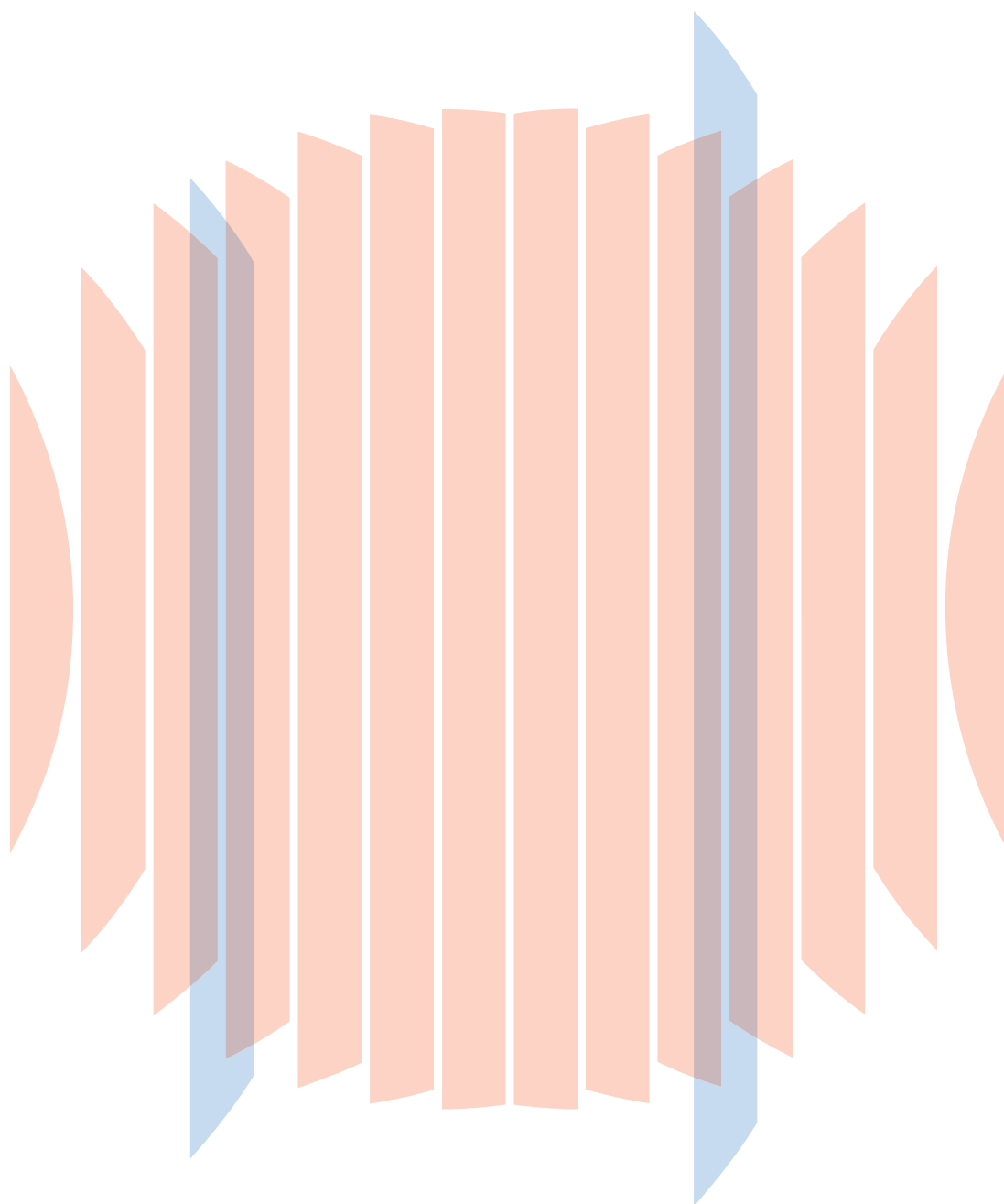


# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 36 No. 1 2013. 4.



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所  
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

# 目 次

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 【巻頭言】 日本の未来に期待する                                           |    |
| 株式会社日立製作所 取締役会長 川村 隆                                       | 1  |
| 【寄稿】 革新的波力発電システムの開発                                        |    |
| 東京大学生産技術研究所 特任教授 橋本 彰                                      | 2  |
| 【寄稿】 東日本大震災後のわが国および世界の石炭需給動向                               |    |
| (一財) 石炭エネルギーセンター 参事 原田 道昭                                  | 8  |
| 【調査研究報告】                                                   |    |
| 高レベル放射性廃棄物等の地層処分<br>～事業化における海外の状況とわが国の最近の議論から～             |    |
| プロジェクト試験研究部 部長・副主席研究員 蛭沢 重信                                | 18 |
| 【活動紹介】                                                     |    |
| CO <sub>2</sub> フリー水素チェーン実現に向けた構想研究                        |    |
| プロジェクト試験研究部 主管研究員 笹倉 正晴                                    | 33 |
| 【活動報告】                                                     |    |
| 『原子力の安全を問う』シンポジウムの開催<br>～新安全基準(設計基準, シビアアクシデント対策)骨子案を巡る論点～ | 41 |
| 【事業計画】                                                     |    |
| 平成 25 年度 事業計画 (一財)エネルギー総合工学研究所                             | 44 |
| 【故秋山先生が米国機械学会賞受賞】                                          | 50 |
| 【研究所のうごき】                                                  | 51 |
| 【第 35 巻通巻目次】                                               | 53 |
| 【編集後記】                                                     | 57 |

# 巻頭言

## 日本の未来に期待する

川村 隆 (株式会社日立製作所  
取締役会長)



日本の未来に関する悲観論が国内には横溢している。世界最速の少子高齢化・労働人口の減少は継続しそうだし、更に、国としての膨大な借金の山を減らしながら、社会保障を中福祉・中負担のきちんとしたものにして、例えば年金や介護がたしかに受け取れるようにするとか、国の安全保障でも国民と周辺国の納得とを合わせ得る形を作る、などの難しい課題が多い。それにしては、政治・経済の低迷が続いたから。

しかし、公平に世界の諸国と比較した時、日本と日本国民の未来について、私は楽観論者であるし、外国でも同様の考えの人が多く。我が国の民度の高さは、学力・識字率・寿命・肥満度・経済指標・他国比較での格差の少なさ・同じく汚職の少なさ・民主主義の浸透度ほかによく表れているし、また、明治維新・第二次大戦後に国を拓いた後の発展の記憶も国民の遺伝子の中に残っているからである。つまり今度も国・企業・家庭の各層で国を拓くというのが未来への出発点だと思う。

まず、経済再生から入るという新政権の方針は、前述の我が国の抱える課題を解決する上で、的を射たものと考えて。日本の中では、高度サービス産業をはじめ、日本に残り得る高度技術の輸出産業や新農林水産業、社会インフラの新生事業や旧インフラの再生事業などが経済成長の源泉になるだろう。

更に、アジア地域ほかの発展途上国にヒト・モノ・カネを投入し、その国の一員として経済発展に寄与し、付加価値の一部を日本へ還元することも国内での経済成長に劣らず重要である。

これら国内外の経済活動を通じて、ヒト・モノ・カネの基本資源が日本と外国とを往来し、日本はまさに国を拓くという形になる。

こうして経済再生が成し遂げられて初めて、財政再建と社会保障の両立のめどが立ち、また国際的な日本の地歩も高まり、国民の安心・安全も保障されてくるのだ。

日本は、現在のシンガポールを原型に知的産業を繁栄させ、美しい国土と新農林水産業も残し、持続的成長をする中規模国家になると期待される。

まずスポーツ界でこの開国現象が始まっており、産業界もこの先駆けの一つになろうと、動きを強めている今日この頃である。

[寄稿]

## 革新的波力発電システムの開発

橋本 彰

(東京大学 生産技術研究所  
特任教授)



### 1. はじめに

日本は海に囲まれた海洋国家であり、豊かな海洋エネルギーに恵まれている。波力、潮流、海流等の海洋エネルギーの有効利用は、地球温暖化対策等の環境面でもエネルギーセキュリティ確保の面でも重要である。当研究室では波力エネルギーを有効に取り出す革新的波力発電について開発を進めている。

日本の波力エネルギーは180GW、年間で1.6兆kWhであり、日本の全発電量の1.6倍に相当する。全世界の波力エネルギーは5,000GWであり、日本はその内の3.6%をしめている。この波力エネルギーから効率的に発電することで設備費を下げ、さらに密閉構造とすることでメンテナンス費を下げ、発電コストを低減する。また、離島での使用を想定し、革新的波力発電システムでは太陽光、風力等の再生可能エネルギーが持つ不安定な出力変動を少なくし、安定した稼働率の高い、使いやすい電源を目指している。

### 2. 波のエネルギー

規則波のパワーは深海の場合次のように表わされる。

単位面積当たりの波のエネルギー：

$$\begin{aligned}\text{位置エネルギー} & E_p = w_0/16 \times H_0^2 \\ \text{運動エネルギー} & E_k = w_0/16 \times H_0^2 \\ \text{合計エネルギー} & E = E_p + E_k \\ & (E = w_0/8 \times H_0^2)\end{aligned}$$

単位波幅当たりの波の動力

$$P_w = (1/32 \pi) \times w_0 \times H_0^2 \times T$$

$$\left( \begin{array}{l} P_w : \text{単位波幅当たりの波のパワー [kW]} \\ w_0 : \text{水の比重量 [kg/m}^3\text{]} \\ g : \text{重力加速度 [m/s}^2\text{]} \\ H : \text{波高 [m]} \\ T : \text{波周期 [sec.]} \end{array} \right)$$

海水の場合、

$$P_w = .985 \times H^2 \times T \text{ [kW/m]}$$

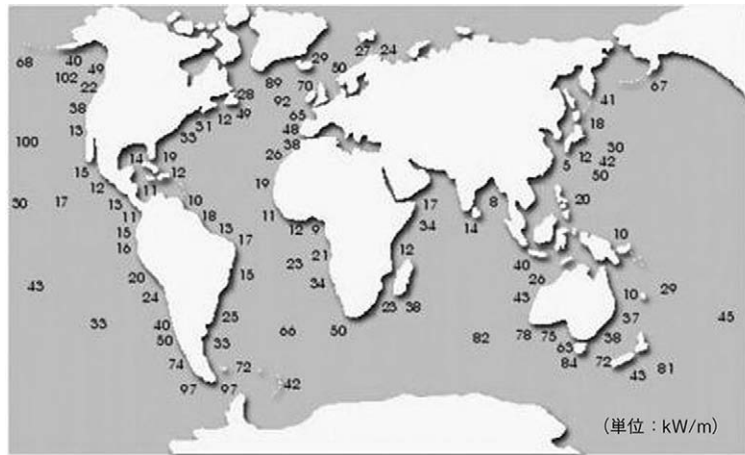
と簡略化できる。

この式で波高1.5m、周期5秒の波の動力を計算すると11.1kW/m、波高3m、周期10秒の波では88.7kW/mとなる。波は水の比重が大きいので大きな動力を持つことが分かる。

### 3. 日本近海の波力エネルギー

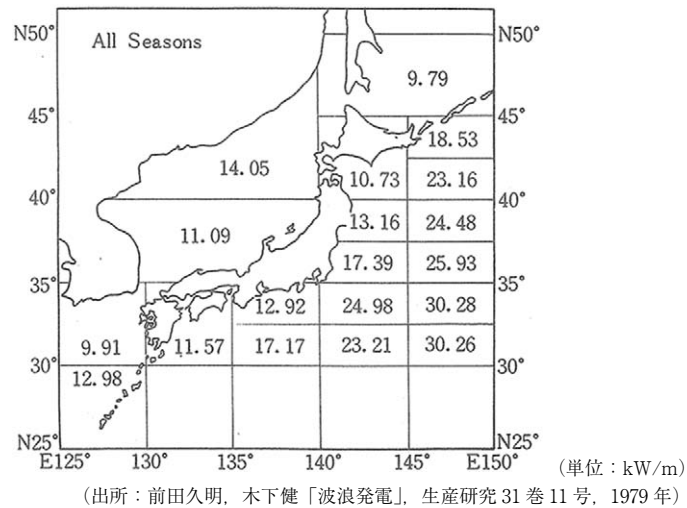
日本近海の波は年間を通じてみると欧米に比べ波高が低く波力エネルギーの密度は低い。図1に世界の波のパワー分布を、図2に日本近海の分布を示す。北大西洋やオーストラリア南部では50～90kW/mであるのに対し、日本では5～20kW/mである。

図3に、伊豆下田の2011年1月から12月までの1年間の波況データを示す。上段は20分最高波高を、中段は20分平均波高を、下段に20分平均波周期を示す。日本は年に数回、台風が襲来し波高10mに及ぶ波がある一方、平時は0.5～0.7mの波高で周期が5～6秒程度の波が多いことがわかる。稼働率を上げて



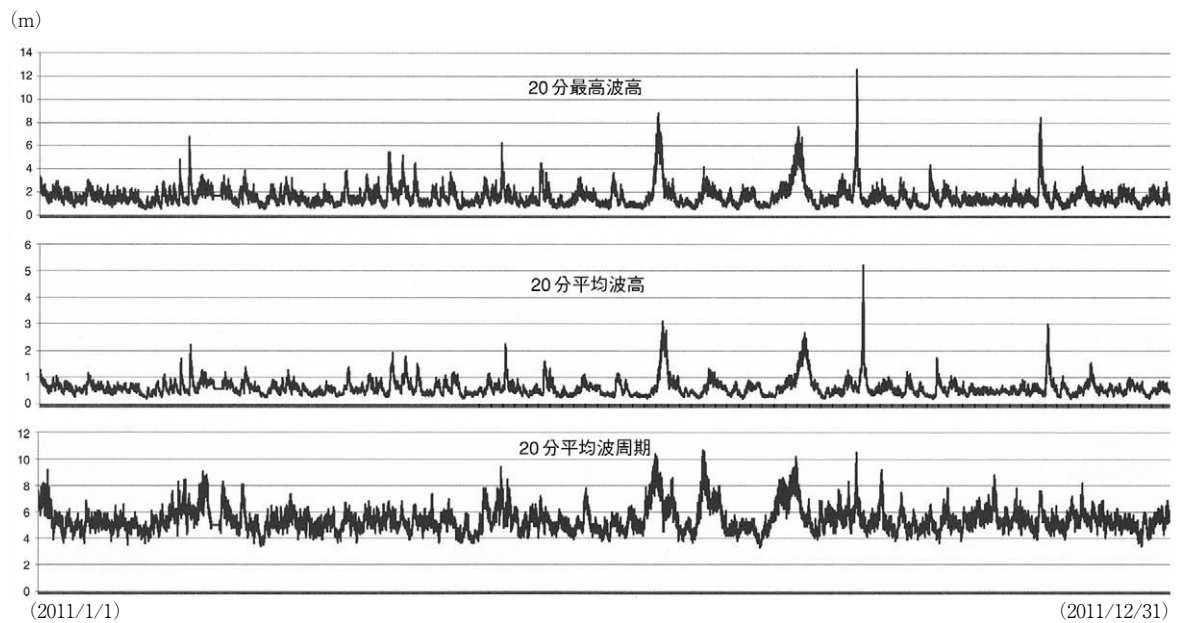
(出所: NEDO『再生可能エネルギー技術白書』, 2010年7月)

図1 世界の波のパワー分布



(出所: 前田久明, 木下健「波浪発電」, 生産研究 31 卷 11 号, 1979 年)

図2 日本近海の波のパワー分布



(出所: 国土交通省港湾局 NOWPHAS データを基に筆者作成)

図3 出石下田の波況データ (2011年1月1日～12月31日)

経済性を高めるには0.5～0.7 mの平時の波で大きな出力を出すことが求められる。

#### 4. 革新的波力発電システム

低波高，短周期の波からも効率的にエネルギーを取り出すことを狙ったのが波との共振を利用した革新的波力発電システムである。

Evans ら<sup>(1)</sup>により波と共振する浮体では浮体周囲の波からも有効にエネルギーを取り出せることが示されている。この Point absorber の理論によると，共振して取り出せる理論的な最大の出力は線形解析の結果から次式で表わされる。

$$P_{\max} = \lambda / 2 \pi \times P_w$$

$$\left( \begin{array}{l} P_{\max} : \text{共振して取り出せる最大の出力[kW]} \\ \lambda : \text{波長[m]} \end{array} \right)$$

通常波長は30～120 m程度であり，共振式波力発電では最大で単位波幅当たりの波のパワーの5～20倍の出力が理論上取り出せることを示している。これは共振により，浮体の投影幅のエネルギーだけでなく，周囲の波のエネルギーを取り込み，多くの出力が得られることを意味している。Pmax が浮体径に依存しないのもこの理論の特徴である。しかし，これまで積極的に共振を利用した波力発電は行われていない。これは実際の波周期4～10秒に共振する浮体の共振機構の設計が困難であったためと考える。つまり，浮体内部に錘とスプリングを設置し，波周期に合わせて錘とスプリングの固有周期を設定した場合，スプリングの現実的な設計が困難となるのである。そこで本研究では空気バネを用いた共振式波力発電について検討を行った。

図4に革新的波力発電システムの概念を，図5に構造を示す。

革新的波力発電システムでは波と浮体が共振し，さらに浮体と錘が共振する。

波と浮体の共振では浮体の重量を水室内の海水量で調整し浮体の固有周期を波の周期に

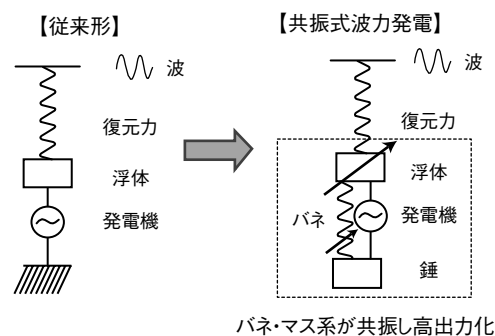


図4 革新的波力発電システム

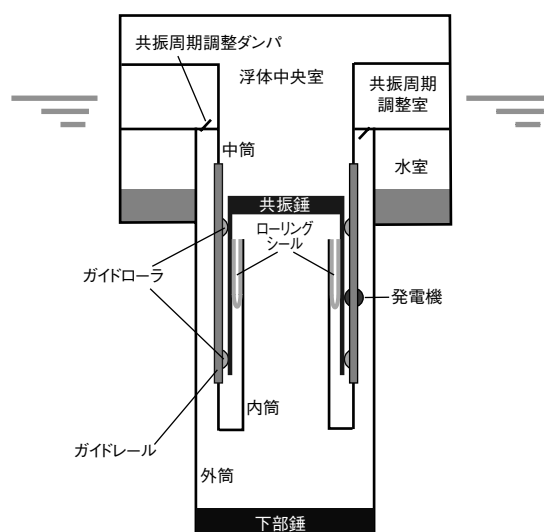


図5 革新的波力発電システムの構造

合わせる。浮体と錘の共振では，空気バネの空気室の容積を調整し，空気バネと錘の固有周期を浮体の周期に合わせる。浮体と錘の位置差によって作動する発電機により電気エネルギーを取り出す。空気バネのシールには低差圧，長ストローク，ノンリーク，長寿命であることからローリングシールを採用した。また，信頼性を向上させるため，水室のポンプを除き，機械可動部分を海水に暴露させない密閉構造とした。

#### 5. 試設計

波高0.5 m，波周期5秒の条件で試設計を行った。

浮体径を5 m，全長13 m，喫水下10 m，共振用錘重量を10 tとし，固有周期5秒の設

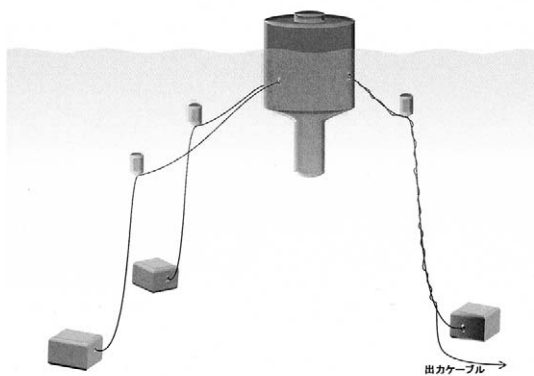


図6 係留方式（3点係留）

計で空気室容積を決定した。空気室容積は可変とし固有周期を調整できる構造とした。

共振用錘のストロークは浮体座標で最大 $\pm 3$  m，ローリングシールの径は1 mとした。係留は図6に示す3点係留を想定した。

台風時の10mクラスの波については，共振点をずらし，電気的ロックと機械的ロックを行って，発電系を停止し，浮き灯台と同じ状況で台風に耐える設計とする。

## 6. 造波粘性抵抗の計測

浮体側の計算式に流体特性を考慮するために，浮体の造波粘性抵抗を計測した。計測には小型の水槽（全長4 m，幅0.4 m，水深0.4 m）を用い，供試体のステップ応答をレーザー変位計で計測した。

図7に計測状況を，図8に4種類の供試体（ $\phi 100$ の亚克力円筒を用い，平面底板，R角底板，半球底板，2段式浮体）を示す。

## 7. 出力計算

浮体の運動方程式とバネ・マス発電系の運動方程式を連携させ，出力の計算を行った。

流体の特性は計測した造波粘性抵抗をスケールアップして浮体の運動方程式に適用し

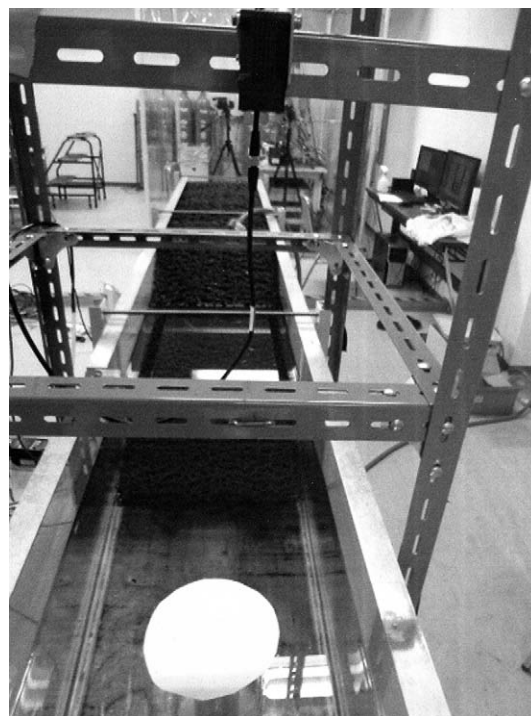


図7 造波粘性抵抗計測状況

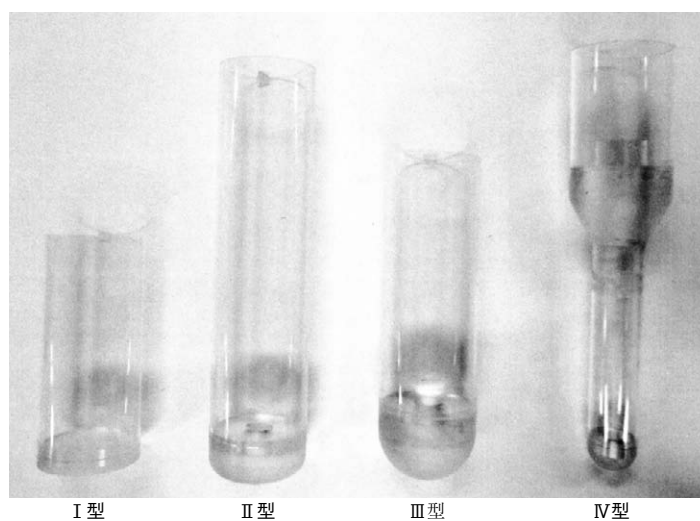


図8 供試浮体模型

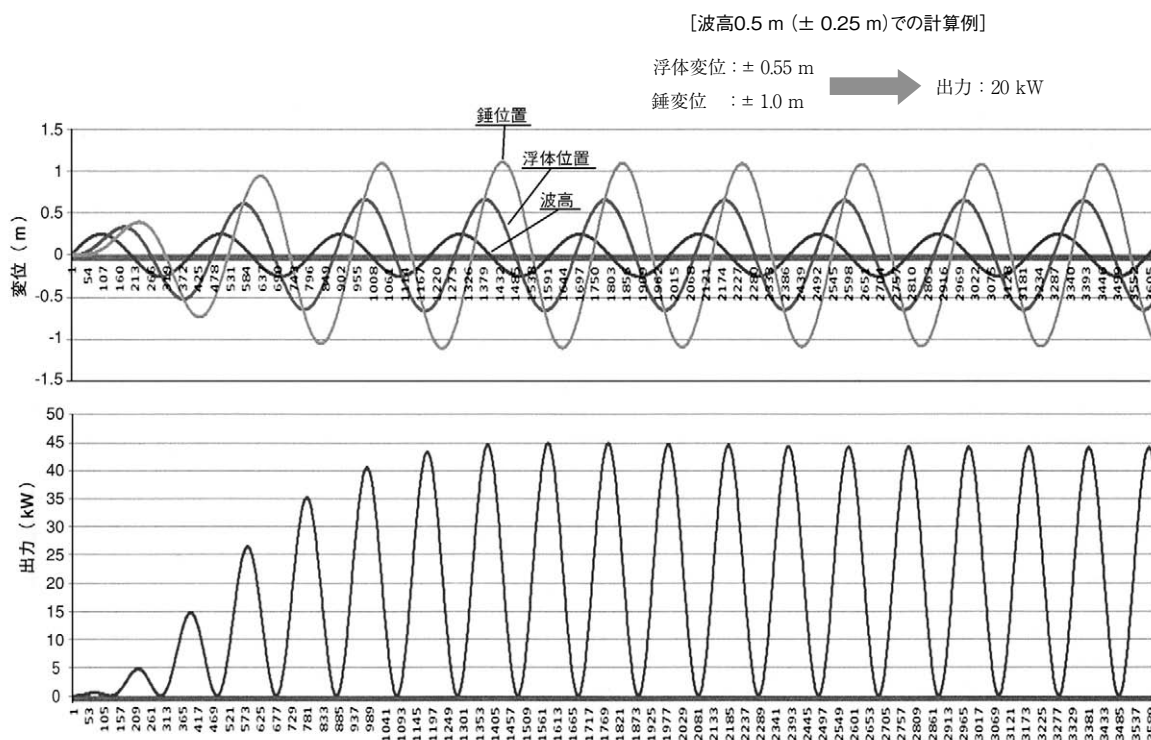


図9 変位・出力計算結果

た。図9に浮体と錘の変位、発電機の出力の計算結果を示す。

波高 0.5m (片振幅 ± 0.25m)、波周期 5 秒の規則波で共振した浮体の変位が ± 0.55m、錘の変位が ± 1.0m となり、出力は平均で 20kW となる。

