

# 地球温暖化防止のための長期エネルギービジョン

## 第2回 途上国の課題と原子力・炭素回収隔離の役割

キヤノングローバル戦略研究所 氏田 博士，段 烽 軍，湯 原 哲 夫

途上国、特に中国、インドとアセアン諸国において、エネルギー構成の低炭素化と多元化プロセスが先進国より数十年遅れるが、人口と経済の成長に伴いエネルギー消費が大幅に増加するため、長期的には省エネだけでなく化石燃料への炭素回収隔離（CCS）や発電技術の燃料転換など、先進国同等あるいはそれ以上の低炭素化と多元化が必要となることが分る。

長期のエネルギー構成の中で、再生可能エネルギーとともに原子力も重要な役割を果たすことを明らかにした。しかし、福島第一原発事故を受け、原子力エネルギーに対する懐疑論があるのも事実である。また、今後のエネルギー需要の伸びを考えれば化石燃料が必要であるので、地球温暖化を防止するうえでCCSもまた必須の技術となることも示した。これもまた隔離技術の信頼性と隔離ポテンシャルに疑問が呈されている。そこで、原子力フェーズアウトとCCS無しの世界を考えたパラメータサーベイを実施し、いずれが無くなってもエネルギーシステムコストは4割増加することが分った。

### I. はじめに

先の解説のシミュレーション結果により、途上国において、長期的には先進国同等あるいはそれ以上の低炭素化と多元化が必要となることが示された<sup>1)</sup>。その実現すべき対策と地域を検討する。

長期のエネルギー構成の中で、再生可能エネルギーとともに原子力も重要な役割を果たすことは、シミュレーションにより明らかである<sup>1)</sup>。しかし、福島第一原発事故を受け、原子力エネルギーに対する懐疑論があるのも事実である。また、今後のエネルギー需要の伸びを考えれば化石燃料が必要であるので、地球温暖化を防止するうえで炭素回収隔離（CCS）もまた必須の技術となる。これもまた隔離技術の信頼性と隔離ポテンシャルに疑問が呈されている。そこで、本解説では、原子力フェーズアウトとCCS無しの世界を考えたパラメータサーベイを実施し、電源構成、CO<sub>2</sub>排出量、システムコストなどをZ650排出制約シナリオと比較する<sup>2)</sup>。

Examination of a Globally Sharable Mid- to Long-Term Vision for a New Climate Regime (1) Developing Country Problems and Nuclear Role: Hiroshi UJITA, Fengjun.DUAN, Tetsuo YUHARA

(2014年7月4日受理)

#### ■前回のタイトル

第1回 長期ビジョンに基づくエネルギーシステム構成

### II. 先進国と途上国に必要なエネルギー起源CO<sub>2</sub>削減

グローバルで衡平性を持つCO<sub>2</sub>排出経路の実現方策、すなわち現在のエネルギーと環境の政策を継続するBAUから地球温暖化を抑制できるZ650を実現するためには、どこでどのようにエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出を削減しなければならないかを検討する。シナリオ解析の結果をまず地域別で見ると、第1図に示すように、これから経済が大きく成長していく途上国における貢献が期待されている。特に中国、インドとアセアン諸国における削減量が、2050年にそれぞれ削減総量の31%、13%と8%と半分以上を占める。即ち、エネルギー消費が大幅に増加していく国の低炭素化が、温暖化抑制のカギを握っている。先進国では、アメリカの削減量が一番多く、2050年に削減総量の14%を占める一方、日本における削減量は2050年まで削減総量の1%台で推移している。これは、先進国間においても、人口推移と経済成長によるエネルギー消費の伸び率やエネルギー構成とエネルギー効率の相違などにより削減ポテンシャルが異なることを示している。

