

第2節 熱中和改質方式による水素製造技術

エア・ウォーター(株) 成田 悟

はじめに

一般的な工業用の水素の製造方法として、天然ガスなどの炭化水素を原料とした水蒸気改質方式がよく知られている¹⁾。水蒸気改質反応は、吸熱反応であり反応を進行させるために多量の熱を与える必要がある(式(1))。そのため、外部から加熱するための大きな加熱炉が必要であり、装置が大きくなるデメリットがある。また、低スチーム量では触媒上でのカーボンの析出により触媒が劣化するため、過剰のスチームを供給する必要がありエネルギーを要する。



これらの課題に対して、エア・ウォーターでは、乾ら^{2,3)}が発明したRh修飾Ni-Ce₂O₃-Pt触媒(後述)に改良を加え、熱中和改質(Thermo-Neutral Reforming)方式を用いた水素発生装置の研究開発を行ってきた。本改質方式は天然ガスなどの炭化水素と水蒸気および酸素を原料とし、同一触媒上で燃焼反応と改質反応を行うことによって水素を生成する方式である。本方式による工業用の熱中和式水素発生装置が開発され^{4,5)}、これまでに天然ガスを原料とした水素発生装置が市場投入されている。現在、さらなる高効率化を目指した装置の開発が継続されている。

1. 熱中和式改質技術

1.1 触媒反応

前述の通り、本方式は原料ガスとして、天然ガスなどの炭化水素と水蒸気および酸素を供給し、同一触媒上で燃焼反応と改質反応を同時に行うことによって水素を生成する方式である。

本方式と類似した改質方式としてオートサーマル改質方式が知られている¹⁾。オートサーマル改質方式では熱中和改質方式と同様に、炭化水素と水蒸気および酸素(あるいは空気)を原料としている。その原料を反応器に導入し、バーナーあるいは触媒上で部分酸化反応を起こさせ、その熱を利用して後段で水蒸気改質反応を行っている。熱中和改質方式との最大の違いは、本反応が同一触媒上で起こるか否かである。

オートサーマル方式での部分酸化反応は非常に高温になるため、反応器や触媒の高い耐熱性

第3節 灯油を原料とした水蒸気改質反応と オートサーマル反応による水素製造

国際石油開発帝石(株) 長岡技術科学大学 原田 亮

はじめに

化石燃料を原料とした水素製造技術の歴史は非常に古く、100年以上の歴史がある。現在では石油化学プラントを代表とする工業的な水素製造方法は、技術的視点よりほぼ完成の域にあるとあってよい。一部の特殊な用途に用いられている、例えば燃料電池プラントの水素製造や合成ガス製造装置等は、現在でも開発途上にあると見なすことができるが、化学反応を利用した水素製造方法であると見なせば、技術的にはほぼ確立しているといえる。

化石燃料を原料とした場合、水素製造の対象となる炭化水素は炭素原子1個の分子であるメタンから平均炭素原子数が12個である灯油までが一般的と考えられる。分子中の炭素原子数が6程度までの原料に対しては、水蒸気改質反応を利用して水素製造を行う方法が一般的であるが、炭素原子数が6以上の化石原料を境として利用する化学反応は異なる。ガソリンや灯油を原料とした場合、分子中の炭素数が多いために、あるいは芳香族などの不飽和炭化水素が存在するために水蒸気改質反応を利用して水素を製造すると、触媒表面に炭素が析出する傾向が高く運転上の問題が生じる¹⁾。この炭素析出は改質触媒を劣化させることのみならず、粒状触媒の粉化の誘因となり、水素を製造する改質器の運転を困難にする²⁾。このため、ガソリンや灯油を原料とした水素製造では、水蒸気改質反応を利用することは適切ではない。燃料電池プラントでは貴金属触媒を水蒸気改質触媒に用いて水素を製造しているが、工業的な大規模化学プラントでは、酸素を導入する部分酸化あるいはオートサーマル反応といった酸化反応を利用した化学反応により水素を製造している。

