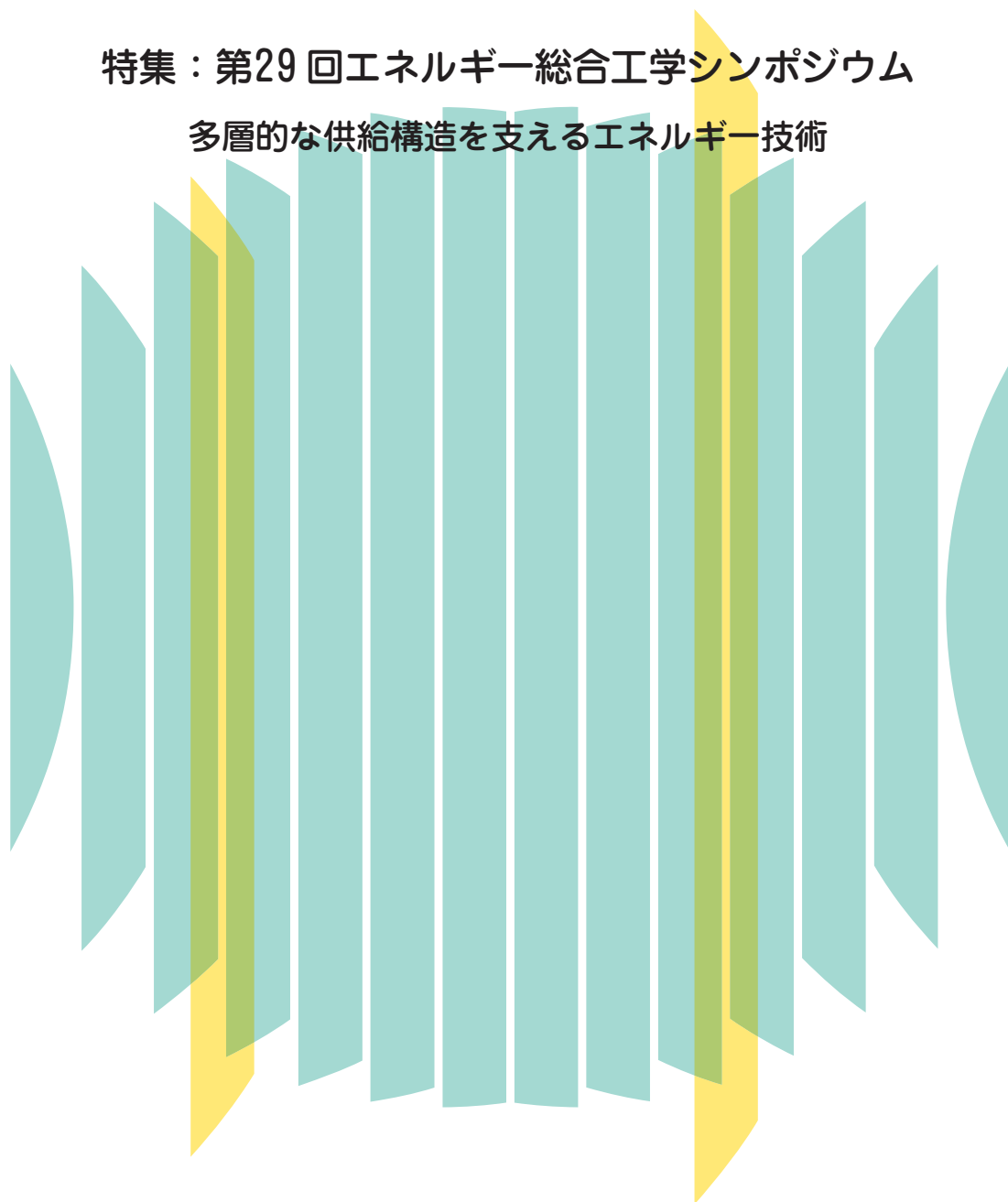


季報 エネルギー総合工学

Vol. 37 No. 4 2015. 1.

特集：第29回エネルギー総合工学シンポジウム

多層的な供給構造を支えるエネルギー技術



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

第29回エネルギー総合工学シンポジウム

多層的な供給構造を支えるエネルギー技術



来賓挨拶を述べる 渡邊 宏 経済産業省 技術総括審議官

日 時：平成26年10月7日（火） 10：00～15：45

場 所：千代田放送会館

総合司会：原子力工学センター部長 笠井 滋

目 次

【開会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 理事長	白土 良一	1
【来賓挨拶】	経済産業省 技術総括審議官	渡邊 宏	3
【基調講演】	エネルギーの新地政学と日本の戦略 (一財) 日本エネルギー経済研究所 研究顧問	十市 勉	5
【基調講演】	電気エネルギー供給システムのスマート化 ～自由化と生活との関わり～ 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	横山 明彦	17
【講演】	今後の普及が期待されるエネルギー技術 (1) ～これからのエネルギー技術～ 理事・プロジェクト試験研究部 部長	小野崎正樹	27
【講演】	今後の普及が期待されるエネルギー技術 (2) ～地球温暖化への関心の高まり～ プロジェクト試験研究部 部長	黒沢 厚志	33
【講演】	今後の普及が期待されるエネルギー技術 (3) ～日本の電力供給を考える～ プロジェクト試験研究部 主任研究員	酒井 奨	40
【講演】	今後の普及が期待されるエネルギー技術 (4) ～原子力に求められているものは何か～ 理事・原子力工学センター長	田中 隆則	47
【講演】	今後の普及が期待されるエネルギー技術 (5) ～シェール革命の影響を読む～ プロジェクト試験研究部 参事	水田 美能	51
【講演】	今後の普及が期待されるエネルギー技術 (6) ～太陽熱を使う～ プロジェクト試験研究部 参事	吉田 一雄	58
【講演】	今後の普及が期待されるエネルギー技術 (7) ～水素エネルギーの本格的導入に向けて～ プロジェクト試験研究部 部長	坂田 興	65
【閉会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 副理事長	三代 真彰	72
【研究所のうごき】			74
【編集後記】			76

開 会 挨拶

白土 良一 (一財) エネルギー総合工学研究所
理事長



本日はご多忙中のところ、第29回エネルギー総合工学シンポジウムに多数の方にご参加いただきまして、誠にありがとうございます。また、皆様には、日頃より当研究所の事業にご理解、ご協力を賜っておりますこと、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

昨今のエネルギー情勢を見ますと、北米のシェールガス革命は世界のエネルギー供給構造を大きく変化させる兆しを見せております。発電分野では、アメリカで天然ガスにシフトする動きがある一方、欧州では依然として石炭火力の割合がまだ大きなものがあります。アジアを中心とした地域では、急激なエネルギー需要の伸びと中東、北アフリカの情勢不安を背景に、原子力の利用拡大の動きも盛んです。

昨日は台風18号の来襲で、このシンポジウムも開催を心配したところでありましたが、この30年ぶりと言われている異常気象は、わが国のみでなく世界各地で発生しております。この原因と言われている地球温暖化問題については、新興国における二酸化炭素が急激に増加しており、世界全体のエネルギー起源二酸化炭素排出量は2035年までに2011年比で20%増加すると予測されています。最近のオバマ政権の地球温暖化への取組みは、中国の働きかけなど、真剣さを一段と増したような気がしております。従いまして、世界全体の温室効果ガス排出量の大幅削減はもう急務になっており、世界の潮流はこれをどうするかということがかなり重要な問題になっていると思います。

日本では、福島第一原子力発電所事故から約3年半も経過いたしました。現在も約14万人の方々が避難生活を続けております。事故の収束、福島復興・再生に全力で努めることが大切ですが、震災後初めてとなります新たな「エネルギー基本計画」が本年4月に閣議決定されました。本計画では、原子力への安全性への懸念や化石燃料への依存の問題、それに伴う国富の流出その他の問題という構造的な課題が挙げられている訳ですが、私の感じでは、各エネルギー源が持つ強みが最大限発揮させて、弱みが他のエネルギー源によって補完される、多層的な供給構造を実現することが必要となっているということではないかと思います。

エネルギー供給に占めます海外からの化石燃料の割合は、第1次石油ショック時を超えている現在、自給率の改善は大きな課題であり、再生可能エネルギーや原子力の再稼働、

投入が非常に必要であると考えております。

今回のシンポジウムでは、昨今の激動するエネルギー情勢や電力自由化進展の中、「多層的な供給構造を支えるエネルギー技術」をテーマに報告させていただきます。まず、一般財団法人日本エネルギー経済研究所研究顧問の十市様から「エネルギーの新地政学と日本の戦略について」、また東京大学教授の横山様から「電気エネルギー供給システムのスマート化、自由化と世界の自由化と生活の関わりについて、ご講演を頂戴した後、当研究所より、多層的な供給構造を支えるという観点から、今後の普及が期待されるエネルギー技術について報告する予定でおります。

世界は政治経済面では様々な動きを見せており、従来のエネルギーの課題解決手法から大きなパラダイムシフトが期待されているような気がしております。俯瞰的且つ中長期的な視点を持ち、幅広い技術を結集して対抗していくことが必要です。当研究所としては今後とも「エネルギー総合」「技術」「研究」をキーワードとして、社会に貢献していく所存でございます。引き続き皆様方のご支援、ご協力を賜りますようお願い申し上げます次第であります。

最後に、公務ご多用の折、ご臨席を賜りました経済産業省の渡邊技術総括審議官、並びに日本エネルギー経済研究所の十市様、東京大学の横山様に改めて御礼申し上げますとともに、本日のシンポジウムがご列席の皆様方にとりまして有意義なものとなることを祈念いたしまして、開会のご挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。

来 賓 挨 拶

渡邊 宏 (経済産業省
技術総括審議官)



本日はエネルギー総合工学研究所シンポジウム「多層的な供給構造を支えるエネルギー技術」の開催に当りまして、ご挨拶をさせて頂く貴重な機会を頂戴いたしましたことを感謝申し上げます。

エネルギー政策につきましては、まずもって国民生活、経済活動に支障がないような、責任あるエネルギー政策を構築することが何よりも重要である、と認識いたしております。東日本大震災、福島第一原発事故以降、わが国は新たなエネルギー制約に直面している状況にあるわけで、エネルギーの安定供給とコスト面での懸念が増大しております。例えば、原発が全て停止している中で化石燃料への依存度が石油ショック時(76%)以上に高まり、現在88%になっていること、原発の停止分を化石燃料が代替することで2013年度の燃料費は3.6兆円増と試算されること、電気料金も震災以降、一般家庭が約2割、工場、オフィスなどの産業用が約3割上がっていることが挙げられます。

こうした状況の中、本年4月、政府といたしまして新たな「エネルギー基本計画」を閣議決定したわけであります。今回の計画では、震災前に描いていたエネルギー戦略を白紙から見直すことを出発点といたしております。安全性を大前提に、安定供給、コスト低減、環境負荷軽減という基本的な視点で、多層化、多様化した柔軟なエネルギー供給構造の構築を基本方針といたしております。例えば、火力発電、太陽光発電などの各エネルギーの特性を考えますと、あらゆる面で優れたエネルギー源はありえないわけです。石炭は温室効果ガスの排出量が多い一方で、安定供給性、経済性に優れているわけですし、また、再生可能エネルギーは温室効果ガスを排出しない反面、コスト、安定供給性などで問題があります。各エネルギー源のこうした様々な強みを活かし、一方において弱みを互いに補い合う、そうした強靱で現実的且つ多層的な供給構造の実現を目指すことといたしているわけです。

また、エネルギーの分野におきましても、競争を通じたコストの最大限の抑制を図ることも必要だと考えております。制度改革を通じて、多様な主体が参加をし、多様な選択肢が用意され、より柔軟且つ効率的なエネルギー需給構造を創出しまして、技術革新、あるいは異業種参入などを進めていきたい。このような方針を出しているわけです。

さらに、エネルギー自給率の面で申し上げますと、資源小国でありますわが国のエネルギー自給率は、原子力発電を除きますと５％程度になるわけで、米英などの主要国よりも低い水準となっているわけです。エネルギー安全保障の観点から、自給率の向上は重要な課題でありまして、海外の情勢変化の影響を最小化するための国産エネルギーなどの開発、導入の促進による自給率の改善を目指すことといたしているわけです。

これら３つの政策の方向に沿いまして、多層化、多様化した柔軟なエネルギー需給構造を構築していくためには、これを実現し支える技術が必要不可欠であると考えております。本日のシンポジウムは、正に多層的なエネルギー供給構造を支えるエネルギー技術に焦点をお当てになったものでありまして、わが国のエネルギー政策の推進にとりまして、大変時宜を得たものであると考えております。

本日のシンポジウムにおきまして、有意義な情報交換が行なわれ、今後のエネルギー技術開発の推進、また、「エネルギー基本計画」の政策の実現につながることを祈念いたしまして、簡単ではございますが、私の挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。

[基調講演]

エネルギーの新地政学と日本の戦略

十市 勉 (一財) 日本エネルギー経済研究所
研究顧問



はじめに

エネルギー資源は、産業革命以来、国家の政治や軍事、経済などに大きな影響を与え、世界のパワーバランスの大きな要因となってきました。

21世紀に入り、エネルギーをめぐる国際情勢は大きく動いています。特に、米国同時多発テロ（9.11）、イラク戦争以後、アメリカの一極構造が弱体化する一方、中国の政治、経済、軍事的な大国化が進んでいます。

そういう中で、日本のエネルギー戦略は長期的にどうあるべきか。現在起きていること—アメリカのシェール革命、中東の地政学リスク、ウクライナ危機、中国の資源戦略、地

球温暖化問題、福島第一原発事故などを踏まえて、日本のエネルギー戦略のあり方を考えてみます。

アメリカの「シェール革命」

増加するシェールガス生産量

アメリカの「シェール革命」が世界のエネルギー市場や国際政治に大きな影響を及ぼしてきています。アメリカでは既にシェールガスが天然ガス供給全体の約4割を占めており、これからも増えていきます（図1参照）。

シェールガスの生産量は、2008年、2009年くらいから増え始め、既に、世界の液化天然

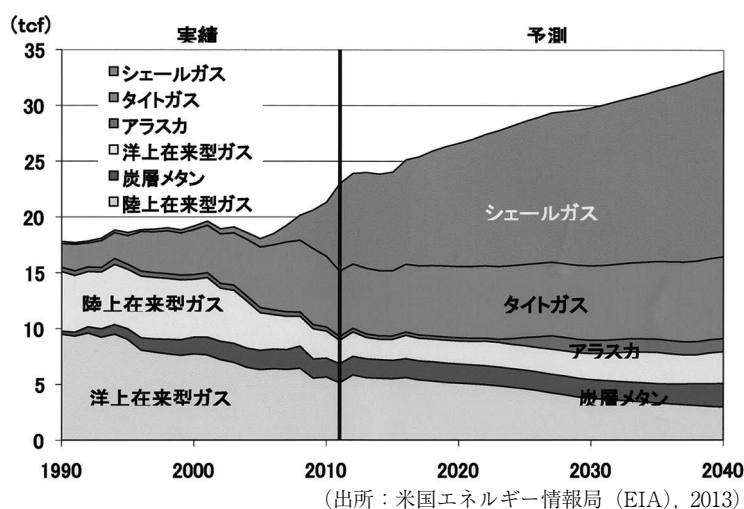


図1 アメリカの天然ガス供給見通し

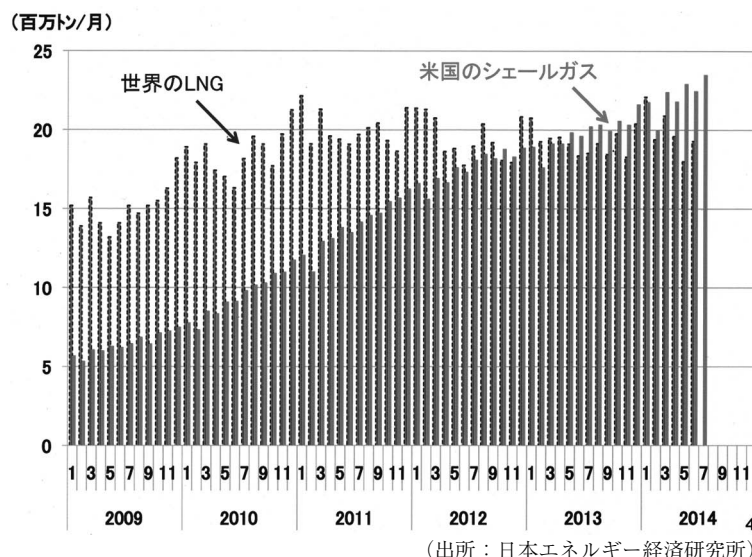


図2 米国のシェールガスと世界のLNG生産量

ガス（LNG）生産量を上回る量のシェールガスが生産されています(図2参照)。これがもっと増えていくので、日本が輸入するLNG市場に大きなインパクトを及ぼすと言えます。

スタビライザー的な役割を果たしていると言えます。

技術革新によるコスト低減と将来予測

在来型原油とのコスト構造の違い

シェールガスやシェールオイルと通常の油田・ガス田との大きな違いは、コスト構造にあります。シェールガスの生産コストは、通常3～5ドル/Mcf（原油換算で20～30ドル/バレル）が平均で、現在、ヘンリーハブ価格は4ドル/Mcfくらいです。これに対して、シェールオイルの生産コストは、40～90ドル/バレルと高いです。

シェールガスやシェールオイルは、ほとんど陸上で生産するので、資本費、固定費が低く、変動費が高いのです。これに対して、油田開発、特に深海や極地域での開発などは、資本費、初期投資がものすごく高いのです。

ですから、原油価格が下がってくると、シェールガスやシェールオイルで変動費が高いものはどんどん閉鎖されて生産されない。原油価格が上がってくると生産される。ですから、特にシェールオイルは、生産量と価格について、スイングプロデューサー的な役割、

実は、シェールガスの生産は、2003、2004年くらいから始まり、2008年くらいから本格的に増えています。特に、アメリカの石油生産については、2008年を底に、原油とNGL（天然ガス液）の石油生産がどんどん増え、2014年には1,100万バレル/日を超えて、サウジアラビアと並ぶくらいになっています。

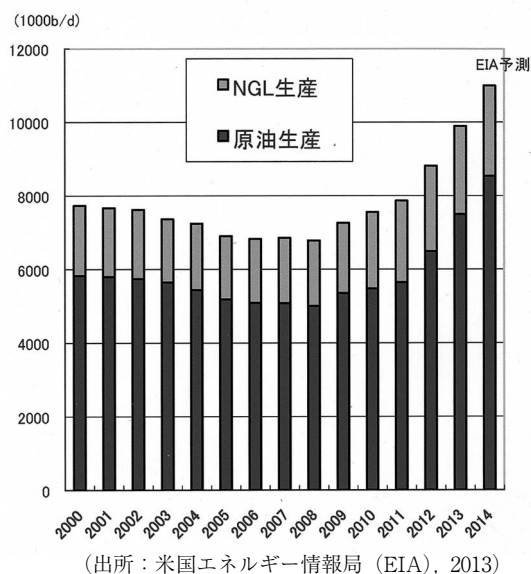


図3 米国の石油生産（1）

将来これがどうなるか。アメリカのエネーギー情報局（EIA）は、石油生産が2020年頃までにピークを打つと予測しています（図3参照）。ただ、EIAのような政府系機関の見通しは、極めて控え目で「ガスは増えない」とずっと言ってきたくらいです。

しかし、シェールオイルの生産は、2008年頃から始まり、まだ5年くらいしか経っていません。このため、コストの見通しは、井戸の掘り方を含めて技術革新によるコストダウンがどれくらい図られるかによって大きく変わってきます。例えば、シティリサーチとい

う、早くからシェールについて、革命的变化が起きると言っていた民間機関は、石油生産が技術革新でかなり増えるの見通しています（図4参照）。2020年、あるいはそれを越えてアメリカでこれだけ石油生産が増えてくると、世界の石油市場への影響や地政学的な影響が色々な形で出てくることになります。

輸入価格低減への日本企業の実組み

日本のLNG輸入価格は非常に高いです（図5参照）。アメリカのヘンリーハブ価格は、原油換算で25ドル／バレルくらいですから、4倍くらいの差があります。ヨーロッパも、石油製品価格からハブ価格との連動に徐々にシフトしてきているので、かなり下がってきていますがアメリカの2倍以上ですから、産業の競争力に大きな影響を及ぼすということで、危機感が高まっています。日本の危機感はおさらです。

この価格差を小さくするため、日本企業も様々な取組みを行っています。1つとして、北米のシェールガスプロジェクトへの参加があります（図6参照）。最近ではFERC（連邦エネルギー規制委員会）によるLNG基地の建設許可も出ています。テキサス州フリーポート（Freeport）、メリーランド州コーブポイント（Cove point）、ルイジアナ州キャメロン

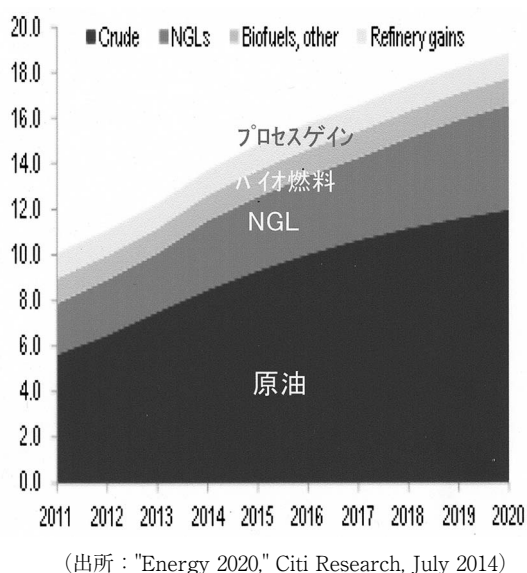
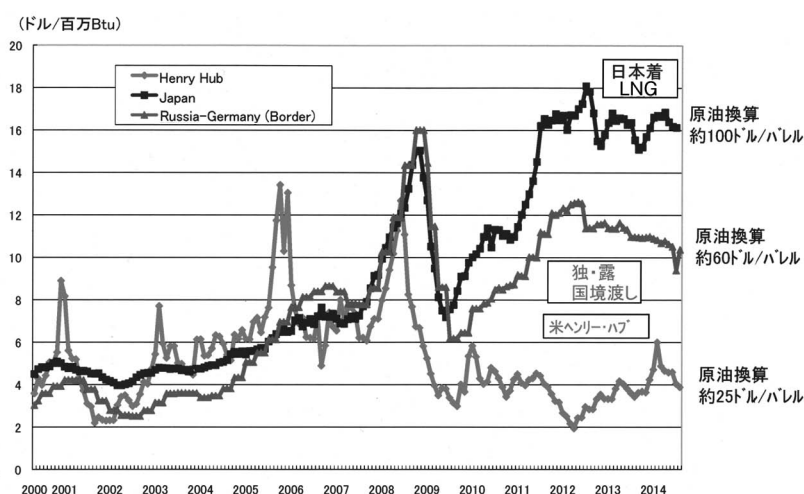
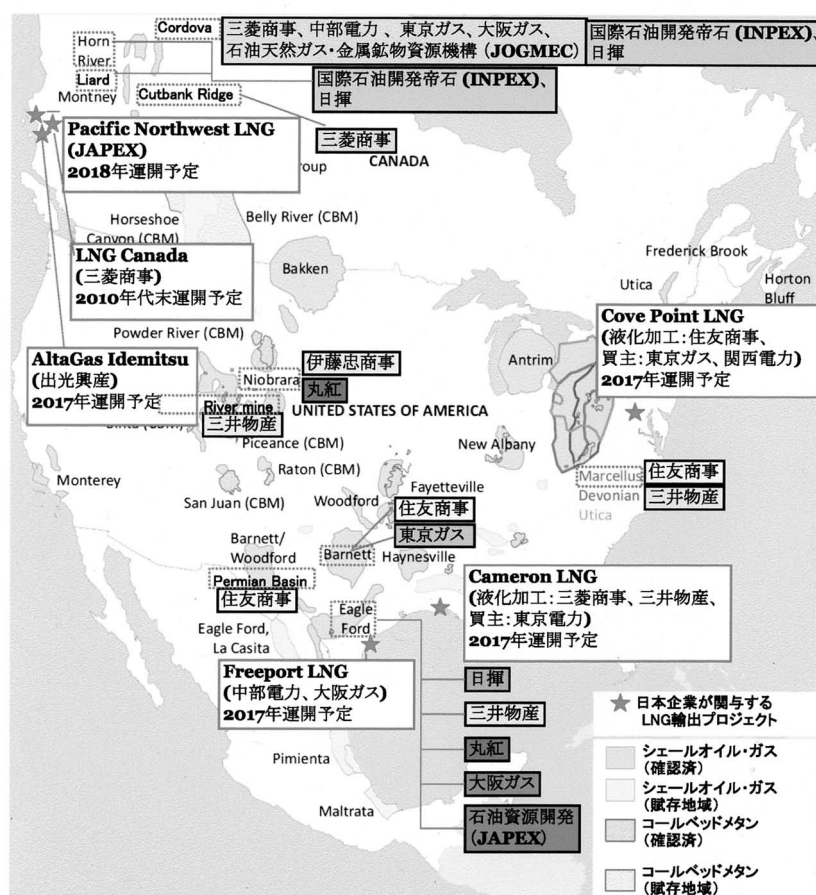


図4 米国の石油生産 (2)



（出所：日本エネルギー経済研究所）

図5 日米欧の天然ガス価格の推移



(出所：日本エネルギー経済研究所)

図6 日本企業が参加する北米のガス関連プロジェクト

(Cameron) では、2017 年頃から日本への本格輸出が始まるということです。

カナダにも大きなシェール層があり、三菱商事、国際石油などがプロジェクトに取り組んでいます。

カナダとアメリカの最大の違いは、インフラ整備状況にあります。アメリカの場合、「シェール革命」が起きる前、ガスが足りなくなって輸入国になるということで、カタールから LNG を輸入するための基地が沢山できました。今や状況が一変し、逆に輸出基地として使おうとしています。ある程度、インフラが完成しているので、「ブラウンフィールドプロジェクト」と言えます。カナダでは、更地にこれから LNG 基地を造る「グリーンフィールドプロジェクト」ですから、パイプライン建設など、色々難しい問題があります。しかし、北米が天然ガスの大供給基地になるのは明ら

かで、日本始めアジア太平洋諸国にとって大きなプラス要因と言えます。

シェール革命がアメリカに与えた影響

[3Eの実現への影響]

まず、3E（エネルギー安全保障、環境保護、経済成長）実現への影響があります。アメリカが資源大国になり、2020 年には 7,000 万～8,000 万トンの LNG 輸出が始まります。これは日本の LNG の年間輸入量に匹敵する量です。同時に、アメリカの石油の自給率も上がってきています。

また、アメリカでは石炭火力から天然ガス火力への転換が進められ、二酸化炭素（CO2）の排出が相当抑えられています。特に、オバマ政権は石炭火力の新設を抑え、既設についてもかなり厳しい規制をやろうとしています。

最後に、ガス火力で電力料金が安くなるので、エネルギー集約産業への投資が拡大しています。これが最近の貿易赤字改善やドル高の要因にもなっています。

[アメリカの中東依存度低下]

アメリカは、石油についてメキシコやベネズエラを含む周辺国から輸入すればもう大丈夫。さらに先ほどの予測どおりだと、将来、アメリカは石油を輸出できるくらいになります。中東との距離をおくべきという議論がずいぶん出ています。最近の「イスラム国」の問題では、オバマ政権も空爆という形で関与せざるを得なくなっていますが、当然、資源大国化するアメリカの中東政策に影響が出てきています。

日本やアジアとの関係では、シーレーンの安全確保に影響が出てきそうです。アメリカが中東依存を減らしていきつつある中で、日本、中国、インドを含むアジア諸国の中東依存は、これからますます高まります。そうなった時に、中東・アフリカからの石油やLNGの海上輸送路（シーレーン）の安全確保については、アメリカが全責任を負うのではなく、その利益を享受している日本や韓国も応分の責任を負うべきだという声がアメリカの関係者からも随分出ています。これは、日本の集団的自衛権の限定的な行使と絡んで、これから大問題になるポイントになっています。

中東の地政学的リスク

伝統的対立の構図と「イスラム国」の台頭

中東における地政学的リスクについて、何点か触れたいと思います（図7参照）。

中東には、第二次世界大戦以降、イスラエルとパレスチナの紛争、サウジアラビアとイランのペルシャ湾での覇権争いという基本構図があります。それに加え、2010年12月にチュニジアで始まった「アラブの春」で、中東の権威主義的な政権が崩壊し、内戦が激化しています。チュニジアから、エジプト、リビア、さらにはシリアに波及し、今、シリアとイラクにまたがる地域で「イスラム国」が勢力を拡大し、中東地域全体が極めて不安定になっています。国際社会としてこれを放置できないということ、アメリカ、イギリス、フランス、さらにはサウジアラビア、アラブ首長国連邦（UAE）も、空爆に参加し、今以上の「イスラム国」の勢力拡大を阻止しようとしています。

「イスラム国」の出現によるイラク危機が石油の需給に与える影響はどうか。ひと言で言いますと、現在、「イスラム国」の進攻はかなり抑え込まれ、イラク南部の主要油田地帯へ

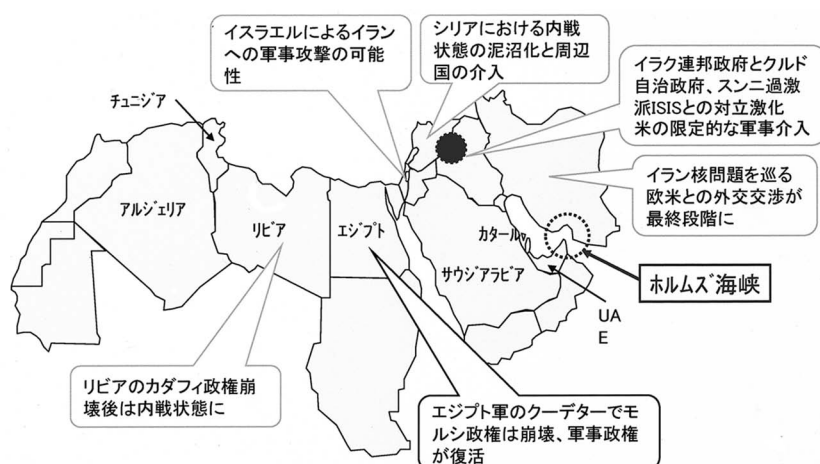


図7 中東の紛争

の影響はなく、イラクの石油の生産・輸出への影響はほとんどありません。しかし、イラク戦争後、外資に鉦区を開放し、大々的に資源開発をして大増産するという期待は、なかなか実現していません。特に、「イスラム国」の問題は、10年、15年と、かなり長期にわたって解決しないということで専門家の意見が一致していますから、非常に不安定な要因が中長期的に続くことを覚悟しないとイケないということです。