ただし、この計算は線形計算であり、実現象は非線形性があるため、この計算出力より若干低くなることが予想される。

共振しているため波と浮体、浮体とバネマス発電系が各々約 90 度の位相差で振動している。波の変動より浮体の上下運動が激しく、さらに錘が激しく動いている。

発電機は半周期毎に止まって、回転方向が変わるので、最大出力の半分の平均出力となる。

## 8. 実波形の影響

実海域での波はいくつかの波が重なり合って複雑な波形をしている。この影響を見るために、2 種類の正弦波を合成した波でシミュレーションを行った。

計算結果を図 10 に示す。波は複雑な形をしても共振する錘の運動は、ほとんど正弦波に近いことが分かる。

これは、10 t もある錘が基本波と共振している場合は、波の細かな動きには影響されにくいことを表わしている。このことは共振式波力発電の出力が安定になり易いことを示している。

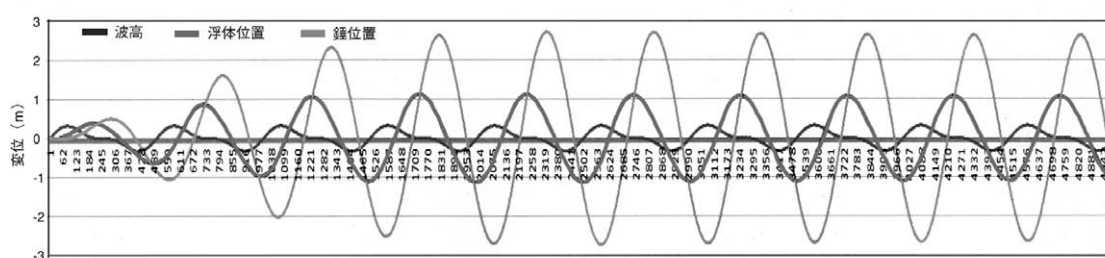


図10 実波形の影響

## 9. ローリングシールの耐久性

空気バネを使う場合、リークは発電効率の低下をもたらすため、リークの無いシールが求められる。検討対象となるのはローリングシールであるが、従来はほとんどダンパとして使われていたため、ストロークが短く抵抗が大きく設計されている。共振式波力に求められるローリングシールは直径が1 m、全長8 m（ストローク±3 m＋端部1 m×2）で、耐圧2atg、且つ折り曲げて動かしても抵抗の少ないことが要求される。さらに、5秒周期で10年間使用すると約6000万回のストロークが有るため強靱な耐久性が求められる。今後は、このローリングシールの耐久性の確立が重要な課題となる。

## 10. まとめ

共振式波力発電の実現性について検討を行った。Point Absorber 理論では共振式浮体は直接浮体に当たる波ばかりでなく周囲の波のエネルギーを取り込むことができることが示されている。

本研究では造波粘性抵抗を計測し、線形計算を実施し出力を検討した。その結果、日本近海に常時ある低波高の波でも20kWの出力が得られることを示した。

また、実海域の複雑な波形であっても、基本波に共振している浮体の錘は基本波の周期でほとんど正弦波の動きをすることが解った。

この共振式波力発電を成立させるために必要な空気バネのキー技術はローリングシールである。ローリングシールの耐久性確立が求められる。

共振式波力発電を日本の近海で使用すると、日本近海に常時ある0.5～0.7 m波高、5～6秒周期の波で作動する発電システムとして利用できる。

太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーは天気、風の状況により出力が変動する

が、共振式波力発電で、常時存在する低波高の波を対象に設計すると、出力変動の少ない稼働率の高い発電を行うことができる。

今回の研究によりその実現性が見えてきたと考えている。今後は大形の水槽を使った発電試験、さらには実海域発電試験等で精度を上げ、実現性を高めていくことが必要である。

### 参考文献

- (1) D. V. Evans, "Maximum wave-power absorption under motion constraints," Applied Ocean Research, 1981, Vol. 3, No. 4
- (2) Michael E. McCormick, "Ocean Wave Energy Conversion," 2007
- (3) 渡部富治, 近藤俊郎, 『波力発電』, パワー社, 2005年10月
- (4) 日本機械学会: 機械工学便覧, a. 基礎編

[寄稿]

## 東日本大震災後のわが国および世界の石炭需給動向

原田 道昭 (一財) 石炭エネルギーセンター  
参事



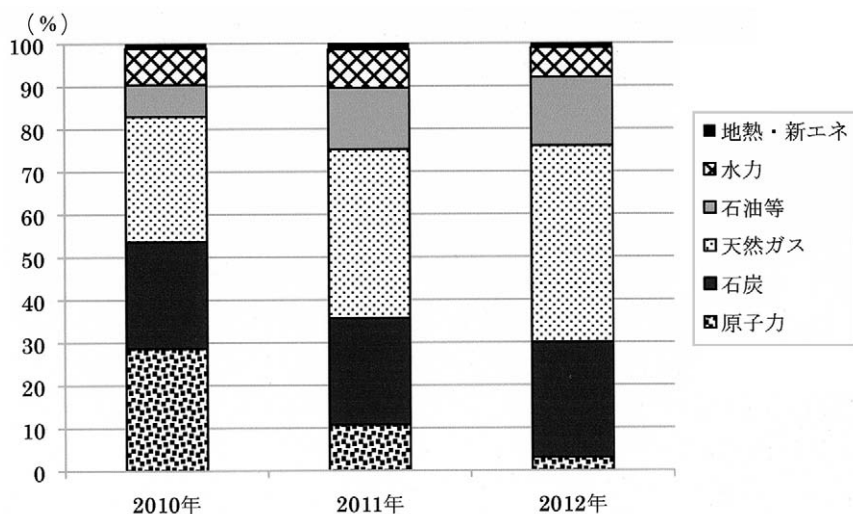
### 1. はじめに

2011年3月11日、わが国未曾有の大災害、東日本大震災が発生した。この時の津波により、東京電力㈱福島第一原子力発電所1号機～4号機が原子炉をはじめ大きなダメージを受け、その結果廃炉を余儀なくされた状況にある。

震災発生以前のエネルギー基本計画では、原子力発電は今後もシェアを伸ばしていく計画であったが、この大災害により今後の原子力発電の方向性は全く見えなくなった。現在の安倍政権においては、7月までに原子力規制委員会が新たな安全基準を策定し、それに基づいて、現在休止中の48基の原子力発電プラントの審査が行われ、運開できるものとそうでないものが決定されるとしているが、いつまでに決まるのかは全く分からない状況である。

そのような中で、年間稼働率が低かった重油火力および液化天然ガス（LNG）火力に白羽の矢が向けられ、2011年と2012年はわが国の原油およびLNGの購入価格が大幅に増え、貿易収支を悪化させ、2012年は過去最大の6.9兆円の貿易赤字を記録した。

石炭火力発電所も東北日本の太平洋側沿岸に多く立地しており、東日本大震災で、発電所および石炭受入港の岸壁、揚炭設備、発電プラントの各種ポンプ類等の電気機器が被害を受けたが、2011年中にほとんどが復旧し、発電を再開しているので、不足する発電量をカバーするために貢献している。ただし、石炭火力はもともとベース電源として用いられていたもので、震災以前から稼働率が高く、重油火力やLNG火力ほど急激な発電量の増加は見られない（図1参照）。



(出所：経済産業省石炭課発表資料を基に石炭エネルギーセンター（JCAOL）で作成)

図1 日本の発電電力量のシェア

わが国のこのような様な状況とほぼ同時に、米国のシェールガスが安価に供給されるようになり、世界中に大きな衝撃を与えた。わが国では、原子力発電の埋め合わせをするために、LNGをそれまで以上に購入し始めており、わが国のLNGの購入価格は16～18米ドル/MMBTUに対して、米国内の天然ガス価格を示すヘンリーハブ価格が2～3米ドル/MMBTUで取引されているということで、マスコミや新聞紙上を騒がせた。

低価格で供給される米国のシェールガスにより、米国内の発電シェアが変化し始め、それによって世界の石炭需給にも影響を及ぼし始めている。本稿はその動きと今後の見通しについて述べる。

## 2. 震災後のわが国の発電電力量のシェア

日本の2010年、2011年および2012年における発電電力量の状況を図1に示した。ここに示すように東日本大震災前には原子力による発電量が約30%弱あったものが、震災以後には激減しており、その一方で、天然ガスならびに重油による発電が増加している。石炭については、石炭火力は震災前からベースロード運転であったために、震災後にはそれほど多くの増加は見られていない。

## 3. ここ10年間の世界の石炭需給の推移

### (1) 世界の石炭生産量および消費量

図2に、2001年から2011年までの国別石炭生産量の推移を示した。世界の総石炭生産量は2011年に76億トンを超えた。2001年から2011年の間に、最も生産量が増加した国は中国で20.5億トン、次にインドが2.35億トン増加した。2011年の世界の石炭生産量のうち、中国が45%を占めており、中国・米国・インドの上位3カ国で世界の3分の2の生産量である。

石炭は基本的には地産地消で、2011年の石炭消費量は約74億トンである。中国の伸びが極めて突出しており、インドも生産量とともに増加している。上位国において欧米や日本はほぼ横ばいであるが、韓国の消費量が増加している（2001年7,800万トン→2011年1億3,000万トン）。

### (2) 世界の石炭輸出入の推移

図3および図4に2001年から2011年までの国別石炭輸出量および輸入量の推移を示した。石炭輸出入に関しては、アジアにおける日本、韓国および台湾と西欧諸国が南アフリカから輸入するという2つの大きな流れがあったが、ここ数年中国、インドが輸入を増やしていることと米国のシェールガスの生産

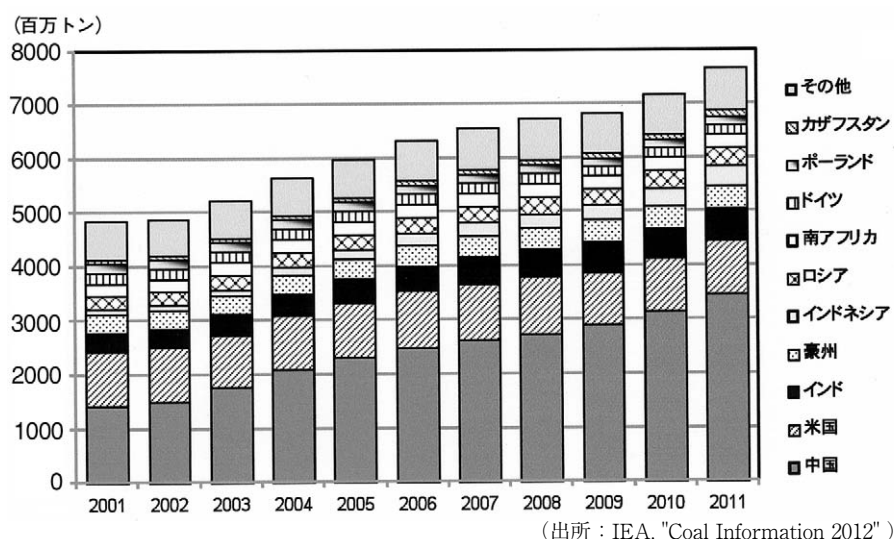


図2 国別石炭生産量の推移

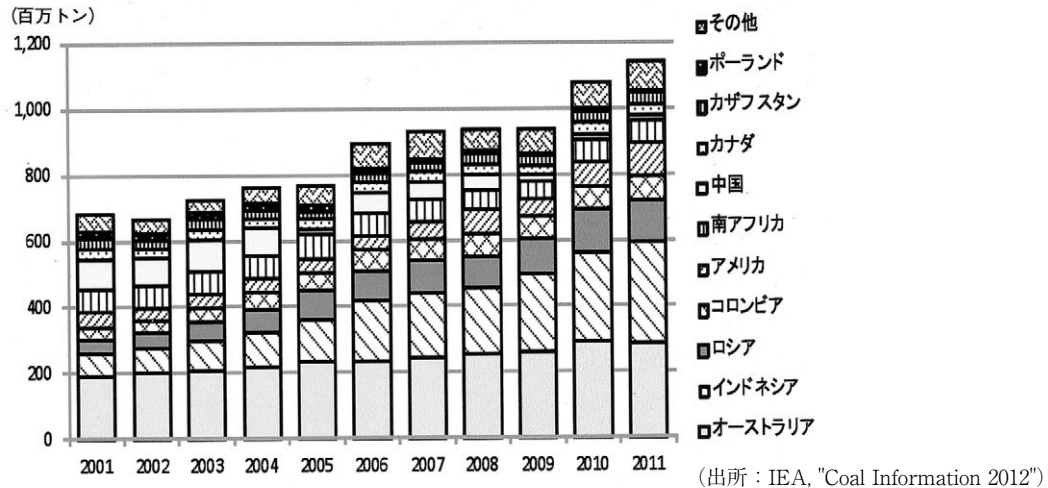


図3 国別石炭輸出量の推移

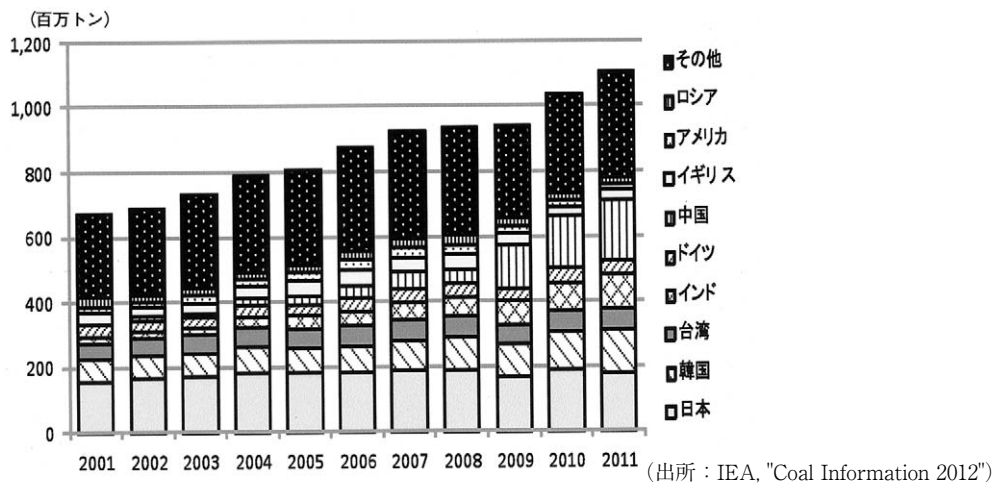


図4 国別石炭輸入量の推移

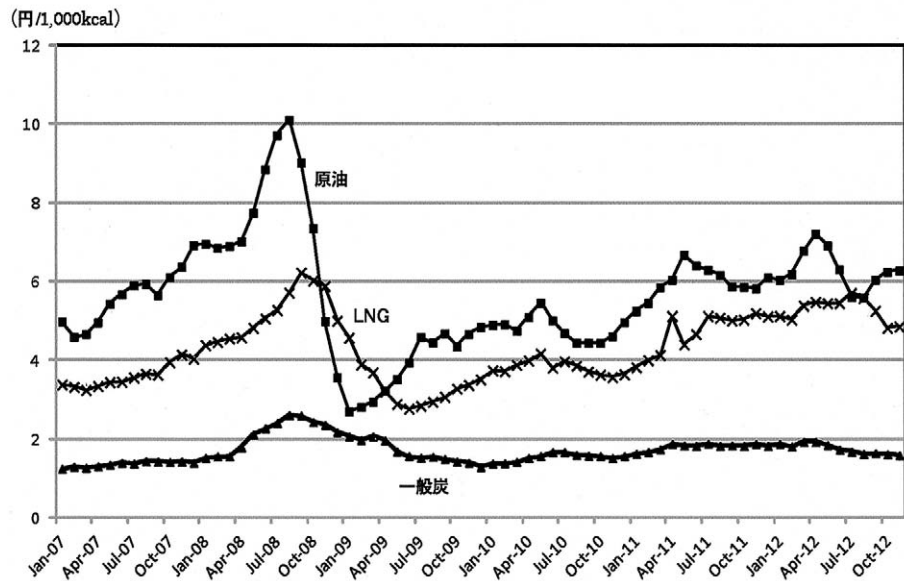
増加による余剰石炭の西欧およびアジアへの輸出により、大きく変化している。石炭輸出については、依然としてオーストラリア、インドネシアが大きなシェアを占めている。特にインドネシアの伸びが大きく 2011 年は最大輸出国となった。

中国の石炭輸入が 2007 年以降急増しており、逆に 2007 年以降輸出は大幅に減少している。中国は 2011 年には、それまで最大輸入国であった日本を抜いて第 1 位となった。またインドもここ数年輸入量が増加している。そのほか東アジアでは、日本、台湾はほぼ横ばいで、韓国が増加している。

### (3) 石炭価格の推移

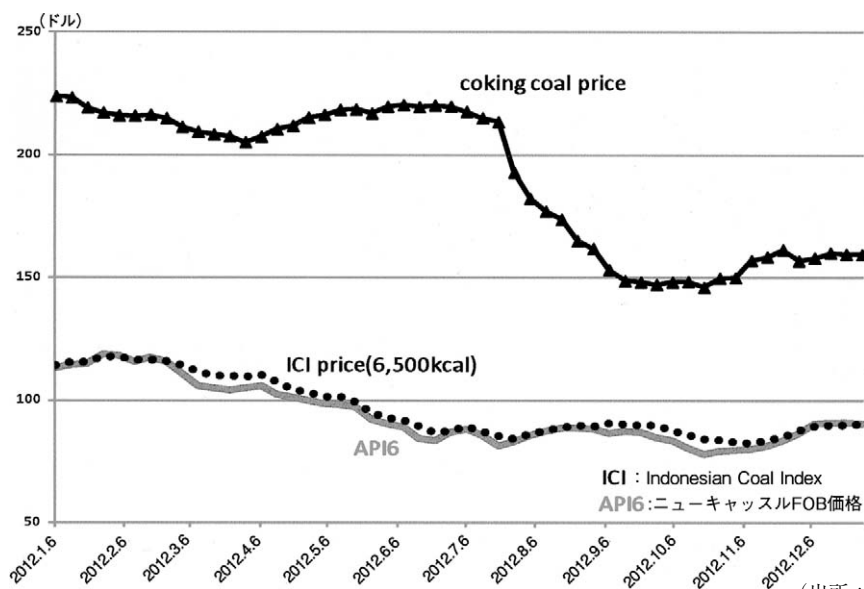
図 5 に 2007 年から 2012 年までの化石燃料のカロリー当たりの価格推移を示したが、石炭価格は、原油、LNG に比べて極めて安価で安定していることが分かる。

また、図 6 に 2012 年の石炭価格の推移を示した。一般炭、原料炭ともに下降を続けたが、11 月頃から落ち着きはじめた。アジアにおける石炭価格は、豪州における 2 度にわたる洪水の影響を受けて高止まりしていた状態から、ヨーロッパ経済危機の影響により中国の経済成長が鈍化したことから 2011 年から徐々に下がっており、2012 年はその影響が出ているものと思われる。



(出所：日本エネルギー経済研究所データより JCOAL 作成)

図5 化石燃料のカロリー当たりの価格推移 (2007～2012年)



(出所：アーガス・メディア社)

図6 2012年の石炭価格の推移

API6 (ニューキャッスル炭の FOB 価格) は 2011 年以降下落が続いており、2012 年 4 月には約 1 年半ぶりに 100 ドル/トンを下回った。その後も下落は続き、現在は二度に亘る洪水前の水準、約 83 ドル/トンまで下がっている。

原料炭スポット価格 (豪州炭の FOB 価格) は 2011 年初頭に高騰し 3 年ぶりに 300 ドル/トンを超えたが、その後、長引く欧州金融危機、中国経済成長の鈍化などに伴い価格は大きく

下落している。直近の価格は 200 ドル/トンを下回っており、四半期毎の日豪原料炭契約価格についても、2012 年度第一四半期価格は 210 ドル/トンと高騰前の水準まで低下している。

今後の石炭価格については、世界的な経済の回復、特に中国経済の回復により現在の下降傾向から上昇傾向に転ずるものと予想されるが、米国炭のアジアへの輸出が増加しており今後の石炭価格に影響を及ぼすことが予想さ

れる。これまでは、北米一般炭はほとんどスポット取引しかなく、価格も一定していなかったが、今後は中国、インド、韓国、日本等の石炭消費国がより多く輸入することも考えられ、アジア地域における石炭価格に影響を与えるとともに、豪州炭、インドネシア炭の輸出入に影響を与えるものと思われる。

#### 4. 世界の石炭の位置づけ

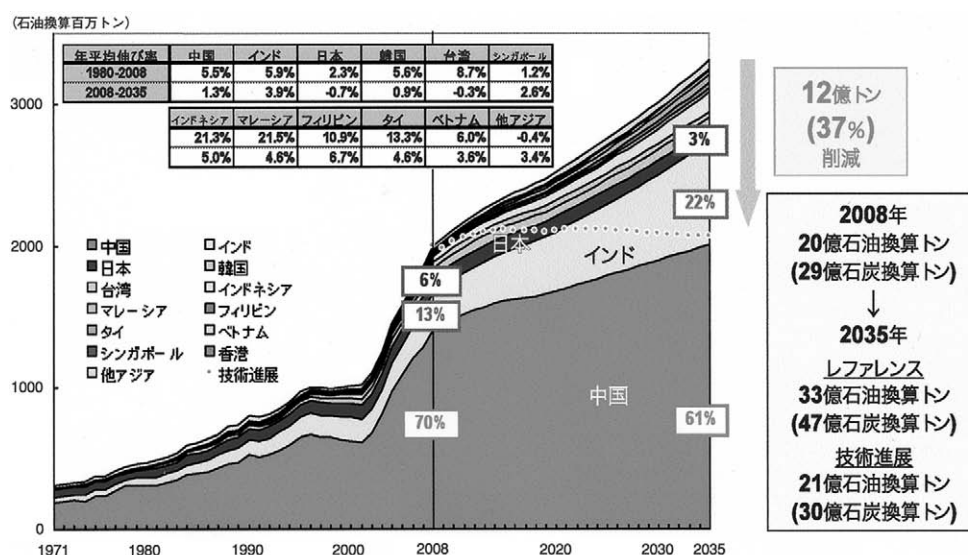
前項で世界の石炭需給動向を示したが、石炭は世界において一次エネルギーの約40%を占める重要なエネルギー源として使われてお

