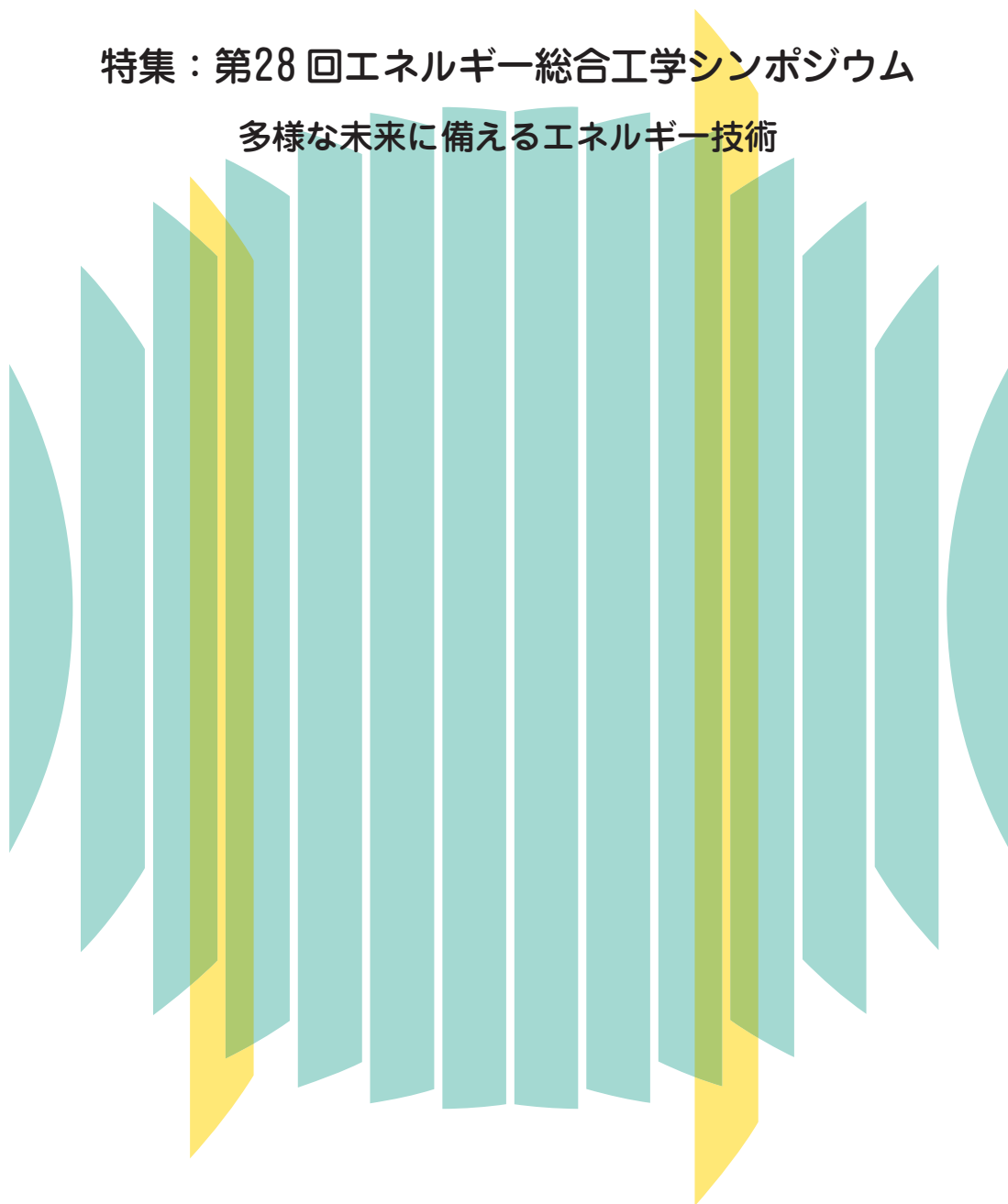


季報 エネルギー総合工学

Vol. 36 No. 4 2014. 1.

特集：第28回エネルギー総合工学シンポジウム

多様な未来に備えるエネルギー技術



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

第28回エネルギー総合工学シンポジウム

多様な未来に備えるエネルギー技術



来賓挨拶を述べる 渡邊 宏 経済産業省 技術総括審議官

日 時：平成 25 年 10 月 3 日（木） 10：00～15：45

場 所：千代田放送会館

総合司会：エネルギー技術情報センター長 疋田 知士

目 次

【開会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 理事長	白土 良一	1
【来賓挨拶】	経済産業省 技術総括審議官	渡邊 宏	3
【招待講演】	地球温暖化と将来のリスク管理 (独) 国立環境研究所 気候変動リスク評価研究室長	江守 正多	5
【講演第1部】	如何なる未来に備えるか (その1) ～過去をふりかえる (一財) エネルギー総合工学研究所 副理事長	三代 真彰	14
【講演第1部】	如何なる未来に備えるか (その2) ～将来トレンドを考える プロジェクト試験研究部 地球環境グループ 部長	黒沢 厚志	22
【講演第1部】	如何なる未来に備えるか (その3) ～エネルギーの使われ方 プロジェクト試験研究部 水素エネルギーグループ 主任研究員	石本 祐樹	33
【講演第2部】	期待されるエネルギー技術は (その1) ～転換・貯蔵技術の将来像 プロジェクト試験研究部 水素エネルギーグループ 部長	坂田 興	42
【講演第2部】	期待されるエネルギー技術は (その2) ～輸送技術および輸送システム プロジェクト試験研究部 新エネルギーグループ 部長	蓮池 宏	53
【講演第2部】	期待されるエネルギー技術は (その3) ～エネルギーをスマートに使う！ プロジェクト試験研究部 電力システムグループ 部長	徳田 憲昭	66
【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	78
【研究所のうごき】			79
【編集後記】			82

開 会 挨拶

白土 良一 (一財) エネルギー総合工学研究所
理事長



本日はご多用中のところ、第28回エネルギー総合工学シンポジウムに多数の方々にご参加を賜り、誠にありがとうございます。また、皆様には日頃より当研究所の事業にご理解、ご協力を賜わっておりますことを、この場を借りまして厚く御礼申し上げます。

まずは、東日本大震災で被災された方々、福島第一原発事故で避難されている方々に心からお見舞いを申し上げたいと思います。また、事故の収束にかかわっている皆様、大変な努力をしているということで、深く敬意を表したいと思います。

昨今のエネルギー情勢をみますと、「シェール革命」により米国で石油・天然ガスの生産が急増しています。また、需給面での見直しなどもありまして、情勢が非常に大きく変化していると思います。

発電分野では石炭や天然ガス、あるいは一部再生可能エネルギーなどの増加が見込まれています。また、原子力につきましては、中国や東欧などを中心に発電所の新設が検討されているようです。このほか、エネルギーの有効利用や再生可能エネルギーの導入拡大の背景として、「スマートコミュニティ」に関するプロジェクトや電気自動車の普及などに向けた取組みが進められているところです。

わが国の情勢ですが、「アベノミクス」や2020年の東京オリンピックの招致決定などにより景気の上向きが期待されています。また、新しいエネルギー基本計画につきましては、総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会(旧総合部会)で審議されているところですが、その骨子はまだよく見えておりません。当研究所と致しましては、人口減少と高齢化の進展する中で、これからのエネルギー供給・利用について考えていく必要があると思います。

今年5月に初めて大気中で400ppmを超える二酸化炭素(CO₂)濃度が観測されたほか、6月にはインドの大雨による大洪水、今夏の日本の天候、あるいは中国での洪水、PM2.5(微小粒子状物質)の問題など、世界各地で異常現象、あるいは人間活動に起因する様々な問題が生じています。先月末にはIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第5次評価報告書が出されましたが、人為起源のCO₂排出が全体の95%であるということでした。

今回のシンポジウムでは、この頃少し影が薄くなっております気候変動につきまして、独立行政法人国立環境研究所の江守様にご講演を頂くことにしております。その後、当研

究所より過去から将来にわたるエネルギーのトレンドと内在するリスクをご紹介し、特に、流通・需要サイドから見た重要なエネルギー技術についてご報告する予定です。

当研究所と致しましては、本シンポジウムを含め、今後とも総合的かつ複合的な観点から、「エネルギーの総合技術研究」をキーワードに社会に貢献していく所存です。引き続き皆様方のご支援、ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

最後になりましたが、公務ご多用の折、ご臨席を賜りました経済産業省の渡邊宏技術総括審議官、並びに国立環境研究所の江守様に改めて御礼申し上げますとともに、本日のシンポジウムがご列席の皆様方にとりまして、有意義なものとなることを確信致しまして、開会のご挨拶とさせていただきます。

来 賓 挨 拶

渡邊 宏 (経済産業省
技術総括審議官)



ただいまご紹介いただきました渡邊でございます。本日は第28回のエネルギー総合工学シンポジウムにお招き頂きまして本当にありがとうございます。

3.11以降、わが国におきましては、新たなエネルギー制約に直面しているという状況にあり、エネルギー政策全体で抜本的な改革が必要な状況にあります。このエネルギー政策全体の改革を2つに分けて考えますと、エネルギーの調達・発電サイドと消費サイドがあると思います。

最初のエネルギーの調達・発電サイドですけれども、やはり再生可能エネルギーの最大限の導入、あるいは世界最高水準の石炭・LNGの高効率火力発電など多様なエネルギー源の開拓を進めますとともに、中東に過度に依存しない多角的な調達先の確保を実現する必要があるだろうと思っております。また、原子力発電につきましては、安全性を最優先して参ります。その安全性につきましては、原子力規制委員会が世界最高水準の新規制基準の下で判断をしていくこととなっています。

一方、消費サイドに目を向けますと、これまで電力というものは需要を所与としまして、それに合わせて供給力を積み上げてきたわけですが、今後は電力の自由化による多様な料金体系の設定などで、需要者の省エネインセンティブを高めていく、またピークコントロールの観点から電力需要をスマートにコントロールしていくといったことも重要になると考えています。

また、中長期的にエネルギーのベストミックスを決めていくには、様々な要素を具体的に検証していく必要があると考えられます。1つ目として、再生可能エネルギーの導入があります。固定価格買取制度の導入以降、導入拡大は着実に進んでいるとは思いますが、これがどこまで伸びていくのか見通すにはある程度の時間がかかると思います。2つ目として、石炭火力の更なる高効率化に向けて進めている技術開発の進展がありますが、その進展を見極める必要があると考えています。3つ目には、既存の原子力発電所の安全性の確認がありますが、それだけでもおそらく数年の期間が必要になるわけであり、4つ目に電力システム改革があります。これは60年に一度の大改革で、その完成は今から5～7年後となります。その結果として、電力需要がどれくらい抑制されるのかも見極めて

いく必要があると考えております。

将来のベストミックスを決めるためには、これらの要素を具体的に検証していく必要があるのではないかと考えておきまして、私ども経済産業省におきましては、エネルギーの安全供給、エネルギーコスト低減の観点も含めまして、しっかりとしたエネルギー政策を構築していければと思っているわけです。

本日のシンポジウムのテーマは、「多様な未来に備えるエネルギー技術」となっております。まさに、エネルギー政策の構築にとって必要となるのが技術であるわけです。従いまして、本シンポジウムは、私どもエネルギー政策を構築していく者から見まして、大変時宜を得たものではないかと思っております。改めまして、本日のシンポジウムを企画されましたエネルギー総合工学研究所の皆様のご尽力に感謝申し上げたいと思っている次第です。

本日ご出席の皆様方には活発なご議論を期待致しまして、大変簡単ではございますけれども、私の挨拶とさせて頂きたいと思っております。どうもありがとうございました。

[招待講演]

地球温暖化と将来のリスク管理

江守 正多 (独) 国立環境研究所
気候変動リスク評価研究室長



はじめに

まず、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)の『第5次評価報告書』の図を使いながら地球温暖化の基本的な話をさせていただきます。その後、地球温暖化の問題を長期の視点で見た時のリスク管理をどう考えていくべきか述べたいと思います。

地球温暖化の基本

温暖化の仕組み

地球は太陽からエネルギーを受け取ります。一部反射しますが、約7割を吸収します。一方、吸収したエネルギーを赤外線形で宇宙に放出しています。地球が受け取るエネルギーと

放出するエネルギーは大体釣り合っています。

もしも地球に温室効果がないと、エネルギーが地面からどんどん宇宙に抜けていき、地表付近の平均気温は -19°C くらいになってしまいます(図1左参照)。

しかし、地球には温室効果があります。水蒸気、二酸化炭素(CO_2)、メタン、その他の温室効果ガスが地面から出て来た赤外線を吸収し、一部は宇宙にも放出しますが、地面に向かって放出します。一方で、太陽の光は、温室効果ガスを素通りします。地球は大気から戻ってくる赤外線分だけ多くエネルギーをもらいますので、温室効果がない場合より高い 14°C とか 15°C で気温がバランスします。これが実際にわれわれが住んでいる地球です(図1中央参照)。

地球温暖化とはこの温室効果が強まることです。大気中の温室効果ガスが増えると、赤外線がより多く吸収され、より多く地面に戻って来て、地表付近の温度が上がることになります(図1右参照)。

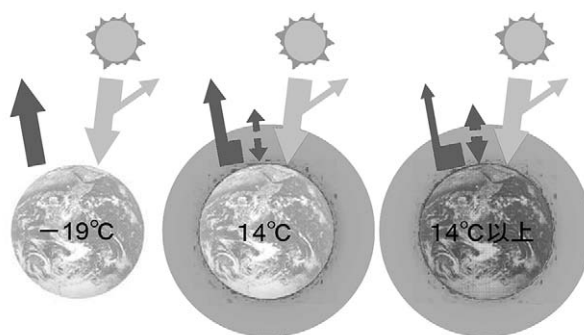


図1 地球温暖化の仕組み

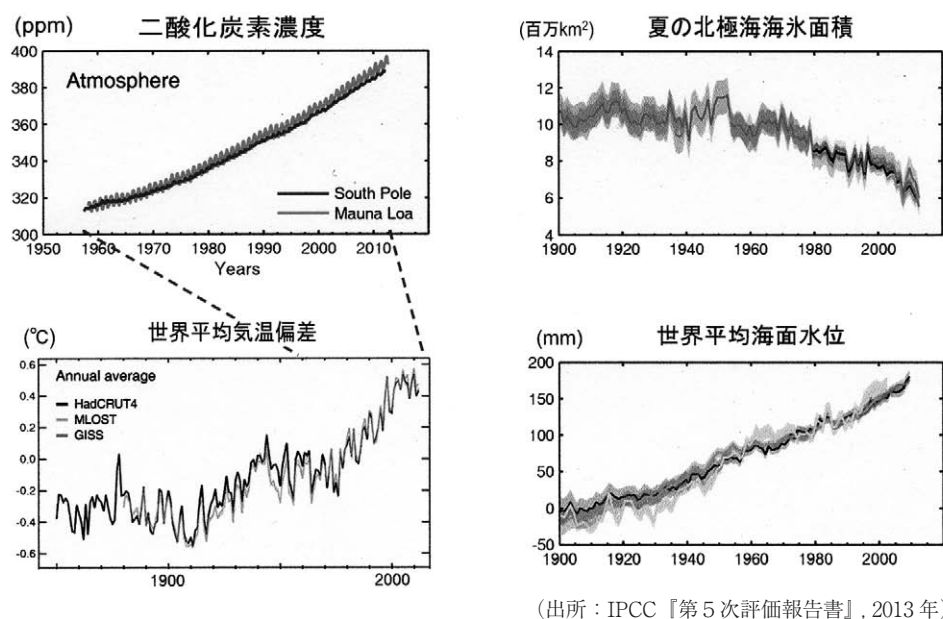


図2 地球温暖化の推移と予測

温暖化の推移

過去100年くらいのデータを見ますと、温室効果ガス濃度と世界平均気温、海面水位は20世紀に急激に上昇しています。

大気中のCO₂濃度は、CO₂濃度を計り始めた1950年代からずっと右肩上がりに上昇していて、最近では400ppmに届きそうです。ハワイの一日平均では、2013年5月に400ppmを超えた日がありました。その間、世界平均気温は上昇しています。産業革命以前より0.8～0.9℃くらい上昇しています。それから、北極海の夏の海水面積が減り続けていて、去年は最小記録を更新しました。世界平均の海面水位は19cmくらい上昇しています。

というわけで、地球が温暖化していること自体は疑う余地がありません。

温暖化は人間活動によるもの

『第5次評価報告書』には、20世紀半ば以降の世界平均気温上昇について、その半分以上が人為起源の要因（温室効果ガスの増加やその他の人間活動）による可能性が「極めて高い」(extremely likely)とあります。『第

4次評価報告書』では「非常に高い」(very likely)でした。前は90%以上、今回は95%以上の可能性があるということです。

これが「政治的なメッセージを強めた」ということかと言うと、そうではありません。確率の数字が、科学的、統計学的な計算で先に決まり、それに応じて言葉での表現が決まっています。『第4次評価報告書』から6年の間に、色々な観測データの蓄積が増えたり、色々な現象の理解が深まったりした結果、より高い確実性で「温暖化は人間活動のせいである」と言えるようになったということです。

図3は過去100年の世界平均気温の観測結果と自然要因、人為要因を考慮したシミュレーション

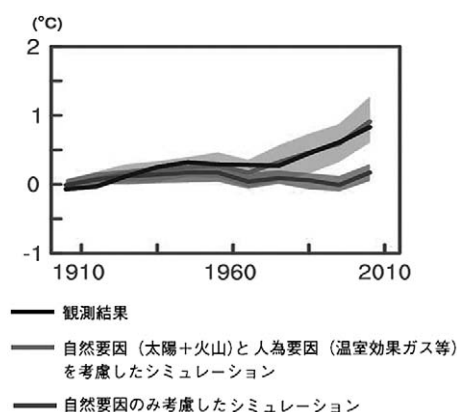


図3 シミュレーションと観測結果

ション結果です。自然要因には太陽活動の変動と火山の噴火があります。人為要因には温室効果ガスやエアロゾル（大気汚染物質等）の排出があります。自然要因と人為要因の両方を考慮した計算結果は観測された気温上昇と整合性があります。ところが、自然要因のみで計算した結果は整合的ではありません。このことから、人為要因で温暖化している可能性が極めて高いという結論が導かれます。

平均気温上昇が停滞して見える理由

最近 10 年、15 年くらい、世界平均気温があまり上がっていないという議論があります。地球の平均気温は、大気や海洋が不規則に循環している間に上がったり下がったりします。そのような自然変動によって下がる局面が、たまたま地球温暖化の上昇傾向と重なれば、平均気温があまり上がらないということになります。

今回は海洋深層が熱を吸収していることが分かってきています。つまり、温室効果ガス増加によって余分に受け取っているエネルギーが、現在たまたま海の深いところに運ばれるモードになっていて、地球表面を暖めるのにあまり使われていないということです。そのモードが変われば、吸収されたエネルギーが表面に出て来て、再び気温の上昇傾向が顕著になると考えられます。

さらに、太陽活動の低下、気候モデルでは正確に考慮していない火山噴火の効果が少し効いていると考えられます。

また、気候モデルによる多くの予測計算は最近の気温変化を過大評価しています。『第 5 次評価報告書』でもそれについて説明しています。気候モデルは世界中のグループが別々に作り、温度が上がりやすいモデル、上がりにくいモデルと色々あります。このうち、上がりやすいモデルは、現実によくなく、あまり上がらないほうのモデルが現実に近いのではないかと指摘され始めています。

最近の温度上昇が停滞しているように見えることが、温暖化が止まってこれ以上は上がらないとか、温暖化の科学で全く説明できないという現象が起こっているということではありません。

太陽活動低下による寒冷化は 1℃程度

図 4 は過去 1000 年くらいの北半球の気温変動です。温度のデータがあるのは最近 150 年くらいですので、それ以前のデータについては、木の年輪や水底堆積物とかからの推測です。これにも不確実性があるので幅があります。現在、太陽活動が低下していて、このまま弱くなると、300 年前にロンドン・テムズ川が凍ったような、寒い時期が来る、寒冷化が起こるのではないかと言われることがあり

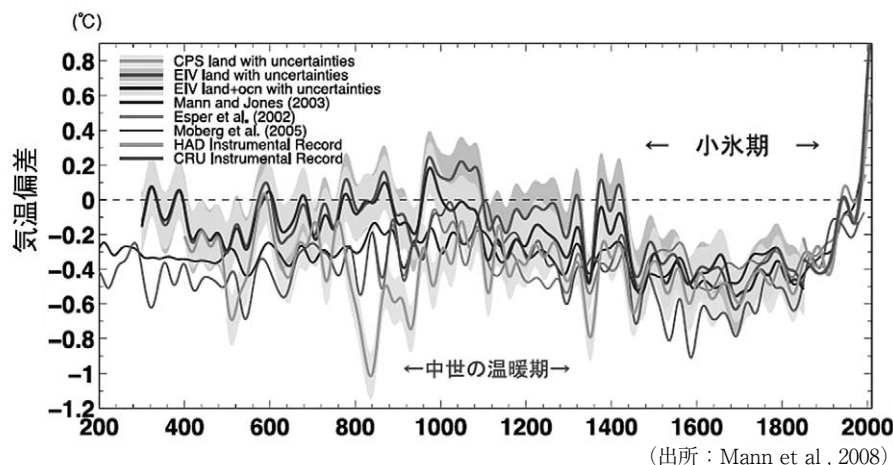


図 4 過去 1000 年の気温変動

ます。図4でも、確かに300年くらい前に少し寒い時期、「中世の温暖期」と知られている少し暖かい時期が示されています。

問題は、300年くらい前どれくらい寒かったのかということです。20世紀辺りを基準にしますと、北半球の平均気温はそれより0.5～1℃低いということになります。

今世紀中に世界の平均気温で2℃、3℃、4℃と上昇すると予測されています。太陽活動の低下で300年前のような気温低下が起こったとしても、たかだか1℃だけ温暖化を打ち消す大きさであって、温暖化を完全に打ち消したり、さらに正味で寒冷化するような効果ではなさそうです。

100年後に世界平均気温は最大4.8℃上昇

図5は気候モデルを使ってシミュレーションした100年後の世界平均気温の上昇です。

将来の社会経済、エネルギー技術の変化、それらの結果としての将来のCO₂などの排出量に関して異なる仮定の下で計算した結果、将来の温室効果ガスの増加がどれくらい大きいかで4パターンに分けています。

気温上昇が一番低いのがRCP2.6です。これは2.6W/m²の放射強制力が100年後に実現するというシナリオで、考える一番小さい温室効果ガスの増加を実現するために、最大限に対策を講じるシナリオです。

RCP8.5は基本的には何も対策をとらず、ど

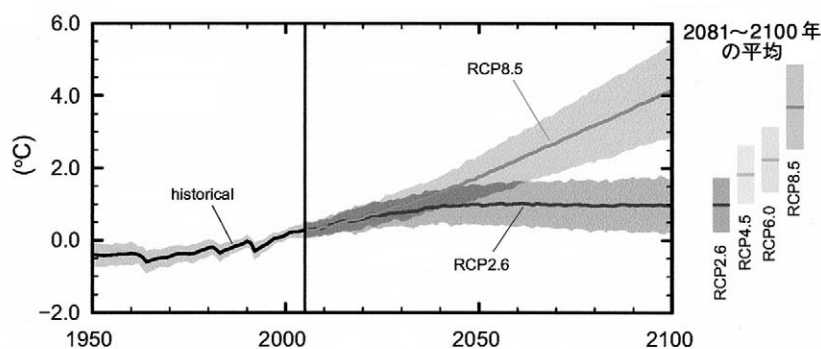
んどん温室効果ガスが増えていくシナリオです。RCP8.5にも不確実性の幅があり、平均気温の上昇は最大で4.8℃となります。この幅は、IPCCの言葉で“Likely range”（可能性の高い幅）と呼び「66%以上の確率でこの範囲に入るだろう」という幅です。これより高い可能性が17%くらい、低い可能性が17%くらいあるという意味です。

実は『第4次評価報告書』では「炭素循環フィードバック」(CO₂増加→気温上昇→陸上生態系のCO₂吸収量減少→CO₂増加)によるCO₂増幅分の不確かさを考慮に入れて最大6.4℃であるとしていました。今回の『第5次評価報告書』では、定義が変更された都合上、その増幅分が入ってないので4.8℃になっています。しかし、シナリオの違いを考慮すると、今回の予測は前回とほぼ変わらない予測であるということに気を付けてください。また、4つのシナリオによるシミュレーションの基準点は、産業革命前から既に0.6℃程度気温が上昇した時点であることに注意して見ていただく必要があります。

100年後に海面は最大59cm上昇

海面水位上昇についても低いシナリオから高いシナリオまで4つあります。何も対策をしないシナリオの不確実性の幅のうち一番高いところで、82cm上昇となります。

実は前は最大59cmという数字が示され



(出所：IPCC『第5次評価報告書』, 2013年)

図5 予測される100年後の気温上昇

れていました。82cmになった理由について説明します。海面水位は海水の熱膨張だけではなく、氷が溶けたり減少したりした分の海水増加で上昇します。前はグリーンランドと南極の氷が溶けて減る分しか考えられていなかったのですが、今回は氷が動いて海に流れ込む分が考慮されています。その結果、20cmぐらい割増になったのです。

温暖化の長期的傾向

NIES/AORI/JAMSTEC シミュレーション

国立環境研究所（NIES）、東京大学気象海洋研究所（AORI）、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の共同研究チームで行った1950年～2100年までの温暖化予測の結果を以下にご紹介したいと思います。

地球の気温は年々の自然のゆらぎを繰り返しながら、徐々に上昇していきます。何も対策を行わないRCP8.5シナリオに沿った場合の計算結果で、地球全体の平均気温が2100年までに4℃程度上昇します。

地表気温（地表から高さ2mでの気温）の変化を見ますと、温暖化というのは地球が一樣に温まっていく現象ではないことが分かります。例えば、北極やヒマラヤ付近は、現在、雪や氷で覆われています。雪や氷は白いため太陽の光をよく反射しますが、温暖化によってそれが溶けて黒い地面や海面が表に出てくることにより、太陽の光をより多く吸収するようになります。そのため、他地域に比べ温度上昇が大きくなっていきます。

また、北極海を除くと、海は陸よりも温度は上がりにくいのです。日本は海に囲まれているので、世界平均気温上昇と同じか、それより少し高いくらい温度が上がりますが、大陸の内陸では、世界平均気温よりもずっと気温が上がります。この理由は2つあります。1つは陸が海より熱容量が小さい、つまり熱しやすく冷めやすいことです。もう1つは、海からは大量の水が蒸発することで熱を逃がすことができますが、陸上ではそれほどの水の蒸発ができないことです。

降水量については、自然変動が非常に大き

く、年によって、ある場所でたくさん雨が降ったり、降らなかったりしています。温暖化が進んでいきますと、地球が温かくなることによって、大気の中に含まれる水蒸気が増えます。そして、地球全体の平均では降水量が増え、地表からの蒸発量も増えます。つまり、地球巡る水の循環が今よりも活発になると考えられています。温暖化が進むと高緯度地方や熱帯太平洋で降水量が増えることが予想されています。逆に、もともと降水量が少ない地中海を含む亜熱帯を中心にますます雨が減る地域が出てきます。

以上は日本のチームによるシミュレーション結果ですが、世界の色々なモデルで計算しても似たような傾向が得られます。

温暖化の影響

今回発表された『第5次評価報告書』は、科学的評価を担当する第1作業部会報告書（自然科学的根拠）の政策決定者向け要約（SPM）です。今後、第2、第3作業部会の報告書が順次発表されていきます。影響・適応・脆弱性について分析をする第2作業部会の報告書は、2014年3月の横浜でのIPCC総会で承認される予定です。その中に、温暖化の影響や適応策について改めて発表されますが、『第4次評価報告書』でまとめられた温暖化の影響を図6に示します。

1980年～1999年の平均に対して、世界平均気温が上昇するにつれ、水不足人口が増えたり、種の絶滅が加速したり、サンゴが白化・死滅したり、食料生産に影響を与えたり、風水害が増えたり、海面が上昇したり、健康に悪影響が出たりします。

「しきい値」となる気温上昇

では、われわれは何度の気温上昇を心配したらいいのか。これは自明でない問題であり、非常に難しい問題だと思います。

6年前の『第4次評価報告書』では、90年

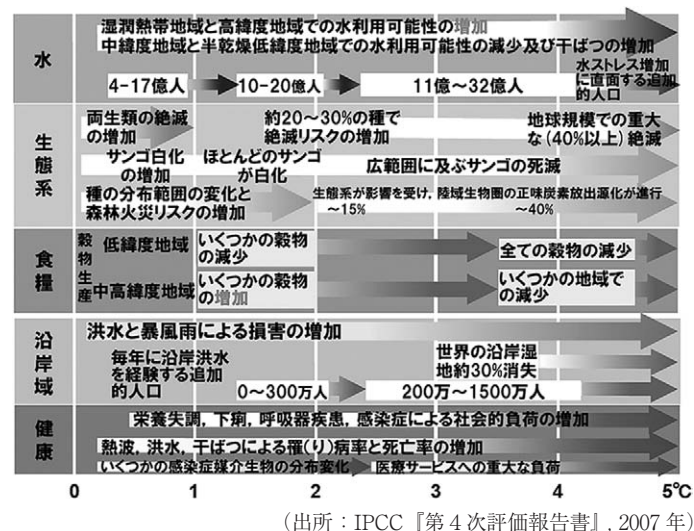


図6 地球温暖化の影響

代を基準に地球全体の平均気温が2℃上昇までであれば、色々な悪影響もありながら、農業生産性などでは一部良いこともあるようにと書いています。

2～4℃だと、さらに悪影響は増えます。地球規模での生物多様性の広範な損失、農業生産性の低下、グリーンランドと西南極での氷床の広範な後退などが起こる可能性が高くなります。「4℃を超えるともう大変ですよ」という感じのことが書いてあります。

