパイプラインの健全性を評価するための機器や維持管理手法・補修技術の見直しを行うこととしている。対象としている配管の材質は、鋼だけではなくプラスチックも含んでいる。

WP2～WP5 の活動はプロジェクト期間の前半に集中して実施され、これら活動の結果を踏まえて、WP6(Decision Support Tool)及び小規模な供給グリッドを対象とした水素混合のフィールド実験に移行していく予定となっている。

WP6 の成果となるであろう「意思決定支援ツール」には、混合ガスパイプラインに関する試験方法・基準・モデル・材料データが盛り込まれる見込みである。また、水素混合による輸送・供給システム及び需要端機器類への影響を、耐久性・安全性・経済性・ライフサイクルの観点から、予測し評価するためのツールとして利用されるものとしている。

E)技術的・経済的課題

本プロジェクトにおける技術的課題はパイプライン輸送・供給に関する事項に限定しており、以下の分野に関する課題に取り組むこととなる。

- ・幹線パイプラインによるガス輸送(transmission)システム
- ・ガス導管によるガス配給(distribution)システム
- ・需要端のインフラ・適応性及び水素分離膜

F)現況

2004 年 5 月 6-7 日に、本プロジェクトのキックオフミーティングがオランダ Leiden で行われた。また、7 月 14 日に、本プロジェクトのとりまとめを行う Gasunie Research からプレスリリースがあった。これによると、研究課題として特に、水素がパイプライン材料特性に与える影響、混合ガスから水素を抽出する分離膜の開発、を挙げている⁷。

⁷ <http://www.gasunieresearch.nl/eng/news/index.htm>

VG2(Vergroening van Gas ; The Greeting of Gas Project)

A) 背景・経緯・位置づけ

オランダ国内の経済省(Ministry of Economic Affairs)、教育文化科学省(Ministry of Education, Culture and Science)、住宅空間計画環境省(Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment)が共同で実施するプログラムとして、“Dutch Economy, Ecology, Technology(EET) Programme”がある。このプログラムは、実用化されていない新技術で、中長期的な開発期間(5~10年)が必要な技術開発プロジェクトの管理を主要目的のひとつとして位置づけている。

VG2プロジェクトも、このEETプログラムの一環として実施されており、上述のNATURALHYプロジェクトのオランダ国内版として位置づけることができる。

オランダでは古くから、国内のGroningenガス田で生産される天然ガスを都市ガスとして利用している。この国内産のガスには窒素が20%弱ほど含まれており、このガスにさらに窒素を添加することで熱量調整を行い、“L-Gas”としておもに民生用に供給している。これとは別に、輸入天然ガスには窒素がほとんど含まれていないため、“L-Gas”とは異なる熱量のガス供給システム(“H-Gas”)を有している。また、国内数箇所に設置された窒素ステーションにてH-Gasを希釈してL-Gasとする操作も行われている(表3)。このような背景から、H-Gasに水素を混入させること、すなわちH-Gasの減熱は、現在行っているH-Gasへの窒素混入による減熱と同義であるといえる。

このような、オランダ独自の都市ガス事情のために、水素混合による既存の天然ガス輸送システムへの影響は相対的に小さく、経済性の観点からもハードルは低いものといえる。

表3 オランダのガス物性例

構成要素、物性	Groningen-gas	Typical H-gas (North Sea)	Typical L-gas (onshore Netherlands)
N ₂	14%	1.5%	38%
CO ₂	1%	0.2%	0.7%
CH ₄	81.6%	94.4%	58.8%
C ₂ H ₆	2.7%	3%	2.1%
C ₃ H ₈	0.5%	0.5%	0.3%
C ₄₊	0.2%	0.4%	0.1%
Properties:			
NCV (MJ/m ³)	31.8	34.8	22.9
GCV (MJ/m ³)	35.2	38.6	25.4
Wobbe (MJ/m ³)	43.9	49.3	26.9