また、先の解説の第6図の技術別の削減量から見ると<sup>1)</sup>、省エネ効果の割合が一貫して大きく、2030年と2050

年においてそれぞれ削減総量の42%と32%を占める。CCSは、2030年以後に大きく貢献し、2050年に削減総量の27%を超え、省エネに続いて貢献度が二番目となる。次に重要なのは発電技術の燃料転換であり、2030年と2050年においてそれぞれ削減総量の25%と27%を占める。再生可能エネルギーの役割が中心であるが、後半になると、原子力の貢献度も高くなる。運輸部門と産業民生部門における燃料転換による削減は、資源と技術の制約があるため、貢献度が低い。

以上まとめると、2050年までにおいては、Z650を実現するために、途上国の火力発電所効率向上、また産業の高効率化や運輸の燃費向上などの省エネ、の推進が最も重要であるが、世界全体で、特にエネルギー需要の伸びが著しい途上国を中心に、再生可能エネルギーと原子力の大規模利用と同時にCCSの展開も必要である。

### Ⅲ. 原子力フェーズアウト及びCCS無のケースの代替技術

2020年から原子力プラントの新設無しで50年寿命とする原子力フェーズアウトNPOと、火力プラントへのCCS設置を無くすCCS無NoCCSのケースを、Z650と比較する。

#### 1. 2050年の姿

第2図に2050年の電源構成を、NPO及びNoCCSについて示す。いずれのケースでも、再生可能エネルギーが大幅導入される。

原子力フェーズアウトとなればその電力量は大幅に減少するが、2050年において、先進国では既設炉の寄与が若干残るのに対し、途上国ではほぼ無くなる。原子力の代替は、先進国では再生可能エネルギーの中でもバイオマスと太陽光の伸びが大きい。途上国においては、火力と再生可能エネルギーがほぼ同程度であり、その中で太陽光発電の伸びが大きい。

CCSの設置を無くした場合、火力発電の寄与は大幅に低下する。その代替は先進国では、主に原子力、バイオマス、太陽光によって行われる。それに対し途上国では、原子力と太陽光によって代替されている。

内訳の分析により、下記のことが分かる。

1. 太陽光は他技術に比べ割高であり、Z650のCO<sub>2</sub>制約の条件でさえもほとんど利用されないが、NPOやNoCCSといった厳しい条件に対しては伸び代が最も大きい
2. 特に途上国においては、原子力、風力、バイオマス

ともZ650条件の時点ではほぼ導入量の上限に達しており、太陽光が唯一の選択肢となる。

3. 先進国は原子力やバイオマスにやや余裕があるため、比較的バランスよく代替が行われ、コストへの影響は小さい。

第3図に部門別のCO<sub>2</sub>排出量を示す。発電部門は、Z650の排出制約のために低炭素化が実現していたが、この2つの脱炭素化技術を無くすケースでは逆にCO<sub>2</sub>排出が増加する。定置（産業と民生の熱利用）はもともと低炭素化が進んでいないが、NPOでは産業CCSの利用促進により、ネット排出は5%減少する。運輸では2ケースとも、電気自動車、燃料電池車の普及、バイオ燃料により、低炭素化が促進され約2割減少する。

第4図に示すように、標準（Z650）に比べて、NPO、NoCCSのエネルギーコストは、1000B\$~100兆円（総額より1割増加）の増加となっており、主に転換部門（再生可能エネルギー導入の影響など）と車両が寄与している。なお、NPOやNoCCSのコストへの影響は途上国の方がやや大きい。

#### 2. 2100年の姿

第5図に2100年までの電源構成を示す。NPOやNoCCSでは燃料電池（FC）の寄与が有意に増加する。原子力ではウラン資源量の制約、火力ではCCSの貯留ポテンシャルの限界、また再生可能エネルギーでは出力変動対策による上限、のためである。

NPOでは、2050年頃までは主にCCS付きの天然ガス火力で代替するが、2080年以降は火力の寄与が急減し、燃料電池（FC）の大規模導入が進展する。

2100年においては、発電と運輸はほぼゼロエミッションを達成し、定置（＝産業、民生の熱源）が主要な排出源となる。定置における主要なCO<sub>2</sub>排出削減策は、産業CCS（25%上限）、バイオ燃料（標準の時点でほぼ上限）、水素直接燃焼、水素燃料電池（FC）の4つである。