2010年のCOP15（コペンハーゲン会議）では、「産業革命以前より」ということを書いてなかったのと、COP全体の合意ではなかったという問題がありました。2010年、メキシコのカンクンで行われたIPCCの第16回締約国会議（COP16）で、「産業革命以前より2℃以内」という表現がCOP全体の合意の中に初めて盛り込まれました。

仮に2.0℃が心配すべき温度だとすると、これは90年代が基準なので、産業革命前を基準にすると2.5℃になります。2℃くらい以上が危険であることを示唆しているように見えますが、IPCCの報告書には「2.0℃を超えてはいけない」と書かれているわけではありません。これをどう認識していくかという問題が残されています。

また、影響の中には“Tipping Elements”

と言い、ある温度を超えると、地球規模の大きな変化、場合によっては後戻りできない変化がもたらされる事態がいくつか心配されています。例えば、グリーンランドの氷の不安定化があります。グリーンランドの氷はすでに溶けているのですが、今ぐらいの温度で上昇を止めると、氷が溶けるのも止まるはずで。このまま温度上昇が続いて、ある温度を超えてしまうと、それよりも高いところで温度上昇を止めても、グリーンランドの氷は溶け続けてしまう。そういう境目になる「しきい値」になる温度があると考えられています。

その「しきい値」の温度が何度なのか、よく分からないのです。

曖昧なリスク

今回の『第5次評価報告書』をよく読むと、「しきい値」になる温度上昇について「1℃よりも大きく4℃よりも小さいだろう」と書いてあります。

グリーンランドの氷がすべて溶けると、海面が7m上昇します。しかし、全部溶けるまでに1000年以上かかると書いてあります。もしも、「2℃きっかりを超えたらすぐに7m上昇します」と言われたら、みんな絶対に2℃を超えないよう対策を講じようするのでは

うが、「超えてはいけない温度は1℃から4℃の間で、最終的に7 m上昇するけれど、それには1000年以上かかる」と言われてしまうと、どれくらい心配したらいいのか分からなくなってしまう。この「曖昧なリスク」というのが温暖化のリスクを考える上で避けられない特徴だと思います。こういう情報を元に、どうするか判断しなければいけないのではないかと思います。

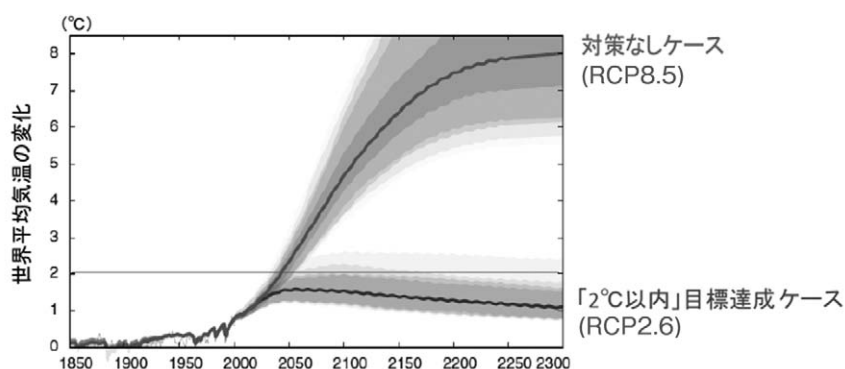
今、1000年で海面が7 m上昇するトリガー（引き金）を引いたとしても、今生きている我々にとっては致命的ではないかも知れないし、将来、大規模な移住などがうまくできれば適応できるかも知れません。一方で、そんなトリガーを人類が引いてしまい、地球の異変をもたらしてしまうのは、倫理的に許されないという人もいます。ここについて議論して決めなければいけません。

温暖化対策とリスク管理

温暖化対策の長期目標

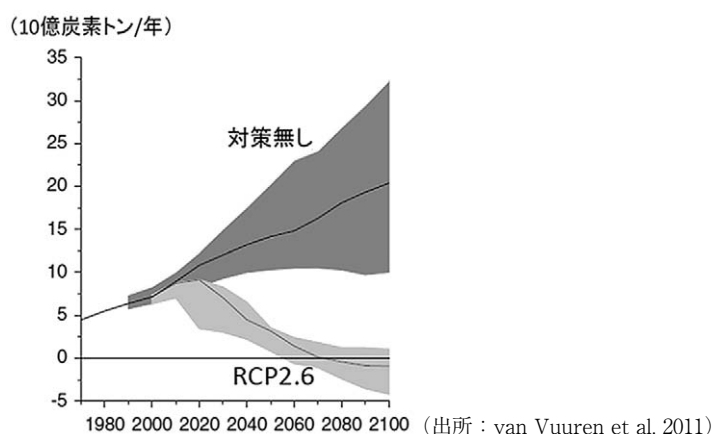
図7は、シナリオ RCP2.6（2℃以内ケース）とシナリオ 8.5（対策無しケース）についての2300年までの予測です。RCP2.6では、2050年頃から温度が少し下がっていく非常に厳しいシナリオです。RCP8.5では、2050年頃を過ぎてもずっと上がって行きます。2100年に4℃ぐらいで、2300年に向けて6℃、8℃と上がっていきます。

どれくらい対策を講じるとRCP2.6みたいになるか。2100年までのCO₂排出量はRCP2.6では図8のようになります。2050年ぐらいまでに、世界全体の排出量を半分にする。その先、



（出所：Meinshausen et al, 2011）

図7 対策なしケースと「2℃以内」ケース



（出所：van Vuuren et al. 2011）

図8 「2℃以内」ケースでのCO₂排出量

さらに減らしていったら、今世紀末までには、世界全体の排出量をゼロに近い、マイナスにする必要があります。そんなことできるのか真剣に考えなければいけなくなってきました。

「バイオマス CCS」とそのリスク

技術的に方法はあります。「バイオマス CCS」がその1つです。CCSはCO₂回収貯留のことで、CO₂を大気に出さないで地中に封じ込める技術ですが、これにバイオマスエネルギーを組み合わせることで、植物が育つ時に光合成で大気からCO₂を吸収し、その植物からエネルギーを取り出し、そのエネルギーを使う時に出てくるCO₂を地中に埋めてしまおうというアイデアです。図9のように、大

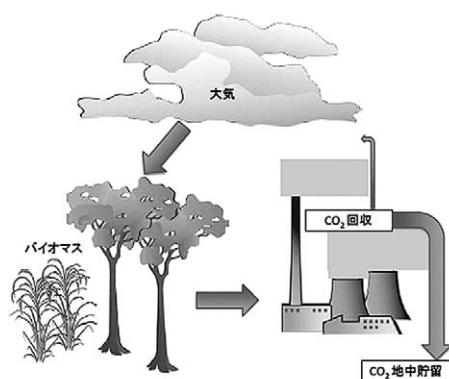


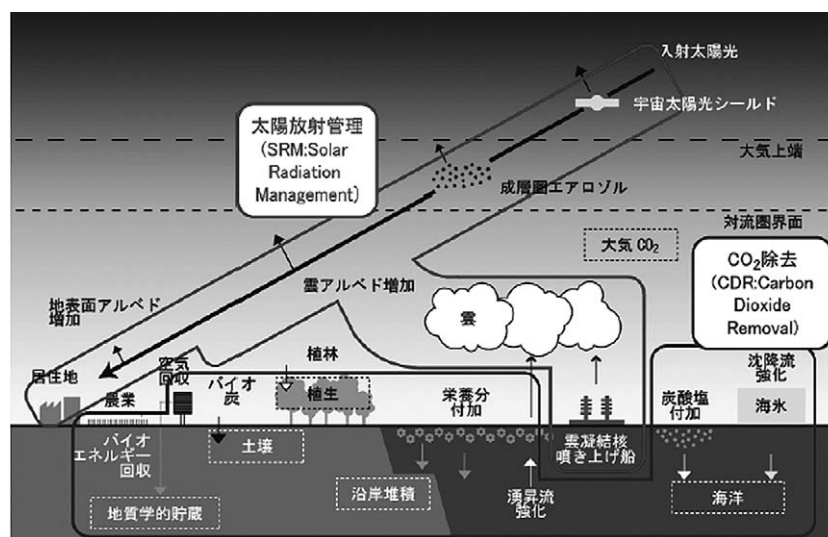
図9 「バイオマス CCS」のイメージ

気中からCO₂を吸って地中に封じ込めるといふマイナスの排出量を実現しながら、バイオマスによるエネルギーを使えるということになります。仮に人類がこれを大規模に展開すれば、他のところで出している正味でゼロ、あるいはマイナスということが実現できるかも知れません。

しかし、そのために植物を大量に栽培しようとする、土地が足りなくなるかも知れません。そうすると、食糧生産と競合する可能性があります。食糧生産と競合させないために、新たに土地を切り開くとなると、炭素が出て来て元も子もない、あるいは生態系破壊につながる。そもそも CCSが大規模に社会に受容されるかどうか分からない。そういう問題がありまして、本当にこれでいいのか、真剣に考えていかなくてははいけません。

「気候工学」とそのリスク

さらに、無理やりにでも地球の気温を下げるといふ工学的な手法、「気候工学」というアイデアがあります。図10に示すように、「気候工学」には大別して、太陽から受けるエネルギーのコントロール（solar radiation management）とCO₂除去（carbon dioxide remover）とがあります。後者にはバイオマ



（出所：杉山昌広『気候工学入門』、日刊工業新聞社、2011年）

図10 「気候工学」による温暖化対策のイメージ

ス CCS が含まれます。前者は、要するに温暖化をキャンセルするぐらい、太陽のエネルギーを弱めてしまえばいいということです。

例えば、「太陽と地球の間に巨大な鏡を打ち上げればいいのではないか」とか、「エアロゾル微粒子を大気中に撒けば、地球の温度をコントロールできるのではないか」ということが考えられています。火山が噴火すると大気中にエアロゾルが漂って、気温が少し下がることがすでに知られているからです。

ただ、「海洋酸性化」が止まらないとか、気温や降水の分布が変わってしまうといった副作用が懸念されると同時に、「終端効果」が心配されます。もしも、大気中の温室効果ガスが増え続けたままにしておいて、エアロゾルを撒いて温度上昇をキャンセルし続けるとして、何らかの理由でエアロゾルがまき続けられなくなったら何が起こるか。エアロゾルが数カ月から数年で地上へ落ちて来る一方で、温室効果ガスは大気中にとどまったままです。すると、それまでキャンセルしてきた分の温室効果が急激に立ち上がることになり、数年で平均気温が上昇するというわけです。ですから、この方法は明らかに「劇薬」なわけです。

そういうことを考えますと、何が正解であるか自明な答えはないと私は思っています。気候変動を放っておいたら悪影響があるなら、一生懸命対策を講じて温暖化を止めればいいのではないかと言われますが、経済的なコストをはじめ、様々なリスクがあります。

温暖化には、「北極海航路の開通」などの良い影響もあります。しかし、良い影響、悪い影響がどこにどう出るかは、国によって違います。こういった中でどうしていったらいいか考えなければいけません。「温暖化対策はコストがかかるから、放っておいたらいい」というなら悪影響のリスクは増大していきますし、急激に対策を講じて、無理やり温暖化を抑え込もうとすれば別のリスクを覚悟しなければいけない。そういう選択をわれわれは真剣に考えなければいけなくなったのではないかと考えております。

おわりに

温室効果ガスの増加が温暖化を起こすことは理論的に確かなことで、地球温暖化がすでに起こっている可能性も極めて高いです。気温上昇、海面上昇、降水分布の変化などの将来予測には幅がありますが、温暖化の様々な影響も懸念されています。では、平均気温の上昇が「産業革命以前よりも 2℃」を超えてはいけなくどうか。この問題は、社会的な判断、価値判断を含んでいます。科学的にだけは決まらない問題だと思います。

温暖化を放置しても、急激に対策してもリスクはあります。どのリスクを選択するか、そのリスクにどう対処していくか。大きな判断が人類に求められていると認識しております。

以上です。どうもありがとうございました。

如何なる未来に備えるか（その1） ～過去をふりかえる

三代 真彰 （一財）エネルギー総合工学研究所
副理事長



はじめに

3.11以降、一昨年の第26回シンポジウムでは「東日本大震災を踏まえたエネルギー戦略」と題し、いくつかのシナリオについて、また昨年は「新たなエネルギー戦略と技術戦略」という題で、環境問題も含めて日本のエネルギー供給を考える際に必要となる技術開発について報告させていただきました。本日のシンポジウムでは、予測困難で不確実な未来に向けて期待される技術について、特に、流通・需要面に注目して当所が検討した結果を紹介するというプログラムを組んでいます。

過去を振り返ることで知る世の中の変化

『2052～今後40年のグローバル予測』（日経BP社）という本をご存じでしょうか。ローマ・クラブのメンバーで1972年に『成長の限界』を書いたノルウェーの科学者ヨルゲン・ランダースが、『成長の限界』の出版から40年経った2012年に、40年先の2052年に世界がどうなっているかを見通した本です。本の中で、エネルギーだけでなく、政治経済も含めた色々な分析がなされています。最近、こういう警告的な内容の将来予測本をよく見かけます。

そういう中で、本日は過去をさかのぼって何が起こったのか、これから何が起こり得るかを午前に、そしてどのような技術が必要なのか、午後説明させていただきたいと考えています。

皆さんは「アハ体験（aha experience）」という言葉をご存じでしょうか。よくテレビで、10秒ぐらいの間に写真の中の物や色が一部じわーっと変わったりするのを当てるクイズがあります。一生懸命見ていてもどこが変わったか全然分からない。答えを聞くと「アハー」（なるほど。分かった）となる。それを「アハ体験」と言います。この瞬間、脳細胞が活発になるそうです。

今の世の中にも似た変化があるのではないかと思います。「石油ショック」や「リーマンショック」、福島第一原発事故などは、明らかに急激なショック（変化）なので意識されやすいのですが、地球温暖化の進行や、世界人口の増加、財政赤字の増加などは、じわーっと変化しているために、その中にいるとなかなか見えてきません。そこで、過去の変化を振り返ることにより、何か糸口がつかめるのではないかと思います。

世界人口の推移

1800年頃から急増し始め70億人を突破

図1は世界人口の推移です。1800年代頃から急激に人口が増加してきたことが分かります。長い間かけて、10億人に達したのが1800年頃です。それまでのエネルギーとしては、水車や風車などがあったわけですが、それはあまり人口増大につながりませんでした。

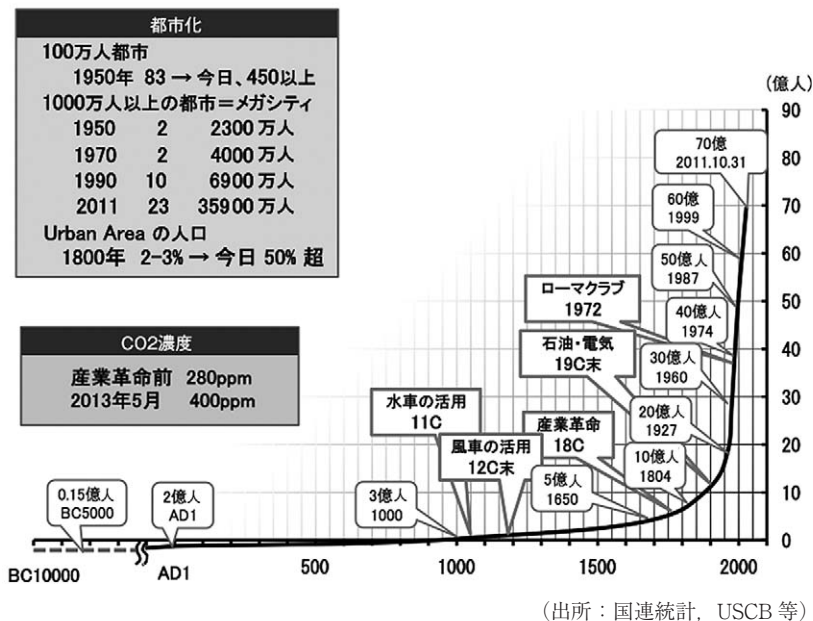


図1 世界人口の推移

18世紀の産業革命、19世紀末の電気の登場で、産業、食糧生産が飛躍的に伸び、経済成長につながり、2011年10月31日には世界人口が70億人を突破したと言われています。2011年10月31日は国連の「70億人の日」ですが、別のコンピューターコードで計算したアメリカ国勢調査局(USCB)によると、2012年3月12日に70億人を突破の日となります。世界人口を計算する色々なシミュレーションコードがあって、コードによって半年から1年くらいの差があるわけです。

大のメガシティになったということです。その後、メガシティの数は増え続けているのですが、ここしばらく東京がトップであり続けるだろうと言われています。

国連統計によると、東京の今の人口は3,720万人です。この数字には、東京都だけでなく、横浜市、川崎市、千葉市も入っていると思います。そして、2025年にはそれが4,000万人くらいになると言われています。その時の日本の総人口が1億人と予想されていますから、約40%が東京近辺に住むことになります。

人口増加と同時に進む都市化

世界人口の増加と同時に、街に人が集まる「都市化」が起っています。色々な文献によると、地球上に「100万人都市」が最初に出現したのは、1811年のロンドンだそうです。アレキサンドリア、ローマ、イスタンブール、江戸もその頃100万人くらいの規模だったのではないかという話があります。今や、100万人都市は450以上あります。

さらにそれを超える1,000万人都市(メガシティ)は、1950年に2つありました。ニューヨークと東京です。1955年には東京が世界最

産業革命後進むCO₂濃度の増加

化石燃料の使用で大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度は産業革命前の280ppmから今年は400ppmが記録されるまでに増えました。

このCO₂濃度の最大の要因はエネルギー使用の増大ですが、振り返ってみるとこのエネルギーは意外と新しい概念です。昔は、用途によって個別に考えられていました。動力用なら人力、家畜、水力、風力であり、熱用には薪が、照明用にはロウソク、たいまつがそれぞれエネルギーでした。

それが18世紀以降、ワットの蒸気機関(1769

年), ドレーク大佐による米国での石油掘削 (1859 年), エジソンの電球 (1879 年), フォードの第 1 号車 (1896 年), ライト兄弟の初飛行 (1903 年) といった, 色々な発明, 発見によって色々な用途に共通に使えるエネルギー (石油や電気) の概念が普及しました。その後, 化石燃料の探査・開発技術の進歩, そしてエネルギーの大量消費につながり, 工業製品・食糧の生産やその輸送が増え経済成長を果たしました。その結果, 大気中の CO₂ 濃度が増加したのです。産業革命前の約 280ppm から 50ppm 増えるのに 200 年 (0.25ppm/年) かかりましたが, 最近は毎年 2 ppm ずつ増えています。

エネルギー供給の推移

1950 年以降急増した石油の供給と消費

図 2 は世界のエネルギー消費量の推移です。昔から下のベースになっているバイオマスは, おそらく薪などの「伝統的なバイオマス」だと思います。石炭, 石油, ガス, 水力, 原子力,

新・再生可能エネルギーが示されているわけですが, 新・再生可能エネルギーはまだ微量です。石油はアメリカで最初に掘削されました。1950 年頃まではアメリカが世界の原油生産の半分以上を占めていました。中東で大規模油田が続々と見つかったのは, 第二次大戦後の 1950 年以降です。それから中東の石油を中心として, 世界の石油使用量が急激に増えていったと言えます。

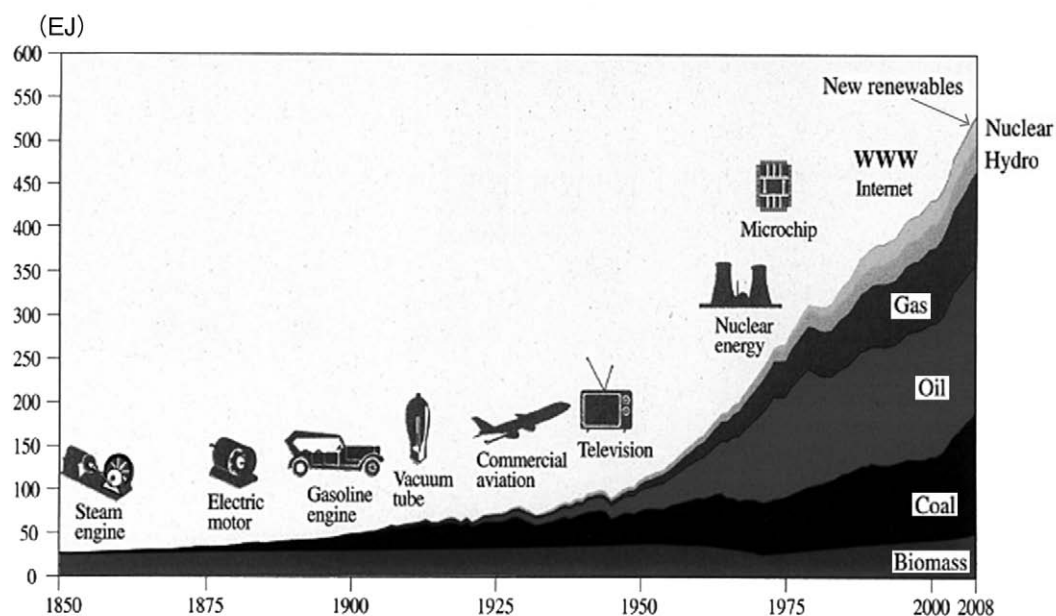
エネルギー消費が支えてきた日本の経済成長

図 3 では, エネルギー消費に支えられてきた日本の経済成長が示されています。右の縦軸の単位は, 石油換算百万トン (Mtoe = E13kcal (10¹³kcal)) です。国際エネルギー機関 (IEA) などがこの単位を使っていますが, 実質的にカロリー (cal) と同価で, 石油 1 キロが 1 万 kcal であるという前提で作られています。

黒い折れ線は, 明治維新頃からの人口カーブです。

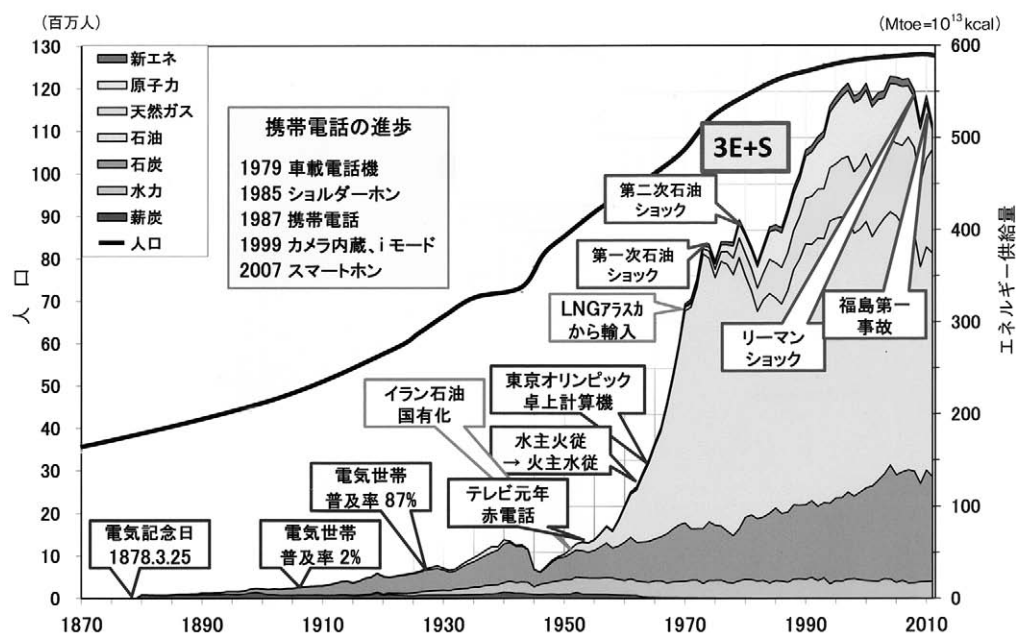
エネルギー構成は, 下から薪炭といった伝統的なバイオマス, 水力, 石炭, 石油, 天然ガス, 原子力, 新エネルギーとなっています。

振り返ってみますと, 日本で初めて電気が



(出所: Global Energy Assessment, 2012, 国際応用システム分析研究所 (IIASA))

図 2 世界のエネルギー供給の推移



(出所:『エネルギー・経済統計要覧』, 総務省統計等を基に作成)

図3 日本の一次エネルギー供給の推移

使われたのは昔の東京大学の講堂でした。グローブ電池でアーク灯を照らしたのが1878年3月25日で、今ではこの日を「電気の日」と言っています。それ以降、電気が普及し1906年頃に2%, 1927年頃に87%と、も急速に電気が普及しました。世界でもスイスに次いで2番目の普及率です。

エネルギー政策の登場から「3E + S」まで

1950年以降中東の安価な石油を活用して高度経済成長を経験してきましたが、1973年に「第一次石油ショック」が起きました。この「第一次石油ショック」を契機に、各国のエネルギー政策を協力して行うことを目的として、経済協力開発機構(OECD)にIEAができました。「エネルギー政策」という言葉が使われ始めたのもこの頃です。IEAの創設後、「第二次石油ショック」(1979年)が起きました。この時には石油の代替エネルギーとして、石炭、液化天然ガス(LNG)、水力や原子力を使っていこうということになりました。当時は、LNGを火力発電所で使うことについては、「こんなノーブルガス(貴ガス)を単に発電所

で燃やすのはもったいない」と反対もありました。その時、天然ガスを発電に使っていたのは日本とカリフォルニア州だけだったのですが、日本とカリフォルニア州での火力利用については、天然ガスの特性を活かして付加価値を高める「ノーブルユース」であるということでも認められました。石油専焼火力については、「第二次石油ショック」後、新設が禁止となりました。

それ以降、エネルギー供給の安定性(Energy security)、経済性(Economic growth)、環境保全(Environmental conservation)を同時に達成しなければならないということで「3E」が、それから安全性確保(Safety)が加わり、今のエネルギー政策の体系「3E + S」になっている訳です。

技術進歩のスピード

技術進歩について少しお話ししたいと思います。例えば、図3に「携帯電話の進歩」と書きましたが、電話自体はグラハム・ベルが1876年に発明しました。日本に入ってきたのは1890年。電話は相手がいないとつながら

ないわけですから、東京と横浜の間に電話所ができて初めて電話がつながるようになりました。1953年のテレビ元年に赤電話が登場しました。それ以降、1979年に車載電話機が、1985年には重さ3キロのショルダーホンが発売されたことを憶えている方もいらっしゃるでしょう。そして、携帯電話が初めて出てきたのが1987年。750グラムの筒のようなものを耳にかけて最新モデルだと宣伝していました。その携帯電話機がいつの間にか軽くなり、カメラ内蔵のiModeとなりました。今、みんなが持っているスマートホンというのは2007年に出たばかりなのです。

もう1つ技術進歩の例として、私が好きな卓上計算機の歴史についてお話ししたいと思います。卓上計算機が登場するまでは、タイガー手廻計算器や計算尺を使っていました。初めて卓上計算機が出てきたのが東京オリンピックの1964年です。シャープが「ニキシー管」というネオン式数字表示放電管を20個くらい並べた卓上計算機を発表しました。重さは25キロ（海外旅行のトランクの重さで、価格は当時自動車が買える53万円）です。その後、1972年にカシオが1万2,800円で「カシオミニ」を出しました。当時の新卒者の初任給が3,4万円でしたからものすごく高かったのです。それが3年後の1975年には4,800円に下がりました。この間の技術開発のスピードには目をみはるばかりです。

日本のエネルギー供給と消費

統計で見るエネルギー量の単位

世の中ではエネルギーに関して色々な数字がありますが、常に商業ベースでのエネルギーが対象になっています。薪を拾ってきてご飯を炊いてもエネルギー統計には現れません。自動車に乗ればガソリンの消費になるの

ですが、徒歩あるいは自転車で移動するとエネルギー消費にはなりません。供給に比べて流通や家庭など消費段階で使われているエネルギーを正確に測るのは困難です。

また、異なるエネルギーの供給量や消費量を1つの単位で表すために、kcalという単位に換算して集計します。しかし、原油でも油種によってカロリー数が違います。風力発電の発電量はkWhで表されるのですが、そのときのインプット（風力）をどう計算すればいいのか。バイオマスや太陽光、原子力などでも同様な問題があります。さらに、そういった定義は各国で異なります。私が働いたことがあるIEAにおいても、内部で統計部局と石油部通産局で値が違うこともありました。

2010年度と2011年度に見る変化

さて、2010年度の一次エネルギー供給は513 E13kcal（石油換算で約5億トン）でしたが、これが福島第一原発事故直後の2011年度には489 E13kcalに減りました。2012年度にはさらに483 E13kcal（速報値）に減っています。世の中がじわりじわりと変わってきているのではないかという印象を受けます。

エネルギー消費も、2010年度の343 E13kcalから2011年度には334 E13kcalと減少しました。

ほとんど100%輸入している化石燃料（鉱物性燃料）の輸入額は、2010年度は18.1兆円、2012年度には6.6兆円増え24.7兆円になりました。日本の総輸入額に占める割合も2010年度の29%から2011年度には34%に増えています。貿易収支は、2010年度に4億円あった黒字が、2012年度には8兆円の赤字に転じました。一次エネルギー供給の輸入依存度も83%から94%に上がっています。

石油換算で約5億トンの化石燃料を毎年輸入するということは、10万トン級のタンカーやLNG船、石炭船で運ぶと仮定すると、毎年5,000隻もの量が日本に入ってくるわけ

