

○住吉洋一郎, 亀岡秋男, 井川康夫 (北陸先端科学技術大学院大)

1. はじめに

現在の日本では、エネルギー安定供給・環境保全・経済成長が大きな課題となっている。しかも、これらは同時に達成されなければならない。エネルギーの問題については、省エネルギーの取組みもあるが、エネルギーの問題については、同時に新エネルギーの開発と普及に向けた政策も必要である。こうした中、水素エネルギーはエネルギー効率と環境調和性に優れており、将来の技術革新の鍵を握ると考えられる。日本もエネルギー政策の一環で水素エネルギーを推進しているが、現状では水素エネルギー普及に向けての課題は多い。水素エネルギーは二次エネルギーであり、これを製造するための一次エネルギーの確保をどこに求めるのかについても検討が必要である。

そこで、水素エネルギーを製造するための安定的自給エネルギー源と水素エネルギーを日本で普及させるための促進策を検討してみたい。

2. 日本のエネルギー供給を巡る現状

2000年度の原油に換算した一次エネルギーの供給量は6億400万kl、一般電気事業用の年度末発電設備容量は2億2913万kW、一般電気事業用の発電電力量は、9400億kWhであり、いずれも増加傾向である。以下に電源別割合を図で示す。

表 1-1 一次エネルギー供給(%)

石油	52
石炭	18
天然ガス	13
原子力	12
水力	3
地熱	0.2
新エネルギー等	1

表 1-2 年度末設備容量(%)

石油等火力	23
石炭等火力	13
LNG火力	25
原子力	20
水力	20

表 1-3 発電電力量(%)

石油等火力	11
石炭等火力	18
LNG火力	26
原子力	34
水力	10
新エネルギー	0.2

3. 日本におけるエネルギー資源の現状

日本で供給されているエネルギー資源の状況および、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」において規定された新エネルギーの概要を述べる。

3. 1 石油資源

日本のエネルギーの石油への資源依存率は52%と非常に多く、経済への影響も大きい。オイルショックの経験から石油備蓄など安定供給に努めてきた^[1]。

3. 2 石炭資源

石炭資源の供給量は緩やかに増加しているが、国内の炭鉱数と労働者は20世紀後半から減少している。国内炭鉱における採炭箇所の深部化・奥部化の進展等の要因により、国内炭の採炭コストは他の海外炭鉱と比較して相対的に高く、エネルギー源としてあまり期待できない^[4]。

3. 3 天然ガス資源

現在、日本に対するLNGの供給元は、アジア・太平洋地域がその75%を占めている。天然ガスの採掘を目指すプロジェクトもあり、例えばサハリンプロジェクトはエネルギー安定供給上重要な政策で、供給の選択肢を拡大することができる^[3]。

3. 4 原子力資源

2002年度の発電電力量に占める原子力の比率は31.2%で他のエネルギーを上回っている。原子力発電

は火力発電に比べ、発電原価中の燃料購入費用の割合が低いのが特長であるが、社会的な合意形成には問題を残している^[5]。

3. 5 水力資源

水力はかつて重要な地位を占めていたが、現在は3%で少なくなっている。自然保護の観点から立地が制限され、今後の増加は期待できない。水力の特長は用水発電方式による電力貯蔵で昼間の電力で揚水し夜間に発電することにより、ピーク電力調整をしている。また、水の量は季節によって変化するため、春と秋にためて、夏と冬に大量消費する方式もある^[6]。

3. 6 地熱資源

火山国である日本には潜在的に大量の地熱資源がある。しかし、現在活用されている地熱は地下1000m付近の比較的浅い部分で異常に高温な岩体が対象である。この岩体に地表水が浸透し熱せられると温泉水や高温の蒸気を発生する。2000年の日本における地熱発電量は3,103GWhでアメリカの13,142GWhやメキシコの5,075GWhに次ぐ世界第3位である。地熱開発は中長期的には原油等の価格上昇により経済的にも化石燃料資源と十分競合できる見込みがあるが、現状では各プロジェクトともリードタイムの長さ、開発コストの高さなどから事業の展開が難しい状況である^{[2][11][13]}。

3. 7 新エネルギー

自然エネルギーに含まれる風力、太陽光、バイオマスおよび水素エネルギーに関して概略を述べる。

新エネルギーの導入には、①石油代替エネルギーとしてエネルギー安定供給の確保に資する、②クリーンエネルギーのため、環境に与える負荷が小さい、③新規産業・雇用創出に寄与、④分散型エネルギーシステム、⑤電力の負荷平準化（ピークカット効果）に寄与などの効果が期待されている。

