

Title	地熱エネルギーを用いた水素エネルギーの製造および 実用化への提案
Author(s)	住吉, 洋一郎
Citation	
Issue Date	2005-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/543
Rights	
Description	Supervisor: 亀岡 秋男, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

地熱エネルギーを用いた 水素エネルギーの製造および実用化への提案

Utilizing Hydrogen Energy Produced from Geothermal Energy: A Proposal

指導教官 亀岡 秋男 教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科 知識社会システム学専攻

350034 住吉 洋一郎

審査委員： 亀岡 秋男 教授（主査）
井川 康夫 教授
近藤 修司 教授
遠山 亮子 助教授

2005 年 2 月

目 次

1. 序論

1.1 はじめに	1
1.2 研究の背景	1
1.3 研究の目的	2
1.4 論文の構成	3

2. エネルギーによる環境への影響

2.1 温室効果ガスによる地球への影響	4
2.1.1 温室効果ガスの排出	4
2.1.2 地球温暖化	7
2.2 京都議定書	8
2.3 窒素酸化物	12
2.3.1 酸性雨の歴史	12
2.3.2 窒素と硝酸イオンの関係	12
2.3.3 窒素酸化物の放出源	14

3. 日本における一次エネルギーの動向

3.1 エネルギーの動向	15
3.2 一次エネルギーの政策	18
3.3 地熱エネルギー	22

4. エネルギー特区

4.1 構造改革特区	28
4.2 環境・エネルギー産業創造特区	29

5. 燃料電池車の普及に向けた取組み

5.1 燃料電池	32
5.1.1 燃料電池の原理	32
5.1.2 燃料電池の歴史と今後のスケジュール	35
5.2 燃料電池自動車の実用化に向けた動向	37
5.2.1 燃料電池自動車メーカーの動向	37
5.2.2 水素エネルギーメーカーの動向	40

6. アイスランドのエネルギー事情

6.1 一次エネルギー	43
6.1.1 一次エネルギーの構成	43
6.1.2 地熱エネルギーの動向	45
6.2 水素エネルギーの普及・実用化に向けて	50

7. 実用化に向けての課題と方策

7.1 地熱から水素エネルギー製造する地域の選定	55
7.2 八丈島で実用化するための課題と方策	56
7.2.1 八丈島のエネルギー事情	56
7.2.2 地熱エネルギーを普及し、実用化するための課題と方策	58
7.2.3 水素エネルギーを普及し、実用化するための課題と方策	60

8. 実用化に向けての提案

8.1 八丈島における地熱発電による

水素エネルギー変換利用システムの開発	62
--------------------	----

8.1.1 政府・自治体との連携	63
------------------	----

8.1.2 メーカー（燃料電池自動車、水素エネルギー、水電解装置）との連携	64
---------------------------------------	----

8.1.3 地熱発電所との連携	64
-----------------	----

8.1.4 大学・研究所との連携	65
------------------	----

8.1.5 学校などの教育機関との連携	65
---------------------	----

8.1.6 展示施設の建設・運営	66
------------------	----

8.2 日本全国にある地熱発電所所在地域へ

水素エネルギーシステムを展開	66
----------------	----

あとがき	68
------	----

参考文献	70
------	----

発表論文	71
------	----

付 録	72
-----	----

1. 所属学会	72
---------	----

2. 取材	72
-------	----

3. 参加講演	74
---------	----

謝 辞	75
-----	----

目 次

2

2.1 日本が排出する温室効果ガスの地球温暖化への直接的寄与度(2000 年単年度)	4
2.2 日本における年平均地上気温の平年差経年変化(1898 年～2002 年)	5
2.3 発電方式による二酸化炭素排出量	6
2.4 温暖化影響の全体像(日本の場合)	7
2.5 国別二酸化炭素排出量(2000 年)	10
2.6 附属書 I 国の二酸化炭素排出割合(1990 年)	11

3

3.1 日本のエネルギー・フロー (2001 年度)	16
3.2 日本の一次エネルギー供給実績	17
3.3 国内炭と外国炭の価格差推移	18
3.4 石油の使用方法(2000 年度)	19
3.5 日本における風力発電導入量の推移	21
3.6 蒸気発電方式	25
3.7 日本の地熱発電所分布図	26

4

4.1 環境・エネルギー産業創造特区の区域	30
-----------------------	----

5

5.1 水の電気分解と燃料電池の原理	33
5.2 セル・スタックにおける流れ	34
5.3 燃料電池システムの詳細図	35
5.4 今後のスケジュール	36
5.5 燃料電池自動車の開発経緯	39
5.6 JHFC 水素供給設備	41
5.7 アルカリ水電解水素供給設備フローシート	42

6

6.1 アイスランドにおけるエネルギーの消費量と割合	44
6.2 アイスランドの地溝帯	45
6.3 地熱エネルギーによる発電量(1970 年～2000 年)	46
6.4 ネーシャヴェトリルにおける電力発電の流れ	48
6.5 アイスランドの水素ステーション	51
6.6 ダイムラー・クライスラーが製造した燃料電池バス	52
6.7 アイスランドにおける二酸化炭素の分野別排出率	53

7

7.1 八丈島の地図	57
7.2 八丈島地熱発電所	58

8

8.1 八丈島での実施方法	63
---------------	----

表 目 次

2

2.1 温室効果ガス削減率目標(%)	9
--------------------	---

3

3.1 エネルギー源の対照表(交通手段に利用可能)	22
3.2 エネルギー源の対照表(交通手段に利用不可能)	22
3.3 日本の地熱発電所一覧	27

5

5.1 燃料電池の種類	38
5.2 各自動車会社の希望販売価格	40

6

6.1 各国・地域別地熱発電量の推移(GWh)	49
-------------------------	----

7

7.1 八丈島の統計データ	56
---------------	----

1. 序論

1.1 はじめに

日本のエネルギー政策は、「環境保全や効率化の要請に対応しつつ、エネルギーの安定供給を実現する」ことを基本目標¹にしている。このような環境下において、温室効果ガスの排出量が少なく地理的に安定供給を見込め、更には日本国内で自給可能なエネルギーを製造し実用化するための政策を提言する。

1.2 研究の背景

気候や地理条件に関わらず安定的に供給できる石油・石炭・天然ガス等の火力発電は既に日本で普及しているが、いずれも二酸化炭素(CO₂)の排出量が多い。温室効果ガスの一つである二酸化炭素は、太陽から降り注ぐエネルギーを地球の大気に蓄積するため、地球温暖化により南極や北極にある氷が溶解し、海面上昇・洪水・干ばつの発生、農作物の削減、伝染病の蔓延などが起きる。また、二酸化炭素を排出する火力発電所からは、燃焼により同時に窒素酸化物も排出する。それにより魚介類や樹木が死滅する恐れがある。

エネルギー資源に恵まれない日本の 2000 年度におけるエネルギー輸入依存度は約 8 割である。そのため日本は、今まで外国の政治的な影響を直接受けてきた。実際に中東戦争の間、石油の確保を苦勞した経験がある。そのため、国内情勢が安定している国から資源を輸入し、その資源に合わせて発電所を開設しなければならない場合がある。近年は原子力発電の割合が増えている要因の一つは、ウランの輸入先には他の

¹ 資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/energy/ene02.htm>

燃料と比較して政治情勢が安定した国が多いためである。しかしウランも石油同様、外交問題により輸入が困難になる可能性はある。

それらの解決手段として、省エネルギーを推進する動きがある。技術の向上による省エネルギーは有意義であるが、省エネルギーを法律や道徳で求める人為的な活動は、人々の生活に不自由を与える場合があるほか、安定供給を目指す政策と矛盾する。

そのため、日本におけるエネルギー自給率を高めるため技術・政策のいずれも研究を続ける必要性が高いと考えられる。日本国内での自給を見込め二酸化炭素の排出量が少ないエネルギー源は存在するものの、太陽光や水力は供給量が天候や地理に左右される場合がある。

以上を背景に国内自給を見込め、二酸化炭素の排出量が少なく、天候や時期に左右されにくいエネルギー源として、地熱エネルギーを有力候補に挙げる。

1.3 研究の目的

日本は火山国であるため潜在的に地熱エネルギーが大量にある。しかし、発電量は石炭・石油・天然ガスの各火力発電と比較して低い。そのため、地熱エネルギーの発電量が増加していくことが望まれる。

さらに、地熱エネルギーは携帯・輸送および蓄積が不可能なため、温室効果ガスの排出量が少なく地理的に安定供給を見込め、携帯・輸送および蓄積可能な水素エネルギーに変換するエネルギー政策が考えられる。実際、アイスランドでは地熱発電が盛んでなおかつアイスランド政府を中心に水素エネルギーを製造し、燃料電池車を普及させる取組みがなされている。日本では水素エネルギーの利用が実用化には至っていないものの、自動車会社が燃料電池自動車の製造を試み、燃料会社が水素エネルギーを製造して普及を目指しているため、アイスランドのエネルギー政策は日本で水素エネルギーを普及させるためのケース・スタディになる。

2003年5月23日には、青森県が申請した「環境・エネルギー産業創造特区」計画が認定された。対象となるむつ・小川原開発地域および八戸市は、水素エネルギー製造用の一次エネルギーとしての利点を満たしているバイオマス資源が豊富で、二酸化

炭素排出量が火力発電より少ない原子力発電所および風力発電施設がある。これらを背景に、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、特区では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を目指している。

本研究では、

- ・エネルギーによる環境への影響
- ・日本における一次エネルギーの事情
- ・エネルギー特区に認定された青森県むつ・小川原開発地域における取組み
- ・日本における燃料電池車の普及に向けた取組み
- ・ケース・スタディに取り上げるアイスランドのエネルギー事情

について調査し、地熱エネルギーから水素エネルギーを製造し、これを実用化することを目的とする。

1.4 論文の構成

はじめに「エネルギーによる環境への影響」を基に、「日本における一次エネルギーの事情」を記す。その中では特に、「地熱エネルギー」について詳しく記す。続いて、日本で現在行われているエネルギー政策を紹介するため、「エネルギー特区」について記す。「環境・エネルギー産業創造特区」で行われている、一次エネルギーの普及・実用化に向けた政策について規制緩和など政府の優遇措置も含めて記述する。

さらに、二酸化炭素を排出せずに携帯・輸送できるエネルギー事情について紹介するため、「燃料電池車の普及に向けた取組み」についても記述する。

日本における一次エネルギーと二次エネルギーの事情を記述し、エネルギーシステムとして既に政策を行っている「アイスランドのエネルギー事情」をケース・スタディとして取り上げ、現地で行われている地熱エネルギーと水素エネルギーの政策を紹介する。

以上を基に、日本でクリーンエネルギーを実用化するための方法を考察にて提案する。

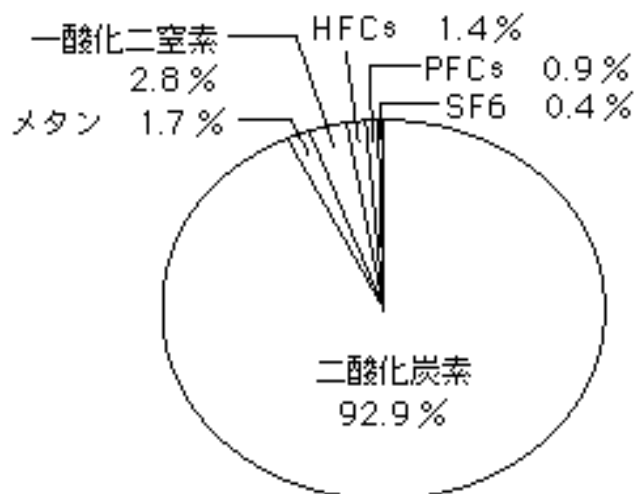
2. エネルギーによる環境への影響

2.1 温室効果ガスによる地球への影響

2.1.1 温室効果ガスの排出

地球は、太陽からのエネルギーで暖められており、暖められた地球からも熱が放射される。大気に含まれる温室効果ガスは、この熱を吸収し再放射によって地表に戻している。それによって、地球の平均気温は 15℃と、人間をはじめ生物が生きるのに適した環境が保たれている。

このように、温室効果ガスは本来必要なものである。しかし 1750 年頃から始まった産業革命以降、化石燃料を大量に燃焼して使うことで、大量の二酸化炭素を出すようになり、地球の平均気温が上昇している。日本が排出する温室効果ガスの地球温暖化への直接的寄与度(2000 年単年度)は、二酸化炭素が 92.9%を占めている。



HFC : 水素含有フッ化炭素

PFC : Per Fluorocarbon フッ化炭素

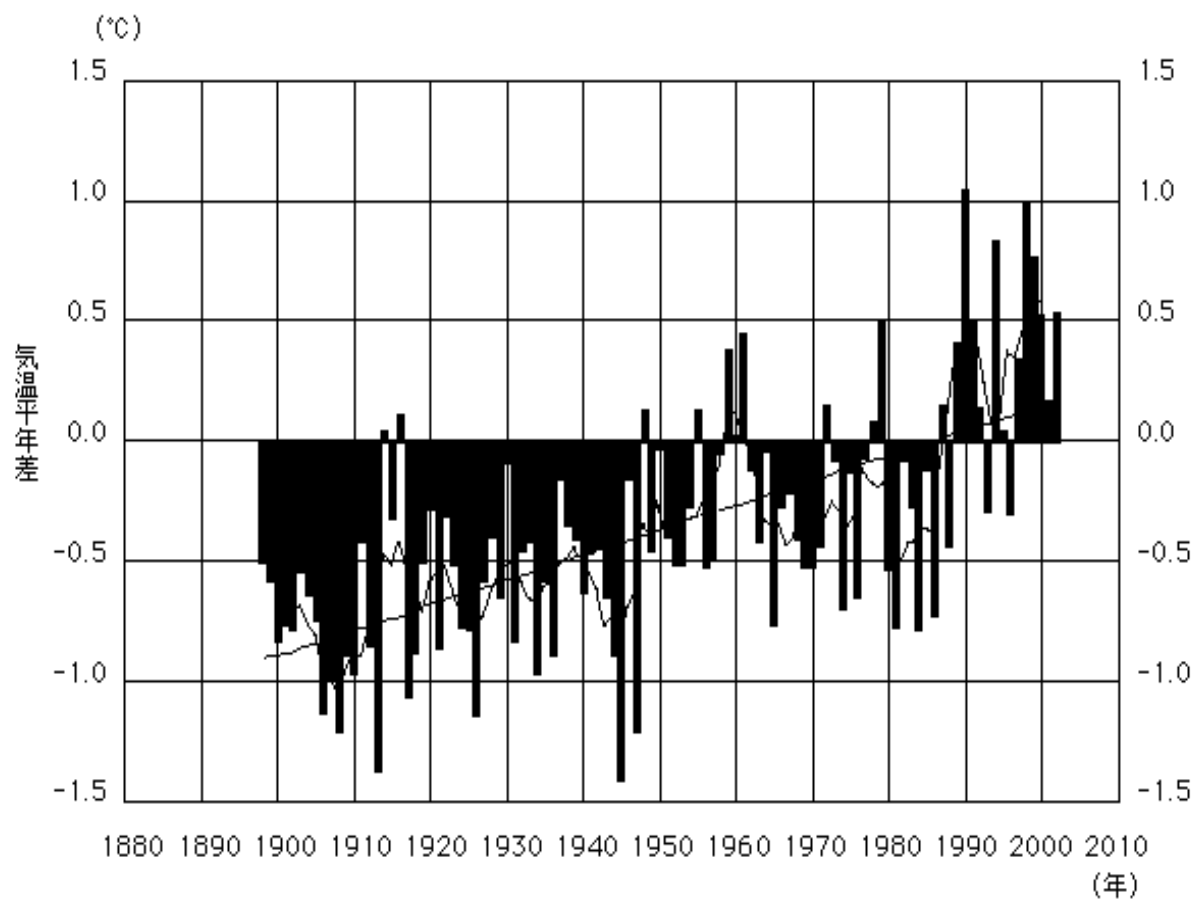
SF₆ : 六フッ化硫黄

注 : この他、塩化フッ化炭素(CFC)、塩化フッ化炭化水素(HCFC)にも温室効果が有るが、気候変動枠組条約に基づく排出量の通報義務が無く、確立されたデータがないため除外

出典 : 気象庁

図 2.1 日本が排出する温室効果ガスの地球温暖化への直接的寄与度(2000 年単年度)²

² 環境白書 2003 年版 <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/img/218/fb2.1.1.1.gif>



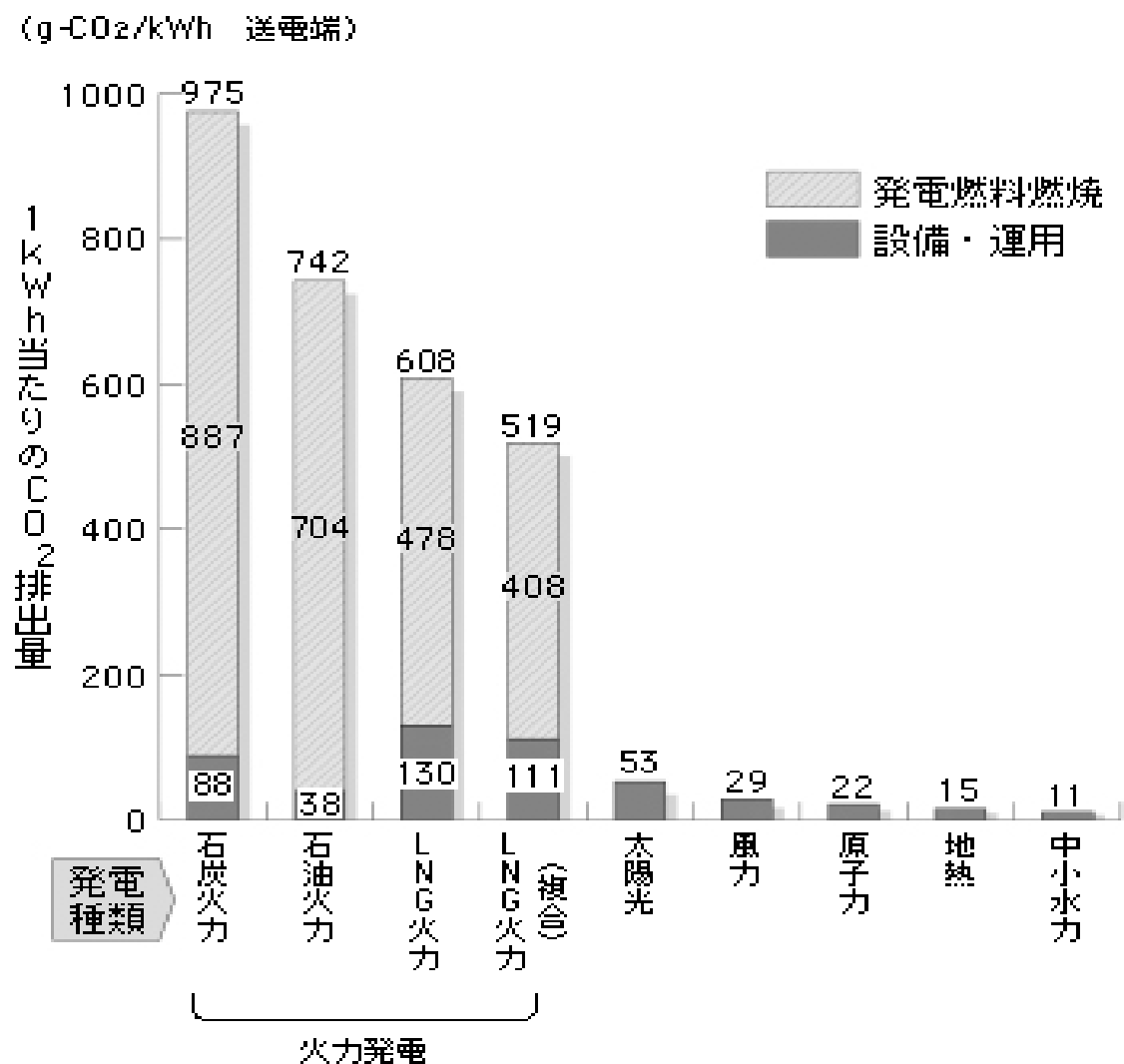
注：棒グラフは各年の値 線グラフは長期傾向

出典：気象庁

図 2.2 日本における年平均地上気温の平年差経年変化(1898 年～2002 年)³

火力発電に利用される石炭・石油および液化天然ガスは二酸化炭素を多く排出する。いずれの火力発電も設備・運用より発電による二酸化炭素排出量が上回る。一方、太陽光・風力・原子力・地熱・水力発電は、二酸化炭素の排出量が比較的少なく、発電による排出がない。

³ 環境白書 2003 年版 <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/img/218/fb2.1.1.2.gif>



注：発電燃料の燃焼に加え、原料の採掘から発電設備等の建設・燃料輸送・情報・運用・保守等のために消費される全てのエネルギーを対象として二酸化炭素排出量を算出

原子力については、現在計画中的の使用燃料国内再処理・プルサーマル・高レベル放射性廃棄物処理等を含めて算出

資料：電力中央研究所

出典：エネルギー白書 2004 年版

図 2.3 発電方式による二酸化炭素排出量⁴

⁴ エネルギー白書 2004 年版 <http://www.enecho.meti.go.jp/hokoku/html/16012211.html>

2.1.2 地球温暖化

二酸化炭素の排出による地球温暖化が進めば、気温の上昇や雨量の増加、海面の上昇などが生じる。また、台風・熱波やエルニーニョなどの異常気象も頻度を増し、より強くなると予測されている。温暖化の影響は、気温の上昇が 2～3℃を超えると悪影響が強くなり、5.8℃近くまで上昇すると破滅的な影響をもたらすこともある。