ません。365 で割って 1 日当たりで考えますと、毎日 10 隻以上が日本に入ってくるようになります。

民生・輸送部門でのエネルギー消費

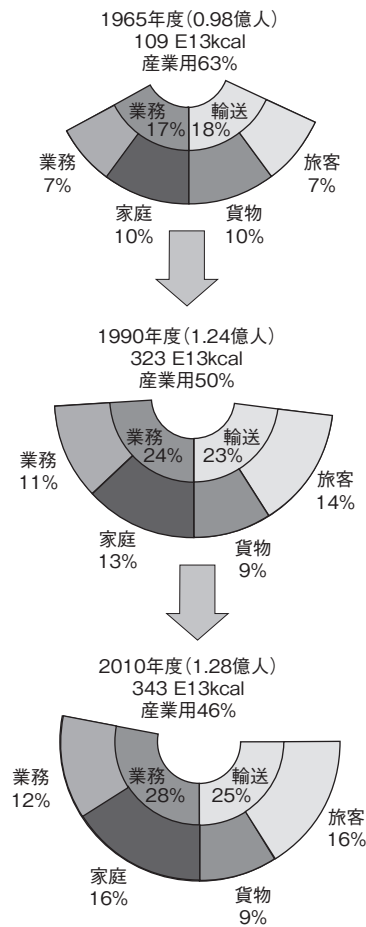
図 4 は、最終エネルギー消費に占める民生部門と輸送部門の割合を、1965 年度、1990 年度、2010 年度で比較したものです。

図では、産業部門が消してありますが、1965 年度は全体 109 E13kcal の 63% ですから、産業部門で 68 E13kcal を消費しています。この消費量は 1973 年の「第一次石油ショック」の直前には 166 E13kcal まで増えています。これは中東から安い石油が入ってきたためですけれども、しかしながら、石油ショック後は、産業部門の最終エネルギー消費は、166

E13kcal からほぼ横ばいで推移してきています。むしろ、1999 年度が 160 E13kcal、2010 年度が 156 E13kcal と減ってきています。ところが、日本のエネルギー需要全体は増えているのです。では、どこが増えているかというと民生部門と輸送部門です。

民生部門について見ると、1965 年度（昭和 40 年度）には石炭、練炭、炭団が使われていました。これが今や電力になっています。家庭と業務の中でどう使われているか。用途別の表では、電気は「動力他」に入っています。電気が給湯に使われているのか暖房に使われているのか分からないからです。いずれにしても、民生部門でのエネルギー消費は、動力、給湯、暖房が大きな割合を占めています。

輸送部門では、自動車が貨物、旅客で輸送部門の大宗を占めています。自動車の保有台



民生 用途別 (%) (2010)		
	家庭	業務
冷房	3	13
暖房	27	16
給湯	28	14
厨房	8	9
動力他	35	49

家庭 エネルギー源別 (%)	(%)	
	1965年度	2010年度
電力	23	48
都市ガス	15	18
LPG	12	11
灯油	15	22
太陽熱	-	1
石炭等	35	0.1

自動車が
貨物(84%),旅客(85%)と
輸送の大宗を占める。

自動車保有台数 (万台)	
1965年度	720
1970年度	1,820
1990年度	5,770
2010年度	7,500

注)最終エネルギー消費には、産業・民生・輸送の他、
非エネルギーも含まれる。

(出所：『エネルギー・経済統計要覧』を基に作成)

図 4 日本の民生・輸送部門での最終エネルギー消費（1965 年度 /1990 年度 /2010 年度）

数は、1970年から1990年まで4,000万台増えているのが、次の20年間の増加は約2,000万台弱で、少し緩やかになってきていると言えます。

今後の方向

エネルギーの安定供給と温暖化対策

エネルギーは、生活・経済の基盤です。世界では、化石燃料が供給の大宗を占めていますし、今後とも化石燃料が主流であろうと思います。

その中で再生可能エネルギーの導入が急がれています。ドイツでは、2011年にエネルギー供給においても、発電においても再生可能エネルギーが原子力の割合を超えました。福島事故後、原子力が減ったとの要因もありますが、再生可能エネルギーの導入拡大には、価格、コスト、システムの安定性、補助金をどうするかという課題があります。

また、地球温暖化、人口の増大、都市化が国際的な問題となっています。

日本では2013年4月の『エネルギー白書2013』で、今後対応すべき課題として20種以上のリストを並べています。同時に、流通・消費面での対策が大事であると、渡邊審議官のご挨拶の中でもありました。

アメリカでは、オバマ政権が温暖化に対するアクションプランを2013年6月に出しました。発電所からのCO₂を減らす、クリーンエネルギーを導入すると同時に、地球が温暖化することを前提に、色々な備えをしなければいけない。温暖化した時の農業政策をどうするか考えないといけないと言っています。

オーストラリアでは、これから建物を造るとき、床下が地面から数メートルあるような高い家を造らなければいけないと言われています。

IPCCでは、先週、第1作業部会の『第5次評価報告書』が出ました。来年の2014年3月には横浜での総会で、第二作業部会の報告書が出る予定です。それから第3作業部会の報告が出て、来年中に全体の報告書が発表されます。2013年12月にはワルシャワで第19回締約国会議（COP19）が開かれます。私はCOP3で「京都議定書」の策定にかかわったのですが、あれから16年経ってしまいました。感慨深いものがあります。

IEAは2013年6月「エネルギー技術展望2050年までのシナリオと展望」（ETP）を公表しました。そこで2050年までの技術開発のフローを示すとともに、『世界エネルギー見通し』（WEO）が11月に発表されます。環境問題は待ったなしということで、WEOの発表前（2013年6月）に“Redrawing the Energy-Climate Map”という『世界エネルギー見通し特別報告』を出しています。

日本としてすべきこと

日本として何をすべきか。種々のリスクに備えることが大事です。国内のリスクだけでなく、これだけ情報技術（IT）が進んだ今、日本と関係がないと思われている所で起きた社会的事件、経済的事件でも、すぐに世界中に広がってくるというリスクを迅速に軽減することが大事です。

多くのオプションを持つことが重要です。新エネルギーや原子力の技術をしっかりやり、集中と分散について、災害時を考えてやらないといけません。その中でも温暖化への対応が重要です。

日本の特徴として、化石資源の輸入において輸送経路がどうしても長いので、そのセキュリティをどう守るのか。島国であることから、国内でどうやって安定供給を確保するか。日本の人口はこれから高齢化しながら減っていきます。こういう時のエネルギー供給はどうあるべきか。他の国とは違うのではないかと

考えています。

いずれにせよ技術が日本の生命線です。総合的な視野，俯瞰的でスマートな対応，技術の内容によって異なる時間軸を踏まえた対応が必要です。先ほど技術進歩の例に挙げた携帯電話や卓上計算機のように，パッと普及する製品もあれば，トヨタ「プリウス」のように1997年に出てから10年，20年をかけて，ハイブリッド自動車の主流となった例もあります。しかし，大型発電所の場合，立地から運転時間までを考えると，普及のためには，50年から80年先を見なければいけません。それとともに，廃棄物になる，あるいはリサイクルするのにどれくらい時間がかかるのか，LCA（ライフサイクルアセスメント）の観点から見なければいけません。難しい時代です。

そういう大きな課題について，エネルギー総合工学研究所は今後とも検討してまいりたいと思っております。

ご静聴，ありがとうございました。

如何なる未来に備えるか（その2） ～将来トレンドを考える

黒沢 厚志 （プロジェクト試験研究部
地球環境グループ 部長）



エネルギー需給システム

影響を与える8つの要因

将来どうなるかということについて皆様と一緒に考えてみたいと思います。

まず、エネルギー需給システムをどう考えるか。図1は、世界的なエネルギー需給システムを考えるための整理図です。エネルギー需給システムには、エネルギー資源の「供給」、それらを電気や石油製品などの使いやすいエネルギーに替える「変換」、変換されたエネルギーを消費する「需要」の組み合わせを考えていく必要があります。

図1では、エネルギー需給システムに影響を与える要因が8種類に分類されています。

[マクロ経済要因]

人口と国内総生産（GDP）で決まる一人当

たり所得の大きさによって、利用できるエネルギー量や支出できる費用が決まります。

[環境負荷要因]

水、大気、土壌など、ローカルな環境影響と、二酸化炭素（CO₂）を始めとする温室効果ガスなどの地球環境に与える影響に分類できます。

[資源利用可能性要因]

エネルギー資源としては、化石燃料資源、核分裂資源、再生可能資源などがありますが、広い定義では金属やその他の資源も含まれています。

[ステークホルダー要因]

エネルギー需給システムについて、政府、企業、消費者など、様々なステークホルダー（利害関係者）が存在します。ときに対立する関係者の間で社会的な合意を図っていくことが必要となります。

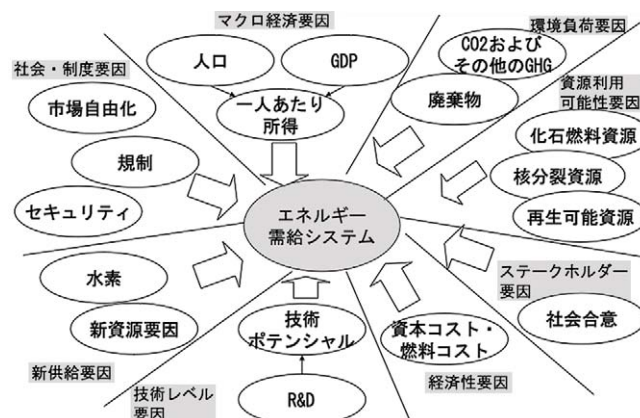


図1 エネルギー需給システムを決める要因

[経済性要因]

供給側にしても消費者側にしても、なるべく安い供給システムや需要システムを考えていくことが市場競争力の上で重要になってきます。

[技術レベル要因]

研究開発および生産の継続によって技術ポテンシャルを維持・向上させていくことが、新技術を導入していく際の鍵となります。

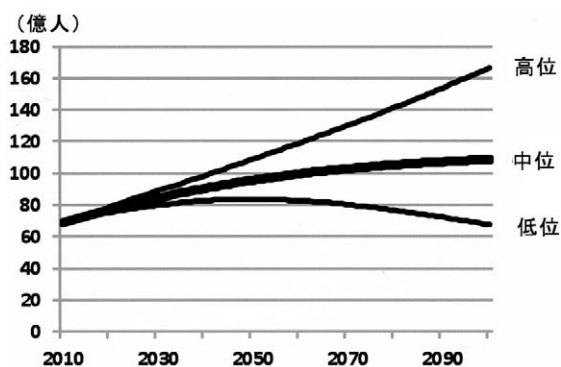
[新供給要因]

最近の例を挙げますと、水素のような新しいエネルギーキャリア、シェールガスなどの新資源は、エネルギーシステムの根本を変える要因として、大きな影響を与えます。

[社会・制度要因]

エネルギーに関する政策（種々の規制、補助金、税金、市場設計などの制度）は、需給システム自体に大きな影響を与えています。また、輸入依存度、多様性などもセキュリティに重要と考えます。

これら非常に多様な要因があるわけですが、これを考えながら需給システムが決まっていきます。ただ、これには地域差や時点による違いがありますので、これら要因の強さや影響の大きさは、場合によって違ってきます。



(出所：UN World Population Prospects The 2012 Revision)

図2 国連による人口推計

今後の変化：人口

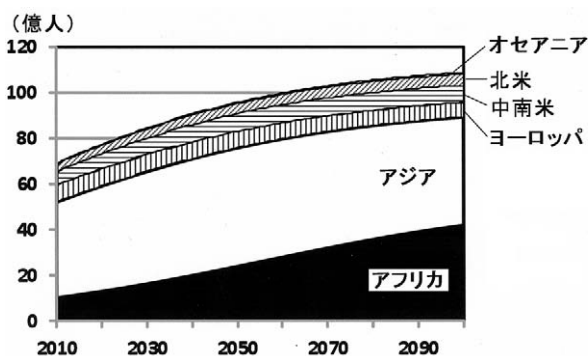
アジア、アフリカで急増する人口

図2の国連推計では、中位推計、高位推計、低位推計などの人口予測をしています。現在70億人ですが、2050年には低位で83億人、中位で96億人、高位だと110億人くらいになります。この違いは主に、出生率や死亡率の違いによります。

また、それを地域別に見たのが図3です。こちらは中位推計の例ですが、今後の人口増加の大部分は、新興国や発展途上国、特にアジアやアフリカで生じると言われています。

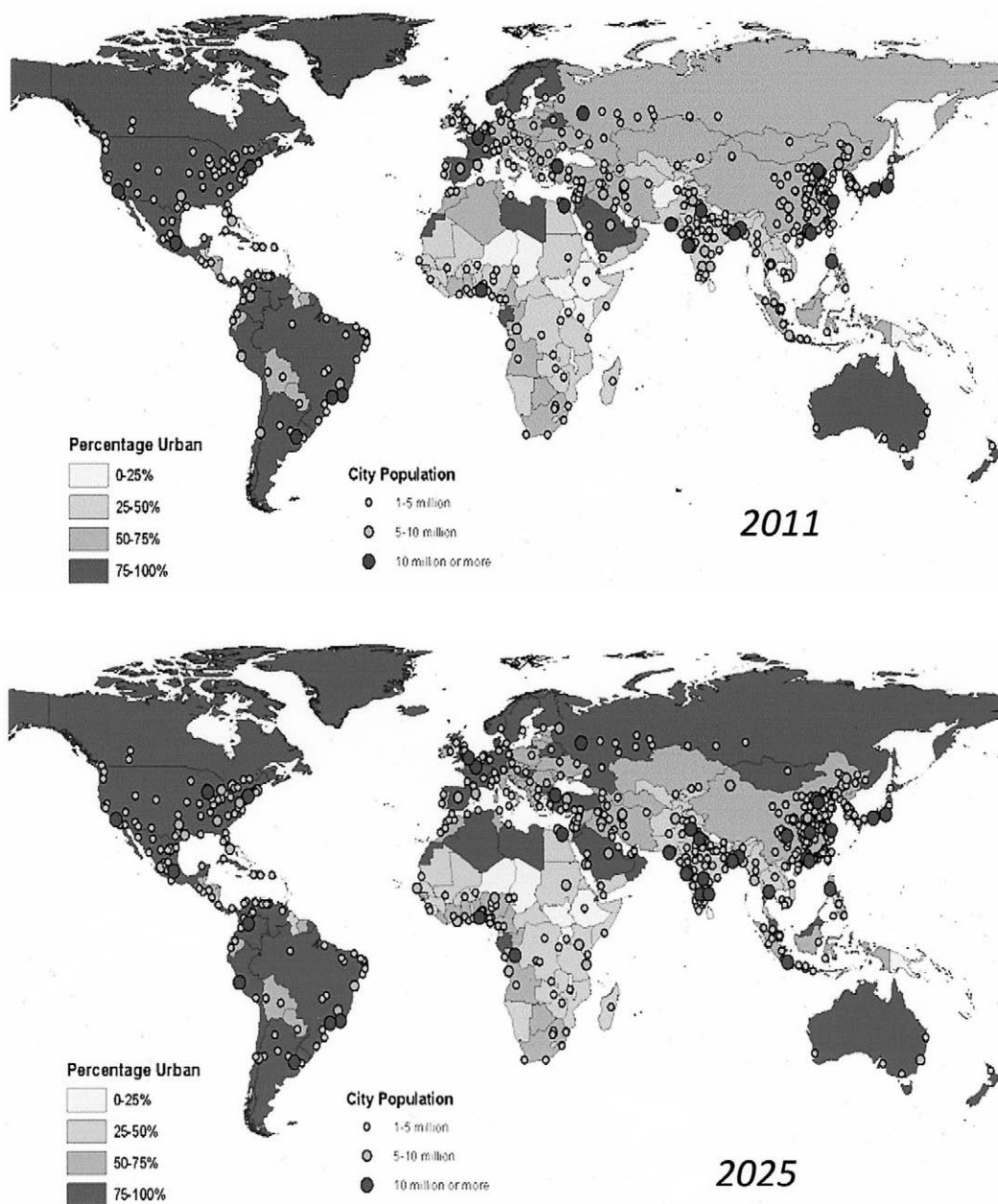
世界の都市化

全体として伸びていく人口増加ですが、都市部と農村部で一様に増えていくわけではありません。現在、世界人口の半数が都市に住んでいるとされています。人口増加はアジア、アフリカでの伸びが大きいと言いましたが、人口増加が著しい地域では、都市化がその大きな原動力となっています。また、1,000万人以上の巨大都市（メガシティ）は、2011年で図4の●のように分布しています。2025年になると、それがかなり増えます。特に、中国



(出所：UN World Population Prospects The 2012 Revision)

図3 国連による地域別人口推計（中位推定）



(出所：UN World Population Prospects The 2011 Revision)

図4 進行する世界の都市化

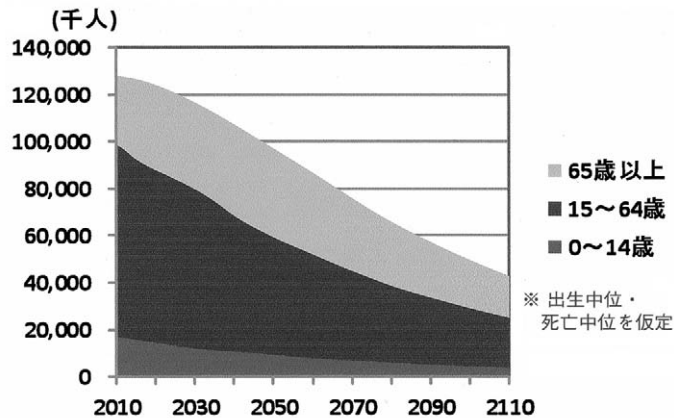
やインドなどで増えていきます。都市は数が増えていくとともに、それらが地域でつながっていきます。日本で言う「メガロポリス」のようなイメージで、都市の連結現象が起こります。

このように、都市化は世界的な傾向です。その結果、都市型のエネルギー利用が今後増加すると考えられます。途上地域の場合は、薪炭などの従来型バイオマスエネルギーが用いられ、電力へのアクセスのない地域がまだ

まだあります。そのような地域から都市への移住が起こりますと、移住した人たちの前には従来型でないエネルギーへのアクセス機会が現れ、電力も使うようになるといったエネルギー利用の質的な変化が生まれることになります。

日本の総人口と年齢構成

図5は日本の人口予測例です。年齢別に見



（出所：「日本の将来推計人口」（平成24年1月推計），国立社会保障・人口問題研究所）

図5 日本の将来推計人口

ていますが、現在の人口が約1億2,800万人です。すでに減少を始めているところで、中位推計だと2050年までには1億人を切るようになります。さらに、生産年齢人口と高齢人口が2050年にそれぞれ5割と4割に、14歳以下はかなり比率が下がっていくということです。ですから、使うエネルギーの量と質が変わっていくと考えられます。

今後の変化：需給システムの要因

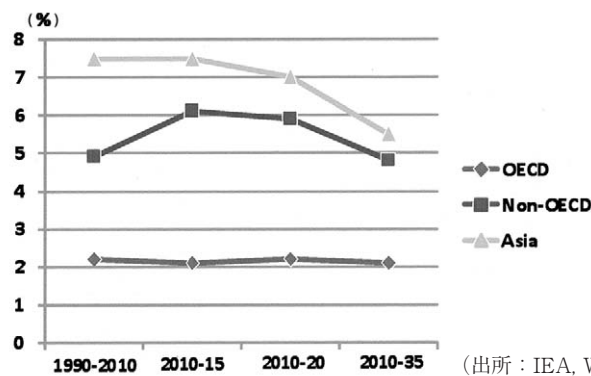
マクロ経済要因

IEAの『世界エネルギー見通し2012年版』にある実質年率経済成長率の予測例を見てみ

ます。世界経済は全体として成長していきますが、OECD諸国と非OECD諸国には伸びの違いがあります。図6を見ると、アジア、特に中国・インドなどは伸び率が高めですが、OECD諸国はほぼ2%と安定して推移します。アジア以外の非OECDの地域は、基本的にそれより高い伸びを示しているということになります。これは、これらの地域の経済レベルが先進国にキャッチアップしていくということを意味します。

図7の2010年の一人当たり所得比較を見ると、かなり大きな差があることが分かります。つまり、一人当たりGDPの低い地域や国々はまだ伸びる余地があるということで、成長に伴ってエネルギー需要も先進国に近づいていくと見込まれます。

一人当たり所得が高い国でも、所得が等し



（出所：IEA, World Energy Outlook 2012）

図6 年率実質経済成長率の推定

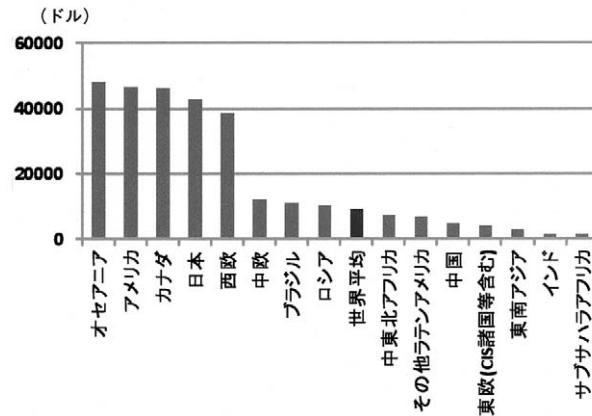
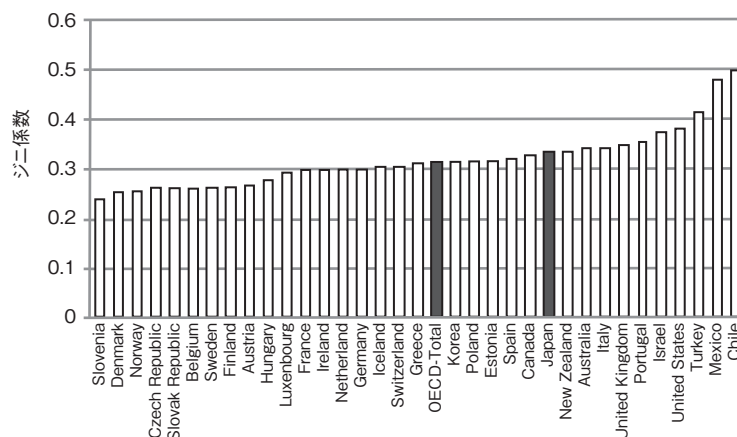


図7 一人当たり GDP (2010)



(出所：OECD factbook)

図8 OECD 諸国のジニ係数 (2010 年)

く分配されているかどうかという問題があります。図8は、所得格差の大きさを示す係数「ジニ係数」を OECD 諸国について並べたものです。「ジニ係数」は、図9のように横軸に累積世帯比率、縦軸に累積所得比率をとります。全ての世帯が同じ所得だと、2つの比率のカーブが一致します（ジニ係数＝ゼロ）。しかし、実際には低所得の世帯比率が高く、高所得の世帯比率が低いので、均等線と実際の所得分布とのずれが生じます。このずれた部分の面積を2倍した数字がジニ係数で、この数値が大きいほど所得格差が大きいと言えます。

OECD 諸国の中でもかなりの差があります。日本のジニ係数は OECD 平均にかなり近い値なのですが、アメリカなどは、一人当たり平均の所得は高いのですが格差も大きいという

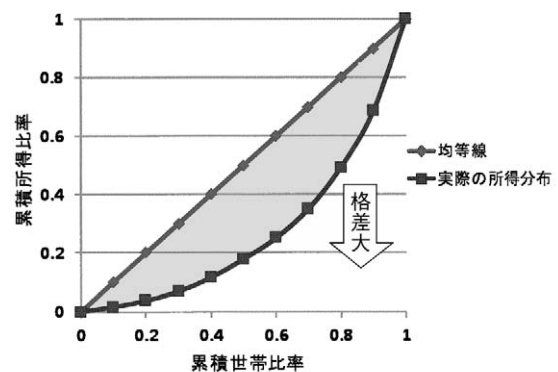


図9 所得格差の指標：ジニ係数

ことが分かります。初期コストの高いエネルギー機器などを低所得の家庭は買えないということがありますから、世帯の所得格差は、エネルギー機器の選択や社会安定度に影響を与えます。

環境負荷要因

図 10 は、温室効果ガスの国際的な気候変動枠組みについて考察したものです。2008 年～2012 年は京都議定書の「第 1 約束期間」でした。この期間には、欧州連合（EU）と日本、ロシアだけが削減義務を負っていて、その他の国々には削減義務がありませんでした。2013 年に入った現在は、京都議定書の「第 2 約束期間」になっています。この期間では主に EU 諸国が削減義務を負うことになっていて、その他の国々も自主的に削減を進めることになっています。

2020 年以降の世界削減枠組みについては、気候変動枠組条約のダーバンプラットフォーム作業部会で議論を行っていますが、まだ結論は出ていません。

図 11 は化石燃料起源の CO₂ 排出を国別の割合で見たものです。4 分の 1 が中国から出ています。続いて、米国、ロシア、インド、日本。日本は 2010 年時点では 3.8% です。EU を計算すると 12% くらいになり、全体の 3 番目になります。現在の削減枠組みには、1 番目の中国、2 番目の米国が参加していませんので、両国が参加しない枠組みは意味がないということが分かります。

図 12 は地域別の一人当たり排出量です。長方形の面積が各地域が出している CO₂ 排出量になります。今後、人口が増え、一人当たり排出量も増えていきます。特に、途上国で伸びが大きいと考えられますから、これを積分した面積である世界全体の CO₂ 排出量も増えていくと考えられます。

2050 年くらいまでの将来予測を見てみます。

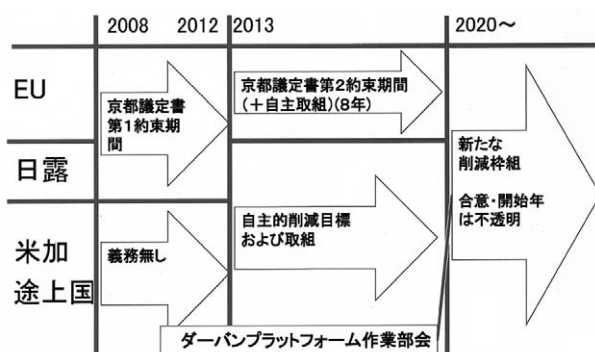
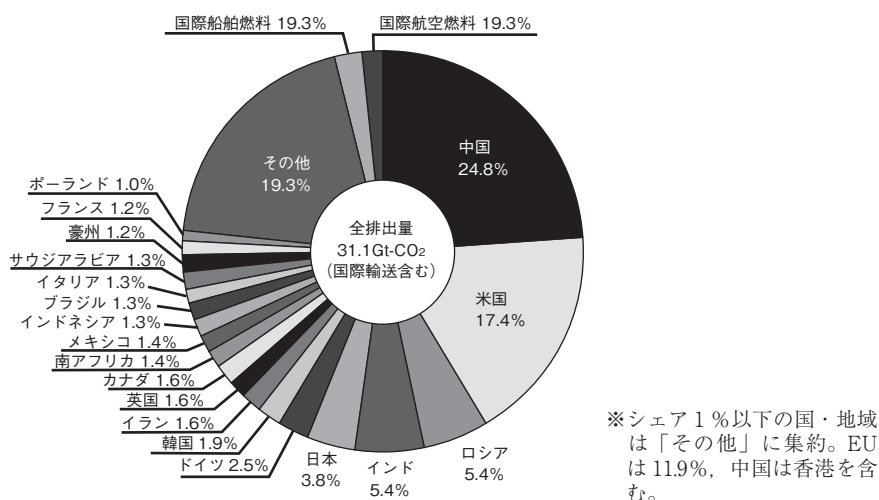
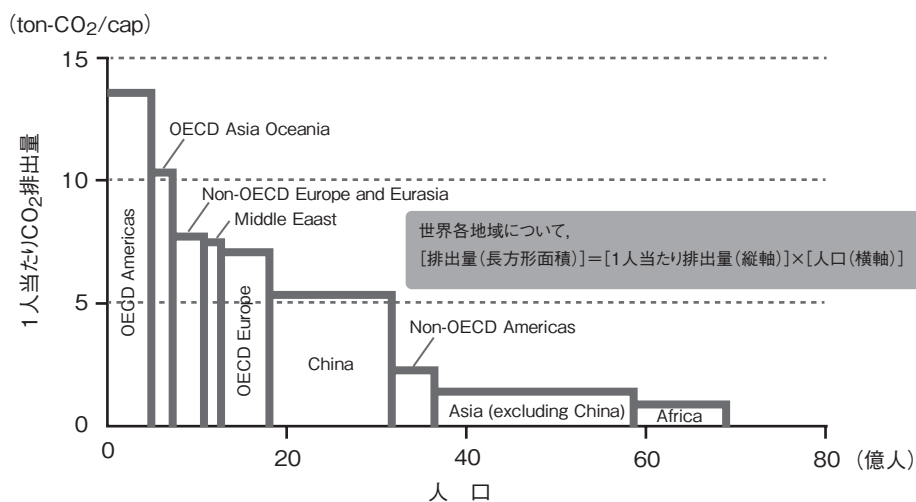


図 10 国際的な気候変動対策枠組み構築への取組み



(出所：OECD/IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2012)

図 11 化石燃料燃焼からの CO₂ 排出量（2010 年）



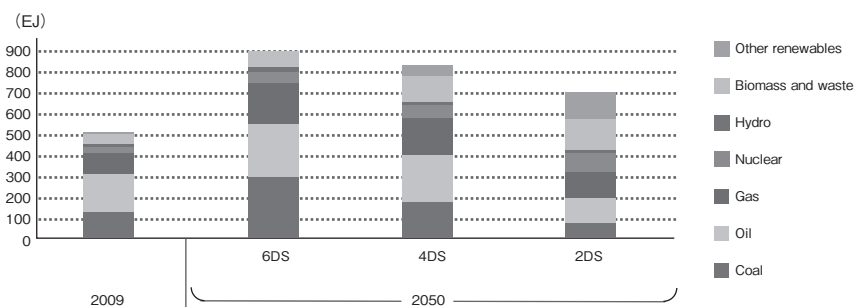
(出所：OECD/IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2012 を基に作成)

図 12 一人当たり CO₂ 排出量と人口 (2010 年)

図 13 は IEA の『エネルギー技術展望 2012 年版』における世界の一次エネルギー供給量です。図 14 は CO₂ 排出量で、産業革命前からの世界気温上昇目標により 6℃、4℃、2℃ということで、シナリオもそれに対応する名前がついています。図 12 の縦軸の単位は, EJ(エクサジュール)なのですが, 1 EJ は石油換算で約 2,400 万トンですので, 2009 年の約 500EJ というのは約 120 億石油換算トンに相当します。