本節では、水蒸気改質、部分酸化、そしてオートサーマル反応について解説した後、水素の原料として平均炭素数が12である灯油を原料として取り上げ、水蒸気改質反応とオートサーマル反応を利用した触媒開発について紹介をする。

1. 改質反応を利用した化石燃料からの水素製造

1.1 水素製造システムの概要

都市ガス、LPG、ナフサ、ガソリン、灯油などの化石燃料より水素を製造する化学反応は改

第4節 膜型反応器(メンブレンリアクター)/天然ガス からの高効率水素製造

岐阜大学 上宮 成之

はじめに

低炭素社会の実現には、エネルギー利用の高効率化とともに、化石エネルギーから再生可能エネルギーへの転換が必要である。CO₂排出量を2020年に1990年比で25%削減することが求められており、人為起源のCO₂の回収・貯留が検討されている。火力発電所や製鉄所などのCO₂の大規模固定発生源では、CO₂の回収・貯留はコストの点で課題は残されているが技術的には可能である。一方、小規模移動発生源である自動車では、エンジン排ガスからのCO₂回収は大規模固定発生源と比較してかなり難度が高いと言える。ハイブリッド車の普及により、とりわけ低速走行時のエネルギー利用の高効率化が可能となりCO₂排出量は減少できるようになったが、ガソリンや軽油などの化石燃料を使用する限りCO₂排出を完全に抑制することはできない。小規模移動発生源に対してはさらなる対策技術が必要となるが、その一つとして燃料電池自動車が挙げられる。水素を燃料とする燃料電池自動車(FCV)ではエネルギー効率が改善されるとともに、ステーション方式で水素を供給すれば走行時のCO₂排出を完全に無くすることができる。燃料電池自動車の普及・実用化には、水素インフラの整備やFCスタックの耐久性向上など多くの課題が残されており、そのうちの 하나가水素製造の高効率化である^{1,2)}。本稿では、高効率かつコンパクトなオンサイト型水素製造法として期待される、膜型反応器(メンブレンリアクター)を用いた天然ガス(都市ガス)からの水素製造について研究開発状況を概説する。

1. 膜型反応器と水素製造への応用

都市ガス(主成分、メタン)から水素を製造するには、水蒸気改質法によるのが一般的である³⁾。図1に水蒸気改質プロセスのフローを示す。水蒸気改質プロセスは、燃料の前処理、高温反応、生成物の分離・精製の各工程からなっている。改質反応にはニッケルや貴金属が触媒として使用されるため、触媒劣化の抑制を目的として、原料(都市ガス)から硫黄分、特に付臭剤である有機硫黄が除去される(脱硫)。その後、熱交換器を通じて加温され、700-900℃の高温下で都市ガスを水蒸気と反応させ、H₂とCOからなる合成ガスに転換する(改質: CH₄ +

第6節 マイクロリアクターによる水素製造技術

京都大学 前 一廣

はじめに

水素は化学プロセス用途以外の二次エネルギー、特に燃料電池の原料として期待されている。周知のように、燃料電池はカルノー効率の制約がないため理論的には非常に高い発電効率を得ることができる。燃料電池中のイオンの通路である電解質の種類によっていくつかの種類に分類され、マイクロチップのような小さな携帯用途から大規模発電まで様々な用途に対応すべく開発が進められている。一次エネルギーから水素を経由して燃料電池にいたるまでのスキームとしては5種類のスキームが考えられているが、その燃料電池の種類により水素純度の影響が大きく異なる。この中で、PEFCは不純物に敏感ではあるが、低温で作動でき危険性が少なく起電に時間がかからないこと、また子供でも作れるという単純な構造と低コストから、自動車搭載、家庭定置用、携帯機器といった用途が提案されており、将来性が最も期待されている電池の一つである。モバイルPEFCへの水素供給方法として、圧縮ガス、液体水素、水素貯蔵合金、オンサイト製造が挙げられるが、重量や体積あたりの水素供給量が最も多いと考えられるのは、液体燃料からのオンサイト水素製造である。オンサイトで最終消費者に近いところでの水素製造になるため、低温反応が好ましく、メタノールやDMEの改質によるオンサイト水素製造が有力な候補となる。発電までには天然ガスを原料とした場合には4つのステップが必要となるが、それでも従来の方法より総エネルギー効率がよいというデータもあり¹⁾、輸送の容易さ、安全性、軽量性、起動特性・負荷応答性の向上からも液体で輸送して必要なときに必要なだけオンサイト、オンデマンドで水素を効率よく製造する装置を開発することの意義は大きい。本研究では、上記課題を解決することを目標に、マイクロリアクターの特徴を利用したメタノールからのオンサイト水素製造法に関する試みを紹介したい。