温暖化による雨や雪の降り方の変化、害虫の発生、川の流量の変化などにより様々な影響を受ける。日本では特に、米生産量の多い地域は気象・害虫・水資源のいずれの面から見ても温暖化による被害を受けやすくなる⁵。

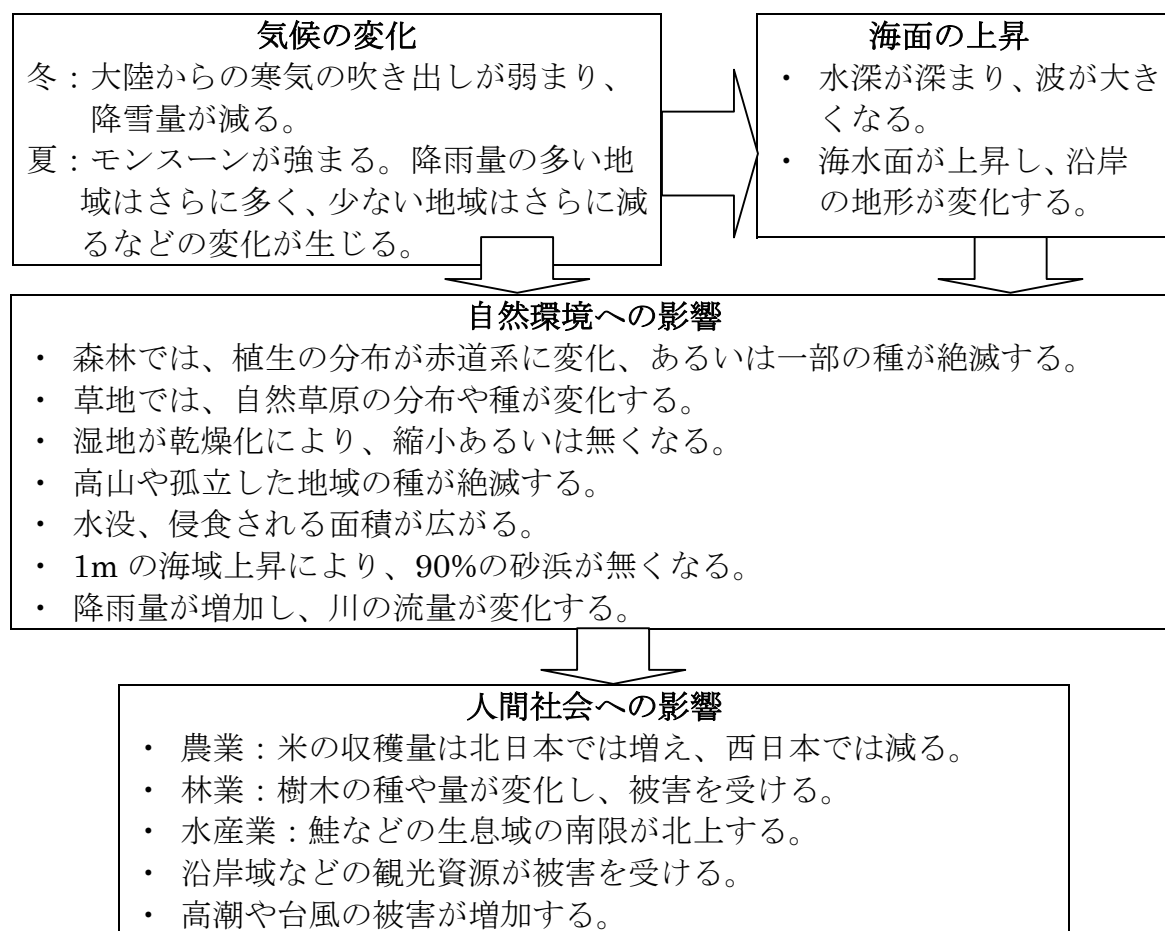


図 2.4 温暖化影響の全体像(日本の場合)⁶

⁵ 温暖化のもたらす深刻な影響(2)

⁶ 温暖化のもたらす深刻な影響(1) <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2004/index.html>

人体への影響の表れ方は、熱波など直接的に人の死亡率に影響が及ぶ場合と、マラリアやデング熱など病気を媒介する動物の生息域の拡大などを通じて間接的に影響が及ぶ場合がある。

2.2 京都議定書

1997年12月、地球温暖化防止京都会議が開かれた。2000年までに温室効果ガスの排出量を1990年の水準に戻すという目標のもと、さまざまな取組みが国際的に進められてきた。

しかしながら、1995年4月にベルリンで行われた第1回締約国会議は、条約内容を不十分とし、新たな国際約束として先進国における2000年以降の目標や具体的な取組みを第3回締約国会議で取りまとめることを決定した。

附属書 I に掲げる締約国(先進国及び市場経済への移行の過程にある国)は、排出の抑制及び削減に関する数量化された約束の達成に当たり、持続可能な開発を促進するために自国の事情に応じて、次のような政策および措置について実施し又は更に定めることにしている⁷。

1. 自国の経済の関連部門におけるエネルギー効率を高めること。
2. 関連の環境に関する国際取極に基づく約束を考慮に入れた温室効果ガス（モントリオール議定書によって規制されているものを除く。）の吸収源及び貯蔵庫の保護及び強化並びに持続可能な森林経営の慣行、新規植林及び再植林の促進。
3. 気候変動に関する考慮に照らして持続可能な形態の農業を促進すること。
4. 新規のかつ再生可能な形態のエネルギー、二酸化炭素隔離技術並びに進歩的及び革新的な環境上適正な技術を研究、促進、開発し、及びこれらの利用を拡大すること。
5. すべての温室効果ガス排出部門における市場の不完全性、財政による奨励、内国税及び関税の免除並びに補助金であって条約の目的に反するものの漸進的な削減又

⁷ 京都議定書第二条

は段階的な廃止並びに市場を通じた手段の適用。

- 6.温室効果ガス（モントリオール議定書によって規制されているものを除く。）の排出を抑制し又は削減する政策及び措置を促進することを目的として関連部門において適当な改革を奨励すること。
- 7.運輸部門における温室効果ガス（モントリオール議定書によって規制されているものを除く。）の排出を抑制し又は削減する措置。
- 8.廃棄物の処理並びにエネルギーの生産、輸送及び分配における回収及び使用によりメタンの排出を抑制し又は削減すること。

表 2.1 温室効果ガス削減率目標 (%)

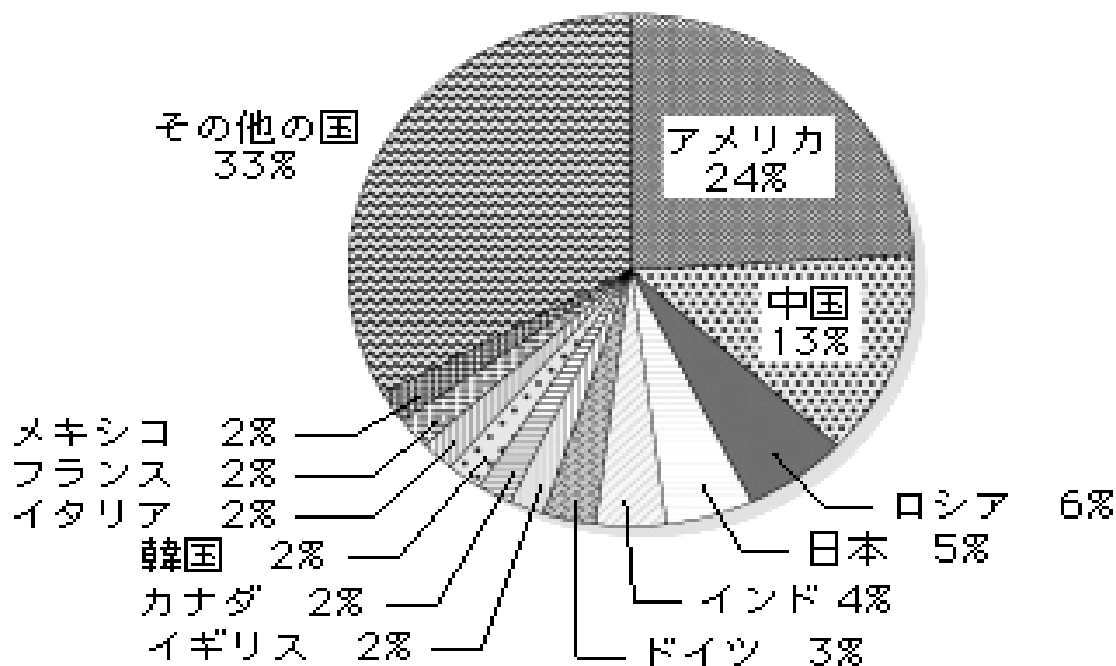
-は目標より達している差 1990 年の排出実績と比較し、2008 年～2012 年の期間中

附属書 I に掲げる締約国	目標削減率	附属書 I に掲げる締約国	目標削減率
オーストラリア	-8	リヒテンシュタイン (注)	8
オーストリア	8	リトアニア (注)	8
ベルギー	8	ルクセンブルグ	8
ブルガリア (注)	8	モナコ	8
カナダ	6	オランダ	8
クロアチア (注)	5	ニュージーランド	0
チェコ (注)	8	ノルウェー	-1
デンマーク	8	ポーランド (注)	6
エストニア (注)	8	ポルトガル	8
ヨーロッパ共同体	8	ルーマニア (注)	8
フィンランド	8	ロシア (注)	0
フランス	8	スロバキア (注)	8
ドイツ	8	スロベニア (注)	8
ギリシャ	8	スペイン	8
ハンガリー (注)	6	スウェーデン	8
アイスランド	-10	スイス	8
アイルランド	8	ウクライナ (注)	0
イタリア	8	イギリス	8
日本	6	アメリカ	7
ラトビア (注)	8		

(注)：市場経済への移行の過程にある国

附属書 I に掲げる締約国全体で、各国により排出される附属書Aに掲げる温室効果ガス(二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、ハイドロフルオロカーボン、パーフルオロカーボン、六フッ化硫黄)の全体量を2008年から2012年までの約束期間中に1990年の水準より少なくとも5%削減することを目的とする⁸。

地球上で排出される二酸化炭素の半分以上を附属書 I に掲げる締約国が排出している。附属書 I に掲げる締約国は、条約第三条の規定を考慮して、悪影響（気候変動の悪影響、国際貿易への影響並びに他の締約国に対する社会上・環境上及び経済上の影響を含む。）を最小限にするような方法で、この条の規定に基づく政策及び措置を実施するよう努力する。この議定書の締約国の会合としての役割を果たす締約国会議は、適当な場合には、この実施を促進するため、追加の措置をとることができる⁹。



資料：OECD/IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion

出典：エネルギー白書 2004 年版

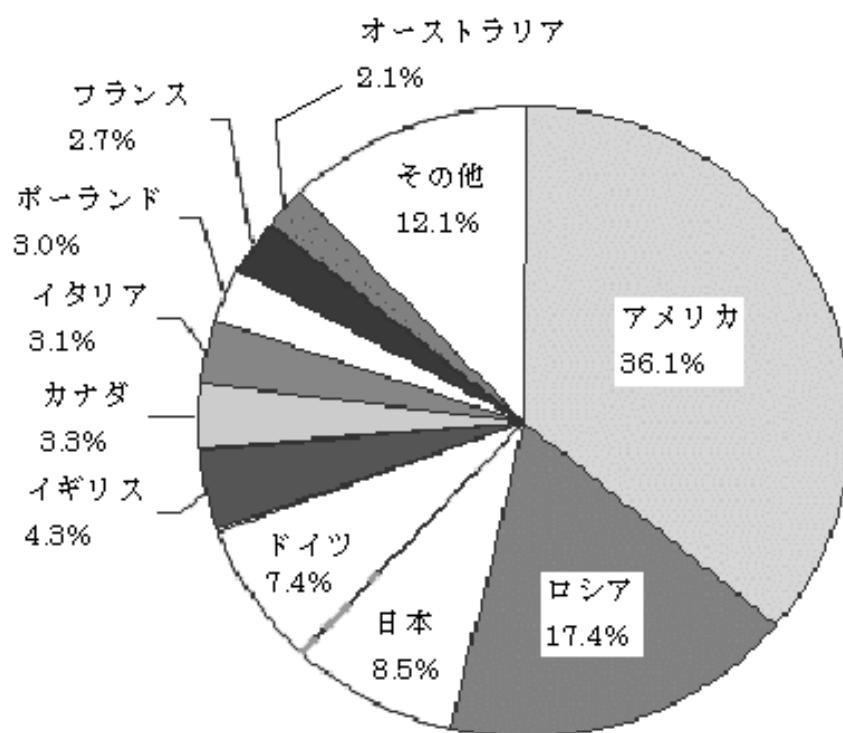
図 2.5 国別二酸化炭素排出量（2000 年）

⁸ 京都議定書第三条

⁹ 京都議定書第二条

さらには、附属書 I に掲げる締約国は、開発途上締約国に対する社会上、環境上及び経済上の悪影響を最小限にするような方法で、1.に規定する約束を履行するよう努力する¹⁰。

この議定書は55以上の条約締約国が対象であり、附属書 I に掲げる締約国の1990年における二酸化炭素の総排出量のうち少なくとも55%を占める附属書 I に掲げる締約国が、批准書、受諾書、承認書又は加入書を寄託した日の90日後に効力が生ずる¹¹。2004年11月、ロシアが京都議定書を締結し発効要件の55%を上回る61.6%になったため、京都議定書は2005年2月16日に発効される。なお、2004年12月16日現在で、131ヶ国が締結を済ませている。



出典：環境庁(当時)

図 2.6 附属書 I 国の二酸化炭素排出割合(1990 年)

¹⁰ 京都議定書第三条

¹¹ 京都議定書第二十五条

2.3 窒素酸化物

2.3.1 酸性雨の歴史

化石燃料の燃焼により、二酸化炭素のほか窒素酸化物も硫黄酸化物と化学反応を起こし、酸性雨になって地上に降る。酸性雨という言葉の歴史は古く、1872 年に出版された本の中に登場している。酸性雨の環境影響は、湖沼水の pH の低下にまず現れた。現実の雨水の pH(H⁺濃度)は、これら酸性物質の濃度だけでなく、塩基性物質のアンモニア、カルシウム、ナトリウム、マグネシウムなどの濃度によって決まる。ヨーロッパにおける雨水の陰イオンの約 6 割は硫酸イオン、約 3 割は硝酸イオンであり、日本では硝酸イオンの比率がこれよりも高くなることが多い。ヨーロッパにおける二酸化硫黄排出量の経年変化であるが、1950 年代からの増加が著しく、湖水の pH 変化と対応している。水棲動植物は pH に敏感であり、鮭やマスなどの魚類の死滅など大きな被害が、スカンジナビア諸国やアメリカ北東部の湖沼、河川で報告されている。1980 年代になると、ヨーロッパ中央部での森林衰退が急速に進む。旧ドイツ連邦共和国では国土面積の約 3 分の 1 にあたる 7,400,000ha の森林の半分以上に被害が出ている。林業にとって重要なトウヒ類に代表される針葉樹に加えて、広葉樹にも被害が広がっている。このような森林被害は北部ヨーロッパや北アメリカ地域にも広がっており、国際的に酸性雨やその他の大気汚染物質による森林破壊メカニズム解明の必要性が認識されている。

日本では 1973 年から 1975 年にかけて関東、静岡および山梨で霧雨または雨上がりに、目や皮膚に痛みを訴える人体被害が発生した。以後、同種の被害の訴えはほとんどなくなったが、これを契機として環境庁と地方自治体による雨水採取と pH、硫酸イオン、硝酸イオンその他の成分分析が開始された。日本では、湖沼や土壌などの酸性化、森林の衰退などは顕在化していないが、雨の汚染レベルは欧米並みであり、近隣諸国からの影響を含めて今後とも監視を続ける必要がある。

2.3.2 窒素と硝酸イオンの関係

窒素はアミノ酸の重要な構成元素の一つで、生物にとって必須の元素である。アミノ酸・蛋白質が分解すると生体に有害なアンモニアとなるが、特にほ乳類は窒素を無

害で水溶性の尿素に代謝している。しかし、貯蔵はできないためそのほとんどは尿として排泄している。そのため、アミノ酸合成に必要な窒素は再利用ができず、持続的に摂取する必要がある。

窒素分子(N_2)は現在の大気の 78.08% を占め、全量としては $3.9 \times 10^{18} \text{kgN}$ になる。窒素酸化物が湖沼に降れば、含まれる窒素の栄養塩濃度が高まり、水域中で大量の硝酸イオンが発生する。その硝酸イオンを取込み、同化するプランクトン等生態系の活動が活発化し、異常増殖を起こす現象を富栄養化と言う。富栄養化が進行すると、赤潮やアオコの発生、異臭等の水質障害、酸素濃度低下による魚介類の死滅、水域の水質値の悪化などを引き起こす。富栄養化は自然界の作用と人間活動に起因するものがあり、人間活動の起因は、特に都市部における生活排水の排出に因るところが大きいと考えられる。

水中に窒素が様々な形態で存在しており、水質分析ではガス態で溶解しているものを除いた、有機態窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の測定が行われる。これらの形態のうち、亜硝酸態窒素と硝酸態窒素の濃度上昇は特に問題が大きい。すなわち、これらの窒素濃度が高い水を飲用すると、メトヘモグロビン血症を引き起こすことがあり、特に乳幼児には危険である。メトヘモグロビン血症とは、硝酸が体内で亜硝酸に還元され、血液中のヘモグロビンと結合し、ヘモグロビンの酸素運搬を阻害するものである。このため、水道水の水質基準では、亜硝酸態窒素と硝酸態窒素の濃度が 10mg/l 以下と定められている。

生物体への反応は窒素固定と呼ばれ、窒素固定細菌などがこの反応を進めている。生物体が分解を受け、硝化反応によって、アンモニウムイオン(NH_4)が NO_3^- に酸化された後、嫌気的な部位で脱窒反応が進む。硝酸イオンから窒素分子への反応では、脱窒菌の嫌気的条件下での呼吸によって硝酸イオン(NO_3^-)の酸素原子が使われる。両者の循環量は地球全体で、 $2 \times 10^{11} \text{kgN} \cdot \text{yr}^{-1}$ 程度であると見積もられているが、その生物活動の変動は大気中の N_2 の総量に比べて無視できるほど小さい。このため、大気中の N_2 は、ほぼ定常状態にあると考えてよく、上記の反応系に基づく平均滞留時間は 2×10^7 年と試算される。窒素サイクルにおける第 2 の窒素のプールは堆積物であり、その量は大気中の N_2 の約 4 分の 1 である。現存の生物体中の窒素は、 $2 \times 10^{13} \text{kgN}$ と、 N_2 に比べて無視できるほど小さい。

窒素は生体を構成する主要元素の一つである。この窒素は NO_3^- の形で流失し、 NH_3

の蒸発と脱窒によって失われるため、通常自然生態系では不足しがちになる。したがって、人間活動が生元素のサイクルに介入する最初のプロセスとして、人工的な空中窒素の固定が始まったことが理解される。現在、人工的な窒素固定は自然界のそれに匹敵する量まで肥大化している。自然界の窒素固定は豆科植物やイネ科植物の根圏など、土壤中での反応が進行する。

脱窒系は、酸素の消失した土壌・堆積物・水塊中に NO_3^- が存在する場合に進行する。微生物の数%は通性嫌気性菌と呼称され、酸素分子(O_2)と NO_3^- を電子受容体として呼吸に利用することができる。他のサイクルと同様、海洋は陸からの窒素化合物の集積場所であり、これらの化合物は NO_3^- に酸化された後、嫌気層で、脱窒系に組込まれる。脱窒は沿岸および外洋の海底堆積物中と熱帯海域の無酸素水塊中で大規模に起る。

大気と水は物質循環およびエネルギー輸送の媒体であり、大気中に存在する N_2 は、この媒体としての役割も無視できない。一方、窒素固定や脱窒は生物圏における生物量を規定するうえで重要な因子となっている。長期的にみると、その消長は生物圏の動態にダイナミックに関与していることになる。

2.3.3 窒素酸化物の放出源

窒素酸化物(NO_x)の放出源は、地表面だけではなく大気中にもある。地表面は化石燃料などの燃焼、バイオマスの燃焼と土壌からの放出であり、大気中にはアンモニアの酸化、雷、高度飛行航空機と成層圏からの移入がある。土壌とバイオマス由来の窒素酸化物排出量は、化石燃料由来のそれよりも大きく、大気中でも地表放出源の約3割に相当する窒素酸化物が放出される。放出量の推定値には大きな幅があるが、地球規模での窒素酸化物放出量は窒素換算にして約40,000,000tonにおよぶと考えられている。北緯30度から50度にかけて化石燃料燃焼による約13,500,000ton・yr⁻¹の窒素放出が関与している。一方、赤道を中心とする熱帯地域でも放出量が大きく、バイオマス燃焼や雷の寄与がかなりある。日本では二酸化硫黄(SO_2)と異なり、都市域を中心に窒素酸化物濃度は下がっておらず、降雨中の硝酸イオン濃度が高い原因と考えられる。

3. 日本における一次エネルギーの事情

3.1 エネルギーの動向

エネルギーは、生産されてから実際にエネルギー消費者に使用されるまで、様々な段階、経路を経ている。大まかに見ると原油、石炭、天然ガスなどの各種エネルギーが供給され、電気や石油製品などにする発電・転換部門¹²を経て、最終的に消費される。この際、発電・転換部門で生じるロスまでを含めた日本が必要とする全エネルギー量として「一次エネルギー供給」の概念が用いられ、最終的に消費者に使用されるエネルギー量という意味で「最終エネルギー消費」の概念が用いられる。国内に供給されたエネルギーが最終消費者に供給されるまでには、発電ロス、輸送中のロス並びに自家消費が発生し、最終消費者に供給されるエネルギー量は、その分だけ減少する。日本の一次エネルギー供給のうち、約 71%を最終エネルギーとして消費している¹³。

