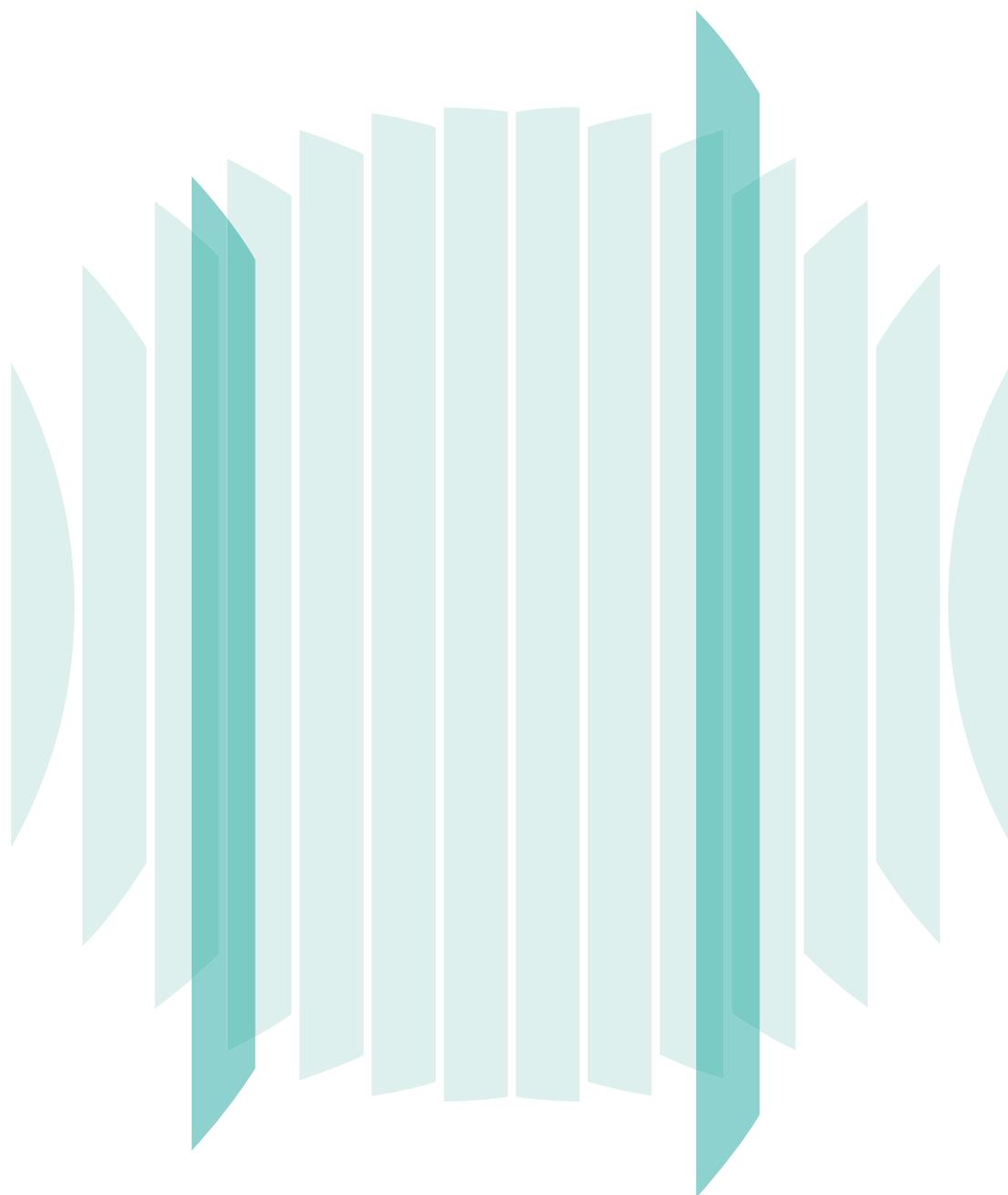


# 季報 エネルギー—総合工学

Vol. 38 No. 2 2015. 7.



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】

- エネルギーセキュリティから見た天然ガスとコージェネレーション  
東京ガス株式会社 代表取締役 副社長執行役員 救仁郷 豊 …………… 1

## 【座談会】

- 地方創生に対するバイオマスエネルギーへの期待  
公立鳥取環境大学 環境学部教授 横山 伸也  
東京大学名誉教授 芋生 憲司  
東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授  
(国立研究開発法人) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 橋本 道雄  
新エネルギー部長 田島信太郎  
田島産業(株) 代表  
帯広市 産業連携室企画調整監  
フードバレーとから推進協議会 事務局次長 中村 忠範  
司会 (一財)エネルギー総合工学研究所 部長 徳田 憲昭 …………… 3

## 【寄稿】

- シェール・ガス革命, シェール・オイル革命の  
2015年における最新動向  
和光大学 経済経営学部 教授 岩間 剛一 …………… 21

## 【寄稿】

- 欧米諸国における小売電力市場の動向  
(一社)海外電力調査会 調査部 主任研究員 大西 健一 …………… 35

## 【調査研究報告】

- 高温ガス炉プラント研究会の活動と今後について  
プロジェクト試験研究部 原子力グループ 部長 藤井 貞夫 …………… 45

## 【調査研究報告】

- 核燃料サイクルに関する内外動向の分析・調査  
プロジェクト試験研究部 原子力グループ 主管研究員 都筑 和泰 …………… 56

## 【調査研究報告】

- デマンドレスポンス (DR) の動向  
プロジェクト試験研究部 新エネルギーグループ  
主任研究員 川野 光伸 …………… 66

## 【事業報告】

- 平成 26 年度 事業報告の概要 (一財)エネルギー総合工学研究所 …………… 75

- 【研究所のうごき】 …………… 77

- 【編集後記】 …………… 80

# 巻頭言

## エネルギーセキュリティから見た 天然ガスとコージェネレーション



救仁郷 豊 (東京ガス株式会社  
代表取締役 副社長執行役員)

昨今の長期エネルギー需給見通し策定の議論の中で、原子力や再生可能エネルギーとともに、天然ガスとそれを利用したコージェネレーションの意義についても活発な議論がなされた。長年天然ガスに関わってきた者としての考えを述べたい。

天然ガスは、①化石燃料の中で最も環境性に優れていること、②調達先が分散していて安定供給が図られていること、③コージェネレーションや燃料電池によって高効率利用ができること、④ガス空調や分散型システムによる電力系統負荷の軽減と強靱性が向上すること、などの特長を備えている。

ただし3.11以降は稼働停止した原子力に替わって天然ガス火力がフル稼働し、貿易収支の悪化を招いていることから、欧米の天然ガスよりも割高なLNGを買わされている現状は何とか打破せねばならない課題である。しかしこれも、①原油価格下落によってLNG価格も連動して低下してきていること、②原発再稼働で日本のLNG輸入量が減少すれば需給緩和が進み売買主のパワーバランスが変わること、③2017年以降には米国ガス市場価格ベースのLNGの輸入が始まること、などから買い手側にとっての好材料が揃ってきている。

また最近では発電用LNGの追加調達で中東依存度が増加しているが、ガス供給用のLNGはホルムズ海峡内からの調達が数%であり、熱やコージェネに使われるLNG調達の安定性は非常に高い。今後米国からのシェールガスの輸入が開始されればさらにセキュリティが高まるはずである。

コジェネは電気と熱を同時に生産する高効率のエネルギー設備として導入が進み 1,000 万 kW まで普及が進んだが、景気後退と燃料価格高騰によって導入が伸び悩んでいた。しかし東日本大震災以降、非常時のエネルギー供給の確保のための分散型エネルギーとしての評価が高まってきており、これまでの省エネ、省 CO<sub>2</sub>、電力系統負荷軽減、といったメリットに加えて国土強靱化への貢献が期待されていることから、昨今議論が行われた国の長期エネルギー需給見通しの中では、2030 年度でのコジェネの導入量を 1,190 億 kWh、電源構成の約 10% を占めるものと位置付けられた。したがってこれを実現するために、①コジェネ導入への政策的措置、②熱と電気の地域内面的融通での活用推進、③余剰電力取引の活性化、④燃料電池の低コスト化と中型機器の開発、などの施策が積極的に進られていくこととなる。

今後、電力、ガス、熱事業の自由化によるエネルギー市場の活性化が進む中で、天然ガスを普及拡大し、分散型エネルギーによる地域としてのエネルギー事業への参画を進めれば地方創生にもつなげることができる。エネルギーセキュリティとしての天然ガスとコジェネが、課題先進国日本のソリューションとなることを期待している。

座 談 会

## 地方創生に対するバイオマスエネルギーへの期待

- 横山 伸也 ( 公立鳥取環境大学 環境学部教授  
東京大学名誉教授 )
- 芋生 憲司 ( 東京大学 大学院農学生命科学研究科  
教授 )
- 橋本 道雄 ( (国立研究開発法人) 新エネルギー・産業技術  
総合開発機構 (NEDO) 新エネルギー部長 )
- 田島信太郎 ( 田島山業 (株)  
代表 )
- 中村 忠範 ( 帯広市 産業連携室企画調整監  
フードバレーとまち推進協議会 事務局次長 )
- 徳田 憲昭 ( (一財) エネルギー総合工学研究所  
部長 )



### はじめに

徳田 本日はお忙しいところ、お集まり頂きありがとうございます。

近年、風力、太陽光、バイオマスなどの再生可能エネルギーに注目が集まっています。「エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)において、バイオマスエネルギーについては、

他の再生可能エネルギーと合わせて、「低コスト化、高効率化や多様な用途の開発に資する研究開発等を重点的に推進する」と謳われています。そのような中、日本国内に広く薄く賦存している森林資源、農産資源といったバイオマス資源を用いた地域の特性を活かした最適システムを考えていく必要があるのではないかと考えています。

また、安倍首相が言われた「地方創生」(平成27年2月)についても、地方自身がバイオ

マス資源を有効利用して地域自立につなげていくことが「地方創生」のスタートポイントになるのではないかと思います。

さらに、固定価格買取制度（FIT）の下でバイオマスエネルギーによる発電事業を考えた場合、太陽光や風力発電と比較して、安定電源に資するメリットがある一方、運開までに長期間を要することや発電コストに占める原料費の割合が大きいといったデメリットがあります。このような課題をクリアする方法を考えることも、バイオマスの活用を考える上で重要な視点だと考えています。

これらの状況を踏まえて、本日の座談会では「地方創生に対してバイオマスエネルギーをどう活用できるか」ということに視点を置き、バイオマス活用の可能性および課題について、意見交換させて頂ければと思います。

まず、発電、熱利用および液体燃料といった利用形態の分類にこだわらず、過去のバイオマスエネルギー導入・普及に関する国およびNEDOの取り組みについて、ご紹介頂ければと思います。

## NEDOのバイオマス実証事業

平成13年度から本格的にスタート

橋本 私どもNEDOは1980年の設立以降、再



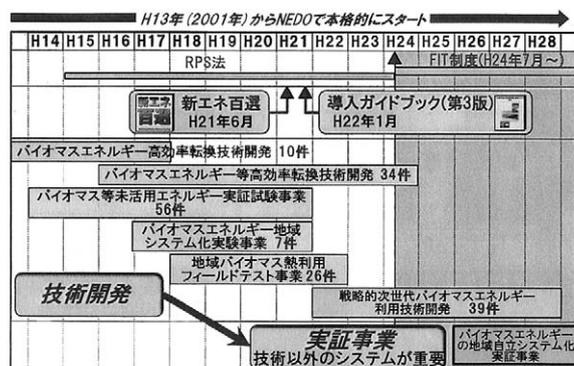
橋本 道雄氏

(新エネルギー・産業技術総合開発機構)  
(NEDO) 新エネルギー部長

生可能エネルギーの導入・普及に向けた技術開発に取り組んできています。様々な再生可能エネルギーの中でもバイオマスエネルギーは、国産エネルギーである、地域のエネルギー資源を活用していくものである、さらには「カーボンニュートラル」という特徴があると考えています。最近では、出力が安定しているということもあって関心が高まっていると思います。

NEDOでは平成13年度から本格的にバイオマスのエネルギー利用に向けた技術開発を行ってきました(図1参照)。バイオマスエネルギーの高効率転換技術開発やバイオマスエネルギーの地域システム化実証事業など様々な事業を実施しており、採択件数でいうと170件近くになります。

また、技術開発事業に加え、資源エネルギー庁とも協力して、例えば「新エネ百選」や「バ



(出所：NEDO資料)

図1 NEDOのこれまでの取り組み

イオマス導入ガイドブック」など、ソフト面でのサポートも行ってきました。そういう中で、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」ができ、さらにはFITができて、現在に至っています。

### NEDO 事業での成功事例と失敗事例

これまで実施してきた170件近くの事業ですが、うまくいったもの、それほどでもないものがあります。今後、FITの下で、また、エネルギーの地産地消に対する世の中の関心が高まっていく中で、過去の経験を財産として次につなげていくことが大事だと考えています。本日は、成功事例を2つ、うまくいかなかった事例を1つ紹介したいと思います。

#### [事例1]

成功事例の1つ目は、山形県最上町で行った「ウェルネスタウン最上木質バイオマスエネルギー地域限定暖房システム実験事業」（平成17年～21年）です。一般的に収集が難しいと言われている間伐材や林地残材をエネルギーとして利活用していく、また健康医療福祉の総合施設へ冷暖房供給システムを導入して、そのエネルギー源として活用していく、さらに、地域におけるエネルギー供給と同時に、産業振興も目指してエネルギーの地産地消と循環型社会の構築を目指して行こうという趣旨の事業です。経済的にも良好なパフォーマンスを示しており、成功例と認識しています。

この事業がうまくいったポイントを3つ紹介します。まず、1点目はバイオマスの原料調達に関連して、山林の所有権と利用権を分離したことです。この地域は比較的小口の山林所有者が多く、山林のメンテナンスに手間がかけれないという事情がありました。そこで、所有権と利用権を分離し、利用権については集約化して大規模に利用を進めたことで、それまで未利用だった間伐材、林地残材が利用可能になった。また、大規模に利用が進んだ結果、IT

を活用した長期的な間伐計画など先進的な技術の導入が進み、安定的に山からバイオマス原料が出てくる仕組みができた、と考えています。

2点目は、木材の乾燥に自然乾燥を使ってエネルギーの効率化を図ったこと、また、チップ形状の最適化やボイラー燃焼の効率化を図ったことです。このようなエネルギー効率上の工夫も挙げられます。

3点目は、熱需要の集約化です。本プロジェクトの実施に当たり、町でも福祉センター、健康センター、病院、老人保健センター、特別養護老人ホーム、園芸ハウスといった、熱の需要先になる施設を一箇所に集約して、効率的に熱を供給できる体制を整えました。これが相当、コスト面で有効に働き、事業の成功につながったと思います。

最上町の例では、熱需要の集約化や、節目節目での町のイニシアチブを見ることができまして、自治体主導での成功例と言えると思います。

#### [事例2]

2番目の成功事例は、岡山県真庭市の例です。真庭市では、間伐材や樹皮といった未利用資源をエネルギー源として、地域で有効利用して木質ペレットを低コストで供給するシステムを作り上げました。先ほどの最上町の事業が町主導だったのに対して、こちらは民間主導というところに特徴があると考えます。町興し意識の高い地元企業の方々が、町興しのために、どのようにバイオマスを活用していくか議論を始めて、NEDOも手伝って、事業が立ち上がったわけです。

この事業における工夫は、間伐材、林地残材の原料を、量や売り手に関わらず現金で買い取る仕組みを作ったところにあると思います。木質バイオマス発電では、安定的かつ経済的な原料調達が非常に重要である一方、原料を供給する側からすると、いかに高く売るかということが大事になってきます。この2つの相反する関心にどう折り合いをつけるかが重要になってきます。事業として間伐材や

林地残材を収集して提供するとなると、どうしてもコストが高くなってしまいがちで、採算性や利益率に影響します。そこで、「誰でも構わないから持って来て下さい。量に関わらず一定の価格で買い取りますよ」と言って、燃料の値決めをやったことが、小規模な原料供給者を開拓し、効率的かつ経済的な原料供給体制の構築につながったと思います。

それに呼応する形で、真庭市でも温水プールや市庁舎などで熱需要を創出して、効率的な供給システムを構築しました。この例は色々な所で「真庭モデル」として知られています。聞くところでは、見学の方も多数いらっしゃるそうです。この取り組みで特徴的なのは、「バイオマスツアー」と銘打って、バイオマス利活用事業の見学を観光資源化したことにあり、見学者の方々にバイオマス利活用の取り組みを見てもらうと同時に、地域の素晴らしさも体験していただくことにあります。

### [事例3]

うまくいかなかった例もあります。例えば、木材加工工場で実施した木質バイオマスガス化発電事業では、発生するタールによるトラブルでプラントの安定運転の課題が解決できずに、事業が継続できなかったという例があります。これは機器の技術開発がうまくいかなかったことが原因と考えています。また、「木質ガス化からの液体燃料製造」でもガス化プラントの運転が安定せずにトラブルが発生した例がありました。そのような技術面でのリスクは当然あると考えます。

その他、原料の安定調達は重要であり、初めにしっかりした計画を作っても、操業時には計画量が調達できずに発電所の運営に影響を及ぼしたという例もあります。こういったところは、今後、考慮していくべき重要な反省事項になると考えています。

徳田 今、木質バイオマスでの成功事例、ガス化での技術面を中心とした失敗例を紹介し

てもらいました。

やはり、技術面で今後検討すべきことが事業成功の1つの鍵になってくるのではないかと思います。この点について、転換技術の観点およびその他事業を成功させるためのキーポイントについて、芋生先生は何かお考えが御座いますでしょうか？

---

## バイオマスエネルギー利用の技術的課題

---

### バイオマス利用で重要な人のつながり

芋生 技術は当然重要だと思いますが、バイオマスについては原料の調達から転換、廃棄物の処理まで、いかに地元の状況に合わせるかが非常に重要になってくると思います。これまでに色々なバイオマス利活用事業者のサイトを見学させて頂きましたが、事業者が十分な経験と経営的なセンスを持っている所がうまく行っていると思います。

バイオマスはプロセスが複雑なので何かしらトラブルが起こります。それにどう対応するかという時に経験が活かされると思うのです。例えば、バイオマス発電は、誰でも初めての経験だと思いますが、バイオマス発電の経験はなくても地元で林業やチップ生産事業を長くやってきた事業者は、1つのルートで原料調達が止まっても別ルートで調達できるといったノウハウを有していると思います。

また、メタン発酵では、消化液の処分が重要になってきますが、「消化液が出ました。お宅の農場で使ってください」と言っても、農家としては得体の知れないものを使わないわけです。メタン発酵は初めてだけれど、これまで堆肥を作って農家に使ってもらってきたという事業者が実施した場合、「メタン発酵の消化液は初めてだけれど、あの人の言うことなら」ということで使ってもらえます。意外と、そういう人と人とのつながりが大きいのではないかと思います。

## 事業成功の鍵となる適正規模の導入

転換技術の観点では、適正な規模の設備を導入できるかどうかで成功、失敗が分かれるのではないかと思います。有名な「グリーン発電会津」(送電出力 5000kW)で、関係者の方が「5000kW がちょうど良い。それより大きくすると原料が集まらない。それより小さくすると利益が上がらない。」とおっしゃいます。一方で、驚いたことに、導入されたチップ化装置(チップパー)が過剰スペックではないかと思うほど大きいのです。それも事業者の経験に基づいています。通常、適正規模のチップパーを入れると、大きい径の木材は割って入れなければならず、非常に手間がかかりますが、大きいチップパーを導入しておく、大きな径の木材をそのまま入れられるし、トラブルが少ない、とおっしゃっていました。チップパーの規模が大きいため、一日の内、稼働時間は午前中だけなので、一見、無駄に思えるのですが、結果的にそれで非常にうまく行っています。それが現場のノウハウで「教科書に書かれていることだけではうまく行かないのではないか」と常々思っています。

徳田 今、事例を挙げてご説明頂きましたが、やはり、原料の収集範囲など、その地域で自立していける程度の規模感や、原料とエネルギー需要のバランスをとることが重要と考えます。また、「グリーン発電会津」の場合、産業育成についてはどのように考えられているのでしょうか？例えば、必要機器は全部海外からの輸入品に頼っているのか、日本の製造業の活性化を考慮して国内メーカーの製品を利用しているのかといった点についてです。地域自立と言っても、山側だけの話ではなく、二次産業まで考えるとどうなのでしょう？

芋生 そうですね。株式会社ノーリンが「グリーン発電会津」の事業主体ですが、ノーリンは、ずっと製紙用チップの製造を手がけている会社です。仮に、バイオマス発電用のチップが過剰



芋生 憲司氏

(東京大学 大学院農学生命科学研究科)  
教授

になっても二次産業としての製紙業への原料として出荷でき、非常にしっかりしたビジネスになっているのではないかと思います。また、地域の規模に合っているという感じがします。

徳田 今、バイオマス原料と利用を一つの例とした、サプライチェーンというところにも絡んでご説明がありましたが、地域特性を活かした最適なシステムを考えることが非常に重要だと思っています。その辺りについて、横山先生のお考えを伺えればと思います。

---

### 最適システム構築のためのポイント

---

#### 上流、中流、下流での工夫

横山 先ほど、成功事例と失敗事例の話がありましたが、①上流側では木材の収集運搬をどうするか、②中流では利用技術の問題、③下流では販売あるいは販路をどうするかという話があります。この3つがうまく行かないと事業は成功しないと思います。

最上地区の例では、上流側がうまく行っていますね。最上地区は、作業道の密度が13 m / h a で、全国平均の17 m / h a よりも低いのです。ドイツ、オーストリアは100m/ha

くらいですから、そこでうまく行っているということは、相当習熟した人が現場にいるのだと思います。地元で情報交換がうまく行っている、人的なつながりが強いということです。1つ山を越えると傾斜、気象などの条件が違ってきますから、架線集材がいいか、機械集材が良いかなど、一概に言えません。そこを何とかしないとイケないのです。

2つ目の変換技術については、技術そのものの改善、改良に加えてさらに一工夫が必要です。原料の規格化や標準化が十分行なわれていないことが問題です。含水率や灰分量がまちまちで色々な形状の原料が入ってくると、チップやクラッシャーのところで処理に困ってしまう訳です。バラバラな性状なのでボイラーやガス化炉の設計もバラバラになり、結局はコスト高になります。原料の規格化によりコストが安くなっていくと思います。

3つ目は販路です。先ほど真庭市の「バイオマスツアー」の話がありましたが、色々な業種が入って地域の活性化をするのは良いですね。NEDO事業は、これまではどちらかと言うと技術開発で最高値（効率など）を求めるテーマが多かったと思うのですが、「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業」は、上流、中流、下流をいかにつなげていくかという視点での取り組みでした。単なる技術開発に留まらず、このような別の視点での事業が効を奏し成功事例に繋がったのだと思っています。

**徳田** 地域の活性化を考える時に、例えば、域外に支出があっても、地域の中でどう自立していくのか。産業をどう育成していくのかも視野に入れていく必要があるのではないかと。それがサプライチェーンの根幹になるのかなと思っています。

**横山** 林業機械も変換装置も地元で作るわけに行きませんから、当然、国内外を問わず購入せざるを得ないと思います。成功事例を見ていると、特に上流側では機械を入れてもメ



横山 伸也 氏

（鳥取環境大学 環境学部教授  
東京大学名誉教授）

ンテナンスに費用がかかるので、これは自前でやるという意欲があるところが成功していますね。全部とはいかずとも技術者を養成して、メンテナンスなどの作業は自前でやってランニングコストを抑えることが必要だと思います。

#### 失敗事例からの教訓

**徳田** 成功事例の良い所は学べば良いと思いますが、失敗事例からの課題、注意点というのは、何かあるでしょうか？

**横山** 上流側の話ですが、例えば、経済産業省の産学連携イノベーション促進事業というのがあります。特に3.11の被災地でレーザー3DスキャナーとGISを使って、どういう地形のところにどういう形状の木があるのか簡便に測定する実験事業を行っています。これによると、1ヘクタールあたり5、6点の計測で林内のすべての立木形状、位置、地表形状を把握できます。1日2人で3～4ヘクタールを測定できてしまう。山の現場に習熟した人がいない場合に、このようなシステムで代替していくことが大事です。このような簡便で機能的なシステムがバイオマス利用技術に役立つと思います。

**徳田** 成功事例、失敗事例のところでも上流側

をどう守っていくのかがポイントの1つとして挙げられました。バイオマスには、木質系、湿潤系など、様々な原料があると思います。成功事例、失敗事例を勘案しながら、現状がどうなっているのか紐解いていければと思います。

上流側からどう原料を出していくのか。木質系について田島さんから大分県日田市の現状も含めてご紹介頂ければと思います。

---

## 木質系バイオマスの現状

---

### 九州で発生した3つの巨大需要

田島 私は、先祖代々、大分県日田市中津江村で林業を営んでいますが、(一社)九州経済連合会の月報『あすの九州・山口』(2015年5月)の藤掛一郎先生のレポートによりますと、九州では3つの巨大な需要が発生しています。それは、①バイオマス発電所(12施設が稼働中または近々稼働予定)、②アジアへの輸出(中国、台湾、韓国、東南アジアへ丸太で輸出)、③大型木材加工施設の新設・増設(巨大な工場が宮崎県日向市で竣工)です。月報では、この需要に対応できるかを藤掛先生が論じられています。

1本の木からは数本の丸太が採れます。得られる丸太はその太さや形状からA材、B材、C材といった等級に分かれます。そして、根元の部分、先端の細い部分、枝の部分は、D材として現状では搬出せずに森林内に捨てています。一般的には根元に近いまっすぐの部分がA材、そこから上にいくに従ってB材、C材となるのですが、真ん中部分でも曲がっていたりするとC材になります。実は、3つの巨大な需要先が欲しがっているのはC材なのです。チップにして燃やす場合、B材は良



田島信太郎 氏

(田島山業(株)  
代表)

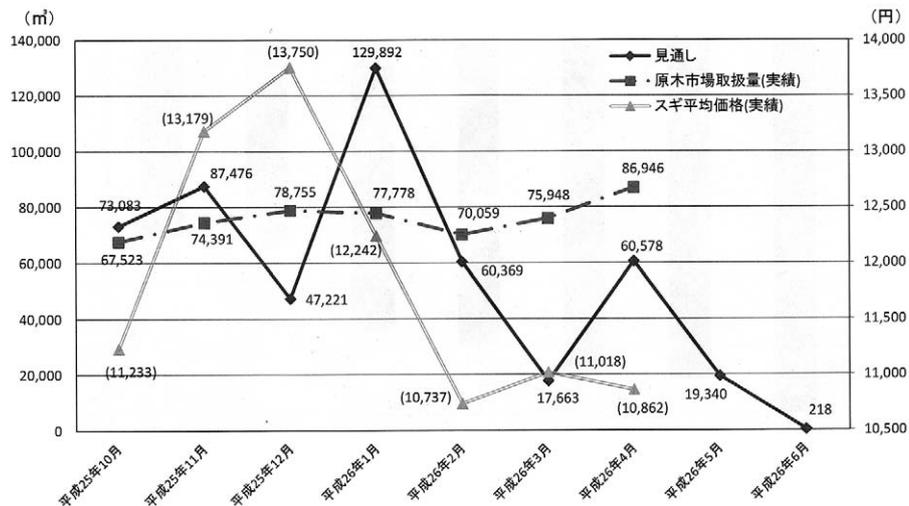
過ぎるため、安い木材で良いです。海外の需要先も多くが一番安い木材を求めてきますし、新設工場も主にC材を求めています。従って、A材、B材、C材の中では、C材需要が非常に増えていて、A材、B材の需要は増えていません。供給量をどんどん増やしていった場合、建築材料であるA材をどこに持って行ったら良いのか、藤掛先生も懸念されています。

実際に、スギの平均価格は、建築需要の増加のため、消費税アップの直前に上がった後、平成26年以降は下がっています(図2参照)。建築需要が低下すると価格が下がりますが、C材の需要が増えているために素材生産量(伐採量)は増えています。巨大な需要に応えるために伐採量は増えていきますが、どうしても値段は下がっていきます。C材の需要が増えて、C材の値段が底支えされる訳ですが、A材の需要はないので、C材価格の水準に向かって下落していきます。

問題は、そもそも価格が下がったらどうなるのか、ということです。価格が下がって伐採量を増やそうと思うと、圧倒的に手間が省ける皆伐をすることになります。皆伐は効率が良く、間伐<sup>(注1)</sup>の3倍以上の量が出てきます。また、価格が安くなると、木を植えて育てるコストを

---

注1：植林後20年を過ぎる頃から、成長した森林内の照度を保つ等の目的のため立木の間伐(間引き)をし、これを約10年置きに繰り返します。間伐後森林は健全化しますが、残った立木に傷をつける事なく伐採搬出するには熟練した技術が必要で、しかも手間がかかります。現状の価格では再生林再生産することは難しいと判断し、当社では皆伐を行わず間伐施業で丸太を生産しています。



※木材生産量見通しは、4月末時点で提出のあった伐採届等の集計による。

図2 伐採届等に基づく木材生産量の見通しと大分県内の原木市場取扱量

かけていられなくなります。アメリカなどでは伐った跡に木を植えなくても自然に生えてきて、下刈や間伐など木を育てる作業をしなくても、自然に木が大きくなって一定周期で伐採する、というような林業が成り立っている地域があるそうですが、日本の場合は、伐った跡に木を植えて育てて、50～60年経ってから伐るのです。木を植えた後の10年間くらいは、下草刈りなどで非常にコストがかかります。木材の価格が一定以下になりますと、どうしても育林コストが捻出できなくなり、林業の継続が難しくなります。一定面積は再造林、つまり新しく木を植えて育てないと日本の山は枯渇するのです<sup>(注2)</sup>。そこが今、林業にとって厳しいところなのです。

バイオマス発電などにより、木材の需要が増えて活況を呈しているようですが、私のような「山を守る」立場からすると、かなり厳しい状況ではないかと思えます。

**徳田** 田島さんの周辺の林業従事者は、実際に皆伐をやられているのでしょうか？

**田島** 例えば、山の所有者が森林組合に頼ん

で木を伐ってもらいます。伐採量が飛躍的に増えてコストが小さいのですから、皆伐は所有者の当面の利益は間伐よりずっと多くなります。私の会社で丸太を出す時には、森林内の土場で加工工場へ持っていく分と市場へ持っていく分とに選別、直送しています。しかし、森林組合はじめ一般的には土場で分けるのではなく、一旦市場に運んで選別しています。曲がった木が多い、A材が10本に1本しかないといった「悪い山」を皆伐した時には、市場まで運ぶ経費を考えると全部バイオマスとして売ようになります。

### 過疎化で手入れが行き届かない日本の山

**徳田** 日本全国では、「良い山」が多いのでしょうか？「悪い山」が多いのでしょうか？

**田島** 日本の山には、膨大な面積の伐採時期に達しつつある成熟した森林があります。50年位前、「拡大造林政策」により日本全国で多くの木を植えました。この「拡大造林政策」と並行して起こったのが過疎化です。例えば、拡大造林の頃に100ヘクタールを一度に植え

注2：林業は親子代々木を育て山を守る産業です。私は現在祖父が植えた杉の木を伐って生活しています。「先祖が育てて木を伐ったらそこにまた木を植える。そして子孫のために木を育てる。」ということが農山村では当たり前に行われてきました。こうした素朴なきりが日本の森林を守ってきたと自負しています。

たという話を聞きますが、今では人がいないため、植林して木を育てることができません。過疎化して所有者が分からないという状況もあります。ですから、一斉に植えた後、手入れが行き届いていない山は少なくないのではないかと思います。

また、中国地方のある県では、木を伐っても、それを売る所が近くにないのです。大分県日田市は日本最大級の木材集積地ですから、そこに持って行けば何とかなる訳です。しかし、持って行って売場所が遠いとなると、輸送コストが嵩みます。その結果、地元で燃やそうという発想になります。

### 九州の山は日本の他の地域の山の未来の姿

**田島** また、東北地方、関東地方、九州地方では、木の生育度合いが違います。50年前に日本中で木を植えた結果、九州では大きく木が育ったため、3つの巨大な需要が出てきました。東北や関東など日本各地ではまだ九州ほど木が成長していません。つまり今の九州の森林の姿が、日本全国の森林の未来の姿になっていくと言えます。

**中村** 北海道でも3、4カ所で木質発電所が建設しています。十勝地区においても木質発電を検討しています。木質発電に使う間伐材、未利用材について、建設が先行する発電所によってかなり取られてしまって原料価格が高騰してしまう、というのが現状です。北海道では木質発電所が3、4カ所できたら、それ以上は原料供給できなくなってしまいます。本当に20年間原料供給が大丈夫なのか、という課題があります。

一般的に民間事業は7、8年での採算を考えるのですが、北海道での木質発電の場合、それは過度ではないかと考える点がFIT認定上の課題だと思います。広い北海道でも木質発電の可能性はかなり低いというのが現状です。



中村 忠範氏

(帯広市 産業連携室 企画調整監  
フードバレーとかち推進協議会 事務局次長)

### 重要な木材価格のコントロール

**横山** 発電が儲かるからどんどん木を伐って、その揚げ句、A材需要がC材需要よりも少なくなってしまう、A材価格がC材価格と同じくらいに下がってしまうという話だったのですが、FIT制度がうまく機能して、同時にマテリアルとして使うビジネスも成立するように、適切に買取価格もコントロールすることが大事だと思います。「言うは易し、行うは難し」ですけど。

**中村** 木質発電する場合の燃料は未利用材になります。林業政策が進まないと、材が出てこないです。まず、日本全国での木材利用をうまくやって行かないと、発電用の材も出て来ない、循環が生まれません。そこがうまくいって、価格が決まるのかと考えています。