見本

1. 水素製造マイクロリアクターの設計コンセプト

さて、近年、盛んに研究が行われつつあるマイクロ化学プロセスは、マイクロ加工技術などを用いて作成された幅数 μm から数百 μm のマイクロ流路内で発現する物理現象、化学現象を利用したプロセスである。しかしながら、マイクロといってもマクロの延長で何も分子オーダーで制御できるわけではない。よって、何が何でもマイクロではなく、マイクロの持つ機能

第7節 バイオマス・廃棄物からの水素製造技術

(独) 国立環境研究所 川本 克也

はじめに

循環型社会の形成が、持続型社会の一つの重要な要素として位置づけられて久しい。さらに、地球温暖化防止を背景に低炭素社会との統合が目標となって、このような社会の実現に至るための技術への期待と役割はますます高まっている。持続的でありかつ低炭素型、さらに脱炭素の条件を備える技術として期待されているのが水素利用技術であり、それによって形成される水素社会が展望されている¹⁾。人類が用いてきた汎用的な燃料の歴史を振り返ると、原子力を除くと、木材→石炭→石油→天然ガスと進んできた。これらの燃料中のHの組成比は、木材の6wt%から、石炭、石油、天然ガスとなるにつれて6, 15, 25wt%と次第に大きくなってきており、その究極が水素そのものと言える²⁾。

持続的であるためには、バイオマス原料からの生成が一つの必要条件であり、十分な量を安定して得るには廃棄物バイオマスを対象とするのが現実的である。その年間賦存量については、建設発生木材が約470万トン(このうち30%が未利用と推定される)、廃棄紙が約3,700万トン(このうち40%が再利用困難で未利用と推定される)、食品廃棄物が約2,000万トン(このうち80%が未利用と推定される)などとなっている。合計量は湿量基準で約3億トン、現状の化石燃料からの一次エネルギー供給量の5.6%に相当する量である。ただし、廃棄物バイオマスを対象とする以上、廃棄物の適正な処理を行えることが必須の要件である。すなわち、大量の対象物処理になるということ、雑多な物質が含まれることから、副生する有害物または不純物対策をとらなければならないことなどである。

本節では、このような特徴または制約をもつバイオマス・廃棄物への適用技術について整理する。とくに、水素の回収技術に的を絞って述べる。

1. 水素製造技術の概観

水素製造のための原料としての効率性という観点からは、バイオマスに特段の優位性はない。例えば、すでに述べたように水素を質量比25%含む天然ガスに比較するとバイオマスの水素含有量は6%程度と少なく、また40%余りもの酸素を含むからである。現状では、世界全体での水素生産量は約5,000億 m^3_{N} あり、主に工業原料として用いられる水素の95%以上は、

第9節 高温水蒸気電解による水素製造技術

(株)東芝 松永 健太郎

はじめに

化石燃料を用いない水素製造法として最も実用に近い手法の1つに、化石燃料以外から得られた電力による水の電解がある。電力源としては、発電過程で二酸化炭素を排出しない原子力発電や、再生可能エネルギー発電などが挙げられる。原子力発電と組み合わせた場合は、原子炉を熱源としても用いることで、水素製造効率を更に高めることが可能である¹⁻⁵⁾。また水素による発電機と組み合わせて高効率の水素電力貯蔵システムとし、太陽光や風力など再生可能エネルギーの出力安定化による系統連携促進や、夜間の余剰電力の有効活用などへの活用も可能である⁶⁾。

