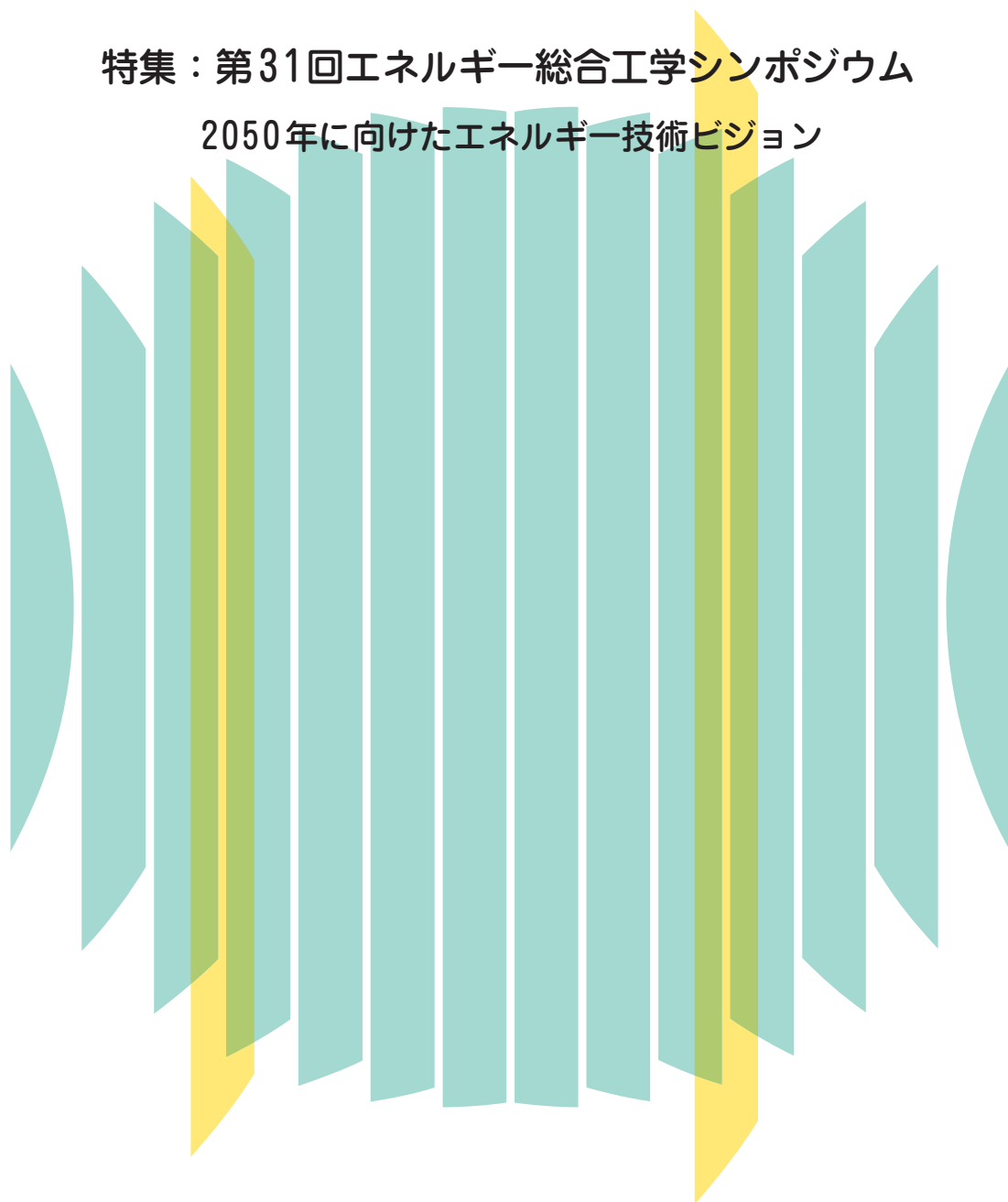


季報 エネルギー総合工学

Vol. 39 No. 4 2017. 1.

特集：第31回エネルギー総合工学シンポジウム
2050年に向けたエネルギー技術ビジョン



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

第31回エネルギー総合工学シンポジウム

2050年に向けたエネルギー技術ビジョン



来賓挨拶を述べる 谷 明人 経済産業省 技術総括審議官

日 時：平成 28 年 10 月 7 日（金） 10：00～15：45

場 所：千代田放送会館

総合司会：理事 重政 弥寿志

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	谷 明人	…… 3
【基調講演 1】	長期的視点に立った地球温暖化問題解決のためのエネルギー技術 米国エネルギー省 パシフィック・ノースウエスト国立研究所 チーフ・サイエンティスト ジェームズ・エドモンズ		…… 5
【基調講演 2】	エネルギーシステムインテグレーション～ビジョンと計画の策定に向けて～ 東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター特任教授	荻本 和彦	……12
【基調講演 3】	エネルギー・環境イノベーション戦略～ 2050 年に向けた科学技術の方向性について ～ (国研) 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 研究戦略部イノベーションコーディネーター	西尾 匡弘	……26
《 講演：2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン 》			
【講演 1】 GRAPE による中長期的な温室効果ガス削減に向けたエネルギーシステム分析	プロジェクト試験研究部 環境グループ 主管研究員	加藤 悦史	……35
【講演 2】 エネルギー需要の削減 (民生部門を例にとり) 水素グループ	研究員	水野 有智	……42
【講演 3】 次世代火力発電技術	化石燃料グループ 主管研究員	酒井 奨	……46
【講演 4】 再生可能エネルギー	新エネルギーグループ 主管研究員	森山 亮	…… 52
【講演 5】 水素・燃料電池技術	水素グループ 主管研究員	石本 祐樹	……57
【講演 6】 原子力	原子力グループ 主管研究員	都筑 和泰	……65
【閉会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 専務理事	佐藤 憲一	……72
【研究所のうごき】	…… 74		
【編集後記】	…… 77		

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



皆様、おはようございます。本日はご多用中のところ、私共のシンポジウムに多数の方にご参加いただきありがとうございます。久しぶりの秋らしい天気になったわけですが、今日一日、色々な講演、発表に我慢して頂きたいと思います。今週はまた、月曜日に大隅良典先生のノーベル賞受章の嬉しい知らせがありました。それと反対に、台風18号が日本をかすめて行きまして、今年は災害の多い大変な年になったと思っております。これも気候変動の影響がかなり出てきたせいかなと考えている次第です。

昨今のエネルギー状況を見ますと、現在、原油価格が2003年来の安値水準から少し戻しまして、1バレル40ドル台で推移しています。今後、発展途上国の需要増加が進み、長期的には化石燃料も価格が上昇すると予測されております。原子力の方は、中国で44台目の発電所が営業運転を開始したそうです。イギリスなどの原子力発電所建設も進んでいます。しかし、わが国では、「原子力の冬の時代」とでも言いましょうか、なかなか運転を再開する発電所も少なく、一方では再処理体制の見直しや「もんじゅ」の廃止議論なども出て、非常に停滞している状況ではないかと思えます。再生可能エネルギーにつきましては、ドイツで賦課金の上昇など、国民負担の増大が社会問題になっておりまして、再生可能エネルギーの見通しもなかなか立たないところにあるのではないかと思います。

また、昨日、国連は、COP21で採択された「パリ協定」が今年の11月4日に発効すると発表しました。2018年頃の発効だろうと予想されていたのですが、77カ国の国・地域が締結文書を提出し、それよりもはるかに早い発効となりました。わが国では、今年5月に、2030年において2013年度比26%減にするという中期目標を折り込んだ「地球温暖化対策計画」が閣議決定されましたが、未だに締結文書を国連に提出するには及んでおりません。次回、モロッコのマラケシュで開催予定のCOP22に併せて行われる「パリ協定」の第1回締結国会議に間に合うかどうか危ぶんでいるところです。他方、今月5日と6日に、ICEF (Innovation for Cool Earth Forum) が開催されましたが、わが国への台風、アメリカへの物凄いハリケーンの襲来といった状況を見ますと、一刻も早い地球温暖化問題への対応が必要だと思えます。

ノーベル賞受章の大隅先生は、「基礎研究にもっと光を」とおっしゃっておりますが、わが国では家電メーカーの台湾や中国への売却話が進められているところですので、基礎研究ばかりでなく応用研究も一生懸命やる必要があるのではないかと思います。私どもの研究所は、応用研究が中心になっております。

このような状況を踏まえまして、本シンポジウムでは、「2050年に向けたエネルギー技術ビジョン」をテーマとして報告させていただきます。まず、米国エネルギー省パシフィック・ノースウエスト国立研究所のジェームズ・エドモンズ博士から「長期的視点に立った地球温暖化問題解決のためのエネルギー技術」について基調講演を頂きます。続いて、東京大学の荻本和彦特任教授から「エネルギーシステム・インテグレーション」について。更には、産業技術総合研究所の西尾匡弘イノベーションコーディネータから「エネルギー・環境イノベーション戦略」について基調講演を頂きます。その後、当研究所が有する、世界のエネルギー環境に関するシミュレーションモデル GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect the Environment) による分析結果と 2050 年に向けたエネルギー技術について、当研究所より報告いたします。

最後に、公務ご多用の折、ご臨席を賜りました谷・経済産業省技術総括審議官、本日ご講演頂きますエドモンズ博士、荻本様、西尾様に改めて心より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になることを祈念いたしまして、開会の挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。(拍手)

来 賓 挨 拶

谷 明人 (経済産業省
技術総括審議官)



本日、このような時宜を得た素晴らしいシンポジウムを開催されました白土理事長を始めエネルギー総合工学研究所の皆様方に心から敬意を表させて頂きたいと存じます。また、本日ご参加の皆様方には平素よりエネルギー行政や産業技術行政各般に渡りまして、ご理解ご支援頂いておりますことを、この場をお借りして御礼申し上げさせて頂ければと思います。また、本日は米国エネルギー省のエドモンズ博士始め、東京大学の荻本先生、産業技術総合研究所の西尾様のご講演、そして、エネルギー総合工学研究所研究員の方々の研究内容を拝聴させて頂くことを大変楽しみにしております。

やはり、エネルギーというのは、食料とともに私たちの生活のために1日たりともなくてはならないものだと思っています。ただ、食料と違いますのは、エネルギーは使用量が膨大だということです。私たち成人男性が1日に必要とするエネルギー（摂取カロリー）は2,000kcalと言われておりますが、各統計によりますと、1人当たりのエネルギー消費量は、世界平均で45万kcalくらいだということです。日本のエネルギー使用量はこの数倍ですから、私たちは生きて行くのに必要なエネルギー以外に、その数百倍のエネルギーを使ってこの社会を維持しているのだと思っています。

エネルギーの世界は、非常に複雑と理解しております。ですから、生産、使用、環境保全という3つの視点で、エネルギーの公平性、効率性について、技術的・科学的エビデンスをもって考えていかれるミッションは、正に、エネルギー総合工学研究所のミッションとして大変重要なものだと思っています。

私は、35年以上前のまだ学生だった頃、インターンシップで北海道の炭坑に1ヶ月ほど行ったことがあります。その炭坑で事故が起こり、100人近い人が亡くなりました。しかも、10人以上の方が地底に閉込められ、まだ生死が確認できない段階で、資源を守るために上から注水をし、半年後にご遺体を引き上げるというすさまじい時代がありました。それだけ人類にとって、エネルギーを得るということは、本当に命をかけた作業であると思っています。また、四半世紀以上前、湾岸戦争の後に、私はクウェートの日本大使館に石油担当の書記官として赴任したのですが、その時は700本以上の油井がある世界第二のブルガン油田が炎上し、世界各国から命を張った決死隊が来て、それを消し止めま

した。その時、エネルギーを支えるために人類が大変大きな犠牲を払ってきたということを、ひしひしと感じた次第です。

今日のメインテーマの「2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン」との関連では、この度、「パリ協定」が締結されました。これは、産業革命後の気温上昇を 2℃ 以内さらには 1.5℃ 以内に抑え、今世紀末には実質的な CO₂ 排出量をゼロにするという非常にチャレンジングな目標に全世界が合意したという歴史的な出来事だと思っています。しかし、エネルギーを効率的に利用するということは、想像以上に難しいことで、例えば、石炭火力からの CO₂ 排出量は、1970 年の亜臨界圧発電では 900g-CO₂/kWh と言われましたが、それが 2040 年に石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）とか石炭ガス化複合発電（IGCC）で使っても 530g-CO₂/kWh くらいで、半分にも下げられない。それだけ難しい課題にチャレンジしていかなければいけないということです。今日のシンポジウムでは、その大きなミッションを実現するためにどれだけ大きな壁があるのかということを、よく勉強できるのではないかと期待しているところです。

しかし、アポロ計画も 1961 年にケネディ大統領が、1960 年代の終わりまでに人類を月面に到達させかつ安全に地球に帰還させるという大きな目標を表明したことからはじまったと聞いています。その時はアメリカ航空宇宙局（NASA）の誰もそんなことができるとは思っていなかったそうですが、結果としてそれが実現できたのは、大きな危機感と野望、ミッションがあったからだと思っています。

今日のシンポジウムを通じて、「パリ協定」の大きな人類共通の課題に、日本が貢献して行くための方向性が出せるのではないかとと思っています。1 つは技術による貢献です。日本の先進的な技術を海外に移転することで、日本国内の数十倍、数百倍の効果が得られると思います。また、社会システムの構築による貢献もあると思います。例えば、1987 年に日本初の石炭火力発電所が長崎で運転を開始したのですが、その時は豪州炭を使用したということです。当時、石炭のようなバルキーなものを輸出したり、輸入したりすることは誰にも考えられなかったですし、さらに豪州は「資源ナショナリズム」で自国資源の輸出禁止を国是としていました。そこで、田中角栄総理（当時）が豪州と交渉し、日本への豪州炭輸出を例外にして、資源を世界各国できちんと分かち合って良く使って行こうという現在のような「ウィン-ウィン」の関係が築かれたと思っています。このような、社会システムの構築でも今後日本が世界を切り拓いて行く存在になれると信じています。

本日のシンポジウムを通じまして、益々、日本のエネルギー産業に従事する皆様方、そして関係者の皆様方の理解が深まり、前に進めることを祈念いたしまして、簡単ではありますが、私の挨拶とさせていただきます。（拍手）

長期的視点に立った地球温暖化問題解決のための エネルギー技術

ジェームズ・エドモンズ (米国エネルギー省 パシフィック・ノースウエスト
国立研究所 チーフ・サイエンティスト)



はじめに

『正味ゼロの排出を目指すための長期的なエネルギー技術』(Energy Technology for Long-term Net Zero Emissions) についてお話ししたいと考えております。

最初に、科学の観点から、「パリ協定」で合意された、今世紀中に平均気温の上昇を工業化前と比べ2℃以下に抑えるという目標の意味するところが何なのかを見ていきます。

その次に、その目標を達成するための排出経路(RCP)を見ていきます。

そして、目標達成に必要な技術にはどういったものがあるのかを見ていきます。

「2℃以下への抑制＝正味ゼロ」とは

「2℃以内への抑制」という目標がなぜ「正味ゼロ」(Net Zero) を意味するのかです。

図1の縦軸は、産業革命期の平均気温との差で、横軸は、1870年以降、化石燃料、産業プロセス、森林伐採、その他諸々からの二酸化炭素(CO₂)の累積の総排出量です。

RCP2.6(低位安定化シナリオ)、RCP4.5(中位安定化シナリオ)、RCP6.0(高位安定化シナリオ)、RCP8.5(高位参照シナリオ)の4つの排出シナリオは、どれも平均気温の上昇が0～5℃に収まっていますが、2℃のときに各シナリオが想定する累積総量を見ますと

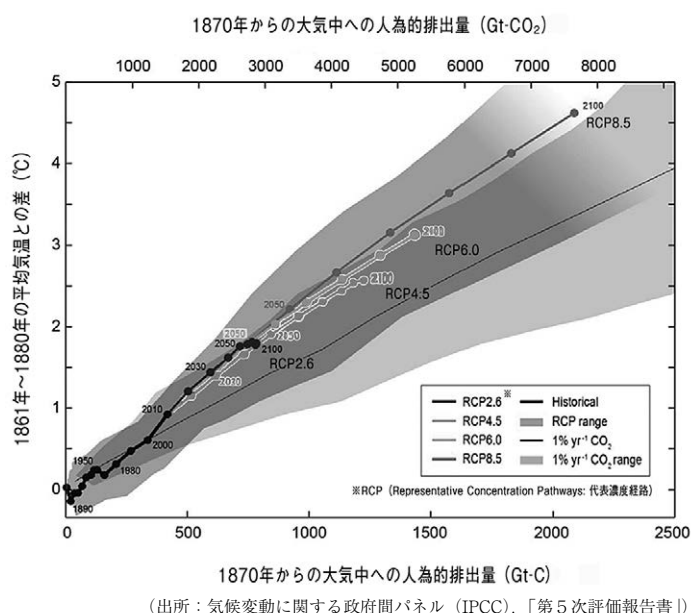


図1 累積排出量と4つの排出シナリオ

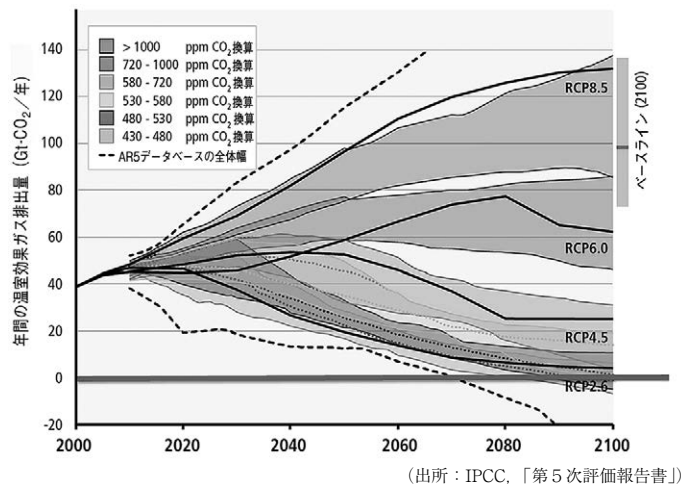


図2 ゼロエミッションと4つの排出シナリオ

約1兆トンになります。つまり、1870年以降、あらゆる場所、あらゆる排出源からの排出を足した許容量総計の上限は、約1兆トンだということです。これを越えない方法は、最終的に排出を止める以外にありません。

図2の横軸には、年々の排出量をとっています。時間軸を見ていくと、RCP2.6というシナリオ、放射強制力の増加分を 2.6W/m^2 に抑え平均気温の上昇を 2°C 程度にとどめるシナリオだけが、全ての時点で CO_2 換算濃度430～480ppmの帯の中に入っています。逆に言うと、このシナリオ以外では目標を達成できないということになります。つまり、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)のデータベースを基にした排出シナリオ群によれば、今世紀末までに気温上昇を 2°C 以下に抑えるには、排出量をゼロにしなくてはいけないのです。参照シナリオ(ベースラインシナリオ)だと、気温上昇 2°C 以下という目標の達成はできません。

排出を想定するシナリオの場合、どうやって出量をゼロに下げていくこと(ゼロエミッション)ができるのかという疑問が出てきます。

その答えは、すべてのシナリオに共通している以下の戦略的要素を駆使することです。

- ▶ エネルギー効率の向上～経済的に可能な限りの需要削減
- ▶ 発電部門の脱炭素化
 - 再生可能エネルギー
 - 原子力
 - バイオエネルギー
 - 化石燃料 (CCS 付き)
 - バイオ燃料 (CCS 付き)
- ▶ 民生部門と産業部門での電化
- ▶ 運輸部門の脱炭素化
 - 電化
 - バイオ燃料
 - 水素
- ▶ 森林破壊の停止、植林および穀物収率の向上

ゼロエミッション実現の技術と施策

5つの戦略的要素

そうすると、RCP2.6以外の排出シナリオにおいて、例えば、最大で年間1,000億トンの

①エネルギー効率の向上

エネルギーシステムからの CO_2 排出量の伸びを抑える、あるいは減らすということです。そして、経済的に可能な限り、エネルギー需要を抑えることでエネルギーの規模を縮小させていくことです。

②発電部門の脱炭素化

その選択肢は多岐にわたります。まず、思いつくのが再生可能エネルギー（再エネ）だと思います。しかし、再エネは脱炭素化手段の1つに過ぎません。原子力の割合が非常に大きいモデルもあります。逆に、原子力の比率を抑えているモデルの場合、化石燃料由来の電源を組み込みながら、炭素回収貯留（CCS）技術を折り込んでいます。

その他にバイオ燃料があります。このバイオエネルギーによる発電には、非常に興味深い側面があります。バイオ燃料は、炭素と水素を使ってエネルギーを提供しているという点で化石燃料と同じです。

違いは、化石燃料では、何千万年、何百万年か前に取り込んだ炭素を今燃やして放出するのに対して、バイオ燃料では、例えば去年取り込んだ炭素を今年燃やし、もう一度大気中に放出するという非常に短いサイクルになることです。そういう意味で、バイオ燃料を燃やすことによる大気中への炭素排出は、「正味ゼロ」になります。バイオ燃料、あるいはバイオエネルギー発電をし、そこにCCSでCO₂を回収貯留してしまえば、実際には「マイナスの排出」を達成できるのです。

③民生部門と産業部門における電化

発電部門で可能な限り脱炭素化を図り、その電力を多様なところで使っていきます。しかし、特に、産業部門においては排出削減を電化だけで行うのは難しいという側面があります。

④運輸部門の脱炭素化

運輸部門の脱炭素化は、経済活動上一番難しい分野です。主に、電化、バイオ燃料、そして水素という3つの手法を使います。

ですから、モデルによっては脱炭素化で発電された電気を使った自動車を導入することで、運輸部門の脱炭素化を図るということもあります。それから、カーボン・ニュートラ

ルなバイオ燃料で自動車を走らせるという方策もあります。また、代替エネルギーとしての水素を使った輸送も考えられるわけです。

⑤土地利用

ゼロエミッションを達成するパズルの最後のピースが土地です。見過ごされがちなのですが、許容される累積排出量は1兆トンという上限がある一方で、大気中の炭素総量は2兆トンなのです。ですから、シナリオのほとんどには、まず森林伐採を止めることが盛り込まれています。それと同時に、植林も促しています。

森林伐採の制限・停止、植林という土地利用と並行して、シナリオには、人々の食料生産に土地をさくことも組み込まれています。ですから、ゼロエミッションを達成するには、食料作物の収率（実際の収量／理論収量）を上げることも非常に重要なのです。

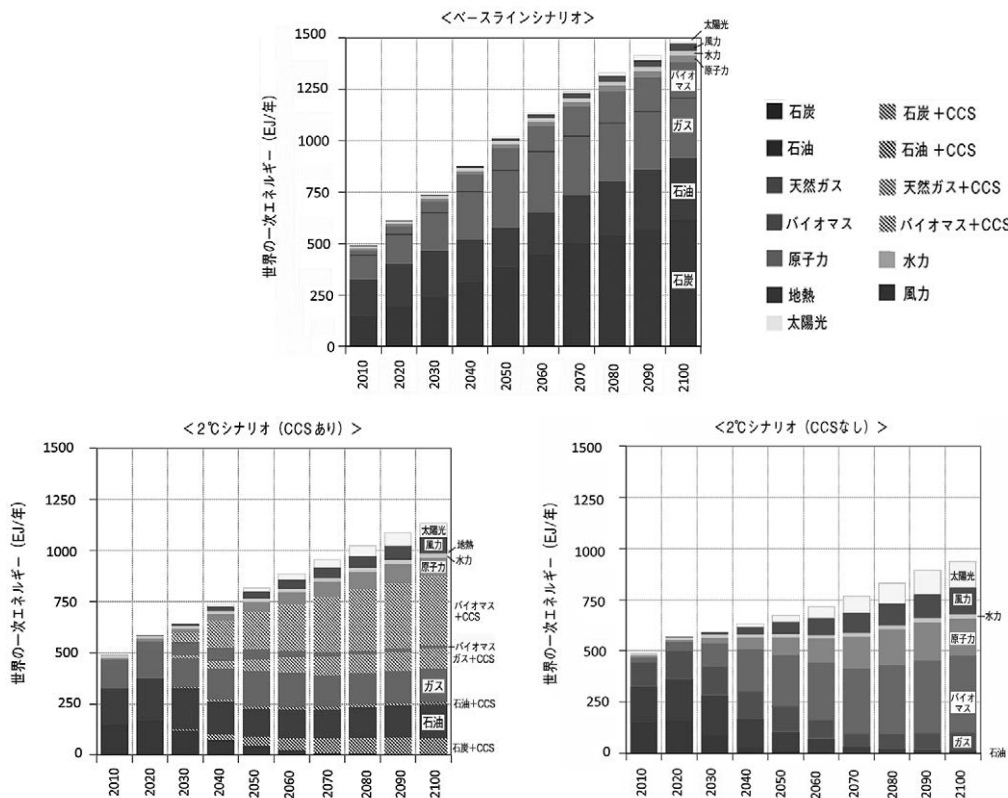
ゼロエミッションと一次エネルギー構成

図3に、気候変動に対して何の対策も講じないベースラインシナリオ、正味ゼロの排出量を目指す2℃シナリオの「CCSあり」と「CCSなし」に対応する世界の一次エネルギー構成を示しました。

エネルギー構成が根本的に違うものになってくることが分かります。ですから、2℃以下に抑える目標の達成は、とりもなおさず、「エネルギー革命」を起こすことになるのです。

先ほど話したエネルギー効率の向上によって、必要となるエネルギーの規模と炭素排出量を小さくしながら、サービスを提供することが最終的に目指す戦略となります。

その気候変動を2℃に上限を設定するというシナリオの中で実際に展開されているエネルギーサービスは技術的に多岐にわたっています。やはり、時間の経過と共にエネルギーを提供する方法とそれを利用する方法の連動性がますます高まってくると思われます。



(出 所: Edmonds 他, Global Economic Consequences of Deploying Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS), Environmental Research Letters, 2016)

図3 2℃シナリオと世界の一次エネルギー構成

ですから、個別の利用技術レベルでエネルギー効率を高めるだけでなく、電力システム全体、システム全体でのエネルギー効率の向上、例えばスマートグリッドや系統連係における省エネルギーが行われて行くようになります。

新技術の導入規模

今世紀末までの間、非常に重要な課題として、新技術を実際に展開していくときの規模の問題があります。

風力を例にとって2℃シナリオの中でどういう位置付けになるのかお話ししたいと思います。今回は風力を例にとってお話ししますが、原子力やCCS、バイオ発電など、その他の新技術でも同じことが言えます。

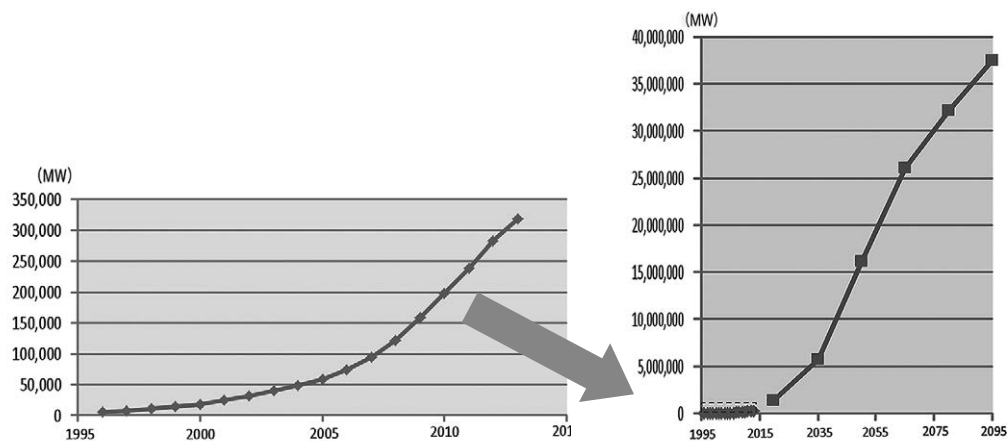
まず、図4の左に、1990年代後半からの風力の導入量を示しました。この20年間で風力発電がに成功裏に拡大し、設置容量を増やし

てきたことが分かると思います。

今度は2℃シナリオの中で、風力がどこまで要求されるのか見てみます。図4の右(縦軸の目盛が左図の100倍)に示しましたが、左側で華々しい伸びを見せていた導入量の推移が、右側では、ほぼ横軸をはっているような形になってしまいます。

風力ですらこうですから、例えば、CCSを同じように2095年まで描いてみますと、更にチャレンジングなとんでもない図になってしまうのです。電力会社の経営陣の方々にこういったお話をしますと、2℃シナリオがいかに高邁な挑戦であるか如実に分かるというコメントをいただきます。

ですから、1世紀単位での目標達成というスケールで見ると、風力同様、非常に高いと思われる目先の目標ですら微々たるものと言わざるを得ません。



(出所：世界風力会議 (GWEC))

図4 世界の風力発電の導入量（左：実績，右：2℃シナリオで必要量）

CCS のインパクト

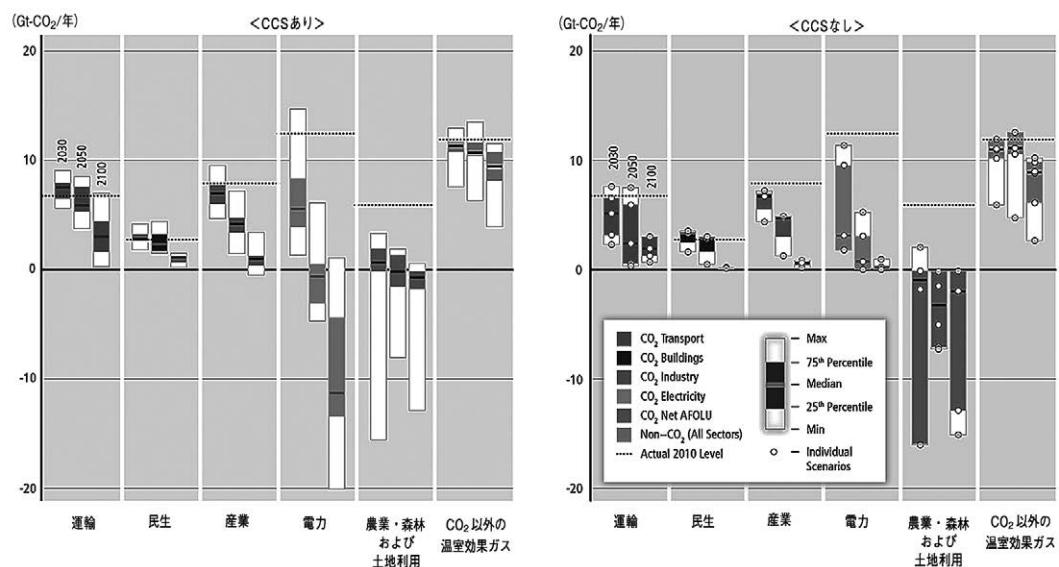
図5に、今世紀末までに気温上昇を2℃以下に抑えるために、CO₂の許容排出量が2030年、2050年、2100年でどうなるのか、運輸、民生、産業、電力、土地利用、CO₂以外という部門毎に示しました。