**徳田** 木質系に関するご意見を伺って、現状が分かってきたと思います。他方、バイオマスには湿潤系もあります。それにつきまして、「フードバレーとかち」の中村さんから湿潤系のご紹介をお願いします。

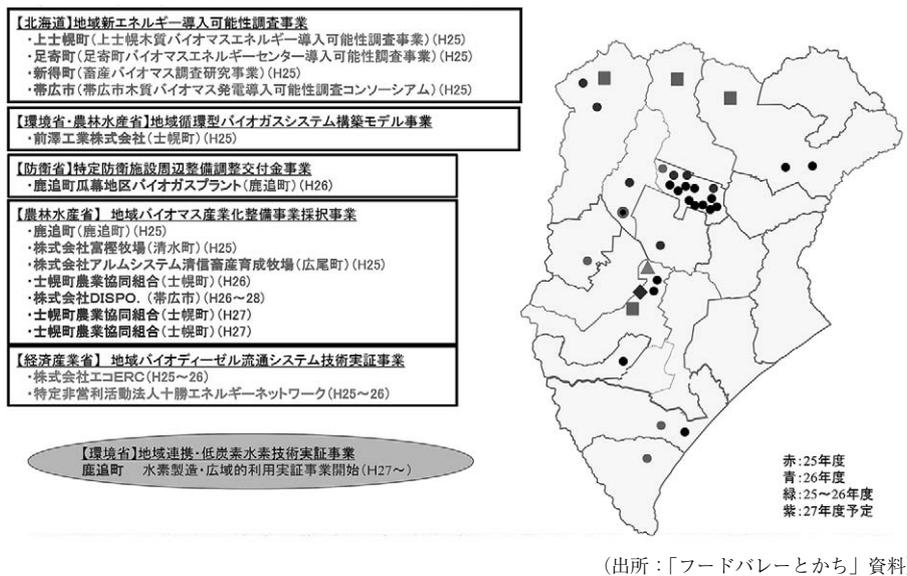


図3 バイオマス施設整備の進捗状況(平成25~27年度)

## 湿潤系バイオマスの現状

### 十勝バイオマス産業都市構想

中村 それでは、「十勝バイオマス産業都市」における湿潤系バイオマスの取り組みについてご紹介いたします。

現在、全国22地域が「バイオマス産業都市」として認定されていますが、広域連携で選定を受けているのは十勝だけです。他は単独市町村での選定です。これまで、エネルギー問題に自治体単独で取り組むところは少なかったと思います。十勝では19市町村が1つになってエネルギーについても皆で協力して自立化を目指そうということで、バイオマス産業都市に選定されました。

十勝では農林漁業が中心です。家畜糞尿の関係から行けば、乳用牛の飼育頭数が23万5,000頭(全国の約15%)、肉用牛が20万頭で合計43万5,000頭の牛がいます。農業由来のバイオマス賦存量では、家畜排泄物が約600万トン/年あります。既にその92%が利用されていますが、堆肥化がほとんどです。それをエネルギー化して行こうというのが今回の考え方です。

十勝ではバイオマス産業都市として、バイオマス関連施設を整備してきました(図3参照)。環境省の地域循環型バイオガスシステムという地産地消の取り組みも始まります。また、鹿追町では共同型バイオガスプラントの2基目に着手しています。さらに、バイオマス産業都市としての産業化整備事業も7件あります。この中で帯広市内の事業については、家畜糞尿を少し入れながら食品加工残渣(都市から出る産業系残渣)のエネルギー利用について産業化が進められています。さらに、今年度は環境省の地域連携・低炭素水素技術実証事業に入っていきます。鹿追町のバイオガスプラントから出るメタンガスを水素化し、それを帯広市に運びながら実証試験に取り組みます。

現在、十勝管内では22基のバイオガスプラントができています。23万5,000頭の乳用牛が飼育されていることを考えますと、平均的なバイオガスプラントの規模は1基で200頭分の糞尿からバイオガスを作りますが、これが1,100基無いと家畜糞尿全部をバイオガス化することはできません。今は2%しか利用できていない状況にあります。逆に言えば、バイオガスの産業化には大きなポテンシャルがあるということになります。バイオガスプラントの場合、メンテナンス産業も生まれま

すから、十勝には、地方創生の可能性があるのではないかと思います。

#### 十勝地域における4つの取り組み事例

十勝地域におけるいくつかのバイオガス事業の事例を紹介します。

##### [事例1]

1つ目は、鹿追町環境保全センターの共同型バイオガスプラント事業です。ここでは、発電、液肥、熱利用が進められています。最後の熱利用ですが、農業地帯である十勝管内では、系統連系が脆弱な場所であることから、熱利用としてチョウザメ養殖、宮崎マンゴの端境期（クリスマスシーズン）の出荷を狙ったマンゴー栽培、新規農作物の貯蔵をしようという計画があります。北海道では、これからの農業の伸び代として、通年型の畑作ということで施設園芸の可能性がります。そこでバイオマスと連動させていくことが大事です。

##### [事例2]

2つ目は、士幌町農業協同組合の事例です。消化液の散布を効率的にやろうということで、周辺の畑作農家で肥料組合を作り、貯留槽も分散型で作って散布していこうという取り組みです。

##### [事例3]

3つ目は、同じく士幌町で前澤工業(株)が取り組んでいる事業です。余剰なバイオガスを低圧吸蔵容器で運んで、プラントから離れた場所でも利用しようという取り組みです。

##### [事例4]

4つ目は、帯広市の(株)ズコーシャによる「低水分乳牛糞尿の高速乾式メタン発酵システムによる高純度バイオメタン製造の技術開発」です。北海道でバイオガスプラントが22基できていますが、これまでは水分量の多い家畜

糞尿を使う湿式でした。乾式は、水分量の少ないもので、現在、乳用牛の糞尿を使うバイオガスプラントが進んでいるのですが、肉用牛や乳用牛の中でも水分量の少ない糞尿を扱うための技術開発がなされています。平成25年度にNEDOから補助を頂いてやっています。これが実用化まで辿り着くと産業が更に広がっていく可能性があると思っています。

#### バイオガスプラント事業の課題

##### ～低コスト化と熱需要創出～

バイオガスプラントに供給する原料は十分過ぎるほどあるのですが、問題は乳用牛の飼育頭数が200頭以上、あるいは250頭以上という大きな酪農家でないと採算がとれない、ということです。まずは、初期投資でのコスト低減、ある程度パッケージ化された低コストのバイオガスプラントの開発が日本国内で必要ではないかと思います。現在は、欧州メーカー製の機器が導入されているケースが多いです。

それとFITで売電するとなると、送電網の強化が必要で、それには時間がかかります。地域で産業を興していくことを考えると、熱利用の進め方（バイオガスプラントのメタンガスをそのまま使うのか、水素化して利用するのか）も今後の課題だと思います。

現状としては、低コスト化と熱需要創出が大きな課題だと考えています。

**徳田** 今、原料は余っている。2%しか使われていないとお話でした。例えば、地域における電力網の脆弱さというのもあるのですが、電気と熱の利用の割合はどちらが大きいのでしょうか？

**中村** ほとんどがFITの下での電気利用です。熱利用は、酪農家の畜舎ですとか、一部温泉施設で使われているだけです。来年には電力の自由化、再来年にはガスの自由化がありま

す。ガスと熱のセット売りがこれから増えますし、そこにICTを絡ませていくという話もでてきています。道内の都市ガスメーカーも今、そういうことを考えています。

---

## 討 論

---

### 地域を越えて共通な技術課題

**徳田** 地域で皆さんが協力し合って事業をやられていることがよくわかりました。木質系および湿潤系といったバイオマス原料はあっても、それらの利活用事業を成功させるためには地域性を考えていかないといけないと思います。技術的な面で、地域の特性を活かす方策などのご提案はありますでしょうか？

**芋生** 地域特性に応じた技術に加えて、共通の技術課題があると思います。木質バイオマス発電が増えてきて、一部地域では木が足りなくなってきたことは、持続的な林業という意味で問題だと思います。

A材をいかに高く売るか、というお話がありました。九州から海外に（付加価値を付けずに）丸太を輸出しているというのは「もったいない」という気がします。スウェーデンでは一次エネルギー供給の25～30%を木質バイオマスが占めていますが、これは林業がしっかりしていて収益を上げているからできることです。事業者の中には、材木のみではなく、製材品と家を建てる技術とをパッケージにして輸出しているところがあります。日本も、様々な事業があるとは思いますが、耐震技術を含めて木造建築の優秀な技術がありますから、付加価値を付けて「家」として売っていく方策がないものかと思います。そうなれば、A材価格も少しは上がっていくと思います。いずれにしても、バイオマス燃料の方にウェイトがかかってしまえば、持続可能

性がなくなるかなという気がしています。

私もD材について研究したことがあるのですが、今のところD材を使うのは非常に難しいです。架線集材で原木を土場に持って来ると、土場でD材が発生するのでまだ利用の可能性があると思います。作業道がうまくつけられていると高性能農業機械のハーベスターなどが山に入っていく。山中でD材が発生するため、収集が非常に難しい。高性能農業機械の利用とD材の利用との間にジレンマがあるようです。今後の方向性をどうするのか考えるべきところだと思います。

湿潤系に関してですが、確かに十勝地域にはメタン発酵施設が整備されています。現場の方々がおっしゃっているのは、「発電機の値段が高い。メンテナンスが大変でコストがかかる」ということです。日本にもいくつかメーカーがありますが、ラインナップが少なく、ほとんどがドイツからパッケージで輸入されています。メンテナンスもドイツメーカーの代理店に非常に高い費用を払っています。発電機器が酷使されているため、メンテナンスの頻度が高いことは確かなのですが、まだまだ技術開発の余地はあると思います。

消化液の処理をどうするのかも共通の課題です。消化液の有効利用には非常に地域性があります。北海道は耕畜連携がうまく行っていて、耕地面積が広いので、消化液がうまく利用されています。本州では広い耕地面積との連携が難しく、私が住んでいる千葉県では消化液に苦労されています。

### サプライチェーン構築の方策

**徳田** 横山先生からサプライチェーンを構築する考え方について伺えますでしょうか？

**横山** 木質系バイオマスの場合、元となる林業に持続可能が求められます。そこが肝心で、林業の持続可能性を担保するために様々な制度ができあがっていくべきだと思います。

FIT の価格も林業の持続可能性が担保された状態での認定が必要だと思います。

それから、サプライチェーンの最適な変換技術は当然ながら場所や状況によって違います。例えば、中村さんがおっしゃっていたメタン発酵、バイオガスの用途には、発電、コジェネ、熱利用があって、水蒸気改質で水素を作ると燃料電池車を走らせることもできます。また、バイオガスの主成分はメタンガスですから、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を除去して圧縮すれば車両燃料として使えます。将来は水素を使った燃料電池があり得ますが、近い将来で見た場合、メタンガスを車両用燃料として使う道もある訳です。このように、バイオガスの利用方法にはバラエティがあります。

最後の利用販路については、エネルギー総合工学研究所が実施された三重県の「みえバイオリファイナーリー研究会」に異業種交流会という取り組みがあって、様々な分野の方が集まってバイオマスの利用法を検討しています。地元の食品油製造会社が、石油を使わずにバイオマスの燃焼で発生した熱を食品油の製油過程に使っている、あるいはバイオマスから発生した熱をトマトの植物工場で使うという利用法がある訳です。このように、色々な業種が集まることによってサプライチェーンの構築可能性も高まると思います。

**徳田** やはり、供給側だけでなく需要側も含めて、どういう風にサプライチェーンを構築していくかが重要だと思います。そこに関して、NEDO の橋本さんはどうお考えですか？

**橋本** 色々お話を伺っていて、バイオマスのエネルギー利用というのは、原料により、地域の事情により、色々と代わってくるものなので、バイオマスエネルギーのソリューションはテラーメイドで考えていかなければいけない、と感じました。一方で、成功例があり、失敗例がありますから、その中での共通点を記録し、教訓をつないでいかなければいけないと考えてい

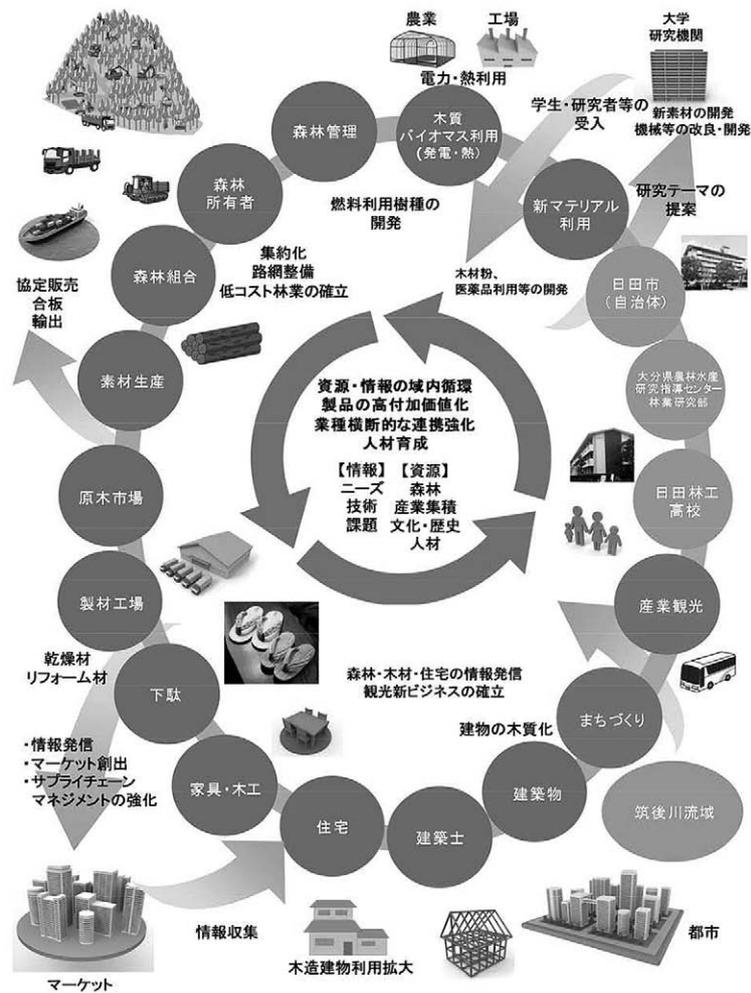
ます。そういうことをやるのが我々の役割だと思っています。今般、新しい事業を立ち上げて、地域のバイオマスエネルギー利用が自立して進んでいくようにガイドラインを作っていると思っています。このガイドラインの中に4つの視点を入れています。

1 番目は、バイオマスの原料調達のところでの工夫。いかに安定的に原料を確保する仕組みを作るかが大事ということです。2 番目がエネルギー変換の工夫。自然乾燥を使ってエネルギー効率を高めるなどの工夫です。3 番目がエネルギーの利用。熱需要の確保が大事になってくると思います。最後の4 番目は、地元との協力です。いかに利益が地元還元されていくかという視点です。

NEDO では平成 26 年度から「バイオマスエネルギーの地域自立化実証事業」を始めました。上の4つの視点を踏まえて、ガイドラインを作っているところで、まずは、技術面、導入の要件をまとめて、今、4つのバイオマス種（木質系、湿潤系、都市型系、混合系）についてガイドライン策定作業を行っています。このガイドラインができましたら、是非、試して頂きたいと思っていますので、ガイドラインを使って実際にバイオマスエネルギー導入事業をやっていただける事業者の方々に資金面での支援を行っていきたくと思っています。また、そういう中で、先ほど芋生先生からもご指摘がありましたように、技術開発の必要性も生まれてきますから、技術開発も応援していきたくと思っています。

**徳田** やはり、関係各位、皆さんの分野ごとに協力していかなければならないということだと思います。現状を踏まえ、期待も含めて、将来何を考えて行かなければいけないか。NEDO が策定しているガイドラインの中で、需要の確保、地元企業との協力が重要であるという点が挙げられました。

そういう点で、例えば、地域の中で色々な動きがあると思いますが、田島さんから地元の協



(出所：大分県日田市資料)

図4 新しい日田の森林・林業・木材産業振興ビジョン (2015)

力を得ながらバイオマス利用を進めていく上で  
お考えがありましたらお願いいたします。

#### 木質系バイオマスのサプライチェーンの例

田島 最近できたばかりの「新しい日田の森林・林業・木材産業振興ビジョン」というものがあります(図4参照)。私もビジョン作りの委員会に入っていました。

これは典型的なサプライチェーンマネジメントです。日田は林業では先進地であり、木材が集まる市場、製材所、家具工場もあります。そもそも、なぜ沢山の木材が日田に集まってくるかというと、先進的なシステムがあったからです。丸太が一斉に集まってくると、市

場がそれを細分化するのです。細分化することにより、ピンポイントで必要な材が手に入ります。そうすると、例えば、極めてセグメント化された製材業が成り立つのです。それぞれの製材工場が専門化された商品を作って売っていくシステムができあがっています。これに対し、大型の集成材工場や合板工場が建設され、そこにどんどん丸太が入っていくようになると、セグメント化された製材業が対抗できなくなります。そこで、今までの結びつきを新しい結びつきに変えようという発想を考えています。例えば、私は、経営者として2つのことをやっていこうとしています。1つはD材の安定供給です。A材、B材、C材の価格の上がり下がり激しいの

で、捨てているD材の利用コストをイノベーションで下げられれば、他のマーケットから完全に隔離されているので安定供給できるようになります。もう1つは、成長の早い木の育成と利用です。センダン、ユーカリ、コウヨウザン、チャンチンモドキといった、あっという間に成長する木があります。

そこで私は、「早生樹研究会」を立ち上げ、日田市、大分県、大分県の研究部門、製材所、バイオマス発電所、森林所有者（私）、苗木業者等々が集まり、1つのものを作っていきます。会長は私で、副会長は「グリーン発電大分」の森山社長と瀬戸製材(株)の瀬戸会長です。今、森林所有者（私）と製材所が組み、北九州のプレカット工場、建設会社と一緒に「産直住宅」を建てています。また、森林所有者（私）と製材所と家具工場で「産直家具」も作っています。

日田市のビジョンに対応して、私は経営者として、基本的に皆で商品を作っていくということを考えています。例えば、「産直住宅」では、注文者（施主）が私の山に来て、自分の家を建てる木を選んで頂きます。建てる時も家の方で何か問題があったら、山側をはじめ参加企業全員が一斉に解決策を考える。これが一般的なサプライチェーンだと思います。

徳田 1つのサプライチェーンというイメー

ジで日田市が動き、そこに田島さんも協力される。これが早めに実現できればバイオマスも生き残れると思います。

### 湿潤系バイオマスのサプライチェーンの例

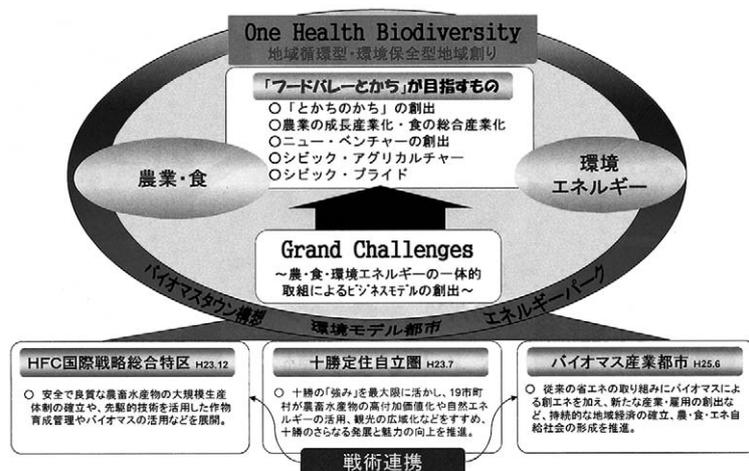
徳田 湿潤系のサプライチェーンについて中村さんからご紹介願えませんでしょうか？

中村 今後に向けた基本的な考え方ということでお話しいたします。

5年前に「フードバレーとかち」という事業を始めましたが、それは「農業と食」という地域のポテンシャルを最大限に活かして「食産業のイノベーションモデル」を作ろうということでした。

そして、バイオマス産業都市として平成25年6月に指定を受けたので、今は「農業と食を踏まえて、環境とエネルギーを一体的に取り組んで行こう」という考え方があります。十勝のバイオマスを活用して、地域循環型の農業とエネルギーの自立した地域を作るといことです（図5参照）。

その推進ツールは3つあります。1つ目は、「北海道フードコンプレックス（HFC）国際戦略総合特区」です。これには、規制緩和と税制・財政・金融の支援があります。2つ目は、



(出所:「フードバレーとかち」資料)

図5 フードバレーとかちのコンセプト～進化～

地域が広域連携で1つにならないとバイオマス産業の推進できないので、「十勝定住自立圏」を広域連携の合意作りのために活用しています。その中にバイオマスの推進を謳っています。3つ目の「バイオマス産業都市」は農水省中心に財政支援を受けて行っていますが、仮に色々な規制の特例を受けたいという時には、「国際戦略総合特区」を活用してチャレンジできます。これら3つの推進ツールを「戦術連携」で、それぞれの色々な手法を使いながら、環境、エネルギーの対応策を考えて行きたいと考えています。そして、今まさに、「フードバレーとかち」を進める上で「地方創生戦略」も加えて、推進エンジンにしていきたいと考えているところです。もともと、帯広市は環境モデル都市にも指定されています。バイオマスの活用というのは、自ずとCO<sub>2</sub>削減と一体になってくる訳で、省エネルギー＋バイオマスによる創エネルギーを産業政策と融合させていくということです。ここでできる十勝の農産物をクリーンなバイオマスエネルギーで加工して行こう、産地加工型、省エネ型、美味しい十勝、健康作りにつなげて行こうと考えています。

十勝の農・食・エネルギーの自給社会形成を目指すというのが大きなコンセプトです。現在、食料自給率は1100%、エネルギー自給率は68%です。十勝は広域でありながら、10年後にはエネルギー自給率82%を目指しています。生きていくためには、食とエネルギーと水が必要です。十勝には美味しい水、環境があります。そこで、十勝にしかできないような地域がここにできるのではないかとということで「バイオマス産業都市」を動かしているとしています。繰り返しになりますが、環境に優しいバイオマスエネルギーと地域循環型農業に一体的に取り組むこれが、様々な分野への波及など価値の連鎖が生まれて、産業の活性化や交流につながれば、我々が目指す地域作りが大きく前進するのだと考えています。



徳田 憲昭 氏

(エネルギー総合工学研究所  
部長)

### 技術面での将来の課題

#### ～国産化の加速、プロセスの複合化～

**徳田** 今後、バイオマスに対する期待が高まって、日田市、十勝地域のような動きをして頂けると、周りにいる私どもとしましても、将来的にどう協力するか考えていかなければなりません。技術面で将来に向けて何かありましたら、芋生先生、一言頂きたいのですが。

**芋生** 個別の技術としては色々あると思います。例えば、ガスエンジンとか林業機械についても、国産品は少ないと思います。日本で使われている高性能農業機械は建設機械がベースになっていて、ハーベスターのアームやヘッドの部分は輸入です。日本の技術力からすれば、非常にもったいないという気がします。例えば、農業機械では、大きい国内メーカーが4社ありますが、トラクター、コンバイン、田植え機といった稲作用の機械は、数が売れるものですから、各メーカーが独自に開発して販売しています。一方で、例えば、キャベツ収穫機だとか、ネギの移植機とかはニーズは非常にありますが、期待できる販売台数が少ないので、メーカーは開発費をかけられないのです。そこで、国がある程度資金を出して、農業機械メーカーが協力して開発しています。共同開発した機械を自社ブランドの製品として売るので。そうい

うやり方が林業機械にも適用できないものかと常々思っています。もう1つは、個別技術ではなく事業の複合化、プロセスの複合化のノウハウを検討する機会があったらいいなと思います。バイオマスエネルギー利用では、必ず原料、変換プロセスがあって、廃棄物（副産物）が出てきます。例えば、1つの事業だけだとどうしても廃棄物が出てきますが、これを複合化することによって、別のプロセスの原料として使えるかも知れません。あるいは、別々のプロセスから出てくる廃棄物を組み合わせることで、新たな価値が見出されるかも知れません。廃棄物処理の分野での事業者の例ですが、もともと廃木材だけを処理していたのですが、今は野菜くずや食品廃棄物とかも扱っています。野菜くずは、木質廃棄物を焼却して発電する際の熱で乾燥させて飼料にしています。食品廃棄物では、乾式メタン発酵をしている。乾式と言っても廃液が出てきます。そのままだと処理費がかかるので、木質廃棄物の一部で細かい炭を作り、それを廃液に混ぜ、水分調整して、肥料と土壌改良剤の中間みたいなものを作っています。無償で農家に配布しているので処理費がかからないそうです。このような技術の組み合わせのノウハウも検討する価値があるのではないかと思います。

もう1つも林業機械に関係するのですが、ある事業者が「高性能林業機械を買っても稼働率が非常に低いのではないか。オペレーターを雇っても通年では仕事がないのではないか。そこで、広域ネットワークを組めば、忙しい時には他の地域の事業者が駆けつける。逆に仕事がない時は他の所へ助けに行く。これなら林業機械の稼働率も上がるし、雇用の保証にもなる」と言っていました。それも1つのポイントだと思います。

#### 経済面での将来の課題

～地元の風土、文化、歴史を活かす方策～

徳田 技術面を中心に話を伺いましたが、

事業として成り立たせなければならないということがありますので、経済的な面で、事業を成り立たせるポイントについて横山先生、お考えはありませんでしょうか？

横山 再生可能エネルギーの中でもバイオマスは、地元への利益還元という経済性の面が、風力や太陽光と少し違います。地元の雇用とか、林業に関わる人達に恩恵が行くわけで、そこが大事です。しかも、地元の風土、文化、歴史に関係しています。それを背景に、真庭市では「バイオマスツアー」として観光資源化しています。そういうことにもつながるのが良いと思います。

また、FITの対象は発電だけですが、それだとエネルギー効率が悪いので、熱利用も行ってエネルギーの無駄を無くして欲しいと思います。新技術も大事ですが、安定操作性とか、メンテナンス技術にも力を入れて、全体的な経済性の向上を図っても良いし、それが「地方創生」にもつながると思います。

#### NEDOの今後の取り組み

徳田 やはり、技術面および地域の特徴を考えるにしても、儲からないとその地域の活性化もできないし、多分トライもしないだろうと思います。将来、国、NEDOはどこをやっているのか。地域および技術面でも参考になりますので、方向性がありましたらお話しをお願いいたします。

橋本 地域の特徴や事情を踏まえて進めていくために、過去の教訓を活かすガイドライン策定事業を始めました。これをしっかり進めて行きたいと思います。今日の議論の中で、経済性の話、技術の話、原料供給の安定性と、様々な話が出て来ました。最後に言っておきたいこととして、人材育成が重要な課題としてあると思います。地元に着目し、地域の事情を分かり、地域の人達と一緒に考える人材

をいかに確保していくか。これが非常に重要になっていくと思います。そのためにも、今、NEDOで作ろうとしているガイドラインが教材として役に立てば、我々としても非常に喜ばしいと思っています。

これから地域でバイオマス利用を図ろうという方々をNEDOは引き続き応援していきたいと思っています。それを通じて、地域でのプレーヤーの層が広がって厚くなっていくことを実現したいと思っています。

---

## おわりに

---

徳田 エネルギー利用を含めてバイオマス事業を世の中に広めていこうとすると、NEDOや資源エネルギー庁といった、引っ張って頂ける場所が必要だと思います。また、事業を具現化するために、地域のメンバー、大学の先生方も含めて技術者がどう協力していけるのか。有識者および地域、そして政策が1つの輪の中で連携しながら動いていければ、方向性も見つけられるのではないかと思います。

今日は、皆様と深くお話ししながら、非常に有意義な時間を過ごさせて頂いたと思います。少し方向性が見えてきたことに安堵しています。立ち位置は異なりますが、関係部署が繋がっていかなければ、バイオマス事業を世の中に広めていくこともできないだろうと思いますので、機会があれば、今後ともこのような場を作らせて頂きたいと思います。

微力ではありますが、弊所も、バイオマスに関して今後とも協力させて頂こうと思いますので、よろしくお願いいたします。

最後に、今日のご出席頂きまして誠にありがとうございました。

[寄稿]

## シェール・ガス革命, シェール・オイル革命の 2015年における最新動向

岩間 剛一 (和光大学 経済経営学部  
教授)



### 1. 米国で生産されるシェール・オイル とサウジアラビア産原油との違い

シェール・オイルは、専門用語では非在来型石油 (Unconventional Oil) と呼ばれ、サウジアラビア等で生産される在来型石 (Conventional Oil) とは異なる地質構造から生産される原油として、2012年頃からエネルギー専門家の間において注目され、米国における原油生産量が急速に増加してきた (図1参照)。

2008年の資源エネルギー・インフレーションの時期には、原油価格がWTI原油価格ベースで、2008年7月11日に1バレル147.27ドルまで高騰し、「オイル・ピーク論」が盛んに

喧伝されていた。「オイル・ピーク論」とは、米国における原油生産量は、減退の一途を辿り、原油価格は天文学的に高騰するという内容であった。米国における資源枯渇論の歴史は古く、米国国内に存在する油田は掘り尽くされ、原油埋蔵量の半分を採取した時点において、原油生産量はピークとなり、その後は減退に向かうという釣鐘型のバール・カーブ曲線の理論が提唱された。確かに、米国の2008年における原油生産量は、天然ガス液 (NGL) を除いた原油 (Crude Oil) の生産量は500万バレル/日 (b/d) まで減退していた。これは、1970年の全盛期の半分程度に過ぎない。米国の原油生産量は、1970年には1,000

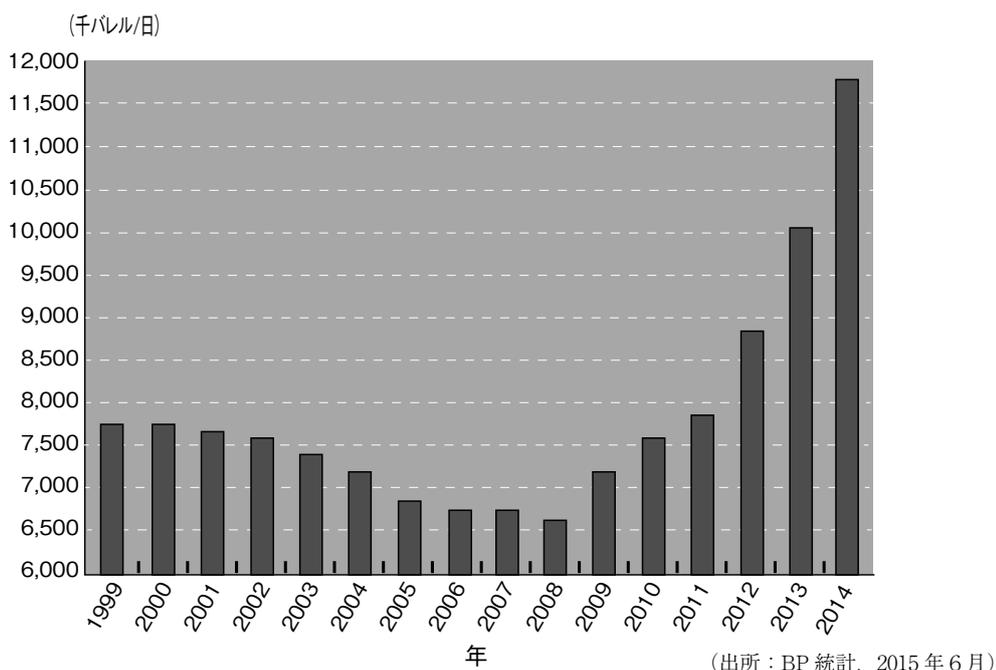


図1 米国の原油生産量

万 b/d に達する、世界最大の原油生産国であった。確かに、キング・ハバート氏をはじめとした石油専門家が提唱したオイルピーク論は、米国本土 48 州の通常の油田における貯留岩という油層に限定した原油埋蔵量と原油生産曲線という点では、当てはまっていたものの、石油を生成する根源岩に相当する頁岩（けつがん：シェール）に存在するシェール・オイル資源については妥当する理論ではなかった。

米国におけるシェール・オイル革命により、従来の石油工学の常識では、経済的に採取することが不可能とされていた頁岩に存在する石油成分が、経済的に採取できるようになった。2015 年 6 月に発表された BP 統計では、2014 年における米国の原油生産量は、サウジアラビアを抜いて世界最大となった。これは、1975 年以來 39 年ぶりのことであり、国際エネルギー機関（IEA）は、2015 年に米国は世界最大の原油生産国となると予測されていたことから、それよりも 1 年早いペースで米国は、世界最大の原油生産国となった。では、2014 年 7 月以降の原油価格下落局面において注目されている米国のシェール・オイルとサウジアラビア産原油との違いは何であろうか。

第 1 に、原油 = 在来型石油、シェール・オイル = 非在来型石油という名称から、シェール・オイルとは、中東産油国において生産さ

れる原油とは異なる、「特別な石油」という誤解を持つ一般の読者も多い。しかし、中東産油国の原油も米国のシェール・オイルも、どちらも炭素と水素の化合物で、常温・常圧で液体の炭化水素である点は、まったく同じである。シェール・オイルは、地下における存在形態が在来型の石油と異なるだけで、成分的には軽質の普通の原油であることは、今後の原油市場を考えるうえで極めて重要である。中東産油国の原油とは、粗い砂岩等の貯留層の隙間に存在する石油成分である。それに対して、シェール・オイルは、頁岩という水の浸透率が、通常の中東産原油における貯留層の 1 万分の 1 程度しかない岩盤層に存在する石油成分である。水の浸透率が極めて低いということは、当然のことながら、継ぎ目のないシームレス・パイプラインで掘削しても、地下の圧力によって石油が自噴することはない。水圧破碎（Fracturing）という高圧の水で岩盤に割れ目をつくり、水の圧力で頁岩中の石油成分を追い出す（フロー・バック）させる。そのため、中東産油国の在来型石油よりも生産コストが高くなる。2015 年 6 月時点における石油工学の技術では、原油の生産コストは、中東産原油→シェール・オイル→米国メキシコ湾深海部油田、という順序で上昇する（図 2 参照）。

