

水素社会を支える 「水素ハイウェイ」

市川 勝 (北海道大学教授、理学博士)

聞き手／高橋孝輝 (サイエンス・ライター)

水素エネルギー社会の 具体像とは？

——「水素エネルギー」について、インタビューの第1回では、「高密度なエネルギー源で、かつその製造から使用時まで“クリーン”にできること」を、第2回では、「流通に難があるものの、『有機ハイドライド』の形で効率的に輸送できること」をお話いただきました。今回の第3回では、「水素エネルギーをベースにした社会の具体像」をお話いただければと思います。

そもそも、市川さんが提唱されている「水素社会」論は、単にエネルギー源を石油から水素に替えようというだけのものではありませんよね。「有機ハイドライド」を用いて水素エネルギーを貯蔵、輸送する水素社会の流通インフラを構築しようと主張している点に、最大の特徴があるように思えます。

なぜ、特に水素の流通インフラに注目されたのか？ 改めて、そのことからお聞きかせいただけますか。

水素を貯蔵して運ぶ ということ

市川 今、「水素社会到来」などと言われるようになったのは、やはり、「燃料電池 (FC: Fuel Cell)」の実用化と普及にあると思います。燃料電池は、水素と酸素



を化学反応させて電気と熱を得、水 (水蒸気) 以外は二酸化炭素も窒素酸化物も排出しない、クリーンなエネルギーシステムです。20 世紀の石炭、そして石油の時代が積み残した様々な課題を解決してくれる究極の切り札として、大きな期待を背負っている。水素エネルギーへの転換というのも、その燃料電池への期待から言われるようになったと言っていると思います。

しかし、第1回でお話したように、“グリーン水素とブラック水素”という視点から検討すると、“夢の燃料電池”に

も問題が皆無だとは言えません。

純水素を燃料にした燃料電池であれば問題はないのですが、メタンとかメタノールといった炭素系の物質を燃料にする場合、「改質器」という装置を使って水素を作る時に二酸化炭素が発生します。つまり、従来の「炭素循環」から完全に自由になってはいないわけです。水素を作るプロセスから完全に二酸化炭素フリーの、“グリーン水素”のシステムではないのです。

ですから燃料電池の燃料は炭素系ではダメで、純水素を採用すべきだと私は考



市川 勝氏

(1942年東京生まれ。北海道大学触媒化学研究センター教授、理学博士。「有機ハイドライド」を利用した水素エネルギーの貯蔵、輸送、流通システムを提唱。燃料電池を柱とした「水素社会」を実現可能にする具体的アイデアとして注目されている)

水素ハイウェイ構想

—— しかもそのとき市川さんの頭の中にはすでに、「水素ハイウェイ」というアイデアがあったわけですね。

市川 はい。私は、たまたまですがメタンからベンゼンと水素を生産する触媒の研究をしていました。水素を貯蔵したり運んだりするなら、そのベンゼンやナフタレンといったアロマ物質(芳香族化合物)に化学結合させるという手があるだろうと着眼したわけです。前回お話しした、ベンゼンに水素を化学結合させたシクロヘキサン、ナフタレンに水素を結合させたデカリンなどの、「有機ハイドライド」という物質の形にして、純水素を貯蔵かつ輸送するという方法ですね。

—— その有機ハイドライドを“媒体”というか“キャリア”とした水素貯蔵・輸送システムを、市川さんは「シクロヘキサン・デカリン・水素ハイウェイ」と呼んでいる。それは高压タンクや液化水素に比べて、あるいはメタンやメタノールの形で貯蔵・輸送し、改質器で水素を取り出すという方式に比べて、どんなメリットがあるのですか？