り、図7に示したように、急激な経済成長をしている中国やインドを含めたアジアにおけるエネルギー需要の増加とともに、今後さらにシェアを拡大していくことが予想されている。従って、石炭は、地球温暖化対策を実施しながら、これまで以上に使える道を切り開いていくことが必要となっている。

#### 5. 米国シェールガスの石炭需給への影響

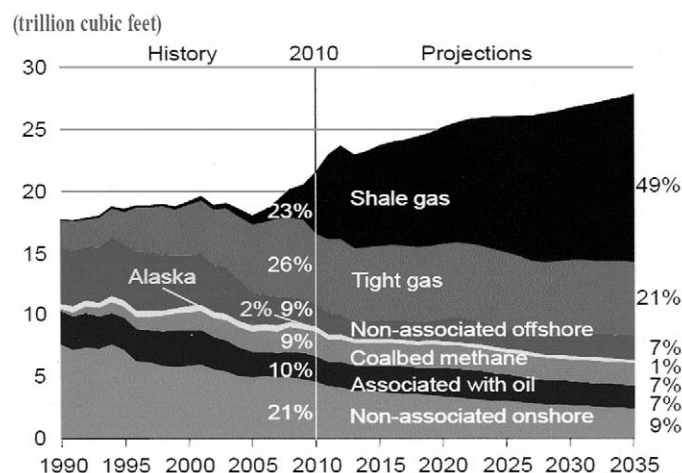
##### (1) 米国シェールガスの生産と価格

図8に米国エネルギー省エネルギー情報局(EIA; Energy Information Administration)



(出所: 日本エネルギー経済研究所『アジア/世界エネルギー Outlook 2010』, 2010年11月)

図7 アジアにおける石炭需給見通し



(出所: EIA, "Energy Outlook 2012", Early Release Overview)

図8 米国の天然ガス生産シェアの予測

による米国の天然ガスの生産量のこれまでの推移と予測を示す。米国の天然ガスの生産シェアにおいて、既にシェールガスが多くなってきており、EIA の予測によれば今後も生産量は増加し、2035 年のシェールガスの生産は全体の 5 割を占めるようになると予測されている。

米国における天然ガス価格は、図 9 中のヘンリーハブ価格が示しているように最近では 2～4 ドル/MMBTU 程度で推移している。ここ 1 年間のヘンリーハブ価格の推移を図 10 に示す。2012 年の 4 月は 2 ドル/MMBTU

を割った底値であったが、その後上昇に転じ 2013 年 3 月では、約 4 ドル/MMBTU に上昇している。一方、最近の日本の LNG 輸入価格は、16～18 ドル/MMBTU である。

## (2) 米国の天然ガス価格と石炭価格の比較

米国のカロリー等価における天然ガス価格と発電用一般炭価格の推移を図 11 に示す。一般炭価格はほとんど変化がないが、ヘンリーハブ価格は上昇と下落を繰り返しながら 2010 年頃から大きく低下している。

天然ガス価格低下の影響を受けて、米国で

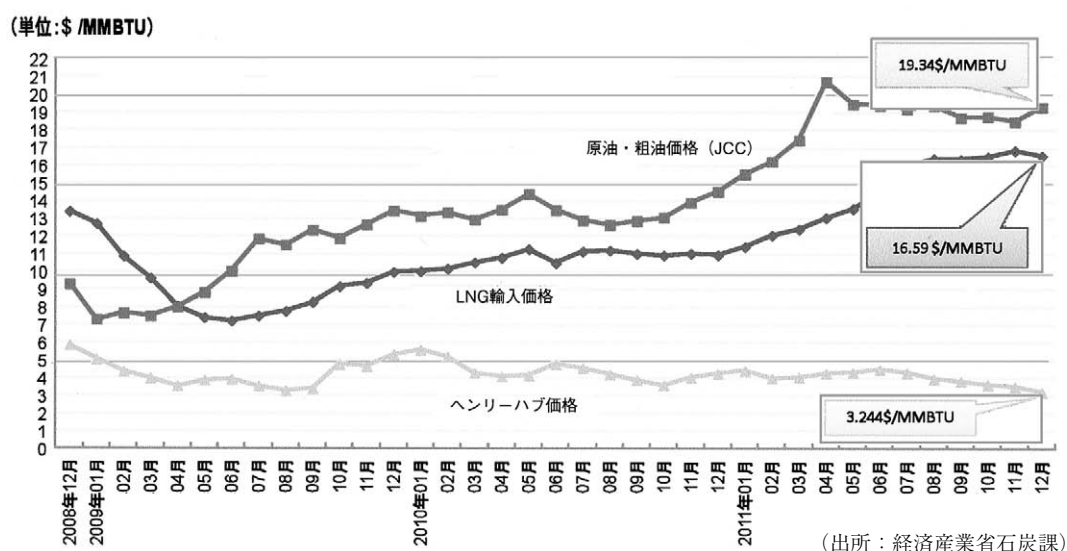


図 9 過去 3 年間にわが国が輸入した原油および LNG の価格とヘンリーハブ価格

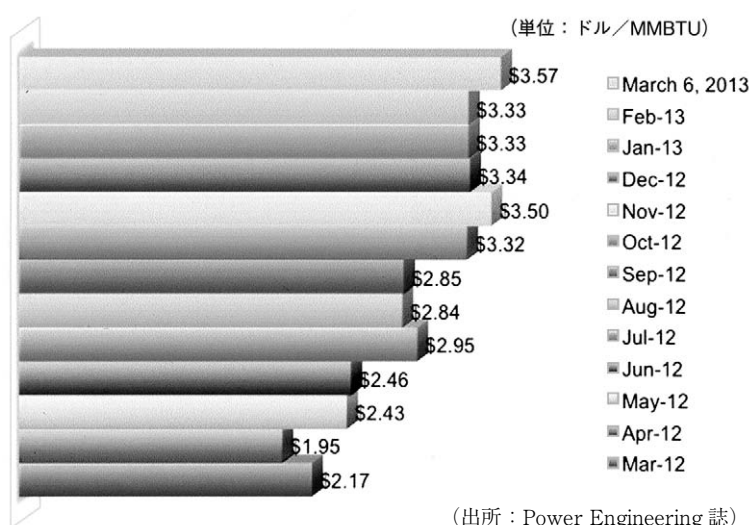


図 10 最近の天然ガス価格 (ヘンリーハブ価格) の変動

は石炭による発電量が減少を続け、天然ガスによる発電が増加している。図 12 に発電割合の変化を示すが、1990 年には石炭による発電量が 50%を超えており天然ガスによる発電量は 10%強にすぎなかったが、天然ガス価格下落の影響を受けて石炭火力の発電量が下がり、逆に天然ガス発電量が増加している。その結果、2012 年の石炭火力の発電量は、37%程度に低下している。

その影響により、米国で生産される石炭の国

内消費が減少し、輸出が増加している。図 13 に 2000 年代の米国炭輸出量と輸出先を示した。2010 年から輸出量が増加しており、特にオランダ、ドイツ、イタリア、イギリス等ヨーロッパへの輸出、韓国、日本、中国、インド等アジアへの輸出が増加している。

現在、米国からアジアに輸出されているのは、中部、東部炭で、パナマ運河を超えてアジア地域に来るが、西部に大量に賦存する亜瀝青炭である Powder River Basin (PRB) 炭

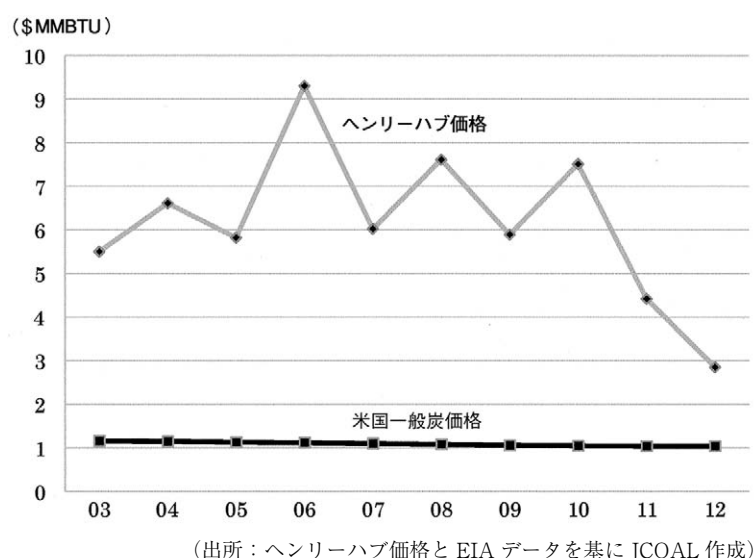


図 11 天然ガス価格と発電用一般炭価格の変動比較

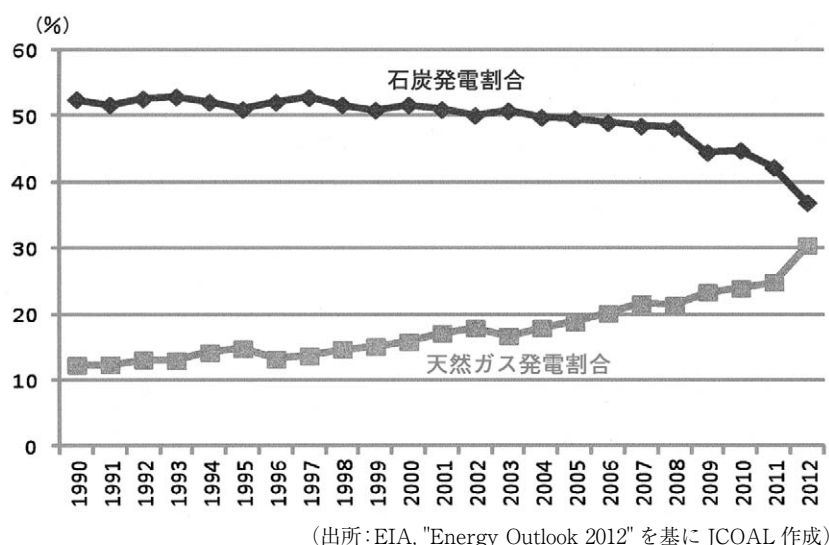


図 12 米国の石炭発電と天然ガス発電の割合の推移 (2012 年は予測値)

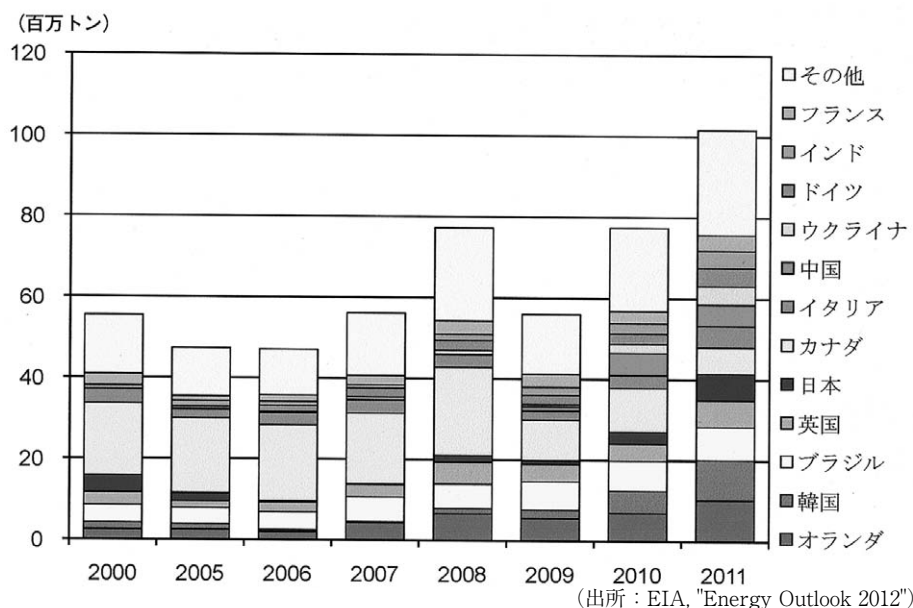


図 13 最近の米国炭の輸出量と輸出先の推移

もインドネシアの亜瀝青炭が比較的高価格で取引されていることから、アジアに輸出しようという動きもある。

## 6. 中国、インドの石炭消費の増加と世界の石炭輸入先の変化

図 14 に世界の石炭消費量の変化を示した。図から明らかなように、近年アジアにおける石炭消費が増加しており、中でも中国とインドにおける石炭消費が急増している。中国と

インドは石炭生産国であるが、両国は広大な面積を有する国であり、石炭生産地と消費地の立地の関係から、沿岸部は海外から輸入した方が安価であったり、調達しやすい等の理由により、図 15 に示したようにここ数年石炭輸入が急増している。主な輸入国は、地理的に近い豪州とインドネシアであるが、図 13 に示したように米国からの輸入が増加し、さらにヨーロッパの国々が米国炭を輸入し始めたことにより、南アフリカ炭を輸入するようになってきている。

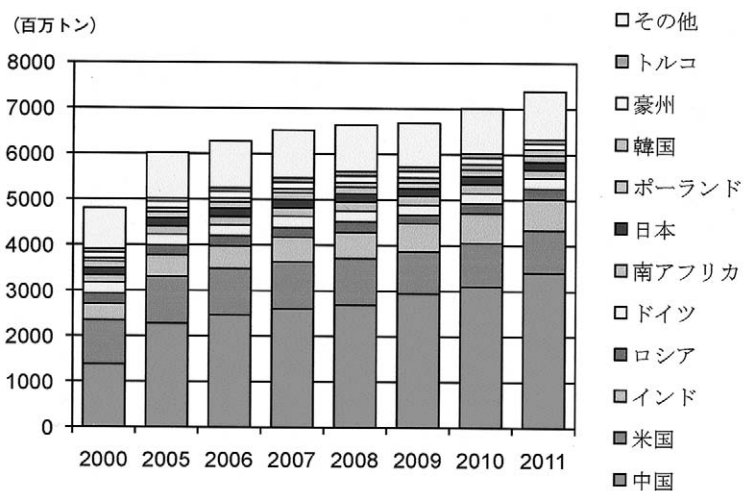


図 14 世界の石炭消費量の推移

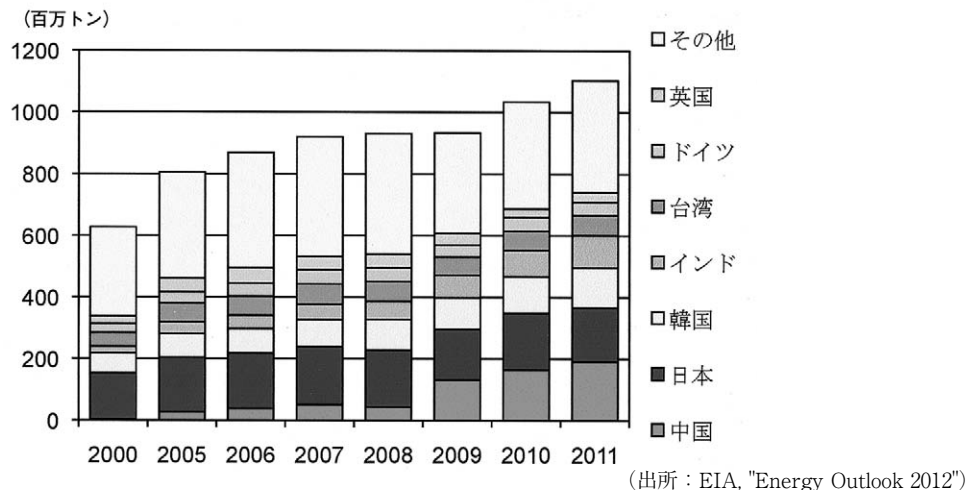


図 15 石炭輸入量の推移

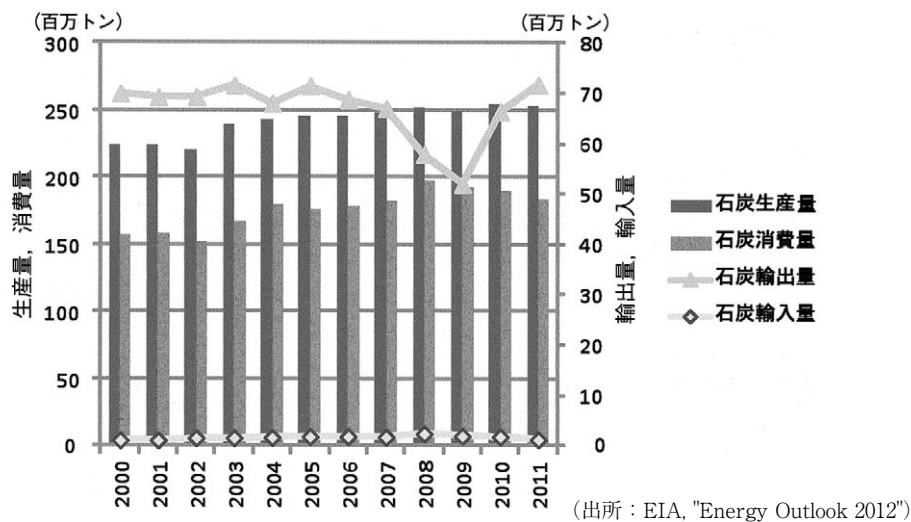


図 16 南アフリカの石炭需給推移

図 16 に南アフリカの石炭のここ 10 年間の需給推移を示す。2000 年代後半は輸出量が減少していたが、2010 年および 2011 年は増加している。石炭の輸出先について 2011 年の実績では特に中国、インド、韓国、イタリア、台湾の順となっている。

以上のように、米国でシェールガスが安価で生産されるようになり、天然ガスの市場が変化し、その影響を受けて米国内の石炭の生産および消費の関係がくずれ、さらにその影響で世界の石炭の輸出入関係が変化し始めている。今後の石炭需給の中心は中国とインドに変わりはないであろうが、その量は益々増加していくと予測され、石炭は豪州とインド

ネシア以外の国からアジアへ集まってくる構図となるであろう。

## 7. おわりに

米国のシェールガス革命の影響は、米国内だけに止まらず、ヨーロッパ、アフリカ、アジア地域の石炭需給と輸出入に影響を及ぼしている。中国、インドの石炭輸入が急増しており、今後は、豪州、インドネシアのみならず、南アフリカ、米国、さらにはコロンビアからの輸入炭を含めてアジアの石炭市場が形成されていくと考えられる。

シェールガスは現在米国内だけで取引され

ているが、シェールガスの台頭により米国炭は既にヨーロッパ、アジアに向けて輸出されており、特にアジア地域の石炭の安定供給と低価格の維持に貢献しているものと思われる。今後は、アジアを中心に、さらに輸出入量が増加していくものと思われ、その輸入先は豪州とインドネシアだけでなく、世界的な広がりを以って取引されるようになると考えられるので、安定供給と価格について、より一層注視していくことが必要となるであろう。

## 高レベル放射性廃棄物等の地層処分

～事業化における海外の状況とわが国の最近の議論から～

蛭沢 重信

（プロジェクト試験研究部部長・  
副主席研究員）



### 1. はじめに

2012年11月、フィンランドのユーラヨキ自治体のオルキオに建設された地層処分のための地下特性調査施設「オンカロ」を久しぶりに訪問する機会があった。以前、2002年9月に訪問した際には、オンカロ建設予定地を案内してくれた研究者から、ここが建設予定地であると教えられたことを記憶している。当時は、部分的に林を切り開き、地表からボーリング調査を行っている状況であった。それから約10年を経た今回は、地下約420mレベルに建設された実証トンネルのエリアまで見学してきた。そこには、処分のための実証として実際の廃棄体が定置できるサイズの4本のボアホールが掘削されており、処分エリアに近い状態を実感することができた。（図1参照）

実施主体であるポシバ（POSIVA）社は2012年12月下旬に処分場建設許可申請を提出しており、それに対する許可が下りた場合には、この実証トンネル近傍を拡張して、実際の処分場を建設する予定とのことである。個人的な体験からではあるが、フィンランドにおける地層処分の過去10年の進展には目覚ましいものがあると実感した次第である。フィンランドに先駆け、隣のスウェーデンでは、2011年3月に処分場の建設許可申請がなされている。北欧2カ国の例は、現在、地層処分事業が比較的順調に進んでいるケースである。しかし世界的にみると、地層処分事業は様々

な紆余曲折を経てきているというのが一般的な見方である。スウェーデンの場合でも、一時期立地活動を中断するほどの反対にあい、進め方などの見直しを行いつつ進め、現在に至っているということができよう。

本稿では、地層処分に関わる国外の状況について、その概要を紹介するとともに、わが国における議論の状況について紹介する。

なお、海外の地層処分事業の紹介については、紙幅の都合で、最近展開を見せている、スウェーデン、フィンランド、フランス、およびカナダの4カ国に限らせていただくこととする。世界には、様々な理由で、事業が足踏み状態である国があることもお断りしておく。米国では処分場建設許可申請の段階まで進んだネバダ州ユッカマウンテンは中止となり、今後の方向性に関する議論がなされた。英国においては、候補地選定の段階でそれまで選定プロセスに参加表明をしていた自治体（カンブリア州内のコーブランド市、アラダー市）が、2013年1月のカンブリア州議会の反対多数議決により、これ以上のプロセスには参加しない旨の表明があったところである。

### 2. 地層処分に係わる最近の国外での動きから

本章では、地層処分事業において進展のあった4カ国の最近の状況について概要を紹介する。

高レベル放射性廃棄物等の地層処分につ

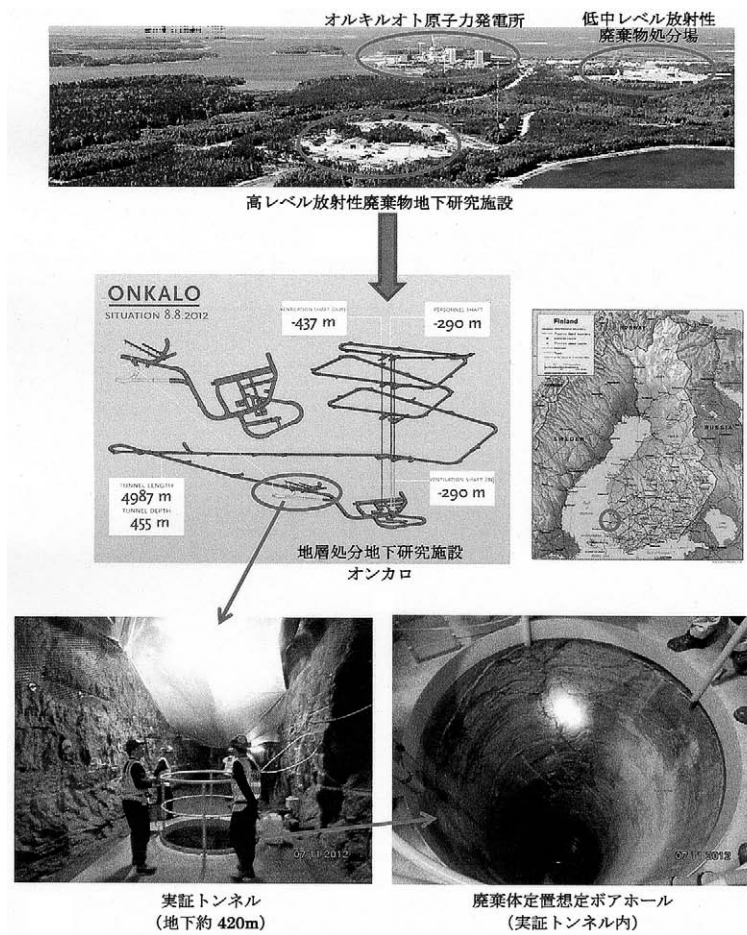


図1 フィンランド・オルキオト原子力発電所サイトと地層処分地下研究施設「オンカロ」

いては、その概念が提唱されてから50年以上が経過し、地層処分の実施を目指す国々で多くの調査、研究・技術開発、および事業実施のための制度化の検討がなされてきた。それとともに、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）、国際原子力機関（IAEA）等、国際的枠組みにおいて、国際共同研究、情報交換、および検討なども活発に行われてきた。

