

第2回講演 持続可能な経済社会に向けたエネルギーシステム技術の開発

東京大学 大学院工学系研究科・機械工学専攻 教授 浅野浩志
(*現職 大学院工学系研究科講師(非常勤)、電力中央研究所上席研究員)

電気や天然ガスなどの
既存のエネルギーインフラを活用しつつ、
燃料電池や再生可能エネルギーを組み込んでいく。
それがホロニック・エネルギーシステムだ。
持続可能な社会を維持していくためには、
技術の発展だけではなく、私たち自身が
家庭や企業で取り組むべきことがある。
浅野浩志教授は、私たちエネルギーの需要家が
市場に参加し、需要調整を行うことで、
省エネルギー化を可能とする社会を構想している。
(編集部)



Hiroshi Asano

将来に向けたエネルギー技術の開発は、重要な課題の一つです。今から数十年後の社会を想像したとき、そこで重要となるエネルギー技術は何でしょうか。私の研究の目標は、エネルギーを取り巻く環境変化の要因を長期的な視野に立って分析し、次世代エネルギー技術のあり方を予測することです。具体的には、「ホロニック・エネルギー社会」もしくは「ホロニック・エネルギーシステム」を目指しています。この講演では主にホロニック・エネルギーシステムについて説明します。また、本研究会の趣旨である今後10年以上先のエネルギーを取り巻く環境要因に対する見通しとして、政府やさまざまな研究機関が提言している持続可能なエネルギーシステムを実現させるための長期エネルギーシナリオについても触れていきます。最後にそのためのエネルギーシステム技術に関して解説します。

ホロニック・エネルギーシステムとは

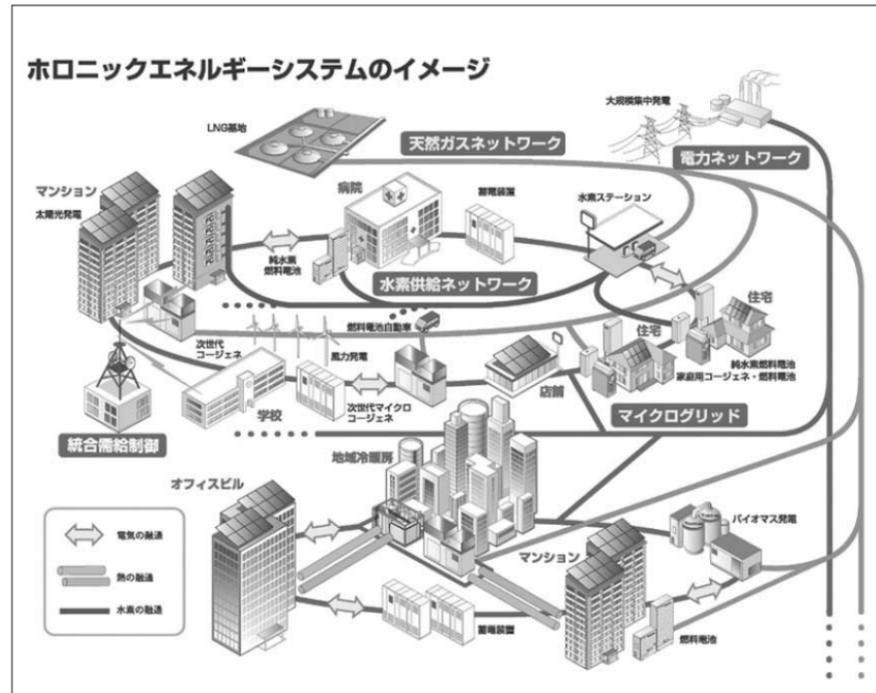
それではまず、ホロニック・エネルギーシステムとはどのようなものでしょうか。

これは一言で言えば、既存のエネルギーインフラを活用し、そこに分散型のエネルギー資源を調和的に組み込んでいくシステ

ムのことです。既存のエネルギーインフラとは、天然ガスネットワーク、電力ネットワークです。これらの資産は今後数十年間にわたり有効に使用していく必要があります。一方で、燃料電池や再生可能エネルギーが既存のエネルギーインフラに組み込

まれていきます。その際、我々が目指すような持続可能な社会に十分貢献できるだけの量の再生可能エネルギーを供給できるようにすることが重要です。そのため、既存のエネルギーと次世代の再生可能エネルギーの両方が調和するような、新しい形の

エネルギー市場と連携する自律分散型エネルギーシステム「ホロニック・エネルギーシステム」



インフラおよびシステムを描いていきたいと考えています。

そのインフラをつくるにあたっては、それぞれのエネルギーに関する要素技術の開発も必要不可欠ですが、目標はそれだけではありません。持続可能社会、環境共生社会を実現するため、できる限り地域内のエネルギー資源を最大限に活用し、自給率を高めていくことが重要です。つまり、エネルギーも適材適所、地産地消と呼ばれる社会を目指す必要があるということです。とはいえ、エンドユーザーが求めているものは、あくまでも“エネルギーサービス”ですので、既存の集中型エネルギーシステムと、地産地消の分散型エネルギー資源の両方を上手に組み合わせて提供できることが理想だと考えています。

近い将来、日本国内のエネルギー需要は飽和します。今までのように、新たな技術を開発し、新たな製品を提供すればどんどん市場が膨らんでいくという時代ではなくなっていくと思います。そういった中、企業は新たなビジネスチャンスをつかんでいかなければなりません。持続可能な社会を実現していくためには、単に環境と経済の両立だけでなく、産業自体が持続可能である必要があります。元々“持続可能”という言葉は産業組織論の中から出てきた言葉で、産業や企業の持続可能性を表したものでした。市場そのものが縮小していく日本において、企業は新たな市場を創出していく必要があるのです。そのための一つのキーワードとして、新エネルギーシステム技術の開発が必要不可欠です。

さて、ホロニック・エネルギーシステムのホロニックとは、ギリシャ語の“ホロス”という“全体”を意味する言葉と、“オン”という“個”を意味する言葉を合成した造語で、全体と個の調和を目指すシステムという意味です。1983年から1985年にかけて、大蔵省(当時)のソフトノミックス研究会という組織で本学の研究者が提唱しましたが、ホロニックを実現するための制度や技術はまだなく、ここで初めてコンセプトが打ち出されたのです。

当時、業界では“ソフトエネルギーパス”というコンセプトが流行していました。これは“ハードエネルギーパス”に対するアン

チテーゼとして生まれたコンセプトです。ハードエネルギーパスとは、従来の規模の経済を基本とする大規模集中発電、超高压送電型のシステムのことです。それに対し、ソフトエネルギーパスとは、太陽光発電などの分散型電源と省エネルギー型のシステムのことです。エモリー・ロビンズという省エネルギーの提案者として有名な物理学者が提唱しました。これらに対し、ホロニック・エネルギーシステムは、要するにハードエネルギーパス(全体)とソフトエネルギーパス(個)を包括したものというわけです。

ホロニック・エネルギーシステムのドライビング・フォース(原動力)としては、「再生可能エネルギーの本格導入」「地域経済復興・都市再生・災害やテロのリスクヘッジ」「自給率向上や化石燃料依存率低下」が挙げられます。

実際、小型分散型エネルギー技術や電力貯蔵技術といった要素技術の進展、パワーエレクトロニクスや制御技術の進展によるネットワーク化、ユーザーがエネルギーを自由に選択できる規制改革などの社会的背景などにより、オンサイト(現場)の分散型エネルギー資源が、エネルギーネットワークを通して「双方向」で取引可能になりつつあります。これにより、近い将来、上流で起きているエネルギーカーブの変動がエンドユーザーまで伝わる社会が実現可能となります。日本では、RPS法(RPS=リニューアブル・ポートフォリオ・スタンダード=再生可能電力割当制度)と呼ばれる法律を策定し、電気を売る価値と環境を売る価値を分けて取引できるようにしました(電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法)。これによって、環境価値が可視化され、新エネルギーに安心して投資できる環境も少しずつ整ってきています。

これらの技術的、社会的背景を基に、我々はホロニック・エネルギーシステムを実現可能なものにしていきたいと考えています。

これまで、分散型エネルギー資源は、大規模なエネルギーインフラに依存してきました。そのため、分散型電源が集中型電源を補完するような本格的な供給電源の柱にはなり得ませんでした。しかしながら、今後は分散型資源も、システム全体の供給信

頼性に影響を与えることなく、全体の秩序の中で安定的に運用されなければならないでしょう。また、エンドユーザー側が、分散型資源を使うのか、上位系統からエネルギーを購入するのか、あるいは販売するのかなど、エネルギー使用の際の最終的な選択権を持つことが重要です。例えば、自宅の屋根から電気を供給する、あるいは自宅には太陽電池は設置できないので、再生可能エネルギーで得られた電力の環境付加価値を、取引可能な証書にしたグリーン電力証書を使い、自宅の電力はグリーン電力で賄うといったことを認める社会を実現するということです。それがホロニック・エネルギーシステムの目指すところなのです。

省エネルギー化のための要因と直面している課題

一方、現在、我々がエネルギー需給において直面している最大の課題は安定供給です。このところ、資源開発と利用をめぐり、国際間の緊張が高まっています。悲観的シナリオが日本の周辺でも起こりつつあります。これまで、日本がエネルギー需給で比較的うまくやってこられたのは、1970年代のオイルショックの経験を生かしたからです。同様の問題が発生しても対応可能な産業構造を構築したのです。エネルギーの効率化を図った結果、マクロな原単位が改善され、エネルギー価格高騰による影響度が低下しました。

この「一次エネルギーのGDP(国内総生産)原単位」のグラフは、100万ドルのGDPを稼ぐのに、どれだけの一次エネルギーを石油換算トンで投入しているかを表したものです。日本の一次エネルギーのGDP原単位は低いレベルであり、米国や欧州も低レベル化に向けて努力をしている状況です。世界全体で低減しない限り、日本だけが低くても問題が解決しないということがお分かりになるでしょう。日本は、エネルギー効率化技術と産業構造のソフト化を世界に移転する使命があると言えます。

日本のマクロレベルでの省エネルギー要因としては、まず「産業構造の変化」が挙げられます。鉄道や道路などを建設してGDPを上げるのではなく、サービス産業によってGDPを上げるということです。2つ目は、「社会構造の変化」です。これはライフスタ