もう1つは、やはり石油市場に最大の影響力を持つサウジアラビアがどうなるかです。サウジアラビアの政治体制を揺るがするような事態になれば、状況は一変します。このリスクが常にあることを考える必要があります。

高い原油価格の背景 ～予算均衡価格～

原油価格は、2008年秋の「リーマンショック」の後に暴落しましたが、その後は上昇に転じて100ドル/バレルを越える水準になっています。5年移動平均で見ても、明らかに原油価格右肩上がりです。アメリカでのシェールオイルの増産がなければ、もっと上がっているはずですから、アメリカのシェールオイルがあったが故に、中東でこれだけ大きな混乱があっても、原油価格が比較的安定的に推

移していると言えます。

今の高い原油価格が将来どうなるか。私なりの見方をお話しします（図8参照）。物理的な石油の生産コストは、安い中東諸国では10～20ドルくらい、高いイランやロシアだと30ドルです。ところが、原油価格は100ドルです。なぜこういう高い価格が維持できているのか。それは「アラブの春」以降、中東各国は、国内の不満を抑えるためにお金をばらまく必要があるからです。それには潤沢な石油収入を確保しなければなりません。その価格が「予算均衡価格」（2012年時点）なのです。特に、サウジアラビアの予算均衡価格は80～90ドルくらいになっています。短期的にこの水準を下回ることがあっても、長期にわたって大きく下回る可能性は小さいと思います。

それと、生産コストが高い、非在来型石油といわれるシェールオイル、ブラジルのサブソルト油田のような水深1500～2000メートル以深での油田開発、オイルサンド、極地での油田開発は、原油価格が最低60～80ドルくらいでないと採算が合わず、投資できません。逆にいうと、コストの高い資源が開発される状況というのは、その価格帯で一種の「フロア」が形成されていることを意味します。ですから、その点からも原油価格が長期的に大きく下がる要素は小さいと考えています。

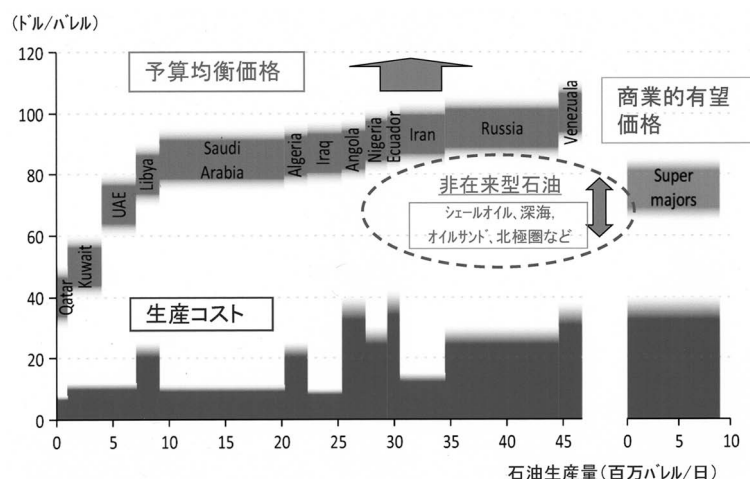


図8 高い原油価格を支える政治・経済的な構造

急増するアジアの石油輸入とシーレーン

そういう中で、中国・インドの石油輸入が急増しています（図9参照）。北米やヨーロッパの石油輸入が減っていく一方で、中国では2012年～2035年に倍増する。現在400万バレル／日の輸入が800万バレル／日になるわけです。インドも現在の300万バレル／日から500万バレル／日へ増えます。他のアジア諸国の中東依存も今後、一段と高まります。

こういう中で、日本にとって大きなエネル

ギー安全保障上の問題は、シーレーンの安全確保です。現在、中東やアフリカからの原油は、マラッカ海峡を通過して南シナ海に入り、中国や日本、韓国にきています（図10参照）。

南シナ海は、まさに日本の原油タンカーやLNGタンカーが通るシーレーンの要衝です。問題は、この海域で中国が軍事的な勢力拡大を図っていることです。今、中国が南沙諸島ジョンソン南礁（Johnson South）、スカボロ礁（Scarborough）という珊瑚礁に軍事基地を造っています。建物を造り、周囲を埋

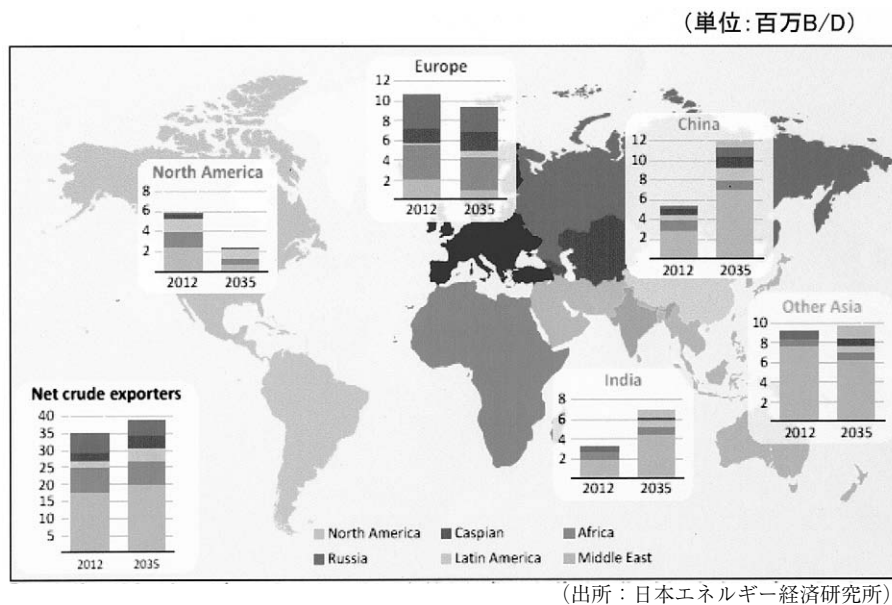


図9 急増する中国とインドの石油輸入

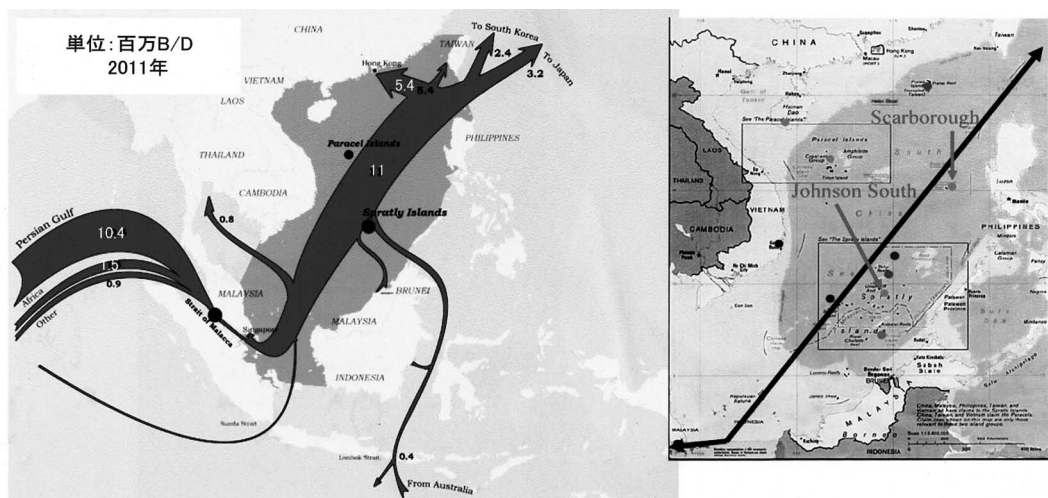


図10 南シナ海の原油貿易量とシーレーン

め立てて、ジョンソン南礁では2,500メートルの滑走路、平行誘導路、十分な水深を持つ大型船舶用港湾施設を造ろうとしています。かなり近い将来、こういうところを日本のタンカーが通ることになります。

ウクライナ危機

東シベリア開発と中国へのガス供給契約

次は、ウクライナ危機との関係です。実は、ロシアではこれまで開発してきた西シベリアのガスが減ってきていました。ガスの生産を維持あるいは増産しようとする、北極圏、東シベリア、サハリン、極東地域で開発せざるを得ません。

今年5月、プーチン大統領が訪中し、国内のエネルギー資源の不足が深刻化し、輸入依存度がどんどん高まっている中国にロシアの天然ガスを供給する大型契約を結びました。

具体的には、東シベリアにあるチャヤンダガス田とコビクタガス田を開発し、全長3,000キロメートルのパイプラインで中国に輸出するという計画です（図11参照）。この計画は、価

格をめぐって折り合いがつかず、10年以上懸案になっていましたが、ウクライナ危機でロシアから欧州へのガス供給が減る可能性が出てきたため、ロシアが中国との関係強化も念頭に、価格面でかなり譲歩したと言われています。

契約では、年間380億立方メートル（LNG換算で年間約2,800万トン）を2018年から30年間中国に供給するため、既にパイプライン建設が始まっています。供給開始が2018年に間に合うかどうかは別として、これから5、6年の間に、確実にこのガスが生産されてきます。中国が購入するガス価格は、ヨーロッパ向けとほぼ同水準、先ほどのLNG価格より相当安い、100万BTU（英国熱量単位）当たり10ドルを切る水準です。これは、中国にとっても経済的に大きなプラスです。

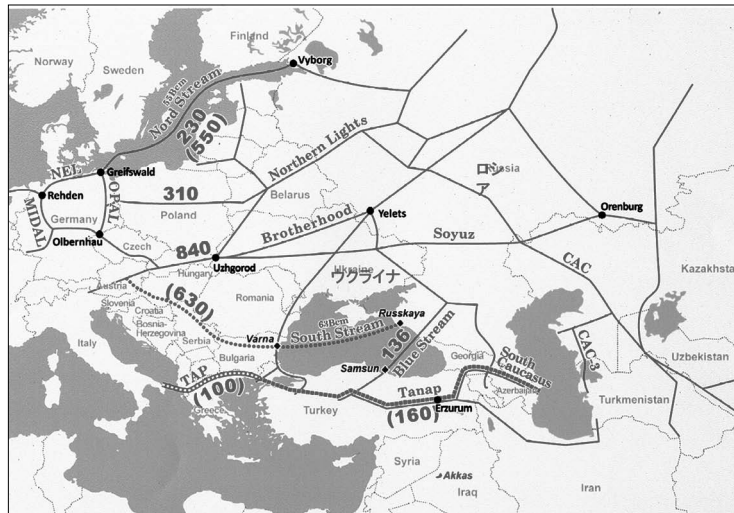
欧州への影響

伝統的にロシアは、ウクライナ経由でヨーロッパに大量のガスを輸出しています（図12参照）。ガスや石油の輸出は、ロシアにとっても国家財政の大きな柱ですから、プーチン政権の支持率が高い理由の1つが原油価格の高さなのです。もし原油価格が大きく下がれば、経済的に大きな打撃を受けます。



（出所：Oxford Institute for Energy Studies, March 2014）

図11 急増する中国とインドの石油輸入



(出所：石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）資料）

図 12 ロシアから欧州への天然ガス輸出

ガスについては、2006 年と 2009 年の冬場、ウクライナとロシアの間で価格をめぐる混乱があり、ヨーロッパに向かうガスがストップし、ヨーロッパがエネルギー危機に直面しました。ドイツは、この 2 回の危機を教訓に、2012 年にウクライナを経由しない独自の海底パイプラインを完成させました。ドイツはもうウクライナ経由のガスは直接は買っていません。しかし、他の国々、特に東欧やイタリアは、輸入量の半分がウクライナ経由ですから、状況によっては大きな影響が出ます。

北極圏での資源開発と北東航路

地球温暖化で、夏場、北極圏の氷が溶けてかなり小さくなっています。それで、北極海の北東航路がここ数年かなり注目されています。北極海を越えて日本に来る航路は、スエズ運河経由のルートより 30% くらい距離が縮まります。2 週間分くらい輸送日数が縮まるので、日本も 2012 年、試験的に LNG タンカーがこのルートで北九州に来たりしています。中国、韓国も、大変な勢いで北極圏の開発に参加し、この航路の利用に動いています。現在、シンガポールがヨーロッパとアジアを結ぶ航路の中継基地になっていますが、もし北極圏

航路ができると、日本、特に北海道が地政学的に重要な中継基地になり得ます。これは日本にとって大きなプラスとなり得ます。

問題は、北極圏の開発もウクライナ危機の影響を避けられないということです。実は、ロシアの国営石油会社ロスネフチとガスプロムが、欧米の石油メジャーや中国を含む海外の主要企業と北極圏での開発に着手していたところに、ウクライナ危機が起きたのです。

北極圏には、石油の未発見量の約 13%、ガスの未発見量の約 3 割があると推計されています。現にエクソンモービルとロスネフチは、今年 8 月 9 日にカラ海で試掘し、巨大ガス田を発見したと報じられています。この地域の開発が進めば、ガスが北極圏航路でアジアにも向かって来ます。ですから、北極圏の開発は、日本やアジアのエネルギー市場、特にガス市場に大きな影響を与えます。

ウクライナ危機の今後と日本

ウクライナ危機とエネルギー市場への影響についてまとめてみますと、短期的に、石油やガスが政治的な武器に使われる可能性はあまりありません。ただ、ウクライナ向けのガスが停止されて、冬場どうなるか懸念されています。今、

交渉中ですが、最後にどこかで妥協して、ある程度輸出を再開する可能性があると思います。

より中長期的な問題は、段階的に欧米が強化している対露制裁の影響です。エネルギー分野では、2014年8月1日までに契約合意されたものは対象にならないので、先ほどのエクソンモービルがロスネフチとの試掘が実施されました。問題はこれからの案件、特にロシアが必要としている北極海や深海での開発、あるいはシェール層の開発です。西シベリアには、かなり巨大なシェール層があります。エクソンモービルなどとの共同開発が合意されていますが、こういう先進・先端技術の供与は制裁対象になっていますから、今の状況が続けば、できなくなります。ですから、経済制裁は、ロシアにとって、中長期的に相当効いてくる可能性があるのです。

また、対露制裁には金融的な制裁も入っています。大手銀行への融資の禁止、ロシアの銀行が発行する債券の購入禁止があります。ロシアに外資が入りにくくなることは、ロスネフチやガスプロムが新規案件の開発をする上で、大きな障害になってきます。この影響は早く出てきますので、ロシアの新油田、フロンティア地域での油田・ガス田の開発には、

経済制裁の影響が大きく出ることになります。

日本は、欧米諸国と協調するという基本姿勢ですから、「サハリン－1」のLNG計画などにも支障が出る恐れがあります。他方、中露が契約で、本来なら開発されない東シベリアのガス田が開発されるので、それが日本を含むアジア諸国にLNGで輸出されれば、中長期的にプラス要因となります。

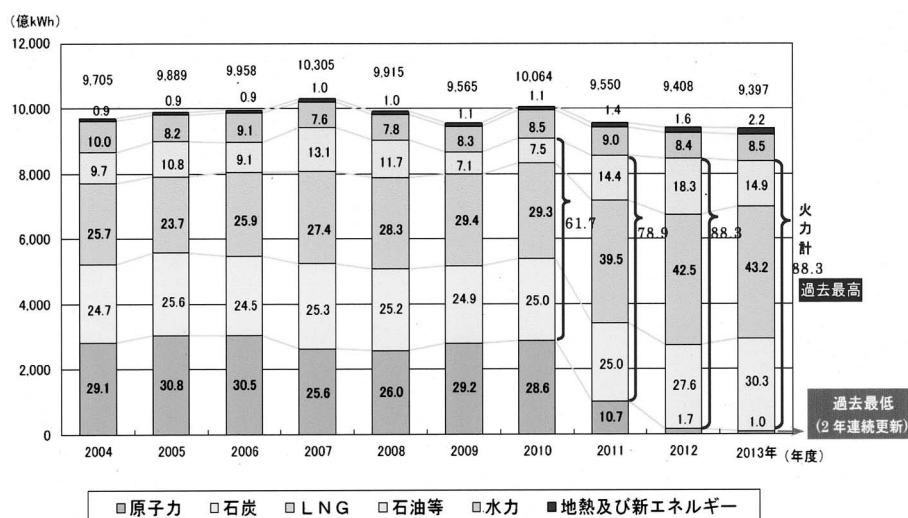
それ以上に、日本としては、いかに良好な対中関係、対露関係を築くかがより大事な問題になると思います。ロシアと欧米諸国の関係悪化は、長期的な世界の石油・ガス供給の制約要因になることも考えておく必要があります。

新地政学を踏まえた日本の戦略

日本が直面するエネルギー問題の現状

〔LNG火力シェアの高まり〕

今、日本の発電に占める火力の割合は9割で、特にLNG火力が圧倒的に高いです（図13参照）。他方、そのLNGの商業在庫は13日くら



（注）10 電力計、他社受電分を含む。石油等にはLPG、その他ガスを含む。
グラフ内の数値は構成比（%）。四捨五入の関係により構成比の合計が100%にならない場合がある。

（出所：電気事業連合会資料）

図13 電源別発電電力量構成比

いで、戦略備蓄はありません。石油の場合、民間在庫 67 日、国家備蓄 85 日で合計 150 日くらいです。LP ガスも民間と国家備蓄を合わせて 90 日分くらいあります。ですから、供給途絶に一番弱いのが LNG なのです。その LNG が今、発電で一番大きなウエートを占めているということは、大変リスクが大きいということを意味します。

[エネルギー資源のコスト比率上昇]

原油価格の高止まり、円安の進行、色々な要因がありますが、日本の国内総生産（GDP）に占めるエネルギー資源の輸入コストの比率は、かつてのピーク、第二次石油危機に近い 5～6% と高いところにあります。それに対して、アメリカはどんどん下がっていて、そのうち輸出国になる。中国ですら 3% です。

[温暖化問題での目標達成]

CO₂ を始めとする温暖化問題があります(図 14 参照)。図では、CO₂ 排出量の実績、2020 年の排出目標を参考値で示していますが、日本は、リーマンショックで一度下がったのですが、福島第一原発事故以降、火力が増えたために 90 年比で 20% 増えています。鳩山政権時代の公約は、2020 年に 90 年比で 25% 減

らすということでしたが 20% 増えています。現在の日本の 2020 年の実質的な目標は、原発可動ゼロということで、こういうところに置いています。2015 年 12 月開催予定の「パリ気候変動会議」(COP21) で、日本として国際的に遜色のない目標値を出さないといけないという、大変厳しい状況にあるわけです。

EU は幸か不幸か景気が低迷していることもあって、80% の目標ラインに沿って下がってきています。アメリカもシェールガス、石炭からガスへのシフトで、2005 年比 17% のラインに沿っています。日本は欧米に比べて温暖化対策の面で、非常に厳しい状況にあるということを考えないといけないと思います。

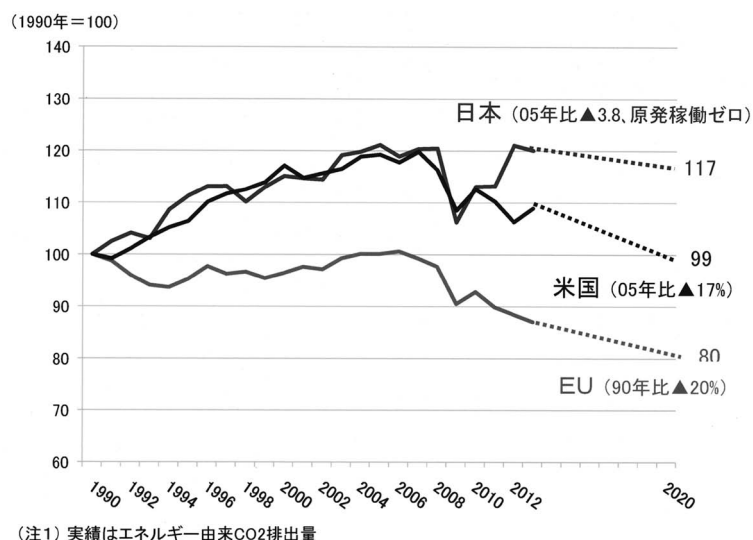
あるべき日本の戦略

国際的な様々なエネルギーを取り巻く動きを踏まえた上で、日本の戦略はどうあるべきかについてお話しします。

① 多様性を持ったエネルギーミックスの実現

天然ガスの役割が高まってきているので、シェールガスの輸入が、安定供給、調達コストの引き下げにつながります。

「化石燃料の時代」がこれまで考えられたよ



(出所：日本の見通しは日本エネルギー経済研究所，米国はEIA “Short-Term Energy Outlook” より推計)

図 14 化石燃料純輸入額の名目 GDP 比

り長く続くでしょう。シェール開発に伴う環境問題はありますが、資源があって経済的に確保できるのであれば、「化石燃料の時代」というのは21世紀も相当長く続くことになります。そういう意味で、燃料電池、コージェネ、クリーン・コール・テクノロジーという技術開発が非常に大事になります。

発電の脱炭素化に向けては、再生可能エネルギーの限界を考えると、やはり原子力をベースロード電源として維持していく政策を、国は着実に進めていかないとはいけません。そのためにも、原子力技術の継承と人材育成が極めて大事です。

② エネルギー安全保障向上と日米協力の強化

中東地域の一段の不安定化は避けられません。そういう中で、特に湾岸協力会議（GCC）を構成する産油国の安定化のために、日本は経済的、政治的、社会的な面で協力していくことが大事です。

また、シーレーンの安全確保は、日米同盟を軸に、中国とのバランスを図るためにも、インド、ASEAN 諸国との関係強化を通した取組みが大事だと思います。これは、沖縄の普天間基地移転問題、限定的な集団的自衛権行使の問題などと、まさに表裏一体の関係にあります。

③ アジアでのエネルギー地域協力

最近も日韓でLNGの共同調達が始まっているように、売り手に対する交渉力の強化は、ビジネス面における日韓両国の「ウィン・ウィン関係」の構築につながります。

日中韓、ASEANのエネルギー協力では、省エネルギー、再生可能エネルギー、原子力、環境の分野で、日本が持っている強みを最大限に活かします。

ロシアの東シベリア、サハリンの資源開発は、日本にとって石油・ガスの供給源の多様化、中東依存の低減のために非常に大事です。ウクライナ危機の影響で、若干時間がかかる

かも知れませんが、これらの資源開発に協力することは、日本がロシアと「ウィン・ウィン関係」を構築できる要素だと思います。

④ エネルギーの国家戦略の推進

エネルギー問題は、外交、安全保障、経済・産業、環境政策といった色々な課題と連動しています。こういう問題の解決には、国民にきちんと説明する政治の強いリーダーシップが大事だと思っています。特に、初めて新規制基準を満たした川内原子力発電所の再稼働については、基本的に、安倍首相があるタイミングできちんと国民に再稼働の必要性を説明する必要があると思います。野田前首相が大飯原発の再稼働について国民に直接説明されたように、是非、国のリーダーが国民にきちんと直接説明するというのを、やっていただきたいと思います。

以上、私からのプレゼンテーションにさせていただきます。ご清聴どうもありがとうございました。

電気エネルギー供給システムのスマート化 ～自由化と生活との関わり～

横山 明彦 (東京大学大学院
新領域創成科学研究科 教授)



はじめに

私の話に「生活との関わり」というタイトルをつけました。これは、電気エネルギーの下流である需要家（消費者）サイドから見たコスト、供給信頼性、色々な設備を使う利便性という観点から、電気エネルギー供給システムのスマート化、自由化を見てみようということです。

まず、「自由化とスマート化の進展」の背景、続いて「需要家レベルの技術と生活の関わり」、「系統レベルの技術と生活の関わり」、「自由化は光か」、そして自由化とスマート化に「期待される人材とその育成」の順にお話ししようと思います。ここでは、大学で研究に携わる者として、今後どういう研究を進めていけば

いいかという観点から主に課題を考えてみました。

電力システムの自由化

電力自由化・制度改革

2005年に「第4次電力自由化・制度改革」として、電気事業法の改正が行われました(図1参照)。そこでは、低圧50kW以下の需要家には規制がかかったままですが、それ以外(大工場、中工場、デパート、中小ビル、オフィスビル等)は、自由化で、従来の一般電気事業者のほかに、他の地域の一般電気事業者や新規参入者(PPS: Power Producer and Supplier)からも電気を購入できるようにな

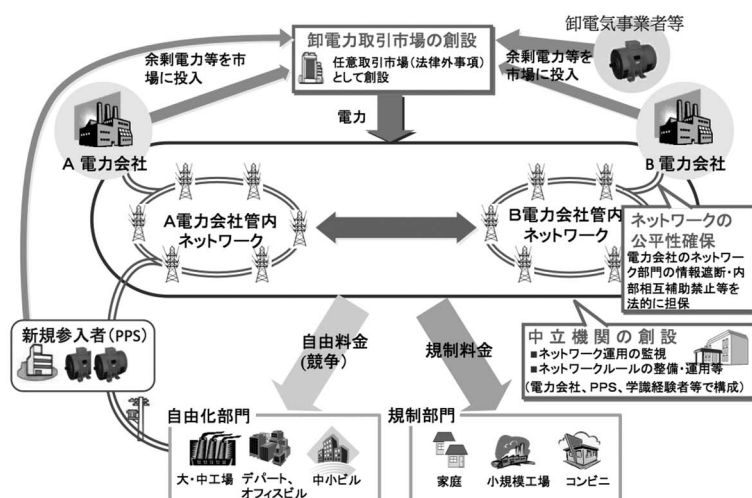


図1 第4次電力自由化・制度改革

りました。ただ、新規参入者や域外電力会社からは一般電気事業者のネットワークを使って購入しなければいけないので、ネットワーク利用の公平性の確保のために、「電力系統利用協議会（ESCJ）」という中立機関が創設されました。また、余剰電力を自由に取引でき、安い電気を自由化部門、または規制部門に供給できるようにするための卸電力取引市場もできました。この市場は1日前市場で、前日に30分毎の電気の取引をして翌日供給をするものです。

今回の「第5次制度改革」は、この中立機関である電力系統利用協議会を解消して、新

たな広域機関の創設、発送分離をより徹底的に行うというものです。

地球温暖化問題などが理由で、電力システムの低炭素化を進めるため、東日本大震災前、太陽光発電（PV）、風力発電といった自然変動電源など再生可能エネルギーの大量導入の目標が設定されました（図2参照）。PVは2020年には2,800万kW、2030年に5,300万kWです。東日本大震災後も、この同じ目標の下に色々な技術的検討を行うことになっていったわけです。

FIT（固定価格買取制度）が発足し、2013年末で、PV6300万kWの設備認定が行われ、現在では7000万kWを越えているといわれています。大量のPVが将来、導入されることが、現実性を帯びてきました。

低炭素電力システムを構築する検討をしている最中に、東日本大震災が発生しました。それを契機に、表1にある論点で、電力システムの改革議論が始まったわけです。

こういう論点のもとに、電力システム改革の工程（図3参照）が生まれ、2015年4月に広域系統運用機関が設立されることになりました。翌2016年には、先ほどの規制部門（低

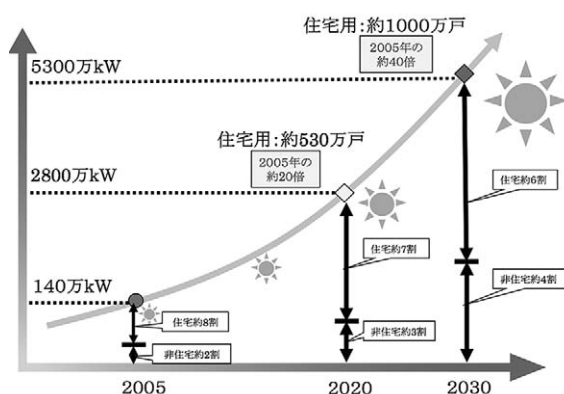


図2 わが国の太陽光発電の導入シナリオ

表1 東日本大震災後の電力システム改革の論点

＜新たな需要抑制策＞	
論点1	スマートメーターの整備を進め、需給逼迫時に市場メカニズムを通じた需給調整機能を強化。
＜需要家の選択＞	
論点2	小口小売分野についても、大口分野と同様、需要家が選択できる仕組みを導入。
＜供給の多様化＞	
論点3	小売分野の選択肢拡大のためには、卸電力市場の活性化などが必要。
論点4	再生可能エネルギーやガスコジェネレーションの活用も含め、分散型エネルギーの活用。
論点5	適切な予備力を確保し、安定的に供給力を確保するための仕組みが必要。
＜競争の促進と市場の広域化＞	
論点6	電力会社同士での競争を行うため、供給区域を超えた電力供給に関する障壁の撤廃や、卸電力取引市場を通じた競争活性化が必要。
論点7	既存の供給区域を超えた広域での系統運用や需給調整を行うための仕組みが必要。
論点8	送配電部門の中立性を確保し、電源間の公正競争のため、会計分離の徹底、法的分離、機能分離、所有分離などさらなる送配電部門の中立化を行う。
＜安定性と効率性の両立＞	
論点9	市場メカニズムの活用による競争の徹底に際しては、安全性の確保、適切な送配電投資の確保、ユニバーサルサービスの確保、供給責任の確保等に対応する仕組みの再構築が必要。
論点10	多様な主体の参画により複雑化する設備形成や系統運用上の技術的課題を克服しつつ、安定性と効率性を両立する新たなシステムを構築が重要。