研究・技術開発の成果をベースに、1980年代に地層処分に関わる実現可能性評価がスウェーデンやスイス等で取りまとめられた。以降1990年代には、地層処分の専門家の間では、安全な地層処分実施のための技術および安全性を評価する技術とも得られた、との認識が定着した。1980年代、90年代には、研究開発から処分実施に至るスタート段階として立地活動に移行する国が出てきた。おおよそ20年から30年にわたる調査、研究・技術開

発の実績を踏まえての進展であった。しかし、いくつかの国において立地過程で困難な状況に直面し、立地活動が進展しない状況を経験してきた。次節で紹介するスウェーデンもその1つの国である。一方、フィンランドは、隣国のスウェーデンとの密接な技術協力とともに、立地においてスウェーデンの状況を垣間見ながら推進することができる状況の中で、立地が比較的順調に進んだ国である。

#### （1）スウェーデン

スウェーデンは、地層処分の技術開発のみならず、処分概念の開発ならびに社会合意形成の点からも先進的な取り組みをみせてきており、この領域をリードしてきた国の1つであるといつてよいであろう。現在の処分概念の基礎をなす「KBS-3概念」は1983年に取りまとめられている。「KBS-3概念」とは、使

用済燃料を銅製キャニスタに封入し、地下約500mの結晶質岩に掘削した処分孔内に、ベントナイト製の緩衝材でキャニスタを取り囲むようにして定置するというスウェーデンの処分概念である。1977年からスウェーデン国内全域で研究サイトの現地調査を実施したものの、反対運動にあい、1985年から1992年までは現地調査すらできない状況を経験している。

現在の立地につながる活動は、1992年に開始された。最初はスウェーデン国内の全自治体から公募方式で調査に参加する自治体を募り、北部の2つの自治体でフィージビリティ調査を行ったものの、調査継続に対する両自治体での反対決議から中断した。

現在の立地自治体を含め候補地選定は、調査参加を打診する形で行われ、ニーチェピング、エストハンマル、オスカーシャム、さらに2カ所の自治体、ハルスフレッドとティエルプを含め、5カ所で実現可能性調査へ参加する同意が得られた。最終的には、2000年11月に実施主体のスウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB）は、ティエルプ、エストハンマルおよびオスカーシャムをサイト特性調査を行う場所として選定した。その後、ティエルプがサイト特性調査の受け入れを拒否したため、SKBは、2002年から2007年までエストハンマルとオスカーシャム自治体において、地表からのボーリングを含むサイト調査を実施した。その調査結果から、2009年6月にSKBは、処分場の建設予定地として、エストハンマル自治体のフォルスマルクを選定した。

さらに、2011年3月にSKBは、使用済燃料の地層処分場の立地・建設許可申請書を放射線安全機関（SSM）と環境裁判所に提出した。現在は、SKBから提出された環境影響評価書および安全評価書（SR－Site）等の審査がSSMにより進められているところである。なお、スウェーデン政府は、2011年4月にSR－Siteの国際ピアレビューをOECD/NEAに依頼した。OECD/NEAは国際レビューチー

ム（IRT、専門家10名とオブザーバー1名で構成）を設置してレビューを行い、レビュー結果の報告書を2012年6月にとりまとめた。

SKBは、SSMと環境裁判所における規制審査が順調に推移し、前進する結果となった場合、早ければ2015年からの処分場建設を予定している。さらに順調にいった場合、処分場の操業開始を2025年頃と考えている。

## （2）フィンランド

フィンランドにおける放射性廃棄物処分に関する基本的な政策は、1994年の原子力法改正時に明確にされた。その主要な点は、フィンランド国内の原子力発電所で発生する放射性廃棄物を、自国内で最終処分することである。フィンランドの原子力発電事業者であるフォルツム・パワー・アンド・ヒート（FPH）社とテオリスーデン・ヴォイマ（TVO）社は、共同で高レベル放射性廃棄物（フィンランドの場合は使用済燃料）の処分を実施することとし、1995年末に、高レベル放射性廃棄物処分事業の実施主体としてPOSIVA社を設立した。

2001年の原則決定（Decision in Principle）により、高レベル放射性廃棄物（使用済燃料）の最終処分場の建設予定地が原子力発電所サイトのあるユーラヨキ自治体のオルキオトに決定された。オルキオトでは、2004年6月から「オンカロ」（ONKALO）と呼ばれる地下特性調査施設の建設が開始された。以来「オンカロ」では、わが国の処分地選定プロセスにおける精密調査に相当する調査が進められてきた。「オンカロ」のアクセス坑道の掘削は2010年6月に計画されている処分場深度の約420mに達し、同深度の実証エリアにおいて、実際の廃棄物定置を想定した空洞を掘削した調査、試験が行われてきた。

POSIVA社は、「オンカロ」でのサイト特性調査結果を経て、2012年12月下旬、使用済燃料の処分場建設許可を政府および規制機関に提出した。現在は、規制機関であるフィンランド放射線・原子力安全庁（STUK）に

において技術審査等が行われている。STUK による規制審査は1年半程度が予定されている。STUK による審査終了後、政府はその結果を受けて、政府としての決定の提案書を作成し、2014 年末に許可申請に対する決定を行う予定とされている。

規制審査等が順調に推移し、POSIVA 社が想定している 2020 年に処分場の掘削を終了すると、POSIVA 社は本格処分の開始前に1～2年間の Commissioning test を行う予定とされている。これは「ドレスリハーサル」と言うべき位置づけのものであり、実際の処分を想定した作業を行うが、使用済燃料は使わない。その経験に基づき実際の処分実施に移る。

1980 年代初期から地層処分に関わる事業化が始まったが、POSIVA 社が幸運だったのは、その当時すでに国際的に立地が難しいことがわかっていたことがあげられる。POSIVA 社はそのような諸外国の経験に学ぶことができたからである、と長年 POSIVA 社で活躍してきた専門家から説明を受けたことがある。

処分場の立地プロセスの初期には、まず 14～15 の自治体に関心を示した。そのうち2自治体が残し、そのうちの1つが、今回処分場建設許可申請をした自治体であるユーラヨキであるが、もう1つの自治体は原子力とは無関係の自治体であった。

### (3) フランス

高レベル放射性廃棄物処分の実施主体として放射性廃棄物管理機関（ANDRA）が、1979 年当時フランス原子力・代替エネルギー庁（CEA）の一部門として設立された。その後、1991 年の放射性廃棄物管理研究法が制定された際に、CEA から独立した組織として位置づけられた。フランスの地層処分の候補地域選定活動は、1980 年代から開始された。

1983 年に ANDRA は、フランス国内で処分にとって好ましい可能性のある地域の一覧を作成し、1984 年6月には、フランス政府が、深地層処分サイトを選定していくとの政

府決定を正式に発表している。このため、Paul Goguel 教授を委員長とする専門家グループがサイト選定基準に関する技術的検討を行い、1987 年5月に通称「Goguel レポート」と言われた勧告を政府に提出している。同勧告に基づき、HLW 処分が可能な4種類の地層（粘土層、岩塩層、花崗岩層及び片岩層）を特定した。この動きとは別に、ANDRA は、1987 年2月と3月に4カ所のサイトの地域住民に対し地質学的調査の開始を発表し、サイトでの調査作業に着手した。その際、地域への事前通知および事前交渉又は対話がなされないままに進められたことから、各サイト候補地の地域住民からの激しい抗議運動が起きたとされている。

抗議行動の激しさから、当時のミシェル・ロカール首相は、フランスの廃棄物管理戦略全体に対する再評価を可能にするため、放射性廃棄物に関連した全ての研究を少なくとも1年間凍結すると宣言し、その間に議会を中心にした議論が進められた。

この1年間に、国民議会のバタイユ議員を中心に、国民の意見も聴取しつつ高レベル・長寿命放射性廃棄物の管理方策に関する検討が進められた。「バタイユ報告書」<sup>(1)</sup>に基づき制定された「放射性廃棄物管理研究法」(1991 年)では、高レベル・長寿命放射性廃棄物の管理方策に関し、3つのオプションを設定して研究を実施し、15 年以内にそれら研究の成果を総合して評価結果を提示することを義務づけた。

- ① 放射性廃棄物に含有される長寿命放射性核種の分離と核変換
- ② 地下研究施設の建設を通じた深地層処分
- ③ 放射性廃棄物の前処理と長期地上貯蔵

これらに関する研究は、ANDRA と CEA により進められ、2005 年に研究成果報告書が取りまとめられた。研究成果報告書は、国家評価委員会（CNE）による総括評価、ならびに議会の科学技術選択委員会（OPECST）による審査が行われた。

その結果を受けて、2006 年に放射性廃棄物

等管理計画法が制定され、高レベル放射性廃棄物を含む、すべての放射性廃棄物の管理に関する基本方針が定められた。同法により、高レベル放射性廃棄物及び長寿命中レベル放射性廃棄物については、「可逆性のある地層処分」概念に基づき、開発を進めることとされた。その目標スケジュールとして、2015 年までに地層処分場の設置許可申請を提出し、2025 年に操業を開始することが示された。

「可逆性（reversibility）のある地層処分」とは、処分事業を段階的に実施し、各段階においてそれまでに得られた知見に基づき、科学・技術、環境の視点、経済および社会的観点から、それまでの段階の決定を見直す、場合によっては戻ることを可能にする柔軟性のある処分概念であるとされている。具体的には、処分場設計の変更や定置された廃棄物の回収などが行える（retrievability）などの制度保証である。フランスの場合、地層処分事業における可逆性を確保する期間を、処分場の閉鎖段階までと想定し、少なくとも 100 年以上とし、処分の実施主体が処分場設置許可申請をした後に可逆性の条件を定める法律が制定されることになっている。

現在 ANDRA は、パリの東方に位置するムーズ県とオート＝マルヌ県の境に建設した粘土層にあるビュール地下研究所において、技術開発、調査等を進めており、処分場候補地は近辺で同様の地質構造の場所が想定されている。

#### （４）カナダ

カナダにおける高レベル放射性廃棄物処分開発の歴史は古く、1970 年代から進められてきている。1978 年の連邦政府とオンタリオ州による核燃料廃棄物管理計画に関する共同声明により、AECL を中心に地層処分の研究開発が開始された。マニトバ州のウィニペグの近くに建設された地下研究所（URL）は、過去の鉱山跡等の利用ではなく、処分技術や調査技術を取得するために新たに掘削された地下研究施設であった。当時は原子力発電所が

多く立地するオンタリオ州での処分を前提に、結晶質岩での研究がすすめられた。その成果をとりまとめ、AECL は長期安全性を含む環境影響評価書を 1994 年に公表した。

天然資源省（NRCan）が 1989 年に設置した「核燃料廃棄物管理・処分概念の評価パネル」（環境評価パネル）は、AECL の提出した環境影響評価書をレビューし、その結果を 1998 年 2 月にとりまとめ連邦政府に提出した。その主な結論は、技術的にはおおむね了承できる内容であるが、社会的受容性の面で不十分な点がある、というものであった。

環境評価パネルの勧告は連邦政府でも了承され、その後、地層処分事業に係る制度改変が行われた。具体的には NRCan が中心となり、地層処分事業を進めるための法整備を進め、2002 年 6 月に核燃料廃棄物法が成立した。同法では、実施主体として核燃料廃棄物管理機関（NWMO）の設立、核燃料廃棄物（使用済燃料）の長期管理アプローチの策定、資金確保制度の確立などが整備された。

核燃料廃棄物法ではまた、NWMO に対し、核燃料廃棄物の長期管理アプローチについて検討し政府に提案することが含まれた。提示されたのは次の 3 つの選択肢であった。

- ① 地層処分
- ② 原子力発電所のサイト内貯蔵
- ③ 集中貯蔵

フランスの放射性廃棄物管理研究法と似たようなアプローチであるが、3 番目の選択肢が核種変換でなく集中貯蔵である。

これに対し、NWMO は、2003 年から 2005 年にかけて対応する活動を行い、その過程で、各地で対話集会、ワークショップや専門家との対話・円卓会議などを行った。2005 年 11 月に最終報告書『進むべき道の選択：カナダの使用済燃料の管理』を取りまとめ公表した。

NWMO は、最終的には地層処分を行うが、当面約 60 年間は、サイト貯蔵、集中貯蔵を実施するという「適応性のある段階的管理」（APM）を提案した。その後、政府の検討を

経て 2007 年 6 月に、APM がカナダの使用済燃料の長期管理アプローチとして決定された。現在の NWMO を中心とした地層処分開発は、この適応性のある段階管理に基づき進められている。

NWMO は、2010 年 5 月に公表した報告書『連携して進む：カナダの使用済燃料の地層処分場選定プロセス』<sup>(2)</sup> において、サイト選定プロセスの最終案を提示し、選定活動に着手した。それによれば地層処分場を地下約 500m の深さの場所に設置することが想定されている。

処分地の選定については、9 段階により行われている。(表 1 参照)

NWMO は、処分事業及びサイト選定計画に係る情報提供に対する地域自治体からの関心表明の受付について、2012 年 9 月 30 日をもって一時中断することとした。NWMO は、当面、関心表明が提出、受領され、継続調査が確認された 22 地域を対象とした調査とサポートに注力していくこととした。レッドロック・タウンシップの 1 カ所が初期のスクリーニングの結果将来の処分場サイトとして不適とされ、サイト選定プロセスから除外されたが、残りの 21 地

域については、サイト選定のプロセスに継続して参加していくこととされた。現在は、9 段階のプロセスのうち、第 2 から 3 段階にある。なお、プロセスへの参加表明をした地域、自治体は、第 6 段階において行われる最終的な処分場受け入れ同意までの段階では、このプロセスから撤退することができるとされている。

なお、サイトスクリーニングにあたり、NWMO は次の 5 つのクライテリアを設定した。

- ① サイトには、地上および地下施設を収容できる十分な大きさの利用可能な土地がなければならない。
- ② 利用可能な土地は、保護区域、遺産地域、州（県）立公園、国立公園の外側でなければならない。
- ③ 利用可能なサイトは、将来の世代による擾乱の可能性がないよう、飲用、農業および工業用途に使用される可能性のある既知の地下水源を処分場の深さを含んでいてはならない。
- ④ 利用可能な土地は、処分場サイトに将来の世代による擾乱の可能性がないよう、既知の経済的に利用できる天然資源を含んでいてはならない。
- ⑤ 利用可能な土地は、安全性の要因を考慮し、サイトの安全性を妨げるような既知の地質および水文地質学的特性を持つ区域にあってはならない。

表 1 9 段階のサイト選定プロセス

| 段 階    | 各 段 階 の 内 容                                                                                                                                                                                                             |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 準備段階   | カナダ政府及び州政府、国と州の先住民族の機関、規制機関などとの協議の後、NWMO が最終版としたサイト選定計画を公表する。                                                                                                                                                           |
| 第 1 段階 | NWMO は、サイト選定プロセスを開始し、処分事業及びサイト選定計画についての情報提供、質疑応答等によりプロジェクトとサイト選定プロセスに対するカナダ国民の意識を高める。                                                                                                                                   |
| 第 2 段階 | 詳しく知りたい自治体に対して、NWMO が詳細な情報提供を行う。初期スクリーニングを実施する。<br>自治体からの要請があれば、NWMO が初期スクリーニング基準に基づいて自治体の潜在的な適合性を評価する。                                                                                                                 |
| 第 3 段階 | 関心を示した自治体に対して、潜在的な適合性の予備的評価を実施する。<br>NWMO は自治体との協力の下で、自治体内のサイトが処分事業の詳細要件を満たす可能性があるか否かフィージビリティ調査を行う。                                                                                                                     |
| 第 4 段階 | 関心のある自治体に対して、影響を受ける可能性のある周辺自治体の参加とともに、詳細なサイト評価を完了する。<br>NWMO は、地域調査や複数年におよぶサイト評価に対する関心を正式に表明している自治体から 1 つ、もしくは複数のサイトを選定する。関心のある自治体とともに、影響を受ける可能性のある周辺自治体、先住民族の政府、州政府の参加を得て、広範囲の地域レベルでの健康、安全、環境、社会、経済、文化的な影響を評価する（地域調査）。 |
| 第 5 段階 | 適合性のあるサイトの存在が確認された自治体（複数）が、処分場の受入意思があるかどうかを決定し、プロジェクトを進める条件を提示する。                                                                                                                                                       |
| 第 6 段階 | 好ましいサイトのある自治体と NWMO が処分場受入に関して正式に合意する。                                                                                                                                                                                  |
| 第 7 段階 | 規制当局は、独立した公的プロセスを通じて処分事業の安全性を審査し、全要件が満たされる場合、事業を進めることを承認する。<br>環境評価、サイト準備、建設及び操業に関する許認可プロセスを通じ、規制機関によるレビューが実施される（使用済燃料の輸送に関する規制機関の承認も必要とされる）。                                                                           |
| 第 8 段階 | 地下実証施設の建設・操業<br>NWMO はサイトの特性を確認するための地下実証施設の建設と操業を含む地域拠点を設立する。                                                                                                                                                           |
| 第 9 段階 | NWMO がサイト選定手続きに関する意見募集を実施                                                                                                                                                                                               |

（出所：経済産業省・資源エネルギー庁『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』（2013 年版）』（2013 年 2 月）を基に作成

### 3. わが国における最近の議論から

世界のいくつかの国の例をみると、地層処分場の建設のための許可申請を行う北欧の二か国の例や候補地選定のスクリーニングを進めているカナダの例のように、1990年代から2000年代初めにかけて停滞していたかに見えた地層処分事業は、ここ数年の間に一気に動き出したようにも感じられる。地層処分に対する環境に大きな変化があったというよりも、それぞれの国および国際的な枠組みでの検討など、技術開発の蓄積と関係者による議論と検討の積み上げの結果によるものと思われる。今のところ、地層処分場が操業しているのは、米国ニューメキシコ州にある国防 TRU 廃棄物処分場の廃棄物隔離パイロットプラント (WIPP) のみで、原子力発電所の使用済燃料を含め、民間で発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分場は未だ操業に至ってはいない。処分場建設許可に関わる審査が順調に進めば、フィンランドまたはスウェーデンの地層処分場が最初に建設を開始することになるとみられる。

地層処分を進める立場では、他国であっても地層処分場の建設が開始されることは、大きな意味を持つことになるであろう。勿論、それぞれの国の地質環境の違いなどを考慮すれば、すんなりとどの国でも処分が可能であるという、ある種期待の込められたグリーンライトが点灯したことを意味しない。しかし、長期安全が主要課題であり、かつ、常に不確実性が伴う事業について判断するという共通課題の解決という意味では、重みを持つものであり、他国の例ではあっても、事業者および規制者が共有している、その考え方の根拠には注目する価値が大いにある。このことは、事業主体によって建設許可申請が出された現時点でもすでにある程度のことは言えるのではないと思われる。というのは、そのよう

な基本的な概念に関わる議論は、許可申請以前に終了しており、基本的なコンセンサスができていられるからである。

このような状況を踏まえ、わが国で最近議論されていることの中から、紙幅の都合で2つの点を抽出して考察してみたいと思う。1つは、安全の実証の困難な科学・技術事項の社会的判断に関することであり、もう1つは、地層処分の可逆性と社会判断の係りに係ることである。議論のきっかけを与えてくれたのは、日本学術会議が2012年9月に公表した「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」\*である。

#### (1) 安全の実証の困難な科学・技術事項の社会的判断

海外のいくつかの国で、地層処分の進め方について国やアカデミーなどの公的な機関で再検討をした例があることは既に述べた通りである。フランスでは1990年頃に OPECST<sup>(1)</sup>、米国では2003年に全米科学アカデミー (NAS) /原子力規制委員会 (NRC)<sup>(3)</sup>、2012年にブルーリボン委員会 (BRC)<sup>(4)</sup> が検討した例があるが、地層処分という技術概念の成立性にまで遡って報告した例は、筆者の知る限り見あたらない。そういう意味でも、2012年9月に公表された日本学術会議による「回答」は、大変重い課題を投げかけたと理解される。回答では、地層処分の政策枠組みの行き詰まりの第一の理由として、「超長期にわたる安全性と危険性の問題に対処するにあたっての現時点での科学的知見の限界」があることを示している(要旨の「3. 提言の内容」から)。科学的知見の限界に関わる部分を、本文の「2. 検討に際しての視点と方法」では、さらに次のように述べている<sup>(5)</sup>。

「そもそも(特に高レベル放射性廃棄物の最終)処分場の実現性を検討するにあたっては、長期に安定した地層が日本に存在するかどうかについて、科学的根拠

\*原子力委員会からの検討依頼に基づき、2010年9月から2012年9月まで高レベル放射性廃棄物処分の今後のあり方等について審議した。その間に「東北地方太平洋沖地震」(2011年3月11日)が発生した。

の厳密な検証が必要である。日本は火山活動が活発な地域であるとともに、活断層の存在など地層の安定性には不安要素がある。さらに、万年単位に及ぶ超長期にわたって安定した地層を確認することに対して、現在の科学的知識と技術的能力では限界があることを明確に自覚する必要がある。その自覚を踏まえた上で、説得力のある方策を探すべきである」。

図2に示したように、科学、工学と社会的判断という構成で、地層処分検討の枠組みを考えてみる。この構成は非常に大雑把なものであるから、より正確に理解を進めようとするれば別の細分化した方法があるようにも思う。が、ここでは、概念的なことに留めるため、この程度の粗さで考えたい。

科学の領域には、ある前提の元では法則が存在し、その範囲内での現象をすべて説明できる事も存在する。ニュートン力学、相対性理論、放射性核種の半減期、等がその例である。個々の理論は、それぞれが提唱された当初は様々な学説があったであろうが、実験、現象の観測、理論の検証などを通じ現在では、原理、法則として定着しているものである。

一方、地層処分が主に関係している科学領域は、上述のような物理現象と似た面もあるが、それとは異なる側面もある。地震や断層のように発生のメカニズムについては専門分野内ではある程度合意されているが、例えば、現象発

生の予測性については、複数の学説が存在するような領域もある。

地層処分における科学的知識と技術的能力について、つまり科学と工学の視点で考えみる。科学的知識の限界の意味を掘り下げてみると、例えば、次のような状況が考えられる。

- ① 対象とする現象に解明困難な不確実性が内包されていて、しかも発生頻度が少なく統計的な処理も難しい場合
- ② 調査研究が進展すれば、不確実性が解明され現象の予測が可能になると見込まれる場合
- ③ 発生のメカニズムは解明されているが、その発生の予測には低減困難な不確実性が存在する場合

事象、現象の発生が地層処分の安全性にどのような影響を及ぼすかが検討のポイントになる。それが起こる時期と程度によって、安全性に与える影響も異なる。また、その想定される影響を技術（工学）で緩和する能力によって、安全性への影響も異なる。上記のうち、①と③の場合、相反する学説や意見が存在することは地層処分問題に限らず、別に変わったことではない。

こういう場合の課題の解決のためには様々な考え方があると思われる。例えば、処分地選定の段階で、そのような事象、現象が起こることが殆ど想定されない地点を選定することである。その際重要な点の1つは、将来の

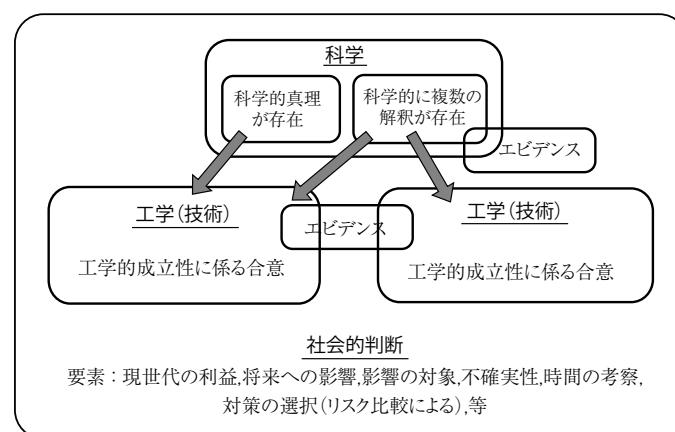


図2 技術課題の判断

どのくらいの期間を想定してメカニズムとして起こらないことを証明するかである。ここでは、そのエビデンスの重要性が強調される。エビデンスを明確にした上で、多くの専門家による議論が求められる。

次に、事象、現象の発生を想定するが、それは科学メカニズムとして考えられる範囲のことを想定するものである。このケースは、最初の、考えにくい最悪のケースを想定することとは異なる。残余のリスクについての議論が必要とされる。この場合も、議論におけるエビデンスの重要性が強調される。

