

水素エネルギー経済を目指すアイスランドの試み

吉田 克巳・吉田 博

シェルハイドロジェン
135-8074 東京都港区台場 2-3-2
(昭和シェル石油 研究開発部内)

Iceland's Challenge towards Hydrogen Economy

Katsumi YOSHIDA and Hiro YOSHIDA

Shell Hydrogen

2-3-2 Daiba, Minato-ku, Tokyo 135-8074
(R&D department, Showa Shell Sekiyu K.K)

This paper describes Iceland's challenge toward the world's first hydrogen society. The small country in the North Atlantic has established a joint venture (JV) named "Icelandic New Energy Ltd" to investigate the potential for replacing the use of fossil fuels with hydrogen. As the first phase of the project, a demonstration project with 3 PEMFC-powered buses is planned in its capital city. The JV also plans to replace all the vehicles and the fishing vessels with fuel cell powered ones by around 2030-2040. The final goal, the transformation into hydrogen society, is expected to lead to economic prosperity of this small country.

Keyword: Iceland, renewable energy, hydrogen production, fuel cell vehicle

1. 緒言

1997年12月のCOP3会議でCO₂を始めとする温室効果ガスを2008年から2012年の間に基準年(1990年)に比べて、先進国全体で最低5%削減する事が合意された。CO₂削減を目的とした取り組みとして、風力、太陽光等の再生可能エネルギーや熱電併給システムに代表される効率の高いエネルギー利用技術の開発および導入が世界各国で進められている。

1999年2月、北大西洋の小国であるアイスランドで始められた自動車、漁船等の移動体での水素エネルギーへの転換を目的とするプロジェクトは、それらのCO₂削減の取り組みの中で最もユニークなものと言える。このプロジェクトの目的がすべて達成された場合、アイスランドは「世界初の化石燃料に全く依存しない国家」、更には「化石燃料資源を持たないエネルギー輸出国」に変貌を遂げる可能性がある。本稿では、このアイスランドの実験的プロジェクトの背景、計画について紹介する。

2. 国家

本題に入る前に我々にとっては、あまりなじみのない国であるアイスランドについて簡単に紹介する。国土面積は103,000Km²と日本の約1/3程度で、耕地、牧畜地はその約20%を占めるに過ぎず、残りは氷河地帯(約12%)、溶岩地帯(約11%)に代表される荒地が大半である[1]。

全人口は1998年12月現在で275,000あまりと日本の地方都市とほぼ同じ規模である。その40%程度の106,000人が首都レイキャヴィークに居住し、周辺の中小都市を含めた首都圏エリアの人口は165,000と全人口の60%を占める。

OECDから公表されているデータによれば、国内総生産(GDP)は購買力平価による換算で72億ドル(1998年)とOECD加盟国の中で最も低く、日本の約0.2%に過ぎない。これは人口が少ないためであり、人口一人あたりのGDP(GDP per capita)では約26,300ドルとOECD加盟29カ国中で第5位の富裕国である[2]。(ちなみに日本は約24,100ドルで第8位にランクされている。) 主な産業としては、

羊を中心とした牧畜業、水産業、それら一次製品の加工業、さらにはアルミ精練、マグネシウム産業、非鉄金属等のエネルギー集約型産業があげられる。特に水産物及びその加工品はアイスランドの総輸出額の75%近くを占める重要な商品である[1]。

3. プロジェクトの背景

3.1. 国内の再生可能エネルギー資源

アイスランドはわずかな量の低質な泥炭を除けば、ほとんど化石燃料資源を持たない国である。この点では我が国の状況と大きな違いはないと言える。ただし、この国の観光資源ともなっている美しい自然は水力、地熱等の再生可能エネルギーの宝庫でもある。アルミ精練、非鉄金属産業などのエネルギー集約型産業がアイスランドで発展している背景には、廉価な再生可能エネルギー資源が豊富に存在することがある。

水力発電に関しては、アイスランド全体で年間64TWhもの電力が、技術的に発電可能とされており、その中から経済性に問題があるもの、及び自然環境に著しく悪影響を及ぼす事が懸念されているものを除いても、その潜在的発電能力は25-30TWh/年と見積もられている。現時点では、そのうちの25%に相当する7TWh/年が実際に発電、供給されている[3]。