イルの変化や交通体系の変化です。日本は米国に比べ、鉄道など公共機関への依存率が高く、このことが、GDP原単位が低い要因となっています。3つ目が、「製品構造」です。企業レベルで言えば、プロダクトミックス(製品構成)を変えること、そして製品の高付加価値化です。しかしながら、鉄鋼などの素材系ではプロダクトミックスや高付加価値化によって、むしろGDP原単位は上がっているという状況にあります。

エネルギー需要にインパクトを与える構造的要因としては、まず、人口変化、世帯構造の変化、生活様式の変化が挙げられます。具体的には「少子化で住宅ストックの寿命がどのくらい延びるか」「高齢化で在宅時間が増えることで、エネルギー需要がどのくらい増えるか」「高齢化で介護や医療の受けやすさが住み方にもたらす変化はどのくらいか」といったことを考える必要があります。

次に、社会構造の変化が挙げられます。「都市への集中は進むのか」「戸建てと集合住宅ではどちらが主流になるのか」「移動(mobility)に対する根源的欲求はどうなるか」といったことです。特に移動に対する根源的欲求に関しては、人間には、好きな時間に、好きな場所に、好きな手段で移動したいという根源的な欲求があります。これが、自動車から鉄道や船舶へのモーダルシフトがなかなか進まない要因になっています。

では、経済が成長して産業構造が変化していく中、エネルギー需要に関して直面している課題には何があるのでしょうか。まず、「これからの主力産業は何か」「有望な省エネルギー技術とは何か」について考える必要があります。さらに、世界中でエネルギー資源を取り合っている中、枯渇する資源の価格の高騰をくい止めるには、代替技術、バックストップ技術(枯渇資源を用いなくて同じ効果をもたらす技術)を開発する必要があります。さらに、これらが実現可能か否かも検討しなければなりません。

例えば日本は、核融合や高速増殖炉(FBR)、それ以外の再生可能なエネルギーのための技術オプションで、石炭や石油、天然ガスなど枯渇する資源の価格高騰を抑えられるかどうかを考える必要があります。私はここ10年~20年の間では難しいだろうと予測しています。ほかに、非化石資源の割合に関しても見通していく必要があるでしょう。

二酸化炭素の排出の少ない低炭素社会への移行も重要な課題です。そのためには、さまざまな技術オプションがありますが、問題は、低炭素社会に移行するためにかかる数十兆円と言われるコストを、誰が、どのように負担していくかの合意が得られていないということです。国際競争の中で、いかに公平に負担させるかも非常に難しい問題です。

【民生用エネルギー需要】

次に、民生用エネルギー需要に関する特徴についてお話しします。

まず、「価格弾力性が小さい」という特徴があります。以前、環境省から民生用エネルギーに環境税をかけようという議論が持ち上がった際、見送られた理由として、「仮にガソリンの値段や電気料金、ガス料金を10%引き上げたとしても、需要を1%下げても非常に難しい」ということがありました。価格を10%上げたとき、需要が1%下がった場合、価格弾力性が-0.1程度です。国内外の研究の結果、価格弾力性よりもむしろ、「所得弾力性の効果が大きい」ということが分かりました。所得が増えて豊かになると、人はどんどんエネルギーを消費する方向に向かうというわけです。例えば、すべての部屋にエアコンを設置する、燃費の悪い大型車に乗るといったことです。結論として、経済的なインセンティブのみでエネルギー需要をコントロールするのは難しいでしょう。

しかし何らかの対策を打たない限り、エミッション(排出)を大幅に下げることにはできません。解決策となる新たな技術として提案しているのが、HEMS(ホームエネルギーマネジメントシステム)、BEMS(ビルディングエネルギーマネジメントシステム)、グリーンIT(情報技術)です。

日本では、省エネルギー法に基づき、機器のトップランナー規制を行っています。日本の場合、市場で販売されている自動車の燃費は一定レベル以上であり、家電に関しても、あるレベル以上のCOP(成績係数)のものしか販売されていません。消費者は特に意識することなく、省エネルギーの製品を購入するようになっているのです。また、2008年4月からは省エネルギー法が改正され、小規模の建物も規制の対象となりました。従来の省エネルギー法では、エネルギー指定管理工場というものが定められていました。これは、年間ある程度以上の電力や燃料を使っていると、国から原単位を毎年1%改善するように強制されるというものです。改正では、これまで規制の対象外だったコンビニエンスストアやファミリーレストランといった中小規模の建物も規制の対象になったのです。

セクター別アプローチの適用ということ

もあります。従来、建物に対する規制だったのに対し、これは、業種や企業に対して「CO₂を年間何%削減して下さい」という風に規制しようというものです。そうすると、これまで規制の対象とならなかった小さなオフィスビルも、会社全体として規制の対象になるのです。

日本らしいものとしては、“エコジョーズ”や“エコキュート”と呼ばれるような高効率な機器の開発競争が企業間で行われていることが挙げられます。企業に最先端のエネルギー技術を開発させ、市場で競わせるのです。

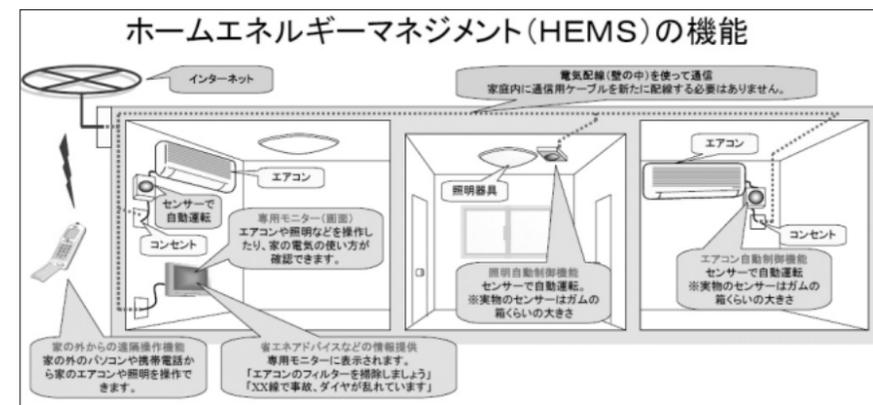
【産業用エネルギー需要】

次は、産業用エネルギー需要についてです。産業用エネルギー需要の大きな特徴は、

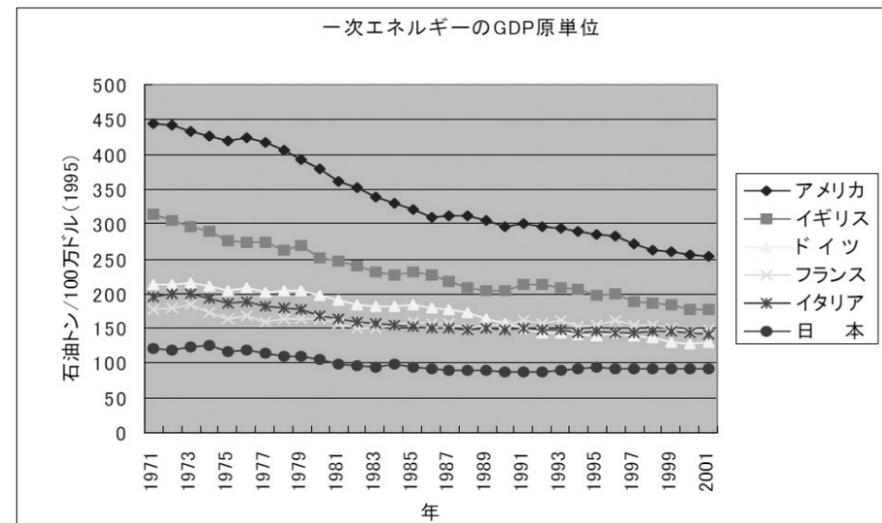
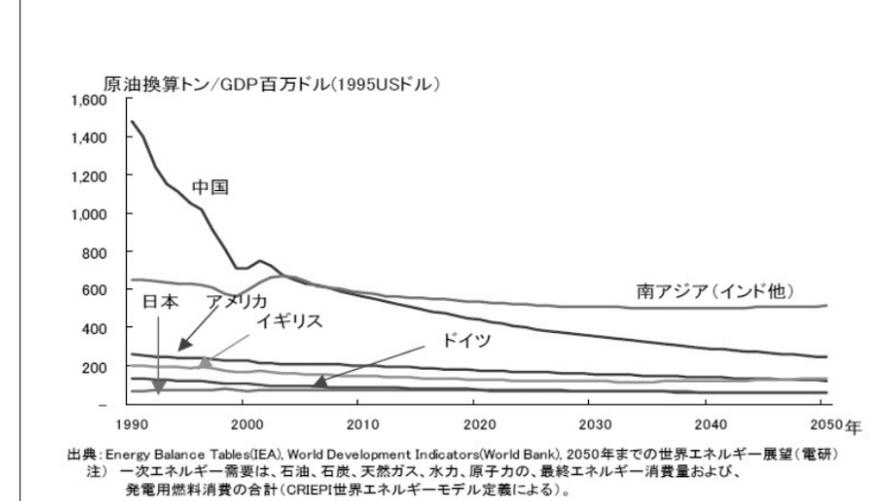
民生用エネルギー需要とは異なり「価格弾力性が大きい」ことです。また、各企業は省エネルギー投資に相当な金額を投入しており、企業の枠を超えた取り組みも期待されています。実際に、東京電力の川崎発電所では、電気以外に蒸気を作って周辺のコルピナートにエネルギーを供給するシステムをNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)による補助金で作り始めました。

【運輸用エネルギー需要】

現在、国やさまざまな機関が試みようとしているモーダルシフトの一つとして、高頻度運転可能な「LRT(=Light Rail Transit:軽量軌道交通)」があります。これは、路面電車をより高頻度に運転することで、利用しやすくしようというものです。



主要国のGDPあたりエネルギー消費量



常に不透明になっています。それに対し、唯一着実に技術開発を進めているのが日本なのです。石炭の問題点を解決するクリーンコール技術を早急に完成させて石炭消費を抑制し、中国やインドのエネルギー効率化を図らない限り、グローバル規模のエミッションの削減は実現不可能と言えるでしょう。

持続可能なエネルギーシステムのための長期エネルギーシナリオ

講演の二つ目のテーマは、持続可能なエネルギーシステムを実現させる長期エネルギーシナリオです。私からは2点、皆様と考えてほしいことがあります。

一つは「供給技術をどのように組み合わせれば良いのか」についてです。化石燃料と非化石燃料のほか、非化石燃料にも原子力と再生可能燃料があります。その中で、化石燃料から非化石燃料にどのくらいシフトさせるか、あるいは、石炭を使う場合、クリーンコールやCCS(炭素隔離貯留技術)とどのように組み合わせるかといったオプションです。二つ目は、私自身も研究を進めている「需給一体運用」です。エネルギーチェーンの上流から下流であるエンドユーザーまでをIT(情報技術)で結び、運用するという事です。