一次エネルギーは、石油、天然ガス、LP ガス、石炭、水力、原子力等のエネルギー本来の形態に対し、最終エネルギー消費では、最終的に使用する石油製品、都市ガス、電力、熱などの形態のエネルギーになる。一次エネルギーの種類別では、原子力、水力、地熱、新エネルギー等は、その全てないしほとんどが電力に転換され、消費される。天然ガスは、電力への転換の他、熱量を調整したうえで都市ガスへの転換も大きな割合を占める。石油は、電力への転換の割合は全体的には小さく、そのほとんどが石油精製の過程を経て、ガソリン、軽油などの輸送用燃料、灯油や重油などの石油製品、石油化学原料用のナフサなどとして消費されている。石炭は、電力への転換及び製鉄に必要なコークス用原料炭への使用が大きな割合を占めている。LP ガスは、そのまま一般家庭等での消費が大きな割合を占めている。

¹² 発電所、石油精製工場など

¹³ 総合エネルギー統計より

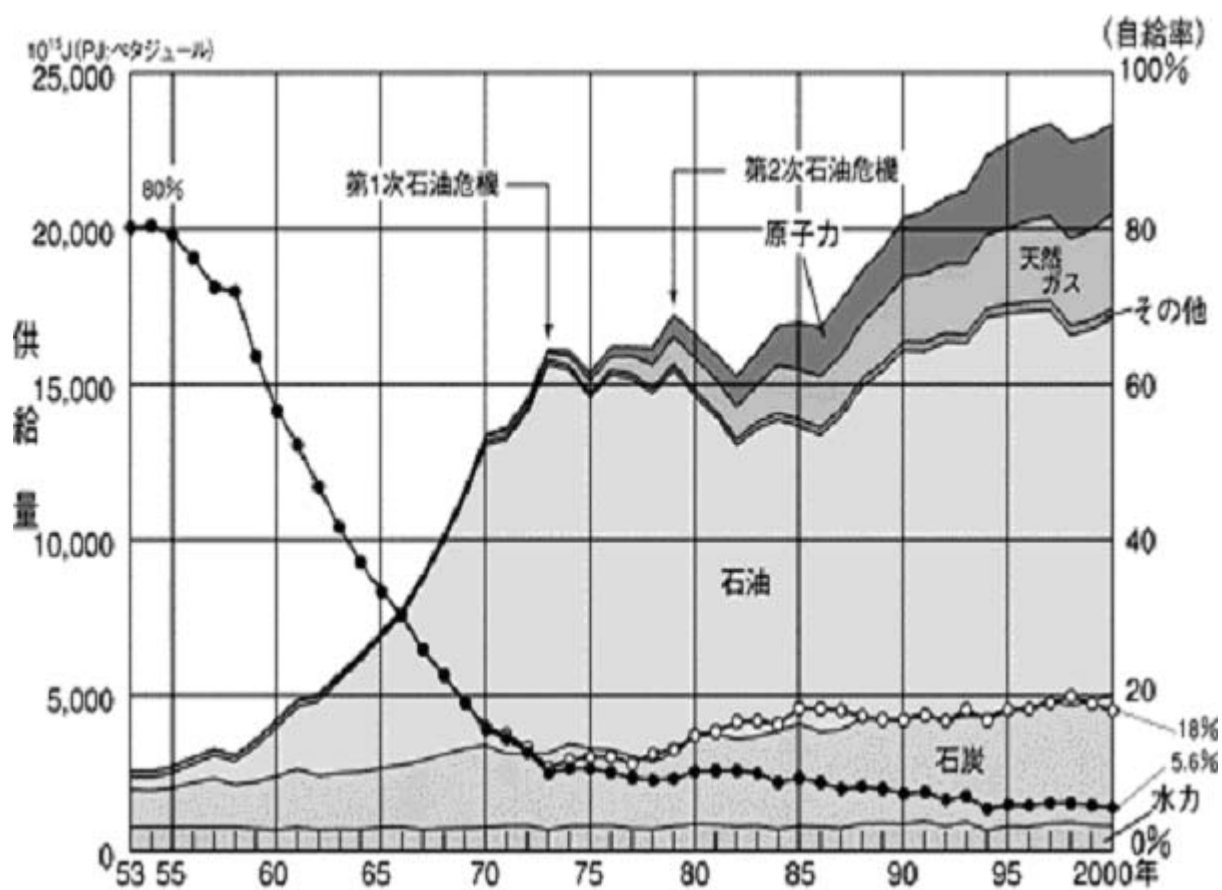
(10¹⁵J)



資料：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

図 3.1 日本のエネルギー・フロー (2001 年度)

国産石炭が価格競争力を失う中、日本は安価な石油を大量に輸入し、1973 年度のエネルギー供給率は石油が 77%を占めていた。しかし、第四次中東戦争を契機に 1973 年に発生した第一次石油危機によって、原油価格の高騰と石油供給断絶の不安を経験した日本は、エネルギー供給を安定化させるため、石油依存度を低減させ、石油に変わるエネルギーとして、原子力や天然ガスの導入を促進した。その結果、石油依存度は 2000 年度のエネルギー供給率が 52%と第一次石油危機時から減少し、その代替として原子力が 12%、天然ガスが 13%とそれぞれの割合が増加した。また、石炭 18%、水力発電 3%、地熱エネルギー0.2%とエネルギー源が多様化している。



●は原子力を含まず ○は原子力を含む

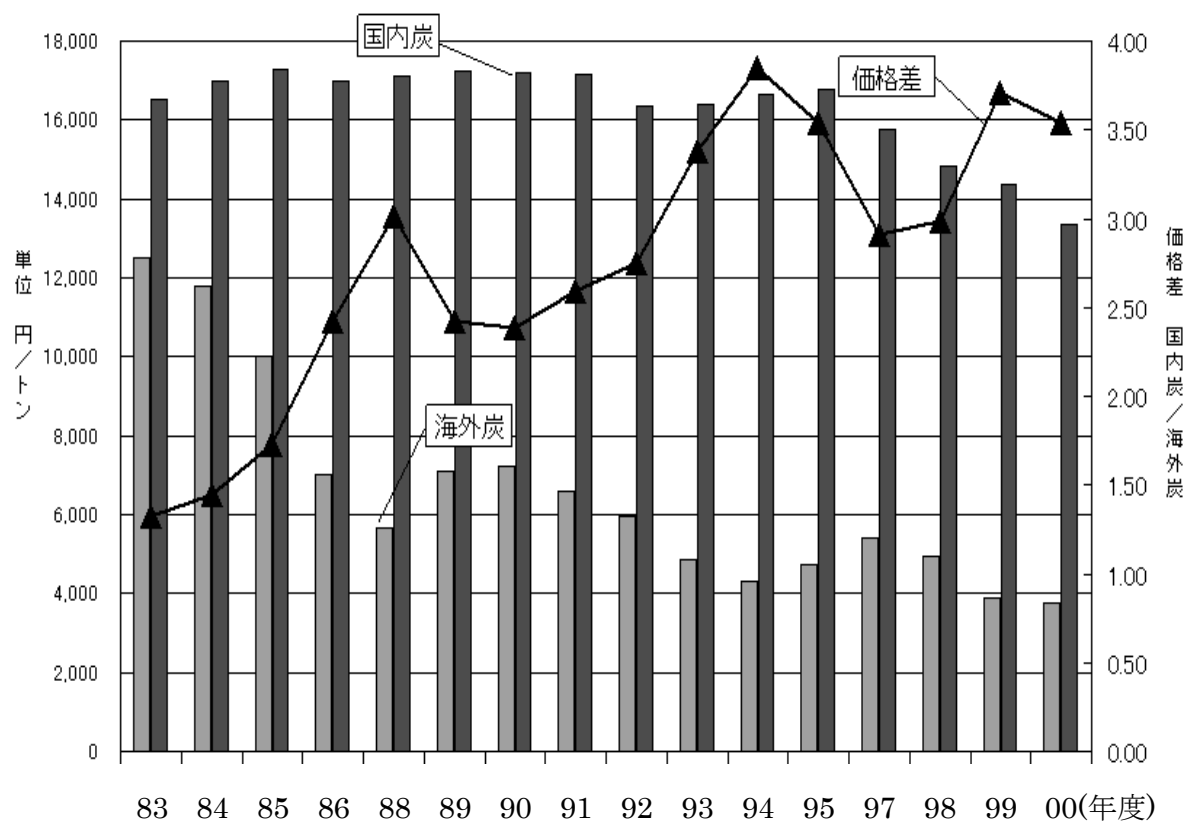
ウランは長期間利用できるため、この図では「準国産エネルギー」として扱う

出典：総合エネルギー統計(2001 年度版)

図 3.2 日本の一次エネルギー供給実績

3.2 一次エネルギーの政策

石炭は、かつて機関車に多かったが、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、相対的に割高になっている。その結果、約3倍程度の価格差が定常化している。そのため現在は、石炭の98.4%を輸入に依存しているが、輸入先は世界に広く分布しているため供給安定性に優れている。資源エネルギー庁は、外国炭の安定供給確保のため、露天掘りの坑内掘への移行等、生産環境の悪化が見込まれている産炭国に対して日本の炭鉱技術による技術協力が重要であると考えている¹⁴。



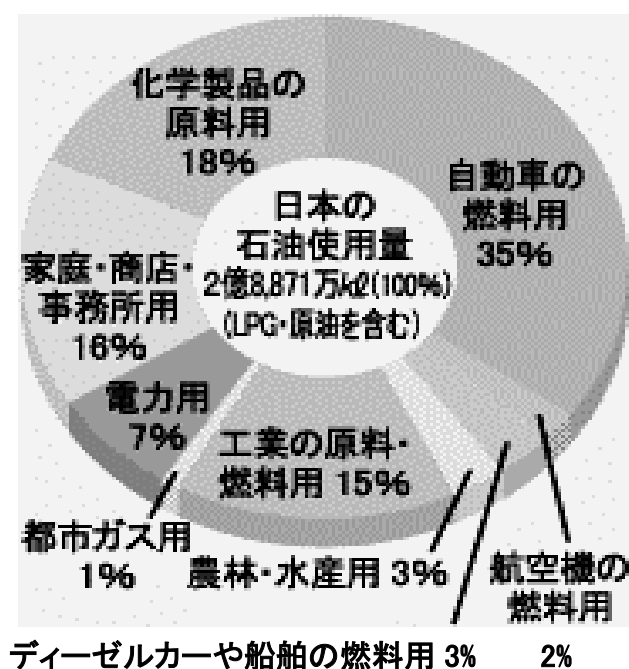
出典：資源エネルギー庁

図 3.3 国内炭と外国炭の価格差推移

¹⁴ 資源エネルギー庁 新たな課題に対応した石炭政策の展開
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/coal/coal03.htm>

石油は二度の石油危機の経験を踏まえ、エネルギーセキュリティ向上の観点から、日本では石油依存度の低減を図ってきた。しかしながら、政情に不安のある中東地域からの輸入が 80%以上を占めており、中長期的な安定供給確保の面で懸念がある。また、経済性・利便性の観点から、21 世紀においても主要なエネルギーであることが予想され、その安定供給の確保は今後ともエネルギー政策上重要な課題であると考えられている。

そのため、石油・天然ガスの安定供給の確保、産油・産ガス国との関係強化、石油・天然ガス消費国としての国際的責務の観点から、国内外における石油・天然ガス開発政策を推進。政府としても、従来からこれらに対応した民間企業の動きを積極的に支援することを課題に挙げている¹⁵。日本では石油の 3 分の 1 以上を自動車の燃料に使っており、工業や化学製品の原料用にも多く使われている。



出典：石油連盟

図 3.4 石油の使用方法(2000 年度)

¹⁵ 資源エネルギー庁 石油政策について 具体的施策と今後の課題
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/oil/oil03.htm>

天然ガスについては、日本の実態や欧米の基準を踏まえた安全基準について適切に検討することを資源エネルギー庁は課題に挙げている。その際は、パイプライン等インフラ整備を経済性や政策的重要性等を勘案しつつ、公的支援など国による関与のあり方、パイプラインの設置に関する環境整備の観点から検討する。輸入の割合は、2001年度で96.6%であり全量が液化天然ガスで供給されている。日本に対する液化天然ガスの供給元は、インドネシア、マレーシア、オーストラリア等のアジア・太平洋地域からの輸入が80%を占めている。液化天然ガスの輸入は、1969年にアラスカからの導入を皮切りに、1972年ブルネイ、1977年アラブ首長国連邦、インドネシア、1982年マレーシア、1989年オーストラリア、1997年カタール、そして2000年からはオマーンからの輸入が開始され、1999年度に天然ガスは日本の一次エネルギー総供給の約13%を占めるに至った¹⁶。また、天然ガスは自動車の燃料にも利用される。

太陽光は、約1kWm²のエネルギーを快晴時に降り注ぐ。1時間に地球上に降り注ぐ太陽エネルギーは、人類が1年間で消費する全エネルギーに匹敵するほど膨大なものと言われている。また、太陽光発電システムは自給できるため供給安定性の高いエネルギーであり、発電過程において全く排出物を出さないクリーンなシステムでもある。日本にとって、エネルギーセキュリティ及び地球環境保全の観点からも極めて重要なものであり、例えばソーラーカーの研究開発が行われている。しかし、一般に太陽エネルギーはエネルギー密度が希薄で、自然条件に左右される。また、太陽光発電システムは現時点で、石油火力発電等の既存電源に比べコストが割高であること等の問題がある。

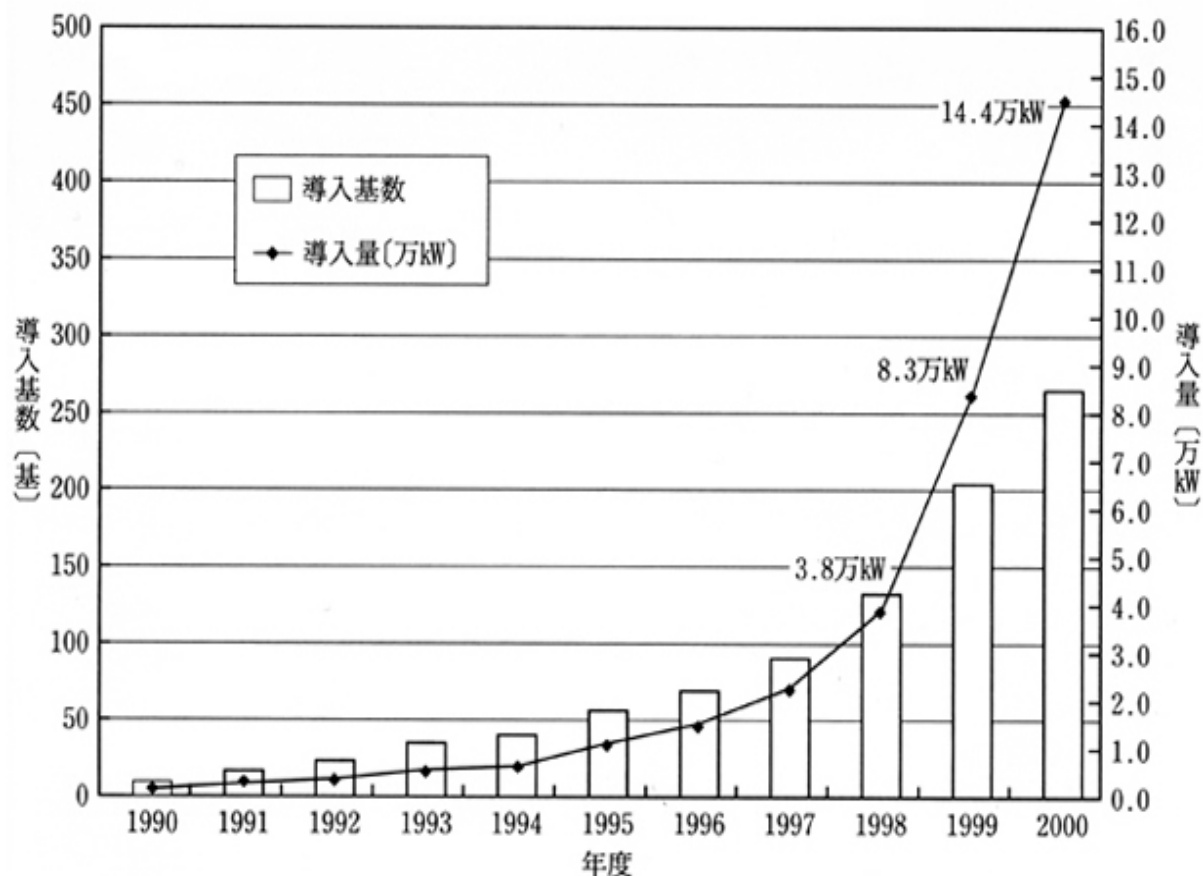
風力は、風向・風速の変動により安定したエネルギー供給の難しさはあるものの、潜在的には資源が広範に賦存し、無尽蔵な純国産のエネルギーである。このエネルギーは、数千年前から帆船等に利用されているほか、最近まで揚水や製粉に利用されてきた。現代に入って、風車や風力発電システムに関する多くのアイデアや理論が体系化され、空気力学に基づく風車の翼型等、多くの新技術が盛り込まれた新しい風車が出てきており、風力発電としての利用等が普及し始めている¹⁷。

¹⁶ 資源エネルギー庁 天然ガス 天然ガスに関する政策の検討

<http://www.enecho.meti.go.jp/energy/lng/lng02.htm>

¹⁷ 資源エネルギー庁 新エネルギー 風力発電

<http://www.enecho.meti.go.jp/energy/newenergy/newene03.htm>



(注)10KW 以上の風力発電設備で稼働中のもの

出典：資源エネルギー庁

図 3.5 日本における風力発電導入量の推移

原子力は、発電時に二酸化炭素を排出しないエネルギーとして日本における供給率が上がっている。燃料であるウランは輸入に依存しているものの、発電原価中の燃料購入費用の割合が低く、カナダ、オーストラリア、イギリス、アメリカ、ニジェール、南アフリカ、フランス等比較的政情の安定している国からのウランの輸入が多い。現在、日本ではエネルギーの安定供給を確保する上で原子力開発を進めている¹⁸。

地熱は、日本にとって純国産の再生可能な貴重なエネルギー資源であり、極めて高い供給の安定性を有することから、国としても積極的に開発を推進すべきものとしている。さらに火力発電に比べて単位発電量当たりの二酸化炭素排出量が約 20 分の 1

¹⁸ 原子力のページ Q&A <http://www.atom.meti.go.jp/siraberu/qa/00/index.html>

と少ないため、クリーンエネルギーとしてもその重要性が再認識されている。また、発電の他に、浴用・施設園芸・道路融雪など多目的の熱水利用の熱源として地域開発にも役立てている¹⁹。

水力は、長期間にわたる発電・再生・自給できる電源である。大規模な開発可能地点は既に開発済みであるため、残りのほとんどは経済的に割高となる中小規模の地点しか残されていない²⁰。供給量は季節により変動するため、異常気象などで降水量が少なければ貯水量も少ない。

表 3.1 エネルギー源の対照表
(交通手段に利用可能)

	安定 供給	CO ₂ 排出量少	自給 可能
石 炭	○		
石 油	○		
天然ガス	○		
太 陽 光		○	○

表 3.2 エネルギー源の対照表
(交通手段に利用不可能)

	安定 供給	CO ₂ 排出量少	自給 可能
風 力		○	○
原 子 力	○	○	
地 熱	○	○	○
水 力		○	○

以上より、気候・地理的条件を問わず安定的に供給を見込め、二酸化炭素の排出量が少なく、日本国内で自給できる地熱エネルギーをこれから水素エネルギーの製造および実用化に向けたエネルギー源の一つとして着目する。

3.3 地熱エネルギー

地熱発電に使用する地熱資源は、地中深くにある非常に高温な流体、主に蒸気を対象としており、地熱資源賦存評価基準では、深度 1,000m で 100℃以上、調査地域の 10km 以内に 600,000 年前以降に活動した火山や熱源があること等の基準がある。よ

¹⁹ 資源エネルギー庁 地熱 地熱発電とは？

²⁰ 資源エネルギー庁 水力のページ <http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/index.html>

って、地熱資源は火山等の周辺に存在する熱源のある場所に限定されている。

1989年に新エネルギー産業技術開発機構(NEDO)が行った資源量評価では、日本全国204地域について地下約3kmまでに賦存する150℃以上の高温熱水資源量により、日本全国で69,300,000GWの発電が可能と評価した。また、井戸が3本以上ある日本全国34地域について、アメリカ地質調査所が提唱した容積法により評価した結果、約25,000,000GWと推定された。

現在の日本にある地熱発電所は、雨水等が地熱により加熱されて高温の熱水として地下に貯えられたものを取り出し、この地熱水を蒸気と熱水に分別し、熱水は地下に戻して蒸気だけをタービンの動力に利用する蒸気発電方式である²¹。これは深度2,000m以下、温度200℃以上の蒸気を対象としている。そのうちシングルフラッシュ方式は、地熱流体が蒸気の場合はそのまま利用し、熱水の場合は気水分離機により蒸気だけを取り出し発電を行う。一方ダブルフラッシュ方式は、熱水を低圧の条件下で蒸気を発生させ発電する。