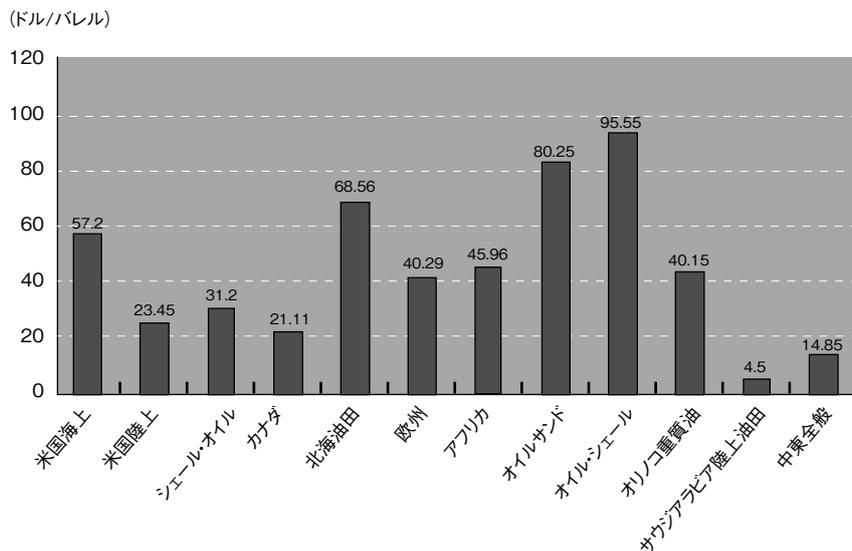


図 2 油田ごとの発見・生産コスト

第2に中東産油国の原油は、一般的にガソリン等の軽い石油製品の得率が低い重質原油である。それに対して、シェール・オイルは、API（米国石油協会）度32度以上の軽質原油あるいはコンデンセート（粗製ガソリン）というガソリン等の軽い石油製品の得率が高い原油である。各国に存在する石油精製設備である製油所（Refinery）は、それぞれ輸入する原油のAPI度に対応した設備設計になっており、アジア大洋州の大部分の製油所は、サウジアラビアをはじめとした中東諸国において生産される重質原油対応となっている。米国の製油所も大部分は重質原油対応となっているため、サウジアラビア等の重質原油は、直接的には米国のシェール・オイルとはバッティングしない。しかし、米国の軽質原油対応の製油所は、米国国内のシェール・オイルを原料とするようになったことから、ナイジェリアの軽質原油であるボニー・ライト原油の米国向けの輸出は、減少基調となっている（図3参照）。

## 2. 原油価格の底値の指標となるシェール・オイル

2015年4月以降は、原油価格が若干は回復基調にあり、2015年6月18日時点において、WTI原油価格は1バレル60.45ドルと価格を若干戻している。これまでのエネルギー専門家の予測では、原油価格が、2014年9月時点では1バレル80ドル、2014年11月時点では1バレル60ドルを割り込むと、米国のシェール・オイル生産企業の半分以上が採算割れとなり、米国におけるシェール・オイルの生産量が減少し、原油価格下落は止まるとされていた。しかし、2015年に入り、WTI原油価格が1バレル50ドルを下回っても、米国におけるシェール・オイルの生産量の増加が続いている（図4参照）。

2014年6月をピークに原油価格が下落を始めてから、2014年秋以降において、多くのエネルギー専門家の間では、米国におけるシェール・オイルの生産コストに関する議論が行わ

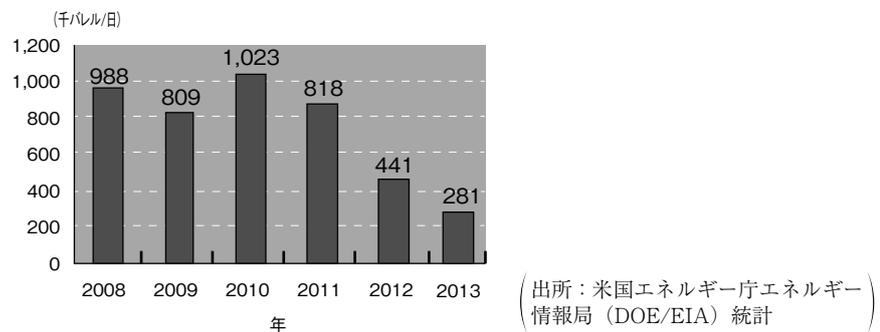


図3 米国のナイジェリア産原油・石油製品輸入量

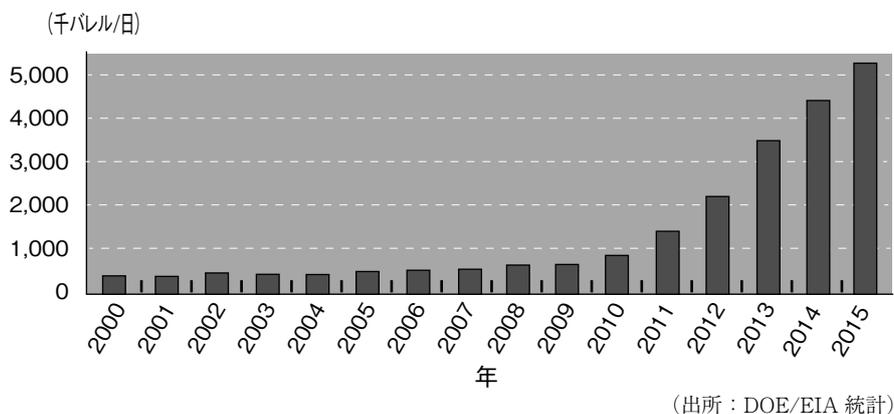


図4 米国におけるシェール・オイル生産量推移

表1 シェール・ガス、シェール・オイル関連の動き

年 月	概 要
2014年4月	伊藤忠商事、シェール権益で290億円の損失計上
7月	ホワイトニングがコディアックを6,000億円で買収
8月	シェルがルイジアナ州の鉦区を2,300億円で売却
9月	エンカナがアスロン・エナジーを7,600億円で買収
9月	住友商事がシェール・オイルで1,700億円の損失計上
10月	チェサピークがシェール・ガス権益を5,800億円で売却
2015年1月	米国シェール・オイル企業WBHエナジー経営破綻
2月	シェブロンがポーランドのシェール・ガス開発から撤退
4月	ロイヤル・ダッチ・シェルが470億ポンドでBG買収
5月	米国ノーブル・エナジーが21億ドルでロゼッタ・リソースを買収

れるようになった。2014年秋時点においては、シェール・オイルの生産コストは、1バレル80ドル程度と高く、原油価格が1バレル80ドルを下回れば、米国のシェール・オイルの生産量は減少し、原油価格の下落は止まるという楽観的な見方も強かった。実際に、欧米諸国の投資銀行においては、シェール・オイル・バブルは、早くも崩壊したというレポートが多く発表され、米国における天然ガス価格の下落、原油価格の下落によって、経営破綻する中堅石油企業、シェール・オイル開発権益を売却する企業が一部に出てきた(表1参照)。

2013年4月には、米国オクラホマ州の中堅石油企業GMXリソースが、米国における天然ガス価格が下落したために、資金繰りに窮し、経営破綻している。さらに、2015年1月には米国テキサス州のWBHエナジーが、原油価格下落に起因する資金繰り難から、経営破綻となり、大きな話題となっている。その他に、日本の住友商事、丸紅等の総合商社が、米国のシェール・オイルの開発に関連して損失を計上している。シェール・ガス・バブルが崩壊したという見解の理由としては、第1に米国における天然ガス価格、原油価格の下落にもかかわらず、シェール・ガス・ブームによって、テキサス州をはじめとして専門技術者が払底していることによる人件費の高騰、資機材費用が膨張し、シェール・オイル開発プロジェクトの採算分岐点が上昇していること。第2に開発条件の良いシェール・ガス、シェール・オイルの構造は、

地元企業に独占され、今後開発されるシェール・オイルは、生産コストが高い、地層構造が複雑な鉦区しか残されていないこと。等が挙げられている。しかし、シェール・ガス、シェール・オイルもリスクを伴う地下の資源開発であるという面は、通常の油田開発と同じであり、井戸の掘削の結果、経済性のあるシェール・オイル資源が発見できなかったということは確率論的には当然ある。また、これまでに経営破綻した企業であるWBHエナジーの負債総額も、5,000万ドル(約60億円)程度と小規模であり、現時点では、原油価格の暴落が、シェール・オイル生産企業に大きな打撃を与えていない。EOGリソースをはじめとした中堅石油企業は、今後のシェール・オイル開発に関して、強気の見方を崩していない。シェール・オイル開発の技術進歩によって、シェール・オイルの生産コストは日々低減しており、原油価格が下落しているにもかかわらず、米国のシェール・オイルの生産量は増加している。

2015年に入って、米国のシェール・オイルの生産量は、500万b/dを超えており、2015年5月時点におけるシェール・オイルの生産量は560万b/dに達している。

### 3. 今後のサウジアラビアの石油戦略

サウジアラビアをはじめとした中東産油国の首脳は、2014年上半期の時点までは、「適正な原油価格は、1バレル100ドル」と表明していた。

ところが、2014 年年末時点においては、「原油価格が1 バレル 20 ドルとなっても、サウジアラビアは減産しない。」と、サウジアラビアのヌイアミ石油大臣は声明を出し、原油価格目標水準を大幅に下方修正した。まさに、2014 年秋以降には、米国とサウジアラビアの原油生産競争という限りない消耗戦が展開されているという見方もできる。中東産油国の石油戦略はどのようなものなのか。

今回の原油価格下落に関して、サウジアラビアと敵対するロシア、イランを経済的に苦境に陥れるために、米国と手を結んでサウジアラビアが原油生産量を削減せず、原油価格を引き下げているという必ずしも根拠が明確ではない単純な謀略論がある。確かに、1986 年の逆オイル・ショックの時には、サウジアラビアは敢えて減産を行わず、1986 年と 1988 年には原油価格は 1 バレル 10 ドルを割り込み、原油輸出に経済を依存していたソビエト連邦の崩壊につながった歴史がある。ウクライナ情勢の緊張化を背景に、2015 年 6 月時点においても、欧米諸国からの経済制裁と原油価格下落という二重の打撃にロシアが直面していることは確かである。

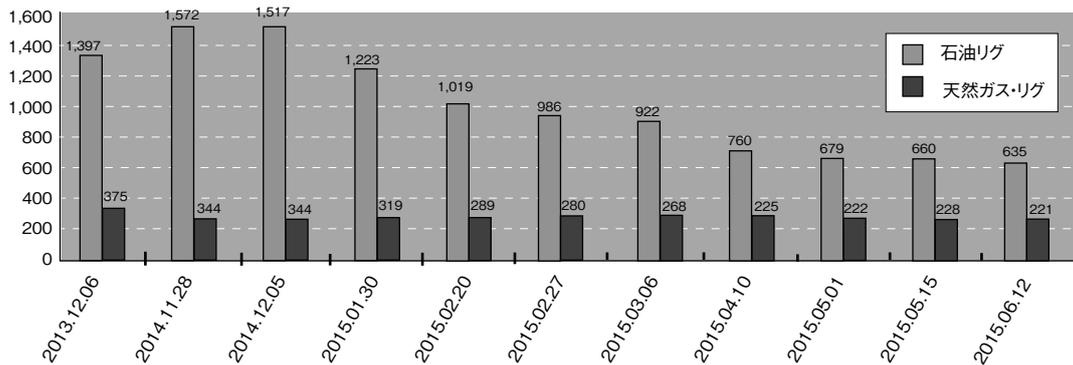
しかし、原油販売のシェア争いという点では、サウジアラビアと米国はライバル関係にある。原油生産事業の展開という点では、サウジアラビアが、米国と手を結ぶ経済的な利益はない。米国は、上述のように 2014 年にサウジアラビアを抜いて世界最大の原油生産国となった。米国が、再び世界最大の原油生産国となることは、石油輸出国機構 (OPEC) のリーダー的存在であるサウジアラビアをはじめとした中東産油国にとって大きな脅威である。今後は、サウジアラビアの在来型の石油ではない、米国のシェール・オイルが、中東産油国に大きなインパクトを与える。原油価格下支えのために原油生産量を削減すると、原油の市場シェアを米国のシェール・オイルに奪われ、減産したサウジアラビアだけが損失を被るという経済的合理性が働くのは当然である。サウジアラビアの陸上油田の生産コ

ストは、生産工程においてコストがかかる作業を行わなくとも油田から原油が自噴することから、1 バレル 4～10 ドル程度と、米国のシェール・オイルと比較して、極めて安価である。その点、米国のシェール・オイルは、水平掘削 (Horizontal Well)、水圧破碎という高度な技術を用いている以上は、生産コストがサウジアラビアよりも高いことは自明の理である。現状のように限りない消耗戦を展開すれば、最後に勝利するのは米国のシェール・オイルではなく、サウジアラビアをはじめとした中東産原油である。中東諸国が再び国際市場の指導力を掌握した後に、原油価格の下支えを行うことがサウジアラビアの経済合理的な行動なのである。

#### 4. 2015 年の米国シェール・オイルの生産予測

米国におけるシェール・オイルの生産コストについては、2015 年 6 月時点におけるエネルギー専門家の間でも、様々な見解がある。欧米の投資銀行は、1 バレル 60～80 ドルと高めに推定していたものの、米国のシェールンベルジェ、IHS 等の石油専門機関は、2014 年秋時点においても 1 バレル 40～60 ドルとばらつきがある。米国では、多くのシェール・オイル油田があり、頁岩の地質構造、石油成分の集積密度等によって、生産コストに大きな違いがあり、ノースダコタ州のバッケン・シェール・オイル油田、テキサス州のイーグルフォード・シェール・オイル油田、ワイオミング州のニオブララ・シェール・オイル油田等における生産コストは、条件の良い、スウィート・スポットでは 1 バレル 30 ドル以下の油田もある。

筆者の見方では、米国のシェール・オイルの生産コストは、1 バレル 30～50 ドルと考えている。もちろん、パーミアン・ベースン等の地質構造が複雑で、断層が多い油田の生産コストは、1 バレル 60 ドルを超えると推定される。とすると、WTI 原油価格 1 バレル 60 ド



(出所：ペーカー・ヒューズ社統計)

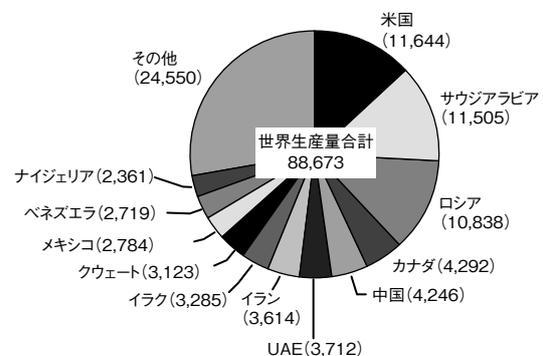
図5 米国のリグ稼働数 (2013年11月～2015年6月)

ルを下回ると、生産コストが1バレル60ドルを超える新規のシェール・オイルの開発は経済的に難しいと考えられ、今後の油田開発の先行指標となる石油掘削リグ(新規油田開発のための掘削装置)数は減少傾向となってくる(図5参照)。2015年6月12日時点におけるシェール・オイル開発を目的とした稼働リグ数は635基と、2014年12月5日の1,575基と比較して半分以下となっている。

しかし、米国における油田掘削用のリグ数が、2015年6月上旬時点において、急速に減少しているといっても、短期的に米国におけるシェール・オイルの生産量が大幅に減少するとは必ずしもいえない。第1に水圧破碎の技術、注入する化学物質の技術が、日進月歩で進歩しており、油田の仕上げ工程によって、既に開発された井戸(Legacy Well)1井戸当たりのシェール・オイルの生産量が増加し、生産性向上によるシェール・オイルの生産コストの低下が急速に進んでいる。シェール・オイルの生産曲線は、生産開始から1年程度で5割以上減退するという特徴を持っている。そのため、生産開始から1年間にどれだけ大量のシェール・オイルを回収するかという技術開発が進められている。第2に既存のシェール・オイル油田の回収率向上に関連する技術進歩が目覚ましい。既存のシェール・オイル油田は、初期投資が完了しており、界面活性剤等の化学物質の技術革新、水平掘削の延伸距離の拡張等、追加的なコストをミニマイズして、シェール・オイルの生産量

の増加が可能である。上述のように、将来的なシェール・オイル油田の開発は、足元の掘削リグ数の減少から、米国エネルギー省も、2015年5月以降には減少に向かう可能性が強いとしていた。そのため、2015年5月以降には、原油価格は安定する方向に動いている。しかし、既存の油田のシェール・オイルの回収率向上によって、2015年5月までは、筆者の予想とおり、シェール・オイルの生産量は増加を続けてきた。米国は、この2年間にわたって、世界で一番原油生産量を増加させた大産油国である。米国は2014年には、サウジアラビアを抜いて世界最大の原油生産国となった(図6参照)。

米国の原油生産量は、この3年間にわたって毎年100万b/d単位で増加している。2015年5月時点における米国の原油生産量は、NGLを含めると、1,200万b/d程度に達していると推定される。これは、サウジアラビアの



(単位：千バレル/日)

(出所：BP統計、2015年6月)

図6 国別原油生産量割合 (2014年)

原油生産量よりも多い。サウジアラビアは、2015年3月に原油生産量が1,030万b/dと、過去最高を記録しているものの、NGLを含めても、米国の原油生産量には達しない。2015年5月時点においては、米国、サウジアラビア、ロシアが、1,000万b/dを超える驚異的な原油生産を続けている。まさに、巨大原油生産国による限りない消耗戦である。2015年6月までの動きは、シェール・オイル開発に係わる学習曲線の上方カーブによって、シェール・オイルの生産コスト低下→米国のシェール・オイル生産量増加、という好循環が続いてきた。IEAをはじめとした多くのエネルギー専門機関は、既存の石油工学の理論における延長線から原油生産量を予測し、シェール・オイルの生産コストの低下とシェール・オイルの生産量の増加が、これほど急速に進むと予測することができなかった。それだけ、シェール・オイルの開発に関連する技術は、急速に進歩しており、中東産油国も、米国の中堅石油企業が持つシェール・オイルの実力を過小評価していたと考えられる。

## 5. 米国のシェール・オイルとの消耗戦

2015年夏となって、いよいよ原油価格の下

落とシェール・オイル開発技術の進歩との競争となる。ただ、原油価格が下落するスピードのほうが、現時点ではシェール・オイル開発の技術革新よりも速い。さらに、現在の原油価格においては、サウジアラビアをはじめとした中東産油国は、原油生産量を削減する政策をとらない。2015年6月5日に開催されたOPEC総会においては、現行の生産目標である3,000万b/dを据え置き、さらにOPEC加盟国は、原油生産量を増加させている(表2参照)。

2015年夏以降に考えられる見通しは、原油生産における中東産原油の圧倒的なコスト競争力という強みである。コスト競争において、米国の中堅石油企業の新規シェール・オイル油田開発が停滞し、2015年秋以降に米国におけるシェール・オイルの生産量が頭打ちとなる可能性が大きい。

## 6. シェール・ガス革命が中東に与える影響

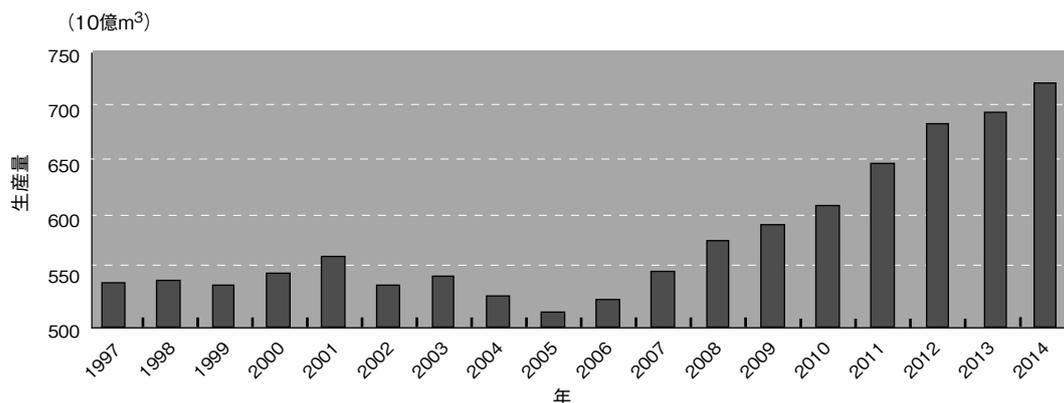
この3年間にわたって世界経済と国際資源地図を動かす大きな原動力となっているシェール・ガス革命について、シェール・ガス、シェール・オイルという非在来型天然ガス、非在来型石油には、重要な2つのポイントが

表2 OPECの原油生産量

(単位：百万バレル/日)

加盟国	目標生産量	2015年2月生産量	2015年3月生産量	生産能力	余剰生産能力
アルジェリア	1.20	1.10	1.12	1.14	0.02
アンゴラ	1.52	1.79	1.80	1.80	0.00
エクアドル	0.43	0.56	0.56	0.57	0.01
イラン	3.34	2.84	2.79	3.60	0.81
イラク		3.32	3.67	3.73	0.06
クウェート	2.22	2.80	2.80	2.82	0.02
リビア	1.47	0.29	0.48	0.50	0.02
ナイジェリア	1.67	1.83	1.79	1.92	0.13
カタール	0.73	0.67	0.67	0.70	0.03
サウジアラビア	8.05	9.71	10.10	12.34	2.24
UAE	2.32	2.84	2.84	2.90	0.06
ベネズエラ	1.99	2.38	2.40	2.49	0.09
OPEC 合計	30.00	30.13	31.02	34.51	3.49

(出所：IEA オイル・マーケット・レポート、2015年4月15日)



(出所：BP 統計, 2015 年 6 月)

図7 米国の天然ガス生産量推移

ある。第1に2015年6月となっても、シェール・ガス革命が起こっているのは米国だけである（カナダにおいても部分的にシェール・ガス開発が進められている）。中国、ポーランド等においても、2年ほど前からシェール・ガス開発が進められているものの、米国以外の国では、シェール・ガス開発について顕著な成果は挙がっていない。現在のところ、シェール・ガス革命とは、米国だけで起こっているエネルギー革命といえる（図7参照）。

第2にシェール・ガス革命が米国だけでしか起こっていないとしても、米国は世界最大の石油・天然ガス消費国である。シェール・ガス革命が米国で起こっていると看做しても、米国はネット・ポジションで石油純輸入国で、石油輸入量も世界最大という状況に変化はない。にもかかわらず、そうした世界最大のエネルギー消費国におけるエネルギーの需給緩和は、玉突き的に世界全体にエネルギー余剰という影響を与えることとなる。米国では、在来型の石油に加えて、非在来型石油であるシェール・オイルの生産だけで、上述のように500万b/dを超えており、これはOPEC加盟国であるイラク、イランの原油生産量よりも大きい。

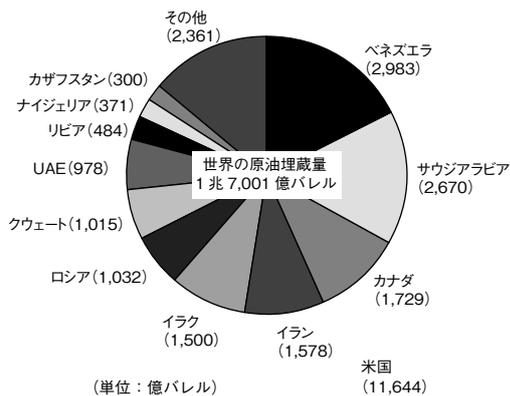
米国国内におけるシェール・オイルの生産だけで500万b/dを超えるということは、国際石油市場に大きな影響を持っている。なぜならば、500万b/dという生産量は、世界の産油国の中心である中東産油国の中でも、最大の産油国で

あるサウジアラビアに次ぐ生産量に相当するからである。米国のシェール・オイルの登場は、中東諸国にとって大きなインパクトといえる。なぜ、サウジアラビアが、原油価格の下落＝サウジアラビアの石油収入減少、という損失を敢えて被ってまで原油生産量を維持しているのか。それは、米国のシェール・オイルの存在が極めて大きいことにある。シェール・オイルの生産量の増加が、世界全体の石油需給緩和につながり、結果としてアジア大洋州に余剰な原油が流れ込み、中東産油国に対する石油需要を減少させる結果をもたらしている。

## 7. 中東諸国でのシェール・オイル存在の可能性

米国におけるシェール・ガス革命にもかかわらず、通常の石油といえる在来型石油埋蔵量の大部分は、依然として中東に集中している（図8参照）。

2014年秋から2015年春にかけて、国際石油情勢は、中東の在来型原油対米国のシェール・オイルという経済戦争の様相を呈してきた。もちろん、継ぎ目のないシームレス・パイプラインで地下を掘削すれば自噴する中東の在来型原油のほうが、水平掘削、水圧破碎等の技術を用いなければならないシェール・オイルよりも、圧倒的に生産コストが安価であり、単純な価格競争を行えば、中東の在来型



(出所：BP 統計, 2015年6月)

図8 国別原油埋蔵量 (2014年末)

原油が勝利を収める。しかし、より深く考察すると、中東にもシェール・オイルが豊富に存在する可能性が大きいと推定されている。現時点では、在来型原油のほうが、生産コストが安価かつ豊富であるために、中東においてシェール・オイルの開発が、積極的に行われていないだけである。中東産油国に豊富なシェール・オイルが存在すると推定される理由は、現在の石油工学の通説となっている有機体説によれば、プランクトンの死骸、藻が堆積して、地下の高温・高圧で、数千万年～数億年という気の遠くなるような長い時間をかけて化学的に熟成したものが、石油と天然ガスという化石燃料 (Fossil Fuel) である。シェール・ガス、シェール・オイルという非在来型化石燃料は、頁岩という石油・天然ガスが生成される根源岩 (ソース・ロック) から直接に採取されている。それに対して、在来型石油といわれているものは、頁岩から数千万年という時間をかけて貯留岩という粗い砂粒の地層に上昇し、溜まった石油・天然ガスである (図9参照)。

図9のように、頁岩に存在する石油成分のうちの、わずか2%程度の石油が、数千万年という長い時間をかけて粗い砂粒の砂岩から構成される貯留岩に上昇し、その貯留層に溜まった石油を採取することが、これまでの150年を超える石油工学の歴史である。となると、在来型石油という資源の根底には、残りの

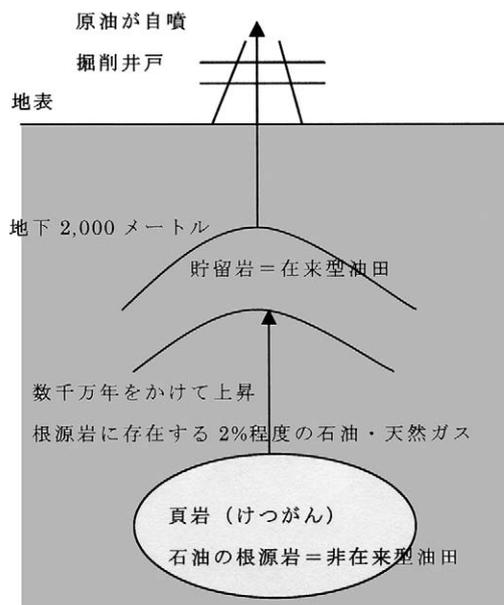


図9 在来型原油とシェール・オイルの関係

98%の石油が蓄えられた根源岩があるということの意味する。従来は、根源岩における水の浸透率が、貯留層の1万分の1しかないために、経済的に採取できなかったことから、生産コストと豊富な埋蔵量の観点から、中東産油国は、シェール・オイルの開発に積極的に取り組まなかっただけであるといえる。DOE/EIAは、2013年6月に米国以外の国も加えたシェール・オイルの資源量を初めて発表している (表3参照)。

この資源量は、米国エネルギー省エネルギー

表3 国別シェール・オイル資源量(2013年6月)

(単位：億バレル)	
国名	技術的回収可能資源量
ロシア	750
米国	580
中国	320
アルゼンチン	270
リビア	260
豪州	180
ベネズエラ	130
メキシコ	130
パキスタン	90
カナダ	90
世界合計	3,450

(出所：DOE/EIA 統計)

情報局 (DOE/EIA) が、地質構造が正確に把握できて、かつ極めて保守的に、現在の技術で回収可能なシェール・オイルの資源量を、米国以外の 41 ヶ国を対象として、推計したものである。当然のことながら、DOE/EIA は、中東産油国の正確な在来型石油埋蔵量も、その根底にある地質構造も把握していない。そのため、中東産油国はシェール・オイル資源の推計対象外となっている。しかし、在来型原油の埋蔵量が莫大な中東諸国には、その数十倍に達するシェール・オイルが根源岩に存在する可能性が大きいといえる。

## 8. 国際原油価格に影響を与える米国のシェール・オイル

1 年前の 2014 年春時点において、米国において生産量を増加させているシェール・オイルが、国際原油価格を大きく下落させると予想したエネルギー専門家はいたであろうか。IEA でさえ、今後の世界における石油需要の増加から、原油価格は、2020 年に向けて 1 バレル 130 ドルを超えると予想していた。しかし、原油価格は、2014 年 6 月をピークとして急速に下落した (図 10 参照)。2014 年 6 月からの原油価格の下落は 60 ドルを超えている。

この 1 年近くに及ぶ原油価格の下落の大きな要因は、米国におけるシェール・オイルの生産量の増加に他ならない。国際的に権威がある IEA においても 2013 年時点において、米国のシェール・オイルの生産量は、2015 年に 300 万 b/d 程度と予測していた。しかし、米国におけるシェール・オイルの生産量の増加は、エネルギー専門家の予想を大きく上回り、DOE/EIA 統計によれば、上述のように米国のシェール・オイルの生産量は、561 万 b/d に達している。IEA の予想を 250 万 b/d 以上も上回っている。エネルギー専門家の予想を超えるほど、米国におけるシェール・オイル開発の技術が大きく進歩しているといえる。これは、OPEC の盟主であるサウジアラビアにとって大きな脅威であり、米国のシェール・オイルの生産量の増加を放置しておけば、サウジアラビアの石油輸出シェアを食われ、大きな損失を被る。そこで、サウジアラビアは、スウィング・プロデューサー (生産調整役) を放棄し、原油生産量を逆に増加させ、世界的な石油需給の緩和から、原油価格は底値が見えない下落が続いたのである。

IEA の統計では、2015 年 3 月の OPEC による原油生産量は、3,100 万 b/d を超え、2015 年 2 月と比較しても、100 万 b/d 程度も原油生産

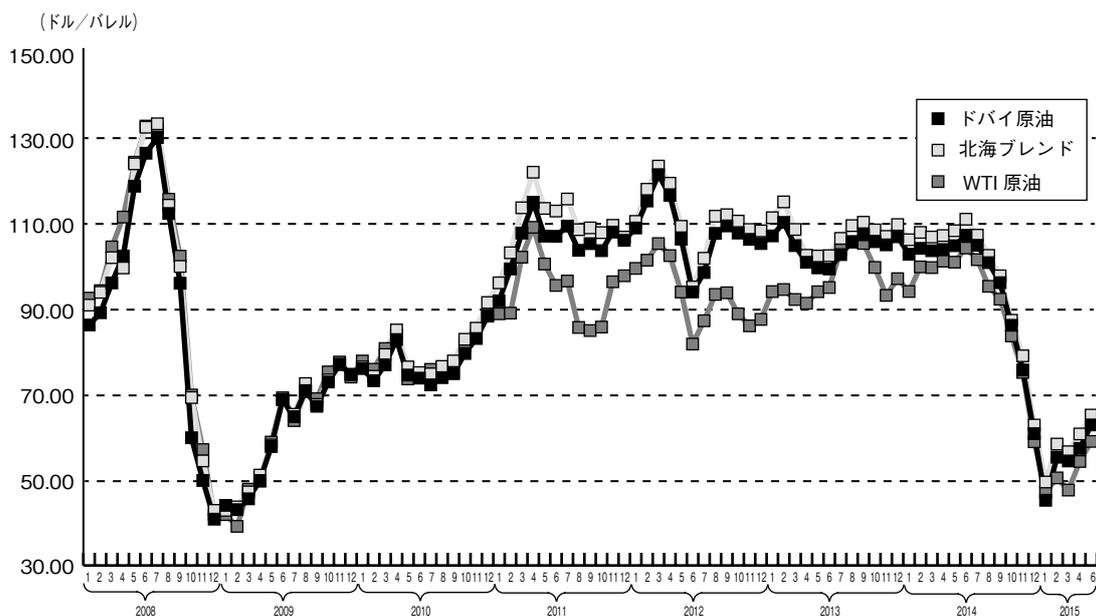


図 10 主要原油価格推移 (2008 年 1 月～2015 年 6 月)

量を増加させている。原油価格が下落する中における OPEC の原油生産量の増加は、OPEC が原油価格下落による石油収入の減少を十分にわきまえたうえでの、米国のシェール・オイルに対する長期的な消耗戦を意味する。

## 9. 依然として強力なシェール・オイルの実力

サウジアラビアをはじめとした OPEC 加盟国にとっては、そろそろ原油価格の下落により、米国のシェール・オイル生産企業も根を上げてきているという見方が出ており、サウジアラビアの国営石油企業であるサウジアラムコも、アジア向け 6 月積みサウジアラビア原油の調整金を据え置いている。これは、中東ドバイ原油をはじめ、国際指標原油価格に落ち着きが出ていると判断しているからである。もともと、生産コストを比較すると、サウジアラビアの陸上油田の生産コストは 1 バレル 4～5 ドル、それに対して、米国のシェール・オイルの生産コストは、技術革新が進んでいるとはいえ、条件の良いスイート・スポットにおいても、1 バレル 25～35 ドルと、サウジアラビア原油に圧倒的な価格競争力がある。

その意味で、シェール・オイルの油田における地質構造、埋蔵量によって、生産コストが 1 バレル 60～80 ドル程度の新規シェール・オイル油田の開発が停滞することは、WTI 原油価格が 1 バレル 50 ドルを割り込んだ時点において予想されていた。しかし、OPEC 加盟国にとって、想定外であったことは、予想を超えた米国のシェール・オイルの実力である。2014 年 11 月 27 日の OPEC 総会においては、WTI 原油価格が 1 バレル 60 ドル程度に低下した段階において、米国のシェール・オイルの生産量は減退すると考えられていた。もちろん、原油価格の下落に伴って、米国の中堅石油企業の収益は悪化し、資金繰り難から、2015 年 1 月に WBH エナジーが経営破綻し、その後も石油企業の M&A (合併・買収) が行われている。