さらに、最大想定される事象、現象が、影響が最も悪いと考えられる時点で発生することを想定し、追加対策をすることなく、その安全上の影響が基準値を下回ることを示すことである。

エビデンスを明確にした上で、課題に即した多くの専門家が相互に課題を共有し、純粋に科学的見地から議論を行うことが求められる。この場合、議論の論点を明確にし、様々な意見の中から統一見解が得られたもの（一種のエキスパート・ジャッジメント）はその旨明示し、そうでないものについては、合意に至らなかった論点とその内容を明らかにする。

専門家の合意が得られない課題が事業の推進上決定的なものであるならば、誰がどのような場で事業推進如何の判断を出すのか。最終的には社会が判断することである、ということが聞かれるが、このことは議論の先送りに近い状態である。安全に関わる課題について専門家間で意見が割れるような問題について、どういう社会が、どのように判断するのが良いとされるか。難しい問題であるが、その中身の議論をしないことには先に進展しない。行為の結果の（悪）影響が、同時代性、つまり、同じ世代の時間感覚内で現れる場合には、修復行為等影響を軽減するための措置は現実的に有効な対策であると考えられる。しかし、その影響が、2～3世代を超え、行為の実施者のコントロール外の状態になった場合には、議論の状況が変

わる。その選択肢を放棄するか、または影響を緩和するための修復措置を含め制度的な措置の継続性を含む有効性が、議論の対象になる。後に述べる可逆性もその議論の対象の1つである。また、影響の程度の評価も必要とされる。例えば、安全評価の結果が、数十万年後に基準値を超える可能性が否定できない場合、対象になった場所や施設設計では対応できないことが明らかになった時には、その場所を放棄することで、新たな候補地選定活動に入ることによって解決することもある。一方、個別の処分場環境の問題に止まらず、一般論としてやはりそれは地層処分を放棄する理由になることかどうかである。地層処分の安全評価期間と基準値の考え方はわが国では今後の議論対象の1つであるが、遠い将来を考えた上で現世代がどのような選択をするのがよいか、という問題である。これは科学・工学の議論を十分に行った上で、限界を見極め、その上で人文社会系の知恵を得て広く社会が判断していく課題である。

地層処分という選択肢を放棄する場合には、別の方法を選択しなければならない。そもそも、そのような状況に至る前に、あるいは併行して選択肢間の比較評価を行っておく必要がある。例えば具体的には、現在の高レベル放射性廃棄物の管理状態をオプション間のリスク比較のために基準とし、地層処分のリスク、長期貯蔵のリスク、核種変換などの代替技術に係るリスクを専門家が評価し、リスク比較の根底にある考え方を整理して提示する。その結果、あるいは検討の過程にも人文社会系の専門家との議論も行いつつ、社会の判断にかけるといようなことを行うことである。それは、そもそもこのような評価検討が、地層処分を選択するに至る根拠として必要とされていることである。

## （2）地層処分の可逆性と社会的判断の関係

次に、地層処分の選択に関する議論を、事業の可逆性の面からみることにする。

これに関しても、日本学術会議の「回答」

から1つの典型的な見方を引用してみたい。  
該当箇所はいくつかあるが、1つ引用すると次の通りである。

「現在の最終処分法で想定しているような手順とタイミングで最終処分をするのか、暫定保管を伴う方式を選択するのか。

現時点で最終処分の形態として想定されている地層処分には、地層の変動やガラス固化体の劣化など、千年・万年単位にわたる不確定なリスクが存在するため、踏み切るには課題が多い。このリスクを避けるには、比較的長期にわたる暫定保管という処分法が有力な選択肢となると考えられる。」<sup>(5)</sup>

暫定保管に関しては、現状の技術、あるいは科学・技術的に可能性が高い技術として、次のようないくつかの方法があげられる。

- ① 高レベル放射性廃棄物等を地上施設で貯蔵（現状の技術）
- ② 高レベル放射性廃棄物等を浅地中施設で貯蔵
- ③ 高レベル放射性廃棄物等を地層処分の手続きを経た地下施設で貯蔵状態を保つ

①は既に稼働している施設もあり、技術自体は確立している。②の浅い地中で貯蔵する方法も技術自体は確立しており、スウェーデンでは地下の使用済燃料の貯蔵施設が稼働している。この2つの場合、技術的な課題はないにしても、高レベル放射性廃棄物等の管理の最終的な方法ではないことから、最終的な取り扱いが決まるまで暫定的に貯蔵される位置づけである。最終的な方法を決めないままこのような「暫定的な」方法を採用する場合には、施設の運用年数を超えた場合の貯蔵施設の建て替えにも言及して対策を検討しておく必要がある。施設建て替えの検討の際に考慮されるべきことを技術、制度両面で整理すると、例えば次のようなことが想定される。

#### a) 技術課題

- ・キャスク等容器の健全性
- ・貯蔵期間中の外的因子（地震、津波等）による事故などの影響

#### ・技術継承

#### ・リスクの評価

#### b) 社会・制度課題

#### ・立て替え場所の立地

- ・長期管理事業（50年、60年、あるいは100年程度以上）のための制度保証
- ・初期の放射線毒性の最も強い期間に生活環境に長期にわたり定置することの安全の考え方

③の地層処分を前提にその前段階として、例えば、廃棄物の回収を容易な状態に保つため施設を埋め戻すことなく、いわゆる貯蔵の状態を続ける。これは、貯蔵期間中に最終的な取り扱いの方法を議論し決めて行くにせよ、その時点で最終的な方法として地層処分を第一に考えておく、ということである。

地層処分の領域で、この問題は、意思決定の可逆性として議論されてきている。直近のまとまった議論は2007年から2011年にかけてOECD/NEAにおいて専門家により行われた。その結果「高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性（R&R）」と題する報告書（以下、R&R報告書という）<sup>(6)</sup>が、2011年末にとりまとめられ公表されている。この検討の過程では、「廃棄物管理機関、規制機関、政策立案機関、社会学者と地域のリーダーを含む一般社会からも意見をもらい、また、彼らの間での意見交換も実施した。」と報告書内で述べられている。

暫定保管中の意思決定に関して、今後わが国で地層処分選択に関する議論が検証あるいは再検討される際にも、R&R報告書には参考になる情報が多く含まれていることから、以下に紹介することとする。

まず、可逆性は、処分場に定置された廃棄物の再取り出しなどの技術的な概念というより、主に管理（management）あるいは意思決定の概念であるとし、次のように定義している。

可逆性 (Reversibility) とは、処分システムを徐々に実現していく間になされる決定を、原則として修正または後戻りさせることができることを表す。可逆性を実現するためには、処分場を計画または開発する際に、必要に応じて 1 つ以上前の決定を覆すまたは修正することが過度の努力なく実現できるよう、可能な限り柔軟な方法で実行プロセスおよび技術を計画し、管理する必要がある。可逆性の意思決定アプローチをとるということは、過去の決定を新たな情報に照らして疑い、場合によってはそれらを覆すまたは修正する意思があること、およびそのような疑問を持つ姿勢を奨励する意思決定文化があることを意味する。後戻り (Reversal) とは、過去の決定を覆す (変更する) 行為である。(OECD/NEA, 2011 年)

地層処分の可逆性に係る議論の紹介に入る前に、地層処分概念について確認しておく。地層処分概念に関する 1 つの代表的な表現として、OCED/NEA の環境と倫理に関する報告書では次のように述べている。「極めて長期間にわたって生物圏から廃棄物を隔離することであり、生物圏に達する残りの放射性物質が、例えば放射能の自然バックグランド水準と比較して、有意でない濃度であることを確実にすることであり、不注意な人間侵入によるいかなるリスクも非常に小さくすべきであることの合理的保証を与えることである。」<sup>(7)</sup> その上で、「処分場閉鎖後の廃棄物の再取り出しのための周到な準備を求めない」ことであるとしている。これは、おおよそ 1990 年代までの地層処分概念に係る国際的認識として考えられる内容である。地層処分の一義的な意味は、廃棄物の再取り出しを伴う後戻りを前提にしない概念であることを明確にするとともに、一方で、特にその過程では、時間の経過に従って変化する状況に柔軟に対応できるシステムであることも述べている。すなわち、

地層処分計画を段階的に実施することにより、科学の進歩と社会の受容性に照らし合わせて、数十年にわたって状況の変化に適応できる余地が残り、将来他の選択肢が開発され得る可能性を排除しないことを結論する。(OECD/NEA, 1995)

R&R 報告書に戻って可逆性の持つ社会的な意味の議論がどのように展開されたかをみる

と、可逆性は、社会が選択するという要請に応えるものであると捉えられている。現に、可逆性のある地層処分事業を検討した国では、参加型の意思決定の継続性を確保するため可逆性の採用が要求されたという例がある。

どこまでの可逆性を考えているかということに関しては、少し微妙な表現で、「決定が体系的に覆されることを保証するものではない」と述べている。その上で、可逆性は、「ある決定が後に誤りである、または疑問が残ると分かった場合に、その決定を調整できる可能性を与えるもの」とし、地層処分概念の採用を基本としつつも、その枠内での再考の可能性を保持することを第一に考えている。一方、フランスにおける 1990 年のモラトリウム期間の再考は、高レベル放射性廃棄物の最終的な取り扱いに関し、その概念まで立ち返って行われたとも捉えることができる。フランスのこの場合は、当初から意図していたわけではないが、結果としてプロセスが可逆的にならざるを得なかったということである。現在の段階的实施における可逆性は、事業当初からその考えを入れ込んでいることが重要なことであり、それは、先にも触れたように、地層処分事業はその時点で、最初の段階から社会の判断を重視したプログラムになっていることを表明しているのである。

### (3) 段階的意思決定と可逆性

段階的な意思決定において可逆性の考えを明示しておくことは、ある時点の決定が、以降の段階で得られる調査結果や社会的議論において、その後の進展にとって好ましくないようなことが明らかになった場合、それを比較的容易に変更できるというメリットを持つ。地層処分事業は、調査地点の選定から処分場閉鎖まで約 100 年を要すると想定されている。過去 100 年を遡ってみると、技術のみならず社会制度の点からもその変化は極めて大きい。今後の 100 年を見通す時には、科学、技術の進展により工学的対策や現在大きな不確実性が認められている専門領域にも大きな変化が

あると考える方が合理的であろう。技術および社会の両面とも、現在の状況が延々と続くと考えて良い合理的な根拠は存在しない。

段階的な進め方は、地層処分のように時間的にも空間的にも不確実性を多く含む長期事業にあっては、自然なことと思われる。その上で考えるべきことは、段階をどのような考えに基づいて設定しておくかである。段階の節目においてその都度決定内容が評価され、場合によっては見直されていくことと同時に、一方で決定の持続可能性がいかに図られるかも重要なことである。社会の判断は様々な背景のもとでなされ、それらは科学、技術的知見、合意に基づくばかりでなく、社会制度の変化などによっても影響される。

処分事業が進行していく段階を考えると、立地地域の社会との関係が次第に重要性を増していく。前述した決定の持続可能性は、地域社会にとってプラス、マイナス両面において様々な影響を及ぼすことが予想される。処分場開発が100年もの長い期間にわたり継続していくことは、その間に3～4世代の世代交代があることになる。そうすると、世代交代などに伴う決定の非継続性への対処が重要な課題の1つになり、処分場開発計画と立地地域の社会との間で持続可能な関係が構築され維持されていくことに注意する必要がある。R&R 報告書は、段階的に意思決定が積み重ねられていくプロセスでは、各段階で行われる決定を適切な利害関係者と協力して行うことが、処分場開発計画と地域社会との間で持続的な関係を構築するのに役立つと述べている。ある期間の中で繰り返し見直し、再確認し、かつ記録しておくことにより、過去の決定の上に新たな決定がなされていくことが期待される。(OECD/NEA, 2011 年)

わが国で現在提唱されている見直し議論の必要性は、地層処分の成立性に関し科学、技術的観点から、踏み出すのにあたり合意が得られているとは言い難い状況にあることから言われている。

今まで紹介した R&R 報告書の内容は、地層処分を前提とした上で、その段階的な計画の中で見直しを諮る余地を残し、関係者の間での理解の増進、信頼の構築、決定事項の確認を行うとの内容が中心であった。R&R 報告書では、別のオプションとの関係についても触れている。すなわち、可逆性は、計画の様々な段階で1つまたは一連の段階を検討し直し、過去の決定の見直しを可能にすることであるため、万一段階を後戻りさせた場合、高レベル放射性廃棄物を別の手段で管理する方法が利用できるようになっていなければならない、としている。可逆性は、長期的な廃棄物管理政策の見直しと実際の技術計画の見直しの両面で意味を持ち、万が一の場合の実際的なオプションを組み込むことも意味していると述べている。(OECD/NEA, 2011 年)

「他のオプションを組み込むこと」あるいは「一連の段階を検討し直す」といった比較的大きな見直し、後戻りの際には、「熟慮を重ねながら」、「適切な利害関係者と一緒に慎重に評価する」ことの必要性も合わせて述べている。一方で、このことは立場を地層処分を最終的な方策として取り組むとした場合、このような慎重な検討や評価を積み重ねていくことが、より高い信頼を得ていくことにつながるとしている。

貯蔵期間中に最終的な方策を決めて行くという方法に対して、可逆性の概念を保持しながら地層処分事業を進めることに本質的な違いがあるか否か、OECD/NEA の R&R 報告書の内容と対比させながらみてきた。最終的な取り扱い方法を決めないまま、現状の確立された技術により貯蔵を続け、その間に最終的な方法について広く社会の参加を得て決めていく方法が提言されている。一方地層処分の一環として、サイト調査など一連の事業化のプロセスの途中にいくつかの関門を設け、次の段階に進むのが妥当か否かをその都度評価しながら進めるという方法もある。この場合には、地層処分を目指し進むうちに何等かの理由によりそれまでの決定を覆すことが良いと判断される場合があることも

想定される。その際には、過去の時点までさかのぼって議論を再度行うことも可能となる。両者にはそれほど決定的な違いがあるというわけではないと思われる。

最後に、R&R 報告書の 6 章結論において、可逆性が社会政策の問題（Social Policy Issues）であるとの位置づけでまとめている部分があり、それは、わが国で提起されている課題について、今後広く関係者が議論を進めるにあたり、念頭におくことが有益であると考えられるので紹介することとする。

地層処分開発は、他の技術開発の多くがそうであるように、科学および工学の分野を中心に進められてきた。技術開発の段階から立地の段階においてもこの傾向は続き、意思決定に関する事柄も主に科学、工学の分野が中心になって進められてきた。立地の段階で地層処分の関係者が認識したことの 1 つが、科学、工学以外の分野の専門知識の必要性であった。

科学、工学の視点からの地層処分では、廃棄物を地下に定置した後はなるべく早くに処分場を埋戻し、人の管理に依存しない状態で安全を確保する方法が最良と考えられてきた。一方、社会的な関心はその逆の面があり、人間の管理から離れた状態での安全確保に懸念が示された。そこで、R&R 報告書では、「R&R の概念では、社会的配慮と技術的配慮を併せて考慮する必要がある。」ことを再認識している。可逆性と回収可能性に関する社会的な議論は、主に意思決定を見直すことができるシステムであるかどうかに関心があるとして、R & R 報告書は、可逆性と回収可能性を求める社会的な圧力（social pressures）は、廃棄物の回収のための準備をするということよりも、「可逆性のない段階を避け、公衆参加型意思決定プロセスを継続することを積極的に維持しようとする方向性を有しているのかもしれない。」（OECD/NEA, 2011 年）としている。社会は意思決定が柔軟であり、決定には公衆が参加していくことが保証されているという柔軟な意思決定システムを求めている、という理解をしている。

科学、工学のみならず社会科学的（人文科学系）な視点にたち、そのような広い領域の専門家やステークホルダが参加して、この問題の解決のための議論を行うことにより、科学・技術と人文科学の間での相互理解を深め、新たな解決の方法を提示できることが期待される。

最後に、日本学術会議の報告書で提言した、暫定保管の間に社会で広く議論し結論を出していくことに関連しては、今までのところ次の 2 つの重要なことが具体的に議論されていないと思われる。R&R 報告書では、まさにこの点を次のように指摘している。

将来世代にオプションを残すという基本理念に対応するために可逆性と回収可能性の政策を検討する際、2 つの関連する疑問が生じる：「オプションはどのようにして残すのか」と「これらのオプションを残す期間はどのくらいの長さとするのが合理的ないし望ましいのか」である。（OECD/NEA, 2011 年）

これらの疑問に対する答えは、技術的、政治的、社会的要因により変わり得るものであり、従って、国によって異なる、としている。そのような検討をする際に念頭におくべきこととしてトレードオフの関係にもなる次のようなことが必要にされるとしてあげている。

- 受容性が向上し、受容性の欠如によりプロジェクトが失敗するリスクが低下する一方、回収可能性を取り入れた結果として遅延する、コストがかかる、処分が不十分と認識されるリスクがある。
- 作業上の欠陥を修正することができる能力がある一方、安全性に影響する可能性があり、閉鎖や埋戻しを遅らせることによるコストが増加する。
- 戦略を適宜変更することができる一方、継続的な管理を積極的に果たす必要性が増加する。
- 容器と地下構造物の頑健性を高めるコストが増加する一方、安全性や回収可能性が高まる。
- 回収可能性を支援するための研究開発コストが増加し、問題があると認識することのリスクが高まる一方、知識が向上する。
- 保障措置の難しさが高まる一方、回収可能性の恩恵を享受できる。
- 将来のある時点で有用となるかもしれない物質にアクセスできる一方、直接監視とは異なる方法で安全を確保する必要がある。（OECD/NEA, 2011 年）

これらの競合する要素の間のどこでバランスをとるかが社会判断として求められる。R&R 報告書でも指摘しているように、地層処分の是非についても紆余曲折を経てきていることを考えると、今後検討を進めるにあたり、その検討の時期によっても社会判断が異なると予想することにも合理性がある。すなわち、決定の継続性の問題である。

#### 4. おわりに

何を議論すればこの問題を議論したことになるのか？ということを確認した上で、次に、「議論すべき何」に関係する領域を特定する。その上で、その領域の代表者をどのように決めて議論するか、という、ある種ルールのようなことを用意する必要があるのではないか。

地層処分の事業目標は、一義的には長期間にわたる安全性確保である。地層処分に対する社会の見方の根底には避けがたい不確実性を内包していることである。社会合意の前に、科学、技術の根本的な部分、すなわち地質に係る専門家によるおおよその意見による合意がどのようになされるか難しい課題である。専門家間の見解が異なる状況がある中で社会はどのように判断すれば良いのかその対応方法は簡単には得られそうにない。科学の限界が認識された場合、それを踏まえて関係者が議論を十分に行い、社会に合理的かつ納得のできる説明を行うことが求められている。

次に、地層処分のように計画段階から、調査、許認可、建設、操業、施設閉鎖までが100年に及ぶような事業では、その時々決定の内容のトレーサビリティが大変重要になる。段階的な意思決定がプロジェクト進行の妥当な方法であると認められているが、同時にそれは常に前段階の決定内容が覆される可能性を保証していることでもある。意思決定の一貫性の保持、ならびに前段階の決定の見直しにあたっては、各段階の決定事項とその根拠と

なるエビデンスが確実に継承され、新たな検討はそれらの上にたってなされていく必要がある。そうしない場合には、決定が議論や経験の蓄積の上に成り立っていることにならなくなる。過去の議論に参加しなかった世代が、どのように過去の決定を参照するかは、同じ問題の決定を時間の経過の中でどのような仕組みで判断していくか、いわば民主的な意思決定における新しい課題である。

わが国では、2000年になる少し前から、高レベル放射性廃棄物の地層処分問題が議論され、国会での審議を経て、2000年5月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が制定された。以降は、この法律に基づいて、処分事業の実施に向けた検討がなされてきた。当時と現在の状況をみると、立地に関わる状況に変化がない一方で、東北地方太平洋沖地震を経験し、地層処分の成立性に関わる議論が再度行われるような状況になってもいる。ここで、地層処分について再考するならば、事業化に向けて制度化が進められた当時の議論の状況を確認した上で、当時と現在の社会背景を勘案し、今でも有効であること、また当時のままでは何が具合悪く、どのように変えていくべきかという、議論の積み重ねが大事である。

また、地層処分の領域でも、科学、工学以外の人文社会系の専門分野からは多くの示唆に富む視点、意見を事業にあたり取り入れる努力はなされてきたと思われるが、未だに閉鎖的で信頼できないという見方をされているのも現実である。地層処分を進めてきた関係者の側からすると、地層処分の領域ですでに議論してきていると思われることへの指摘もあると感じられるであろう。科学、工学に加え、人文科学系の知見を包摂して、一段上がった場で議論が進められることが必要ではないかと考えられる。

高レベル放射性廃棄物の取り扱いをどのようにするのが良いか、という本来シンプルな問いに対し、課題について純粋に、かつ建設

的に議論し、対立的な構造を排する努力に関係者が積極的になり、一段上の視点にたち解  
決策を絞り込んでいくことが望まれる。

#### 参考文献

- (1) OPECST, 『放射性廃棄物の管理に関する報告書』(パ  
タイユ報告書), 1998
- (2) NWMO, "Moving Forward Together: Process for  
Selecting a Site for Canada's Deep Geological  
Repository for Used Nuclear Fuel," (連携して進む: カ  
ナダの使用済燃料の地層処分場選定プロセス),  
2010
- (3) NAS/NRC, "One Step at A Time, The Staged  
Development of Geological Depositories for High-Level  
Radioactive Waste," 2003
- (4) BRC, "Report to the Secretary of Energy," 2012
- (5) 日本学術会議『回答 高レベル放射性廃棄物の処分に  
ついて』, 2012年9月11日
- (6) OECD/NEA, "Reversibility and Retreivability (R&R)  
for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste  
and Spent Fuel" (高レベル放射性廃棄物および使用済  
燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性(R&R)),  
2011
- (7) OECD/NEA, "The Environmental and Ethical Basis  
of Geological Disposal, A Collective Opinion of the NEA  
Radioactive Waste Management Committee," 1995
- (8) 経済産業省・資源エネルギー庁『諸外国における高レ  
ベル放射性廃棄物の処分について (2013年版)』, 2013  
年2月

## CO<sub>2</sub> フリー水素チェーン実現に向けた構想研究

笹倉 正晴

（プロジェクト試験研究部  
主管研究員）



### 1. 概要

2011年3月11日に発生した東日本大震災を契機として日本のエネルギー政策は大きな転換を迫られ、エネルギー基本計画の見直しがされている。現在のエネルギー基本計画が閣議決定された2010年6月当時、政府・団体・民間企業等により将来の水素エネルギー社会実現に向けて、積極的な取組みがなされていた。この中で、弊所はCO<sub>2</sub>フリー水素がわが国に具体的にどう貢献し得るのか明確でない、あるいは供給側の技術開発は着実に進んでいるが水素の大規模需要については必ずしも見通しがはっきりしていない、といった認識を有していた。従って、まずはCO<sub>2</sub>フリー水素の具体的貢献について共通認識を醸成する必要があること、さらにそれを踏まえて可能性のある国際および国内のCO<sub>2</sub>フリー水素

チェーン（資源入手から最終利用までのCO<sub>2</sub>フリー水素のトータルエネルギーシステム（図1参照）をリストアップし、技術成熟度を評価する必要があること等の考えの下、自主研究会「CO<sub>2</sub>フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会」（略称：構想研究会）を立ち上げ、2011年度末まで計4回実施した。

一連の構想研究会活動を通して、以下の成果を得た。

- ① CO<sub>2</sub>削減やゼロエミッション（ゼロエミ）電源比率に関する政府目標に対して、CO<sub>2</sub>フリー水素が目標達成に貢献し得る有力なオプションの1つである、ということが明確になった。
- ② まずは化石燃料＋CCS（Carbon Capture and Storage）由来の水素、次いで風力・太陽光等再生可能エネルギー由来の水素を海外で製造し、有機ハイドライドや液体水素