2007年頃から政府がさまざまなレポートを提出しています。例えば経済産業省は、2050年度から2100年度を視野に入れた「エネルギー技術開発ロードマップ」を公表しました。現在、我々はこの技術に、どれだけ投資するのか優先順位をつけなければならない局面に立たされています。何年にどれくらい投資するのかのタイムチャートも必要です。日本は、世界の中で先行できる技術開発の戦略を立てるべきなのです。

しかし、2030年と2050年では少し条件が異なります。2030年まではCCSの開発が困難であるため、この項目が入っていません。CCSが先行するのは日本ではなく、一次エネルギーを既に持っている北海油田周辺の国や、多量に石炭を発掘している北米などです。石油や天然ガスの強制的な回収を促すためにCO₂を使うのです。一方、日本はそうした状況にはありません。そのため、単にCO₂を回収するという目的だけの

ために、言い換えれば、生産性の向上につながる投資をするという非常に厳しい条件下にあるのです。そのため、日本ではIGCCとCCSの組み合わせというオプションは2030年以降実現すると位置づけています。そこが、米国や欧州と異なる点でしょう。

これらはエネルギーを供給するための基本的な技術として必要ですが、即効性という点では、技術進行に応じて短いリードタイムで適用可能な技術の方が、着実にエミッションを下げる技術になります。

例として、最近強調しているのがグリーンITです。今、サーバーやハブ、ディスプレイなど、パソコン関連の機器の電力消費量は年間数百億キロワットアワーにのぼっています。2025年には2000億~3000億キロワットアワーになると予測する人もいます。確かに今のエネルギー原単位で仮定すればそうなりますが、実際にはそういったことは起こらないでしょう。なぜなら、チップ性能をどんどん向上させていくことで、デバイスも低電力消費型になっていくからです。しかし、データセンターのサーバーの組み方や冷却方法も変えるなど積極的に省エネ型にシフトしていかない限り、国際競争力を失うことが懸念されます。政府はそのような危機感から2008年度より補助金をつけて、てこ入れを行っていく方針です。

日本政府の持続可能なエネルギーシステムに関する政策の基本方針の第一は“安定供給”です。安定供給とは、「停電が起きない」「災害が発生してもすぐに復旧する」といったことです。次が“環境への適合”です。この二つが担保された上で、できるだけ効率的に供給するという事です。

そのためには、供給技術の組み合わせ、省エネの進め具合などを総合的に判断していかねばなりません。新エネルギーと省エネルギーのバランスの取り方は大きなテーマとなるでしょう。指標としては「CO₂排出削減限界費用曲線」があります。例えば、1トンのCO₂を削減するのにどれだけの費用が掛かるかを、業務部門別に並べていくというものです。業務部門かつ需要サイドの省エネルギーで、どれだけのCO₂を削減できるかという試算例です。

具体的には、横軸に省CO₂量(CO₂排出削減量)を取り、縦軸に限界CO₂排出削減費用(1トンのCO₂を削減するのに掛かるコスト)を取り、削減費用の安いものから順番に並べていきます。この場合、ネガティブなコストとして入ってくるものに、市場が自律的かつ積極的にCO₂を削減するために導入する技術があります。現在、高機能なBEMS(ビルエネルギー管理システム)などは補助金が見つからない限り、自律的には導入されない技術です。

同様のことを、原子力発電や新エネ

ギーについても解説すると「どこにどれだけ注力すれば日本全体としてCO₂削減を最小化できるか」といったオプションができます。ただ、想定する技術パラメータ、需要の程度などさまざまなパラメータがあるため、今のところ、誰もが合意するようなCO₂排出削減限界費用曲線は描けていません。

下のグラフは、2030年の業務部門における「限界CO₂削減費用曲線」です。注目点は、必要な費用水準です。欧州でトレードされているCO₂はトンあたり20~30ユーロです。このCO₂のコストは現在の金額で3000~4000円になります。2030年には制約条件が厳しくなり、数万~10万円程度と予想されます。現在はあまり削減できませんが、将来的には、曲線を全体的に押し下げるような技術開発が求められます。BEMSをはじめさまざまな技術がありますが、それで実際にどのくらいのCO₂を削減できるか試算することが重要です。

このグラフは、業務部門での「需要サイドの効率化によるCO₂排出量削減」です。ポイントは「需要と供給の両方を一体で見る」ということです。グラフの青い部分は、オフィス、学校、病院などが自主的に高効率の機器に置き換えていくことで、2030年にはさらに約8%のCO₂削減が見込めることを示しています。グラフの黄色い部分は、需要サイドの省エネ・燃料転換で電力の電源構成が変わり、電力CO₂原単位が改善されるという予測を示しています。このように、需給一体で予測していく必要があるの

です。

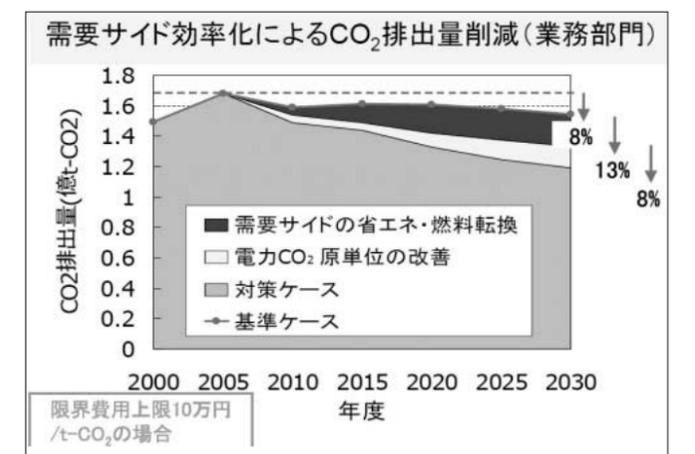
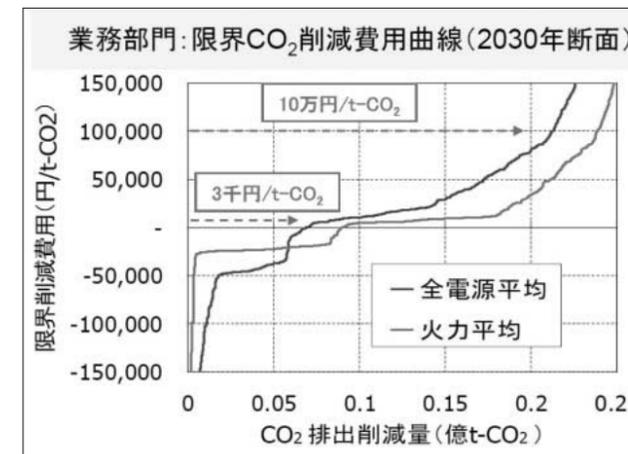
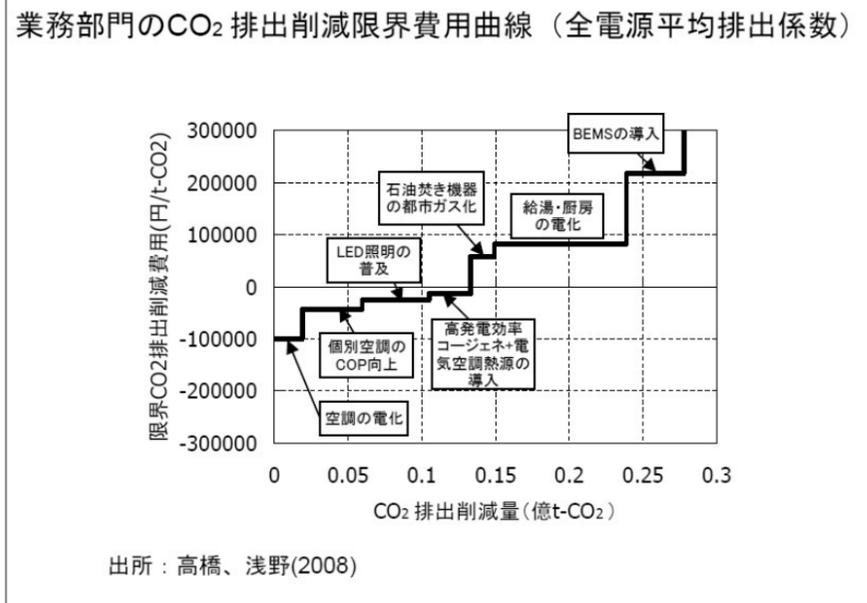
さて、2008年3月19日に開催された需給部会は、2010年の京都プロトコルに向けた目標達成計画に対し、現在の達成度をチェックすることが目的の一つでした。もう一つの目的は、長期的なエネルギー政策を立案して実行するために必要な2030年の需給見通しを立てることです。それに対しては低炭素社会実現に掛かる費用として、国全体で2008~2020年で追加で50兆円掛かると試算しています。これは、ハイブリッド自動車への移行、ソーラーパネルの設置などを最大限に導入するというシナリオに対する国の試算金額です。我々が持っている温暖化防止コストの指標として、投資しても良い金額というのがGDPの約1%です。それに対し12年間で50兆円ということは年間約4兆円ということであり、日本のGDPである500兆円に対し1%以下ということですから、妥当な数値かと思えます。「その程度の負担で大丈夫か」ととらえるか、「そんなに負担しなければならないのか」ととらえるかは国民一人ひとりの判断です。しかしながら、これだけの費用が必要だということ初めて明示したという点で、意味のあることだと思えます。

今回、私が強調したいもう一つのポイントとして「需要家の参加」があります。不確実な要素として、[国のエネルギー市場の規制改革をどのようなペースで進めていくか]が挙げられます。今回の電気事業分科会の答申によれば、電気事業分科会が始まる前は、家庭用やコンビニエンスストア

用を含め、全面自由化するかどうかを議論することになっていました。しかし今回は、全面自由化はしないことになりました。そのため、早く2013年には、それまでのパフォーマンスを見て、全面自由化するかどうかを決めることとなります。これはエネルギー選択の自由度という点で非常に大きな決定となります。