しかし、原油価格下落の過程で分かったことは、意外に強いシェール・オイルの実力である。米国の中堅石油企業は、格付けの低下による資金繰り難等に直面しているものの、経営破綻しているのは、現時点では小規模石油企業だけである。中堅石油企業も、新規社債の発行による資金調達面で苦闘している部分があるものの、シェール・オイル資産売却等によって、経営危機を乗り越えている。こうした米国におけるシェール・オイル企業の実力の理由としては、以下の点が考えられる。

第 1 にシェール・オイル開発における技術開発が日進月歩であるということが挙げられる。既存油田 (Legacy) における水平掘削の延伸距離の拡大、水圧破碎技術の精緻化によって、1 井戸当たりの生産性が、この 1 年間に 3 割～4 割程度向上している。この生産性の向上が、シェール・オイルの生産コストの低下につながり、WTI 原油価格が低下しても、米国におけるシェール・オイルの生産量が、減少傾向をなかなか見せない理由である。現時点においても、将来的な新規油田の開発を示すリグ稼働数は減少しているもの、正確な統計としての米国のシェール・オイル生産量減少は出ていない。あくまでも、2015 年 7 月にならなければ、2015 年 6 月に米国のシェール・オイル生産量が減少したかどうか分からない。市場が、評価しているのは、DOE/EIA による、2015 年 5 月 12 日に発表された今後の米国における原油生産量の減少見通しだけである (図 11 参照)。

現状では、条件の良いスイート・スポットにおけるシェール・オイルの生産コストは、1 バレル 30 ドル以下に低下しており、そうした条件の良い、イーグル・フォード等のシェール・オイル油田の新規開発は、現時点においても行われている。米国では、イーグル・フォード、バッケン、パーミアンが、もっとも条件の良いシェール・オイル油田の地域といわれ、その地域におけるシェール・オイルの生産量は、原油価格が下落したにもかかわらず、減少傾向を示していない (図 12 参照)。

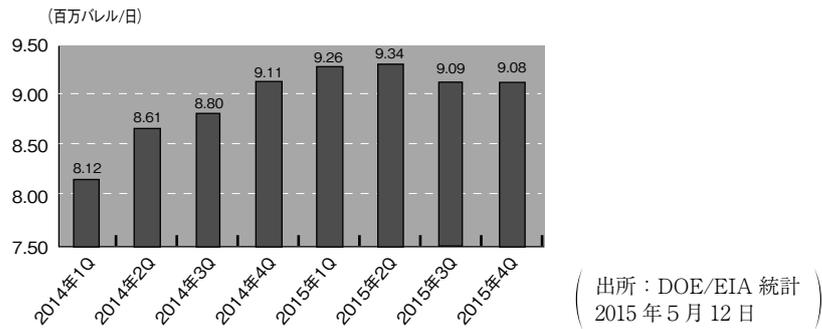


図 11 米国の原油生産量見通し

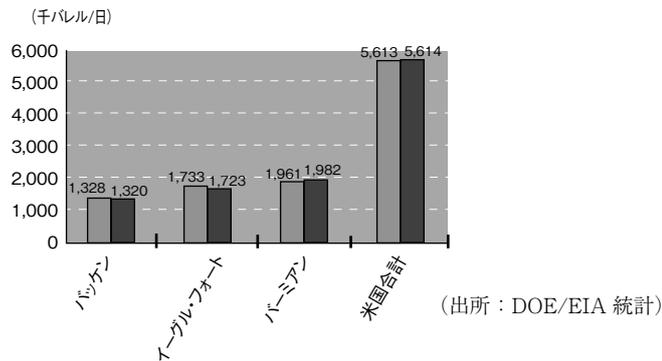


図 12 米国のシェール・オイル生産量 (2015年3月, 4月)

第2に原油価格の下落による中堅石油企業の利益低下にもかかわらず、新規の社債発行、私募債発行が行われており、今後の原油価格回復を狙って、ハイリスク・ハイリターン投資を行う投資家が米国に一定程度存在することである。原油価格の回復とともに、中堅石油企業の売上高も回復しており、生産コストが安価なシェール・オイル油田の開発へのファイナンスは行われている。そのため、OPECが予測していたほど、米国の中堅石油企業の経営破綻が発生しない。

第3にもともと、原油価格の下落に備えたヘッジ(リスク回避への金融手法)として、2015年の間は1バレル80～90ドル程度で先物売りの契約を行っている石油企業が数多くあることである。ウォール・ストリートにおいては、アナダルコ、EOGリソースズ、デボン等のシェール・オイル生産企業は、原油先物売りで利益を確定させており、現状の原油価格下落の影響を、

2015年中は受けないと見ている。もともと、米国の石油企業は、歴史的に原油価格の乱高下の経験を数多く持っており、原油価格が1バレル40ドルに低下しても利益が出る経営体質を目指している。もっとも、原油先物売りも、手数料の関係から2年～3年と長期にまで耐えられるものではないことから、2016年以降には原油価格下落の影響が出てくる可能性がある。

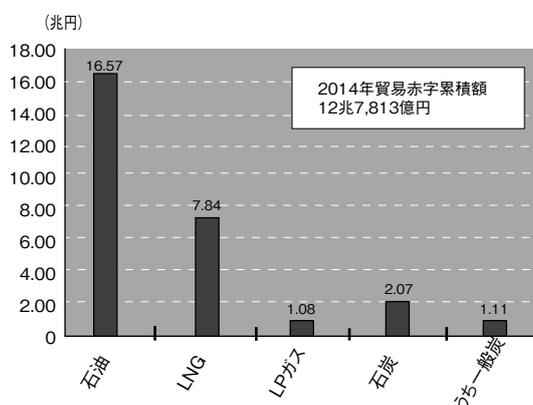
第4にシェール・オイルの水圧破碎等の技術は、日進月歩であり、2014年までのシェール・オイルの生産コストと2015年、2016年におけるシェール・オイルの生産コストは大きく改善される可能性がある。となると、原油価格が1バレル80ドルを超えると、再び米国のシェール・オイルの生産量が増加を開始し、それが原油価格の低下要因となる可能性があり、2015年における原油価格は、1バレル60ドル～80ドル程度で推移する可能性が大きいといえる。

## 10. 日本経済にも既に好影響を与えたシェール・ガス革命

日本の2015年3月の貿易統計が発表された。財務省による通関ベースでは、2,293億円の黒字と、実に2年9ヵ月ぶりの貿易黒字となった。これは、円安によって、米国、中国への自動車輸出、工作機械輸出が好調であったことに加えて、原油価格下落による石油、液化天然ガス（LNG）の円建てで見た輸入額の減少が大きい。この1年で見ると、2014年3月と比較して、北海ブレント原油価格は1バレル107.75ドルから2015年3月には1バレル57.06ドルと、ドル建てで見て、ほぼ半値となっている。LNG価格は、スポット価格が百万Btu（英国熱量単位）当たり2014年2月の20.5ドルから2015年3月には7ドルと、3分の1に下落している。LPガスの輸入価格も、この1年間で、1トン当たり1,200ドルから500ドルまで下落している。日本の貿易赤字は、2014年は12兆7,813億円に達し、そのうち石油の輸入額が16兆5,700億円、LNG輸入額が7兆8,400億円、LPガス輸入額が1兆800億円と巨額なものとなっている（図13参照）。日本にとって、最大の輸入品目は、石油と天然ガスである。特に、東日本大震災以降における原子力発電所の稼働がゼロとなり、LNGの輸入額は、21世紀初頭の2兆円から8兆円近くに増加し、それが電気料金の引き上げ、貿易赤字の大きな要因となってきた。

しかし、原油価格、LNG価格、LPガス価格が、ドル建てで見て半値から3分の1に下落しているとなると、円安による相殺効果を考慮に入れても、石油、LNG、LPガスの輸入額は、現在の価格が続くと、合計すると14兆円も減少し、日本の2015年における貿易収支は黒字となる。東日本大震災以降、日本の電気料金の上昇、国富の流出の原因は、原油価格、LNG価格の高騰にあった。そうした日本経済を悩ませてきた原油価格高騰という状況が変化してきている。

では、日本経済にとって朗報といえる原油価格、天然ガス価格、LPガス価格の下落の背景は何かというと、それは米国のシェール・ガス革命の賜物に他ならない。多くのエネルギー専門家を驚かさずペースで米国におけるシェール・ガス、シェール・オイルの生産量が増加したことにより、世界的に石油需給が緩和し、原油価格の下落を引き起こしたといえる。特に、シェール・ガス革命が、米国で起こったことは重要である。かりに、シェール・ガス革命がOPECの加盟国であるサウジアラビア、アラブ首長国連邦（UAE）等で起こったとしても、これほどの原油価格下落はもたらされなかったであろう。サウジアラビアの原油生産能力が拡大したとしても、サウジアラビアの国営石油企業であるサウジアラムコが、生産調整を行い、原油価格を高値で維持する石油政策をとっていたであろう。しかし、市場経済の国である米国であれば、国家の石油戦略とは関係なく、民間企業として1バレル当たり1セントでも利益が出れば、原



(出所：財務省貿易統計)

図13 日本の化石燃料輸入額

油生産量を増加させる。世界最大の産油国であるサウジアラビアにとっては、石油収入を安定化させるうえでは、米国におけるシェール・ガス革命は、迷惑このうえないものの、日本のように石油の99.7%を海外からの輸入に依存する国にとっては、まさに救世主的な存在といえる。

こうした状況は、LNGについてもいえる。まず、日本のLNG輸入の8割は原油価格連動の長期契約となっている。この分については、原油価格の下落から3～6ヵ月遅れて、LNG価格は下落する。2015年6月以降に、長期契約分のLNG価格が、本格的に低下してくる。そして、スポット(随時契約)分のLNG価格は、供給面においては豪州のカーティスLNGの生産開始、さらには2015年に豪州のゴーズンLNGが生産開始し、需要面においては中国の経済減速、LNG輸入量の伸び悩み、韓国の原子力発電所の稼働が順調であることから、2015年6月時点において百万Btu当たり7ドル程度に下落している。一部のエネルギー専門家は、「もはや、米国のシェール・ガスを原料としたLNGは割高となっている。」と主張するが、それは必ずしも正しくない。米国においてシェール・ガス革命が起こり、米国国内の天然ガス需給が緩和したことから、玉突き的に世界の天然ガス需給が緩和し、米国のシェール・ガスを原料としたLNG輸出という競争相手の脅威が、米国以外の豪州、アルジェリア等のLNG価格の引き下げにつながっている。1年前のLNG輸出国のLNG価格に対する強気な態度は、この1年で大きく変化を遂げた。

LPガスも同じである。これまでは、サウジアラムコが、市場の需給関係とは必ずしも関係なく、恣意的に決めていたサウジアラムコCP(コントラクト・プライス)も、米国のシェール・ガスに伴ったLPガスの存在を無視できなくなった。日本のLPガス輸入において、21世紀初頭には米国からのLPガス輸入は、ほぼゼロであった。しかし、現在では、米国のシェール・ガスに伴ったLPガスの輸入量が2割近くを占めている(図14参照)。

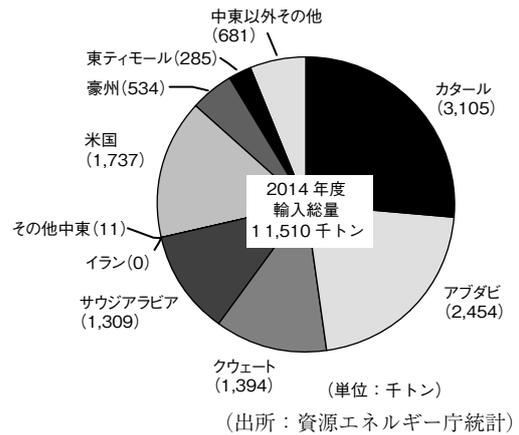


図14 日本のLPガス輸入先

現時点では、日本にとっては、サウジアラビアよりも米国のシェール・ガス生産に伴うLPガスの輸入量のほうが多い。米国のLPガスの指標である米国メキシコ湾のモンテベルビュー渡しは、1トン当たり300ドル程度まで下落している。2015年6月時点において、シェール・ガスを原料としたLNGの輸入は開始されていないものの、割安なシェール・オイルの輸入は部分的に行われており、日本経済も、米国のシェール・ガス革命の恩恵を既に大きく受けているのである。

[寄稿]

## 欧米諸国における小売電力市場の動向

大西 健一 (一社) 海外電力調査会  
調査部 主任研究員



### 1. はじめに

わが国では電気事業の高コスト構造に関する指摘等を踏まえ、1995年の第一次制度改革で発電部門における競争原理の導入が行われた。そして、1999年の第二次制度改革に基づき2000年3月から小売電力市場の部分自由化が開始され、特別高圧需要（原則契約電力2,000kW以上）が自由化範囲とされた。続く2003年の第三次制度改革では、高圧需要（原則契約電力50kW以上）まで自由化範囲が拡大されている。2008年の第四次制度改革においては主に卸電力の取引活性化に向けた改革が行われただけで、小売電力市場における自由化範囲の拡大は実施されなかった。

しかし、2011年3月に発生した福島第一原発事故を受けて、再び電気事業全体に対する改革機運が高まった。政府は安定供給の確保、電気料金の最大限抑制、需要家の選択肢や事業者の事業機会拡大等を目的として電力システム改革を推し進めている。その一環として、2014年6月に成立した改正電気事業法に基づき、2016年を目途に家庭用需要（低圧需要）まで自由化範囲を拡大することとなった（小売電力市場の全面自由化）。

本稿では、欧米諸国における小売電力市場（家庭用小売市場）の自由化状況を整理し、新規事業者の参入状況、家庭用電気料金の推移とその背景を概観する。そして、欧州でも先行して全面自由化が導入された英国での電気事業者の事業戦略の事例を紹介する。

### 2. 米国における小売市場自由化の現状および電気料金の推移

#### (1) 米国における小売電力市場自由化の動向

米国では1990年代以降に電気料金が比較的割高な州において小売電力市場に競争原理を導入する電力市場再編が検討された。米国北東部に位置するロードアイランド州で米国初の小売電力市場の自由化が1997年7月に導入され、2014年時点で13州およびコロンビア特別区で全面自由化が導入されている（図1参照）。一方、電気料金が比較的割安な米国北西部、中西部・南東部では、小売電力市場の自由化は導入されず、州公益事業委員会（PUC：Public Utility Commission）が総括原価方式に基づき電気料金を規制している。

小売電力市場の自由化を開始した大部分の州では、猶予期間として移行期間を設定した。移行期間を設定した背景には、①回収不能費用を回収するために移行期間中に一定額を電気料金に上乗せする、②主に家庭用需要家が競争市場に対応するために準備期間を設けるといった事情がある。②を実現する観点から、移行期間中に既存事業者の電気料金に対して料金凍結措置が適用され、燃料費調整制度等に基づき料金改定は認められるものの、その料金水準はPUCによって規制された。

移行期間は各州・各電気事業者によって異なり、小売電力市場の自由化開始後、数年間の移行期間が設けられている。例えば、ペンシルベニア州では、2000年に自由化が導入されたが、

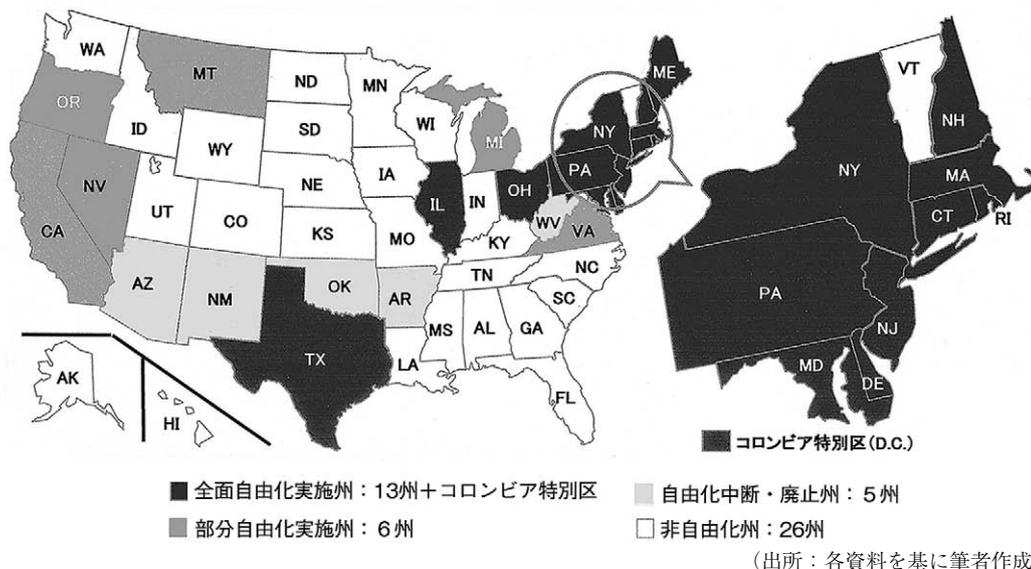


図1 米国における自由化導入州の状況 (2014年)

2010年末まで移行期間が設定されていた。

また、小売電力市場を自由化した州では、PUC 主導または自発的な経営判断で既存の電気事業者が保有していた発電設備が独立系発電事業者 (IPP: Independent Power Producers) に売却されたり、発電子会社に移管されたりした。例えば、PUC の主導による場合であれば、カリフォルニア州、コネチカット州、メイン州、ニューハンプシャー州、ロードアイランド州では州法で明確に既存事業者に対して発電設備を売却することを義務付けていた。小売電力市場の自由化が行われる以前の1997年時点では、既存事業者の発電設備所有率は概ね90～100%であったが、2012年時点では数%まで減少している州が米国北東部の州を中心に存在する。発電設備を売却した既存事業者は卸市場価格が上昇している2000年代半ば、卸電力市場から割高な価格で電力調達せざるを得ず、逆ザヤを抱える場合もあった。

## (2) 米国の家庭用小売市場における新規事業者のシェア

小売電力市場が自由化されても大部分の州で移行期間が設定され、電気料金はPUCの管理下に置かれていた。電気料金が割安な水準で設

定されている場合には、新規事業者が需要家を獲得できる余地はなく、新規事業者の市場シェアは低迷した状況が続いていた。2000年代半ばになって移行期間が終了し、既存事業者は電力調達費用ベースで料金を設定できるようになった。新規事業者は既存事業者の料金よりも割安な料金を提示し、既存事業者から需要家を獲得し始めている。加えて、PUCは家庭用小売市場の活性化を推し進めるために様々な措置を講じたことも新規事業者の市場シェアを引き上げる大きな要因となった。

需要家数が多い主要州を例に挙げると、イリノイ州やオハイオ州では「地方自治体による需要集約制度」<sup>(注1)</sup>等の活性化策が導入されたことで、イリノイ州では新規事業者の市場シェアは2010年時点で0%であったが2013年時点で61%に、オハイオ州でも2008年末時点で5%であったが2013年末時点で50%に上昇している。(図2参照)。

一方、テキサス州では、結果的に既存事業者の規制料金が割高な水準に引き上げられたため、移行期間中でも新規事業者の参入が相次ぎ、移行期間が終了した2006年末には新規事業者の市場シェアは約40%、2013年末には約60%まで上昇している。

注1：地方自治体が小口需要家を対象として需要集約及び条件交渉を行い、一括して新規事業者に変更する制度。

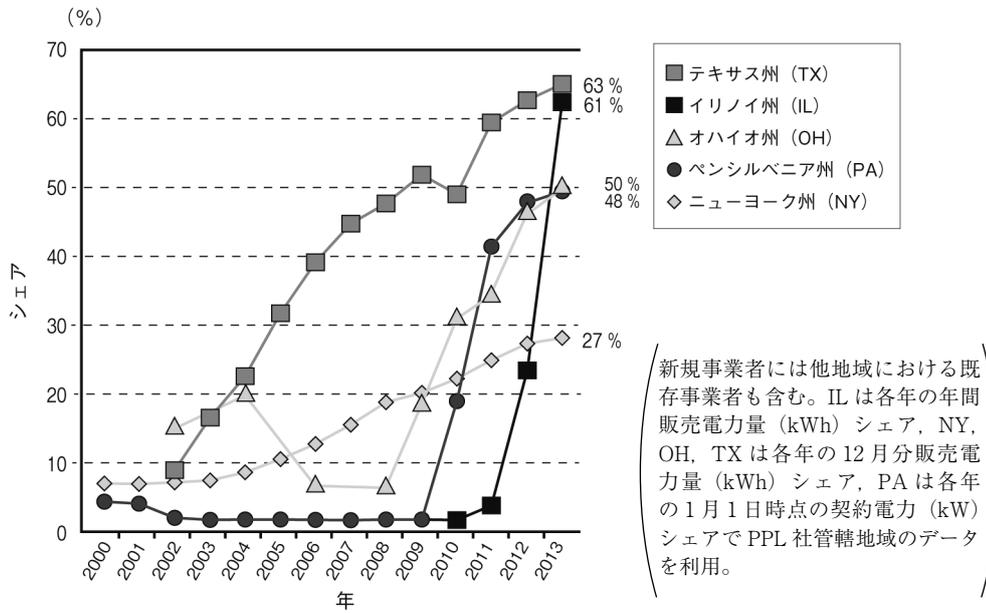


図2 米国主要州の家庭用小売市場における新規事業者の市場シェア

(3) 米国における家庭用電気料金の推移

全面自由化州 (13州 + コロンビア特別区) と非自由化州 (31州) における家庭用電気料金の推移を概観すると、①全面自由化州は非自由化州よりも電気料金水準が自由化以前・以降共に割高であること、②全面自由化州と非自由化州の双方で2000年代以降、電気料金が上昇傾向であること、③2000年代半ば以降に全面自由化州で移行期間が終了し、既存事業者の料金値上げが加速したため、全面自由化州における電気料金の増加率が高いこと、④全面自由化州ではガス火力発電比率が高

いことから天然ガス価格の低下によって2010年前後を境に電気料金水準が下落していること等の特徴が確認できる (図3参照)。

非自由化州は全面自由化州と比較して発電原価の安い石炭火力発電と水力発電の割合が高く、非自由化州の電気料金水準は元々低い。例えば、水力資源は米国北西部に豊富に存在しており、アイダホ州 (2012年の水力発電量比率：77%)、ワシントン州 (同71%)、オレゴン州 (同65%) 等では古くからロッキー山脈の水力資源開発が行われてきたため、電気料金水準が最も低い州として位置付けら

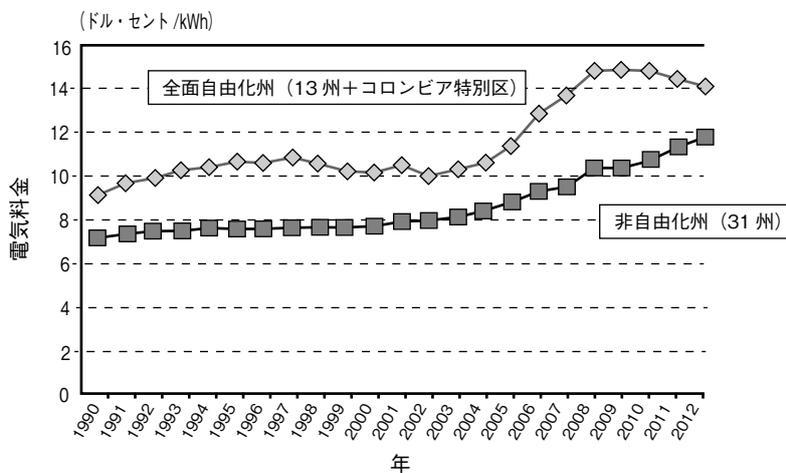


図3 米国における全面自由化州と非自由化州の家庭用電気料金の推移

れている。また、米国では東部のアパラチア炭田や中西部のイリノイ炭田、西部のパウダーリバー炭田等の主要産炭地が内陸部に存在しており、特にウェストバージニア州（2012年の石炭発電量比率:96%）、ケンタッキー州（同92%）等のアパラチア炭田周辺州では発電電力量に占める石炭火力の比率が90%を超えており、これらの州の小売電気料金は周辺州と比較しても低い水準である。

近年は全面自由化州でも電気料金の高騰に歯止めがかかり、緩やかな低下傾向が示されている。その背景には、石油火力発電の代わりにガス火力発電が増加していることが挙げられる。2000年時点ではガス火力発電量比率は21%であったが、2012年には47%まで拡大させた。さらに、シェールガス増産に伴い天然ガス価格が低下したことも相まってガス火力発電の発電原価が減少していることも大きな要因である。先述したように全面自由化州では既存事業者は大部分の発電設備を売却した結果、卸電力市場等から電力調達を行わなければならない。ガス火力発電の発電原価の減少に伴い卸市場価格の水準が低下基調となっており、既存事業者の電力調達費用が減少した結果、電気料金の引き下げにつながっていると考えられる。

### 3. 欧州における小売市場自由化の現状および電気料金の推移

#### (1) 欧州における小売市場自由化の動向

欧州では、EU（欧州連合）域内で電力市場

の統合を実現することを目的としてEU全体にわたる小売電力市場の自由化が推し進められてきた。1996年12月に制定された「EU電力自由化指令」によって1999年2月までにEU加盟国内で小売電力市場の部分自由化を導入することがEU加盟国に義務付けられた。なお、「EU電力自由化指令」で規定された期限より以前に小売電力市場の自由化を導入すること自体問題ではなく、北欧諸国やドイツ、英国では1990年代に既に家庭用需要を含めた全面自由化を導入している（表1参照）。

2003年6月の「改正EU電力自由化指令」では、EU加盟国内において2004年7月以降に家庭用需要を除く産業用・業務用需要を対象とした小売電力市場の自由化、そして2007年7月以降に家庭用需要を含めた全面自由化を導入することが規定された。

#### (2) 欧州の家庭用小売市場における新規事業者のシェア

小売電力市場の全面自由化が導入されても、電力市場構造、需要家選好等の違いによって国・地域間で新規事業者の市場シェアの推移も異なる（図4参照）。

英国のグレート・ブリテン地域では1990年以前は発送電事業を行う国営の中央発電局（CEGB：Central Electricity Generating Board）と配電・小売事業を行う12配電局、スコットランド地域では垂直統合型の南スコットランド電気局（SSEB：South of Scotland Electricity Board）および北スコットランド水力電気局（NSHEB：North of Scotland Hydro-Electric

表1 欧州主要国における小売市場自由化の動向

	～1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004～2006	2007	2008～
ドイツ		1998年4月、全面自由化								
フランス	1999年2月、部分自由化	→1億kWh超	2,000万kWh超			700万kWh超	2004年7月、非家庭用需要家	2007年7月、全面自由化		
イタリア	1999年4月、部分自由化	→3,000万kWh超	2,000万kWh超			900万kWh超	10万kWh超	2004年7月、非家庭用需要家		2007年7月、全面自由化
スウェーデン	1996年1月、全面自由化									
英国	1990年4月、部分自由化		1999年5月、全面自由化							

(出所：各種資料を基に作成)

(配電管轄エリア14地域の内、SSE社が2地域、Scottish Power社が2地域を管轄している他、米国MidAmerican社が2地域、米国PPL社が4地域、中国CKG社が3地域、英国Electricity North West社が1地域を管轄している。)

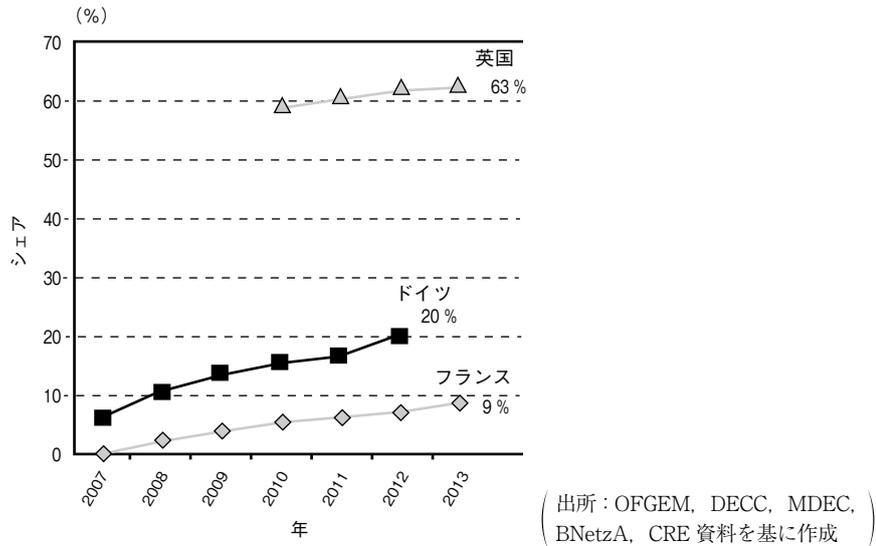


図4 欧州主要国の家庭用小売市場における新規事業者の市場シェア

Board) が電気事業を営んでいた。1989年電気法に基づき CEGB は発電事業者3社 (National Power 社, Powergen 社, Nuclear Electric 社), 送電事業者1社 (National Grid 社) に分割・民営化され, 12配電局もそれぞれ民営化された。また, スコットランド地域の SSEB および NSHEB も 1991年に民営化された。その後, 英国の発電事業者が配電事業者または小売事業者を買収, 小売事業者同士で合併, さらにドイツやフランス等からの外資系電気事業者による買収が度々行われ, 2000年代初頭には発電・小売事業を行う大手事業者6社 (ビッグ6) に集約されていった。家庭用小売市場では大手事業者6社間での競争が激化し, 旧配電局 (北アイルランドを除く 14配電地域) の管轄地域を基盤とする既存事業者は他地域の既存事業者からの攻勢を受け, 2013年末時点で平均して約 60%の需要家を喪失している。

英国では既存事業者ではない新規参入者十数社程度が家庭用小売市場に参入しているが, 2000年代は市場シェアが1%程度であり, グリーン電力販売といったニッチな需要を取り合う状況であった。新規参入者の市場シェアが小さい背景には, ほとんどの新規事業者は発電設備を所有しておらず, 卸電力市場から調達しなければならなかったが, 2000年代は卸電力取

引所の流動性が低かったため新規事業者が有利な条件で電力調達を行うことができなかったという事情がある。2010年代に入って電力市場改革 (EMR: Electricity Market Reform) の一環で卸電力取引所の流動性が向上したこと等から, 大手事業者6社を除く小売事業者の市場シェアは5%程度に上昇している。

ドイツでは, 1990年代には大手事業者8社が存在していたが, 2000年代初頭の度重なる M&Aの結果, 4社に集約された。この4社以外にドイツでは地域に密着した小規模な小売事業者 (大部分が配電事業者も兼ねる) が約 1,000社存在しており, 2013年の連邦系統規制庁 (BNetzA: Bundesnetzagentur) の調査によると, 電力供給を行っている需要家軒数が1万軒未満の小売事業者は53%, 需要家軒数が1万軒以上で10万軒未満の小売事業者は約40%, 10万軒以上の小売事業者は7%程度と報告されている。

このように地元密着型の小売事業者が多数存在していることから, 既存事業者に対する需要家のロイヤルティ<sup>(注2)</sup>は強い。1998年4月に家庭用需要を含めて全面自由化されたにもかかわらず, 2012年時点で新規事業者 (他地域の既存事業者を含む) の市場シェアは20%程度である。

注2: 企業自身やその企業の製品・サービスといったブランドに対する顧客の信頼度, 愛着度を示す。

フランスでは、原子力発電設備を多数所有するフランス電力会社（EDF）が価格競争力を有しており、比較的割安な規制料金で電力供給を行っていることから大部分の家庭用需要家はEDFから離脱していない。ただし、2011年7月から「原子力発電電力の切り出し制度（ARENH：Accès Régulé à l'Electricité Nucléaire Historique）」<sup>（注3）</sup>がEDFに対して適用されたため、国内需要家に電力供給を行う新規事業者に対してEDFは原価ベースで原子力発電電力を売却しなければならなくなった。

また、2008年のリーマンショック以降、卸市場価格も低下傾向であることから新規事業者は卸電力市場から低コストで電力調達を行うことも可能である。2007年7月に全面自由化が導入されてから、新規事業者の市場シェアは徐々に増加し2013年時点で新規事業者の市場シェアは9%程度である。

### （3）欧州における家庭用電気料金の推移

欧州では、国・地域によって電源構成が大きく異なることや、再エネ・サーチャージ等

の公租公課の負担水準も様々であることから電気料金の格差が大きい（図5参照）。

フランスの家庭用電気料金が低廉且つ安定的に推移している背景には、①燃料調達費用に左右されない原子力発電量が約75%と高いこと、②全面自由化が導入されたものの政府による規制料金によって発電原価ベースで電気料金水準が決定されていること等の事情がある。ただし、近年は再エネ・サーチャージ等の公租公課の負担が増加する傾向があり、電気料金もわずかながら上昇傾向を示している。

イタリアは火力発電量が約60%と高水準であり、さらに化石燃料の大部分を輸入に依存していることから燃料調達費用が割高となっている。1990年時点では石油火力発電量が47%、ガス火力発電量が18%という電源構成であったが、老朽化した石油火力発電設備を最新鋭のコンバインドサイクル・ガスタービン設備に置き換えた結果、2013年時点では石油火力発電量が6%まで低減し、ガス火力発電量が38%まで上昇している。火力発電所における熱効率の改善等で

