

日本のエネルギー政策と今後の展望

内田 裕久*

Japan's Energy Policy and Future Aspect

by

Hirohisa UCHIDA*

(Received on Dec.20,2012)

Abstract

Since the attack of the history-recorded natural and nuclear disasters on 11th March 2011, Japan is facing serious problem in dealing with drawing up a new energy policy and a new energy basic plan. Whether or not Japan will maintain nuclear power generation in future is opaque at the moment. This report focuses on the transition of energy policy from past to present, and discussion is made on technological advantages and disadvantages of energy systems such as nuclear, thermal and renewable energy in order to consider future energy policy. The combination of renewable and hydrogen energy is essential for effective use of renewable energy in a local area or in a smart community because generated energy from the sun or wind can be stored as hydrogen, and be applied to fuel cell systems to generate electricity. By discussing about various energy systems, this report suggests future aspects in energy utilization.

Keywords: Energy Policy, Nuclear Power, Thermal Power, Renewable Energy, Hydrogen Energy

1. はじめに

2011年3月11日に東日本大震災が発生し、東京電力福島第一原子力発電所は巨大地震と巨大津波に襲われた。その結果、非常用電源や外部電源がすべて使えない全電源喪失状況になり、冷却機能を失った原子炉3基がメルトダウンあるいはメルトスルーという過酷事故へと拡大した。ベント、水素爆発、圧力抑制プールの爆発、冷却水漏れなどにより、大気中、土壌、海水、地下水へ放射性物質が放出され、地元福島県はじめ、関東の広範囲を放射性物質で汚染する結果となった。ホットスポットと呼ばれる比較的狭い汚染地域まで含めれば、東京都、神奈川県、静岡県にまで放射性物質は飛散した。この事故は、予想もつかない事故処理と損害補償コストを含め、原子力発電は異常に高くつくことを示した。

事故から2年近くを経過した現在も、日本政府は原子力政策について、あるいはエネルギー基本計画を明確な方針を打ち出せない状態にある。2011年12月16日、野田佳彦首相（当時）は「原発の事故そのものは収束に至ったと判断される」と表明した。しかし、廃炉まで何十年もかかり、

避難民が帰宅できる可能性も分からない状況で事故収束宣言を出したのは拙速だという批判もある。

日本のエネルギー自給率は4%であり、96%を輸入に依存している。準国産エネルギー技術といわれる原子力発電は、メルトダウン、メルトスルーという過酷事故を起こせば、被害は計り知れないほど広範囲わたり、長期にわたる住民の健康被害も懸念されることが分かった。

いま私たちに必要なことは、日本が置かれた立場から現実を直視し、エネルギー政策をどのような方向へ導き、私たちが将来に向けてどのような生活を望むのかという、エネルギーセキュリティとヒューマンセキュリティについて考えることである。

本稿では、まず日本のエネルギー政策を振り返り、日本の電力供給を支えてきた火力、原子力発電の現状について、また再生可能エネルギーや水素エネルギーなど現在注目されている新エネルギーシステムについて考察し、今後のエネルギー政策のあり方について論じたい。

2. 日本のエネルギー政策の変遷¹⁾

1960年4月、中東の産油国を中心に、イラン、イラク、クウェート、サウジアラビア、ベネズエラの5カ国は石油産

* 工学部原子力工学科教授

出国としての利益を守るため石油輸出国機構(OPEC)を設立した。1970年代には石油価格決定権を先進国の国際資本から奪い、石油価格の上昇を実現するようになった。資源ナショナリズムとも呼ばれる動きであった。日本が高度経済成長を遂げた70年代には、中東戦争の頻発がホルムズ海峡の原油運搬を脅かし、日本の原油輸入が滞り、OPECの影響と相まって、原油価格が1バレルあたり数ドルから30ドル以上へと一気に高騰し、いわゆるオイルショックを体験することになった。通産省(現経産省)は1974年に、サンシャイン計画を打ち出し、日本の脆弱なエネルギー供給構造の強化を目的として、石炭液化、地熱発電、太陽光発電、水素製造・利用といった新エネルギー技術の開発に取り組み始めた。クリーンな水素利用技術が注目された背景には、60年代後半からはじまった高度経済成長時代に環境汚染への配慮が不足し、その結果、石炭煤煙による大気汚染や光化学スモッグといった公害問題の顕在化があった。

