

エネルギー危機と水素社会

大塚正雄** 高比良秀彰** 南部幸久**

Energy Crisis and Hydrogen Refueling Society

Masao OHTSUKA, Hideaki TAKAHIRA, Yukihiisa NANBU

1 はじめに

エネルギー問題を議論する上で行き着くところは、(1) 供給面からは資源の枯渇であり (2) 消費面からは炭酸ガスの排出からくる環境問題である。産業革命以降、人類はエネルギーのほとんどを化石燃料に頼ってきたが、この二つの理由で脱化石燃料を図ることが焦眉の急となっている。さらに、最近の BRICs 諸国の急激な経済発展、および、地球温暖化を考えるとこれまでの脱化石燃料化のタイムスケジュールを大幅に前倒しする必要にせまられている。本稿ではいずれ枯渇するであろう化石燃料の次には、水素をエネルギー源とする水素社会が到来することを述べる。次に、水素社会で水素を得るには、夜間余った電力を水素製造に用いるべきであると提案する。一方、このために必要な電力は炭酸ガスを排出しない原子力発電で賄うべきであり、原子力に力を入れるべきであることを述べる。さらに我が国にとって好都合なのは、原子力エネルギーは純国産エネルギーであり、資源小国の我が国では最も適した発電方法であることを述べる。しかしながら、我が国では原子力発電に適した土地が少なくこれを解決する手段として、地下に原子力発電所や揚水発電所を建設すべきであることを提案する。最後に、水素社会を実現するための技術課題を予測し、最大の課題がレアメタルの確保にあることを述べる。

2 化石燃料枯渇と将来のエネルギー源

エネルギー源は一次エネルギーと二次エネルギーに分類される。一次エネルギーは石油、石炭等のエネルギー源を指し、二次エネルギーは一次エネ

ルギーを何らかの形で変換したものを指す。多くの場合二次エネルギーは電力、水素を指し、それ以外(化石燃料など)は一次エネルギーと考えることができる。将来はエネルギーの面から見ると電力社会と水素社会になるであろう。すなわち、二次エネルギーのみを用いた社会になるであろう^{1),2)}。

さて、電力社会は現在の社会の電力使用の状態の延長線上を考えればそれほど想像に難くない。問題は水素社会であろう。水素社会になる最大の理由が燃料電池自動車の実用化である。問題は電力と水素を我々はどこから得るかということに帰する。一次エネルギーである化石燃料の枯渇を考えると移動体はすべて水素を用いた方式になると考えられる。現時点では、この水素は石油、天然ガスおよび石炭の化石燃料がまだふんだんに使えるので化石燃料からの改質が考えられている。即ち、燃料電池自動車はガソリンタンクを搭載し、ガソリンから水素を取り出す改質器を搭載するようになると考えられている。この方が、ガソリンスタンドなどのインフラがそのまま利用できるのも、近未来的には経済的と考えられている。

第1表 化石燃料及びウランの埋蔵量と可採年数

	埋蔵量	可採年数
石油	1 兆 195 億バレル	43.0 年
天然ガス	144 兆 m ³	61.6 年
石炭	1 兆 316 億トン	231 年
ウラン	451 万トン	73 年

世界エネルギー会議資料より

* 原稿受付 平成 19 年 10 月 3 日

** 佐世保工業高等専門学校 電気電子工学科

しかし、化石燃料はいずれは枯渇するものとして対策を立てておく必要がある。このことを詳しく調

べるため、第1表に石油、石炭、天然ガス、ウランの埋蔵量と可採年数を示す。石油で43年、天然ガスで61.6年、石炭は埋蔵量が比較的多く231年、またウランが73年である。可採年数は現時点での年間採掘量を基準に割り出したもので、最近のBRICsなどの経済発展を考慮すれば年間の採掘量が多くなり可採年数がこれより短くなることが予想される。