第6図に示すように、標準（Z650）と比べたNPO、NoCCSのエネルギーコストの増加分は、2050年の1,000B\$、~100兆円（総額より1割増加）に比べ、10倍の10,000B\$、~1,000兆円（4割増加）である。特に転換部門の影響が大きい（水素関連設備、太陽光など）。

### Ⅳ. 考察

#### 1. エネルギービジョン

Z650は2030年までのCO<sub>2</sub>制約がやや緩やかなシナリオではあるが、それでもその実現に当たっては、原子力と

CCSの大規模導入を想定している。これらのいずれかが停滞した場合、解が無くなることはないが、太陽光など寄与が増加することで、経済性は明らかに悪くなる。特にCCSを無くした場合の影響が大きい。また、技術的対策の余地は僅少となり有効な技術の不確実性は増大する。例えば、コスト評価では将来的に太陽光のコストが着実に低減していくことを想定しているが、これが停滞するとコスト負担はさらに大きくなる。

## 2. 原子力ビジョン

国際エネルギー機関 (IEA) は、中国、インド、ロシアなどが将来エネルギー需要の伸びが大きく、各種エネルギープライスは上昇する。福島原発事故では死者はなく事故としては大きくないが、社会的影響は大きい。ドイツなど一部で止める動きはあるが、エネルギーセキュリティ上必要であり、途上国の原子力開発の支援は重要である、と述べている<sup>3)</sup>。また世界原子力協会 (WNA) は、エネルギー政策は、地球温暖化と政治的・経済的判断とセキュリティの問題とのバランスで決まるが、地球温暖化を考えると、原子力を代替するエネルギーは少なく、原子力無はコスト高。特に、米国とインドは原子力が必要。結局は、エネルギーミックスとして、再生可能と原子力の開発が並行して行われるだろう、と述べている<sup>4)</sup>。どちらも我々の予測や考察と同趣旨である。

原子力が今後どうあるべきかは、それぞれの国家が判断すべきことではあるが、少なくとも福島原発事故を起こした当事国としての日本がどうするかは、明確に説明すべきであろう、特に原子力発電を止める場合はなぜ止めるのかをはっきりと宣言しなければならないと考える。もしどこかで事故が起これば世界的なフェーズアウトになるのは必然であり、統一的で合理的な安全基準(体制・規制・設計・運用)を世界的に作っていくべきである。国際原子力機関 (IAEA) 主導で様々な議論がされているが、その中で日本はこの事故の分析と検証を精力的に実施し、安全問題に対するリーダーシップを取るべきではないか。

原子力は、持続的発展のために、また将来の世代が豊かな生活を楽しめるために、なくてはならないものである。原子力は、エネルギーポテンシャルが大きい分、ポテンシャルハザードも大きい。この影響の大きさを十分に抑え込み、そしてそのポテンシャルを有効活用するのが、我々技術者の使命であると考え。今回の事故のように大地震と巨大津波の連成のような事態も想定し、その問題点を世界の専門家ですべてに分析し、安全思想を再

構築すべきである。

## V. まとめ

途上国、特に中国、インドとアセアン諸国において、エネルギー構成の低炭素化と多元化プロセスが先進国より数十年遅れるが、人口と経済の成長に伴いエネルギー消費が大幅に増加するため、長期的には省エネだけでなく化石燃料への炭素回収隔離 (CCS) や発電技術の燃料転換など、先進国同等あるいはそれ以上の低炭素化と多元化が必要となることが分る。

