

2. 講演

①「水素社会実現に向けた課題と取り組み」

富山大学 研究推進機構水素同位体科学研究センター長 阿部 孝之

現代は石油や天然ガスを燃やしてエネルギーを作っている化石燃料社会である。CO₂ が排出されて地球温暖化や異常気象などを引き起こしているため、CO₂ を減らすことは世界的な喫緊の課題である。化石燃料の代わりに水素 (H₂) を酸素 (O₂) と反応 (燃烧) させれば水しか生成しないため、CO₂ を排出しないクリーンなエネルギー社会を作れる。CO₂ 対策には、この水素社会をつくらなければならない。



わが国の 2013 年度における CO₂ 排出量は約 13 億万 t であり、地球全体の排出量の 5~6% を占めている。中国やアメリカに比べれば、日本は省エネ技術が普及して相当削減されているが、このまま CO₂ を出し続けると、地球は人間が住めない星になる。パリ協定では、全世界で CO₂ 削減に取り組むこととなっており、日本政府も 2050 年までに 80% 削減する目標を打ち出した。もし、エネルギー源を化石燃料から水素に置き換えれば、この削減目標を達成することができる。次世代の子供たちのため、脱炭素 (脱化石燃料) 社会を目指すさなければならない。

脱炭素の鍵を握る水素ガス 輸送・貯蔵の技術開発が急務

すぐにでも水素社会を実現したいところだが、そんなに早くはできない。作った水素は輸送・貯蔵して消費地に持っていかなければならないし、水素を利用した機器が普及しなければならないからだ。こうした条件がそろって初めて水素社会が実現できる。石油や天然ガスは油田やガス田から掘り出せばいつでも使える。一方、水素社会で使う「水素」は分子状水素、つまり水素ガスであり、世の中にほとんど存在しない。また、世界中で大量に水素を作る工業もない。

現段階で使える水素は、石油精製、製鉄、ソーダ工業といったメインプロダクトを生成する過程で発生する「副生水素」だけである。日本では年間 150 億 m³ の副生水素が生成されるが、この量は燃料電池車 25 万台分で使い切ってしまう。運輸だけでなく他の産業でも水素に置き換えていかなければ、CO₂ 80% 削減は達成できないため、現状では水素が全く足りない。

水素製造にはいろいろな方法が提案されており、その中に触媒を使って化石燃料 (主に天然ガス) から水素を引き抜く方法がある。しかし、それには約 500℃ の反応温度が必要で、その熱は化石燃料を燃やして供給しなければならない。CO₂ を減らすために水素を作ろうとしているのに、その過程で CO₂ を排出しているのは本末転倒である。他の手法も類似の問題を抱えている。

さらに、仮に水素を製造できても、それを消費地まで輸送・貯蔵しなければならない。水素ガスを大量に運ぶには、圧縮して運ばないと効率が悪い。そのため、液化することが提案されているが、水素は非常に液化しづらい物質 (液化温度 -253 ℃) である。また、

輸送・貯蔵中もこの温度を維持しなければならない。そのため、大量な電力を必要とし、これも CO₂ を新たに排出するプロセスを含んでしまう。

つまり、水素をそのまま輸送・貯蔵するのは現実的ではない。そこで、水素をある化学物質と反応させて非常に安定した物質に変え、その物質を輸送・貯蔵する「水素キャリア」という概念が新しく生まれている。しかし、これも概念の域を越えておらず、水素が仮にどこかで大量に製造できたとしても、運ぶ方法がないのが現状である。



水素の利用については、トヨタやホンダが燃料電池車（FCV）を開発しているが、車体価格が 1 台約 700 万円もする。政府は 2030 年までに年 80 万台の燃料電池車を販売する目標を立てており、累計約 200 万台の燃料電池車が走ることになるが、現時点では 200 万台を支えるだけの水素はない。富山県には水素ステーションさえないため、いまだに 1 台も FCV が売れていない。水素社会を実現しなければ地球全体が終わってしまうので何とかしなければならないのだが、いろいろな問題が山積みの状態なのである。