ほかにも不確実性の高い要因として、「水素エネルギー社会の実現性をどのように見るか」があります。2020年、2030年に電力と並ぶ2次エネルギーのキャリアとして水素エネルギーをどのように組み合わせるかということ。キャリアという視点で見ると、水素には「貯蔵しやすい」という特徴があります。大規模な電力貯蔵という点に関しては、現在のところ、揚水発電しかありません。一方、小規模な貯蔵には携帯電話やパソコンに使われているリチウムイオン電池があります。水素吸蔵合金などは貯蔵を前提に輸送用としての利用が期待されています。一方、長距離の輸送に関しては、電力の場合、送電線を何百キロメートル、何千キロメートルと張りますが、水素に関してはローカルに使うのが技術的なオプションだと私は考えています。

現在、電力の分野では「スマートグリッド」「次世代グリッド」という言葉がトレンドで、国際学会では必ずこれをテーマとしたセッションが組まれています。スマートとは「ITを活用した」という意味です。インテリジェントな制御が行われている電力系統のことを、スマートグリッドと呼んでい



るのです。

これを進めるためのドライビング・フォースは、日本以外の国では安定供給、停電対策です。2003年のニューヨークのほかドイツ、イタリア、スペインなど欧州でも停電が度々発生しており、そういったリスクに対していかにしっかりしたシステムを構築できるかが大きな研究テーマになっているのです。

それに対し、私が強調したいことは「需要家が市場に参加し需給調整を行う」ということです。その基礎技術として、スマートメーターなどインテリジェントなアプリケーション（情報通信制御機能を有する家電機器）が必要不可欠です。例えば、エコキュートでは、加熱するためのコンプレッサーの運転を、電力会社との通信によって行えるなどさまざまなアイデアが提案されています。ほかには、コージェネレーションのような制御可能な分散型電源があります。太陽光発電や風力発電のような制御不可能な分散型電源を含め、いかにシステムにフレンドリーな形で、分散電源の割合を高めていくかが、インフラの研究における大きなテーマとなっています。

IEA（国際エネルギー機関）の見通しの特徴は非常に中庸的といえます。IEAでは、日本や米国など各国が出した技術シナリオや需要シナリオ、エネルギー産業シナリオを組み合わせで作っているため、中庸的なシナリオになっているのです。

彼らはリファレンス・シナリオとオルタネイティブ・ポリシー・シナリオの二つの

グローバルシナリオを出しています。リファレンス・シナリオとは、特に低炭素技術や低炭素のための政策を強力に推し進めない場合のシナリオです。1980年～2004年と、2004年～2030年で、主力となるエネルギーソースをあまり変えないという指標です。現在と同様、石炭、石油、天然ガスが主力になるというリファレンスです。多少異なる点は水力とバイオマス（生物由来のエネルギー）です。このように、現在の状況をベースに、それ以外のリニューアブル（再生可能エネルギー）を若干増やすというのがリファレンス・シナリオです。

一方、オルタネイティブ・ポリシー・シナリオとは、日本では「戦略シナリオ」と呼ばれるものです。具体的には石炭の割合を最も減らし、原子力と既存水力と既存のバイオマスを除く別のリニューアブルな新エネルギーを増やすというものです。

IEAではグローバルシナリオとして、以下のようなプリズムチャートを出しています。

一番上がリファレンス・シナリオ、一番下がオルタネイティブ・ポリシー・シナリオです。どういった方法で、どれだけCO₂を減らすかを定量的に示しています。これは、需要サイドでのエネルギー効率、要するに省エネに期待しているということです。下から順に説明していきますと、まず輸送部門です。自動車の燃費向上などが含まれます。次が発電部門です。その上の水色の部分は電源構成における燃料転換です。その上の緑の部分が再生可能エネルギー、さ

らにその上の黄色い部分が原子力です。

CO₂をどれだけ削減すべきかを地域別に表したのが下の図です。

中国で16億トン、北米で11億トン、欧州で8億トン削減する必要があります。また、インドなどの南アジア、東南アジアなどもそれぞれ5億トンの削減が必要です。削減のための技術とポリシーの組み合わせがない限り日本だけが頑張っても無駄だということが分かります。

次に各地域・国の2050年に向けた排出削減提案について紹介します。まず、EU（欧州連合）はIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書に則り、2100年までの気温上昇を2℃以下に抑えようという数値目標を設定しています。とはいえ、理念を述べているに過ぎず、実際に技術的、経済的に実現可能なか否かについてはほとんど議論されていません。

また、米国のワールド・ビジネス・カウンスル・フォー・サステナブル・デベロップメントというところもプリズムチャートを作っています。米国のように石炭に依存せざるを得ない国は、日本よりも早期にCCSを入れる必要があるのです。

一方、現在、日本で公表されているシナリオとしては、需給部会が2008年3月に出したものがあります。経済産業省のウェブサイト総合資源エネルギー調査会需給部会のページには、一次エネルギーの組み合わせ、各セクターからCO₂がどのくらい排出されているかといったマクロの図、そして電源構成の表が掲載されています。

この「発電電力量」のグラフは、需給部会が出している電源構成の表をグラフにしたものです。一番左は2005年度の発電電力量の組み合わせを表した棒グラフです。約3割を原子力に依存しているのが分かります。ほかの4つの棒グラフは2020年度の努力継続ケースと最大導入ケース、2030年度の努力継続ケースと最大導入ケースを表したものです。それに対し、基準ケースは、自動車や家電機器など現在販売されている製品が今後もずっと選択され続けるシナリオです。一方、日本が持っている高い省エネ技術、省エネマインドをそのまま継続し続けた場合が努力継続ケースです。最大導入ケースとは技術的なポテンシャルに関しても最大限に努力し、国民も自主的な努力を最大限に行うシナリオです。“自主的な努力”とは、例えば環境税や排出権取引、あるいは建築物へのソーラーパネル設置の義務付けといった規制的な措置をとらないということです。

注目すべき点は、日本が出したエネルギー戦略の基本に「原子力による発電電力量を一定にする」項目があることです。シェアで一定ではなく、キロワットアワーで一定にしています。そのため、2030年度の最大導入ケースでは、シェアの半分が原子力となっています。

また、需給部会では新エネルギー導入見通しも出していますが、これはあくまでトップダウンの数値であり、技術的な面などを詰めていった結果ではないと推察されます。

例えば、太陽光発電に関しては、2005年度の時点で石油に換算すると35万キロワット相当です。これを2020年には4～10倍にしようとして計画しています。これは1000数百万キロワットになります。1軒当たりのソーラーパネルが約3.5キロワットですから、300万軒の住宅の屋根にソーラーパネルが設置されている計算です。さらに、2030年度の最大導入ケースでは、1300万キロワットに想定されていますが、これは5000万キロワットですから、日本の1戸建てが2000数百万世帯あるとして、1戸建ての半分がソーラーパネルを設置するという計算です。もちろん工場や公共部門の屋根への設置も想定しています。

また、風力発電に関しては、2005年度が44万キロワットであるのに対し、2020年度の最大導入ケースで200万キロワット、2030年度もせいぜい269万キロワットというオーダーです。さらにバイオマス熱利用、太陽熱を入れようとしています。

2030年度の最大導入ケースをキロワットに換算すると、設備利用率から逆算して、5000数百万キロワット相当になる計算です。2030年の系統最大需要は約1億8000万キロワットと推定されますので、系統需要の約3割ということになります。しかも地域によってはばらつきがありますので、場所によってはソーラーパネルの総発電容量が配電容量の5～6割に達するというようになります。

2～3メガワットの配電線容量に対して、合計1～1.5メガワットのソーラーパネルが

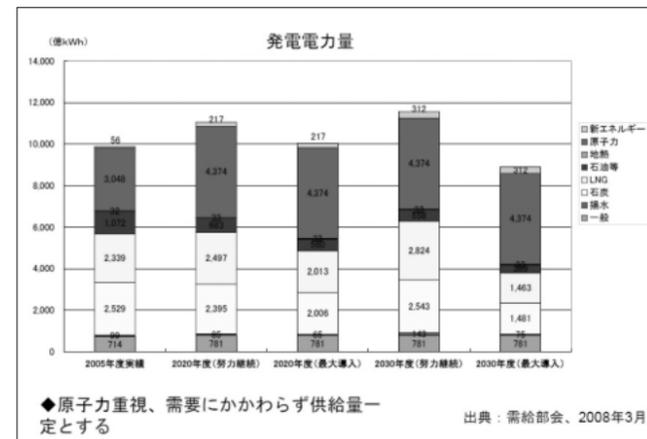
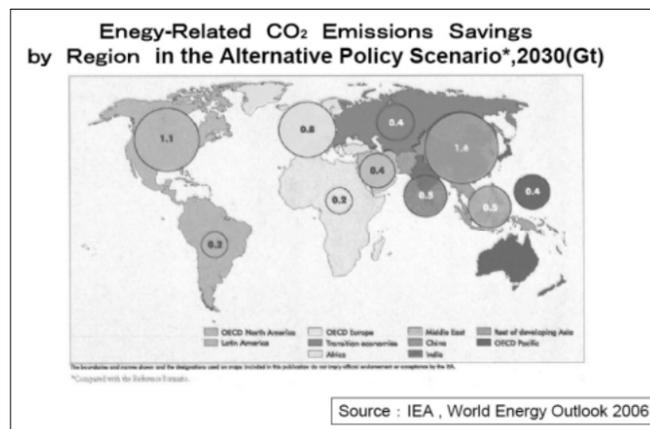
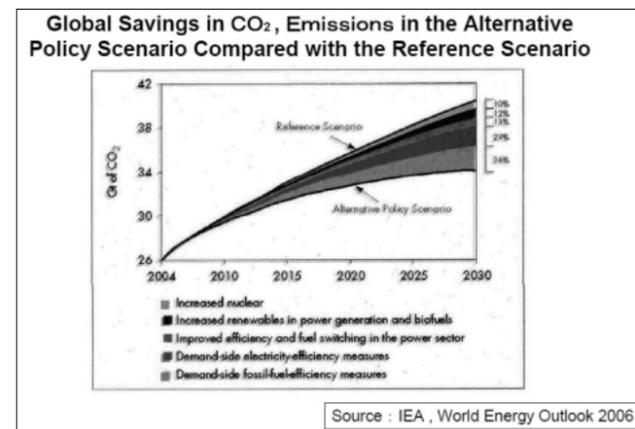
系統連系され、その供給電圧を101±6ボルトにしなければいけないが、これは技術的に難しい。これは、出力変動の激しい自然エネルギーを大量導入したいなら、明らかに電圧制御可能な次世代グリッドを開発する必要があるということを示しています。

