

水素エネルギー実用化の道のり

—内田裕久



クリーンエネルギーは、ともすれば、遙か遠くの理想や空疎な目標の位置におかれる。しかし、実用化への着実なカタチが、ここにはある。

■内田裕久(うちだ・ひろひさ)

■東海大学 教授 理学博士
大学院工学研究科・工学部応用物理学科エネルギー工学専攻、工学部第二工学部学部長、知的財産委員会委員。
1949年東京生まれ。

1973年東海大学工学部応用物理学科卒業、1975年同大学院金属材料工学専攻修士課程修了、1977年西独シュタットガルト大学化学科金属材料専攻博士課程修了。(75~81年)西独マックス・プランク金属材料研究所研究員、1981年東海大学工学部講師、1990年同教授、(同研究推進部部長・未来科学技術共同研究センター所長を経て)2003年より現職。

主な研究:希土系機能性材料(水素吸蔵合金・超磁性材)、真空工学、薄膜技術、エコマテリアル、エコテクノロジー、産学官連携・技術移転。学会など:日本水素エネルギー協会副会長、国際水素エネルギー協会顧問、ユネスコ国際産学連携委員会日本代表委員、科学技術振興機構専門アドバイザー、日本希土学会理事、(財)本田財団理事、日経産業新聞 Techno Online コラムニスト他

受賞:91年中華民国材料学会特別講演賞(水素貯蔵合金)、92年文部大臣賞(ソーラーカー試作・レース成績)、97年日本希土学会賞(機能性材料としての希土系金属間化合物)、98年国際水素エネルギー協会賞(USA)(材料水素系分野における卓越した科学的功績)、98年ワールド・ソーラーカー・フリー・イン・アキタ未来賞(ニッケル水素電池搭載技術)、04年愛媛県西条市「自治功労賞」。趣味は山歩き、スキー。

水素の浮沈

地球上、水素は他の元素と化合した状態で、ほとんど無尽蔵に存在する。酸素と反応させエネルギーとして利用されるが、その際、燃焼によって二酸化炭素は発生しない。水だけが生じる。石油、石炭などの化石燃料は、酸素と反応し、完全燃焼すると、水、そして二酸化炭素を生じる。水素が、クリーンエネルギーとして大いに期待される由縁である。

ただ水素は、精製、電気分解などの過程を経て、はじめて取りだせる。そこには別途、エネルギーが投入される。状態そのまま、エネルギーを放出する、水力、火力、あるいは原子力などの根本的違いである。これらを一次エネルギーと呼び、他のエネルギーを使って取り出す水素エネルギーは、二次エネルギーと呼ばれる。

水素が広範な代替エネルギーとして浸透していくには、安価な水素製造法、取り出した水素の効率的貯蔵法が、ともかくも問われる。加えて、利用システムの開発、社会経済システムとの整合化までが必要とされる。要するに、一足飛びにクリーンな水素エネルギー社会を招来できるわけではない。

日本でも1974年、通産省のサンシャイン計画において、石油代替エネルギーとして、太陽光、風力、地熱、原子力とともに、水素エネルギー開発が本格的に着手された。

東海大学・内田裕久教授は、水素の効率的貯蔵法として、体積貯蔵密度を飛躍的に高める水素吸蔵合金を端緒に、ニッケル水素蓄電池、水素エネルギーの広域利用システムの開発など、水素のエネルギー利用に多角的に取り組んでいる。内田教授は言う。

「1970年代は、水俣病、イタイイタイ病の公害病問題が噴きだし、

日本はいままでのたれ流しに猛省を迫られていた時期です。当時、私の身近でも、自動車排ガスで、甲州街道の代田橋交差点なんてひどかった。おそらく日本一汚れた交差点だったでしょう。国外的には、73年に第四次中東戦争が起って、原油価格が1バレル数ドル程度から10ドル以上に跳ね上がりました。サンシャイン計画は、そんな背景でスタートしている。79年にはイラン革命で、1バレル30ドルもの大高騰で、もう日本は原油にふり回されっぱなしという年代でした」

ところが、期待され、本格的に乗り出された水素開発は、一気にしぼむ。中東情勢が鎮静、原油価格も安定化し、価格も下がった。日本のエネルギー事情は落ち着きを取り戻す。途端に、水素への関心が薄らいだ。内田教授によれば、ある学会での水素セッションが、あやうく消滅しかけたという。80

年代、水素は「そんな、高いもの」であり、実用化しようという気運は、急速に冷めていった。

それが、変わった。
「どこで、というと、92年のブラジルでの地球環境サミットです。日本は地球環境に貢献すべきという、国際政治の舞台で外圧を感じた。さっそく国は、太陽電池の促進をうたいました。民間も大いに力を入れた。国が後押しすれば、民間企業もコストのかかる事業にも取り組めるわけです」