高温水蒸気電解は、一般に1000℃付近の高温で水の電解を行うことにより、常温での水の電解と比べて高効率の水素製造効率が得られるという特徴がある。本節では、高温水蒸気電解による水素製造の特徴やシステムの概念と、開発状況について紹介する。

1. 高温水蒸気電解の原理と特徴

1.1 電解による水素製造の原理

見本

図1に、電解による水素製造の原理を示す。ガスや通常の液体、および電子を通さず、水素イオンまたは酸化物イオンのみを伝導する電解質膜へ水(水蒸気)と一定の電圧を加えると、カソード(水素極)より水素が、アノード(酸素極)より酸素が発生する。これは、いわゆる燃料電池発電の逆反応に相当する。

電解の方式は、電解質膜の種類により分類される。アルカリ水電解法は比較的簡単な構造を有し、既に商業プラントで用いられているが、電解液による腐食などの課題を有し、作動温度の関係からエネルギー変換効率に限界がある。固体高分子電解質による水電解法は、腐食の問題がなく装置の小型化が可能であり、アルカリ電解よりも高い効率が期待できるが、現状では触媒に白金を用いる必要があるなど、大型化・商用化には課題が残されている。

第11節 太陽光利用による水素製造システムと光触媒による低コスト化

(独)産業技術総合研究所 三石 雄悟 佐山 和弘

はじめに

現在の我々の生活は、長い年月を費やして蓄積されたエネルギー資源である石油や天然ガスなどの化石資源を消費することによって成り立っている。これらのエネルギー資源は有限なものであり、いつかは枯渇してしまう。そのため、化石資源からのエネルギー供給に代わる、新たなエネルギー供給システムを確立することが、将来的に必ず実現しなければならない、非常に重要度の高い研究課題の一つとなっている。理想的なエネルギー供給システムとして現在注目されているのが、水から水素を製造する技術である。地球上に豊富に存在する水から無尽蔵に水素を製造できれば、水素は燃焼後に水に戻るために、理想的なエネルギー循環システムを構築できる可能性がある。ここで、無尽蔵に水素を製造するためには、無尽蔵で膨大なエネルギー源が必要となる。その条件を満たすエネルギー源として太陽光エネルギーが挙げられる。地球上に届く太陽光エネルギーは、毎秒42万億kcalといわれ、太陽光照射1時間分のエネルギーが现阶段の人類の年間エネルギー消費量に匹敵する。よって、この太陽光エネルギーを水素製造技術に有効利用できれば上記の条件を満たす理想的な技術となる。しかしながら、太陽光エネルギーを有効利用するためには、エネルギー密度が低くさらに天候変動が大きいという欠点を克服できなければならずその利用技術は非常に制限されている。現在、太陽電池、バイオマス、光電極、および光触媒などの技術が、この課題克服のために精力的に研究されている。しかしながら、现阶段ではどの分野においても実用化のために解決しなければならない、いくつかの深刻な課題を抱えている。これらの既存の研究テーマは、それぞれ課題克服のために引き続き研究するべきであるが、どのような研究が将来デットエンドにならないかを常に考え、それ以外の全く新しい基盤技術の開発、もしくは既存の技術をうまく組み合わせた、より理想的なシステムの開発も、この研究課題を克服するためにはとても重要なことである。我々は、この太陽光を利用した水素製造のために现阶段で最も実現可能性が高いと考えられるシステムに限定し、研究を進めている。本報告では、それらの研究の現状について紹介する。