1993年からは2000年にかけて、ニューサンシャイン計画として、大型風力、燃料電池技術開発、超伝導応用技術、セラミクスガスタービン、分散型電力貯蔵などの研究開発が行われた。現在、注目されている太陽光、風力、地熱など再生可能エネルギー利用技術や、水素・燃料電池技術の開発は、この時から始まっていた。

発電電力量に注目すると、60年代から始まった高度経済成長に伴い、発電電力量は、1,000億kWh(1960年)、3,000億kWh(1970年)、4,500億kWh(1980年)、7,500億kWh(1990年)、9,500億kWh以上(2000年)と急速な伸びを示した。この電力需要を支えたのは主に、70年代は石油、80~90年代は石油・天然ガス火力と原子力、2000年代は石炭・天然ガス火力と原子力であった。

原子力発電は、地球温暖化の要因とされている二酸化炭素を排出しないというクリーンエネルギーの観点から積極的に導入されてきた経緯もある。しかし、地球温暖化に関しては、ICPP(Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)が第三次報告書で地球温暖化と大気中二酸化炭素濃度上昇に関して偽りのデータ報告を行い、信頼性を大きく低下させた。最近では地球の平均温度の推移と二酸化炭素濃度との間に明確な関係がないことも指摘されている^{2,3)}。2012年には太陽活動との関係で、国内外の研究機関から地球寒冷化の危惧も指摘されている。二酸化炭素と気候変動との因果関係については、今後も注視してゆく必要がある。

クリーンという要素を除いても、エネルギー資源を持たない日本が貴重なウラン資源を利用した核分裂反応から莫大なエネルギーを供給できる原子力発電技術を利用してきた理由は十分にある。しかし、日本の核物質の利用あるいは制限については、世界政治の中における日米間の政治的要因も否定でない。

3. 原子力発電と原子力工学

世界で唯一の被爆国日本は平和利用を目指して原子力発電技術に取り組んだ。東海大学創立者松前重義博士は、広島に投下された原子爆弾被害の調査団長を務めた経験に基づき、「原子力の平和利用」を徹底して追求したことはよく知られている。原子力基本法の制定、原子力の平和利用を目指した総理府科学技術庁の設置など、日本の原子力推進における松前重義博士の功績は大きい。全国の大学の中で、東海大学は原子力工学という学問分野を初めて教育に取り込んだことでも知られている⁴⁾。

米国から技術を取り入れ、より良い原子力技術を開発してきたはずだった。しかし、昨年の大震災をきっかけに起きた原子炉事故は、日本の原子力発電技術の安全管理や危機管理が未熟なことを世界に示した⁵⁾。

東日本大震災前には、国内で54基の原子炉が稼働していた。2010年度の政府のエネルギー基本計画では、2030年までに77基へと原子力発電所を増設し、設備稼働率を85~90%という世界最高水準を目指していた。現在では福井県大飯にある2基の原子炉のみが稼働している。

一般的に、「原子力」という言葉は「原子力発電」という意味でつかわれている。しかし、原子力工学というのは、原子の持つ莫大な力を解放させ、利用する学問分野である。市場からみると原子力技術は、発電技術と、放射線を利用した産業・医療技術に分けて考えることができる。2005年のデータでは、発電技術市場は7兆300億円規模、産業・医療市場は8兆6000億円規模である⁶⁾。

放射線は放射性元素の崩壊に伴い放出されるアルファ線などの粒子線や、ベータ線、ガンマ線といった電磁波を意味する。発電以外の分野でも、放射線は非破壊検査、ラジアルタイヤの成形、医療機器の滅菌、半導体加工、農業分野の品種改良といった産業分野で、またエックス線、ガンマ線、重粒子線は身体検査やがん治療など医療分野できわめて重要な手段として利用されている。