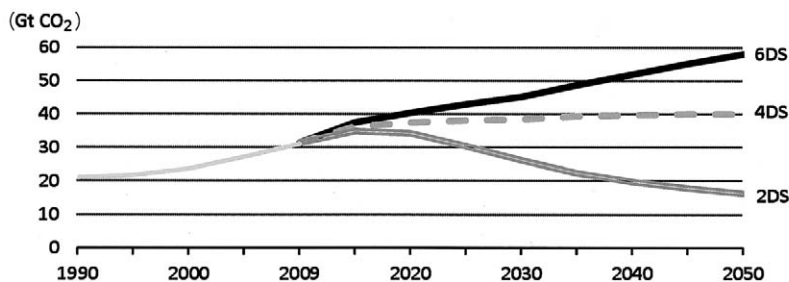
6℃シナリオ (6DS) では, 2050 年の CO₂ 排出量は 2009 年の倍になっています。増加のほとんどが石炭, 石油, ガスといった化石燃料の増加分です。温度目標が, 4℃, 2℃と低くなるほど最終エネルギーの省エネルギーやエネルギー転換の高効率化でエネルギー供給量が減っています。

また, 再生可能エネルギーや原子力の相対的なシェアも増えています。なお, 温度目標



(出所：OECD/IEA Energy Technology Perspectives 2012)

図 13 世界の一次エネルギー供給



(出所：OECD/IEA Energy Technology Perspectives 2012)

図 14 世界の CO₂ 排出量

が低い場合は特に、化石燃料の部分についてはCO₂回収貯留（CCS）技術の導入も見込まれています。

その結果、世界のCO₂排出量は、6DSと2DSでは、2050年時点に大きな差が出てきます。2DSでは2020年にはもう減少が始まることになっていますが、これはかなり無理なシナリオではないかと個人的には考えています。実際には、4DSや6DSの線に近づいて、それからかなり減らしていくということをしていないと、累積排出量で見た目標達成はかなり難しいと思います。いずれにしても供給側と需要側の対策を総動員しないと、2DSのような超低排出シナリオの実現は難しいと考えます。

社会合意形成

技術基盤があり、低コストであっても、社会的にその技術が選択されないことがあります。地域の事情によっても異なるわけですが、例えば、ドイツの陸上CO₂貯留や原子力、ヨーロッパのシェールガス採掘などがそうです。また、未知のもの、よく分からないものに対して漠然とした不安（社会的な認知リスク）があるのですが、潜在的な影響がよく分からないままでも、すでに使われているものもあります。その例の1つが「遺伝子組み換え作物」で、飼料や加工食品として日本にも大量に輸入されています。もう1つはナノテクです。日焼け止めに「SPF」（紫外線防御指数）が表示されていたりしますが、紫外線反射剤として、微小なナノテク粒子が入っています。

ナノテクは、エネルギーの世界でもこれから活用が進んでいきます。半導体設計など非常に微細な加工を要するものに应用されたり、材料自体をナノテクによって作ったりと、徐々に採用されるということです。

技術レベルと研究開発

世の中には、原理がわかっていても実用化

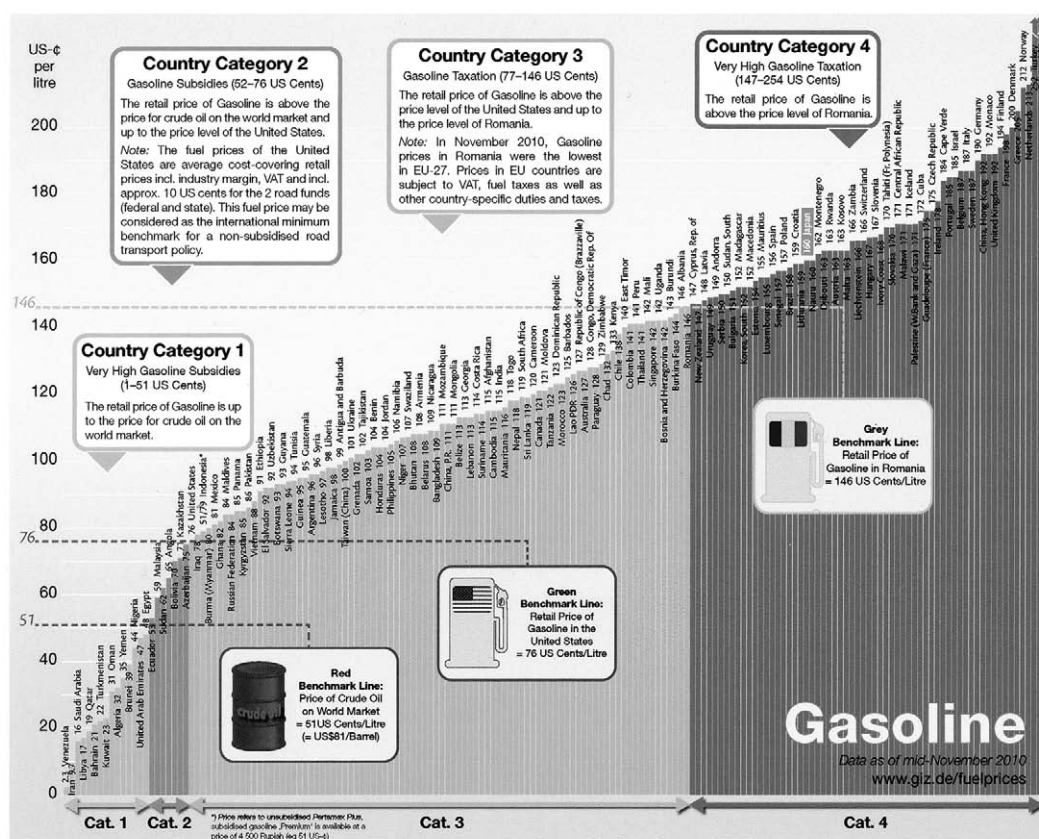
されていない技術シーズ群というものがあります。従来からアメリカは先端技術の軍事転用を意図した「ARPA」というプログラムが行われ、現在の「DARPA」の研究があります。これは基本的には固定観念に捉われず自由度の高い研究を行うということで、その研究成果の一部が、例えば、分散型のネットワークであるインターネットの通信手順、パケット通信とかです。GPSなどもその成果としてよく知られています。

「ARPA」のエネルギー版が「ARPA-E」で、米国エネルギー省（DOE）が進めています。このプログラムは2009年に始まり、革新的で効果が大きいトランスフォーマティブな技術の開発を目標としています。これには領域指定型とテーマ公募型があります。領域の例は次のとおりです。

- 電力変換
- エネルギー貯蔵
- 建築物省エネ空調
- 光合成以外の反応によるバイオ燃料
- グリーン電力ネットワーク統合
- 高温熱貯蔵・利用
- CO₂回収用素材
- 運輸用天然ガス
- 非可食部植物利用石油代替燃料
- レアアース代替物質
- 生物学的メタン生成
- 軽金属生産&リサイクル
- ワイドギャップ物質

この分類自体は日本でも着目されている分野とかなりオーバーラップしています。ただし、「光合成以外の反応によるバイオ燃料製造」など新しい視点も含まれています。

また、テーマ公募型の中には、空中風力発電などの面白いテーマが含まれています。今回はその全貌を示す時間がないのですが、時間があればみなさんも「ARPA-E」でインターネット検索をやるとご覧になれるので面白いのではないかと思います。



(出所：ドイツ GIZ 資料 (2010 年 11 月時点))

図 15 世界各国のガソリン価格

経済性要因

最後に、消費者から見れば経済性要因ですが、社会全体から見ると社会・制度要因である、世界各国のガソリン価格のデータを紹介します。図 15 はドイツの国際協力公社 (GIZ) でまとめているもので、2010 年 11 月の世界各国の 1 リットル当たりガソリン末端価格を安い順から高い順に並べてあります。この時点で一番安いのはベネズエラの 23 セント。高いものではデンマーク、ギリシア、オランダ、トルコなどの 200 セント以上。日本は 160 セントです。

各国のガソリン価格に大きな差がありますが、これは主に補助金や税金の差によるものです。中東など産油国では意図的にガソリン価格が低く抑えられているということが分かります。このような価格差があると燃費に基づく自動車の選択などに非常に大きな影響があると思います。

システムに変化をもたらす力

エネルギーシステムを始め、システムというものについて考えてみます。図 16 は、システムの変化について考えたものです。システムには基本的な方向性であるトレンドがあります。それが様々な外力・内力であるイベントが小さいうちは戻る力が働くのですが、トレンドを超えるような非常に大きい力、またはイベントが連続して作用するようになると、トレンド自体の方向が大きく変化するこ

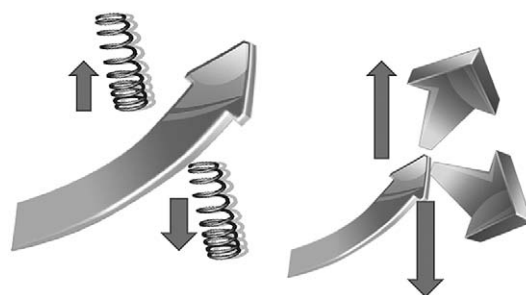


図 16 トrendとイベント

とがあります。例えば、石油危機や3.11がもたらしたエネルギーシステムの大きな変更がその好例だと思います。

イベントの例として、どのようなものがあるか。まず、エネルギーの外側で「好ましくないイベント」というものを考え、便宜的にイベントを「天災」と「人災」に分類します。

イベントに備えてその影響を少なくするためには、兆候を捉える、影響を軽減する社会システムを構築するといった事前の対策、復旧を迅速にできるようにする事後対策といったものを、制度社会要因・技術の面から整備する必要があります。

エネルギーシステムとしては、エネルギーの供給や需要手段の多様化、輸送ノードや経路における復旧手段やチャネルの準備と多様化がそれに相当すると思います。

は影響を減らしていく考え方で、気候工学は気候システムそのものに介入する考え方です。

適応策として、IPCC『第4次評価報告書』で、代表的な4分野（水、農業、インフラ・居住地、健康）で以下の指摘がなされています。

●水分野

雨水の収集、水貯蔵と節水、再利用、海水淡水化、水利用と灌漑の効率化

●農業

作付け時期と品種の調節、作地移動、土地利用管理

●インフラ・居住地

居住地移動、護岸堤・高潮バリア、砂丘補強、湿地創出、自然防護帯保護

●健康

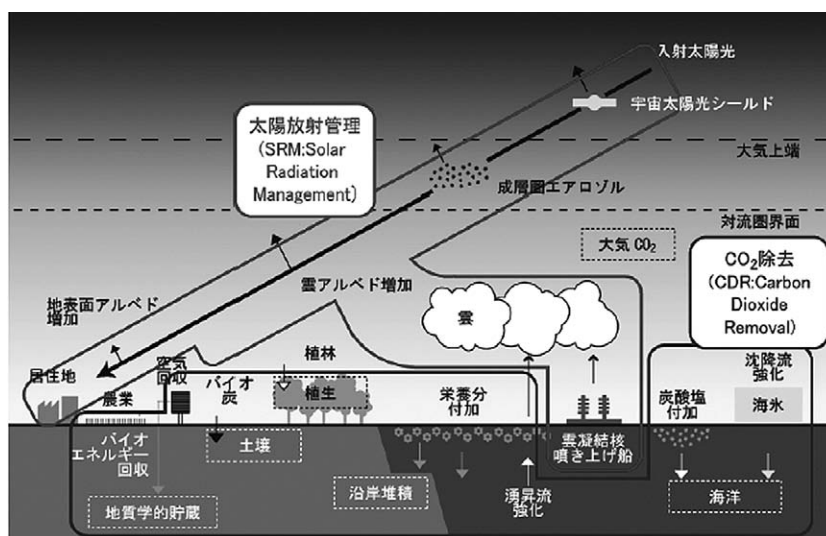
暑さ対策行動計画、緊急医療サービス、気候感度の高い疾病調査と対策改善、安全な水の確保と衛生状態向上

気候変動発生時の対応

適応と気候工学

気候変動が顕著になった時の対策に、適応と気候工学という考え方があります。適応策

図17は、人為的に気候に介入する「気候工学（ジオエンジニアリング）」のイメージです。太陽放射管理であるSRM（Solar Radiation Management）とCO₂除去（CDR：Carbon Dioxide Removal）と



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

図17 「気候工学」による温暖化対策のイメージ

Carbon Dioxide Removal) があります。先日公開された IPCC『第5次評価報告書』にもこのジオエンジニアリングの記述がありました。

SRMは太陽放射のエネルギーを抑制するオプション群です。そのうち「成層圏エアロゾル」には、類似する自然現象として火山噴火があります。この場合は、数年にわたって気温が下がることが知られています。

CDRはCO₂を空気中から直接回収する、または、バイオマスなどを通じて間接的に回収して貯留する方法です。基本的には、「負の排出」を意図しています。

このSRMやCDRについては、当所で実施中の研究プロジェクトで評価中です。

エネルギーのイベント

エネルギーシステム自体に含まれる変化のタネについて考えてみます。エネルギー価格は乱高下しますが、例えば、石油価格が上がると色々な変化が起こると考えられます。

エネルギーの代替や省エネルギーが進んだり、固定価格買取制度（FIT制度）などによって社会的に導入が促進されることは分かりやすい変化です。また、核融合やメタンハイドレート、宇宙太陽光などの非常に先の革新的技術が実用化されれば、エネルギー供給コストが低下します。また、高速情報ネットワークの各種サービスや家事ロボットなど新しいサービスや製品が普及すると、エネルギー需

要も増加します。また、省エネルギー製品自体が普及すると、エネルギーの実質コストが安くなるので、「省エネインセンティブ」が低下し、場合によっては、エネルギー需要自体が増加してしまう（リバウンド現象）も懸念されます。

まとめ

世界的には、人口増加と都市化、経済成長によってここ数十年の間はエネルギー消費の増加が確実です。また、エネルギー消費の増加に伴うCO₂排出増加の程度は、エネルギー需給システムの選択によってかなり異なっています。

基本的な方向性であるトレンドは、様々なイベントによって大きく変化することがあります。イベントの悪影響を低減できるような社会戦略、エネルギー戦略、気候変動戦略が必要で、技術はその一要因です。どのようなイベントが起こっても対応できるよう技術の備えをしておくことが有意義です。

午後に報告する「エネルギー供給源と最終エネルギーの種類やその利用技術」を転換貯蔵や輸送技術・輸送システムの点から適切に組み合わせていく、また、分散と集中を組み合わせ賢く使うことが有効な対策になります。以上で報告を終わります。

如何なる未来に備えるか（その3）

～エネルギーの使われ方

石本 祐樹（プロジェクト試験研究部 水素エネルギーグループ 主任研究員）



はじめに

先の2つの講演では過去を振り返りまた、将来のエネルギー需要に影響を与える要因について見ました。ここでは、現在のエネルギーの使われ方、また、この状況が持続することで生じる課題を概観し、その解決に必要な技術と考え方を報告させていただきます。

なお、本日は石本が講演させていただきますが、当研究所の都筑和泰研究員との連名による報告であることをご了解いただければと思います。

統合評価モデル GRAPE による評価

人間活動とエネルギー使用との関係

図1に人間の活動とエネルギー使用の関係を示しました。エネルギーは、左側の一次エネルギーから、転換、最終需要、そしてサービス需要と左から右へ流れていきます。

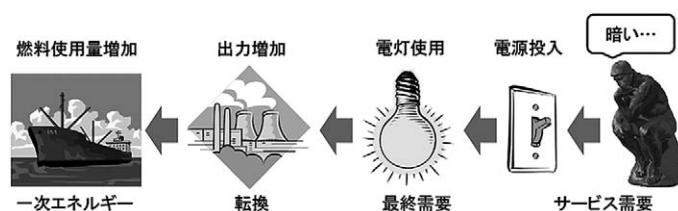


図1 人間活動とエネルギー使用との関係

しかし、ニーズについては、人間のある欲求、例えば「暗い」と思うとスイッチを入れて電灯がつく、そして発電所の出力が増加し燃料使用量の増加につながるというように、流れは右から左、エネルギーの流れとは逆の流れになります。当然、エネルギー消費は人間活動に起因するものです。そして人はエネルギーそのものではなく熱や動力、照明などのサービスを要求しています。従って、エネルギー消費を考えるには、人間活動に必要なサービスに対する需要から、転換、一次エネルギーまでの各過程を考える必要があるのです。

ここで「サービスに対する需要」は、例えば、人を運ぶ旅客運送であれば、人一人を1km運ぶ、人kmという単位で集計されるようなものです。

GRAPE による評価手順

エネルギー消費を考える際、なるべく定量的に考える必要があります。ここでは当所が開発した統合評価モデル GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect the Environment) を用いた、エネルギー需要見通しの計算例を示します。

図2は GRAPE の地域分けです。世界を 15

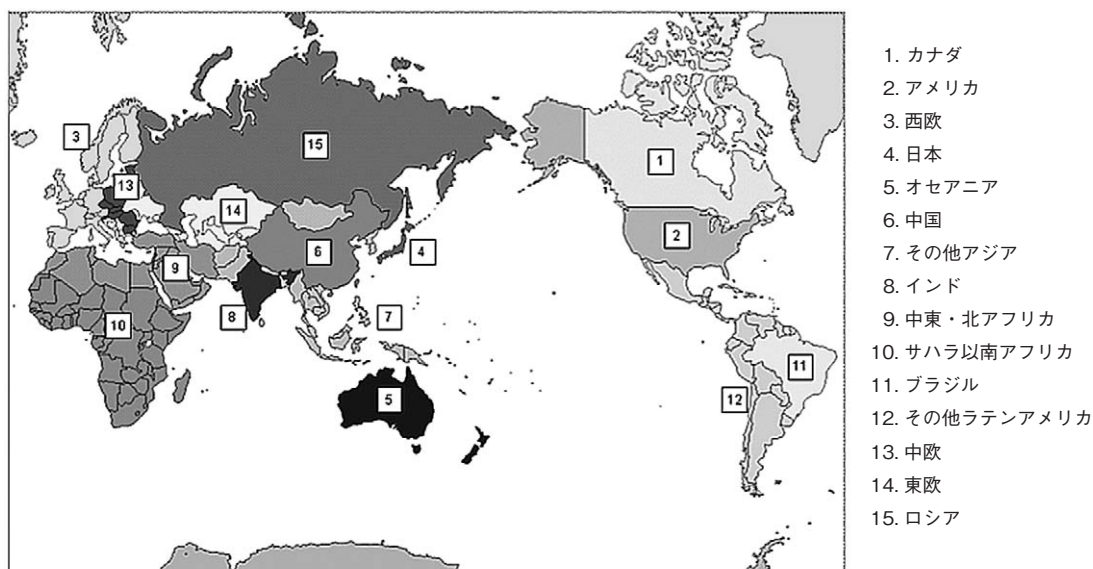


図2 統合評価モデル GRAPE による地域分け

地域に分けています。統合評価モデルは、超長期の環境影響を評価するためのモデルです。このモデルは、エネルギーを評価するエネルギーモジュール、気候変動とそれが経済等に与える影響を考えるモジュール、土地利用や経済のモジュールで構成されています。

ここではエネルギーモジュールを使って、設定したエネルギー需要を満たすエネルギー供給量を計算しました。評価手順は次のとおりです。

- ① 発電，運輸，（主に産業と民生の熱需要で発電は除く）定置需要で，まず各部門のエネルギー需要を推定
- ② 想定するエネルギーフロー，利用可能な技術オプションのパラメータの設定
- ③ 二酸化炭素（CO₂）排出制約等の制約を満たし世界全体のエネルギーシステムコストが最小になるようなエネルギーの需給構成を探索・決定（ここで世界全体のエネルギーシステムコストとは，技術のコスト，各地域で使う資源のコストなど全ての総和）
- ④ 計算結果として，地域別のエネルギー需給，CO₂排出量などの量を出力

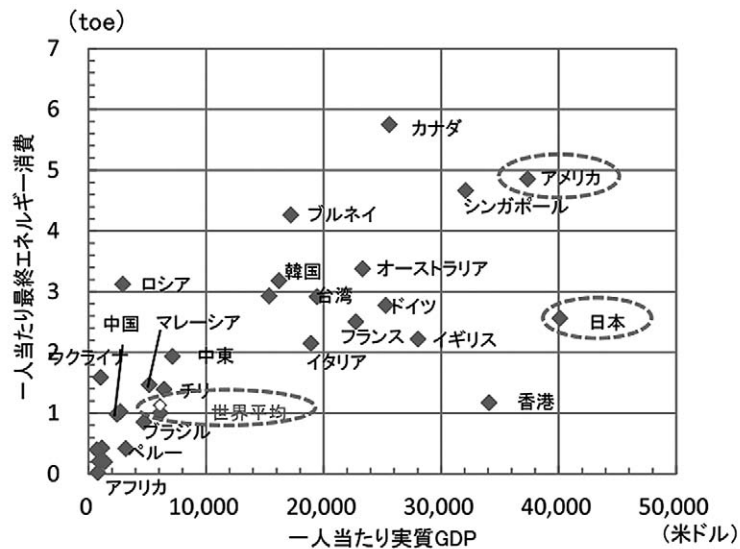
なおここで，GRAPE については，「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の報告書で評価結果が利用されたり，米国電力研究所（EPRI）のプロジェクトで，マサチューセッツ工科大学やメリーランド大学の評価ツールと並んで選定されたりといった実績があります。

GRAPE の入力データ：一人当たり GDP

最終エネルギー消費量は，一人当たりのエネルギー消費と人口に分解できます。図3は，一人当たりの国内総生産（GDP）と最終エネルギー消費の関係です。世界平均は，かなり左下にある◇です。

一人当たり GDP が同じくらいのアメリカと日本でも差があります。国土の広さが違う，省エネ技術の導入具合が違うといった様々な要因が影響しています。各国間でばらつきはありますが，一人当たり GDP と最終エネルギー消費には，全体として右上がりの相関関係があります。

世界人口は増加傾向にあります。今後，途上国が経済発展すると，最終エネルギー消費を構成する2つの項目，一人当たりのエネルギー消費と人口の両方が増加し，エネルギー消費量も増えていくと言えます。



(出所：EDMC エネルギー・経済統計要覧 2013 のデータを基に作成)

図3 主要国の一人当たり GDP と最終エネルギー消費との関係

最終エネルギー消費の想定

2010年までの統計データを使用して、100年後、150年後のエネルギー消費について推計する必要があります。GRAPEでは、エネルギーの消費部門を電力、運輸、定置の3部門に分け、それぞれ一人当たりのGDPから各部門のサービス需要を推定して、最終エネルギー消費を積みあげ、2100年までを推定しています。

図4はエネルギー需要の推移ですが、左側が先進国、右側が途上国の推移です。今回の推定では、先進国ではエネルギー需要がある程度増えた後に横ばいになります。一方で、途上国ではどんどん右肩上がりですべて伸びていくと想定しています。

エネルギー効率の着実な向上は想定していますが、社会構造の変化はあまり想定していません。例えば、千人当たりの自動車保有台数については、途上国が経済発展する際、先進国の数字を追いかけるように保有台数が増加すると想定しています。

CO₂ 排出量と一次エネルギー使用量の推移： 温暖化対策無しの場合

温暖化対策設定の計算結果の一例として、新たな温暖化対策をしない場合（今くらいの温暖化対策をし続けること（BAU：Business As Usual））を考えました。計算する際に、CO₂の排出制約は入れていません。すると、

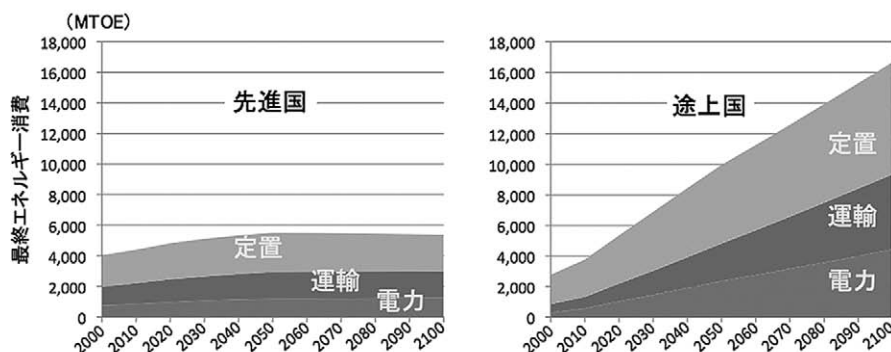


図4 主要国の一人当たり GDP と最終エネルギー消費との関係

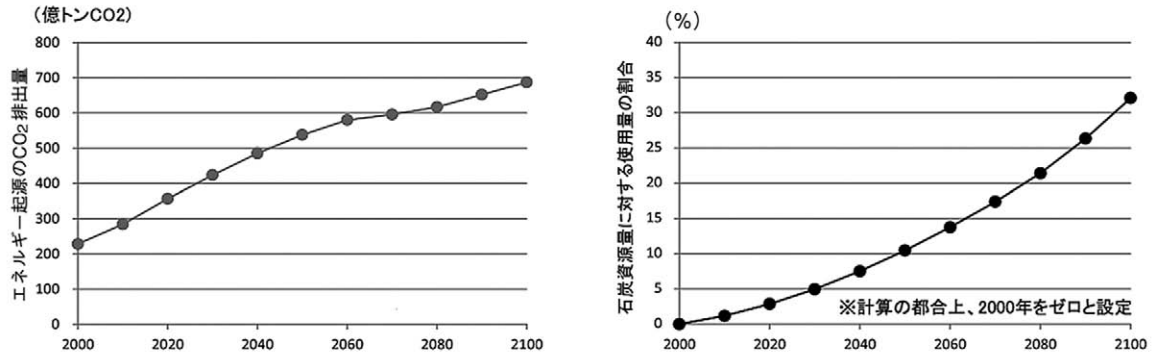


図5 世界のCO₂排出量と石炭使用量（累積）の推移

2050年の一次エネルギー消費量は2000年の約2.3倍という結果が出ました。

この結果が、供給にどれくらいのインパクトを与えるか。図5に例としてCO₂排出量の推移と世界の石炭使用量（累積）の推移を示しました。世界の石炭の累積使用量は、2100年では資源量の30%強になります。資源量はまだありそうな感じですが、これがどんどん増えていき、2150年では7割程度を消費してしまいます。長期的にこれは持続可能ではありません。

また、化石燃料を多く使うので、2050年のエネルギー起源のCO₂排出量は2000年の約2.4倍になります。

以上より代表的な長期的課題として、化石燃料需給のひっ迫、それに伴う地球温暖化への影響の2つが重要であると言えます。

CO₂排出量と一次エネルギー使用量の推移：
温暖化対策を講じた場合

温暖化対策をしたケースであればどうなるか。CO₂排出シナリオとしては、2℃シナリオや450ppmシナリオとは少し違うZ650シナリオを使っています。Z650も平均気温を2℃上昇に抑えるシナリオですが、短中期では450ppmシナリオよりも多くのCO₂排出量を許容します。そのピークが2030年くらいですが、その分、22世紀半ば以降は排出量ゼロというシナリオです。

図6に、Z650シナリオのCO₂排出量を実現する一次エネルギー消費量の推移を示しました。一次エネルギー供給構成としては、化石燃料、原子力、再生可能エネルギーとなっていて、供給側の脱炭素対策として、原子力、

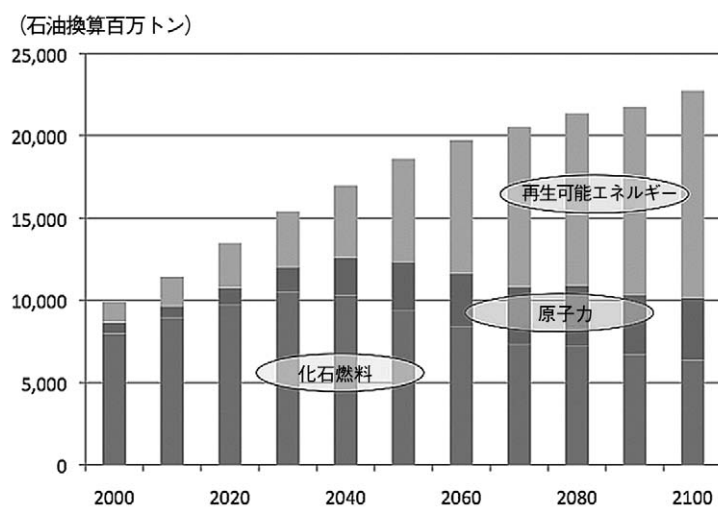


図6 世界の一次エネルギー消費量の推移

再生可能エネルギー、二酸化炭素回収・貯留（CCS）が中心になってきます。このケースでは、最終エネルギー消費の各部門で1～2割程度の省エネを設定しています。

2030年頃をピークに、化石燃料の消費量がだんだん減っていき、原子力、再生可能エネルギー、特に、再生可能エネルギーの伸びが大きくなっていく結果となっています。

未来のエネルギー供給構成を実現する技術

図6のような供給構成を実現するには、どれくらいのスピードで技術導入をしていかなければならないのでしょうか。一言で言いますと、これまでに経験したことがないような速度になります。原子力の場合、世界で100万kW級の発電所を36基程度、毎年継続して導入し続ける必要があります。2050年には1,800基程度になりますが、現在400基程度です。約4.5倍の増加となります。この普及速度は、原子力発電の導入初期である1980年代と同じであり、必ずしも不可能という数字ではありませんが、実現にはかなりの努力が必要です。

太陽光、風力を中心に、大きく伸びるとされる再生可能エネルギーも、太陽光が前年比10%増、風力が前年比15%増で、2050年まで継続して毎年増設していく必要があります。太陽光、風力とも国際的な団体がありますが、その団体が示している高成長シナリオを上回るような数字です。CCSに関しては、2030年以降、ほぼすべての新設火力発電所に設置する必要があります。