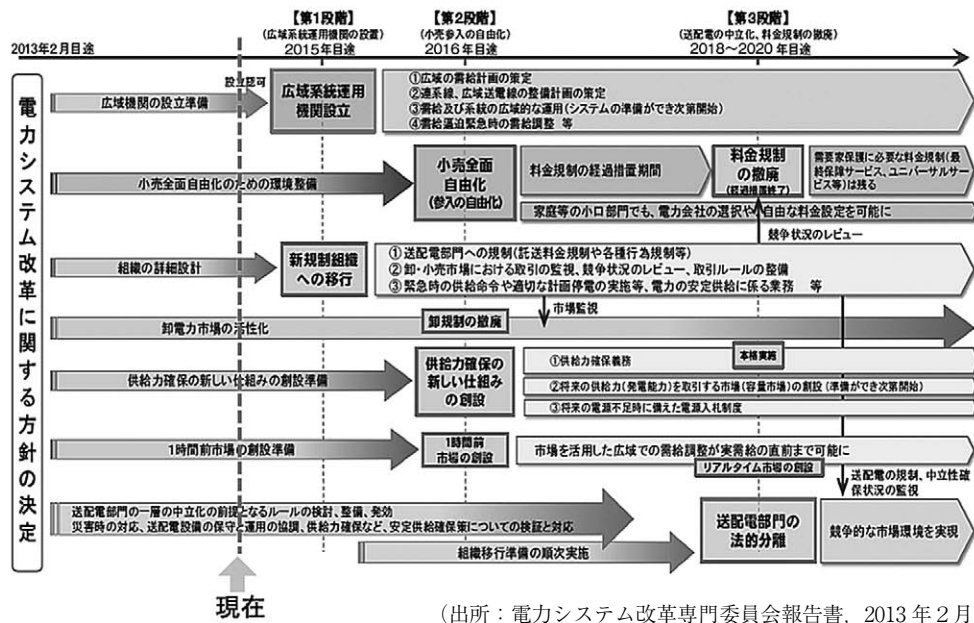


図3 電力システム改革の工程表

圧50kW以下の需要家：家庭分野）も小売全面自由化で、色々な小売事業者から電気を購入できるようになります。そして、2018年～2020年には、送配電部門の法的分離することになったわけです。

小売全面自由化から法的分離までの経過措置期間には、需要家が規制料金と自由化料金を選択ができるようにします。既に、広域機関、小売全面自由化に関して電気事業法の改正作業が行われました。

広域系統運用機関の機能

広域系統運用機関というのは、全国で1つの、経済産業大臣の指定機関です。指定機関としては、ほかに、日本銀行、日本赤十字、原子力損害賠償・廃炉等支援機構などがあります。

広域系統運用機関の機能は、まず、日本全体の需給計画、系統計画のとりまとめです。将来の需要想定に対する供給予備力の管理、必要な送電インフラの増強を指導・勧告するという計画機能を持たせます（図4参照）。

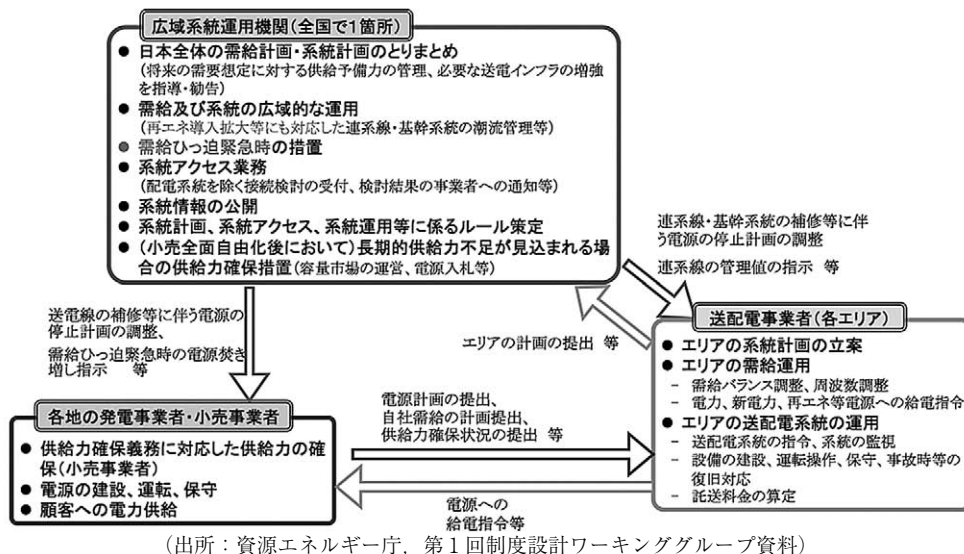


図4 広域的運用金と送配電事業者・発電事業者・小売事業者との関係

それから、需給および系統の広域的な運用ということで、再生可能エネルギーが大量に系統に入ってきたときに、現在は各電力会社の管内で処理をしている再生可能エネルギーを、調整力の余っている電気事業者に送り、その火力発電所で調整してもらうという制御機能も持たせます。それから、東日本大震災直後のような需給逼迫時の緊急融通の効果的な運用も行います。

それから、これまでも電力系統利用協議会で行われてきた、系統アクセス業務や系統情報の公開、系統運用、アクセス、計画に関するルールの策定についても、しっかり行っています。

最後は、新しいことなのですが、長期的供給力不足が見込まれる場合、供給力確保のために電源入札を行い、そこで電源をつくってもらう。例えば、自由化して10年先に電源が不足となると、この広域機関が主体となって電源入札を行います。落札した電源は、電気を全部売る（契約上の話ですが）のではなく、10年先に備えて予備力を確保しなければいけません。その部分の固定費などを電気料金の送電費用の中で確保できるようにしようという制度が新しくできています。詳細設計はこれからです。

発送分離

現在の9電力会社の工務・系統運用部門は、

発送分離で一般送配電事業者になります。その送配電事業者は、エリアの系統計画の立案、需給運用、周波数調整、需給バランス調整、既存電力会社、新電力会社、再生可能エネルギー電源への給電指令、エリアの送配電ネットワークの運用を行うことになります。その間では、色々な情報をやりとりしなければいけない。各地の発電事業者や小売事業者は、供給力確保に対応した供給力確保や電源の建設、運用、保守、お客様への電力供給を行うということです。

制度改革で、発送分離について法的分離を選択しました。持株会社を元に、発電会社、送配電会社、小売会社という分離です。ヨーロッパでは、送配電部門の別会社化という所有分離を進めていますが、法的分離の場合は、持株会社の下でのカンパニー制も可能になっています。

電力システムのスマート化

スマートグリッド

一方、大量の再生可能エネルギーが入ってくるといことで、電力ネットワークの技術面では、自由化とは別に「スマートグリッド」（図5参照）が世界的な話題となっています。オバマ大統領が選挙キャンペーン（2008年）

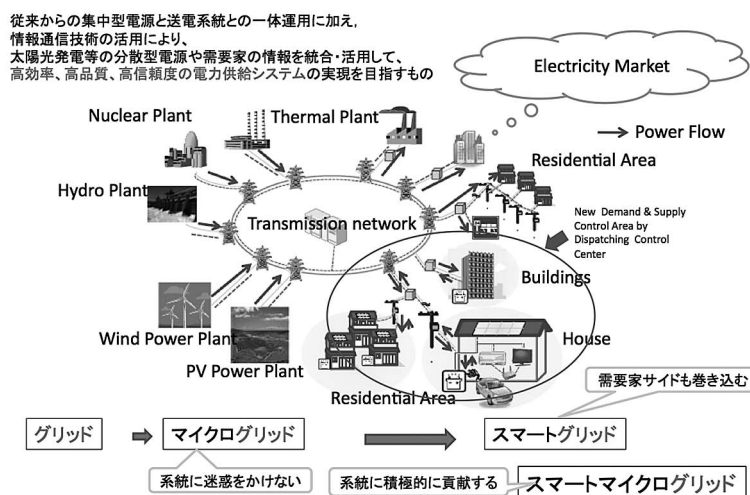


図5 スマートグリッド

で「スマートグリッド」を謳ったため世界的に有名になりました。ヨーロッパでは、EU 委員会で 2000 年頃から研究を進めています。

「スマートグリッド」とは、従来の集中電源と送電系統の一体運用に加えて、双方向通信技術で太陽光発電等の分散型電源や需要家の情報、例えば、スマートメーターからの情報や電気自動車の情報、ヒートポンプ給湯器の情報を活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給の実現を目指すものです。新たに需要家サイドに焦点を当てていると言えます。

需要家機器の統合制御

需要家機器の統合制御には、色々な方法があります（図 6 参照）。わが国では、PV の出力制御やヒートポンプ給湯器の貯湯槽での蓄電、電気自動車のバッテリーの利用という V2G (Vehicle-to-Grid) という技術もあります。欧米では大量の冷蔵庫などを緊急時に一斉に制御するアイデアもあります。この夏の国際会議でのイギリスの送電会社ナショナル・グ

リッドの研究所の発表で紹介されました。発電機が脱落して大停電が起きる寸前に冷蔵庫を全部切って系統が不安定になるのを防止し、その防止がうまくいった後で、すぐに冷蔵庫に電源を入れるということを真面目に検討しているので驚きました。アメリカでも、周波数変動に応じて冷蔵庫の電源をオンオフするチップが開発され、発売になったと数年前に聞いています。現在どれくらい普及しているか分かりませんが、そういう家電製品の制御が HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム）などを通じてできると思います。

スマートメーターの使われ方

スマートメーターが非常に大事だと言われています。今、ほとんどの高圧需要家への電力供給ではスマートメーターが導入されていますが、2023 年までに一般家庭といった低圧需要家の全部にも導入していこうとしています。

日本でのスマートメーターの特徴はそのルートにあります。スマートメーターと室内

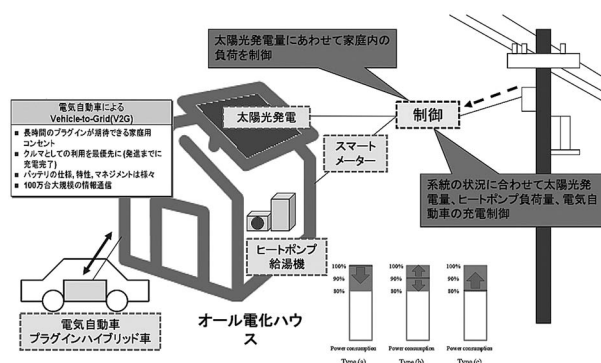


図 6 需要家機器の統合制御

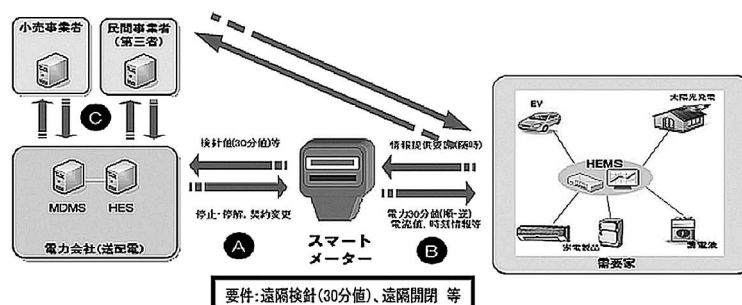


図 7 スマートメーター（A・B・Cルート）

との間に通信回線を設けて、家の中ですぐに HEMS でデータが見える「見える化」をしようというところです（図 7 参照）。

B ルートのない欧米のメーターでは、そのようことは難しいです。欧米ではメーターのデータが電力会社の営業所に行って、家庭では Web サイトで見るとというのがメインです。

今後、HEMS と一緒になって、どう使うかが課題ではないかと考えています。スマートメーターの情報を使ったビジネスには、どんなものがあるのか。これは 3.11 前に、次世代電力ネットワーク制度検討会で示されたビジネスモデル例です。エネルギーコンサル、ヘルスケア／見守りサービス、ホームセキュリティシステム、コミュニティサービス（需要家同士や需要家と自治体などが新たなコミュニティを形成して可能になるサービス）、各種のアフターサービス（双方向通信機能による機器購入後のソフトウェア機能追加、遠隔修理、需要家の利便性、安全性の向上）が例示されました。

スマートグリッド実現の可能性

自由化された環境下で、たぶん、電気料金を安くしていく。需要家の選択の多様性を追い求める。色々なビジネスチャンスが発電事業者や小売事業者に出てくる。この「バラ色の世界」が本当に実現するのか。それについて少し考えてみました。

[DR (Demand Response)]

DR は、基本的に B ルートでスマートメーターの情報を見て、家庭でいかにエネルギーを有効に使っていくかという話です。しかし、DR は面倒です。アメリカでもスマートメーターを入れた DR が実用化されたところがあるのですが、やはり、家のご主人は、電気料金の高い低いに関係なく、会社から帰って来ると、缶ビールを開け、テレビをつけて大リーグ中継を見る。電気の使用は、電力会社が期

待するようにはなかなか変わらないという結果が出ています。ですから、自動的に HEMS の機能の中で、電気を勝手に使ったり切ったりする ADR (Automated Demand Response) の方向に向かうだろうと思います。ただし、自動で電気の使用を変えるので、自分の思うとおりに使えない場合やソフトウェアの失敗で損失を出す場合もあり得ます。利用者の十分な理解が必要でしょう。

[テロ対策としてのメリット]

アメリカなどでは、スマートメーターに B ルートがなく、単に情報を吸い上げるだけです。そもそもアメリカで、スマートメーター、スマートグリッドのプロジェクトが進み始めたのはアメリカ同時多発テロ (9.11) の直後です。テロ対策として出てきたという話があります。スマートメーターの情報、電気自動車 (EV) の情報、分電盤からの各部屋の情報などを集めて分析すると、個人が何時、どこで、何をしていたか分かります。さらに、分析対象範囲を家から半径数キロに広げると、どここの施設に行ったかまで分かり、テロリストを発見できるかも知れません。そういうテロ対策という国家的なメリットがあれば、アメリカはスマートグリッドをどんどん進めると言います。ただ、テロ対策に使えとなると、個人情報保護が必要になります。

[需給逼迫時の対応]

アメリカでは、需給逼迫時のピークカット、ピークシフト用として、スマートメーターの導入、スマートグリッド構築が考えられています。実は、2000 年以降、電力自由化が急速に進んだため、発電設備や送配電設備の建設が進みませんでした。自由化の中では、設備がなくて、需給逼迫、送電線逼迫が起こったほうが儲かるからです。設備ができるまでの「つなぎ」として、スマートメーターを入れ、スマートグリッドを作り、ピークカット、ピークシフトを行っているということです。

[新規ビジネス誕生の可能性]

わが国でのメリットは何なのか。スマートグリッドで、配電計画や配電線の事故の地点を容易に見つけられるようになるので、配電会社の業務効率化には役立つと思います。それでもメリットが出るまでには、相当時間がかかると言われています。ただ、それ以上のビジネス価値が本当に生まれるか、非常に疑問です。欧州では、スマートメーターによる新規ビジネスは、ほとんど生まれていません。スマートメーターの導入は、配電会社の業務効率化が目的ということです。

需要家レベルの技術と生活の関わり

DRに伴う電力料金制度

アメリカでは、需給逼迫時への対応を考えたDRに伴う料金制度として、時間別料金(TOU, Time of Use)、需給逼迫時料金(CPP, Critical Peak Pricing)、リアルタイム料金(RT, Real Time)料金などがあります。CPPは需要逼迫時にものすごく料金を上げる、TOUは時間ごとに料金を変えするという料金制度です。RTでは、前日にリアルタイムの料金(15分ごとや30分ごとの料金)をつくって提示し、需要家が電気の使い方をADRで決めます。しかし、こういうものが一般の方にどの程度受け入れられるか、実証試験が大事になってきます。

CPPなどは、需要逼迫時に電気料金が非常に高くなるので、老人、弱者、低所得者層が、電気が高くなったときに使わないとなると熱中症など病気で亡くなる場合も考えられます。そういう方には何らかの保護、保証をしなければいけないと思います。

HEMSでの付加価値創出

スマートメーターのBルート、Cルートの情

報で何をしたいのか。配電会社がやりたいことはよく分かりますが、この情報を使って将来、どういうビジネスをやって、どれくらい需要家に便益をもたらすのかよく分かりません。

電気料金の節約だけだと便益は少ないのです。例えば、HEMSの導入コストが10万円だとすると、10年間でコストを回収するのは非常に難しいと思われます。また、海外展開するにしても、ヨーロッパでは、HEMSが受け入れられにくい状況にあります。ですから、メーカーはそのことを十分に考えた上で事業展開をしなければならないと思います。

FITの問題点

PV、風力などの自然変動電源を大量導入するために、わが国でもFIT(固定価格買取制度)が始まりました。買取期間10年から20年で総額38兆円(2013年末)の電力料金を、消費者が余分に支払うことになるかと計算されています。年1.9兆円(国民1人当たり38万円、4人家族で約150万円)を20年間払うわけですが、これは国民の大きな負担となります。現にスペインでは、FITの買取価格をさかのぼって安くするという話も出ています。

今後FITをどうしていくか、非常に重要になっています。総合資源エネルギー調査会・新エネルギー小委員会で検討が始まりましたので、今後どうなるか見守る必要があると思っています。

家庭におけるFC、蓄電池

今後、色々な燃料電池(FC)や蓄電池が家庭に大量に入ってくると思います。今、配電系統において、再生可能エネルギーは、基本的に地産地消されています。将来、もっとたくさん配電系統に再生可能エネルギーが導入された場合、配電用変電所の変圧器を超え、上流の送電系統に電気を流しても良いように、技術基準が改正されました。ですから、系統

側の理由で地産地消を行う必要がなくなっても、家庭では地産地消が行われるのか、というのが私の疑問なのです。

家庭で再生可能エネルギー電力を効率的に使おうとすると、電気料金を見ながら自己運用するための HEMS 機能が重要になってきます。すると、自動的に行う ADR へ移っていくでしょう。または、FC や蓄電池のための場所貸し、PV のための屋根貸しというビジネスが将来もっと出てくると思います。

また、将来、系統運用者やアグリゲータ（事業者）が、所有者の許可を得て、ある範囲で外部から自由に機器を制御する。需要家の利便性を損なわないように、FC や PV、EV や定置型蓄電池の一部分の容量を自由に使うというビジネスが出てくるのではないかと思います。

需要家の機器は、スマートグリッドの一部になりますから、「系統貢献」をすることが大事で、公共的な観点から使うということになると思います。また、その時、需要家の機器を出力調整し、品質を維持する料金（アンシラリー料金）の決め方については、研究課題にとどまっていると思います。しかし、買取価格の高い FIT がある中では、家庭で経済的利益を得るための出力調整のために蓄電池を持つ意味はないと私は思います。自分のところで貯めて、自分のところで使っていたのでは、FIT の高い価格で売れる余剰電力が出てこないからです。

電気自動車（EV）

原子力発電所が稼働しない中では、高い火力発電の電気を EV に充電することになります。今の状態では、コスト面、環境面で EV が有利なのか疑問に思います。

また、原子力発電が再稼働し、環境性のいい電気がかなりできた段階なら、EV の V2G（系統に電気を戻すこと）を考えてもいいと思いますが、火力で充電した EV で V2G をする必要性はないのではないかと思います。V2G

の経済性、環境性をしっかりと再評価する必要がありますでしょう。

系統レベルの技術と生活のかかわり

蓄電池などの蓄エネ設備、揚水発電所

系統レベルの技術は、我々の生活には、主に電気料金と、停電という供給信頼度の2点で係わってきますので、これから少しお話させていただきます。

系統側の蓄エネ設備は重要です。しかし、誰がこの設備を建設、所有し、運用するかが問題になっています。この夏、ある国際会議でドイツに4つある系統運用会社の1つが「われわれ系統運用者は、蓄電池や揚水発電所を持っていない。今、ヨーロッパで風力が大量に導入され、日本と同じような系統安定上の問題が出ているが、蓄エネ設備をわれわれに与えてくれれば、それをうまく使うのだけれども、われわれは持っていないんだ。誰がつくってくれるんだ」と言っていました。

電力自由化の中、ヨーロッパでは、貯蔵設備が作りにくくなっています。誰も作らないと供給信頼度が低下します。しかし、貯蔵設備は発電しないので、発電会社は作りたがらない。当然、送電会社は送電線でないので作りたくない。ましてや小売会社は作らないわけです。では、政府が作るのかというと、政府は予算がないので作らない。今でも押し付け合いをしている状況です。

LNG 火力の問題

火力発電所の問題もあります。再生可能エネルギーが系統に沢山入ってくると、火力発電機によって、需要と供給のアンバランスの長周期変動分、短周期変動分を補償することになります。しかし、ヨーロッパでは、風力

の増加で電気が余り、電気の落札価格が低下し、火力の運転停止、廃止、建設停止に至っています。そうすると、出力調整用に蓄電池を導入する必要があります。ところが、これはコスト高ですから、これも問題になります。このコスト増加は、電気料金上昇として一般消費者にも影響してきます。

日本は島国のために、国際連系していないので火力を減らすことができません。従いまして、火力の部分負荷運転時の高効率化技術等の開発が重要になってくると思います。

系統の最適運用計画・制御技術

系統の最適運用計画・制御技術が必要になってきます。PVの余剰がたくさん出てきたときに、昼間、揚水発電所での水の汲上げに消費し、夕方、汲上げた水を貯水池から落して発電をします。

そういう揚水発電所や蓄電池をどううまく動かすか。これが、火力発電所の燃料費を少なくし、ひいては電気料金を安くするため、また、停電を起こさないために必要になります。

PV、風力を大量に系統に導入すると、揚水発電所や蓄電池をどう動かしても、PVや風力を抑制しないと停電してしまう日もあります（図8参照）。PVを抑制しないで使うには、蓄電池を増やさないとはいけません。すると、沢山のコストがかかり、日本の場合、送電料金が高くなり、電気料金が上がることになるわけです。また、送電線も増強しなければいけません。周波数変換所や地域間連携線の増強で当然コストが増え、電気料金が上がることになります。

ドイツなどでは、送電線建設における費用負担増加を送電料金に転化できないケース、初期投資を早期に回収できないケースが出ています。その結果、送電会社を運営する魅力がなくなり、身売りが行われ、他国の会社がその送電会社を購入するということが起こっています。

電源計画・系統計画の協調

自由化すると、発電会社を作る発電所と広域系統運用機関や各地域の送電事業者が作る送電線との間の建設の協調がなくなると考えられます。

広域系統運用機関は、将来の発電所建設計画を把握しますが、それは非常に不確実なものです。不確実な発電所建設計画に基づいて送電線を作っているのか、判断が非常に難しくなってきます。

系統計画と電源計画をいかに協調させていくか。今後、広域系統運用機関がしっかり考えないといけない難しい課題です。

自由化は光か？

イギリスでは発送分離から統合へ

電力自由化のメリットは、電気料金の低下、需要家選択肢拡大、サービスの多様化です。しかし、自由化が進んだイギリスでは、今、垂直統合、水平統合が進み6大電力会社化しつつあります。発送分離ではなく統合です。発電、送電会社、小売会社が統合化しつつあり、日本のように各地域でのフランチャイズ化みたいな感じにもなりつつあります。

自由化の中での規制へ

また、イギリスは、逆方向の規制強化にも動いています。電気料金も上昇していますし、需要家の電気料金の選択肢も、今年の冬（2015年1月～2月）は、1会社4メニューまでしか提示してはいけないことになっています。今まで1社で何十メニューと色々用意していたのですが、メニューをあまりにも多く提示すると、需要家はどれが有利か分からなくなるということで、逆に事業者の選択がやりに

くくなるということで「1社4メニューまで」という規制がかかっているのます。

ですから、現在、需給が逼迫しているわが国が自由化をする場合、自由化の影響がどういうものかよく見なければいけないし、安定な自社電源を多く持たない小売事業は成立するのかという問題についても考える必要があると思っています。

期待される人材とその育成

電力システムというのは、電気の流れ、お金の流れであり、制度の流れでもあります。電気、経済、社会学の分野で、広範囲化、学際化が進展しているので、大学での教育にも非常に時間がかかり、価値ある研究も難しくなっています。

電力自由化の研究は、電気と制度、マーケットを融合させないと実用的でなくなっています。例えば、スマートグリッドの研究でも、料金とマーケットとを融合させないと、太陽光、電気自動車の使い方をうまく説明できなくなってきました。

そういうことで、産業界への新人の供給、産業界の技術力を、今後どのようにしていくかということが、今後の検討課題だと思っています。

スマートグリッドの実現には、自由化、スマート化、コスト、供給信頼性、それから需要家の利便性を考えながらやっていかなければいけません。その恩恵を受けるには、様々な課題を解決していかなければいけないでしょう。試行錯誤の繰り返しで、非常に時間がかかると思います。

ヨーロッパでも、試行錯誤をしているところですよ。ですから、工学、経済、制度などに精通した学際的な人材の育成も非常に大事なのです。

これで私の話は終わりです。ご清聴どうもありがとうございました。

[講演]

今後の普及が期待されるエネルギー技術（１） ～これからのエネルギー技術～

小野崎正樹（理事・プロジェクト試験研究部
部長）



はじめに

これから、今後普及が期待されるエネルギー技術について、当研究所の研究員から6つの講演を行います。最初に私から、そこで意図していることについてお話ししたいと思います。

私ども、エネルギー総合工学研究所の特徴は2つあります。1つは、産官学にまたがっていること。もう1つが、非常に幅広いエネルギー分野をカバーしていることです。この特徴を生かし「エネルギー技術戦略」作りに貢献したり、様々な中長期にわたる仕事もさせていただきます。

東日本大震災から3年経ち、その間にも需給構造が大きく変わりました。シンポジウムでも新たなエネルギー戦略と技術開発をテーマに、パネル討論を開き、昨年度は需要側に焦点を当てた議論をしました。

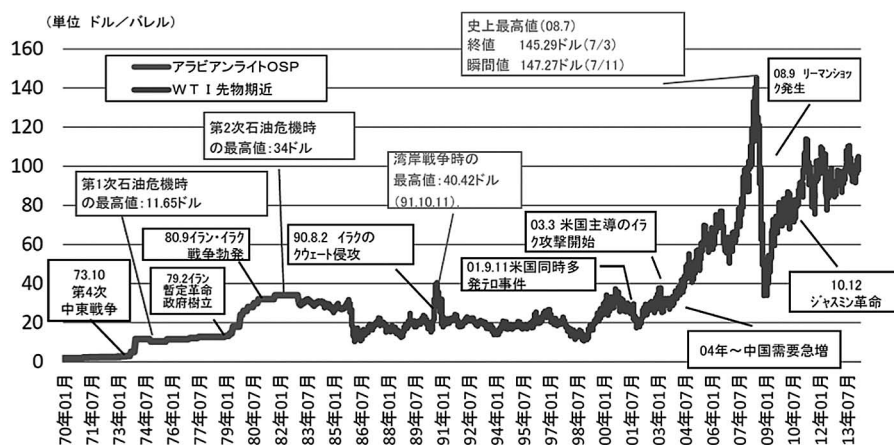
今回のシンポジウムは、世界のこれからのエネルギー需給構造や原子力発電の在り方がどうなるのか全く不透明な中、2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」を踏まえ、今後どうしたらいいか、そのヒントになればという思いで、テーマを「今後の普及が期待されるエネルギー技術」にしました。

この中で、非在来型の化石資源、再生可能エネルギー、水素エネルギーがどのような形で導入されたらいいのか、できるだけ具体的な提案をしていきたいと思っています。

世界の動き

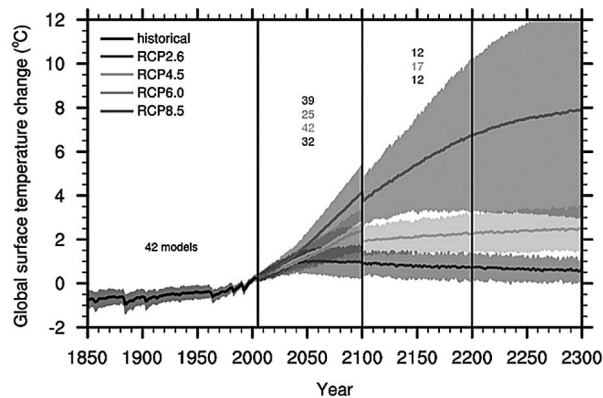
原油価格

1970年から2013年7月まで40年間にわたる原油価格の推移を見ます（図1参照）。1バ



（出所：経済産業省『エネルギー白書2014』）

図1 石油価格の推移（1970年1月～2013年7月）



(出所：IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis)

図2 IPCCによる気温の変化実績と予測

レル1ドルくらいだった原油が、二度のオイルショックを経て、30ドルくらいに上がり、いつの間にか147ドルになってしまった。

10年前には、キング・ハバートが提唱したピークオイル理論で「石油はそろそろ無くなる」と言われましたが、アメリカで「シェール革命」があって、あっけなくピークオイル理論が消滅しました。なかなか先の見通しがつかないところだと思います。

地球温暖化対策

そういう中で、温暖化対策がどのように進むのか(図2参照)。昨年から今年にかけてリリースされた「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)の報告書の中で、平均気温の上昇を2℃以内に抑えるためには二酸化炭素(CO₂)排出量の大幅削減のための相当な努力が必要と言われていました。COP20が2014年12月にリマで、COP21が2015年12月にパリで開かれます。日本としてどんな対策を打ち出すかも、大変な課題になると思います。

「シェール革命」の影響

「シェール革命」の影響も、北米にとどまらず世界全体に及ぶ話です(図3参照)。日本にとっても様々な影響が考えられます。天然ガスが増産された北米で余った石炭は欧州に輸

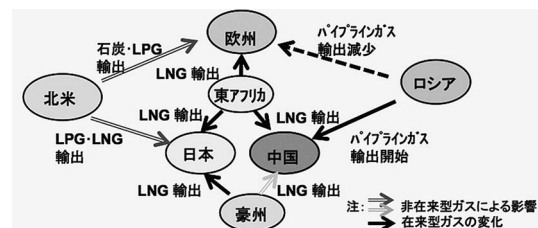


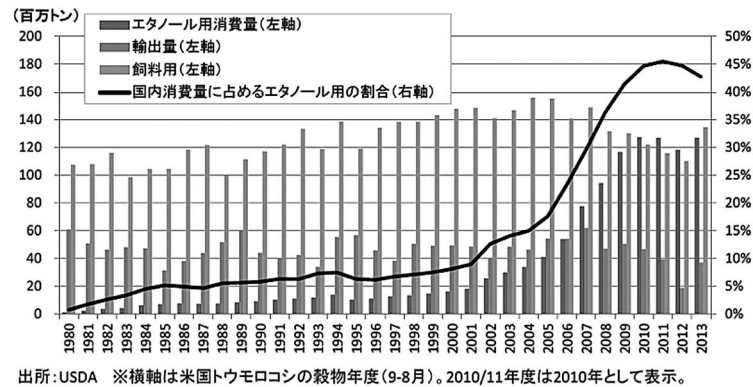
図3 シェール革命の影響

出されたので、世界の石炭価格がだいぶ下がりました。また、日本は2014年1月から北米からLPGを輸入していますし、液化天然ガス(LNG)輸入も2017年頃から始まるということです。