市川 有機ハイドライドが、常温、常圧で「液体」の、化学的に安定した物質であることは前回にもお話ししましたね。そのため、ガソリンとか灯油といった石油燃料と同じ貯蔵・輸送設備で水素を貯蔵し輸送できるというところが、最大のメリットだと思います。つまり、新たに大小様々の高压タンクを作ったり、水素を液化する設備、水素専用の輸送車などを作る必要がない。水素貯蔵や輸送の新しいインフラを作ったり技術開発する必要がないのです。ということは、水素エネルギーが我々の生活に普及する速度が速まることにつながる。

—— しかしメタンやメタノールから改質で水素を取り出す方法でも、ほぼ同様

えました。

—— しかし現実には、携帯電話用やPC用の超小型の燃料電池の場合には、まず最初にメタノール燃料の燃料電池が登場してきそうですし、市販が開始された家庭用燃料電池にしても、天然ガス(メタン)やプロパン(LPG)などの炭素系燃料を用いる方式です。

市川 それは、水素を貯蔵し運搬することが難しいということで、どうしても“使うその場で”水素を作る方に目が向いたということなのだと思います。

たしかに、これもすでにお話ししてきたことですが、水素ガスを350気圧とか700気圧もの高压をかけたタンクに入れるとか、超低温で液化して運ぶというのは、タンク自体の耐圧材料や水素液

化にコストがかかり、なお技術的課題があると言われてます。燃料電池というのは家庭内や自動車で、普通の人のごく身近な場所で使うものですから、最高度の安全性と信頼性を持った技術の確立が必要だということです。

でも果たして、「水素を貯蔵して運ぶ」というのは、本当にそれほど難しいことなのでしょうか。

もし、純水素の貯蔵、輸送という問題さえ解決できれば、あらゆる燃料電池は純水素を燃料にでき、コストを高くしている改質器も不要になる。何より完全に二酸化炭素フリーのクリーンなシステムになります。それが、私が水素の流通問題こそ水素社会実現のカギになると考えた、いちばん大きな理由なんですね。

のことが言えませんか？

市川 そうですね。メタンであればすでに都市ガス(天然ガス)供給パイプライン網がありますから、水素供給のインフラとして利用できます。しかし、都市ガス供給網は限られた大都市においてのみ可能といった課題があります。また、メタノールは、毒性や腐食性のある物質ですので、化学工場から特殊なタンクローリーで運送し、新たなメタノール貯蔵タンク設備が必要になります。

加えて、水素を取り出す際に二酸化炭素が発生するという意味で“グリーン水素”ではないこと、改質器を必要とすることが燃料電池のコストを上げ、燃料電池自体を大型化してしまうという、2つの問題も残っています。前者の問題は家庭用燃料電池の場合には特に経済性や信頼性の上で問題になりますし、後者は、自動車用や携帯電話用などのように携帯型の燃料電池を実現する時に軽量・コンパクト化の阻害要因になります。

水素を化学的に添加したり(100～250度Cの熱を加えて)取り出したりできる有機ハイドライドなら、特別な改質装置はいりません。そこに水素インフラシステムとしての優位性があると思います。

有機ハイドライド・ステーション

市川 メタンやメタノールが有機ハイドライドより優れている唯一の点は、使っているうちにタンクが空になることぐらいではないでしょうか。

—— 有機ハイドライドは、貯蔵した水素を全部取りだした後でも、容積的にはほぼ同じ量のベンゼンやナフタレンが残るということですか？

市川 残ります。ただし水素の貯蔵力という意味では全く変わりません。水素を取り出し終わったらアロマト物質を「水素スタンド」というか「有機ハイドライド・ステーション」の人に回収してもら

い、再利用することになりますね。

—— なるほど。すると「水素製造工場」<=>「水素貯蔵(有機ハイドライド製造)」<=>タンクローリーなどの輸送<=>「有機ハイドライド・ステーション」というのが、水素流通の流れになるわけですね(5ページの図参照)。