従って、将来の水素供給源は、石炭からは継続的に水素をとることができるものの³⁾脱石油、天然ガスを真剣に考える必要がある。ここで結論から先に述べると将来の水素社会は、水の電気分解によって水素を得る社会になるものと考えている。このため、将来の電力は何によって賄われるかという問題に帰するが、京都議定書などを考慮すると将来の電力は原子力により賄われることになる。ただし、第1表からウランもそれほど可採年数はそれほど多くなく、高速増殖炉が実用化されるまでは、プルサーマル発電⁹⁾などを行いできるだけウランを大切に使う必要がある。

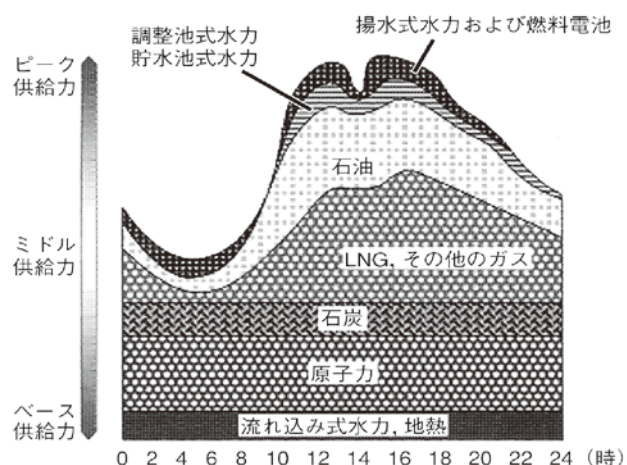
2 水素社会と電力社会

将来水素社会が到来すると、水の電気分解によって水素を得る水素社会になるであろうことを述べた。第1図は電力の日負荷曲線即ち1日の負荷変化により電力をどのような割合で発電しているを示す図である⁴⁾。周知のように電力は貯めることができないので、使用する電力と同じ量の電力を常に発電する必要がある。しかしながら、深夜の0時頃から早朝の6時ぐらいの間には、電力の需要が少なく逆に午前10時ぐらいから夜の20時ぐらいの間は電力需要が多くなっている。

第1図から、原子力は我が国では出力調整が許されていないので、基本的には一定出力で運転するベース供給力である。

石油、LNGはいずれ枯渇するので原子力の割合を増やしたいが、原子力の割合を増やすと夜間の電力需要より原子力発電の発電電力量が多くなることになる。現状でも、四国電力、九州電力では原子力発電の発電割合が多くなっているためこれら二つの電力会社は苦慮している。九州電力は揚水発電を多くする方法でまた四国電力は伊方原子力発電の出力

調整をおこなう方法で解決しようとしているが原子力発電の出力調整はチェリノブイリ原子力発電所の事故以来我が国ではタブーとなっている。ちなみに、フランスは原子力発電の割合が約75%で、これだけ原子力発電の割合が多いと出力調整を行わざるを得ないので、出力調整を行って解決している。しかしながら、原子力発電で出力調整するとその分利用率が下がるので、出来るだけ一定運転をして利用率を上げることが望ましい。



資料：電気事業連合会資料に加筆修正

第1図 電力需要と発電方式の割合
(日負荷曲線)

なお、石炭火力は出力調整が可能であるが、炭酸ガスの排出量が多くなるなどの環境問題があり、石炭火力を増やす事はあまり得策ではない。特に、京都議定書で述べられたように、炭酸ガスの排出量削減は焦眉の急である。

エネルギー危機や炭酸ガス排出量削減を考えると、原子力発電の割合を増やさざるを得ないが、原子力発電は出力調整が不可能である。このため深夜に余った余剰電力を利用して水の電気分解をおこない深夜に水素を製造しかつ貯蔵し、この水素を昼間の電力需要の多いときに、車や列車を運転する運輸需要に使えばその分電力のピーク需要をカットできるので、電力需要の平滑化を図ることができる。同じようなことを蓄電池を使ってもおこなえるが、膨大な量の蓄電池が必要となり経済的にあまり得策ではなく技術的に可能であるのに実用化されていない。燃料電池の技術が確立されれば、水素は貯蔵タンクさえ確保すればいくらで貯蔵できるので、経済的なエ