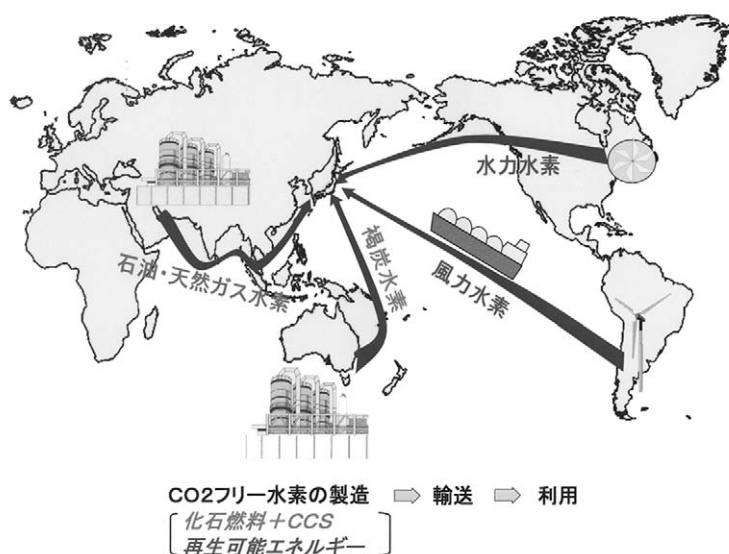


図1 CO<sub>2</sub>フリー水素チェーンのコンセプト

の形で海上輸送して輸入するシステム，すなわち，国際CO<sub>2</sub>フリー水素チェーンの上流工程（最終ユーザに供給するまでの製造・輸送工程）が，2020年以降順次事業化され，エネルギー・環境問題に安定して貢献し得るとの見通しを得た。

- ③東日本大震災を受けてエネルギー基本計画の見直しが始まったことから，輸入CO<sub>2</sub>フリー水素は擬一次エネルギーと見なし得るという考えの下，一次エネルギー供給の構成要素に『水素』という項目を加えるべきである等の提言を行った。ただし，時間的制約もあり，構想研究会としてではなく，一団体職員としての個人提言となった。

## 2. 構想研究会設立の背景

2010年6月当時，政府・団体・民間企業等により，水素エネルギー社会実現に向けて，様々な取組みがなされていた。

### （1）政府の取組み

#### ① エネルギー基本計画

エネルギー基本計画が2010年6月に閣議決定され，2030年における達成目標として，

エネルギー自給率：約40%，自主エネルギー（自主エネ）比率：約70%，ゼロエミ電源比率：約70%が示された。水素エネルギー社会の実現に向け，目指すべき姿として，当面は化石燃料由来水素や副生水素等の活用，将来的には化石燃料由来水素にCCSを組合せた水素製造技術の確立や非化石エネルギー由来水素の開発・利用推進が示され，官民一体による具体的取組みの必要性が示された。

#### ② CO<sub>2</sub>削減公約

従来CO<sub>2</sub>削減公約として，1990年比で2020年までに25%削減，2050年までに80%削減が示されていた。

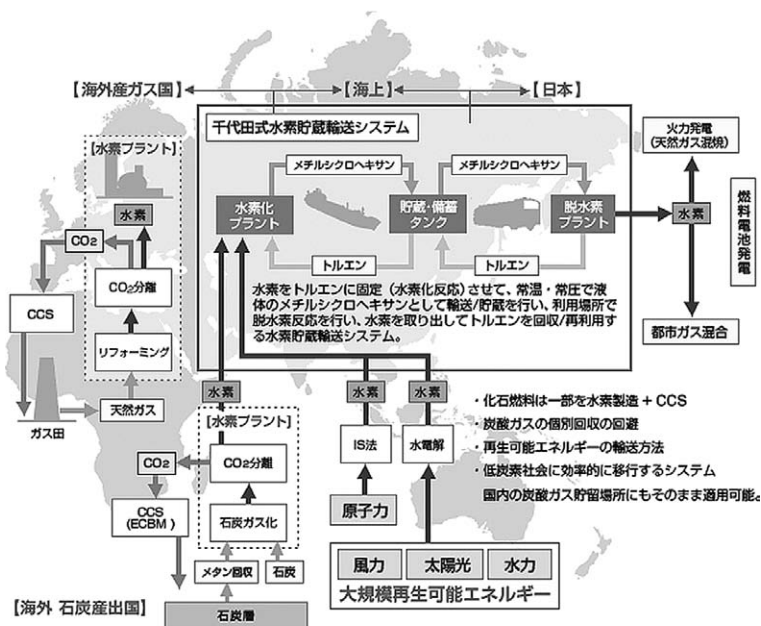
### （2）団体の取組み

#### ① 水素供給・利用技術研究組合（HySUT）

2009年7月に設立され，水素ハイウェイプロジェクトや水素タウンプロジェクトの社会実証に向けて，活動が本格的に開始された。

#### ② 燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）

2010年3月に「燃料電池自動車（FCV）と水素ステーションの普及に向けたシナリオ」が発表され，2015年にFCVの一般ユーザへの普及開始，2025年にFCV200



（出所：千代田化工建設㈱ホームページ）

図2 水素サプライチェーン構想（千代田化工建設による）

万台程度、水素ステーション1,000カ所程度というマイルストーンが示された。

### (3) 民間の取組み

#### ① 千代田化工建設

有機ハイドライドをベースとした「水素サプライチェーン構想」(図2参照)の実現に向けて、グローバルな事業活動を積極的に展開していた。

#### ② 川崎重工業

液体水素をベースとした「CO<sub>2</sub>フリー水素チェーン構想」(図3参照)の実現に向けて、グローバルな事業活動を積極的に展開していた。

#### ③ 岩谷産業

国内水素の製造・輸送・供給に関する現在の事業に加え、将来の水素エネルギー社会に向けて、事業活動を積極的に展開していた。

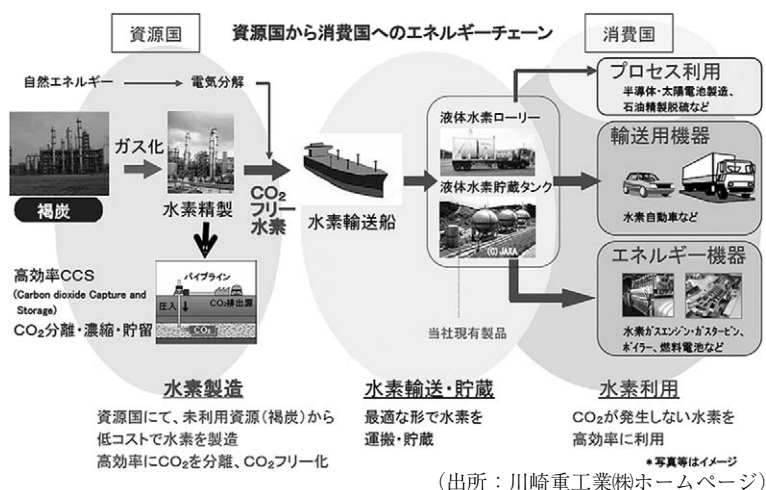
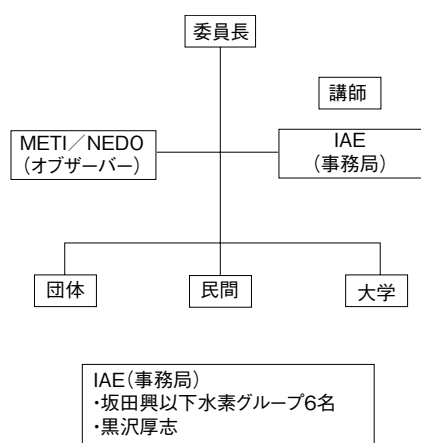


図3 CO<sub>2</sub>フリー水素チェーン構想(川崎重工業による)

表1 構想研究会の体制・メンバー



| (順不同 敬称略) |                                      |                         |
|-----------|--------------------------------------|-------------------------|
| 体制        | メンバー                                 | 所属                      |
| 委員長       | 山地憲治                                 | (公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)  |
|           | 太田健一郎                                | 横浜国立大学                  |
| 委員        | 岡崎健                                  | 東京工業大学                  |
|           | 佐々木一成                                | 九州大学                    |
|           | 長谷川裕夫                                | (独)産業技術総合研究所(AIST)      |
|           | 浅野浩志                                 | (一財)電力中央研究所             |
|           | 菊池和廣                                 | (一財)石油エネルギー技術センター(JPEC) |
|           | 堂免一成                                 | (一社)水素エネルギー協会(HESS)     |
|           | 岡田佳巳                                 | 千代田化工建設(株)              |
|           | 小林由則                                 | 三菱重工業(株)                |
|           | 斎藤健一郎                                | JX日鉱日石エネルギー(株)          |
|           | 重定宏明                                 | 大阪ガス(株)                 |
|           | 実原幾雄                                 | 新日本製鐵(株)(*)             |
|           | 日比政昭(交)                              |                         |
|           | 東義                                   | 新日鉄エンジニアリング(株)(*)       |
|           | 後藤耕一郎(代)                             |                         |
|           | 宮崎淳                                  | 岩谷産業(株)                 |
|           | 安田勇                                  | 東京ガス(株)                 |
|           | 吉村健二                                 | 川崎重工業(株)                |
| オブザーバー    | 資源エネルギー庁 総合政策課                       |                         |
|           | 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課(追) |                         |
|           | 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課(追)               |                         |
|           | (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)           |                         |
|           | 新エネルギー部 燃料電池・水素グループ                  |                         |

(注記：(追)途中より新規に参加、(交)途中より交代出席、(代)代理出席、(\*)当時の社名)

### 3. 構想研究会の体制・メンバー

構想研究会の体制・メンバーを表1に示す。メンバー各位には研究会の主旨にご賛同いただいた上で、所属の代表としてではなく、個人として出席していただいた。

### 4. 構想研究会の達成目標

構想研究会で設定した達成目標を以下に示す。

- (1) 共通認識の醸成
- ① エネルギー環境に関する課題
  - ② 低炭素社会実現による課題解決への貢献
  - ③ CO<sub>2</sub>フリー水素エネルギーシステムによる課題解決への貢献
- (2) 可能性のあるCO<sub>2</sub>フリー水素チェーンのリストアップ,および技術成熟度評価
- (3) エネルギー政策への反映についての提言

(達成目標(3)は東日本大震災が第1回構想研究会直後に発生したため,途中で追加した。)

### 5. 成果 (一例)

#### (1) CO<sub>2</sub> フリー水素エネルギーシステムによる課題解決への貢献 (共通認識の醸成)

弊所保有の地球環境統合評価モデル

(GRAPE) を用いて, CO<sub>2</sub> フリー水素の需要量の推算を行い, その結果に基づき, 当時の政府のゼロエミ電源比率目標達成への CO<sub>2</sub> フリー水素の貢献性を検討した。

#### ① シミュレーションフロー

GRAPE のエネルギーモジュールに基づくシミュレーションフローを図4に示す。

水素は天然ガスの水蒸気改質・低品位炭(褐炭)の部分酸化・風力発電電力を利用した水電解等により製造され, 製品水素は定置熱需要, 運輸需要, そして水素 FC コージェネ・水素ガスタービンコージェネ・水素ガスエンジンコージェネ・水素大規模発電等により電力需要に供給される。

GRAPE のエネルギーモジュールは, 上記エネルギーフローの下で, 世界エネルギーシステムコストが最小になる供給・転換・技術メニューの組合せを探索するものである。

#### ② シミュレーション条件

主なシミュレーション条件は, 原発は40年寿命で新設なし, CO<sub>2</sub>削減率は1990年比で2020年15%減/2050年80%減, 水素

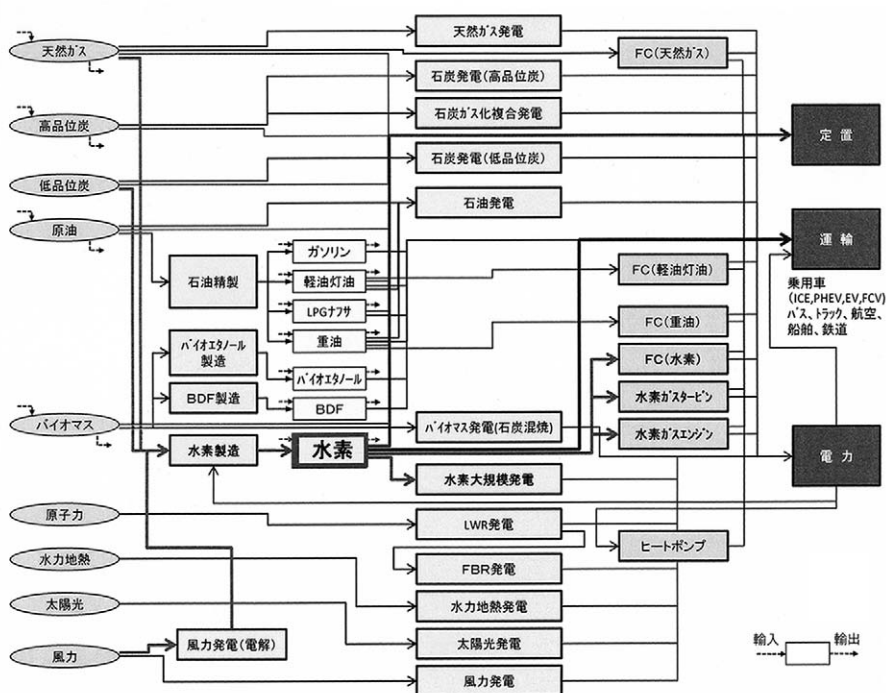


図4 GRAPE シミュレーションフロー

CIF コスト（日本の港着のコスト）約 50 円 / Nm<sup>3</sup>である。（なお、水素 CIF コストは、その後、製造事業者より 30 円 /Nm<sup>3</sup> 以下が可能と報告されている）計算は 5 年刻みとした。

上記条件の下、国内 CCS ありの場合と国内 CCS なしの場合の 2 ケースについて、シミュレーションを行った。

### ③ シミュレーション結果

表 2 にゼロエミ電源比率に関する計算結果を、当時の政府目標と対比して示す。

2030 年におけるゼロエミ電源比率の当時の政府目標 70% に対して、計算結果は以下の通りとなった。

- a) 国内 CCS ありの場合は 5 年遅れの 2035 年に 79.5% となる。その内、化石燃料による CCS 付き発電が 22.8% を占める。
- b) 国内 CCS なしの場合は 10 年遅れの 2040 年に 70.3% となる。その内、水素による発電が 22.7% を占める。

すなわち、当時の CO<sub>2</sub> 削減目標（2050 年

までに 1990 年比 80% 削減）を守り、かつ当時のゼロエミ電源比率目標（70%）の両方を達成し得る手段は、本条件下では、国内で CCS をするか、CO<sub>2</sub> フリー水素を輸入するかのどちらかである。

以上より、CO<sub>2</sub> フリー水素が CO<sub>2</sub> 削減およびゼロエミミッション電源比率の両方の政府目標達成に貢献し得る有力なオプションの 1 つである、ということが明確になった。

### （2）可能性のある CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンのリストアップ、および技術成熟度評価

#### ① 可能性のある CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンのリストアップ

実現の可能性があると考えた国際 CO<sub>2</sub> フリー水素チェーン 27、国内 CO<sub>2</sub> フリー水素チェーン 9 の合計 36 チェーンをリストアップした。その内、国際チェーンの一部を表 3 に示す。

上記リストの内、主要なチェーンを以下紹介する。場所は代表的な所である。

表 2 発電電力量に占めるゼロエミ電源比率

| ゼロエミ電源項目 | 当時の政府目標 | 計算結果 (%)  |      |      |           |      |      |
|----------|---------|-----------|------|------|-----------|------|------|
|          |         | 国内 CCS あり |      |      | 国内 CCS なし |      |      |
|          |         | 2030      | 2035 | 2040 | 2030      | 2035 | 2040 |
| 化石+CCS   | (-)     | 12.3      | 22.8 | 27.2 | 0         | 0    | 0    |
| 再生可能     | (約 20%) | 32.9      | 40.8 | 45.3 | 28.2      | 36.2 | 40.6 |
| 原子力      | (約 50%) | 19.4      | 13.2 | 7.0  | 19.4      | 13.2 | 7.0  |
| 水素       | (-)     | 1.6       | 2.7  | 8.4  | 2.8       | 10.3 | 22.7 |
| 合計       | (約 70%) | 66.2      | 79.5 | 87.9 | 50.4      | 59.7 | 70.3 |

表 3 可能性のある CO<sub>2</sub> フリー水素チェーン（国際チェーンの一部）

| ＜上流工程＞→ |                          |                 |        |                                  |                       | ←＜下流工程＞ |
|---------|--------------------------|-----------------|--------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| チェーン    | 海外                       |                 | 海上輸送   | 国内                               | 最終ユーザ                 |         |
|         | 資源                       | プロセス            |        | プロセス                             |                       |         |
| 1-1     | 石油                       |                 | 石油     | 石油精製・CCS・水素<br>(LPG・ナフサ経由、重質油経由) | ①水素ステーション<br>／燃料電池自動車 |         |
| 2-1     | 石炭                       |                 | 石炭     | 石炭ガス化・CCS・水素                     | ②家庭用燃料電池              |         |
| 2-2     |                          | CCS・水素・液化       | 液体水素   |                                  |                       |         |
| 2-3     |                          | CCS・水素・有機HD     | 有機HD   | 脱水素                              | ③業務用燃料電池              |         |
| 2-4     |                          | CCS・7NFE=7      | 7NFE=7 | 分解                               |                       |         |
| 3-1     | 天然ガス                     | CCS・液化          | LNG    | LNG気化・CCS・水素                     | ④ガスタービンコジェネ           |         |
| 3-2     |                          | CCS・水素・液化       | 液体水素   |                                  |                       |         |
| 3-3     |                          | CCS・水素・有機HD     | 有機HD   | 脱水素                              | ⑤ガスエンジンコジェネ           |         |
| 3-4     |                          | CCS・7NFE=7      | 7NFE=7 | 分解                               |                       |         |
| 4-1     | 再生可能エネ(発電)               | 発電・水電解水素・液化     | 液体水素   |                                  | ⑥水素発電所                |         |
| 4-2     | (風力・水力・地熱・バイオマス・太陽光・太陽熱) | 発電・水電解水素・有機HD   | 有機HD   | 脱水素                              | (空気燃焼)                |         |
| 4-3     |                          | 発電・電解合成7NFE=7   | 7NFE=7 | 分解                               | ⑦水素発電所<br>(酸素燃焼)      |         |
| 5-1     | 太陽光<br>(直接利用)            | 光触媒水分解水素・液化     | 液体水素   |                                  |                       |         |
| 5-2     |                          | 光触媒水分解水素・有機HD   | 有機HD   | 脱水素                              |                       |         |
| 5-3     |                          | 光触媒水分解水素・7NFE=7 | 7NFE=7 | 分解                               |                       |         |

備考)有機HD : 有機ハイドライド 水素添加:トルエン+水素 ⇒ メチルシクロヘキサン 脱水素:メチルシクロヘキサン ⇒ トルエン+水素

- a) チェーン2-2: 豪州で褐炭を部分酸化によりガス化して水素を製造する。CO<sub>2</sub>は現地でCCS処理をする。製造した水素は液化して液体水素船で海上輸送し、日本で気化して最終ユーザーに供給するチェーン。
- b) チェーン3-3: 中東で天然ガスを水蒸気改質して水素を製造する。CO<sub>2</sub>は現地でCCS処理をする。製造した水素はトルエンと反応させてメチルシクロヘキサン(MCH:有機HDの一種)に転換してケミカルタンカーで海上輸送し、日本で脱水素して水素として最終ユーザーに供給するチェーン。
- c) チェーン4-1・4-2: パタゴニアで風力発電し、その電力で水電解により水素を製造し、チェーン4-1は液化するチェーン、チェーン4-2はMCHに転換するチェーン。
- d) チェーン5-1・5-2: アフリカやアメリカの砂漠等で太陽光を直接利用し、光触媒で水分解して水素を製造し、チェーン5-1は液化するチェーン、チェーン5-2はMCHに転換するチェーン。
- e) チェーン2-4・3-4・4-3・5-3: 各チェーンとも液体アンモニアの形でLPG

船相当の船で海上輸送し、日本で分解して水素として最終ユーザーに供給するアンモニアチェーンである。チェーン2-4は石炭を部分酸化によりガス化して水素にし、水素と窒素を反応させてアンモニアを合成するチェーン。CO<sub>2</sub>は現地でCCS処理をする。チェーン3-4は天然ガスを一次改質炉で水蒸気改質し、二次改質炉で空気を供給した後、アンモニアを合成するチェーン。チェーン4-3は太陽熱で発電した電力により電解合成でアンモニアを合成するチェーン。チェーン5-3は太陽光を直接利用し、光触媒で水分解して水素を製造し、製造した水素と窒素を反応させてアンモニアを合成するチェーンである。

## ② CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンの技術成熟度評価

CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンを国際チェーンの上流工程と下流工程、国内チェーンの上流工程と下流工程の4つに大別し、技術成熟度の年次評価・事業化時期の可能性評価を構想研究会メンバーにて分担実施した。その内、国際チェーンの上流工程の主要なチェーンについての技術成熟度の評価結果を図5に示す。

主な国際 CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンの上流工

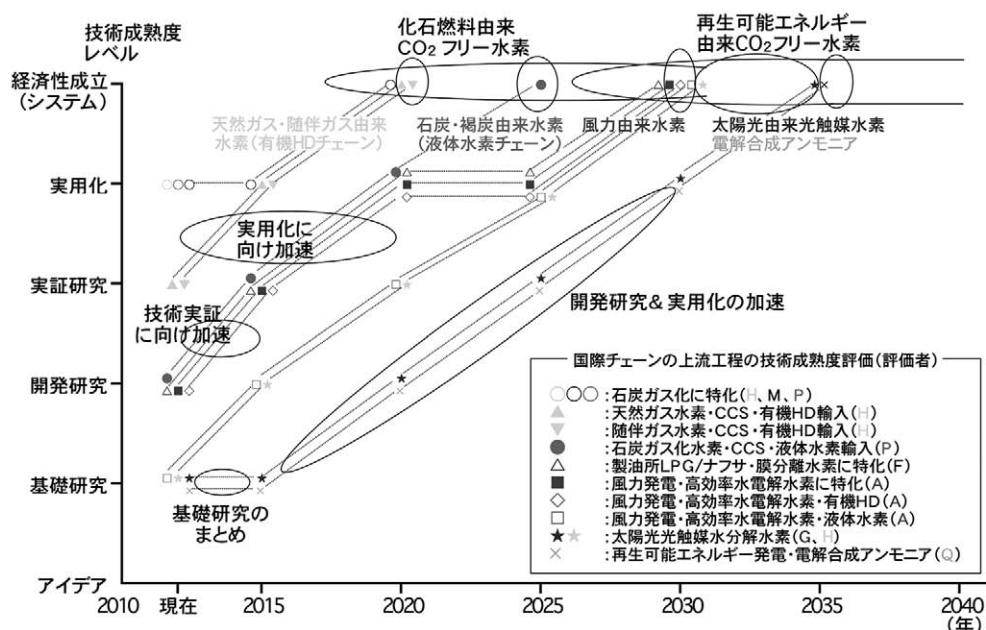


図5 CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンの技術成熟度の評価結果 (国際チェーンの上流工程の一部)

程の事業化可能時期の見通し結果をまとめると、以下の通りとなる（場所は代表的な所である）。

|                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|
| 2020 年頃：中東天然ガス改質+CCS 由来の CO <sub>2</sub> フリー水素チェーン<br>(エネルギーキャリア：有機 HD)            |
| 2025 年頃：豪州褐炭ガス化+CCS 由来の CO <sub>2</sub> フリー水素チェーン<br>(エネルギーキャリア：液体水素)              |
| 2030 年頃：パタゴニア風力発電+水電解由来の CO <sub>2</sub> フリー水素チェーン<br>(エネルギーキャリア：有機 HD, 液体水素を問わず)  |
| 2035 年頃：太陽光直接利用光触媒+水分解由来の CO <sub>2</sub> フリー水素チェーン<br>(エネルギーキャリア：有機 HD, 液体水素を問わず) |
| 2035 年頃：電解合成アンモニアチェーン                                                              |

国内で化石燃料を原料として製造する CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンの展開については、海外由来の CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンに比較して 10 年遅れるとの評価を得た。これは、国内 CCS の事業化が海外 CCS に比べて約 10 年遅れるということに起因する相違である。

以上、有機 HD・液体水素・アンモニア等をエネルギーキャリアとしたコスト競争力のある多様な CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンが、2020 年頃以降、国際／国内、そして化石燃料／再生可能エネルギー、の適切な組み合わせ