(出所) Gas Strategies 社資料

本プロジェクトの特徴は、混合ガスの分離による純水素利用を必ずしも指向していない点にある。水素混合ガスは、風力発電などのグリーン電力と同義の「グリーンガス(低炭素燃料)」として、消費者が選択するような意味合いもあるとも考えているようである。

B)プロジェクト期間

2001 年 10 月から 2007 年 1 月までの予定となっている。

C)参加団体

参加団体は 9 団体で、すべてオランダ国内の機関・企業で構成されている。また、デルフト工科大学がこのプロジェクトのとりまとめを行っている。

D)プロジェクト概要（研究・開発項目）

本プロジェクトでの主な研究開発項目は以下のとおりであり、計画の最終段階では既存設備を利用した実証試験を予定している。

- ・ 水素経済への移行シナリオ（デザイン）の策定
 - 国内の水素インフラのシステム設計
 - 既存の天然ガスインフラをベースにした水素インフラの展開
- ・ 混合ガス供給の安全性・信頼性・有用性（経済性）の検討
 - 天然ガスから水素への移行に必要な設備・装置
 - 燃焼特性、材料特性

E)技術的・経済的課題

本プロジェクトでは、天然ガス/水素混合輸送の安全性、信頼性、有用性、燃焼特性、材料特性（水素脆化）に関する事項を技術的課題として取り上げている。

また、既存パイプラインを利用した混合ガス輸送の経済性を、他の輸送手段もしくは純水素輸送と比較検討することとしている。

F)現況

本プロジェクトの担当者によると、技術的課題に対しては、既存の天然ガスパイプラインを利用して現行のガス中の水素含有率を増加させた場合の消費機器への影響等に関して机上検討を行っている、とのことである。

また、技術的検討と並行して、熱量が変化することに伴う契約/料金上の問題や、水素社会構築のためのシナリオを検討している段階にある。

(4)米国エネルギー省の水素エネルギープログラム

A)背景・経緯・位置づけ

米国エネルギー省（DOE: Department of Energy）では、長期・短期の水素関連技術開発プロジェクトを組織的に進めている。これらのうち、水素インフラを含む大規模な水素関連プログラムは“Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies (HFCIT) Program”と呼ばれている。実施主体は、DOE の一部署である “Office of Energy Efficiency & Renewable

Energy ” (EERE)である。

EERE 所管の水素関連の研究開発予算は、2003 年度には 3,990 万ドル、2004 年度には 8,800 万ドルを充当すると公表されている。この予算の内訳は明らかではないが、水素燃料の生成、貯蔵、輸送インフラ、(設計)コード及び基準の作成、教育に利用される。なお政府は、2008 年までの 5 年間で 12 億ドル以上の予算を水素関連研究開発に充当する計画である⁸。