従って、1つでも技術導入が遅れると図6の供給構成の実現は難しくなってきますから、需要側での更なる努力も含めて総合的な対策が必要であると考えます。

エネルギー消費構造の革新

そこで、技術によってエネルギー消費構造を革新していく必要があると考えています。図7に示すように、「サービス需要の増大」から最終的には「化石エネルギー消費の増大」、「CO₂排出量の増大」までの連鎖を各段階で切っていく必要があります。そのための技術開発の推進が必要となります。

例えば、「サービス需要の増大」と「最終エネルギー消費の増大」の連鎖を切るところでは、各需要分野の機器効率の向上が挙げられます。また、「最終エネルギー消費の増大」と「一次エネルギー消費の増大」のところでは、発電効率の向上や転換ロスの減少などが挙げられます。また、「一次エネルギー消費の増大」と「化石エネルギー消費の増大」のところでは、非化石エネルギーの増大が挙げられます。最後に、「化石エネルギー消費の増大」と「CO₂排出量の増大」のところでは、CCS技術の導入などが挙げられます。

このどこかの連鎖を完全に切ることができれば、「サービス需要の増大」と個々の関係がなくなるわけですが、実際のところ、完全に切るのは難しいと思いますので、それぞれのところで最大限の技術開発をすることが必要だと思います。

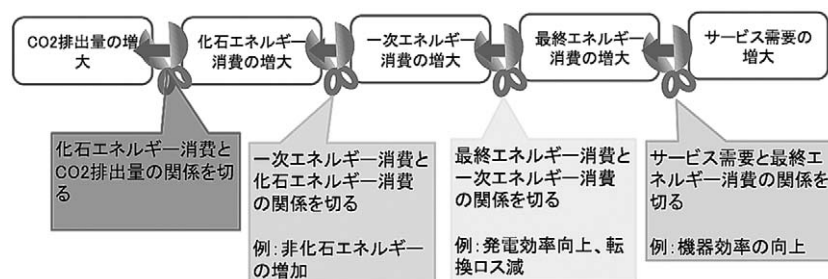


図7 技術によるエネルギー消費構造の革新

日本のエネルギー消費構造と運輸部門

具体的にどのような分野で技術開発が必要か、日本のエネルギー消費構造を例に説明させていただきます。

図8にはサービス需要と最終エネルギー需要の関係を示しました。まず、サービス需要として人間の欲求があります。例えば、移動したい、輸送したい、暑いまたは寒いのでエアコンをつけたい、1日の終わりにお風呂に入りたい、お腹が空いたのでレストランに行きたい、または自ら調理する、販売するための製品を作りたいといったことです。

そして、エネルギーの単位では表せないものもある「サービス需要」からエネルギー単位で表す「最終エネルギー消費」の間には、「変換効率」というものがあります。「変換効率」を上げることで、需要を満たすのに必要なエネルギー消費量を減らすことができます。しかし、この変換効率の実態は需要ごとに極めて多様で、各分野での対応が必要です。

2010年の日本の最終エネルギー消費量は、多い順に、産業、運輸、家庭、業務となります。例えば、産業分野では、鉄鋼、化学、紙パルプ、窯業で半分近くを消費しています。産業分野のエネルギー消費量は、1970年代の石油ショック以降、省エネ法等の施行により、横ばい推移してきています。運輸部門の9割近くを自動車で消費しています。

従いまして、産業分野の次にエネルギー消

費量が多い運輸部門で輸送エネルギーの消費を低下させる技術が必要になってくると考えています。

日々の省エネには意識が必要ですが、それを継続していくのは大変な努力や忍耐を要します。従って、そんな「意識の省エネ」や「我慢の省エネ」というところから、ICT技術を利用して「お任せの省エネ」を行うような「スマート化の技術」の開発が必要と考えます。「スマート化の技術」というのは、業務、家庭だけでなく、エネルギー消費全体に影響を与え得る技術です。

日本のエネルギー消費構造と転換・貯蔵技術

もう1つの重要分野として、一次エネルギーから最終エネルギー消費に変換する際のエネルギー転換・貯蔵技術があります。図9の数字が示すように、一次エネルギー消費は最終エネルギー消費の約1.5倍です。この差が転換によるロスです。従いまして、エネルギー転換分野の技術開発によって転換ロスを減少させる必要があります。

また、CO₂排出量を低減させるために、再生可能エネルギーの増加が挙げられています。再生可能エネルギーのうち、出力が変動する太陽光、風力に関しては、エネルギー貯蔵のニーズが出てくると考えます。そこでエネルギー貯蔵分野での技術開発を進めていくことが必要と考えています。

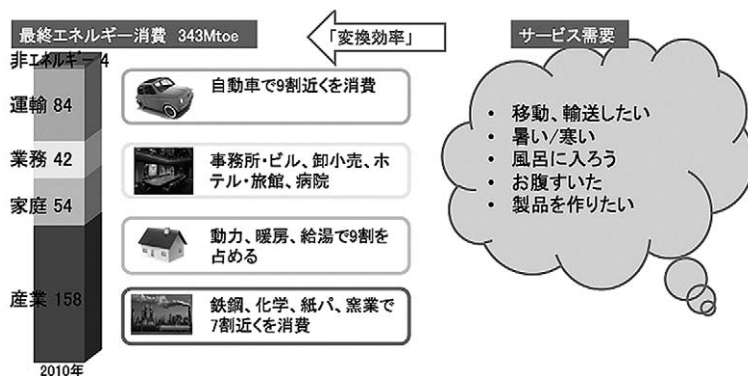


図8 日本のエネルギー消費の内訳

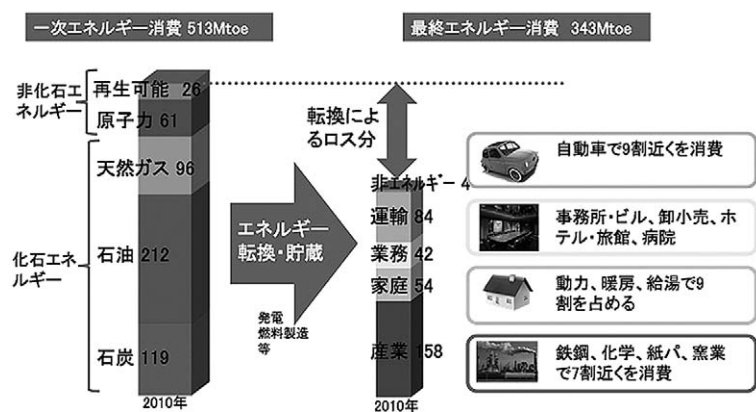


図9 日本のエネルギー消費と転換・貯蔵技術

図7にある、「サービス需要の増大」から「CO₂ 排出量の増大」までの連鎖を各段階で切するための技術を開発していくわけですが、本日午後の講演で重要な分野としてご紹介させていただくのは、転換・貯蔵技術と輸送技術、スマート化です。例えば、「化石エネルギー消費の増大」と「CO₂ 排出量の増大」の連鎖を切るところでは、CCSを使うといった技術、「一次エネルギー消費の増大」と「化石エネルギー消費の増大」の連鎖を切るところでは、再生可能エネルギーを含む未利用資源の使用や輸送用エネルギーの非化石化などが挙げられます。「最終エネルギー消費の増大」と「一次エネルギー消費の増大」の連鎖を切るところでは、効率向上や送配電の技術によって、送電ロスを減らすことも有効だと考えています。

最後に、「サービス需要の増大」と「最終エネルギー消費の増大」の連鎖を切るところでは、輸送技術による燃費の向上、スマート化によるスマートコミュニティの導入が挙げられると思います。

消費構造を革新する技術のメリット

エネルギー貯蔵・転換部門の技術開発を進めると、効率向上によって、エネルギー消費量が減るほかに、一次エネルギーの低炭素化も進められます。これには、（バイオマスを含む）再生可能エネルギーや原子力の導入も含まれます。また、多様な資源への対応が進みますと、エネルギー安全保障への貢献もできると思います。

例えば、図10のように未利用低品位炭と再生可能エネルギーを組み合わせた液体燃料の製造があります。今ではあまり利用されていない水分の多い低品位炭で直接液体燃料を製造する時に、再生可能エネルギーを使えば、ライフサイクルで見てもCO₂ 排出量の少ない液体燃料を製造することができそうです。また、未利用の低品位炭とCCS技術を組み合わせて水素を製造するといった方法もあります。

輸送部門の技術開発分野では、人やモノの移動効率を向上させるために、現在様々な次

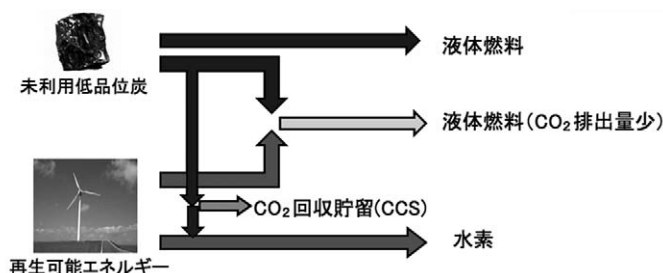


図10 転換・貯蔵技術：未利用低品位炭からの液体燃料製造

世代自動車の開発が進められています。図 11 に示すように、自動車単体での燃費向上のほか、技術の高度化による大型トラックの近距離（4m）隊列走行といった自動車の運用技術の開発で燃費向上が図れる場合もあります。

最後に、スマート化に関連する技術開発としては、図 12 に示すスマートグリッド、スマートコミュニティの構想にかかわる、電力や熱の融通によってエネルギー効率を向上させる技術、活動量当たりのエネルギー消費量やCO₂排出量が少ないエネルギーに対する需要への代替を進める技術などがあります。例

えば、フェイス・トゥ・フェイスで集まって開く国際会議の需要を、ウェブ会議で済ませるという需要に代替させることによって、必要なエネルギーを減らせる可能性もあります。

まとめ

エネルギー消費は人間活動に由来しています。BAU のCO₂排出シナリオの場合、特に途上国の成長を仮定しますと、2050 年では



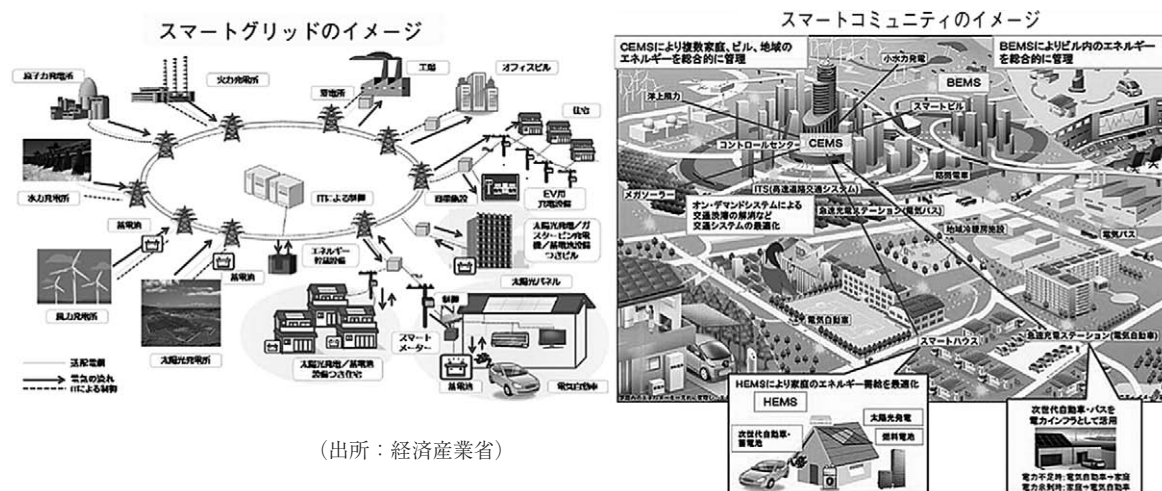
次世代自動車



大型トラックの自動運転・隊列走行実験

（出所：日本自動車工業会、
新エネルギー・産業技術総合開発機構）

図 11 運輸部門の技術開発：人やモノの移動の効率向上



（出所：経済産業省）

図 12 スマート化に関連する技術開発

2000 年比で一次エネルギーの消費量は倍増し、CO₂ 排出量も増加します。長期的には、一次エネルギー供給のひっ迫や、温暖化の影響が代表的な課題と言えらると思います。

そのためには、「サービス需要の増大」と「一次エネルギー消費量の増大」、「CO₂ 排出量の増大」の関係を断ち切る必要があります。もちろん技術面だけで解決できるものばかりではありませんが、技術も大きな貢献ができるということで、供給面の技術開発に加え、需要面での技術開発を強力に推進すべきであると考えています。具体的には、転換・貯蔵技術、輸送技術、スマート化の3つを紹介させていただきます。

以上です。ご清聴ありがとうございました。

期待されるエネルギー技術は（その1） ～転換・貯蔵技術の将来像

坂田 興（プロジェクト試験研究部
水素エネルギーグループ 部長）



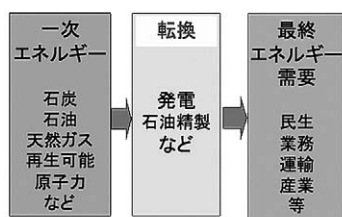
はじめに

第一部におきましては、『いかなる未来に備えるか』と題して、「過去を振り返る」、「将来トレンドを考える」、「エネルギーの使われ方」という3つの講演を聴いていただいたわけです。第二部では、「期待されるエネルギー技術は」という題目で3件お話をさせていただきます。私からは、「エネルギー転換・貯蔵技術の将来像」についてお話をさせていただきますと思います。

エネルギー転換・貯蔵技術を考える前提

エネルギー転換・貯蔵技術とは

図1に、エネルギーの転換と貯蔵の位置づけを一次エネルギーから最終エネルギーへの流れの中で示しました。エネルギー転換技術とは、石油、石炭等の一次エネルギーを、産業、民生、運輸部門で消費される最終エネルギー



に転換する技術のことで、発電、石油精製等がその技術を実施する転換部門です。

図2には、火力発電を例に、一次エネルギーを二次エネルギーに転換する効率の向上、つまり転換技術の向上を示しました。石油、石炭、液化天然ガス（LNG）火力など火力発電の汽力最高熱効率、コンバインド最高熱効率の推移ですが、一貫して熱効率が向上してきていることが分かります。

他方、貯蔵技術とは、変動するエネルギー需要にあわせてエネルギーを供給するための技術です。力学的、熱的、化学的、電磁気的な貯蔵技術があり、社会ニーズ（サービス需要）に対応して進展してきました。

今後、転換技術も貯蔵技術も多様な未来に応じてさらに発展させていくことが必要だと考えています。

エネルギー需給に影響を与えるマクロ環境

多様な未来のエネルギー需給を考えるに当たり、エネルギー需給に影響を与えるマクロ環境について考えてみたいと思います。図3のように、マクロ環境として、社会面、経済面、エネルギー需給面での変化が挙げられます。



図1 エネルギーフローにおける「転換」と「貯蔵」の位置づけ

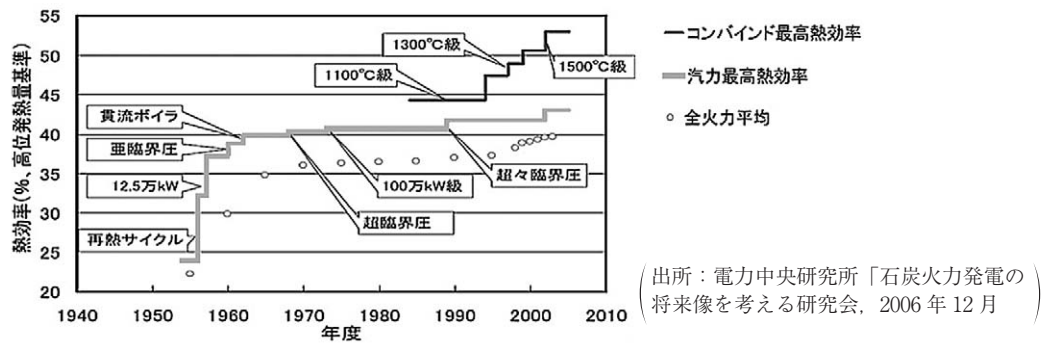


図2 火力発電の熱効率向上

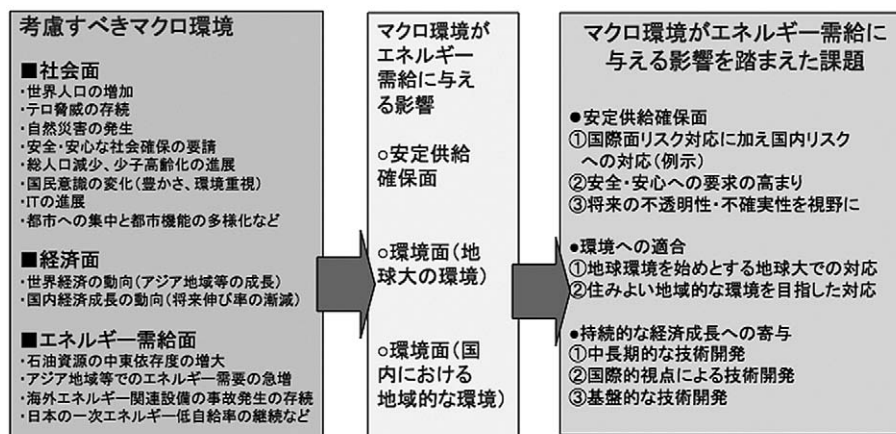


図3 エネルギー需給に影響を与えるマクロ環境

社会面では、世界人口の増加、自然災害、日本に限定すれば、総人口の減少、少子高齢化、国民意識の変換等があります。経済面では、東アジアを中心とする世界経済などが我々に深く関係いたします。エネルギー需給面では、石油資源の中東依存度の増大、アジア地域でのエネルギー需要の増大等があります。

こういったマクロ環境は、安定供給確保、地球温暖化とかの地球規模の環境問題、窒素酸化物(NO_x)や硫化物(SO_x)とか国内における地域的な環境問題に影響を与えます。

この中で、エネルギーの安定供給確保について考えるうえでは、国際面のリスクに加え国内的なリスクも考えなければいけません。それから、安心・安全への要求の高まり。将来への不透明性・不確実性を視野に入れる必要があります。

環境への適合ですと、地球環境をはじめとするグローバルな対応が必要です。それから、

持続的な経済成長への寄与ということでは、技術開発、国際的な視点、基盤的な技術開発という課題があると考えています。

エネルギーの安定供給に関するリスク

表1にリスク例を示しました。エネルギー輸入を考えますと、短期的あるいは偶発的なリスクとして、戦争・軍事紛争、テロ、革命、突発的な事故、それから長期あるいは構造的なリスクとしては、特定の供給源あるいは供給者への過度の依存、投資不足が挙げられています。

一方、国内でのエネルギー供給システムに関しては、短期・偶発的なリスクとしてエネルギー施設での事故、供給システムへの信頼性の喪失、投資不足などがあります。福島第一原発事故以来、大きなインパクトをもって迫ってくるリスクです。

表1 エネルギー安定供給に関するリスクの例

	短期的・偶発的	長期的・構造的
海外からのエネルギー輸入	戦争・軍事紛争・テロ、革命、突発的な事故	特定の供給源(供給者)への過度の依存、投資不足
国内でのエネルギー供給システム	エネルギー施設での事故	供給システムへの信頼性喪失、投資不足

(出所：経済産業省「省エネルギー白書 2005」)

エネルギー転換・貯蔵の基本的な考え方

マクロ環境がエネルギー需給に与える影響は安定供給や環境面で色々出てきます。これから迎えようとしている未来というのはこういったものの組み合わせで、非常に多様なものになると考えます。

多様な未来に対応できる多様なエネルギーシステムを予め想定しておく、例えば、システム A というものを考えてみます。石油輸入の途絶とか、二酸化炭素 (CO₂) 問題で非常に厳しい制約が課されるとか、それぞれの状態に応じてシステムができるわけです。それに対応する転換・貯蔵技術が必要になってくると認識しています。

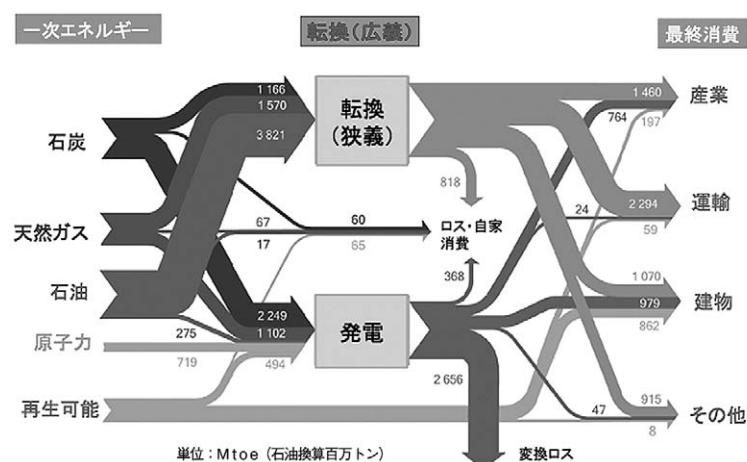
「未来はこうである！」とひとまとめでした議論をするより、その多様性に軸足を置いて、多様な技術をポートフォリオ（一覧表）として意識し、長期的な展望に立って見直しをしながら技術開発をする必要があると考えています。

多様な未来に対応する エネルギー転換技術

エネルギーバランスフローに見る「転換」

「エネルギー転換」という言葉を、もう少し実用的なレベルで定義してみようと思います。図4は国際エネルギー機関 (IEA) の図を下にしています。IEA では、石炭や石油から製品を作る「ケミカルな転換」を「転換」と言っていますが、本講演では、発電も含む広義の「転換」を「転換」と捉えています。

図4にある「狭義の転換」としては、石炭ですと石炭ガス化、石油ですと石油精製、天然ガスですと液化して運んで来た LNG を再ガス化するというようなことです。一方、発電のほうは、火力発電、原子力発電、水力発電、再生可能エネルギーからの発電が技術として



(出所：IEA, World Energy Outlook 2012)

図4 世界のエネルギーバランスフロー (2010年)

挙げられると思います。

マクロ環境が変化し多様な未来が生み出される中で、重点課題として2つを考えてみます。1つは、化石系の一次エネルギーの効率的な利用をいかに進めていくか。在来型資源が枯渇するリスク、地政学的リスクに対処していくということです。もう1つは、CO₂排出量の抑制です。在来型燃料に対しては種々のCO₂排出抑制策が採られて来ておりますが、それを超えるようなCO₂の排出抑制をいかにしていくかが課題になります。この新しいニーズに対応するには、従来の転換技術を拡張させるとともに、新しい転換技術の開発を行うことが重要と考えます。

転換効率の向上に向けた技術開発

発電分野における転換技術の開発については、すでに政府・業界によって積極的な取り組みがなされています。図5ではエネルギー供給側の技術として、高効率天然ガス火力発電、高効率石炭火力発電、超電導高効率送電が並んでいます。

発電以外の転換技術に関しては、本来、幅広いポートフォリオを作っておくべきと考えていますが、本講演では、ポートフォリオに載ってもいいと思う3つの技術例を示させていただきます。

1つ目は、未利用の低品位炭（褐炭等）から液体燃料を製造する技術です。この液体燃料は運輸用で、ガソリン・軽油の代替燃料となります。低品位炭が使えるようになりますと、日本が使える化石資源の量が格段に大きくなります。

2つ目は、同じように未利用の低品位炭から液体燃料を作る過程で、再生可能エネルギーを使って作る、サプライチェーン全体としてCO₂排出量を少なくする方法です。

3つ目は、海外で再生可能エネルギーからの電力で水素を作り、それを日本に運んでくるという方法です。

[低品位炭の転換技術]

低品位炭を原料とした輸送用燃料の製造をターゲットにしています。方法としては、図6に示す、乾留、水素化によって石炭を直接液化する方法、あるいはガス化して一酸化炭素（CO）と水素を得た後、フィッシャー・トロプシュ反応で炭化水素の液体燃料にしたり、合成反応でメタノールを生成したりする方法があります。この辺りの技術に関しては、当研究所でも相当深く研究した実績があります。

[化石燃料と再生可能エネルギーのインテグレーション]

図7は、石炭をガス化して得たCOと水素



（出所：経済産業省「Cool Earth - エネルギー革新技術改革（概要）」、2008年3月を基に作成）

図5 発電分野における転換技術の効率向上への取り組み例

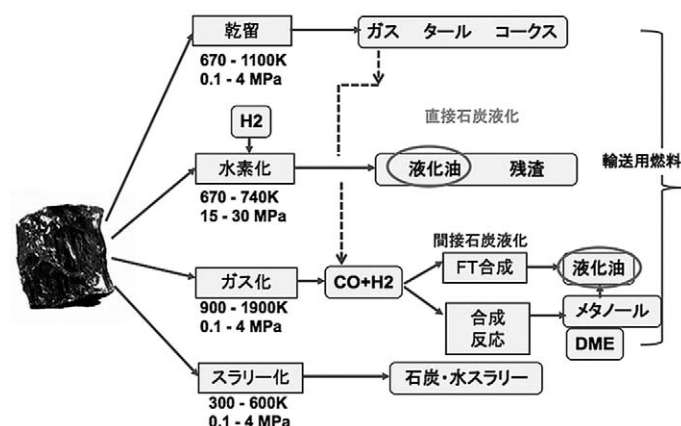


図6 低品位炭の転換技術

をメタノール合成塔に送ってメタノールを製造する技術です。天然ガスも利用可能ならば、水蒸気改質器で水素を作り、石炭ガス化炉から出てきたCOと反応させてメタノールを製造する方法があります。

それをサポートする形で再生可能エネルギーを絡ませています。普通、石炭ガス化や水蒸気改質では、必要な熱源を自ら燃やすことで得ているため、その分だけ熱効率が低下するのですが、太陽集光システムを使って溶融塩等で熱を反応熱として使う方法があります。また、太陽熱や風力・水力といった再生可能エネルギーで発電した電力で、水を電気分解する。その際に得られた酸素を石炭ガス化炉の部分酸化反応に用いる。あるいは、生成された水素を石炭ガス化炉の生成ガスに追

加して、メタノール合成の原料にするという方法もあります。これを理想的な状態で動かすと、CO₂排出ゼロで石炭と天然ガスからメタノールを製造することができます。

[海外再生可能エネルギー由来電力の日本への輸送]

図8に輸送法を示します。まず、再生可能エネルギーで得られた電力を海底ケーブル(直流で常伝導の直流高圧ケーブル)で日本に送電する方法があります。また、得られた電力を使い、現地で水の電気分解をして水素を製造し、その水素を液体水素にするか、有機ハイドライド法でメチルシクロヘキサンにするかして日本に持って来る。そして、国内の火力発電所で燃料にして電力を得るという方法

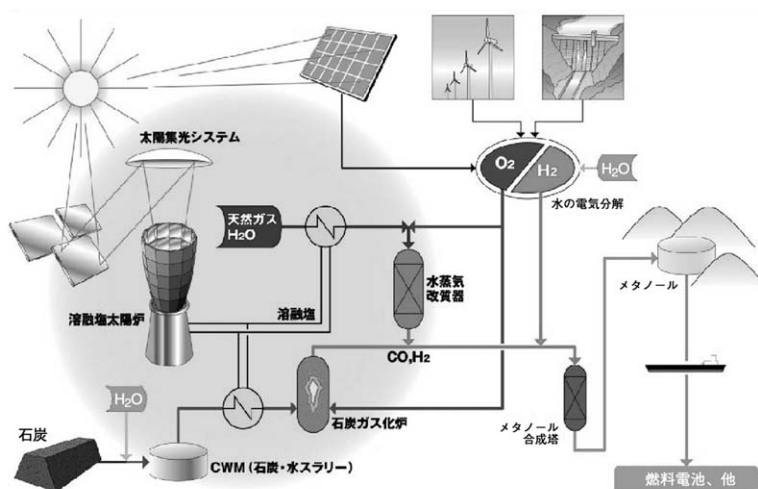


図7 化石燃料と再生可能エネルギーのインテグレーション (ソーラーフューエル概念)

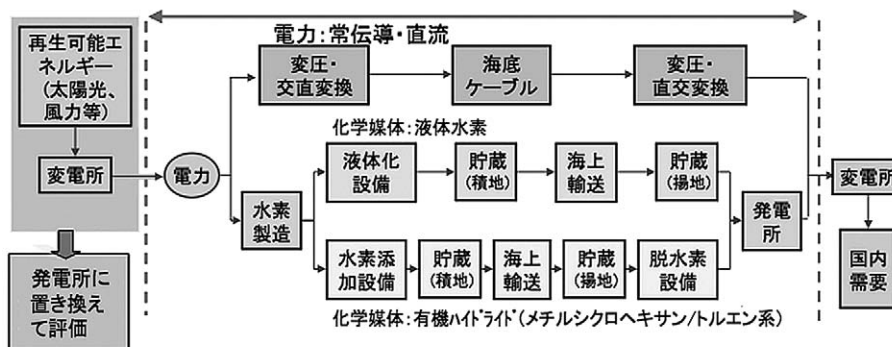


図8 海外再生可能エネルギー由来電力の日本への輸送法

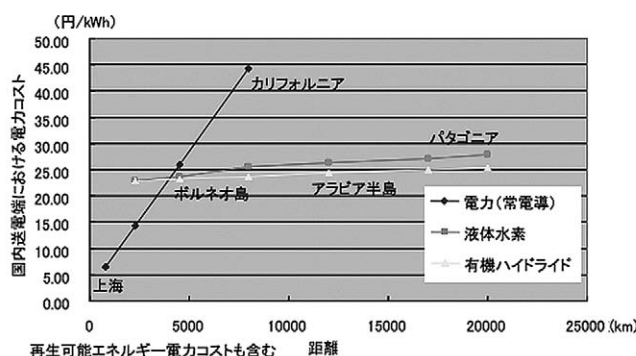


図9 海外再生可能エネルギー由来電力輸送の距離依存性

があります。

それぞれの方法の特性について検討した結果を図9に示します。一番左側が海底ケーブルによる直流高压送電です。これは距離への依存性が高い方法です。これに対して、水素や化学媒体（有機ハイドライド）のほうは距離依存性が低いということが分かりました。図9で見ますと、日本から約4,000kmのところで、海底ケーブルによる送電と化学媒体によるコストが同等になるようです。従って、近いところであれば海底ケーブルによる送電、遠ければ水素に変換して運んでくるのがいいだろう、ということです。