地熱資源を探すためには、まず地質調査²²・物理探査²³・地化学探査²⁴などの地表調査を実施して地熱構造の推定を行い、その結果を踏まえて坑井を掘削し坑井調査に移行する。坑井を用いることにより、温度などのデータが直接得られるため、より正確な地熱構造が推定できる。また、噴出試験²⁵や噴出流体の化学的成分の分析、坑井間の圧力干渉試験²⁶をモニタリングなどによって地熱貯留層のつながりや地下の物性等を把握・推定できる²⁷。

最終的には、以上のような調査結果を総合的に解析し、地熱概念モデル²⁸を作成する。地熱資源量の把握は、簡易的な容積法や数値モデル²⁹によるシミュレーション予

²¹ 資源エネルギー庁 地熱発電のしくみ

<http://www.enecho.meti.go.jp/energy/ground/ground02.htm>

²² 岩石の種類や断層・変質帯の分布等を把握

²³ 重力・比抵抗等測定により地質構造を推定

²⁴ 温泉や自然噴気の性状・水銀等測定により流体流動を推定

²⁵ 実際に蒸気・熱水を噴出させ、坑井の噴出量や流体の化学的成分等を把握

²⁶ 噴出・注水井に対する観測井の圧力応答から、地層における浸透率等の物性値を把握

²⁷ 秋田地熱エネルギー(株) 地熱 Q&A 「地熱資源」

http://www.yutopia.or.jp/~takamatu/ahp_J_4mp_a.htm

²⁸ 地質構造・流体流動・熱源等の全体を考慮した地熱系のモデル

²⁹ 地熱概念モデルの定量化、観測データをシミュレートできるよう調整された数値から成るモデル

測が一般的に用いられる。

地熱には、高温のエネルギー源が必要で、大抵は地表から数 10km 以内にあるマグマ溜まりを熱源としている。一方、流体の化学的成分の分析・測定から、地熱貯留層にある水や蒸気などの流体は、マグマ性の熱水やガスも含まれるが、そのほとんどが長い年月を経て地表からしみ込んだ雨水などの天水が起源の流体であると考えられている。

しかし、開発や発電のためには、技術・社会のいずれにも課題がある³⁰。

物理的・技術的課題

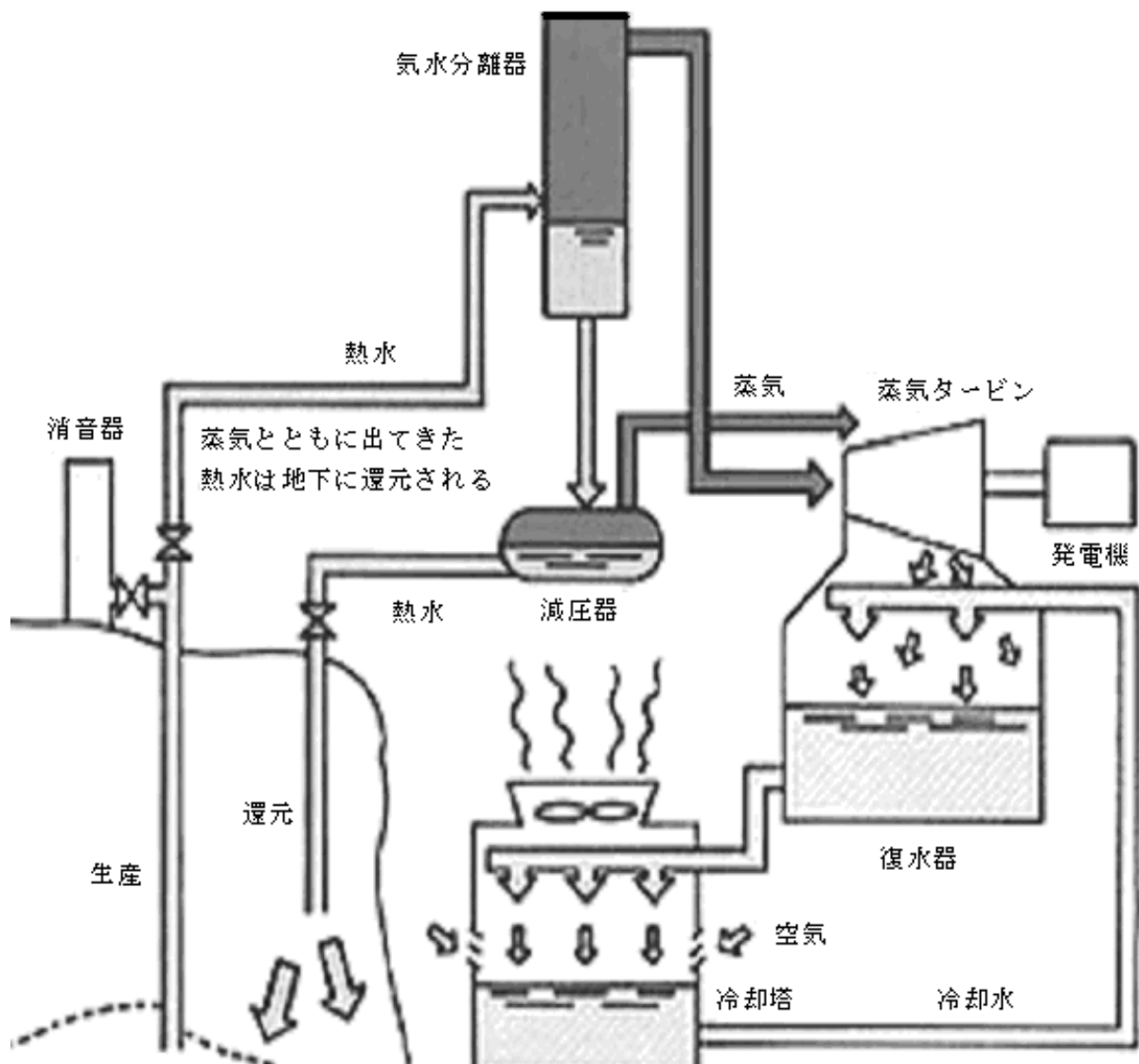
- ・ 熱資源が偏在しており、広範囲な普及は不可能
- ・ 高温の熱水蒸気の貯留層に利用が限定され、立地面での制約が強くなるため、現状の技術では熱資源（200℃以下の熱水や熱水貯留層のない高温岩盤など）を発電以外に活用できない
- ・ 直接利用の場合でも、地下熱資源が熱需要地と離れた場所にあるケースが多く、効率的な地下熱直接利用が困難

経済的・社会的課題

- ・ 資源の事前探索が不可欠であり、コストや開発期間が増大する等リスク大
- ・ 送電系統から離れた立地になるケースが多く、送電設備建設コストを押し上げ、発電所開発建設コストが他の発電方法に比べて高い
- ・ 熱資源のあるエリアが国立公園の中にあるケースなどでは発電所開発が困難で、関連して温泉事業者などとの利害調整が必要になる場合がある

一方、エネルギー技術の国際競争力維持という点からも熱水を利用するバイナリーサイクル発電方式の普及により、今まで発電エネルギーとして使用の難しかった中高温熱水を資源化し、日本の地熱資源ポテンシャルを拡大することを東レ経営研究所は課題に挙げている。

³⁰ 熱水利用発電プラント等開発 バイナリーサイクル発電プラントの開発 10MW級プラントの開発熱水系統試験 周辺動向調査 2002年10月7日 株式会社東レ経営研究所

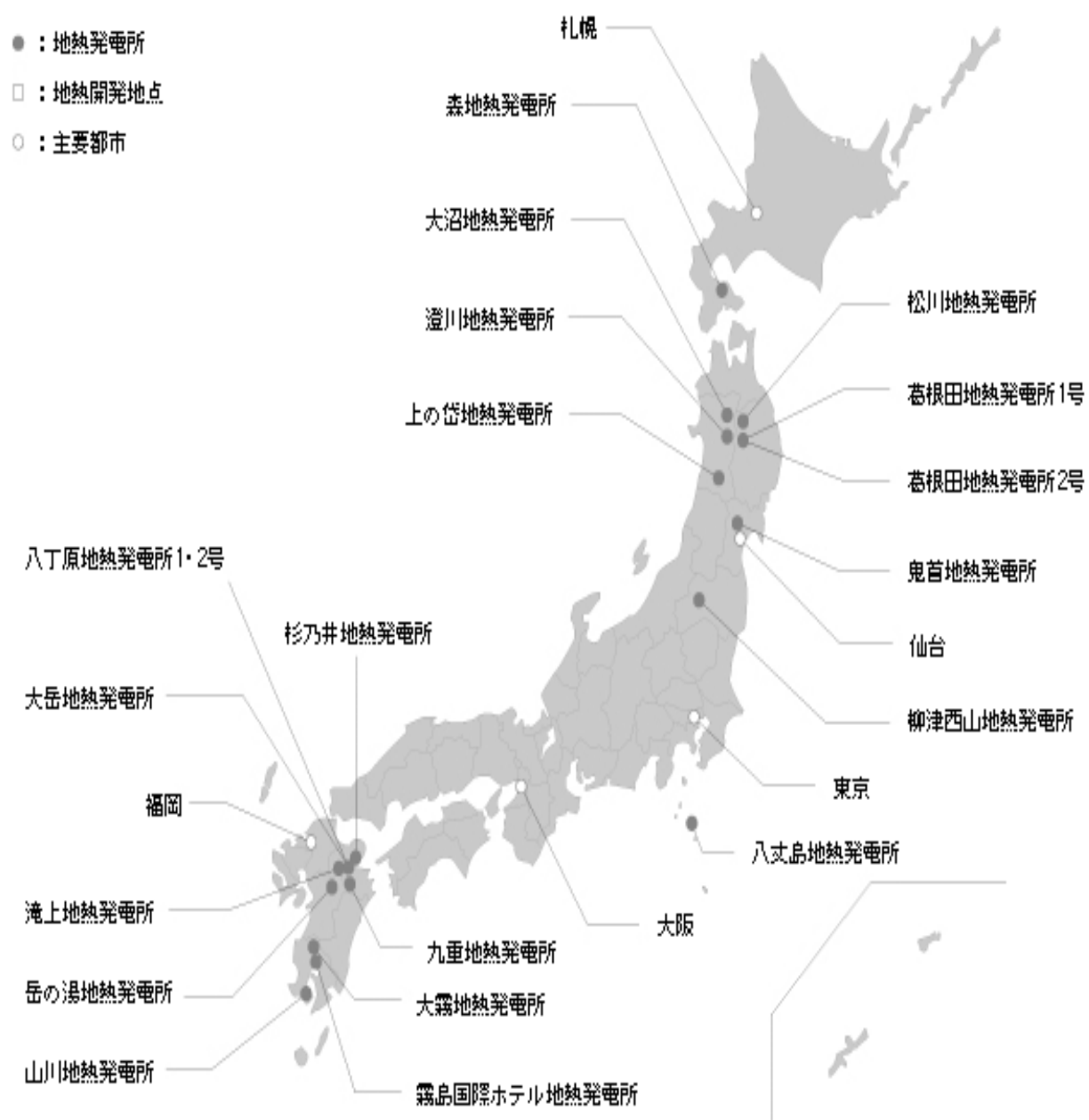


出典：資源エネルギー庁

図 3.6 蒸気発電方式

1966 年、日本で最初の本格的な地熱発電所として蒸気卓越型の松川地熱発電所が、また翌 1967 年には、熱水分離型の大岳発電所が運転を開始した。2001 年には、東北および九州地域を中心に地熱開発が進み、18 地点 20 プラント、出力は 535.25MW の設備があり、運転を続けている³¹。

³¹ 日本の地熱エネルギー 地熱発電の歴史



資料：日本地熱調査会「わが国の地熱発電の動向 2002 年版」³²

社団法人 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向 2003 年」

図 3.7 日本の地熱発電所分布図

³² http://www.soc.nii.ac.jp/grsj/gaiyou/index1_4.html

表 3.3 日本の地熱発電所一覧

発電所名	所在地	発電部門 蒸気供給部門	ユニット数 (台)	設備容量 (kW)	認可出力 (kW)	運転開始 年月日	発電方式 ¹⁾
森	北海道森町	北海道電力(株) 道南地熱エネルギー	1	50,000	50,000	1982.11.26	D F
澄川	秋田県鹿角市	東北電力(株) 三菱マテリアル(株)	1	50,000	50,000	1995. 3. 2	S F
葛根田	岩手県雫石町	東北電力(株) 日本重化学工業(株)	1 (1号)	50,000	50,000	1978. 5.26	S F
		東北電力(株) 東北地熱エネルギー	1 (2号)	30,000	30,000	1996. 3. 1	S F
上の岱	秋田県湯沢市	東北電力(株) 秋田地熱エネルギー	1	28,800 ²⁾	28,800	1994. 3. 4	S F
鬼首	宮城県鳴子町	電源開発(株)	1	25,000	12,500	1975. 3.19	S F
柳津西山	福島県河沼郡 柳津町	東北電力(株) 奥会津地熱(株)	1	65,000	65,000	1995. 5.25	S F
八丈島	東京都八丈町	東京電力(株)	1	3,300	3,300	1999. 3.25	S F
大岳	大分県九重町	九州電力(株)	1	13,000	12,500	1967. 8.12	S F
八丁原	大分県九重町	九州電力(株)	2	55,000	55,000	1977. 6.24	D F
			(1,2号)	55,000	55,000	1990. 6.22	D F
山川	鹿児島県 山川町	九州電力(株) 九州地熱(株)	1	30,000	30,000	1995. 3. 1	S F
大霧	鹿児島県 牧園町	九州電力(株) 日鉄鹿児島地熱(株)	1	30,000	30,000	1996. 3. 1	S F
滝上	大分県九重町	九州電力(株) 出光大分地熱(株)	1	25,000	25,000	1996.11. 1	S F
事業用計			14	510,100	497,100		
大沼	秋田県鹿角市	三菱マテリアル(株)	1	10,000	9,500	1974. 6.17	S F
松川	岩手県松尾村	日本重化学工業(株)	1	23,500 ³⁾	23,500	1966.10. 8	D S
杉乃井	大分県別府市	(株)杉の井ホテル	1	3,000	3,000	1981. 3. 6	S F
霧島国際 ホテル	鹿児島県 牧園町	大和紡観光(株)	1	100	100	1984. 2.23	S F
岳の湯	熊本県小国町	廣瀬商事(株)	1	200	50	1991.10.19	D S
九重	大分県九重町	(合)九重観光ホテル	1	2000	2,000	2000.12.1	S F
自家用計			5	38,800	38,150		
合 計			19	548,900	535,250		

注：1) D S：ドライスチーム、S F：シングルフラッシュ、D F：ダブルフラッシュ

2) 27,500kW から 28,800kW に出力変更、1997 年 2 月

3) 22,000kW から 23,500kW に出力変更、1993 年 6 月

出典：「わが国の地熱発電の動向 2002 年版」、社団法人日本地熱調査会

著作権者：社団法人日本地熱調査会

4. エネルギー特区

4.1 構造改革特区

経済を活性化させるには、規制改革を行うことによって、民間活力を最大限に引き出し、民業を拡大することが重要である。経済情勢を踏まえると、一刻も早く規制改革を通じた構造改革を行うことが必要であるが、全国的な規制改革の実施は、様々な事情により進展が遅い分野があるのが現状である。これらを踏まえ、地方公共団体や民間事業者等の自発的な立案により、地域の特性に応じた規制の特例を導入する特定の区域を設けることで、当該地域において地域が自発性を持って構造改革を進めることが、特区制度を導入する意義である。そして 2002 年 7 月、第 1 回提案の募集を開始した。

地域においては、国があらかじめ何らかのモデルを示すことや、従来型の財政措置による支援措置を講じることに期待するのではなく、「自助と自立の精神」を持って「知恵と工夫の競争」を行うことにより、地域の特性に応じた特区構想を立案することが期待されている。また、そのような地域の独創的な構想を最大限実現するための環境整備を、内閣一体となって行っていくのが特区制度である。

特区制度の導入により実現すべき目標は、以下の 2 つである。地方公共団体や民間事業者等は、これらの目標を実現しうるような特区構想を立案することが期待される。

- 1) 特定の地域における構造改革の成功事例を示すことにより、十分な評価を通じ、全国的な構造改革へと波及させ、我が国全体の経済の活性化を実現すること。
- 2) 地域の特性を顕在化し、その特性に応じた産業の集積や新規産業の創出、消費者・需要家利益の増進等により、地域の活性化につなげること。

特区を推進するための基本方針は、「規制は全国一律でなければならない」という考え方から、「地域の特性に応じた規制を認める」という考え方に転換を図り、地域の実態に合わせた規制改革を通じて、「官から民へ」、「国から地方へ」という構造改

革を加速させるための突破口となるものである。こうしたことから、特区の推進に当たっては、定期的に地方公共団体や民間事業者等から提案を受付け、それらの提案について「実現するためにはどうすればいいか」という方向で検討を行い、追加・充実していくものとする。さらに、特区において実施される規制の特例措置は、一定期間後に評価を行うことにより、特区の成果を着実に全国に広げていくことが必要である³³。

この中で、青森県が申請した、環境・エネルギーフロンティアの形成を目指す「環境・エネルギー産業創造特区³⁴」について、次に記述する。

4.2 環境・エネルギー産業創造特区

2003年5月23日、青森県が構造改革特別区域法に基づき国に申請した「環境・エネルギー産業創造特区」計画が、認定された。計画の内容は、国際的なエネルギー開発・供給拠点が形成されつつあり、ゼロエミッション技術の確立を目指す先進的な取り組みを展開している本地域のポテンシャルを最大限に活かし、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、新たなビジネスや新産業の創出を促進することにより、地域の経済活性化や雇用の創出を図るとともに、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として、世界に貢献する「環境・エネルギーフロンティアの形成」の実現を目指すものである。

特別区域の範囲は、むつ・小川原開発地域(十和田市、三沢市、むつ市、平内町、野辺地町、七戸町、百石町、十和田湖町、六戸町、横浜町、上北町、東北町、天間林村、下田町、六ヶ所村、東通村)と八戸市の計17市町村である。特区区域の面積は3,060km²、人口は352,000人で原子力発電所やバイオマス資源がある。青森県には、「寒冷地で熱を使う」、「むつ・小川原地域を中心に原子力施設関係が集積しておりエ

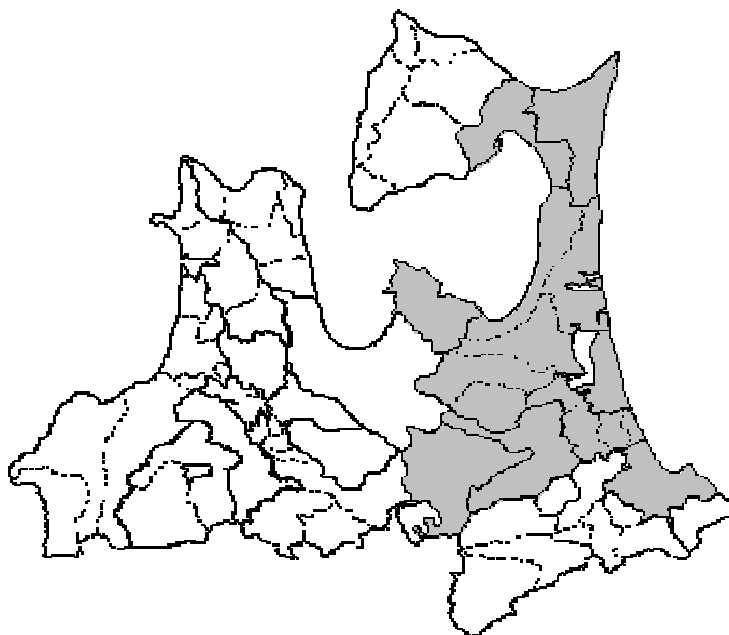
³³ 首相官邸 構造改革特別区域推進本部 基本方針

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kouzou2/kettei/041210/041210kihon.html>

³⁴ 青森県庁 環境エネルギー・産業創造特区

<http://www.pref.aomori.jp/kankyoene/>

エネルギーになじみの深い企業が多く、人々のなじみも深い」、「風力発電施設の集中立地がますます進み、バイオマス資源の活用に多くのポテンシャルを有しており、次世代エネルギーを利用する下地が整いつつある」、「元々エコタウン構想を持ち、資源循環型産業の育成を図り、ゼロエミッションを推進している」という背景がある。



出典：青森県庁

図 4.1 環境・エネルギー産業創造特区の区域

菜の花畑の面積が 140ha ある横浜町では、この家畜ふん尿等と菜種絞り滓をバイオマス設備に投入し、嫌気発酵プロセスを経てメタンガスを抽出し、電力需要に応じてガスエンジン等により発電を行う。発生する電力は「資本関係等によらない密接な関係による電力の特定供給制度」を活用して、周辺事業場に売電する。併せて、当該周辺農業用ハウスなどに熱供給することにより、青森県が推進する「冬の農業」を実践する。さらに、食の安全・安心への取組みが注目される中で、堆肥等をハウスや農地に還元することで、有機野菜等を栽培し、この野菜を地元スーパー等で販売することにより地産地消を目指す。

六ヶ所村周辺では、製材所等から発生するバーク、樹皮木くず、間伐材及び周辺で

発生する剪定廃材や稲わらなどを収集し、バイオマス発電を行う³⁵。発生電力は、自営線により、周辺事業所に供給する。また、投入資源は純粋に有機性廃棄物であるため、燃焼後に残留する焼却灰は脱水発酵処理を行い、堆肥化することが可能であり、こうした堆肥は周辺農地に還元する計画となっている。

規制を緩和されているものの一つに、次世代型エネルギーシステムによるエネルギー供給の実証がある。例えば、マイクロガスタービンや燃料電池などには、安全・保安上設置や管理に多くの制約条件が設けられているが、ある程度の安全性が担保されたものであれば、特区の中では主任者選定の義務および保安規定の届出を緩和することにより、積極的な導入を目指す。

