

水素エネルギーと核融合エネルギー

九州大学応用原子核工学科 深田 智

水素エネルギー関係者が参加する水素エネルギー協会誌なので、まず私の水素エネルギーへの関わりを、水素エネルギーと核融合エネルギー（広い意味で原子エネルギー）との接合点を中心に、読者の広場に寄稿します。私の専門は原子力化学工学であり、現在は核融合炉の燃料サイクルを材料物性にもとづきながら、物質移動と熱移動の量と速度をキーワードに装置やシステムの性能を評価・改良する研究をしています。簡単に核融合炉燃料サイクルを説明しますと、次世代エネルギー発生源の一つと数えられる核融合炉において、燃料の水素同位体（重水素とトリチウム）を高温プラズマ状態で燃焼し、その後、プラズマ排気、不純物除去、トリチウム回収、水素同位体分離、燃料貯蔵、燃料再注入からなるシステムが水素同位体燃料サイクルであり、これを炉の運転時に確立する必要がある。核分裂炉では燃料サイクルが循環していても炉の運転は可能だが、核融合炉では燃料サイクルの確立が必須となる。

ではなぜ水素エネルギー協会に参加するかと言えば、水素エネルギー関連技術は核融合炉燃料サイクルと共通する技術が多いことと、水素エネルギー工学との共同作業が見込めることの二点を挙げたい。第一点目の共通技術に関して言えば、水素同位体精製・不純物除去にパラジウム透過管を用いたり、水素同位体燃料貯蔵にウランやジルコニウム系合金を用いること、不活性ガス流からの連続的なトリチウム回収に金属・合金粒子充填層を用いること、触媒で酸化し、吸着回収したトリチウム水蒸気を固体電解質水蒸気電気分解することは、核融合炉の燃料サイクルにも利用できる技術であり、固体電解質電解以外の単位操作は私も実験と解析をおこなってきた。それ以外にも私は、Pdや $\text{LaNi}_{5-x}\text{Al}_x$ 粒子の充填層を用いた水素同位体分離の研究もおこなっているが、いずれの単位操作も、ものを分離する作業と考えれば水素エネルギーで研究しているものと同じとみなせる。見ている現象は同じで、回収レベルで考えて、ガスクロマトグラフィで測定できない濃度を対象にしている点が異なっているにすぎない。

第二の理由の共同作業という点で言えば、水素はいわゆる"地球にやさしい"エネルギー源であり、現在もっとも囑望されているエネルギー源として、WE-NET計画の中心的作用媒体である。炭酸ガスを排出しないもうひとつのエネルギー源である、原子エネルギーと協同作業をおこなえば、一次エネルギーと二次エネルギー、定置エネルギー源と可搬的エネルギー源、大規模エネルギー発生装置と小規模エネルギー源、などの両者の違いを組み合わせた協調作業ができ、水素エネルギーと核融合エネルギーが共存発展する可能性が高いと考えられるからである。この考えは多くの原子力関係者が共通に考えているものであり、本会に参加している日本原子力研究所、特に高温工学試験装置の研究チームが推進する、ISプロセスによる高温熱化学サイクルによる水素発生装置の開発や、高品質の熱を発生するための高温ヒートポンプは水素エネルギーと深く関係し、水素エネルギーと連携することで両者の特質をいかした開発ができる。

さらに水素エネルギーと核融合エネルギーの接合点を安全性をキーワードに考えてみたい。核融合炉燃料サイクルの構成要素の一つ一つの作業にはそれなりに解決すべき問題が多いが、通常の作業ときわだって異なる点は、水素同位体であるトリチウムを系外への排出基準で、 90Bq/cm^3 （モル分率にすると 2×10^{-9} ）以下までのごく低レベルに維持するという安全面からの必要条件を満足しなければならないことにある。といっても実際上、この基準を満足するのに神業的な技術あるいは経済性にあわない技術は必要でない。例えば、燃料排気に液体ヘリウム冷却クライオポンプ、