地熱発電に関しても、潜在的には年間15TWhの電力が100年の長期間にわたって発電可能と見積もられており、現時点では8%相当の1.2TWh/年が発

電、供給されている。さらに地熱エネルギーを利用した温水は暖房（Space Heating）に利用されており、アイスランド全体の暖房用エネルギー需要のほとんどが地熱エネルギーでまかなわれている[3]。

図1にアイスランドで消費される一次エネルギーのソース別割合を示す[4]。アイスランドでは第二次世界大戦後から、再生可能エネルギーの利用を積極的に進めてきた。1940年から現在に至るまで、総エネルギー消費量は15倍近くまで増加しているが、再生可能エネルギーが占める割合は、開戦時は約9%に過ぎなかったのに対し、現在では60%近くに達している。また、現在では消費される電力のほとんどすべてが再生可能エネルギーからの発電でまかなわれている[3,4]。

3.2. エネルギー消費とCO₂排出量

図2にアイスランドでのエネルギーの用途別消費割合を示す[4]。最大の需要は暖房用途で発生しており（40%）、それに工業用途（27%）、交通用途（16%）が続いている。アイスランドに特異な傾向としては漁船用のエネルギー需要が全体の12%を占めていることがあげられ、交通用途と合わせ、30%近いエネルギーが移動体で使用されている[3]。

前述の通り、暖房や発電には再生可能エネルギーが広く利用されているため、自動車に代表される陸上交通および漁船団が最大の石油系燃料の消費者となっている。図3に各用途別の石油系燃料の使用割合を示す。

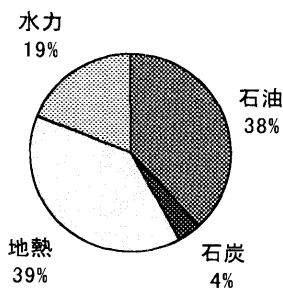


図1.アイスランドの一次エネルギーソース (1998年)

出典: Icelandic New Energy Ltd

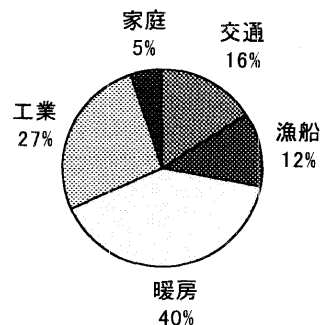


図2.アイスランドの用途別エネルギー消費 (1998年)

出典: Icelandic New Energy Ltd

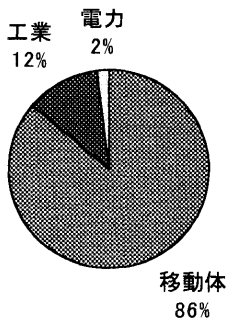


図3.アイスランドの用途別石油系エネルギー消費
(1998年)

出典:Hyforum資料より作成

注:移動体には陸上交通機関、漁船を含む

一方、CO₂ 排出量に関しては、交通用途、漁船、産業用その他がほぼ 1/3 ずつを排出している。水力あるいは地熱からの電力をエネルギー源としている工業用途からの CO₂ は、主に非鉄金属工業プロセスの化学反応で生成されるプロセスエミッションである。ちなみにアイスランドは人口一人当たりのエネルギー消費量では OECD 加盟国中最大、人口一人当たりの電力消費量ではノルウェーに次ぐ第 2 位である[3]。

3.3. COP3 への対応

1997 年のいわゆる京都会議では、各先進国の温室効果ガスの排出量削減目標が設定された。表 1 に主な国の排出量目標値を示す[5]。すでに再生可能エネルギーの利用が進んでいるアイスランドは温室効果ガスの削減余地が小さいこともあり、COP3 の合意内容においては、2008～2012 年の温室効果ガスの排出量を 1990 年レベルと比較して 10% 増に抑えることを目標としている。しかしながらその一見容易に思える目標も達成することは非常に難しい。

アルミ精錬はすでに主要産業のひとつとなっているが、現在、年間 18 万トンの生産能力をもつ新たなアルミ精錬プラントが建設されている。この新たなプラントのエネルギー源は既存のものと同様、水力、地熱等の再生可能エネルギーが使用されるが、精錬プロセスから排出されるプロセスエミッションは 31 万トンに達し、これは COP3 の基準年となる 1990 年にアイスランド全体で排出された CO₂ の 11.3% に