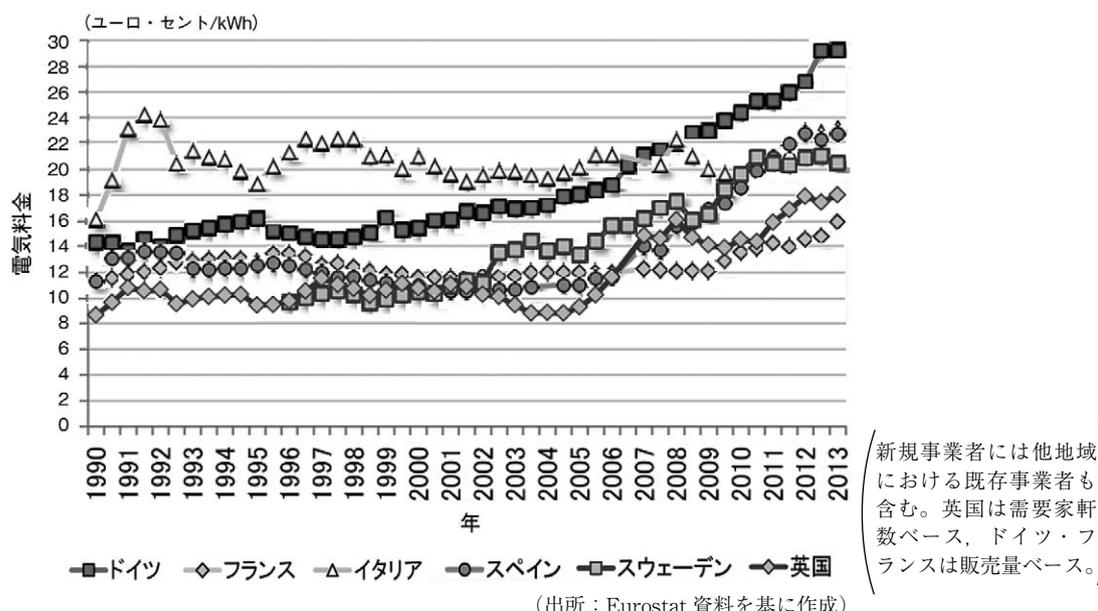


図5 欧州各国における家庭用電気料金の推移（名目：税込）

注3：EDFの原子力発電電力量のうち年間最大1,000億kWh（※EDF原子力発電電力量の25%に相当）まで新規事業者に売却することが義務付けられた。新規事業者は、エネルギー規制委員会（CRE：Commission Régulation de l'Energie）が決定する発電原価ベースの従量料金（ユーロ/MWh）に従って必要な発電電力量を購入することができる（基本料金の支払いはない）。従量料金については、制度開始の2011年7月以降は40ユーロ/MWh、2012年1月以降は42ユーロ/MWhと設定された。

発電費用の増加に歯止めをかけているものの、電気料金は高止まりした状態である。

スウェーデンは原子力・水力発電量比率が約90%であり、1990年代では電気料金は比較的安価な水準であったが、2000年からエネルギー税（原子力発電電力量に対して課税）が導入されたことや卸市場価格の水準が上昇したことから電気料金は2000年代を通じて増加した。

英国は火力発電量比率が約64%と高い水準であることから、電気料金も燃料価格に左右される傾向が強い。北海ガス田の生産量も減少していることから、国内ガス供給量の約50%は国外からの輸入に依存している。また、再エネ・サーチャージの負担も増加しつつあることから電気料金は上昇傾向を示している。

ドイツは主要国の中でも最も電気料金の水準が高くなっている。電気料金の上昇の背景としては、再生可能エネルギー発電電力の固定価格買取制度（FIT: Feed-in Tariff）に伴う再エネ・サーチャージの影響が大きい。2001年時点での再エネ・サーチャージは0.25ユーロ・セント/kWh（約0.3円/kWh）であったが、2013年には5.277ユーロ・セント/kWh（約7円/kWh）、2014年には6.24ユーロ・セント/kWh（約8円/kWh）まで膨れ上がった。この水準は電気料金の約20%を占めている。

#### 4. 英国における電気事業者の事業戦略

##### (1) 大手事業者による寡占化

先述したように、1990年初頭の構造改革以

降に民営化やM&Aが度々行われた結果、2000年代初頭には発電・小売事業を行う大手事業者6社（ビッグ6と称され、RWE npower社、E.ON UK社、EDF Energy社、SSE社、Scottish Power社、Centrica社が該当する）に集約された（表2参照）。

英国では、1999年4月に小売電力市場の全面自由化が導入されたが、既存の小売事業者を継承した大手事業者6社が家庭用需要家に対してはほぼ寡占的に電力供給を行っている。2004年1月から2014年1月まで家庭用小売市場における大手事業者の市場シェアは各社10～25%の範囲で推移しており、大手事業者間での需要家獲得競争が行われてきたことが分かる（図6参照）。特に英国大でガス事業を展開してきたCentrica社（小売子会社はBritish Gas社）が電力の家庭用小売市場で最も高い市場シェアを維持し続けている。

大手事業者6社の他にも、新規参入者として十数社程度が家庭用小売市場に参入している（図7参照）。まず、1990年代末に天然ガス価格および卸電力価格の低迷を背景にエンロン社等の新規参入者数社が参入を果たした。しかし、2000年代初頭にエンロン社の破綻を契機に新規参入者に対する信用リスクが高まり、新規参入者が相対取引を介して卸電力市場から電力調達を行う場合に従来以上に多額の担保金等が必要とされことになった。このため、新規参入者にとっては追加的な取引コストがかかることになり、卸電力市場から電力調達しにくい状況となった。新規参入者が

表2 英国における大手事業者6社（ビッグ6）が従事する電気事業部門（2014年）

	資本所有	発電事業	配電事業	小売事業
RWE npower 社	ドイツ RWE 社が100%所有	○(National Power 社の買収、新規電源建設等)	×	○(旧管轄地域:3地域)
E.ON UK 社	ドイツ E.ON 社が100%所有	○(Innogy 社[旧 Powergen 社]の買収、新規電源建設等)	×	○(旧管轄地域:3地域)
EDF Energy 社	フランス EDF が100%所有	○(British Energy 社の買収、新規電源建設等)	×	○(旧管轄地域:3地域)
SSE 社	機関投資家が主に所有	○(既存所有、新規電源建設等)	○(管轄地域:2地域)	○(旧管轄地域:3地域)
Scottish Power 社	スペイン Iberdrola 社が100%所有	○(既存所有、新規電源建設等)	○(管轄地域:2地域)	○(旧管轄地域:2地域)
Centrica 社	機関投資家が91.5%、個人投資家が6.2%、政府が2.3%所有	○(新規電源建設等)	×	○(小売子会社として British Gas 社)

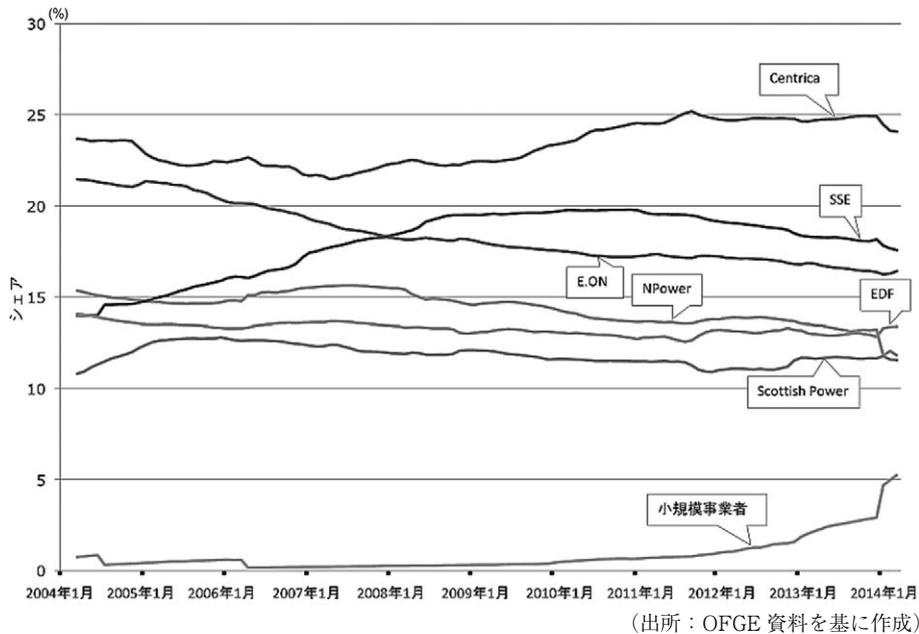


図6 英国の家庭用小売市場における市場シェア（電力）の推移

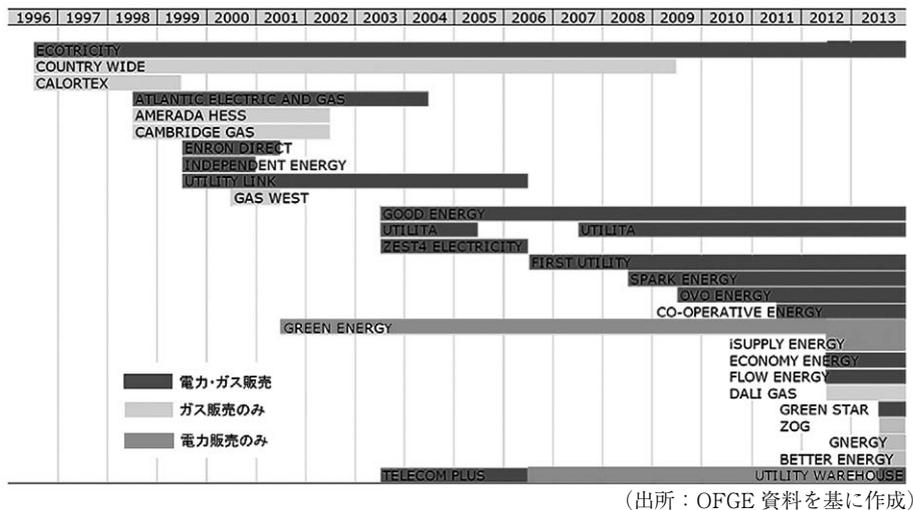


図7 英国における新規参入者の参入・撤退状況

電力調達に四苦八苦する中で、大手事業者6社は安定的な電力調達を行うために発電設備の自社所有比率を高め、発電・小売事業の垂直統合化を進めてきた。

このように卸電力市場の流動性が減少する中、家庭用小売市場における新規参入者の市場シェアは2000年代を通じて1%程度と低迷していた。新規参入者はグリーン電力販売（再生可能エネルギー証書付きの電力販売等）といったニッチな需要を取り合う状況であった。しかし、2010年代に入って電力市場改革（EMR：

Electricity Market Reform）の一環でこれまでの店頭取引（OTC取引）に代わって標準化された取引所取引が主流となり、卸電力取引所の流動性が向上したこと等から、新規参入者の家庭用小売市場における市場シェアは5%程度に上昇している。

(2) 大手事業者による垂直統合体制（発電・小売事業体制）の構築

大手事業者6社は安定的な電力調達を行うために、発電・小売事業の垂直統合化を進め

てきた。2000年時点では大手事業者6社の英国における発電設備所有シェアは40%程度であったが、2011年には約70%まで所有シェアを高めて安定的な電力調達を実現させている。垂直統合化によって大手事業者は、①卸市場価格の変動が激しい場合でもリスクヘッジを行うことができる(一定の利益を確保できる)、②信用クレジットが向上することで比較的少ない取引手数料で電力取引を行うことができるといった便益を享受した。卸市場価格の変動については、実際、英国では2000年代前半の化石燃料価格の下落に伴い卸市場価格は低迷していたが、2000年代半ば以降は新興国の経済成長を背景に化石燃料価格が高騰し、卸市場価格も上昇している。

卸市場価格が低迷している場合、垂直統合型事業者の発電部門は割安な卸市場価格で発電電力を売却する、または採算が取れない発電設備を停止するといった理由で利益を上げにくい環境に直面することになる。一方、小売部門は卸電力市場から割安な卸市場価格で電力調達することができるし、且つ小売電気料金の引き下げペースを遅らせることで利益を上げやすい構図となる。

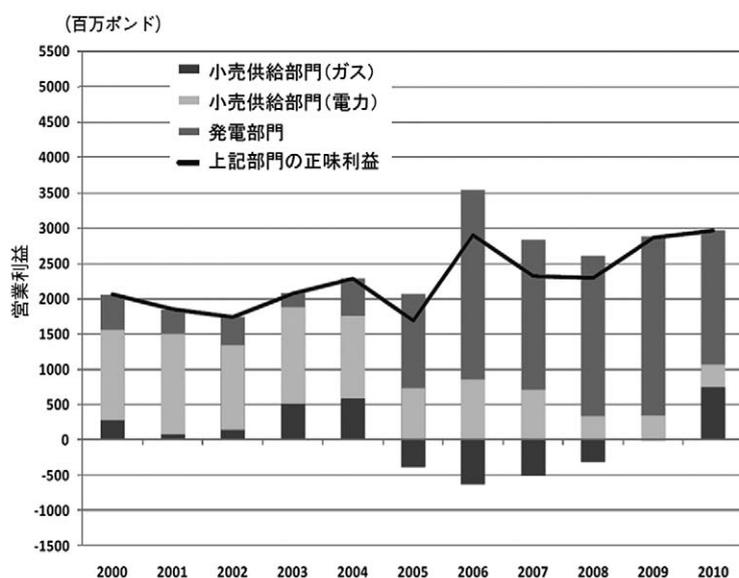
反対に、卸市場価格が上昇している場合、

発電部門は割高な卸市場価格で発電電力を売却する(特に発電原価が低い発電設備は多大な棚ぼた利益を享受することが可能)といった理由で利益を上げやすい局面を迎える。一方、小売部門は卸電力市場から割高な卸市場価格で電力調達を行わざるを得ず、厳しい競争環境下であれば小売電気料金に追加費用を転嫁しづらい状況となるかもしれない。垂直統合化されている場合には内部取引価格の設定次第で発電部門と小売部門の利益を操作することは可能である。

ガス・電力局(OFGEM: Office of Gas and Electricity Markets)が調査した大手事業者6社の発電・小売部門における営業利益の推移を見ると、2000年代前半は小売部門が利益を出している一方、2000年代後半は小売部門の利益が縮小し、発電部門が多大な利益を稼ぎ出していることが分かる(図8参照)。

## 5. おわりに

本稿では、欧米諸国における家庭用小売電力市場の自由化状況を整理し、新規事業者の参入状況、家庭用電気料金の推移とその背景を概観した上で、自由化導入によって電気事



(出所: OFGEM 資料を基に作成)

図8 英国における大手事業者6社の発電・小売部門(電力・ガス)営業利益の推移

業者の事業展開に大きな影響を与えた英国の事例を紹介した。

米国では、「地方自治体による需要集約制度」等の小売市場の活性化策の導入に伴い、一部の自由化州では新規事業者の市場シェアが近年急上昇しているケースが見られる。ただし、需要集約制度の下で長期契約が締結される場合、当初は既存事業者の電気料金水準よりも割安だったとしても、その後、既存事業者や他の新規事業者が電気料金の水準を引き下げれば、必ずしも需要集約制度に基づく電気料金が最安値である保証はない。さらに需要集約制度を契約期間中に解約する場合には手数料が発生する場合もあり、需要家の負担はさらに増加する恐れもある。このような側面もあることから地方自治体による需要集約制度に反対する声も根強く存在する。必ずしも需要家の便益が高まることが保障されているわけではない。

一方、欧州は米国ほど規制機関が主導して家庭用小売市場の活性化策を導入しているわけではない。英国では、新規事業者の市場シェアは数%と非常に限定的な水準であり、競争の主戦場は既存事業者間の需要家争奪である。ドイツやフランスでは自由化以前から事業を行っている大手事業者が影響力を持っており、ドイツでは新規事業者の市場シェアは自由化開始後十数年経っても20%程度、フランスでは自由化開始後5年間で9%程度である。

米国での電気料金水準は燃料価格の変動に左右される傾向があると言える。特に自由化州では電源構成に占める石油火力やガス火力の割合が高かったこともあり、2000年代半ばに原油・ガス価格が高騰した影響を受けて電気料金が急激に上昇している。ただし、近年、シェールガス増産に伴うガス価格の低下によって自由化州では電気料金が低下している状況である。一方、非自由化州では公益事業規制委員会が料金規制を行っていること等から自由化州と比べても電気料金は緩やかな上昇となっている。また、欧州では燃料価格の

上昇に加えて再生可能エネルギー導入促進に係るサーチャージの増額等によって、ここ数年間は電気料金の上昇が続いている。このように、小売市場の自由化を導入したからといって電気料金が低下するわけではないことは留意すべきである。

# 高温ガス炉プラント研究会の活動と今後について



藤井 貞夫 (プロジェクト試験研究部  
原子力グループ 部長)

## 1. はじめに

2012年度のわが国の一次エネルギーの流れを、図1に示す。一次エネルギーに占める電力の比率(電力化率)で見た場合、約43%となっている。この割合は、2007年度以降はほぼ同一で割合は変わっておらず、約60%のエネルギーが電力以外のエネルギーに使われている。最終エネルギー消費で見た場合は、電力消費は約23%であり、これは世界平均19.8%(2011年)と比べると高い割合となっている。

最終エネルギー消費のうち、産業部門が6,113PJを占めており、そのうち大部分を製造業が占めており、約5,666PJとなっている。図2に示す通り、業種では、鉄鋼、化学、窯業などの素材系が約80%であり、いわゆるプロセスヒートとして利用されていることが分かる。

このように電力以外へのエネルギー需要は高く、このほとんどを化石エネルギーに頼る構図となっていることがわが国のエネルギー脆弱性にもつながっていると考えられる。一

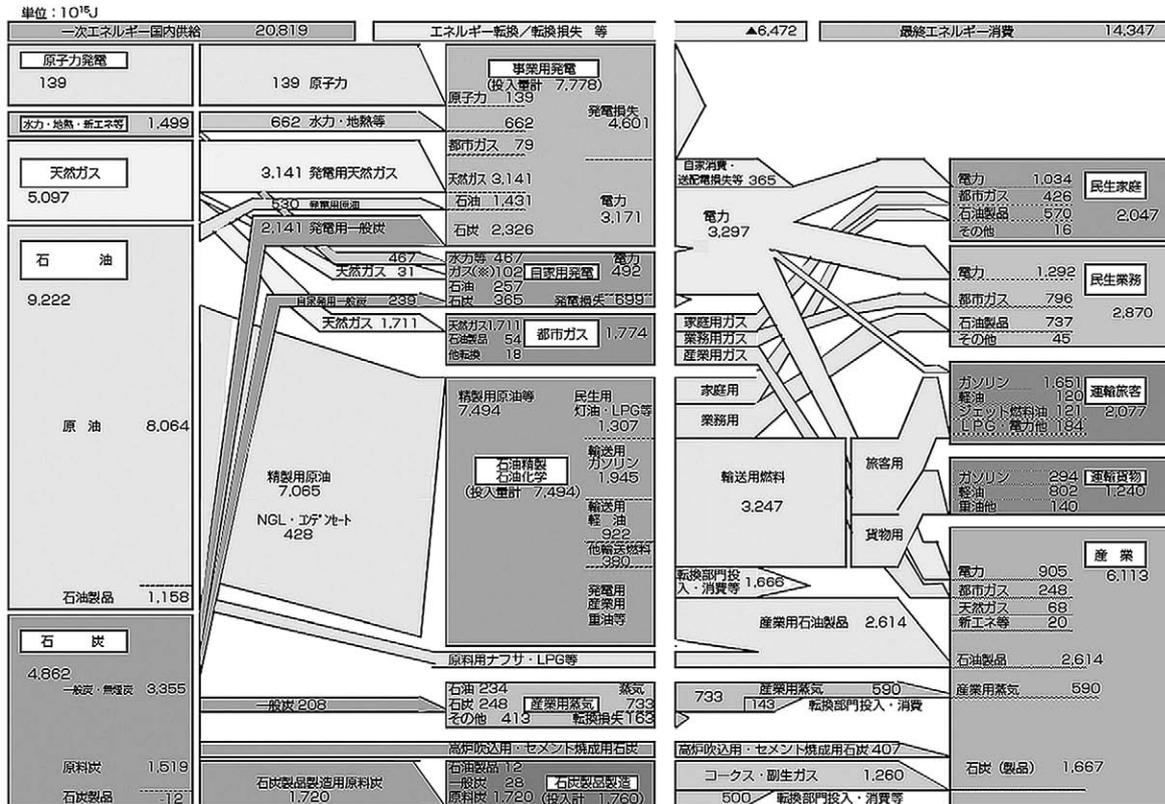


図1 わが国のエネルギーバランス・フロー概要(2012年度)<sup>(1)</sup>

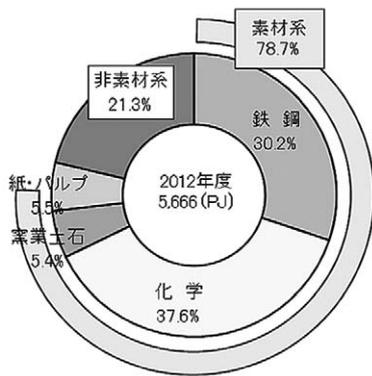


図2 最終エネルギー消費の製造業の内訳 (1)

方、図3に示すEPR (Energy Profit Ratio: 得られるエネルギーを、それを取り出すためのエネルギーで除したもの) という指標でみた場合、数値が高いほど質のいいエネルギーと解釈される。最近の油田は海水を圧入しなければ取り出せなくなっておりEPRが低くなっ

ているが、8程度であり、未だ質の高いエネルギーと言える。風力や太陽光が低いのはエネルギー密度が低いのに、正味電気が得られる稼働率が低いためである。原子力は、エネルギー効率の高い遠心濃縮法の普及と原子力発電所の稼働率向上によりEPRは改善されており、高レベル廃棄物処分や廃炉を考慮しても、石炭・石油に比べて高く、太陽光のような再生可能エネルギーよりもはるかに高く、将来のエネルギー源として最も有望である。

しかしながら、図4に示す通り、現在の軽水炉は出口温度がせいぜい300℃であるため、発電以外での利用は限られる。出口温度が1,000℃程度まで広がれば、様々な産業利用が考えられる。重質油の改質、石炭ガス化や水素製造が利用範囲に入ってくる。これを実現可能にするのが、高温ガス炉である。

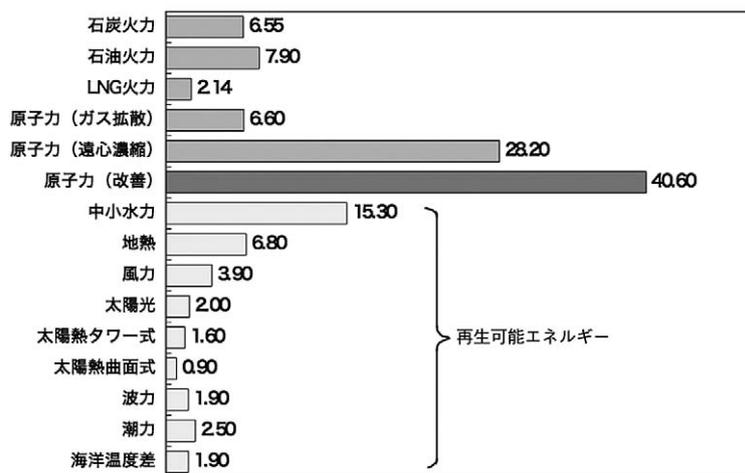


図3 電気を得る手段をEPR (出力/入力) で評価 (2)

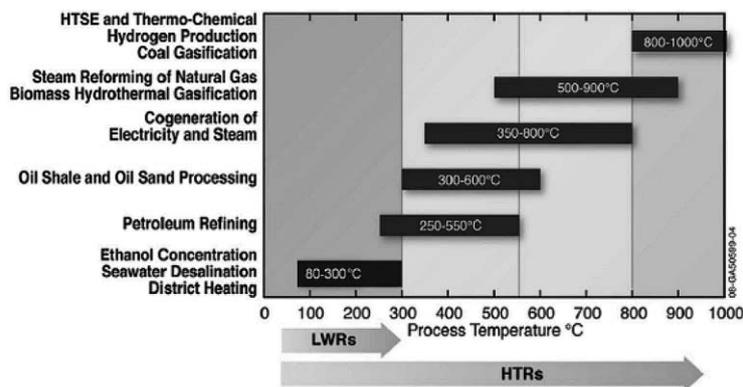


図4 出口温度に対する産業利用分野 (3)

本報告では、様々な産業利用が考えられる高温ガス炉の概要を説明した後、高温ガス炉プラント研究会の設立経緯と主な活動内容について紹介する。

## 2. 高温ガス炉の概要

### (1) 高温ガス炉とは

高温ガス炉は、セラミックス（炭素や炭化ケイ素）で被覆された球状燃料を用い、冷却材として不活性なヘリウムガスを、減速材として黒鉛を使用することにより、900℃以上の高温の熱エネルギーを取り出すことのできる原子炉である。

高温ガス炉の代表例として、日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）により開発・建設された高温工学試験研究炉 HTTR（High Temperature Engineering Test Reactor）の原子炉構造を図5に示す(4)。HTTRはピン・イン・ブロック型と呼ばれる炉心型式を採用しており、黒鉛および金属の炉心支持構造物に燃料集合体を内包している。原子炉構造には、燃料や炉心支持構造のほかその他の炉内構造物および反応度制御設備が鋼製の原子炉压力容器内に納められている。冷却系については、通常運転時に原子炉を冷却する原子炉冷却設備の他に、HTTRには異常な過渡変化に伴う原子炉スクラム時と強制循環による炉心冷却が可能な事故時に原子炉から残留熱を除去する補助冷却設備、および強制循環による炉心冷却がで

きない事故時に原子炉を冷却する炉容器冷却設備が設置されている。冷却材はヘリウムを用いており、冷却材出口温度は850～950℃である。原子炉冷却設備を含む1次冷却設備を構成する機器は二重胴構造および二重管構造にして耐熱部と耐圧部の機能を分けており、耐圧部での使用温度は約400℃以下にしている。

### (2) 軽水炉との違い

#### ① 燃料

軽水炉は金属被覆燃料を使用するのに対し、高温ガス炉はセラミックスで被覆した被覆燃料粒子を用いる。図5に被覆燃料粒子を用いた燃料集合体の基本構成を示す。燃料要素は燃料核（ウランの酸化物など）を熱分解炭素および炭化ケイ素で4重に被覆した直径約1mmの球状粒子である。これらの被覆は燃料の核分裂によって生じる核分裂生成物を閉じ込める。高温ガス炉で使用する被覆燃料粒子は耐熱性が優れ、1,600℃の高温状態においても被覆材の閉じ込め機能は損なわれないことが実験的に証明されている。燃料体の形式には、被覆燃料粒子を黒鉛粉末と混合して焼結した燃料コンパクトを、あるいはその燃料コンパクトを黒鉛スリーブに入れた燃料棒を黒鉛ブロック内に挿入するブロック型と、被覆燃料粒子を球形に焼結しその表面を黒鉛層で包んだ球状燃料のペブル型の2種類がある。それらの燃料体を用いた高温ガス炉をそれぞれ、ブロック型高温ガス炉、ペブルベッド型高温ガス炉と呼称する。

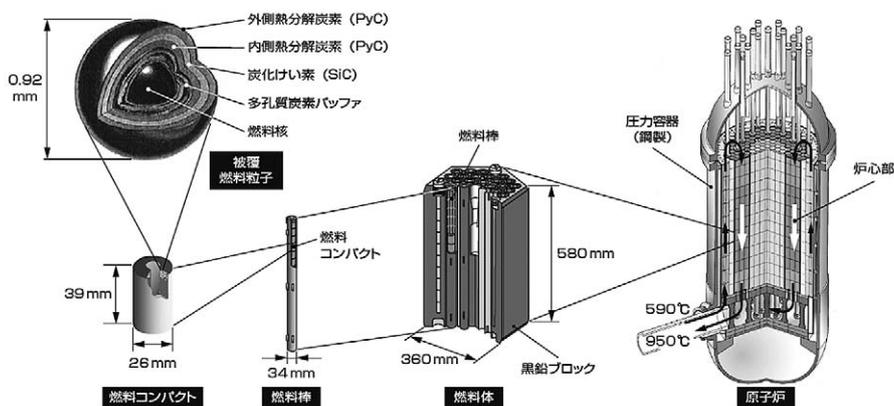


図5 高温ガス炉の原子炉構造概念(4)

HTTRは上述の分類のブロック型炉であるが、そのブロック型炉の中でも燃料コンパクトを黒鉛スリーブに入れ、更にそれら燃料棒を六角柱黒鉛ブロックに挿入した形態で、ピン・イン・ブロック型と呼ばれる。後者のペブル型原子炉の最近の代表例には、HTR-PMがある(5)。

## ② 冷却材

高温ガス炉では、冷却材に10MPa以下に加压したヘリウムガスを用いる。ヘリウムガスは、化学的に不活性であり、高温でも燃料や構造材と化学反応を起こすことはない。また、運転温度範囲では相変化がなく、冷却材としての除熱特性変化が少ない等、高温の熱輸送に適した冷却材である。更に、ヘリウムガスは、核的な効果(中性子の減速や吸収など)を殆ど持たないため、炉心の核反応にも影響を与えない。

## ③ 減速材

高温ガス炉では、減速材に黒鉛を用いている。黒鉛は中性子の吸収が少なく、放射線に強く、耐熱性に優れ(昇華温度約3,000℃)、熱を良く伝えるなど炉心構造材としても極めて優れた性質を持っている。一方、減速能が水に比べて低いため大きな体積を必要とする。高温ガス炉は、この黒鉛減速材が炉心構造材の機能も兼ねているため炉心寸法が大きくなり、その分出力密度は低下する。従って、炉心が大型化し、そのため結果的に高温ガス炉の炉心は大きな熱容量を持つこととなる。

## ④ 出口温度

高温ガス炉は、冷却材として気体のヘリウムガスを、また被覆材には耐熱温度の高いセラミックスを用い、更に同様の特長を持つ黒鉛によって炉心を構成するため、極めて高温の熱源を原子炉からとり出すことができる。軽水炉では冷却材出口温度が290～340℃であるが、高温ガス炉では750～950℃である。

## ⑤ 熱効率

原子炉出口冷却材温度は、軽水炉で290～340℃であるのに対し、高温ガス炉は950℃の実績を持つ。このような高温の熱供給が可能のため、発電への活用において軽水炉やナトリウム冷却高速増殖炉の発電プラントより高い熱効率が得られる。軽水炉の蒸気タービンによる発電による熱効率が35%弱であるのに対し、高温ガス炉で供給する850℃以上の高温ヘリウムガスによってガスタービンを直接駆動する直接サイクルガスタービンシステム発電プラントでは、45%を超える熱効率の実現が可能となる。

## (3) 高温ガス炉の安全性

高温ガス炉は原子炉の構成要素の特徴から、次のような固有の安全特性を備えている。

- 燃料の耐熱温度が高い。500時間を超える長時間において約1,600℃の高温状態に晒されても燃料被覆の健全性は損なわれない。短時間であれば、2,000℃を超えてもFPの保持機能が損なわれることはない。
- 炉心構造物(黒鉛)の耐熱温度が同様に高く、炉心溶融の恐れがない。
- 黒鉛ブロックで構成される炉心は熱容量が大きく、異常時、事故時の温度挙動が緩慢である。
- 冷却材ヘリウムの漏洩等により冷却機能喪失が生じた場合にも、熱容量の大きい黒鉛減速材が熱溜めとなるため、それらの事故時においても燃料温度の急激な上昇がない。
- 炉心は全運転範囲において大きな負の反応度温度係数を持つ。これにより、炉心温度が上昇した場合、反応度温度フィードバックにより自然炉停止特性、出力自己制御性が得られる。

これらの固有の安全特性を活用することにより、飛躍的に高い安全性を持つ原子炉を実現することが可能となる。一般に、異常時、

事故時の原子炉の安全を確保するためには、3つの基本的な機能、止める（原子炉の核反応を停止すること）、冷やす（原炉心の崩壊熱を除去すること）、閉じ込める（放射性物質を原子炉施設内に閉じ込めること）が必要とされる。比較的小型の高温ガス炉においては、原子炉の固有の安全特性を活用し、以下に示すように、原子炉が人的操作なく自然に「止まり」、「冷え」、放射性物質は燃料に「閉じ込める」という安全性を実現できる。

#### ① 原子炉停止：止まる

冷却材ヘリウムの漏洩等によって炉心冷却機能喪失事故が発生した場合、炉心は除熱低下に伴って温度が上昇するが、その後反応度温度フィードバック効果により核反応は自然に停止する。この時、小型高温ガス炉では、次項に記述するように燃料温度は1,600℃以下に維持され、燃料被覆機能の健全性が損なわれることはない。すなわち、このような事故時においても、原子炉を緊急停止する必要はなく、原子炉が自然に停止し、安全が保たれるという特性が得られる。

#### ② 崩壊熱除去：冷える

炉心寸法・形状と出力密度のバランスを適切（一般には炉心寸法の小型化、小出力化、いわゆる小型モジュール型炉）に選択する事により原子炉からの自然放熱（伝導、放射、自然対流）のみの崩壊熱除去により、事故時の燃料最高温度を1,600℃以下に保つことができ、被覆燃料の健全性を維持することができる。その場合、崩壊熱は、炉心の黒鉛構造物に吸収されるとともに、炉心円周外側部の反射体から伝導・放射効果を介し原子炉圧力容器へ伝わり、最終的には原子炉圧力容器の廻りに設置された冷却パネル方式等の原子炉室冷却系へ放射することにより冷却される。この原子炉室冷却系の冷却方式には、大気其自然循環、冷却水其自然循環、冷却水の強制循環など、種々の方式の採用が検討されている

が、人的操作を必要としない自然循環方式でも冷却が可能である。一方、原子炉室冷却系の機能喪失を想定した場合にも、原子炉建家コンクリートを通じた大気、地下土壌への放熱で、燃料の最高温度を1,600℃以下に維持することが可能である。

#### ③ 閉じ込める：出ない

原子炉停止特性、崩壊熱除去特性および燃料被覆の耐熱性により、自然の物理現象、材料の化学・物理特性のみによって燃料被覆の健全性が維持される。このため、事故時においても、上述の①と②の効果もあり核分裂生成物を燃料中に閉じ込めておくことが可能である。

### 3. 高温ガス炉プラント研究会について

#### (1) 高温ガス炉に関するわが国の組織と活動

わが国では、高温ガス炉プラント研究会、日本原子力産業協会（原子力熱利用検討会）、日本原子力学会等において、実用化を目指す高温ガス炉や原子力水素の調査検討が行われてきた。2001年には電力、ガス会社、旧原研等広い分野の有識者による原子力水素研究会が発足し、水素の製造・利用に関する調査研究を開始している。2006年には「原子力高度利用研究会」（2007年にエネルギー高度利用研究会と改称）が発足して、一次エネルギーからエネルギー最終利用に至るエネルギー転換・利用の各プロセスの高度化の中で原子力が関係する研究を行っている。