原子力工学教育という視点で考えると、原子力発電技術に関しては、より安全な原子力発電技術の設計、設置、運転技術、より確かな危機管理の確立に向けた人材育成が求められる。また事故を起こした福島第一原子力発電所の処理を含め、古くなった原子力施設の解体処理にも、特殊ロボットの開発など、原子力専門技術者の養成は不可欠である。また、広範囲に汚染された日本では、環境・食品の放射線測定など、放射線取扱主任者のような専門家養成も急務である⁵⁾。

4. 電源多様化の必要性⁷⁾

いま急がねばならないことは、電源の多様化による電源セキュリティの強化である。原子力発電用のウランの可採年数は約100年といわれているが、原子力発電を導入する途上国が増えるにしたがい可採年数は短くなる。

4. 1 火力発電

昨年の原子力発電事故以来、原子力発電の代わりに火力発電が伸びている。世界トップクラスの発電効率と二酸化炭素抑制技術をもつ日本の石炭、天然ガスによる火力発電は、原子力発電代替として極めて重要な役割を果たすようになってきており、海外への火力プラント輸出も増加している。最新のガスタービン・コンバインドサイクル発電の効率は60%以上という高レベルにまで達しており、従来の火力発電効率の1.5倍になる⁸⁾。

米国の3倍以上、欧州の2倍近い値段で天然ガスや石油を主に中東から購入している日本にとって、火力発電の増加による経済的負担は大きい。しかし、シェールガスの発見により、世界はガスシナリオで動き始めている。安い天然ガスやシェールガスの購入のために日本の資源外交能力が厳しく問われるところでもある。現在、ガス会社や商社が独自にシェールガスを安く海外から購入する方向へ動いており、今後、天然ガス火力発電による発電価格の上昇も抑制されるという見通しもある。

火力発電に関しては、化石燃料の高騰、二酸化炭素排出が批判されるが、原子力発電事故による社会、経済活動の混乱リスク、膨大な損害コストを考えると、化石燃料による火力発電の安全性は比較にならないほど安全といえる。現在、二酸化炭素を地下に溜める貯留技術や、新燃料転換研究開発も進んでおり、非在来型のシェールガス、天然ガスハイドレードの利用開発にも注目すべきである。

4. 2 再生可能エネルギー

太陽光、風力、地熱、バイオマスといった再生可能エネルギーが原子力発電の代替源として注目されている。しかし、再生可能エネルギーはエネルギー密度が低く、出力安定性に欠けるため、発生エネルギーを貯蔵して、利用するのが原則である。

再生可能エネルギーはエネルギー密度が低く、供給安定性に欠けるため、原子力発電や火力発電の代替にできるほど発電量は期待できない。本来、太陽光、風力、地熱、バイオマスといった再生可能エネルギーは、特定の地域で創りだし、そこで消費する。すなわち地産地消が原則である。大規模な電力供給を行う原子力発電や火力発電とは異なり、再生可能エネルギーは分散型エネルギーシステムという特徴を持つ。巨大な太陽光や風力発電施設を建設して、送電線で電力を遠方へ供給し、電力ロスを生み出すような発想はやめるべきであろう。

2012年7月、日本では再生可能エネルギーに対して固定価格買い取り制度(FIT)が導入された。その結果、メガソーラーなど大型太陽光施設が各地に建設されている。建設目的は既設の電力網へ接続し、エネルギーを販売し、利益を得ることである。2013年3月までの固定買い取り価格と期間は、2013年3月まで太陽光発電42円/kWh(10kW以上は20年、10kW未満は10年)、風力発電23.1円/kWh(20kW以上、20年)、小型風力57.75円/kWh(20kW未満、20年)とな

っている⁹⁾。

しかし、不安定な再生可能エネルギーは、各地域に適したシステム(太陽光、風力、地熱、バイオなど)で発電し、電力を貯蔵し、必要に応じて24時間利用するスタイルが原則である。そのためには大電力貯蔵を目的とした蓄電技術の開発や、電力の安定供給を確保するためのスマートグリッド化など解決課題は多い。