93年には、通産省は新たにニューサンシャイン計画を打ち出した。計画には、カナダ、北米という日本より8~9割も電力料金の安い国で、水を電気分解し、取り出した水素を液化するなど日本にタンカー輸送するという、いたって具体的な構想まで盛り込まれている。しかし、この具体的構想が実現するには、新たなインフラ整備や要素技術の確立を待たねばならず、時間はかかりそうだ、と内田教授は言う。

一方で、燃料電池の開発が進んでいる。

中学の理科で経験するが、水の電気分解の実験がある。水に電気を流すと、正極に酸素、負極には水素が発生する。逆に、水素と酸素を結合させ水になる反応では、そこに電気が発生する。水素と酸素の結合で、連続的な電流を得ようとするのが燃料電池のしくみである。むろん、そこに発生するのは電流と水であり、二酸化炭素は生じない。クリーンエネルギーとしての燃料電池への期待は、とりわけ自動車業界で大きい。

90年代の燃料電池の開発に、内田研究室が少なからぬ弾みを与えている。ニッケル水素蓄電池を開発し、性能を検証していた時期である。それが、千回以上もの充放電

に耐えた。88年の6月から8月にかけて、新聞1面などで報道された。「その時でさえ、ニッケル水素電池の実用化なんてまだ先の話、大学の発明でしょ、と軽くあしらうようなコメントが上がってききました。ところが、後日、メーカーの知人に聞いて知りましたが、大学に先越されてどうするって、社内で檄が飛んだと」

ニッケル水素蓄電池は、97年にはトヨタ、ホンダの電気自動車用電池として、98年にはトヨタのハイブリッドカー『プリウス』の蓄電池としても搭載されている。限定販売も開始された燃料電池自動車の出現で、燃料電池は流行テーマと言えるほどになっている。

しかし、いまの燃料電池ブームは、少々過熱気味、と内田教授は見る。

「燃料電池自動車が、いまにもずらりと道路を走り回るような、広く販売されていくような印象がありますが、そうは行かないのが実状。まず自動車に積めば、燃料電池の耐久性はせいぜい1年。振動のない状態で使っても、保って3年。その上、電極にはどうしても白金を使う。水素と酸素をうまく解離するのに、触媒としていまのところ白金に代わるものがないので、これがわずかしかない。ある自動車メーカーによると、地球に有る白金全部かき集めても、50メートルプールをやっと満杯にするぐらいというぐらいですから。白金が尽きれば、あとのクルマは作れない。よほどのブレークスルーがない限り持続できないということです」

持ち上げられて、また無視されて、という水素に関わってきた内田教授には、流行現象のような時流には慎重だ。

「さんざん山も谷も見てきましたからね。ただ、水素研究者として、

燃料電池が注目される事自体は歓迎すべきで、我々としてはブームに翳りが射さないよう、水素吸蔵合金で応援しましょうとか、太陽電池や風力を使って安く水素を製造しましょうとか、周辺でとにかく支えていく」

水素吸蔵合金

1973年、内田教授が修士課程の金属材料工学科へ進学した頃、水素吸蔵合金という概念自体、まだあまり一般的でなかった。研究室の黄 燕清博士からは、「希土類元素-水素系熱力学的研究」、要するに水素と希土類金属との反応に関する研究として指導を受け、水素と金属の状態図作成という、当時あまり世界でも類を見ない仕事に行き会う。修士論文でまとめあげたこの状態図が、のち、世界の標準データとなっている。

修士課程修了後、西独マックス・プランク金属材料研究所研究員となる。テーマは同じ水素と希土類金属の反応である。ドイツ語が苦手だったから、と笑うが、ここで内田教授はひたすら反応データの採取に務めた。もっともそればかりでもない。同僚と体力づくりに励んだし、スキーにも行った。ワインも飲んだ。何より、かの地で伴侶に出会った。隣の研究室にいた博士課程のドイツ人学生が、その人である。2004年7月銀婚式を迎えた。

81年帰国、東海大学で水素吸蔵合金に集中して取り組み始めた。この頃になると、水素を効率良く吸収する合金の機能は、日本でもかなり注目されはじめている。

金属結晶格子間に、水素を吸収・放出する特性をもつ水素吸蔵合金は、1960年代に偶然発見された。腕時計やイヤホン、オーディ

オ機器などに使われる永久磁石の開発を進めていたオランダ・フィリップス社が、サマリウムコバルト合金のような強力磁石の開発に触発され、やはり希土類のランタンニッケル合金を合成したが、その磁性は期待外れであった。しかし、そこに現れた水素を吸収する能力には、俄然注目した。(※サマリウムコバルト合金も水素を吸収する。)