このような研究は日本でも取り組んでおり、さらに加速させていかなければなりません。風力にも同様のことが言えます。今の日本の新エネルギー導入は電力に偏っており、その費用が年間数百億円も掛かっているというのが現状です。電力はRPS法で義務付けられていますが、近い将来、1000億円のオーダーになっていきます。

電力会社は、電力自由化の競争圧力の下、最終需要家に電気料金上昇という形で、新エネルギー対策コストを直接転嫁することはできていません。一方、エンドユーザーである消費者団体は「現在コストがいくら掛かっているのか見えるようにしてさぐれば、新エネルギーのために進んで費用を負担する」と発言しています。国民全体で負担するのであれば、増分費用をきちんと見えるようにしなければいけません。現在は、そのための技術的な議論をしているという段階です。また、「新エネルギーの割合をどのくらいにするか」も議論しなければなりません。

持続可能なエネルギーシステムを実現させるためのエネルギーシステム技術

この図は「欧州におけるスマートグリッド



万kW	2005年度	2020年度		2030年度	
	実績	基準ケース・努力継続ケース	最大導入ケース	基準ケース・努力継続ケース	最大導入ケース
太陽光発電	35.0	140	350	669	1,300
風力発電	44.0	164	200	243	269
廃棄物発電+バイオマス発電	251.5	476	393	338	494
バイオマス熱利用	142.0	290	330	300	423
その他(太陽熱、廃棄物熱利用、黒液等)	687.0	663	763	596	718
合計	1159.5	1733	2036	2146	3204

構想」です。

ノルウェーにある小さな島では風力発電で電気を作り、それを水素にして溜めておき燃料電池や水素エンジンを使ってその電力をあるコミュニティに供給するという実験を行っています。私は非常に画期的な取り組みだと思っています。ノルウェーというのは北海油田を持っているので、現在は、石油や天然ガスを売って外貨を稼いでいるのです。でもいずれなくなるということ前提に、化石燃料に依存しない自立できるようなエネルギーシステムを構想しているというわけです。技術的に可能か否かを実証する試験を石油会社が行っているという点が面白いと思います。技術的には全く問題がないと聞いていますが、かなりの高コストであると思われる。この石油会社は水の電気分解に関する技術を持っており、その技術を水素エネルギー社会でも活用したいと考えています。また、欧州の風力発電のトップメーカーである独ENERCON社と共同研究しているのも興味深いところだ。

少し技術的な話をしますと、私が注目しているのは、需要家や配電用変電所に設置する分散型電力貯蔵装置の役割についてです。需要家のメリットとしては、昼間と夜間の負荷平準化による電力コストの削減、瞬低対策、非常用電源などが挙げられます。分散型電力貯蔵装置を導入する際に注目されるのは、電力会社への需要の急増が発生したときのための予備力などの系統維持サービスです。専門用語では、アンシラリーサービスと言います。それを分散型電

力貯蔵装置から系統に提供し付加価値を得るのです。それによって高コストである分散型電力貯蔵装置の初期導入を促進します。

一方、系統運用者側のメリットとしては、まず送電線や配電線の混雑管理が挙げられます。安い電気を送るのに、送電容量ギリギリまで使わない限り、結局、安い資源を100%生かすことはできません。例えば、混雑した送電線の潮流を緩和するため、需要に近いところから電力を逆潮流してもらうのです。系統全体のメリットになるため、メリットの一部を、供給してくれた分散型電力貯蔵装置のオーナーに返すといったことを考えています。この分野に関する研究を進めているのがマイクログリッド、あるいは分散型エネルギーネットワークシステムという分野です。

最後に「需要反応プログラム (DRP: デマンド・レスポンス・プログラム)」の話をしていきます。これは米国で先行して実施しているものです。具体的には1998年頃にニューヨーク、ペンシルバニア、ニューイングランド、カリフォルニアに電力の卸売り市場を作りました。30分ごとや1時間ごとに電気の価格変動に関する情報が取り引きされ、それが市場に参加している人に伝わるようになります。その結果、できるだけ安い電気を使えるようになっていったのです。

ただし、供給するプレーヤーの数が限られているため、彼らはマーケットパワーを行使します。その結果、電気を持っている人が出し惜しみして価格を意図的に上げていっているのではといった懸念が出てきました。懸念を払拭するためには「高ければ買わな

い」といった需要者側の選択権を強めていく必要があります。

「ガソリンや石油の価格弾力性は-0.1程度」といったお話を冒頭でしましたが、実は電力も同様です。特に、短期の場合、価格弾力性はほとんどありません。例えば「本日19時以降、電気代を30円上げます」といきなり言われても、需要家ができることと言えば、照明を少し落とすとか、空調の設定温度を変えるといった程度のことで、そこで、価格シグナルを強くすることとITを活用することによって、快適性を損なわず、自動的に需要抑制を実現しようというのが需要反応プログラムなのです。

実は日本にも2005年から電力の卸売市場である卸電力取引所 (JEPX) ができ、価格の変動が見られるようになりました。日本では、現在のところ、電力のベース価格は燃料価格高騰のため、毎年上昇していますが、キロワットアワーあたり6円程度で取引されています。昼間は20~30円です。実際の需給状況を価格に反映することが期待されている市場なのですが、市場の厚みが薄いというのが現状の課題です。

この図は米国の北カリフォルニアのPG&E (パシフィックガス・アンド・エレクトリック) という電力会社が州の公益事業基金を使って行っている実験です。エネルギー・マネジメント・システムとPG&Eのサーバーを接続しています。途中でデマンド・レスポンスを管理するためのサーバーを介しています。PG&Eが、例えば「今日の午後は非常に暑くなりそうなので、運転予備率が何%に下がりそうだ」と予測する

と、デマンド・レスポンスのサーバーが、需要家に「本日13時からの電気料金を通常の3倍にします」といったシグナルを送るのです。そのシグナルを受け取った需要家のサーバーは、「電気料金が3倍になるのであれば、設定温度を1℃上げましょう」「6倍になるのであれば、2℃上げましょう」あるいは「バックアップジェネレーターを稼働させましょう」といったことを自動的にやっているのです。

現在の市場では、例えば「今から2時間後に電気料金を上げます」と言われても、価格弾力性はゼロに近く、需要の反応はほとんどありません。ところが、エネルギー・マネジメント・システムと連携することによって価格弾力性を持つことになります。参加した需要家にとっては、電気料金が削減できるという直接的なメリットがありますし、社会全体としては、市場での単価が下がり、その分エミッションが減ることで、発電コストを削減できるというメリットがあります。これが、こういった研究が進み実験に参加する需要家が増えることによるメリットです。

今、お話ししたのは電力価格に連動する「経済プログラム」ですが、最後にご紹介したいのは「緊急プログラム」です。

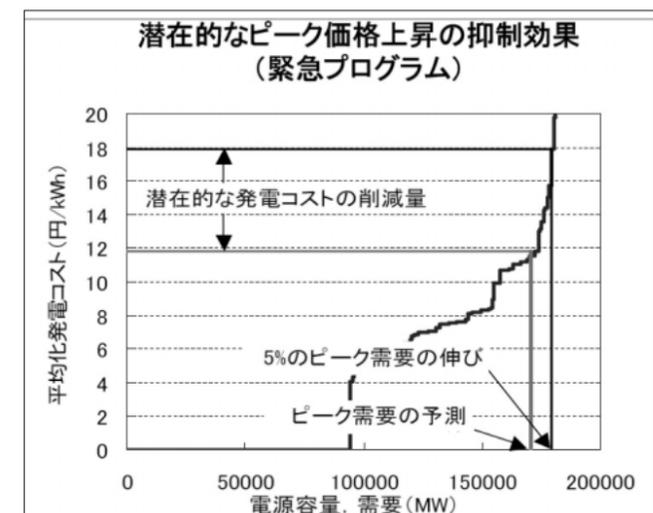
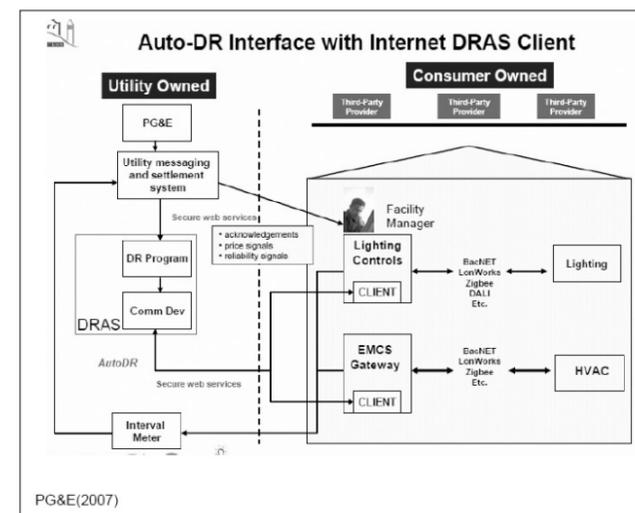
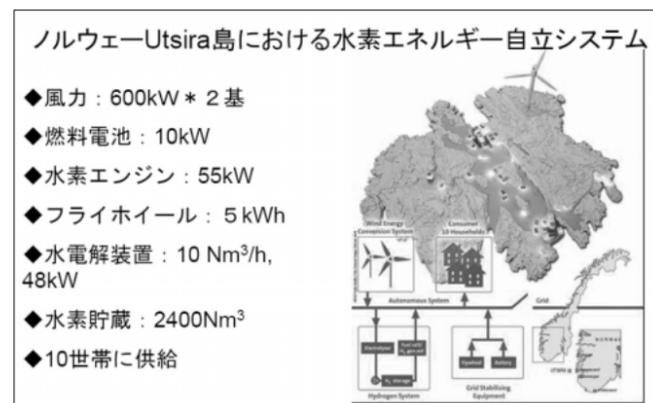
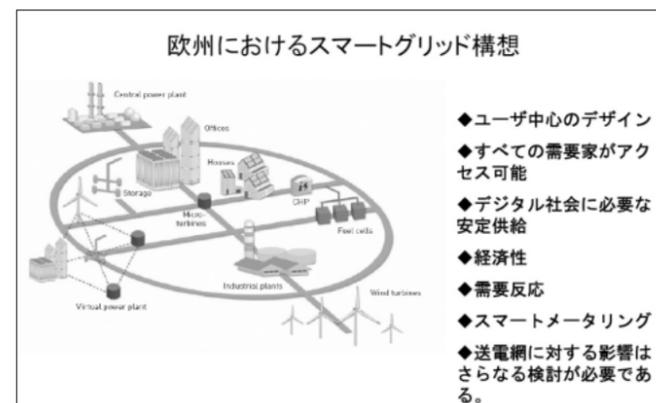
緊急プログラムは、2007年8月下旬に東京電力が発動した、いわゆる需給調整契約に近いものです。需給調整契約は、電力会社の予備率が低下した際に発動するもので、