左側がCCS有り、右側がCCS無しなのですが、CCSの有り・無しにかかわらず、発電部門では、CO₂排出がマイナスになる技術が必要になってきます。というのも、それ以外の部門では、CO₂排出をマイナスにすることが極めて困難だからです。

そうすると、CCSが必要だといったときに、炭素を貯留するための場所は足りているのかということになりますが、地球規模で見ると、最も大きな数値を想定したシナリオのケースでも十分貯蔵できます。

しかし、これは必ずしも世界中のどこにでも十分な貯留可能量があるということを意味しません。

例えば、アメリカでも日本でも、それが可能な場所は限られています。ですから、CCSが実際に展開される場所は、貯留可能量の大きさに依って決まると思います。



(出所：IPCC, 第5次評価報告書)

図5 2℃シナリオ (CO₂ 換算濃度 450ppm) と GHG 排出許容量

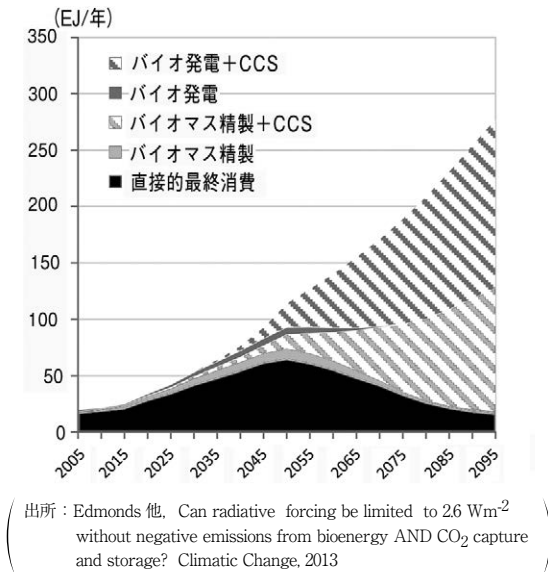


図6 バイオ燃料の用途

運輸部門でのマイナス排出：バイオ燃料使用

バイオエネルギーによる「正味のマイナス排出量への寄与」と言うと、バイオ発電が注目されがちですが、実は、図6で分かりますように、運輸部門でバイオ燃料を使うこと（直接的）でもかなりの寄与が期待できます。

つまり、運輸部門で、バイオマスを原料として精製されたバイオ燃料を使うことによっ

て、マイナスの排出が達成可能となるのです。

2℃シナリオにおいて、ネガティブエミッションを達成できる燃料源というのは、大きな役割を果たすわけなのですが、その副作用がないわけではありません。

バイオ燃料の食料生産への影響

図7で示したように、バイオマス価格は、エネルギー価格に連動します。そのエネルギー価格は、炭素価格に連動します。つまり、炭素価格が上がるとバイオ燃料の原料であるバイオマスの価格も上がることになります。農家からすると、バイオマスの収益が大きくなると、そちらの作物を作る経済的な動機が大きくなるわけです。

そうなってくると、今度は、食料価格がバイオマスと同じぐらいでないと、農家は食料作物を栽培する経済的な動機をなくしてしまいます。従って、バイオ燃料価格の上昇は、世界中で食料作物の価格上昇をもたらすことになるのです。

では、マイナスの排出量を達成するのに、「バイオマスではなく植林をしよう」となるかも

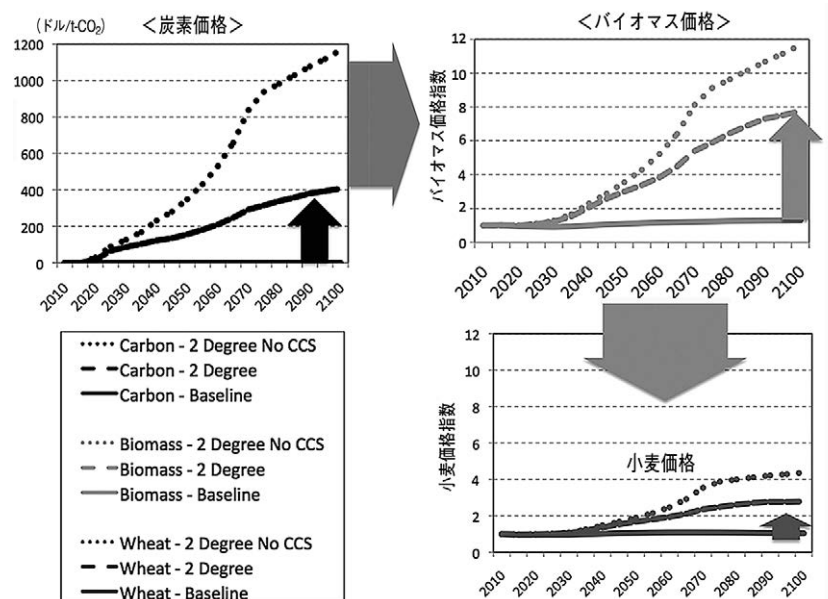


図7 バイオマス価格と食料作物価格との関連

知れません。しかし、これは、ステップを1つ飛び越えているだけに過ぎません。というのも、植林で森林面積を増やす分だけ、他のことに使う土地の面積が減り、食料生産を含む他の土地利用を犠牲にするからです。

結局、この問題に対する唯一の解は、過去の歴史的なペースを上回るスピードで、作物の収率を向上させることとなります。

ブレイクスルー待ちの将来技術

これまでは、比較的馴染みのある技術について見てきました。しかし、将来、大きな役割を果たし得る技術が他にもあります。

例えば、最先端の原子炉のデザイン設計です。原子炉にも炭素排出抑制の役割を果たすことができます。また、水素関連技術も進展しています。それ以外にも、核融合や宇宙太陽光発電、それから大気中のCO₂回収といった技術があり、大きな役割を果たしてくれるかも知れません。こういった技術は、いずれも開発過程における「ブレイクスルー待ちの技術」です。

まとめ

私がこれまで申し上げてきた点を以下のよう
にまとめてみたいと思います。

まず、平均気温の上昇を2℃以下に抑えて気候変動を安定させるには、今世紀中にゼロエミッションを達成することが必須です。そのためには技術革命が必要ですが、そういう技術の選択肢は既にあります。しかし、我々が今直面している課題は、かつてないほどの規模での展開を既存技術で実行しなければいけないという点です。

目標達成のためには、国別の約束（NDC：Nationally Determined Contribution）よりもかなり野心的な目標を設定しなければいけま

せん。そうでなければ、工場やその設備・機械といった既存の資本ストックを本来の耐用年数よりも早い段階で引退させないといけな
いと思います。

以上です。ご清聴ありがとうございました。
(拍手)

[基調講演2]

エネルギーシステムインテグレーション ～ ビジョンと計画の策定に向けて ～

萩本 和彦 (東京大学 生産技術研究所
エネルギー工学連携研究センター 特任教授)



はじめに

本日は、「エネルギーシステムインテグレーション—ビジョンと計画の策定に向けて—」という演題で、2011年3月の東日本大震災以降の再生可能エネルギー（再エネ）、特に太陽光発電（PV）の電力システムへの大量導入を中心に、その課題と対策、更には今後の電力需給計画の策定に向けた話をさせていただきます。

話の流れは、1番目に再エネの大量導入が進む日本のエネルギーの最新状況、2番目にそれが引き起こす需給調整力不足の問題、3番目に需給調整力向上への挑戦、4番目に再エネの導入で先行している外国、特に欧州に見る電力市場の課題と取組み、最後に、持続

的なエネルギー需給の実現に向けて、電力需給を解析・評価する手法である Integration Study について話したいと思います。

日本のエネルギーの最新状況

FIT 制度下で急増する PV

東日本大震災の後に再エネへの期待が非常に高まり、その市場を作るということで、2012年7月に固定価格買取（FIT）制度が始まりました。

PV の FIT 価格は当初 42 円でした。恐らくこれはドイツの FIT 価格の 2 倍以上だったので、設備を設置する人にとってとても魅力的でした。そこで、図 1 で示すように、PV 設置

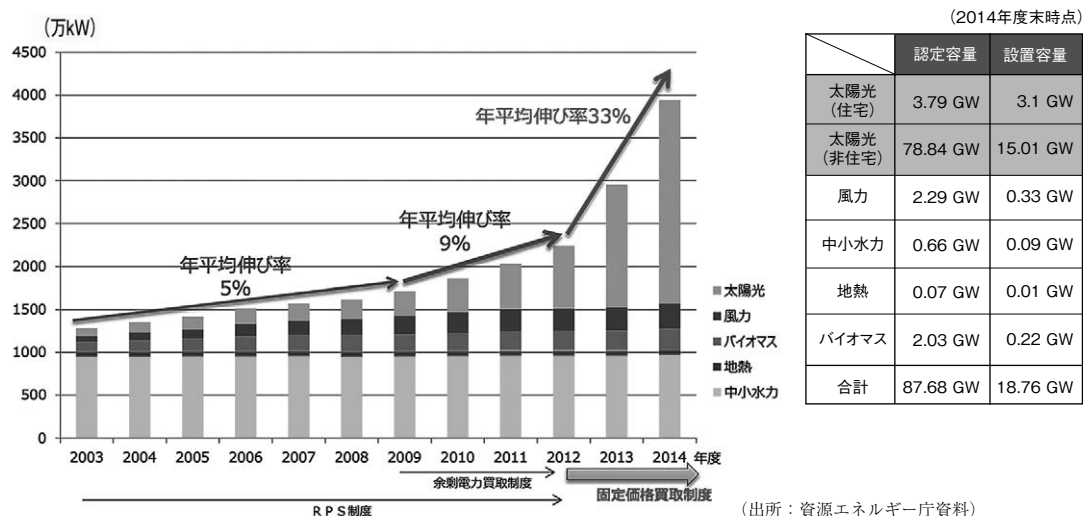


図1 再エネ等（大規模水力除く）による設備容量の推移

表1 太陽光発電の接続可能量

	北海道	東北	北陸	中国	四国	九州	沖縄
風力接続可能量：(a) (万kW)	56 ^{※1}	200 ^{※1}	45 ^{※1}	100	60 ^{※1}	100	2.5
太陽光接続可能量：(b) (万kW)	117	552	70	558	219	817	35.6
太陽光・風力接続可能量 (a)+(b)	173	752	115	658	279	917	38.1
合成2出力(万kW)	105.6	547	62	463	171.5	622	28.8
合成最大出力(万kW)	106.7	549	64	490	190.3	629	30.1
昼間最低負荷：(c) ^{※2} (万kW)	308.4 (5月26日12時)	791 (5月12日13時)	252 (5月12日13時)	554 (5月12日13時)	264.5 (5月12日12時)	788 (5月12日13時)	68.0 (4月7日14時)
(a)／(c)(%)	18.2%	25.3%	17.9%	18.1%	22.7%	12.7%	3.7%
(b)／(c)(%)	37.9%	69.8%	27.8%	100.7%	82.8%	103.7%	52.4%
8760時間断面における需要実績に基づいた分析(2013年度)							
再エネ出力抑制量 (万kWh/年)	4,943	52,102	4,400	11,236	16,400	46,446	-
(抑制率(%))	(2.9%)	(4.6%)	(3.3%)	(1.3%)	(4.5%)	(4.2%)	-

※1 風力接続可能量は、地域間連系線活用による実証分を踏まえたもの(北海道：20万kW 東北：40万kW 北陸：30万kW 四国：20万kW)。但し、北海道電力では、地域間連系線を用いて、風力発電の出力に相当する電気を東京電力に送電することから、北海道電力の需給バランスに影響しないため、合成出力には含んでいない。

※2 昼間最低負荷については、4月又は5月のGWを除く晴れた休日昼間の太陽光発電の出力が大きい時間帯の需要に、余剰買取による太陽光発電の自家消費分を加算している。

(出所：省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会 第8回会合資料，2014年12月)

の申し込みが殺到し、認定容量は80GW(8,000万kW)を超えました。実際の設置容量も20～30GWというのが現状です。

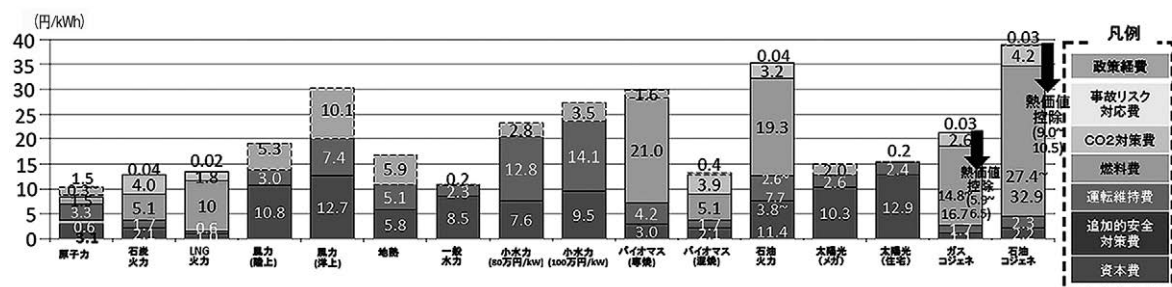
ただ、他の再エネ、例えば、風力や地熱、バイオマスについては、計画、設計、建設にそれなりの時間がかかりますから、FIT制度が始まったからといって、すぐに増やすというわけには行きませんでした。

新聞やテレビ、講演会で、「〇〇千万kWの太陽光発電が入りました」と強調されるPVですが、昼間しか発電できないので設備利用率は12%程度です。更に、出力変動が激しいという特性を持つPVを大量導入しようとする、電力系統側での受け入れが難しくなります。表1に示すように、九州電力(管内では「PVが817万kWまでなら大丈夫。それ以上だとかな

り厳しい」という検討がなされ、「もっと入らないのか。別の場所だったらいいのか」という議論が2年前から行われて来ています。

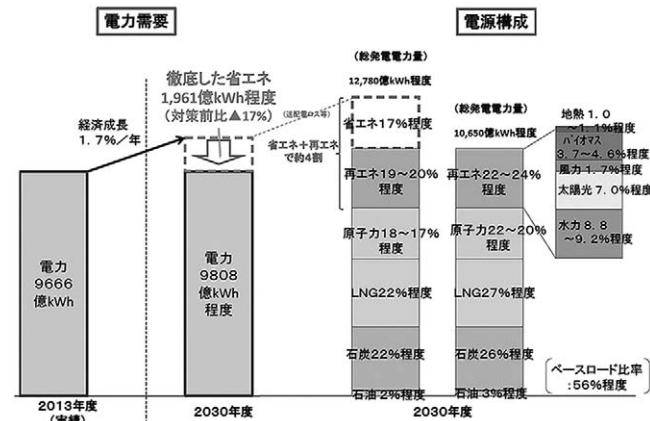
各電源の発電コスト比較

PVを含めてどれが一番安い電源なのか、コスト試算の結果を図2に示します。PVはメガソーラーで24.2円/kWh、住宅用で29.4円/kWhです。ただ、どれが一番安いかわかったとして、その電源が無限に手に入るわけではありませんし、それを導入するには、出力変動を調整するためのコストもかかります。やはり、発電コスト(円/kWh)だけを比べても仕方がないということは、この数年で学んだことの1つだと思います。



(出所：発電コスト検証ワーキンググループ 第6回会合資料，2015年4月)

図2 各電源のコスト比較



(出所：総合資源エネルギー調査会,「長期エネルギー需給見通し」, 2015年7月)

図3 2030年度の電力需要と電源構成

実施可能な計画策定に向けた議論の必要性

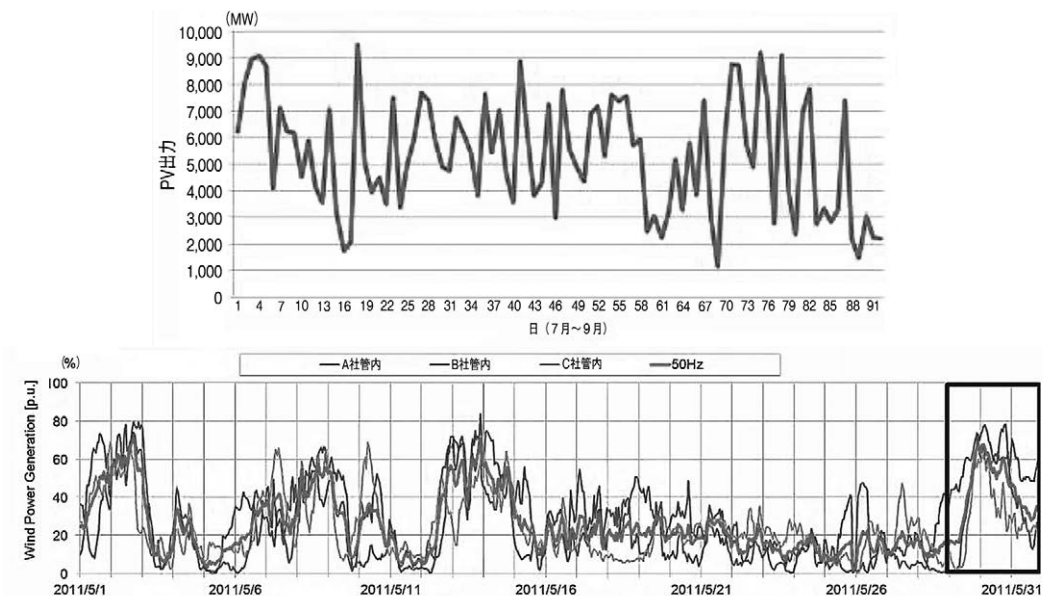
地震から5年以上の間に、かなりハードな議論をしてきました。2014年4月には「エネルギー基本計画」が出て、2015年7月には「長期エネルギー需給見通し」も出ました。そこでは、図3のような電力需要と電源構成が示されました。しかし、再エネの大量導入に伴う色々な課題が明らかになってきた今、実施可能な計画を策定するために、もう1回議論する必要があると思います。たくさんの技術や制度、現実の問題、希望などがあります。今、

私たちは、10年20年かけて作っていくエネルギーのインフラを自分たちのものにする一番重要なところにいるのだと思います。

Variability と Uncertainty: 需給調整力不足の課題

再エネの出力変動

図4の上はPVの出力変動、下は50Hzの



(出所：荻本和彦・池上貴志・片岡和人・斉藤哲夫,「電力需給解析のための全国風力発電データの収集と分析」, 電気学会全国大会, 2012年)

図4 再エネの出力変動 (上：PV, 下：風力 (50Hzの電力会社3社管内))

電力会社3社管内の風力の出力変動です。風力も変動が大きな電源で、例えば、ドイツで風力が一番活況を呈する冬でも、1週間全く風が吹かず、出力がないことがあります。他方、ドイツの電力需要のピークは夜ですが、夜は絶対にPV出力はありません。風力も1週間出力がないとなると、ドイツの夜には、必ず別の電源が必要になるわけです。

需給調整力不足の2つの要素

図5は、ある年の毎日の天気の実績に基づいて、気温の関数である電力需要を4月1日(水)～4月20日(月)について想定したもので、需要は黒い線で示してあります。PV発電量が20%になるように、約2億kWを導入すると最大出力が1億5,000万kWhになります。もともとの需要に対し、日によって1億5,000万kWhのPV発電があると、需要からPV発電量を引いた「見かけの需要」(一番

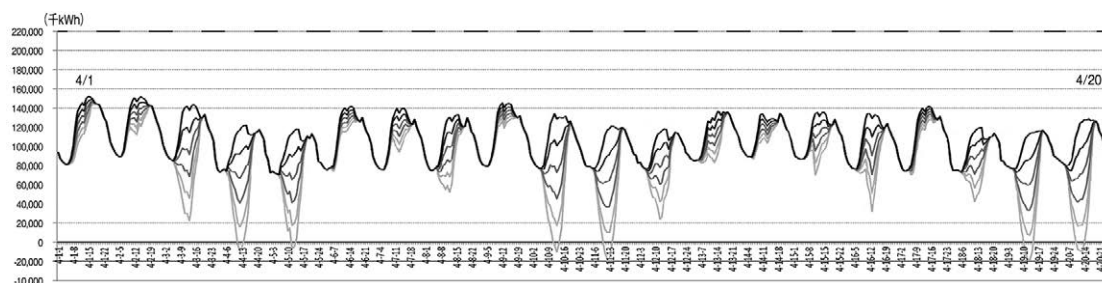
下の線)が随分下がります。週末に晴れると「見かけの需要」がマイナスになってしまいます。

この激しい変動自体も問題なのですが、もう1つの問題があります。それは、これまでPVの出力変動を調整してくれていた電源がなくなることです。図6に示すように、原子力や水力、地熱などの基幹電源(ベースロード)があって、その上に出力変動を調整できる火力や水力、揚水などが乗っているわけですが、「見かけの需要」が非常に小さくなっているの

で、ベースロード以外の電源が動く余地が非常に小さくなっています。

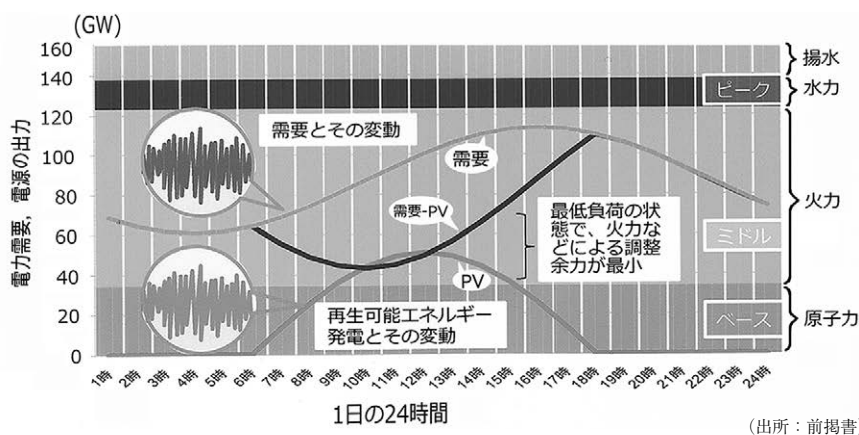
変動の調整をしてくれる従来技術がなくなってしまうと、あっても使えない状態になっていたりすると、問題を難しくします。

図7は九州の需給実績です。需要が小さくなっていたときに、PVがたくさん発電し、原子力も動いていたので、もとの需要との差が小さくなっています。これだけでは最悪の場合、調整用の火力は数台しか動かさません。



(出所：萩本和彦・片岡和人・池上貴志・野中俊介・東 仁・福留潔、「将来の電力システムの需給調整力の解析手法」, 電気学会論文誌 Vo.132 No.8, 2012年)

図5 2030年の系統から見た電力需要(PV発電の割合20%の場合は一番下の線)



(出所：前掲書)

図6 再エネの出力変動、需要変動と需給調整力の関係

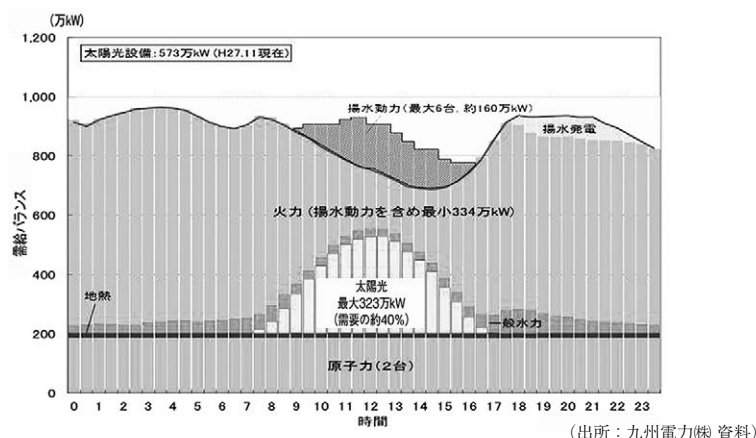


図7 九州の需給実績（2016年1月1日）

2016年1月1日は、揚水がポンプアップに電力消費することで需給バランスがとれました。

ただ、ここに原子力がもう1台動き、もう少しPVが入ると、状況はもっと厳しくなるはずです。このことから、PV導入量を増やす努力と同時に、需給調整力を確保する努力も必要だということが分かります。

電化をすること、そこで低炭素化することは共に重要なのですが、大規模系統電源である原子力も高効率の石炭火力も優れた経済性と環境性を持っていますが、それを発揮するには一定出力の運転をしなければなりません。しかし、どちらの電源も出力調整がしにくい電源です。ですから、どうやって需給調整をするかは、世界共通の大きな課題だと思います。

Flexibility：需給調整力向上への挑戦

5つのソリューション

需給調整力の向上をどう図るか。表2に5つのソリューションを並べました。

第1に、従来電源を最大限に使うということです。火力発電、揚水、水力、あるものはすべて使う。例えば、従来型ではなく可変速タイプの揚水発電所はポンプアップをしながら入力を調整し、周波数を調整することでも

表2 変動性低減の5つのソリューション

1	新しいニーズの反映による、従来電源の需給調整力の最大活用： ▷ 火力発電の最低運転電力低減、負荷調整能力の向上、起動時間短縮 ▷ 揚水の積極運用、可変速化による揚水運転時の調整力向上 ▷ 水力の運用の高度化
2	新たに導入される再エネ発電の調整力の積極的活用： ▷ 出力制御、出力変化率制御、その他の有効電力制御 ▷ 無効電力制御と事故時運転継続機能
3	民生・業務の建物、PHEV/EVの充電需要に分散型の電力貯蔵を含む需要の能動化（自動デマンドレスポンス）
4	送電線、系統連系の拡充によるならし効果と電力システムの柔軟性資源の最大活用環境整備
5	PV、風力など出力の変動する再エネ発電の出力把握・予測を含めたシステム運用と市場運営の高度化と電力システムの進化

きます。または、従来の発電所で最低運転電力が50%だったものを30%に落とすとか、出力を調整できるようにするとか、短時間で起動できるようにするということです。

2番目は、変動の原因が再エネ発電にありますから、原因を止めてしまうということです。一見とても乱暴な方法ですが、全部止める必要はなく、必要な時に必要なだけの出力を抑制することは非常に有効です。もう一歩進めて、例えば、周波数調整とか、他の変動調整に使う技術が、風力分野では確立し使われ始めています。こういう技術を日本にも導入していくことは非常に大きな可能性を持っています。ここまでは技術は確立しており、いつでも使えるというものです。

3番目が需要側のソリューションです。今までは、需要は管理・コントロールできないものという理解だったと思いますが、東京エ

リアでは、東日本大震災直後、前日のテレビニュースの報道によって需要をコントロールするという、世界最大規模の需給コントロール実験とも言えるべき試みが行われました。

こうして、需要をコントロールできることは分かりました。しかし、恐らく地震や天気に合わせて人間が何かを、毎日、ずっと実行するのは不可能ですから、IoT+ α の技術を使い、自動で無数の住宅、業務用ビルが調整できるように、マネジメントすることが有効です。

例えば、ヒートポンプ給湯器が東京エリアの1,500万世帯全部に入っていて、消費電力が1kWだとすると、1,500万kWの需要になります。もしも、昼間に電気が余ることが分かっている、翌日の昼間の数時間ヒートポンプ給湯器でお湯を沸かすという調整ができたとしても、1,500万世帯の半分だとして750万kWの需要が調整できます。この量は、2030年までに作る予定の周波数変換所の容量の2倍以上に相当します。このように、給湯器などをうまく使うインフラができれば、非常に大きな調整力を持つことになります。

4番目は送電線です。電力システム全体をうまく使うにはどうしても送電線が要ります。送電線も、少し余力を残しておいて、何かが起こったら互いに助け合えるような運用をすると、更に送電線の価値が出てくることになります。

そして5番目です。最終的に、こういうたくさんのオプションをうまく使うことです。明日の計画を立てて、出力の把握、予測と併せて、リアルタイムで事故にも対応し運用できる高度な運用技術を開発・導入していくことが、トータルの電力システムを低炭素化して、安定的かつ経済的なものにする鍵だと思います。

需給運用における柔軟性向上の体系

図8に示すように、一定のルールの下で、色々なものを競争させ、協調させて上の目的を実現することが重要です。

ただ、今までは、垂直統合された電力会社という1つの組織で電力システム全体の最適化を図っていました。そこでは、専ら物理法則だけを考えれば良かったのですが、今後は市場を考えて行かなければなりません。ですから、不合理な行動をとる場合もある人間がいても安定で経済的な運用を確かなものとできるルール作りをして、うまく管理していくことが重要になると思います。

以下に、5つのソリューションの具体例をご紹介します。

図9は、風力・PVの出力がコントロールできるという例で、できつつある技術です。

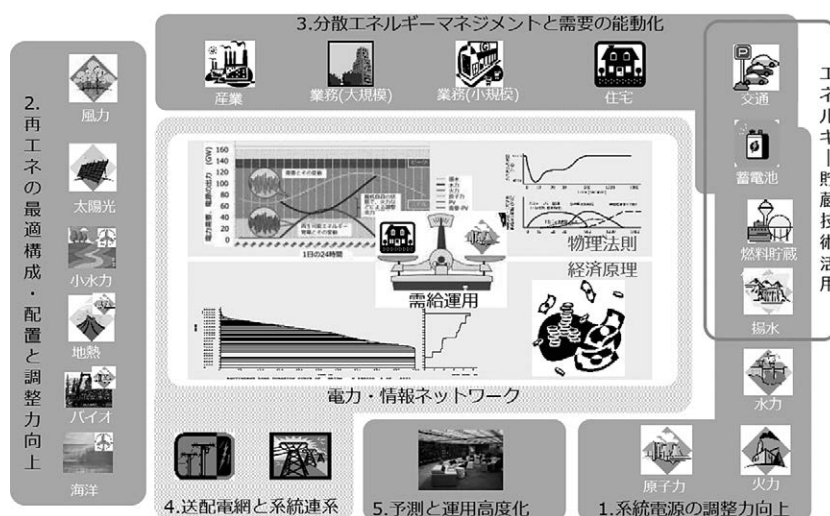
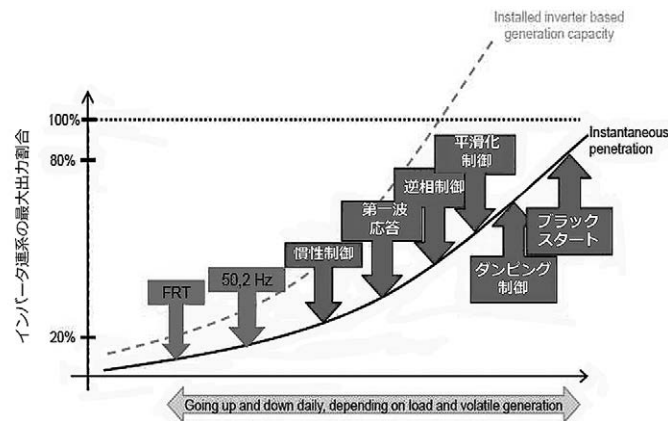