水素エネルギーの需要見通しの検討

海外から水素を日本に運んできた場合、どのくらいの需要を獲得できるか検討しました。検討の際の仮定は以下のとおりです。

需要見通しの計算に用いたのは、当研究所

が開発した統合評価モデル「GRAPE」のエネルギーモジュールです。その際、CO₂制約も採用しています。

1. 下記の燃料により世界各地での一次エネルギー供給を賄い、二次エネルギーに転換した後、3種類のエネルギー最終需要を満たすように想定。
(1) 一次エネルギー：天然ガス、原油、石炭、バイオマス、水力・地熱、風力、太陽光、ウラン等
(2) 需要：電力、運輸、およびその他需要（定置用非電力需要）
2. 水素は世界4地域のみで生産。地域間の輸送を経て、電力、運輸、定置用に供給
3. 世界を対象として、エネルギー需要を満たすためのエネルギー供給および転換構成を考慮し、世界のエネルギーシステムコストを最小化する最適構成を求める。
4. 世界の中長期目標を想定したCO₂制約を採用。
2020年：コペンハーゲン合意後に各国が提出した地域別排出制約
2050年：先進地域（カナダ、米国、西欧、日本、オセアニア）は1990年比80%削減、世界全体で50%削減

図10がモデルの概要です。左端が一次エネルギーで、右端が二次エネルギー、需要側です。途中が転換部門です。

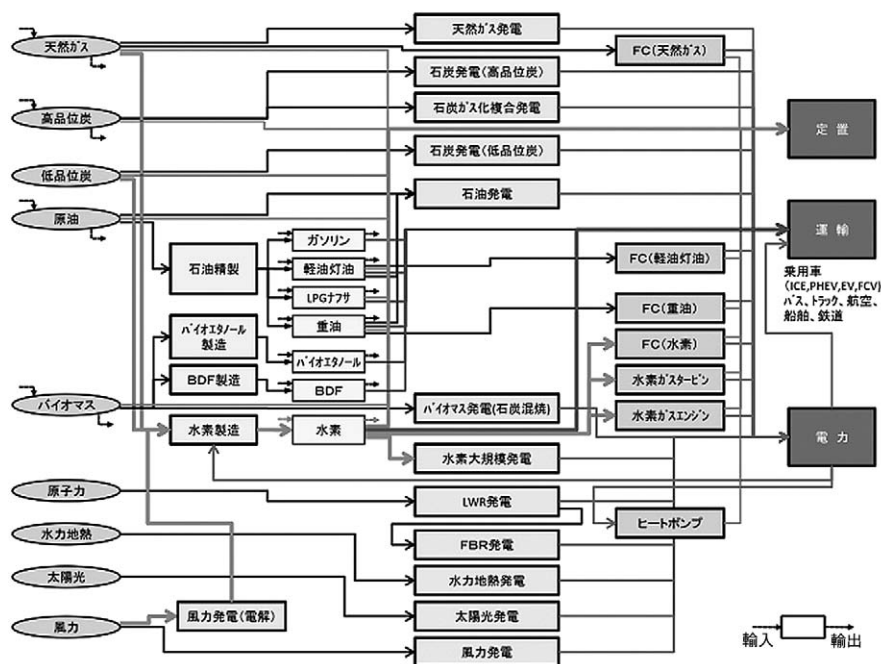


図 10 水素需要評価モデルの概要

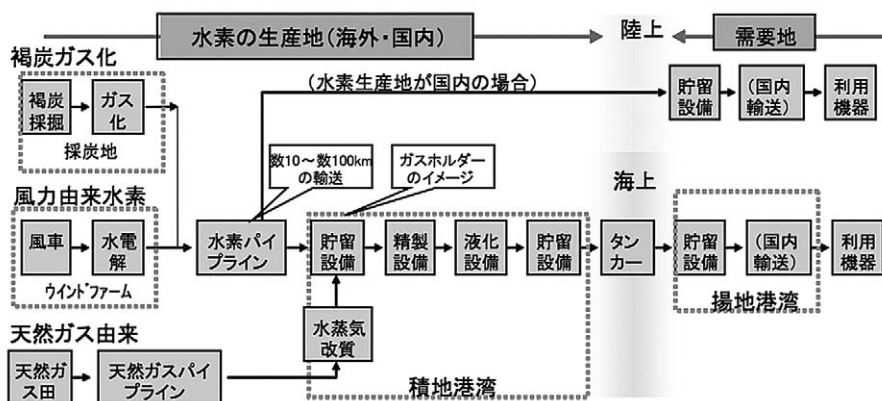


図 11 水素供給のイメージ

図 11 は水素供給のイメージですが、例えば、豪州の褐炭や南米の風力発電で液体水素を製造して、それをタンカーで日本に持ってきて使うというイメージです。

計算の前提として、発電部門では原子力発電の新增設がなく、既設炉は寿命 40 年。炭酸ガスの回収隔離（CCS）は日本国内でも利用可能と仮定しました。ただし無制限に利用できるのではなく、約 2 億トン／年くらいの上限を設定しています。燃料電池車（FCV）は、技術進展と車両価格の低減を仮定しました。

このように仮定して計算した結果ですが、

図 12 は発電電力量の内訳です。世界では 2050 年にかけて軽水炉が伸びていきます。これは CO₂ 制約を満たすために、CO₂ フリーのゼロエミッション電源として原子力を増やすからです。世界では、原子力に対する制約が日本とは違うということです。

日本では二酸化炭素回収・貯留（CCS）が使えると仮定すると、水力、バイオマスといった再生可能エネルギーも相当導入されてくる一方で、天然ガス火力が 2025 年を過ぎたあたりから CCS 付きに変わっていきます。2045 年以降に水素の大規模発電が導入されてくる

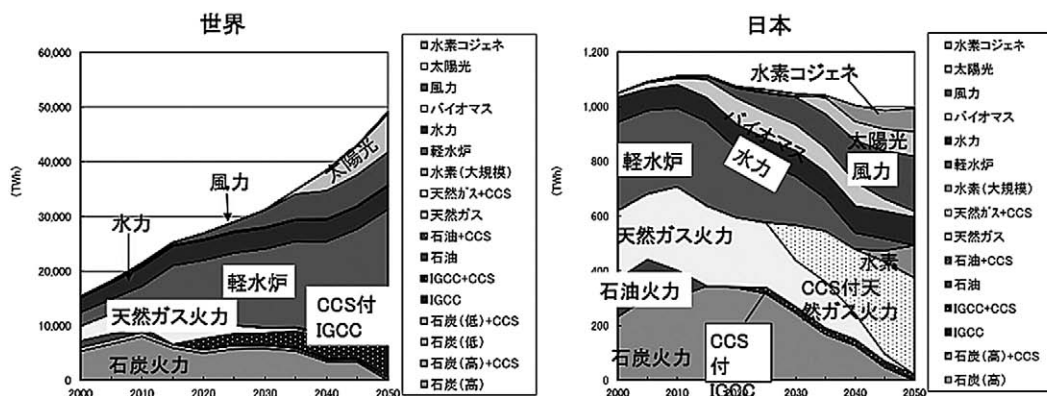


図 12 水素需要見通しの計算結果（発電部門：発電電力量内訳）

ことになるとの結果を得ました。

次に、運輸部門です。図 13 に計算結果を示しました。世界では、FCV、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)が導入されます。2050年にFCVは5.5億台、EVは7.8億台くらいになります。水素はエネルギー

として約24%を占めるという結果です。日本では、FCV、EVが入ります。2040年以降は、発電部門のCO₂ゼロエミッション化が進展してCO₂制約を満たせるようになるので、ガソリン車やディーゼル車といった内燃機関エンジン(ICE)が急速に減っていきます。

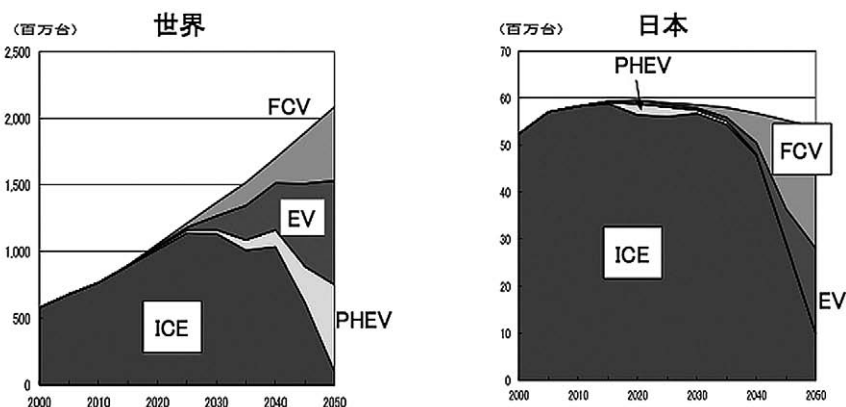


図 13 水素需要見通しの計算結果（運輸部門：乗用車保有台数）

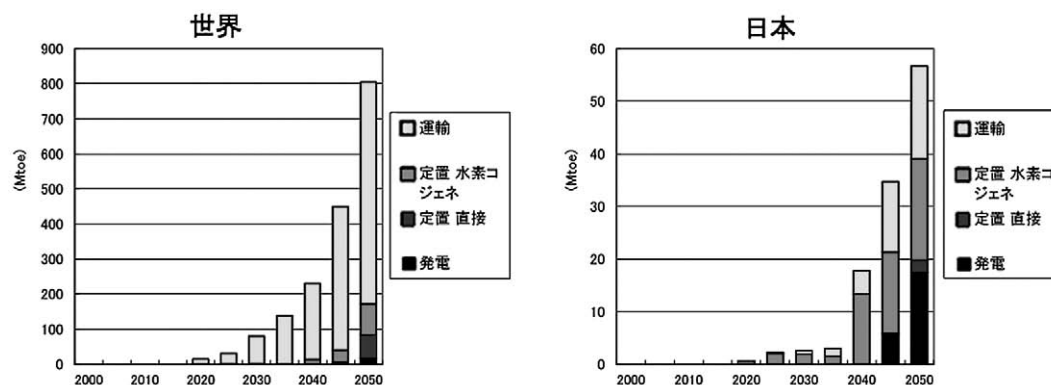


図 14 水素需要見通しの計算結果（水素需要量）

水素需要量は図 14 のようになります。世界では運輸が中心で、日本では発電やコージェネあたりが水素燃料に対する需要の中心になるようです。この違いは、世界と日本の事情の違いによります。世界に関しては、原子力発電や CCS が自由に使えるので、水素に頼る必要がありません。一方、日本には原子力発電や CCS に上限がありますので、水素燃料を使った発電でゼロエミッションを実現しようという選択がなされると考えられるからです。

将来の夢：パタゴニア風力エネルギーの輸送

将来の夢として、アルゼンチン・パタゴニア地方の風力エネルギーを日本に運んでくるケースを計算してみました。

南極の周りには一年中いい風が吹いていますが、そこにオーストラリア南端のタスマニア島、アルゼンチンのパタゴニア地方がかかっています。パタゴニア地方では、一年中、夜昼を問わず同じ方向から同じような強い風が吹いていますから、設備利用率も相当高めに設定できます。パタゴニア風力発電の潜在規模は、日本の電力需要の 10 倍以上(約 9 兆 7,000 億 kWh) と計算されています。日本の電力需要は平成 18 年度で約 8,900 億 kWh です。

パタゴニア風力発電を使って製造した水素を現地で液化して、日本まで運んできた時の

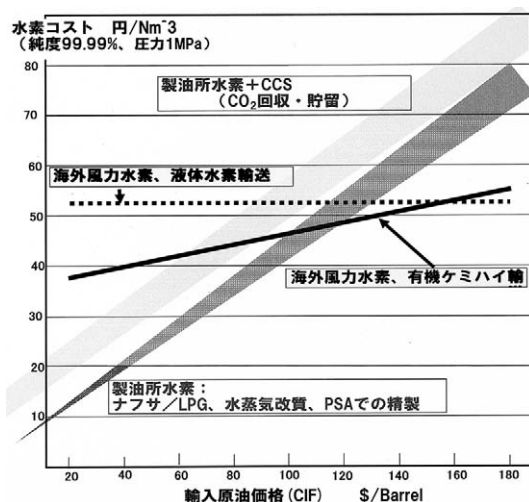


図 15 水素コストの比較

水素コストと日本国内の製油所で脱硫装置用に作っている水素コストを比較してみました。図 15 で分かるように、製油所で作る水素というのは、原料の原油価格に依存しているので高い傾きで上がってきています。上の紫色は CCS コストを上乗せした出荷時の水素コストです。それに対して、パタゴニアで製造した水素は日本に到着した時、距離依存性がないので、線が真横となります。

有機ハイドライドは、タンカーで日本に運んでくるところで燃料を使いますので、その分だけ原油価格の影響を受けます。原油価格が 140 ドル／バレルくらいになると、製油所で製造する水素よりも安価に日本に入ってくる可能性があります。

将来の夢：宇宙太陽発電

将来の夢の 2 つ目は宇宙太陽発電です。1968 年にアメリカのエネルギー省 (DOE) と米航空宇宙局 (NASA) で詳細に概念設計をしています。5km × 20km の太陽電池パネルを宇宙空間の静止軌道に打ち上げて、発電した電力をマイクロ波で地上に送るという仕組みです。マイクロ波だけでなく、レーザーによるエネルギー伝達の研究もされています。遠隔地への有線送電に代わる技術としても注目されています。

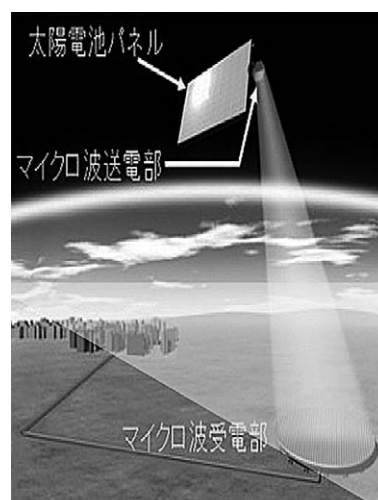


図 16 宇宙太陽発電の概念図

多様な未来に対応する エネルギー貯蔵技術

エネルギー貯蔵の形態

非常に簡単に貯蔵できるエネルギー形態があります。石油、天然ガス、熱がそうです。一方、そのままの状態では貯蔵できないエネルギーがあります。例えば、太陽光、風力発電による電力です。こういったものについては、貯蔵可能なほかのものに変換するということがです。

貯蔵する形態としては、力学的エネルギー、熱、化学、電磁的というものがあります。因みに、化石燃料も太古の太陽エネルギーが固定化され貯蔵されたものですし、食糧も物質に蓄積された化学エネルギーです。

多様なエネルギーの貯蔵技術

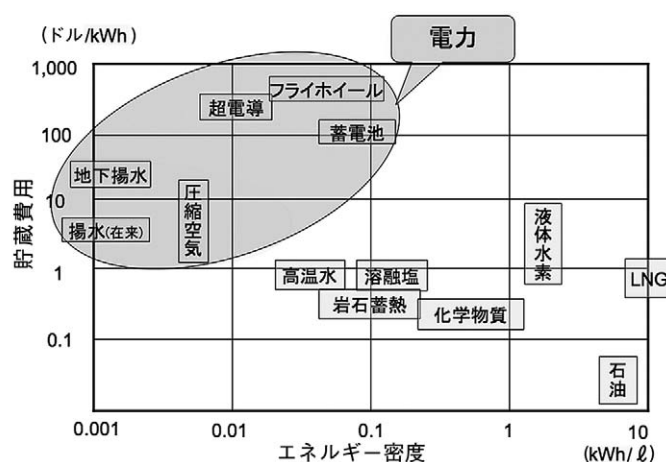
エネルギーの貯蔵技術を図 17 に示しました。石油は数カ月分備蓄しているくらい大規模にやっているわけですが、非常にエネルギー密度が高く低コストでできます。LNG もそうです。それに対して、電気のほうは貯蔵が難

しいため、沢山の技術開発がなされています。

電力貯蔵だけを見ますと、揚水発電、電池、超伝導、フライホイール、圧縮空気貯蔵といったものがあります。再生可能エネルギーを大量に導入する場合には、これらの技術だけでは対応できないかも知れません。そこで、化学エネルギーも電力の貯蔵技術の候補として考えられないか、ということです。再生可能エネルギーによる発電では、出力が変動しますので、そのまま電力会社の系統に流すと色々な問題を起こします。ということで、バッファ的に電力貯蔵システムを入れていこうとしています。蓄電池などを使った電力貯蔵システムのところで電力の出し入れをします。化学エネルギーで貯蔵するというのは、例えば、電力を使って水電解で水素を作り、水素の格好で貯蔵しておく。そして必要な時に燃料電池での発電に水素を使用する形で電力に戻すということです。こういう研究が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）で始められています。

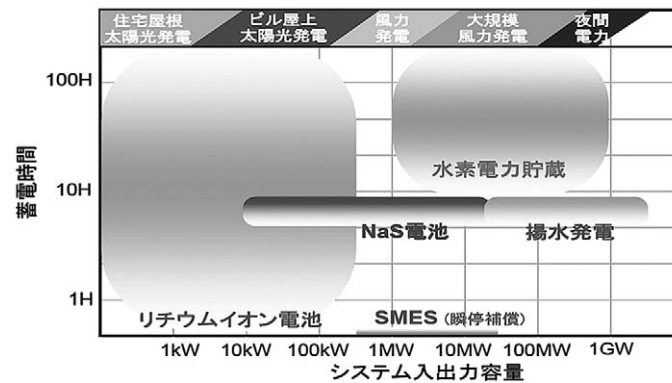
水素電力貯蔵の可能性

今まで電力の貯蔵技術として紹介されていなかった水素電力貯蔵が1つの可能性になるかも知れないということで、技術開発や基盤



（出所：内山洋司『エネルギー工学と社会』放送大学教育振興会，2006年）

図 17 発電分野における転換技術の効率向上への取組み例



（出所：NEDO, 「再生可能エネルギーの水素電力貯蔵・放電システムに関する検討」 2013 年）

図 18 電力貯蔵技術の新展開

的な研究が進んでいます。図 18 に電力貯蔵技術の入出力容量と蓄電時間を示しました。リチウムイオン電池や瞬停補償 (SMES)、NaS 電池、揚水発電、それぞれに特徴がありますが、化学エネルギーとして貯蔵するという水素電力貯蔵は、大規模・長時間というところで特徴を出せるかも知れないと考えています。

まとめ

エネルギー転換技術あるいは貯蔵技術というのは、CO₂ 排出抑制という制約の下で、化石エネルギーを有効に使っていくために、ますます重要になってきていると考えています。

しかも多様な未来が予想される今、既存技術の延長上の改良だけでなく、まったく新しい原理に基づくような新技術の開発が必要と考えます。ただ、こういったものに関しては、どれか 1 つが良いということではなくて、技術ポートフォリオを作成して、未来の多様性に合わせて長期的観点から技術開発を期することが良いのではないかと考えています。

以上で私の講演を終わります。どうもありがとうございました。

期待されるエネルギー技術は（その2）

～輸送技術および輸送システム

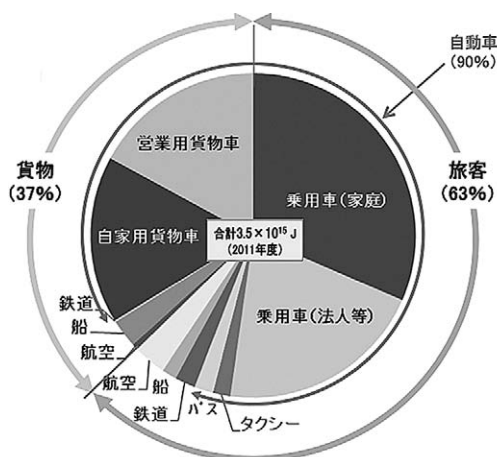
蓮池 宏（プロジェクト試験研究部
新エネルギーグループ 部長）



輸送部門でのエネルギー消費の現状

はじめに

私からは、輸送部門の技術とシステムについて現状と将来に向けての課題や期待を報告させていただきます。



（出所：総合エネルギー統計，交通関連統計資料集）

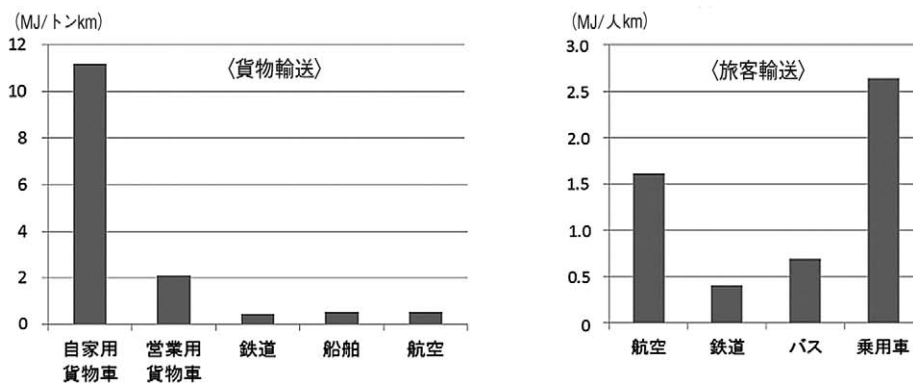
図1 日本の輸送手段別のエネルギー消費比率

最初に現状を確認したいと思います。図1は、2011年における日本の輸送用エネルギー消費の内訳です。旅客輸送が約63%，貨物輸送が約37%となっています。

輸送手段には、自動車、鉄道、船、飛行機の4つがあり、全体の90%を自動車が占めています。図2に示すように、輸送需要当たりのエネルギー消費で見ると、貨物では自家用貨物車、営業貨物車といった自動車関係が比較的エネルギーを多く使います。旅客では、飛行機と乗用車のエネルギー消費率が大きくなっています。

石油消費削減とCO₂排出削減に向けて

輸送部門全体としての課題である「石油消費削減」と「二酸化炭素（CO₂）排出削減」に向けた対策を図3のように「輸送需要」⇒「エネルギー需要」⇒「エネルギー消費に伴う排出」



（出所：総合エネルギー統計，交通関連統計資料集）

図2 日本の貨物輸送，旅客輸送のエネルギー消費率

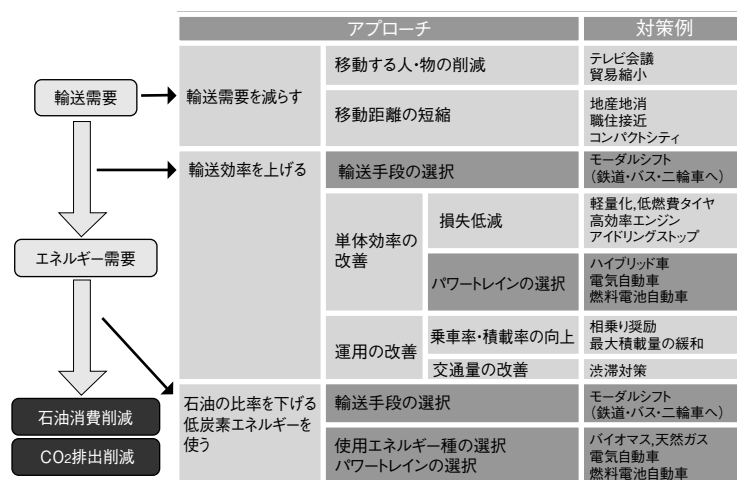


図3 輸送部門の課題とその改善策

の各段階で分類してみました。

まず、輸送需要そのものを減らすことが考えられます。移動する人や物を減らすとか、移動距離を短くするとかです。

「輸送需要」⇒「エネルギー需要」の部分では、輸送効率の向上が考えられます。具体的には、なるべく効率の良い輸送手段を使うモーダルシフト、損失低減による単体効率の改善があります。自動車では、電気自動車（EV）や燃料電池車（FCV）への転換もこれに含まれます。そして運用の改善ということもあります。

「エネルギー需要」⇒「エネルギー消費に伴う排出」のところでは、エネルギーの中でも石油の比率を下げる、あるいは低炭素エネルギーを使うといったことがあります。

今日の報告では、「輸送手段の選択」と、自動車の中の「パワートレインの選択」を中心

に説明したいと思います。

「エネルギー需要」⇒「エネルギー消費に伴う排出」のところでは、同じエネルギーの中でも石油消費の比率を下げる、あるいは低炭素エネルギーを使うといったことがあります。

今日の報告では、図3の「輸送手段の選択」、自動車の中の「パワートレインの選択」というあたりを中心に以下ご説明したいと思います。

旅客輸送

日本の特徴

図4は経済協力開発機構（OECD）諸国の旅客輸送に占める各輸送手段の比率です。日

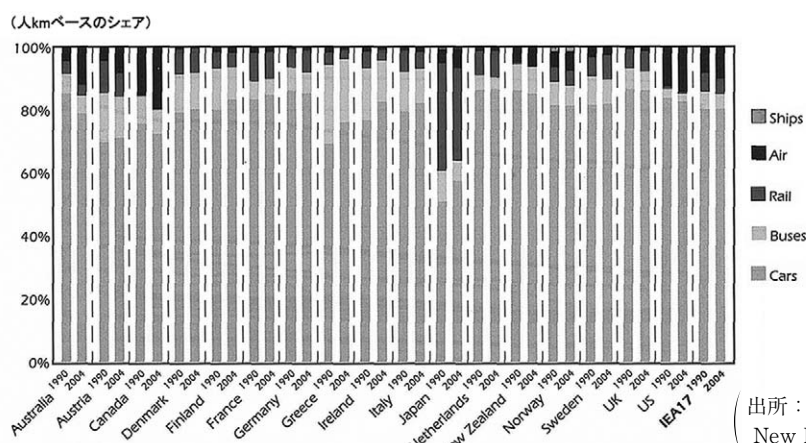


図4 旅客輸送の輸送手段別シェア（OECD 諸国）

（出所：IEA, Energy Use in the New Millennium）

本は鉄道のシェアが特異的に大きく、相対的に効率の良い輸送システムを構築していると言えます。それでもまだ改善の余地はあると思います。

図5は日本で輸送手段の構成がどう変化してきているかを示しています。飛行機が少し増えていますが、最近20年くらい比率はほとんど変わっていません。

ただ、これは日本全体を合計した数値であり、中身を少し詳しく見ていくと、いくつかの傾向が見られます。図6は平成11年からの10年間にける都市別の自動車シェアの推移です。大都市では自動車のシェアが減り、人

口密度の低い地方都市では、逆に自動車のシェアが上がっています。大都市では「若者の自動車離れ」が言われますが、地方都市では「自動車も生活必需品」ということで、より一層自動車に依存する生活に向かっていると言えます。この傾向が今後も続くと、地方と大都市に二極化するかも知れません。

高齢化に対応する自動車

高齢化が人の移動にどのような影響を与えるのでしょうか。図7の全国データを見ると、男女ともに55歳以上の高齢層の自動車による

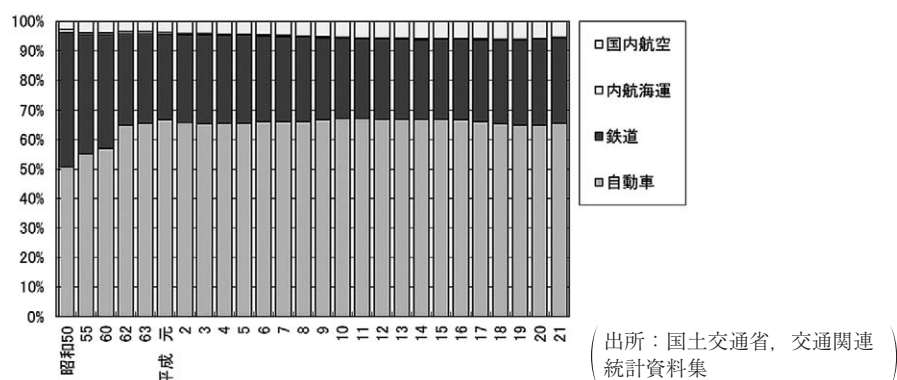


図5 日本の輸送手段別シェアの推移

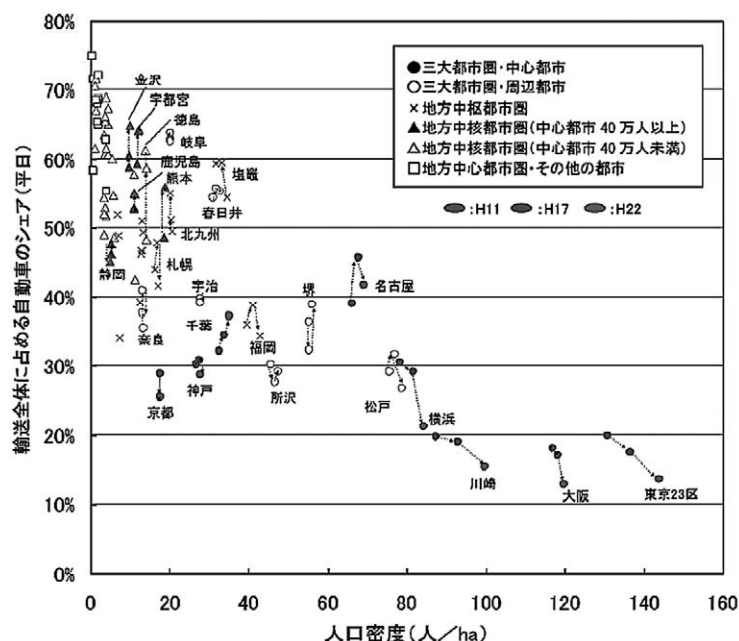


図6 都市別の自動車シェアの変化

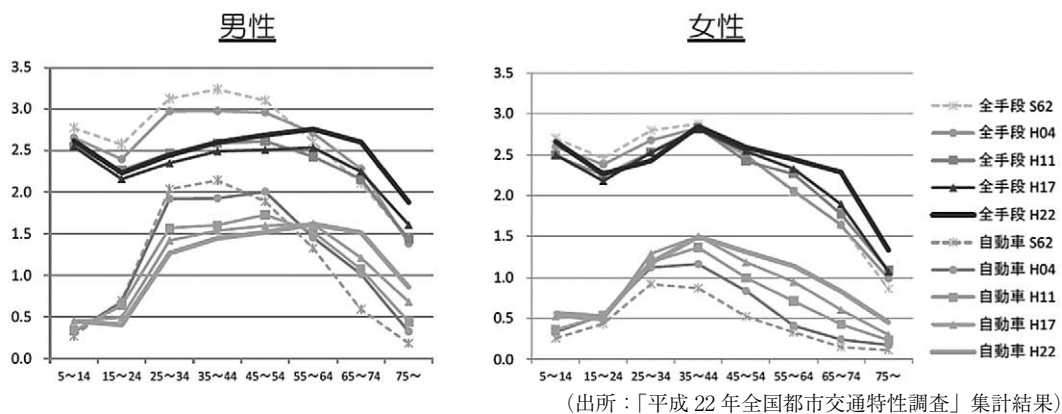


図7 1人・1日当たりの外出回数の変化（年齢層別）

外出が増えています。若い時に運転免許を取った人がそのまま保有していますので、高齢者の免許保有率が上がっており、今後は高齢者だからといって家に閉じこもるわけではなく積極的に外出する、しかも結構な比率で自動車を使うことが予想されます。