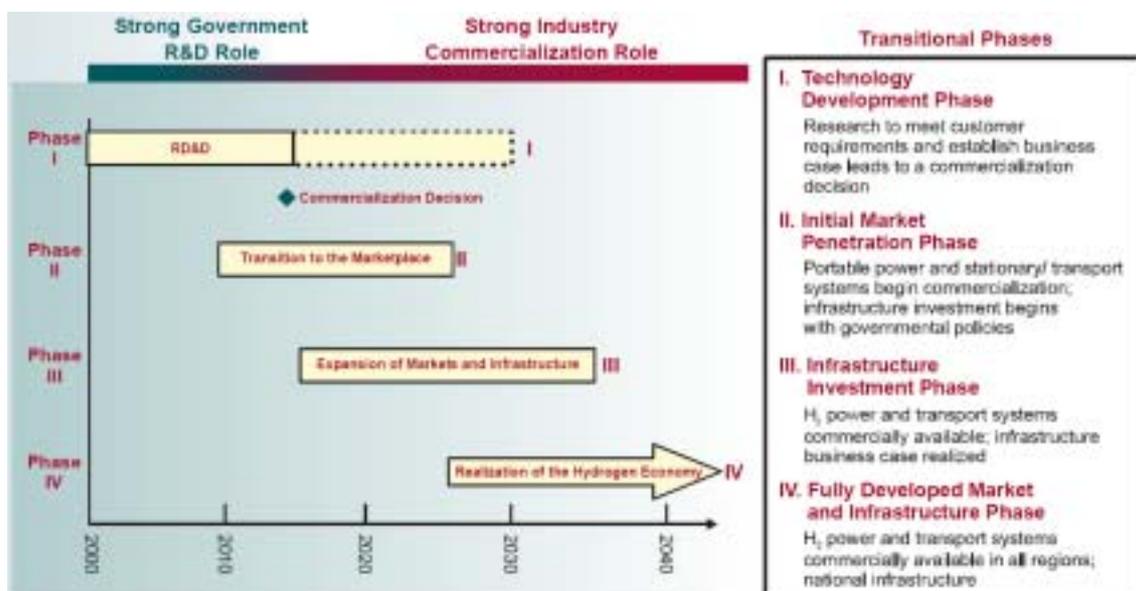
B)ロードマップ

水素関連の研究開発については、2002 年 11 月 12 日に Abraham エネルギー長官が水素エネルギーの長期展望 “Hydrogen Energy Roadmap ” を発表している。

また、2004 年 2 月には、上記ロードマップを具体化させた “Hydrogen Posture Plan ” が公表されている。この Posture Plan には、米国内を水素主体のエネルギーシステムに転換するための研究活動、マイルストーン、DOE の計画について概要が示されている。具体的には、DOE が実施する研究・開発・実証活動を総括し、今後 10 年間のマイルストーン及び技術開発を特定している。

水素社会への移行には、図 1 に示すように、4 段階を想定している。まず第 1 段階で、技術開発、第 2 段階で市場への初期的普及、第 3 段階でインフラへの投資、第 4 段階で水素社会の市場およびインフラが形成される。各段階のタイミングは明確ではないが、本格的な水素社会は 2020 年代後半以降とみられる。

図 1 水素エネルギー社会への移行



出所) DOE, “Hydrogen Posture Plan ” (2004 年 2 月)