また、自ら発電した電気は自ら使用することが原則であるが、エネルギーの有効利用および地域経済の活性化という観点から、余った電気を売る商売を試験的に実施する試みもある。

エネルギー特区という概念自体はまだ固定化されていないが、特区で実証し、そこから得られる知見を積極的に利用・活用し、将来の産業振興に生かすことができれば、特区の意義がある。

³⁵ 金谷年展慶應義塾大学大学院助教授への取材より

5. 燃料電池車の普及に向けた取組み

図 3.4 に示す通り、現在は石油の 35% を自動車の燃料として利用している。よって、二酸化炭素の排出量が少ない自動車を開発する必要性がある。一次エネルギーを電池に蓄えて運転する自動車は、電気自動車や燃料電池自動車などがある。

電気自動車は、走行中に排出ガスを全く出さず減速時にエネルギーを回収するなど利点があるが、走行距離が短く積載量が少ないことなどにより用途が限定されることや、普通充電の充電時間は 8 時間程度であり、急速充電の充電時間であっても 30 分かかるなどの難点もあり、本研究では充電不要な水素エネルギーを利用する燃料電池自動車に着目する。

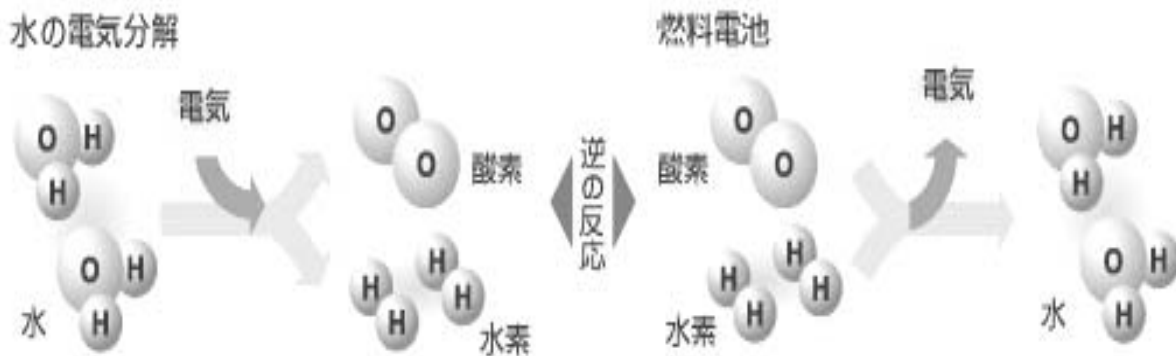
5.1 燃料電池

5.1.1 燃料電池の原理

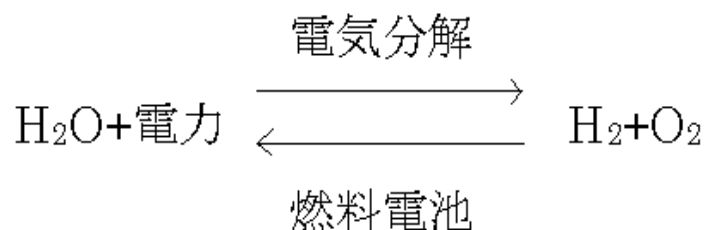
燃料電池は、水の電気分解と逆の原理で発電する。水の電気分解は水に外部から電気を通して水素と酸素に分解するが、燃料電池はその逆で水素と酸素を電気化学反応させて電気を作る³⁶。図 5.1 にその原理を記す。

水素は最も軽く、単純な構造の元素であり、1 つの陽子と周りを回る 1 つの電子によって構成されている。常温、常圧では無色、無臭の気体 H_2 の形態を取る。この融点は 20.27K (259.2 °C) 沸点は 14.02 K (-252.6°C) である。ガス惑星の内部など非常に高い圧力下では性質が変わり、液状の金属になると考えられている。逆に宇宙空間など非常に圧力が低い場合水素単体の元素で存在していることもある。水素分子形状の雲は星の形成などに関係あると考えられている。

³⁶ 社団法人日本ガス協会 燃料電池 燃料電池の発電原理 <http://www.gas.or.jp/default.html>



出典：社団法人日本ガス協会



出典：日本自動車研究所

図 5.1 水の電気分解と燃料電池の原理

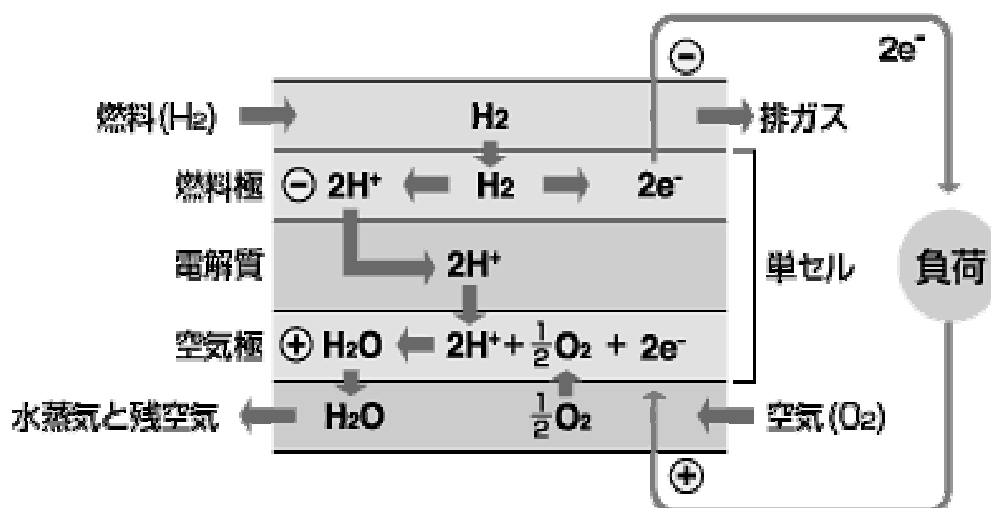
また、水素は宇宙で最も豊富にある元素である。質量では宇宙全体の 75%を占め、原子の数は全原子の 90%以上を占めていると言われる。これらのほとんどは恒星あるいはガス型惑星の構成物として存在している。宇宙では大量に存在しているにもかかわらず、地球の大気中には 1ppm 以下とほとんど存在していない。地球上で水素を作る場合、水を主な原料とする。有機物が腐敗する際の副産物でできるメタンも水素の重要な原料となっている。

Hydrogen は、フランス語で「水を作る物」の意味があり、これはギリシャ語の hudôr (水) と gennen (発生) を合わせた言葉である。水素を水素として発見したのは 1776 年、ヘンリー・キャベンディッシュ(Henry Cavendish)であり、アントワーヌ・ラボアジエ(Antoine Lavoisier)が命名した。

燃料電池の本体であるセル・スタックは、空気極と燃料極は気体を通す構造をしていて、反応に必要な酸素や水素がその中を通る。水素は電極中の触媒の働きで、電子を切り離して水素イオンになる。電解質はイオンしか通さないという性質を持っているため、切り離された電子は外に出る。電解質の中を移動した水素イオンは、反対側

の電極に送られた酸素と、外部から電線（外部回路）を通じて戻ってきた電子と反応し、水になる。ひとつのセルが作れる電気は電圧約 0.7V であり、大きな電気を作るためにはセルを積み重ねる。例えば 1kW の電気を作るには、セルを約 50 枚積み重ねる。この「反応に関与する電子が外部回路を通ること」が原理の重要なポイントであり、電子が電線を移動することにより電気が発生する³⁷。

水素が爆発する危険性については、燃料電池車では密閉した装置の中で使用しているため、通常の使用範囲では爆発の危険はない。もし水素が漏れた場合であっても、水素は軽い気体で拡散するスピードが気体の中では最速なため、爆発する濃度には成りにくい性質がある。ただし、車庫などの密閉空間では換気を望まれる³⁸。

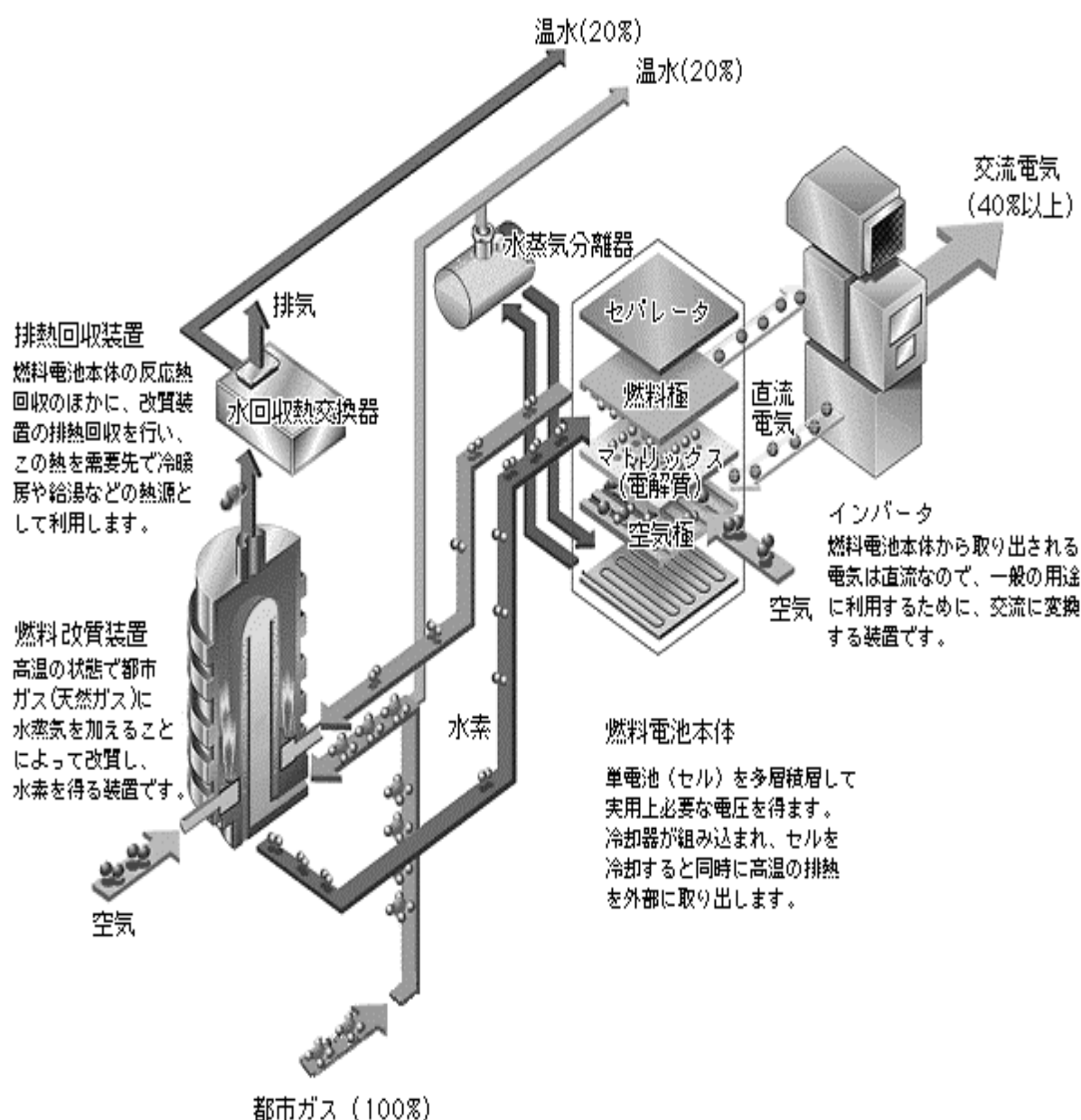


出典：社団法人日本ガス協会

図 5.2 セル・スタックにおける流れ

³⁷ 社団法人日本ガス協会 燃料電池 燃料電池のしくみ <http://www.gas.or.jp/default.html>

³⁸ 財団法人日本自動車研究所 くるま学園 燃料電池車について
http://www.jari.or.jp/ja/denki/pdf/04_21-26.pdf



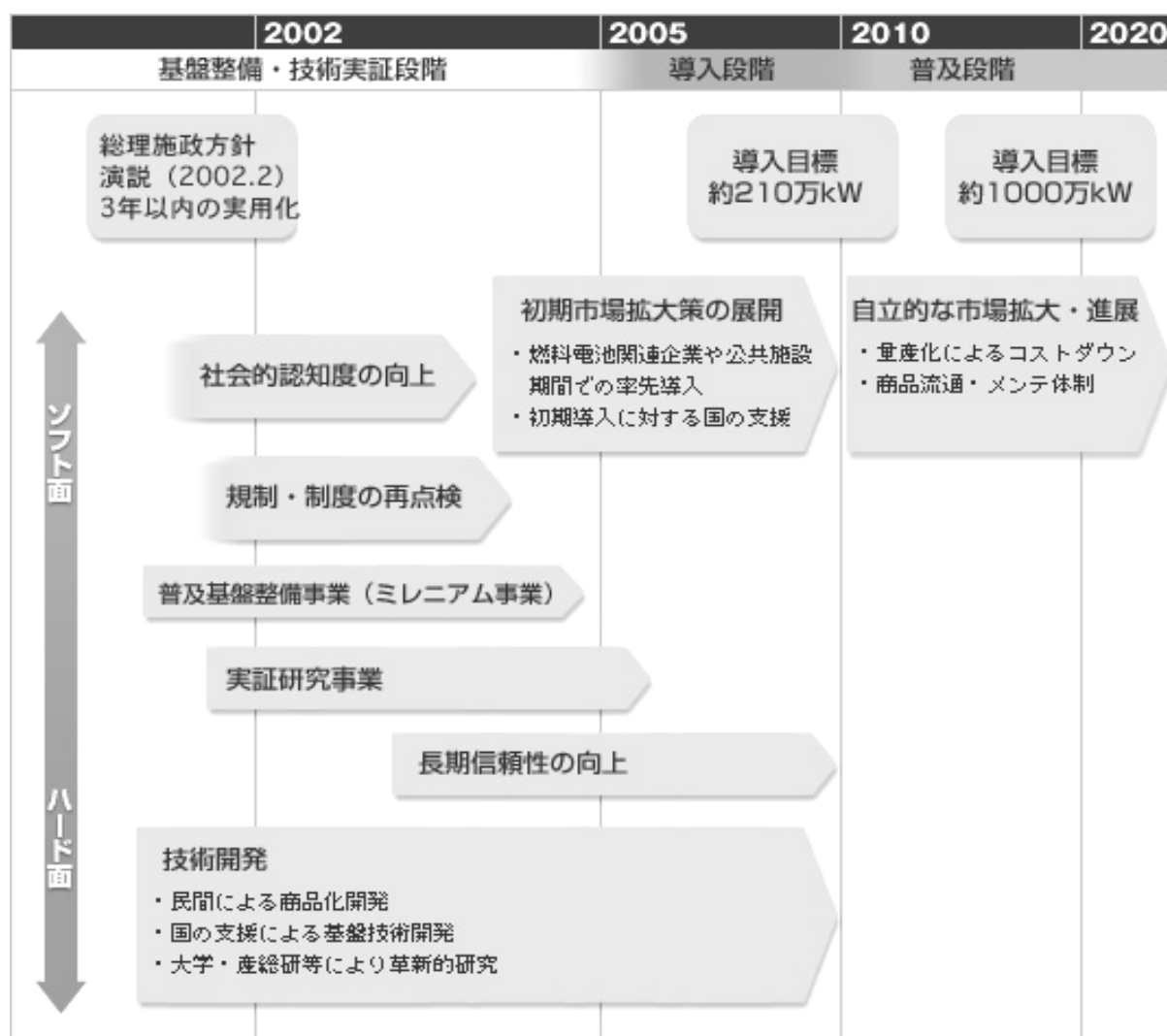
出典：社団法人日本ガス協会

図 5.3 燃料電池システムの詳細図

5.1.2 燃料電池の歴史と今後のスケジュール

1801 年、イギリスのデービー卿により燃料電池のアイデアが発表される。その後 1838 年、イギリスのウィリアム・ロバート・グローブ(William Robert Grove)卿により燃料電池による発電実験の成功、そしてイギリスのフランシス・トーマス・ベーコ

ン(Francis Thomas Bacon)卿が燃料電池による特許を取得したことにより、燃料電池が認知されるようになる。1965 年以降、燃料電池の開発の主導権はアメリカに移り、主に宇宙用燃料電池として開発が行われてきた。その技術開発を生かすべく、1967 年頃より小容量燃料電池の商業化が開始された。日本では、1978 年にムーンスライト計画、1993 年のニューサンシャイン計画など、政府主導により民生用製品の開発が行われており、その結果 2002 年には燃料電池自動車の試験的市販が行われた³⁹。



出典：社団法人日本ガス協会

図 5.4 今後のスケジュール

³⁹ 研究・技術計画学会 第 19 回年次学術学会 燃料電池の技術ロードマッピング

5.2 燃料電池自動車の実用化に向けた動向

燃料電池自動車の普及などを目的に、2002 年度から 2005 年度にかけて「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC)」を実施している。これは、経済産業省が実施する固体高分子形燃料電池システム実証等研究補助事業に含まれる「燃料電池自動車実証研究」と「燃料電池自動車用水素供給設備実証研究」から構成されている。

実証試験の目的は、以下の通りである⁴⁰。

- 1.燃料電池自動車および水素ステーションの省エネルギー効果（二酸化炭素削減・効率）の明確化
- 2.燃料電池自動車および水素ステーションの環境負荷（二酸化炭素以外）低減効果の明確化
- 3.燃料電池自動車および水素ステーションの安全等にかかわる規格、法規・基準の作成のためのデータ取得等
- 4.燃料電池自動車および水素ステーションの社会的認知度向上のための啓発活動
- 5.燃料電池自動車および水素ステーションの普及および促進のための課題の明確化
- 6.副生ガス（COG）からの効率的な水素回収と効率的な液体化技術の開発実証

特長は、脱硫ガソリン改質、ナフサ改質、LPG 改質、液体水素貯蔵、メタノール改質、高圧水素貯蔵、アルカリ水電解、灯油改質、都市ガス改質の計 9 ヶ所の水素ステーションを整備し、ステーションを運用・評価する。

以下に、燃料電池自動車と水素エネルギーそれぞれを製造しているメーカーの動向について記述する。

5.2.1 燃料電池自動車メーカーの動向

乾電池に、マンガン電池、アルカリ電池、リチウム電池などの種類があるように、燃料電池にも電解質によっていくつかの種類がある。その中で、家庭用や自動車用に使われる固体高分子形の実用化が間近である。気温と同じ温度から発電できるので、

⁴⁰ JHFC JHFC プロジェクト 実証試験について <http://www.jhfc.jp/jhfc/examination.html>

スムーズに動き始められる長所がある。他には、電解質が薄い膜のようなもので、出来ているため電気抵抗が小さく、発生した電気のロスが少なくて済む。そのため、同じ大きさの電気を作るのに、ほかのタイプの燃料電池よりセル・スタックを小さく軽くすることができる。また、保温材や補機（昇圧用コンプレッサー等）も小さく軽くできるという長所もある。

以下に固体高分子形を含む代表的な燃料電池を表に示す。

表 5.1 燃料電池の種類

	固体高分子形 (PEFC)	リン酸形 (PAFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	固体電解質形 (SOFC)
原 料	都市ガス, LPG 等	都市ガス, LPG 等	都市ガス, LPG, 石炭 等	都市ガス, LPG 等
作動気体	水素	水素	水素, 一酸化炭素	水素, 一酸化炭素
電 解 質	陽イオン交換膜	リン酸	炭酸リチウム 炭酸カリウム	安定化ジルコニア
作動温度	常温～約100℃	約200℃	約650℃	約1000℃
発電出力 発電効率 [LHV]	～50kW (35～40%)	～1000 kW (35～42%)	1～10万 kW (45～60%)	1～10万 kW (45～65%)
開発状況	実用化間近	実用化	研究段階	研究段階
用途と段階	家庭用、小型業務用、 自動車用、携帯用 実用化開発段階	業務用、工業用 導入普及段階	工業用、分散電源用 実証段階 (1MWプラント開発)	工業用、分散電源用 試験研究段階 (数kWモジュール開発)

出典：社団法人日本ガス協会

JHFC のプロジェクトには 8 つの自動車メーカーが参加している。そのうち日系メーカーは 6 つで、2001 年に開発されたマツダのメタノール改質型「プレマシー FC-EV」とトヨタのガソリン改質型「FCHV-5」を除いて高圧水素型である。国土交通大臣認定を取得した燃料電池車は、既に 8 台ある。

年	2000	2001	2002	2003
	■ホンダ 9月 FCX-V3 (巴拉ード製スタック) ■日産 10月 エクステラ FCV ■マツダ ダイムラー・クライスラー、 日石三菱のプロジェクト への参加表明	■トヨタ 1月 GMとクリーンHC 燃料開発で合意 ■マツダ 2月 プレマシー FC-EV ■ホンダ 2月 FCX-V3 (ホンダ製スタック) ■トヨタ 2月 FCHV-3 ■トヨタ 6月 FCHV-4 FCHV-BUS1 ■ホンダ 7月 FCX-V3 (巴拉ード製スタック) ■ホンダ 9月 FCX-V4 (巴拉ード製スタック) ■トヨタ 10月 FCHV-5 ■ダイハツ 10月 MOVE FCV-K-II	■ホンダ 3月 FCX-V4 (巴拉ード製スタック) ■トヨタ 9月 FCHV-BUS2 ■ホンダ 10月 FCX ■トヨタ 11月 FCHV ■日産 11月 X-TRAIL FCV	■ダイハツ 1月 MOVE FCV-K-II