究極の目的は「停電を起こさない」ということです。契約している需要家に対する電力供給を遮断することで、例えば「工場の負荷を25%カットする」「エアコンの設定温度を強制的に数℃下げる」などを自動的に制御します。仮に、日本全体で系統需要の5%を削減しても構わないのであれば、潜在的には発電コストを約3割下げることができます。

停電を起こさないための自然に対するリスク管理だけでなく、電力市場の自由化を推進し、需要家の参加促進で電力系統以外の電源を増やして系統全体の価格の安定化を図るのは、ごく自然な流れと言えます。こういったことを、次世代グリッド技術を使って実現させていくことができるのです。もちろんこれは、電力会社の運用効率の向上、エミッションの低減だけでなく、末端の需要家のエネルギー管理によるCO₂削減も大きな目的です。また、派生技術として、自動車との系統の接続も考えています。太陽光発電が配電系統容量の5~6割入ったとしても、電圧制御が可能となるような技術を開発しなければならないというのが、今の日本の状況です。

最後に、私の方から皆様に議論していただきたいテーマが4点あります。まず1点目は、「2030年から2050年にかけての脱炭素化に向けて重視すべき技術領域はどれか」です。2点目は、「環境制約をどのようにすれば、環境ビジネスにできるか」です。これ

は技術と社会制度のあり方の問題だととらえています。3点目は、「多様な生活スタイル、ワークスタイルを支援できるか」です。実際にエネルギーを使う人を生活支援することで、その利便性を享受できるようにしなければなりません。これからの日本は少子高齢化社会になっていきます。そのため、生活支援ロボットやユビキタス、在宅勤務など、これまでとは異なる需要があるはずです。将来を見据えた需要と、それに対するコントロール、快適性や利便性が増すような技術開発とは何でしょうか。4点目は、「エネルギー・環境分野における国際貢献」です。日本では、例えば太陽光発電に関しては、これまでシャープや京セラの努力によって国際競争力を維持してきました。これからはドイツ、そして中国のメーカーが追い込みをかけてくると予想されます。それに対し、日本の中では業界横断的な研究拠点を作るという話も出てきていますので、具体的なコラボレーションについて本研究会で議論していただきたいです。



A氏：日本のエネルギーの自給率は非常に低いということですが、2030年、2050年に画期的に向上させるための見通しはあるのでしょうか。

浅野：電力制御の話で言えば、2008年3月に需給部会が発表した2030年度の最大導入ケースにおける太陽光発電の1300万キロワットというの、最も分かりやすい数字です。日本全体のエネルギー供給量は、CO₂を一生懸命削減するケースで、5億2600万キロワットです。5億2600万に対する1300万というのが、太陽光発電単一の新エネルギー貢献比率です。現在の新エネルギー貢献の合計は1%程度しかありませんので、それを5～10%に引き上げるようにする必要があります。私は、がんばれば達成できる数字だと思っています。また、既存エネルギーである水力を5%程度上乗せし、電源構成の約20%程度にする必要もあるでしょう。そのほか、原子力をどう見るかも重要課題です。エネルギー自給率を大幅に向上させるための方法として、原子力と新エネルギーの貢献が期待されていますが、特に自動車の燃料や火力発電のための燃料は輸入せざるを得ないので、自給率を40～50%に引き上げるのは非常に難しいと思います。

B氏：例えば太陽光発電などの分散電源が30～50%の割合で導入されれば、今よりも供給の安定性が低下するのではないかと感じますが、何らかの理由によって能力がダウンしてしまった場合に備えて、グリッド側でそれを保障するシステムを用意しておく必要はありませんか。

電力会社にとっては、各家庭に太陽光発電を導入した方が良いでしょう、それともどこか1カ所に作る方が良いでしょうか。
浅野：今の質問は、現在、北海道電力で起こっているような問題を指しています。北海道電力では調整電源の容量から風力発電の連系容量を25万とか35万キロワットに制限しています。北海道電力での調整電源の割合は大体2～3%です。また、今、風況の良い東北電力管内の風力発電所が、バッテリーをつけることで出力を平準化させるという試運転を行っているところですが、経済的には成立しにくいと、政府が補助金をつけています。

同じ太陽光発電を入れるのであれば、

個々に屋根に設置するのと、メガソーラーを作るのではどちらが良いかというお話でしたが、さらに次のオプションとして、ノルウェーの離島のように水素を使ったらどうかという議論があります。いずれにせよ、今は技術的なオプションとして検討されているという段階です。

そういった中、群馬県太田市では、現在NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)のプロジェクトによる実験が行われています。500軒以上ある太田市の新しい分譲住宅のエリアに、平均3キロワット強の太陽電池を設置しているのです。ここは新興住宅地ですので、昼間は住民のほとんどが外出しています。需要のない昼間、電気は配電系統に逆流しているという状況です。そこで、昼間はリアクターやコンデンサー、あるいは変圧器のタップで切り替えるという実験を行っているのです。

また、次のオプションとして、バッテリーを設置するということを検討しています。昼間に溜めた電気を夜間に使えるようにするにはどうすれば良いか考えているのです。各家庭にバッテリーを設置するか、あるいは配電系統のある場所に集中的に設置し、配電系統全体の電圧に寄与するように使用するというオプションが検討されている段階です。メガソーラー(大規模太陽光発電システム)に関しては、現在、北海道の稚内と山梨県で建設中です。ご指摘の通り、電力会社の系統を制御した方が良いのか、各家庭で余っている電力を出した方が良いのかを見極める実証試験です。

水素の貯蔵に関しては、現在、青森県などがプロジェクトの実証試験を開始しようとしています。そもそも水素を作る電解装置の電源として、安定的な電気の供給が不可欠ですので、風力や太陽光発電単体で自立的に水素を分解し、水素吸蔵合金に蓄積させるようなシステムを作りたいと考えているのです。オプションとしては、いろいろ方法が考えられていますが、まだ技術開発の段階で、どの方法を採用するかといった結論を出すまでには至っていません。

C氏：「主要国のGDP(国内総生産)あたりのエネルギー消費量」に関して質問します。日本はGDPあたりのエネルギー消費量が少ないということですが、日本が高効率を実現できている要因または強みを教えて下さ

い。また将来、日本の強みをどのような形で世界に還元していくことができるでしょうか。

浅野：国家レベルで比較すると、国土の違いに大きく左右されます。つまり人口密度の高い日本と国土の広い米国では、輸送用エネルギー需要に大きな違いがあるということです。また、気象も大きな要因です。暖房、冷房、給湯に関する需要の違いにつながります。しかも、人口の重心が北にある米国と日本では事情が異なります。産業と民生の割合の違い、言い換えれば社会構成も大きな要因です。産業構造における重い産業と軽い産業の比率の違いも要因として挙げられます。

その中で最も大きな要因は、これまでは日本はほかの国よりも産業部門のエネルギー効率が高かったということです。日本は高効率の機器が売れる市場です。分かりやすい例を挙げると、電気温水器は、米国ではヒートポンプやエコジョーズのようなものは受け入れられません。初期費用が1桁違うからです。米国はこれまで電気料金が日本の約3分の1でしたから。逆に、電気料金が低い日本では、機器を高効率に使わざるを得ず、メーカーも高効率に関する開発競争をシビアに行ってきたということです。そういった背景が大きく影響しているのです。

C氏：日本の強みは産業面での高効率と考えれば良いのでしょうか。

浅野：少なくともこれまでエアコンや冷蔵庫などの家電製品の省エネが進んだのは、技術進歩と政策の組み合わせによるものです。例えば「COP(成績係数)を4年間で何%にする」と決めた場合、それを実現するための技術開発によって、新たなコストが発生するわけですが、日本では、直接商品の価格に転嫁しなくても良い程度の技術開発を行うことに成功している企業が多いのです。それが強みだと思います。

一方、日本の消費者が、省エネ製品だからといって、価格が高くても積極的に購入するということはありません。それに対し「初期費用は少し高めですが、ランニングコストを考えると低価格になります」というのが、省エネ供給曲線、省CO₂曲線の話になるというわけです。

C氏：要するに、産業構造の中で非常に微

妙なバランスを保ちながら技術開発してきたのが、日本の強みというわけですね。その背景には絶えざる品質改善など涙ぐましい努力が存在するのでしょうか。では今後、日本はどのような方向に向かって努力していけば良いのでしょうか。確かに太陽光発電に関してはシャープや京セラが強いと思いますが、風力発電に関する日本の強みはありますか。

浅野：太陽光発電に関しては、日本の企業が技術開発面で欧州や米国に劣っているとは思えません。しかしながら、問題は企業の枠を超えて何ができるかというところです。新エネルギーに関するコンソーシアムでこれまでうまくいった例はほとんどありません。

C氏：既存の技術が高い分、逆にそれが新しい技術にシフトする足かせになるのではないかと危惧しています。

浅野：風力発電に関しては、日本はNEDOのプロジェクト、米国はエネルギー省のプロジェクトで開発を進めています。例えば、風況の厳しいところでも発電できるような羽根の開発や、陸上以外で使用可能な機器の開発です。国立研究所、大学、産業界の間の技術連携に関して、国際比較できるデータを持っていないのですが、日本自体は悪くないと認識しています。むしろ強化していただきたいのです。特に、台風や雷など厳しい環境の中で評価された技術という強みを、今後どう伸ばしていくかが、各メーカーが取り組むべきテーマではないでしょうか。

D氏：水素を扱う方法として、高圧水素の形で使う方法と、有機ハイドライドに吸着させて使う方法があるかと思いますが、用途は定置用と輸送用の両方とした場合、先生ご自身はどちらが良いとお考えですか。

浅野：私は、輸送用の市場が本格的に立ち上がらない限り、水素エネルギー社会は難しいと思っています。現状では、目標とするキロワットあたりの単価が高くてもペイできるため、定置用の方が先行しています。水素エネルギーに関しては、高圧縮水素、液体水素、化合物といった選択肢がありますが、私が想定している、割とローカルな使用における現実解は、まず高圧縮、次に液体水素だと思います。