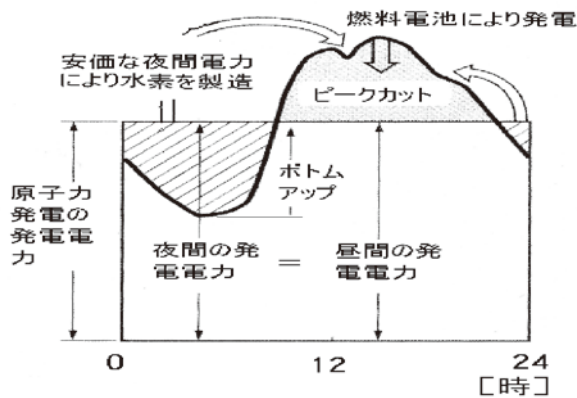
エネルギー蓄積システムの構築が可能である。

3 電力貯蔵方式

電気分解による水素を貯蔵し、必要なときにこの水素を使用して燃料電池により電力を発生させるのは一種の電力貯蔵と考えることもできる。ここでは参考までに、各種電力貯蔵の効率比較をおこなう。第2表は各種電力貯蔵方式の効率比較である。

第2表 各種電力貯蔵方式の効率比較

貯蔵方式	貯蔵効率(%)
揚水発電	65~70
蓄電池(鉛)	75~80
フライホイール	85
圧縮空気貯蔵	70
超伝導マグネット	93~97
水素貯蔵	40~43



第2図 電力日負荷曲線を用いた原子力発電による水素製造の考え方

ここで、水素貯蔵方式はリバーシブル燃料電池で我々が実測して得た値で、この値が最大値であるということではない。この程度の値は確保できているということでは理解願いたい。その他の値は⁵⁾参考文献から引用した。他の方式と比較すると水素貯蔵方式は極端に効率が悪いが、貯蔵効率を向上させることが今後の課題であろう。ただし、今後水素社会になると水素は無尽蔵に蓄えられるインフラが整備できると考えられるので最も有望な電力貯蔵方法である。この貯蔵技術が確立されると、夜間の電力を利

用して水素を製造および貯蔵し、昼間水素スタンド（ステーション）で水素を販売する時代がくるであろう。

なお、化石燃料を用いる火力発電の割合を0%まで減らせば、すなわち電力の原子力化率90%以上とすることができれば、電力向けに使われている輸入化石燃料が大幅に削減できる。第2図にこの様子を示すが、夜間原子力発電の発電量が、負荷より多くなるので水素製造用として利用し、すなわち需要のボトムアップを図り電力の需給バランスをとる。夜間製造した水素を自動車輸送および鉄道輸送用に賄えば、炭酸ガスを発生する化石燃料に全く頼らない水素社会が実現できることになる。貴重な化石燃料は工業化学向けの原材料用として、大切に利用すべきである。

なお、夜間得られた水素は、昼間の電力発生用に利用してもよいが、第2表に示すよう貯蔵効率があまりよくないことと燃料電池はロードフォロイング特性に難点があるので、昼間電力は揚水発電やダム式水力発電に頼った方が得策である。ここで提案する原子力発電に頼る水素社会では、昼間揚水発電や貯水池式水力発電によって電力を賄うので、揚水発電が現在以上に重要な地位を占めるようになる。このことは7項の地下原子力発電所の提案で詳しく述べる。

4 我が国のエネルギーの安全保障と原子力発電

ここでは原子力発電が我が国のエネルギー安全保障につながることを述べる。我が国では一次エネルギーの40%以上が電力用として使われている。さらに、この電力の約30%が原子力発電で賄われている。資源小国である我が国では、国家の戦略上原子力の安全確保を大前提に原子力発電を継続的に進めている唯一の国と言っても過言でない。この理由は化石燃料に比べ重量比で4万~10万分の1の燃料ですみ、これは燃料の輸送や貯蔵がしやすくなる為である。さらに、原子力発電は一度使った燃料をリサイクルできるという大きな利点があり⁶⁾、このリサイクルを行えばより安定して電力を供給できることになる。このことについて詳しく説明する。

天然ウランにはウラン235(含有率0.7%)とウラン238(含有率99.3%)で構成されている。現在の原

子力発電で用いられている原子炉の主力は軽水炉で燃料として利用出来るのはウラン 235 である。使用済み核燃料は 99.3 %含有しているウラン 238 のほとんどが未利用のまま原子力発電所にストックされている。