高圧水素形FCV
 メタノール改質形FCV
 ガソリン改質形FCV
 青文字:発表
 大臣認定取得

出典：JHFC

図 5.5 燃料電池自動車の開発経緯

現在は、「燃料電池自動車 1 台当たりの価格は 1 億円を超える⁴¹⁾と言われる中、2003 年 11 月、東京モーターショーで燃料電池車を発表した日系自動車会社の中で、数社の説明員に販売希望価格および燃料電池自動車を普及させるための意見を尋ねた。

⁴¹⁾ 2004 年度北陸先端科学技術大学院大学第 6 回知識科学セミナー「燃料電池自動車用 CO₂ ゼロエミッション水素製造と貯蔵」 東京工業大学大学院 大塚潔教授より

表 5.2 各自動車会社の希望販売価格

自動車会社	希望販売価格
A 社	3,000,000～4,000,000 円
B 社	2,000,000～5,000,000 円
C 社	ガソリン車+500,000 円
D 社	ガソリン車と同価格
E 社	2,000,000～3,000,000 円
F 社	ガソリン車と同価格
G 社	ガソリン車と同価格

A 社は「官民一体で推し進めなければ尻すぼみになる可能性がある」と指摘する。その方法について、B 社は「税金面、インフラの設置へのサポートが必要で、そのためには自治体・企業・個人の車のいずれから採用するのかを十分に検討した上で、官民が協力してそれに適したインフラの設置を進めるべきである」との意見であった。

こうした中で自治体からの採用を望む意見があり、C 社は「公用車、タクシー、バスなどの公共交通機関に使用してほしい。そのためには、補助金も必要がある」と要望していた。補助金を利用して自治体および公共交通機関が購入すれば、生産量増加によるコストダウンが期待できる。さらに、B 社からは「学校教育の場でも燃料電池車のしくみとメリットをカリキュラムに取組んでも良いと思う」という意見もあり、水素エネルギーや燃料電池車のメリットおよび安全対策を理解できる場を設ける必要性を訴えている。

5.2.2 水素エネルギーメーカーの動向

JHFC は 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た。脱硫ガソリン改質、ナフサ改質、LPG 改質、液体水素貯蔵、メタノール改質、高圧水素貯蔵、アルカリ水電解、灯油改質、都市ガス改質の計 9 ヶ所の水素供給設備を整備し、プロジェクトに参加する燃料電池自動車などで運用し評価する⁴²。

地熱エネルギーをエネルギー源にして水素エネルギーを製造するには、水電解法がある。日本では現在、相模原水素ステーションにてアルカリ水電解方式による水素製

⁴² FUEL CELL VEHICLE 燃料電池自動車 水素・燃料電池実証プロジェクト



出典：社団法人 日本自動車工業会

図 5.6 JHFC 水素供給設備

造が行われている。

このステーションは、シナネン株式会社が水素ステーションの運営管理を担当しており、栗田工業株式会社が移動式製造設備の設計製作および全体の取りまとめ、伊藤忠エネクス株式会社が定置側供給設備の設計施工を行っている。アルカリ隔膜水電解方式の水素発生装置や圧縮機などをトラックに搭載することにより、設備を蓄ガスユニット、ディスペンサーなど最小限にし、省スペース化を図った。この設置方式は、水素製造設備を複数の施設で共有できるため、初期設備投資を抑制して水素ステーション

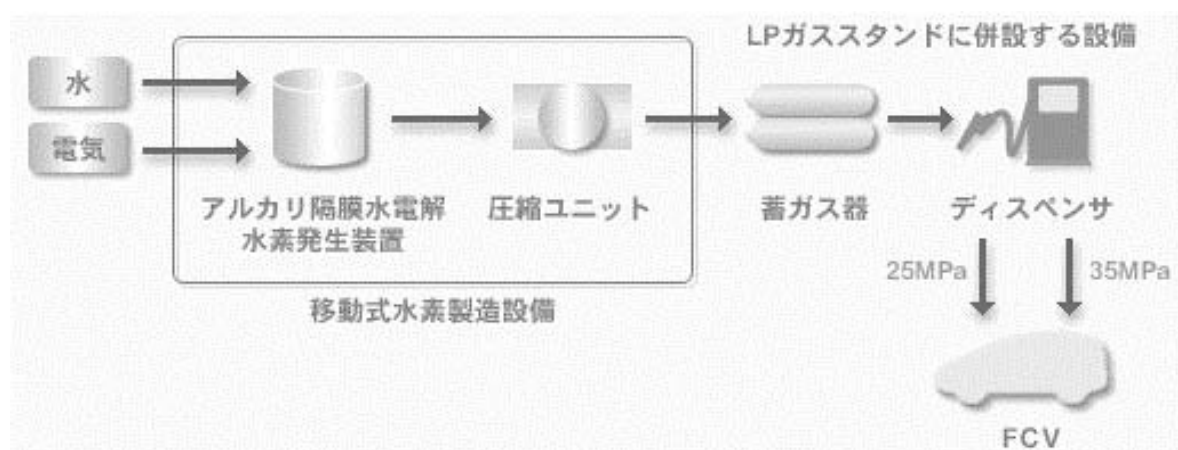
ョンを整備できる利点がある。水素の純度は 99.99%以上で、一酸化炭素は発生しない。

主な特長は以下の通りである。

- ・ 水素発生装置と圧縮機をトラックに搭載した移動式製造設備
- ・ 電気、水道の既存インフラを利用
- ・ 太陽光発電、風力発電などの自然エネルギーの利用が可能
- ・ 蓄ガス器、ディスペンサーのみを設置した受入側設備
- ・ 既存設備の共有化による省スペース化

現在は規制により、天然ガススタンドは保安物件までの距離を 5m 以上保つ必要があるが、水素ステーションはその 2 倍以上の 11.3m 以上保つことを規制されている⁴³。水素は大気中の空気よりも軽いため、上空に漏れるため 3 次元に広がり密度は小さい。一方、天然ガスは大気中の空気よりも重いため、地上に 2 次元に広がり密度は大きい。密度が大きい分爆発する危険性が高いため、危険性は水素が天然ガスよりも低いと考えられる。

そのため、水素エネルギーのしくみや安全性などを水素ステーション近郊の学校などで、教育している。



出典：JHFC

図 5.7 アルカリ水電解水素供給設備フローシート

⁴³ 燃料電池自動車の実用化・普及に向けた課題 燃料電池実用化推進協議会 2002 年 3 月

6. アイスランドのエネルギー事情

6.1 一次エネルギー

6.1.1 一次エネルギーの構成

アイスランド共和国は、全国土面積は 103,000km² で、南北の最長距離は約 306km、東西のそれは約 48km である。フィヨルドと入江部分を含む沿岸線(コーストライン)は約 4,970km の長さに及ぶ。アイスランドの大部分は火山活動や地質構造の変容によって形成された台地である。内陸部は居住不可能な山岳地帯と高原台地で、その平均高さは海拔 500m、最高峰は南東アイスランドにあるクヴァンナダルスフニュークルで標高 2,119m、最大の低地地帯は南アイスランドの沿岸の平地帯である。人口は 291,000 人(2003 年 12 月現在)で日本より少ない⁴⁴。

アイスランドと日本は、人口と国土面積には大きな差があると考えられるが、地理・経済面において共通点も見られる。

- ・ 新期造山帯に位置する
- ・ 陸上国境がない
- ・ 漁業が盛ん
- ・ 石油危機を経験

これらを総合的に考慮すれば、日本もアイスランドをモデルに地熱発電を普及していくための政策を行える見込みはありとされる。

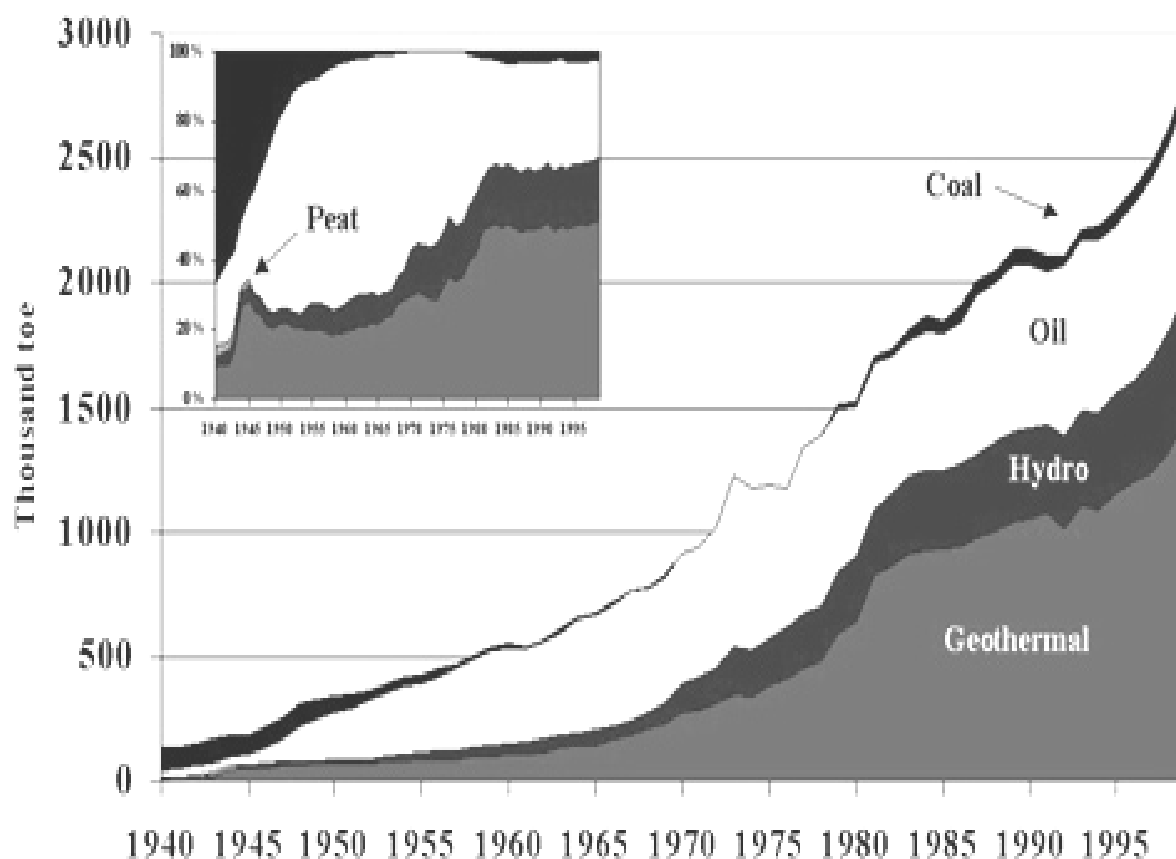
アイスランドは、世界で始めて化石燃料に全く依存しない国を目指しており、現在は、アイスランドで消費されているエネルギーの割合は地熱発電 52%、水力発電 20%、石油・石炭の火力発電 28%である⁴⁵。

⁴⁴ 外務省 アイスランド共和国 基礎データ
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/iceland/data.html>

⁴⁵ The Vision of the Hydrogen Society in Iceland: I.Sigfusson 駐日アイスランド大使(当時)

元々、再生可能エネルギーの消費率が高かった訳ではない。1940 代前半までは石炭が最も高く、その後 1970 年代前半までは石油の消費率が最も高かった。石油を輸入に依存しているアイスランドが石油危機により輸入量を減少したため、代替エネルギーの確保に迫られた。また、アイスランドは水産業を主な産業としており、輸出量を確保するためにも二酸化炭素の排出を削減することによって周辺地域の魚を保護する必要もある。そのような背景から、自給を見込め二酸化炭素の排出量が少ない地熱発電や水力発電の割合が増加している。

エネルギー全体の消費量は増加しており、1940 年代前半は約 200,000ton であったが、1970 年代後半には約 1,400,000ton に達しており、現在はその 2 倍の約 2,800,000ton に達している。



出典：Ministries of Industry and Commerce: Republic of Iceland

図 6.1 アイスランドにおけるエネルギーの消費量と割合

2001 年末のアイスランドにおける総電力生産量は 1,470MW である。内訳は 1,150MW が水力電力で、200MW が地熱、約 120MW が石油である。2000 年の合計電力生産量は 7,679GWh である。1 人の住民当たりの電力消費量は 27,317kWh で世界中にあるほとんどの国より高い。電力生産量のうち、水力発電は約 82.8%を占める 6,352GWh、地熱発電は約 17.2%を占める 1,323GWh である。化石燃料は約 0.1%を占める 4GWh で、バックアップエネルギーとして使用されている⁴⁶。

6.1.2 地熱エネルギーの動向



出典：アイスランド観光文化研究所

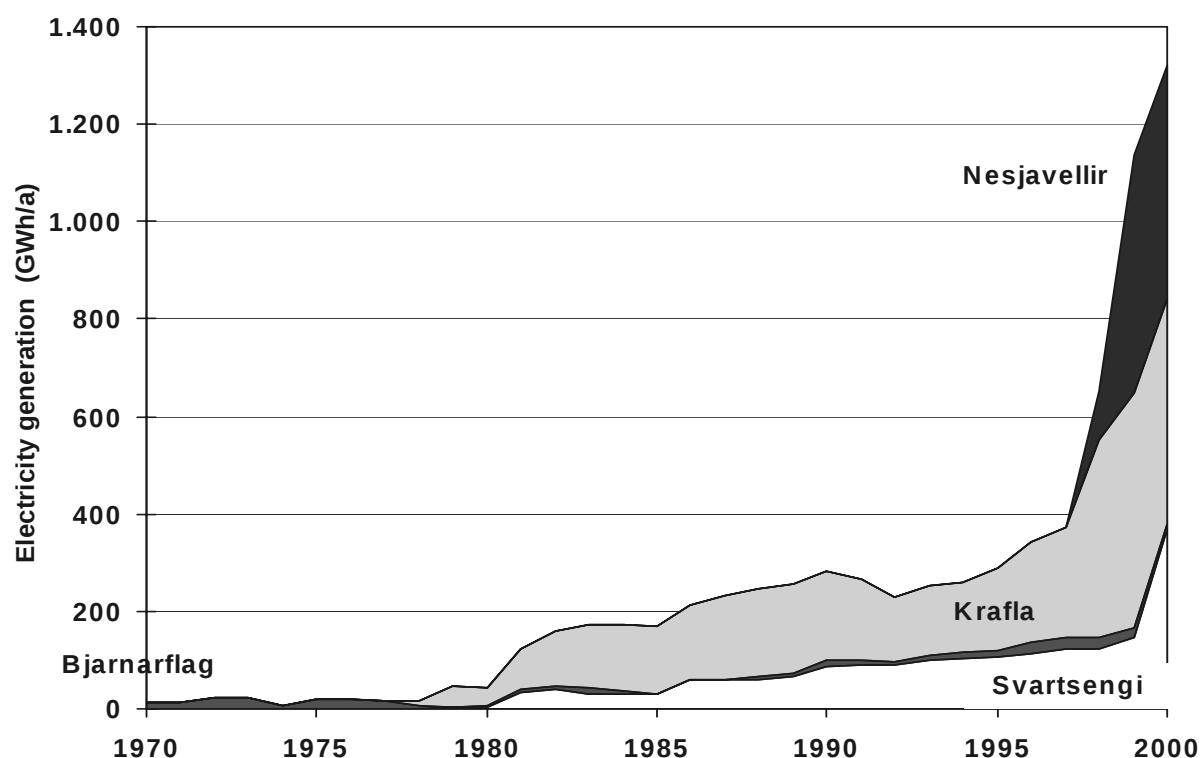
図 6.2 アイスランドの地溝帯

⁴⁶ 論文 The Use of Geothermal Energy - Examples from Iceland - Einar Gunnlaugsson
Reykjavik Energy 著

アイスランドは、地表に海嶺が乗り上げている部分が中央海洋地溝帯では最大規模の地帯である。アイスランドは2つの地溝帯間の陸地として中央大西洋海嶺の軸の上で、過去 20,000,000～25,000,000 年前にわたって火山活動を続けている島である。

割れ目が広がって大きくなり、更に軸上になった割れ目地帯に沿って発生する火山活動によって付着成長を続けている。中央地溝帯の中心へ絶え間無く新しい溶岩が蓄積されて前の溶岩が水平に押しやられ、中央地溝帯を境目に東西に向けて広がっており、その速さは1年に東西それぞれ1～1.5cm、合計2～3cmである。割れ目を境に、アイスランドの西部は北米大陸プレートに属し、東部はユーラシア大陸のプレートに属している⁴⁷。

アイスランドには地熱発電所が3地域にあり、そのうち2000年の製造量が最大なのはネーシャヴェトリル(Nesjavellir)で発電量は約500GWh/aである。



出典：The Use of Geothermal Energy - Examples from Iceland -

図 6.3 地熱エネルギーによる発電量(1970 年～2000 年)

⁴⁷ アイスランド観光文化研究所 アイスランドの地勢と特徴
<http://www.iceland-kankobunka.jp/gnrl/gnrl-index.htm>

次に、レイキャヴィク・エナジー(Reykjavik Energy)が運営している、ネーシャヴェトリルにおける地熱エネルギーの動向について記述する⁴⁸。

1946年に削岩を始めて以来、1949年までに5つの穴が開けられ、得られた水は敷地で家と温室を暖めるために利用された。1947～1949年から、ネーシャヴェトリル・エリア上で研究を始めたが、当時は穴を開けられなかった。レイキャヴィク地域暖房は1964年にネーシャヴェトリルの土地を購入し、翌1965年から研究を始めた。1972年まで研究のために穴を開けられたが、その後に開発探査用坑として設計され、素晴らしい結果を得られた。各試錐孔が約60MWの熱力を提供し、いずれも約30MW利用できるため、ここの地熱は7,500人の居留地を熱するには十分ある。22ヶ所に穴を開けたが、そのうち5ヶ所は閉鎖された。深さ1,000～2,000mの範囲で、最高380℃までの穴が測定された。ネーシャヴェトリル発電所の建設は1987年前半に始まり、建物の基礎が1990年5月13日に建てられた。ステーションは形式的に捧げられ、同年9月29日に作動された。その後、約100MW生産する4つの穴がステーションの生産能力を約560ℓ/sの処理サイクルに接続された。

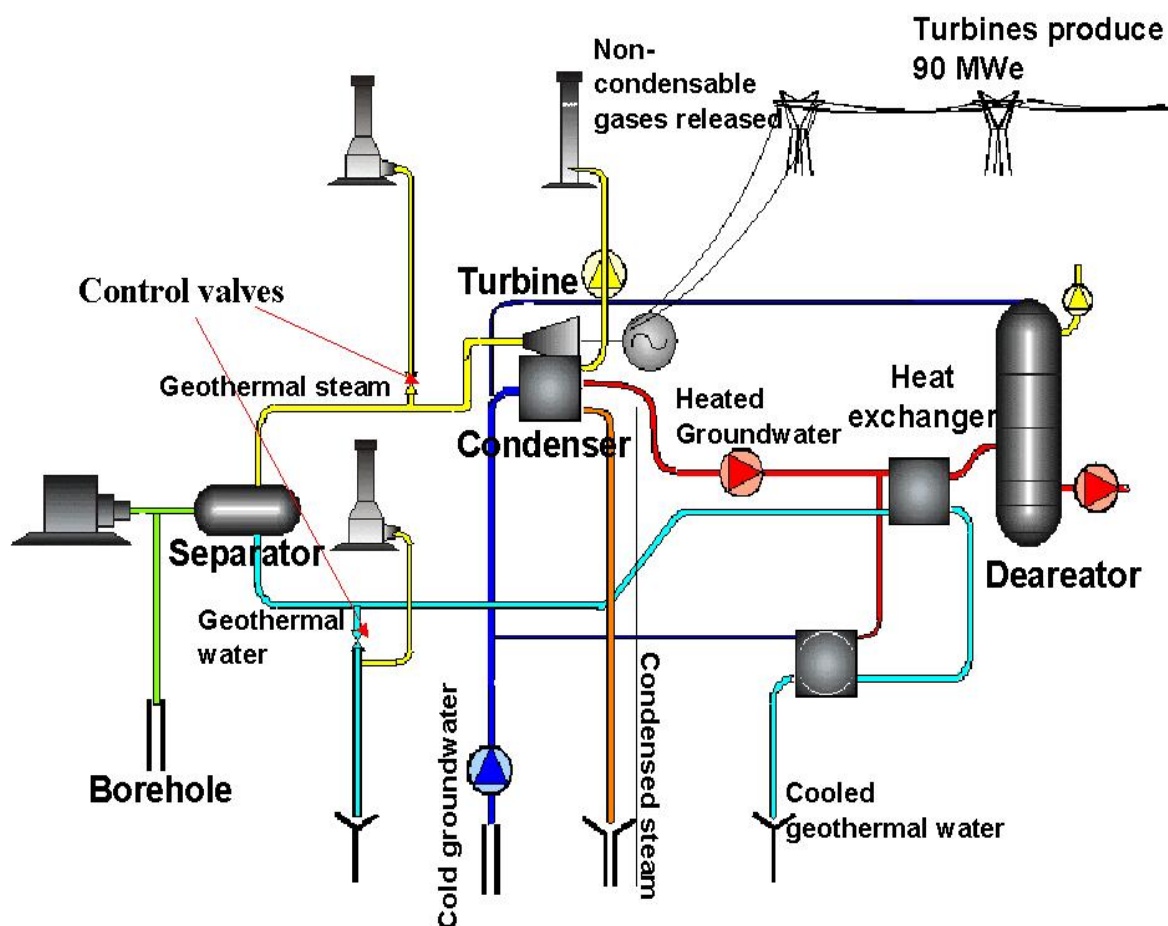
電力利用における次の段階では、第5の穴が接続された1995年にオンラインでもたらされ、熱交換器と脱気器が加えられて生産容量は840ℓ/sに増加された。これは地熱の電力150MWに相当する。蒸気タービンを備えた電気生産は始めから計画されており、地熱発電が最大生産に到達するまで延長できるよう、発電所が設計されていた。1998年秋には、第1蒸気タービンおよび同年末に第2蒸気タービンが運営を始めた。追加された5つの穴が、1,100ℓ/s以上に達する水を生産するとともに、発電所の処理力を合計200MWに増加させてオンラインにした。2つのタービンの他、2001年6月に、第3タービンもそれぞれ30MWのタービンに含まれ、合計90MW生産している。