風力は、近年非常に普及しており無尽蔵で夜間にも発電できるものの、自然条件に大きく左右され、また羽の騒音や景観など周辺に被害を及ぼす恐れもある。

太陽光は、太陽電池の発展により家庭レベルでも普及が進んでいる。設備を比較的簡単に設置することができ、保守しやすいが、自然条件に左右されやすい。

バイオマスについては、新エネルギーとして利用を

目標とされているものは、現在では一般・産業廃棄物の焼却などである。

水素エネルギー（2次）はガソリンや天然ガスなどにかわる新しいエネルギーとして自動車等へ活用を模索し、普及への取組みも始まっている。水素は無色・無臭の最も軽い物質で、地球上には単体ではほとんど存在せず、電気分解・熱分解等によって製造され、燃料電池用として携帯や輸送できる。また、蓄積できることも特長である^[12]。

4. エネルギーの比較対照評価

各エネルギーを以下の項目に基づいて比較対照する。

- ①地理・気候条件に関係なく安定供給できる
- ②CO₂の排出量が極小あるいは無い
- ③日本国内で自給できる

表 2-1 エネルギー対照表（携帯可）

	安定供給	CO ₂ 少・無排出	自給可能
石油	○		
石炭	○		
天然ガス	○		
太陽光		○	○
水素	○	○	○

表 2-2 エネルギー対照表（携帯不可）

	安定供給	CO ₂ 少・無排出	自給可能
原子力	○	○	
水力		○	○
地熱	○	○	○
風力		○	○
バイオマス	○	○	○

5. 地熱・水素エネルギー利用システムの可能性

ここでは、エネルギー自給量を増やすため地熱エネルギーから水素エネルギーを製造し、活用するシステムについて考える。

5. 1 京都議定書のインパクト

地球温暖化による海面上昇を防止するための国際的枠組みを1997年に制定した。日本におけるCO₂の排出量を2010年までに1990年時の排出量の6%

削減を目標としている。これは、水素エネルギー資源への転換の圧力となっている^[1]。

5. 2 エネルギー特区

2003年5月23日、青森県にあるむつ小川原開発地域（16市町村）及び八戸市が環境・エネルギー産業創造特区に認定された。環境・エネルギー分野における幅広い実証やノウハウの蓄積を図り、エネルギー最適利用モデルや温室効果ガス排出削減モデルの先進地域への実現を目指す。

特区は、畑作・酪農地帯・菜の花畑などがあるためバイオマス資源が豊富であり、バイオマスから水素エネルギーを製造する計画が既にある^[7]。

5. 3 自動車の水素利用

電気自動車は、排気ガスを出さないため普及が期待されており、減速・下り坂を走るときにエネルギーを回収する利点がある。しかし、普通充電の充電時間は8時間程度で急速充電の充電時間は30分かかる。時間の長さに伴う電気スタンドの確保、自動車の価格を下げるのが今後の課題である。

燃料電池車は、水素と酸素の化合により発電し、熱と水を出す。電気自動車のように長時間充電する必要がなくなり、既存車と同様に燃料を補充することで長距離走行できる。しかしまだ開発途上であるため、価格や性能などが今後の課題である^{[8][10]}。

6. 事例：アイスランドのエネルギー利用

地熱エネルギーから水素エネルギーを製造する政策は既にアイスランドで行われている。これをケース・スタディとして日本での利用の可能性について考える。

6. 1 アイスランドと日本の共通点

アイスランドと日本は、①石油による自給が困難で石油危機を経験し、②火山が多く、温泉水を確保しやすく、③漁業が盛んなため、エネルギー資源によって周辺の海を汚すことを避けたいと考えており、また、④陸上国境のない島国でもある。

これらの比較対照分析により、①②③の条件を満たすのは地熱エネルギーであり、これをどこへでも携帯し輸送もできる水素エネルギーに変換することができれば大きな効果が得られることがわかる。

6. 2 アイスランドの地熱エネルギー

アイスランドでは過去1万年の間に、平均して5年に一度のペースで噴火が起きている。中央を走る地溝帯を中心に毎年東西に2~3cm広がり続く。代表的地熱地帯では、水は地熱からの蒸気によって100℃まで熱せられ、高さ400mの所にある貯水タンクまで汲み上げられる。そこから熱湯を50km離れたタンクステーションにパイプラインで送る。熱湯が到着した時も97℃に保たれている。

地熱発電設備容量は172MWで、地熱シェアは世界第4位の13.9%である^{[9][15]}。

6. 3 アイスランドの水素エネルギー

地熱エネルギーから水素エネルギーへの変換効率は10%である。はじめに地熱エネルギーを水酸化ナトリウムに電気分解するが、その際の変換効率は12%で、その次に水素エネルギーに変換する際の効率は85%である。

1999年、アイスランド政府のバックアップでエコ・エナジー社を設立し、その会社を筆頭にドイツの自動車会社Daimler Chrysler、オランダの燃料会社Royal Dutch Shell、ノルウェーの電力会社Norsk Hydroの出資を受けてIcelandic New Energy社を設立した。水素の生産・貯蔵・輸送に関するシステムの構築が主な目的である^[14]。