D氏：メーカーとして、いつかあるオルタ

ナティブ(代替)な技術開発をどのように進めるべきか議論しているところですが、なかなか結論が出せない状況です。

浅野：現時点ではおそらく誰も答えは持っていないでしょう。

E氏：「業務部門のCO₂排出削減限界費用曲線(全電源平均排出係数)」が非常に面白いと感じました。1点お伺いしたいのは、一番左に「空調の電化」とあり、1トンのCO₂を削減するのに-10万円となっていますが、これはどのように理解すれば良いのでしょうか。

浅野：ゼロよりも値が低いものは「自然に市場で導入されるはず」という意味です。要するに、インシヤルコストもランニングコストも安いものがほかにあるということです。しかしながら現在は、おそらく何らかの理由ではほかの機器が選ばれているため、それを置き換えることによって、ネガティブコストでCO₂を削減できるという意味です。電力同士で比べても分かりやすいでしょう。電力に関してCOPが3のものが10万円、COPが4のものが15万円だった場合、COPが4のものの方が高効率であることは分かっていますが、5万円負担しなければいけないといった場合、3年でペイバックするというのが市場の平均ですから、ランニングコストが毎年1万6000円ずつ安くなれば、それがちょうどブレイクインになるという見方です。

E氏：縦軸はランニングコストであるということですね。これが本当に普及していくかどうかに関しては、インシヤルコストと見比べ、ペイバックタイムが十分インセンティブとして働くかどうかまで含めて見なければ分からないということでしょう。要するに、マイナスの値を示しているからと言って、すぐに導入されるといった単純な話ではないということでしょうか。

浅野：需要家の選好基準は多種多様であって、経済合理性だけでは動いていないということです。

C氏：何かをリサイクルする際には、よくライフサイクル・アナリシスが出てきます。これはある商品が製造から廃棄までの間に環境へ与える負荷を評価する手法であり、非常に大事な数字なわけですが、その計算方法に関して、さまざまな仮定が入っており、比較しにくい場合が多いと感じていま

す。例えば、CO₂削減量に関しては、産業界の間や国として何か確立した基準があるのでしょうか。そうでないとすると、確立するための方法というのはあるのでしょうか。

浅野：もし、今、京都議定書の内容を達成したかどうかをチェックしようと思うと、各国がある統一フォーマットに基づき算出したCO₂排出量を提示しない限り、判断するのは無理でしょう。エネルギー統計が国際的な標準フォーマットに則って取られているかについては、かなりできているとは思いますが、議論の余地はあります。特にコージェネレーションなどのCO₂削減効果に関してはこれから議論しなければなりません。

また、ライフサイクルの計算方法は大きく2つあります。物量の積み上げで計算する方法と、産業連関表を使って計算する方法です。しかしながら、産業連関表が国際的なフォーマットで統一されているというわけではありません。特に発展途上国に関しては、国際産業連関表はほとんどありません。世界基準を作る方向に向かいつつあるという段階です。

F氏：「業務部門のCO₂排出削減限界費用曲線(全電源平均排出係数)」の考え方について、大変興味深くお伺いしました。もちろんここに居られる企業の皆様も専門家の方は理解されていると思いますが、実際の生産現場までその考え方が行き届いているかどうか、実際のところはどのようなのでしょうか。各会社の実情について教えていただければと思います。例えば、グリーンIT(情報技術)に関しては「サーバー類の電源は交流電力よりも直流電力にした方が効率は上がる」と当社の技術者は言っていますが、「ではそれを作って下さい」とメーカーの方々に言ってもなかなか作っていただけません。理由は、実際にサーバーを作っている部署が必ずしも環境の専門家ではないからだと思っています。そのため、目先のコストを考え、どうしても交流電力のサーバーを作ってしまう。先生が示していただいた考え方のようにトータルで評価できる手法がなかなか適用されていないためにまだまだこのような産業構造なのだと思います。

浅野：実は最近、私も同様の場面に直面し

ました。NEDOがこれからグリーンITというプロジェクトを立ち上げるところで、「こういったデータセンターを作れば良いのではないか」といった提案が出されたとき、提案する側は、現在データセンターで情報の負荷がどうなっているのかを知らないまま、どういった負荷分散にするかを提案していたのです。

我々が電力供給に関する設計を行う際、まず必要となるのがロードサーベイ(電気機器の使用実態調査)です。どのような使い方をして、どのようなロードカーブになっているか、どのような負荷の変化があるのかといったことは、当然知った上で、供給技術の組み合わせを議論すべきです。ところが、提案者側にはそういった情報は知らされていないそうです。

ですから、Fさんが言うケースというのはそれほど珍しいことではないと思います。実際、エアコンの設計者が2030年のエネルギー需要を正確に把握しているかどうか甚だ疑問です。

C氏：Fさんのご質問にお答えします。新製品を導入する際に、社内でライフサイクルにおいて議論する場合はあります。当社のエンジニアリング部門は別会社扱いになっていて、そこで、第三者的なスタンスで計算をした結果に基づき仕事を進めています。しかしながら、結構時間が掛かり、もめる場合も多いため、苦勞しているというのが現状です。

D氏：当社では目の色を変えて取り組んでおります。自動車メーカーの場合、燃費規制に対応しなければなりません。ご存じのように、厳しいコストダウン要請があるため、どの技術開発にいくら必要で、どれだけ積み上げればどの規制に適合できるかに関しては、毎日必死で行っています。

飛原：東京大学では「サステナブル・キャンパス」というものを、小宮山宏総長が各地で声高に叫んでいます。また、東京都から厳しい規制がかかり、CO₂排出量削減は大きなテーマとなっています。最近ようやく、対応によるコストと、今後10年分のCO₂の削減量の算出を始めているところです。現在は、複数ある選択肢の中から優先順位を決めている段階ですが、結論から申し上げますと、ボイラーの廃止が筆頭に挙がっています。

まずは灯油焚きや重油焚きのボイラーを天然ガスに切り替えることから始めています。最近では、天然ガスも良くないということで、空調の電化という話が出てきています。また、一般の事業者では当たり前の話として「ビルマルチエアコンが省エネになる」と言われますが、結構、怪しいところがあります。千葉大学に聞いたところによりますと、家庭用ルームエアコンを設置する方が、断然省エネになるそうです。配管15メートル、室外機を屋上に設置できないなどといった制限がありますが、それさえクリアできる建物であれば、家庭用ルームエアコンの方が激安だというお話でした。

G氏：航空会社の取り組みをご紹介します。ジェットエンジンの燃料はガソリンではなく灯油です。業界ではケロシンと呼んでいます。昨今の原油高というのが非常に効いておりまして、費用の構造で、原油費用と航空機にかかる燃料税を合わせると、現在、全費用の27～28%を燃料費が占めるという状況になっています。

そのため当社では、まず効率的な飛行に対する努力を行っています。飛行機というのは、追い風なのか、向かい風なのかで燃料消費が全然違います。風の状況によってはマッハを超えて飛べますし、向かい風の場合、例えば、東京から福岡に行くにしても1時間以上の違いが出たりします。向かい風を受けるような高度帯をとるだけで、同じ距離を飛んでも燃料消費率が2割も違ったりするのです。そのため、その日の高高度の気象状況などを見て、燃料消費率を極力下げるような飛行計画を作って飛んだりしています。併せて、機内の座席やカートの重量を減らすなど涙ぐましい努力をしております。

また、テクノロジーに関して言えば、これまでは単に予め決められた3次元のポイントを通過し、空港への離着陸を行っていたのですが、最新の飛行機ではGPS(全球測位システム)を搭載し、それと連動させることで、一定のエリア内を自由に飛行できる仕組みです。そのため、遠回りするような飛行経路は極力避け、直線に近いような無駄の少ない経路を飛ぶようにしています。

とはいえ、空域という大きな問題があります。例えば、横田飛行場には米国の基地

がありますが、その上空3000メートル以上が米軍の専管空域になっており、そのエリアに民間機は入ってはいけないことになっているのです。そのため、東京から西に行く際には横浜の上空から回って行かなければなりません。仮に東京—大阪を直線で飛ぶことができれば、今よりも40分も飛行時間を短縮でき、燃料削減、CO₂削減につながるはずです。

また、ボーイング787という新型旅客機になりますと、初期のダグラスDC-8やボーイング727に比べ、スピードは変わらないにもかかわらず、1席当たりの燃費が約6割も下がります。テクノロジーの進化で機体の軽量化が進んでいるのです。カーボン繊維をエポキシ樹脂で蒸着させる東レやデュポンの技術によって、ジュラルミンに代わる高硬度を実現しています。

ほかには、機体のデザイン設計以外にも、エンジンのタービンの中を3次元CADで設計しています。水素エネルギーの技術が確立しない限り、航空機会社は石油に頼る以外ありません。一方で、企業努力もそろそろ限界に近づいているといった状況です。

C氏：航空会社の涙ぐましい努力はメディアなどを通して把握しています。

ところで、最近「この商品を作るのにCO₂をどのくらい排出しました」といった指標がついている商品が、欧州を中心に広がってきていると聞きます。例えば、スーパーマーケットで買う野菜のタグに「CO₂排出量何グラム」と書かれているわけです。そうすると、仮に飛行機で運んできた商品に関しては、当然のことながら、飛行機が排出するCO₂が上乘せされる可能性があります。そのため「なるべく地産地消で行きましょう」といった運動が盛んになりつつあります。

また、個人的に「自分は1年間にこれくらいのCO₂しか排出しない生活を送ります」と目標を設定している人がいます。そして、CO₂の排出をできる限り削減する生活を送ろうとすると、海外出張などを極力減らすというのが有効的だとのことです。長距離国際線の1人当たりの燃料をCO₂に換算すると、400～500キログラム程度になるといわれています。航空機会社としては気になるところではないかと思いますが、Gさんはどのように受け止めていますか。

G氏：Cさんが言うように、欧州は進んでいまして、EU(欧州連合)では、排出権取引を航空部門にも当てはめようという動きがあります。ブリティッシュエアラインやルフトハンザ航空などが対象です。また、2012年からはEUを離発着する国際航空機すべてにこれを当てはめようとしています。それに対し、米国や中国を含めたICAO(国際民間航空機関)という機関が「時期尚早だ」と反対しているところです。今後、遅かれ早かれ排出権取引を含め、何らかの制約要因は受けることは必至です。輸送部門はもちろん、ほかの業界も価格に転嫁されていくことで、結果的にはCO₂排出抑制につながっていくのではないかと思います。