で順次事業化され、エネルギー・環境問題に安定して貢献し得るとの見通しを得た。

### (3) エネルギー政策への反映についての提言

2012 年 3 月、資源エネルギー庁総合政策課が中心となって策定中の新しいエネルギー基本計画について、以下の提言を行った。

#### ① 提言 1：エネルギー基本計画への文言の追加

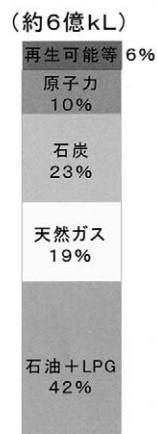
現行エネルギー基本計画の第 3 章（目標実現のための取組み）、第 4 節（新たなエネルギー社会の実現）、2 項（水素エネルギー社会の実現）の記述に、以下の文言を追加すべきであると提言した。

- a)『海外からの水素輸入も考慮に入れた CO<sub>2</sub> フリー水素の国際ネットワーク形成を図る』
- b)『まずは、化石燃料+CCS 主体での CO<sub>2</sub> フリー水素国際ネットワークを形成し、最終的には、再生可能エネルギー主体での水素国際ネットワークへ円滑に移行する』

#### ② 提言 2：一次エネルギー供給の構成要素についての提言

図 6 の右端の棒グラフに示すとおり、一次エネルギー供給の構成要素に『水素』という項目を加えるべきであると提言した。理由は、海外から輸入する CO<sub>2</sub> フリー水素は、LNG 登場時と同様新概念であり、擬一次エネルギーと見なし得ると考えたからである。

#### 《2007 年実績》



#### 《2030 年推計》

##### < 現基本計画 >



##### < 提言 >

「水素」という項目が加えられること。



(出所：「2030 年のエネルギー需給の姿」(経済産業省、2010 年 6 月) を基に作成)

図 6 一次エネルギー供給の構成要素についての提言

## 6. 課題

構想研究会で残された課題は以下の通りである。

### (1) CO<sub>2</sub> フリー水素エネルギーの需要調査

水素の大規模需要についての見通しは、やはりまだはっきりしておらず、エネルギーユーザ等への意見調査等を行い、水素の大規模需要の見通しを明確にする必要がある。

### (2) 水素需要量の推算

シミュレーションで、CO<sub>2</sub> 削減率の設定値や水素 CIF コスト等を変化させたさらなるケーススタディを行い、水素需要量の推算を行う必要がある。

### (3) 水素エネルギー社会の絵姿・シナリオの作成

上記エネルギーユーザへの意見調査結果やシミュレーションでのケーススタディ結果を踏まえて、リアリティの高い水素エネルギー社会の絵姿・シナリオを作成する必要がある。

### (4) シナリオ実現に向けたロードマップ、アクションプランの作成

### (5) CO<sub>2</sub> フリー水素の多面的評価

技術成熟度以外の評価、例えば、供給安定性・価格安定性・国富流出防止・社会受容性・安全性・環境性、等についても評価し、CO<sub>2</sub> フリー水素導入のさらなる貢献性、あるいは問題点も把握する必要がある。

## 7. おわりに

一連の構想研究会の活動を通して、資源・場所・プロセス・輸送等について複数の CO<sub>2</sub> フリー水素チェーンを 2020 年以降順次事業化することが可能で、それによる我が国への貢献が具体的に把握できた。一方、事業化に向けての課題も明らかになった。

これらの成果および課題を踏まえて、現在、構想研究会と同様の体制・メンバーで、「CO<sub>2</sub> フリー水素チェーン実現に向けたアクションプラン研究会」（略称：アクションプラン研究会）を実施中である。

弊所は引き続きアクションプラン研究会を中立的立場で主導し、メンバーは構想研究会およびアクションプラン研究会の成果を踏まえ、あるいは並行して、研究会外でコンソーシアム形成・国家プロジェクト化等事業化に向けた具体的展開を図ることになる。政府関係の方々にはオブザーバーとして継続して参加していただき、事業化支援の必要性を認識していただければ幸いである。

2011 年 4 月 4 日付け日本経済新聞に＜日本には、水素エネルギーの技術資産がある＞と題した以下の記事がある。『日本は世界的に見ても早い時期から水素エネルギーの活用注目、そのインフラを構築するための国家プロジェクトを実施してきた。2011 年 3 月 31 日には、経済産業省と新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「水素・燃料電池実証プロジェクト（JHFC）」が 2002 年度の開始から 9 年を経て終了。1 つの節目を迎え、実用化の段階に入りつつある』。

上記記事にあるように、今や水素がエネルギーとして実際に活用され、インフラ構築が必要とされる段階に来ており、我々は、CO<sub>2</sub> フリー水素チェーン実現に向けて活動を継続していく所存である。

### 【謝辞】

研究会活動に参加して下さったメンバー各位・オブザーバー各位に深甚なる謝意を表する。

【事業報告】

『原子力の安全を問う』シンポジウムの開催  
～新安全基準（設計基準、シビアアクシデント対策）骨子案を巡る論点～



当研究所は、福島第一原子力発電所事故後、日本原子力学会など関連する学会と協力して、原子力の安全問題を取り上げ公開で検討する場を、「原子力の安全を問う」シリーズセミナーとして開催してきた。これは、エネルギー問題を総合的に考える当研究所にとり、原子力の位置づけを決定づける原子力安全の問題に取り組むことが重要と考えたためである。

その原子力安全に関しては、現在、原子力規制委員会が、様々な規制課題に取り組んでおり、発電用軽水炉の新安全基準（現在、「規制基準」に名称変更）についても検討を進めているところである。

本シンポジウムは、この新安全基準（設計基準、シビアアクシデント対策）の骨子案が2月初めに意見公募手続き（パブリックコメント）に付されたのを受け、原子力規制委員会と関連学会の専門家が、共通の課題である原子力安全の確保に向けてともに考えることを目的として開催したものである。

このシンポジウムは、当研究所と日本原子力学会が主催し、日本機械学会の協賛を得て、国際文化会館において、2月17日（日）13時から17時半に開催した。約200名の参加を得て新安全基準（設計基準、シビアアクシデント対策）骨子案を巡り、原子力規制委員会委員を含めた専門家間で、有意義な意見交換が行われた。（当日のプログラムは末尾参照）

その主な結果は次のとおりである。なお、今後も、当研究所としては、原子力の安全を巡る重要な課題を取り上げ、積極的にこのような場の提供を図るとともに、必要に応じて提言等を行っていきたい。

#### 第一部：原子力安全と新安全基準

講演を内容とする第一部では、まず原子力規制委員会更田委員から新安全基準骨子案の内容について個人的な見解も交えた説明があった。新安全規制は本年7月18日までに施行することとなっているため、4月半ばまでに条文化す

る必要があり、骨子案が2月7日～2月28日の期間でパブリックコメントにかけられていること、新安全基準は福島第一原発事故を踏まえて、シビアアクシデント対策を考慮した安全規制へ転換していくためのものであることが示された。この観点で事業者に原子力施設の安全性に関する総合的な評価の実施（いわゆる「最終安全解析報告書」（FSAR）の作成）を求めていくことが説明された。

続いて原子力学会の専門家2人が、原子力安全の確保のための考え方と骨子案の論点について講演を行った。自然現象に対する防護レベル設定の困難さに対応した柔軟性を持った対策が必要であること、関係者の意識改革を促す安全基準が必要であり、そのために産学官から広く意見を集め最新の知見を集約する場として学会の役割が重要であることが示された。また、東京電力福島第一原発事故の原因と対策を分析するとともに、それを踏まえた国内の対策や、それ以前から行われていた欧米における安全対策の事例も紹介された。シビアアクシデント対策のリスク低減効果の定量的評価例も示された。

## **第二部：パネルディスカッション「新安全基準骨子案を巡る論点」**

第二部では、座長を含めて8名の専門家（うち3名は第一部の講演者）によって、新安全基準骨子案を巡り、「達成すべき安全のレベル」、「体系的な安全確保対策」及び「性能規定と仕様規定との関係」の3つの論点に絞って、パネルディスカッション形式で議論が交わされた。

なお、限られた時間で議論を深めるため、以下の基本方針の下にディスカッションを行った。

- 地震・津波基準（活断層問題を含む）は対象外とする。
- 安全確保のための科学的・技術的な視点から議論を行い、エネルギー供給、経済性などの視点は含まない。

- 議論が抽象論で終わらないよう具体的な事例を示す。一方、詳細な個別の議論とならないように留意し、個別の対策に言及する場合は、総論の中での位置付けを明確にする。

第1の論点「達成すべき安全のレベル」では、国民にとって安全をレベルで議論すること自体が受け入れがたいという問題もあるとの指摘があった。しかしながら、いくら対策を施してもリスクは残るということを示し続けることは安全神話の復活を許さないことにつながるとの考えが示され、専門家が継続して原子力の諸活動が人や環境に及ぼすリスクを議論していくことが重要であるとされた。

第2の論点「体系的な安全確保対策」では、まず深層防護の考え方が取り上げられた。深層防護は、これまで内的事象に起因する事故を念頭に構築されてきたきらいがあり、外的事象を起因とする事故への対策を考える上では改めて検討が必要であること、深層防護のコンセプトは安全を守るための戦略であり柔軟に考えて行くべきこと、また、シビアアクシデントに対応した柔軟な対策を議論するうえで「前段否定」や「後段否定」の強調は時機を選んでどうか、などの指摘があった。

シビアアクシデント基準と設計基準の関係については、全体としての性能が担保されていることが重要であり、両者を仕分けすることは本質ではないとの考えが示された。一方、そのような議論を拙速に行うと混乱を招く恐れがあり、まず従来の設計基準の考え方を踏まえつつ、シビアアクシデント対策を考えるアプローチが必要との考えも示された。また、設計裕度を確保しつつ、クリフエッジ\*の存在を考慮し、それに対応する柔軟性のある対策を検討しておくべきとの考え方も提示された。

実効性のあるシビアアクシデント対策は、設備だけではなくマネジメントが重要となる

---

\*「断崖の先端」のことで、安全性が大きく変わる限界を表す意味で使われている。

ため、規制委員会として、電気事業者と一緒に各サイトの弱点を探し出し、その対策を検討する一種の訓練のようなことも考えている旨、紹介があった。

第3の論点「性能規定と仕様規定との関係」では、民間でやるべきことと国がやるべきことの仕分けが必要であり、安全目標、性能要求、機能要求と仕様規定といった体系化を早く実施し、詳細な技術的部分については民間の自主性に任せるべきとの指摘があった。これに対して、規制委員会が目指すものは性能規定化による新技術の導入を促すことであり、事業者が競って自主的な提案をしてくるような安全文化が醸成されていることが前提となること、技術的部分に大きな抜けがあつては困ることなどといった認識が示された。また、安全性を高めた事業者を正当に評価する仕組みが必要であるとの指摘があつたが、規制委員会でもインセンティブを与える仕組みについて議論をしてところであり、民間から望ま

しい制度を提案してほしいとの要望があつた。学会の規格・基準の活用など、原子力の安全性を高めるためには、産学官がそれぞれの特長を活かして協力していくことが重要との考えが示された。このためには、ステークホルダー間の信頼醸成が重要であり、海外の例も参考としつつ、例えば、民間の規格・基準の策定段階から規制機関が入って議論することが望ましいとの指摘もあつた。

会場との意見交換においては、格納容器フィルタードベントに対する加圧水型炉（PWR）と沸騰水型炉（BWR）との違いが問われ、シビアアクシデント時の時間的余裕などを考慮した基準を考えていることが示された。また、有効なシビアアクシデント対策を実施するうえで、耐震設計要求が妨げになるのではないかとの疑問が出されたが、規制委員会においても耐震設計要求とディーゼル発電機、バッテリーなどの設備要求との整合性の問題は認識しており検討している旨説明があつた。

| ***** プログラム *****                                   |                                 |      |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|------|
| 開会の挨拶：                                              | (一財) エネルギー総合工学研究所 副理事長          | 三代真彰 |
| 第一部：原子力安全と新安全基準 13:10 ～ 14:45                       |                                 |      |
| (1) 新安全基準骨子案の内容                                     | 原子力規制委員会 委員                     | 更田豊志 |
| (2) 原子力安全確保のための考え方                                  | 日本原子力学会 原子力安全部会 副部会長（東京大学大学院教授） | 関村直人 |
| (3) 新安全基準（設計基準、シビアアクシデント対策）骨子案の論点                   | 日本原子力学会 理事（北海道大学教授）             | 奈良林直 |
| 第二部：パネルディスカッション「新安全基準骨子案を巡る論点」 15:00 ～ 17:30        |                                 |      |
| 座長：日本原子力学会「福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」委員長<br>（東京大学大学院教授） |                                 | 田中 知 |
| パネリスト：原子力規制委員会 委員                                   |                                 | 更田豊志 |
| 日本原子力学会 原子力安全部会 副部会長（東京大学大学院教授）                     |                                 | 関村直人 |
| 日本原子力学会 理事（北海道大学大学院教授）                              |                                 | 奈良林直 |
| 日本原子力学会 標準委員会 委員長（法政大学大学院客員教授）                      |                                 | 宮野 廣 |
| 日本原子力学会 原子力安全検討会 分科会主査（大阪大学大学院教授）                   |                                 | 山口 彰 |
| 明治大学 准教授                                            |                                 | 勝田忠広 |
| エネルギー総合工学研究所 理事                                     |                                 | 松井一秋 |
| 閉会の挨拶：                                              | 日本原子力学会 会長                      | 野村茂雄 |

## 平成 25 年度 事業計画

(一財) エネルギー総合工学研究所

### 1. 基本的な考え方

当研究所は、わが国のエネルギー工学分野の中心的な調査研究機関として、産・学・官のエネルギー技術に関する専門的な知見・経験を相互に結び付け、「総合工学」の視点に立脚して調査、研究、評価、成果の普及等に努めてきた。技術は、わが国が国際社会で優位性を維持・向上する上で不可欠な資産であり、将来のリスクに対応し得る強靱なエネルギー戦略の構築・実現に貢献するものである。当研究所は、今後とも「エネルギーの未来を拓くのは技術である」との認識の下、エネルギー技術に関する調査、研究、評価、成果の普及等に取り組んでいく。

なお、当研究所は、本年 4 月 1 日に一般財団法人へ移行する運びとなり、定款の範囲内で事業の自由度が増すこととなる。この機会に、激動する時代環境に適確に対応すべく、先駆的な調査研究及び公正な経営の両面から基盤の強化を図っていく。

### 2. 最近の情勢

平成 23 年 3 月、東日本大震災に伴い発生した福島第一原子力発電所事故（以下「福島第一事故」という）は、放射性物質による周辺環境の汚染という事態となり、多くの地元の方々が未だに避難生活を余儀なくされている。現在も環境修復と事故炉の廃止措置に向けた努力が続けられている。今、国内の原子力発電炉は 2 基を除き全て停止しており、従来の原子力発電を肩代わりしているのは、火力発電であり、燃料調達コストや温室効果ガスの増加といった面で大きな負担を与えている。

今後、わが国では、新政権により新たなエネルギー政策の検討が進められ、原子力の見直しとともに新エネルギーへの期待も高まることが予想される。国際的には、中国、インドを中心とするエネルギー需要の大幅な増加、それに伴う環境問題、わが国の原油の主要調達先である中東の政情不安などの懸念がある中で、技術の進歩に伴うシェールガスの開発、化石燃料のクリーンユース、新エネルギー導入や需要面からのエネルギーの効率的利用なども見逃せない。

### 3. 平成 25 年度の事業

#### (1) エネルギー技術の俯瞰的評価

このような状況の下、当研究所は、エネルギー問題の解決に向けて技術の可能性と重要性を認識し、将来のエネルギー需給のあり方についてエネルギー技術の観点から調査・分析を行っている。今後も、中立的な立場から、広範な全エネルギー技術分野を俯瞰し、技術開発のあり方について調査、研究及び評価を行い、今後のエネルギーの安定供給確保や地球環境問題の解決に向けた提言を発信し、国民経済の発展に貢献していく。

#### (2) エネルギーシステムや幅広いエネルギー技術分野での取り組み

平成 25 年度においては、エネルギー技術に係る知見の最新化、昨今の内外情勢を踏まえたエネルギー技術開発のあり方の評価分析や当研究所の地球環境統合評価モデル（GRAPE）等を用いたエネルギーシステムに関する分析を行うとともに、原子力、バイオマス・太陽熱・水素等の新エネルギー、クリーンコールテクノロジー

ジー（CCT）・CO<sub>2</sub>回収・貯留（CCS）等を中心とする化石燃料の利用や次世代電力系統に係る最新技術の国内外における調査研究に加え、地熱バイナリー発電技術やケミカルルーピング等の技術開発にも取り組んでいくこととする。

### （３）原子力に関する取り組み

東日本大震災を契機に、安全は国民が広く希求する普遍的な価値として一層重視されてきている。当研究所としても、福島第一事故のような過酷事故発生時の原子炉内の挙動解析を適確に行うSAMPSONコードの解析能力の飛躍的な向上を目指すとともに、原子力災害を二度と起こさないための安全対策の再構築と福島復興のための除染・環境修復や事故炉の廃止措置に向けて、これまで蓄積してきた知見を生かし貢献していくこととする。また、軽水炉技術開発事業に関しては、既設の軽水炉の安全向上に有効な技術課題に取り組んでいくとともに、海外動向を踏まえ新型軽水炉、核燃料サイクル等に係る技術課題についても調査研究を行うこととする。

### （４）エネルギー需要に関する取り組み

エネルギー需要面においても、技術の進展は目覚ましいものがあり、社会的な要請も大きくなってきている。この分野での省エネルギー、スマート化や自動車に関する技術課題の調査研究を行う。また、平成23年6月に発行したエネルギーマネジメントシステムに係る国際規格（ISO50001）の普及促進を進める。

### （５）標準化に関する取り組み

多くの技術について、その標準化は将来の技術開発や技術の普及に大きな役割を果たしている。当研究所としても、エネルギーマネジメント、スマートグリッド、CCSや太陽熱利用等に係る国際標準化機構（ISO）や国際電気標準会議（IEC）での国際標準化に貢献していくこととする。

### （６）エネルギー情報の共有支援

次世代電力ネットワーク、高温ガス炉、原子

炉廃止措置、化学プラントの設備管理、太陽熱等の重要な技術分野について、関係企業や大学等の専門家による研究会や委員会を設置し、当該技術に関する調査、研究を行う。

### （７）情報発信

当研究所における上記の研究成果を国民や関係機関等に情報発信するとともに、エネルギー技術にかかる重要なテーマに関し、産・学・官の連携、国際的な広がりを図りつつ、適宜、シンポジウムやセミナー等を開催し、エネルギー技術開発のあり方について提言を行う。また、最新の技術に関する「情報」と「評価」を、会員企業をはじめとする関係各位に提供するため、エネルギー技術情報プラットフォームの更新・改良を進めていくこととする。

## ４．事業を進めるにあたって

当研究所を巡る経営環境には依然として厳しいものがあり、健全な事業経営の維持に努める。このため、積極的に企画提案等を行い、これまで蓄積してきた知見を生かし、質の高い調査研究を行うことにより社会に貢献するよう、役職員一同努力する。

その際、以下の点に留意する。

- ① 国の政策、市場ニーズ、社会の受容性など、技術と社会との係わりを考慮して、学際的な調査研究の実施、異分野の調査研究との連携等による総合的なアプローチを進める。
- ② コンプライアンス体制の強化が不可欠であり、当研究所の事業に係る協力企業や外注先企業も含め、行動規範等の徹底を図る。また、一般財団法人移行後、新法人としての内部統治（ガバナンス）及び会計・税務面における責務を自らが責任を持って遂行するために、規程、マニュアル等の整備を進める。
- ③ 調査研究成果等の適切な普及を図り、当研究所の評価向上に努める。

## 5. 各エネルギー分野における調査研究等のテーマ

### (1) エネルギー技術全般

#### ① 東日本大震災を踏まえたエネルギー技術開発戦略に関する調査研究

平成 23 年度と 24 年度に実施した東日本大震災を踏まえたエネルギー需給構造のあり方に関する調査研究を基に、エネルギーの安定供給、地球環境問題の解決、国民生活の安定、国内産業の活性化など様々な要因を考慮しつつ、わが国の将来を中長期的な観点から見据えた、エネルギー技術戦略策定に関する調査研究を行う。

#### ② 地球規模でのエネルギーシステムに関する調査研究

地球環境問題は、途上国と先進国の利害対立などの国際政治上の問題もあり、国際合意形成は容易ではない。気候変動枠組条約締約国会議において、2020 年以降の温室効果ガス削減枠組作りの作業が始まりつつあるものの、わが国は延長された京都議定書において削減数値目標を明示せず、自主的に温室効果ガス削減努力を継続していくこととなった。

平成 25 年度においては、当研究所が運用する評価ツールで、地球環境システム分析に最適であり、また、原子力、新エネルギー、化石燃料の各分野におけるエネルギーシステム分析にも活用されている GRAPE モデルに、気候工学評価機能等を追加し、利用対象の拡大や利便性の向上を図るとともに、関連するデータベースの作成を行う。また、同モデルを活用して、当研究所が実施する各種の調査研究プロジェクトに関し、地球環境の観点からの評価研究を実施する。

- GRAPE モデル及び日本評価モデル (TIMES-Japan) の機能強化に関する調査研究
- 気候工学のデータベース作成に関する調査研究

### (2) 新エネルギー・エネルギーシステム関連

東日本大震災を契機に、太陽、風力、地熱、

バイオマス等の再生可能エネルギー発電の開発利用を一層推進する必要性が指摘され、平成 24 年 7 月からは再生可能エネルギーの固定価格買取制度が開始された。再生可能エネルギーが大量に導入された場合、電圧や周波数の不安定化が懸念され、それに対応するため電力貯蔵を含む様々な調整装置やバックアップ電源の適切な配置と運用が必要となる。スマートグリッドは、分散型電源の導入拡大等に対応して電力の安定的かつ効率的な供給を可能とする技術として期待されているが、わが国のエネルギー・電力事情に適切に対応したシステムとなるよう技術開発を推進することが必要である。

平成 25 年度には、次世代の電力ネットワークのあり方、系統連系技術、デマンドレスポンス、通信技術標準化等について調査研究を行う。また、再生可能エネルギーについては、バイオマス利用技術や地熱バイナリー発電、集光型太陽熱発電 (CSP) 等に関し調査研究を行う。産業部門では、省エネルギーに資する機器高効率化技術の調査研究や国際協力を行う。また、運輸部門では、次世代自動車の導入シナリオ等について調査研究を行う。

#### (ア) スマートグリッドに関する調査研究

- ① 次世代電力ネットワークに関する調査研究
- ② 再生可能エネルギー発電の電力系統への影響と対策技術に関する調査研究
- ③ デマンドレスポンスに関する調査研究
- ④ エネルギーマネジメントシステムの標準化と事業促進に関する調査
- ⑤ 電力貯蔵技術に関する調査研究

#### (イ) 再生可能エネルギーに関する調査研究

- ① バイオマス利用技術に関する調査研究
- ② 地熱バイナリー発電技術に関する研究開発
- ③ CSP 技術開発に係るシミュレーションや評価に関する調査研究
- ④ 太陽熱利用技術及びその技術標準化に関する調査研究

- ⑤ 国内の中高温太陽熱利用可能性の調査研究

#### (ウ) 省エネルギーに関する調査研究

- ① 超臨界 CO<sub>2</sub> ガスタービンに関する研究開発
- ② 高効率電気機器に係る国際協力に関する調査

#### (エ) 次世代自動車に関する調査研究, その他

- ① 次世代自動車の導入シナリオに関する調査研究

#### (3) 水素エネルギー関連

水素エネルギーは、将来の重要な二次エネルギーと期待され、燃料電池自動車・水素供給インフラストラクチャーの普及促進等、導入拡大に向けた動きがある。また、国内外の再生可能エネルギー等の輸送媒体として、長期的にも活用が期待される。