7. 燃料電池車への取組み

東京モーターショーには燃料電池車を開発し発表している。2003年11月5日(水)、ショーにて数社の方々より、価格についての取材に応じていただいた。

表3 各自動車会社の希望販売価格

自動車会社	希望販売価格
三菱自動車	3,000,000~4,000,000円
Daimler Chrysler 日本	ガソリン車と同価格
トヨタ自動車	2,000,000~3,000,000円
ダイハツ工業	ガソリン車と同価格
マツダ	ガソリン車+500,000円
日産自動車	2,000,000~5,000,000円
ホンダ技研工業	ガソリン車と同価格

8. 水素・地熱ハイブリッドエネルギーシステムの可能性

水素エネルギーについては、2004年6月に第15回世界水素エネルギー会議(水素エネルギー協会主催)が横浜で開催された。NEDOによる燃料電池開発や水素ステーションなどの社会インフラの構築に向けた政策も打ち出され、積極的に官民あがての取り組みがなされている。資源エネルギー庁は水素・燃料電池実証プロジェクトで2002年から現在にかけて、首都圏に11ヶ所の水素ステーションを設立し、複数の燃料会社が、アルカリ水電解など多様な方式で製造を試みている。ただし水素エネルギーの課題には、①ステーション機器の標準化と低コスト化、②設置面積縮小のためのステーション機器の小型化、③機器の高効率化・高性能化・信頼性の確立、④水素貯蔵機器の技術開発などが挙げられている。

地熱エネルギーについては、多くの課題が残されている。地熱エネルギーは、日本の自然エネルギー源としてきわめて大量にあり、現在の地熱発電所は、九州地方阿蘇山周辺と東北地方北部に集中しており、離島では八丈島にある。しかし大きな問題点は、①火山地帯であるため硫黄分の高いガスの発生によりローターなどの設備・設置が酸化腐食する可能性がある、②蒸気成分に含まれるカルシウムやけい素が配管に詰まる恐れがある、③発電による騒音が大きく住宅地付近では発電が困難であり、④国立公園の保護や温泉地と協調する必要性などにより制約されていることなどである。

しかし、携帯や輸送できる水素エネルギーの普及により、地熱エネルギーの使用は日本エネルギー自給の観点から大きな構造変化を起こす可能性が見られる。アイスランドは島国であり、自給だけでなく水素エネルギーを輸出する計画がある。日本においても周辺には離島が多くかつ火山地帯にあり、豊富な地熱資源が見込まれる。現在の技術レベルでは現在の地熱発電水蒸気利用による方式だけではなく、新規の方法も含めて本格的に新たな技術開発の可能性を探索する意義は十分あると思われる。水素エネルギーと地熱エネルギーとの融合により、エネルギー・イノベーションを起こす可能性があると考えられる。

9. おわりに

水素・地熱ハイブリッドエネルギーシステムの開発については、エネルギー特区等の施策により、離島の地域活性化目的から試行することにより、日本の一部地域から始めても課題の解決につながると考えられる。

今後の研究課題として、地熱と水素エネルギーの融合という視点から技術的ブレークスルーおよび社会・経済システムについて検討していきたい。

10. 謝辞

インタビュー・資料の提供に応じて下さった、慶応義塾大学金谷年展助教授、アイスランド大学 T. I. Sigfusson 教授、I. Sigfusson 駐日アイスランド大使、秋田大学松葉谷治教授、横浜国立大学太田健一郎教授、および東京モーターショーでお世話になった各自動車会社の皆様へお礼を申し上げます。

11. 参考サイト・文献

- [1] 資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/>
- [2] NEDO <http://www.nedo.go.jp/>
- [3] (財) エネルギー総合工学研究所 やさしいエネルギー解説集 <http://www.iae.or.jp/energyinfo/mokuii0.html>
- [4] (財) 日本石炭エネルギーセンター <http://www.jcoal.or.jp/>
- [5] 原子力のページ <http://www.atom.meti.go.jp/>
- [6] 水力のページ <http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/>
- [7] 青森県庁 環境エネルギー特区 <http://www.pref.aomori.jp/kankyoene/>
- [8] (財) 日本自動車研究所 <http://www.jari.or.jp/>
- [9] アイスランド観光文化研究所 <http://www.iceland-kankobunka.jp/>
- [10] 水素・燃料電池実証プロジェクト <http://www.jhfc.jp/>
- [11] 地球エネルギー論 西山孝著 オーム社
- [12] 水素エネルギー最前線 文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター著 工業調査会版
- [13] 環境システム学 勝田悟著 中央経済社版
- [14] 講演資料
I. Sigfusson 駐日アイスランド大使 2004年5月21日
- [15] (社) 火力原子力発電技術協会 「地熱発電の現状と動向 2003年」