図8 需給運用における柔軟性向上の体系



(出所 : E.Quitman, ENERCON: Ancillary services from WT and related
Grid Codes, IRED,2012)

図9 風力・PVの抑制と協調運転

図10は、需要を調整できないのか、需要の能動化という図です。今まで需要はコントロールできないもので、電池をたくさんつけたら良いかも知れないけれど、電池コストが高いのが課題です。しかし、よく考えると、需要も需給バランスを助ける手段になるのだということで、電池もそこそこの容量で、既設の発電所にもそこそこの頑張ってもらえれば、全体として、かなりの需要調整ができるということを理解いただきたいと思います。

ここで重要になるのが、集中／分散のエネルギー・マネジメントの協調です。どこで需給バランスを取っているのかというと、電力システム全体の周波数です。需給バランスを取る最終目標は、例えば、東京電力管内なら関東全体、東北電力管内なら東北全体です。連

系線があまり太くありませんから、各々のバランスが崩れると連系線に大きな潮流が流れ、システムが不安定になるなど良くないことが起こります。ですから、それぞれの管内でバランスを取ることに価値があります。これは集中のマネジメントです。

他方、需給を閉じて自分を律する必要はありますし、それは全体にとって価値があるのですが、自分が切り離れて独立しようとする、外にある他の電源から助けってもらえない、全部自分で設備を持たないといけないということになり、それは贅沢すぎる、あるいはもったいないことになると思います。つまり、図11に示すように、柔軟性を活かすためには、集中と分散のマネジメントが協調する必要があることを強調させていただきます。

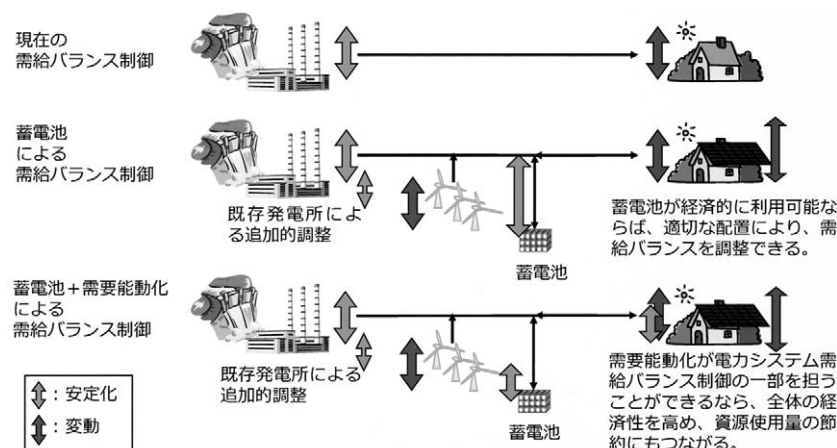
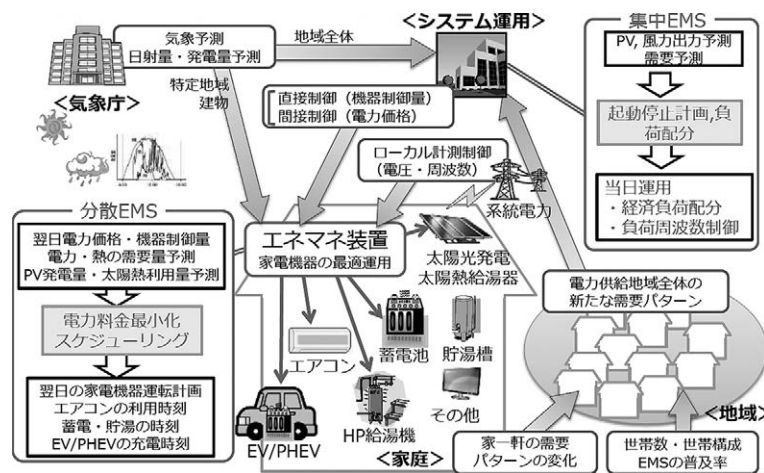


図10 需給運用における柔軟性向上の体系



(出所：荻本和彦・岩船由美子・片岡和人・池上貴志・八木田克英、「電力需給調整力向上に向けた集中・分散エネマネの協調モデル」, 日本エネルギー経済研究所電力部門大会, 2011 年)

図 11 集中／分散エネルギー管理の協調

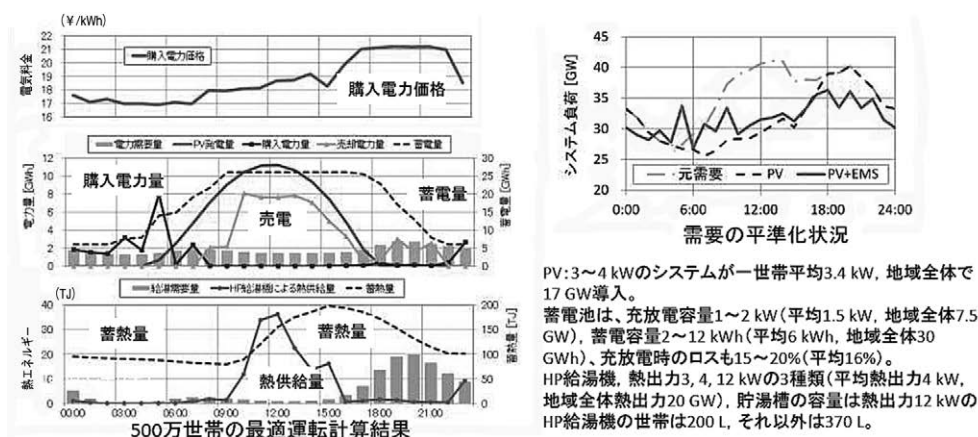
協調のさせ方の1つとして、翌日の昼間に電気が余るのなら、その情報が電気の値段や制御信号などで各家庭に届くと、例えば、価格なら、いつ電気を使うのが一番安いのかを各家庭が自分で考えて、お湯を沸かしたり、充電をしたり、実際に機器を使うということが起こります。それが東京エリアの1,500万世帯で実現すれば、非常に大きな需給調整力になるということが重要な視点になります。

図12は実際に500万世帯でヒートポンプ給湯器に価格信号を与え、自動的に昼間にお湯を沸かしただけを計算した例です。図13は、電気自動車(EV)に価格信号を与えて、自動的に電気が余り、価格の安い時間

帯に充電したらどうなるかを計算しています。

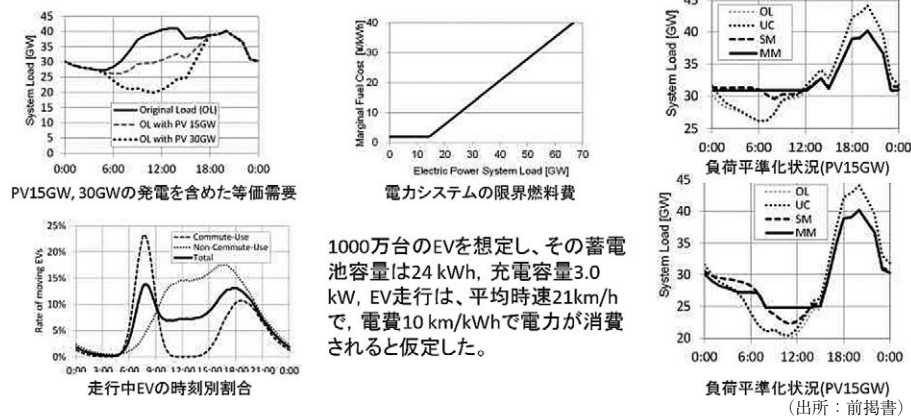
図12と図13は、一見、同じに見えますが実は大分違います。なぜかと言うと、お湯を沸かす場合、一旦沸かし始めると、止めたり、再スタートしたりすると、それなりに無駄が出ますから、同じ時間に連続してやりたいということがあります。それに対して、EVはどう短い時間で切ってもほとんどロスがありませんから、非常に動きやすい需要になるのです。

ただ、電気の値段に少しでも差があると、EVの充電はどこにでも行ってしまいますから、非常に不安定な需要になります。それに対して、ヒートポンプ給湯器の需要は、安定的です。ですから、恐らく価格信号だけで



(出所：池上・荻本・矢野・工藤・井口、「再生可能エネルギーの連系と需要の能動化を考慮した電力システムの経済運用モデル」, 電気学会全国大会, 2011 年)

図 12 ヒートポンプ給湯の能動化による需給調整



EV 充電をコントロールすることはできません。もう1つ工夫が必要になります。

たくさんの需要を管理し、全体のコスト低減、または安定供給につなげるには数が多いということにどう取り組むのか。最近の言葉で言いますと、「アグリゲーター」を技術的、制度的に、またはビジネスとしてどう成立させるかが重要だと思うわけです。

電力市場の課題と取り組み：海外の事例

火力の利用率低下と市場価格の低下

今度は目を海外に移させていただきます。ドイツやスペインなどでは、たくさんの再エネ発電が導入されました。その結果何が起ったか

と言うと、火力発電所の稼働率の低下です。

図 14 は、スペインでのコンバインドサイクル発電と石炭火力発電の運転時間の推移です。どちらも運転時間が減り、その結果、発電量が減っています。図 15 は、マーケットメカニズムによる価格の決まり方を示しています。市場価格というのは、一番高く落札した発電所のコストではほぼ決まりますから、需要が減ってくるとより安い発電機が決まり、市場価格は下がってきます。

こうして仮に、発電量も価格も半分になると、収入は4分の1になってしまいます。実際に、そういうことがドイツで起こりました。再エネの大量導入によって市場価格が下がり、火力発電所の稼働率も下がって売上げも減り、ドイツ、ベルギー、フランスなどでは、新設の火力でさえ閉鎖されているくらいです。

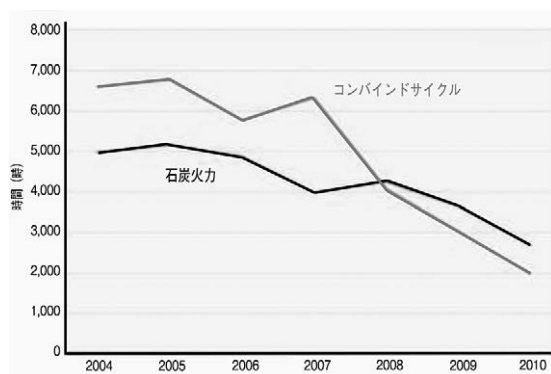


図 14 スペインのガス / 石炭火力の運転時間

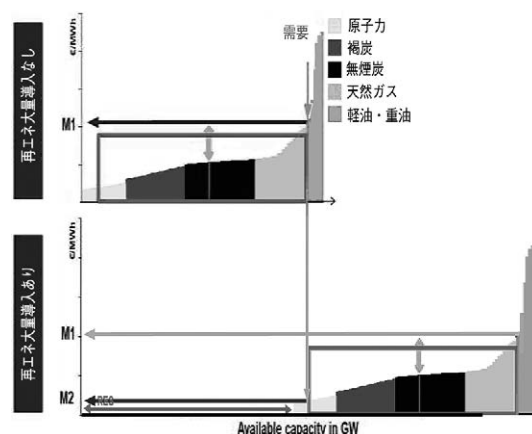


図 15 再エネ大量導入等の市場価格への影響

ループフロー問題と送電網管理

欧州には、計画外の潮流によって、系統間の連系容量の解析や割当を難しくしているループフロー問題があります。図 16 には、連系線を通る電力潮流が矢印で示されて、本来ドイツ国内を通るべき北から南への電力が他国を迂回して流れています。

この問題の原因はドイツにあります。ドイツでは、風力発電ポテンシャルが北部に偏在していますが、需要の多くは南部にあります。ところが、南部の大需要地へ向かう送電容量が不足しているのです。もちろん、送電線の新増設計画はあるのですが、架空送電線が通ると土地の資産価値が低くなることなどを理由に、地権者の誰も建設を承諾してくれず、計画は順調には進んでいません。フランスやスペインでも事情は同じです。

ドイツの電力市場は、物理的には北部と南部の2つのゾーンになっているのですが、卸市場入札ゾーンは、隣国オーストリアと合わせて1つという扱いになっています。卸電力市場の価格もドイツとオーストリアで同一です。ループフローの現状は、そのように決めた市場のゾーンが実態に即していないことを意味しています。

本当は、ドイツ北部と南部の2つのゾーンにしないといけないのですが、一旦つくった市場は簡単には変えられません。そのようなゾーンを作ると、北部では風力からの電気が大量に入ってくるので電気の価格が安くなり、

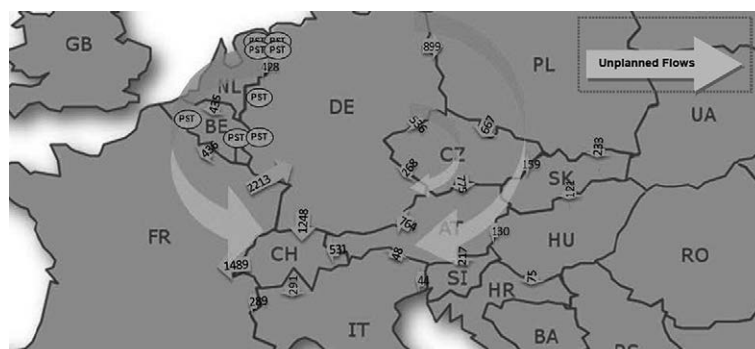
需要家は喜ぶでしょうが、発電事業者は収入が減ってしまいます。対照的に南部では、電気の価格が上がり、発電事業者は儲かって、需要家は損をするという事態になってしまいます。これは、今まで1つのゾーンだと信じて設備や需要を作ってきた人たちにとって、全く想定外の状況になります。

よくこのループフロー問題は、電気の問題のように語られますが、実は、市場の問題、制度の問題なのです。

米国 FERC の電力市場への取り組み

米国連邦エネルギー規制委員会 (FERC) は、2013 年 9 月に「容量市場に関する技術会議」を開催し、今後の容量市場の在り方について議論しています。

更に同年 6 月、「第 6 回ソフトウェア改善による市場と計画の効率改善に関する技術会議」が開催されました。そこでは、毎日の電力システムの運用を支えているコンピュータソフトウェアについての意見交換がなされました。市場では、何千台ものユニットが入札してきて、落札され、その結果がシステムとして安定かどうかを判定して、必要に応じて計画を修正することを数時間でやっているからです。大規模なプログラムが動いているのですが、それが最善に動くのか毎年ワークショップを作り、関係者を集めて検討しています。しかし、課題は山積みです。



（出所：Unplanned Flows in the CEE region - In relation to the common market area Germany-Austria, January 2013）

図 16 欧州のループフロー問題

欧州の統一電力市場への取組み

欧州では、統一電力市場へ向けて、TSOの協議会であるENTSO-Eが系統連系コードの開発という、非常に包括的な取組みがなされています。

また、出力抑制というと、事業者にとって一見マイナスに見えますが、最近、欧州の風力プロジェクトでは、出力が調整できることがプロジェクト組成の段階での収入の1つの柱になっています。出力抑制できることを価値として売っているのです。

出力抑制が良いか悪いかではなく、トータルとして何に価値があるのかを議論できないといけません。そして、本当に価値のあるものがお金になる制度や市場を作って行ければ、どうすればトータルとして儲かるのかを皆で考えることで素直に望ましい世界に変わっていけるようになると思います。

需要の能動化に向けた欧米の取組み

欧州では、EU、規制機関のACERやCEER、送電系統運用者協議会のENTSO-E、事業者連合会のEurelectricなどによって、全体としての議論が行われています。

EUは、“Roadmap 2050”（2011年），“Power Perspectives 2030”，“Long term infrastructure vision for Europe and beyond”（2013年）などで、再エネの変動に対する需要の能動化の重要性を表明してきました。

ACERは、“Energy Regulation A bridge to 2025”（2013年）の規制の在り方に関する議論の中で、デマンドレスポンスに言及しています。

他方、米国では、FERCによる中央での取組みと並行して、地域別の取組みが行われています。FERCは、2007年のエネルギー自給安全保障法に基づき、2009年、2010年、2011年に、アセスメント、アクションプランを策定し、2011年7月には、デマンドレスポンスに関するNational Forumを開催しています。

また、地域の公共事業委員会（PUC）や独立系統運用機関（ISO）もデマンドレスポンスに取り組んでいますが、再エネとの組合せでは、カリフォルニア州の取組みが挙げられます。

電力システムの苦悩

欧州委員会は、“a new energy market design”と“risk preparedness in the area of security of electricity supply”について、2015年7月～10月、一般から意見を求めました。

電力市場の色々な問題についてこの数年間に議論を重ね、課題を確定したので、遂に、ではどうしようかということで、パブリックコメントを求める段階に至ったということです。対象となった文書の目次を見ますと以下のような項目があります。

1. 電力システムの遷移についてのビジョン
2. EUの新しい電力市場の提供
3. 統合された電力システムにおける地域協力のステップアップ
4. ヨーロッパ全体にわたる安定供給
5. 次の展開

また、ドイツでも同じようなことが起こっています。ドイツは2015年7月、“Electricity Market 2.0”という系統安定化策を発表しました。これは、ドイツの電力市場を大きく変えないといけないということを、ドイツが公式に宣言して活動を開始したわけです。

ドイツが取り組む課題は、以下の通りです。

Component 1 より強力な市場メカニズムの実現により必要 容量を自己投資により確保、供給信頼度を維持する
Measure 1 Guaranteeing free price formation on the electricity market
Measure 2 Making supervision of abuse of dominant market positions more transparent
Measure 3 Strengthening obligations to uphold balancing group commitments
Measure 4 Billing balancing groups for each quarter hour
Component 2 柔軟で効率的な電力供給を各国、欧州レベルで実現し、経済的で環境負荷の小さい設備構成を実現する
Measure 5 Anchoring the further development of the electricity market in the European context
Measure 6 Opening up balancing markets for new providers
Measure 7 Developing a target model for state-induced price components and grid charges

Measure 8	Revising special grid charges to allow for greater demand side flexibility
Measure 9	Continuing to develop the grid charge system
Measure 10	Clarifying rules for the aggregation of flexible electricity consumers
Measure 11	Supporting the wider use of electric mobility
Measure 12	Making it possible to market back-up power systems
Measure 13	Gradually introducing smart meters
Measure 14	Reducing the costs of expanding the power grid via peak shaving of renewable energy facilities
Measure 15	Evaluating minimum generation
Measure 16	Integrating combined heat and power generation into the electricity market
Measure 17	Creating more transparency concerning electricity market data
Component 3 供給安定性の向上	
Measure 18	Monitoring security of supply
Measure 19	Introducing a capacity reserve
Measure 20	Continuing to develop the grid reserve

いずれも簡単には解決できない課題ばかりですが、ドイツも変動する再エネやネットワークの問題などを解決しないといけないところまで来たということが分かると思います。それに至る過程で、ドイツでは意見が割れて大変だったというレポートも公開されています。

新たな価値

これまで述べた海外での苦悩と取組の一番奥にあるのが何かを考えてみます。今まで電気というのは円 /kWh で取り引きされてきました。なぜかと言うと、水力も火力も原子力もみんなかなり安定した電気なので、調整というものにはあまり価値が認められなかったからです。ところが、調整してくれる従来電源の運転量が少なくなり、調整を必要とする再エネが増えてきたために、調整力にお金を払って確保する必要がでてきました。現状、市場の中心は、エネルギー市場であって、調整力を調達する市場は、「アンシラリー市場」、「その他市場」と呼ばれ、制度の隅に置かれています。

前述のように、エネルギー市場で、電気の価格はどんどん安くなる運命にあります。では、全ての電気が安く買えるかというと、そ

うではありません。バッテリーなど需給調整を柔軟に行うための必要機器のコストは払わないといけません。また、そのコストを払うためには、それを払えるような市場や制度を作って行かないといけません。

これまでも価値があったにも関わらず、広く認識されてはこなかった価値として、①運用における「需給調整力」、②「運用計画、実運用、事故時の各部門間のスムーズな情報共有と連動した対応、制御、復旧」、③設備計画・建設における「電源・送電網増強の相互最適化」などがあります。

また、新たに出現する価値としては、①「非エネルギーサービス」、②「需要の能動化（自動デマンドレスポンス）」、③「分散電源制御」、④「RES 出力抑制」、⑤「分散電源貯蔵技術」、⑥「EV 充電」、⑦「ビッグデータ活用と IoT」などが挙げられます。

もう1つ大事なことは、価値に気がついて、買いたいと思っても、それを取引する市場がないと買えないということです。そのために、取引市場を作っておかないといけません。「アンシラリー市場」とか、もしも電源自体が足りないのだったら「容量メカニズム」とか、色々なものが実際に必要な「価値」を取り引きするために必要なのだと思います。

今、新しい価値があって、そこに技術と制度を投入することが、欧州や米国で必要になってきています。同様に、日本でも必要になると思うわけです。

持続可能なエネルギー需給の実現に向けて

新しい価値を測るための解析： Integration Study

新しい価値、またはエネルギー需給の大幅な電化が本当にできるのかを考えるために、

色々な分野の方に共通な技術として、電力の需給解析があるので、それをご紹介しますと思います。

色々な新しい技術があって、今のシステムにそれが加わったらどういう価値を生むのか。それを解析できないと、その技術の価値が分かりません。または、そこに価値があれば、どういう特性を持たせれば、その価値を増やせるかも分かりません。そこで、解析できるということが重要になってきます。

その作業は、外国ではよく“Integration Study”と言われています。もともとは、再エネを「電力システムに integrate する」, 「統合する」という意味で使われて来ました。とこ

ろが、最近では、「バッテリーをインテグレートする」, 「EV 充電をインテグレートする」といった使われ方が広がってきまして、「インテグレーション」自体が重要なコンセプトになってきていると思います。

図 17 は、Integration Study の一例で、毎日の需給運用を解析しているというイメージです。同じ日の同じ時間帯に揚水のポンプアップと発電を一緒にやっています。ポンプアップすることで需要を増やし、同時に発電もするということで、調整力を 2 倍供給しているという例です。

図 18 は、PV を 6,400 万 kW と 1 億 kW 導入した時の出力の抑制量を、連系線の運用を

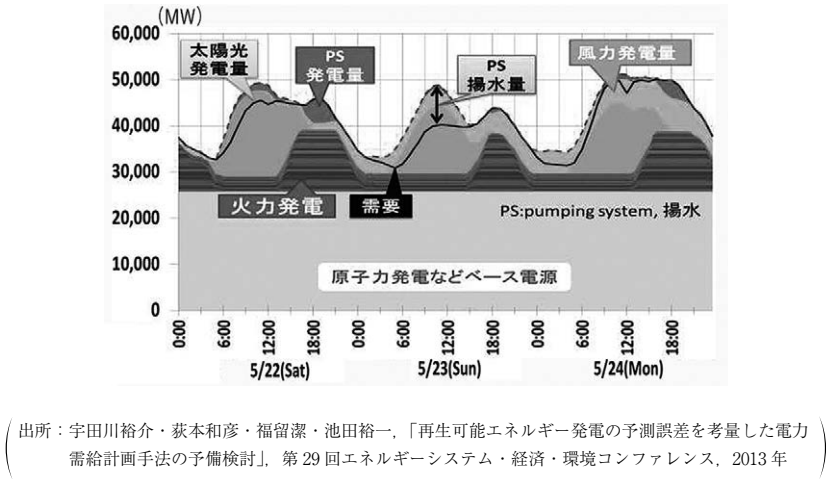


図 17 起動停止計画（UC）揚水運用解析

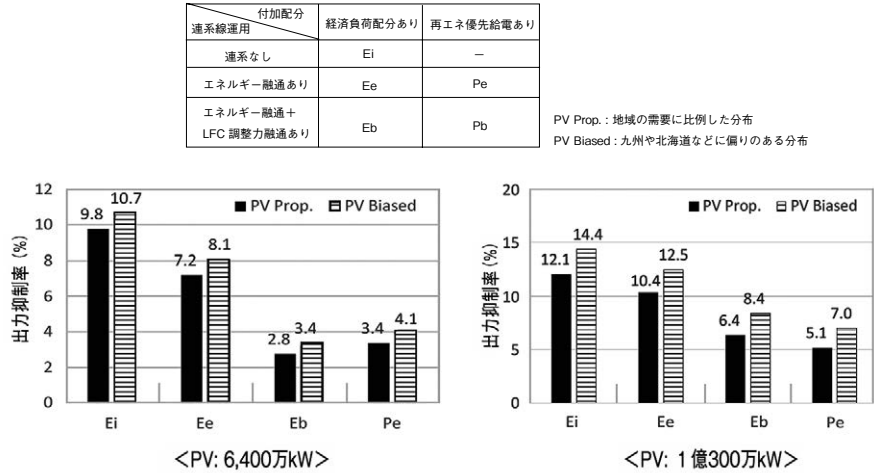


図 18 2030 年の 10 電力システムにおける年間の PV 出力抑制率

変えたケース (Ei, Ee, Eb, Pe, Pb) で比較した棒グラフです。連系線をうまく使うことで、抑制量が減っていることを表しています。

重要なことは、PV を 1 億 kW 導入しても、うまく運用を行えば、抑制量は 5% ぐらいで済むということです。つまり、今の長期需給見通しの 2 倍ぐらい PV を導入しても抑制量は 5% か 6% で済む可能性があるわけです。

ただ、実際の問題は、発電事業者の儲けと社会全体の利益にズレがあることです。再エネを大量導入しても出力抑制で系統の安定化も図れるということを実現するには、技術だけでなく、市場とか全体の制度をうまく調整する必要があるということになります。

いずれにしても、2020 年、2025 年、2030 年に電力システムに再エネが大量導入されたら市場の価格がどうなるかは、ほぼ見えています。再エネがたくさん導入されれば、ほとんど石炭火力の価格で市場価格が決まりますし、導入量がそれほどでもなければ、天然ガス価格で決まって、もう少し安くなる時間帯があるということが計算から分かります。

ここで言いたいことは、再エネ導入による変動を調整するためのソリューションを使ったり、Integration Study をすることによって将来何が起こるかは、ある条件の下で、かなり正確に計算できるということです。

今後は、このようなツールを使って、再エネをどれくらい導入できるのか、どういうコストがかかるのかが分かった上で将来を計画する必要があると思うわけです。

本当にたくさんの困難や可能性がある中で、時間のかかる議論をしていかないといけません。それを効率的にやるためにも、「インテグレーション」という新しい言葉が必要なのではないかと思います。

おわりに

恐らく私も含めて、電気自体が必要な人はほとんどいません。電線を目の前にして、電気が来たら嬉しいという人はほとんどいません。やはり、電気を使って、温かい空間とか、涼しい空間とか、きびきびと動く移動手段とかが欲しいのだと思います。

ですから、電気だけに着目するのではなく、我々がその向こう側のどこに価値を求めているかをもう一度見ると、未来の持続可能なエネルギー需給を構築できる可能性を増やすことができますと思います。

これで私の講演は終わりです。ご静聴ありがとうございました。(拍手)

[基調講演3]

エネルギー・環境イノベーション戦略 ～ 2050 年に向けた科学技術の方向性について ～

西尾 匡弘 (国研) 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域
研究戦略部イノベーションコーディネーター



はじめに

第 21 回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP21) で採択された「パリ協定」(2015 年 12 月) が発効に必要な批准数に達し、本年 11 月 4 日に発効することとなりました。

「パリ協定」は、2020 年以降の地球温暖化対策を定めたものですが、それに先立ち、わが国として 2050 年に向けて科学技術をどういう方向に持っていくか、エネルギー・環境面で何が必要なのかを特定する戦略の策定が進められました。その結果、2016 年 4 月、内閣府総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) によって、「エネルギー・環境イノベーション戦略」(NESTI2050) が取りまとめられました。私は、前職 (CSTI エネルギー・環境担当ディレクター) で、NESTI2050 の取りまとめを担当していましたので、本日、そのお話しをしたいと思います。

本日の話の中身は、技術というより政策的なところになります。CSTI とは一体何で、何をやっている組織なのかが中心です。その中で、本年 4 月から始まった「第 5 期科学技術基本計画」の内容、中でも「Society 5.0」と「科学技術イノベーション総合戦略 2016」で重きを置くべきとされた施策、そして、エネルギー・環境分野とリンクする部分についてお話しします。

それを踏まえ、3 年ほど前に改訂した「環境・

エネルギー革新計画」と「エネルギー・環境イノベーション戦略」(NESTI2050) とがどう策定され、今後どう進められようとしているのかお話ししたいと思います。

総合科学技術・イノベーション会議とは

イノベーション創出の司令塔

CSTI は、図 1 に示すように、平成 26 年(2014 年) 5 月に改組されるまで「総合科学技術会議」という名称でした。

私が「総合科学技術会議」にディレクターとして着任する直前の 2012 年 12 月、政権が民主党政権から安倍自民政権に移行しました。安倍総理から、「イノベーションが経済再生の原動力となる」(2013 年 1 月 28 日の所信表明演説)、「総合科学技術会議を司令塔として、世界で最もイノベーションに適した国創りをする」(2 月 28 日の施政方針演説) というご発言があ

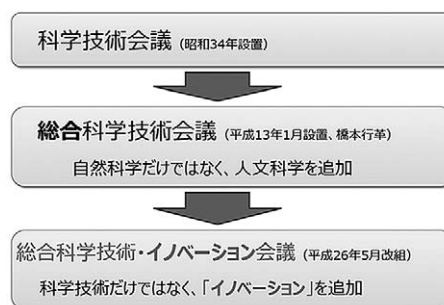


図 1 科学技術に関する会議体の変遷

り、ある意味、テコ入れを頂きました。

総理自らが「総合科学技術会議」の議長を務められ、その下で科学技術に関する決定が行われてきました。民主党政権下では、年2回しか開かれなかった本会議が、安倍政権になった最初の1年だけで11回も開かれています。

実用化・事業化までに広がった会議の役割

「総合科学技術会議」に「イノベーション」という言葉が加わり、「総合科学技術・イノベーション会議」となったわけですが、「イノベーション」を追加したことで起こったことは、研究開発だけでなく、その成果を実用化・事業化していくところまで所掌を広げたということです。研究開発だけでなく、図2の下段括弧書きのところがCSTIの所掌内容です。