その反面、バイオエタノールはどうなるのか(図4参照)。アメリカでは「エネルギー独立安全保障法」(2007年)ができ、再生可能燃料基準(RFS2)で使用義務量の目標を2022年に360億ガロンとしました。ところが、今年になってその目標量を減らしていく動きが出てきました。バイオエタノールも、「シェール革命」の影響で見直しが図られているわけです。

アメリカの火力発電に対する規制強化もあります。2013年、米国環境保護庁(EPA)が、二酸化炭素(CO₂)排出量規制として1,100ポンド(500kg)/MWhを打ち出しました。シェールガス、タイトオイルがあるので、こういう規制が出てくるのだろーと思います。

天然ガス発電だと、1000ポンド(450kg)/MWhくらいですが、石炭火力の場合は800～



(出所：丸紅経済研究所，岐路に立つ米国のバイオ燃料政策，2012年2月12日)

図4 米国のバイオエタノール

900kg/MWh くらいになります。規制をクリアするには、どうしてもCO₂回収が必要になってきます。私、昨年、冬、米国ミシシッピ州のKemperに52万kW規模の石炭ガス化複合発電(IGCC)プラントの建設工事現場を訪ねました。2015年5月に運転を開始する予定です(図5参照)。ここでは、発生したCO₂の65%を回収し、そのCO₂はパイプラインでテキサスに送られEOR(石油増進回収)に使われるということです。ただ、IGCCプラントのコストは従来の石炭火力よりかなり高くなっています。

EUの温暖化対策とエネルギー安全保障

EUでは、2020年までに「温室効果ガスを

1990年比20%減」、「再生可能エネルギーを全エネルギー需要の20%以上」という目標達成が確実にになりました。2014年1月には、2030年の目標値も発表されました。19件の革新的実証プロジェクトが動いています。

しかし、色々な課題があるようです。例えば、固定価格買取制度(FIT)の問題。ドイツ、英国、スペインで、電気代が上がりました。ドイツでは70%くらい上がったということです。

排出権取引制度もうまくいっていません。排出権が4ユーロ(1,000円弱)/CO₂トンでしかありません。実際にCO₂を回収するコストは、4,000～5,000円/CO₂トンです。それに比べてかなり安いですから、なかなか機能していないと思います。



(撮影：小野崎)

図5 建設工事中のKemper IGCC全景写真(2013年12月)

一方、安全保障面でもウクライナの問題があります。また、北海原油・天然ガスの生産量が落ちていますから、今後、ヨーロッパにとっても、2013年に天然ガス消費量の19%を占めているLNGの割合が増加することもあると思っています。

日本の動き

「エネルギー基本計画」

日本では、「エネルギー基本計画」が閣議決定され、基本的な方針が出ています（表1参照）。

「エネルギー基本計画」では、再生可能エネルギーは3年間導入を最大限加速していく。原子力は重要なベースロード電源として位置づける。石炭は供給安定性と経済性から、重要なベースロード電源として再評価する。天然ガスはミドル電源で中心的な役割を担う。石油は運輸・民生部門に不可欠で、ピーク電源としても震災時に果たしたような一定の機能を担う。それからLPガスもミドル電源としてだけでなく、分散型のクリーンエネルギー

として重要だと位置づけられています。

今回のシンポジウムの副題「多層的な供給構造」については、「エネルギー源ごとの強み弱みを踏まえて適切に補完すること」「緊急時も適切に機能する強靱性を持たせなければいけない」などが示されています。「3E+S」（安定供給、コスト低減と環境負荷低減、安全性）に加え、国際的な視点が必要で、エネルギーを得るだけでなく、海外事業の強化も経済成長も重要な要素として示されています。

具体的な施策として挙げられているのは、安定的な資源確保として、北米からのLNG供給や取引条件の多様化推進。あるいは、海洋開発の中で、メタンハイドレート、金属鉱物等の海洋資源開発の加速があります。

その他にも省エネルギーの推進。再生可能エネルギー導入の最大限加速。そのためのFITの適正な運用、高効率化の技術開発の推進、風力/地熱の導入加速、あるいは、分散型エネルギーシステムの導入が述べられています。

原子力政策については安全性の向上が挙げられています。化石燃料については、高効率の石炭・LNG火力の有効利用の促進。供給構造については、市場の垣根を外す供給構造改革の推進とあり、電力システム改革、さらには、ガスシステムの改革についても触れています。

表1 エネルギーの需給に関する施策についての基本的な方針

各エネルギー源の位置付け
1)再エネ(太陽光、風力、地熱、水力、バイオマス・バイオ燃料) 温室効果ガス排出のない有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源。3年間、導入を最大限加速。その後も積極的に推進。
2)原子力: 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。原発依存度については、省エネ・再エネの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる。その方針の下で、我が国の今後のエネルギー制約を踏まえ、安定供給、コスト低減、技術・人材維持の観点から、確保していく規模を見極める。
3)石炭: 安定性・経済性に優れた重要なベースロード電源として再評価されており、環境負荷を低減しつつ活用していくエネルギー源。
4)天然ガス:ミドル電源の中心的役割を担う、今後役割を拡大する重要なエネルギー源。
5)石油: 運輸・民生部門を支える資源・原料として重要な役割を果たす一方、ピーク電源としても一定の機能を担う、今後とも活用していく重要なエネルギー源。
6)LPガス: ミドル電源として活用可能であり、平時のみならず緊急時にも貢献できる分散型のクリーンなガス体のエネルギー源。

(出所:経済産業省、エネルギーを巡る状況とエネルギー基本計画の概要、2014年6月)

少し長期的になるかもしれませんが、「水素社会」の実現に向けた取り組み、施策も述べられています。

直しが図られていくのか関心があります。

エネルギー自給率と LNG 依存

FIT 導入の結果

FIT の制度が始まり、非住宅の太陽光の導入容量は 792 万 kW、それに対して認定容量が 2014 年 5 月で 6,500 万 kW がどのように導入されてくるのが当面の課題です。資源エネルギー庁の試算によると、家庭の賦課金は平均 276 円／月です。この認定容量の導入が認められ、さらに追加されると月 820 円くらいの負担（年間 1 万円くらい）になると思います。こういう中で、太陽光の固定買取価格が 36 円から 32 円に下がりましたが、今後どういう見

日本のエネルギーの不安要素について述べます。2012 年にかけて、高いときには 20% くらいあったエネルギー自給率が 6% 程度まで落ちていきます(図 6 参照)。再生可能エネルギー導入により、供給構造が安定に向かうのか、不安定になるのか。あるいは、地球温暖化の対策として、CO₂ 回収貯留 (CCS) がどこかで導入される必要が出てくるのか。そのとき、CCS は余分にエネルギーを必要とするので、燃料輸入が増えますが、そういう方向でいくのかどうか、様々な課題があると思います。

東日本大震災後、LNG 輸入が極端に増えてい

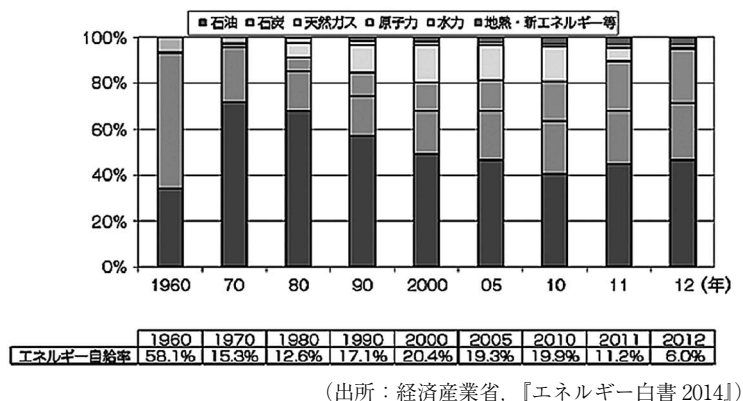


図 6 日本のエネルギー国内供給構成および自給率の推移

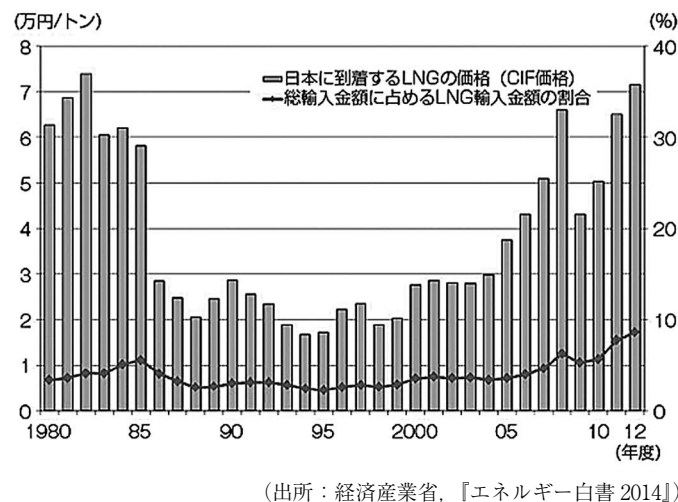
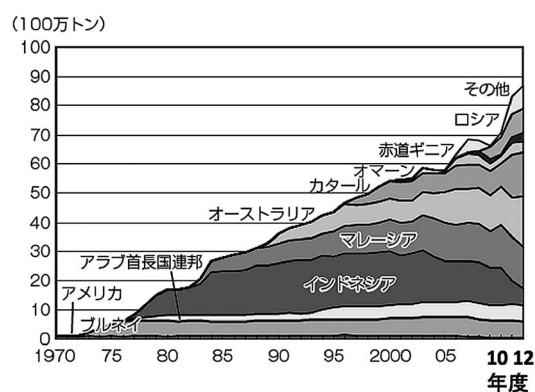


図 7 LNG の輸入価格と輸入全体に占める割合



(出所：経済産業省、『エネルギー白書 2014』)

図8 LNGの供給国別輸入量の推移

ます(図7参照)。総輸入金額に占めるLNG輸入金額の割合は、ずっと2～3%で推移していたのが、昨今10%弱まで上がってきています。供給国別のLNG輸入量の推移(図8参照)を見ると、インドネシアからは徐々に下がってきています。マレーシアからも下がり気味です。幸いなことにオーストラリアのプロジェクトは立ち上がり、カタールのLNGプラントも稼働した時期で、ヨーロッパではそれほどLNGを必要としていなかったこともあり、値段は高かったけれども、量的には震災後も量的には日本がLNGを確保できているわけです。

今後、この燃料購入費増大による国富流出がどこまで続き、それに対し日本がどういう対策をとれるのが課題だと思います。

6つの講演の進め方

本日、この後に6つの講演を予定しています。その中で今まで話した課題について、少しでもお答えしていきたい、新たな提案をしていきたいと考えています。

「地球温暖化への関心の高まり」では、「気候変動を抑制するには、温室効果ガス排出量の大幅かつ持続的な削減が必要」と述べているIPCC『第5次報告書』を紹介し、今後、どのようなスケジュールで国際的合意を進めていくのかを解説いたします。

「日本の電力供給を考える」では、火力発電、特に石炭火力の場合、CO₂排出とどう折り合いを付けていくかが問われています。また、技術革新という意味では、IGCCなり超々臨界圧発電(A-USC)の進展、それにCCSをどう組み合わせるかが課題です。

「原子力に求められているものは何か」では、原子力発電のこれからの在り方をどうするか。

「シェール革命の影響を読む」では、幅広い安定的な資源調達のために、激動の世界情勢に応じた適切な対応をするために考えるべきことを提示させていただきます。1つは、低炭素燃料の安定的な導入です。低炭素燃料としては、LNGあるいはバイオマスがあると思いますが、特にLNGに注目する必要があります。

「太陽熱を使う」では、再生可能エネルギーと従来火力との組み合わせがうまくできるのではないかと。強みと弱みをうまく生かせるのではないかとということで太陽熱の利用を提案いたします。

最後に、「水素エネルギーの本格的導入に向けて」では、海外の再生可能エネルギーをうまく導入するために、水素をエネルギーキャリアとして使うとか、マイナス面をできるだけ減らしてCO₂削減につなげる方策を提案していきたいと思っています。

今回、中長期の視点で、普及が図られている再生可能エネルギーの課題を克服し、今後普及が期待される技術を対象に、ご紹介、ご提案していきたいと思っています。

【講演】

今後の普及が期待されるエネルギー技術（２） ～地球温暖化への関心の高まり～

黒沢 厚志（プロジェクト試験研究部
部長）



はじめに

これまでの経緯

環境問題には、身近なところで大気汚染、水質汚染、土壌汚染、騒音などがあります。

国境を越えた環境問題については、1970年代の欧州の酸性雨被害の結果、人間開発環境会議において「人間環境宣言」および「環境国際行動計画」（1972年）が採択され、その実行のため、国連に環境問題を専門的に扱う国際連合環境計画（UNEP）が設立されました。

また、1980年代には、オゾン層破壊が国際的に問題となり、「モントリオール議定書」（1987年）で特定フロン類の抑制が決定されました。

地球環境問題では、温暖化の基本的なメカニズムは従来から分かっていたましたが、1988年の「トロント宣言」で、二酸化炭素（CO₂）排出量の世界的削減が提唱され、その後、「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）が結成され、これまでに第1次から第5次までの「評価報告書」を作成しています。

政治面では、1992年にブラジルのリオデジャネイロで「国連環境開発会議」が開催され、各国が「気候変動枠組条約」に署名しました。毎年、締約国会議（COP）が開催され、1997年の第3回会合（COP 3）で排出削減を義務づけた「京都議定書」が採択されています。

今年はCOP20がペルーのリマで開催され、来年パリで開催されるCOP21で2020年以降の気候変動枠組を決定すべく、議論が行われているところです。

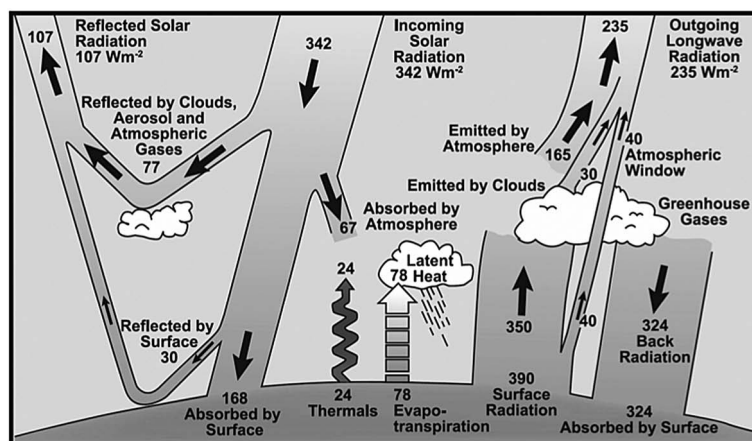
IPCCの概要

IPCCの目的は、最新の自然科学的および社会科学的知見をまとめ、地球温暖化防止政策に科学的な基礎を与えることにあります。政策への情報提供は行いますが、基本ポリシーは中立です。

3つの作業部会（WG：Working Group）に分かれて活動をしています。WG 1は地球温暖化の観測事実と予測を扱い、気候変動の自然科学的側面からの評価を担当しています。WG 2は温暖化影響評価・適応策を扱い、気候変動の影響および適応策の社会・経済的側面からの評価を行います。また、WG 3では温室効果ガス削減である緩和策の社会・経済的側面の評価を担当し、その中にはエネルギー技術の温室効果ガス削減評価のレビューも含まれます。最も新しい『第5次報告書』は、WG 1による「自然科学的根拠」に関する部分（2013年9月27日）、WG 2による「環境・適応・脆弱性」（2014年3月31日）、そして、WG 3による「気候変動の緩和」（2014年4月13日）で構成されています。

地球全体のエネルギーバランス

「太陽定数」という物理定数を聞いたこと



(出所：IPCC，第4次報告書)

図1 地球のエネルギーバランス

があると思います。太陽定数とは、大気圏外で太陽に垂直な面が1秒間に受け取るエネルギーで、 1366 W/m^2 です。

地球を球と考えた場合、半径を r とすると、表面積は $4\pi r^2$ 、断面積は πr^2 ですので、断面積で受けたエネルギーを、地表全体に行き渡らせると、 $1366/4=342$ となります。

地表に到達するまでに、雲やエアロゾル、地表の反射と、大気への吸収によってその強さは約半分になります(図1参照)。

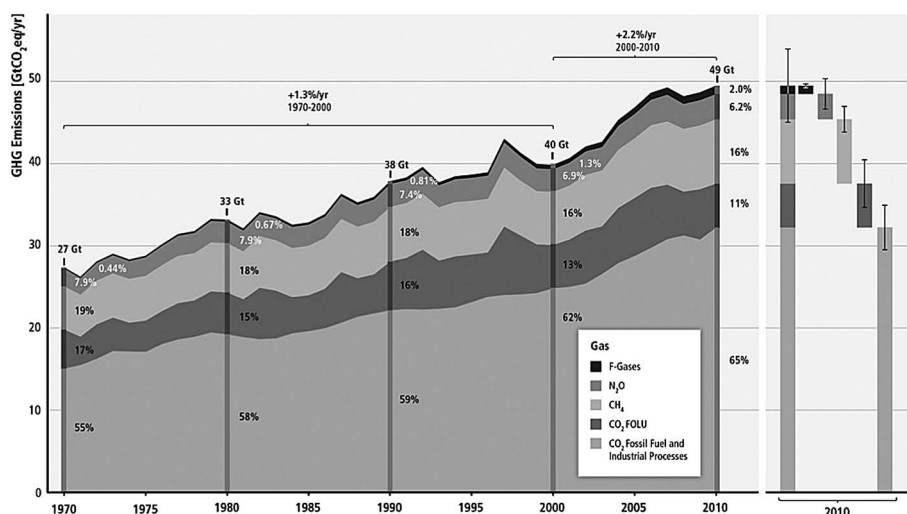
全体で見ると、宇宙に戻るのは、反射分107と長波放射235の合計342で、エネルギーバランスがとれているのですが、温室効果ガス(GHG: Greenhouse Gases)があるために、地球から宇宙に出ていこうとする放射エネルギー

が抑制され、大気下層の温度が、現在の気温を保ち、さらに徐々に上がっていくのです。因みに、産業革命時からの対流圏の放射バランスの崩れを「放射強制力」と呼んでいます。

IPCC 第5次報告書～現状と将来

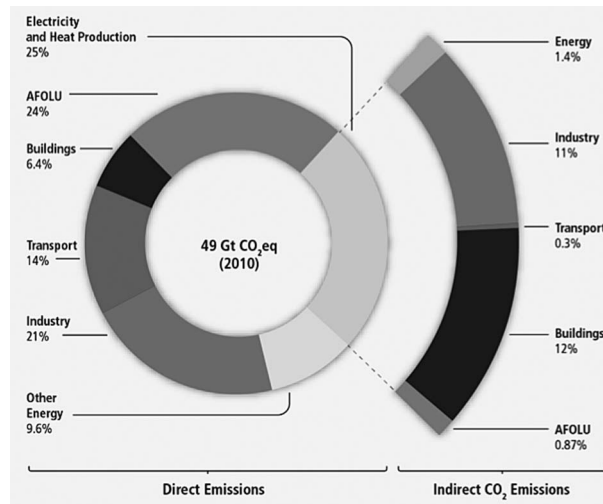
人為起源 GHG 排出量の現状

1970年以降の人為起源GHG排出量の経緯を見ると、化石燃料および産業プロセスからの CO_2 の伸びが全体の増加に寄与していることが分かります(図2参照)。そのシェアは全



(出所：IPCC，第5次報告書)

図2 人為起源温室効果ガスの世界排出量(ガス別)



(出所：IPCC, 第5次報告書)

図3 人為起源温室効果ガスの世界排出量（セクター別）

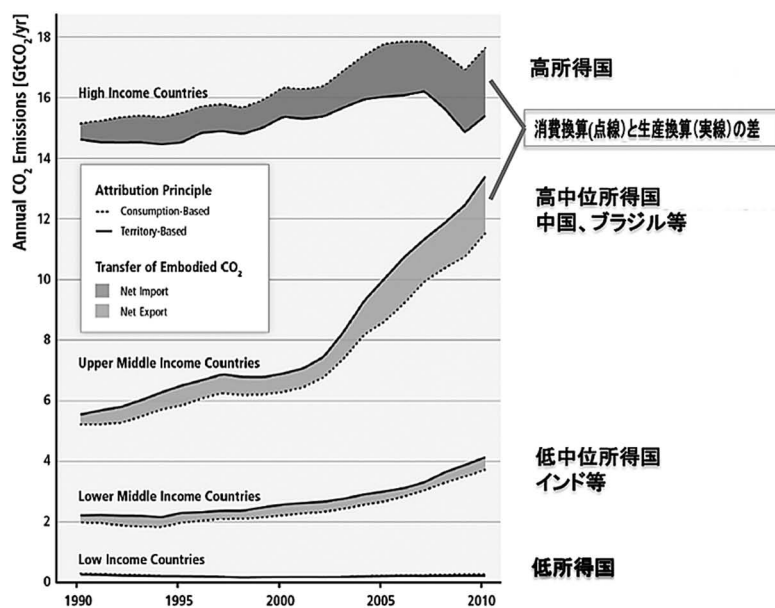
体の65%です。残りは森林や土地利用に伴うCO₂、メタン、亜酸化窒素、代替フロン類を含むフッ化ガスなどです。

2010年の人為起源GHG排出量シェアをセクター別に見てみます（図3参照）。直接排出は、産業、運輸、民生、農業・森林・土地利用（AFOLU）に分類されます。間接排出分は、電力や熱の利用を最終需要に割り振ったもので、全体の約4分の1を占めています。

地域別および国別排出量の推移

1990年以降の世界の温室効果ガス排出量の推移を地域別に見ると、近年の増加の主な原因は、中国、インド等の高中位所得国の大幅な伸びにあることが分かります（図4参照）。

一人当たり所得グループとして、高所得国、高中位所得国、低中位所得国、低所得国の4つの分類があり、また、点線の消費換算と実線の生産換算の2つの線が引かれています。



(出所：IPCC, 第5次報告書)

図4 人為起源温室効果ガスの世界排出量（地域別）

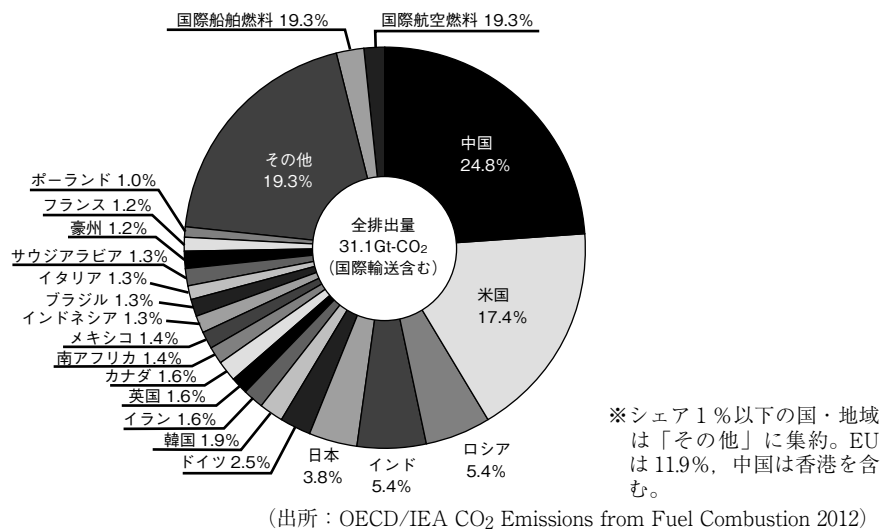


図5 化石燃料燃焼からの CO₂ 排出量 (2010 年)

高所得国の消費換算値は、高中位所得国からの輸入があることを反映して、生産換算値を上回っています。

2010 年の化石燃料燃焼起源 CO₂ について、国別排出割合では、中国が約 4 分の 1，続いてアメリカ，ロシア，インド，日本です。EU27 は集約すると約 12% で，3 番目となります (図 5 参照)。アメリカと中国の排出で，約 4 割であり，両国の参加しない削減枠組みは意味をもたないことがわかります。

将来シナリオと 2℃目標達成

人為起源 GHG の将来シナリオを示します (図 6 参照)。WG 1 で気候シミュレーションを実施する気候モデルの入力データとするため，21

世紀末の放射強制力の値に従って，4 種類の排出量シナリオ (RCP) が用意されました。例えば，2.6 は 2.6W/m² の放射強制力目標に沿ったシナリオ群で，温度上昇に換算すると，標準的な想定のもとでは産業革命以降約 2℃ 上昇に相当します。その後，統合モデル比較プロジェクトにより，幅をもった排出量シナリオが示されています。当研究所では，統合評価モデル比較プロジェクトへの参加を通じて，研究情報の提供に貢献しています。

1870 年以降の累積炭素排出量と温度変化の関係を示します (図 7 参照)。累積排出量を炭素換算で 1 兆 tonC に抑制しないと，2℃ 目標は達成できず，これまでにその半分弱が排出されていることが読み取れます。

2030 年までの 2℃ 目標の達成に必要な排出

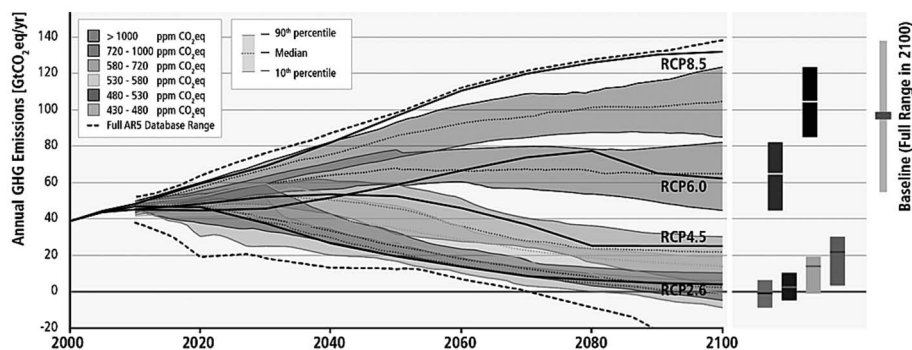
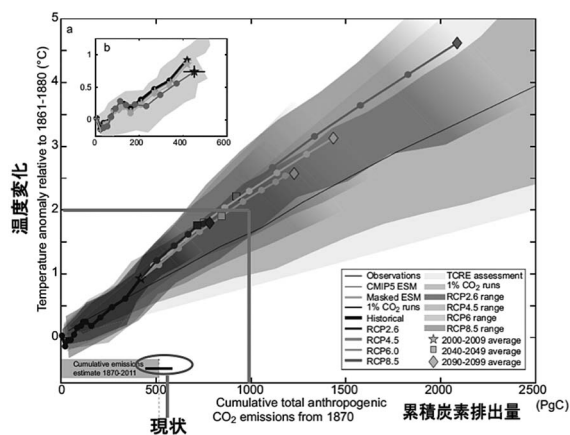
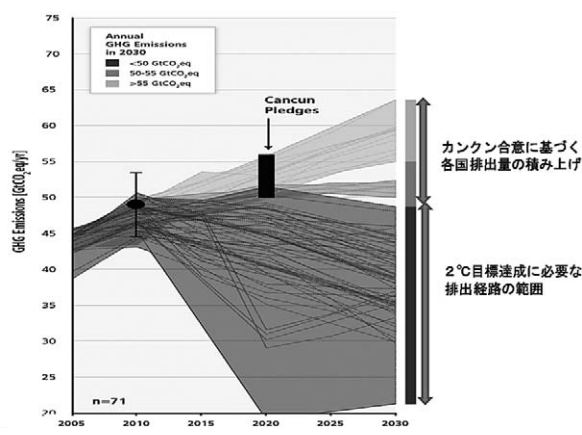


図6 人為起源温室効果ガスの世界排出量 (将来シナリオ)



(出所：IPCC, 第5次報告書)

図7 累積排出量と温度上昇



(出所：IPCC, 第5次報告書)

図8 世界排出量シナリオとカンクン合意

経路の範囲と、各国が提出している2020年の温室効果ガス目標であるカンクン合意報告の数字の積み上げを比較してみました(図8参照)。

カンクン合意に基づく削減プレッジの積み上げでは、2℃目標は達成不可能です。2℃目標を達成するためには、今後早いタイミングで世界排出量をピークアウトする必要があるという、現実的に困難な矛盾をどう調整していくのが気候政治問題となっています。

ベースラインシナリオ群と、2℃目標と整合的と言われている450ppm等価濃度のシナリオ群におけるセクター別の温室効果ガス排出を整理してみました(図9参照)。2030年、2050年、および2100年の範囲があります。セクターとしては、運輸、民生、産業、電力、

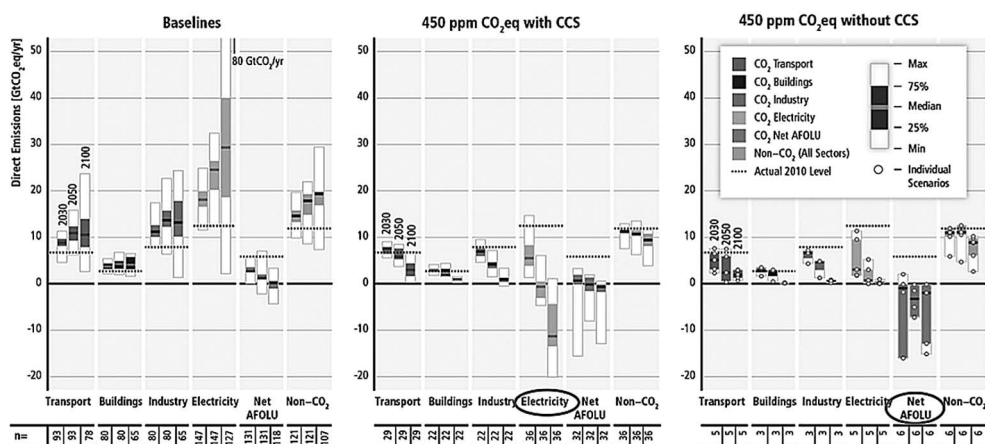
正味の農業・森林・土地利用、CO₂以外の温室効果ガスに分類されています。

ここで注目されるのは、グラフの縦軸に、マイナスの範囲が含まれていることです。450ppm等価濃度に抑えるためには、電力でバイオマスCCSを行うか、あるいは大規模植林などが必要となることを示しています。