現在では、希土類のほか、マグネシウム系、チタン系ベースの合金も、水素吸蔵合金として利用される。さらに言えば、水素吸蔵合金の水素の吸収・放出反応は、可逆的であり、水素が放出されれば、また水素を充填するという、水素の貯蔵・取り出し媒体として利用できるということだが、その際、取り出しには加熱、吸収には冷却を必要とする。また、水素放出時吸熱し、吸収時放熱することから、ヒートポンプとしても使える。

内田教授は希土類ベースの水素吸蔵合金へ、一気に入っていった。希土類がもともとの研究対象であったからでもあるが、またもっとも吸収能に優れた材料でもあった。「希土類については、基礎も攻め方もよくわかっていました。これならリードできる、と。というのも、たいていの研究者が水素吸蔵合金はよく水素を貯める、これは良い、とそこから始める。機能だけを珍重して、みなさん基礎から調べない。本来、金属とガスの反応には攻めるべき方法がある。例えば、合金表面に水素分子が来たとき、本当に水素原子に解離して、内部に入っていくのか、この表面でのプロセスの分析が、非常に重要です。このあたりはマックス・プランク研究所で徹底的にやりましたから」

実際、表面プロセスの注視で、

新たな応用を拓いた例がある。東京都、鉄鋼関連企業、内田研究室による共同研究だが、発端は、送電線の鉄塔用に長らくストックされている鉄を、何とか有効利用できないか、で始まっている。

ここでは、鉄に、チタンを加え原料とする水素吸蔵合金が検討された。原料を微粒子化して、溶解し合金にする。だが、希土類と違い、鉄系の吸蔵材は、なかなか水素と反応しない。

「研究室のOBが都の産業技術研究所にいて、表面をナノ化してみました。反応を調べて欲しいというので、やってみると良いんですよ。じつは表面だけをナノ化すればいい、内部はそのままで吸収能力が飛躍するともわかり、早速、特許を取りました」

内田研究室では、水素吸蔵合金の研究が、超強力磁石、超磁歪(わい)材の開発にも展開した。フィリップス社の場合と、一見逆を行くようだが、希土類系のある種の合金に窒素を加えると、超強磁性が獲得できる。世界最強の磁石を目指した研究である。超磁歪材は、鉄やニッケルに磁場をかけると、ひずむ、という現象をもってマイクロマシンや宇宙機器のアクチュエータとしての利用を図っている。

さらに、水素吸蔵合金を基本技術に据え、広域エネルギー利用ネットワークシステム開発にも乗り出している。例えば、発電所廃熱によって、合金に貯蔵した水素を取り出し、工場や住宅備え付けのタンクに充填する。このときの放熱で、隣接して設置されたタンクから水素を放出させる。こんな循環で地域冷暖房を組み立てる。水素製造のための電力は、太陽光発電や風力発電機から摂り、エコエネルギーネットワークとしての構築を想定する。

愛媛県西条市での、地元・産・学の連携プロジェクトは、水素冷凍システムを基盤に、ゆくゆくは当地を瀬戸内食料貯蔵基地——関西の一大食料基地にしようという意欲的な地域活性化計画である。2002年から水素吸蔵合金利用の冷凍庫建設が着手されている。

瀬戸内といえば、温暖な風光を思い浮かべる。内田教授は、何より、水と食、と力説する。

「西条市の水は日本名水百選にも選ばれています。海から真水が吹き上げてくる。だから海辺といいながら、水が良いために半導体工場があります。西条市には水道がなくて、全部を湧水で賄っていて、ホテルでも蛇口をひねると湧き水が出てきます。地元の人はこの水をすごく大切にしている、せっきゃくの水を涸らさないように、絶対、ペットボトルにして売り出そうなんてしない。本当においしい水で、コーヒーメーカーの社長が、適度な硬度もあってコーヒーには最適、それも繊細な水出しコーヒーに使えると絶賛しましたね。農産物も素晴らしい。イチゴなんか、びっくりするような大粒なのが穫れます。魚は新鮮で、種類を問わずうまい。食の宝庫のようなところですが、地元の人はかえって気付かない。だから、私たち、関西から食のプロを呼んで、評価してもらいました。太鼓判を押されましたよ、文句なく関西の料亭に出せるって」

湧き出す14.5℃の水は、水自体は使わない。その温度によって、-20℃~-30℃の冷凍庫を稼働させる。先に触れた、水素吸蔵合金のヒートポンプとしての応用である。熱は臨海地域の工場や、あるいはゴミ焼却場の廃熱を利用する。「一般的に水素はコストがかかる、と言われる。それは、かかりますよ。しかしこのシステムはいい