第 3 表 原子炉によるウラン資源の利用率の比較

利用法	ウラン利用効率 (%)
軽水炉 (ワンスルー) *	0.5
高速増殖炉を用いる 核燃料リサイクル	60 程度

* リサイクルしない場合

文部科学省「高速増殖炉もんじゅ研究開発の意義と必要性」より
高速増殖炉を用いるとウランの利用効率が 100 倍以上になっている。

第 3 表に示すよう現在の軽水炉ではウラン 235 を 100%利用しているわけではなく燃え残りがあるので天然ウランとしての利用率は 0.5 %程度にすぎない。この利用率 0.5%で可採年数を計算すると、第 1 表に示す 73 年になる。使用済みの燃料を現在開発中の高速増殖炉を用いる核燃料サイクルとすると天然ウランの利用率が 60%まで向上する。すべての原子炉が高速増殖炉におき代わると仮定すると、第 3 表に示すようウラン利用率が 0.5%から 60%に 100 倍以上に向上するので、天然ウランの可採年数が 73 年から 7,300 年に伸びることになる。我が国にとって好都合なのは、このように使用済みの核燃料が高速増殖炉で再度利用できる点である。例えば、100 万 kW で 30 年間運転して得られた使用済み核燃料を高速増殖炉に用いると、100 万 kW の発電を 100 倍の 3,000 年間にわたって運転することができる。我が国で現在運転中の原子力発電の総出力は 4,822 万 kW であるが、これを 1 年間にわたって運転すると同出力発電量を 100 年分賄える原子力燃料を生産していることになる。この意味で、天然ウランを全く算出しない我が国で原子力エネルギーが純国産エネルギーといわれる所以である。これほど有益な原子炉であるにもかかわらず、高速増殖炉の開発を行っているのは我が国のみで、我が国以外の国はその技術的困難さのため開発をあきらめている。我が国では、21 世紀中葉以前まで

に開発、実用化することを目標に、福井県敦賀市にある「もんじゅ」⁹⁾で発電プラント信頼性実証試験の再開に向けて準備が進められており、出来るだけ前倒しで実用化することが期待される。

6 我が国は原子力大国

原子力エネルギーを用いて水素を製造するためには我が国が世界で最も優れた技術を有しており、この面で水素社会に先鞭をつけるべきである。

ここで、世界的に原子力発電の状況を設備容量で見ると 1 位が米国で出力 10,274 万 kW、2 位がフランスの 6,602 万 kW、3 位が日本の 4,822 万 kW である。しかしながら、1979 年 3 月 28 日に発生したスリーマイルアイランド原子力発電所事故以来米国では原子力発電所の建設をおこなっていない。さらに、追い打ちをかけたのが 1986 年 4 月 26 日に発生したチェリノブイリ原子力発電所の事故である。これら二つの事故により、先進国と呼ばれているほとんどの国は、我が国を除いて原子力発電所の建設を全く行っていない。これだけ長い間建設を行なわないと、技術の伝承が出来ないので、今度アメリカで 30 年ぶりに原子力発電所を建設するが、アメリカのメーカではなく我が国の東芝が建設の受注を請け負っている。これは、我が国が原子力発電の建設を継続し技術の伝承、蓄積を行った成果である。

第 4 表は計画中の原子力発電所の出力の国別順位を示す。この表からも明きらかのように、先進国はほとんど建設の計画がなく、アジア諸国が多い。我が国ではこれだけ多くの原子力発電所を計画しているにもかかわらず、本格的な水素社会には発電容量的には遙かに不足する。

第 4 表 世界の原子力発電の計画の現状

順位	国地域	計画中出力	基数
1	日 本	1,273.5	9
2	中 国	630	7
3	韓 国	560	4
4	インドネシア	400	4
5	ブルガリア	200	2
6	カザフスタン	192	3
7	エジプト	187.2	2