ナノ技術を使った触媒を開発 高性能の水素キャリア製造へ

その中で、私たちは触媒技術が水素社会実現へのキーになると考え、高い性能を有する触媒を調製する研究を展開している。

触媒の調製法は昔から同じで、ウェット法と呼ばれる方法である。触媒活性点となる錯体を水に溶かし、その溶液中に担体（微粒子材料）を入れた後、ろ過・洗浄を経て、最終的に還元することで、触媒と呼ばれる材料になる。しかし、この方法では触媒設計を厳密に制御することが難しく、私たちはウェット法を捨てた。

その代わりに注目したのは水を使わないドライ法（スパッタリング法等）であり、その手法を用いて調製したナノ触媒である。なぜナノ触媒に注目したのか？例えば金のインゴットは 1063°C で融解する。融点とは、材料を決めれば一義的に決まる物質固有の値であるが、ナノサイズまでどんどん小さくすると融点は変わってくる。例えば 2 ナノメートルの金は約 100°C で溶けるのである。つまり、融点が変わったということは物質が変わったということになる。私たちはナノ材料が作り出す、「ミラクルさ」に着目し、それを用いた高性能触媒を開発することで水素社会の実現を目指すことにした。

現在は、水素キャリアに対する高性能なナノ触媒を作るための研究をしている。キャリアとは、水素を何かと反応させて安定な物質を作りだし、それを輸送・貯蔵する概念である。例えば、CO₂ と水素を反応させて天然ガスの成分であるメタンを作ることができる。

メタンは我々の日常生活で都市ガスラインやパイプラインといった既に整備されたインフラを通して使っている。そのため、インフラの観点からメタンは優れた水素キャリアであるが、問題は水素と CO_2 を反応させるために 400°C 以上の反応温度が必要であり、この熱を供給するため電力や化石燃料を使わなければならないことである。

CO₂ 排出ゼロで水素生成 富山型水素社会の実現が可能

そこで、メタンを何とか低温で生成させるために、われわれはドライ法であるバレルスパッタリング装置を独自に開発し、これを用いたナノ触媒を調製した。従来のウェット法による触媒と比べると、ナノ粒子か、大きな粒子かという違いだけだが、 CO_2 と水素を反応させると劇的な違いがある。従来触媒では 400°C の熱をかけることでほぼ 100% 反応が進行するが、ナノ触媒では約 150°C で 100% 反応した。この結果はナノ触媒が高性能の水素キャリア用触媒になることを見つけたのである。 150°C 程度であれば、工場が無駄に捨てられている中低温領域の未利用排熱を使うことができ、新たな CO_2 を排出するプロセスを含まないゼロ CO_2 エミッションが可能になる。

富山には黒四ダムに代表される水力発電が充実している。かつ、今はまだ電力になっていないが、地熱は立山周辺などに全国第2位の埋蔵量があり、 CO_2 を排出しない電力が得られる。水は富山湾に豊富にあるので、 CO_2 を排出しない (CO_2 フリー) 水素を、これら自然エネルギー由来の電力から作る (電解) ことができる。また、高岡地区には水



酸化ナトリウムを作る工場も集積しており、そこでは副生水素という今はまだ使い道のない水素がたくさん生み出されている。これらを水素源として中低温の排熱を使って反応させれば、全てのプロセスにおいて CO_2 を発生させずにメタンを作ることが可能になる。そればかりか、 CO_2 を固定化して温暖化を防止できるため、持続可能な地球を目指すことができる。これが富山型の水素社会である。

富山にはいろいろな自然が豊富にある。エネルギーは生活する上で不可欠なものであり、環境を考えたエネルギー利用を富山から発信していくことは、非常に意義があるとわれわれは考えている。