こうなると、今後の開発テーマとして、「高齢者に適した自動車」というのがあり得ると思います。その1つが超小型車です。国土交通省では「超小型車」というカテゴリーを設けて普及させていったらどうかということが、今真剣に検討されています。1人乗りあるいは2人乗りで長距離は走らない、あるいは高速道路は走らないと割り切って考えると、EVとの相性が良くなります。各自動車メーカーは、EVをベースにした超小型車を試作して発表しています。広く普及すれば、乗用車の一部を効率の良い超小型車で担えることになります。

鉄道へのモーダルシフト

効率のいい鉄道をもっと使ったらどうか、「鉄道へのモーダルシフト」ということは、長年叫ばれています。図8は移動距離によって、どういう手段が使われているかを示しています。短距離は自動車、長距離は飛行機の比率が大きく鉄道はその間に挟まれています。

鉄道を増やす場合、自動車と飛行機のどちらを攻めていくか。両方攻められれば良いのですが、技術開発ということでは、鉄道の高速化を追求していったって飛行機を攻めるということが考えられると思います。

300km以上1,000km未満のところで、リニア新幹線に限らず従来の新幹線もまだ高速化の余地があると思います。そういうものの利便性を高めていくことで、飛行機の一部を鉄道が代替していく可能性があると思います。

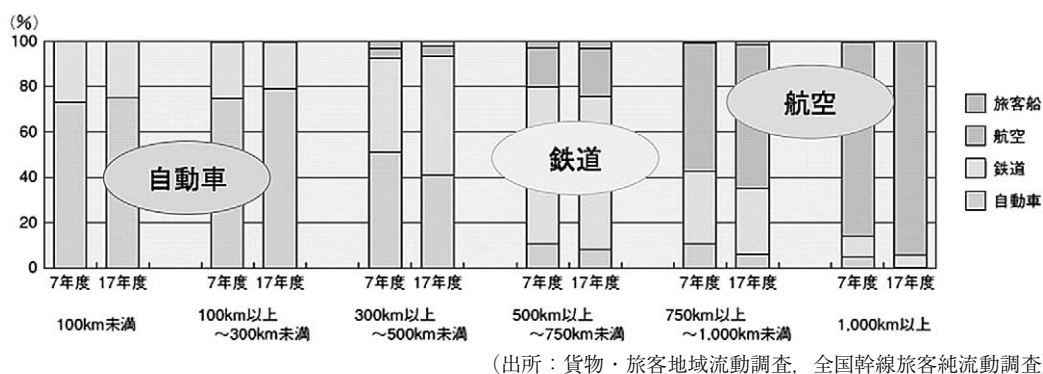


図8 距離別の輸送分担率（全国）

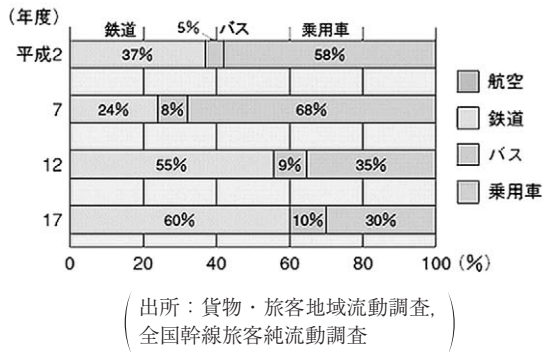


図9 距離別の輸送分担率（東京～長野）

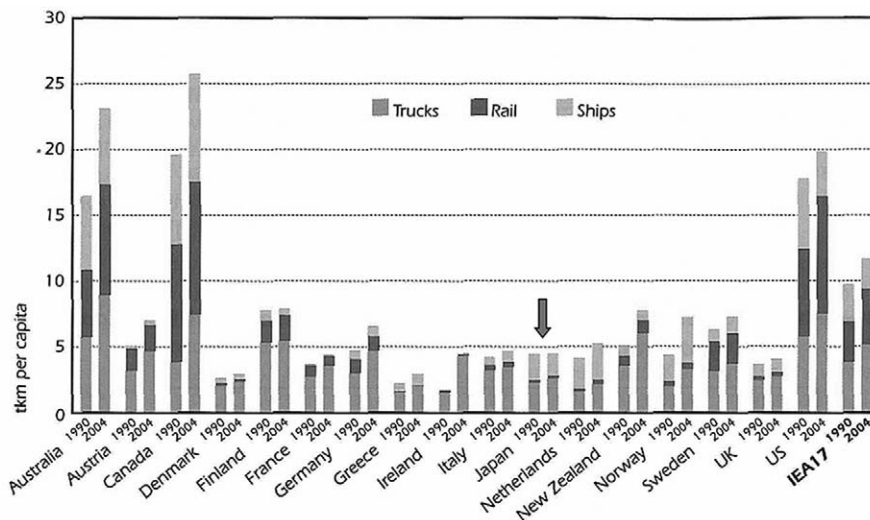
図9は、東京都と長野県に限った輸送手段の比率ですが、長野オリンピック（平成10年）の時に長野新幹線が開通し、それを境に鉄道での移動が増えています。新幹線は、適切な路線を設定して建設されると、エネルギー的には非常に効率的な輸送が実現すると考えられます。

貨物輸送

日本の特徴と動向

図10はOECD諸国の貨物輸送に占める各輸送手段の比率です。日本は外国と比べて鉄道の比率が小さいと言えます。1990年と2004年とを比べると、他の国が2004年に伸びているのに対し、日本はほぼ横ばいです。

日本の貨物輸送の内訳を見ると、図11のように輸送する物の総重量が2000年辺りから顕著に減ってきています。一番考えられる要因は、産業が「重厚長大」型から「軽薄短小」型に変わってきていることではないかと思います。



(出所：IEA, Energy Use in the New Millennium)

図10 貨物輸送の輸送手段別シェア（OECD 諸国）

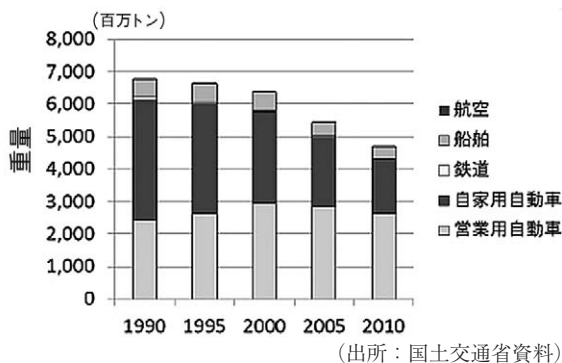


図11 貨物重量の減少

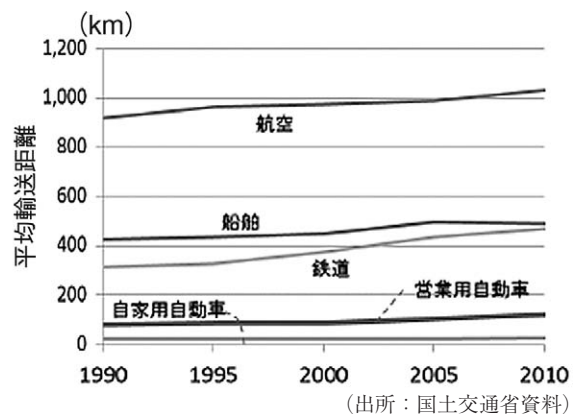


図12 輸送距離の伸長

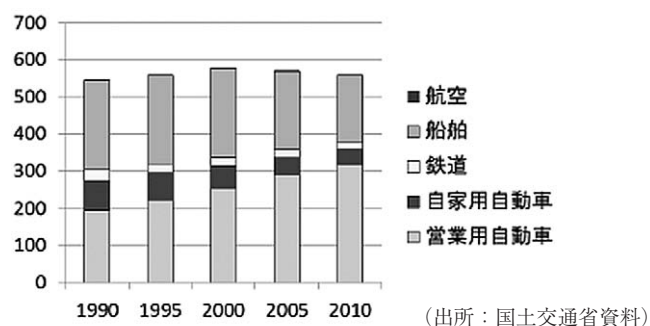


図 13 輸送量 (重量×距離) の変化

一方、輸送距離は図 12 に見るように年々伸びて、より遠方の物資を利用していると言えます。地産地消が推奨されていますが、過去 20 年くらいの実態はそれに逆行していることになります。東京にいながらにして北海道の美味しいものが食べられるとか、良い面もあるのですが、長距離を運ばばそれだけエネルギーを使うことになります。

輸送量 (重量×距離) は、図 13 で見えるように、2000 年頃をピークに徐々に減っています。ただ、この内訳の中で、営業用自動車の輸送量はずっと伸びています。つまり、貨物輸送の世界でも自動車の比率が増えているということです。

トラック輸送優位の背景

自動車がなぜ強いのか。その背景には、まず、少量多頻度輸送の増加があります。「ジャストインタイム」のように、小分けにして配送して在庫を減らすことで経営効率アップを図る手法が取り入れられてきたことも影響してい

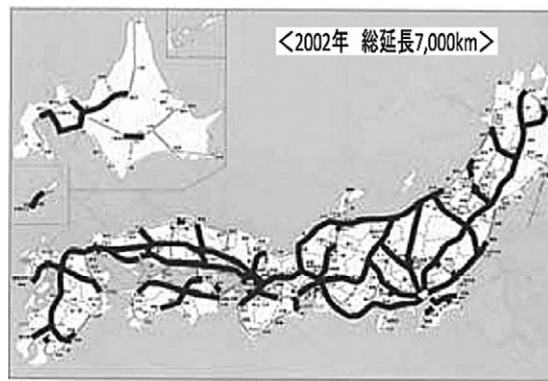
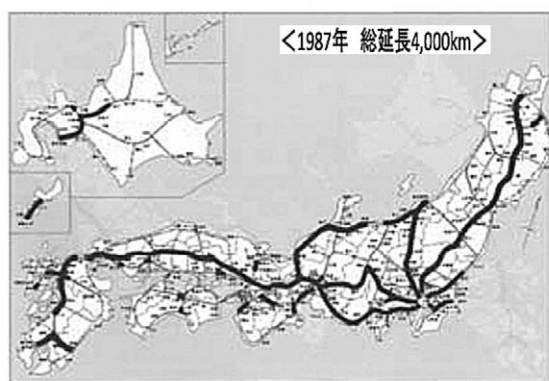
ます。われわれが便利に使っている宅配便の個数も、今なお伸び続けています。

一方で、図 14 に示すように高速道路網が整備されてきています。2002 年時点で高速道路の総延長は 7,000km ですが、倍の 1 万 4,000km まで伸ばす計画があり、自動車での高速道路輸送はさらに便利になるでしょう。

貨物輸送におけるモーダルシフト

貨物輸送の分野でもトラックから鉄道や船へ「モーダルシフト」していくべきだという考えや取組みがあります。

政策や制度面での取組みとして、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(省エネ法)があります。省エネ法では、一定規模以上の業者や荷主に対し、輸送にかかわるエネルギー消費の実績と今後の計画を提出する義務が定められています。支援策としては、モーダルシフトを推進する事業への補助制度があります。ラベリング制度では、鉄道を使った輸送



(出所：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方)

図 14 整備が進む高速道路

に「エコレールマーク制度」、船を使った輸送に「エコシップマーク制度」があります。こういうマークをつけて、エコに協力していることを宣伝することができます。

自動車輸送との連結システムの構築

鉄道や船はルートが限定されますので、末端は自動車輸送に頼らざるを得ません。うまく連結するシステムを全体として作っていく必要があります。

連携したシステムを作る上でのポイントはコンテナによる輸送です。今日本で主に使われているコンテナは、12ft、31ft、40ftの3種類です。それぞれ起原が異なり、12ftはJR貨物の規格、31ftは10tトラックと同じ寸法ということで自動車の都合、40ftは国際海上輸送で一番標準的に使われているコンテナが起源です。これらをうまく組み合わせ、それぞれ連携できる対策が進められています。

それから、長距離輸送の基幹部分において鉄道輸送を強化する構想があります。図 15

のように、JR貨物が新東名高速道路の中央分離帯を使った「東海道物流新幹線」という構想を打ち出しています。実現すれば、基幹部分は鉄道が担い、末端部分を自動車が担うというシステムの構築に大きく寄与することになるでしょう。

自動車

ここまで自動車への依存を減らすことに注目してきました。しかし、現実問題として自動車が輸送部門のエネルギー消費の90%を占めているわけですから、自動車自体をどうしていくかが重要な課題であることは言うまでもありません。

エンジン車の燃費改善

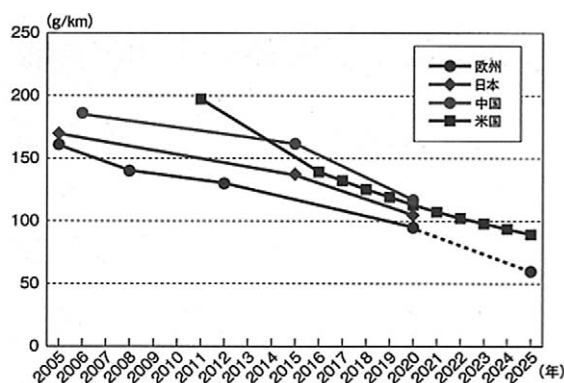
まず最も確実な効果が見込める対策が既存エンジン車の燃費改善です。図 16 は主要国



運行距離	約600km
速度	平均時速90~100km
所要時間	東京・大阪間6.5時間
ターミナル	東京、名古屋、大阪の3箇所のほか数箇所
輸送力	三大都市圏相互間で、約20万トン/日

(出所：JR 貨物)

図 15 東海道物流新幹線構想



(出所：日経 Automotive Technology)

図 16 主要国における乗用車の燃費規制

における乗用車の燃費規制値です。それぞれの国や地域が足並みをそろえる形で、どんどん規制が厳しくなっています。

図 17 は日本の乗用車の燃費の推移を示したものです。新車の燃費（販売モード燃費）の向上に対して、存在している車全体の平均燃費（保有モード燃費）は遅れて向上してきます。実走行燃費はモード燃費より低く、その差が拡大しつつあります。

これについての分析例が図 18 です。縦軸はカタログの燃費と実走行燃費の比率で、下に行くほど実走行での燃費が悪くなることを意味します。近似線を引いてみると、カタログ燃費が良い車ほど、モード燃費達成率が低くなる、つまり実走行燃費とカタログ燃費との差が開くという傾向が出ています。今後、販売する車のカタログ燃費が良くなっていくと、モード燃費到達率が更に下がっていくことが心配されます。

この原因として、カタログモード燃費はあるパターンでの走行ですが、実際には燃費の悪い走り方をしているということが考えられます。図 19 で示すように、走行速度の平均が低いほど燃費は悪くなります。渋滞解消ができれば、平均走行速度が上がって実走行燃費が良くなるのではないかと考えられます。

もう 1 つ考えられる原因は、走行エネルギーが減る一方で、エアコンに使うエネルギーが目立つようになってきていることです。家庭用エアコンに比べ、カーエアコンの効率向上は進んでいません。カーエアコンのエネルギー消費削減について自動車会社の人と議論したところ、遮光や断熱を徹底することで車内への入熱を減せば、エアコンの冷凍サイクルの高効率化と併せてエネルギー消費を 6 割くらい減らせる可能性があるという結論になりました。こうした技術開発も今後重要性を増してくると思われます。

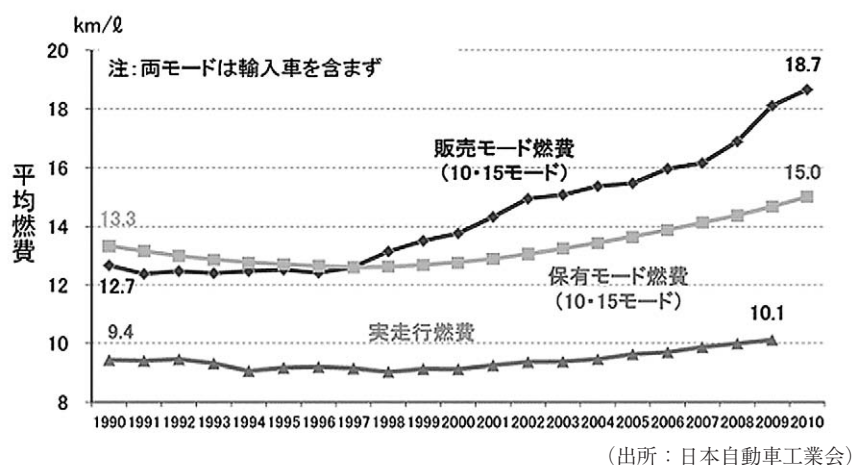


図 17 平均燃費の推移

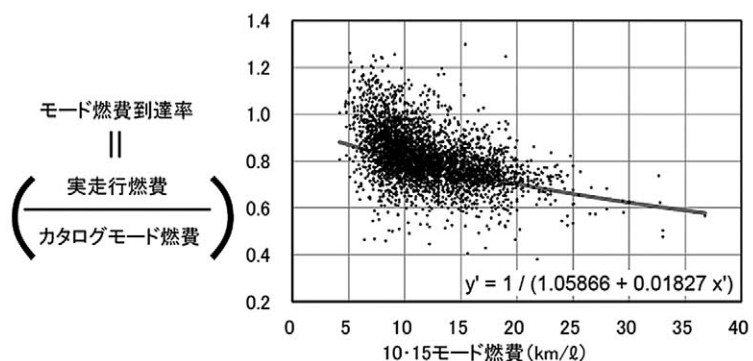
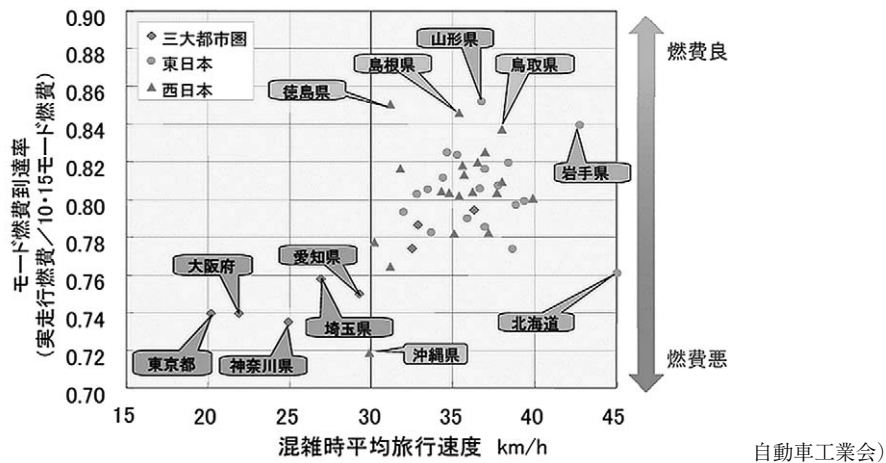


図 18 モード燃費到達率



自動運転技術の活用

最近、自動運転が話題になっています。自動運転の主な目的は安全性を高めることにありますが、エネルギー消費を減らすために、車間距離を縮めて隊列走行することが考えられます。短い車間距離でも衝突しないよう自動運転の技術が使われるわけです。車間距離を縮めると後続車の空気抵抗が減り、隊列を組む車両全体で省エネになることが分かっています。図 20 は今年 2 月に行われた公開実験の写真です。時速 80km、車間距離 4m で 4 台隊列走行すると、平均で 15% くらい燃料消費の削減になります。高速道路などでこういった技術が実現すれば、省エネに寄与すると期待されます。

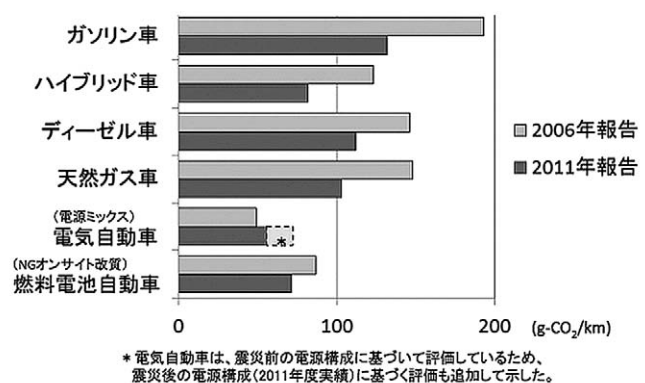
長期的な運輸エネルギーの選択

これまでの自動車は、ガソリンとガソリンエンジン、軽油とディーゼルエンジンという技術の組み合わせが太宗を占めてきました。ここに来て、これらとは違う技術を組み合わせた自動車の実用化が始まっています。EV、FCV、ハイブリッド車（HEV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、バイオ燃料車、天然ガス車などを総称して「次世代自動車」と呼んでいます。将来は、こうした次世代自動車の普及が期待されます。

沢山の選択肢がある次世代自動車のうちどれを優先的に開発したらいいか、という議論があります。それを評価する視点としてよく持ち出されるのが、井戸元でエネルギーを掘



図 20 自動運転技術の活用：隊列走行による燃料消費削減



(出所: 日本自動車研究所, JHFC 総合効率検討結果報告書 (2006), 総合効率と GHG 排出の分析報告書 (2011))

図 21 次世代自動車の Well to Wheel での CO₂ 分析例

り出すところから自動車を駆動するところまで (Well to Wheel) の CO₂ 排出量です。

図 21 は、Well to Wheel での CO₂ 排出量を比較したものです。ガソリン車に比べ、HEV、ディーゼル車、天然ガス車は少し少なく、EV、FCV はかなり少ないです。2006 年と 2011 年を比べると、ガソリン車と HEV が大幅に改善しています。それに対し、EV は電源構成の比率の関係で少し排出量が増えています。EV の点線で囲まれた部分は、震災後の原子力発電所が止まった影響で火力発電が増えた分です。FCV もあまり改善の程度は大きくなく、EV、FCV と HEV との差がかなり縮まっているという見方ができます。ただ、石油消費の観点で見れば、EV、FCV は一次エネルギー源として石油をほとんど使わなくなりますので、もっと優位性が出て来るという評価もできると思います。

長期的に見て、石油消費と CO₂ 排出を大幅に削減できるエネルギーとしては、電気、水素、バイオ起源燃料の 3 つのオプションがあります。これらの普及にとってどんなことがネックになっているか表 1 にまとめてみました。電気、水素、バイオ燃料のうち 1 つでも、課題が全部解消されて広く普及するようになれば素晴らしいと思います。現時点では、これら課題の解決はなかなか難しく、楽観的な見通しは立てられません。今後もそれぞれ並行して、開発を継続していく必要があると思います。

次世代自動車の普及予測

今後どのくらい次世代自動車が普及していくかを私どもが開発したモデルで分析した例が図 22 です。消費者が複数の選択肢から商

表 1 電気、水素、バイオ起源燃料の課題

	電気	水素	バイオ起源燃料
長所	無排気 供給体制が確立 低ランニングコスト 多様な一次エネルギー源	許容できるエネルギー密度 許容できる補給速度 多様な一次エネルギー源	高エネルギー密度 ガソリン・軽油との混合可
課題	蓄電池の低コスト化 充電時間の短縮 電源の低CO ₂ 化	車両とステーションのコスト低減 インフラ整備のコスト負担方法 製造段階の低CO ₂ 化	価格低減・安定化 供給量 農林業との共存
適する用途	小型車 都市内	中～大型車	自動車すべて 航空機

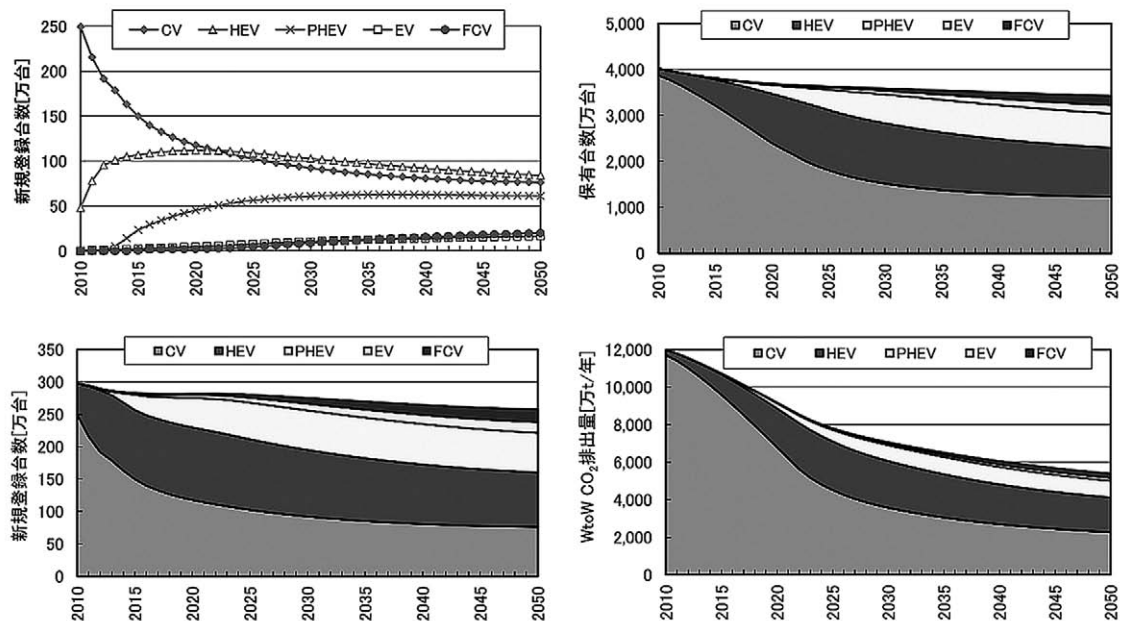


図 22 次世代自動車（小型・普通乗用車）の普及予測

品を選ぶ行動をモデル化し、新しい自動車のコンポーネントのコストが学習効果などによって下がってくることも組み合わせて、現状を延長していくことで普及予測を行いました。CO₂ 排出制約は入れていません。

各種自動車の新規登録台数は、まず HEV が増えていって、2020 年過ぎには従来車 (CV) の台数を追い越します。それに遅れて PHEV が増えて来ます。2040～2050 年頃になると、CV、HEV、PHEV が 3 分の 1 ずつを占め、残りを EV と FCV が分けることになります。

CO₂ 排出量は、2050 年には、2010 年時点の 2 分の 1 弱まで減少するという計算になっています。ただ、先進国での CO₂ 排出目標は 2050 年に 8 割減とされていますので、この予想ではそこまで届かないことになります。

まとめ

図 23 は、輸送分野でどのような技術が将来重要になっていくかをロードマップ形式にまとめたものです。8 年前の 2005 年に当研究

所で作成したのですが、大部分は現在でも十分有効だと思います。

ただこの 7、8 年で変わったところもあります。例えば、EV や FCV の本格導入が前倒しになっています。また、図中には HEV しか書いてありませんが、今なら PHEV を追加しなければなりません。それから圧縮天然ガス (CNG) や液化石油ガス (LPG) の記載もありますが、「シェール革命」によって CNG も LPG も安く供給される可能性があるため、これらの位置付けも考える必要があると思います。

自動車用エネルギーは今までガソリンと軽油が殆どを占めていたわけですが、今後は、電気、水素、バイオ燃料等、「多様化の時代」に入ると思います。どれか 1 つ、オールマイティーの技術が出てくれば、その技術による寡占状態になるかも知れませんが、それが見通せない現状では、「多様化の時代」がかなり長く続くのではないかと思います。そうすると、色々なエネルギーを適材適所でうまく使っていく工夫が必要になってくるでしょう。