相当する。ちなみに化石燃料を使用する同規模の精錬施設からは、アイスランドのケースの 8 倍の 250 万トンの CO₂ が排出されると見積もられている[3]。

アイスランドは新設アルミ精錬プラントから排出されるプロセスエミッションを COP3 で合意された排出量抑制目標の対象から除外するよう交渉を重ねており、現時点においては COP3 合意に批准していない[4]。しかしながら、アイスランドの主張が認められない場合、COP3 の温室効果ガスの排出抑制目標を達成するためには、化石燃料を使用する自動車、漁船等、移動体からの CO₂ 排出量の削減以外に方法はないことになる。

4. プロジェクトの概要

上記のような状況を受けて、アイスランドでは 1990 年代初頭から水素を含む様々な代替燃料についての検討を続けてきた。レイキャヴィークとハンブルグの水素エネルギー推進運動が結びつき、1992 年にレイキャヴィークで German-Icelandic Hydrogen Exhibition が開催されたのも、この流れである。残念ながら、当時はその経済性が疑問視されたため、代替燃料への切替は実現しなかった。

表1. 京都会議で合意された温室効果ガス削減量
(1990年の排出量を100とする)

欧州連合 (EU)	92
スイス	92
アメリカ合衆国	93
カナダ	94
ハンガリー	94
日本	94
ポーランド	94
ニュージーランド	100
ロシア	100
ノルウェー	101
オーストラリア	108
アイスランド	110

出典:環境庁HP

しかし、近年の燃料電池技術の発展に伴い、将来のコスト低減がある程度、見込まれるようになったことを受け、再生可能エネルギーをベースとした水素を利用した燃料電池自動車、漁船の導入に関するジョイントベンチャー (JV)、ICELANDIC NEW ENERGY Ltd が 1999 年に設立された。この JV 設立の目的は、アイスランドで消費されている化石燃料をすべて水素に置き換えた世界初の水素エネルギーに立脚した経済システムの可能性を評価することにある。

参加企業はアイスランドの民間企業である Vist Orka (EcoEnergy)、自動車会社 Daimler Chrysler、ノルウェーの水力発電会社 Noske Hydro、そして Royal Dutch/Shell Group が 1999 年に設立した水素エネルギー会社 Shell Hydrogen である。JV の資本は Vist Orka が 51%、残りの 49%を他の 3 社が均等に出資している。

現時点では、この JV の活動は次の 5 段階で進められる予定となっている。

1. 首都レイキャヴィークにおける 3 台の燃料電池バスによるデモ走行プロジェクト
2. レイキャヴィーク、および地方都市の路線バスの燃料電池への段階的な転換
3. 水素を燃料とする燃料電池乗用車の導入
4. 燃料電池を利用した漁船のデモ及び評価プロジェクト
5. 燃料電池を利用した漁船への段階的な転換

順調にプロジェクトが進んだ場合には、アイスランドの水素エネルギーへの転換プロセスは 2030~2040 年頃、終了する見込みである。また、現在、アイスランドでは年間 2 千トンの水素が製造されているが、すべての自動車、漁船の動力源が水素を燃料とする燃料電池に転換された場合には、8~9 万トン水素が必要になると見積もられている。

5. 燃料電池自動車プロジェクト計画

上記 5 段階のうち、第 1 から第 3 段階までの自動車関連プロジェクトに関しては、具体的な導入計画に関する議論が進められている。

レイキャヴィーク市内のバスについては JV のメンバーでもある Daimler Chrysler の NEBUS (New Electric Bus) を導入する。この NEBUS は、屋根に搭載した耐圧容器を搭載することにより、およそ 300km の航続が可能であるが、この航続距離はレイキャヴィーク市内の路線バスの 1 日当たりの平均走行距離 250km を上回っており、建設すべき燃料供給施設の数も、少なくとも当面は 1ヶ所で十分である。その燃料供給施設はレイキャヴィーク郊外の化学肥料プラントに隣接して建設し、プラントから生成される副生水素を燃料に利用することを予定しているため、燃料供給システムの簡便化が可能で、かつ水素の長距離輸送も不要である [6]。

一方、燃料電池乗用車の導入は以下の理由から、バスの場合ほど簡単ではない。

- 現在のガソリン車と同程度の航続距離を満たす車載型水素貯蔵技術が確立されていない。
- 多数の燃料供給施設が必要になるため、水素燃料輸送、供給のインフラが複雑にならざるを得ない。

よって、一部の JV 参加メンバーは、国内のアルミ精錬等の非鉄金属工業プロセスから排出される CO、CO₂ と再生可能エネルギーから生成された水素から、メタノールを合成し、燃料電池乗用車用の燃料として使用することが望ましいと主張している [4,6]。