CSTIは、総理・関係閣僚（7名）、有識者議員（8名）から成り、総理が議長を務められています。ベースとなる仕事ですが、実は、以前の「総合科学技術会議」では、概算要求の段階で、各省の科学技術関連施策を集めてSABC評価をし、政府、団体の研究の総合調整を行っていました。CSTIになった今は、少しやり方が変わりました。基本的に、CSTIから概算要求前に施策の重要な方向性について示し、概算要求で各省から提示された施策の中からそれに合致するものを特定し公表することで、当該施策の予算獲得を後押ししてい

ます。これがベースになっている仕事です。

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)は、内閣府が自分で予算を確保し運営する初めてのプログラムです。これは、CSTIが高く評価されていることの表れだと思います。

また、革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)は、550億円を基金として積み、その中で「ハイリスクだけれども成功の暁にはハイインパクトなもの」の研究開発を促進するプログラムです。

関連する計画と戦略の位置づけ

「科学技術基本計画」(1996年～)は、向う10年を見据えた5年間の総合的な計画です。第1期から5年毎に発行されていて、現在は「第5期」になります。

「科学技術イノベーション総合戦略」(2013年～)は、重要課題を特定するもので、2013年から毎年発行されています。1年毎のPDCA(Plan:計画→Do:実行→Check:評価→Action:改善)のために、各省庁の概算要求が固まる前の5月、6月に翌年の重要課題を示します。

「環境エネルギー技術革新計画」(初版2008年5月、改訂版2013年9月)は、洞爺湖サミットの直前、革新的技術の着実な開発と普及の具体化を図るために出しました。その後、東日本大震災による状況変化を受けて改訂されました。



図2 総合科学技術・イノベーション会議の司令塔機能強化

この改訂版をベースに、その中から重要技術を特定し、その取組み方をまとめたのがNESTI2050です。「パリ協定」の目標が世界の平均気温上昇を産業革命から2℃未満、できれば1.5℃に抑えることであるところ、2050年を考えたときに、わが国として何をやっていったら良いか。その取っ掛かりになるものを示すために策定されました。

第5期科学技術基本計画

「科学技術基本計画」は、科学技術基本法(1995年)に基づき、1996年に最初の計画(1996～2000年度)が作られました。図3で示すように、第2期(2001～2005年度)、第3期(2006～2010年度)までは、重点分野を設定し、当該分野の施策の進め方が書かれていました。

第4期(2011～2015年度)になると、若干構成が変わり、分野別重点化から「課題達成型の重点化」へとシフトし、更に東日本大震災を受け「震災復興・再生」も政策の柱になりました。

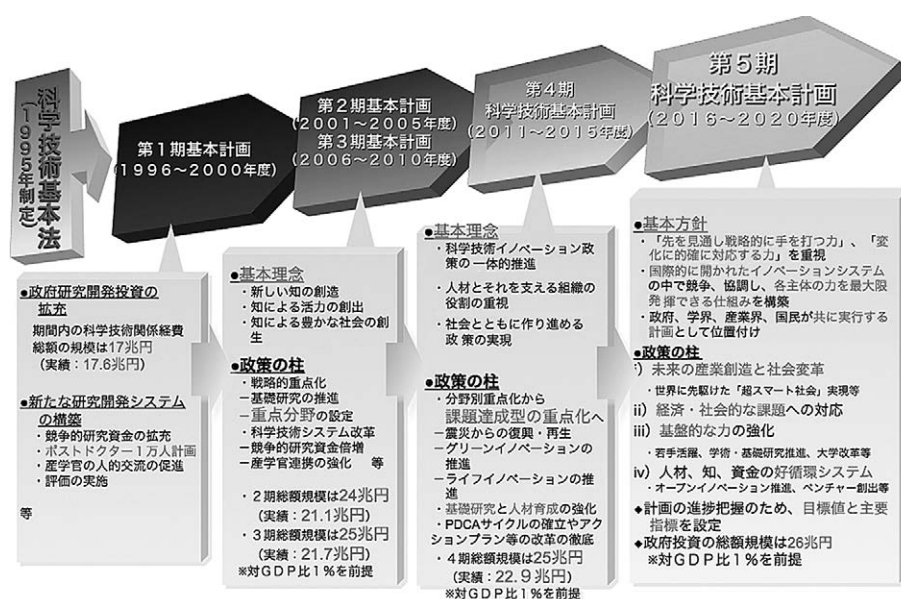
現行の第5期(2016～2020年度)は、これからの「大変革の時代」をどう切り開いていくかを中心にまとめています。その中で世界に先駆け「超スマート社会」の実現という言葉が出てきますが、「Society 5.0」と称しています。

第5期科学技術基本計画は、7つの章で構成されますが、「第3章 経済・社会的課題への対応」のところで「エネルギーの安定的確保とエネルギー利用の効率化」とあるのが、エネルギー関連の課題です。また、環境関連の課題は、「地球規模課題への対応と世界の発展への貢献」というところに置かれています。

第5期科学技術基本計画と 科学技術イノベーション総合戦略 2016

2つの位置づけ

5年毎に策定される「科学技術基本計画」と毎年見直す「科学技術イノベーション総合戦略」とが、科学技術の研究開発および実用化を推進する両輪です。2つを連動させることで、相乗効果を引き出し、中長期的な継続性を確保しつつ、実効性ある科学技術イノベーションを推進するというわけです。



(出所: 内閣府資料)

図3 科学技術基本計画の内容の変遷

「科学技術イノベーション総合戦略 2016」と 「Society 5.0」

科学技術イノベーション総合戦略 2016 では、AI（人工知能）、IoT（モノのインターネット）、ビッグデータなどの用語が中心的に出てきます。それらが、科学技術の研究開発と実用化に深くかかわるとの認識があるからです。

「Society 5.0」というのは、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会の次にくる社会で、①サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させることにより、②地域、性別、言語等による格差なく、多様なニーズ、潜在的なニーズにきめ細かに対応したモノやサービスを提供することで経済的発展と社会的課題の解決を両立し、③人々が快適で活力に満ちた質の高い生活を送ることのできる人間中心の社会

です。最初、「超スマート社会」と言っていたのですが、最終的に「Society 5.0」という名称になりました。

「Society 5.0」は、AI、IoT、ビッグデータ、クラウドなどの技術革新などの「第4次産業革命」（インダストリー 4.0）も踏まえた、人間中心のより広い社会コンセプトです。昨年策定された「科学技術イノベーション総合戦略 2015」では、「Society 5.0」構築のためのサービスプラットフォームとして有り得るシステムが図4のようにまとめられています。

久間和生・常勤有識者議員は、図5に示すように「AIがひとつひとつの鍵となる」と指摘し、CSTIが、例えば、日本経済再生本部未来投資会議の中での戦略会議や内閣府の経済社会・科学技術イノベーション活性化委員会との連携を深めていくことで、「Society 5.0」

「未来の産業創造・社会変革」に先行し、あるべき経済・社会システムを構想し、S I Pを含め研究開発を組み合わせ（システム化）、産業競争力を生み出す価値の連鎖（バリューチェーン）を形成。社会実装に向け2020年までの成果目標を設定。
“東日本大震災からの早期の復興再生”についても、復興状況等を鑑み、今般の視点の中で引き続き強力に推進。

I. グリーンで経済的なエネルギーシステムの実現

i) エネルギーバリューチェーンの最適化
エネルギーミックス、供給事業形態や需要の多様化を見越し、ICTや水素等蓄エネルギー技術等を活用して生産、流通、消費をネットワーク化し、需給を予測・制御

ii) 地球環境情報プラットフォームの構築
再生可能エネルギー大導入と安定電力供給の両立のための地球環境予測と情報統合化

II. 国際社会の先駆けとなる健康長寿社会の実現

基礎研究からの優れたシーズを見出し、これを実用化へ一貫して繋ぎ、具体的な成果を目指す。
（医薬品創出、医療機器開発、革新的医療技術創出拠点の整備、再生医療の実現、オーダーメイド・ゲノム医療の実現、がんに関する研究、精神・神経疾患に関する研究、新興・再興感染症に関する研究、難病に関する研究の推進）

III. 世界に先駆け次世代インフラの構築

i) 効率的かつ効果的なインフラ維持管理・更新の実現
限られた財源・人材のもと、点検・評価・対応の最適化によるアセットマネジメントを実施

ii) 自然災害に対する強靱な社会の実現
予防・予測・避難復旧対応技術を組合せ災害関連情報のリアルタイム共有化を確立

IV. 我が国の強みを活かしてIoT、ビッグデータ等を駆使した新産業の育成

i) 高度道路交通システム
人や車の情報がリアルタイムにマッピングされた地図を生成する自動走行技術によって、次世代都市交通システム（ART）や地域コミュニティ移動手段を実現

ii) 新たなものづくりシステム
潜在的ユーザーニーズを先取りする仕組みや、匠の技術を形式知化して機器、ロボット等に実装し、インダストリー4.0を超える高付加価値製品・サービスを迅速に提供するシステムの構築

iii) 統合型材料開発システム（マテリアルズインテグレーションシステム）
高信頼データを活用し要求性能に応える材料、製法を予測し、短期間で新材料を市場投入

iv) 地域包括ケアシステムの推進
地域での高齢者の自立支援・健康寿命の延伸のため、予防・医療・介護データの共有・解析、職種を超えた連携支援システムを構築し、介護保険外市場も開拓

v) おもてなしシステム
継続的に訪日客を増加させ地域経済の活性化に寄与する、多言語音声翻訳、センシング・データの利活用による人の流れの円滑化、警備の効率化・高度化で安全・安心・快適を実現

V. 農林水産業の成長産業化

i) スマート・フードチェーンシステム
国内外の流通・外食産業、消費者のニーズ情報を連携し育種、生産現場に反映するシステム

ii) スマート生産システム
ICTやロボット技術等を活用し若い就農者や高齢化対策、安定した経営支援システム

（出所：CSTI、科学技術イノベーション総合戦略 2015【概要】）

図4 経済・社会的課題の解決に向けた取組



図5 Society5.0 プラットフォーム

表1 人工知能に関する特定施策の例

省庁名	施策名	H29年度概算要求額 (億円)
総務省	人工知能技術に関する研究開発	12及びNICT連立費交付金296の内数
総務省	「IoT/BD/AI情報通信プラットフォーム」社会実装推進事業	12
総務省	IoT共通基盤技術の確立・実証等	4
文科省	人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト	50及びJST連立費交付金1179の内数
文科省	データプラットフォーム拠点形成事業	57
厚労省	臨床研究等ICT基盤構築研究事業	16
経産省	次世代人工知能・ロボット中核技術開発	40
経産省	IoT推進のための横断技術開発プロジェクト	55
国交省	i-Constructionの推進に向けた取組	3
国交省	海事産業の生産性革命（i-Shipping）	14

※ 農水省 革新技術開発・緊急展開事業（うち先導プロジェクト） 経産・総務は平成28年度補正予算での見直し検討中

の実現に向けて頑張っていくことを提案しています。

表1には、「Society 5.0」のサービスプラットフォームを構築していくために、「科学技術イノベーション総合戦略2016」で「重きを置くべき施策」として特定された各省の施策を示します。

エネルギーバリューチェーンの最適化

図4の「エネルギーバリューチェーンの最適化」というのが、私が担当したエネルギー環境グループの所掌範囲です。そこでは、どんなところでエネルギーシステムを考えて、どんなところで価値を生み出していくのかに着目しつつ、今後やっていかななくてはならない課題を取り上げていこうとしています。

「科学技術イノベーション総合戦略2013」では、エネルギーの供給側と需要側というだ

けではなく流通も含め、「生産、流通、消費」というエネルギーのフローを設定しました。

「科学技術イノベーション総合戦略2016」では、更に今後、エネルギーをシステムとして考えなければいけないだろうし、その中では全体のマネジメントが重要だろう、エネルギープラットフォームの構築が重要課題だろうということでもとめました。

環境エネルギー技術革新計画からエネルギー・環境イノベーション戦略へ

NESTI2050の位置づけ

実は、温暖化対策については、地球温暖化対策推進本部により「地球温暖化対策計画」（2015年5月13日閣議決定）が取りまとめられています。これは、「パリ協定」・約束草案を踏まえた総合計画で、「約束草案」をどう実施していくかが中心になっています。

経済産業省の「エネルギー革新戦略」（2016年4月18日決定）も2030年を見据えたエネルギーミックスの実現に向けた戦略です。

更に、CSTIが2016年4月19日に諮問・答申したNESTI2050では、COP21の参加各国が約束草案を守ったとしても、2030年に温室効果ガスが、今の500億トンから1割以上増えてしまうのではないかと。それを半減するには、抜本的に色々考えなければいけないだろうということで、革新的な技術戦略についてまとめています。「Society 5.0」のようなシステムの最適化なら、かなりの量を削減できるはずですが、今ある技術だけでは限界があります。2050年に用いる技術では一段上を目指して今から研究開発しないと間に合わないのではないか、ということでもとめました。

図6に、「地球温暖化対策計画」、「エネルギー各新戦略」、「エネルギー・環境イノベーション戦略」の比較を示します。

地球温暖化対策計画 【地球温暖化対策推進本部】 (内閣府・環境省・経産省)	エネルギー革新戦略 (経産省)	エネルギー・環境イノベーション戦略 【総合科学技術・イノベーション会議】 (内閣府)
①パリ協定・約束草案を踏まえた総合計画 - 地球温暖化対策推進法に基づき、国の温室効果ガス排出削減の目標として、2030年度において、2013年度比26%減の水準にする旨を明記し、その達成のために各主体が講ずべき措置や国・自治体の施策を記載。 - さらに、長期的な目標を見据えた戦略的取組、世界の温室効果ガスの削減に向けた取組についても方向性を示した。 - パプコメを踏まえて5月に閣議決定。	②2030年を見据えたイノベーション実現に向けた戦略 2030年度のエネルギーミックスの実現に向けて、徹底した省エネ、再エネの拡大、新たなエネルギーシステムの構築等を柱として、関連制度を一体的に整備。 - 戦略の実行により、エネルギー関連投資を拡大し、効率の改善を促し、アベノミクスのGDP600兆円実現への貢献とCO₂排出抑制の両立を目指す。 - 経産省にて4月18日にとりまとめ。	③2050年を見据えた革新的技術戦略 2030年の世界における排出総量は約570億トンの見込み。2℃目標と整合的なシナリオに戻すには、300億トン超の追加的削減が必要。 - 世界全体で抜本的な排出削減を実現するイノベーションが不可欠。 2050年を見据え、削減ポテンシャル・インパクトが大きい有望な革新技術を選定するとともに、長期的な研究開発の推進体制を取りまとめ。 - 総合科学技術・イノベーション会議にて4月19日に諮問・答申。

図6 COP21 後の国内温暖化対策

「環境エネルギー技術革新計画」との違い

中長期（2030年頃以降）の実用化を目指す技術に分けて整理してあります。

2013年に改訂された「環境エネルギー技術革新計画」の概要を図7に示します。革新技術として、表2の技術37項目を特定しています。短中期（2030年頃まで）に開発する技術、

図8にNESTI2050で特定した有望分野を示します。「パリ協定」への対応を含め、世界全体で抜本的な排出削減のイノベーションを進めることが不可欠です。更に、「Society 5.0」の到

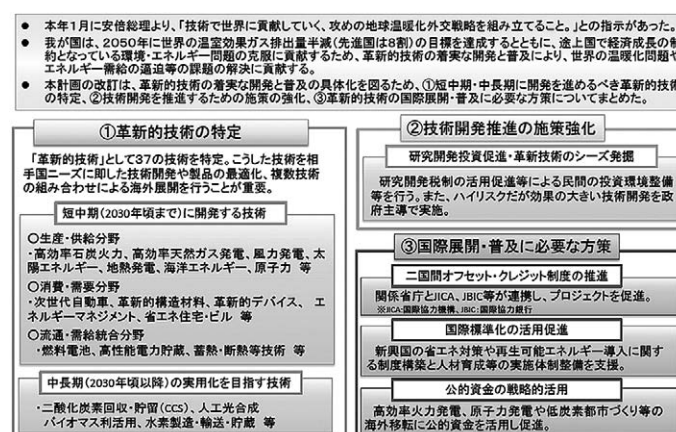


図7 「環境エネルギー技術革新計画」(2013年)の概要

表2 「環境エネルギー技術革新計画」で取り上げた技術課題

生産・供給	火力発電	1. 高効率石炭火力発電 2. 高効率天然ガス発電
	再生可能エネルギー利用	3. 風力発電 4～5. 太陽エネルギー利用 6. 海洋エネルギー利用 7. 地熱発電
	原子力発電	8. バイオマス利用 9. 原子力発電
	二酸化炭素回収・貯蔵・利用（CCUS）	10. 二酸化炭素回収・貯蔵（CCS） 11. 人工光合成
		12～13. 次世代自動車 14～16. 航空機・船舶・鉄道 17. 高度道路交通システム
消費・需要	運輸	18～20. 革新的デバイス 21. 革新的構造材料
	デバイス	22. エネルギーマネジメントシステム 23. 省エネ住宅・ビル
	材料	24. 高効率エネルギー産業利用 25. 高効率ヒートポンプ
	エネルギー利用技術	26. 環境調和型製鉄プロセス 27. 革新的製造プロセス
	生産プロセス	28～29. 水素製造・輸送・貯蔵 30. 燃料電池
流通・供給統合	エネルギー変換・貯蔵・輸送	31. 高性能電力貯蔵 32. 蓄熱・断熱等技術 33. 超電導送電
		34. メタン等削減技術 35. 植生による固定
	その他 温暖化対策技術	36. 温暖化適応技術 37. 地球観測・気候変動予測

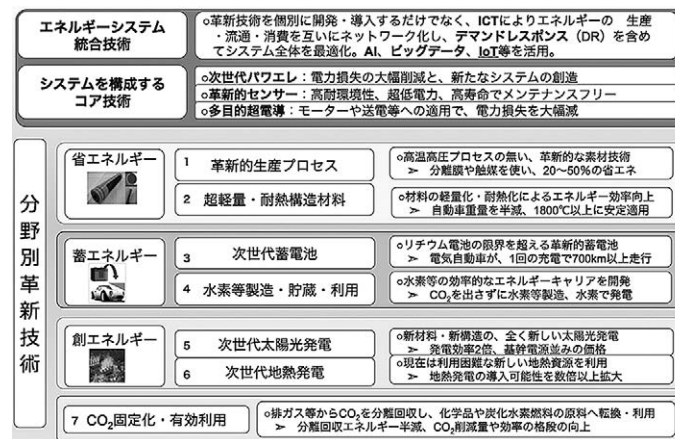


図8 NESTI2050：有望分野の特定

来でエネルギーシステム全体が最適化されることを前提に、トータルで数十億トンから100億トン超の削減効果がある技術を特定し、中長期的に開発を促進しようということです。

排出削減技術特定の評価軸

では、どんな基準で技術を特定したのか。それは、①これまでの延長線の技術ではなく、非連続的でインパクトの大きい革新的な技術、②大規模に導入することが可能で、大きな排出削減ポテンシャルが期待できる技術、③実用化まで中長期を要し、且つ産学官の総力を結集すべき技術、④日本が先導し得る技術、日本が優位性を発揮し得る技術、という基準です。要するに、技術の改良だけではなく、例えば、異なる原理を考えることで、今まで

より一段上のステップに行ける、「破壊的イノベーション」につながる技術です。更に、インパクトが大きく、適応範囲も広い、皆に使ってもらえる技術を選びたいということで、ワーキンググループを構成して議論してきました。

そうして特定した技術が、図8に示したエネルギーシステムの統合技術、更に、どの技術にも共通して使えるようなパワーエレクトロニクスやセンサー、多目的超電導といった技術を「コア技術」と捉えました。また、分野としては、省エネルギー、蓄エネルギー、創エネルギー、CO₂の固定化・有効利用を挙げています。

研究開発体制の強化

これらの戦略を実現するためには、政府一体となって研究開発体制を構築しなければ

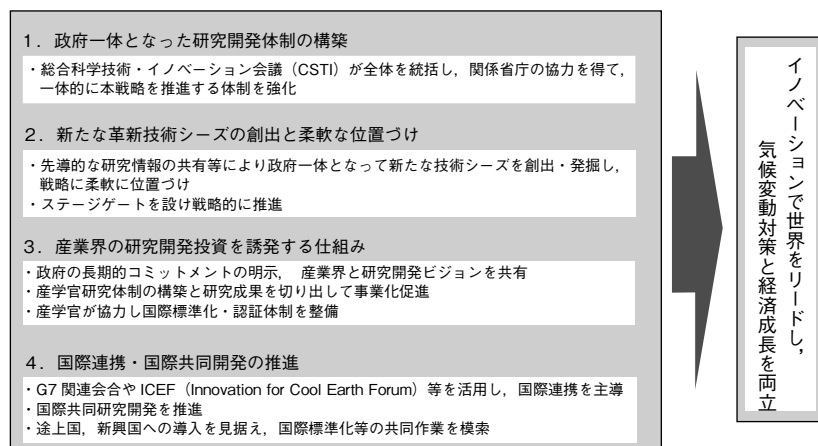


図9 NESTI2050：研究開発体制の強化

なりません。そのとき、図9に示すように、CSTIが全体を統括して推進する体制を強化して行きます。

技術シーズを創出、発掘する仕組みも必要です。それを次のステップを踏めるような技術シーズを拾い上げ、戦略に柔軟に位置づけていきたいと思ひます。また、「長期的」と言いながらも、モノを作っていくことも含め、産業界からの協力をいただく、できれば投資もしていただくことを考えて行きます。更に、国際連携・国際共同開発の推進も考えていきます。ICEF (Innovation for Cool Earth Forum) もうまく使って、情報発信をしていきます。昨日、一昨日と開催されたICEFでは、

例えば、地熱の案件について色々なセッションが組まれていました。

NESTI2050 と温室効果ガス削減のイメージ

2013年の「環境エネルギー技術革新計画」とNESTI2050の温室効果ガス削減のイメージを図10、図11に並べてみました。図10では、2030年とそれ以降2050年という分け方でしたが、図11で示すように、NESTI2050では、その一歩先に行くものを「イノベーション戦略」と位置づけました。エネルギーシステム全体の最適化が進んでいくのを前提にやっへ行こうという話をしているところです。

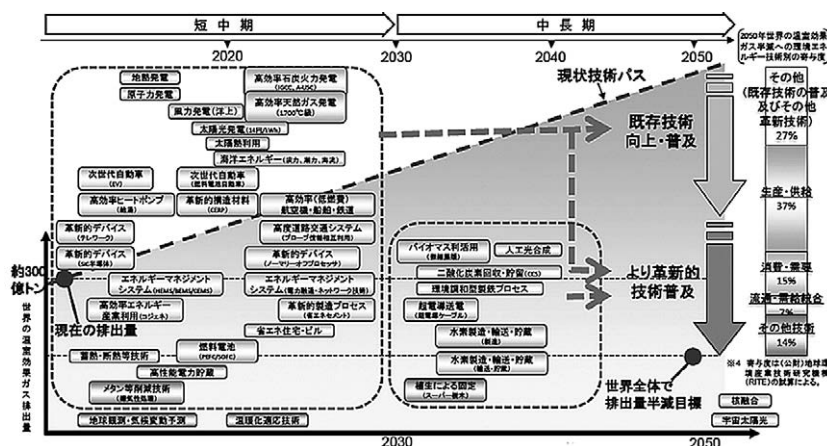


図10 「環境エネルギー技術革新計画」と温室効果ガス削減

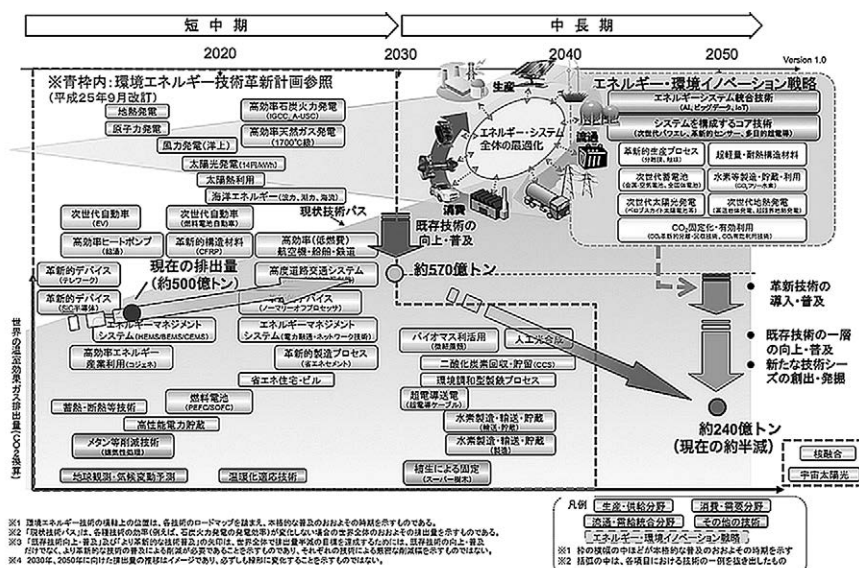


図11 NESTI2050 と温室効果ガス削減

NESTI2050 と “Mission Innovation”

COP21 直前の 2015 年 11 月 30 日、わが国を含め、世界の主要 20 カ国が世界的なクリーンエネルギーのイノベーションを政府と民間が加速的に実現する誓約 “Mission Innovation” を発表しました。目標は、クリーンエネルギー技術に対する政府の研究開発投資を 5 年で 2 倍にすることです。

2016 年 6 月には、各国が具体的な金額を提示しました。わが国は、経済産業省が中心となって取りまとめ、NESTI2050 で掲げた分野で、平成 28 年度予算で合計約 450 億円（約 4.1 億ドル）を基準額として登録しました。

“Mission Innovation” の目標に対し何ができるのか、内閣府では、SIP 3 課題（次世代パワエレクトロニクス、革新的構造材料、エネルギーキャリア）に関連するものを考えています。

おわりに

2050 年を見据えて、本日、お話しした戦略をどうやって進めていくのか、今ちょうど議論を開始したところです。技術そのものについてのロードマップの見直しも含め、これから皆さま方にご尽力いただくこともあろうかと存じます。

かつての「サンシャイン計画」、 「ムーンライト計画」のようなものに育ってくれたらいなと思っております。

これで終わりです。ありがとうございました。
(拍手)

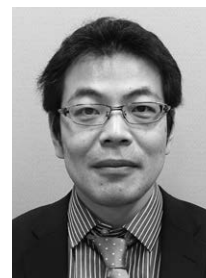
[講演 1]

2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン

～ GRAPE による中長期的な

温室効果ガス削減に向けたエネルギーシステム分析～

加藤 悦史 (プロジェクト試験研究部 環境グループ)
主管研究員



はじめに

2015 年 12 月、第 21 回気候変動枠組み条約締約国会議 (COP21) で、世界の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて 2℃ より十分低く保つとともに、1.5℃ に抑える努力をするという目標を掲げた「パリ協定」が採択されました。そして、一昨日、11 月 4 日に発効することが発表されました。

加盟各国は、COP21 に先立ち、自主的な温室効果ガス (GHG) 削減の「約束草案」(INDC) を出し、2025 年、2030 年の目標を提示しています。更に、「パリ協定」の第 4 条は、今世紀後半に地球の人為起源の GHG 排出量を「正

味ゼロ」にする努力を各国に求めています。

本講演では、このような「パリ協定」の内容を踏まえ、中長期的エネルギー需給に対する GHG 排出目標経路の意味を、当研究所が開発したエネルギー・環境シミュレーションモデル GRAPE の解析結果に基づいて、説明したいと思います。

排出目標経路

図 1 に、INDC の合計と 2℃ および 1.5℃ の目標に向けた排出経路を示しました。INDC が提出される前のシナリオ (Pre-INDC scenarios) では、かなりの排出量増加が予想されていたのですが、INDC を積み上げると、依然増加傾向ではあるものの、一定の効果に

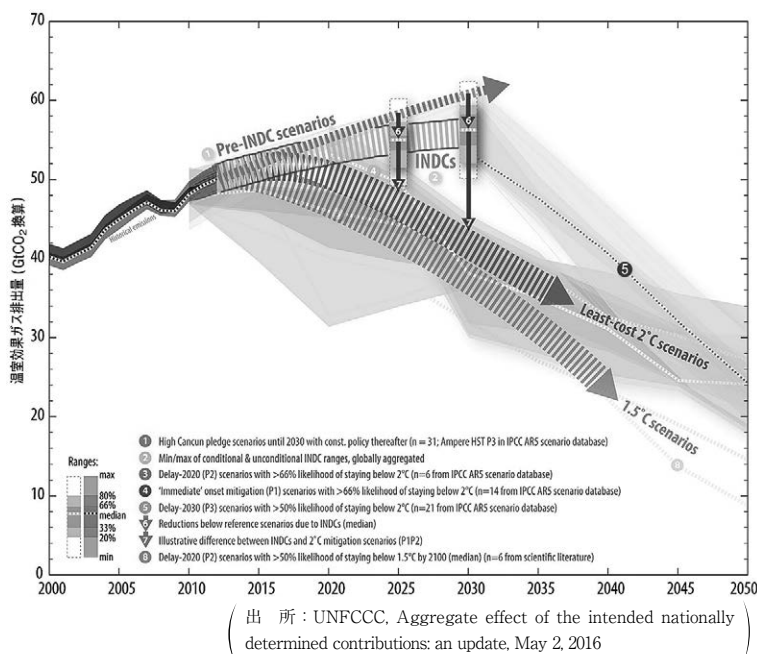


図 1 約束草案 (INDC) 合計と 2℃ および 1.5℃ 目標に向けた排出経路 (2000 年～ 2050 年)

より Pre-INDC より排出量が減ります。

ところが、モデル計算において最小コストで2℃目標を達成する経路（確率66%）だと、INDC 合計よりも排出量を減らさないといけません。更に、「パリ協定」で言及された1.5℃目標を達成する経路（確率50%）だと、もっと排出量を減らす必要があります。

INDC を完全実施した2030年以降、2℃目標を達成する経路は、⑤の線（確率50%）になります。ですから、2030年以降、急激な削減が必要です。実は、この確率50%で2℃目標達成という経路は、2005年比半減の経路ではあるのですが、「2℃より十分低く抑える」には足りません。2050年までに「2℃より十分低く保持する」には、排出ピークをできる限り早くして、人為起源のGHG排出を「正味ゼロ」にする必要があります。

わが国の削減目標

わが国は、INDC（2015年7月）で、図2のように、中期目標として2030年度に2013年度比26%減を、更に「地球温暖化対策計画」（2016年5月）では、長期目標として、2050年までに80%減を掲げています。単純計算すると、2030年までは年率1.75%で削減していき、更に、2030年から2050年までは年率7%で削減していくという非常に厳しい削減が求められています。

