P203 水素社会に向けた革新的水素サプライチェーン構想

（原子力機構） ○（正）稲垣嘉之*・（正）日野竜太郎・塩沢周策
・（千代田化工）（正）白崎智彦・（正）岡田佳巳・（正）坂口順一・（東大）岡芳明

１．緒言

近年、地球環境に優しい水素をエネルギー媒体とする水素社会への期待が高まっている。しかし、水素は天然には単独で存在しないために工業的に大量生産する必要があり、また、製造した大量の水素を安定に貯蔵し、遠距離輸送して利用に供するインフラの整備も必要である。水を原料とし、原子力を活用して二酸化炭素フリーで大量の水素を製造し、安全で安定に貯蔵/輸送する水素供給システムを構築することにより、二酸化炭素排出量を大幅に低減して豊かな地球環境を創る水素社会の実現を加速できる。本講演では、高温ガス炉を用いた水素製造を起点に貯蔵/輸送から産業利用までを通貫する革新的大量水素サプライチェーンの構想について紹介する。

２．水素サプライチェーンの概要

大量水素サプライチェーンは、Fig.1に示すように、1)核分裂エネルギーを 1000℃近い高温熱として取り出す高温ガス炉、2)無尽蔵の水を原料として高温核熱のみで水素を製造する熱化学法 IS プロセス、3)大量の水素を有機物（液体）に転換することにより既存石油インフラ活用して水素を貯蔵／輸送する有機ケミカル法から構成され、この３つの技術を組み合わせて、二酸化炭素を排出せずに大量の水素を安定に供給することにより、産業における水素利用を促進させようとする構想である。以下に主要技術の概要と現状を記す。

(1) 高温ガス炉

高温ガス炉は、炉心及び主要な炉内構造物の材質に黒鉛、冷却材にヘリウムガスを用いることにより、1000℃近い高温熱を取り出せる原子炉である。日本原子力研究開発機構には、我が国初の高温ガス炉である高温工学試験研究炉（HTTR）が設置されており、2004年に世界で初めて原子炉出口温度 950℃を達成した。現在は、燃料の燃焼特性、ヘリウムの純度管理等、実用化に必要なデータの蓄積を行っている。

(2) 熱化学法 IS プロセス

高温ガス炉からの約 900℃の熱を利用して、ヨウ素（I）と硫黄（S）を利用した化学反応、すなわち、水を注入してヨウ化水素と硫酸の生成（$I_2+SO_2+2H_2O \rightarrow 2HI+H_2SO_4$）、水素を生成するヨウ化水素の分解（$2HI \rightarrow I_2+H_2$）、酸素を生成する硫酸の分解（$H_2SO_4 \rightarrow SO_2+H_2O+0.5O_2$）の３つの化学反応を連成させて水を熱分解する方法である。日本原子力研究開発機構は、連続水素製造のための計測／制御技術を開発し、2004年にガラス製の工学試験装置を用いて毎時30リッターで一週間にわたる連続水素製造に世界で初めて成功している。現在は、セラミック製硫酸分解器の開発等、金属、セラミックス等の工業材料を利用したプラント技術の開発を進めている。

(3) 有機ケミカルハイドライド法

有機ケミカルハイドライド法は、石油製品の有機物（液体）に水素を貯蔵し、水素の利用サイトで有機物から水素を発生させる方法である。水素貯蔵工程においては、水素をトルエン（C_7H_8）に水素化反応で固定してメチルシクロヘキサン（MCH：C_7H_{14}）とし（$C_7H_8+3H_2 \rightarrow C_7H_{14}$）、水素を常温常圧で貯蔵する。一方、水素発生工程においては、MCH から脱水素反応（水素化反応の逆反応）で水素を発生させてトルエンに戻し、再生したトルエンを回収/再利用する。実用化にあたっての課題は MCH から脱水素反応であったが、千代田化工建設（株）が白金ナノ粒子を担持した水素発生触媒の開発を 2008 年にラボスケールで完了し、MCH からの脱水素を高効率（水素選択率：約 99%）で可能とする長寿命の水素発生触媒の開発に世界で初めて成功している。

３．今後の展望

本水素サプライチェーンによって大量水素の安定供給が可能となり、水素社会の実現に大きく貢献することができるが、実用化にあたってはいくつかの課題が残されている。水素製造については、熱化学法 IS プロセスのプラント技術を確立し、HTTR と接続して原子力水素製造の実証を目指す。有機ケミカルハイドライド法については、原子力水素の大量製造時代の到来に先行して、化石資源による水素製造、既存需要家への水素供給も視野に入れた商用規模の実証を図るなど、ビジネスモデル構築と国際展開の追究を目指す。

Fig.1 大量水素サプライチェーンの概要

*E-mail: inagaki.yoshiyuki@jaea.go.jp