適応策

気候変動影響を低減する、適応策の例を考えてみます。『第4次報告書』では、代表的な4分野での指摘を行っています。

「水」では、雨水収集拡大、水貯蔵と節水、再利用、海水淡水化、水利用と灌漑効率化、「農



(出所：IPCC, 第5次報告書)

図9 ベースラインシナリオと削減シナリオ

業」では、作付け時期と品種調節，作地移動，土地利用管理（浸食管理，土壤保護），「インフラ・居住地」では，居住地移動，護岸堤・高潮バリア，砂丘補強，湿地創出（海面上昇・洪水の緩衝帯），自然防護帯保護，「健康」では，暑さ対策行動計画，緊急医療サービス，気候感度の高い疾病調査と対策改善，安全な水の確保と衛生状況向上などです。

基本的な対策オプションは「第5次報告書」でも変わっていませんが，海洋の章などが追加されています。

気候工学（ジオエンジニアリング）

『第5次報告書』には，これまでになかった項目として，人為的に気候に介入する気候工学の記述が含まれています。

気候工学には，太陽放射管理 SRM（Solar Radiation Management）と CO₂ 除去 CDR（Carbon Dioxide Removal）があります。SRMは，太陽放射の入力を抑制するオプション群で，そのうちの成層圏エアロゾルの散布は，自然現象としての類似現象は火山噴火があり，成層圏に達する大規模噴火の場合は，数年にわたって温度が下がることが知られています（図10参照）。

また，CDR は直接空気中から，またはバイ

オマスなどを通じて間接的に空気中から CO₂ を除去する方法です。回収した CO₂ は地中などに貯留すれば，負の排出「ネガティブ・エミッション」が実現できることになります。

そのコスト対効果や副作用の検討については，エネ総研で実施中のプロジェクトで評価中です。

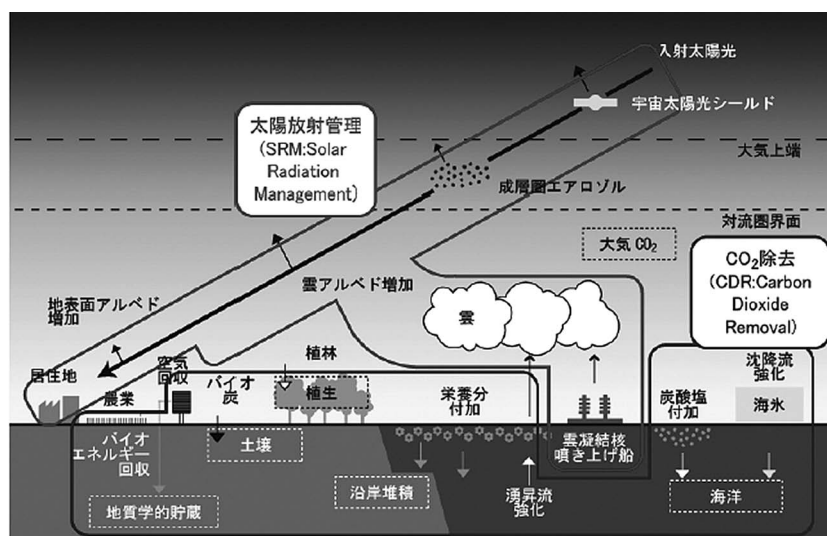
今後の国際気候変動政策

未だ不透明な削減枠組み

今後の国際気候変動政策について考えてみます。2008年～2012年までは，京都議定書第1約束期間であり，EUや日露は，削減義務を負っていましたが，その他の国々は削減義務がありませんでした。

現在は京都第2約束期間であり，主にEU諸国が削減義務を負っています。2020年以降の世界削減枠組については，現在気候変動枠組条約のもとで，ダーバンプラットフォーム作業部会が結成され，議論を行っています。

2015年の早い段階に各国の2030年削減目標を提出することが予定されています。その



（出所：杉山昌広『気候工学入門』，日刊工業新聞社，2011年（原図はLenton and Vaughan, 2009））

図10 「気候工学」による温暖化対策のイメージ

後パリの COP21 で基本合意を目指していますが、新たな削減枠組みについての交渉はさほど進展しておらず、合意や開始年については、いまだに不透明な状況です。

しては、社会的課題（倫理、社会合意等）に配慮して進める必要があります。

以上で発表を終わります。ご清聴ありがとうございました。

まとめ

気候変動の原因は、人為起源の GHG 排出であることは確度は非常に高いです。そのうちでも、化石燃料燃焼および工業プロセス起源の CO₂ が全体排出増加に寄与しています。

長期的に、エネルギー利用方法の選択などを通じた、どの排出シナリオをとるのかによって、気候変動の大きさは大きく変わってきます。特に 2℃ 目標などの厳しい温度目標に基づくトップダウンからみたチャレンジは、その実現がかなり難しいです。積み上げによる現実的シナリオとの短期的整合を図るのが困難な状況にあるからです。

本質的な対策は緩和策（温室効果排出削減）ですが、温度目標に応じた適応策を組み合わせることが必要となります。どちらをどの程度の大きさで実施し、組み合わせていくのかは今後の課題ですが、海面上昇影響が既に現実のものとなっている島嶼国などにとって適応策は目前にある問題です。

緩和策、適応策の実施における技術の役割は大きいです。エネルギー工学や土木工学などがそれらの技術にあたります。ただし両者の推進においては、原子力、CCS といった技術の「社会受容性」の問題もありますし、高価格帯のエネルギー技術および気候変動に起因する気象災害へ対応にどの程度費用を投資すべきかという「投資規模の適切」の問題について社会的な合意が必要です。

気候工学の検討については、技術的課題とともに、「自然への冒涇」としてそれ自体を行うべきではないという意見もみられます。影響が地球規模になる可能性のある技術群に対

[講演]

今後の普及が期待されるエネルギー技術（３） ～日本の電力供給を考える～

酒井

奨

（プロジェクト試験研究部
主任研究員）



はじめに

「日本の電力供給を考える」と題して、お話を進めたいと思います。本日のお話の内容は、まず、背景を述べた後、国内の発電所の状況を簡単にご紹介し、今後の日本の電力需要について2050年という長期で見た予測解析結果についてお話しします。そして、今後の対策や課題を述べさせていただいて、最後に簡単にまとめさせていただきたいと思います。

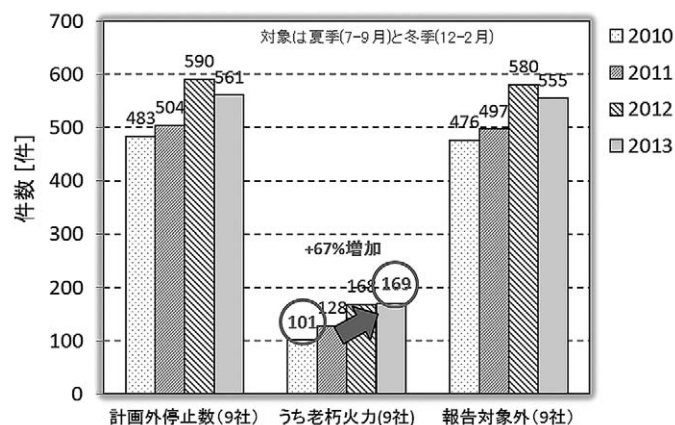
背景

東日本大震災から3年半が経過しました。この間、日本のエネルギーの状況は大きく変わりました。その最たるものが原発の休止ではない

でしょうか。先日、九州電力(株)川内原子力発電所の「設置許可の変更届」に対する許可が出ましたが、現在、48基が休止状態となっています。これにより、石油火力、石炭火力、LNG火力といった火力発電への依存度が9割近く（電気事業連合会2014年5月発表）になっています。

『エネルギー白書2014』によると、運転開始後40年を超えても電力供給してくれている火力発電所の数は、震災前の2010年の倍近くに増えています。

図1の左は電力会社9社から報告のあった発電所の全停止件数。真ん中は、運転開始後40年以上稼働している発電所の停止件数、そして右の「報告対象外」というのは、騒音、振動、集塵機の性能低下などによって、停止を余儀なくされた発電所の停止件数です。どの棒グラフも2010年から2013年まで停止件数が増えています。総数では、3年間で80件ほど増えています。40年以上稼働している発電所では68件、約1.7倍に増えているという状況です。



（出所：エネルギー白書2014）

図1 各年度の計画外停止の件数（2010年度～2013年度）

原発の停止によって、火力発電所がフル稼働を余儀なくされている状況の中で、今後、日本の電力供給をどう考えていけばいいのか。その問いに対して、2050年という少し長期のビジョンで、電源構成を考察すれば何らかのヒントが得られるのではないかと思います。色々な条件を付けて解析してみることにしました。

発電所の現状

LNG 火力が最大

まず、国内の発電所の現状について、石炭火力、石油火力、LNG 火力、原子力の数値を見

ると、LNG 火力が最大の電力供給源となっているのが分かります（表1 参照）。

急増する長期稼働の石油火力

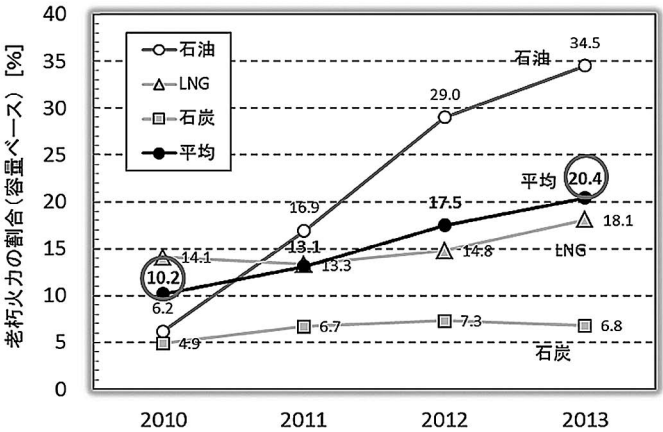
2010年から2013年までに稼働している火力発電所の中で、運転開始から40年以上にわたり長期に稼働している発電所の構成割合を見ますと、特に石油火力発電所に占める割合が急増しています（図2 参照）。

オイルショックのあった1970年代は石油火力がほとんどだったのですが、国際エネルギー機関（IEA）が決定した「石炭に関する行動原則」（1979年）により、石油火力発電所の新設が禁止され、その後、新設がなかったために、今、長期稼働している石油火力発電所の割合が急増

表1 火力発電所および原子力発電所の設備容量の状況

	状況	基数	出力(MW)	摘 要
石炭火力	稼働中	90	41,223	
	建設・計画中	13	7,130	松浦2、常陸那珂3.4、バイオマス混焼3基、USC 3基、IGCC 2基など
	小計	103	48,353	
石油火力	稼働中	114	37,466	1965～2012年（緊急設置電源が多い）
LNG火力	稼働中	124	69,999	千葉GT、鹿島GT、上越が稼働（2014.4～）
	建設・計画中	22	16,177	姫路第二、新仙台、川崎、吉の浦、五井など
	小計	142	86,176	
原子力	待機中	48	44,264	安全審査申請20基（20,100MW）
	建設中	2	2,756	島根3、大間
	小計	50	47,020	

（2014年9月現在）



（出所：『エネルギー白書 2014』）

図2 老朽火力の割合の推移

しているという状況です。LNG 火力も 14% から 18% に増えています。石炭はあまり変わっていませんが、7% くらいが長期稼働の発電所です。

それによって各火力発電、原子力発電の割合がどうなるのか。いくつかの検討条件において、人口推移、国内総生産（GDP）予測、経済成長率などを加味して予想しました（表 2 参照）。

検討条件	結果と考察
------	-------

2050 年までの電力需要量と電力構成の解析

「エネルギー基本計画」(2014 年 4 月閣議決定)などを参考に、2050 年まで電力需要量と電力構成を解析していきたいと思います。
まず、何年にどのくらいの電力需要があるのか。

2025 年をピークに減少する電力需要量

電力需要量は、2020 年が約 1 兆 kWh、2030 年が 9,645 億 kWh というのが「長期需要見通し（再計算）」(2009 年 8 月)の値になります（図 3 参照）。

表 2 検討条件

【電力需要量】	・長期需要見通し（再計算）(2009.8)、人口予測（人口問題研究所）や GDP 予測（日本エネルギー経済研究所（IEEJ）『アウトLOOK 2013』）をベースに計算。
【原子力】	・原子力ゼロと、2025 年までに 48 基全て再稼働する 2 つのケースを想定。 ・全て再稼働するケースは、2020 年に（容量ベースで）半分、そして 2025 年までに全て再稼働すると仮定。設備利用率は 70% とした。 ・稼働年数は 40 年とし、停止期間中は稼働年数に加えない。
【再生可能エネルギー】	・2030 年までは長期需要見通し（再計算）(2009.8)を採用。 ・2040 年に発電電力量で新エネルギー（風力と太陽光）は全体の 11%（IEEJ『アウトLOOK 2013』）と予想。2040 年以降は外挿。 ・地熱、水力（一般水力、揚水）は 2030 年以降、一定値を仮定した。
【石炭火力】	・ベース電源とし、2012 年の年間平均設備利用率 75.3% を上限とした。 ・稼働年数は 50 年。
【LNG 火力】	・ミドル電源とし、2012 年の年間平均設備利用率 67.8% を上限とした。 ・稼働年数は 50 年。
【石油火力】	・ピーク電源として不足電力量を供給する調整代（シロ）とし、2012 年の年間平均設備利用率 48.2% を上限とした。 ・稼働年数は 50 年。

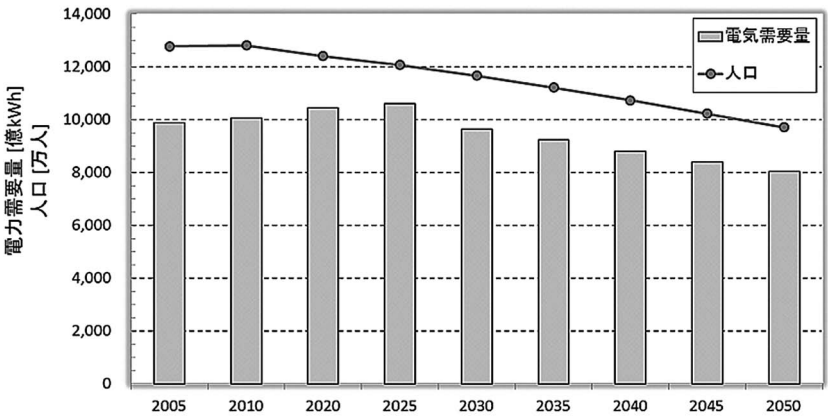


図 3 電力需要量の推移

電力需要量の計算には、「長期需要見通し（再計算）」の「最大努力目標ケース」を採用したので、最大限の省エネルギー効果が加味されています。よって電力需要量は、棒グラフのように、人口減少とともに2025年をピークに減少していきます。2050年になると、約8,000億kWh（2013年の約9,400億kWhから15%減）になります。

今回、この電力需要量の結果を踏まえて原発が全て再稼働するケース、原発が全く再稼働しないケースの2つで電力構成の推移などの解析を行いました。

[原発再稼働ケース]

原発が2025年に48基全てが再稼働し、そ

の後は40年の稼働年数に達して少なくなっていくと想定した場合、火力、原子力、新エネルギーが電力需要量を満たす形で入っていきます（図4参照）。

注目は、2045年以降の「不足分」です。現在発表されている火力発電所の新設だとか、リプレースの情報しか計算条件に入っていないので、稼働年数が50年を過ぎると停止していきます。その結果、2045年辺りで電力供給が不足してきます。その量は、2045年で401億kWh、2050年で1,450億kWhになります。

発電容量50万kWの火力発電所（設備利用率75%）だと年間発電量が約33億kWhですから、1,450億kWhを補うには44基くらい火

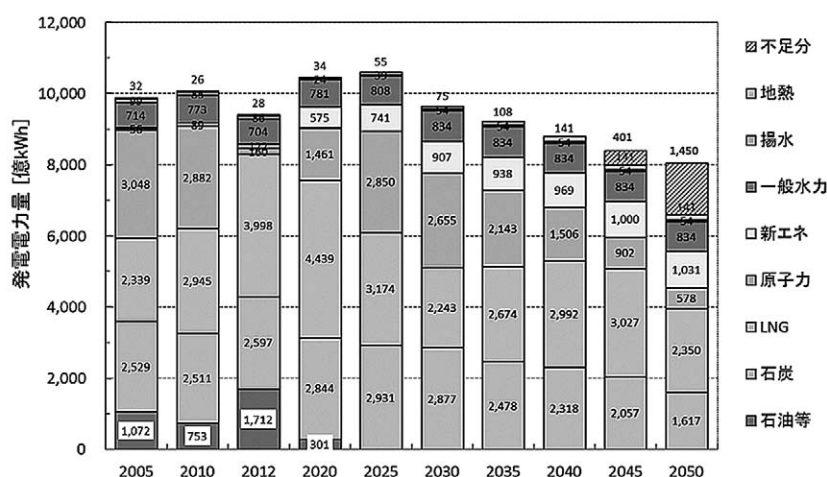


図4 電源構成の推移（全ての原発が再稼働するケース）

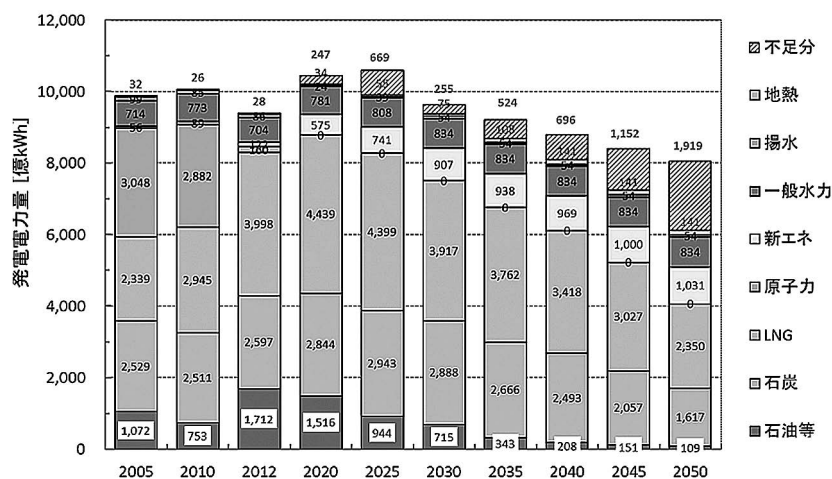


図5 電源構成の推移（原発が再稼働しないケース）

力発電所が必要です。2050 年までにあと 35 年ですから、毎年 1 基ずつ増やしていく感じになると思います。

[原発停止ケース]

原発が全く再稼働しないケースを想定した結果では、早速 2020 年から 247 億 kWh の不足となります。2050 年では、約 2,000 億 kWh という大きな電力不足になります（図 5 参照）。上述の 50 万 kW 級火力発電所で補うとすれば、2,000 億 kWh を供給するには約 60 基が必要となります。

課題と対策

火力による電力不足の供給

では、この電力不足をどうするか。例えば、火力発電所の設備利用率を上げる、原発を再稼働させる、新エネルギーの導入量を増加させる、火力発電所のリプレース、新設の計画を進めていくなど、色々な方法があると思います。

ここでは火力発電所のリプレースや新設について考えてみます。火力発電所のリプレースに

は 10 年くらいかかります。ですから、今なら 2025 年以降の電力不足問題の対策として、ギリギリで間に合うタイミングになると思います。

二酸化炭素排出量への影響

例えば、2030 年以降の電力不足への対策として、石炭火力や LNG 火力を導入した場合、環境性、経済性にどんな影響を与えるか計算してみました。原発が全て再稼働しないケースで、二酸化炭素（CO₂）排出量を見てみます（図 6 参照）。

先ほどの結果では、原発が全て再稼働しないと、2050 年に 1,919 億 kWh という電力不足が発生します（図 5 参照）。図 6 中の「既存の発電所」とは、稼働年数 50 年に達していない火力発電所のことです。そして、2030 年以降に、電力不足への対策として、石炭火力、LNG 火力を導入した場合の CO₂ 排出量を棒グラフの上の部分に付け加えました。また、2020 年に温室効果ガス（GHG）排出量を 2005 年度比で 3.8% 削減する目標（COP19）をエネルギー転換部門に充てた数字も図中の破線で示しました。既存の発電所からの排出量を考えると、原発が再稼働しない場合、3.8% の削減目標達成は不可能という状況です。また、2050 年に 1990

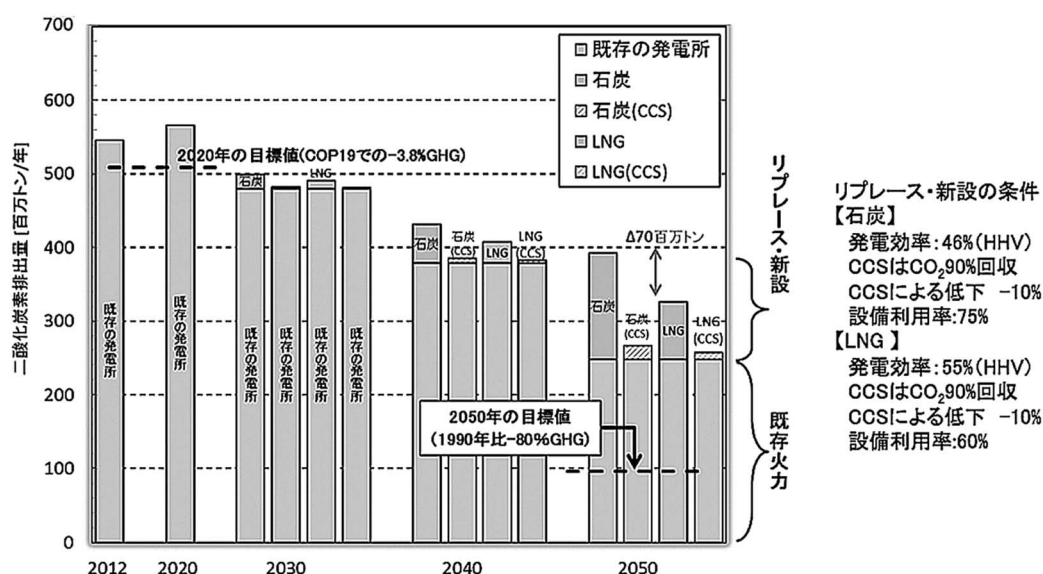


図 6 電力不足を火力発電で補った場合の CO₂ 排出量の推移

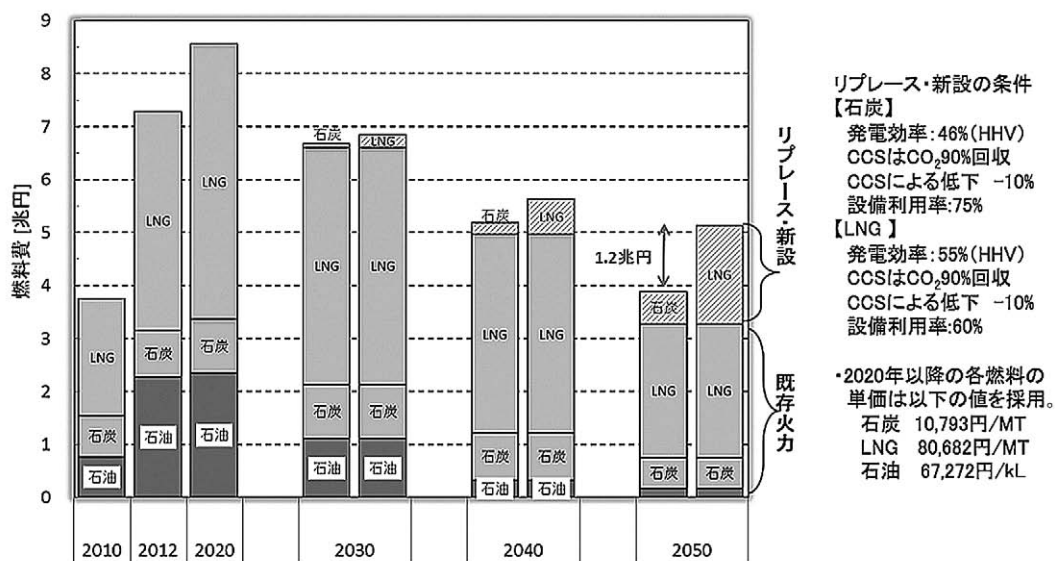


図7 電力不足を火力発電で補った場合の燃料費の推移

年度比 80%削減（第4次環境基本計画）という目標も、現在、稼働中の発電所をそのまま動かし続けると達成困難です。

石炭火力で不足分を補う場合とLNG火力で補う場合の差は顕著です。LNGのCO₂排出原単位は石炭の約6割ですから、2050年のCO₂排出量で約7,000万トンの差が出ます。

さらに、CO₂回収貯留（CCS）の技術は、CO₂排出量の削減効果が大きいことが分かります。石炭火力であってもCCS付きとCCS無しを比べると、1億2,000万トン～1億3,000万トンくらいの差が出ています。ただ、CCSをすると発電効率が10ポイントくらい落ちてしまいます。その分、石炭やLNGが余分に必要となります。そこで、CCSのCO₂の回収率を保ったまま、発電効率を下げないような技術をサポートし、成長させていくことが重要ではないでしょうか。そういった技術として、酸素吹き石炭ガス化複合発電（IGCC）、空気吹きIGCC、ケミカルルーピングなど、CO₂回収に適した技術が日本国内で育ってきています。

燃料費への影響

続いて経済性ですが、一番分かり易い燃料費

について解析してみました（図7参照）。

原発が全く再稼働しないケースで、石油、石炭、LNGの燃料費がどのくらいかかるか。便宜上、現在の燃料単価をそのまま2020年以降も採用しています。

「2012年に燃料費が7兆円を超えた」というのは、非常に大きなニュースになりましたが、このままでいきますと、2020年には8.5兆円くらいになると予想しています。そして、2030年以降は、電力需要の減少によって燃料費も減少していきます。

電力不足を埋めるために、石炭火力を入れた場合とLNG火力を入れた場合の差は、2050年で約1.2兆円になります。やはり、石炭は単価が安いので、2050年の燃料費が震災前と同水準になります。

このままだと、電力供給量が不足してしまう。また、それを補う火力の種類によって、環境性や経済性に与える影響も大きく異なってくるということが分かりました。では、状況に応じた対応策をとるために、今からどういう準備が必要なのか、を考えることが、今後、非常に重要です。

まとめ

今後、原発が全て再稼働しても、火力発電所の稼働年数（本報では50年）による運転停止で発生する電力不足に早急に対応することが迫られます。この時、「エネルギー基本計画」にもある「3E+S」という考えに基づく、状況に応じた対応が大事になります。その場合、各エネルギーの強み、弱みを考えた柔軟な対応が多様性のあるエネルギーミックスの実現、ひいては、本日のシンポジウムのタイトル「多層的供給構造の実現」にもつながるものと考えています。

以上です。ありがとうございました。

[講演]

今後の普及が期待されるエネルギー技術（４） ～原子力発電に求められているものは何か～

田中 隆則（理事・原子力工学センター長）



はじめに

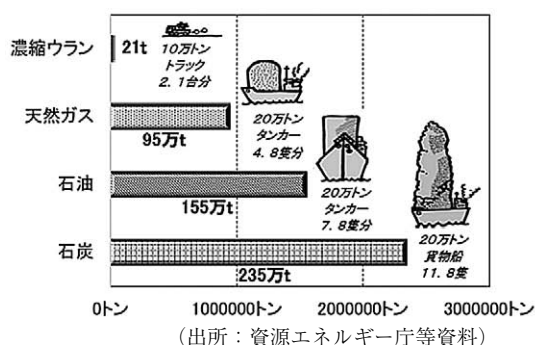
電力供給における多層的な供給構造において、原子力をどう見るかお話しします。

まず、原子力発電技術の特性を確認し、福島第一原発事故とは一体どういう事故だったのか、それを乗り越える原子力安全への対応がどのようにとられているのか、また、どのような対応があり得るのかを見ます。それから、世界の動き、原子力をめぐる安全以外の問題についても言及しまして、私どもが原子力の問題にどのように関わっているのか、簡単にご紹介したいと思います。

原子力発電技術の特性

原子力の場合、100万kWの発電所を1年間稼働させるのに必要な燃料（濃縮ウラン）

〈100万kWの発電所を1年間運転するのに必要な燃料〉



〈国内民間在庫日数〉

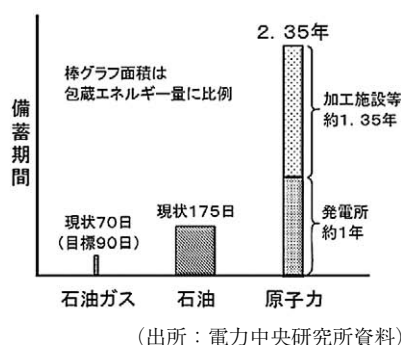


図1 原子力発電技術の特性

福島第一原発事故

現実となった原子力災害

そういう中で、2011年3月11日、福島第一原発事故が起きました。これは、事故と言うより「原子力災害」と言ったほうが良いと思います。われわれは、原子炉に内蔵する放射性物質の危険性を身をもって知ることになりました。そういう中で、安全対策、あるいは規制組織への不信感を抱いたということです。また、福島第一原発の汚染水処理、廃止措置ということがなかなか進まないことも目の当たりにしています。更に、福島環境修復の困難さ、住民の方々の負担の重さも見ているわけです。そういう中から、技術への不信、規制を含めた関係機関、あるいは関係者への不信が非常に高まっており、再起動を否定的に見る方がいまだに多いという状況です。

事故の原因

福島第一原発事故の原因は何だったか。想定を超える大規模な自然災害によるものです。よく「地震が原因」と言われていますが、原子力規制委員会の調査でも、主要な原子炉システムの損傷は認められておりません。地震が直接の引き金になったわけではないということです。事故の直接の原因は、基本的に津波による電源喪失です。それにより、炉心冷却ができない中で放射性物質が外部環境へ放出されました。

また、アクシデントマネジメントの不備もありました。シビアアクシデント対策を規制要件としていなかった。つまり、「深層防護思想」という原子力の安全対策の考え方の1つが不徹底でした。その中で、電源喪失によって、冷却／閉込めに失敗し、更に、事故が実際に起こった時に備えたマネジメント教育や訓練も不十分で、放射性物質の放出に至ってしま