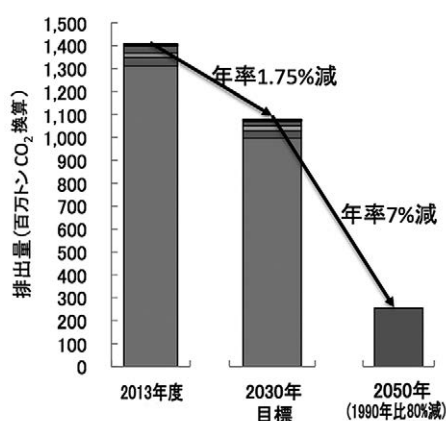


図2 日本のGHG排出削減目標

「京都議定書」の第一約束期間（2008～2012年度）が1990年比6%減だったわけですから、2030年度26%減を達成するだけでも、エネルギー起源の二酸化炭素（CO₂）の排出をかなり減らす必要があります。

このような大幅な排出削減は、とりも直さず、社会経済の転換を意味しますが、では、2050年のエネルギーシステムはどのようなものになるのでしょうか。また、「パリ協定」が求める5年毎のNDC見直しに向けた、トップダウンのシステム分析とボトムアップの技術評価のすり合わせも重要となります。

以上を踏まえ、当研究所では、GRAPEモデルによる分析で、2050年に向けた世界および日本のエネルギー需給構造の変化を把握しようとしたわけです。

GRAPEによるエネルギー需給構造の姿

GRAPEモデルの概要

GRAPEは、地球環境の超長期的分析が可能な「統合評価モデル」です。国際的にも比較参照されているモデルで、「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の第3作業部会が発表する「気候変動の緩和」に関するレポートにも利用されています。

エネルギー、農業・土地利用、気候変動、環境影響、マクロ経済といったモジュールを有し、世界を多くの地域に分けて経済状況を見たり、GHGの排出状況を見たりできるようになっています。

今回の分析ではエネルギーモジュールだけを利用しました。このモジュールによって、CO₂制約等の制約を満たしながら、世界全体のエネルギーシステムコスト（資本費+燃料費+その他の費用）を最小化するパラメータの組み合わせを見つけることができます。つまり、システムが最適化される生産、転換、配送、最終需要

機器などの経路を見つけられるわけです。

また、GRAPE では世界を 15 地域に分割し、国際輸送も考慮した最新のエネルギー需要、例えば、国際エネルギー機関（IEA）などの予測を与えて、各地域のエネルギー需給が計算できます。

GRAPE によるこれまでの分析例としては、「京都議定書」のコスト・ベネフィット分析（IPCC『第3次評価報告書・8章』）やCO₂以外のGHGの排出削減とどちらを優先すべきかといった分析（IPCC『第4次評価報告書・3章』）、「Cool Earth エネルギー革新技术計画」での世界エネルギーCO₂半減分析（経済産業省）などがあります。

現在は、気候変動リスクに評価における対策分析、水素キャリア導入シナリオ分析、大規模バイオマス導入の影響評価などを行っているところです。

モデルにおける一次エネルギー／ 発電・転換／需要のフロー

エネルギーシステムの分析では、資源量やコスト、効率などの数値を外から与え、図3で示した一連の流れの中から最適な経路を特定します。図3には、様々な発電方法やエネルギー転換方法が入っています。水素製造も化石燃料由来と再生可能エネルギー（再エネ）発電による電解製造という経路があります。ただ、最近話題の「バーチャルパワープラント」などは、GRAPE モデルに入っていません。

エネルギー需給の分析ケース設定

2050 年のエネルギー需給を描くために、表1に示した7つの分析ケースを設定しました。Referenceとして2つ。「CO₂ 制約なし」で

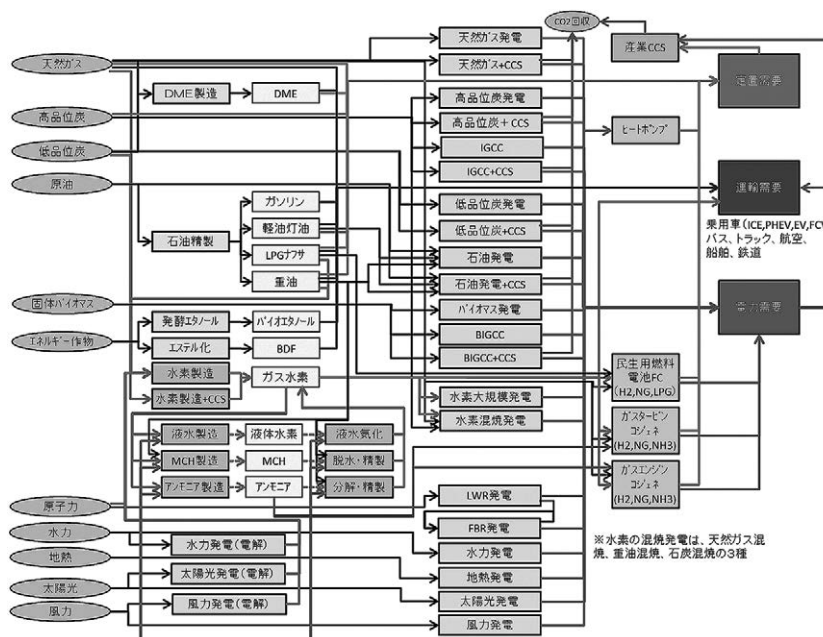


図3 GRAPE モデルにおける一次エネルギー，発電・転換，需要のフロー

表1 エネルギー需給分析7ケースの設定

エネルギー需要	CO2 制約	CCS	原子力大規模拡大	ケース略称
WEO NPS	なし	—	制約なし	Ref
WEO NPS	なし	—	制約あり	Ref-limNu
WEO 450	あり	あり	制約なし	CCS
WEO 450	あり	あり	制約あり	CCS-limNu
WEO 450	あり	なし	制約なし	noCCS
WEO 450	あり	なし	制約あり	noCCS-limNu
WEO NPS	あり	あり	制約あり	CCS-limNu-hiDem

省エネが大きくは進まず（WEO NPS）、原子力の大規模拡大を設定したケース（Ref）と「CO₂ 制約なし」、「原子力大規模拡大への制約あり」のケース（ref-limNu）です。ただし、原子力大規模拡大への「制約あり」でも、原子力は重要になってくるので、WEO が想定しているくらいは社会が受け入れると設定しています。

大規模 CO₂ 削減といった「CO₂ 制約あり」のケースを5つ設定しました。うち、省エネが進む（WEO 450）ケースが4つ。省エネが進まない（WEO NPS）ケースが1つです。

更に、省エネケースでは、「CCS あり」と「CCS なし」があります。ただし、「CCS あり」でも、現実的な上限値（日本では年間2億トン）を設定しています。

分析結果：日本と世界の概観

〔日本〕

図4のように、2050年でも運輸部門では、まだ化石燃料が使われています。このように、運輸部門でのCO₂削減は難しいのですが、部分的に水素燃料が入っていきます。また、図

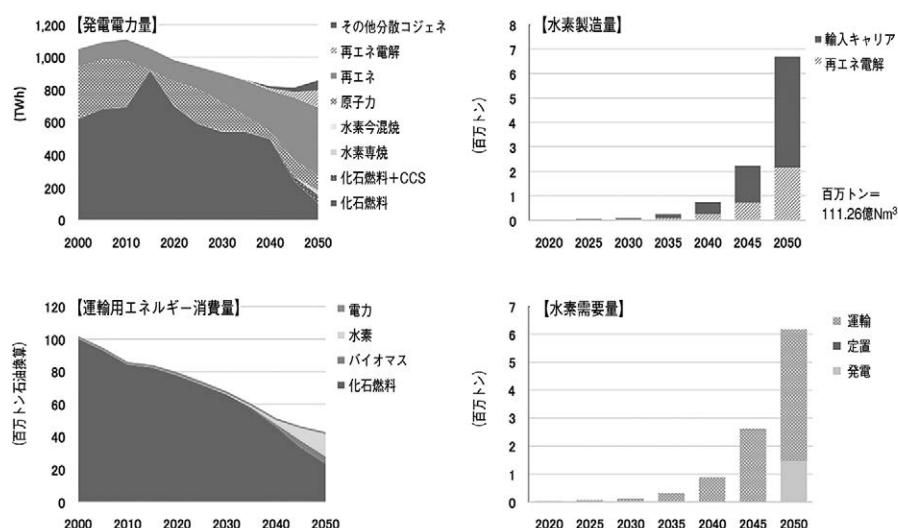


図4 分析のサマリー（日本：CCS あり，原子力制約あり）

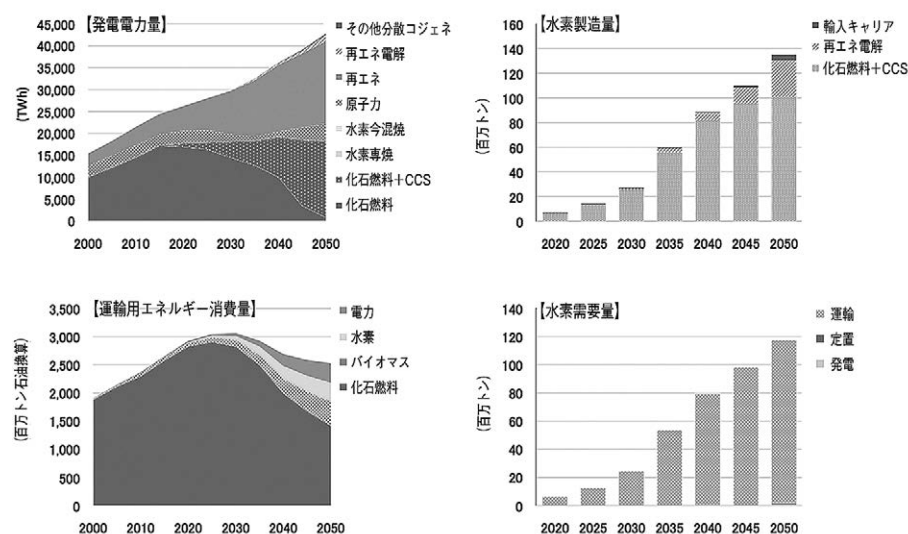


図5 分析のサマリー（世界：CCS あり，原子力制約あり）

4は「CCSあり」のケースなので、海外でCCSを利用しつつ製造した化石燃料由来の水素の輸入がかなりの量を占めます。それでも足りない分は、再エネ電解で造った水素を使います。

また、水素は、始めはCO₂削減が難しい運輸部門で使われ、最後に、発電部門にも導入されます。

[世界全体]

今度は、図5でCO₂半減時の世界全体について見てみます。世界全体でも、まだ化石燃料が使われていますが、発電部門においては、2050年にはほぼ全て「化石燃料+CCS」になります。再エネ発電も大幅に増えています。

運輸部門では、日本と同じように、まだ化石燃料が使われていくのですが、世界全体でCO₂半減ですから、電力、水素、バイオマスが同じくらいの比率で消費されています。

水素は、発電には使われず、運輸部門だけで使われるようになっていきます。CCSが利用できるケースなので、化石燃料由来の水素製造を行うことになります。

分析結果：CCSのインパクト

[発電部門]

図6で世界全体の電源構成を見ますと、2030年ではまだ化石燃料が使われているのですが、世界では2050年にかけて急激に「化石燃料+CCS」が増えていきます。再エネも増えていきます。興味深いのは、CCSが利用可能なシナリオではほぼ全て「化石燃料+CCS」になっていることです。

もしCCSが使えないとなると、化石燃料利用は2050年にはほぼゼロとなり、追加の発電設備をつくり、再エネ電解で水素製造をし、その水素を運輸部門だけで使うことになります。省エネが進まない場合も同じで、再エネ電解で製造した水素が運輸部門で使われていきます。

日本では、CCSの貯留可能性が限られているという設定なので「化石燃料+CCS」は少なく、その分、再エネ発電のシェアが大きくなります。更に、CCSがなく化石燃料由来の水素製造ができない場合、再エネ電解で水素を製造するための発電量が大幅に増加しています。世界全体でも原子力が拡大していない状況では、それも

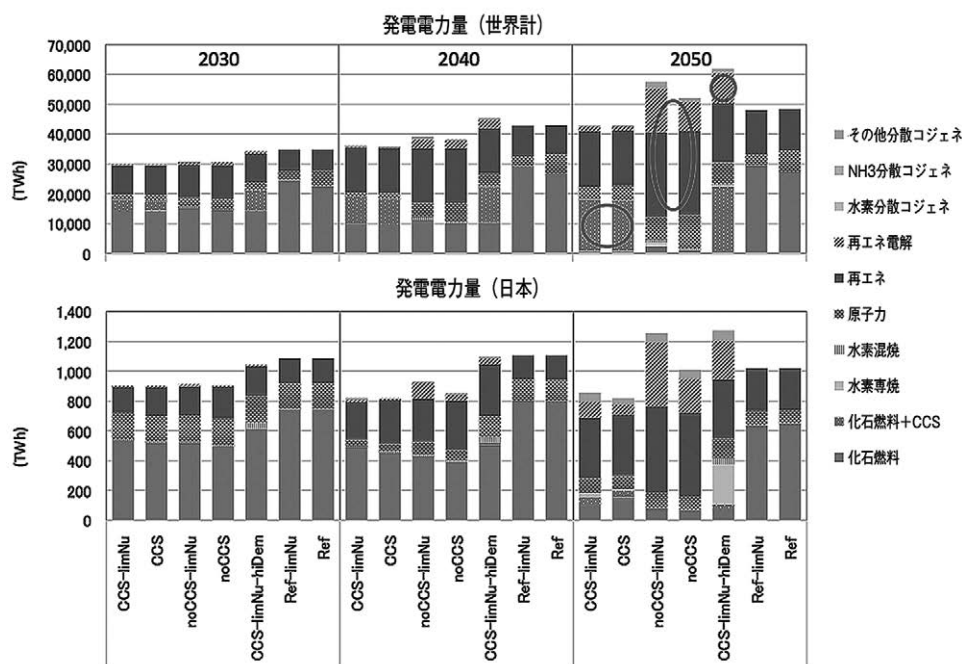


図6 発電電力量の比較（世界と日本）

厳しくなってきます。その場合（noCCS-limNu-hiDem）は、日本でも 2050 年に水素発電が導入されるとい結果になっています。

[運輸部門]

図 7 を見ると、世界全体では、2010 年にはまだ化石燃料が使われていますが、2050 年になると、半分近くが電力、水素、バイオマスになっています。CCS が利用できない場合、

運輸部門でもっと CO₂ 削減が必要になりますから、化石燃料由来の燃料は減り、日本では、水素がかなり入っていきます。

乗用車だけを見ても、図 8 に示したように、同じことが言えます。日本では、水素燃料が大量に入っていくのですが、世界全体でも CCS がない、更に原子力の拡大が見通せない場合には水素がかなり多く使われる状況となり、また、電気自動車（EV）がたくさん入ってきます。

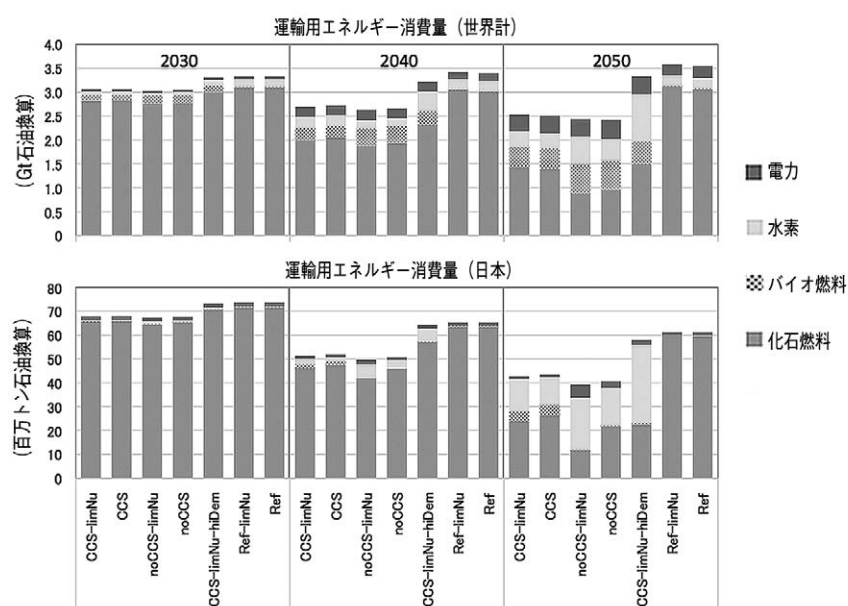


図 7 運輸用エネルギー消費量の比較（世界と日本）

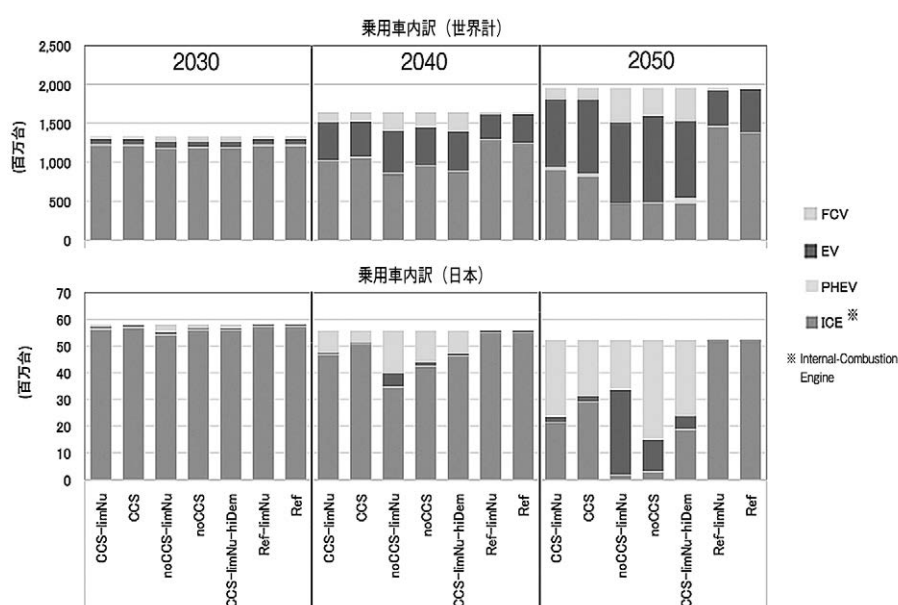


図 8 乗用車の内訳比較（世界と日本）

まとめ

の対話が必要なのではないかと考えています。
以上です。(拍手)

2050年、CO₂半減の世界で何が起きるかまとめます。発電部門では、図7で示したように、CCSが使える場合、4割を占める化石燃料のほぼ全てがCCS付きになります。もしも、CCSが使えない場合、化石燃料は4%以下になります。

CCSの開発が進まない場合、再エネの大規模導入が必要となり、また、原子力も重要になってきます。CCSの開発が進まず、省エネも進まない場合には、電解で水素を造るために、追加で再エネ発電を大規模に投入する必要があります。

運輸用エネルギーとしては、まだ化石燃料が使われます。CCSがない場合でも4割弱は化石燃料です。

乗用車の内訳では、EV、プラグインハイブリッド車(PHEV)、燃料電池車(FCV)が同様に入ってきます。水素FCVはCCSが利用できないときにはもっと重要になります。

最後に、2050年に世界でCO₂半減を目指すことになる、日本はどうなっているか。2030年以降も大幅に排出量を減らし続け、2050年では2015年比80%前後を達成する必要があります。この辺りは、アメリカ、カナダ、ヨーロッパでも同じです。

化石燃料発電には大きな転換が必要です。運輸システムの技術革新、インフラ整備が必要となってくる。原子力も持続的に利用できることが重要です。また、CCSの開発が進まない場合には、電解水素が重要になってくると思います。

「パリ協定」の目標とINDC合計を見ると、2030年の段階で更に排出量を削減しなければいけないかも知れません。そうだとすると、削減に必要な技術、また、それを展開する社会を構築していくことが非常に重要になります。それに向けた、産業界・政府・自治体間

[講演2]

2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン ～エネルギー需要の削減（民生部門を例にとり）～

水野 有智 （プロジェクト試験研究部 水素グループ 研究員）



はじめに

我々は、なぜエネルギーを消費するのでしょうか？ それは、生存あるいは快適な生活に必要なモノやサービスを得るためです。現代社会においては、モノ、サービスの需要がエネルギー需要に結び付き、それが主に化石エネルギー需要であるために温室効果ガス（GHG）排出に結び付いています。ですから、GHG 排出を減らすには、エネルギー需要にまつわる全ての部分を改善する必要があるということになります。

将来のエネルギー需要

CO₂ 大規模削減に求められる需要削減

将来のエネルギー需要はどのようなのでしょ

う。図 1 に、エネルギー・環境シミュレーションモデル GRAPE のシミュレーション条件の中から、一次エネルギー需要量と最終エネルギー消費量を示しました。黒い線が二酸化炭素（CO₂）制約がなく、省エネが進むレファレンスケース、薄い線が CO₂ の大規模削減を実現するケースです。CO₂ 大規模削減ケースでは、レファレンスケースよりも 15～20% くらい需要を減らすことを前提としています。

将来のエネルギー需要の内訳

エネルギー需要をもう少し細かく見ていきます。エネルギー需要は、産業、運輸、民生の部門に分けられ、この3つで最終エネルギー消費の 90%を占めます。

図 2 に示したように、OECD 諸国の民生部門のエネルギー消費は頭打ちです。ところが、非 OECD 諸国の消費は、今後、人口増加や生活水準の向上によるモノとサービスの需要増大で、エネルギー消費量が増えていくと予想

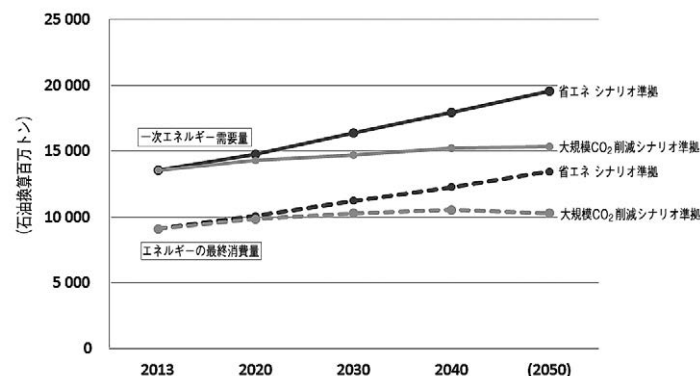


図 1 将来のエネルギー需要

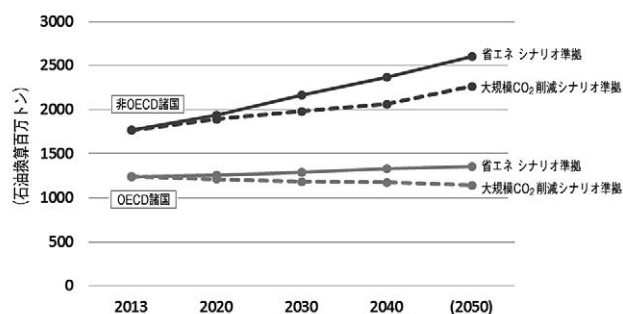


図2 民生部門におけるエネルギー消費量予測（世界）

されます。省エネの行動，例えば，クールビズを着るとか，冷房を使うのを我慢するとか，個人の心がけだけでエネルギー需要を削減するのには，限界があります。そこで，モノやサービスの需要を充足させながらエネルギー消費量を削減できるエネルギー効率向上が重要になってきます。

また，平日昼間のオフィスでは，快適性を確保し知的生産性を向上させるため，空調，換気，給湯，照明などがエネルギー消費の約70%を占めています。知的生産性は，更なる温暖化対策を検討していく上でも重要ですから，今後エネルギー消費やGHG排出を更に減らしていくためにも，快適性を損なってはいけないだろうと思います。

民生部門のエネルギー需要削減

快適性と省エネを両立させる技術：ZEB/ZEH

家庭とオフィスでの削減余地

では，どこに民生部門のエネルギー需要削減の余地があるのか。更に，エネルギー需要の中身に踏み込んでいきたいと思います。

日本の家庭では，衛生的な環境で健康を維持するため，空調と給湯がエネルギー消費の約半分を占めています。

快適性と省エネを両立させる技術として，取り上げたいのは，ZEB（net Zero Energy Building）/ZEH（net Zero Energy House）です。図3にZEHの要素技術を示しました。これは，ZEBの要素技術でもあります。

ZEB/ZEHでは，建物の断熱・気密性向上，高効率なエアコンなどの機器の使用，太陽光発電パネルの設置などによって，トータルの消費エネルギーをゼロにする取組です。国，

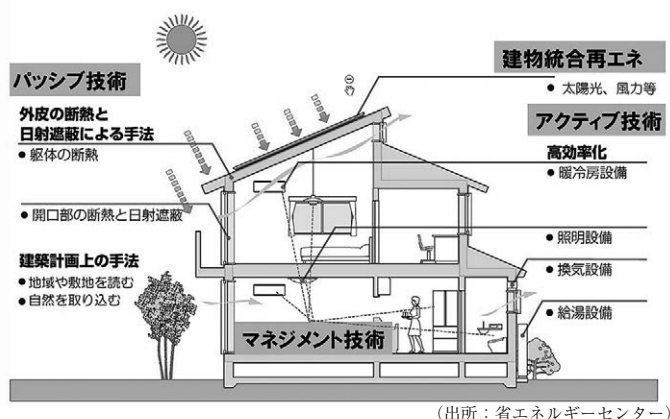


図3 ZEH（net Zero Energy House）の要素技術



(出所：大成建設ウェブページ)

図4 ZEB/ZEH の実例：大成建設株の ZEB 実証棟

地域によって、気候や住宅に対する考え方が異なりますので、ZEB/ZEH について、それぞれの国や地域で独自の定義があります。

ZEB/ZEH は、未来の技術ではありません。既に、日本でも 1 万棟くらいの ZEH が建てられています。図 4 は、大成建設株が横浜で建てた ZEB の実証棟ですが、高効率な照明や空調、自然光の採光による照明の負荷低減、壁や屋上への太陽光発電パネルの埋め込みなどで、消費エネルギーよりも多くのエネルギーを創るという運用実績を挙げています。

ZEB/ZEH の課題

まず、技術のコストダウンがあります。コストダウンが重要なのは、それによって、より多くの人に ZEB/ZEH による快適性と省エネを提供できるようになるからです。

表 1 に示しましたが、個別の要素技術、例えば、ヒートポンプや除湿器などの機器や部材のコストダウンが必要となります。また、

取り付けを容易にするといった施工面でのコストダウンも必要です。

次に、コストダウン以外の課題として、特に、高層ビルや狭小住宅をゼロエネルギー（ZE）化する技術の確立があります。例えば、現状では、太陽光発電パネルを建物に取り付けても、高層ビルや狭小地住宅では、消費エネルギーの全てを賄うだけのエネルギーを得ることは困難です。ですから、都市計画を活用して地域全体で ZE 化を進め、「スマートシティ」を構築するといったことが重要となります。

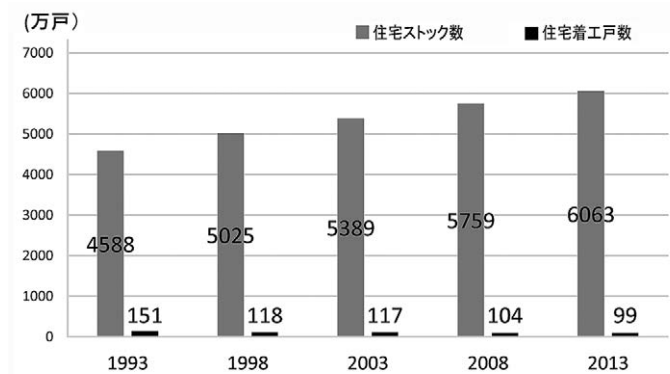
更に、既存の建物を新築並の ZEB/ZEH に改築・改装する、レトロフィット技術の開発も重要です。

ZEB/ZEH 普及に向けた課題

ZEB/ZEH が普及すると、空調、給湯、照明にかかわるエネルギー需要が純減します。日本の基準で計算しますと、一戸建て住宅ならエネルギー消費が 26% 減ります。空調、給

表 1 ZEB/ZEH の技術的課題

分野		技術課題、将来技術
パッシブ技術		高性能・高耐久・低コスト部材開発 熱放射・反射制御(冬期熱導入、夏期熱反射)
アクティブ技術	空調	高COP(>6.0)HPのコストダウン 吸収式冷凍機の小型化 高効率除湿器
	給湯	熱貯蔵技術 ヒートポンプを使った瞬間給湯
	照明	有機EL照明の高輝度化、高耐久化
マネジメント技術		エネルギーマネジメントシステムの標準化 スマートグリッドとの連携、IoTとの統合 一人一人の快適性を実現する機器制御
建物統合再エネ		壁面施工可能な軽量PVパネル、建物意匠への適合 高密度風力発電設備(垂直軸風車、低騒音化) 太陽熱温水器



(出所：総務省、「住宅・土地統計調査」／国土交通省「住宅着工統計」)

図5 日本の住宅ストック数と着工戸数の推移

湯、照明が家庭の全消費エネルギーの50%を占めていますから、その部分が半減するわけです。また、オフィスビルなら30%減ります。

更に、ZEB/ZEHでは、太陽光発電パネルなどの再生可能エネルギー（再エネ）機器を採り入れますから、再エネ導入の拡大にもつながります。

このように、大きな需要削減効果が期待できるZEB/ZEHですが、その普及に向けた課題として、ZEB/ZEHの普及には恐らく時間がかかることが挙げられます。実は、図5に示したように、日本の場合、住宅着工戸数の住宅ストック数に対する割合は、2013年で1.6%に過ぎません。また、主要都市のオフィスの新築割合は、2010年で約2%です。ですから、ZEB/ZEHを今のペースで建てていくとすれば、相当な時間がかかります。

ZEB/ZEH 普及に向けた対策

建物の寿命を考えますと、ただちにZEB/ZEHの普及策に取り組む必要があります。その基本方針は、①規制や政策によってZEB/ZEHが普及する市場を作り、建設業界・消費者の自助努力により普及を達成する、②世界的に貧富の格差がある中、低所得者もZEB/ZEHの恩恵を受けられるようにする、③賃貸住宅をゼロエネルギー化する、です。

先進国では既にビルや住宅がたくさん建っていますので、その改修や改裝のときに

ZEB/ZEH化していくことが重要です。

また、新興国では、これからビルや住宅が建っていきますので、そのときにできるだけZEB/ZEHを採用していくことが重要になります。

エネルギーシステムの中での ZEB/ZEHの位置づけ

最後に、ZEB/ZEHは、エネルギーマネジメント機器や再エネ機器を搭載しており、従来の建築物に比べて柔軟にエネルギー需要を調整できるという特徴を持っています。このことから、より広域のエネルギーマネジメントシステムと連携することで、今後ますます再エネの導入が進み、制御不能な電源が増える電力システムの安定性を支える「調整力」の一端を担うことが期待できます。