たん水素を詰めたら、あとはキャッチボールで、消費なしです。あとは立地を活かして稼動していただくだけです。同じ容量でフロン型冷蔵庫と較べるなら、70%もエネルギーを節約できる。最初の1基だけ考えたら、それは高い、初期投資ですから、これはやむを得ない。それも、環境へのおおきなツゲがいずれ回ってくることを考えれば、勘定は合うはずです」

ゴミ焼却場も水素によってクリーンなイメージに生まれ変わり得る、と期待もしている。水素といえば、水の素、と内田教授は言う。地元ラジオなどにも出演し、西条市民になぜこのまに水素が相応しいか、そのクリーンエネルギーであることをPRした。

何よりこのプロジェクトで、内田教授はじめ推進メンバーは、地元実際に、「金を落とす」ことを主目的にした。いまさら大企業を誘致するようなことではなく、地元の力を活かし切って金が入るようにするのが地域活性化の基本、とは内田教授の弁である。

すでに現在は、冷凍庫の中身の検討に入っている。食の探索であり、これは内田教授にとって、うれしい作業でもある。

この稿を書いているつい先日、2004年10月19日、内田教授は西条市から『自治功労賞』を贈られた。

以上のようなかたちで、内田教授は自治体を動かし、水素の応用を進めているが、水素の基礎から応用にわたるその学識と経験は、国際的にも高い評価を受け、国際会議での招待講演は、すでに30回以上を数える。

FM 東海

「実際にソーラーカーをつくって、

水素蓄電池の能力を検証してみる。教育には、とても大事な作業です」

97年、秋田でのソーラーカーレースで、内田研究室チームは80台中13位に入った。開発したニッケル水素電池の性能を、実地に確認した作業である。

教育者として、「ミクロの世界は遭遇ですが、実際の世界はものが動きますから」、とも内田教授は語った。工学教育の在り方を、そのように言う。研究とその応用についてである。

話は飛躍するが、『ジェットストリーム』というラジオの番組がある。長く続いている。月曜から金曜の、夜中12時から55分間の番組で、TOKYO FMの放送である。聴いた人は多いと思う。内田教授は、大学生予備軍である高校生、あるいは父兄を前に、この番組について話す。その前に、多くの人が聞き覚えのあるあのイントロを流す。番組のPRではない。東海大学が、どんな大学かがこの番組との関係で円滑に伝えることができる。

TOKYO FMの前身は、国内初のFM民放局FM東海であり、東海大学の放送局であったことはまぎれもない。当時もいまも続いている番組が『ジェットストリーム』なのである。開局は、創立者松前重義博士の、生死をくぐった経験の賜である。

「大戦時、敗戦必至の確信から、開戦反対の立場に立った創立者は、懲罰招集で、フィリピンの最前線に送られました。幸いにも九死に一生の生還をされたのちは、日本の復興は教育にかかっていると、学校をつくり、また国民は本当の情報を知らされないといけない、と、遠隔教育と情報媒体としての放送局も、のちに開局したんですね」

大学の歴史はそのようにして語

られるのだが、そこにあるもう一つの歴史も貴重である。これらの費用の元手は、よく知られているように、創立者の、長距離多重通信を可能にした『無装荷搬送ケーブル』の発明に多く拠っている。さらにまた、1959年の放送局開局時、学生たちが夜な夜なアルバイトとして、FM受信機を作った、という経緯もあった。

書き手の勝手な想像だが、これらの事実によって、東海大学という工学部から出発した大学には、内田教授の言う「ものが動く、実際の世界」という感覚が、創立以来の伝統として脈々と受け継がれているように思えてならない。それは、別な言い方をすれば、現実化のプロセスである。それが教育に生かされ、翻って、内田教授の水素エネルギーの推進にも大きく生きているように思える。地域活性化の基本を「地元金に落とすこと」と明解なもの、この感覚の躍如たるところではないか。

最後、内田教授の原形を尋ねてみた。つまり、東海大学工学部長のこどもの頃である。

——算数が嫌いで、鶴亀算なんかで、しょっ中残されてました。

鶴と亀の足が何本で、何本見えていれば、何匹が飛び出したとかいう、あの算数である。動物好きのこどもで、と前置きし、

——どうも鶴と亀がいる沼地のような状景が浮かんできたり、亀が鶴に足を踏まれるとかの想像が湧いて。

困り果てた性格、と当時思ったかどうかまでは訊かなかったが、しかし、「それがあって、多分、いま材料屋をやっていると思う」と、そう内田教授は締め括った。

(文・後藤義満)