⁸ “FY2004 Budget Request to Congress; Statistical Table by Appropriation ”, DOE

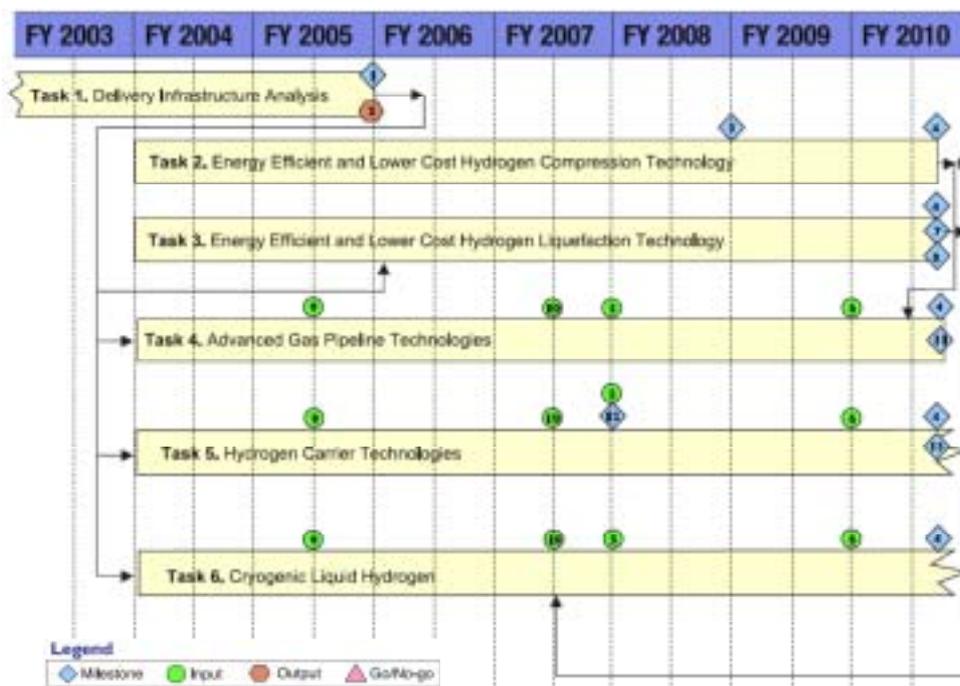
C)プログラム計画

前項のロードマップを展開したものとして、2003 年には “ Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan ” が示されている⁹。これは、2010 年までのプログラム活動計画がより詳細に示されている。このうち、パイプラインインフラに関する事項は「Hydrogen Delivery」に示されている。図 2 に示すように、技術開発は 6 つの Task に分かれており、このうちパイプラインは Task 4 として計画されている。

以下、パイプラインインフラについての記述を要約する。

- ・大量の水素を輸送するインフラとしては、天然ガスの場合と同様にパイプラインインフラが（トラック、トレーラー、貨車に比べて）もっとも経済的であると考えられる。
- ・天然ガスへの水素混合率が 30%以内であれば、既存パイプラインを利用した水素輸送は可能である。
- ・新たにパイプラインを建設するには巨額の投資が必要となる。投資額を縮減するためには、材料や周辺技術（周辺機器、センサー、制御システムなど）開発が必要である。あわせて、水素脆化や漏洩を起こさずに既存パイプラインインフラを適用できる可能性も探求せねばならない。
- ・パイプライン適用のための技術的検討を 2010 年度までに実施する。検討の到達目標は、水素輸送コストを\$1/kg 未満とし、かつ水素パイプラインの初期投資額を現状の 50%に縮減することである。

図 2 水素輸送インフラのプロジェクト計画



出所) DOE, Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program (Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan), Draft (2003 年 6 月)

⁹ <http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/>

D) HFCIT Program における水素輸送研究

DOE はこれまでに、定期的にプロジェクト活動を報告する機会を設けており、特に 2002 年度以降は毎年これを実施している。

パイプラインによる水素輸送については、高張力鋼管に水素を通したときのガス温と拡散係数との関係について、実験室レベルでの検討結果が示されている。

2004 年 5 月 24～27 日に、Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program 主催で、今年度の Program Review Meeting が開催された¹¹。この会議では、各セッションの進捗が報告され、水素輸送に関する内容も含まれている。パイプラインインフラに関する報告としては、下記を参照することができる。

-Hydrogen Production and Delivery; EERE

-Hydrogen Transition Modeling and Analysis; Oak Ridge National Laboratory

4. まとめ

(1) 既存天然ガス供給インフラを活用した水素輸送システムの現状

欧州の現状

オランダにおける水素プロジェクト(VG2)は、オランダ国内での都市ガスの熱量区分(H-Gas 及び L-Gas)¹²を背景とした天然ガス利用の実態を反映している。現状、オランダ国内では、天然ガスへの窒素添加、すなわち希釈による熱量調整が行われており、その観点からも、既存天然ガス輸送システムに対して、熱量低下と同義である水素混合を受け入れやすい状況にある。(天然ガスのバルクへ希釈用の他のガスを注入するという行為は同じであり、単に希釈剤が窒素ではなく、水素を用いることに変わるだけという認識と理解できる。)このことから、オランダ国内においては、輸送インフラに対する新たな巨額投資なしで水素混合輸送を行うことが可能な状況にあるといえよう。

米国の現状

一方、米国では、DOE 傘下の研究機関や、水素パイプラインの建設実績をもつ企業などで、パイプラインによる水素もしくは混合ガス輸送に関する技術的検討が個別に実施されているが、既存パイプラインインフラを活用した水素輸送プロジェクトは現時点では実施されていない。