E氏：弊社は現在、非常に幅広い事業を行っています。例えば、発電システムやエアコン、あるいは自動車部品なども事業の対象です。そのため、こういった分野にどれだけ研究開発投資すべきか、シナリオによってCO₂とコストの兼ね合いなどは大きく変わってきます。

また、先ほど環境に対して非常に意識の高い消費者が増えてきているという発言がありました。その一方で、例えば、エアコンの場合、10年前に比べてCO₂排出量が半減しています。要するに、古いエアコンを買い換えるだけでCO₂排出量を半分に減らせるわけです。しかし、だからといって買い換えるわけではありません。先ほど浅野先生が「エネルギーの価格弾力性は低い」と言いましたが、それと類似のアイデアとしてCO₂弾力性なるものの研究者はいるのでしょうか。

浅野：私の知っている範囲内で答えさせていただきます。エアコンでも自動車でも構わないのですが、ある商品を選ぶ際には、イニシャルコスト、ランニングコスト、環境性、デザイン性、利便性などさまざまな比較検討要因があります。その中で、環境性、言い換えれば「CO₂排出量が、比較検討要因の中でどれくらいのウエートを占めているのか」に関する研究を行っている方はいます。しかし、「非価格要因をどうやって価格要因と同じ土俵で比べることができるか」に関しては、手法の研究というレベルに留まっています。よって「CO₂が10%増えると、購買意欲が何%減る」といった指標はまだ見たことがありません。おそらく、

人による差が大きく、安定的な計測は不可能なのではないかと思います。今は、せいぜい電力会社が送ってくる電気に対し、風力発電の割合を高めた場合、風力発電の割合を高めた電気に対し、何円分余分に払いますかといった研究程度です。

H氏：私ども複写機メーカーとしては、消費電力の低減などに取り組んでいます。おそらくここにいる皆さんは、複写機の前に立った時、低消費モードになっていてボタンを押してもすぐにコピーできないと、イライラされるのではないのでしょうか。低消費電力とお客様の満足を両立させるのは、非常に悩ましいテーマです。我々として、個々の機器でできることは消費電力を削減することくらいなのではないかという先入観があります。しかし、考えてみると複写機は常に系統系につながっているわけですから、何か個々の機器にアクティブな機能を装備できればと思っています。

浅野：需給一体制御では、まさに現在、系統に優しく、なおかつ積極的に系統に貢献するようなアプライアンスというのはどういった機能を持つべきか研究しているところです。既に複写機などのオフィス機器はLANで結ばれており、今後、デジタル家電もホームネットワークで結ばれていきます。アイデアもさまざまです。例えば、BEMS(ビルディングエネルギーマネジメントシステム)などがそれです。これまではどちらかと言うと、エアコンなどの熱負荷に関する機器が多かったのですが、これからはグリーンITや機器のスマート化などがメインになるでしょう。

H氏：複写機の方で、余剰の待機電力を系統系に戻すといった機能があれば、系統系は便利なのではないでしょうか。

浅野：ある程度まとまったレベルであれば可能でしょう。1軒1軒の需要家から送られてくる量は少なくとも、それを合わせることで、何十メガワット、何百メガワットといった量が電力会社の予備力として使えるようになれば、系統にとって役立つと思います。

H氏：例えば、どれぐらいの規模の複写機ネットワークがあれば、系統系にもメリットがあると考えればよろしいのでしょうか。

浅野：現在、米国の電力会社が認めているデマンド・レスポンスに参加するための条

件というのが、数百キロワット～1メガワットのオフィスビルや工場です。将来的には家庭まで行くでしょう。そのためには、当然アグリゲーションが前提となります。米国のセントラルエアコンは1軒数キロワットの機器を数百軒～数千軒分を合わせ、全体として何メガワットの制御が可能かを見ています。電力の用語では「ディスパッチャブルな電源」と言います。ですから、オフィス機器に関しても、例えば、消費電力を3割減らすことができるとすれば、それをまとめることで十分資源になるはずです。そういったことが次世代グリッドで可能になるのではないのでしょうか。10年～15年後にはそうなっていてほしいと思っています。

A氏：先ほどのE氏の発言をフォローアップします。グリーンITやサーバー、データセンターに関する取り組みについてです。

皆さん、会社と自宅を合わせると、1人3台程度のパソコンをお持ちではないでしょうか。当社では数年前から、処理するパソコンは1台だけにして、残りは単なるディスプレイとキーボードだけにするというアーキテクチャに全面的に移行しつつあります。パソコンに限らず、必要なものだけを持つという風に情報システム全体を作り変えていくことが必要であると考えているのです。

このパソコン全廃の取り組みは、データセンター側に各人のサーバーを置くといったイメージですが、それぞれの消費電力も下げたいと考えています。プロセッサやメモリなどいろいろなものが搭載されていますが、使っていない場合も多いのです。皆が使わなければ温度が下がりますので、まずはデータセンターのエアコンを省電力にすることができるでしょう。また、パソコン1台1台の稼働、非稼働をセンシングし集約をすることで、エアコンを機敏かつ最適に制御できるようになれば、さらなる省エネが実現できるのではないかと、社内で議論しています。

D氏：価格弾力性についてお伺いします。自動車の場合、燃料代が上がると車の売れ行きが悪くなります。燃料の価格と自動車の売り上げが連動するのです。先ほど「燃料の価格弾力性は0.1程度」といったお話でしたが、自動車の価格弾力性は1～3のレベ

ルです。燃料の価格に対する自動車の価格弾力性というのはどのように考えれば良いでしょうか。

浅野：それに関しては、過去のオイルショックに関する研究などで、米国では沢山の研究成果が発表されています。私が先ほど発言したのは、あくまでも短期の価格弾力性で、「同じ車で仮にガソリン価格を10%上げたら、走行距離を何キロメートル減らすか」といった話です。しかしながら、長期の価格弾力性は相当高く、米国では燃費の悪い米国車から燃費の良い日本車へのシフトが10年かけて進んでいます。また、自動車の場合、価格弾力性だけでなく所得弾力性も高いというのが特徴です。成熟した社会では変わるとは思いますが、やはり可処分所得が増えると、自動車を購入しようという方も増えます。

I氏：「主要国のGDPあたりエネルギー消費量」について質問です。日本は1990年から2050年まで横ばいのように見えます。生産性が向上していないということですか。

浅野：このグラフでは、日本単独ではなく各国との相対的な差を見ていただきたいと思えます。しかしながら日本単体に関して言えば、2050年にCO₂排出量を5割以上下げられるためには、毎年原単位を2%近く改善していかないと難しいと言えます。そのため、リファレンスケースとして、一応10年間で20%ずつ減らす勾配にしています。

I氏：インドを中心とする南アジアが下がっていない理由を教えてください。

浅野：リファレンスで、あまりうまくいかないケースを進めているため、このようなグラフになっていますが、シナリオ次第です。インドもうまくテイクオフして、省エネへの投資に回るといったシナリオを書けば、もう少し下がるとは思います。2050年によりやく中国が日本の現在の原単位程度のCO₂排出量になり、さらにそれより何十年遅れてインドがそのレベルに達すると予測されている人もいます。

I氏：弊社では商品についてパーツで生産時のCO₂排出量を見ているのですが、グローバル規模で調査したときに、例えばインドで生産するとCO₂排出量が高いとなると「いくら価格が安くても買えない」という話になるのではないかと考えています。

浅野：その通りです。部品調達レベルで

そうなることは間違いのないことです。

松本：東京大学の松本です。需給一体運用に関してはなるほどと思いました。社会の制度設計の仕方によってもバリエーションはいろいろあると思われ、展開の可能性は一見した以上に大きいのではないのでしょうか。

また「環境制約を環境ビジネスの機会にできるか」というお話に関しては、考え方として最も重要なところだろうと思います。要するに制約があるということは、逆にビジネスチャンスなわけです。そういった反転の仕掛けをいかに作るかが、多分研究開発のトップマネジメントの仕事なのでしょう。その点で言えば「これなら少しぐらい高くても買う」といった、価格以外の情報が効く場面というのがあるのではないかと思います。例えば、デンマークでは、風力発電事業の立ち上がった初期の局面で自然エネルギーという理念に賛同した広汎な層が、多少高くても風力発電による電気を買ったようですが、これは簡単に言えば、理念を買っているわけです。理念にプレミアムが付いていけば、それに対してお金を出す人が出てくるはずです。ですから、「理念の付加価値をどの程度付けていくか」は環境制約をビジネスに転換する際の1つの糸口となり得るのではないかと思います。

需給一体型のシステムを設計する際に、価格情報だけでなく、プレミアムが付けられるような複数の情報を流し込める仕掛けがあれば、面白いことになるかも知れません。しかしそのためには、非常に緻密な計算をする必要がありますので、工学系の方々に期待したいところです。

太田：今後、ガソリンが値上がりした場合、自動車の走行距離は減るのでしょうか。

浅野：2005年から2006年にかけて、日本のガソリン消費量というのは初めて減少しました。それにはいろいろな複合要因があり、約10年分の時系列のデータも揃っています。2006年から2007年の時点で、消費者のマインドが変わり、価格弾力性が少し高まってきているのです。実際、走行距離を減らすことでガソリン消費量を減らしていますし、多分今後伸びることはないでしょう。

飛原：政府の長期的な見通しというのは、おそらく「国内経済が年率何%で拡大し続

ける」という仮定を基に行われているのだらうと思います。私自身は10年から15年経ち、人口が減れば、国内経済も縮小していくと考えていますので、需給見通し自体に人口減の効果を加味していく必要があると感じています。

また、水素社会が本当に来るのかという点に関しては、私は、あまりそうは思っておりません。2040年に本格的に着手すると予想されていますが、そのためには莫大なインフラ投資が必要です。しかしながらその頃の日本経済には、そういった余力はないだらうと思います。ですから、水素社会よりも現在の電気のネットワークに関していかにグリッドをうまく作るかを考えた方が賢明ではないかと思えます。

浅野：どちらももっともだと思います。総合資源エネルギー調査会で決定するのは、あくまでもエネルギーのミックスだけであり、経済の構造に関しては、産業構造審議会などで議論しています。そのため、需給見通しについてはある程度過大評価だと思っただけで、見ていただいた方が正しいでしょう。水素社会に関しても大規模なインフラを構築するのではなく、ローカルに補完的に導入されるのが現実的であろうと考えています。

事務局：皆様、どうもありがとうございました。