有機ハイドライドのステーションはガソリン・スタンドなどの設備を転用できるわけですか？

市川 基本的に転用できます。現実的に考えると、ガソリン、軽油を使う自動車と、水素を燃料とする燃料電池自動車とが併存する時期が長い間続くわけですから、まずガソリン・スタンドと有機ハイドライド・スタンドが「併設」されることになるでしょうね。

—— 「水素ステーション」は燃料電池自動車用に、すでに東京・有明地区をはじめとして全国10箇所近くに設置されていますが、実用化実験の色彩が濃いとはいえ、どれも“新設”かつ既存のガソリン・スタンドなどから離れた場所になっています。

市川 有明の水素ステーションは液化水素を高圧タンク車で運んできて供給するタイプですし、他は、その場でLPG(プロパンガス)や天然ガス、ナフサなど石油系燃料を改質して水素を作って供給するタイプです。現在の法律だと、これらの水素供給設備は安全上の理由などから、既存のガソリン・スタンドと100メートルほど離して設置しなければならないことになっています。まあ、燃料電池自動車に関東地区全体でも十数台しか走っていない試験的運用では問題はないのですが、数万台、数十万台、数百万台と増えてきたときには、普及の大きな阻害要因になるでしょうね。

しかし、基本的にベンゼンやナフタレンなど石油と同じ基準で取り扱える有機ハイドライドなら、ガソリン・スタンドと併設可能なのです。それも、水素社会

化にあたっての有機ハイドライドのアドバンテージになると思います。

電力ハイウェイとの比較

—— 水素ステーションというと、自動車の燃料供給システムのイメージが強いですが、現在の電力なども含めた社会的エネルギー供給システムとして考えた場合、水素ハイウェイつまりシクロヘキササン-デカリン・水素ハイウェイに優位性はあるのでしょうか？

市川 その点でこそ、非常に大きな意味を持っていると私は思います。

現在、エネルギー源といいますと自動車や発電機、暖房装置などの燃料としての石油もありますが、一方で、送電線を通して送られてくる「電気エネルギー」も非常に大きな役割を背負っています。石油資源の枯渇や温暖化問題などで、近



高橋孝輝氏

年はますます電気が果たす役割が大きくなっていきますし、これからはますます大きくなるでしょう。

私は、燃料電池とその燃料である水素は、大発電所から高圧送電線を通して送られてくる電気エネルギーを補完するものとして、まずは普及し始めるのではないかと考えているのです。

巨大化する社会と地域分散化に向けて増加する一方の電力需要にこたえていくには、発電所から高圧送電線で消費地へという“電力ハイウェイ”では限界があり



ます。大発電所は立地が限られていますし、送電距離が長くなると電送損失が大きくなります。しかし燃料電池なら中小規模の発電所も可能ですし、集合住宅の1棟に1つ、1家庭に1つという“オンサイト型”での利用がイメージされているわけで、送電ロス問題の解決策になり得ます。

つまり、まず燃料電池は“発電所の分散化”の手段になるわけです。

すると次に、社会のあちこちに分散した発電所としての燃料電池に、どうやって燃料(水素)を運ぶかということが問題になります。いわばエネルギーを、送電線の代わりに水素で運ぶという選択の問題になる。ところで、水素輸送については、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)や民間調査機関による試算によると、有機ハイドライド方式が最も輸送コストが安くなるのです。その水素ステーションまでの製造・運送・供給コストは1立方メートルあたり30円から40円で、高压タンク方式や液化水素方式、メタンなど石油系燃料の改質方式に比べて10円から30円は安い。

また、送電線と比較しても、送電ロスがゼロであると仮定し、有機ハイドライドをガソリン燃料のタンクローリーで運んだとして、伝送(運送)距離が300キロメートル以内なら、電力輸送コストは有機ハイドライドの方が安いという試算結果があります。

ですから、シクロヘキサノンデカリン・水素ハイウェイは、“電力ハイウェイ”と十分に伍していけると私は思っています。さらに、燃料電池のエネルギー効率は、発生する電力を利用するだけでも50%ほどあるのですが、同時に発生する熱まで利用した場合85%もの高さになる。そこまで考えると、“電力ハイウェイ”に対する有機ハイドライド-燃料電池の優位性は明らかだと思いますね。