現状からうかがえる水素プロジェクトの傾向

NATURALHY、VG2に共通しているのは、混合された水素を需要端で分離・精製し高純度の水素として取り出す技術(分離膜、PSA¹³など)が最もハードルが高い、と認識されている点にある。

¹⁰ “FY2004 Budget Request to Congress; Statistical Table by Appropriation”, DOE

¹¹ http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/2004_annual_review.html

¹² 3. (3) 参照

¹³ Pressure Swing Absorption。特定の吸着剤を用いて、ガスの吸着量が圧力によって変化することを利用

欧州において進行中のこれらプロジェクトでは、高効率かつ安価な分離技術の開発が重要な課題であるにもかかわらず、その実現性は不透明であると言わざるを得ない。

また、これらのプロジェクトは将来の水素社会に向けたデモンストレーション的な側面が強いとも考えられる。この場合、需要端における混合ガスの分離・精製は現段階において必須条件でなく、天然ガスとの混合とはいえ「水素をパイプラインで輸送する」という事実の積み上げに意義があると見られる。

(2) 来るべき水素社会における水素輸送システムの位置づけ

来るべき水素社会が達成された際には、水素はオンサイトで製造され、その輸送システムは不用とされよう。しかし、そこへ到る過渡期においては、「既存天然ガス供給インフラを活用した水素輸送システム」(以下、水素輸送システム)が必要とされることになる。この水素輸送システムが適用された場合について、水素の供給側から需要側にいたるサプライチェーンを想定して、その主要部分について若干の考察を加えたので以下に記す。

水素の大量生産の可能性

水素輸送システムが組み込まれ、機能している水素社会の姿を考えると、「既存天然ガス供給インフラ」、即ち、一般的には「天然ガス供給パイプライン」の送出側で相当量の水素が製造され、混入されていることになる。こうした場合、現行の技術で工業的に大量の水素を製造する方法としては、既存技術である加熱炉で反応熱を供給する水蒸気改質法が一般的である。しかし、この方式は反応に必要な熱を燃焼によって供給するものであり、必然的に CO₂ の排出を伴うことから、これは水素社会の理念からはなじみにくい¹⁴。

したがって、このような大量の水素を、CO₂を排出することなく集中的に製造する方法としては：

山間部などの大規模水力発電によって得られる電力による電解、

原子力発電などにおける冷却媒体(高温ヘリウムなど)による熱交換器型リフォーマーを用いた水蒸気改質法

などが着想されるが、これらは現時点において技術的に確立されているとはいいがたい。

近い将来において水素輸送システムが適用されている状況は、あえて大量の水素製造から考慮するのではなく、むしろ新しい水素エネルギーとしては未利用である大量の副生水素が存在する化学工業地帯や、高炉からの回収水素が期待できる製鉄所など、既に潜在的に相当量の利用可能な水素が存在する地域などを軸に提案されるのが現実的かもしれない。

した分離・精製方法。

¹⁴ さらに、水蒸気改質法の反応生成物として(水素の副生物として)発生する CO₂についても、これを分離・固定化することが求められる。

現状では、CO₂を排出することなく電力を得ることができる太陽光や風力などの再生可能エネルギーは、その密度が低く、水素の大量生産には適さないと懸念される。

水素を従来型の炭化水素エネルギーに代わるエネルギー源として捉える、将来の水素社会に相応しい方法で大量の水素を生産する技術については、解決すべき技術的課題も多いのではなかろうか。

水素の貯蔵、輸送

分散型のエネルギー使用形態を考えた場合、水素輸送システム自体、本来の「分散型」のあるべき姿からは逸脱しているかもしれないとも考えられる。ハードウェアとしてのインフラやネットワークを介在させないことが、本来の分散型のシステムだからである。