1. 光触媒—電気分解ハイブリッドシステムによる水素製造

太陽エネルギーを有効利用し水素を製造するための技術を開発する上で、エネルギー密度が

[2] ラーベス構造を有した新規マグネシウム系水素吸蔵合金

日本重化学工業(株) 寺下 尚克 角掛 繁

はじめに

現在、水素吸蔵合金は1990年に実用化されたニッケル水素二次電池の負極用活物質として、国内で1年間に1万数千トン規模で生産されている。その後1997年に世界で初めて量産・販売されたハイブリッド自動車のバッテリーとしてニッケル水素二次電池が採用されたことで、その生産量はますます増加する傾向にある。同時により一層のサイクル特性の向上、高容量化、高出力化および低価格化等が求められるようになってきている。しかし、水素吸蔵合金のニッケル水素二次電池以外への実用化の例はまだなく、1980年代初頭から燃料電池自動車等への水素供給用の水素貯蔵タンクとしての応用を目指した、高容量な水素吸蔵合金の研究・開発が産・官・学を挙げて国内外で精力的に行われている。

水素の貯蔵を目的にした場合、水素吸蔵合金の単位質量当たりの水素貯蔵量は少なくとも3質量%以上が必要とされている。またこの値はニッケル水素二次電池で用いられている合金の水素吸蔵量約1.5質量%の2倍に相当している。このような高容量な水素吸蔵合金を開発する指針としてはいくつか考えられるが、マグネシウム等の軽量な元素を構成元素に持つ合金や水素化物の金属水素比(H/M)が1.0以上に達する結晶構造をもった合金、例えば体心立方(Body-Centered-Cubic : BCC) 構造やラーベス構造をもった合金を出発物質に選択することは有効であると考えられる。

見本

1. ラーベス構造を有した水素吸蔵合金

ラーベス構造を有した一連の金属間化合物は、原子半径の異なる2種類の原子で構成された AB_2 型の化学組成をもつ合金であり、1935年にドイツの結晶学者フリッツ・ラーベス(Fritz Laves)氏らによって発見された。原子半径の大きいA原子と小さなB原子の原子半径比(R_A/R_B)は理想的な構造では $(3/2)^{1/2}$ であると考えられている¹⁻⁶⁾。ラーベス構造には以下の図1に示した3種類の結晶構造があり、立方晶のC15型(プロトタイプ : $MgCu_2$, 空間群 : Fd-3m, No.227), 六方晶のC14型(プロトタイプ : $MgZn_2$, 空間群 : $P6_3/mmc$, No.194)および六方晶のC36型(プロトタイプ : $MgNi_2$, 空間群 : $P6_3/mmc$, No.194)に分類することができる。これらの違いは、B原子で構成される4面体の積層形態の違いのみに起因している。一部のラー

[3] スピルオーバー水素を利用した新規水素貯蔵

東北大学 西原 洋知 京谷 隆
日産自動車(株) 伊藤 仁 内山 誠

はじめに

燃料電池自動車の実用化に向け、大量の水素を充填できる貯蔵容器の開発は極めて重要である。現在までに試作されている燃料電池自動車の多くは圧縮水素ボンベ(～70 MPa)を搭載しているが、その貯蔵量は十分とはいえない。このため、圧縮水素ボンベの中に水素吸蔵材料を充填し、貯蔵密度を更に増加させる必要がある。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の“水素貯蔵技術ロードマップ”¹⁾においては、2015年頃までに5.5 wt%以上の水素貯蔵材料を開発し、2020年頃までに貯蔵量をさらに6 wt%以上に引き上げることを目標に掲げている。

水素吸蔵材料としては、水素吸蔵合金、化学水素化物、吸着系材料の3種類が検討されている。前者2つは吸蔵量が5 wt%を超えるものも多いが、水素放出時に加熱が必要、繰り返し耐久性が低い、オンボードでの充填および再生(再水素化)に長時間を要するといった多くの課題がある。一方、活性炭、カーボンナノチューブ(CNT)、有機金属錯体等に代表される吸着系材料は、化学反応を一切伴わず物理吸着により水素を貯蔵するため、水素の吸蔵・放出に加熱は不要であり、しかも吸蔵・放出速度が大きく、繰り返し耐久性も極めて高い。しかし、吸着系材料の室温における水素吸蔵能力は我々が近年報告したゼオライト鑄型炭素²⁻⁴⁾(zeolite templated carbon, ZTC)による2.2 wt% (30℃, 34 MPa)が最高値であり⁵⁾、物理吸着だけを利用して同じ温度・圧力条件においてこれ以上の水素吸蔵能力を達成することは極めて困難である。そこで近年着目されているのが、水素分子(H₂)の物理吸着に加え、スピルオーバーにより生成する原子状水素(H \cdot)の可逆貯蔵も併用した新しい貯蔵方式である。