いました。緊急時対策の不備も事態を悪化させました。

原子力安全への対応

日本の対応

それでは、こういう安全対策について、いったいどのように考えられているのか。日本の原子力規制委員会は、大規模な自然災害やシビアアクシデント対策を柱とする新規制基準を策定し、再稼働に係る審査を実施しているところです。

欧州の対応

欧州では、既存の原子力発電所に対し、ストレステストにより、大規模な自然災害やシビアアクシデントへの耐性を評価しました。その結果に基づいて、各国ごとに安全性向上対策を実施中です。また、規制制度についても、安全要件の改定などを進めています。

アメリカの対応

米国原子力規制委員会（NRC）は、福島第一原発事故直後に、タスクフォースを設置し、米国内の原子力発電所の対応能力評価を行い、優先度に応じて整理した対策を取りまとめました。それに従った安全対策を進めています。更に、深層防護の考え方を踏まえた規制のフレームワークのあり方についても検討をしているところです。

国際機関などの対応

現在、国際原子力機関（IAEA）では、福島第一原発事故の教訓を反映し、安全要件も含めた安全基準全体の見直しを進めています。

また、福島第一原発事故の包括的な報告書がまとめられているところでもあります。

いずれにしても、日本で基本となる安全対策は、大規模な自然災害への対応とシビアアクシデント対策で、これは国際的にも同様となっています。

世界の原子力発電の見通し

世界の動き

では、原子力の開発・利用について、世界の動きはどうなっているかという、国によって様々です（図2参照）。ドイツのように「やめる」と決断をしたところもありますし、あるいはイギリスのように、引き続き大きな開発計画をもって、新たに発電所を作るところもあります。アジアは、着実に原子力利用が拡大していくと見込まれます。

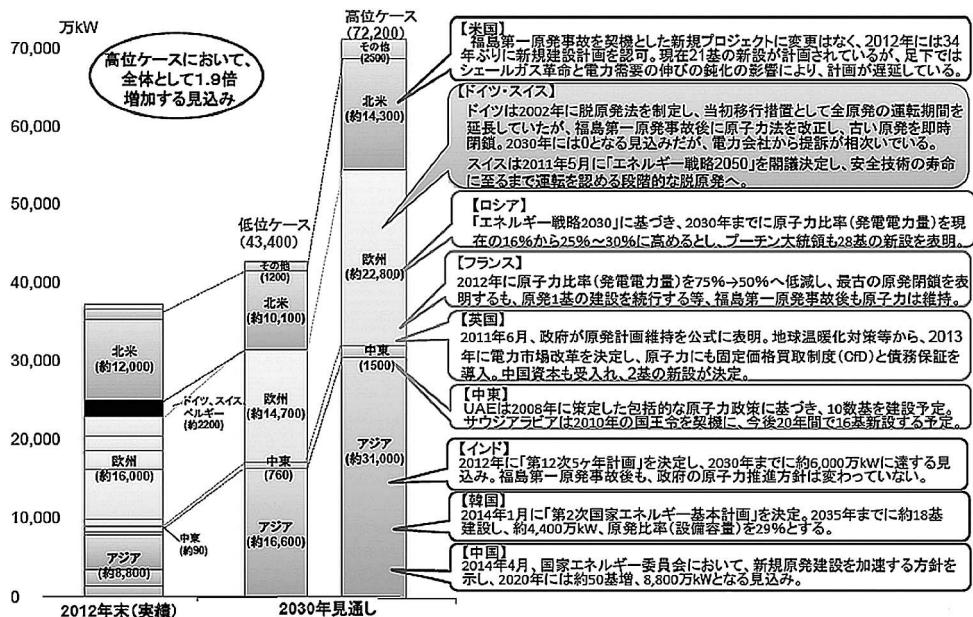
ケースによって、伸びが大きい、小さいというばらつきはありますが、世界の原子力は、今後、現状よりも伸びていく方向にあるということです。

アジアの原子力発電所建設とわが国の対応

このように、伸びていく世界の原子力ですが、特にアジアでの原子力発電所建設に対し、日本としてどう対応していけばいいのか。

まず、倫理的な問題として、国内で安全でないと考えるものを、海外に持って行く、あるいは建設を進めることが良いことなのかという問題があります。ですから、少なくとも国内においても、原子力発電所は安全で、かつ今後も利用可能だということを確認する必要があります。まさに今、規制委員会が九州電力(株)川内原子力発電所の再稼働について、安全向上が図られ、今後とも利用可能であるという結論を出つつあります。

その上で、何をするかですが、まず、開発途上国が導入する炉は、当然、われわれが今論じている炉よりも進んだ新しい炉になります。新しい炉では、より高い安全性を提供できます。日本には、世界でも高い技術力を持った原子力プラントメーカーが3つありますから、その優れた技術力をもって、途上国に安全性の高い原子力システムを提供することが、日本の責務だと思います。



(出所：資源エネルギー庁資料)

図2 2030年における原子力発電設備容量の見直し (IAEA)

次には、私がヨーロッパに駐在していた時にチェルノブイリ事故が起こったのですが、ヨーロッパの人々は、放射性物質の放出を身をもって体験したことから、切実な思いで色々な安全対策を講じてきました。ですから、日本も福島第一原発事故という原子力災害を経験した切実さをもって、途上国で原子力システムをうまく使っていくために、規制制度を含めた色々な社会システムを伝えていくことが重要ではないかと思います。

さらには、日本が国際的な議論に積極的に参加して、途上国にも国際的に進んだ安全対策を取り入れていくという流れを作っていくことが重要だと考えます。

原子力を巡る諸課題への対応

安全問題以外にも、原子力には色々な問題があります。まず、福島の廃炉問題、環境修復にきちんと対応していけるかどうか。あとは、数万年といわれる高レベル廃棄物の生活圏からの隔離という高レベル廃棄物問題があります。これについては、今、色々な合意形成の仕組みの検討がされていますし、あるいは将来世代がもう一度取り出して、別の技術で対応できるようにすることも考えられないかという議論がなさ

れています。再処理やプルサーマルなど核燃料サイクルの確立。既設炉の廃止措置についての効率的な実施の問題。また、将来もかなり超長期にわたって原子力をつくる、使うということであれば、どのような原子力技術が必要なのかという開発問題もあります。

おわりに

エネルギー総合工学研究所の関連活動

私どもエネルギー総合工学研究所におきましては、そのような問題に幅広く取組んでおります。

既設発電所の安全性を高めるための技術開発（図3参照）を行っておりますし、福島の廃炉関係では炉内のどこにデブリが分布しているかを調べて、取り出しを容易にするためのいろいろな調査研究も行っています。

また、福島の環境関係、高レベル廃棄物の問題、さらに先を見た技術開発にも取り組んでおります。

引き続き、技術の側面から課題解決に向けて貢献していく所存です。

以上で終わらせていただきます。ご清聴、ありがとうございました。

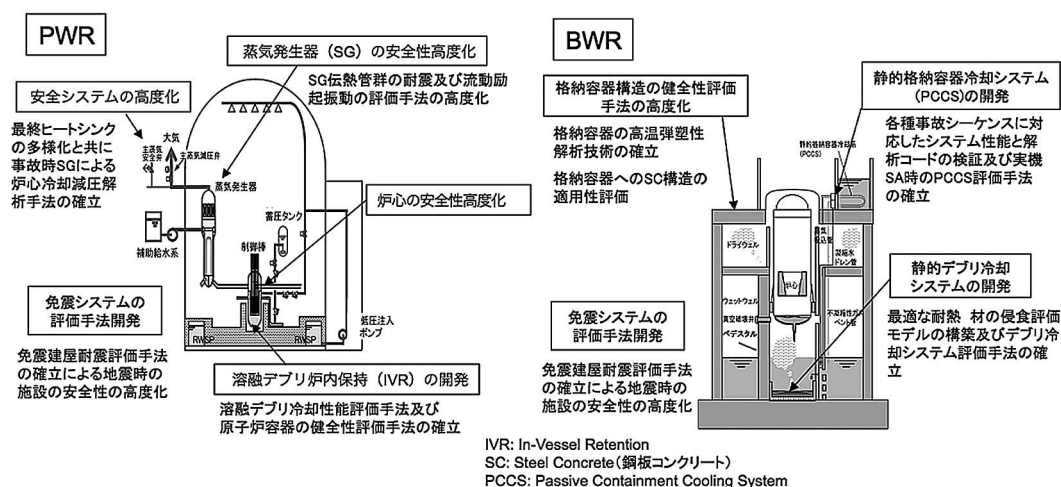


図3 原子力発電所の安全対策高度化のための技術開発

【講演】

今後の普及が期待されるエネルギー技術（５）

～シェール革命の影響を読む～

水田 美能（プロジェクト試験研究部
参事）



はじめに

私はもともと石油の専門家ですが、米エネルギー省（DOE）へのインタビュー、アメリカの採掘現場の視察を踏まえ、技術的観点で、「シェール革命」で何が起きているのか、今後何を見ておくべきなのか、皆さんのヒントになりそうなこととお話したいと思います。話の内容は、「シェール革命とは」、「生産技術」、「生産の現況」、そして「波及効果と今後」です。

「シェール革命」とは

年率５％で急増するガス生産量

アメリカのガス生産量は、近年、年率５％

以上で増えています（図１参照）。図中の棒グラフは、対前年度の伸び率です。この影響もあり、世界的な指標ブレント原油価格、アメリカの指標 WTI、そしてガスのヘンリーハブ価格に大きな差が出ています（図２参照）。

2020 年頃には純輸出国に

DOE の米エネルギー情報局（EIA）によると、アメリカは 2020 年頃には、生産が消費を上回り天然ガスの純輸出国になります（図３参照）。

今年出た『年次 エネルギー見通し 2014』と昨年出た『年次 エネルギー見通し 2013』を比較すると、生産スピードが上がっているため、輸出が始まる年が２年くらい前倒しになっています。アラスカ、ハワイを除く全州（Lower 48 States）で、タイトガスや在来型ガスの生産量はほとんど増えませんが、シェールガスの部分が増産されるために、このような強気の予想がなされているわけです（図４参照）。

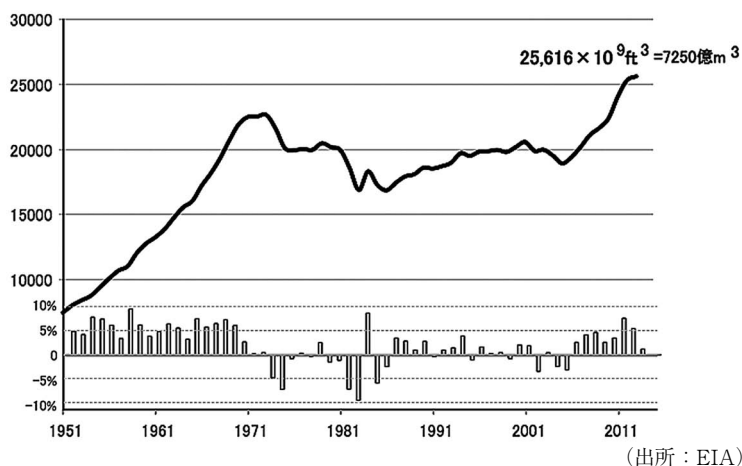


図１ 米国の天然ガス生産量の推移

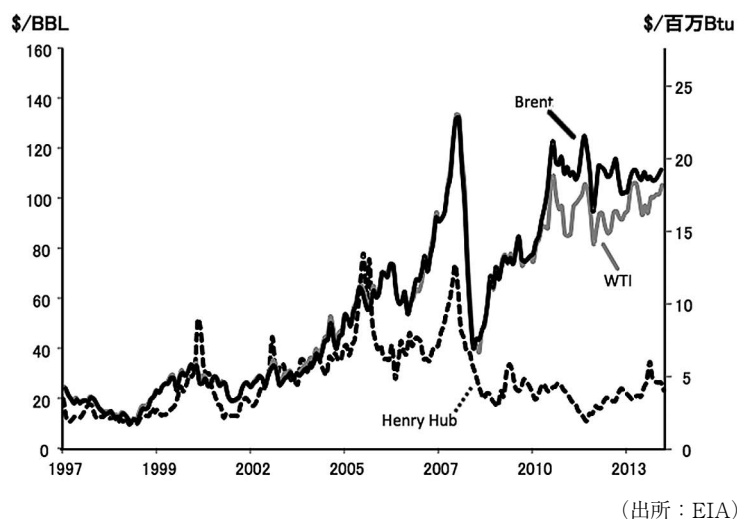


図2 原油価格と天然ガス価格の推移

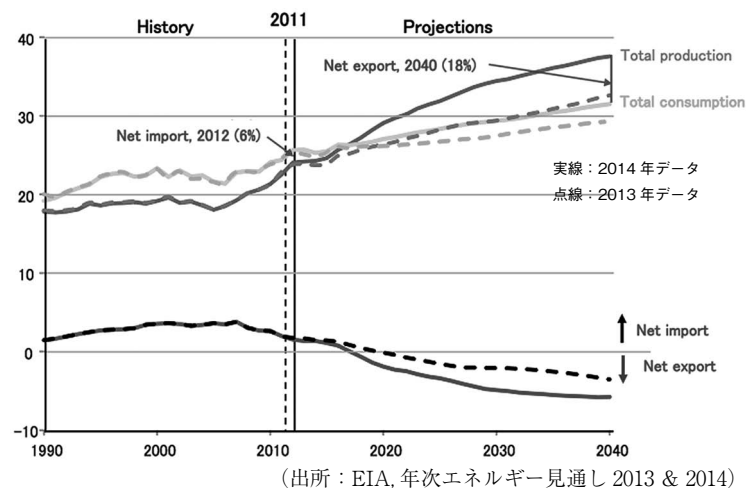


図3 米国における天然ガス需給バランスの将来予測

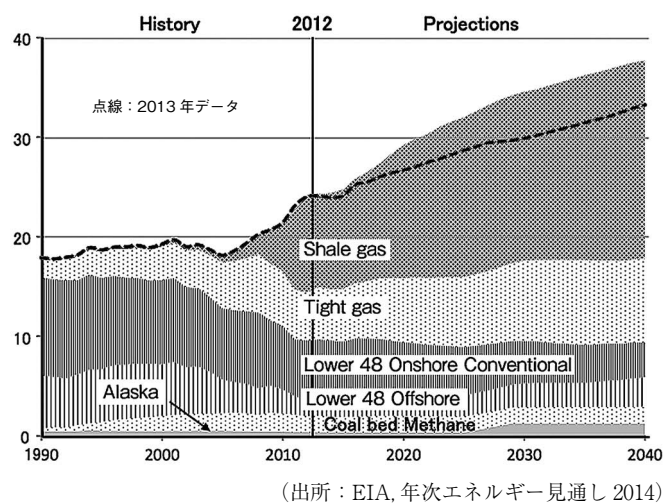


図4 米国のソース別天然ガス生産予測

シェールガス生産技術

水平坑井とハイドロフラクチャー（水圧破碎）

シェールガスはどうやって生産されているのか、改めて見てみたいと思います。シェール層に閉じこめられているのがシェールガスで、その回りが、タイトサンドガス、タイトガスと言われるものです。また、非在来型では、コールベッドメタンもあります（図5参照）。

今回 DOE にインタビューして、私が確認したところでは、アメリカで非在来型ガス（Unconventional Gas）とは、シェールガス、タイトサンドガス、コールベッドメタンのことです。DOE 統計でも完全に分けて報告されています。

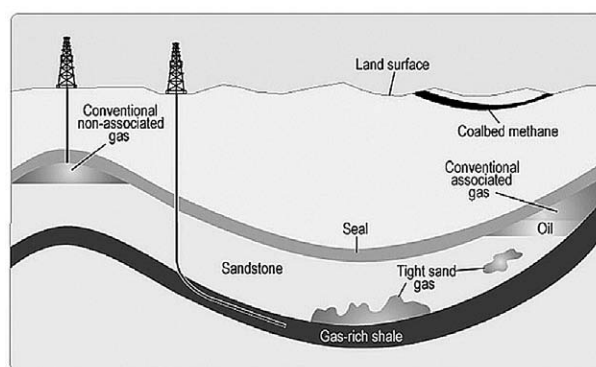
一方、非在来型オイル（Unconventional Oil）には、シェールオイル、タイトオイルがあります。狭義では、シェールオイルは、シェール層そのものから回収されるオイル分で、タイトオイルは、その回りにしみ出ているオイル分です。DOE は、この狭義のシェールオ

イルとタイトオイルをまとめてタイトオイル（Tight Oil）とすることにしています。

シェールガスの採掘技術は、水平坑井とハイドロフラクチャー（水圧破碎）だと言われますが、パーミアン（Permian）地域やニオブララ（Niobrara）地域では、縦に何層にもわたって回収する方式が実施されています（図6参照）。もちろん、主力は、水平掘りと水圧破碎で、水平方向で約2マイル（3キロくらい）を12段階に分け、順番に水圧破碎をやっているのが最も一般的な方法だと EIA は言っていました。層の厚みが300～500フィート（91～152メートル）です。そこをきれいに水平に掘っていく技術がアメリカでは完成されているということです。

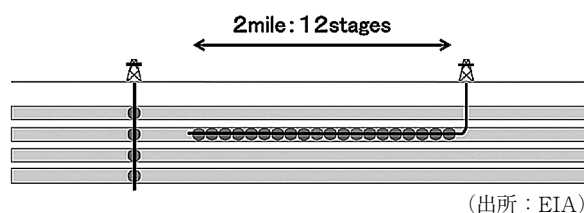
生産開始後2年で減衰するシェールガス

シェールガスは、在来型ガスと違い、沢山貯まっているところから出てくるわけではありません。狭い地域を掘るので急激に減退していきます（図7参照）。掘り始めてから2年くらいで、生産量が7、8割落ちるのが当たり前のようなところもある、非常に特徴的な資源です。



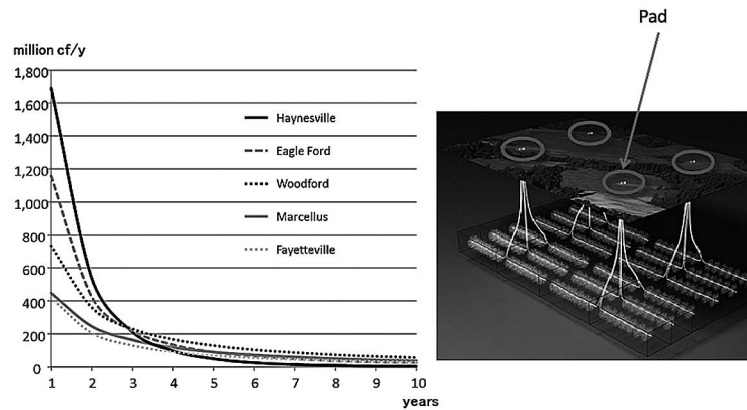
（出所：EIA, 米地質調査所）

図5 シェール資源とは



（出所：EIA）

図6 シェールガスの採掘技術 ①



(出所：EIA, 年次エネルギー見通し 2012)

図7 シェールガスの採掘技術 ②

したがって、Pad と呼ばれるリグを設置して、沢山掘って、水圧破碎で順番に掘り続けないと、ある生産量が確保できないという性質の資源なのです。

他国への適用可能性

では、アメリカで蓄積された、このような技術を使って、シェールガスがある国や地域、例えば、中国、ポーランド、西シベリアで、シェールガスやタイトオイルを生産していく可能性はあるのでしょうか。ポーランドは以前から意欲的にやっています。アルゼンチンもタイトオイルを掘っています。中国もやり始めました。中国の場合、砂漠地帯なのに大量の水が必要な水圧破碎が使えるのかという疑問が出てきます。しかし、つい最近、水の代わりに二酸化炭素 (CO₂) を使う技術が開発されましたので、中国の砂漠地帯でもガス生産が可能だと思います。ただ、アメリカは石油開発の長い歴史の上に技術を蓄積し、ノウハウを獲得したわけですから、ほかの国がそれを応用するのはそう簡単ではないだろうと思います。

また、世界で稼働中のリグの約6割が北米に集まっています。アメリカで稼働中のリグは1,900 くらいですが、今の生産量を維持するにはそれだけ必要なわけです。他の国にとって、同じだけの数のリグや掘削技師を確保するのはそう簡単ではないと思います。それが

できて、今のアメリカの生産スピードになるには、まだかなりの時間がかかるでしょう。

シェールガス生産の現状

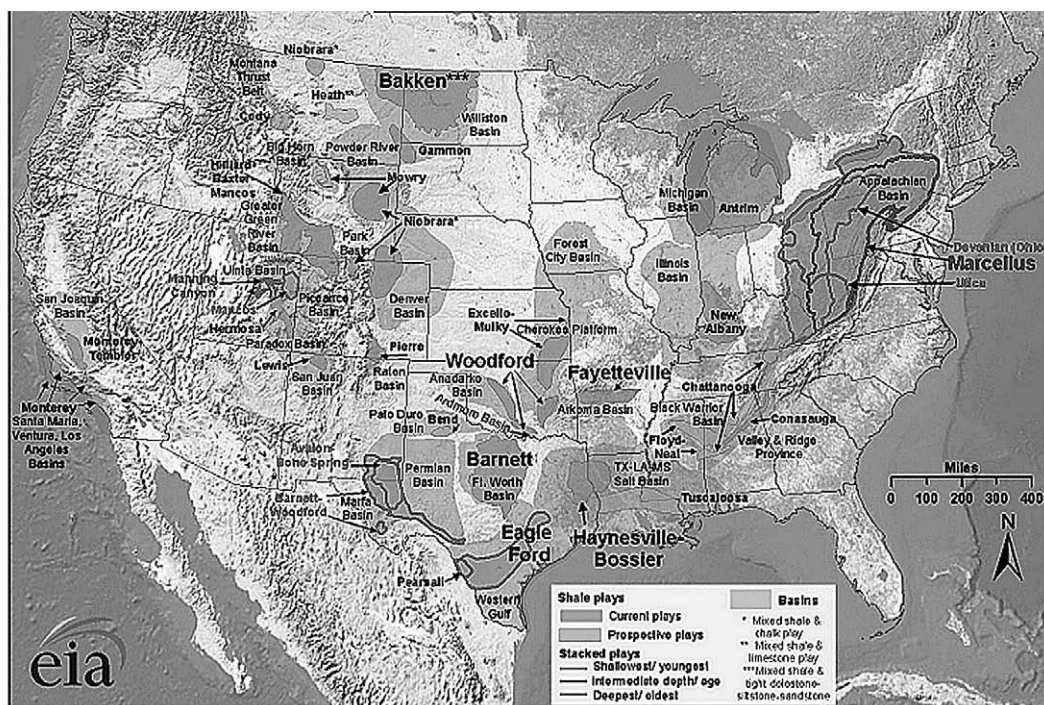
シェール層の分布

シェールガス生産の状況を見ていきたいと思います。アメリカのシェール層の分布図を示します (図8 参照)。これが全部ではありません。これは、DOE が毎月発行している“Drilling Productivity Report”の対象になっている6地域です。バッケン (Bakken)、ニオブララ (Niobrara)、パーミアン (Permian)、イーグルフォード (Eagle Ford)、ヘインズビル (Haynesville)、マーセラス (Marcellus) が示されています。

6地域のうち、中部から中西部にまたがる4地域 (バッケン、ニオブララ、パーミアン、イーグルフォード) は、主にタイトオイル、シェールオイルの生産地域で、南部のヘインズビルと東部のマーセラスが主にガスリッチな地域です (図9 参照)。

タイトオイルの生産状況

タイトオイルの生産性ですが、パーミアン



(出所：EIA)

図8 米国48州のシェール資源分布

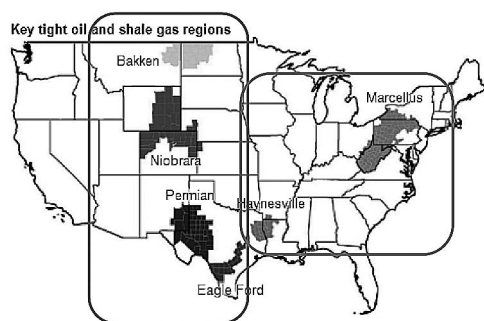
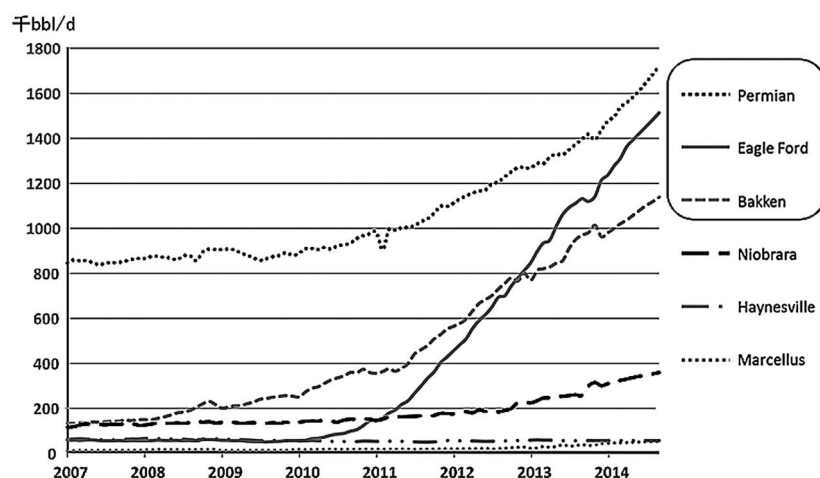


図9 主なシェール開発地域

は、「シェール革命」と称される前の2000年代から、常に中心になっている地域です。最近はいーグルフォード、バックケンも伸びています。パーミアン、イーグルフォード、バックケンを合わせると、年間350万バレルくらい。全米生産量750万バレルの約半分近くが、この3地域で生産されています（図10参照）。

ガス生産量では、もともと中心だったヘインズビルが最近は落ち目になり、マーセラスが圧倒的に伸びています。もともと油主体だった



(出所：EIA, Drilling Productivity Report, Aug 11, 2014)

図10 タイトオイルの生産状況

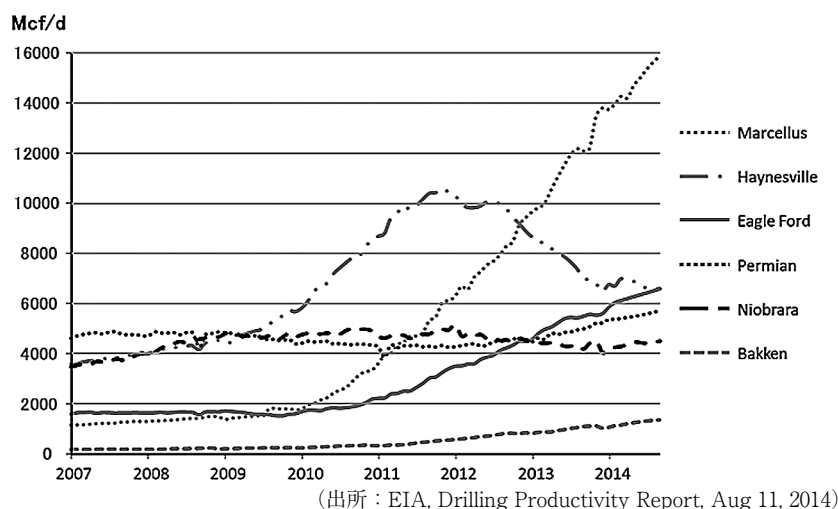


図 11 シェールガスの生産状況

イーグルフォード、バッケン地域、特にイーグルフォード辺りでは、油に随伴するガスがかなり採れています。最近では、バッケンでオスガスとして捨てられている3割くらいのガスも回収しろという話が出ています（図 11 参照）。

新設エタンクラッカーの工事計画が発表されました。これで年産150万トンのエタンクラッカーが2基できると、日本のエチレン生産量の半分に相当する量が、この新しいプロジェクトで生産されることになります。

日本はナフサクラッカーですが、アメリカでは、エタンとメタンが同じくらいの値段なので、上述のように、エタンクラッカーが2基増設されることになったわけです。そこで製造された安いポリエチレンでアメリカの化学産業が復権すると、日本の石化産業は国際競争において大変だろうと私は思っています。

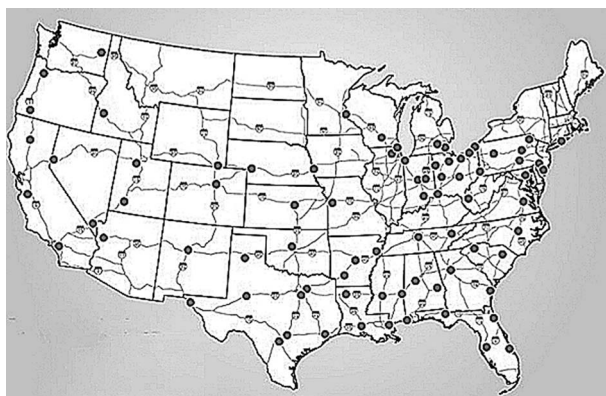
シェール革命の波及効果と今後

復権する米国化学産業

シェールガスは安いので、それを利用した色々なプロジェクトがアメリカで多く報道されています。ただ、どんどん新しいプロジェクトが出てくると建設費が高騰するので、なかなか前に進めなかったのですが、今年6月、

LNG 燃料車の推進

今後アメリカ全土に構築されることが予想されている陸上 LNG（液化天然ガス）供給基



(出所：米国 Shell 社ホームページ)

図 12 全米 LNG 供給ネットワーク計画

地（米国 Shell の Web より）を示します（図 12 参照）。アメリカに行ってみると分かったのは、油よりもガスのほうが圧倒的に安いので、それを経済活性に使用しようとしていることです。これまで石油で占められていた輸送用燃料を、何とかガスにしようとしています。主に、長距離用大型車の燃料を CNG（圧縮天然ガス）ではなく LNG に替えるために、陸上天然ガス基地の建設計画が策定され、スポンサーもついていると聞いています。

今後、アメリカは、「ガス自動車による輸送」を推進していきそうです。特に、ディーゼル燃料の 4 % くらいは、2040 年にはガスに代替されるというレポートが出ています。それから、今まで手付かずだった船舶用バンカー重油もサルファー規制が始まろうとしています。サルファー規制をクリアするには、バンカー重油では無理なので、LNG 動力の船舶開発の話があちこちで出ています。