単位 万 kW

文部科学省発行：世界の情勢と原子力エネルギーより（2005 年末現在）

7 地下原子力発電所の提案

原子力発電が我が国のエネルギー安全保障に役立つためには、原子力発電そのものの信頼性を高める必要がある。東京電力柏崎刈羽原子力発電所のように1ヶ所に集中しすぎると、地震被害で休止した時の影響が甚大となる。このような大規模な原子力発電所が長期間休止するとエネルギー安全保障に役立たないので、出来るだけ分散して建設する必要がある。ところが、わが国では国土が狭く発電所の建設場所を探すのが難しい。この問題を解決するため、原子力発電所を消費地に近いところの地下数百 m に建設することを提案する。地下に原子力発電所を建設すると、莫大な建設費用を要するものの放射能もれの影響や、地震の影響も緩和できるし、テロ対策上も好都合である。最大の難点が冷却水の確保が難しい点であり、地下での冷却水の確保が地下に原子力発電所を建設するための重要な要件である。

地下で冷却水を確保するため、地下揚水発電所⁷⁾を建設することを提案する。3項で水素社会になると、揚水発電所が大きな役割を果たすことを述べたが、揚水発電を行いながら廃熱処理を行うことが一つの解決する手段である。この場合、大量の冷却水を確保する観点から上部貯水池を海水とする海水地下揚水発電所となるが、冷却水とのからみもあり有効落差をどの程度にするかが研究課題となる。例えば、有効落差を大きくすると、地下貯水池の容量が小さくて済むが、この場合の揚水発電は原子力発電の廃熱処理が主目的であるので、原子力発電の出力によって有効落差、地下貯水池の容量が決まる。このように、原子力発電所と揚水発電所を一ヶ所に建設すれば冷却水の確保と、電力調整が同時に出来るので一石二鳥である。現状では、原子力発電所の地下建設を行うことは技術的および経済的に困難であるので、将来の地下原子力発電所を念頭に置いた100万kW規模の地下揚水発電所のを建設を行い、経済的可能性や基礎データの蓄積を行うことを提案する。なお、核廃棄物の最終処分場を地下に建設するだけで、反対運動が起こる核アレルギーをもつ国民性であるので、原子力発電の安全性の啓蒙活動をこれまで以上に真剣になって取り組む必要がある。

8 水素社会に向けた水素導入計画

ここでは我が国で水素社会がどのような工程表で導入されようとしているかについて述べる。まず、水素社会の到来のシンボリックな存在である燃料電池自動車の導入計画についての概要を述べる。

第5表は燃料電池実用化戦略研究会がまとめた期待される導入目標を示す。このように意欲的な導入目標値が設定されており、時期的な目標はアメリカより10年、EUより15年程度早く実用化する計画となっている。

第5表 我が国の燃料電池導入目標

	2010年	2020年	2030年
燃料電池自動車 (万台)	5	500	1,500
水素ステーション (箇所)	500	3,500	8,500
定地用燃料電池 (万kW)	210	1,000	1,250

燃料電池実用化戦略研究会 2004年3月報告書

第6表は2010年から2030年にかけて、定地用と自動車用燃料電池向け水素の需要予測を示したものである。ここで、Nm³ はノルマル立方メートルのことで0℃、1気圧の状態の体積である。第6表より定地用は2020年でほぼ飽和するが、自動車用は2020年から2030年にかけて大きく増加している。

第6表 水素需要予測

	2010年	2020年	2030年
燃料電池自動車用	4.3	65	170
定地用燃料電池用	56	218	286

単位 億 Nm³

さて、本稿では原子力発電により深夜余った電力を用いて水の電気分解で水素を得る方式を提案したが、水素生成について各国の計画の現状について、日本、アメリカ、EUの水素エネルギー導入計画を概観する⁸⁾。

- (1) アメリカは長期的な水素源として、国産資源である再生可能エネルギー（水力、風力、太陽エネルギー及びバイオマスエネルギーを

指す)、石炭および原子力を重視している。

(2) EU では石炭を除外し、再生可能エネルギーならびに原子力エネルギーを最終的な水素源としており、「脱炭素化」を明確に打ち出している。

(3) 我が国では長期的な水素源を限定していない。しかしながら、原子力発電所を 1 基建設するだけで、30 年程度要することを勘案すると早急に水素製造方法を特定し計画を立てるべきであろう。我が国は、太陽電池の生産量が世界一であるにもかかわらず、残念ながら我が国では土地が狭いため再生可能エネルギーは水素社会では補助的役割しか果たすことができず、今後とも主エネルギー源には成り得ないであろう。