水素が地域を変え、 国の形を変える

市川 私が今住んでいる北国の北海道は、エネルギー事情という視点から見ると非常に特殊ですね。全エネルギー源に占める灯油の割合が突出していて、そのためCO₂排出量では全国ワーストワんに数えられています。しかもエネルギー消費量は、暖房が必要な冬場のみ突出する、“ひとこぶラクダ”状態です。

その意味で、燃料電池を活用する水素社会の実現は、まずその北海道から始まると思います。固体酸化物型燃料電池(SFOC)を利用すると高効率の電力のほかに600度Cもの熱が発生します。その熱で温水を作り家庭内暖房やお風呂で利用するだけでなく、「融雪ロードヒーティング」なども可能です。そういうことは、コストの問題というよりは、遠くの発電所から運んでくる電力では難しいことです。

ですから、燃料電池というのは北に行くほどその導入メリットが高くなる。幸い、北海道は、天然ガス、畜産糞尿から得られるメタンなどのバイオマス・エネルギーをはじめ、風力発電などの水素資源に恵まれています。国・自治体による実験プロジェクトも始まっていて、やがて北海道が水素社会の先進地域になるのではないかと期待しています。

有機ハイドライドとの絡みでいうと、燃料電池-水素社会というのは、エネルギー分散化社会への幕開けと考えています。夜間電力はこれまで温水として蓄熱するとか、工場を夜間に稼働するといった利用法しかなかったわけですが、これからは有機ハイドライドの利用で効率的に水素の形で電力貯蔵することができます。余剰電力も、揚水発電所などを作るよりはるかに効率的にまた安く蓄積できるようになります。これまで供給の不安定性が大問題だった風力発電や太陽光発電などでも、その発生電力を有機ハイドライドで水素貯蔵することにより、電力備蓄と安定供給化に役立つでしょう。風力発電の電力を系統電力に売電する上での規制やコスト面での課題を解決する手段として、有機ハイドライドにより高密度で電力貯蔵し、水素ハイウェイ網に供給するといったことも、現実になるかもしれません。

いずれにしても、水素エネルギーの実用化やそのインフラとしての水素ハイ

ウェイの整備は、地域の暮らしを変え、国の形を変えるほどのインパクトを持っていると思います。

都市が豊かなのはエネルギーの多様で大量の消費が可能だからですが、そのエネルギーは主に都市電線網を経由して集中的に供給されています。しかし燃料電池は、北海道の農業地域であれ離島であれ、水素資源があるところどこでも設置が可能な、クリーンなエネルギー供給システムです。ですから燃料電池が普及すれば、都市と地方、あるいは先進国と開発途上国の格差をすらくなくすことにつながるのです。

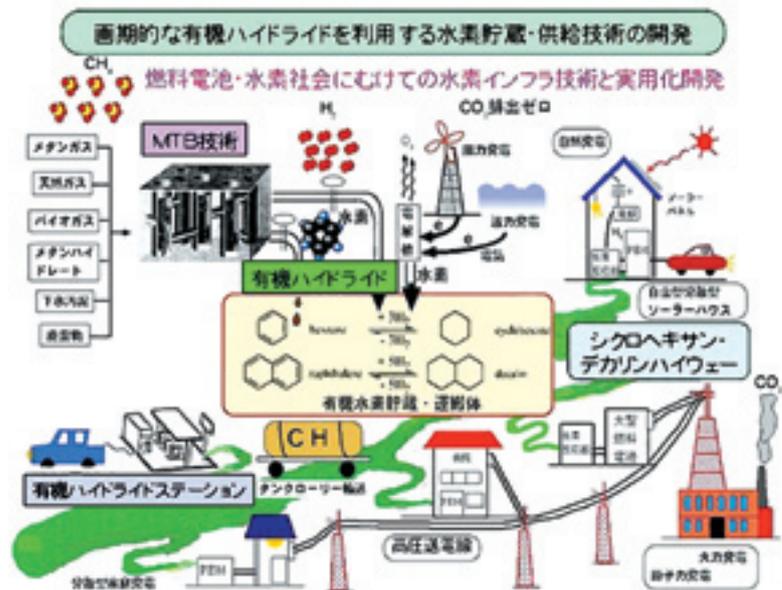
水素社会へのシフトにはある程度の時間がかかるとはありますが、水素インフラや燃料電池の普及を手掛かりにして、順調に進んでいってほしいですね。