4. 3 ドイツとデンマークの電力供給

ドイツはEUの電力網に組み込まれており、ドイツが原子力発電を中止しても、隣国から容易に電力を導入できる。2012年1~6月のデータ¹⁰⁾によれば、原子力発電への依存性は20%で、一方、化石燃料(褐炭、石油、天然ガス)による火力発電依存度は54%と高い。したがって太陽光、風力の不安定さも十分に補える。ドイツの電力供給に占める再生可能エネルギーの割合は26%(内訳:風力37%、バイオマス22%、太陽光21%、水力16%、その他4%)で、水力を除けば再生可能エネルギーが占める割合は10%であり、火力発電が占める割合は高い。脱原子力発電を決めたドイツでは、火力発電への依存性は増えている。

デンマークの風力発電はよく知られているが、デンマークの沖合は遠浅で、容易に風力タワーを建設できること、比較的強い風が常に吹いていて、風力発電に適した自然環境にある。またデンマークはEUの電力網に繋がっているため、再生可能エネルギーの変動の影響を受けにくい状況にある。デンマークは2020年までに総電力の50%を風力発電で、2050年までに100%を再生可能エネルギーで供給する計画である¹¹⁾。

デンマークの人口は約560万人で、兵庫県または北海道の人口に等しい。人口1億2700万人以上の産業立国日本とデンマークの電力需給状況や発電システムを直接比較することに意味はない。私たちが参考とすべきことは、デンマーク国民のライフスタイル、価値観であり、政治やエネルギー政策決定への市民の参加、関与の仕方であろう。学ぶべきことは多い。

今年から、デンマーク工科大学と東海大学はTV会議を使ったENERGY TRANSITIONというセミナーを継続して開催している。今後も両国のエネルギー政策を中心にセミナーを続けてゆく予定である。

5. 水素利用技術の現状¹²⁾

水分子は水素原子と酸素原子からできている。水の電気分解から水素は容易に生成できる。生成された水素は、気体水素あるいは液体水素として貯蔵できる。水素原子を液体水素よりも高い密度で吸収、貯蔵できる合金があり、水素吸蔵合金と呼ばれる。近年、非金属系の水素貯蔵材料の研究開発も盛んに行われているが、まだ実用化レベルに耐えられる材料は見つかっていない。以下、代表的な水素利

用技術について述べる。

5. 1 燃料電池技術

水の電気分解反応の逆反応を考えると、水素原子と酸素原子を反応させて水分子を生成させるとき電気が発生する。燃料電池はこの反応を利用している。

現在、もっとも広く利用されている固体高分子型燃料電池(PEFC)は、定置型と自動車搭載用として商品化されている。定置用には家庭用エネファームのように、天然ガス(メタンガス)を主成分とする都市ガスを水素に改質して、燃料電池を稼働させて、発電している。標準タイプの出力は750kWで、燃料電池内部の反応で生じる高温は、温水として利用される。電気と熱の総合利用効率は80%近いが、発電だけでみると30%以上というレベルになる。2011年10月から、固体酸化物型燃料電池(SOFC)がエネファームに使われるようになり、80℃程度で作動する固体高分子型にくらべ、固体酸化物型燃料電池は700℃と運転温度は高い。しかし、白金触媒が不要で、発電効率も高めになっている。エネファームは販売累積台数が約3万台を超えている。

自動車用の燃料電池には固体高分子型が使われており、日本の自動車メーカーは2015年に燃料電池自動車(FCV)の商品化を計画している。2025年までには、FCV250万台以上を市場に導入し、水素供給ステーションは約1000か所の建設を予定している。

5. 2 水素吸蔵合金の利用

水素を水素吸蔵合金に吸収させると発熱反応が生じ、貯蔵されている水素を合金から放出させると吸熱反応が生じる。この可逆的な水素吸収・放出反応は、エネルギーやエポルタといったニッケル水素蓄電に利用されている。水素吸蔵合金は電池の電解溶液中で負極として、充電時には水素イオンを吸収し、放電時には水素イオンを放出する。

可逆的な熱反応に注目し、水素放出による吸熱反応を繰り返すことで、周囲の温度を低下させ、冷凍機や冷水製造が可能になる。愛媛県西条市では、水素吸蔵合金の可逆的な熱反応と、工場排熱を利用して、冷凍機や冷水製造を行ってきた。0~5℃の冷水は、イチゴを栽培するビニールハウスに導入することで、夏でもイチゴ栽培が可能になり、通年栽培を可能にしている。また、冷水を陸上養殖に応用し、±1℃の精度で水温調節が可能になり、アマゴ養殖にも成功している¹³⁾。