つぎに、水素製造場所はオンサイトタイプとオフサイトタイプの二つに分けることが出来る。オンサイトとは水素ステーションまたは需要家側で水素を製造する方式である。オフサイトとは水素製造を大規模工場で製造し、水素ステーションまたは需要家までボンベまたはパイプラインで輸送する方式で現在の都市ガスと同様の方式である。日本及び EU ではオンサイトとオフサイトの両方の方法を想定している。これに対してアメリカはオンサイトタイプすなわち水素ステーション側で水素を製造する方式をメインに考えている。

9 燃料電池を搭載した移動体の構成

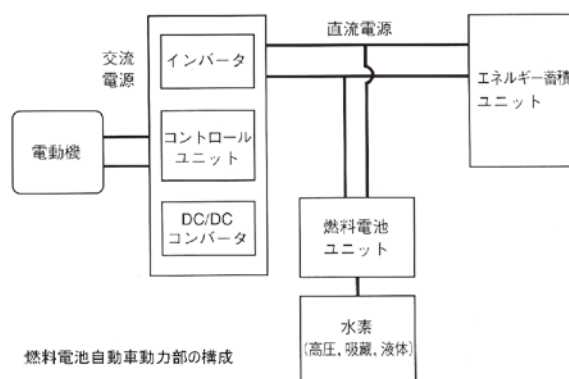
水素社会になると燃料電池を搭載した自動車や鉄道などが用いられるに考えられる。ここでは移動体用のシステムに限定しその基本的構成を示し各部の課題について説明する。第 3 図にシステムを示し、以下に必要性や技術課題を順次説明する。

(1) 燃料電池ユニット

燃料電池は (a) 固体高分子形、(b) リン酸形、(c) 熔融炭酸塩形、(d) 固体酸化物形などが考えられる。このうち移動体用の燃料電池は (a) の固体高分子形燃料電池で自動車用などにはこの固体高分子形の燃料電池が本命視されている。この固体高分子形は 100kW 以下の比較的小さな発電能力のことが多い。

一方 (b) ~ (d) のリン酸形、熔融炭酸塩形および固体酸化物形は 100~300kW の発電能力があり、又反応温度も高く効率が良いのでオンサイ形の発電所向きの燃料電池として実用化が試みられている。いわゆる定地用燃料電池といわれており、比較的大容量である。これらの燃料電池を移動体に用いるとすれば、鉄道の電気機関車用など大出力を必要とする用途に適していると考えられる。

燃料電池は一般的には、燃料の水素のみを燃料として搭載し、酸素は空気中の酸素を利用する。現在の課題は各タイプとも高寿命化と特性の安定化であろう。長時間安定して使用できる燃料電池は現在まだ実用化されていない。なお、現在最も開発が進んでいるのは、自動車用として考えられている固体高分子形である。この固体高分子膜は触媒として白金を使用しており、白金以外の安価な金属に代替え出来なければ、第 5 表の導入目標は経済的な理由で達成不可能であろう。



第 3 図 提案する燃料電池を使用したシステムの一構成

(2) 移動体に搭載する水素貯蔵装置

ガソリン自動車のガソリタンクに相当もので、移動体用の燃料電池に水素を供給する装置は (a) 高圧ガスボンベ (b) 金属に水素を吸着貯蔵する水素吸蔵合金 (c) 液体水素及び (d) ガソリンまたはエタノールから必要に応じて水素を取り出す改質器などが考えられている。燃料電池自動車では一回の水素充填で走れる距離が短く欠点の一つであった。しかし、本田技研工業では、容量 17.1 リットルの圧力タンク (35MPa) を搭載して、1 回の水素充填で 57