まず自動車を水素エネルギーで

——ただ、燃料電池は家庭用の小型のものでまだ数百万円もするほど高価で、製造コストの削減が大きな課題です。燃料電池自動車など、きちんとコスト計算をすると1億円を超す値段とも言われていますが、そういうコストの低減化のためには何が必要なのですか？

市川 燃料電池自動車は高すぎてリース方式で提供されているのが現実です。早く通常の自動車のように100万円から200万円程度にまで下がらないと、普及は難しいですね。

燃料電池自動車が高いのは、開発費とかいろいろ理由がありますが、基本的には燃料電池自体の価格が高いという点ですね。今、燃料電池1キロワットあたりの価格は50万円から100万円というところなのではないでしょうか。自動車に必要な電力は70キロワットですので、燃料電池だけで数百万円のオーダーになってしまいます。テレビでは1インチ1万円が普及の分水嶺と言われていますが、



シクロヘキサンーデカリン・ハイウェイ

出典 市川勝「燃料電池自動車に向けての水素貯蔵・供給インフラ技術開発」
〔自動車技術〕vol.57 No.1 掲載論文

燃料電池では1キロワットあたりの価格を1～5万円台に持っていくことが絶対条件でしょうね。

燃料電池の価格を下げるには、水素と酸素を反応させるための触媒であるプラチナの価格がネックのひとつになっています。ただ、プラチナの価格は今後ますます高くなりそうで、プラチナレスの燃料電池触媒の開発が、我々触媒研究者の大きな課題になっているんです。

もっとも、技術的なブレークスルーで触媒や他の部材の価格を下げるというのは、私は10分の1から30分の1にするぐらいが限界だと思っています。そこから先は、普及で、つまり燃料電池の量産化で下げていくしかないでしょうね。そのためにも燃料電池自動車の普及が大きなポイントで、燃料電池自動車の普及には水素ステーションといったインフラの整備・普及が不可欠になります。

試算では、燃料電池自動車をガソリン自動車と同じように走らせるとすると、全国に約4,000箇所の水素ステーションを設置しなければならないと言われています。しかし水素ステーションを1箇所作るのに、2～3億円はかかる。それも容易なことではないですね。

ですから、なおのこと、有機ハイドライドのような既存の施設が使える、また設備投資が少なくてすむ方法を採用していく必要があるのです。

それと、やはり自動車業界や石油、ガスなどエネルギー産業界が、そして消費者自身も、水素社会化に向けて何らかの責任を果たしていかなければならないのかなとも思っています。たとえば「炭素税」のような形ですね。それを燃料電池や水素関連の技術開発、そして水素社会のインフラ整備の原資にするわけです。

温暖化などの環境悪化を防ぎ、地域の暮らしも都市の暮らしもより快適にする水素社会というものを実現するために、私たちみんなが広く薄く負担していくということが必要なのではないでしょうか。

——水素社会というのは夢と現実が交錯する構想なのですね。これまで3回にわたってお話いただき、ありがとうございます。MTB触媒、有機ハイドライド技術に続く、プラチナレス触媒などのご研究の進展をお祈りいたします。

(いちかわ・まさる)

(たかはし・こうき)

写真/円山幸志