1. スピルオーバーとは

固体物質にPtなどの金属を担持すると、気相中の水素分子が金属の作用により水素原子に解裂し、さらに固体物質上に流出(spillover)する。この現象がスピルオーバーである(図1)⁶⁾。原子状水素が流出する先である固体物質は、受容体(acceptor)と呼ばれる。なお、酸素分子など水素以外の分子についてもスピルオーバーは起こるが⁶⁾、本稿では水素のみを取り扱う。

スピルオーバーは、触媒化学の分野では有機分子の水素化/脱水素化反応に古くから利用

第3節 実用化から見た水素吸蔵合金の現状と課題

那須電機鉄工(株) 阿部 真丈

はじめに

水素吸蔵合金の研究開発は燃料電池車へ積載することを目的として、世界的に進められている。その一方で、すでに実用レベルで使用されている合金もいくつかある。ニッケル水素電池や小型水素貯蔵容器に使用されている希土類系合金、ヒートポンプや冷凍機等で実用化されているチタン系合金などである。これら実用合金の水素吸蔵量は1~2重量%台であり、車載用合金の開発目標値が5重量%レベルであることを考えると少ないと思われるかもしれない。しかし、それでも高圧ボンベや液体水素を上回る体積密度の水素を大気圧付近で貯蔵でき、さまざまなエネルギー変換利用が考えられるので、その応用分野は広い。

ここでは、車載用以外の各種設備に導入することを目的として、メカニカルアロイング法というユニークな合金製法によって開発したTiFe水素吸蔵合金を例に、実用水素吸蔵合金の開発課題を述べる。また、風力・太陽光発電により製造した電解水素を本合金で貯蔵しているシステムについて貯蔵タンク部を中心に紹介する。

1. 水素吸蔵合金の実用化状況

見本

1.1 水素利用技術から見た合金の要求特性

水素の利用技術には大別して、水素を消費する方法と消費しない方法の2通りがある¹⁾。前者は燃料電池や水素エンジンのように、水素と酸素を反応させて電気や動力を得る方法である。この方法では水素は使用後に水となって消費され、水素の製造コスト^{2,3)}が問題となる。水素吸蔵合金は単に水素貯蔵としての役割を担い、いかにコンパクトに水素を貯蔵できるかが最重要課題となる。車載用水素貯蔵タンクでは水素圧35MPaの使用条件のもとで高容量化が検討されている。一方、後者はニッケル水素電池やヒートポンプのように閉じた系で水素を繰り返し吸放出させ、そのときの電気化学反応や合金反応熱を利用する。水素は消費されないので水素の製造コストは問題にならず、車載用のように使用スペースが限定されなければ、水素吸蔵量は必ずしも大きな問題とはならない。水素吸蔵合金が実用化されているのはほとんどこちらのタイプであり、吸蔵量よりも使用水素圧(高圧ガス保安法の規制により水素圧は1MPa以内)や活性化処理の容易さなどが実用化の上で優先課題となることが多い。

第2節 水素貯蔵用タンク/容器材料/システム

[1] 水素貯蔵システムに関するエネルギー業界からの課題と要求特性

JX日鉱日石エネルギー(株) 小堀 良浩

緒言

石油資源の枯渇が現実性を持って叫ばれ、CO₂による地球温暖化が世界規模で問題視される状況の中で、化石燃料の使用をなるべく少なくするべきであるという意識が広がっている。そしてこの流れを受け、化石燃料に依存しないエネルギー社会を目指す取り組みが世界の多くの国々で始まっている。その中心にあるのが水素である。水素は、燃えてもCO₂を排出しないクリーンなエネルギー媒体であること、燃料電池などと組み合わせることにより高効率で電力との相互変換ができること、さらに様々な原料から製造できるためエネルギーセキュリティの面でも優れていること、などの点で注目されている。