#### (ア) 再生可能エネルギーの輸送・貯蔵媒体に係る技術の導入シナリオの作成

- ① 国内外の再生可能エネルギーのポテンシャル、供給コスト及び許容コストの調査
- ② 水素等の導入シナリオ作成及び技術開発課題の調査

#### (イ) 水素の製造、輸送、供給及び貯蔵に関する調査研究, その他

- ① CO<sub>2</sub> フリー水素チェーン実現に向けたアクションプラン研究会の運営

#### (ウ) 水素を用いた電力貯蔵技術に関する調査研究

- ① 水素を用いた電力貯蔵と他の電力貯蔵方式との比較評価や実証に関する調査

#### (4) 化石エネルギー関連

東日本大震災を契機に、化石燃料による電力供給の重要性が改めて認識されているが、化石

燃料は、温室効果ガス排出量の削減を図りつつ、その安定供給を図っていくことが重要な課題である。かかる観点から、産油国や産炭国における原油や石炭の供給から、転換、利用、さらに CO<sub>2</sub> の回収・貯留までの全体システムに関し調査研究を行う。

平成 25 年度においては、石炭火力発電等から発生する CO<sub>2</sub> を回収し貯留 (CCS) するまでのトータルシステム、埋蔵量が豊富な低品位炭を改質し付加価値を高める技術や発電技術等の CCT を東南アジアや中央アジアへ導入するためのプロジェクトの形成に関し調査研究を行う。さらに、化石燃料等と太陽熱等の再生可能エネルギーを組み合わせたシステムの国内外での活用について調査研究を行う。

また、CO<sub>2</sub> 回収コスト低減に向けて CO<sub>2</sub> 分離・回収工程が不要となる新燃焼技術、いわゆるケミカルルーピング燃焼に係る技術開発に関する調査研究、石油関連プラント設備等の寿命予測に関する調査研究等を実施する。

#### (ア) 化石燃料の高度転換技術 (CCT, CCS 等) を核としたエネルギーシステム研究

- ① 石炭火力発電と CCS によるゼロエミッション化に関する調査研究
- ② 低品位炭改質や発電技術等の CCT の海外への導入に係るプロジェクト形成
- ③ 石油開発分野における業際分野技術の活用に関する調査研究
- ④ CSP と化石燃料等との複合システムによる低炭素燃料製造に関する調査検討

#### (イ) 化石燃料利用に関する新技術に関する研究等

- ① CO<sub>2</sub> 収型化学燃焼 (ケミカルルーピング燃焼) に係る技術開発に関する調査研究
- ② 石油精製・石油化学設備の寿命予測システム (LRDC) に関する調査研究

#### (5) 原子力関連

東日本大震災を契機に、安全は国民が広く希

求する普遍的な価値として一層重視されてきている。特に原子力については、福島第一事故によってもたらされた原子力災害の影響の甚大さに直面し、このような事故を二度と起こさないための安全対策の構築が強く求められている。このため、シビアアクシデント対策を含め、既設の軽水炉の安全向上に有効な技術課題に取り組んでいくこととしており、平成25年度は、前年度からの技術開発を継続する。

また、一刻も早い福島復興を図るため、除染・環境修復と事故炉の廃止措置が求められており、世界の知見・技術を結集して対処する必要がある。当研究所は、これまで蓄積してきた知見や国際的なネットワークを生かし、問題解決のため積極的に貢献していくこととする。平成25年度においては、過酷事故（シビアアクシデント）の挙動解析を行うSAMPSONコードの活用及び改良により、福島第一事故に係る炉内挙動の解析をOECD/NEAの国際ベンチマークプロジェクトの下で進め、炉内及び原子炉格納容器内の状況把握につなげる。

なお、原子力は、世界的に、エネルギーの安定供給及び地球環境問題への対応を図る上で重要な役割を担うと評価され、福島第一事故後においても、多くの国々で開発利用推進の方針を維持している。このような国際動向も踏まえ、原子力利用に伴う様々な課題について継続的な検討を行うこととしており、平成25年度も、エネルギー供給シナリオにおける原子力の寄与や放射性廃棄物問題、人材育成・確保等の様々な課題に関する調査研究を進める。将来の原子炉についても、新型軽水炉に係る技術課題の調査研究を進めるとともに、第4世代原子力システムに関する国際共同研究開発に引き続き参画する。また、軽水炉の廃止措置については、工程評価やシナリオの検討、廃止措置中の安全確保策に関する調査研究を進める。高レベル放射性廃棄物処分については、技術や社会科学的な観点をも織り込んだ処分事業の進め方、地層処分と代替オプションのリスク比較評価等に関して調査研究を行う。

#### (ア) 福島第一事故関連

- ① 軽水炉安全対策高度化に関する技術開発
- ② 福島第一事故に係る炉内事象の解析、国際プロジェクトの推進
- ③ シビアアクシデント解析手法の改良と解析モデルの高度化
- ④ 除染・環境修復に関する調査研究

#### (イ) 原子力全般

- ① エネルギー供給システムへの原子力の寄与に関する調査研究
- ② 世界の原子力開発利用動向に関する調査
- ③ 原子力人材育成に関する調査研究

#### (ウ) 原子力プラント技術

- ① 新型軽水炉に係る技術課題の調査研究
- ② 高温ガス炉及び原子力多目的利用に関する調査研究
- ③ 第4世代原子力システム開発に関する国際研究協力
- ④ 耐震解析に関する調査

#### (エ) 原子炉廃止措置等に関する調査研究

- ① 廃止措置工程、技術、制度に関する調査、検討
- ② 廃止措置に関する民間規格基準整備への支援

#### (オ) 高レベル廃棄物処分に関する調査検討

- ① 地層処分の意思決定に係る社会科学的な視点からの検討
- ② 高レベル廃棄物処分のリスクマネジメントの視点からの検討
- ③ 高レベル廃棄物処分に関する規制動向に関する調査

## 6. 最新技術情報の発信

(1) 調査研究事業で得られた成果のうち、技術情報として有用度の高いものを編集し、情報提供を行う。これらの調査研究に係る活動内容

や成果は、寄稿・投稿、講演会、学会発表、ホームページへの掲載等により公表し、広く利用に供することとする。また、エネルギー技術に係る重要なテーマに関して、国際的な視野も入れつつ、適宜、シンポジウムやセミナー等を開催する。

(2) 当研究所では、下記の手法により、情報発信を行う。

- ① 定期刊行物（季報エネルギー総合工学）の刊行
- ② 月例研究会やエネルギー総合工学シンポジウムなど、シンポジウムやセミナーの開催
- ③ エネルギー技術情報プラットフォームの整備及び運用

- エネルギーマネジメント及び省エネルギーの評価・検証関連
- ホームエネルギーマネジメントシステム（HEMS）インターフェース関連
- CCS の CO<sub>2</sub> 削減量評価関連
- 太陽熱発電技術関連

## 7. ISO センターの事業

当研究所の ISO センターは、平成 23 年 6 月、ISO50001（エネルギーマネジメント国際規格）の発行と同時に発足以来、その普及・促進のための活動を行ってきており、平成 25 年度も引き続き下記事業を行う。

- ① 導入・構築研修，エネルギーレビュー実践研修，内部監査員研修の開催
- ② 認証取得，システム構築・運用，継続的改善に資するコンサルティングの実施

## 8. その他

### (1) エネルギーに関するアンケート調査

今後のエネルギー技術開発のあり方に関しては企業や大学に対し、また、エネルギーに係る意識に関しては一般公衆に対して、アンケート調査を実施し、その動向を分析する。

### (2) エネルギー技術に関する国際標準化の調査研究

ISO や IEC における、下記分野での国際標準化に係る事業を行う。

## 故秋山先生が米国機械学会賞受賞



故秋山守東大名誉教授が、米国機械学会（ASME）より、国際原子力工学会議（ICONE）の設立に尽力された功績にもとづいて表彰されました。国際原子力工学会議は、1991年に第1回大会を東京で開催して以来、主として日米欧で開催され、本年は第21回大会を中国成都で開催する予定になっているものです。昨年の米国における大会で先生の功績を称える式典が催され、国際原子力工学会議のオーガナイザーの1人である岡本孝司東大教授が表彰状を受領され、先般秋山夫人に手渡されました。秋山先生は当研究所の第2代理事長を平成8年から21年にかけて務められ、研究所の発展に尽力されました。先生の受賞は我々の誇りとするところです。

## 研究所のうごき

(平成 25 年 1 月 2 日～4 月 1 日)

### ◇ 第 41 回評議員会

日 時：3 月 8 日 (金) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (5 階) 502 号室

議 題：

第一号議案 平成 25 年度事業計画および収支  
予算 (案) について

第二号議案 一般財団法人への移行について

第三号議案 その他

### ◇ 第 85 回理事会

日 時：3 月 14 日 (木) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (5 階) 502 号室

議 題：

第一号議案 平成 25 年度事業計画および  
収支予算 (案) について

第二号議案 一般財団法人への移行について

第三号議案 その他

### ◇ 月例研究会

#### 第 319 回月例研究会

日 時：1 月 25 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 「福島における環境修復への JAEA の取り組みについて」  
(独)日本原子力研究開発機構 福島技術本部  
福島環境安全センター 技術主席 時澤孝之 氏)
2. 「高レベル放射性廃棄物等の地層処分～最近の状況と議論から次を考える～」  
(プロジェクト試験研究部部長・副主席研究  
員 蛭沢 重信)

#### 第 320 回月例研究会

日 時：2 月 22 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 「風力発電の最近の動向」  
(三菱重工業 (株) 風車事業部 企画・営業部  
主席 (一社)日本風力エネルギー学会 理事  
上田悦紀 氏)
2. 「小形風力発電機における最近の動向」  
(那須電機鉄工(株) 研究開発部 開発課 課長  
(一社)日本小形風力発電協会 副 理事長  
徳山榮基 氏)

#### 第 321 回月例研究会

日 時：3 月 22 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 「世界の CCS の現状」

(プロジェクト試験研究部 主管研究員  
村上嘉孝)

2. 「石炭ガス化技術と大崎クールジェンプロジェクト～石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

(大崎クールジェン(株) 取締役 技術部長  
外岡 正夫 氏)

### ◇ 外部発表

[ 講演 ]

発表者：蓮池 宏

テーマ：新エネルギーの開発動向と課題

発表先：(一社)日本建設業連合会電力部会 (東京)

日 時：1 月 29 日

発表者：蓮池 宏

テーマ：車種選択モデルとコスト低減モデルを用  
いた次世代自動車の普及分析

発表先：日産自動車(株) 社内講習会 (神奈川県厚  
木市)

日 時：2 月 8 日

発表者：蓮池 宏

テーマ：再生可能エネルギーの大量導入時におけ  
る余剰電力の発生分析

発表先：HyGrid 研究会 (川崎重工業東京本社)

日 時：2 月 15 日

発表者：石本 祐樹

テーマ：再生可能エネルギーの大陸間輸送技術の  
経済性評価

発表先：東京大学 GS+I 総括寄附講座研究会  
(非公開)

日 時：2 月 15 日

発表者：黒沢 厚志

テーマ：気候変動とエネルギー

発表先：平成 24 年度第 10 回原子力道場 TV セミ  
ナー

日 時：2 月 27 日

発表者：後藤 信之

テーマ：ISO 50001 (エネルギーマネジメントシ  
ステム) について

発表先：TC163&TC205「2012 年度シンポジウム」  
主 催：建築・住宅国際機構 (ISO/TC163 国内  
委員会事務局)

日 時：3 月 18 日

発表者：小野崎正樹

テーマ：Concept of Chemical Complex for Low  
Rank Coal

発表先：Indonesia-Japan Clean Coal Technology Seminar

日 時：3月25日

発表者：内藤 正則，平川 香林，高橋 淳郎，マルコ・ペリグリニ，鈴木 洋明

テーマ：東京電力福島第一原子力発電所炉内状況把握の解析・評価

[第1報] 全体計画（内藤 正則）

[第2報] SAMPSON コードによる1号機の解析（平川 香林）

[第3報] SAMPSON コードによる2号機の解析（高橋 淳郎）

[第4報] Molten Core Relocation Analysis in Unit 3（マルコ・ペリグリニ）

[第5報] OECD-NEA BSAF プロジェクトにおける解析境界条件の設定（鈴木 洋明）

発表先：日本原子力学会 2013 春の年会（近畿大学）

日 時：3月27日

発表者：岡田英俊，内田俊介

テーマ：予測と監視の融合による配管減肉管理の高度化

[第12報] 予測と監視の融合のための1DFAC コードの適用（岡田英俊）

[第13報] FAC リスク評価の稼働プラントシステム安全評価への寄与（内田 俊介）

発表先：日本原子力学会 2013 春の年会（近畿大学）

日 時：3月28日

[ 寄稿 ]

発表者：黒沢 厚志，森山 亮，村上 嘉孝

テーマ：バイオエネルギー CCS

発表先：『日本エネルギー学会誌』（第92巻3号）

日 時：3月

## ◇ 人事異動

○2月28日付

（定年退職）

笠井 滋 原子力工学センター部長（副主席研究員）

○3月1日付

（嘱託採用）

笠井 滋 原子力工学センター部長（参事）

○3月31日付

（定年退職）

下岡 浩 エネルギー技術情報センター主管研究員兼プロジェクト試験研究部

（退職）

時松宏治 プロジェクト試験研究部主任研究員

（出向解除）

後藤信之 プロジェクト試験研究部主管研究員

萩原直人 プロジェクト試験研究部主管研究員

石田敬一 プロジェクト試験研究部研究員

○4月1日付

（嘱託採用）

山中秀一 研究顧問

（出向採用）

松井 徹 プロジェクト試験研究部主管研究員

中村正志 プロジェクト試験研究部主任研究員兼原子力工学センター

相澤芳弘 プロジェクト試験研究部主任研究員

大内 優 プロジェクト試験研究部研究員

（昇格）

徳田憲昭 プロジェクト試験研究部部長（副主席研究員）

久田 司 原子力工学センター主管研究員

Marco Pellegrini 原子力工学センター主任研究員

## 一般財団法人への移行のお知らせ

このたび、公益法人制度改革に伴い、当研究所は内閣総理大臣の認可を受け、平成25年4月1日付で一般財団法人へ移行いたしました。また、移行に際し、法人名称は「一般財団法人エネルギー総合工学研究所」となりましたので、併せてお知らせいたします。

これまでの旧法人「財団法人エネルギー総合工学研究所」の全ての権利義務は、新法人「一般財団法人エネルギー総合工学研究所」に継承され、当該権利義務に影響はございません。

今後ともよろしくお願い申し上げます。

平成25年4月

# 第 35 卷 通 卷 目 次

VOL. 35, No. 1 (2012.4)

「原子力の安全を問う」シリーズセミナー

総括シンポジウム

平成 24 年 12 月 17 日 (土) コクヨホール

|                                                   |                                                                                                                                                                                              |    |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 【開会挨拶】                                            | 東京大学名誉教授 元安全工学会会長 田村 昌三 .....                                                                                                                                                                | 1  |
| 【基調講演】 リスクガバナンスに向けて                               | 東京大学大学院教授<br>日本原子力学会会長 田中 知 .....                                                                                                                                                            | 3  |
| 【特別講演】 原子力の安全性をどのように確保できるのか？<br>— 巨大技術のリスクは制御可能か？ | フィンランド放射線・原子力安全庁長官 ユッカ・ラクソネン ...                                                                                                                                                             | 13 |
| 【パネル討論】                                           | テーマ：「原子力の安全を問う」～巨大技術のリスクは制御できるか～<br>モデレーター：松井 一秋 (財)エネルギー総合工学研究所 理事<br>パネリスト：田中 知 東京大学大学院教授 日本原子力学会会長<br>ユッカ・ラクソネン フィンランド放射線・原子力安全庁長官<br>田村 昌三 東京大学名誉教授 元安全工学会会長<br>谷口 武俊 東京大学大学院 客員教授 ..... | 23 |
| 【閉会挨拶】                                            | (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事 山田 英司 .....                                                                                                                                                             | 39 |
| 【とりまとめ】                                           | 「原子力の安全を問う」シリーズセミナーで指摘された原子力安全に係る論点 .....                                                                                                                                                    | 40 |
| 【事業計画】                                            | 平成 24 年度 事業計画 (財)エネルギー総合工学研究所 .....                                                                                                                                                          | 48 |
| 【研究所の動き】 .....                                    |                                                                                                                                                                                              | 55 |
| 【第 34 巻通巻目次】 .....                                |                                                                                                                                                                                              | 57 |
| 【編集後記】 .....                                      |                                                                                                                                                                                              | 61 |

VOL. 35, No. 2 (2012.7)

|           |                                                                                                                                                                                                                          |                                                   |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----|
| 【巻頭言】     | 今後のエネルギーについて二項対立を超えた議論を<br>東京大学大学院教授 前日本原子力学会会長                                                                                                                                                                          | 田中 知                                              | 1  |
| 【座談会】     | 化石エネルギー資源は確保できるか？<br>和光大学 経済経営学部 経済学科 教授<br>(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC)<br>石油開発推進本部 石油調査部 上席研究員<br>(財)石炭エネルギーセンター (JCOAL)<br>情報センター長<br>電源開発 (株) (J-POWER) エネルギー業務部長<br>東京ガス (株) 資源事業本部 原料部長<br>司会 (財)エネルギー総合工学研究所 研究顧問 | 岩間 剛一<br>伊原 賢<br>原田 道昭<br>吉田 篤司<br>野畑 邦夫<br>疋田 知士 | 3  |
| 【寄稿】      | 欧米諸国における電気事業の現状<br>～発送電分離, 卸市場活性化, 小売市場自由化を中心に～<br>一般社団法人 海外電力調査会 調査部 副主任研究員                                                                                                                                             | 大西 健一                                             | 19 |
| 【寄稿】      | 持続可能な発展と「エネルギー学」の役割<br>筑波大学 産学リエゾン共同研究センター長 教授                                                                                                                                                                           | 内山 洋司                                             | 31 |
| 【寄稿】      | 福島以後のパラダイムシフト<br>～村から脱却して世界視野の取組みに～<br>法政大学大学院 デザイン工学研究科 客員教授                                                                                                                                                            | 宮野 廣                                              | 43 |
| 【調査研究報告】  | 石炭ガス化の現状と化学原料製造<br>～中国におけるガス化炉の運転状況を中心に～<br>プロジェクト試験研究部 主管研究員                                                                                                                                                            | 坪井 繁樹                                             | 53 |
| 【事業報告】    | 平成 23 年度 事業報告の概要 (財)エネルギー総合工学研究所                                                                                                                                                                                         |                                                   | 58 |
| 【研究所のうごき】 |                                                                                                                                                                                                                          |                                                   | 60 |
| 【編集後記】    |                                                                                                                                                                                                                          |                                                   | 62 |

VOL. 35, No. 3 (2012.10)

|           |                                           |       |      |    |
|-----------|-------------------------------------------|-------|------|----|
| 【巻頭言】     | エネ総研の8年間, 回顧と御礼                           |       |      |    |
|           | 前(財)エネルギー総合工学研究所 専務理事                     | 山田 英司 | ………… | 1  |
| 【寄稿】      | 分散形エネルギーシステムによる<br>エネルギー供給維持性能に関する評価      |       |      |    |
|           | 東京農工大学大学院 工学研究院<br>先端機械システム部門 教授          | 秋澤 淳  | ………… | 3  |
| 【寄稿】      | 分散型エネルギー導入に関わる評価指標と試算                     |       |      |    |
|           | (株) 三菱総合研究所 環境・エネルギー研究本部<br>チーフコンサルタント    | 小西 康哉 | ………… | 10 |
| 【寄稿】      | ネガワットアグリゲータの状況と今後                         |       |      |    |
|           | (株) NTT ファシリティーズ 事業開発部<br>スマートビジネス部門長     | 横山 健児 | ………… | 18 |
| 【寄稿】      | ISO50001(エネルギーマネジメントシステム国際規格)の<br>概要と展望   |       |      |    |
|           | (独) 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門<br>主任研究員        | 西尾 匡弘 | ………… | 24 |
| 【調査研究報告】  | 日米欧における HEMS の最新開発動向                      |       |      |    |
|           | 前プロジェクト試験研究部 主任研究員                        | 野口 英樹 | ………… | 35 |
| 【調査研究報告】  | 世界の石炭ガス化技術の全容<br>～ IGCC での実績と最近のトラブル事例調査～ |       |      |    |
|           | プロジェクト試験研究部 主管研究員                         | 入谷 淳一 | ………… | 46 |
| 【事業案内】    | 集光型太陽熱技術研究会 (STE 研究会) の発足について             |       |      |    |
|           | (財)エネルギー総合工学研究所                           | …………… |      | 54 |
| 【研究所のうごき】 | ……………                                     |       |      | 56 |
| 【編集後記】    | ……………                                     |       |      | 58 |

VOL. 35, No. 4 (2013.1)

|          |                                                                                                                                                  |       |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|
| 【開会挨拶】   | (財)エネルギー総合工学研究所 理事長                                                                                                                              | 白土 良一 | 1  |
| 【来賓挨拶】   | 経済産業省大臣官房 技術総括審議官                                                                                                                                | 朝日 弘  | 3  |
| 【特別講演1】  | リスク学から見たシステムの保全<br>～原子力発電所を念頭に<br>京都大学名誉教授／(財)国際高等研究所フェロー                                                                                        | 木下 富雄 | 5  |
| 【研究成果発表】 | 2050年に向けたエネルギー技術開発<br>プロジェクト試験研究部 主任研究員 時松 宏治<br>プロジェクト試験研究部 主任研究員 森山 亮<br>プロジェクト試験研究部 部長 蓮池 宏<br>研究理事 小野崎正樹                                     |       | 22 |
| 【特別講演2】  | 電力システムの新たな課題とその解決<br>～エネルギーインテグレーション：分散電源と技術開発<br>東京大学生産技術研究所 特任教授                                                                               | 荻本 和彦 | 35 |
| 【パネル討論】  | テーマ：新たなエネルギー戦略と技術開発<br>モデレーター：山地 憲治 (公財)地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長<br>パネリスト：荻本 和彦 東京大学生産技術研究所 特任教授<br>藤森禮一郎 エネルギージャーナリスト<br>小野崎正樹 (財)エネルギー総合工学研究所 研究理事 |       | 46 |
| 【閉会挨拶】   | (財)エネルギー総合工学研究所 副理事長                                                                                                                             | 三代 真彰 | 60 |
| 【研究所の動き】 |                                                                                                                                                  |       | 61 |
| 【編集後記】   |                                                                                                                                                  |       | 63 |

## 編集後記

先日、道路両側に雪の壁が残る中、松川地熱発電所を訪問する機会を得た。この、日本初にして世界でも4番目の地熱発電所は、盛岡の北西50km、十和田八幡平国立公園の中にあり、1966年のスタート以来47年の長い操業実績を有する。当初、フェロアロイ製造用の電力を得るために日本重化学工業によって建設されたが、現在は東北電力グループの東北水力地熱株式会社が運営する。生産井から導かれる蒸気によってタービンが駆動され、当初は9,500kW、最盛期に23,500kW、現在は11,000kWを発電している。青空に恵まれた早春の寒気の中、冷却塔から湯気が立ちのぼり、また塔下部からは何本も長いツララが垂れ下がる。忘れがたい風景であった。

世界各国の熱水資源量と活火山数には比例関係のあることが知られており、日本は、米国の3,900万kW、インドネシアの2,700万kWに次ぐ第3位の2,300万kWの地熱資源を保有するとされている。しかしながら、2011年の地熱発電設備容

量で見ると、1位の米国310万kWよりはるかに少なく、第8位54万kWと大きく出遅れている。すなわち、伝統的な温泉などを除けば、火山国でありながら地熱利用は十分に行われているとは言い難い。開発が進んでいない理由が、国立公園法による規制および温泉業との摩擦であることは多くの人が知るところである。

福島原発事故以降、太陽光・風力発電に比べて安定した発電が可能な地熱エネルギーに対する期待が高まり、規制の若干の緩和もあって、そこそこで新たな開発プロジェクトがスタートしつつあるようで大変喜ばしい。大出力を得にくいなどの問題もあるが、コスト等検証委員会報告書(H23.12.19.)では、地熱発電コストを9.2 - 11.6円/kWhと見積もり、石炭やLNG発電と肩を並べる評価を与えている。長期的には高温・深部の熱を利用する高温岩体発電なども視野に入れて、国産エネルギーの一つとして大きな柱に育つことを期待したい。

編集責任者 正田知士

## 季報 エネルギー総合工学 第36巻第1号

平成25年4月20日発行

編集発行

一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(8F)

電話 (03) 3508-8894

FAX (03) 3501-8021

<http://www.iae.or.jp/>

(印刷) 株式会社日新社

※ 無断転載を禁じます。