高温ガス炉プラント研究会（以下、研究会）は、1985年4月に設立され、当研究所は1995年から事務局を引き受けている。図6に示すように、現時点においては、高温ガス炉に関する唯一の民間組織となっている。以下に研究会の基本構想を示すが、これらは設立当初より不変である。

#### ① 活動目標

a. 高温ガス炉（発電並びに水素製造等の熱利

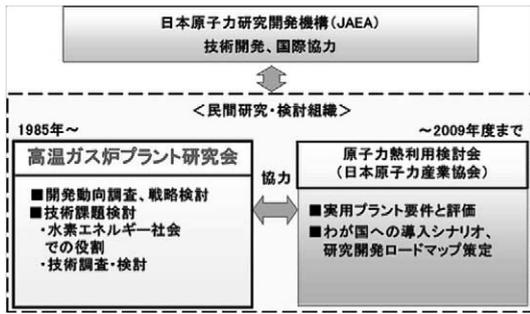


図6 高温ガス炉に関するわが国の民間組織

用)の実用化検討評価への国、民間団体の理解・支援獲得

b. わが国主体の高温ガス炉の早期実現

② 活動基本方針

- a. 国内外の技術調査や現状把握等を通じて実用化開発シナリオの検討
- b. 実用化プラントの技術的・経済的フェージビリティ検討、および総合評価の実施
- c. あわせて国、民間団体への働きかけの実施

③ 当面の活動

- a. 実用化開発シナリオの検討と総合評価：研究会としての基本的認識、見解、望ましい開発シナリオを検討すると共に、上記の総

合評価を実施する（国からの受託、外部への委託等を含む）。

- b. 国、民間団体等への働きかけ：キーパーソン、文部科学省、経済産業省、原子力委員会、日本原子力産業協会、ユーザー、大学他に対して、理解獲得活動を行い、実用化プラントの技術的・経済的フェージビリティ検討、及び総合評価の実施を働きかける。

- c. 国際交流：高温ガス炉に関連の深い国際会議への参加、海外開発機関との情報交換等を通じて、国際動向の把握、分析、市場性、開発シナリオの検討に役立てると共に国際協力に貢献する。

④ マスタースケジュール

- a. 2000～2010 実用炉の技術的・経済的フェージビリティ検討・評価
- b. 2010～2020 国際協力等による実用炉実現（南ア計画、中国計画、米国アイダホ計画等）
- c. 2020～2025 わが国主体の原型炉、実用1号炉の実現

(2) 研究会の組織と実施体制

現在の高温ガス炉プラント研究会の構成と実施体制をそれぞれ表1と図7に示す。

表1 研究会の構成

【会長】	初代 第二代 第三代 第四代	安 成弘（東大 名誉教授）（1985年～2007年） 岡 芳明（東大教授）（2008年～2009年） 関本 博（東工大教授）（2010年） 岡本孝司（東大教授）（2011年～）
【会員】	富士電機㈱、㈱東芝、三菱重工業㈱、原子燃料工業㈱、 ㈱大林組	
【テクニカルアドバイザー】	学識経験者	
【オブザーバー】	JAEA、電力会社、電中研、学識経験者 他	

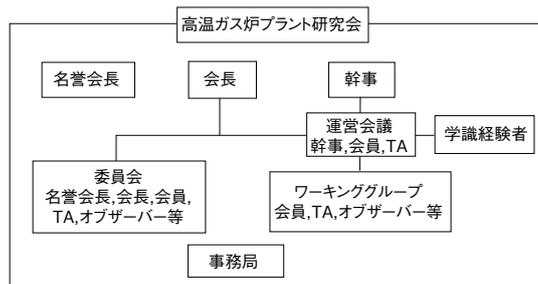


図7 研究会の実施体制

### (3) 主な活動内容の紹介

#### ① 高温ガス炉開発戦略の検討

高温ガス炉の実用化を目指した戦略の基本として、ユーザーは誰か、国内かあるいは海外か、どのような利用を想定するか、どのような炉型式かを決めていかなければならないと考える。具体的には、わが国の高温ガス炉戦略として、

- 「輸出戦略インフラ」(安全電源としての850℃ガスタービンシステム、淡水化プラントと組合せて砂漠の緑地化),
- 「プルトニウム (PuO<sub>2</sub>/MOX) 燃焼ツール」(プルトニウムの安全な処理),
- 「使用済燃料直接処分」(不活性母材(岩石)燃料と組合せて3S確保),
- 「水素社会への基盤インフラへ」(950℃プラントでCO<sub>2</sub>フリーな水素製造手段),
- 「文科省 産学官協議会への情報提供」(産学官協議会を構成して進める), 等

を検討すべきである。

これらの検討項目について、

- 誰が (Who) = 国が産官学一体となって、
- 何を (What) = 安全性の高い高温ガス炉 / 超高温ガス炉を、
- 何故、どんな視点で (Why) = 安全保障性、国際環境性、経済性等、
- いつまでに (When) = 2020年代に高温ガス炉のプラント実証・実用化、2030年代に超高温ガス炉のプラント実用化、
- どこで (Where) = 国内 (JAEA, メーカー)、海外 (カザフ、インドネシア等)、
- どのように (How) = 国家総合戦略的に / 共生 (Co-Existence)、連携 (Alliance)、協働 (Synergy) 的に、

という形で具体化検討を進めている。

#### ② 国内外の最新動向調査と情報発信

高温ガス炉は、システム構成、安全性、高温熱利用性などのユニークな特徴があり、それらを活かすべく、また世界の新しい時代要

請に応えるべく、現在、米国、ロシア、欧州連合 (EU)、フランス、中国、韓国、カザフスタン、並びに日本で開発が行われている。

以下に、主な高温ガス炉開発国での開発の経緯や計画の概要を示すとともに、これらの情報を当研究所のHPに掲載して情報発信している (<http://www.iae.or.jp/htgr/>)。

##### a. 米国

米国では、発電用実験炉の Peach Bottom が1966年に初めて臨界し、1974年にはその運転を終了した。次に、原型炉の Fort Saint Vrain 炉は1974年に初臨界に達したが、ガス循環機軸受からの炉内への水浸入トラブルなどに見舞われ、1989年には運転を終了している。それらの状況により、後続の同型発電炉の建設計画は、全てキャンセルされた。1980年代前半に蒸気サイクルの小型モジュール炉の概念設計が完了したが、1990年代に入り、さらに安全性、経済性の向上を目指した GT-MHR (Gas Turbine Modular Helium Reactor) の設計概念が開始された。この GT-MHR は、600MWt の熱出力を直接サイクルガスタービンで発電する、高い発電効率 (約45~50%) を目指した高温ガス炉の概念である。その後1995年にはロシアの核兵器解体プルトニウムの燃焼処分のための GT-MHR プロジェクトとしてロシア原子力省 (MINATOM) との間で共同開発として開発が継続されたが、その概念設計は1997年10月に終了している。

これと並行し、米国エネルギー省 (DOE) は、化石エネルギーの枯渇、自動車の排ガス対策の一環として、水素エネルギーの開発の必要性を唱え、水素の製造、貯蔵、輸送、水素自動車への利用等の本格的な検討に着手した。更に、「原子力2010 (NP - 2010)」、次世代原子力プラント (NGNP) プロジェクトを含む「第4世代炉 (Gen IV)」、 「原子力水素イニシアティブ (NHI)」等のプログラムを矢継ぎ早に発表し、原子力開

発の復活，並びに水素製造開発の具体計画に取り組み始めた。

#### b. 中国

中国では，清華大学がドイツの協力を得てペブルベッド型の熱出力 10MW 試験炉 HTR-10 の開発をすすめて，2000 年 12 月に初臨界，2003 年 1 月に定格運転を達成させた。現在までに，蒸気サイクル発電と安全性実証試験を実施してきた。

HTR-PM プロジェクトは，HTR-10 プログラムの技術経験をベースにして，高温ガス炉プラントの実証・実用を目指すものであり，まず実証炉（HTR-PM200）プラントが，2012 年 12 月に山東省栄成市石島湾で着工された。2017 年末に運開予定である。2013 年，核建工集団と福建省莆田市が，地方中核都市の経済発展計画の一環として，高温ガス炉実用プラントの導入を企画し，計画を発表した。狙いは雇用振興，石炭ガス化&液化，淡水化，輸出等である。江西省瑞金市も同様の導入計画を発表した。瑞金の HTR プロジェクトは 2015 年 4 月実現に向けて大きく進展した。計画では，2 基の 600MWe の高温ガス炉を 2017 年に建設開始，2021 年操業予定である。

#### c. 韓国

韓国は，「水素エネルギー」を将来の重要エネルギーの 1 つと位置付けており，それを大量かつ高効率で製造できる原子力技術と結び付けて，原子力研究所（KAERI），先進科学技術研究院（KAIST），エネルギー技術研究院（KIER）が中心となって，2000 年頃から高温ガス炉（200MWt）と水素製造施設から成る「原子力水素開発&実証（NHD&D）」プログラムを開始している。現在は更に，原子力による淡水化も含めた「水／水素／電力／原子力統合（WHEN）」システム概念として再構築している。2026 年頃の実証プラント運開，実証，2030 年

頃からの実用化を目指している。なお，POSCO, Hyundai 等の鉄鋼，自動車，重工，化学産業大手が「原子力製鉄（水素還元製鉄）」に興味を示しており，産業連携を組み合わせながらこの NHD&D プログラムに参加している。2013 年以降，米国の NGNP 産業連携機構もこれに連携参加中である。

#### d. カナダ

StarCore 社（米国，カナダ）が，遠隔地・寒冷地・分散需要（小都市，鉱山，軍事戦略基地など）を主対象に当プログラムを立ち上げ，2015 年の初期展開を目指して，カナダ原子力安全委宛の設計認可申請を準備中である。衛星通信を使用した原子炉遠隔運転，リース方式によるプラント設置等を提案中である。

#### e. 南アフリカ

南アフリカは，ドイツで開発された技術をベースに，ペブルベッド型炉心，ガスタービンを用いたモジュラー型高温ガス炉 PBMR（Pebble Bed Modular Reactor，熱出力 400MW，電気出力 165～185MW，出口温度 900～950℃）を建設のための開発・設計を推進していた。PBMR は，1993 年に検討を開始し，1995 年にはその計画が公表された。1999 年にこのプロジェクト推進の専門会社である PBMR 社が発足した。しかし，この建設計画は度々変更・延期され，2010 年経済的な理由によりプロジェクトは中止された。

その後，開発試験施設や知的財産を維持管理しながら，その復活・活用策を模索しており，南ア国内や米国からの TH-100, Xe-100 等の開発プログラム新提案に繋がりがつつある。

#### f. 欧州

フランス，オランダなど欧州連合（EU）加盟国が，次世代軽水炉，高速炉，高温ガ

ス炉（水素製造，熱利用）を3本柱とする原子力開発共同戦略を展開している。これまでに「欧州持続的原子力技術プラットフォーム（NETP）」、「プロセス熱利用・水素・発電統合プロジェクト（RAPHAEL）」、「原子炉プロセス熱利用顧客要件評価（EUROPAIRS）」等，一連の高温ガス炉プログラムを進め，現在，それらの成果を引継いで「熱電併給向け先進炉研究開発（ARCHER）」、「熱電併給産業イニシアティブ（NC21R）」等を推進している。

フランスは，上記EUの活動に加えて，ArevaがGT-MHRのフランス進展版「エネルギー供給用新型ガス冷却炉 Areva 新技術（ANTARES）」を開発し，その更なる改良版「蒸気サイクル高温ガス炉（SC-HTGR）」を米国NGNPプログラムに向けて設計提案を行った。

#### g. 日本

日本においては，1960年代から当時の日本原子力研究所を中心に高温ガス炉の調査研究が開始された。1969年には，発電用のみならず製鉄化学工業分野等の熱源として，高温ガス炉の活用が取り上げられた。この関連要素技術の開発として，日本原子力研究所において，HENDEL（大型構造機器実証試験ループ），VHTRC（高温ガス炉臨界実験装置），OGL-1（大洗ガスループ）等の施設が設置され，大型構造機器の健全性，炉物理，耐熱材料，高温機器等の高温ガス炉に関する研究開発が進められた。1991年に，わが国初の高温ガス炉である高温工学試験研究炉（HTTR）の建設が開始され，1998年11月10日に初臨界を達成した。2001年12月7日に原子炉出口ヘリウムガス温度850℃での全出力運転（30MW）を達成した。その後，2004年4月19日には，原子炉出口ヘリウムガス温度950℃での全出力運転に成功した。2002年度からは，このような優れた安全性を実証するための安

全性実証試験を実施している。

一方，核熱利用システム技術の開発は，原子炉の熱エネルギーをクリーンエネルギー媒体である水素の製造や閉サイクルガスタービンによる高温発電に利用して地球環境保全に貢献しようとするものである。原子力機構では，水を原料として水素を製造する技術開発が継続的に進められ，今後HTTRを活用しての大規模な実証試験も計画されている。原子力機構で推進中の熱化学法は，ISプロセスと呼称され，原料である水（ $H_2O$ ）をヨウ素（ $I_2$ ）及び二酸化硫黄（ $SO_2$ ）と反応させて硫酸（ $H_2SO_4$ ）とヨウ化水素（HI）とし，これらの物質の熱分解により，各々，酸素（ $O_2$ ）と水素（ $H_2$ ）を製造する。

上述のように，HTTRの実験炉としての運転実績を積みながら，将来の高温ガス炉の広範囲な熱利用を視野に，ISプロセス，高温ガス炉ガスタービン発電システムの開発が進められている。

わが国は，現在，被覆粒子燃料製造，高品質黒鉛構造材製造，ヘリウム・ガスタービン設計，水素製造（ヨウ素・硫黄（IS）法），压力容器用大型鋼材鍛造等，その枢要技術では世界の最先端にいる。現在，国としてその実用化展開の計画は持っていないが，米国，中国，カザフスタン等での高温ガス炉開発への日本の協力や技術開発リードが要請されており，米国NGNPへのプラント設計提案への協力，中国HTR-10 & HTR-PMへの黒鉛構造材提供，カザフスタンKHTRやインドネシア開発計画への協力などを進めている。

2014年に「エネルギー基本計画」が策定され，「高温ガス炉の研究開発は国際協力の下で推進」とされた。エネルギー，環境，国際貢献・ビジネス戦略等の観点から，高温ガス炉プラントの開発の在り方，ロードマップ等の国家的議論が開始された。

### (3) 有識者講演、定期講演会の開催

高温ガス炉プラントの実用化を戦略的かつ多面的に検討するための、有益かつタイムリーなテーマ・講演者を選定して、講演を実施している。最近の有識者講演を以下に示す。

#### a. 平成 23 年度

- 「福島事故状況について」(東京大学, 岡本孝司 教授)
- 「福島原子力発電所事故とシビアアクシデント研究」(京都大学, 杉本純 教授)
- 「炉の開発に必要な論理的視点とは – 福島第一原子力発電所事故を踏まえて –」(金沢工業大学, 大場恭子 研究員)

#### b. 平成 24 年度

- 「原子力政策をめぐる最新動向と研究開発」(東京大学, 田中知 教授)
- 「米国における高温ガス炉の現状」(米国 INL (米国 NGNP R&D 責任者), David Petti 氏)
- 「高温ガス炉の熱流動に関する安全研究 – 配管破断事故時の挙動を中心に –」(湘南工科大学, 文沢元雄 教授)

#### c. 平成 25 年度

- 「中国の原子力発電政策と高温ガス炉戦略」(日本テピア (株) テピア総合研究所, 副所長 窪田秀雄 氏)
- 「核燃料サイクルとプルトニウム高燃焼技術 – 直面する核不拡散問題への対応 –」(東京大学, 久野祐輔 教授)

#### d. 平成 26 年度

- 「使用済燃料の管理における高温ガス炉の役割」(UC Berkeley, 安俊弘 教授)
- 「軽水炉の安全設備 ~ PWR における新基準対応を中心に ~」(日本原子力研究開発機構, 渡邊憲夫 氏)

年 1 回の定期講演会を全国各地で開催し、高温ガス炉に関する情報発信を行い、広く理解普及活動を行っている。これまでに 9 回の定期講演会を開催している。

これまでの有識者講演と定期講演会から見てきたことは、①事故前：高温ガス炉を発電と水素製造に利用、②事故後：固有の安全性を有する原子炉、③現在：使用済燃料の低減にも (Pu/MA 燃焼) 活用、というその時代の原子力に国民が求めているものに対して高温ガス炉が応えられることを示そうとする流れである。

### (4) 日本原子力学会研究専門委員会の活動支援

平成 25 年度より日本原子力学会に高温ガス炉の安全設計に関する研究専門委員会が設置された。この活動を支援し、研究専門委員会の開催時期に併せて事前に報告内容等のレビューを行い、成果を共有している。なお、研究専門委員会は、主査は植田伸幸 (電力中央研究所) が就任し、大学関係有識者、産業界有識者等、20 名で構成されている。平成 25 年 4 月 1 日 ~ 平成 27 年 3 月 31 日 (2 年間) で委員会は 9 回開催された。

## 4. おわりに / 今後について

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災とそれに伴う東京電力福島第一原子力発電所事故以降、わが国の原子力政策に対する国民からの視線はこれまでにない厳しいものとなっている。一方、わが国は、エネルギー資源に乏しく、その多くを海外からの輸入に頼るという根本的な脆弱性を抱えており、エネルギーを巡る国内外の変化による影響を受けやすい構造を有している。このような状況の中で、2014 年 4 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においては、原子力は「運転時には温室効果ガスの排出もないことから、安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源」として位置づけられた。また、固有の安全性を有する高温ガス炉など、安全性の高度化に貢献する原子力技術の研究開発の推進に

についても明示された。さらに、「経済財政運営と改革の基本方針 2014」（いわゆる「骨太の方針」）（平成 26 年 6 月閣議決定）や「日本再興戦略」改訂 2014（平成 26 年 6 月閣議決定）においても、高温ガス炉など安全性の高度化に貢献する技術開発の国際協力等を行うことが明記された。

将来に向けて有望な技術的選択肢を持つことは、安定的なエネルギー確保の観点から重要である。このような状況の中で、文部科学省は、今後、高温ガス炉技術について、どのような目的・方向性をもって研究開発を進めていくべきかについて、改めて議論すべき時期に来ているとして、原子力科学技術委員会の下に、「高温ガス炉技術研究開発作業部会」を 2014 年 5 月に設置し、高温ガス炉技術に関する研究開発の方向性について議論を行ってきた<sup>(6)</sup>。この議論を踏まえ、今後の高温ガス炉技術の研究開発を進めていくために、2015 年 4 月、産学官協議会が設置された。原子炉・燃料メーカーのほか、高温ガス炉による製造が見込まれる水素の利用者となる自動車メーカーなど計 27 社・機関が参加し、今後、国際展開を含めた将来の実用化像や各機関の役割などを議論し、年内をめどに戦略を取りまとめている。

研究会は、この動きを注視しつつ、民間唯一の高温ガス炉に関する組織としてその目的と役割を再認識し、今後も活動を続けていくことを確認している。

#### 参考文献

- (1) エネルギー白書 2014
- (2) 電中研ニュース 439, 「エネルギーの「質」から、将来の石油代替エネルギーを考える - EPR (エネルギー収支比) という指標を用いた分析 -」
- (3) INL/EXT-11-23907, NGNP Project 2011 Status and Path Forward 2011, Idaho National Laboratory
- (4) 岡本太志, 大橋一孝, 「原子力の熱利用を拡大する小型高温ガス炉」, 富士時報 Vol.83 No.3 (2010)
- (5) SUN Yuliang, ZHANG Zuoyi, Development of Modular HTGR and Other Advanced Reactor Technologies in

China, PBNC-2014, Vancouver, August 2014

- (6) 「高温ガス炉技術開発に係る今後の研究開発の進め方について」科学技術・審議会 研究計画評価分科会原子力科学技術委員会 高温ガス炉技術研究開発作業部会, 平成 26 年 9 月,

## 核燃料サイクルに関する内外動向の分析・調査

都筑 和泰 (プロジェクト試験研究部 原子力グループ)  
主管研究員



### 1. はじめに

日本は産業立国でありかつエネルギー小国であることから、エネルギーの安定供給は国の根幹に関わる重要な問題である。主要なエネルギー供給源の一つである原子力については、平成26年エネルギー基本計画<sup>(1)</sup>において、「燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きく、数年にわたって国内保有燃料だけで生産が維持できる低炭素の準国産エネルギー源として、優れた安定供給性と効率性を有しており、運転コストが低廉で変動も少なく、運転時には温室効果ガスの排出もないことから、安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源」と位置づけられた。核燃料サイクルについては同エネルギー基本計画において、「核燃料サイクル政策については、これまでの経緯等も十分に考慮し、関係自治体や国際社会の理解を得つつ、再処理やプルサーマル等を推進する」として、再処理とプルサーマルの推進までは明記された。さらに長期エネルギー需給見通し小委員会<sup>(2)</sup>においては、2030年の原子力の比率を20～22%とする方向で検討結果がまとめられつつある。

このように国策として原子力が推進されつつある一方、原子力発電所の再起動が依然として実施されていないなど、原子力の推進に対し国民の理解が十分に得られているとはいえない状況にある。再処理工場については、原子力発電所よりさらに理解が得にくいと想

定される。このような状況を改善していくためには、福島第一原子力発電所事故以降の原子力の安全対策を説明するだけでなく、原子力を利用することのメリットについて定量的かつ客観的に発信し続けていくことも重要であると考えている。

そこで、本稿においては、初めに原子力の必要性に関わる分析結果を紹介する。原子力発電所の再起動や再処理工場の稼働を順調に進めるためには、その安全性に責任を持つ規制機関も表裏一体でその役割を十分に果たしていくことによって、国民全体の理解が得られるものとする。そのため、2つ目のトピックとして再処理工場の先行経験をもつ英仏について規制の現状を調査した結果を紹介し、日本との比較評価した結果について示す。

### 2. 原子力の必要性について

エネルギー基本計画<sup>(1)</sup>においては、原子力のメリットとして「供給安定性」、「運転コストが低廉」、「運転時の温室効果ガスの排出がない」という点が指摘されている。これらの点をより具体的に示すため、以下の分析を実施した。

#### (1) 化石燃料調達および二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)

2013年の経産省統計によると、一次エネルギー供給の約92%が化石燃料であった。この状況が持続的かどうかを検討するため、まず、化石燃料調達やCO<sub>2</sub>排出制約に係わるリスクを整理した。

### ① 化石燃料をめぐる国際動向

世界エネルギー機関（IEA）の World Energy Outlook2014<sup>(3)</sup>、新政策シナリオによると、世界のエネルギー需要はアジア地域を中心に2040年にむけて着実に増加することが予想されている。主要な一次エネルギー供給源は依然として化石燃料であり、世界の化石燃料消費も着実に増加すると見込まれている。

このうち、石油についての生産、消費の見通しを図1に示す。アジアを中心に需要が急増する一方、OECD諸国の需要は緩やかに減少し、世界全体では需要は緩やかに増加すると見込まれている。生産については在来型の石油の生産がほぼ維持され、天然ガスの増産に伴い天然ガス液（NGL）の生産が増加すると見込まれている。タイトオイル等非在来型石油の生産も着実に増加はするが全体への寄

与は限定的である。また、図には示さないが、中東が依然として主生産地域であるものの、米国、カナダが着実に増産する。このシナリオに従えば、石油の供給途絶が起こる可能性は低いと考えられる。

天然ガスについても状況は概ね同等である。図2に示すようにOECD諸国を含め需要は着実に増加する一方、在来型、非在来型双方の増産が見込まれ、十分な量が供給されると見込まれている。

石炭については、資源量が十分に大きいとされており、ここでは議論しない。

### ② 国内供給へのリスク

前節で述べた通り、石油、天然ガスとも需要に応じて生産が着実に伸びると見込まれており、中長期にわたる石油ガスの需給逼迫が

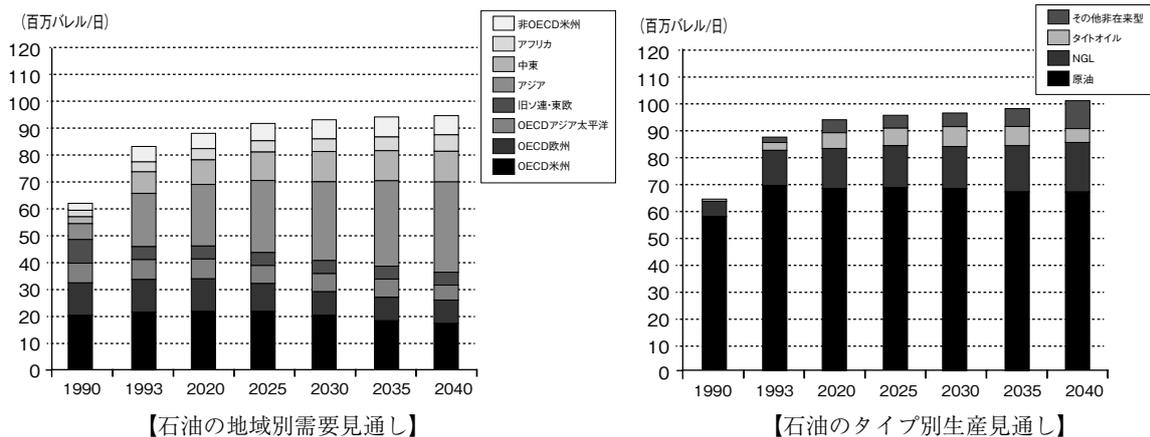


図1 石油の地域別需要見通しとタイプ別生産見通し

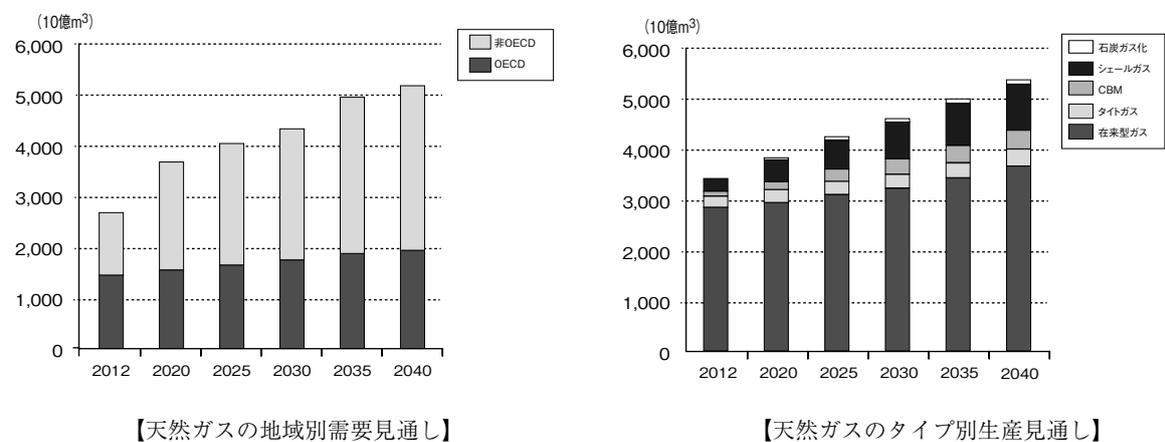


図2 天然ガスの地域別需要見通しとタイプ別生産見通し

発生する可能性は低い。しかし、中東・北アフリカなど政治体制が脆弱な主要産油地域で地域紛争が発生し、局所的に生産が急減するリスクはある。ここで、1978年、1984年の石油危機、1990年の湾岸戦争など地域紛争の場合を分析すると、短期的に原油需給逼迫と価格急騰が発生したが、年間ベースでの原油供給量は維持されていた。石油は国際商品化が進んでいる。こう考えると、一部の生産地域で生産が急減しても、国際的な需給逼迫が長期化する可能性は高くないといえる。

なお、石油については約180日分の備蓄があり、供給が急減してもある程度の対応は可能である。天然ガスについては、ガス貯蔵に適した地下岩盤構造がないため、有事の備蓄・調達の観点からはやや脆弱である。対策としてLNG輸入先の多様化に努めており、図3に示すように、比率が高い輸入相手国でも豪州(21%)、カタール(18%、ともに2014年)となっている。さらに今後輸入量増加が見込まれる国には、豪州、米国など低リスク国が多いことも重要である。

### ③ CO<sub>2</sub> 排出制約

地球温暖化については、最近「国際気候変動パネル」(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)の第五次報告書が取りまとめられ、温暖化は着実に進行していること、その進行を抑えるには今世紀後半にはCO<sub>2</sub>の正味の排出量をマイナスにする必要があることなどが示された<sup>(5)</sup>。

これらのデータなどを踏まえつつ、2015年の気候変動枠組条約締約国会議で法的拘束力をもつ目標を立てるべく調整が進められている。先日行われた「先進7カ国蔵相・中央銀行総裁会議」(G7)では2050年40%~70%減という数字が宣言された。詳細は後述するが、この実現には社会の変革というレベルの対応が必要である。IEAのWorld Energy Outlook 2014の中の気候変動に対応する450シナリオにおいては、原油価格が停滞し、ポテンシャルも十分にあるにもかかわらず需要が急減している。これは、「化石燃料があるけど使えない」という状況に相当する。

### ④ 化石燃料に依存するリスクまとめ

現在の国際秩序の延長上の社会を想定している範囲においては、中長期的に化石燃料の調達困難に陥るリスクはそう大きくはない。ただし、紛争等による短期的な価格上昇については十分に備えておくべきである。また、確率は大きくはないが、国際情勢の大幅な変化(中東パワーバランスの変化、シーレーンの防衛失敗、日本の購買力低迷など)により中長期的な調達困難に陥るといえるリスクはある。

上記国際情勢の大幅な変化を除くと、温暖化制約顕在化のインパクトの方が大きい。2050年にCO<sub>2</sub>排出半減といった厳しい目標を実現するには、後述するように社会の変革というレベルの対応をする必要があり、化石燃料の使用は大幅に制限される。

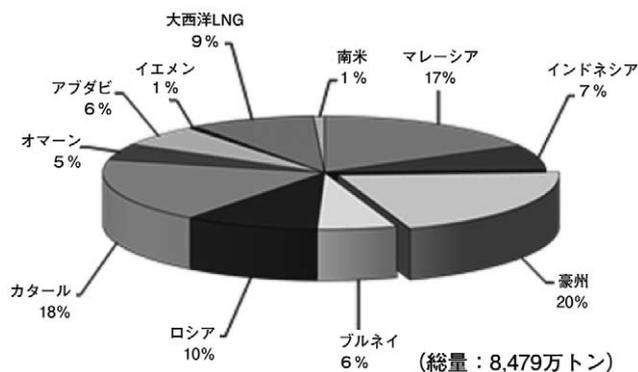


図3 2013年における日本の天然ガスの輸入元内訳<sup>(4)</sup>

以上まとめると、化石燃料の利用については、現時点において切迫した事態に陥るとはいえないまでも完全に頼ることはリスクが大きいと結論づけられる。

## (2) エネルギー需給構造の検討と、原子力の役割

### ① 計算条件

需給構造の検討にあたっては、当研究所にて超長期エネルギービジョン策定やシンポジウムの発表に使用した実績のある表計算ツールを活用した<sup>(6)(7)</sup>。最終需要の想定についても、同文献に準じた。なお、この需要想定は2009年8月の長期需給見通し（再計算）とやや古いデータをベースにしているが、その後の2011年エネルギー環境会議やIEAのWorld Energy Outlook 2013と大きな差はないことを確認している。

### ② 2030年頃のエネルギー需給構造

現在長期エネルギー需給小委で議審議中の、「長期エネルギー需給見通し（案）」においては、2030年における再生可能エネルギーの電源シェアが、22～24%とされた。この数字の妥当性については議論が残るところではあるが、少なくとも現時点において最大導入と考えられた数字であり、ここから大幅に増加させることは容易ではない。それに対し、原

子力は寿命延長や出力増強が許されれば新增設無しでも30%程度は供給できるポテンシャルをもつ。火力についても、国際情勢の大幅な変化やCO<sub>2</sub>排出の厳しい制約がなければ、国内電力の大部分を供給するポテンシャルをもつ。ここでは原子力の多寡のメリット・デメリットを明確化するため、再生可能・省エネルギーのシナリオは2種類程度に固定し、原子力と火力の比率を大きく変えるような分析を実施した。

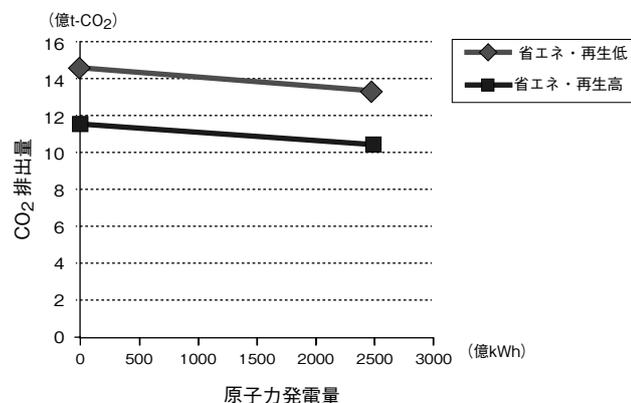
### a. 主要な計算結果

#### ●CO<sub>2</sub>排出量：

図4に原子力発電量を大きく変化させた場合のCO<sub>2</sub>排出量を示す。なお、原子力の電力は天然ガス火力で代替するものと仮定した。原子力を1,000億kWh導入するとCO<sub>2</sub>排出量は約0.5億トン減少する。これは、国内排出の概ね5%程度に相当する。この量は地球温暖化対策として必ずしも十分な量ではないが、既設炉を有効利用するという判断だけで脱原発のケースから排出量を15%程度削減し得るという点で、有力かつフィージブルな対策といえる。

#### ●天然ガス消費量・コスト

図5に天然ガス消費量の原子力発電量依存性を示す。条件は図4と同様である。グラフの傾きは図4のCO<sub>2</sub>排出量と比べて明



（省エネ・再生低：省エネが努力継続ケース，再生可能エネルギーが水力込みで1,500億kWh）  
 （省エネ・再生高：省エネが最大努力ケース，再生可能エネルギーが2,500億kWh）