エネルギーシステムコスト最適化のシミュレーション結果によれば、BAUからZ650までCO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、省エネルギー、それと発電における再生可能と原子力、それから化石に対する炭素の回収隔離、この4つの技術が重要になる。さらに、原子力フェーズアウトとCCS無しの世界を考えたパラメータサーベイを実施し、いずれが無くなってもシステムコストは4割増加する。CO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、全ての技術を総動員する必要があり、そのうちの一つに原子力があるという位置付けである。

原子力システムはもともと安全性を十分に考慮したシステムであり、また今は安全思想の再構築についてIAEAを中心に各国で考えられて安全性向上が図られつつある。それに加え、安全性向上、利便性向上など新たな原子炉概念、また核変換技術などの革新的な研究開発が進められている。これももちろんさらなる安全性向上に寄与してゆくものと考えられる。地球温暖化とエネルギーセキュリティを考えれば、やはり原子力は必須なエネルギー源である。CO<sub>2</sub>削減するということは、2100年、2200年、2300年と将来の世代のためにあるわけで、そのためには省エネルギー、原子力、再生可能エネルギー、化石エネルギーの炭素回収隔離、全ての技術開発を今から同時に精力的に進めなければならない。

### — 参考資料 —

- 1) 氏田、段、湯原、地球温暖化防止のための長期エネルギービジョン、第1回 長期ビジョンに基づくエネルギーシステム構成、原子力学会誌、2014.8.
- 2) 都築、氏田、新たな気候変動レジームの確立に向けて(その四) 福島事故の後のエネルギー事情、第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2011、東京.
- 3) Fulton L, Eads G. IEA/SMP Model Documentation and Reference Case Projection. 2004.
- 4) Hiroshi UJITA, "Energy Perspective and Nuclear Role

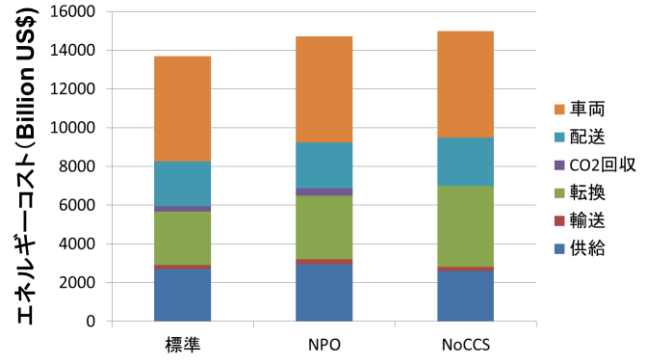
after Fukushima Daiichi Accident”, "Nuclear energy: is Fukushima the end of a paradigm?", The MEDays Forum, Tangier, Morocco, November 17, 2011.

著者紹介

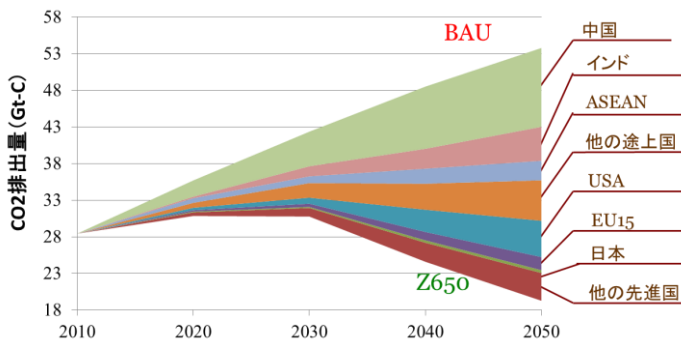
氏田博士 (うじた・ひろし)

段烽軍 (だん・ほうぐん)