水素を社会全体で使いこなすには水素のデリバリーシステムを社会の隅々まで張り巡らせることが必要である。しかし、水素は体積エネルギー密度がガソリンの1/3000と嵩張るため貯蔵・輸送は技術的にも決して容易ではない。また、水素インフラ構築は端緒についたばかりであり、供給システムの信頼度が電力や化石燃料のレベルに到達するまでには技術的課題のみならず法令や各種規格など制度的課題、国民の認知など社会的課題、さらには膨大なコスト負担をどう分担するかという問題、**見本**などを含めてまだ多くの課題が残り、それらを一つ一つ解決していく必要がある。

このように水素インフラはエネルギーの将来を考えると必要であることは確かなのであるが、その整備は始まったばかりであり、未だ様々な点で発展途上であるといわざるを得ない。こういう状況を共通認識とした上で、水素の製造、水素ステーションへの配送、そしてFC車への充填の3つの観点から、水素インフラの構築に必要な要素について考えてみたい。

1. 水素の製造

1.1 多様な水素の製造方法

水素は様々な原料(1次エネルギー)から様々な方法で製造することができる2次エネルギーである。主な水素製造経路を図1に示すが、詳細については本書第2章に詳述されているので参照頂きたい。

[5] 炭素繊維強化樹脂 (CFRP) を用いた水素貯蔵用タンク

九州工業大学 米本 浩一

はじめに

炭素繊維強化樹脂 (CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastics) は、アルミニウムや鋼などの金属材料と比べると、引張りに関する比強度及び比弾性率 (比剛性) において、擬似等方材で2から5倍は優れており、「軽くて強い」という優れた機械的特性をもっている。2009年12月に初飛行した最新鋭のボーイング社787型機では、アルミ合金を主構造としてきた従来型の飛行機から進化して、全体質量の50%近くがCFRPで占められていることからわかるとおり、特に軽量化を必要とする輸送手段、すなわち航空宇宙機分野では構造の中心的材料としての地位を固めつつある。自動車産業においても、軟鋼板の車体に比べて重量を50%以上軽量化し、かつ安全性 (エネルギー吸収量 : スチール比で1.5倍) を備えたCFRP構造部材とその低生産コストを目標にした製造技術に関する研究開発が急ピッチで進められている。最近のモーターショーでは、軽量化による大幅な燃費低減を謳い文句に、炭素繊維強化樹脂製のボディーを採用したコンセプトカーが多く登場するようになり、実用化に近づいた感がある。

水素と酸素の反応で得られる電気を利用した燃料電池車、あるいは水素燃料を燃焼させるエンジンを駆動源とする水素自動車は、地球温暖化に深刻な影響を与える二酸化炭素ガスを排出しない新しい輸送システムの切り札として、大きな期待を集めている。水素燃料を利用するにあたって、質量当たりのエネルギー密度は高いものの、容積当たりのエネルギー密度は極端に低いことから、高圧で圧縮するか、液体水素の形で貯蔵する必要がある。水素ガスを超高圧に圧縮してもエネルギー密度は依然低い反面、熱効率が高いために、現状のガソリンエンジンと遜色ない燃料性能を得ることができる。その結果、現在のところ燃料電池車に使われる水素の貯蔵タンクの多くは高圧圧縮型の水素ガス貯蔵用タンクであり、当然のことながら、より軽量化を追及するためには強度補強層に炭素繊維強化樹脂を採用することが基本にある。