Arnason ら [6] は非鉄金属工業プロセスから排出されるすべての CO、CO₂ に水素を添加すると年間 45 万トンのメタノールが合成可能であると推定している。このメタノールを乗用車および漁船用燃料として使用した場合には、1995 年にアイスランドが輸入した化石燃料の 60~67% に相当する年間 40~45 万トン程度の消費が削減できる。

しかしながら、メタノールの CO、CO₂ からの合成に関しては、その現実性を疑問視する向きも多く、また JV 参加企業の一部からは、メタノールの自動車燃料への適用はその毒性の面から問題があるとの見解が発表されている [4]。このような議論を受け、メタノール燃料の妥当性については、今後アイスランド大学等でより詳細な検討が行われる予定である。また、水素吸蔵合金、カーボンナノファイバー等、現在開発が進められている水素吸蔵技術の進展は、メタノールの航続距離面での優位性を弱めることも

考えられる。

一方、燃料電池搭載の漁船に関しては、まず第一にメガワットクラスの固体高分子型燃料電池の開発が必要であると言われている[6]。最近の報道によれば[7]、現在、Vist Orka は燃料電池漁船の開発パートナーを探しているとのことである。

6. プロジェクトの効果

表 2 にこのプロジェクトの実施による温室効果ガス削減効果を 1) 水素を燃料として選択したケース、2) メタノールを燃料として選択したケースに分けて示す。水素を燃料としたケースの方が、温室効果ガス削減効果が高く、自動車、漁船の両方を転換した場合には 66% の削減が可能と予測されている[4]。

残念ながら、このプロジェクトの経済的波及効果について定量的に見積もった文献は見当たらなかったが、相当な経済効果が見込まれる。1996 年の統計資料によれば、アイスランドは年間総輸入額の 7.5% に値する約 1 億 8 千万米ドルを化石燃料の購入に費やしている[1]。水素への燃料転換により、この費用が節約できることは、小国アイスランドの経済にとっては大きな意味をもつことは間違いない。さらに陸上交通セクターとともに最大の石油系燃料の消費者である水産業は、この国最大の輸出産業でもあり、水素を燃料とすることが可能となれば、原油価格の変動に左右されない収益安定性を確保でき、国際競争力の面で大きな利点になるとの指摘もある[7]。さらに将来、燃料電池技術の発展により水素燃料が広く使われるようになれば、ヨーロッパという巨大な市場に近接するアイスランドは、コスト競争力の高い水素エネルギー輸出国となり得る。

第二次世界大戦前、アイスランドは第三世界の国であるとの認識が一般的であった。大戦後の積極的な再生可能エネルギーの導入は、この国の経済を人口一人あたりの GDP で世界第 5 位にランクされるまで発展させた。水素エネルギーの導入が予定される今後 50 年間の経済成長は、これまでの 50 年間のそれをさらに上回る可能性があると言われている[7]。

7. まとめ

アイスランドプロジェクトの掲げるゴールは、ゼロエミッションと経済発展を両立させる理想的な世界である。しかしながら、それに達するまでには技術開発や詳細な経済的検討が必要であり、このプロジェクトは人類初の壮大な実験とも言える。また、アイスランドのような再生可能エネルギーの普及度が高く、人口の少ない小国は格好の実験室であるとも言える。我々もこの実験の成功に何らかの貢献をしていきたいと考えている。

拙稿をまとめるにあたり、Icelandic New Energy Ltd のゼネラルマネージャー、Jon Bjorn Skulason 氏には多大なるご協力をいただきました。誌面をお借りし、御礼申し上げます。

表2. プロジェクトの温室効果ガス削減効果

	水素への転換	メタノールへの転換
自動車のみで燃料転換	33%	18%
自動車、漁船で燃料転換	66%	40%

出典: Icelandic New Energy Ltd 資料

参考文献

- 1) アイスランド政府観光局 HP
- 2) 経済協力開発機構 (OECD) HP
- 3) Iceland's Renewable Power Source, Address delivered by the Minister of Industry and Commerce at "Hyforum 2000" in Munich, Germany, September 12, 2000
- 4) Icelandic New Energy Ltd 資料
- 5) 環境庁 HP
- 6) Arnason, B, Sigfusson, T.I., "Iceland - a future hydrogen economy" International Journal of Hydrogen Energy 00 (1999) 1-6
- 7) RED HERRING MAGAZINE, 28th September, 2000