ネーシャヴェトリルの地熱エリアは約400MWの湯を生産し続けると推測される。400MWの平均生産を仮定して、次の30年間現在の処理エリアで生産の継続が実行可能で、水の流入がそのような大きな利用に十分ではないと予測できる。標高177m地点にあるネーシャヴェトリルの発電所に、標高406mの尾根から湯を直径90cmの

⁴⁸ Nesjavellir Power Plant : Reykjavik Energy
http://www.or.is/media/files/nesjavellir_eng.pdf

パイプを通して送りこまれる。レイキャヴィクへのパイプラインは、初期段階では直径 90cm であるが、その後 80cm になり海拔 140m 地点にあるタンクに送られる。

ネーシャヴェトリルから 23km の長さのあるパイプラインは、最高 100℃の水を 1,870l/秒で運ぶために設計されている。プロジェクトの初期では、560l/s をパイプラインが運んだが、この流れの割合では水はネーシャヴェトリルから 23km 先まで流れるために 2℃未満の温度減少で 7 時間未満かかった。熱の損失を少なくする中で、よい断熱材と大量の水が重要である。プロジェクトの第2段階では、最大の流れが 840l/s まで増加し、第3段階では 1,100l/s であった。より多くの水が生産されるとともに、フロー割合は熱の損失を減少させ、なおかつ輸送時間を短くして増加する。



出典：論文 Geothermal district heating in Reykjavík, Iceland

図 6.4 ネーシャヴェトリルにおける電力発電の流れ

パイプラインは、地上外部のプラスチックおよびアルミニウムで覆われていた岩綿で断熱されて、鋼で作られている。しかし、それが地下を流れるところで、ウレタン断熱のプラスチックで覆われている。流れの促進および環境上の理由により、パイプラインの約 5km は地下にある。さらに地上にある 12 ヶ所の敷地では、パイプラインを操縦できる。また、温度変更のために、パイプライン中の鋼は拡大や収縮可能である。湯が初めてパイプラインに突き通された時、拡張はネーシャヴェトリルからレイキャヴィク郊外までの約 24m であった。これらを変更するため、パイプラインは車輪を備えた、特別の支持物および装置に基づく。さらに、等間隔にばねのように作動する伸縮継手がある。

日本とアイスランドの他にも地熱発電を行っている国があり、アメリカやメキシコなど新期造山帯にある国の発電量が多い。そのうち 2000 年現在、地熱発電量が 1,000GWh 以上の国は日本とアイスランドを含めて 6 ヶ国である。

表 6.1 各国・地域別地熱発電量の推移(GWh)

年	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
オーストリア	0	0	0	0	0	0	0	0	12	14
ベルギー	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3
デンマーク	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
フランス	137	130	122	121	121	121	116	138	117	124
ドイツ	7	9	9	9	9	10	10	10	10	10
ギリシャ	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2
ハンガリー	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5
アイスランド	940	928	935	928	976	992	1,032	1,256	1,753	1,942
イタリア	2,025	2,199	2,315	2,172	2,183	2,370	2,452	2,629	2,737	2,910
日本	1,525	1,537	1,528	1,895	2,916	3,398	3,485	3,277	3,201	3,102
メキシコ	4,674	4,991	5,054	4,814	4,875	4,927	4,701	4,865	4,836	5,075
ニュージーランド	2,315	2,412	2,329	2,355	2,228	2,299	2,402	2,582	2,898	2,853
ポルトガル	4	4	3	29	37	43	45	51	70	70
スペイン	0	0	0	7	3	3	4	4	5	6
スイス	70	69	72	70	78	86	82	88	91	91
トルコ	86	90	97	115	138	162	179	226	244	245
イギリス	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
アメリカ	13,990	14,764	15,286	15,032	12,849	13,542	12,820	13,217	13,763	13,142
ヨーロッパ連合	2,180	2,349	2,456	2,346	2,360	2,554	2,633	2,838	2,958	3,140

出典: IEA STATISTICS

International Energy Agency Energy Balance of OECD counties

6.2 水素エネルギーの普及・実用化に向けて

アイスランドは 2050 年を目標に世界初の水素エネルギー社会を目指している。1950 年以降のアメリカとソビエトにおける宇宙開発競争の中で燃料電池が実用化されたことも刺激になり、アイスランド大学のブラギ・アーナソン(Bragi Arnason)教授が先導する少数の研究者たちが 30 年以上水素エネルギーの開発に関わってきた。1997 年には国産燃料の開発の可能性を調査する委員会を発足させ、委員会は水素および水素分の多い人工燃料の開発を推奨した。水素エネルギーシステムを実現するための水素プロジェクト構想を 1999 年に発表し、その実現に向けてエコ・エナジー(Eco Energy)社を設立した⁴⁹。このエコ・エナジー社はアイスランド政府、アイスランディック・ニュービジネス・ベンチャー・ファンド(Icelandic New Business Venture Fund)、レイキャヴィク・エナジー、アイスランド大学(University of Iceland)、アイスランド技術研究所などが出資している。

続いてエコ・エナジー社が 51%、ロイヤル・ダッチ・シェル(Royal Dutch Shell)、ダイムラー・クライスラー(Daimler Chrysler)およびノルスク・ハイドロ(Norsk Hydro)がそれぞれ 16.33%ずつ出資してアイスランディック・ニュー・エナジー(Icelandic New Energy : INE)社を設立した。ロイヤル・ダッチ・シェルはオランダ系燃料会社であり、アイスランドに進出している理由には以下を挙げている⁵⁰。

- ・ アイスランドは小さな先進国であり、人口の多くが首都圏に集中している。
- ・ 自動車台数が約 180,000 台で小さなプロジェクトが大きな社会よりもより良い印象を与えられると考えている。
- ・ 1940 年から 1975 年の間、暖房装置を石油型から地熱型に変えた。
- ・ アイスランドの交通システムは他の先進諸国と類似しており、アイスランドの結果を他都市に反映させやすい。
- ・ 困難な天候条件、季節の変化および異なる地勢により、新しい技術を厳しい条件で試せる。

⁴⁹ Science Magazine: Vol. 305. Will the Future Dawn in the North?

⁵⁰ Shell Hydrogen: Projects Iceland ,Project Brochure
http://www-static.shell.com/static/hydrogen-en/downloads/brochures/brochure_iceland.pdf

- ・ 水素に基づいた将来の社会容認は非常に高い。最近の調査によって、アイスランド国民の 93%が従来の化石燃料を燃料電池に取り替える考えが非常に積極的であることを示した。

ダイムラー・クライスラー社はドイツ系自動車会社であり、燃料電池自動車の製造および試運転を行っており、レイキャヴィクにあるバス 77 台のうち 3 台が燃料電池バスである。ノルウェーの電力会社である、ノルスク・ハイドロが製造したアルカリ水分解装置を水素ステーションに設置し、440bar の高圧水素ガスを満たんで燃料電池バス 4 台分に相当する日量 120kg を生産し、ディスペンサーでバス 1 台の目安としている 7 分間で 30kg を 1 日 1 回充填する。

アイスランドには国産の自動車会社や燃料会社はない。また人口が少ない分、税収も少ないため、補助金を供給するのも容易ではない。そのため、アイスランド政府は外国の水素エネルギー関連企業を誘致し、国家全域を実験台として提供している。例えば、インギムンドゥル・シグフースソン(Ingimundur Sigfússon)前駐日大使は大使になる前にエネルギープロジェクトの一員としてダイムラー・クライスラーをアイスランドに誘致した⁵¹。



出典：ロイヤル・ダッチ・シェル

図 6.5 アイスランドの水素ステーション

⁵¹ PEM-DREAM 1 月燃料電池市民講座 水素エネルギービジネスへの挑戦 金田武司氏

アイスランディック・ニュー・エナジーは当面、2001 年から 2005 年にかけて ECTOS(Ecological City Transport System)プロジェクトを設立し、経済・社会の調査やバスの導入をしている。ECTOS プロジェクトは、総額 7,000,000Euro のうち欧州連合から 2,850,000Euro の補助金を受けている⁵²。既に首都レイキャヴィクでは燃料電池バスのデモンストレーションも行われている。このバスの走行距離は高圧ガスボンベにもよるが 200~300km であり、最高速度は約 80km/h である。アイスランドでは二酸化炭素排出量の 30%を陸上輸送が占めている。

現在、アイスランドにはガソリンスタンドが 175 ヶ所あり、そのうち 57 ヶ所がレイキャヴィクにある。そのうち 10%~15%が水素ステーションに代われば燃料電池自動車が一般市民に受け入れられると推測している。そのため、都市部の水素ステーションには水電解式が採用されているが、遠隔地では工場で生産する液体水素の輸送や高圧水素のパイプライン輸送によるインフラ整備が考えられている⁵³。



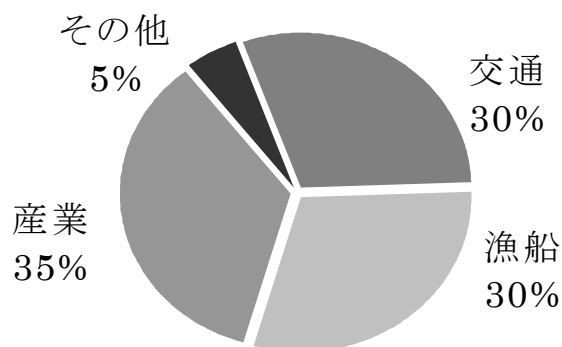
出典：ダイムラー・クライスラー

図 6.6 ダイムラー・クライスラーが製造した燃料電池バス

⁵² The Hydrogen Projects in Iceland and Possible Lessons learned

⁵³ エネルギー・資源 9 月号 水素エネルギーシステムの実証：国内外の動向 岡野一清著

また、燃料電池を搭載した漁船のデモンストレーション・評価プロジェクト、化石燃料を使用している漁船を段階的に燃料電池型漁船へ移行(二酸化炭素排出量の 30% を占めている)、アイスランドから水素の輸出などの計画もある。



出典：The Vision of the Hydrogen Society in Iceland

図 6.7 アイスランドにおける二酸化炭素の分野別排出率

地熱エネルギーを水素エネルギーに変換する際には、地熱エネルギーを発電機によって電気に変え、ナトリウムと水を化学反応させて水酸化ナトリウムと水素エネルギーに分解する。



地熱エネルギーを電気にする際のエネルギー効率は 12%であり、その電気でナトリウムから水素を発生させるまでに敷設網で 15%減損する。よって、地熱エネルギーを水素エネルギーに変換するエネルギー効率は約 10%である⁵⁴。

$$0.12 \times (1.00 - 0.15) \doteq 0.10$$

しかし、ECTOS のシンクタンクであり、コア技術の開発を担っているアイスランド大学は、水素物理に基づく水素の吸着／脱着の挙動の解明、水素貯蔵のためのナノテクノロジーの活用、地熱の高温を利用した水電解と噴気ガスからの水素の製造、熱を利用した水素化物による水素貯蔵の 4 分野で研究チームを設けている。

⁵⁴ T.シグフースソン アイスランド大学教授の説明より

豊富な地熱の利用はアイスランドの水素計画の大きな特色である。地殻内の温度勾配が急なため、地表の高温域が方国内各所にある。地熱水蒸気によるタービン発電機の発電量はアイスランドの発電量の相当部分を占めている。地熱水蒸気の高温を利用して水の電気分解を行うプロジェクトがフランスの研究機関とアイスランド大学の共同研究で進められている。スチーム・アイロンのように地層の間から噴出した水素化合物は国内中にあるが、北部は最も有名で、噴気孔の中には年間 50ton の水素を噴出するものもある。

噴気ガス、特に硫化水素から水素を分離するプロジェクトが進行中である。これには硫化水素の水素と硫黄の結合を解離する閉サイクルの化学プロセスと高度の膜技術が含まれている。地熱の高温利用と共に低温利用も重要で、水の沸点前後と沸点以下の低品位の地熱利用が大きな部分を占めている。また、地熱の蒸気からの圧力により液化コストの削減するプロジェクトも含まれる。

7. 実用化に向けての課題と方策

7.1 地熱から水素エネルギー製造する地域の選定

今後、地熱発電所が現在ない地域に建設されると推測している。短期間での実現性を考慮し、本論文では日本における地熱エネルギーから水素エネルギーの製造および実用化に向けて取組む地域は、既に地熱発電所が運営されていることを条件に挙げる。燃料電池車の普及を優先的に特定の範囲から始め、徐々に広い範囲へと発展していく施策を行えば、地熱エネルギーから水素エネルギーの製造・実用化を図れると考えられる。

以上のほか、最初に普及実験を行う狭い地域としては、「元々自動車の台数が少なく、燃料電池車への乗り換えによる普及と同時に普及率を比較的大幅に高めやすい地域」を条件に挙げる。それにより、燃料電池車を普及させるには水素ステーションの設置が必要となるからである。燃料電池車の普及率が大幅に上がれば、同時に現在最も普及している石油を使用する自動車の普及率が大幅に下がる。そのため、現在のガソリンスタンドで石油を貯めていたスペースに水素を貯めて置きやすい。さらに、「燃料電池車利用者の移動範囲が比較的狭く短い地域」も重要な条件である。これは、短期間で特定地域における燃料電池車の普及率を高めるためには必要である。

以上より、日本で地域を特定するのであれば適性規模の人口を持つ島が適切であると考えられる。現在のところ、ケース・スタディとして取上げたアイスランドより狭く、人口が少ない生活エリアで地熱発電所が所在するのは八丈島が唯一である。一方、九州地方・東北地方・北海道はアイスランドより生活エリアが広く、人口が多い。よって、八丈島で実用化をすれば、次は八丈島をモデルに他の地域、特に地熱発電所のある地域で地熱発電を普及していけば、日本国内のエネルギー自給率が上昇し、クリーンエネルギーの比率も増加させる余地がある。

しかし、八丈島に限らず地熱発電所所在地域のいずれかで水素エネルギーの実用化に向けた政策を行う意思がある場合、その地域で始めに実施にするなど、各自治体の熱意も選定項目に含めれば、より適切な地域を決められる可能性がある。

現在は、いずれの地熱発電所在地域においても水素エネルギーの普及および実用化に向けて取組みが表面化していないため、本論文では八丈島で最初に地熱エネルギーを用いた水素エネルギーの製造および実用化に向けて取組む場合の提案を行う。

7.2 八丈島で実用化するための課題と方策

日本と比較して人口が少なく、それに伴い税金の総額も少ないアイスランドでエネルギー自給率を高めるためのエネルギー政策が行われている。そのため、日本も地熱エネルギーをエネルギー源に水素エネルギーを製造し実用化していくための政策を行うための補助金を捻出することは決して不可能ではないと考えられる。

しかし、政府が補助金を用意しても、水素エネルギーシステムを構築しなければクリーンエネルギー社会は実現できない。そのため、この節ではアイスランドをモデルに八丈島で実用化するための課題と方策を記述する。

7.2.1 八丈島のエネルギー事情

八丈島は東京から南方海上 291km に位置するひょうたん型の島であり、南東部を占める三原山火山と、北西部を占める八丈富士火山より成り立っている。三原山は直径 1km のカルデラを囲む先カルデラ成層火山で、その内側にある後カルデラ成層火山からなる複式火山である。一方、八丈富士は典型的な円錐形の成層火山で、南東へ比較的広い裾野を展開している⁵⁵。

表 7.1 八丈島の統計データ

面	積	65.92km ²
人	口	8,989 人 (2005 年 1 月 1 日)
自 動 車	台 数	7,860 台 (2004 年)
ガソリンスタンド	数	8 ヶ所 (2004 年)

出典：八丈町の統計資料および八丈町役場での取材

⁵⁵ 東京電力 八丈島 http://www.tepco.co.jp/hachijojima-gp/hachijo/h_is-j.html



出典：八丈町役場

図 7.2 八丈島地熱発電所

7.2.2 地熱エネルギーを普及し、実用化するための課題と方策

消費されている地熱エネルギーの割合は、アイスランドが八丈島より約 22%⁵⁷上回っている。しかし、八丈島に限らず日本全国で地熱発電の割合が高まり、今まで以上にアイスランドがエネルギー政策のモデルとして相応しい地域にできる。そのように推測している根拠を以下に示す。

- ① 日本で消費していたエネルギー源では石油が多いが、今までも石油危機などエネルギーの輸入が困難になった時期には自給エネルギーを確保するための政策に力を入れてきた。
- ② クリーンエネルギーの導入による二酸化炭素の削減を目指しており、既に小中学校などの教育機関で二酸化炭素排出の弊害などを教育している。
- ③ 日本に地熱資源ポテンシャルを拡大することを課題に挙げている研究所がある⁵⁸ため、蒸気発電方式のみならず、外国で既に実用されているバイナリー方式(熱水利用方式)を導入する余地がある。

⁵⁷ P43 6.1 一次エネルギー

⁵⁸ P24 3.3 地熱エネルギー

根拠①については、政策を今まで以上に推進していく必要がある。また、原油輸出国と良好な外交関係を築く努力もしている。しかし、今後も長期的にエネルギーを輸入によって確保できるとは限らない。仮に、長期的にエネルギーを輸入によって確保できるにせよ、価格が上昇し輸入が困難になる可能性もある。また、自給により日本国内の企業が技術開発・営業など活発に活動すれば、税収を確保できる。そのため、外国のエネルギー事情や外交関係を問わず、常に地熱エネルギーの開発および実用化に向けた政策に力を入れることがこれからの課題である。

前段落で、「常に地熱エネルギーの開発および実用化に向けた政策に力を入れること」を課題に挙げたが、そのためには、切削など多額の資金を要するなどの難点がある。しかし、根拠②に挙げたように科学的根拠に基づいて二酸化炭素の排出量が少ないエネルギーを利用する意義を伝えることが教育現場で行われている。そのため、教育現場で、多額の資金を投資してでも政策を行う意義があることを伝えていく方策がある。既に、アイスランディック・ニュー・エナジーでは普及活動の一環で、教育にも力を入れており、例えばホームページ上に一次エネルギーの製造から燃料電池自動車に水素エネルギーを入れるまでのプロセスをアニメーションで載せている。

根拠③については、潜在的に大量の地熱発電を見込める日本に所在する地熱発電所はいずれも蒸気発電方式を利用しており、熱水を利用するバイナリー方式はない。しかし、八丈島発電所の現状は、タービンで役割を終えた熱水を冷却塔で冷却しているため、それをバイナリー発電に利用できる余地がある。外国には既にバイナリー方式があり、日本の産業は今まで外国の先進的な技術を現地で視察、或いは日本に技術者を招いて向上してきた。よって、今後は日本でバイナリー発電を導入することを目的に日本人技術者が現地を視察、或いは日本に現地の技術者を招くような方策がある。

地熱発電を増やし更に実用化を進めていくためには、地域住民の理解を得ることも重要である⁵⁹。地熱発電により硫黄の臭いが周辺に漂うため、それを理由に居住地域付近に地熱発電所を建設することを反対する住民がいる。その対策として、地熱発電所を近隣住民に反対されない場所に建設できれば理想である。しかし、地熱発電量を増加させるために、地理的に反対する住民の近隣に新たに地熱発電所を建設せざる得ない場合、引越しの負担を補助金で補うなど問題を解決していくなどの課題がある。

⁵⁹ 八丈町役場での取材より 2004年10月15日

7.2.3 水素エネルギーを普及し、実用化するための課題と方策

現在は八丈島に水素ステーションはない。しかし、アイスランド同様に地熱発電所があるため、この節ではアイスランドの政策をモデルに、エネルギーの携帯を要するものが水素エネルギーを利用するための課題と方策を記述する。八丈島は、表 7.1 より自動車台数および既存のガソリンスタンドは少ない。そのため、アイスランド全国と比較して短期間で燃料電池自動車の普及率を高められる可能性がある。

アイスランドには、燃料電池自動車を開発している自動車会社、水素エネルギーを開発している燃料会社、水電解装置を開発している設備会社はない。そのため外国企業を招致し、無償でアイスランドを実験台として提供している⁶⁰。それにより、各企業は水素エネルギーの普及に向けた事業を行うことができ、アイスランドは水素エネルギーを利用できるという利点がある。さらには、燃料電池を搭載した漁船に移行するプロジェクトもある。将来は燃料電池型の水素搭載船を開発し、外国に水素を輸出する計画もある。日本でも、燃料電池型の水素輸送船が出来れば、人口の少ない島から人口の多い地域へ船で他地域にエネルギーを輸送できるようになり、日本の自給率およびクリーンエネルギー利用率が更に高まる可能性がある。

一方、日本には複数の自動車会社や燃料会社がある。そのため八丈島に限らず日本では、国産メーカーが水素エネルギー、燃料電池自動車、水電解装置を製造し、それを八丈島に限らず日本国内で実験を行うのも可能である。八丈島で水素エネルギーを含むクリーンエネルギー社会を実現するために、日本にもアイスランディック・ニュー・エナジーのような水素エネルギーの製造および実用化を目的とする新会社を設立し、政府・自治体・大学・研究所・地熱発電所・自動車会社・燃料会社・設備会社・学校などの教育機関と連携し、エネルギー政策を実施することがクリーンエネルギー社会を構築するために必要な課題である。