不純物除去にパラジウム透過管あるいは、ウラン高温トラップ、トリチウム回収に、触媒酸化した後に固体電解質電気分解あるいは還元触媒、燃料貯蔵にZrCoベッドをそれぞれ用い、固体ペレットで燃料再注入するというシナリオで現在のところ十分基準を満足できると考えられる。これらをきちんと設計し、がんばって運転すれば何とかなるプロセスだと思う。問題は、これらのシステムが規模が大きくなっても本当に大丈夫か、いつまでも大丈夫かと問われたとき、絶対大丈夫と答えるには少し逡巡してしまう点にある。それに応えるには、作って確かめるしかない。大学における研究は、あまり足元を見ても評価されず、10年先かそれ以上を見越した先駆的な研究が要求されるので、同じ事を繰り返すことはせず、新規でかつより安全確実な操作法を求めて、日夜研究することで活路を見いだしている。そのあたりのジレンマをうまく解消して実験や計算が成功すれば結果がでる。現在核融合研究は、大型プロジェクトに移行しつつあり、最近の話題は来年度にその実施計画が決まる、世界の次期計画実験炉ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) を日本に誘致することであり、関係者の努力がなされているところだ。この炉では日本や世界がいままで経験したことの無い大量のトリチウムを安全に取り扱う必要があり、また燃料サイクルやトリチウム閉じ込め回収に関しては、大型化と経済性を両立するのにまた別の燃料サイクルのシナリオが必要になると思う。大型装置では、事故は禁旨である。小さな事故は周辺への影響が小さいけれども、大型装置では大問題となるので、安全性の検討はさらに重要となる。

一方、水素は大気中にも約100ppm程度存在し無害である。ニッケル水素化物電池のような利用では問題ないが、ヒートポンプ、水素自動車あるいは民生用に燃焼エネルギーとして高圧で利用する場合、水素脆性や衝撃で材料にクラックが形成する可能性があり、もし水素がもれたとき、爆発限界の4~75%範囲にあれば、爆発の危険性がある。従って装置を防爆構造にする必要があるが、もっと重要な点は水素は集約して利用せず、小型分散化し、利用者が広範囲になると期待されるので、利用者の安全取り扱いの周知徹底がさらに必要となることにあるだろう。

ある技術体系が生まれ、発展、成熟していく過程を経る。核融合反応の発見の後、プラズマ実験がおこなわれ、現在は一応トカマクと慣性爆縮が抜きでているが、その先の炉形は、D-³He核融合も含めて考え、これから核融合エネルギーの将来を検討する。核融合エネルギーが、上の過程のどの段階にあるかではなく、新しい技術革新があれば常に発展する方向にある事を言いたい。原理発見より後の利用段階の幾多の発明によって、安全性や経済性にもとづいた方向性の再確認があり、あらたな発展が始まる。水素エネルギーで考えれば、例えば燃料電池の最初の発見はかなり古いが、宇宙ロケットにおける利用が起爆剤となり、その後、関係者の努力の結果、多くの技術的ブレイクスルーが達成され、工業的利用の段階に至っている。水素自動車も、試作車が作られては改良された後、市販される時代になった。そこには多くの英知が集積していることだろう。しかし水素エネルギーの指導原理が確立したかという点、水の光分解法や生物分解法には、未知の水素エネルギー発生原理が隠されている気もする。水素エネルギーは、多様性を含みながらも未来のエネルギー源として囑望され、サンシャインプロジェクト等の大規模な研究を経て、現在WE-NET計画を実施している。これほど囑望されている水素が、なぜ石油にとって代わらないかが不思議でならないが、安全性、経済性と水素利用に関わる基盤整備が進まないからという答えがよく返ってくる。石油や天然ガスに代わる可搬的なエネルギー源になるには、安全性を大きく進展させる革新利用技術がさらに必要とされていると思う。

Hydrogen Energy and Nuclear Fusion Energy

Department of Nuclear Engineering, Kyushu University,

Satoshi Fukada

It is described in this short note how technology in the hydrogen energy system is applied to the research and development of a nuclear fusion reactor. Hydrogen permeation through palladium, hydrogen storage in metallic particles, hydrogen isotope separation, hydrogen purification and so on are cited as examples.