その意味では、水素輸送システムは、水素社会の導入期に機能するべき、移行期の輸送手段であるといえよう。従って、達成された水素社会においては、あくまでもオンサイトでの水素製造が主体になる筈であり、水素の貯蔵は重要な考慮の対象であるものの、水素の輸送は副次的に捉えるべきかもしれない。オンサイトにおける必要とされる需要に応じての水素製造であれば、貯蔵の要求はあっても、輸送の必要は無いからである。

水素の需要

水素輸送システムの適用を考えると、既に形成されているエネルギー需要密度の高い地域に、集中的に輸送、供給するシステムとして位置づけられる。即ち、水素社会への移行期に、従来型のエネルギーである天然ガスの確立したシステムに、新たなエネルギーである水素が浸透を始めた状態で、天然ガスと水素の両者が共存、並立してゆくものと理解されよう。

「既存天然ガス供給システム」の需要端での用途は、小口の民生用であろう。即ち、家庭、業務用の燃料電池や水素搭載の燃料電池自動車などである。従って、個々の水素需要の規模は小さく、数多い小口の需要ということになる。

「既存天然ガス供給システム」が行き届いていない地域、例えて言えば、わが国の現行のガス市場における都市ガスが普及している都市部に対しての LP ガスが普及している地域を念頭に水素社会を考えると、現在、LP ガスのみに依存している地域にとっては、オンサイトでの水素製造しか考えられないことになる。水素源からの連続的な供給経路が存在しないからである。この場合には、徐々に連続的に浸透してゆくイメージの前述の場合と異なり、LP ガスのような従来型のエネルギーと水素が共存するというよりは、ステップ的に水素によって置換されてゆく場合が多いのではないかと推測される。

なお、ここで適用するべき、少量の水素を生産する方法も技術的な課題であろう。

(3) 既存天然ガス供給インフラを活用した水素輸送システムの今後

以上より、来るべき水素社会の実現を考えた場合、その導入期においては、相当量の未利用水素が存在する地域があり、かつ、その地域から需要地までを結ぶパイプラインが存在す

る場合には、「既存天然ガス供給インフラを活用した水素輸送システム」を構築できる余地はありと考えられる。さらに、天然ガスと水素の両者が共存し、両者に基づくシステムが並立している期間はある程度継続するとも考えられるので、本システムの適用は当座の期間は現実的であり、その果たす役割は大きいと思われる。

しかし、本システムを構築、実現のための重要な構成要素である、天然ガスと水素の混合気体から水素を分離する技術については、その現状と適用可能性、実現時期については不透明であるといわざるを得ない。

一般的な分離操作においては、目的成分が少量成分側であり、かつ、高純度を求められる場合に、高い回収率を保つことは難しいとされている。特に、NaturalHy, VG2 にみられるように、パイプラインにより輸送される水素の混合割合が最大でも 25%である場合に、需要端での実効的な水素分離・精製が可能であるかを注視する必要がある。また、現時点では混入水素分を最大 25%として計画されているが、天然ガス（メタン分）と水素の組成が、3:1 の比からなる大量の混合ガスをパイプラインで実際に輸送する場合の総合的知見が得られているかの確認も必要である。既存パイプラインの設計仕様が本システムの混合ガス輸送用としても適用できるかを確認するうえで、高圧における配管材料の確認や、運営におけるパイプラインに沿った水素の漏洩検知システムや維持管理手法のあり方なども、実現に際しての課題となろう。

なお、将来の水素社会の実現を想定した場合には、水素製造・生産、輸送や貯蔵、利用などにおける各要素技術の開発と確立が不可欠である。これらの一連の要素技術は、連携して同時に成立する必要があることを銘記すべきであろう

また、水素の社会的導入に際しては、水素に対する潜在的拒絶感の払拭や安全性に係わる考慮の説明など、国民的合意の形成にも留意が必要となろう。

お問い合わせ：report@tky.ieej.or.jp