今後のガス価格

今後のガス価格を占うために、2012 年 1 月～2014 年 8 月の価格変動を少し解析してみました。アメリカのガス地下在庫量とヘンリーハブ価格の変動です（図 13 参照）。黒い線が

在庫量と生産量の合計です。ヘンリーハブ価格が 2 ドルを切った頃は、在庫量が過去 5 年の平均よりも多く、ガスが余っていました。ところが最近、特に今年の冬から、在庫量が過去の平均より大幅に下がり、それを反映して、価格が上がってきました。在庫量が減った原因として、アメリカの去年の冬の大寒波で消費が増えたことありますが、常に掘り続けなければいけない生産現場での寒波による工事の停滞の影響もあると思います。

最後にもう 1 つ、将来どうなるかを見るための話題を提供したいと思います。ガスリッチなマーセラス地域ですが、2014 年 8 月、この領域に新しくユティカ（Utica）が“Drilling Productivity Report”に追加されました。埋蔵量は、マーセラスに比べ圧倒的に少ないのですが、生産性はマーセラスに匹敵するくらい伸びているので、ユティカが第 2 のマーセラスになる可能性もあると思います。

私からは以上です。ご清聴、どうもありがとうございました。

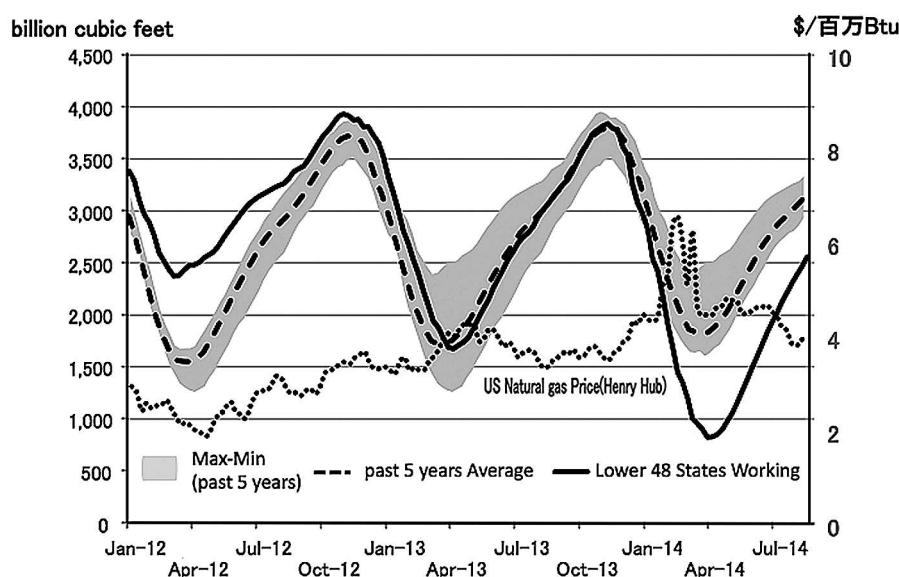


図 13 米国における天然ガス地下在庫量の推移とガス価格（ヘンリーハブ）

[講演]

今後の普及が期待されるエネルギー技術（６） ～太陽熱を使う～

吉田 一雄 （プロジェクト試験研究部 参事）



はじめに

日本では今、固定価格買取制度（FIT）があって、太陽光発電（PV）の導入が急速に進んでいます。一方、太陽光ではなく、太陽熱発電（CSP：Concentrating Solar Power）は、米国では30年前からヨーロッパでも7年ほど前から商用運転がなされています。そこで、太陽光発電と太陽熱発電の違い、米国やスペインで太陽熱発電が商業段階にあることの背景と世界の状況をお話します。

石油、天然ガス、石炭などは、昔の太陽のストックとしての利用ですが、CSPは、現在の太陽エネルギーのフローとしての利用になります。

日本で太陽熱と言いますと、屋根の上の太陽熱温水器がすぐ頭に浮かびますが、それよりもっと高温で高効率に熱を使おうというのがCSPです。



図1 集光器とスペインのCSPプラント全景

太陽熱発電（CPS）の仕組み

集光の重要性～蓄熱と夜間の蒸気生成

太陽熱で高温を得るには、太陽エネルギーの密度が1平方メートルあたり、およそ1kWと非常に低いため、集光が重要になります。虫眼鏡を使って太陽光を集め、その焦点に物を置くと、瞬く間に燃え上がりますが、CSPもこれと同じ原理で、集光して高温を得て、その熱で発電するわけです。

実際のプラントでは、虫眼鏡を集めて集光するわけではありません。曲面や平面の反射鏡で集光します。スペインにあるプラントでは、各点120㎡ぐらいの反射鏡2650台が集まって、それぞれ太陽を追いつながら、タワーの頂上にあるレシーバーに光を集め、そこで熱に変えて発電します（図1参照）。ちなみに、発電所の直径が約1.5kmあります。こういった

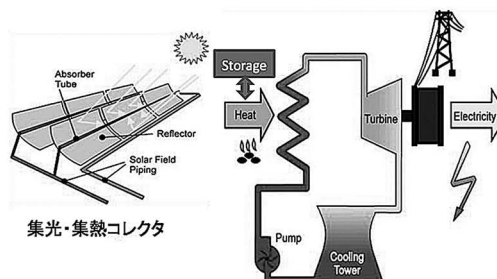


図2 CSP のシステム概要

仕組みで、太陽光を集めて熱に変えて発電するわけです。

夜間も安定的に電力供給できる CSP

その仕組みをもう少し細かくご説明いたします（図2参照）。一般的な CSP 設備の仕組みでは、光を集めて熱に変える、集光・集熱のコレクタがあります。その熱を熱媒体に伝えて高温にします。その熱媒体で蒸気をつくって、蒸気タービンを回して発電するというのが CSP の仕組みです。

太陽の光を集めて熱に変えて発電するメリットは2つあります。1つは蓄熱という、蓄電池よりも低コストのものが使えるということ。も

う1つは、既存のボイラーと組み合わせると、太陽が照っていない時間帯も蒸気を作れるということです。ですから、蓄熱とボイラーという2つを使いますと、太陽が照っている間も、照っていない間も、安定的に電力供給できるという特徴があります。これがCSPとPVの違いです。

電力需要曲線に合わせた電力供給

その結果、電力の供給形態はどうなるか。スペインの電力供給の例を、午前0時から24時まで24時間にわたって見てみます（図3参照）。太陽が照っている時間帯は、当然、PVと同じでCSPでも発電します。太陽の光を集めて熱に変え、一部は発電し、残りを蓄熱に

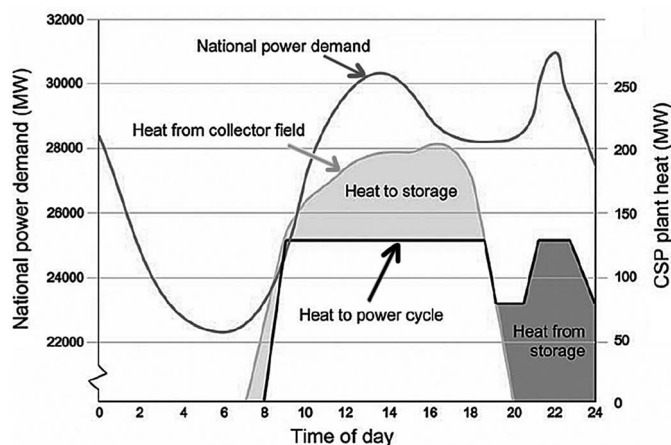


図3 スペインにおける CSP による電力供給

回します。蓄熱に回した部分は、夜、その熱を使って発電します。そういうことで、電力需要曲線に合わせた発電が可能になります。スペインの場合、10時ぐらいにピークがありますが、これは食事の時間が夜の10時ぐらいと遅いためです。日本ですと、もう少し遅れるかもしれません。いずれにしても、ここで重要なことは、昼間だけでなく、夜間も熱を使って発電できるということです。

CSP における熱慣性と機械的慣性の効果

熱に変換する別のメリットの例もあります(図4参照)。図は互いに約50km離れているアメリカ南西部のCSPプラントとPVメガソーラー・プラントの雲が多い日(朝7時から夜7時まで)の出力変動です。PVは、朝の7時ぐらいから発電し始めていますが、雲の通過による変動があります。それに対し、CSPのほうは、少し遅い時間から発電し始めますが、PVに比べなめらかな出力となっています。

います。ちなみに、このCSPプラントは、蓄熱がないタイプですが、もし蓄熱があるタイプですと、もう少し遅い時間まで、安定した電力供給ができると思います。

出力変動が異なる原因は2つあります。1つは、太陽熱の場合、一度上がった温度はすぐには低下しないため(熱慣性)、安定した発電ができるということです。もう1つは、使っている蒸気タービンなどが回転体ですから、機械的慣性もあります。熱慣性と機械的慣性の2つによって、図のような安定的な出力が得られるというわけです。今、わが国では、PVや風力発電などからの電力の買い取り問題が起こっていますが、もしCSPが使えたら、状況が変わってくるのではないかと考えています。

コレクタ技術の4つの代表例

光を集めて熱に変えるコレクタ技術の代表例を4つ示します(図5参照)。左上が特に重要で、パラボラトラフ(Parabolic Trough)

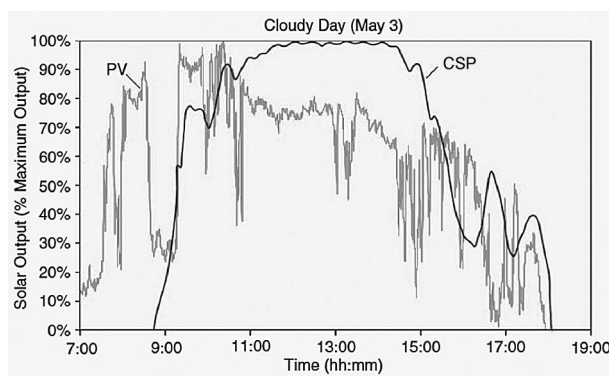


図4 CSPとPVの比較

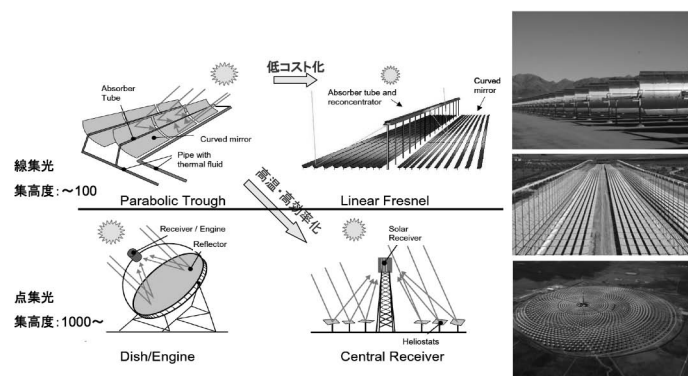


図5 代表的なコレクタのタイプ

と呼ばれるものですが、断面が放物線の反射鏡を用意しまして、その焦点にレシーバーチューブを置きます。中心軸に平行な光というのは、必ず焦点に集まるという性質がございしますので、それを利用して集光・集熱をしています。このタイプは、アルキメデスの時代から知られているものです。このタイプのコレクタを使って、1980年代中頃からアメリカで商業発電が始まりまして、今年で約30年になりますが、今でも安定的に動いています。

これを基準に、より低コスト化したリニアフレネル（Linear Fresnel）型、デッシュ（Dish）型、タワー型とも呼ばれるセントラルレシーバー（Central Receiver）型の4つがあります。上の2つは線で集光するタイプで、集光の程度が少し低くなるので、温度があまり上がりません。効率良く使うためには一般に550℃が上限です。下のタイプは、集光度が高いもので、左側のタイプを使えば千数百度まで楽に上がりますし、うまくいけば数千度まで上げることができます。右側のタワー型は、1000度あまりまで上げることができます。

現在注目されているのは、トラフ型、リニアフレネル型およびタワー型で、大型の電力系統に接続するのに向いています。これらの

コレクタは用途、温度条件、プラント規模等によって最適なものが選択されます。

タワー型プラントにおける発電の仕組み

タワー型 CSP プラントの典型例が、スペインのゲマソーラー（「太陽の宝石」の意）というプラントです（図6参照）。このプラントの特徴は、熔融塩を熱媒体、蓄熱媒体の両方で使えることです。なおかつ、約15時間と長時間の蓄熱ができますので、春から秋にかけて、ほぼ24時間の運転が可能です。

ゲマソーラーの運転は、低温タンクに貯めた熔融塩が、朝、太陽が昇ってくると、上のレシーバーで加熱され、左の高温タンクに溜められます。その時、熔融塩の温度は最高565℃まで上がります。その高温の熔融塩で蒸気を作って、24時間発電するのです。

発電量の時間変化に注目しますと、ほぼ24時間、毎日運転していることが分かると思いますが、どのように24時間運転を達成しているかですが、昼間発電するとともに蓄熱をして、蓄熱量がだんだん上がってきます。夕方になると、それを使って次の日の朝まで発電します。それで蓄熱のエネルギーは減ってきます。これを毎

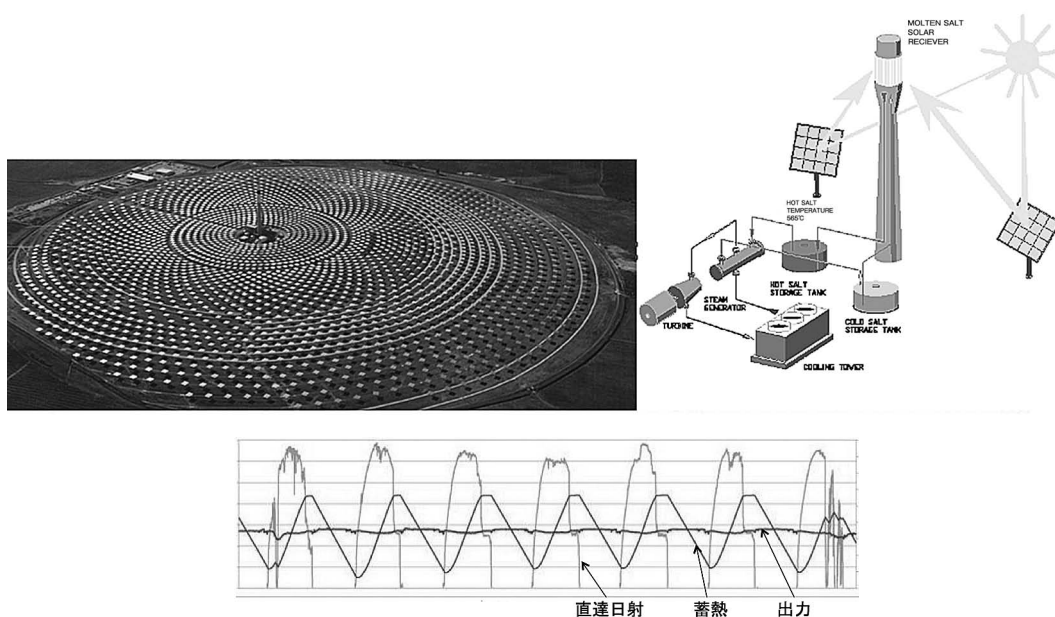


図6 タワー型プラントの一例（Gemasolar, 熱媒体：熔融塩）

日繰り返して、毎日 24 時間運転ができるというわけです。極端なパターンとして、夜の 12 時くらいまで発電して、あとはハーフロードくらいで運転することも可能です。色々なパターンが考えられますが、必要な時に必要な発電ができるということが太陽熱発電の強みです。

世界の CSP

スペインとアメリカで伸びてきた CSP

今、世界の CSP による発電容量は、2009 年から急に伸びています。2014 年 8 月末の時点で、4GW くらいまで伸びているそうです（図 7 参照）。これからも日射条件が良い「サンベルト」を中心に伸びていくと思います。

CSP は、これまでスペインやアメリカを中心に伸びてきました。スペインは、特別日射が良いわけではないのですが、FIT が充実していて、

世界で最初に導入され、その後非常に伸びました。アメリカは、再生可能エネルギー 利用割合基準（RPS）制度によって後押しされているようです。これからは、北アフリカ、南アフリカ、チリなどの南米、ポテンシャルが高いオーストラリア、インド、中東あたりで伸びてくると考えられます。中国もかなり頑張っています。

スペイン、アメリカ以外の国でも、FIT や色々な補助があって伸びています。「サンベルト」の中でも、特に、中東、北アフリカ、オーストラリアという日射条件の良いところが今後の伸び代が大きいところです。

CSP に適した地域

CSP に適した地域として、北アフリカから中東にかけて、アメリカの南西部、南米、南アフリカ、オーストラリア、中国の西部はかなり良いと言われています（図 8 参照）。こういった地域では、比較的低コストで今後も太陽熱発電が伸びていくと思われますが、それ以外の地域

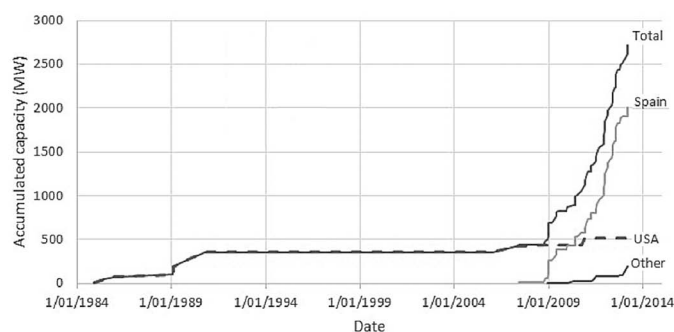


図 7 CSP 累積導入量の推移

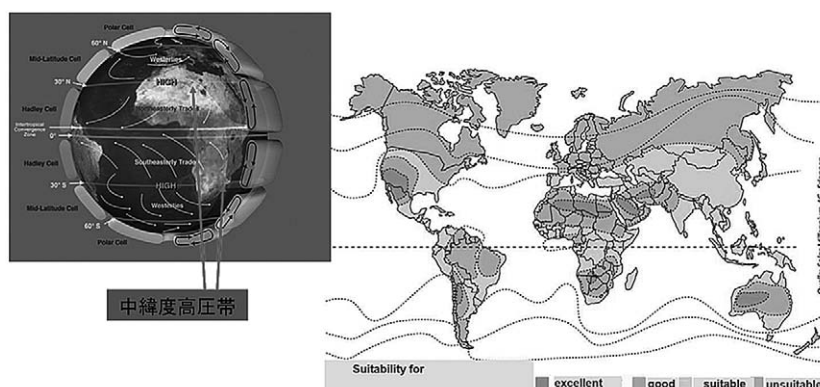


図 8 CSP 設置に適した地域の分布

はどうか。気象条件によって直達日射が非常に弱くなる日本は、決して良くありません。今後、日本に太陽熱発電をどう導入していくかが課題になると思っています。

日本の CSP

熱供給の利用

日本に CSP を導入する方法は 2 通りあると思います。1 つは、熱供給だけに絞った導入法です。光を集めて熱に変え、発電までやる単独プラントを導入するのは、現在の設備費を考えると厳しいと思います。熱供給だけなら、設備費は発電まで行うプラントの 3 分の 1 から半分で済みます。例えば、太陽熱で蒸気を作り、既存火力発電所に供給して燃料低減を図るとか、公共施設に熱供給するといったことが、可能性

が高いと思っています（図 9 参照）。

現在、三菱日立パワーシステムズ(株)が環境省より「平成 26 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」を受託し、同社横浜工場（神奈川県横浜市）内にて低温型フレネル蒸発器と小型タワー過熱器を組合せた集光・集熱システムによる、今までにはない高温の過熱蒸気供給を検証しようとしています。それも太陽熱の利用につながる非常に良い例として、この新しい技術に期待したいと思います。

海外からの間接的輸入

もう 1 つは、外国の太陽エネルギーを日本に輸入する方法です（図 10 参照）。直接輸入はできないので、太陽エネルギーを別の形に変えて日本に持って来ます。例えば、海外の太陽熱で燃料を作り、それを日本に持って来るといことです。これによって、日本のエネルギー安全保障も担保できますし、日本の

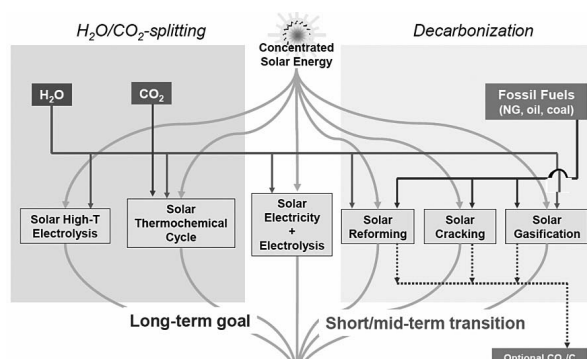


図 9 日本国内での太陽熱の導入可能性

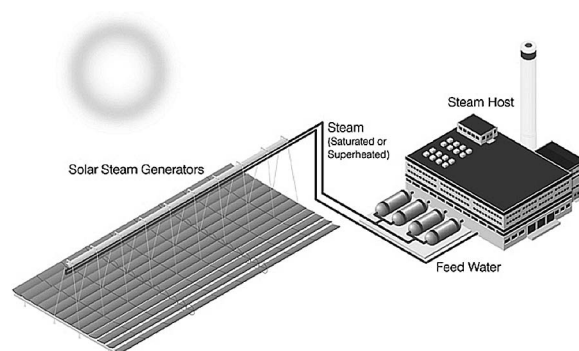


図 10 ソーラーフェューエル製造

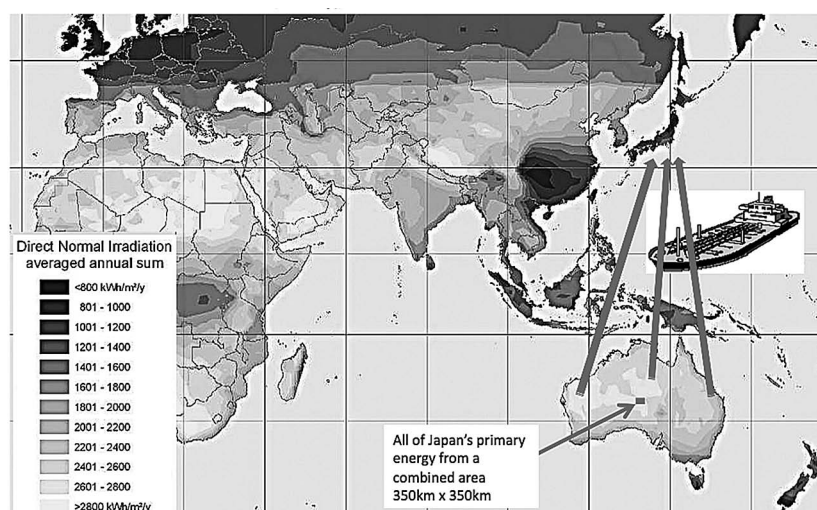


図 11 オーストラリアの「太陽」を日本へ！

技術で燃料を作ることによって、日本でのインフラ整備削減にも役立つと思っています。それが「ソーラーフューエル」という構想です。

太陽熱を使って燃料を作る方法の1つとして、炭素系燃料、例えば石炭や天然ガスなどに太陽熱を入れてクリーン燃料を製造することがあります。また、太陽熱と水とを反応させて、水の熱分解で水素を製造するという方法もあります。それぞれの方法に特徴があり、メリット、デメリットもあります。しかし、炭素系燃料は、短・中期的に製造可能になるのではないかと考えられています。例えば合成ガスを作り、それでメタノールや合成燃料ジメチルエーテル（DME）、場合によってはガソリンを作るといったことが考えられます。

また、水の熱分解で水素を製造することができます。これはもう少し長期的な話になると思いますが、すでに、新潟大学を中心に研究が行われています。

色々な可能性がありますので、海外の太陽エネルギーを間接的に日本に輸入することも、今後考えるべきことだと思います。どこから輸入するかとなると、オーストラリアからが一番良いと思っています（図 11 参照）。もちろん、中東、北アフリカから輸入する可能性もありますが、地政学的にオーストラリアが一番良いと思っています。

おわりに

エネルギー総合工学研究所の取組み

私どもエネルギー総合工学研究所では、日本の太陽熱発電や太陽熱利用技術を少しでもかさ上げできればという思いで、「集光型太陽熱技術研究会」を行っています。確かに、日本は直射日光が弱いので、国内での太陽熱発電の可能性は、必ずしも高くないのですが、高い技術力の企業が集まっていますので、その技術力を使ってインフラ輸出をしたいと思っています。そのためには、やはり技術革新が非常に重要ですから、メーカー単独よりも、研究会の場で情報交換しながら、協力したほうが良いということです。

最後に、この研究会には、現在、民間企業 27 社と大学 2 つが参加し、産学合わせて活発な意見交換をやっています。もしご関心があるようでしたら、一度オブザーバー参加していただければと思っています。ご清聴どうもありがとうございました。

【講演】

今後の普及が期待されるエネルギー技術（7） ～水素エネルギーの本格的導入に向けて～

坂田 興（プロジェクト試験研究部
部長）



はじめに

この機会をお借りして、水素エネルギーシステムについて、また、それに対して私どもがどう考えているかお伝えしたいと思います。

はじめに「エネルギー基本計画」の概要の中の水素部分についてお話しした後、資源エネルギー庁で策定した「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の説明をいたします。次に、ロードマップで述べている「フェーズ1」が、今どういうふうに動いているかお話しします。更に、水素の特徴、利用分野の現状、今後の展開についてお話しします。そして、最後に、発電分野での水素利用の予測例、シミュレーションの検討例についてご紹介いたします。

自動車（FCV）の導入加速に向けた環境の整備。③水素の本格的な利活用に向けた水素発電等の新たな技術の実現。④水素の安定的な供給に向けた製造、貯蔵・輸送技術の開発の推進。⑤「水素社会」の実現に向けたロードマップの策定、です。③で「水素発電」という言葉が初めて載りました。そうすると、水素の大量調達が必要になるので、④で大量貯蔵、長距離輸送等の技術開発が必要だと言っているわけです。

それから、「エネルギー基本計画」では、水素に関し、具体的な数値目標が記載されています。家庭用の燃料電池（エネファーム）は2030年に530万台導入、FCV用水素ステーションは2015年に100カ所程度設置するとあります。それから、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を作ると言っているわけです。

「エネルギー基本計画」と水素

新たに中心的役割を担う水素

2014年4月11日、「エネルギー基本計画」が閣議決定されました。第2章の第2節第2項「二次エネルギー構造の在り方」というところで「水素が中心的役割を担う」とあります。第3章の第8節第3項「“水素社会”の実現に向けた取組の加速」のところでは5つが書いてあります。①定置用の1kW級燃料電池、エネファーム等の普及拡大。②燃料電池

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」

ロードマップの3フェーズ

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2014年6月23日）が資源エネルギー庁で策定されました。本格的な水素社会構築へ向けて、3つのステップ（フェーズ1、フェーズ2、フェーズ3）を提示しています（図1参照）。このうち、フェーズ1は、比較的従来の施策に近いものと考えています。フェーズ2、フェーズ3は、従来の資源エネルギー庁のスコップから大き

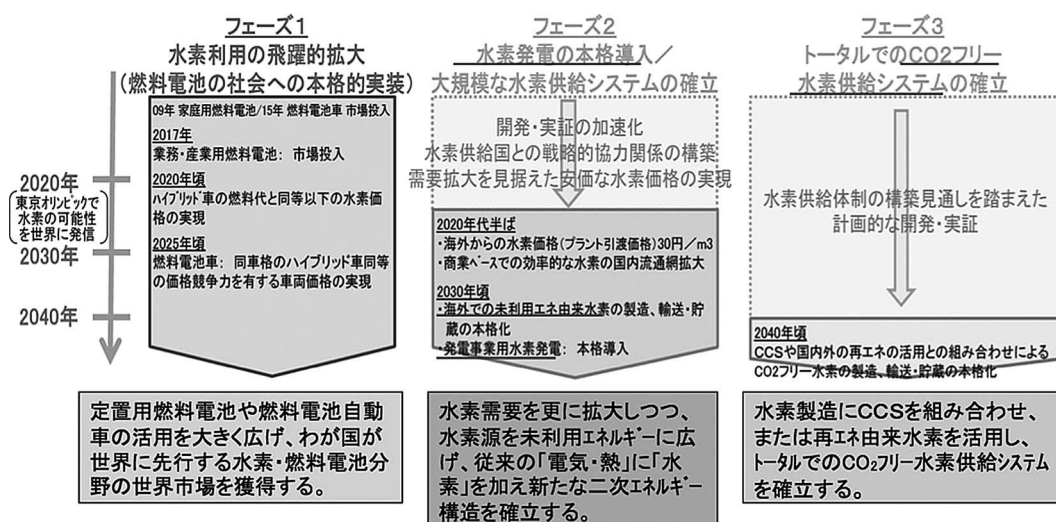


図1 水素・燃料電池戦略ロードマップ

く伸びている部分です。

フェーズ1とは、2015年を基点に「定置用燃料電池、燃料電池自動車の活用を大きく広げ、わが国が世界に先行する水素・燃料電池分野の世界市場を獲得する」段階です。フェーズ2は、「水素需要をさらに拡大しつつ、水素源を未利用エネルギーに広げ、従来の「電気・熱」に「水素」を加えた新たな二次エネルギー構造を確立する」という、非常に意欲的な段階です。そして、フェーズ3は、化石燃料からの水素製造に炭素回収貯留（CCS）を組み合わせる、あるいは、再生可能エネルギー由来の水素を活用して、二酸化炭素（CO₂）フリー水素の供給システムを構築する段階となります。

実は、このフェーズ1とフェーズ2については、これを作る過程でも「フェーズ1を突き詰めていくと、フェーズ2に自然に移行するものだろうか」という議論がありました。また、逆に、「フェーズ2を一生懸命にやると、フェーズ1は自然にうまくいくのだろうか」という議論もあります。全くの私見ですが、本来、フェーズ1では、FCVを中心とする産業振興が大きな目的だったと思います。アメリカやドイツ、ヨーロッパで、どんどんFCVができていく中で、日本の自動車産業が追いつかないのはおかしい、ということがあったと思います。

それに対して、フェーズ2、フェーズ3というのは、CO₂を減らしていくという、エネルギー環境政策を狙っているものと考えます。ただ、フェーズ1とフェーズ2が、互いに全く無関係、あるいは不連続なものかという点、そうでもないと思っています。例えば、フェーズ1を作っていく過程で、国の中に水素の配送ネットワーク、輸送ネットワークができていくと思います。そのネットワークの先端のところに、例えば、水素を使ったコージェネレーションや、川崎重工業株のガスタービン、あるいはガスエンジンがつくという格好で、分散電源の方向へ向かうのではないかと思います。フェーズ2の開始時あたりは、コージェネも相当考えていますので、フェーズ1とフェーズ2はコージェネを介して結びつくと思います。