0 km の連続走行距離を確保したと発表しており、走行距離に関してはガソリン車と比べて遜色ないまでに改善されている。

(3) エネルギー蓄積ユニット

燃料電池自動車などの移動体では、小形ではあるが3項で述べた電力貯蔵装置を搭載する必要がある。この理由は以下の通りである。

すなわち(a)燃料電池はロードフォロイング特性があまり良くないので、エネルギー蓄積要素が必要となるのと(b)燃料電池は負荷条件によって発電効率が異なるので、最大発電効率の負荷条件で運転した方が有利であるの二つの理由で移動体用燃料電池にはエネルギー蓄積ユニットが用いられている。具体的には、力行時(発車時、加速時、坂道を登るとき)には、燃料電池だけでは電力が不足するので、このユニットから電力を供給する装置である。一方、坂道を下るとき又は停止するときには位置のエネルギーや運動のエネルギーを電気エネルギーに変換してこのユニットに蓄える(回生)役割を果たす。

このエネルギー蓄積ユニットで現在考えられているのがニッケル水素電池や、リチウムイオン電池および電気2重層コンデンサである。ニッケル水素電池やリチウムイオン電池は充放電すると劣化するので寿命がある。しかし、電気2重層コンデンサは充放電を繰り返しても劣化がなく理論的には半永久的に使用可能であるので長期間保守点検なしで稼働する必要のある鉄道用などには魅力的である。自動車用にはリチウムイオン電池が本命と考えられているが、現状では電池そのものの信頼性や材料であるリチウムが希少金属(以降レアメタルと呼ぶ)で入手困難からくる価格高騰の問題がある。

(4) インバータ、DC/DC コンバータ、制御装置

産業用や電気鉄道などに盛んにインバータ素子として IGBT が使用されることによってパワーエレクトロニクス技術が格段に進歩した。このパワーエレクトロニクスの進歩した技術を用いて実用化可能となったのがトヨタ自動車のプリウスに代表されるハイブリッド自動車である。

さて、燃料電池の電氣的な出力は直流であり、これをインバータで交流に変換する。又、回生制動は

いったん直流に変換され DC/DC コンバータを通して、エネルギー蓄積要素に電力として蓄えられる。全体を統括するのが制御装置である。

(5) 電動機

電動機は効率がよいことおよびインバータと組み合わせると時の制御性がよいという二つの理由で同期電動機が使用される。同期電動機は回転子が磁石で構成されるが、この磁石を永久磁石を使用することによって、励磁電流を流す必要がなくこの分の損失がないため高効率の電動機の実用化が可能となった。この永久磁石として強力な磁界をもつ希土類磁石が発明され、プリウスなどの駆動電動機やロボット用の駆動電動機としてほとんどがこの同期電動機が利用されている。最近の新聞記事によると、本田技研工業の燃料電池自動車に搭載されるメインの駆動電動機は最大出力 100kW の同期電動機である。

同期電動機で速度制御できるのは $N=120f/P$ である。ここで、 N は回転数(rpm)、 f は周波数(Hz)、 P は同期電動機の極数である。周波数 f をインバータで変化させることによってモータ回転数を変えることができる。同期電動機はインバータと組み合わせた時の制御性が良いことを述べたが、周波数と回転数の関係が上式で結びつけられる為である。

なお、プリウスなどのハイブリッド自動車が実用化できたのは、エネルギー蓄積要素である電池技術の進歩、パワーエレクトロニクスの進歩、希土類磁石(Nd-Fe-B)の発明による電動機の進歩に負うところが大きい。特にこの永久磁石の技術は我が国独自の技術で、ハイブリッド自動車が諸外国に比べ先行できている理由の一つである。水素社会になると希土類磁石の原料の枯渇または高騰が危惧され、これに代わる高性能永久磁石の開発が望まれる。我が国は磁石の開発力が優れているので、この点においても大きく貢献できるものと期待される。

新幹線をはじめ多くの電気鉄道では主電動機に誘導電動機が使われている。この電動機はロータに誘導によって励磁電流が流れ、永久磁石と同じ役割を果たす原理であるが電流が流れることによって、ロータに通電損失が発生する分効率が悪くなる。それ以上に、ロータで発生する熱のさばきが問題のようである。このため、永久磁石を用いた同期電動機が