1. CFRP 製水素ガス貯蔵用タンク

水素ガス貯蔵用タンクに関する国際規格の構造定義は、

Type 1 : 金属容器

Type 2 : 金属製容器 (ライナー) の周方向のみに樹脂を含浸した繊維で補強したもの

第1節 水素輸送・貯蔵におけるハンドリング技術

岩谷瓦斯(株) 岩下 博信

水素は産業分野では昔から製鉄所，ソーダ工業，製油所等の多くの場所でも取り扱われてきたが，ガソリン，灯油，都市ガス等と比べて我々の社会生活において身近な存在とは言い難い。そのため，その適切な取り扱いや危険性などに関する正しい知識が十分に周知されておらず，時折水素の誤った取り扱いによる事故やトラブル発生が報告されている。その結果，水素そのものが危険であるといったイメージのみが先行しているように見られる現状にある。水素の輸送・貯蔵における安全取扱いの側面より，知っておくべきこと・注意する事項を述べる。

1. 水素に関する事故事例

高圧ガス保安協会のデータによると，平成9年度(1997年度)から平成18年度(2006年度)の10年間に，66件発生している。その内訳を表1に示す。

表1 水素ガス関係事故件数の推移

年(平成)	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	計
製造事業所	2	6	2	4	1	5	8	6	4	14	52
移動	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	4
消費	2	1	1	4	3	0	1	1	0	2	10
計	4	7	4	4	3	5	9	8	5	17	66

※製造事業所の発災は、爆発=7、火災=24、漏洩=20、破裂=1（貯蔵も含む）

移動時の4件の内訳は，3件が交通事故であり，残り1件は容器再検査切れ容器に水素を充填したために発生した事故である。

水素の取り扱い事故全般について言える事であるが，水素の性質をよく理解し，保安確保を念頭に注意事項を遵守することで未然に防げることが過去の事例よりわかる。

2. 水素の性質

事故事例でも明らかであるが，可燃性ガスである水素のトラブルは漏洩をトリガーとして発生したガス爆発と火災であるが，可燃性ガスが漏洩して空気と混合した場合に着火が起こる

第2節 水素輸送システムの安全化対策

JFE コンテナ（株） 高野 俊夫

はじめに

本稿では、高圧水素輸送システムにおいて、軽量炭素繊維強化複合容器（以降、C-FRP 容器）の必要性について解説する。更に、輸送用C-FRP 容器について、技術の現状、技術の内容、技術開発の取組み状況、安全性の検証結果について報告する。

1. 水素供給の現状と水素需要量の推定

日本の水素供給市場の状況を供給形態別に図1に示す。パイプライン供給以外の供給方法では、大型トレーラによる高圧水素供給（約1.5億 m^3 ）が供給量の大半を占めている。WE-NET^{1,2)}では、燃料電池実用化戦略研究会の燃料電池導入目標値等を用いて、将来の水素需要量を推算している（表1）。燃料電池自動車（以降、FCV）の普及初期段階（5万台）の水素需要量が約1.5億 m^3 であることから、普及初期時には、既存の水素供給規模と同一の輸送能力の増大が必要となる。

(2003年統計)

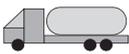
供給形態	生産プラント数	販売量	市場規模
液体 	2	6000K ℓ	27億円
ローダー、トレーラー (長尺鋼製容器) 	38	1億4500万 m^3	125億円
バラ容器 (小型鋼製容器) 	38	1850万 m^3	71億円
パイプライン 	75	3億0500万 m^3	142億円

図1 日本の水素市場（供給形態別市場規模）

表1 自動車用及び定置用燃料電池導入目標と水素需要量の推算例

	2010年度		2020年度		2020年度
	累積導入量	水素需要量 (億Nm ³ /年)	累積導入量	水素需要量 (億Nm ³ /年)	水素需要量 (億Nm ³ /年)
燃料電池 自動車	約5万台	1.6	約500万台	41.5	85
定置用燃料電池	約210万kW	61.9	約1,000万kW	254.8	219.9

資料1)：「燃料電池実用化戦略研究会報告2001」燃料電池実用化戦略研究会

2)：「平成13年度 WE-NET 第Ⅱ期研究開発タスク1システム評価に関する調査・研究、平成14年3月」(NEDO)