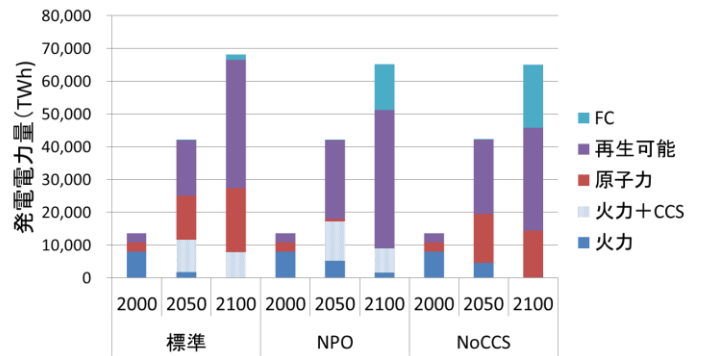
湯原哲夫 (ゆはら・てつお)



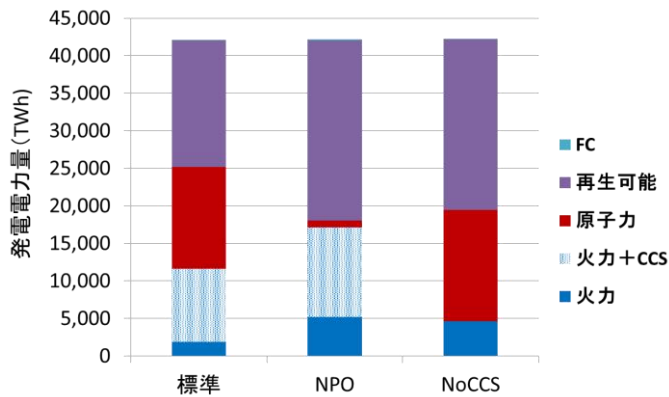
第4図 標準 (Z650)、原子力フェーズアウト (NPO)、CCS無 (NoCCS) のエネルギーコスト (2050年)



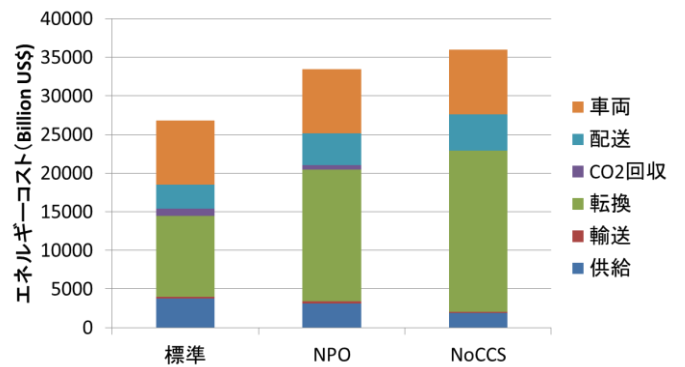
第1図 地域別エネルギー起源CO2排出削減量 (2050年)



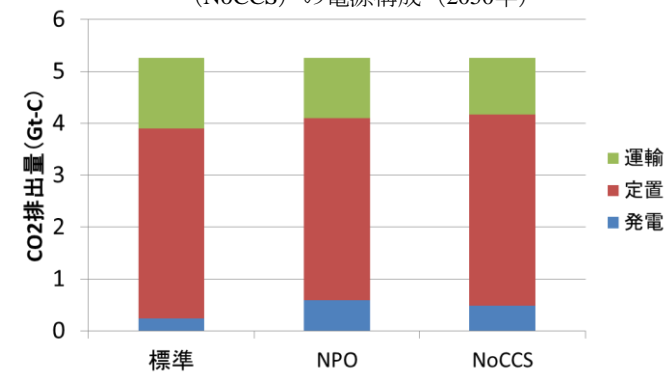
第5図 標準 (Z650)、原子力フェーズアウト (NPO)、CCS無 (NoCCS) の電源構成 (2100年)



第2図 標準 (Z650)、原子力フェーズアウト (NPO)、CCS無 (NoCCS) の電源構成 (2050年)



第6図 標準 (Z650)、原子力フェーズアウト (NPO)、CCS無 (NoCCS) のエネルギーコスト (2100年)



第3図 標準 (Z650)、原子力フェーズアウト (NPO)、CCS無 (NoCCS) の部門毎CO2排出 (2050年)