以上で、私の講演を終わりたいと思います。ご静聴ありがとうございました。（拍手）

[講演3]

2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン ～次世代火力発電技術～

酒井 奨

（プロジェクト試験研究部 化石燃料グループ
主管研究員）



はじめに

エネルギー・環境シミュレーションモデル GRAPE が描く 2050 年のエネルギー需給の絵姿から、火力発電は今後どうなっていくのかを、国内と海外に分けて考察し、まとめに繋げていきたいと思っています。

GRAPE による計算結果の中で火力発電のところに注目しますと、図 1 の 2 つのグラフが端的にそれを示しています。左が世界モデルで右側が日本モデルです。棒グラフの左側が二酸化炭素回収貯留（CCS）が導入された場合、右側が導入されていない場合です。CCS が可能であれば、化石燃料由来の火力発電はそれなりのシェアをもって導入されるけれども、CCS がない場合、火力発電の導入量は大幅減、シェアを落とさざるを得ないとい

うことになってしまいます。

では、火力発電はこれからどういう位置付けで、今後どういう役割と課題を持っているのか、そして、どういう対策をしなければならぬかをまとめてみたいと思います。

火力発電の将来

位置づけ

[2030 年の位置づけ]

2030 年の電源構成で火力の位置づけを見ます。『長期エネルギー需給見通し』（2015 年 7 月）では、図 2 に示すように、ガス火力（27%）、石炭（26%）、再生可能エネルギー（再エネ）（22～24%）、原子力（20～22%）で、バランスよく電力供給することになっています。

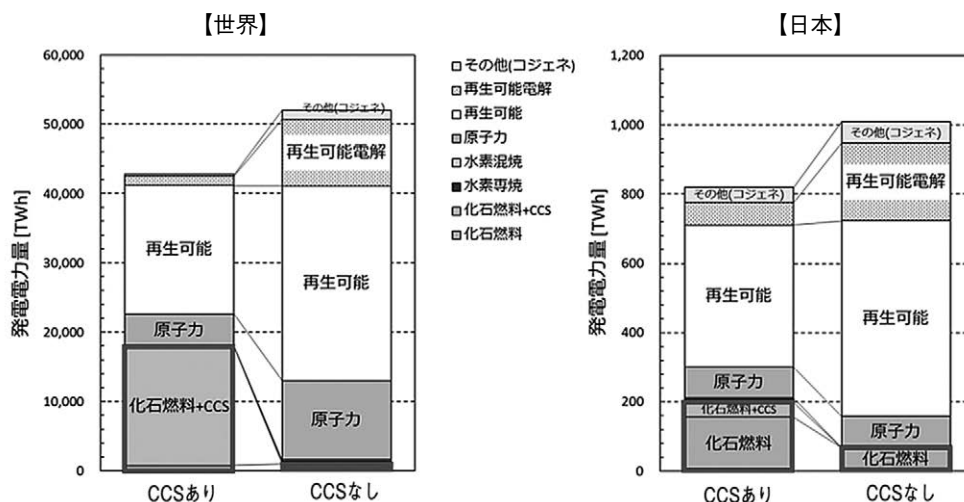


図 1 世界と日本の 2050 年の電源構成（GRAPE 試算 / 原子力制約なし）

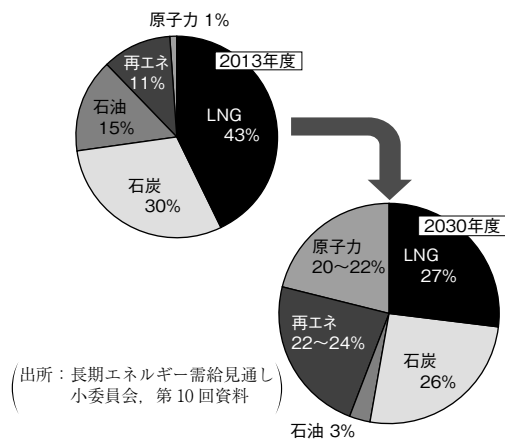


図2 2013年度と2030年度の電源構成

このシェアを維持しながら、温室効果ガス（GHG）排出量を2030年度で2013年度比26%減を目指すことになります。そこで、火力発電は、CCSがどのくらい導入されている

か分からない中、図3のように発電効率の向上で二酸化炭素（CO₂）排出量の削減を図ることになります。更に、ガス火力と石炭火力が連携して、高効率技術の導入スピードを速めていくことも提示されています。

[2050年の位置づけ]

では、2030年以降はどうなっているのか。2050年のエネルギーミックスは分かりませんので、2030年の電源構成を維持したと仮定して当研究所（IAE）で計算してみました。図4がその結果です。現在稼働中、建設中、建設予定、全ての火力発電所の容量を加味し、『長期エネルギー需給見通し』が2030年に予想する電源構成で2050年も発電を行った場合、一番右の棒グラフのようになります。

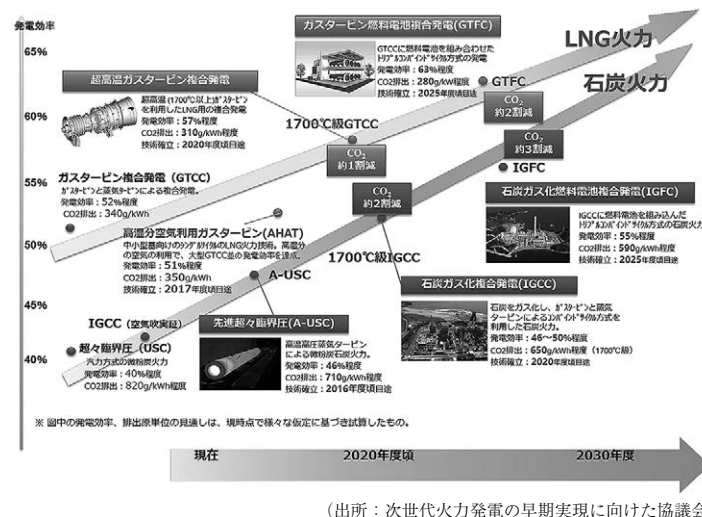


図3 2030年度に向けた火力発電の高効率化と低炭素化

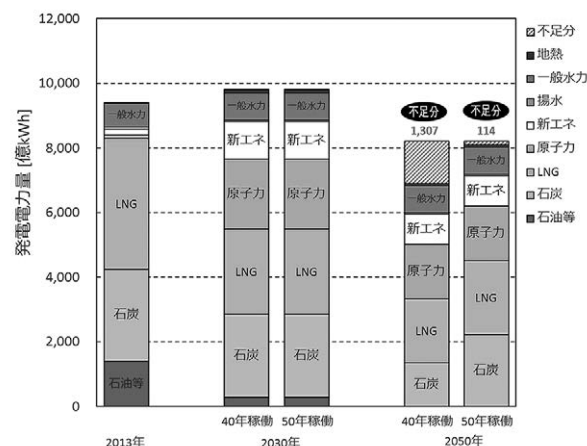


図4 2050年までの発電電力量と電源構成の予測（IAE 試算）

2030年と2050年の棒グラフの左側は、火力発電所の稼働年数を40年とした場合、右側が50年とした場合です。これは様々な前提条件に基づく1つの計算例に過ぎませんが、図4では40年で火力発電所を閉鎖すると、2050年には約1,300億kWhの電力が不足します。この不足分を何で補うのか。原子力、再エネ、それとも新設火力と、選択肢は色々あると思います。しかし、2050年まであと30数年しかありません。それを念頭に今後の電源開発を計画しなければならないことが分かります。

2050年のCO₂排出量と削減策

では、2030年に予想されている電源構成と同じ構成だと、2050年に各電源から排出されるCO₂はどのくらいなのか。IAEの試算では、

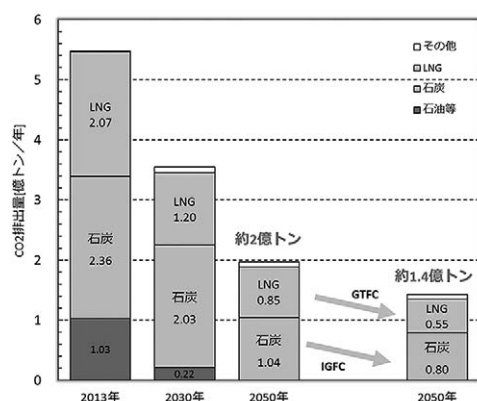


図5 発電由来CO₂排出量の推移 (IAE 試算)

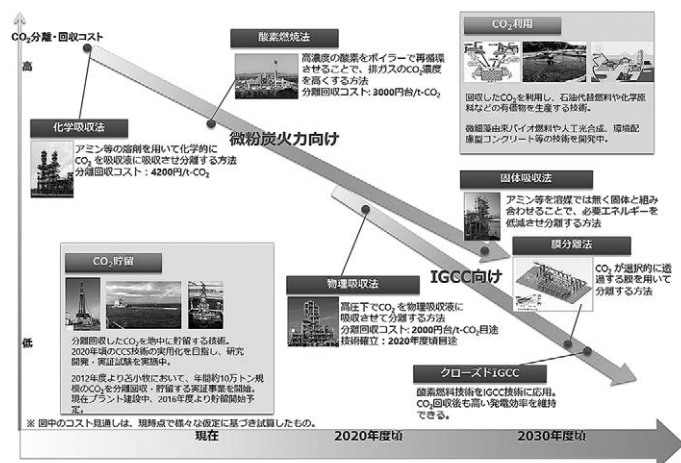
図5のように、約2億トンになります。

2050年度にGHGを80%削減する際のエネルギー転換・産業・運輸・民生分野での義務量ははっきりしませんが、例えば、エネルギー転換部門（発電部門）からのCO₂排出量も80%削減することになった場合、2050年には1億トン前後になっていないといけません。これは先ほどの排出量の半分です。

実は、2050年に稼働している石炭火力やLNG火力に現在考えられている最高効率の技術（石炭火力ならIGFC、ガス火力ならGTFCなど）を導入すると、排出量を1.4億トンにまで減らすことができます。このように、高効率技術はCO₂削減に大きなインパクトを与えます。ただし、1億トンまでに減らすには、まだまだ努力が必要ですので、やはり今後、CCSなどが必要になってくるということになります。

CCSの可能性

今後、CCSの導入により、発電所では排出されるCO₂は分離回収され、圧縮して貯留サイトまで輸送されることになります。つまり、分離回収技術も重要な技術になりますが、回収のために新しい設備を入れ、エネルギーも使わなければいけませんから、処理コストもCCS導入の重要な要素になってきます。図6のよう



(出所：次世代火力発電の早期実現に向けた協議会)

図6 次世代のCO₂回収関連技術の開発の見通し

に、処理コストを下げながら、高効率な技術に対応する回収技術を開発していき、2030年には膜分離法などで、CO₂ 1トン当たり1,000円台の処理コストを目指すと言われています。

では、どのぐらいのCO₂処理コストがかかるのか。図7に示したように、1kWh当たり3円くらいは分離回収に奪われてしまいます。CO₂ 1トン当たりの処理コストは、今のところ約3,500円ですから、先ほどの目標（1,000円台/t-CO₂）を達成するには、まだまだ技術開発が必要だということが分かります。

再エネ大量導入時の調整力としての火力

今後、大幅なCO₂削減に向けて再エネの大量導入という話になりますと、出力変動が激しいため火力発電の運転にも大きな負荷がかかってきます。

例えば、再エネを大量導入させ、火力で負荷変動に対応する出力制御をすることになりますと、火力の利用率や出力を変動せざるを得なくなります。出力が下がると、発電効率が下がり、その分燃料を焚かなければなりません。そうすると、コストが上がり経済性が悪化します。

また、再エネ大量導入で火力発電事業その

ものの競争力がなくなるという話もありますので、その対策も講じなければなりません。

対策として、①負荷調整力のある電源（火力、揚水など）の有効活用と技術開発、②再エネ側の調整力（電力制御）の活用、③平準化、④電力貯蔵技術の導入、⑤系統の強化（送電線や系統連系の拡充）などが考えられます。

海外の状況

地域で異なる石炭・LNG 需要

世界的に地球温暖化対策を念頭に置いた政策が進んでいますが、石炭やLNGの需要には地域性があります。

欧米の石炭火力は縮小傾向にありますが、東南アジアやオーストラリアなどでは石炭・LNG火力は今後も増えると予想され、国際エネルギー機関（IEA）のWorld Energy Outlook 2015によると、石炭火力の容量は、世界全体で約25%増えると予想されています。日本の火力発電技術を海外に展開していく場合、こういった地域性を見ていかなければいけないと思います。

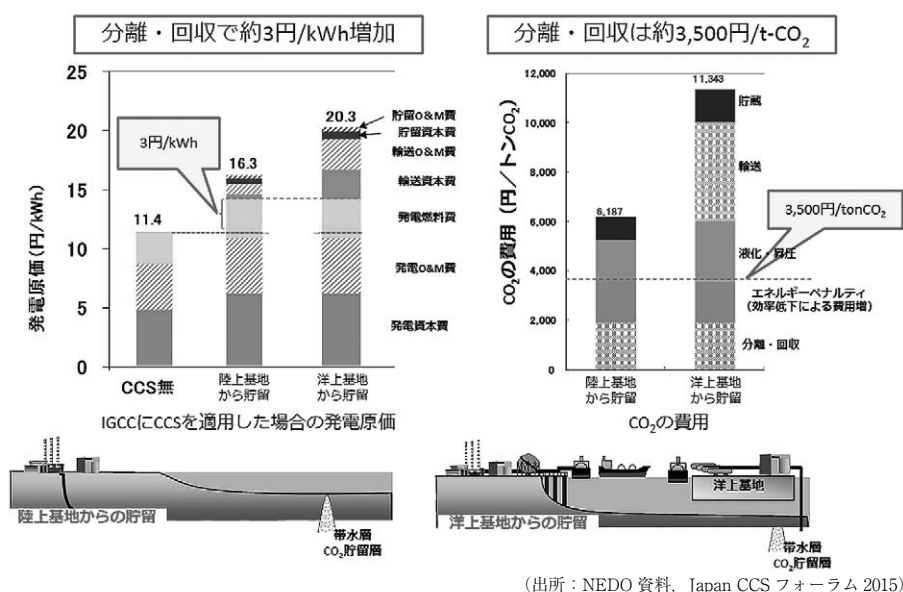


図7 CCSのためのコスト

また、石炭の品質は地域によって異なります。これから火力発電、化石燃料系の発電を積極的に導入しようとしている東南アジアやオーストラリアでは、低品位炭に対応した技術も念頭に開発を進めていくことになります。

海外の火力発電からの CO₂ 排出量

海外の火力発電からの CO₂ 排出量はどうなるのか。GRAPE の試算だと、図 8 のようになります。ゼロから上側が発電からの排出量。ゼロから下が CCS による貯留量です。これは、2050 年の GHG80%削減に向けた計算結果です。

では、現在、東南アジアを含めた非 OECD のアジア諸国の排出量はどうなっているのかというと、図 9 の一番左の棒グラフとなります。これは、IEA による石炭火力からの CO₂

排出量に関する試算です。将来に向けて、アジア諸国に日本の高効率の石炭火力発電技術を導入すると、黒いグラフのようになります。2040 年では、従来技術に比べると約 15 億トンの CO₂ が削減できます。

図 8 の CCS なしケース（レファレンスケース）の排出量が約 81 億トンですから、そこに高効率火力を入れると約 66 億トンまで下げられる計算になります。それだけ大きな量です。ですから、CCS も重要ですが、東南アジア諸国に高効率の火力発電を導入すれば、CCS への負担もかなり軽減されることになります。

CCS の可能性

海外では、CCS による CO₂ 貯留可能性がどれくらいあるのか。2005 年に「気候変動に

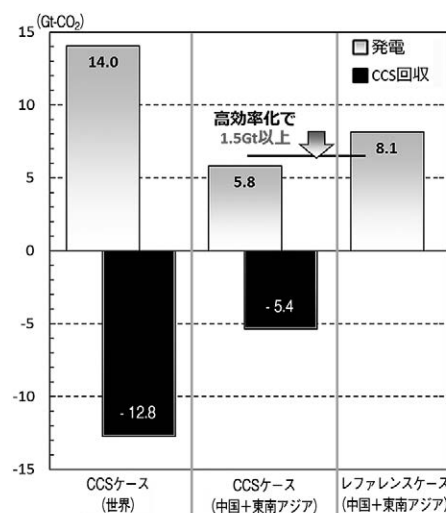


図 8 世界、東南アジアおよび中国の 2050 年における CO₂ 排出量（GRAPE 試算）

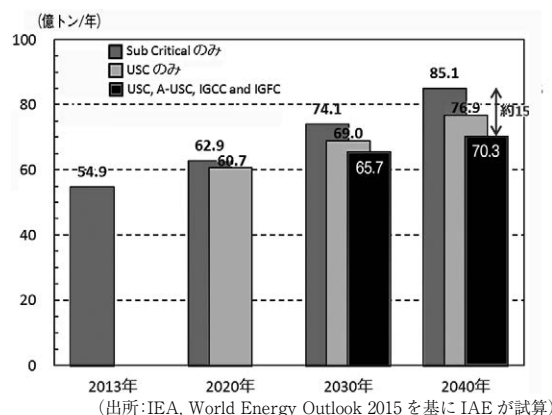


図 9 導入技術別の石炭火力 CO₂ 排出量

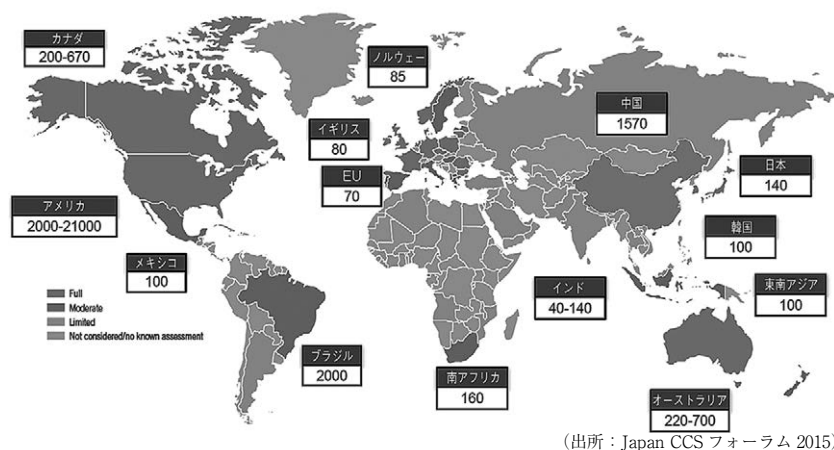


図 10 海外の CCS による CO₂ 貯留可能量 (Gt)

関する政府間パネル」(IPCC) から出た『二酸化炭素回収・貯留に関する特別報告書』によると、経済的に成り立つ貯留可能量は、200～2,000Gt と報告されています。その後、10 年程の間に各国から報告された CO₂ 貯留可能量は、図 10 のようになっています。数字が格段に増えている感があります。

また、世界の CCS は、北米の石油増進回収法 (EOR) が牽引していることが分かります。こういった技術があると、それぞれの技術が後押しされて貯留可能量も増えていくという状況にあります。ただ、CCS には、EOR だけではなく、ノルウェーなどでは帯水層に貯留するプロジェクトもあります。

全世界では、2014 年 11 月時点で、表 1 に示す数の CCS プロジェクトが進んでいます。世界的にも CCS は開発していかなければいけない技術です。また、2050 年で CO₂ を大幅に削減するという制約を受けると、火力発電技術にとって、CCS は必須のオプションになります。火力の役割にとって、CCS は重要な技術になってきます。

表 1 大規模 CCS プロジェクト

運転中: 13件	北米: 26件
建設中: 9件	欧州: 8件
精査中: 14件	アフリカ: 1件
評価中: 13件	中東: 2件
構想: 6件	アジア: 14件
	オセアニア: 3件
	南米: 1件

(出所：Japan CCS フォーラム 2015)

まとめ

今後の火力発電にとって、高効率化と CCS 化がキーワードとなります。また、海外の動向を見た場合、火力のシェアは、国内と海外とでは、ケタが違います。火力発電技術分野での日本の優位性は非常に高いですから、国際競争力を高めながら、海外展開も念頭に火力発電技術を開発していかなければならないと思います。

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。(拍手)

[講演 4]

2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン ～再生可能エネルギー～

森山 亮 (プロジェクト試験研究部 新エネルギーグループ)
主管研究員



はじめに

2050 年に世界の二酸化炭素 (CO₂) 排出量の半減を目指すことを前提条件としてエネルギー・環境シミュレーションモデル GRAPE を用いて試算した結果、再生可能エネルギー (再エネ) の大量導入や水素の導入促進が必要であることが分かりました。さらに、炭素回収貯留 (CCS) の規模や原子力の大規模拡大に対して制約を設けたいいくつかのケースについて試算したところ、制約条件によって火力、原子力、再エネのバランスが変わることが分かりました。そこで、私の講演では、GRAPE の試算結果を基に、再エネの大量導入に関わる課題と対応策や、エネルギー需給構造の変化について説明します。

講演の構成として、最初に、再エネの種類と特徴について、2 番目に GRAPE の試算結果と 2030 年および 2050 年における再エネ大量導入に関わる課題や対応策について述べ、最後に、まとめをしたいと思います。

再エネの種類と特徴

再エネには、固定価格買取制度でも注目されている太陽光、風力、バイオマス、地熱、水力の他、太陽熱、海洋 (波力・潮力) などが含まれます。

これら再エネは、自然条件によって出力が大きく変わる自然変動エネルギー (太陽光、太陽熱、風力、波力など) と出力がある程度一定のエネルギー (バイオマス、地熱、水力、潮力など) に大別され、さらに、バイオマスの一部は出力の調整が容易なエネルギーになっています。

自然変動エネルギーについては、エネルギーの需要と関係なく、出力が変化するため、バックアップの火力発電や蓄電池などエネルギーの出力調整もしくは貯蔵設備が必要となります。一方、出力が概ね一定な再エネは、ベース電源として使ったり、需要に応じた出力調整をすることができます。このように、同じ再エネであっても、需要に合わせてエネルギーを供給できるかどうかといった「エネルギーの質」に違いが見られます。

GRAPE による試算

試算の 3 ケース

GRAPE の試算結果の内、2030 年、2050 年において、再エネを大量導入するときの課題を見るために、表 1 に示した 3 つのケースを抽出して解説します。

具体的には、エネルギー需要として国際エネルギー機関 (IEA) が出している“World Energy Outlook”の CO₂ を制約して平均気温の上昇幅を 2℃以内に抑えるシナリオ (450

表 1 3 ケースの設定

エネルギー需要	CO2 制約	CCS	原子力大規模拡大	ケース略称	検討
WEO NPS	なし	—	制約なし	Ref-nolimNu	レファレンス
WEO 450	あり	あり	制約なし	CCS-nolimNu	再エネ最小
WEO 450	あり	なし	制約あり	noCCS-limNu	再エネ最大

Scenario) を用い、CCS と原子力の大規模導入が見込まれ、再生可能エネルギーに対する期待が少ない再エネ最小ケースと CCS と原子力の大規模導入が見込めず、再生可能エネルギーに対する期待が大きい再エネ最大ケースについて検討しました。

CO₂ の大幅削減を検討しないリファレンスケースとしては、IEA の省エネ進展シナリオ (New Policy scenario) をエネルギー需要として設定しました。

運輸エネルギーの構成

GRAPE 試算結果によりますと、図 1 に示

したように、基本的に、2030 年まで運輸エネルギーの主力は化石燃料で変わりはありません。2050 年になりますと、世界でも日本でも、バイオ燃料、水素、電力といった化石燃料以外の燃料が大量に導入されます。

特に、日本では「再エネ最大ケース」で水素を大量に導入することが想定されています。図 2 に示すように、環境省では、2050 年までに日本が温室効果ガス 80%削減を目指す絵姿として、次世代自動車 100%を目指すという目標を掲げています。輸送形態が電気自動車 (EV) になるのか燃料電池車 (FCV) になるのか明言されていませんが、このように 2050 年にかけては、運輸部門における次世代

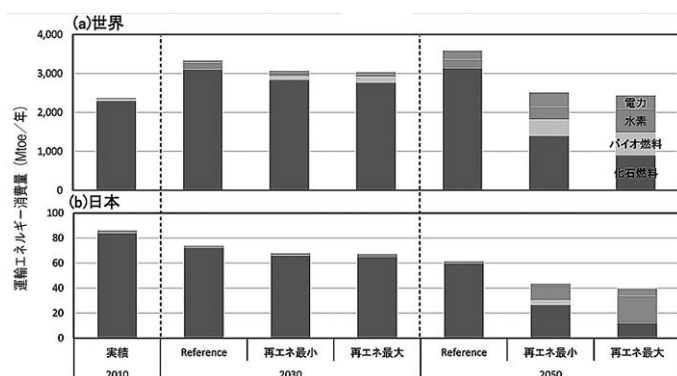


図 1 世界と日本の運輸エネルギー構成

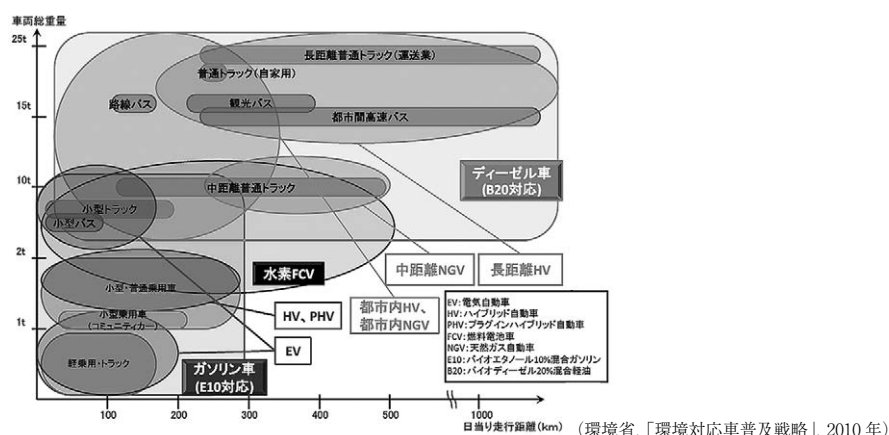


図 2 2040 年～2050 年における次世代自動車等の市場展開

エネルギーの大量導入が目標とされており、GRAPE の試算結果とも整合性があることが分かります。

電力供給量 (kWh) の構成

GRAPE による電力供給量試算結果を図 3 に示します。

世界の場合、2050 年に向けて電力供給量が増えています。日本は逆に減っていきます。また、化石燃料と原子力を除いた再エネのシェアは、世界でも日本でも増加傾向にあります。再エネ最大ケースでは、世界も日本も再エネのシェアが6割以上になります。特に、再エネの中でも自然変動エネルギーである太陽光や風力のシェアが高いことが分かります。

世界 15 地域の電力供給量シェアの特徴

これら再エネの特徴を地域別で見るために、図 4 に GRAPE で分類している世界 15 地域の電力供給量構成を示します。

図から、地域ごとに特徴があり、再エネのシェアも異なることが分かります。例えば、インドやアフリカでは、再エネのシェアがアメリカやカナダに比べて少ないです。また、カナダやブラジルで、水力が大きなシェアを占めている一方で、ロシアやブラジルでは、バイオマスのシェアが比較的高いという特徴が分かります。

日本でも、基本的に、再エネのシェアは世界平均と同様の傾向にあり、太陽光や風力といった自然変動エネルギーが大量に導入されるという試算結果が出ています。

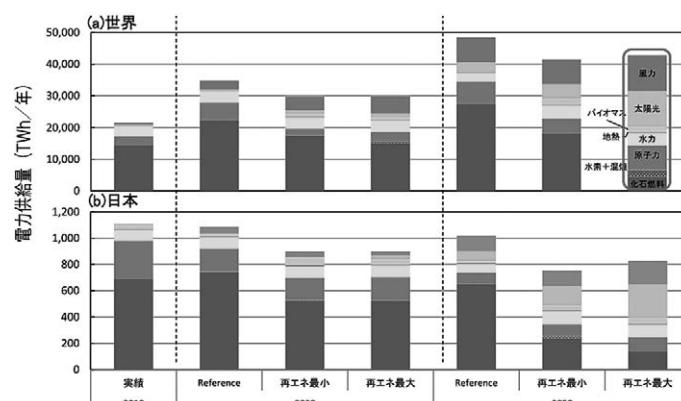


図 3 世界と日本の電力供給量構成

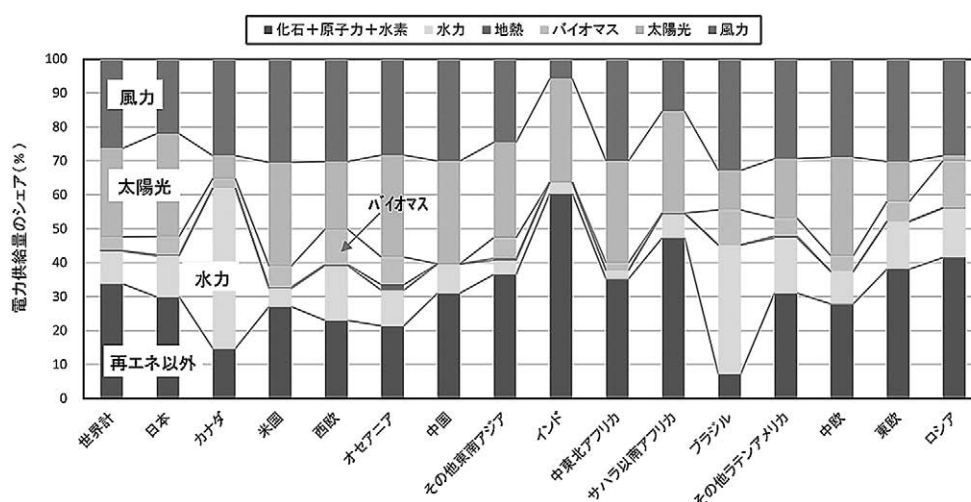


図 4 世界 15 地域における電力供給量シェアの特徴

太陽光発電の大量導入と日本

太陽光発電（PV）の大量導入が必要な日本の状況について述べます。PV がたくさん入ると、発電量（kWh）だけでなく、設備容量や出力（kW）の検討も必要になります。と言うのは、PV の場合、年間の設備利用率が低いため、発電量（kWh）を実現するために必要な設備容量（kW）が他電源よりも大きくなるからです。そこで、次の式を用いて、PV 設備容量（kW）を計算しました。設備利用率 12% は内閣官房国家戦略室コスト等検証委員会で示された値です。

$$\frac{\text{PV 発電量 (kWh)}}{365 (\text{d/y}) \times 24 (\text{h/d}) \times 12 (\%)}$$