5. 3 水素と再生可能エネルギー

水素は水の電気分解から製造できる点に注目すると、発電方法に制約はない。太陽光発電による電力で水を電気分解し、発生した水素を水素吸蔵合金に貯蔵する運転は、湘南校舎で80年代から行われてきた。当時、燃料電池の開発レベルが低く、注目されなかったが、10年間、連続して稼働させていた。

太陽光も風力も、天候に依存して出力は不安定であるが、

電力を貯蔵しておけば、いつでも取り出して利用することができる。貯蔵方法には、電気として蓄電池に貯蔵するか、派生する電力で水を電気分解し、発生した水素を水素吸蔵合金や高压ガスタンクに貯蔵することができる。安全性を考えれば、大気圧レベルで水素を貯蔵できる水素吸蔵合金による水素貯蔵が理想である。

電力貯蔵用蓄電池には、NaS蓄電池、レドックス・フロー蓄電池、リチウムイオン蓄電池、ニッケル水素蓄電池などがある。大規模電力貯蔵にはNaS蓄電池が使われているが、高温に維持しなければならず、エネルギーロスがある。レドックス・フロー蓄電池も大電力貯蔵に注目されて、大型実証試験が行われている。リチウムイオン蓄電池は、携帯電話やPCなど小型デバイスでは広く利用され、電気自動車などでも使用されるようになってきたが、耐久性、安定性にまだ課題がある。ニッケル水素蓄電池は、トヨタプリウスやホンダインサイトなどのハイブリッド車ですでに10年以上にわたり世界中で使われており、耐久性も十分に実証されている。川崎重工はギガセルと称した大型ニッケル水素蓄電池を商品化しており、東京モノレール非常用電源、札幌市電などに搭載した実績を持ち、大電力貯蔵に向けた開発が進められている。

再生可能エネルギーは、水素と組み合わせることで、創エネ、蓄エネが可能になり、効率の良いエネルギー利用、省エネが実現できる。神奈川県では、スマートコミュニティに水素技術を組み込んだ、水素社会の実現に向けた取り組みを始めている。

各地域の特徴を生かした再生可能エネルギーで発電し、排熱利用も含めた水素技術を地域に適用し、あるいは貯蔵した水素で発電し、省エネ効果を向上させ、高効率のエネルギー利用が可能になる。

6. 結言

どのような技術でも、信頼と信用が確立できなければ社会は受け入れない¹⁴⁾。原子力分野では「どのような技術でもある確率で事故は起きることを国民は理解すべきだ」というリスク論が先行していた。しかし、社会は確率論で技術を受け入れない。日常生活で利用する新幹線や路線バスにシートベルトはない。水平飛行中の飛行機内で乗務員はサービス業務で歩き回る。「事故は起きない」という思い込みだが、信頼できるハード技術と運航技術が安心館を醸し出している結果である。社会で役立つ技術とは、人を幸せにするものであって、不幸にするものであってはならない。

昨年東京電力福島第一原子力発電所の事故は、私たちが無意識に使ってきたエネルギーについてあらためて考えるきっかけを与えた。安心して生活できるヒューマンセキュリティという観点から、普遍性、合理性、先端性、経済発展を優先的に追い求めた科学技術から、多様な文化、伝統、価値観、日常生活といった人間環境を意識する科学技

術 —Human Environment Conscious Technology = Eco Technology という考え方へと発想を変えてゆく必要があるだろう。

エネルギー問題は各国で状況が異なるように、日本国内でも地域による自然環境や人間環境によってエネルギーへの取り組み方は異なる。地域固有の特徴が現れる再生可能エネルギーという分散型エネルギーシステムにも違いが出てくる。特定のエネルギーシステムをあらゆる地域に普遍的に適用するのではなく、各地域の自然環境、人間環境に適したシステムを適用すべきである。その結果、はじめて持続可能性という言葉が現実的になってくる。