図4 原子力発電量とCO<sub>2</sub>排出量の関係

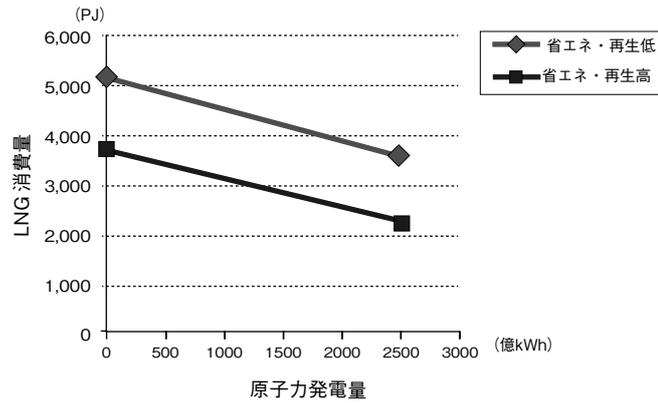


図5 天然ガス消費量の原子力発電量依存性 (条件は図4と同様)

らかに大きく、原子力が0の場合と2,500億kWhの場合とでは、天然ガス消費量が約3割減少する。これは最もシェアの大きいカタールからの輸入量の1.5倍に相当する量であり、天然ガス調達全体に大きな影響を与える規模である。図6は天然ガスの調達コストである。天然ガス調達価格は、その時点の天然ガス価格や為替レートに強く依存するものであり、現時点での予測は容易ではないが、原子力の有無で数兆円の変化があると考えられる。ただし、価格ケースとして22.7ドル/MMBTU、低価格ケースとして10.8ドル/MMBTUと設定した。

●エネルギーセキュリティ

原子力の有無により自給率はかなり変化するが、最も自給率が高いケース(省エネ高、再生可能高、原子力高)の場合でも自給率

は25%程度でしかなく、有事に対する決定的な改善にはなっていない。むしろ、化石燃料の供給が途絶しても、一定規模の電力を供給し続けることができるということが重要であると認識している。

b. 2030年のまとめ

2030年に向けては、省エネルギーと再生可能エネルギーの導入を合理的な範囲で着実に進めることがまず重要と考えられるが、これによりエネルギー消費半減、あるいは再生可能エネルギーによって電力の半分以上が供給されるといった劇的な変化が起こることは想定しにくい。結局のところ最もインパクトが大きいのは、原子力再稼働および寿命延長の判断ということになる。

そのような中で様々な試算を行った結果、

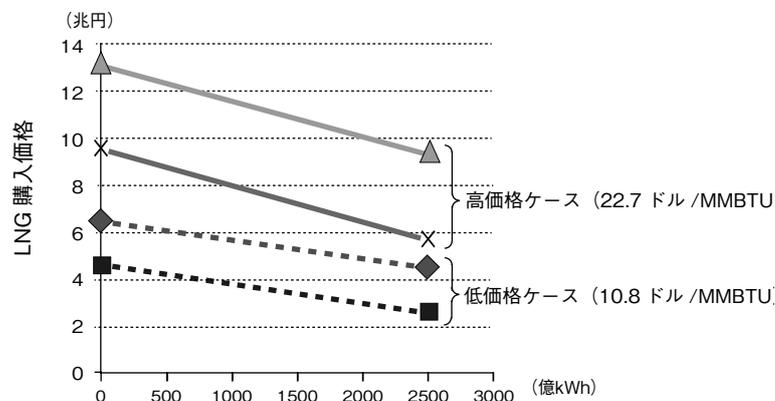


図6 天然ガス購入価格の原子力発電量依存性 (条件は図4と同様)

原子力の有無によるインパクトが大きいのは下記の4点であることを示した。

- 天然ガスの調達価格を数兆円規模で抑えることで国富の流失を抑制する。
- CO<sub>2</sub>削減に寄与するもっとも安価かつフィージブルな対策であり原子力の有無で15%程度の削減効果がある。
- 天然ガスの消費量が3割程度減少することから調達交渉の有力なカードとなり得る。
- 電力の多様性を向上させ、中東情勢の深刻な悪化や海上封鎖といった非常時においても約4分の1の電力を継続して供給し得る。

### (3) 2050年のエネルギー需給

2050年においても、化石燃料の調達に大きな問題がなく、CO<sub>2</sub>制約にも明確な制限を与えないのであれば、原子力の役割は2030年と概ね同等である。すなわち、原子力は燃料輸入による国富の流出や地球温暖化対策、緊急時の電力供給確保に着実に寄与する。ただし、2030年の場合と異なり、原子力を継続利用するには新增設がほぼ必須であることから、化石燃料をめぐる国際情勢や、再生可能エネルギーの開発の進展状況をにらみつつ、原子力発電所の建設時期・規模を判断することになる。

一方、先のG7で表明された、CO<sub>2</sub>排出を2010年比で40～70%減少するという目標を制約条件とすると、状況は一変する。本節では、厳しいCO<sub>2</sub>排出制限を課す場合の例として、1990年比半減(排出量5.6億トン)のケースを中心に分析結果を紹介する。

図7に2050年の部門ごとのCO<sub>2</sub>排出を、最終消費シナリオ別に示す。ここで注意すべき点は、省エネを極端に推進したケースであっても産業、民生の熱需要および運輸だけで、目標とする排出量5.6億トンを超えているということである。すなわち、原子力・再生可能エネルギーといった電力の対策だけでは全く不十分であり、各部門の省エネルギーを可能な限り進め

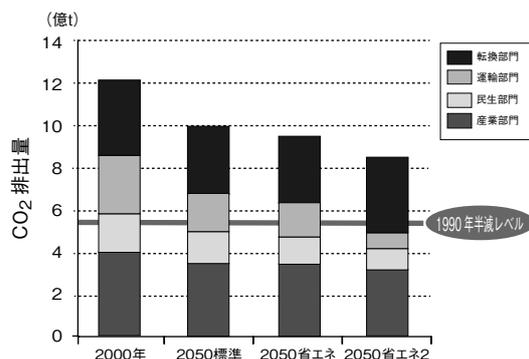


図7 CO<sub>2</sub>の部門別排出量の省エネシナリオ依存性

た上、熱源や動力源に電気を利用するなど低炭素化を進める必要があるということが分かる。

産業・民生の熱源や運輸の低炭素化の可能性について定量的に検討するため、まず各部門の熱や動力の使われ方を分析した。紙幅の都合で詳細は割愛するが、検討に基づき、対策の度合いが「高」、「中」、「なし」の3シナリオを設定した。着目したのは、産業の中低温熱需要、電気自動車、民生のヒートポンプ給湯である。対策高ケースにおいては、中高温の産業熱需要に対して高温ガス炉による熱供給を行うことも想定した。

省エネの度合い3通り、追加対策3通りの、計9通りのシナリオに対し、CO<sub>2</sub>排出量を計算した。その結果を図8に示す。便宜上、対策の進展は「電化」と表記しているが、高温ガス炉の利用も含んでいる。

主要な対策が、民生・産業のヒートポンプ利用および運輸の電気自動車利用であることから、対策が進展すると、図9に示すように電気の利用は増加する。また、いずれのケースにおいては電力に許容される化石燃料排出枠はそう大きいものではなく、電力の大部分を原子力または再生可能といった非化石電源にて供給する必要がある。

シナリオ実現に必要な原子力発電所の基数(135万kW/基)を図10に示す。再生可能エネルギーの規模としては、現状の総発電量に対する20%および50%の2種類を想定した。省エネルギーを最大限推進し、かつ再

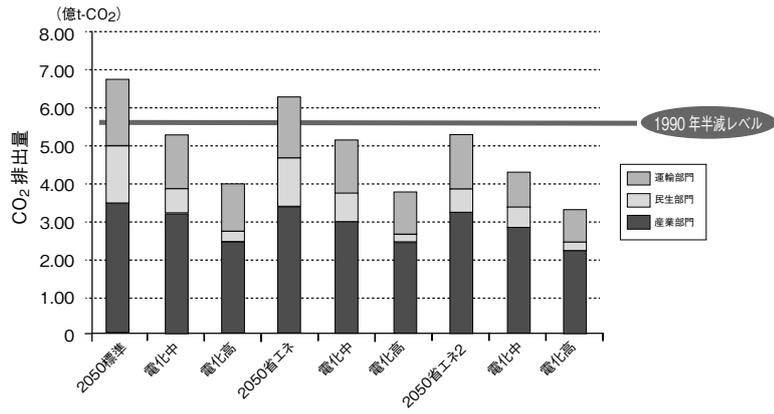
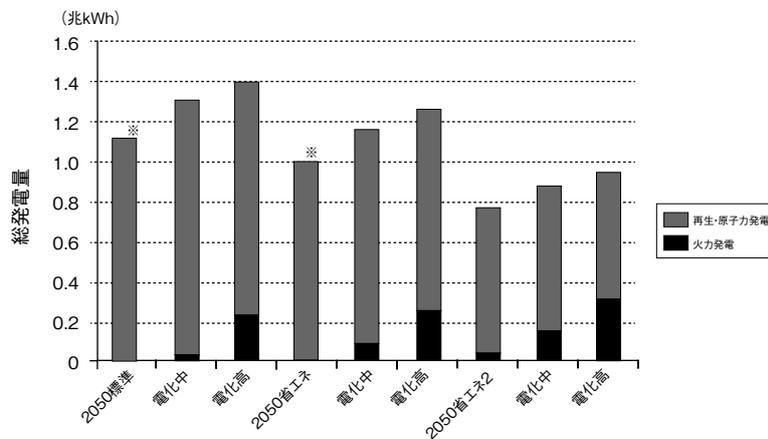
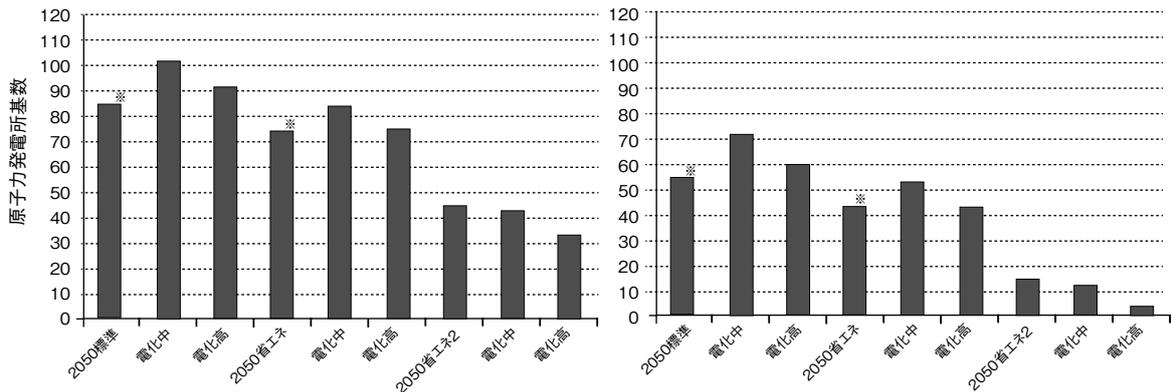


図8 電力部門以外からのCO<sub>2</sub>排出量



(※「2050標準」と「2050省エネ」は、図7、図8の通り、電力以外の部門からの排出で既に1990年の半分を超えるため、電力からの排出をゼロにしても半減シナリオは成立しない。)

図9 総発電量のシナリオ依存性とCO<sub>2</sub>半減の条件を満たすために許容される火力発電の量



【再生可能低：2,000 億 kWh (水力含む)】

【再生可能高：5,000 億 kWh (水力含む)】

(※「2050標準」と「2050省エネ」は、図7、図8の通り、電力以外の部門からの排出で既に1990年の半分を超えるため、電力からの排出をゼロにしても半減シナリオは成立しない。)

図10 原子力発電の必要基数

再生可能エネルギーが大規模に導入されたケースのみ原子力発電所の必要基数は10基前後と

原子力にあまり依存しないエネルギー構成となる。ただし、電化高のケースは、産業の中

温熱需要に 60MW 級高温ガス炉約 100 基相当の導入を想定していることは注意が必要である。それ以外のケースにおいては、震災前と同程度から 2 倍程度の発電量が必要となる。

#### (4) 原子力の必要性まとめ

<短期的な視点>

- 条件にもよるが、CO<sub>2</sub> 排出量で約 15% や天然ガス消費量で約 30% の削減効果をもつ。これらを、既存技術を利用して数兆円／年の経済効果を出しつつ実現するという点で、既設原子力の利用は、CO<sub>2</sub> 排出量削減や天然ガス消費量を低減するための最も安価でかつフィジブルな対策といえる。また、CO<sub>2</sub> 排出枠や天然ガス調達の交渉カードとして有効であると期待できる。
- 万一天然ガス調達が困難に陥っても最低限の電力は供給可能という点で、天然ガス供給急減リスクに対する電力供給の耐性は明らかに向上する。

<中長期的な視点>

- 短期対策の場合と同様に、原子力は CO<sub>2</sub> 排出量や天然ガス消費量を低減するための安価でかつフィジブルな対策である。ただし、原子力発電所の新設が必要であることから、他電源に対する経済性の優劣は自明ではない。その時期の化石燃料調達動向や温暖化制約動向、再生可能エネルギーの開発動向に応じて、その利用量を検討するべきである。
- 厳しい CO<sub>2</sub> 排出制約がある場合、エネルギー関連技術の総動員が必要であり、原子力利

用を考慮してもその実現は容易ではない。原子力なしで実現することも数字の上では不可能ではないが、相当な困難を伴う。すなわち、原子力はほぼ必須といえるオプションとなる。

- 上記を考慮すると、将来の多様なリスクに対応するため、原子力技術の維持涵養は重要と考えている。

### 3. 規制の調査

再処理施設の安全性向上および効率的な運用に資するため、国内外の規制の要求内容、体制および運営などについての調査を行った。調査の対象は、再処理工場の運転実績を持つ英仏とした。ここでは、規制の体制を簡単に説明した後、比較的差異の大きかった定期検査と再起動ルールを中心に日英仏の違いを紹介する。

#### (1) 規制の体制

##### ① フランスの規制体系

図 11 にフランスの原子力規制の組織図を示す。現在のフランスの原子力関連組織や体制は、2006 年 6 月に制定された「原子力の透明性と安全性に関する法律 (No.2006-686, TSN 法)」が基本となっている。原子力に関する規制は、独立行政機関である原子力安全規制機関 (ASN) が行っている。ASN は、政策、安全原則や基準などを定める様々な法的権限を付与されており、現在 478 名の職員がいる。ASN の下部組織として、放射線防護・原子力安全研究所 (IRSN) があり、原子炉の審査や

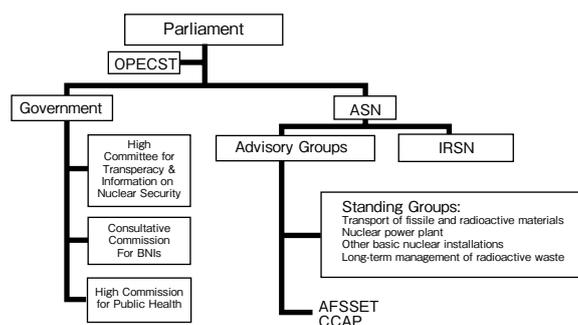


図 11 フランスの原子力規制の組織図

検査業務を支援している。IRSNには原子力安全および放射線防護と鋭敏な原子力物質を管理する分野の多くの専門家、エンジニア、研究者、医師、農学者、獣医、技術員、熟練技術者を含めて、1750名の職員がいる。

ASNに対しては議会が責任をもつ構造となっており、年に1回報告することとなっている。科学技術に関する検討はOPECSTが行う。OPECSTは、政府による決定が透明性と理解しやすいものになるように議会に科学技術の選択について情報提供できるように、1983年7月の法No. 83-609によって設立された機関であり、国民議会から18名、上院から18名の36名で構成される。

## ②イギリスの規制体系

原子力規制評価2008で勧告された原子力安全、民間原子力セキュリティ、原子力安全保障と放射性物質輸送からなる1つの統合化した原子力規制組織を創るために、2011年4月にONRが発足した。元々は、ONRは健康安全局の理事会であった。2013年エネルギー法によって独立公設機関となった。規制者による安全評価、検査と執行のリソースは、ONRに包含されている。必要な時には専門的知識を持つ下請業者を利用する。

ONRの職員は450名であり、このうち検査官は約200名である。ONRは、労働年金省大臣へ責任を負っており、最終的には、英国議会へ責任を負っている。定期的な報告は行われておらず、問題が発生した場合に随時報告するような体制となっている。

## ③規制の体制に関する評価

英仏とも規制機関は独立機関であり、その独立性は尊重されている。その活動については、政府や議会が責任を負っており、毎年（仏）、あるいは不定期（英）に規制機関から報告を受けている。日本においても原子力規制委員会が独立機関であり、衆参の委員会に定期報告を行っており、少なくとも形式的には規制機関の

枠組み・監視体制は概ね共通である。しかしながら、運用上評価の頻度や深さについては差異がある可能性がある。その実態について海外調査を行った海外調査機関と意見交換した結果、以下のような興味深いコメントを得た。定性的ではあるが、国内の規制体制のあり方を考える上で参考になると考えられるため、参考コメントとして記載しておく。

- 規制機関は技術面、政府・議会は政策面に責任を負っており、役割分担は明確である。
- 規制機関と政府・議会は必要に応じて、必要なレベルでの意見交換を行っており、目標は共有されている。
- 共通の目標は国民の生活向上である。すなわち、放射線による被害を避けることを前提に、可能な限り施設を運転して利益を挙げることが重要と認識されている。
- 万一規制機関が審査の遅延や過度に厳しい規制により事業の推進を阻害した場合（このようなケースが発生するとは想像しにくい）、おそらく事業者が上位の機関（イギリスであれば労働年金大臣、フランスであれば議会）に相談することになるであろう。

## (2) 定期検査

英仏とも「定期検査」という概念がそもそも存在しておらず、規制者は必要に応じていつでも検査を行うことができる。フランスのラアグサイトの場合は、非常駐検査官、施設管理者、事業者のエンジニアなどの10～40名のチームが年間50～60回検査を行っている。期間は長ければ1週間程度である。なるべく施設の運転を止めないように実施するが、必要であれば施設を停止する場合もある。検査項目は特に決まっておらず、検査官が必要と思われる項目をサンプリングベースで検査する。

イギリスのセラフィールドサイトの場合は、検査官はサイトに常駐している点がラアグと異なる。検査官は30%程度以上の時間をサイトで過ごしている。検査項目が決まってい

ない点やサンプリングベースである点はフランスと同等である。

日本の場合、年4回の保安検査と年1回の定期検査を行うこととされており、検査項目も固定されている。また、検査は全数ベースである。

日本型か英仏型かどちらが優れているかは一概には言えないが、検査官が十分な専門性を有し合理的な検査を行うことができるのであれば、英仏型の方が効率的でかつ質の高い検査を行うことが可能であると考えられる。そのこともあり、英仏の規制機関においては、専門性の高い検査官を採用し、組織的な教育や管理が行われている。一方、日本の場合は、出向者が多いこともあり、その専門性には議論がある。

### (3) 不具合による停止からの再起動

施設に不具合が生じた場合、英仏とも、不具合の大小にかかわらずすぐに規制機関に報告することとされている。停止の判断は原則事業者の判断で行うが、規制機関が運転停止を命じることもできる。その後は規制機関と相談しつつ必要な対策を行うこととなる。

安全が十分に確認されたと判断されれば再起動を行う。再起動の判断は事業者の責任で行うものであり、規制機関の承認事項ではない。ただし、規制機関は原子力安全に責任をもつため、再起動が危険であると判断されれば止める権限はある。また、施設の変更を伴う場合については、その重大さに応じてしかるべき機関の承認を得る必要がある。

日本国内のルールも形式上は大差がないように思えるが、実態としては地元の同意などにより、再起動が遅延するケースがある。

## 4. まとめ

化石燃料の利用については、必ずしも切迫的な危機とまでは言えないが、頼り切ることにはリスクが大きい。既設原子炉を利用すれば、化石燃料消費量やCO<sub>2</sub>排出量の削減を、燃料調達

による国富の流出を削減しつつ実現することが可能である。すなわち、原子力は化石燃料消費量やCO<sub>2</sub>排出量ための安価かつフィジブルな対策といえる。また、中長期的に気候変動対策としてCO<sub>2</sub>排出量を半減以下にしておくためには、原子力利用はほぼ必須と言える。これらのメリットについて、冷静かつ定量的に発信し続けることが重要であると考えている。また、今後も原子力を使い続ける可能性を考慮すると、その技術基盤について維持涵養していくことが重要であると考えている。

規制については、福島第一原子力発電所事故を踏まえ、二度と大事故を起こさないように厳しく対応していくことは当然である。英仏等の事例を参考にしつつ、どうすればより安全でかつ合理的な運用ができるか検討を続けていく必要がある。

### 参考文献

- (1) エネルギー基本計画 平成26年4月
- (2) 総合資源エネルギー調査会 長期エネルギー需給見通し小委員会(第10回会合) 平成27年6月
- (3) International Energy Agency, "World Energy Outlook 2014"
- (4) 財務省貿易統計2013年
- (5) Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report (AR5), <https://www.ipcc.ch/report/ar5/> (2014)
- (6) 都筑 和泰, 森山 亮, 他「東日本大震災を踏まえた国内エネルギー需給構造のあり方に関する検討」季報エネルギー総合工学 Vol.34(2), (2011.7), p.29
- (7) 都筑 和泰, 森山 亮, 他「東日本大震災を踏まえたエネルギー需給構造のあり方」季報エネルギー総合工学 Vol.34(4), (2012.1), p.17

## デマンドレスポンス (DR) の動向

川野 光伸<sup>※</sup> (プロジェクト試験研究部  
新エネルギーグループ 主任研究員)



### 1. はじめに

わが国では、今後予想される再生可能エネルギーの大量導入に向けて、需要家と既存の電力系統とが協調して電力需給の安定化を図るスマートグリッドの導入の必要性が指摘されている。また、2011年3月の東日本大震災以降、中長期的な電力需給の逼迫が懸念されており、従来にも増して需要サイドでの省エネルギーや制御、つまりデマンドレスポンス (以下DR) の必要性は大きくなってきている。このような環境のもと、海外、特に米国においては、エネルギー需給制御を行うエネルギーマネジメントシステム (以下EMS) といった観点でDRが系統運用上の手段として重視されており、今後もこの傾向が続く可能性が高い。国内においては、今後予定されている電力システム改革も踏まえて様々なDRプログラムの導入が検討され、電力系統側と需要家内のEMSとの協調が模索されていくと予想される。

以上より、本調査では、主にDRの海外での動向を中心に調査し、今後、わが国が取り組むべきDRについて提言する。

なお本稿は、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会による「次世代エネルギー・社会システム実証事業補助金」(平成24～26年度)により実施された「I-3 エネルギーマネジメントシステムの構築に係る調査事業 テーマ1: エネルギーマネジメントシステムの構築提案等調査事業」の成果をまとめたものである。

### 2. DRとは

#### (1) DRの起源と定義

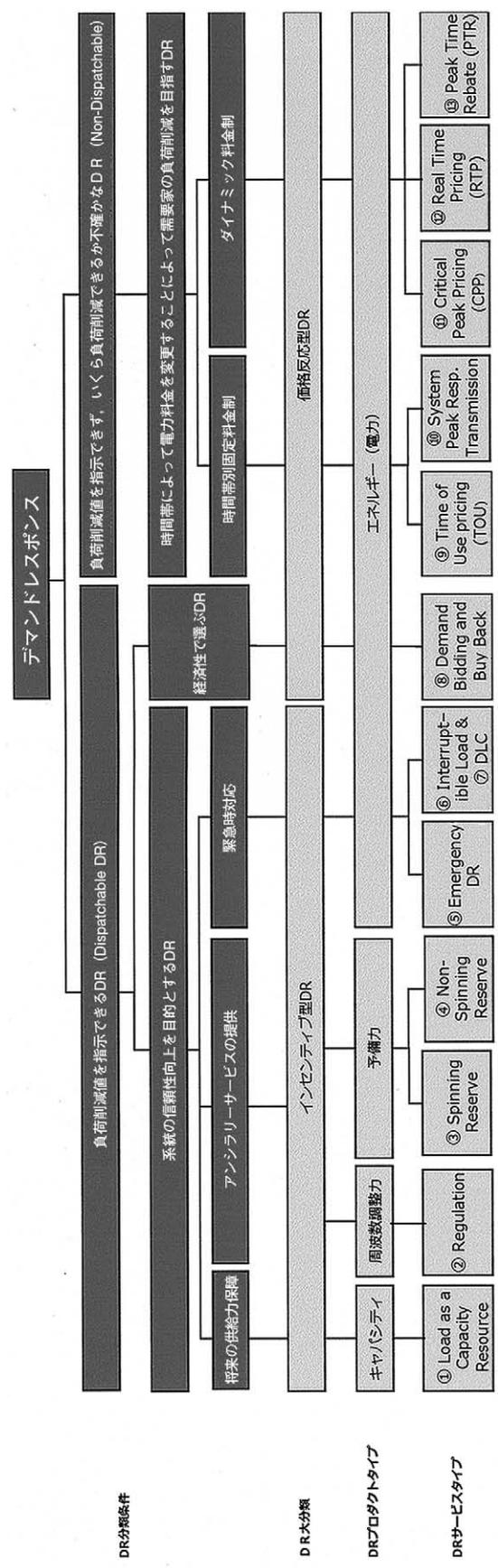
ピーク需要時に系統が逼迫したり、発電機の故障など系統に事故が発生して電力供給不足が発生しそうな場合に備えて、電力会社が大口需要家と特別な契約をしておき、必要に応じて大口需要家の負荷を遮断もしくは削減してもらう慣行は、電力供給ビジネスが始まって以来、常識的に行われてきた。日本でも需給調整契約(随時調整契約)と呼ばれるもので、これがDRの起源と考えられる。

DRの定義としては、「卸市場価格の高騰時または系統信頼性の低下時において、電気料金価格の設定またはインセンティブの支払に応じて、需要家側が電力の使用を抑制するよう電力消費パターンを変化させること」(Assessment of Demand Response & Advanced Metering, FERC (2011))を指すと言われている。これから派生して、通常時における系統運用側の経済的選択や周波数制御に代表されるアンシラリーサービスにはDRも含まれると本稿では考える。

#### (2) DRプログラムのまとめ

DRには、その目的や用途により、さまざまなプログラムがある。種々のDRプログラムを本稿では、これまでの調査をベースとして、図1の通りまとめた。

※ 6月25日付で、関西電力(株)技術研究所 先進技術研究室へ異動。



DRの特徴	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)
DR変換目的	長期的な供給力の確保 (ピーク)	周波数調整	短期的供給力確保	緊急時対応	ピーク負荷削減	運用コスト最小化	ピーク負荷削減	送電線損耗	ピーク負荷削減	ピーク負荷削減
DR発動対象	高需要期/連年	連年	連年	連年	高需要期	連年	高需要期	連年	高需要期	高需要期
DR発動条件	クリティカルピーク	系統周波数が規定以上変動した場合	緊急事態発生時	緊急事態発生時	クリティカルピーク	系統運用者希望時	規定の高電力価格時間帯	クリティカルピーク	クリティカルピーク	クリティカルピーク
最小単位	100kW~	100kW~	Spinning Reserveで解決	連年	連年	連年	規定制の高電力価格時間帯	連年	高需要期	高需要期
DRイベント通知~DR実施までの時間	注1	~1分	~10分	~30秒	即時	即時	TOUの時間帯	1日/数時間前	1日/数時間前	1日/数時間前
DRイベント継続時間	注1	4秒~5分	10~105分	2時間	6時間50%運転等	対象時間はウィークデイ昼間のみ	TOUの時間帯	1日/数時間前	1日/数時間前	1日/数時間前
報酬支払い単位	/kW + (1/kWh)	/kW + (1/kWh)	/kW + /kWh	/kW + /kWh	/kWh	参加報酬金等	TOUの時間帯	1日/数時間前	1日/数時間前	1日/数時間前
主なDR主催者	ISO/RTO	ISO/RTO	ISO/RTO	ISO/RTO	ISO/RTO	ISO/RTO	ISO/RTO	ISO/RTO	Utility/Aggregator	Utility/Aggregator
主なDR資源提供者	C&I	C&I	C&I	C&I	C&I	Residential	All	C&I	Residential	Residential
DR調達メカニズム	キャパシティ市場/相対契約	アンジュラリーサービス市場/相対契約	アンジュラリーサービス市場/相対契約	アンジュラリーサービス市場/相対契約	アンジュラリーサービス市場/相対契約	アンジュラリーサービス市場/相対契約	1日前電力市場/Utility独自市場	電力料金メニュー	電力料金メニュー	電力料金メニュー

注1 Load as a Capacity ResourceのDRサービスタイプとして相対契約したものでなくキャパシティ市場で調達されたDR資源は、別段エネルギー市場 (Interruptible Load) / アンジュラリー市場 (Regulation Service, Spinning/Non-spinning Reserves) に投入される場合がある。

図1 DRプログラムの体系整理

### 3. DR に関する最近の動向

#### (1) DR リソースの取引ならびに創出

DR の最近の動向をまとめるにあたり、DR リソースの取引ならびに創出という観点でバリューチェーンを図2の通りにまとめた。図2に示すDR アグリゲータとDR リソースを調達する主体の間のDR リソースの取引に関しては、国内の実証事業において検討されているが、需要家サイドにあたるDR リソースの創出については、あまり検討されていない。このため本稿では、DR アグリゲータや需要

家の領域を対象に、DR リソースの創出に係る実態を主たる調査対象としてDRに関する現状を記すとともに、欧米のDRに関する最近のトピックについても記す。

#### (2) DR アグリゲータ・需要家におけるDRの取組事例

##### ① エナジープール (Energy Pool)

●Energy Pool は、フランス最大手のDR アグリゲータであり、図3に示す通り、DR リソースを1.5GW 保有し、幅広くDR 事業を展開している。

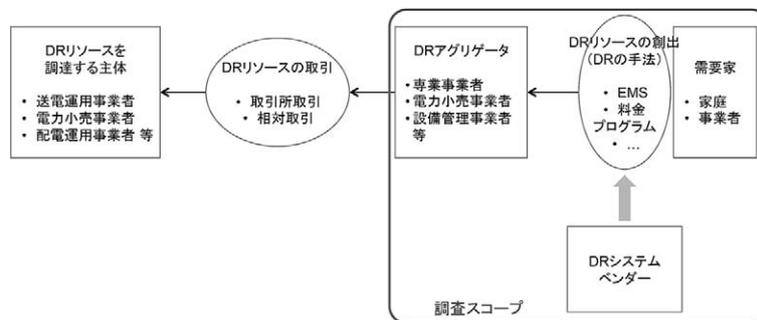


図2 DR 事業領域におけるバリューチェーン

<p>[サマリ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ フランス最大手の専門DRアグリゲータ</li> <li>✓ 2010年にSchneider Electricの出資を受け、戦略的パートナーシップを締結</li> <li>✓ 創業者は、Pechiney Aluminum (現Rio Tinto Alcan Inc.)の元CEO</li> <li>✓ オペレーションセンターを、Chambéry(フランス)、St Albans(イギリス)、Douala(カメルーン)、東京の4ヶ所で開設</li> <li>✓ 2015年には、事業エリアを5-6か国拡げる見通し</li> </ul>	<p><b>Energy Pool</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 事業者タイプ: 専門DRアグリゲータ</li> <li>● 創業年: 2008年</li> <li>● 本社所在地: シャンベリー(フランス)</li> <li>● 事業エリア: フランス、イギリス、ベルギー、カメルーン、日本</li> <li>● DRリソース保有量: 1.5GW</li> <li>● 従業員数: 70人</li> <li>● 関連企業: Schneider Electric</li> </ul>	<p><b>DRの発生</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● RTE(仏:送電運用機関)</li> <li>● National Grid(英:送電運用機関)</li> </ul> <p><b>DRの調達元(需要家)</b></p> <p>《需要家のタイプ》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 鉄鋼業、電気冶金、パルプ・紙、セメント産業、農業・食品産業、病院、オンサイト発電、ガス、冷蔵、水道・水処理 等</li> </ul> <p>《主要なDR対象設備》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● CHP、照明、空調機器、冷却設備、ポンプ 等</li> </ul>
---	--	---

図3 Energy Pool の概要

DRの対象時間	DRのステークホルダー		
	短期(1時間以内)	中期(1日~1年)	長期(一年以上)
発電事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ペナルティの削減</li> <li>● 予備電源の活用</li> <li>● 経済的なピーク制御</li> </ul> <p>10-15% コスト減</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アセットの最適化</li> <li>● Improve RES balancing</li> <li>● ピーク電源の起動・停止回数削減</li> </ul> <p>10-15% コスト減</p> <p>1-5% 効率改善</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ピーク電源への投資削減</li> </ul> <p>2-4% 投資減</p>
送電事業	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 安全性・品質の向上</li> <li>● 分散電源による周波数制御</li> <li>● 地理的な選断</li> </ul> <p>10-15% コスト減</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 系統安定化対策コストの抑制</li> </ul> <p>10-15% コスト減</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 送電設備投資の削減</li> </ul> <p>2-3% 投資減</p>
配電事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Local level and reactive solution in case of failure</li> <li>● Facilitate RES Intermittency management</li> <li>● 配電混雑の削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Local level and reactive solution in case of failure</li> <li>● Facilitate RES Intermittency management</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 再エネ対策のための系統への投資削減</li> </ul>
小売事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Savings for endusers, cost effective balancing management for</li> </ul> <p>10-15% コスト減</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 供給コストの削減</li> </ul> <p>1-5% 効率改善</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reduce cost of the supply High performance contract</li> </ul> <p>5-20% 値引き可</p>

図4 Energy Pool が考えるDRの対象時間とステークホルダーのメリット

- 各国の市場環境に合わせて、異なる用途に対応したDRを提供している。
- 短中期のDRでは、図4の通り、発送小売事業者において、10～15%のコスト削減効果を見込んでいる。
- 図5の通り、Energy Poolでは、需要家のタイプにより、エネルギー削減のポテンシャルを把握するとともに、DRリソースの特性を考慮し、DRの用途に応じて最適なDRリソースを組み合わせてDRを提供している。