提案する新会社の設立目的はアイスランディック・ニュー・エナジーと同じだが、取組むべき政策には異なる部分も生じる。日本ではアイスランドと異なり、複数の日系同業社が互いに効率よく生産できるような調整も必要になる。

まず、外国企業ではなく日系企業を招致することを提案する条件は、日系企業が外国企業と比較して技術・コスト面で劣っていないことである。なぜなら、日系の会社

⁶⁰ 金田武司氏 燃料電池市民講座「エネルギービジネスへの挑戦」より

がビジネスを成功すれば日本国に税金を納めるが、外国の企業は日本国に税金を納めないからである。そのため日本の税収を確保するためには、少なくとも技術レベルが外国と同じ場合は是非とも日系企業に対して優先的に地熱発電所所在地域で実験を行えるような体制を築くことが適切である。しかし、技術・コストのバランスを考慮して、外国企業が日系企業より優れている場合は、外国企業を誘致する方が、適切であると考えられる。

続いて、各業界単一ではなく複数の企業が実験台にする機会を与える条件は、複数の日系企業が八丈島での実験を希望していることである。もし、1社のみに参入を認めれば、参入を認められなかった日系同業他社が参入を認められた企業と比較して技術面で遅れる可能性がある。そのため、複数の日系企業が互いにビジネスを成功させられるような体制を立てることが大切である。

8. 実用化に向けての提案

8.1 八丈島における地熱発電による

水素エネルギー変換利用システムの開発

「7.2.2 地熱エネルギーを普及するための課題と方策」に地熱発電の割合が高まると推測している根拠を記した。そのため当節 8.1 では、既に地熱発電所が所在する地域ではいずれも地熱発電の割合が高まり発電量も増加することを前提に記述する。

日本にもアイスランディック・ニュー・エナジーのような会社を設立すれば、クリーンエネルギーの自給量は増加できると考えられるが、アイスランドのエネルギー政策がそのまま日本で適用できる訳ではない。アイスランドは、自動車、水素エネルギー、水電解装置のいずれもそれぞれ外国企業 1 社が開発している。しかし、日本では複数の国産企業が同一事業を行っているため、同業社同士をまとめる必要がある。

日本全国の地熱発電所所在地域で行うべき実施方法のモデルには、アイスランディック・ニュー・エナジーのビジネスモデルを参考に、はじめに八丈島で行い、その経験を活かして日本全国に展開することを提案する。青森県東部地区に認定されている環境・エネルギー産業創造特区のように、八丈島でも規制緩和を行う必要がある。

八丈島でアイスランディック・ニュー・エナジーのような新しい会社を設立するためには、その新会社が果たすべき役割と関連組織との連携が必要である。新会社と政府・自治体・大学・研究所・地熱発電所・自動車会社・燃料会社・設備会社・学校との連携について以下に記述する。

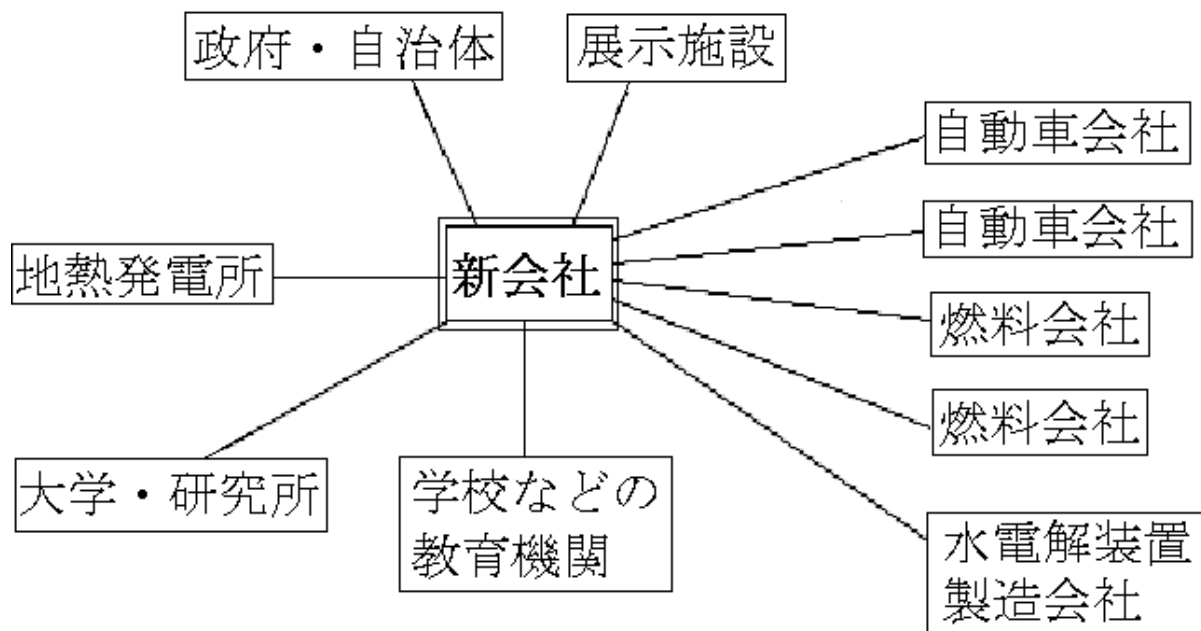


図 8.1 八丈島での実施方法

8.1.1 政府・自治体との連携

- ・ 燃料電池自動車を積極的に購入・リースを行っていくなど経済面での協力を行う

燃料電池自動車の普及率を高めるためには、自動車・水素エネルギーのいずれも大量生産していくことが必要になる。大量生産により価格を下げられる。ガソリン車と比較してコストが高いため、当初は自治体の所有車、公営交通などがガソリン車から燃料電池自動車に移行する。

- ・ 補助金を用意して新会社に預ける

新会社は、政府・自治体から交付された補助金を、水素エネルギーの製造および実用化を目的に利用する。

- ・ 規制を緩和する

現在の日本では、技術開発に向けた研究は行われているものの、利便性や安全対策の認知度が決して高いとは言えない。例えば、天然ガスのスタンドよりも水素ステーションの方が保安物件との距離を長く保つ規制がある⁶¹。これは、物理的特性を考慮せずに世間の評判に大きな影響を受けている証拠である。

⁶¹ P42 燃料電池自動車の実用化に向けた動向

そのような状況を解決すべく、当面は八丈島のみでも構わないので地熱発電所の所在地域をエネルギー特区に認定し、科学的根拠に基づいて規制を緩和する。

8.1.2 メーカー

（燃料電池自動車、水素エネルギー、水電解装置）との連携

① 燃料電池自動車を製造する自動車会社

極力多くの組織・個人が燃料電池自動車をガソリン車並みの価格で購入できるよう、新会社が燃料電池自動車とガソリン車それぞれの生産に必要な差額を自動車会社に政府・自治体から預かった補助金で補うなどの協力を行う。

複数の日系自動車会社が燃料電池自動車を研究開発しているため、新会社は水素エネルギーの製造量・各社の技術開発の進捗状況・納税額などを考慮して燃料電池自動車の出荷納期を決める。

② 水素エネルギーを製造する燃料会社

極力多くの組織・個人が水素エネルギーを石油並みの価格で購入できるよう、新会社が水素エネルギーと石油それぞれの生産に必要な差額を燃料会社に政府・自治体から預かった補助金で補うなどの協力を行う。

複数の日系燃料会社が水素エネルギーを研究開発しているため、新会社は燃料電池自動車の製造量・各社の技術開発の進捗状況・納税額などを考慮して水素エネルギーの出荷納期を決める。

③ 水電解装置を製造する会社

新会社は技術開発の進捗状況・納税額などを考慮して水電解装置の出荷納期を決める。

④ メーカー全般

新会社は水素エネルギーに関する研究・開発・調査をメーカーに依頼された場合、それに適した大学・研究所を選定する。

8.1.3 地熱発電所との連携

新会社は、水素エネルギーを製造するために地熱発電所から供給できる発電量を把握し、各メーカーには地熱発電量も考慮に入れて納期を指示する。

現在は蒸気発電方式を運営しているため、地熱発電所で発電した電気を各水素ステ

ーションに送電線で送るための整備をする。熱水を利用するバイナリー方式も運営されるようになれば、熱水を地熱発電所から水素ステーションまでパイプラインで結び、安定的に水素ステーションで水素を製造できるよう、地熱エネルギーを送る。

8.1.4 大学・研究所との連携

P53 で記述したように、アイスランドでは水素エネルギーを製造するために地熱エネルギーを発電する以外の方法も研究している。

新会社がメーカーから技術的な研究・調査等を依頼された場合、大学・研究所にて受託できるよう、新会社と大学・研究所の間で打ち合わせを行う。また、メーカーと大学・研究所が打ち合わせを行う場合の仲介する。

技術・政策いずれの研究・調査においても、大学・研究所が自主的に行っているものがあれば、情報としてそれらを受け入れる体制を持つ。内容によっては、そこから新たなビジネスを広げていく機会にする。

8.1.5 学校などの教育機関との連携

水素エネルギーに対して、「高圧だから危険だ」と心配している人がいる。圧縮された水素をタンクに積みば、タンクが破損した場合に爆発するなどの危険性はある。しかし安全対策も行っているため、利便性・危険性・安全性を伝え、正しく水素エネルギーを利用すれば便利であることを理解できるよう、新会社と学校などの教育機関が協力してプログラムを立てる。

そのプログラムとは、検定教科書に記載する内容や水素ステーションにおける現地学習の受け入れ態勢の整備などである。長期間に渡って教育を行うためには、小学校と中学校の教育プログラムに採用する方法があるが、それぞれ年齢の違いにより関心が異なる。

そのため、小学校では水素エネルギーの存在や利点を重点的に伝え、実際の利用方法も実物あるいは VTR などを通じて見られるようにする。一方、中学校では水素エネルギーの危険性や安全対策に関する講義を小学校以上にプログラムに盛り込み、正しい利用方法や規制についても教育する。

8.1.6 展示施設の建設・運営

展示施設の建設目的は教育や普及のための宣伝活動である。八丈島には既に地熱発電に関する説明やデモンストレーションを行う地熱館がある。新会社が水素エネルギーに関する展示施設を建設し、来客を受け入れる体制を整えれば、より一層多くの人に水素エネルギーの利点や導入する意義を伝えられる。

新会社のホームページも、画像展示や教育に利用できる。アイスランディック・ニュー・エナジーのホームページ同様に、エネルギー源から水素エネルギーの製造、そして燃料電池自動車に水素が供給されて走行するまでのアニメーションを作成し、展示する。

8.2 日本全国にある地熱発電所所在地域へ

水素エネルギーシステムを展開

日本で地熱エネルギーを用いた水素エネルギーの製造および実用化するための手段として、はじめに八丈島で政策を行うことを提案した。図 8.1 は、八丈島以外の地域でもビジネスモデルに応用できる。

しかしながら、八丈島で地熱エネルギーを用いた水素エネルギーの製造および実用化に成功した場合でも、八丈島と同じ方法が他地域でも同じようにできるとは限らない。

そのため、八丈島でエネルギー政策を行う場合には注意を払う必要がないことであっても、八丈島以外の地域で地熱エネルギーを用いた水素エネルギーの製造および実用化を成功に導くために注意を払うべきことをこの節で記述する。

八丈島は他地域の経由を目的に走行する自動車はなく、自動車台数が他の地熱発電所がある地域の生活エリアと比較して少ないため、その分燃料電池自動車の普及率が短期間で高めやすい。また、八丈島から送電線を設けて本州に電気を送ることは困難であるため、アイスランドで開発している燃料電池型の船が完成すれば、エネルギー源を水素に変換して輸送する意義がある。しかし、東北地方・九州地方・北海道に既

にある地熱発電所所在地域では、送電線を利用して電気を他地域に送れるため、地熱発電から遠隔地への輸送を目的に水素エネルギーを製造する意義はない。

さらに、他地域間の移動を目的に通行する自動車もある。それらを考慮すれば、水素ステーションおよび燃料電池自動車を増加できてもガソリンスタンドを撤退させることは難しい。

しかし、地熱発電の技術開発が進み、エネルギー源の多くを二酸化炭素の排出量が少ないエネルギーで賄い、遠隔地域にも送れるようになれば、地熱エネルギーを水素エネルギーに変換する意義はある。

その場合、水素ステーションのない地域に所在する自動車が走行する場合もあるため、全国的に水素ステーションと燃料電池自動車が本格的に普及するまではガソリンスタンドを残しつつ、水素エネルギーと共存できる社会システムを築き、水素エネルギーの比率を高めながら石油の比率を下げる政策を取組めば、複数の水素ステーションを実用化できる。

以上より八丈島をモデルに、気候・地理的条件を問わず安定的に供給を見込め、二酸化炭素の排出量が少なく、日本国内で自給できる地熱エネルギーを用いて、水素エネルギーを製造および実用化することを提案する。

あ と が き

1 億 2000 万人以上が住む日本では、大量のエネルギーを確保することは重要な課題である。その手段として、エネルギー輸出国との良好な外交関係の構築、および自給率を高めるために今まで発電量が少なかったエネルギーの開発は必要な政策である。

同時に、二酸化炭素を大量に放出する火力発電の消費量も削減する必要がある。近年は、燃焼による二酸化炭素排出がない原子力エネルギーが普及している。原子力エネルギーの普及は賛成であるが、たとえ資源のウランを日本国内で自給可能な場合でも、家庭などの建物で火力発電に依存している限り、原子力発電以外にも二酸化炭素を排出しないエネルギーを製造し実用化するための政策を進めて行く必要があると考えられる。よって、地熱と原子力発電以外には、太陽光・風力・水力・バイオマス発電もエネルギー源として普及し、利用率が高まることを願っている。

水素エネルギーには早くから着目しており、日本で実用化していくために必要な課題を見つけ、それを提案したいと考えていた。そのため、情報収集や意見交換等を目的に地熱エネルギーに着目する前から水素エネルギー協会⁶²(太田健一郎会長)に入会していた。

同協会には、既に原子力をエネルギー源として、二次エネルギーである水素エネルギーに変換するための技術を研究している会員がいる。現在の日本におけるエネルギー源利用率を考慮すれば、地熱発電よりも原子力発電を水素エネルギーに変換するための研究を行う方が実用性は高いかもしれない。

しかし、原子力発電ではなく地熱発電に着目したのは、日本国内で自給を見込め、多種類にわたるエネルギー源を確保することがこれからの日本にとって大切であると考えたためである。幸いにも、地熱発電をエネルギー源に水素エネルギー製造をアイスランドでは既に行っており、日本にとって実用化に向けたケース・スタディとして参考になると考えた。

また、2004 年 4 月、シグフースソン駐日アイスランド大使(当時)から、「日本もア

⁶² 日本で水素エネルギーを推進している団体 <http://www.hess.jp/>

イスランドのように地熱エネルギーを用いて水素エネルギーを製造していくべき」との話を聞き、翌月に太田健一郎氏から「日本では、誰も地熱エネルギーと水素エネルギーを結ぶ研究をしていない。地熱エネルギーと水素エネルギーを結びつけるのが君の研究だ。」と勧められ、修士論文の研究に適切であると理解し、研究を進めてきた。

参 考 文 献

- [1] 市川正巳 水文学の基礎 古今書院
- [2] 丸山利輔、三野徹 地域環境水文学 朝倉書店
- [3] 石倉洋子、石倉久之 化学 - 基本の考え方を中心に - 東京化学同人
- [4] 山田猛 大気の化学 学会出版センター
- [5] 勝田悟 環境ビジネス学 中央経済社
- [6] 西山孝 地球エネルギー論 オーム社
- [7] 鍵山恒臣 マグマダイナミクスと火山噴火 朝倉書店
- [8] Reykjavik Energy, Nesjavellir Power Plant
- [9] ジェレミー・リフキン 柴田裕之訳 水素エコノミー NHK 出版
- [10] 大森良太、岡野一清、多田国之、玉生良孝、西村睦、本間琢也、山根公高
水素エネルギー最前線 工業調査会
- [11] 山本寛 水素経済革命 新泉社
- [12] 石井弘毅 燃料電池のわかる本 燃料電池開発情報センター監修 オーム社
- [13] 秋元格 千葉三樹男 山本寛 すぐわかる！燃料電池の仕組み かんき出版
- [14] 井上元 水素社会と環境・資源問題 最新の水素技術Ⅱ 日本工業出版
- [15] 金田武司 アイスランドの水素社会に向けた取り組み OHM2003 年 1 月号
オーム社
- [16] 江藤計介 エネルギー特区—構造改革特区の現場からの報告—
OHM2004 年 1 月号
- [17] Preparing for a Hydrogen Future, Icelandic New Energy Ltd.
- [18] The Backbone of a New Energy Era, VistOrka
- [19] A hydrogen Future for Iceland, Shell Hydrogen
- [20] Hydro Energy, Norsk Hydro
- [21] Fuel Cell Vehicle, Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project

参 考 に し た 発 表 論 文

- [1] 閻潔、三宅幹夫、小林俊哉、中森義輝 燃料電池開発のロードマッピング
研究技術計画学会 年次学術大会
- [2] 岡野一清 水素エネルギーシステムの実証：国内外の動向
エネルギー・資源 2002 年 9 月号
- [3] 吉田邦夫 水素経済は日本の救世主となり得るか
エネルギー・資源 2003 年 11 月号
- [4] 小関和雄 国内外の水素エネルギー施策 エネルギー・資源 2003 年 11 月号
- [5] 栗山信宏 水素貯蔵技術の動向 エネルギー・資源 2003 年 11 月号
- [6] 丹下昭二 燃料電池自動車の実証試験 エネルギー・資源 2003 年 11 月号
- [7] 赤松英昭 燃料電池の実用化に向けたソフトインフラの整備
エネルギー・資源 2003 年 11 月号
- [8] 川副聖規 経営の観点から見た地熱資源の地熱の商品性価値
日本地熱学会誌 第 26 巻第 3 号
- [9] 福田健三 水素導入ロードマップ 2004 年バージョン
第 24 回水素エネルギー協会大会

付 録

本研究における情報収集は、文献参照やウェブサイト閲覧のほか、取材や講演会の拝聴も行った。それを目的に、関連性の高い学会に学生会員として加入した。

以下に本研究を行うために加入した学会、取材の概要、拝聴した講演会の概要を記す。

1. 所属学会

- ・ 水素エネルギー協会⁶³

水素エネルギー協会は、水素をエネルギー媒体としたクリーンで持続可能なエネルギー社会の実現を推進している産官学により作られている団体

- ・ エネルギー・資源学会⁶⁴

日本はもとより世界のエネルギー・資源、そしてこれらにかかわる環境問題を主なテーマとし、調査分析・問題解決のための技術開発、および制度設計に取り組む人達を結集して多角的な活動を展開している。

- ・ 日本地熱学会⁶⁵

地熱発電所や熱利用のための地熱資源の探査やその利用法について、学術講演会や学会誌などを通して議論している。

2. 取材

2004 年 2 月 金谷年展氏 慶応義塾大学大学院助教授

青森におけるエネルギー政策を取材 特にバイオマスをエネルギー源および規制緩和についての話を聞いた。水素エネルギーと燃料電池自動車がいずれも増加できるような社会システムを構築する必要性も仰っていた。

⁶³ 水素エネルギー協会のホームページより

⁶⁴ エネルギー・資源学会のホームページより

⁶⁵ 日本地熱学会のホームページより

2004 年 4 月 I.シグフースソン氏 駐日アイスランド大使(当時)

取材前に、インターネットなどを通じて把握していたアイスランドのエネルギー事情を確認。それを基に、アイスランドでは既に行われているエネルギー政策で、日本でも取り入れたほうが良い政策を尋ねた際、熱水の利用を提案された。

2004 年 6 月 T.シグフースソン氏 アイスランド大学 Faculty of Science 教授

アイスランドで行われている地熱エネルギーを利用した水素エネルギーの製造方法取材。その中で、地熱エネルギーから水素エネルギーへの変換方法および変換効率を教えて頂いた。

2004 年 10 月 矢野久氏 財団法人日本自動車研究所 FC・EV センター

企画・実証グループ 主任研究員

燃料電池自動車に対する様々な認知を教えて頂いた。その中で、燃料電池自動車は高圧なタンクを携帯するため、爆発などの危険性を感じる人がいるということを仰っていた。

2004 年 10 月 奥山徳夫氏 八丈町企画財政課企画係 主事補

八丈町に関する統計データを頂きその説明を受けた。印象に残った話しでは、八丈島地熱発電所建設の際、周辺住民の中で臭いを嫌がる人がいらっしゃることを仰っていた。

2004 年 10 月 田代孝信氏 東京電力株式会社 東京支店

島嶼業務センター 八丈島事務所

八丈島地熱発電所の案内、および地熱発電を含む島内全体の発電量に関するデータを提供して頂いた。

2004 年 12 月および 2005 年 1 月

野村次生氏 シナネン株式会社 事業開発室担当課長

大津徹氏 栗田工業株式会社

新事業推進本部 エネルギープロジェクト

相模原水素ステーションにて、水電解装置の説明を頂いた。また、水電解装置を利用した水素エネルギーシステムの実用化に向けて、日本ではアイスランドと違い、同業社が互いに発展できるようなシステム構築が必要であるという議論を行った。

3. 参加講演

いずれも、日本とアイスランドのエネルギー政策について、拝聴した。

2004 年 3 月 青い森・地球エネルギーフォーラム

2004 年 6 月 第 15 回世界水素エネルギー会議

2005 年 1 月 燃料電池市民講座 エネルギービジネスへの挑戦

謝 辞

本研究に当たりご指導を頂いた方々、および資料収集にご協力を頂いた方々に、深くお礼を申し上げます。