参考文献

- 1) 内田裕久「クリーンエネルギーとしての水素利用」望星 東海教育研究所 1989年1月号 P.54-59.
- 2) 深井 有「気候変動とエネルギー問題」中公新書 2011年7月25日.
- 3) F. Vahrenholt “Wir warden hinters Licht gefuehrt (私たちは騙されている)”, Der Spiegel, July 17th 2012, pp.134-138.
- 4) 松前達郎 巻頭言「原子力教育の先駆け, 東海大学」日本原子力学会誌, Vol.52, No.5, p.1 (2010).
- 5) 内田裕久「原発再稼働問題—原子力教育現場も困惑」日経産業新聞 Techno Online 2012年4月13日.
- 6) 科学技術庁「放射線利用の経済規模」平成12年3月.
- 7) 内田裕久「急務の電源多様化—科学技術立国の真価問う」日経産業新聞 Techno Online 2012年10月14日.
- 8) 日本経済新聞「富士電機, 高効率の火力設備事業 沖縄電力に納入」2012年6月25日.
- 9) 首相官邸ホームページ「再生可能エネルギーの固定買取価格」.
- 10) ドイツエネルギー・水資源協会 BDEW : German Association of Energy and Water データより.
- 11) P. E. Morthorst, “The Current Situation in Sustainable Energy in Denmark”, from Proc. of the 1stSeminar on Energy Transition, Tokai University-Technical University of Denmark on May 30th 2012.
- 12) H. Uchida, “Policy and Action Programs in Japan–Hydrogen Technology as Eco Technology”, Schriftens des Forschungszentrum Juelich, Energy and Environment, Plenary Talk Section of the World Hydrogen Energy Conference 2010, Essen, Germany, 78, pp.105-115 (2012).
- 13) 「新たなエネルギーへの転換に向けて」(柏木智帆・内田裕久インタビュー記事) 雑誌 TOKAI 168, pp.4-9 (2012).
- 14) 内田裕久「社会が受け入れる技術—信頼・安心感が大前提」日経産業新聞 Techno Online 2012年1月27日.

著者紹介



内田裕久

東海大学工学部原子力工学科 教授

1949 年生まれ。1977 年シュツットガルト大学化学科金属学専攻博士課程修了 理学博士 (Dr. rerum naturalium)

【職歴】 1975-81 年ドイツ、マックス・プランク金属材料研究所研究員。1981 年 - 現在、東海大学研究推進部長、未来科学技術共同研究センター所長、工学部長、第二工学部長、情報デザイン工学部長、副学長、国際教育センター所長、理事を歴任。現在、評議員。この間、(財)神奈川科学技術アカデミー (KAST)「内田超磁性材プロジェクト」リーダー、パリ第 11 大学 (オルセー) 招聘教授など兼任。

【専門】 水素貯蔵材料、太陽・水素エネルギー、希土類系機能性材料、真空・薄膜工学など。**【現在の研究・業務・関心事】** 水素エネルギーの農水産業への応用、水素による再生可能エネルギーの貯蔵・利用、エコテクノロジーと人間の安全保障、高地トレーニング。

【研究成果・受賞・著作など】 発表論文：材料系論文：236 報、科学技術・文明論文：38 報。著書：「金属と水素」(内田老鶴圃)他 17 件。国際会議招待講演：46 件。受賞：日本希土類学会賞、国際水素エネルギー協会 (IAHE) 賞、文部大臣賞など。

【現在の代表的社会活動】 学術誌 Journal of Alloys and Compounds (JALCOM-Elsevier) 名誉編集者、International Journal of Hydrogen Energy(IJHE-Elsevier) 編集理事、国際水素エネルギー協会 (IAHE) 副会長・理事、日本希土類学会理事、SAS(Society of Advanced Science) 会長、日本経済新聞社科学技術部コラムニスト、(独) 新エネルギー・産業技術開発機構 (NEDO) 技術委員、(独) 科学技術振興機構 (JST) 研究アドバイザー・評価委員、(公財) 本田財団理事、(公社) 未踏科学技術協会理事、(公財) 松前国際友好財団理事長、神奈川県参与など。

【活動状況公開】 URL：http://www.ex.u-tokai.ac.jp/uchida_lab

Google 検索 [内田裕久、東海大学] など。