PV の設備容量が系統全体にどう影響するかを見るため、2030 年、2050 年の PV 接続可能量（GW）を試算しました。東京電力(株)、中部電力(株)、関西電力(株)以外の 7 電力から公表されている PV 接続可能量試算結果（合計 23.2 GW）の値と 7 電力の電力需要量（合計 300.5 TWh）の関係を基に、以下の計算式を用いて、日本全体の PV 接続可能量を試算しました。

$$10 \text{ 電力の年間需要量 (TWh)} \times \frac{23.2 (\text{GW})}{300.5 (\text{TWh})}$$

試算結果を図 5 に示します。2010 年、2030 年では、PV 接続可能量よりも PV 設備容量が下になっていますので、日本全体では PV 設備を受け入れ可能であると考えられます。しかし、これは PV が「十分に」受け入れ可能

という意味ではありません。電力会社によっては、この段階でも、運用困難な状況に直面しているところもあります。

この計算結果を解釈すると、日本全体では 2030 年から 2050 年にかけて、現状のインフラで必要な対策を最大限行っていくことにより、PV を導入していくことができると考えられます。必要な対策としては、調整力として火力発電の維持、自然変動エネルギーの出力制御、電力需要の制御、蓄エネルギー設備の導入などです。

2050 年に着目しますと、再エネ最小ケース最大ケース共に、PV の設備導入量が接続可能量を大幅に超えています。接続可能量の 2～3 倍といった設備容量になりますと、蓄エネルギー設備の導入のみでは対応しきれないため、例えば、PV を出力調整可能な他の電源に切り替えていくといった対策も必要となります。

再エネのポテンシャル

再エネポテンシャルを踏まえ、PV の切り替え先を検討したグラフが図 6 です。PV が接続可能量を大幅に超える分は、CCS 付き火力やバイオマス発電など出力調整が可能な CO₂ を排出しない他電源へ切り替えていくことが必要と思われます。

しかし、例えば、費用を最小化しつつバイオマス発電に切り替えることは、コスト面で困難となります。

図 7 は GRAPE の試算の前提条件となっている再エネの発電コストです。PV や風力は、

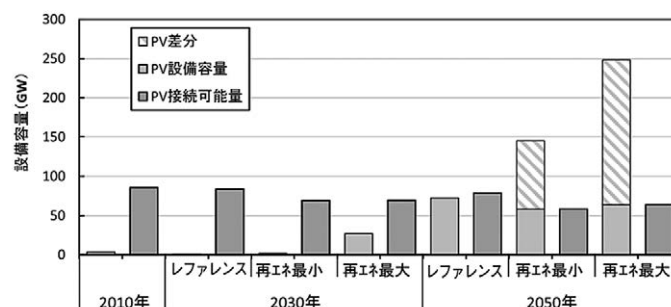
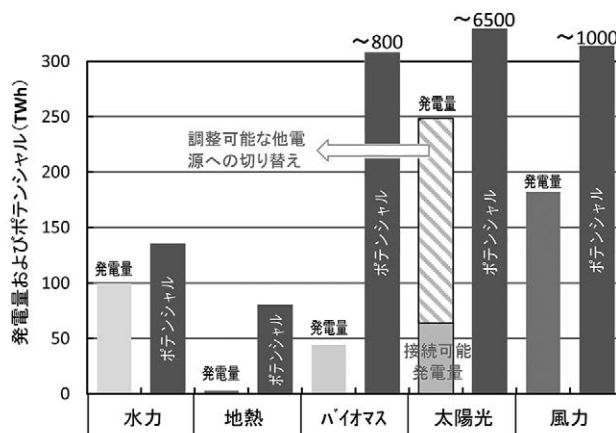


図 5 2030 年、2050 年の PV 設備容量と接続可能量



（出所：ポテンシャルデータは、Global Energy Assessment (International Institute for Applied Systems Analysis) , 2010 Survey of Energy Resources (World Energy Council) から。）

図6 再エネのポテンシャル

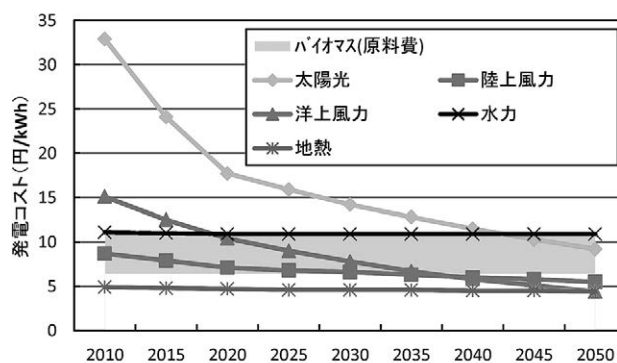


図7 日本の再エネ発電コストの見通し

2050 年に向けて大幅なコストダウンを見込んでいます。逆に言いますと、大幅なコストダウンができないと、PV や風力であっても試算結果のような大量導入はできないということになります。

一方、バイオマスは、原料費だけでPV や風力の発電コストを超えています。単に発電コストで見ると、再エネの中でもPV や風力が有利なため、シミュレーション結果ではこれらのエネルギーの大量導入が進みました。実際には自然変動エネルギーの大量導入にはこれまで述べてきたような需給バランスの課題があるため、調整可能な電源という、エネルギーの質というコスト以外の価値に着目した再エネの導入も考える必要があると思われます。

まとめ

2050 年に世界で CO₂ 半減の目標を達成するには、日本でも再エネ発電の大量導入が必要です。現状の電力インフラでは、自然変動エネルギーの大量導入に限界があるため、2050 年という長期で見た場合、エネルギーの質にも着目して、出力が一定であったり、出力調整が可能であったりする再エネ電源の導入を検討することも重要だと思われます。以上です。(拍手)

[講演5]

2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン ～水素・燃料電池技術～

石本 祐樹 (プロジェクト試験研究部 水素グループ
主管研究員)



はじめに

私からは、水素燃料電池技術に関してエネルギー・環境シミュレーションモデル GRAPE の計算結果も踏まえた報告をさせていただきます。

私の講演内容ですけれども、まず GRAPE モデルで考慮した水素利用技術を紹介し、その後、水素の製造・需要の評価結果について説明いたします。そして、二酸化炭素 (CO₂) 削減の観点から、水素・燃料電池技術の意義について述べ、想定される技術の見通し、「2050 年以降」についての私見を述べ、最後に、まとめをしたいと思います。

GRAPE で考慮した水素利用技術

水素利用技術として、図 1 のように運輸部門では乗用車の他にトラック、バスを想定しています。また、民生部門では燃料電池コジェ

ネレーション、発電部門では大規模な水素発電、産業部門ではガスタービンやガスエンジンのコジェネレーションと水素を天然ガスに混焼させ熱利用する技術も想定しています。

水素の評価結果

水素供給量と需要量の評価

図 2 は、2020 年から 2050 年までの日本の水素供給量です。2050 年では 7 割が輸入水素になります。また、日本国内で製造する水素も、水電解用の電力は風力が中心になっています。一方で、需要は、2050 年では運輸部門が 7 割程度を占めます。残りは、発電部門で需要されます。

図 2 にはありませんが、世界の水素需要を見ますと、大部分が CCS を備えた化石燃料(具体的には天然ガスと褐炭のような低品位炭)を改質して水素を製造します。水電解用の再エネ電源は、風力と水力です。

需要では、世界ではほとんどが運輸部門で

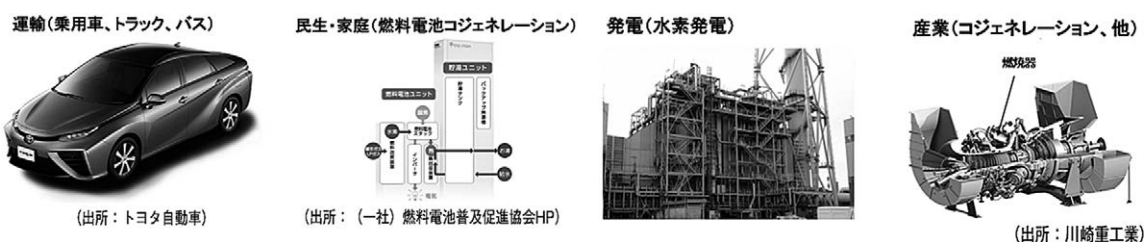


図 1 GRAPE モデルで考慮した水素利用技術

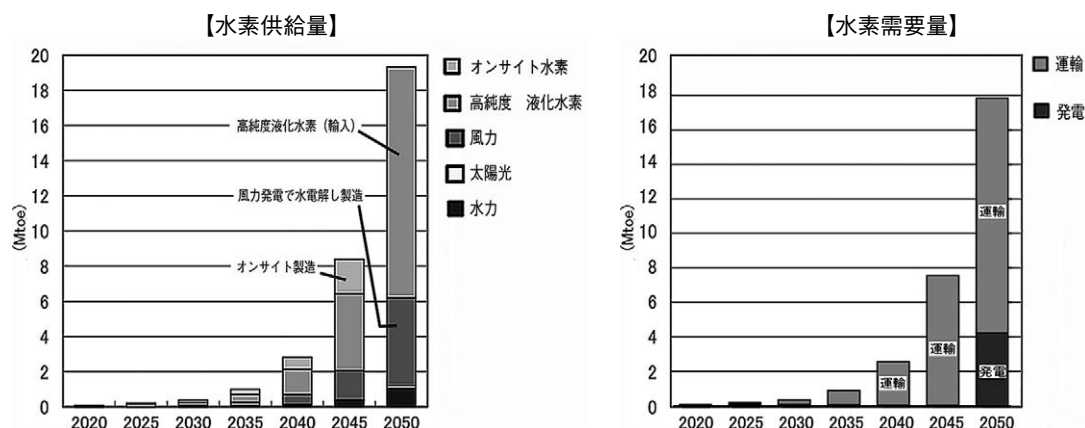


図2 水素の供給量と需要量（日本）

利用されます。また、乗用車だけではなくトラック、バスでも燃料電池の技術が用いられるという結果になっています。

CO₂ 削減と水素・燃料電池技術の意義

図3は、左側に一次エネルギー資源、右側に水素利用技術、その間を、水素の製造・輸送・貯蔵の技術で繋いだものです。CO₂を削減する部分は3つあります。

1つ目はエネルギー源のところでは。水素は多様な一次エネルギーから製造できますから、CO₂を発生しない資源・技術を使うことでCO₂を削減できます。

2つ目は水素製造のところでは。水電解で水素を発生させる技術で、電力との相互変換（電力貯蔵）ができますから、再エネ導入を促進してCO₂を削減できます。

3つ目は利用するところでは。水素は利用

時のCO₂発生がありません。CO₂を発生しない資源や技術を利用した水素を用いることで、今は回収が難しい分散排出源からのCO₂削減もできます。

想定される技術の見通し

FCV 導入とコストの見通し

まず、運輸部門の燃料電池車（FCV）に関してです。図4は日本のFCV普及の計算結果です。2050年にFCVは乗用車の50%超を占めています。また、経済産業省の「水素燃料電池戦略ロードマップ」（2014年6月策定、2016年3月改訂）では、2025年頃にFCVが同車格のハイブリッド車と等価な競争力を持つという見通しになっています。

FCVで100万台のガソリン車を置き換えますと、年当たり100万トンのCO₂が削減で

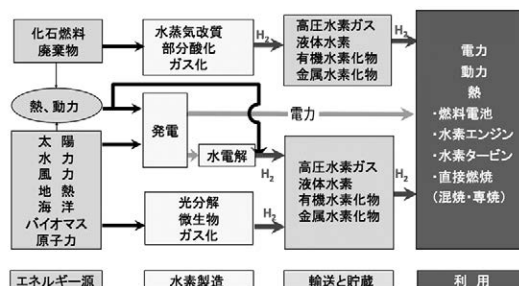


図3 水素製造・輸送・貯蔵・利用の流れ

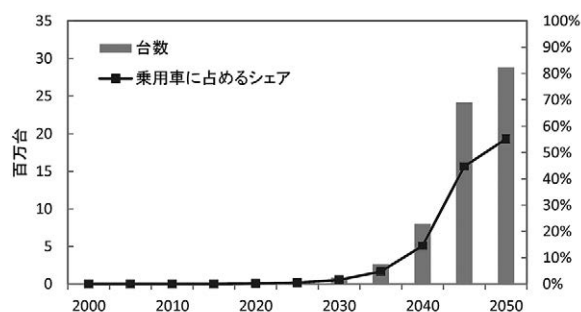


図4 燃料電池車の導入見通し（GRAPE 試算）

きます。計算結果では、バスとトラックにも FCV が導入されるとなっています。今、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクトとして、乗用車よりも耐久性が求められる商用車向け燃料電池の技術開発が行われていると伺っています。

図5は IEA から2015年に出版された「水素技術ロードマップ」からの引用です。地域によって車の大きさで値段の差をつけているようですが、米国の想定コストを例として持ってきたものです。現段階では、コストが非常に大きい燃料電池システムのコスト低下を期待しているということだと思います。具体的には生産

台数が2倍になるとコストが2割下がるラーニングカーブを想定しています。

水素コジェネレーション

業務用と産業用のコジェネレーションでは、数 MW の水素の専焼ガスタービンコジェネレーションが市場投入できるレベルまで開発されていると聞いています。

また、燃料電池では数 100kW の SOFC コジェネレーションの実証が進められています。図6に示した経済産業省の『水素・燃料電池ロードマップ』では、2030年以降に業務・産

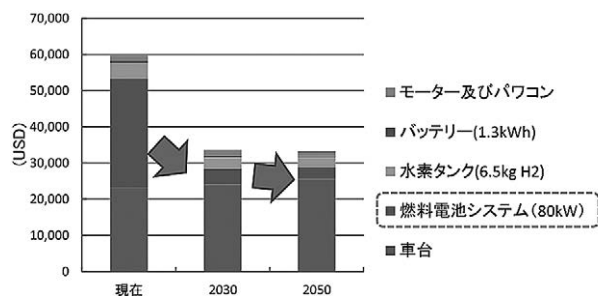


図5 燃料電池車のコスト見通し

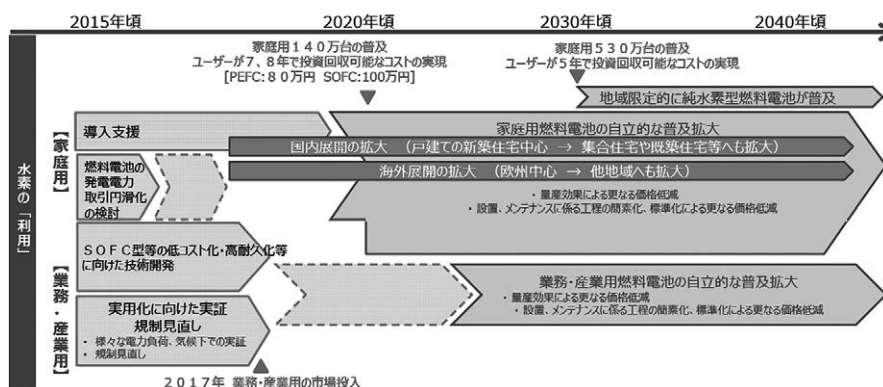


図6 水素コジェネレーションの見通し



図7 事業用水素発電の見通し

業用の燃料電池が自律的に普及するという目標が掲げられています。

家庭用のコジェネレーションについては、「エネファーム」という名称で既に商業化されています。「ロードマップ」では2030年に530万台普及という目標が掲げられています。

今普及している燃料電池は、天然ガスやLPGを改質して水素を作って発電したり、熱を取り出したりします。2030年以降に再開発で水素需要が集中する地域では、地域限定で改質器を持たない純水素型燃料電池の普及が想定されています。

図7に事業用の大型の水素発電の見通しを示しました。事業用発電に水素が用いられれば大規模な水素需要が生まれます。100万kW級の水素発電所の年間消費量は、効率や設備利用率にもよりますが、34億Nm³程度です。これは、FCV300万台に相当します。また、同規模の天然ガス火力を水素発電に置き換えますと、1基当たり年間200万トンのCO₂が削減できます。

事業用の水素発電は、例えば、CCSが難しいとか、原子力の導入が難しいとか、再エネ自体に恵まれないとか、国土が狭いとかいった理由でゼロエミッション電源の導入に制約がある国、または地域で、導入が進むと想定されます。

課題は高効率化のための予混合燃焼器の開発や窒素酸化物（NOx）の削減等が挙げられます。もちろん、発電技術ですので経済性が第一ですが、水素ならではの価値、例えば、出力調整可能なゼロエミッション電源であるということ、色々な一次エネルギー源から製造できるのでエネルギー資源の分散化

に貢献でき、エネルギー安全保障にも貢献できるということがあります。こういった水素の価値が評価される環境づくりも水素発電の普及に必要になってくると思われます。また、低炭素化を考えると、CO₂フリーの水素の利用が必須になると考えられます。

産業部門の水素利用

熱・電力のようなエネルギーではなく、化学反応のための材料として水素を利用する事例です。この、これに関してはGRAPEに組み込まれていませんが、製鉄プロセスの高炉で発生するCO₂を削減するというNEDOのCOURSE50のプロジェクトを紹介します。

図8で示したように、高炉の上から鉄鉱石とコークスを入れ、通常なら、主に一酸化炭素で還元された鉄が下から取り出されます。水素濃度の高い改質したコークス炉ガスを吹き込み水素で還元をする割合を増やすことで、CO₂を削減するという技術です。

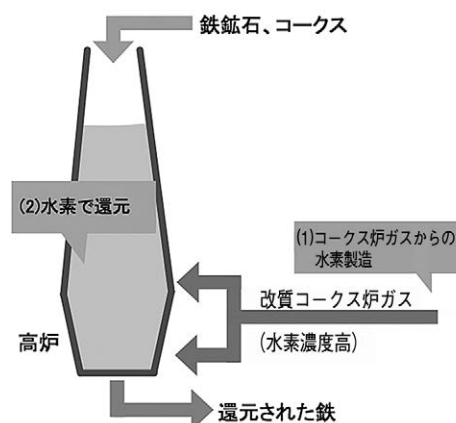


図8 製鉄プロセスでのCO₂削減

水素の輸送インフラとキャリア

ここでは、製造した水素を需要地まで輸送して貯蔵する一連の設備のことを「水素インフラ」と呼ばさせていただきます。

水素の製造から利用までの流れを図9に示しました。国際輸送と国内輸送の2つに分かれます。

まず、国際輸送についてお話しします。今、水素キャリアとして有力なのは、①液化水素、②メチルシクロヘキサン（MCH）、③アンモニアの3種類だと思います。

液化水素なら、高純度の水素が供給できますが、20Kという極低温を作り出さないといけません。そこで、例えば、現在最大で30t/日程度の液化機を100t/日くらいまで大型化していくことや、高断熱の貯蔵タンク、液化水素を運ぶ専用船の開発をするとともに、それらの低コスト化が必要となってきます。

MCHは、常温・常圧で液体なので、貯蔵・輸送に既存の石油インフラが使用可能といわれています。MCHから水素を取り出すときの脱水素プロセスが吸熱反応ですから、現在300℃～350℃の反応温度を更に下げる技術開

発が進められています。また、温度が下がるとさらに安価な熱源が使えますので、安価な熱源の探索も課題と思われます。

アンモニアは、法律上の「劇物」ですから化学物質として管理されたプラントでは取り扱い手段が確立されています。また、アンモニアは、水素を取り出して使う他に、そのまま利用する、ガスタービンで燃焼させる、燃料電池で直接利用するとかの技術が「戦略的イノベーション創造プログラム」（SIP）のプロジェクトで研究されています。こういった技術が実用化されれば、効率向上が見込めると思います。

ただ、キャリア毎に特性があり、各プロセスの技術的な成熟度も異なっています。例えば、輸送の部分では既に商用技術だけれども、合成の部分ではまだ技術開発の余地があるなど、キャリアによっても異なります。従って、用途や条件によってキャリア間の優位性も変化します。また、このキャリアに乗せる水素そのもののコストの低減も日本到着時の水素コストの低減に有効だと考えられます。

続いて、水素の国内配送についてです。考えられる輸送手段を図10に示しました。現在、高压ガス、液化水素のトレーラー・ローリーで輸送されていると思いますが、MCHの利用が始まると、ガソリン等を輸送しているようなローリーでの輸送が考えられます。また、ある程度の需要がある内陸部へは、製油所からガソリンを輸送所に運んでいるような貨物列車での輸送も考えられます。また、海沿いの地域なら、内航船による輸送も考えられますし、将

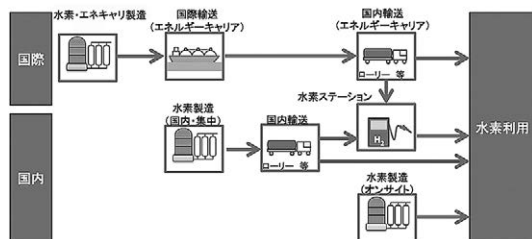


図9 水素製造から利用までの流れ



図10 水素の国内輸送手段

来、定常的な需要がある、集中した需要があるといった場合には、パイプラインでの輸送が最も経済的になると思われます。

水素ステーションのコスト低減への取組

水素ステーションでは、輸送した水素を82MPaまで昇圧してFCVへ供給する場所です。現状、300Nm³/h程度の供給力を持つ水素ステーションの建設費は、4～5億円と言われています。

図11は、水素ステーションを新設するときのコストの内訳です。一番大きいのは圧縮機コスト、次が蓄圧機コストになっています。そこで、コスト比率の高い技術に、新技術を導入してコスト低減を図る必要があると思います。そのような新技術として、ピストンの圧縮機を液化水素ポンプ（液化水素を液体の状態で加圧し蒸発させる圧縮用の電力消費が少ないタイプのポンプ）とか、固体のピストンではなく蒸気圧の低いイオン液体式のポンプがあります。

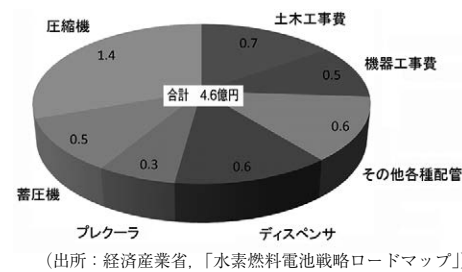


図11 水素ステーションのコスト内訳 (億円)

また、機器の共通化によるコスト低減も有効と思います。今、国内の約80カ所で商用水素ステーションが運用されていますが、整備段階で機器や仕様の共通化がかなりなされたと聞いています。それを更に進めて、設計コストも落としていくこと、使用できる金属材料の種類を増やしていくこともコスト低減に有効と考えています。

水素製造技術の見通し

水素製造技術には、表1に示したように様々あります。現在は鉄鋼や石油化学、石油精製、ソーダ電解などから出てくる副生水素、化石燃料の改質で造られる水素がほとんどで、経済的な競争力も非常に高いと思います。

副生水素は、あくまでも副産品ですので主製品の生産量に依存しますが、水素の普及初期には、副生水素や既存設備を有効利用して製造できる水素で市場を立ち上げることが必要だと思います。

しかし、将来に向けてはCO₂制約や水素需要の拡大に対応できるように、褐炭などの未利用資源を利用した水素製造、再エネを利用した水素製造へ移行する必要があると考えています。

その再エネを利用した水素製造技術として最も有力なのは、水電解技術です。この技術には、大別すると、電解質としてアルカリ溶液を使うアルカリ型、固体の高分子膜を使うPEM

表1 水素製造技術の見通し

	業界	製造方法	開発段階	水素純度 %	将来の標準的な設備		
					設備規模 万ton/年	原料の量 ton/日	敷地面積 m2
現在	鉄鋼	COGからの分離	実用化	99.9 w/PSA	1~10	-	-
	副生水素	副生ガス+水蒸気改質	実用化	99.9 w/PSA	1	-	-
	石油化学	同上	実用化	-	-	-	-
	石油精製	同上	実用化	-	-	-	-
	ソーダ	副生ガス	実用化	99.9	1	-	-
将来	化石燃料の改質 (未利用資源)	ナフサ、天然ガスの水蒸気改質	実用化	99.9 w/PSA	1~20	100~2,200	5,000~20,000
	ガス化	石炭・ペトコガス化	実用化	99.9 w/PSA	1~20	300~6,000	50,000~200,000
	水電解	PEM	実証化	99.99993	1	20,000kw	14,000
将来	バイオマスガス化	バイオマスガス化	実証化	99.9 w/PSA	0.2	150	90,000
	その他	高温水蒸気電解	開発中	99.9	~0.01	~200kw	-
		熱化学法 (IS)	開発中	99.9	~5	-	5,000~20,000

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), 「化学品原料として利用可能な水素製造技術に関する検討」, 2016)

型があります。前者は成熟技術で、すでにかなり高効率です。アルカリ型と PEM 型のコスト見通しを図 12 に示しました。原単位でもシステムコストでも、アルカリ型がかなり下がっていきます。PEM 型は、これからはあまり下がらないようですが、既にかなり安くなっています。

今後想定される技術として、「Power to Gas」というコンセプトがあります。図 13 で示したように、余剰な再エネ電力で電解水素を製造し、燃料電池や水素ステーションで用いるというコンセプトです。再エネの導入促進、脱炭素化、地域のエネルギー自立、国のエネルギー自給率の向上といったメリットが強調されています。

しかし、個別のサイトごとに許容できる水素価格の条件を満たす水素製造・貯蔵・用途の組み合わせを探索する必要があります。例えば、安価な余剰電力の利用を想定しますと設備利用率が低下するという事で、問題になることの少ない水電解設備の CAPEX の割合が増えてきます。また、長期間の貯蔵、季

節間貯蔵を目的にしますと、貯蔵設備の回転率が低下して、エネルギー当たりの貯蔵コストが上がってくるので、最適な設備構成や設備規模の設定、水素需給をマッチングさせることが必要になってきます。

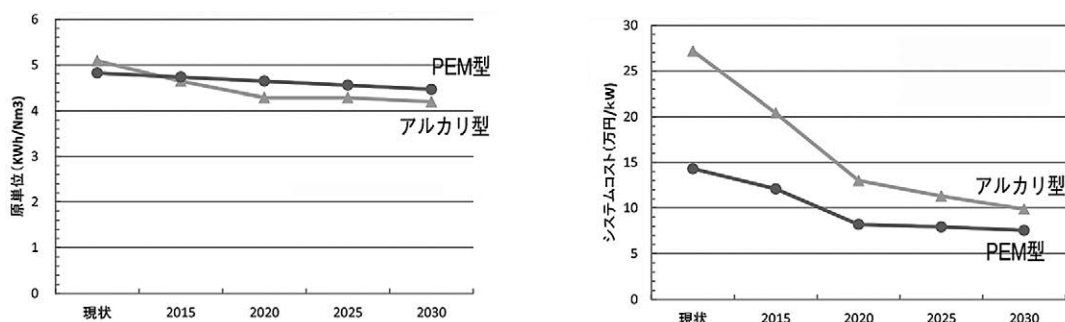
Post2050：2050 年以降に向けて

最後に、「Post2050」です。「2050 年」というのは、どの技術に関しても通過点に過ぎないと感じています。

また、今世紀後半に CO₂ 排出量を正味ゼロにすることが期待される中では、2050 年以降についても考え出す必要があると思います。

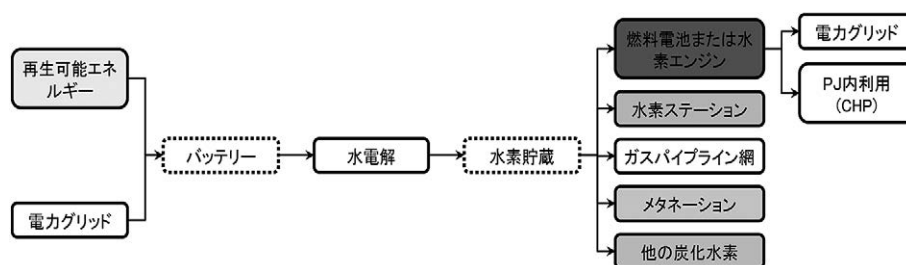
水素技術を使うと、分散型の CO₂ 排出源も脱炭素化できますから、水素技術は、2050 年以降も活躍する技術です。国際エネルギー機関（IEA）の報告でも、「完全な脱炭素化は水素技術がないと難しい」と評価されています。

また、現在導入が見込まれている技術の他



(出所：FCH-JU, Development of Water Electrolysis in the European Union - Final Report, 2014)

図 12 水素製造技術の見通し（数値は中央値）



(出所：G.Gahleitner, International Journal of Hydrogen Energy 38, 2013)

図 13 Power to Gas 技術の概略図

に、光で直接水を分解する光触媒技術、小型でも高効率な磁気冷凍技術など、「萌芽的な」革新技術の継続的な発掘、投資も必要だろうと考えています。

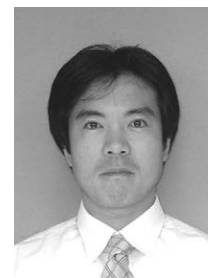
まとめ

最後に、まとめです。水素は様々な面からCO₂削減に貢献できますが、GRAPEによる評価では、世界全体では主に運輸部門での利用が想定されています。

ゼロエミッション電源の利用に制約がある地域では、大規模な発電でも水素利用が期待されます。しかし、水素エネルギーを利用するには、サプライチェーンの立ち上げと拡大のための技術開発と政策支援が必要だろうと思います。

最後に、2050年は通過点に過ぎず、水素は2050年以降も活躍する技術ですから、現在導入が見込まれていない「萌芽的な」革新技術についての継続的な発掘や投資が必要であると思っています。

以上です。ご清聴ありがとうございました。
(拍手)

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

原子力をめぐる世界の状況

講演の内容ですけれども、始めに、エネルギー・環境シミュレーションモデル GRAPE等の分析結果を引用しつつ、世界におけるエネルギー全体の状況について紹介します。その結果を踏まえ、原子力の必要性に関わる分析を行い、原子力のまとめを行います。最後に、当研究所の研究員6名で行ってきた講演のまとめをいたします。原子力の分析を行うためには、他電源とのバランスやエネルギービジョン全体の中での位置付けを議論する必要がありますから、その分析が今回の一連の講演のまとめになるのではないかとということで、私が最後を引き取ったということになります。

図1は、GRAPEの分析結果です。日本においても世界においても、2050年まで原子力は継続的に利用されています。

図2は、原子力だけの変化です。注目していただきたいのは、CO₂ 制約がない場合でも、原子力はある程度継続的に利用されると予想されていることです。CO₂ 制約がある場合、炭素回収貯留技術（CCS）が使えたり、水素が使えなかったりという条件によって原子力の導入量は変化いたします。共通的な傾向は、先進国では、原子力は漸減傾向にあることと、2030 年以降、途上国を中心に急速に電力需要が増大して、2050 年には現状の2 倍以上使われるということです。