研究されている⁹⁾。

10 水素社会を実現する為の課題

現在は情報化社会といわれている。情報化社会で中心的役割を果たすのがコンピュータであり、これを構成するのがICやLSIである。これらの原料はシリコンと銅と金などである。この中で、最も多く使用する材料がシリコンで、シリコンはクラーク数では地球上で酸素について2番目に多く存在する元素であるので資源的にはそれほど問題はなかった。最近になって液晶パネルに使用するインジウム(In)がレアメタルであり入手しにくくなって問題となっているが、ディスプレイにブラウン管を使用する限りは全く問題なかった。ここで、入手困難である金属材料をレアメタルと呼ぶと、情報化社会ではこのレアメタルは使用量が少なく資源戦争とは無縁な社会であった。ここで言うレアメタルとは希土類(周期律表で分類される17種類)とは異なるが希土類も入手困難という意味ではレアメタルである。

水素社会になると、9項の燃料電池を搭載した移動体の構成で述べたように、思いっただけでもリチウム(Li)、ネオジウム(Nd)、白金(Pt)など必要とする種類のが多く、しかもこれらを多量に使用することになるのでレアメタルなしでは成立しない社会である。すなわち、現在以上に地球上の資源を確保する為に血祭りをあげる社会になるであろう。これらレアメタルのほとんどが残念ながら中国に偏在している。中国は従来は比較的鷹揚に輸出していたが、レアメタルが将来の戦略物質になることに気づき、2006年頃から急激に輸出制限する方針を打ち出している。それだけでなく、世界中のレアメタル鉱山の利権を確保するなど徹底した戦略を打ち出して実行している。化石燃料の枯渇に対しては水素社会という一つのシナリオをたてることが出来るが、レアメタルに関してはこのようなシナリオを立てがたいのが実情である。

従って、早急に代替え材料の研究、国家規模によるこれら金属の備蓄、レアメタルのリサイクルなど国家レベルでの戦略を早急に立てる必要があろう。

11 まとめ

将来化石燃料が枯渇するので、水素社会が確実に

到来することを述べた。むしろ、化石燃料が枯渇する以前に前倒しで水素社会に移行すべきであることを主張した。これにより、貴重な化石燃料はエネルギー源としてではなく、化学工業向けの原材料としてのみ大切に使用すべきである。水素を得るためには、運転中炭酸ガスを発生しない原子力の夜間電力を使って水素を得るべきであることを提案した。水素社会における原子力発電は我が国では土地が狭いので地下に建設すべきであることも述べた。地下原子力発電で問題となるのが冷却水であるが、地下揚水発電を併設することにより解決できることも述べた。本稿ではさらに、水素社会での移動体のあるべき姿を予測し、各部で必要とされる材料について検討し、その問題点をまとめ最もネックになるのがレアメタルの入手であることも述べた。

なお、本研究の一部は平成17～19年度文部科学省科学研究費補助金基礎研究(C)(課題番号、17500615)の補助金を用いてなされたものである。

参考文献

- 1) 大塚正雄、停電のない電気鉄道方式の提案、財団法人鉄道総合技術研究所、Railway Research Review,4月号、pp.38-41、2007
- 2) 山本貴光 他、燃料電池車両の開発、財団法人鉄道総合技術研究所、Railway Research Review,8月号、pp.14-17、2007、
- 3) 福島透 他、石炭ガス製造技術開発、電学誌、127巻、1号、pp.4-7、2007
- 4) 嶋田隆一他、負荷平準化と電力貯蔵、電学誌、126巻、4号、pp.214-217、2006
- 5) 伊東弘一他、エネルギー工学概論、コロナ社、pp.176
- 6) 桂井 誠、基礎エネルギー工学、数理工学社、pp.91-106
- 7) 向井一馬、大規模電力貯蔵、電学誌、123巻、5号、pp.272-274、2003
- 8) 岩渕宏之、我が国ならびに欧米の水素エネルギーロードマップレビュー、電学誌、126巻、6号、pp.340-343、2005
- 9) 泰 広、車両の省エネルギー技術、財団法人鉄道総合技術研究所、Railway Research Review,8月号、pp.14-13、2007