## ②キウィパワー (KiWi Power)

- KiWi Powerはイギリスで第2位のDRアグリゲータであり、図6の通り、DRに必要なソフトやハードを内製化することで低コストを実現している。
- 図7の通り、KiWi PowerのDRにおけるキーファクターサクセス(Key Factor Success: KFS)は、需要家の負担削減および徹底したDRコストの削減にある。

需要家のタイプ	エネルギー削減のポテンシャル	用途別のDRへの適応性				
		短期		中期		長期
		Safety (1秒～10分)	Energy balancing (15分～2-3時間)	Capacity	Consumption Planning	Engineering for new contracts
アルミ電解工程	10～30%	○	◎	○	◎	◎
電気冶金	15～25%	◎	◎	○	○	○
冷蔵	10～20%	◎	○	◎	◎	△
鉱物/原料	5～20%	◎	○	◎	○	○
パルプ/カートンボード	5～15%	◎	◎	◎	○	○
農業/食品	5～10%	◎	◎	◎	◎	◎
鉄鋼	5～10%	◎	△	◎	○	○
病院	5～10%	◎	△	○	△	△
業務用オフィス	5～10%	△	◎	○	△	△
データセンター	5～10%	○	△	○	△	△

図5 Energy Pool が考える需要家のタイプとDRの用途の対応関係

**【サマリ】**

- ✓イギリスでFlexitricityに次ぐ第2位の専業DRアグリゲータ
- ✓自社開発のシステムにより、DLC型のDRを運用
- ✓DRの対象は主に負荷削減(英他のアグリゲータは、バックアップ用発電機が主な対象)
- ✓筆頭投資家であるイスラエルの大物財界人のネットワークを活用して営業を展開
- ✓DRに必要なソフトやハード(メータ等)を内製化することで、低コスト化を実現

**KiWi Power**

- 事業者タイプ 専業DRアグリゲータ
- 創業年 2009年
- 本社所在地 ロンドン(イギリス)
- 事業エリア イギリス
- DRリソース保有量 ? GW
- 従業員数 35人
- 関連企業 -

**DRの売先**

- National Grid(英:送電運用機関)
- 小売事業者

**DRの調達元(需要家)**

- 《需要家のタイプ》
- 空港、冷蔵倉庫、食品加工業者、物流業者、炭鉱業者、鉄鋼加工業者、通信業者、スーパーマーケット、病院等 750社
- 《主要なDR対象設備》
- 照明・空調等の負荷設備、ウォーターポンプ等

図6 KiWi Power の概要

DRのKFS	KiWi Powerの対応	
①需要家のDR参加に至る障壁の排除	● 需要家の費用負担の無償化	● DRに必要なハード、ソフトや設置費用は全てKiWiが負担することで、需要家は費用負担無しでDRに参加することが可能
	● 需要家のペナルティの撤廃	● DRの要請に対して反応できなかった場合のペナルティを需要家に課さず、KiWiでリスクを負担
	● DRの運用における需要家の負担軽減	● 需要家が本業に専念できるよう、DRの運用は全てKiWiが受託
②徹底したコスト削減	● DRシステムの自社開発	● システム(ハード・ソフト)を外部から調達した場合のコストが約10,000であるのに対し、自社開発することで約500までコストを圧縮

図7 KiWi Power のDRIにおけるキーファクターサクセス

③バルチモアガス&エレクトリック (Baltimore Gas & Electric : BGE)

- BGEは、Peak Time Rebate (PTR) 型プログラムであるBGE Smart Energy Rewardsと、直接負荷制御 (DLC) 型プログラムであるPeakRewardsの2パターンのDRプログラムを導入している。
- BGE Smart Energy Rewardsは、イベント時間帯の電力削減1kWにつき、1.25ドルのリバートが付与されるPTR型プログラムであり、スマートメーター導入家庭は、PTRが標準料金メニューとして設定されており、自動的にBGE Smart Energy Rewardsに参加することとなっている。BGE Smart Energy Rewardsにおいては、Opowerのソリューションが活用されている。多様なコミュニケーションチャンネルにて、イベントの通知やレポートが行われており、PTRについては、TVやラジオの宣伝で幅広い啓蒙活動を行い、BGEは力を入れて実施している。
- 一方、PeakRewardsは、図8に示す通り、BGE管轄地域に居住する需要家の内、中央空調制御システム、または電気温水器を保有している需要家が参加することができる、空調設備または電気温水器を自動制御するDLC型プログラムである。

④アルコア (Alcoa)

- アルミ製造世界大手であるAlcoaは、製造コストの40%を占めるエネルギーコストをターゲットとして収益の最大化を図るため、積極的にDRに取り組んでいる。
- Alcoaは、1888年創業で世界31カ国に進出しており、アルミ製造で年間売上250億ドル(2012年)のトップ企業の1つである。
- Alcoaのアルミ製造におけるエネルギー使用量は、年間1,320億kWh(家庭1,200万件分に相当)、最大負荷1万5,000MWであり、収入に対して17%に当たる40億ドルのコストをエネルギーに費やしている。
- この膨大なエネルギーコストを削減するため、省エネに加えてDRにも取り組んでおり、図9に示す通り、単純なDRから取り組みを始め、より高度な制御を伴うDRに発展させている。
- Alcoaは、アルミの市場取引価格とDRの取引価格(≒電力市場価格)を指標として、アルミ価格が下落し、アルミの減産による収益減よりもDRによる収益獲得が上回る場合にDRを実施することで、収益を最大化させている。
- AlcoaのDRは、図10に示す通り、負荷遮断と柔軟な負荷制御を組み合わせ対応している。

PeakRewardsのプログラム概要

	Air Conditioning Program	Water Heater Program
リバート水準	・夏季において、最大で\$200のリバートが支払われる	・年間を通じ、毎月\$25が支払われる ・冬季のみ、毎月\$6.25のリバートが支払われる ・プログラム参加初年度には、ボーナスとして\$25が支払われる
制御システム	・サーモスタット ・屋外設置式スイッチ	—
制御レベル	50%、75%、100%(選択式)	100%
参加世帯数	317,000世帯	—
制御機器数	350,000機器	79,000機器
DRリソース提供実績	416MW	10MW
その他	・夏季に最大で2回※連日イベントへの応答を拒否することができる ※非緊急時イベントのみ ・オプトアウト手数料やペナルティは設定されていない	・年間で最大4回※連日イベントへの応答を拒否することができる ※非緊急時イベントのみ、6月～8月で2回、10月～3月で2回 ・需要家への事前通知は実施されない

※緊急時イベント(emergency cycling events)とは、負荷リソースが非常に逼迫している際に発動されるもので、イベント期間の負荷削減は応答を拒否または遅延することはありません。事前に選択した制御レベルでの制御が実行される。非緊急時イベントとは、主に電力取引価格が暴落した際や高気圧の安定による需要削減のために実施されるもので、最大で50%の削減が行われる。非緊急時イベントは、需要家によって応答を拒否または遅延することができる。

Air Conditioning Programのプログラム詳細

Participation Level	First Year Bonus Per Month*	Summer Credits** Per Month: June, July, Aug., Sept.	First Year Total (Credits + Bonus)
50% Cycling	\$12.50	\$12.50 / month	\$100
75% Cycling	\$18.75	\$18.75 / month	\$150
100% Cycling	\$25.00	\$25.00 / month	\$200

A/C Program Cycling Overview	
<b>50% Cycling</b> How Does Cycling Affect You? Your central air conditioner or heat pump will produce cool air for half of its normal running time during an emergency event. During non-emergency events and emergency events you will be cycled up to 50%.	What is the Right Level for You? Good choice for those who: ✓ are at home during the day when most events occur ✓ can safely tolerate a modest increase in household temperature
<b>75% Cycling</b> How Does Cycling Affect You? Your central air conditioner or heat pump will produce cool air for only 25% of its normal running time during an emergency event. During non-emergency events you will be cycled up to 50%. During emergency events you will be cycled up to 75%.	What is the Right Level for You? Good choice for those who: ✓ don't mind a temperature increase, but don't want the air conditioner shut off entirely during an event Not recommended for those who: ✓ have medical health conditions ✓ are elderly ✓ have pets or children at home ✓ stay at home much of the afternoon and early evening
<b>100% Cycling</b> How Does Cycling Affect You? Your central air conditioner or heat pump is off and no cool air will be produced for the duration of an emergency event, even if the event lasts for multiple hours. During non-emergency events you will be cycled up to 50%. During emergency events you will be cycled up to 100%.	What is the Right Level for You? Good choice for those who: ✓ are not home during the day when cycling will typically occur ✓ can enter safely to tolerate greater temperature impacts, or can make other arrangements to not be home during an emergency event and plan to return once the home cools back to the desired temperature Not recommended for those who: ✓ have medical health conditions ✓ are elderly ✓ have pets or children at home ✓ stay at home much of the day

図8 BGEにおけるPeakRewardsプログラムの概要およびAirConditioningProgramの詳細

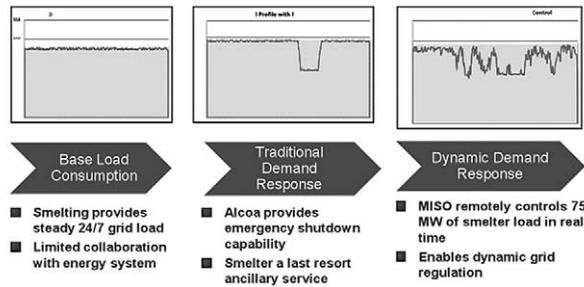


図9 AlcoalにおけるDRの高度化

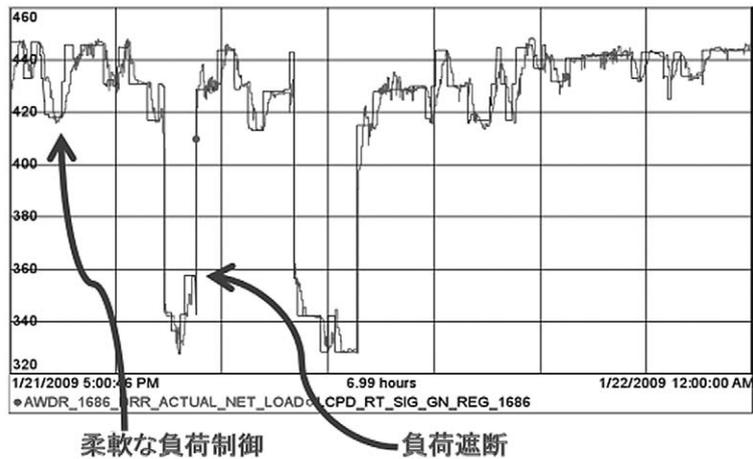


図10 AlcoalのDRにおける負荷制御の例

(3) 欧米のDRに関する最近のトピック

① プライスレスポンスデマンド (PRD)

●PRDは、米国の卸売電力取引市場での取引価格に応じて、電力使用を制御するものであり、PJM(米国を代表する地域送電機関)はPRDのルールを定めているが、現時点で実運用の実績は無い。

② フットルーム (Footroom)

●イギリスの送電運用機関であるNational Gridは、風力発電の夜間の余剰電力を吸収するため、電源の出力の抑制または負荷の上昇を行うDR、いわゆるFootroomを定めた(図11参照)。通常の負荷制御とは逆のDRであり、目新しさがあるが、現時点では、経済的なメリットが小さいことから成約の実績は少ない。

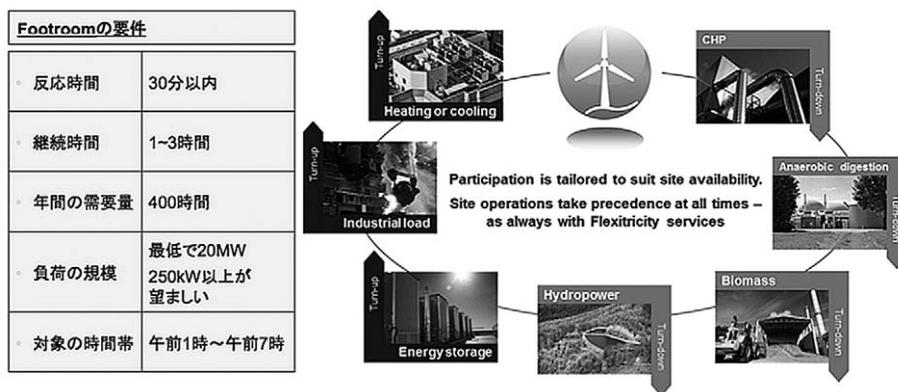


図11 Footroomの概要

③米国連邦エネルギー規制委員会（FERC）のオーダー 745 を巡る議論

- FERC オーダー 745 は、DR 普及促進に関連して FERC が打ち出してきた施策の 1 つで、内容は、DR 資源調達と電源調達と経済的な比較において遜色がないなら、電源調達で支払うのと同じ対価を支払うよう、卸売市場を運営する RTO/ISO に命じたものである。
- 米国の電気供給協会（EPSA）が 2011 年 12 月にワシントン DC の高等裁判所にオーダー 745 の再審理を請求した。また 2012 年 2 月には DR 資源提供者への支払い命令は、FERC として作成する政令権限を越えていると提訴。高等裁判所は 2014 年 5 月にオーダー 745 を無効と判決した。
- 電源側の主張は、(a) DR に対して、電力市場価格の満額で支払うことは不公正で理屈にかなっていない、(b) DR は限定的なプロダクトであり、DR 事業者が課せられる義務は、発電事業者よりも少ないにも関わらず同じ報酬を受け取っている、(c) DR は電圧のサポートおよび信頼性のサービスを提供していない、といった内容である。
- 一方、DR 側の主張は、(a) DR は電源と同等の対価を得るべきである、(b) DR は、実際にシステムの信頼性を向上させるために役立っている、といった内容である。

●現在の議論の状況としては、米国司法省は、オーダー 745 を無効としたワシントン D.C. 高等裁判所の判決を破棄するよう最高裁判所に求める上告を実施し、最高裁判所で再審理することは決定したが、最高裁判決が確定するまでには、まだ時間を要する状況である。

4. DR リソースの用途と DR リソースの創出方法のまとめ

(1) DR リソースの用途の整理

- DR リソースを利用する主体により、様々な用途に分類されるため、DR リソースの用途を図 12 のようにまとめた。

(2) DR リソースの創出方法の類型化

- DR リソース創出方法をインセンティブの付与、負荷の直接制御、DR イベントの通知という 3 つの観点から類型化すると図 13 のようになり、DR リソース創出方法としては、9 種類あることが分かる。
- これら 9 種類の DR リソース創出方法について、DR リソース調達者にとって重要となる DR 発動タイミングの柔軟性、応答の確実性、応答速度、プログラム実施コスト、需要家の受容性といった観点から適正、実現性を評価したものが図 14 である。

DRの目的	DRリソースの用途	DRリソースを利用する主体	DRリソース利用が促進されるドライバ	
経済的選択・コスト削減	①Energy(供給力)の代替	小売事業者	● 電源に対するDRリソースのコスト競争力がある	
	②Triad Management(ピーク需要時ににおける契約需要家の需要電力削減)	小売事業者 ex. 英国の小売事業者等	● Triadの制度がある	
	③契約電力の削減 (最大需要電力の削減)	需要家 ex. 大口需要家等	● 実量制に基づく契約電力に応じた電気料金メニューがある	
(経済的な) 系統安定化・信頼性向上	④Capacity(将来的な供給力)の代替	送電運用事業者 ex. 米国のPJM、ISO-NE、英国のNational Grid等	● 将来的な供給力の不足が懸念されている(電力需要の増加、電源の老朽化、原発の停止) ● または、小売事業者に容量調達の義務が課せられる ● 電源に対するDRリソースのコスト競争力がある	
	アンシラリー	⑤周波数調整力 (Frequency Control)	送電運用事業者 ex. 米国のPJM、英国のNational Grid等	● アンシラリー用の調整力が不足している(電源構成における再生エネルギーのシェア増加) ● 取引市場がある ● 電源に対するDRリソースのコスト競争力がある ● DRの信頼性が担保されている
		⑥予備力 (Spinning Reserve、Non-Spinning Reserve)	送電運用事業者 ex. 米国のPJM、英国のNational Grid等	
	⑦再生可能エネルギー(主に風力発電)の余剰電力の吸収	送電運用事業者 ex. 英国のNational Grid等	● 風力発電の導入量が増加している	
⑧配電系統の最大負荷の低減 (配電設備投資の削減)	配電運用事業者 ex. 英国のDNO等		● 配電系統への負荷が増大している(局地的な電力需要の増加、PVの余剰電力の増加)	

図 12 DR リソースの用途のまとめ



図 13 DR リソース創出方法の分類

評価項目	DR用途との適性に関する項目			DRの実現性に関する項目	
	DR発動タイミングの柔軟性	応答の確実性	応答速度	プログラム実施コスト	需要家の受容性
評価基準	◎:柔軟性あり(TOU以外) △:柔軟性無し(TOU)	◎:高(直接制御あり) ○:中(直接制御なし&ペナルティあり) △:低(直接制御なし&ペナルティなし)	◎:速い(直接制御あり) △:遅い(直接制御無し)	◎:制御なし(通知なし) ○:制御なし(通知あり) △:制御あり(通知なし) ◎:制御あり(通知あり)	◎:制御なし(ペナルティなし) ○:制御なし(ペナルティあり) △:制御あり
TOU	△	△	△	◎	◎
制御型TOU	△	◎	◎	○	△
Dynamic Pricing	◎	△	△	○	◎
非通知制御型 Dynamic Pricing	◎	◎	◎	○	△
通知制御型 Dynamic Pricing	◎	◎	◎	△	△
リベート	◎	△	△	○	◎
非通知制御型リベート	◎	◎	◎	○	△
通知制御型リベート	◎	◎	◎	△	△
罰則付きリベート	◎	○	△	○	○

図 14 DR リソース創出方法の適正, 実現性の評価

●上記, 評価より, 非通知制御型ダイナミックプライシング, 通知制御型ダイナミックプライシング, 非通知制御型リベートおよび通知制御型リベートの4種が有望なDRリソース創出方法である事が分かった。

### 5. まとめ—本調査から得られた示唆—

●DRの活用について先行しているアメリカでは, 電源と負荷削減を同価値として扱うべきか否かについて論争となっており, 当面解決の目途はたっていない。

●DRリソースの創出という観点から, DRアグリゲータ・需要家におけるさまざまなDR取組事例が確認された。

●欧州・米国においてはDRの利用が進み, 様々な主体が多様なDRプログラムを提供しているが, DRリソースの創出という点に着目すると, 9つのパターンに集約できることが判明した。

●DRリソース調達者にとって重要となるDR発動タイミングの柔軟性, 応答の確実性, 応答速度, プログラム実施コスト, 需要家の受容性といった観点から適正, 実現性を評

価した結果、非通知制御型ダイナミックプライシング、通知制御型ダイナミックプライシング、非通知制御型リベートおよび通知制御型リベートの4種が有望なDRリソース創出方法であることが分かった。

- 一方、各用途のDRが導入される様々な要因を整理した結果を考慮すると、国内においては送電事業者におけるアンシラリー用途でのDRに対する取り組みの優先度が高くなっていると考えられる。これは、昨今における再生可能エネルギーの普及促進によって必要性が高まっていることに加え、制度設計の進捗加速により実現性も担保されつつあるためである。
- アンシラリー用途のDRリソースについては、制御時間の柔軟性、制御反応の確実性およびシグナル反応速度の全てが求められる。これらに対応するものは上述の4種のDRリソース創出方法のみであり、今後においてはそれらの導入を進めるための施策が求められると考えられる。
- 導入にあたっては、欧米におけるDRに関する論点抽出の結果を踏まえると、政府が中心にDRに関する需要家の認知度の低さやプログラム参加へのメリットの不明確さ、個人情報保護に関する懸念そして事業者によるDR原資の確保方法の確立といった課題が存在すると考えられる。これらに対しては、啓蒙活動や関連制度の導入等の支援を行うことで、解決につなげることが望ましいであろう。
- なお、DR導入にあたる課題には、事業者が主導した施策が求められるものもある。このため、需要家が独自に行っている大規模なDRに関する取り組みにも着目すべきであり、Alcoaのような大規模需要家を巻き込んだ実証実験を行う等、積極的にDRに取り組んでもらうよう事業者を支援することも併せて検討していくべきであると考えられる。

## 平成 26 年度 事業報告の概要

(一財) エネルギー総合工学研究所

当研究所における平成 26 年度事業の概要は以下の通りである。

(1) エネルギー総合工学研究所は、昭和 53 年 4 月の設立以来、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、俯瞰的、長期的な視座をもって、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必要がある。

一方、国内および世界のエネルギーの情勢は、再生可能エネルギーの導入促進や非在来型化石資源の台頭、新興国のエネルギー需要の急増等と相まって、目まぐるしく変化している。このような激動の環境下において調査研究活動を実施していくには、これまで蓄積してきた知見を生かして、時代環境に適確に対応しつつ、「総合工学」の視点に立脚した当研究所の総合力が発揮できる調査研究基盤の整備を図っていく必要がある。このような観点から、当研究所は、その時々での社会的な要請に応じて調査研究対象の重点化と研究基盤整備を図ってきている。

(2) 当研究所は、地球温暖化抑制シナリオに関する検討や気候変動に対するリスク管理戦略に関する調査研究を進めたほか、次世代電力ネットワークや再生可能エネルギー大量導入時の系統運用技術、今後導入拡大が予想される洋上風力発電や太陽熱利用技術、CO<sub>2</sub>の回収技術および CO<sub>2</sub> 回収に適した石炭利用技術、水素の製造・輸送・需要等に関する調査研究を実施した。

また、原子力災害の発生という現実を見据え、現在の軽水炉の安全向上を図るための技術開発を継続するとともに、当研究所の解析コード(SAMPSON)を福島第一原子力発電所の事故炉の炉心状況の把握に活用するためのプロジェクトも進めた。

なお、省エネルギーや節電に資するエネルギーマネジメントシステムに係る国際規格(ISO50001)に関して、ISO センターにおいて、研修会を開催するとともにコンサルティングサービスを実施した。

(3) 以下に各エネルギー分野における調査研究活動の概要を示す。

### ① エネルギー技術全般

地球温暖化抑制を目的とした有力なシナリオ案に関する調査・検討や、気候変動に対応するリスク管理戦略の構築の一環として地球温暖化が進行した場合の適応策及び気候工学の個別評価を進めたほか、最新の技術情報および評価を提供するエネルギー技術情報プラットフォーム

の内容の充実、エネルギーに関する公衆の意識調査を実施した。

#### ② 新エネルギー・電力システム関連

次世代電力ネットワークの調査検討を進めるとともに、再生可能エネルギーが大量に導入された場合の系統対策やデマンドレスポンス（DR）のビジネス性の検討、エネルギーマネジメントシステム（EMS）の構築と事業展開のための要件整理等を進めた。

また、再生可能エネルギー分野ではバイオマス等を利用した高効率な発電システムや今後導入拡大が予想される洋上風力発電、集光型太陽熱発電（CSP）等に関し、および省エネルギー分野では省エネルギーのためのエネルギーマネジメントシステムや電気製品の効率向上に資する国際協力に関し、調査研究を実施した。

#### ③ 水素エネルギー関連

水素を効率的に貯蔵・輸送・利用できるエネルギーキャリアシステムの経済性評価および特性解析を行うとともに、海外から水素キャリアを導入した場合の日本の中長期エネルギー需給について調査研究を実施した。また、水素ステーションのコストや普及促進等に関する調査や下水汚泥バイオガスによる水素製造に関する調査を実施した。

#### ④ 化石エネルギー関連

化石燃料の高度転換技術に係る研究に関して、CO<sub>2</sub>回収型の石炭ガス化複合発電（IGCC）やCO<sub>2</sub>分離回収技術に係る検討、シェールガス革命がわが国に直接・間接的に与える影響等の調査を行うとともに、化石燃料利用に係る新技術に関する研究に関し、石炭火力からのCO<sub>2</sub>回収に係る新技術として注目されているCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術について調査研究を行った。

#### ⑤ 原子力関連

福島第一原子力発電所事故を踏まえ、さらに高い水準の安全確保を図るため、原子力発電所の安全対策高度化に活用し得る技術開発プロジェクトを実施した。また、事故炉の炉内状況を把握するため、過酷事故の挙動解析コードの性能向上と解析を進めた。また、核燃料サイクルの課題や高温ガス炉の実用化に関する検討等を行うとともに、原子力発電所の廃止措置に係る民間規格整備や法令に定める廃止措置計画認可における要求事項に関する調査、福島県環境創造センターの設立準備に関する調査検討を行った。

## 研究所のうごき

(平成 27 年 4 月 2 日～7 月 1 日)

### ◇ 第 7 回理事会

日 時：6 月 3 日 (木) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (5 階) 501 号室

議 題：

第一号議案 平成 26 年度事業計画および収支予算について

第二号議案 公益目的支出計画実施報告書について

第三号議案 定時評議員会の開催について

第四号議案 役員退職金の支給について

報告事項 役員候補者選考委員会の結果について

業務執行の状況について

その他

### ◇ 第 5 回評議員会

日 時：6 月 18 日 (木) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (5 階) 503 号室

議 題：

第一号議案 平成 26 年度事業計画および収支予算について

第二号議案 公益目的支出計画実施報告書について

第三号議案 役員の選任について

第四号議案 役員退職金の支給について

第五号議案 役員候補者選考委員会委員の選任について

報告事項 評議員の一部辞任について

その他

### ◇ 第 8 回理事会

日 時：6 月 18 日 (木) 14:00～14:30

場 所：経団連会館 (5 階) 503 号室

議 題：

第一号議案 代表理事および業務執行理事の選定について

第二号議案 役員報酬額について

### ◇ 月例研究会

#### 第 344 回月例研究会

日 時：4 月 24 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 競争環境下の原子力事業～将来が見えない中、新たな試練を迎える原子力～  
(一社) 海外電力調査会 調査部 上席研究員 黒田雄二 氏)
2. 原油価格急落！シェール・ガス革命の日本と世界への影響  
(和光大学 経済経営学部 教授 大学院研究科 委員長 岩間剛一 氏)

#### 第 345 回月例研究会

日 時：5 月 25 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7 階 701・702 会議室

テーマ：

1. Accelerating Technology Development: IEA Technology Roadmaps  
(Ms. Cecilia Tam, Former- Unit Head, OECD International Energy Agency (IEA), Acting Vice President, Asia Pacific Energy Research Centre (APERC))
2. Update of the IEA/NEA Nuclear Technology Roadmap: what is the role for nuclear energy in a 2 degree scenario?  
(Dr. Henri Paillere, Senior Nuclear Analyst, Nuclear Development Division, OECD Nuclear Energy Agency (NEA) / Ms. Cecilia Tam, Former - Unit Head, OECD/IEA)

#### 第 346 回月例研究会

日 時：6 月 26 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 地下 1 階 B101 会議室

テーマ：

1. パリ合意国際枠組みの効果的なデザインのエッセンスとは？  
(有) クライメート・エキスパーツ 代表 シニアリサーチフェロー 松尾直樹 氏)
2. 米国エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E) 取り組みの最新状況  
(一財) エネルギー総合工学研究所 主管研究員 守家浩二)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：蓮池 宏

テーマ：スマートグリッド, スマートコミュニティ, スマートシティについて

発表先：(公社)自動車技術会 第4回社会・交通システム委員会 (於 都内)

日 時：4月17日

発表者：森山 亮

テーマ：米国 PE 制度と受験・登録について

発表先：(一財)石炭エネルギーセンター

日 時：4月21日

発表者：益田 泰輔

テーマ：Power System Operation with Battery Energy Storage System Based on Forecasted Photovoltaic Power Output

発表先：JST-NSF-DFG-RCN Workshop on Distributed Energy Management Systems (ワシントン DC)

日 時：4月21日

発表者：坂田 興

テーマ：水素社会の実現に向けて

発表先：平成27年度前学期 講義「環境技術イノベーション」(金沢工業大学)

日 時：5月9日

発表者：石本 祐樹

テーマ：水素社会に向けた動き

発表先：ロイドレジスター日本委員会

日 時：5月15日

発表者：鈴木 洋明, 森田 能弘, ペレグリニ・マルコ, 鈴木 博之

テーマ：① Simulation Analysis on Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power plant Unit 2 by SAMPSON

② Validation of the SAMPSON/MCRA code against CORA-18 experiment

③ Accident Analysis of Fukushima

Daiichi Nuclear Power Plant Unit 1  
by SAMPSON Severe Accident Code

④ Review on Experiments relating to  
Primary Containment Vessel Failure

発表先：The 23rd International Conference on Nuclear Engineering (ICONE23)

日 時：5月17日～21日

発表者：田中 健一

テーマ：The improvement of Non Radioactive Waste (NR) boundary estimation procedure

発表先：ICONE23 (於千葉県幕張メッセ)

日 時：5月20日

発表者：蓮池 宏

テーマ：次世代自動車普及モデルを用いた水素供給の事業性分析

発表先：(一社)燃料電池開発情報センター主催  
第22回燃料電池シンポジウム  
(於東京都内)

日 時：5月28日

発表者：坂田 興

テーマ：水素エネルギーシステムの現状と展望

発表先：東京大学 先端電力エネルギー・環境技術教育研究センター (APET)

日 時：6月24日

発表者：坂田 興

テーマ：大規模水素エネルギーシステム  
－展望と課題－

発表先：集光型太陽熱技術研究会 平成27年度  
第1回研究会

日 時：6月25日

発表者：蓮池 宏

テーマ：電力貯蔵の必要性と圧縮空気エネルギー貯蔵の位置付け

発表先：技術セミナー：圧縮空気エネルギー貯蔵の技術開発動向 (㈱技術情報センター)

日 時：6月26日

[寄稿]

発表者：加藤 悦史, 他 61 名

テーマ：Global carbon budget 2014

寄稿先：Earth System Science Data, 7, 47-85,  
doi:10.5194/essd-7-47-2015, 2015

日 時：5月8日

発表者：徳田 憲昭, 森山 亮

テーマ：特集『第二世代バイオエタノール製造の  
技術開発』

① 第二世代バイオエタノール製造の技  
術概要 (徳田 憲昭)

② Well to Tank での事業モデル構築の  
検討概要 (森山 亮, 玄地 裕 (産業技  
術総合研究所))

寄稿先：『月刊 BIOINDUSTRY』

(株シーエムシー出版)

日 時：5月12日

発表者：加藤 悦史, 他 18 名

テーマ：The dominant role of semi-arid ecosystems  
in the trend and variability of the land  
CO<sub>2</sub> sink

寄稿先：Science (AAAS: American Association  
for the Advancement of Science)

日 時：5月22日

発表者：坂田 興

テーマ：総論 水素の利用と今後の展望

寄稿先：『電気評論』6月号

発表者：松井 一秋, 竹次 秀一

テーマ：RIC2015 米国原子力規制委員会「規制  
情報会議」

寄稿先：日本原子力学会誌『ATOMO Σ』(7月号)

#### ◇人事異動

○6月1日付

(出向採用)

吉岡 逸夫 原子力工学センター 主管研究員

○6月24日付

(出向解除)

川野 光伸 プロジェクト試験研究部 主任研究員  
兼 技術開発支援センター

○6月25日付

(出向採用)

岸下 竹志 プロジェクト試験研究部 主任研究員

○6月30日付

(出向解除)

斎藤 清一 原子力工学センター 主管研究員

山本 真一 プロジェクト試験研究部 主任研究員

川口 直樹 プロジェクト試験研究部 主任研究員

橋倉 裕 プロジェクト試験研究部 主任研究員  
兼 技術開発支援センター

○7月1日付

(嘱託採用)

竹田 知幸 プロジェクト試験研究部部長 (参事)

(出向採用)

臼井健一郎 プロジェクト試験研究部主任研究員

河瀬 和貴 プロジェクト試験研究部 主任研究員

堀山 雄資 原子力工学センター 主任研究員

太田 淳一 技術開発支援センター 主任研究員

#### ◇役員人事

○6月18日付

(就任)

田中 隆則 常務理事 兼 原子力工学センター長  
兼 プロジェクト試験研究部長

重政弥寿志 理事 兼 企画部長 兼 プロジェクト試  
験研究部長 兼 エネルギー技術情報セ  
ンター長

小野崎正樹 理事 兼 プロジェクト試験研究部長

## 編集後記

あるドキュメンタリー番組によると、NASA が今年 4 月、地球外生命体の兆候を 10 年以内に見つけると宣言したらしい。地球外生命体の探査といえ、約 40 年前のバイキング計画や今も活動中の探査機キュリオシティによる火星探査などがよく知られているが、地球外生命体が存在する天体として、土星の衛星エンケラドスが現在最有力視されている。

観測によれば、表面温度マイナス 200℃ で全面氷に覆われているこの小さな天体は、南極付近の裂け目から氷の微粒子が間欠泉のように噴出しており、その粒径から、液体の水が噴出して凍ってできたものであること、すなわち氷の層の下には液体の水が存在しており、また、間欠泉から吹き出す成分からはシアン化水素等の有機物が大量に検出されているという。そして、生命の発生に必要な 3 条件の 3 つ目であるエネルギーについては、この衛星の外側を周る衛星と土星本体による潮汐力で発生した摩擦熱が、その役割を果たしているとのことである。

振り返って地球を見れば、地球がハビタブルゾーンに位置することによる適度な太陽エネルギー、地球形成時の原始の熱と放射性物質起源の熱がほぼ同量寄与している地熱エネルギー、動植物性プランクトンや古代植物の死骸が数億年かけて変成してできた石油や石炭等の化石エネルギー、さらには、現代物理学の基本理論である相対性理論に基づく原子力エネルギーなど、様々なエネルギーを利用してわれわれ人類は文明を興し、発達させ、今日の社会をつくりあげてきた。

先般、2030 年を目標年次とした我が国の「長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）」が公表された。長い地球の歴史に比べるべくもないが、この目標、さらにはその先を見通しつつ、特定のエネルギーを取捨選択するのではなく、英知を集めて課題を克服しながらそれぞれのエネルギーを適切に利用していくことが、われわれ人類の責務であるとあらためて気づかされたドキュメンタリー番組であった。

編集責任者 重政弥寿志

季報 エネルギー総合工学 第38巻第2号

平成27年7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(6F)

電話 (03) 3508-8891

FAX (03) 3501-1735

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

---

(印刷) 株式会社日新社

※ 無断転載を禁じます。