水素は今まであまり話題になっていませんでした。過去10年間くらいの位置づけもFCVの燃料としての水素だったと思います。ロードマップでは、その枠を外して、大規模な水素エネルギーシステムに言及しています。従来の技術開発のターゲットにとどまらず、海外からの水素調達や発電事業用の水素発電、CO₂フリー水素供給システムといった、公文書としては極めて新しい概念が入り始めています。

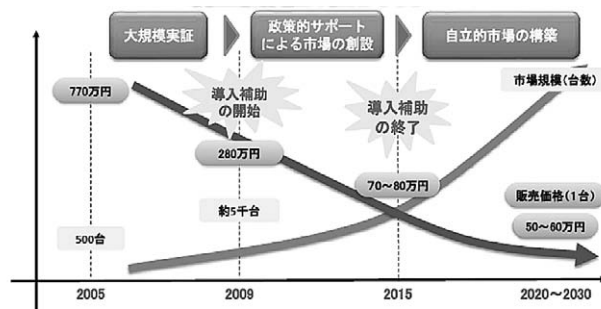


図2 フェーズ1：エネファームの現状と普及シナリオ

フェーズ1：燃料電池の本格的導入

フェーズ1で、FCVとエネファームの普及をどう進めているか、また進めるつもりなのか。

家庭用燃料電池（エネファーム）は市販されています。ただし、国からの導入補助付きです。そこで、2016年の市場自立化に向け、各メーカーが努力を積み重ね、コストダウンに成功している例が多いと聞いています。2020年140万台、2030年530万台、全世帯の1割への普及が国の計画です（図2参照）。ですから、「官民の努力により、足元を固めつつある」というのが私の感想です。

フェーズ1でのFCVと水素ステーションの現状と普及について示します（図3参照）。FCV関連では、民間の燃料電池実用化推進協

議会（FCCJ）という組織がありますが、よく引用される絵です。左側の図の点線が、水素ステーションの普及です。実線がFCVの普及を表しています。この部分が2015年で、FCVの本格普及を目指します、開始しますということになっています。2015年以降、実際には、FCVと水素ステーションの関係は「鶏が先か、卵が先か」という関係になっていますが、ここでは、まず、「民間主導で水素ステーションを造ります」と宣言しています。水素ステーションが十分に増えてきた段階で、FCVの数がぐんと増え、2025年から自立的な運営ができるようにするという絵を描いているわけです。

2015年に100カ所程度の水素ステーション設置に向け、2013年度から公募が始まり、

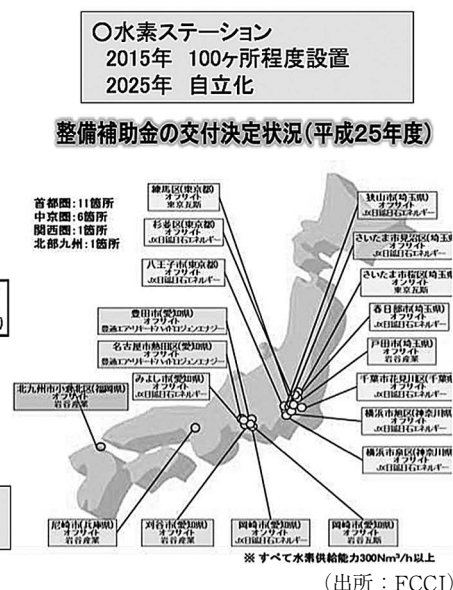
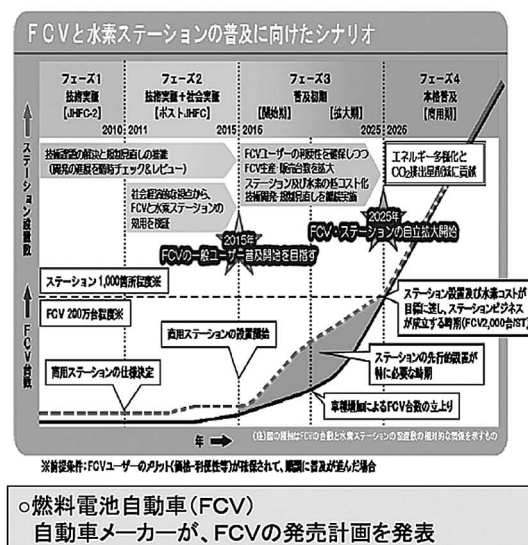


図3 フェーズ1：FCVと水素ステーションの現状と普及シナリオ

現在までに 41 カ所の設置が決まっています。2015 年、一般ユーザー普及開始に向けて、官民が努力を傾注しているというのが現状です。これがロードマップのフェーズ 1 の発射台の部分で、この部分は進み出したところです。

参考までにアメリカの動向を紹介します。アメリカでの FCV 普及政策には、「シェール革命」の影響が出ています。元々のスケジュールでは、2015 年にアメリカ政府が FCV にゴーサインを出すことになっていますが、その盛り上がりを感じません。ゼネラル・モーターズ (GM) 社やフォード社が、今までの FCV 研究を淡々と続けているようなのです。水素ステーションは、色々な形で作っているのですが、日本のようにゴーサインを前に必死で取り組んでいる感じは受けません。

水素エネルギーシステムの概要

フェーズ 2、フェーズ 3 で水素の大規模拡大を考えるために、今一度、水素エネルギーシステムについて見てみます (図 4 参照)。水素エネルギーシステムは、電力システムによく似ています。エネルギー源から水素を製造して、利用者のところまで輸送・貯蔵し、最後に利用するという流れです。この流れの中で、水素ならではの特徴が 4 つありますので、少しご説明いたします。

水素の特徴は、(1) 電力と全く同じで、多様な一次エネルギーから生成可能だということ。(2) 電力と全く同じで、利用時に CO₂ の発生がないということ。水素ならではの特徴は、電力と相互変換が可能ということです。効率の問題はありますが、水素は、電力と行ったり来たりが自由にできる希な化合物の 1 つです。アンモニアもありますが、変換効率はおそらく水素の 1000 分の 1 くらいだと思います。通常の化合物、例えばメタンや天然ガスは、燃やせば電力ができますが、電力から天然ガスはできないと、いう決定的な違いがあります。また、(3) 貯蔵が可能だということ。これは、電力と決定的に違うところで、電子と分子の違いから来るものだろうと思います。この辺りの特徴をうまく使ったシステムが、水素システムということになると思います。そして、(4) 利用時に CO₂ が発生しないということです。

フェーズ 2：水素発電の本格導入

水素の利用分野の現状、今後の展望について考えてみます (表 1 参照)。表の一番右側に書いてあるフェーズ 1, 2, 3 が、これが資源エネルギー庁作成のロードマップのフェーズ 1, 2, 3 に対応します。フェーズ 1 では、前述のように、水素と電力との互換性を活かし

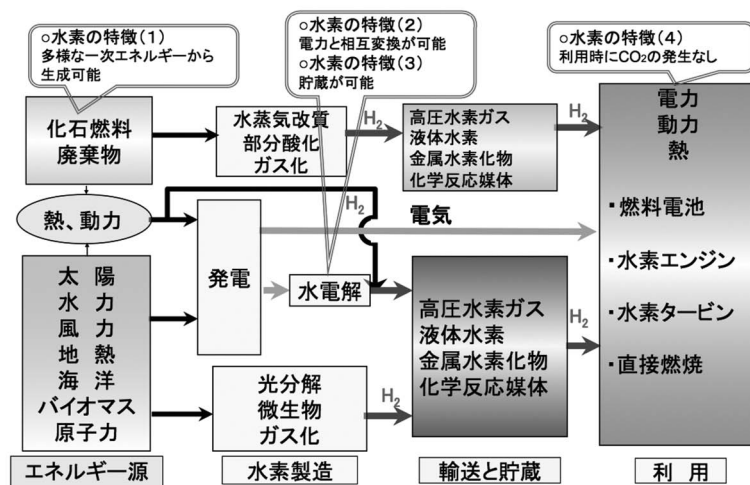


図 4 水素エネルギーシステムの概要と特徴

表 1 水素の利用分野の現状と今後の展望

水素利用分野	利用する主な水素の特徴	水素利用技術	将来展望	
燃料電池自動車 (FCV)	・電力との互換性	・乗用車 (2015年本格導入) ・バス、業務用 (社会実証中)、 ・水素供給インフラ (水素ステーション100カ所2015年)	・世界各国で2015年以降本格的導入 ・本格普及は2030年以降	フェーズ1
定置形燃料電池	・電力との互換性	・家庭用 (エネファーム) (改質型: 商業化済み) ・産業用・バックアップ用、移動用電源	・水素供給が可能な産業用に有望 ・米国などでバックアップ用や移動電源の用途が多い。	
水素発電 (水素タービン、大容量発電)	・燃焼時にCO ₂ 発生なし	・水素燃焼タービン発電 (湿焼、純水素、純水素/純酸素)	・イタリア: ENEL社、日本: 川崎市PJ ・大規模な水素需要が見込まれる	フェーズ2
水素発電 (水素ディーゼル、産業用)	・燃焼時にCO ₂ 発生なし	・水素・化石燃料湿焼 ・純水素/空気燃焼	・中規模 (数千kW) 動力として有望 ・大規模な水素需要が見込まれる	
海外未利用エネの大規模・長距離輸入	・多様な資源利用 ・貯蔵可能	・海外の未利用エネルギーで水素を製造し、日本に輸送する		フェーズ3
海外CO ₂ フリー水素の大規模・長距離輸送	・多様な資源利用 ・貯蔵可能	・再生可能エネおよび化石資源 (豪州褐炭、随伴ガス等) + CCSでCO ₂ フリー水素を製造し、日本に輸送する		
国内再エネ導入支援	・多様な資源利用 ・貯蔵可能	・国内の再生可能電力を水素で貯蔵・輸送	・国内の再エネ適地からの電力・水素等の輸送・支援	

て、FCV とエネファームの普及について官民で積極的に取り組んでいるところです。

ロードマップのフェーズ2では、さらに燃焼時にCO₂フリーという特徴を活かし、「水素発電」という言葉が入っています。水素発電は、小型、中型の分散電源、コージェネレーション用発電も含みます。ロードマップでは、電力事業者用の大規模発電も入っています。

おそらく、水素発電に興味を持って技術開発をやろうとか、そういう構想を持っているのは、日本だけだと思います。これは、日本が周囲を海に囲まれ、他国から孤立しているという、地理的な特性故のことだと思います。

水素発電の将来展望として、「水素発電で大規模な水素需要が見込まれる」と表1に書いてあります。大規模発電で使う水素量は、FCV で使う水素量より桁違いに多いのです。例えば、65万kW級のLNG火力で水素量は、年間約20億Nm³です。これは、FCV換算で約200万台分に当たります。

大規模な水素需要の可能性

今までの私どもの研究、あるいは国の研究には、大規模な水素需要を見込まないままに、

FCV用に特化していましたので、大規模水素発電は新しい形となります。

仮に、水素発電が導入された場合、どれくらいの水素需要が予想されるか。シミュレーションによる検討例を示します (図5参照)。採用した前提条件は、①CO₂排出削減が2050年に世界で50%、日本で80%削減。②原子力発電所の新增設なしで、炉の寿命が40年でフェーズアウト。③日本が国内で実施するCCSが2050年で約2億トン/年 (現在の日本の排出量が約12億トンとしてその16%くらい)。この前提で、当研究所が開発した統合評価モデルGRAPEで計算しました。

世界では、CO₂制約がかかり始める2020年以降は、ゼロエミッション電源が主流になります。軽水炉が多くなっていく、あるいは再生可能エネルギー系が増えていくということです。

日本の発電電力量は、徐々に減っていきます。その中で、2030年以降は、天然ガス・石炭火力にCCSが使われるようになり、2045年くらい軽水炉がフェーズアウトし、それを補う形で大規模水素発電が入ります。

コストを見ると、勿論、天然ガス火力のほうが、CCS付き天然ガス火力や大規模水素発電よりも安いのですが、2050年に向けての

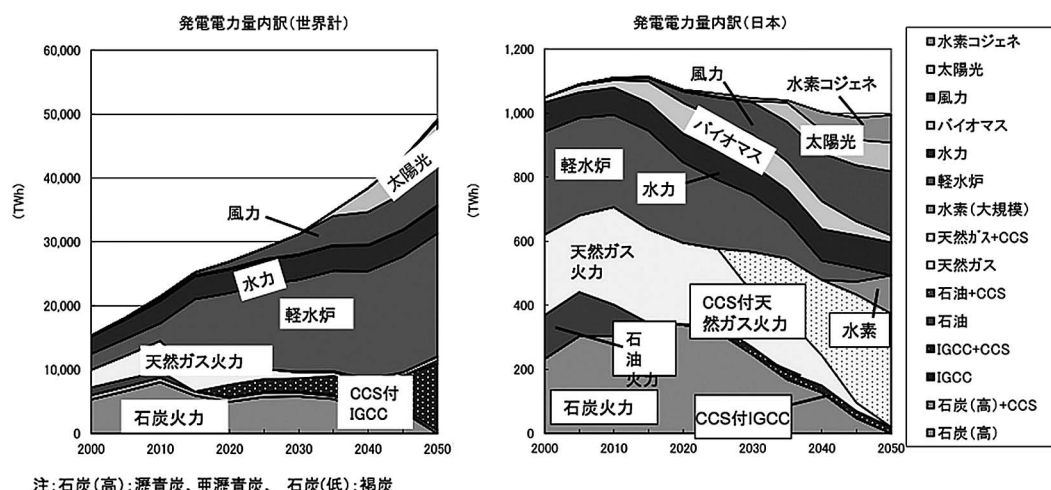


図5 水素発電による水素需要予測の検討例

CO₂ 制約のために、CCS のない天然ガス火力は選ばれなくなるということです。

フェーズ3：水素供給システムの確立

中長期的な技術課題として、水素の大量貯蔵、長距離輸送等の技術開発が挙げられます。過去10年くらい、産官学の水素研究は、FCV用燃料としての水素、エネファームに注力していましたので、それより2桁大きい量の水素のハンドリングと、それに関わる技術開発は遅れていました。世界的にも手付かずの状態と言って良いと思います。今後精力的に取り組むべき水素の大量導入のための技術課題として、中期的には、再生可能エネルギー電力の高度利用、水素貯蔵、大規模なCO₂フリー水素エネルギーシステムがあります。更に、長期的には、光触媒で自ら直接水素をつくとか、アンモニアを電解合成するといった方法の開発があります。

水素利用について極めて大事なこととして、火力発電技術の水素用にチューニングする必要があると思います。場合によっては、純水素、純酸素の燃焼タービンのような、クローズドサイクル系の高効率発電もターゲットになっていると思っています。

燃料電池も、水素はいつでもアンモニアに

できますので、アンモニア燃料電池の研究開発も進めれば良いのではないかと思います。

海外では、ヨーロッパで天然ガスのパイプライン計画や北アフリカの太陽熱発電からの電力を輸入するための送電網敷設プロジェクト（トランスグリーン）が動いています。ですが、その電力をいったん水素にして輸入し、またそれで発電しようというニーズは今のところないと思います。

実は、1980年代後半には、「ユーロケベック」というプロジェクトがありました。これはドイツ政府とカナダのケベック州が一緒にやったプロジェクトです。ケベック州の水力発電の電力をいったん水素に変えて、ドイツまで持って行って水素発電をやろうということだったのですが、今はおそらく、それをするだけの経済的なニーズがないのではないかと思います。

そのドイツですが、水素に関しては、再生可能エネルギーを既存インフラに取り込むツールとして、水素を使った実証実験が沢山行われています。“Power to Gas”です。北ドイツは風力があるけれど電力需要はあまりない。工業地帯は南ドイツにあるのに、南北をつなぐ電力系統が弱いという問題があります。そこで、いったん北ドイツで風力で作った電力を水素に変えて貯める、あるいはガス管

に入れて、メタンと水素の混合ガスにするという試みもされています。一部では、風力でつくった水素をCO₂と反応させて（メタネーションの反応で）メタンに戻す。それを純メタンとしてガス管に入れるという、実証試験も行われています。

ドイツでは、電力会社とガス会社がだいたいの同じ会社ですので、その辺りも融通が利く理由だと思います。他に、そういったことを目的にしたベンチャー事業も沢山動いていると聞いています。

まとめ

「エネルギー基本計画」、経済産業省の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で、水素の用途として大規模水素発電が出てきました。私どものシミュレーションによると、CO₂制約があると2050年に向けて水素発電は導入されてきます。しかし、その実現には、大量の水素の調達・輸送が必要で、そのための実証や研究開発が必要となりますし、同時に、大量の水素をハンドリングするための安全技術も必要になります。

最後に、水素に対する考え方なのですが、将来もエネルギーのベストミックスを探していく。投資案件としては、色々な組み合わせ、ポートフォリオをしっかりと持って、それを維持・管理することが重要だと思います。そして、水素はそのポートフォリオの中に入れる価値があるのではないかと考えています。

私からは以上です。ご清聴どうもありがとうございました。

閉 会 挨 拶

三代 真彰 (一財) エネルギー総合工学研究所
副理事長

本日は長時間にわたり、このように多くの方々にご参加いただき、誠にありがとうございました。

午前の十市顧問と横山教授の基調講演では、最近話題の地政学とスマートグリッドについて、大胆に、かつ率直にお話しいただき、非常に示唆に富む内容をお伺いすることができました。心より感謝申し上げます。お話を伺いながら、エネルギー技術は独立して存在するものではなく、政治、社会、経済、そして人々の暮らしと密接につながっているという印象を今さらながら強くしました。また、シンポジウム後半では、当研究所から各分野のエネルギー技術 —再生可能エネルギー、水素、原子力、化石燃料— について報告いたしましたが、これらの技術も、それぞれ、互いに強くリンクしていると受け取るべきと考えております。

最近、内外の政治問題、経済やエネルギーを巡る動向、そして気候問題など全てに関し、何か情報の渦に巻き込まれているような気がしています。「世の中一体これからどうなるのだろうか」と懸念していらっしゃる方々もいらっしゃるのではないのでしょうか。将来のことを書いた書物は昔から沢山ありますが、このような話題についてはローマクラブの『成長の限界』(1972年) 辺りから注目されていると考えられます。そのような中で、今日はジョージ・フリードマンの『100年予測』(2009年) について述べてみたいと思います。著者のジョージ・フリードマンは、「影のCIA」とも呼ばれるアメリカの民間情報機関ストラットフォア (STRATFOR, Strategic Forecasting, Inc.) の創設者で、この本ではこれからの100年間という長い間に何がどう変わるのか、この本の中で地政学の観点からの”予測“をしています。過去、どのように世界が変わってきたかを、冒頭振り返っていますが、例えば、1960年に日本が将来「ジャパン・アズ・ナンバーワン」と言われるような国になると予測した人がいたでしょうか、というようなことを問いかけ、いかに数十年の間に大きな変化が起きるかを示した上で、2020年、2040年、2060年、2080年、2100年に世の中どうなるかということを大胆に予測しています。著者がアメリカ人のせいか、アメリカが今後とも世界の中心であるということに変わりはありませんが、注目すべきは、地政学的に日本、トルコ、そしてポーランドの3カ国が非常に重要なプレーヤーになるという話になっています。ただ、「地政学的に予測したもので、結果よりもこのような考え方が必要なんです」とむしろ思考方法の重要性を指摘しています。

この本は東日本大震災前の2009年にアメリカで出版されたものですが、実は、先日9月25日に『続・100年予測』の日本語訳が出ました。この続編は2011年にアメリカで出版されましたが、大震災後に書かれた日本語翻訳版の前書きには、「日本は地震型社会で、アメリカは氷河型社会である」という一寸目を引く表現がありました。よく読んでみると、アメリカでは変化が絶えない、ちょうど氷河が動くように物事は不断に進展しているけれども1つの出来事がいきなり社会を変えるようなことはなく、根本に「哲学」がある。それに対し、日本は、様々な出来事が起きても長期にわたっ

てほとんど変化が見られず、その間、国内体制や対外関係では見えないところで圧力が高まっていき、そして突然大変革が起きる「地震型社会」と比喩的に名づけているようです。私の解釈かも知れませんが、明治維新や産業近代化、第二次大戦後の平和憲法といったものを体験した国を意味しているのではないかと思います。この見方に同感できるかどうかは分かりませんが、外国の地政学の専門家がこのように分析しているのは非常に面白いなと思いました。

本日のシンポジウム後半では、多層的な供給構造を支えるとの観点から、当研究所の研究員から様々な技術についてご説明いたしました。その中には「いいな」という技術もあったでしょうし、「これはものにならんだろうな」と思いになった技術もあったかと思います。ただ、私は決めつける必要はないと思います。ダメだと思ったものでも試行錯誤を続けて、良いものになるかも知れませんが、「いいな」と思って飛びついても苦労した結果、ダメになるものもあると思います。例えば、昔、音楽ソースの主流はレコードでしたが、いつの間にかオープンリール、カセットテープとなり（途中にメタルテープやLカセットもありましたが）、その後デジタル化が進みCD、MDから、最近では半導体メモリが音楽ソースとして使われています。けれども、今になって「やっぱり、レコードの音っていいな」ということで、レコードの人气が戻ってきているとも聞きます。このような移り変わりをみると、社会や人が技術を育てていくんだということを感じます。10年後に、一体どういうふうにして音楽を聴いているのか想像してみるのも楽しいかと思います。

太陽光発電が最近注目されていますが、ジョージ・フリードマンの『100年予測』では、宇宙太陽光発電（宇宙で太陽光発電をして電気を地上に送る）が出てくるのではなかろうかと書いています。他の本でも人工光合成や核融合など新しい技術の可能性が挙げられています。これから先、様々な技術が登場すると思いますが、将来の人間の良い暮らしに結びつけていきたいものです。

開会挨拶で、「パラダイム」という言葉を白土理事長が使われました。最今、少しずつパラダイム、考え方が変わりつつある、多様化しているのではないかと私も感じています。先日のスコットランドの独立投票を、「一票でも超えたら独立がなされるというのが本当の民主主義なのかなあ」と思って見ていたのですが、民主主義に対する考え方も少しずつ変わってきているのと同時に、価値観の多様化も広がっているような気がします。また、資本主義がどのように世の中を変えてきたのか、これからどういう方向に進むのか、そういうことを含め、人類を取り巻く環境が変わりつつある印象を受けています。その中で当然ながらエネルギー技術は社会、経済、人の暮らしと密接につながっています。エネルギー総合工学研究所は、今後とも盛り沢山のエネルギー技術について研究開発を進めていきたいと思っています。

今後とも、皆様のご支援とご協力、よろしくお願いいたします。本日は本当にありがとうございました。

研究所のうごき

(平成 26 年 10 月 2 日～平成 27 年 1 月 1 日)

◇ 第 20 回賛助会員会議

日 時：10 月 7 日（火）16:00～19:30

場 所：千代田放送会館

議事次第：

1. 最近の事業活動について
2. 調査研究活動について
3. 講演「最近のエネルギー情勢について」
(経済産業省 大臣官房審議官（エネルギー・環境担当）吉野恭司 氏)

◇ 月例研究会

第 338 回月例研究会

日 時：10 月 31 日（金）14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 洋上風力に関する将来展望と技術開発課題
(（一社）海洋エネルギー資源利用推進機構
会長・東京大学 名誉教授・日本大学 理工学部
海洋建築工学科 特任教授 木下 健 氏)
2. 風力発電の大量導入と電力系統への影響
(東北大学 大学院工学研究科 電気エネルギー
システム専攻 客員教授・（一財）電力中央研
究所システム技術研究所 研究参事 七原俊也
氏)

第 339 回月例研究会

日 時：11 月 28 日（金）14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 高温ガス炉に関する最新動向
(東京大学 大学院工学系研究科 教授
岡本孝司 氏)
2. 高温ガス炉プラント研究会の活動状況
(（一財）エネルギー総合工学研究所 プロ
ジェクト試験研究部 部長 藤井貞夫)

第 340 回月例研究会

日 時：12 月 19 日（金）14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. SIP エネルギーキャリアプログラムの概要
とキャリアとしてのアンモニア技術

(内閣府 SIP（戦略的イノベーション創造プロ
グラム）「エネルギーキャリア」 サブ・プロ
グラムディレクター 秋鹿研一 氏)

2. 高水素エネルギーの大規模貯蔵輸送技術 ～“SPERA 水素TM” システムと水素サブ ライチェーン構想～

(千代田化工建設(株) 技術開発ユニット 兼 水
素チェーン事業推進ユニット 技師長 岡田
佳巳 氏)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：黒沢 厚志

テーマ：Japanese perspectives on storage alter-
natives

発表先：IEA R&D Priority Setting Expert Work-
shop（主催：国際エネルギー機関）

日 時：10 月 22 日，23 日

発表者：蓮池 宏

テーマ：Supercritical CO₂ Closed Cycle Gas Tur-
bine

発表先：Japan-German Wind, Solar, and Thermal
Power Workshop

日 時：11 月 7 日

発表者：鈴木 洋明，内藤 正則

テーマ：Model improvements in the SAMPSON
code for the analysis of Fukushima Daiichi
severe accident

発表先：NTHAS9: The Ninth Korea-Japan Sympo-
sium on Nuclear Thermal Hydraulics and
Safety

日 時：11 月 18 日

発表者：松井 徹

テーマ：バイオガスの利用とその関連技術

発表先：北海道大学 第 6 回エコセーフエナジー
分野セミナー

発表時期：12 月 5 日

発表者：益田 泰輔

テーマ：エネルギーシステム全体から見た将来の
電力系統のあり方

発表先：電気学会東海支部・学術講演会（名古屋）

日 時：12 月 12 日

発表者：森山 亮

テーマ：Re-examining the cost of stratospheric aerosol injection

発表先：AGU Fall Meeting

日 時：12 月 15 日

発表者：内藤 正則, 内田俊介, 鈴木 洋明, ペレグリニ・マルコ

テーマ：

- (1) Accident Analysis of Fukushima Daiichi NPP Unit-1 with SAMPSON Code
(発表者：内藤 正則)
- (2) Accident Analysis for the TEPCO Fukushima Daiichi Unit 2 by the SAMPSON Code with Improved Models (発表者：鈴木 洋明)
- (3) Molten Core Relocation Analysis of Fukushima Daiichi Unit 3 by the SAMPSON Code (発表者：ペレグリニ・マルコ)
- (4) Suppression pool testing at the SIET laboratory (3) Experiments on Steam Direct Contact Condensation in a Vertical Multi-holes Sparger (発表者：ペレグリニ・マルコ)
- (5) Suppression pool testing at the SIET laboratory (4) Release of fission products into the environments under severe accident conditions (発表者：内田 俊介)

発表先：10th International Topical Meeting on Nuclear Thermal Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-10) (沖縄コンベンションセンター)

日 時：12 月 15 日～17 日

[論文]

発表者：發知 諒, 端倉弘太郎, 児島 晃 (首都大学東京), 益田 泰輔

テーマ：予見補償を導入した負荷周波数制御

発表先：第 57 回自動制御連合講演会 資料

日 時：11 月 11 日

発表者：田川芳洋, 小池雅和, 石崎孝幸 (東京工業大学), Ramdani Nacim (Universite d'Orleans), 大関崇, Joao Fonseca (産業技術総合研究所), 益田泰輔, 井村順一 (東

京工業大学)

テーマ：太陽光発電の区間予測を利用したモデル予測制御型発電計画

発表先：第 57 回自動制御連合講演会 資料

日 時：11 月 11 日

[寄稿]

発表者：小野崎正樹

テーマ：総論：これからの発電を支える技術，設備開発の動向

寄稿先：電気評論誌 (2014 年 11 月号)

◇人事異動

○10 月 31 日付

(出向解除)

笹倉正晴 プロジェクト試験研究部 主管研究員

○11 月 1 日付

(嘱託採用)

笹倉正晴 プロジェクト試験研究部 参事

○11 月 30 日付

(出向解除)

高浪祐明 原子力工学センター主任研究員

(出向解除)

坪井繁樹 プロジェクト試験研究部 主管研究員

○1 月 1 日付

(採用)

佐藤優美子 経理部研究員

(出向採用)

日浦俊哉 プロジェクト試験研究部 主管研究員

編集後記

昨年の電撃的なアベノミクス解散による第47回衆議院議員選挙は、蓋を開けてみれば、直前の予想どおり与党の自民、公明両党の圧勝で終わった。勝利の要因は受け皿となるべき野党がなかったため、との声があるにせよ、これまでの国政運営に対する評価を踏まえ、当面は安倍政権とアベノミクスの継続が信任を得た形となったわけである。件のアベノミクスをはじめ、集团的自衛権を含む安全保障問題、エネルギー政策、原子力発電所の再稼働など、第3次安倍内閣の課題は山積している。首相の言葉どおり、是非、丁寧に国民に説明しながら政策を進められることを望みたい。

エネルギーについて振り返ると、去年は相変わらず内外ともに様々な動きが見られた1年であった。国内に限ると、やはり4月に新たなエネルギー基本計画が策定されたことが一番に挙げられよう。これにより、化石燃料や原子力、再生可能エネルギーそれぞれの特徴を生かした新たなエネルギー需給構造の実現を目指

して取組が進められることとなった。原子力に関しては、川内1・2号機に対し9月に設置変更許可、11月に地元了解がなされ、今後工事計画認可等の手続きを経て再稼働への道が見えてきたことは大きな進展と言える。これに続き原子力規制委員会で安全性が確認された原発の再稼働がさらに進むとともに、他方で再生可能エネルギーや省エネルギーの普及促進等に関する議論も進展し、これらを踏まえてエネルギーミックスが決定され、更には来年のCOP21に向けた温暖化対策が策定される、という運びとなろう。第3次安倍内閣の下、これらの議論が冷静かつスピード感をもってなされることが期待される。

選挙のあった夜、開票速報をあらかじめ見終わって家のベランダに出たところ、思いもかけず南の空に明るい流れ星に遭遇した。ビルの谷間に消えた後、気を取り直してエネルギーの明るい未来の到来を祈った次第である。

編集責任者 重政弥寿志

季報 エネルギー総合工学 第37巻第4号

平成27年1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。