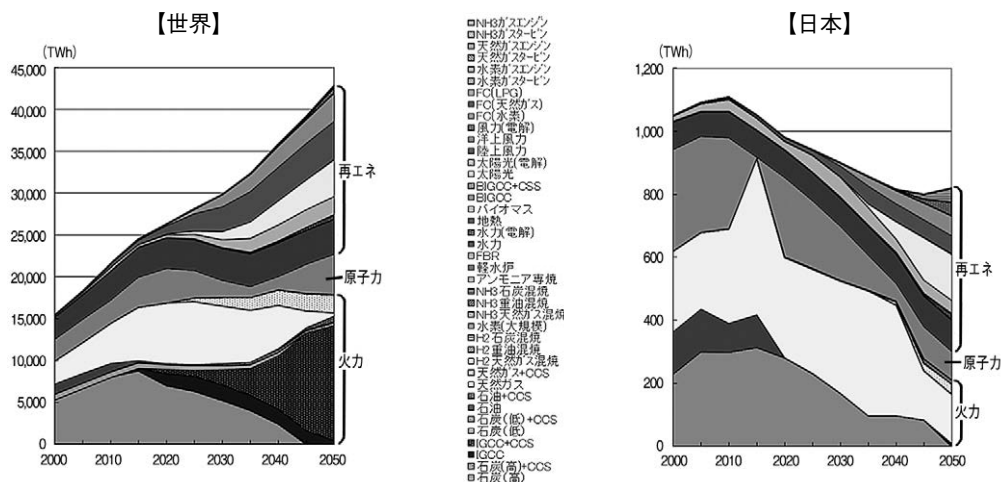


図1 世界と日本の中長期電源構成（2000年～2050年）

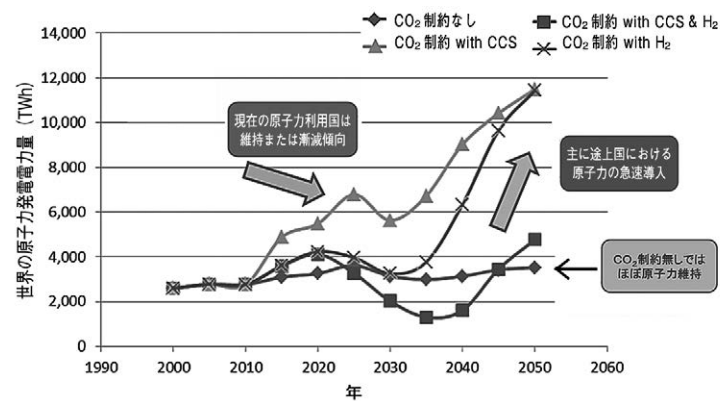


図2 GRAPE が描いた世界の原子力導入シナリオ

IEA の推計

図3に示すように、国際エネルギー機関(IEA)“World Energy Outlook 2015”の3つのシナリオ(現状政策シナリオ、新政策シナリオ、450シナリオ)でも同様の結果が出ています。CO₂制約がなくても原子力は漸増で、CO₂制約があると2倍以上になります。

今、福島第一原発事故の影響で、原子力の導入速度はやや減速していますが、それでも、将来を見通した場合、原子力の継続的な利用が期待されていることが分かります。

原子力の必要性に関する分析

原子力の中長期的役割の議論に必要な分析

前述のとおり、原子力の中長期的な役割を議論する上では、他のエネルギー源とのバ

ランスやCO₂の大幅削減との関係から原子力の必要性を考えていく必要があるのです。ここから将来のエネルギーシステム全体についての議論を進めていくとします。

一次エネルギーの比較

まず、一次エネルギーの比較です。主要な一次エネルギーには、原子力、再生可能エネルギー(再エネ)、火力等があります。しかし、それぞれ一長一短があり、現時点で、「3E+S」(Energy security, Economy, Environment, Safety)の全部を満たす絶対的なエネルギー源は存在しないと理解しています。ですから、結局は「バランスの良く」ということになるのですが、「良いバランス」というものは、優先順位やリスク認知、技術開発の成否に強く依存しますので、議論がなかなか収束しないというのが現状だと思います。

表1に整理したように、例えば、原子力だと、燃料の貯蔵性が高く、資源供給国が多様で、

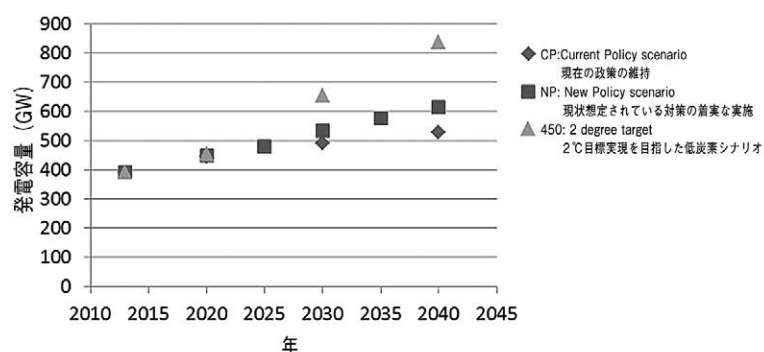


図3 原子力の将来予測(IEA 推計)

表 1 一次エネルギーの利点と欠点比較

	利点	欠点
原子力	・燃料の貯蔵性が高い。 ・資源供給国が多様で政治的に安定 ・運転時CO ₂ を出さない	・事故時の影響が大きい ・ウラン資源は必ずしも潤沢ではない
太陽光・風力	・資源量は豊富 ・国産エネルギー	・設置の適地には限りがある ・出力が不安定であり、シェアを大きくするには相応の対策が必要
火力	・制御しやすい ・現時点では燃料価格も低い	・CO ₂ 排出が大きい ・供給安定性に不安がある。
火力+CCS	火力の利点を保持しつつ、CO ₂ 排出を大幅削減	・技術はまだ実証段階

しかも政治的に安定していることから、供給安定性（Energy Security）は高いですし、しかも CO₂を出さないという利点があります。しかし、事故の影響が大きい、高レベル放射性廃棄物の処分場が未定という欠点があります。同様に、太陽光・風力といった再エネ、火力にも、それぞれ利点と欠点があります。

国内エネルギー需給検討の論点（3E+S）

供給安定性（Energy Security）については、基本的にはエネルギー源とその調達先を多様化してリスクを分散することが主要な対策となります。単純に多様化するのではなく、リスクの大きさを考慮する必要があります。例えば、石油であれば、中東有事の際の供給途絶、価格の乱高下というリスクがあります。どのリスクを重くとらえるかによってバランスのあり方は変わります。

経済性（Economy）についても、化石燃料は現時点ではそれほど価格は高くありませんが、それが2050年、2100年にわたって続くか予想することは困難です。また、火力+CCSは、未だ開発・実証段階にあり、本当に大規模な普及が可能なのか。総発電量に占めるシェアが10～20%でも大変な再エネの導入は、GRAPEでは50～60%を期待していますが、本当にそこまでいけるのか。その際の出力変動対策コストはどのくらいなのかという問題があります。

環境（Environment）については、CO₂排出の大幅削減を可能にする技術革新が必要です。

安全性（Safety）についても、原子力のシビアアクシデント対策は、新規制基準に基づ

いて着実に実施されていますが、依然として「原子力には抵抗がある」と思っている人も少なくありません。認知・受容性の差が大きいのです。

さらに、「3E+S」の観点に加え、世代間あるいは地域間の公平性という倫理的な配慮も必要です。

以上のようなことを色々考えてベストなエネルギー構成（ベスト・ミックス）を決めていけないといけませんから、非常に難しい話になります。

国内原子力の役割の定量化

「難しい」と言って議論を止めてしまっはいいけませんので、次に、国内を対象にして原子力の効果を、もう少し定量的に考えてみたいと思います。

図4に震災前と震災後の変化の例として、天然ガス消費量とCO₂排出量を示しました。都市ガスの需要は、原発が停止した震災後もほとんど変わらず、発電用の消費だけが目に見えて伸び、1.25倍くらいになっています。増加した費用は、数兆円規模で、単純に人口で割ると一人当たり年間数万円の負担になります。

CO₂排出量の変化では、発電部門からの排出が15%くらい増え、日本全体では6%程度増えました。日本全体への影響が小さいのは、震災後に省エネルギーが進んだことによると分析しております。

なお、単純に天然ガス火力を原子力に置き換える効果を計算すると、天然ガス火力の20%を置き換える毎にCO₂が10%減ります。

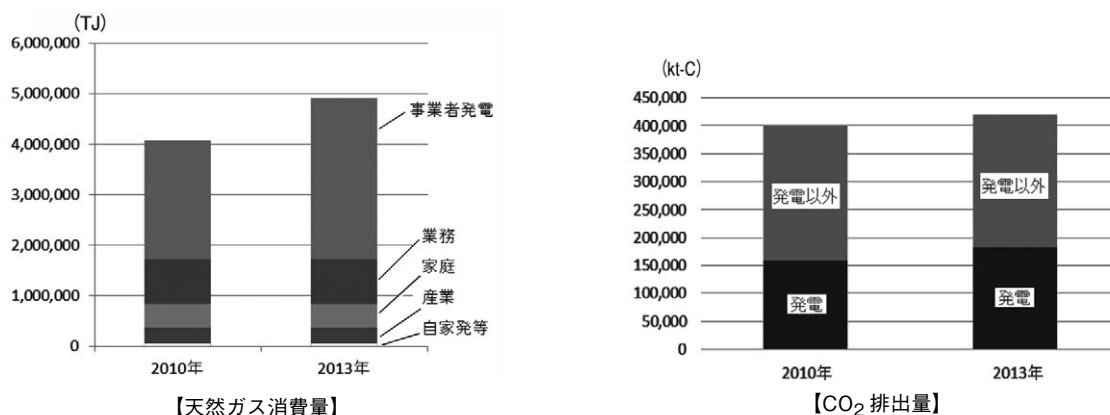


図4 東日本大震災前後の変化

これを太陽光（設備利用率 12.5%）でやろうとすれば、2 億 kW 程度、すなわち電力のピーク需要を超えるような数字が必要になります。また、ガソリン車を電気自動車に替えて同じ効果を得ようとするれば、半分以上を替えないといけません。原子力については再稼働を決断するだけでこれぐらいの削減効果が出せるという点で、有力な技術オプションであるといえると思います。

また、一次エネルギー自給率は、原子力を「準国産エネルギー」とみなした場合、2010 年の 17% が 2013 年には 8 % に下がっています。やはり原子力は、エネルギー自給率向上に寄与していると思います。

このようなメリット・デメリットの計算では、暗黙のうちに 2 つ楽観的想定を置いているということに留意する必要があります。1 つ目は、化石燃料がいつまでも安定的に確保できると想定している点、2 つ目は、CO₂ の排出が現状の改善程度で良いと想定している点です。実は、2050 年に CO₂ 排出量を 2013

年度比で半減、あるいは 8 割減を目指すのであれば、「エネルギーシステムの変革」というべき努力が必要となります。

2050 年に 8 割削減のシナリオを図 5 に示します。運輸、発電、定置（産業・民生）の 3 部門での排出量の実績と予測です。発電部門では、火力を 2 割、残りは低炭素電源にする。運輸部門では、乗用車とバスは半分を、トラックは大部分を水素燃料電池車にする。産業・民生部門では、灯油・軽油・石炭の需要を大幅に削減する。このようなことを実現しないと、2050 年に 8 割減という日本の目標は達成できません。

世界の CO₂ 半減に向けた同等の対策

日本だけ、あるいは先進国だけで CO₂ の大幅削減を頑張るのかと言うと、そうではありません。

図 6 に、先進国グループ、途上国グループに分けて CO₂ 排出量を示しました。先進国の

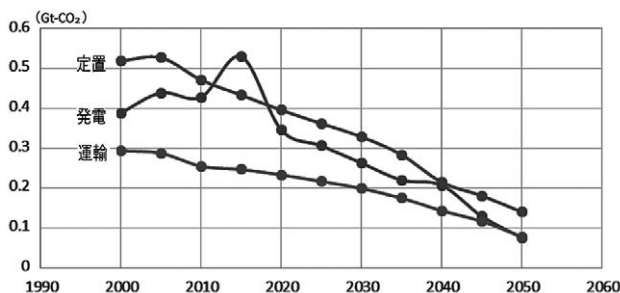


図5 日本の部門毎 CO₂ 排出量

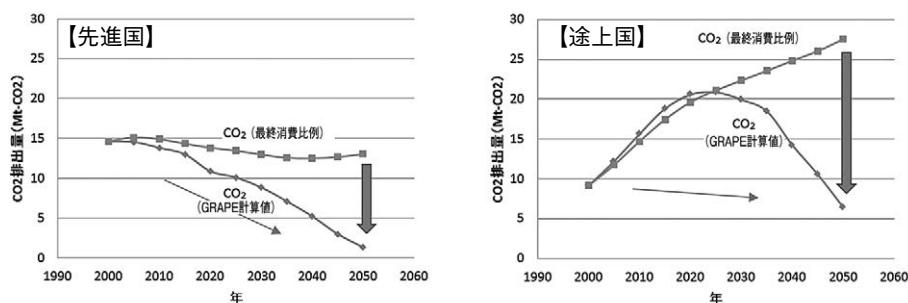


図6 世界のCO₂半減に向けたシナリオ

場合、エネルギー需要が横ばいかやや減少という中で大幅なCO₂排出量削減を行いますので、削減量、単位エネルギー当たりの排出量とも8割程度減らすことになります。

他方、途上国では、エネルギー需要が急増しますので、それに伴って排出量も増加し、2030年辺りにピークに達し、2050年には2000年よりやや少ない程度となります。しかし、単位エネルギー当たりの排出量は、先進国とそれほど変わらず8割近く下げないといけないということが分かると思います。これは、世界で共通的に低炭素技術を普及させていかなければならないということに相当します。

このような世界を実現するためには、基本的に、火力発電でCO₂を排出することは、もはやあり得ないというのが全地域で共通した傾向です。また、運輸部門では、乗用車・トラック・バスは、電気と水素で動かす。航空機や船舶さえ一部は水素やバイオ燃料で動かす。また、産業用熱源についても、石油系と石炭系はどんどん減り、天然ガスが中心になっていきます。さらに、低温熱はなるべくヒ-

トポンプ等でカバーする。こういったことを、世界全体で行わないといけなくなってきているわけです。

ネットゼロエミッションの電源構成

GRAPEモデルで計算した電源構成を図7と図8に示します。図7が技術シナリオ依存性、図8が地域依存性です。図7に示すように、CCSがある場合、CCSと原子力と再生可能エネルギーがバランスよく使われています。CCSの利用を制限すると、原子力と再生可能の双方が増えることで、ゼロエミッションに近い状態を維持します。図8で示すように、地域で見ると、カナダのは水力資源が豊富で、半分か程度の電力が水力で供給されています。残りはCCSと再生可能で供給され、原子力の比率は小さくなっています。一方、インド・東南アジアのように火力を残しながら原子力に頼るところもあります。

この結果は、GRAPEの入力条件下における経済的最適解であり、政策的な要因は考慮

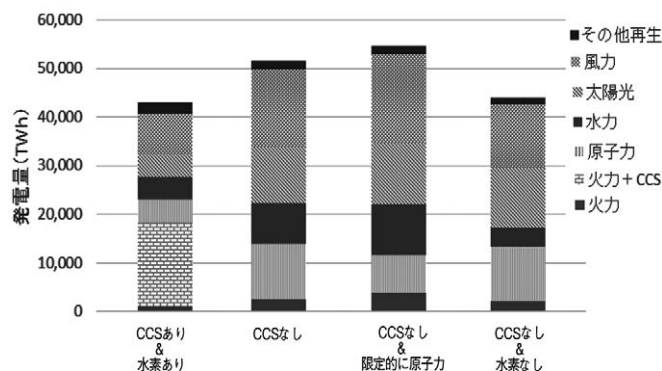


図7 ネットゼロエミッション時の世界の電源構成～技術シナリオ依存性～

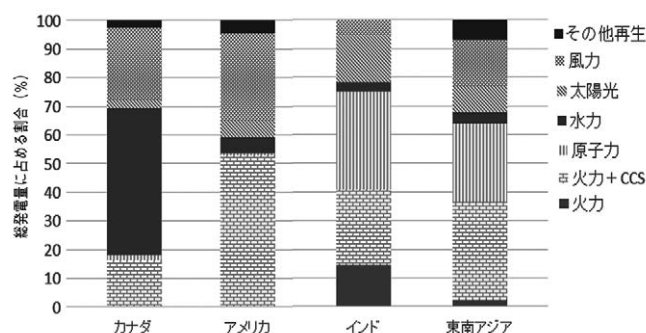


図8 ネットゼロエミッション時の世界の電源構成～地域依存性～

されておりません。また、GRAPE への入力条件によって値は変わりえます。よって、ここで「カナダやアメリカは脱原子力すべきだ」というような議論をするつもりはありません。大事なことは、世界で CO₂ 半減に取り組むには、世界のあらゆる地域において、CCS 火力、原子力、再エネというカードのうち少なくとも 2 つ、できれば全部を大規模に投入していくことが必須であるという点です。結論として、CCS 火力、原子力、再エネともほぼ必須の技術オプションだということが言えると思います。

原子力のまとめ

GRAPE を含む多くのエネルギーモデルにおいて、世界は、一部地域を除き、依然として原子力を長期的に利用していくということが想定されております。そして、国内で原子力を継続的に利用することは、「3 E + S」、さらにその基盤となる公平性などの価値観、倫理の観点からも妥当な選択であると思います。更に、2050 年で CO₂ 排出世界半減を制約条件とすると、世界の多くの地域で原子力はほぼ必須の技術となります。

もう 1 つ重要な点があります。モデル計算の上では再エネや CCS に頼るシナリオもあり得ますが、これらは開発途上の技術であるということに注意すべきです。ですから、開発

がうまくいかなかったときの「保険」としても、原子力技術は保持すべきです。その場合、技術開発の視点から安全性やメンテナンスの性質を高めた新型軽水炉、さらに長期的な利用を見据えた革新炉の開発も必要となります。

講演「2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン」のまとめ

講演「2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン」全体のまとめをしたいと思います。

本講演では、最初に、GRAPE で 2050 年 CO₂ 排出量世界半減シナリオを検討し、続いて、その実現に必要な技術開発項目についての現状と課題を概説してきました。

講演を通して分かったことは、現時点で「3 E + S」を単独で満たす理想的なエネルギー源は存在しておらず、当面は多様化ということが基本戦略となるということです。従いまして、継続して多様な技術開発を進めることが必要であると思います。

また、地球温暖化対策を重視する場合、エネルギーシステム的大幅な変革が必要となり、その実現に向けた準備が必要です。その中で原子力、再エネ、化石エネルギーの効率化の利用と CCS、省エネルギーの全てを世界全体で総動員していく必要があると思います。

さらに、いくつかの講演でも指摘されていましたが、2050 年半減という目標も実は単な

る通過点に過ぎません。IPCC などでは、2℃制約を実現するには、今世紀後半にはゼロエミッションどころか、正味の排出をマイナスにする必要があることということが報告されています。従いまして、2050 年排出量半減をゴールと見なすのではなく、それ以降のさらなる削減につながるよう技術開発を進めていく必要があります。

最後ですが、エネルギー技術は数十年にわたって利用するものが多いことから、これから建設する設備は 2050 年以降も利用される可能性があります。ですから、途上国のエネルギー需要の増大や先進国の老朽設備の入れ替えに際して、将来のあるべき姿を見据えた判断が望まれると思います。以上です。(拍手)

閉 会 挨拶

佐藤 憲一 (一財)エネルギー総合工学研究所
専務理事

本日は「2050 年に向けたエネルギー技術ビジョン」というテーマでシンポジウムを開催いたしましたところ、多数の方々に長時間にわたり、かつ熱心にご参加頂きまして誠にありがとうございました。

基調講演として、まず、米国エネルギー省のジェームズ・エドモンズ博士より「長期的視点に立った地球温暖化問題解決のためのエネルギー技術」につきまして、次に、東京大学の荻本和彦先生より「エネルギーシステム インテグレーション」につきまして、更に、産業技術総合研究所の西尾匡弘様より「エネルギー・環境イノベーション戦略」につきまして、それぞれ大変示唆に富むお話を頂きました。

エドモンズ博士のお話をお伺いし、地球温暖化問題の解決のためには長期的視点に立った技術開発が重要であることを再認識した次第です。

また、荻本先生のお話では、再生可能エネルギーと電力の問題を広い視点で捉え、的確に統合を図って行くというお考えで、当研究所の「総合工学」の視点とも合致するお考えだと改めて思いました。

更に、西尾様のご講演では、今年4月に策定されました「エネルギー・環境イノベーション戦略」について、実際に直接参加された方ならではの話を産業戦略まで含めまして、お伺いすることができました。

講演に続きまして、当研究所が開発しました、世界のエネルギー・環境に関するシミュレーションモデル GRAPE の分析結果を踏まえまして、当研究所の加藤、水野、酒井、森山、石本、都筑の6名の研究員から、個別分野ごとに2050年に向けた技術ビジョンについての研究成果および地球温暖化問題の解決のためにはあらゆる低炭素技術を総動員していく必要があるという報告をさせて頂きました。

昨今、世界の先行きにつきまして「不透明な時代」という言葉が頻繁に出ておりますが、このことはまさにエネルギー分野においても同様であります。私は、こうした時代だからこそ、幅広いエネルギー分野を長期的視点に立って、横断的かつ俯瞰的に評価、分析し、学問と実社会をつなぎつつ、将来ビジョンを立案提示する当研究所の役割が益々重要だと考えております。

来月(11月)に、地球温暖化問題をテーマとした『ガイアのメッセージ』というドキュ

メンタリー映画が公開されますが、地球とエネルギーそして人間がいかにして調和を図りつつ存続して行くのか、全ての学問領域を対象に、学際的アプローチをする「総合工学」の視点が今こそ重要であると考えています。

今、IoT や AI による「第4次産業革命」、あるいは「ソサエティー 5.0」が始まろうとしています。

当研究所においても現在、バーチャルパワープラントの実証事業を行っておりますが、こうした時代の中で、今後さらに何をなすべきか、鋭意検討しているところであります。

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」との理念の下、エネルギーの技術戦略、エネルギービジョン作りにおいて、先頭集団を走り抜く所存であります。今回のシンポジウムが皆様方の今後のビジネスの展開、あるいはエネルギー戦略の構築に少しでもお役に立てれば幸甚に存じます。

最後になりましたが、引き続き皆様方のご協力とご支援を改めてお願いし、本日のシンポジウムを終了させていただきます。本日は誠にありがとうございました。(拍手)

研究所のうごき

(平成 28 年 10 月 1 日～平成 29 年 1 月 1 日)

◇ 第 22 回賛助会員会議

日 時：10 月 7 日 (金) 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『限界費用ゼロ社会におけるエネルギービジョン』（経済評論家 勝間和代氏）

◇ 月例研究会

第 360 回月例研究会

日 時：10 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. 火力プラント設備向け制御システムセキュリティ対策に関する国内・海外動向と今後の取組
(三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部 エンジニアリング総括部 制御システム技術部 高砂制御ソリューション課 海外技術サービスチーム 主席チーム統括 下村 孝明 氏)
2. 変容する社会と火力発電技術のイノベーション
(東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 特任教授 小林 由則 氏)

第 361 回月例研究会

日 時：11 月 25 日 (金) 14:00 ～ 16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. パリ協定の発効と実施～本格的脱炭素化に向けた大転換のチャレンジ～
(公財)地球環境戦略研究機関 理事長 浜中 裕徳 氏)
2. 家庭部門のエネルギー消費実態と省エネルギー
(株)住環境計画研究所 研究所長 鶴崎 敬大 氏)

第 362 回月例研究会

日 時：12 月 16 日 (金) 14:00 ～ 16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 第 4 次産業革命とサイバーセキュリティを巡る課題
(一財)日本情報経済社会推進協会 常務理事 インターネットトラストセンター長 山内 徹 氏)
2. デジタル化は電気事業に変革をもたらすか？～海外・日本における取り組みと課題～
(東京電力ホールディングス(株) 技術・環境戦略ユニット 技術統括室長 兼 経営企画ユニット 企画室 (技術担当) 北島 尚史 氏)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：田中 健一

テーマ：Development of a reliable estimation procedure of radioactivity inventory in a BWR plant due to neutron irradiation for de-commissioning

発表先：ICRS13 (於パリ)

日 時：10 月 6 日

発表者：Ko Sakata, Yuki Ishimoto, Atsushi Kurosawa, Masaharu Sasakura, Kenzo Fukuda

テーマ：Prospects of Global Hydrogen Energy System towards the Sustainable Low-Carbon Society

発表先：World Energy Council, World Energy Conference

日 時：10 月 10 日～13 日

発表者：酒井 奨

テーマ：国内外の CO₂ 分離回収技術の開発動向

発表先：ガスハイドレート産業創出イノベーション (GHIC) 第 16 回講演会 (産業技術総合研究所 主催)

日 時：10 月 13 日

発表者：田中 健一

テーマ：原子力施設の廃止措置における現状と課題

発表先：日本原子力学会バックエンド部会週末基礎講座（岐阜県土岐市セラトピア土岐）

日 時：10 月 15 日

発表者：相澤 芳弘

テーマ：水素電力貯蔵システムにおける国内離島サプライチェーンモデル

発表先：第 4 回「二酸化炭素を原料とした物質・エネルギー変換技術研究会」～エネルギーの地産地消とビジネスチャンス（京都へのメッセージ）～
（京都高度技術研究所主催）

日 時：10 月 25 日

発表者：小野崎 正樹，荒牧 寿弘（九州大学），林 潤一郎（東京都市大学），高津 淑人，上田 成，岡田 清史（九州大学名誉教授），持田 勲

テーマ：褐炭改質によるコークス用粘結材（A-SCC）のコークス化性評価

発表先：第 53 回石炭科学会議（日本エネルギー学会主催）

日 時：10 月 26 日～27 日

発表者：坂田 興

テーマ：低炭素社会構築に向けた水素エネルギーシステムの貢献可能性

発表先：東京工業大学

日 時：11 月 3 日

発表者：黒沢 厚志

テーマ：What is the role of CCUS under Paris Agreement?

発表先：Global CCUS Symposium 2016
（韓国 CCS 協会主催）

日 時：11 月 3 日

発表者：坂田 興

テーマ：CO₂ 削減における水素の役割

発表先：第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016（日本化

学会主催）

発表日：11 月 14 日

発表者：小野崎正樹

テーマ：火力発電における CO₂ 削減の道筋

発表先：日本化学会秋季事業・第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016

日 時：11 月 14 日

発表者：加藤 悦史，森山 亮，黒沢 厚志

テーマ：A sustainable pathway of bioenergy with carbon capture and storage deployment

発表先：13th Conference on Greenhouse Gas Control Technologies（主催 IEAGHG）

日 時：11 月 14 日～18 日

発表者：石本 祐樹，村木正昭（石油学会経営情報部会 WG1/東京工業大学名誉教授），小崎恭寿男（㈱ライジングサン）篠崎明輝子（横河電機㈱），樋口文孝（出光興産㈱），山下純司（東亜石油㈱），角和昌弘（東京大学）

テーマ：シナリオプランニングによる日本の水素社会の可能性（その 1）都市における水素利用

発表先：第 46 回石油・石油化学討論会

日 時：11 月 17 日

発表者：石本 祐樹

テーマ：エネルギーシステムにおける水素利用の意義に関する研究

発表先：第 36 回水素エネルギー協会大会 特別講演

日 時：11 月 28 日

発表者：加藤 悦史，森山 亮，黒沢 厚志

テーマ：Efficient and sustainable deployment of bioenergy with carbon capture and storage in mitigation pathways

発表先：America Geophysical Union (AGU) fall meeting 2016

日 時：12 月 12 日～16 日

[寄稿]

発表者：田中 健一

テーマ：Estimation of a boundary to distinguish
between radioactive materials and non-
radioactive materials around a Main
Steam line and a Feed Water line in a
Biological Shielding Wall of a BWR for
decommissioning

発表先：Progress in Nuclear Energy（9月号）

発表者：石本 祐樹，山下純司（東亜石油株），小
崎恭寿男（株ライジングサン），篠崎明
輝子（横河電機株），樋口文孝（出光興
産株），村木正昭（石油学会経営情報
部会 WG1/ 東京工業大学名誉教授），角
和昌弘（東京大学）

テーマ：日本の水素社会の可能性－シナリオプラ
ンニング－

発表先：石油学会情報誌『ペトロテック』
12月号

◇人事異動

○11月30日付

（定年退職）

鈴木洋明 原子力工学センター 副主席研究員

（退職）

末廣利恵 プロジェクト試験研究部 主任研究
員 兼 原子力工学センター

○12月1日付

（嘱託採用）

鈴木洋明 原子力工学センター 参事

編集後記

昨年の国際情勢に関する出来事のうちに世界に衝撃を与えたのは、英国のEU離脱、そしてなんと言っても米大統領選挙の結果ではないだろうか。大方の予想を覆して第45代米大統領に就任することとなったトランプ氏、選挙戦中は数々の過激な発言で物議を醸したが、彼が主張してきた政策の実現可能性や内外に与える影響などを踏まえ、どの程度現実路線との折り合いを図るのか、大統領就任演説や一般教書演説での表明が気にかかるところである。

エネルギー・環境を例にとると、国内産業の保護や国内失業者対策の観点から、クリーンパワープランの撤回や、パリ協定からの離脱あるいは温室効果ガス削減目標の変更などが懸念されている。しかしながら、経済の発展と地球環境の保護は今や対立するものではなく、双方の取り組みと、その相乗効果が持続可能な発展には必要である。難産の末に決定された、全世界が協調して地球温暖化対策に対処する意思を示したパリ協定の実効性ある取り組みを、責任ある大国として実

施されることを期待したい。

さて、本号の発刊日は大寒の頃であるが、本拙稿を書いている今日は冬至である。例年にない暖かさではあるものの、1年のうちで最も昼が短く、夜が長くなる日で、太陽の力が一番弱まる日とされており、日本各地では、無病息災を願い、小豆粥を食べて冷酒を飲み、柚子湯に浸かって身体を温める慣習が今も残っている。この他にも二十四節気には、春分や夏至など天体運行に基づくものや清明、霜降といった自然の様子を表したもの、さらには穀雨や芒種など農作業の目安とされるものがある。子供の頃は祝日になる春分、秋分の日ぐらいいし興味はなかったが、歳を重ねるにつれ季節の変化を表すこれらの節目に自ずと関心が向くようになってきた。

昨年は温暖化の影響からか、残念ながらほとんど秋を感じることはなかったが、豊かな四季とそれを愛でる精神性が後の世代にも引き継がれる、そのような環境が続くことを望みたい。

編集責任者 重政弥寿志

季報 エネルギー総合工学 第39巻第4号

平成29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。