最後に、グローバルな視点から見た日本の CO₂ 削減目標をどう位置づけたら良いかを考えてみます。図 24 を見ると、日本の輸送エ

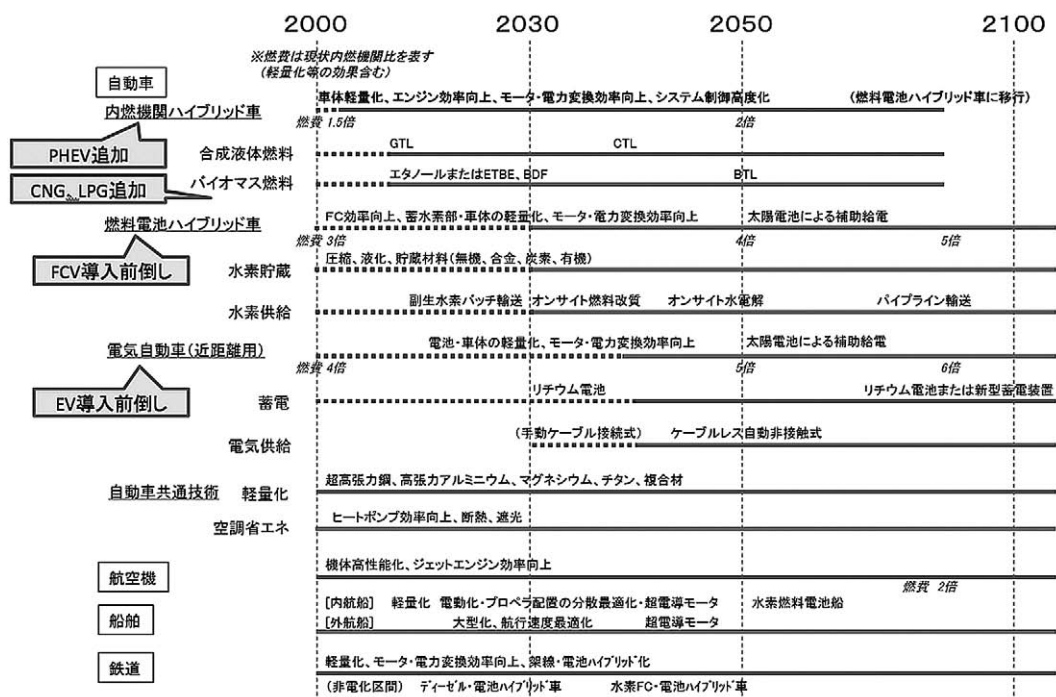


図 23 輸送分野の超長期技術ロードマップ

エネルギー需要は2010年頃をピークとして減少傾向にあり、世界全体の中では、比率がどんどん下がっていくことが分かります。ですから、日本国内でのCO₂削減が世界全体に与えるインパクトは限定的にならざるを得ません。しかし、1つの考え方として、世界が直面するであろう課題を日本が世界に先駆けて解決

していく姿を示す、という言い方ができると思います。

今回はエネルギーの視点で、色々な議論を紹介したわけですが、これとは別に、産業の視点もあります。輸送機器産業は、日本にとって非常に重要な産業です。効率的な輸送システムを開発すると、そのシステムをグ

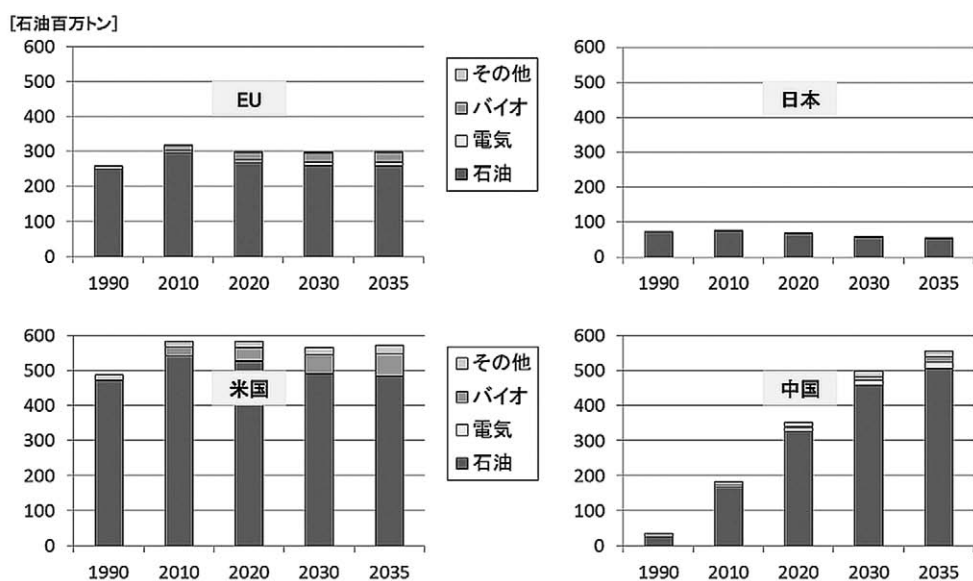


図 24 主要国の輸送エネルギー需要

ローバル市場に展開できることにもなります。
一方で、日本とニーズが異なる国に対しては、
別途商品開発が必要になるのかも知れません。
こういう点でも、多様化、適材適所といった
視点が必要になると思います。

私からの発表は以上です。ご静聴ありがとうございました。

期待されるエネルギー技術は（その3）

～エネルギーをスマートに使う！

徳田 憲昭（プロジェクト試験研究部
電力システムグループ 部長）



はじめに

私のパートは「エネルギーをスマートに使う」です。6年くらい前、大学での講義で学生から「スマートって女性に使われている細いというスマートですか？」という質問があったことを覚えております。ここで言う「スマート」というのは、「賢く」という意味合いで、エネルギーをいかに賢く使っていくのかということであり、この内容について少し広くお話していきたいと思っています。

冒頭、渡邊審議官のご挨拶の中でもありましたように、エネルギーを上手に使っていく場合に、供給側と需要側での内容があります。それぞれがどのように取り扱うか等「賢く」使うための切り口は色々あります。

ここでは皆さんに、これらのイメージをどのように掴んで頂くかを分野毎に紹介させていただきます。例えば、将来のスマート社会像を描いたとしても、それは確定ではなく流動性を持った内容であるということを、まずは理解しておかなければなりません。ただ、どのようにアプローチをすれば良いのかと考えた時に、まずは将来像をイメージした上で、そこに向かって現状とのギャップをいかにアプローチしていくかを考えるのが考えやすいと思います。そこにはどんな分野があり、どのような技術をこれから技術開発していく必要があるのかということに繋がってくると思います。そこに企業なり、エネルギー供給者なり、

需要側なりで主要となりうる内容が見えてくるのではないかなと思っています。

今回は1つのケーススタディとしてのスマートな社会の将来像を示し、その後グリッドとコミュニティの各分野について紹介させていただきます。

将来のスマート社会像とは？

「人間らしさ」を生かした スマートコミュニティを作るために

本日午前中のお話では、過去のエネルギー需給や、2030年、2050年に向かってどうあるべきか、またそこに向かうためのギャップは何処にあるのかというイメージをお話しさせて頂いたと思います。

最初に将来像をどう描いていくかと考える時、資源エネルギー庁の2030年の社会像や、2013年9月に内閣府から公表された「環境エネルギー技術革新計画」から未来像を推測という考えがあります。一例として、省エネ関係では「暑い」「寒い」という今までの「我慢の省エネ」から、それを「見える化」することにより、人間の感覚を変えていこうという方向があり、さらにその先には「お任せの省エネ」へという流れになると思います。

このような流れになることを視野に入れながら、総合エネルギー効率をアップしていくという考えがベースになると思います。

ただ、社会状態の変化はあっても、最終的には色々なものが自動化された社会に移行するであろうと思われます。また今後、人口の減少や高齢化の問題が出て来た時に、介護社会というのをどのように考えていくか、人が人を介護していくことや人の温かみというのを含めて重要なことですが、ある程度まではロボット等の力を借りながら共存していく社会になるのではと思っています。このような視点を持ちながら、人間らしさを生かしたスマートな社会をどのように構築すればいいのかを考えていきたいと思います。

スマートコミュニティのイメージ

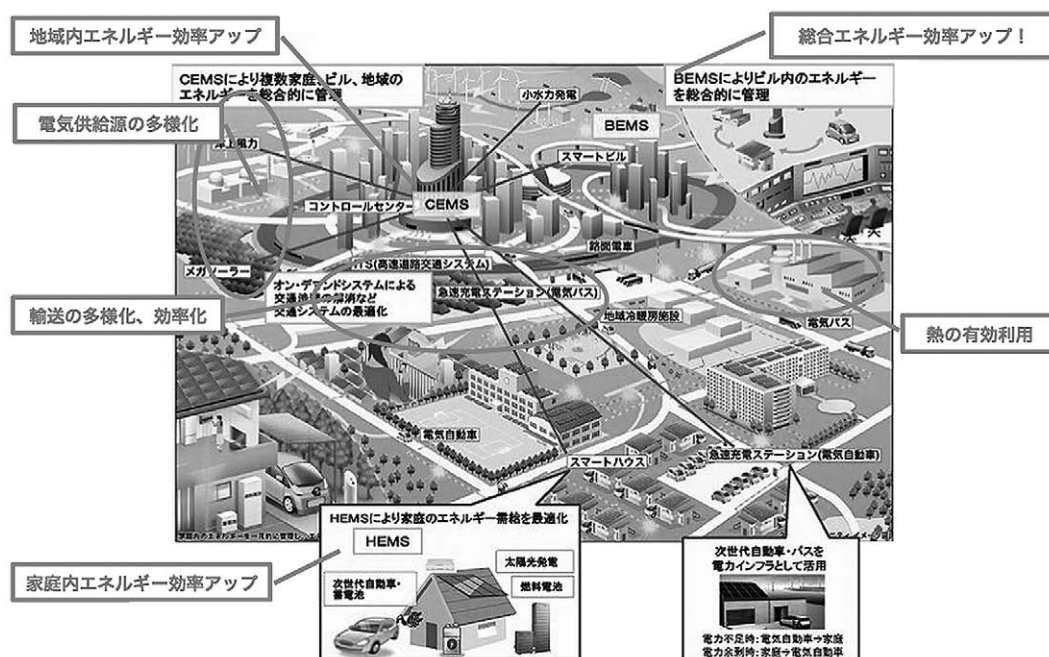
図1は経済産業省から出されている2030年のイメージ図です。この図の中には供給電源・輸送の多様化、転換も含めた熱の有効利用、それらをトータルでいかに効率よくマネジメントしていくかという内容が記載されています。また、それらの制御方法として、例えばビルエネルギーマネジメントシステム(BEMS)や地域全体のエネルギーマネジメント方法としてコミュニティエネルギーマネジメント

メントシステム(CEMS)という内容も含まれています。

この図は2030年のイメージですが、2050年もその先も思想的には大きく変わっていかないだろうと思われます。ただ、1つ1つのカテゴリーの考え方は変わっていきだろうと考えています。

グリッドのイメージ

図2はスマートグリッドのイメージです。これは電力供給源側の内容であり、発電源の種類等を含めた供給源側が更に多様化すると考えられます。中でも、再生可能エネルギーの大量導入の話題は注目を浴びていますが、自然エネルギーをベースとした再生可能エネルギーは非安定電源であるということへの対応策も考えておかなければなりません。1つの対応策として蓄電、つまりエネルギー貯蔵という方法があります。図2にはバッテリーシステムという方法が記載されており、電気を電気のまま蓄えるという考えで描かれています。もちろん電気を水素に変えての貯蔵や、位置エネルギーに変えての貯蔵という発想もあります。



(出所:経済産業省 HP「2030年のスマートグリッド・スマートコミュニティとは?」, 2011.10.3 を基に作成)

図1 スマートコミュニティのイメージ

ければならないかを考えてみることにします。

まず1つの家の中で考えると理解しやすいため、ご紹介します。供給源と負荷の需給バランスを1つの家の中でどのように制御するか、またそれをビルや地域でどのように制御していくかは規模が異なるだけで同様の考え方になります。

何をする必要があるのかを考えると、情報通信技術を使つての需給の調整、バランス制御をするということになります。その時に問題視されるのが、各社の家電機器の仕様内容です。例えば、A社のエアコン、B社の冷蔵庫等色々なメーカーの電化製品が入っている場合に同一の言語で制御できるかという点です。これを回避するには同じ言語で話ができるルールを作る必要があります、家庭向けの電気製品に対する標準化が必要不可欠ということになります。一般家庭の電気製品に関して、現在国内標準として「ECHONET-Lite（エコーネットライト）規格」を定め、またこの規格を世界標準にするための検討をH24年度から国プロとしても活動しています。

「我慢の省エネ」から「お任せの省エネ」に移行した社会像とは？

もう1つ、別の見方で「省エネ」という考えがあります。1℃の温度変化はあまり感じないという方は多いと思いますが、これからの省エネは「我慢」をすることから、「気付き」、更に「見える」という考えで進められると思います。現在、家庭内でタブレット等の端末を使用して、どの程度太陽光発電が発電しているのか、どの程度電気を使用しているのかを見えるようにする「見える化」から、いかに浪費しているかを気付かせるという「気付く省エネ」の段階に入ってきていると思います。

これをもう一歩先に進めた内容が、できるだけ自動化することによる「お任せの省エネ」です。政策面での繋がりとして「ゼロエミッション」のハウスやビルという思想がありま

す。家やビルの中でのエネルギーについて、入出力をゼロにするという考えであり、エネルギー的に独立するという発想です。

我慢するのではなく、人感センサー等も使用して自動化していくことは重要であり、2030年以降も更なる自動化に向かっていくであろうと考えています。

このような内容を元に、どのような社会の将来像を描くかですが、やはり人間らしさは残るのではないかと思います。全てをロボットにお願いするという社会ではなく、人間らしさが残っていないと人間の楽しみというのがなくなるのではないのでしょうか。先ほど輸送の内容がありましたが、例えば道路渋滞があった時に自動的にルートを選択し、最も短時間で目的地まで自動運転したというシステムを考えると、もちろん事故はなくなりますが車を運転する楽しみも無くなってしまいます。

このように考えると、技術の導入は人と同調した緩やかなという形になるのではないかと思います。これが私のイメージをしている将来の社会像です。

「人間らしさ」を生かした社会へ向けた技術の活用

この分野については、まず電力供給面で再生可能エネルギーの最大限の利用を含めた発電源のベストミックスを考えていく必要があると思います。利用価値が低いものに多額の費用をかけてまで利用するのではなく、お金が回るシステムの中での有効利用を考えていく必要があると思います。

また、グリッド面では送電ロスの低減も含めて考えていく必要があるのではないかと思います。

コミュニティ面では、家庭と電力系統を連系したシステムの考え方を見直す必要があるのではないかと思います。自分たちだけが助かるのではなく、周りの皆さんと共存共栄しながらも、電力供給側とも win-win の関係を

持った社会像を考えていく必要があると思います。

このような考えを持ちながら、最大限に技術を有効活用していくというスタンスが必要であると思います。また、そこに人間らしさを生かした社会ということも含めて考えていく必要があります。このようなところに落ち着くのではないかと思います。将来の社会像を考える場合に、現状からどのような分野で、どのような技術が必要なのだろうか、そこにはまだまだ色々な技術開発や産業の育成の必要性、また今後の商売のネタという内容があるのではないかとというアプローチが考えやすいのではないかと思います。

必要な技術と分野（スマートグリッド）

電力システムシステム分野と 情報通信システム分野

ここではグリッド側で必要な技術と分野の内容を紹介します。省エネのトップランナー方式という考えがありますが、今の省エネ法の中で言われていることを実現していくには、パワーシステムのコンポーネントとしても、

1つ1つの省エネ化は続けていかなければなりません。より効率のいいもの、ロスが少ないものの導入を進めていくという考えです。

ただ1つ1つのコンポーネントの効率をアップしても、トータルシステムとしてロスが大きくなってしまっただけでは意味がないため、それをどのように運用するのかを考える必要があります。その面では、図4のような情報通信分野があり、家の中のホームゲートウェイ的な発想ではなく、電力系統全体の通信網という広範囲の内容になって来ると考えられます。これが、将来大きな市場として出て来ようと思っております。

電力系統についても、電源のベストミックスという話があります。電力供給源として、3.11以降化石、天然ガスの火力発電も再稼働を余儀なくされ、更に再生可能エネルギーの導入促進をしようという動きも出て来ています。ただ、この面でも色々な省エネをしていかなければなりません。供給源の省エネをするためには、今の設備より効率アップした機器を入れていく必要があります。そのためにはパワーエレクトロニクス技術が必要不可欠だと思います。この分野も今後大きくなる分野だろうと思っております。例えば、送電ロスの低減のためにはHVDC（High Voltage DC）という分野もあります。

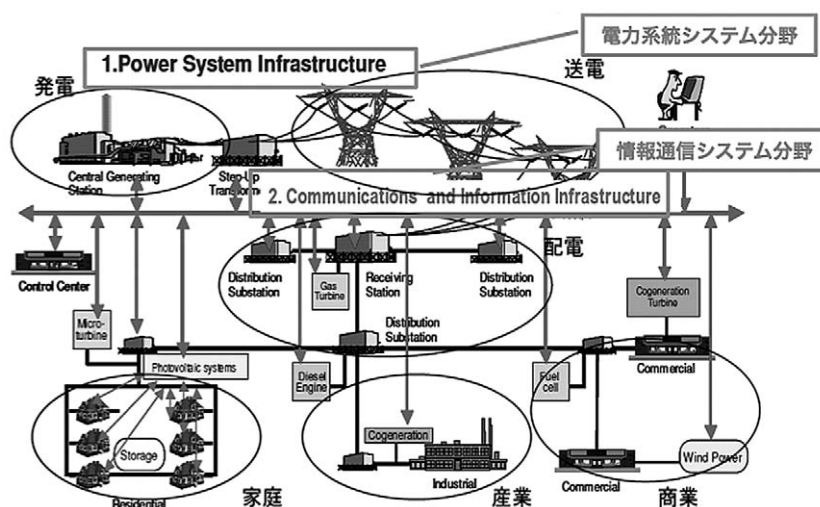


図4 スマートグリッドの2種類のインフラ（電力システムシステム分野と情報通信システム分野）

また、情報通信分野についても色々なことが考えられます。セキュリティーの問題も然りですが、現在言われている DSM (Demand Side Management) という発想も、将来的に広まっていくだろうと思います。

グリッド側に必要な技術と分野として、以下にいくつかの例について少し詳しくご説明させていただきます。

HVDC

今までの送電方式は、火力発電や水力発電等の上位系統の発電所で発電した電力を交流 (AC) で送電し、末端の需要家まで送っていました。それをいったん直流 (DC) に変換し送電をし、電気を使うところでもう一度交流 (AC) に変換をして使うという発想です。

電気が発明された時、つまりテスラとエジソンの時代に AC と DC の発想は出て来ています。基本的にどちらがいいかというのではないですが、送電系については AC つまりテスラの思想が適用されていますが、DC が悪いかと言うことではありません。やはり DC のいいところを利用して、ハイブリッドにする必要もあると考えれば、直流送電の市場というのも考えられるのではないかと思います。

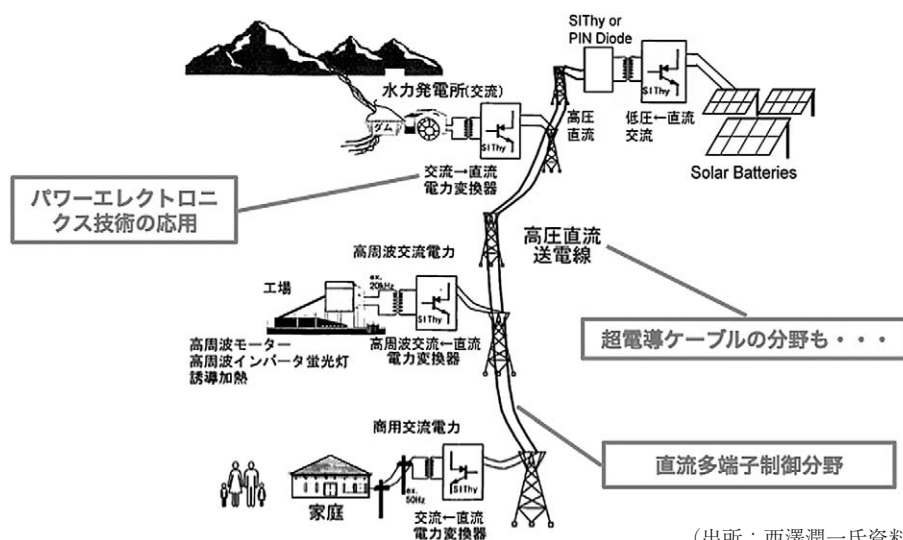
この AC を DC に変換するところには、パ

ワーエレクトロニクス技術が必要です。また、需要家側の負荷へ供給する前で DC から AC へ変えるにもこの技術が必要になります。補足ですが、DC 送電にした場合でも、今の電線をそのまま使えます。また、利点として AC の場合には実効値で規定されていますので、例えば 100V のコンセントでは 100V のピークはルート 2 倍の 141V の電圧がかかっています。それを DC で考えれば、100V はピークですので送電容量は増えると考えていただければ理解できると思います。

このように、DC にすることで送電容量を増加させることも可能になり、またケーブルについても、一例ですがリチウム系からビスマス系に移行している超電導ケーブルの適用分野でも AC よりも DC の方がメリット大と以前から言われています。

ただ、それらを適用させるには、システム全体をコントロールする技術も必要になり、この制御分野では直流多端子の制御技術の確立をしていく必要があります。

図 6 には現在の日本の電力系統図を示します。日本にも直流送電システムがあります。それは 50Hz と 60Hz の周波数変換所です。そこには 50Hz 側と 60Hz 側それぞれ変換器があり、DC を介して接続されています。この場合は、近接配置タイプであり BTB (Back to Back)



(出所：西澤潤一氏資料抜粋)

図 5 HVDC 分野 (技術活用例)



(出所：電気事業連合会ホームページ)

図6 HVDC 分野（国内事例）

という名称で呼ばれています。これらは 50 Hz と 60 Hz で周波数が異なるために周波数を変える必要があり、DC を介して接続する使い方をしています。それ以外には、50Hz 系統間で北本直流連系統、60Hz 系統間で阿南 - 紀北直流幹線、南福光連系統にも BTB が設置されています。北本直流連系統では、北海道側や本州側で系統事故等が発生した場合に、独立系統に移行するために北海道の系統と東北、関東の系統を遮断する使い方をしています。また、南福光連系統では北陸電力と関西電力、中部電力間の送電ループを、阿南 - 紀北直流幹線では、関西電力と中国電力、四国電力間の送電ループを作らないために導入されています。

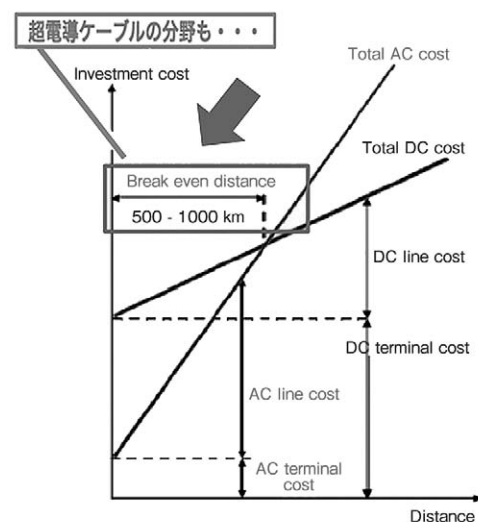
3.11 以降の教訓で、関東や東北で事故が起こった場合に、関東への電力供給には関西や中部からの送電ルートや容量を確保しなければならないということが再認識されました。そのために、各周波数変換所の送電容量アップの動きが出てきた訳です。また、別の方法もあるのではないかと考えれば、例えば周波数変換所数の増加の可能性もこの中にも含まれてくるのではないかと思います。この他に再生可能エネルギーの大量導入も視野に入れて考えた場合でも、色々なところで DC の

話題が出て来るのではないかと思います。

また、日本海側の送電系統は整備が遅れているため、この面でも強化していく必要があると思います。この交流系統の増強という分野も 10 年、20 年、30 年という長期間で構築していかなければならない分野だろうと思っています。

直流と交流のコストと送電ロスの比較

図 7 はコスト比較の例です。一般的に



(出所：TRANS-CSP)

図7 HVDC 分野（コスト比較）

表1 交直送電線のコスト・送電ロス比較

Parameter	Unit	HVAC		HVDC	
Operation Voltage	kV	750	1150	± 600	± 800
overhead line losses	%/1000 km	8%	6%	5%	2.5%
sea cable losses	%/100 km	60%	50%	0.33%	0.25%
terminal losses	%/station	0.2%	0.2%	0.7%	0.6%
overhead line cost	M€/1000 km	400 - 750	1000	400 - 450	250 - 300
sea cable cost	M€/1000 km	3200	5900	2500	1800
terminal cost	M€/station	80	80	250 - 350	250 - 350

(出所：TRANS-CSP)

HVAC と HVDC の違いは、ケーブルロスでは AC の方が少なく、HVDC には変換器コストとロスが大きくなることが示されています。

ただ、送電距離が 500 ～ 1,000km で AC 方式と DC 方式のクロスポイントがあり、この距離以上では DC 方式の方がコストメリットがあるということが示されています。

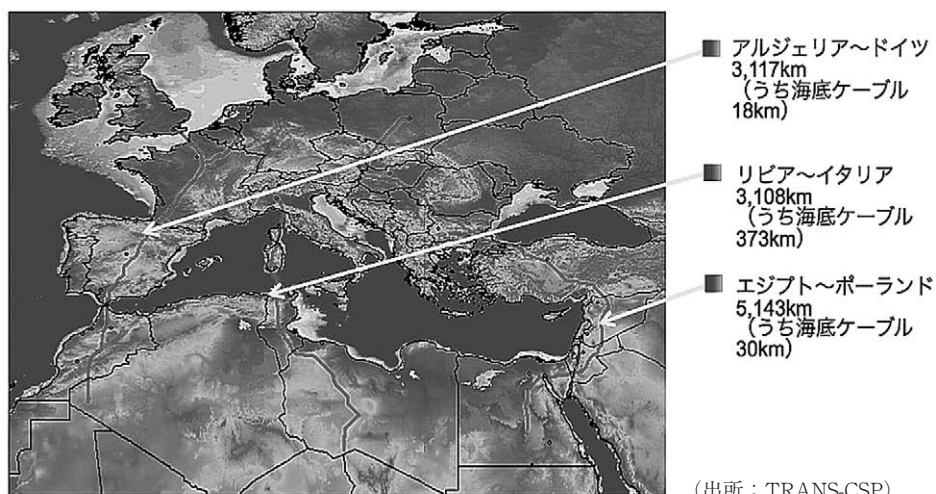
海外での HVDC 送電事例

海外での HVDC 送電の事例として、図 8 にヨーロッパでの一例を紹介します。この図は EUMENA の Desertec Project 計画で、北アフリカで発電した電力をヨーロッパ大陸に送電するという計画であり、その送電方法を HVDCで行うというものです。そのために、2050 年までに 20 本の HVDC を増設する計画ですが、まずは 3 つのルート（ジブラルタル海峡経由のアルジェリア～ドイツのルート、サルジニア島とコルシカ島経由のリビア～イタリアのル

ート、トルコ経由のエジプト～ポーランドのルート）を実現する活動をしています。

ヨーロッパの場合、スカンジナビア半島からは水力発電を中心に、バルト海近辺では風力発電を中心に発電されていますが、地中海性気候の地域では雨が少なく温暖であり太陽エネルギーの利用が見込めます。また、北アフリカは砂漠化が更に進んでいるという状態であり、砂漠化の阻止や海水淡水化も考慮し、得られたエネルギーの余剰分（太陽エネルギーを電気に変える等）をヨーロッパに送電するという発想で、Desertec Project 計画が構想されました。コンソーシアムには、ドイツを中心にシティバンクや企業が入っていますが、日本の企業や銀行もメンバーに入っているようです。

アジアでは、これとよく似た Desertec ASIA という計画も出されております。このような状況を勘案すると、HVDC 関係の産業も将来的にもまだまだ大きくなるのではないかと考えられます。



(出所：TRANS-CSP)

図8 HVDC 分野（海外動向例：EUMENA 直流送電網構想）

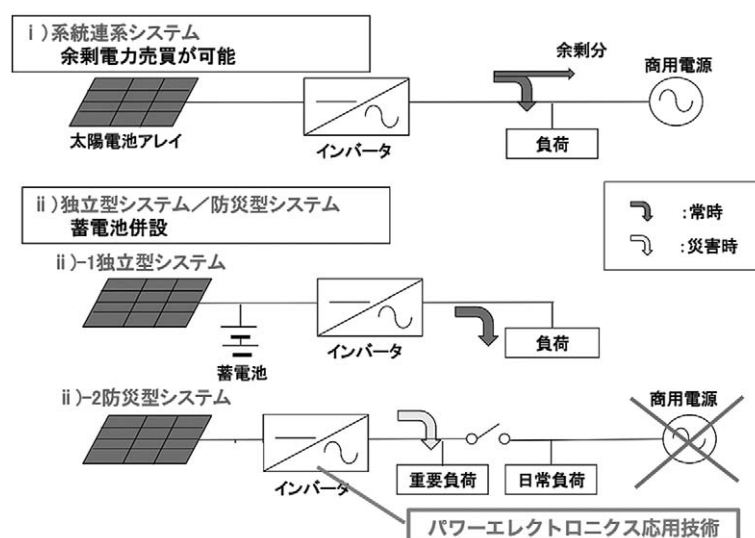


図9 パワーエレクトロニクス技術（変換技術の例）

直流の利用分野

直流の利用範囲は、送電系統から一般家庭の分野まで幅広い分野で使用されています。ただ、よく似た機器でもDC電圧のレベルが異なったりした場合、同一の電圧回路にする必要があり、その手法としてDC - DCコンバータがあります。共通して言えることは、これら全てパワーエレクトロニクス技術の応用であるということです。

図9はパワーエレクトロニクス技術を太陽光発電に応用した一例です。まず系統連系システムは、太陽光で発電した電力を系統連系しながらインバータで負荷に供給するという例です。

次に系統連系しない独立型システムは、需給調整をするための蓄電池を設置し、必要分だけインバータから負荷へ供給するというものです。また、防災型システムは通常発電した電力を系統連系しながら重要負荷や日常負荷に供給し、万一商用系統が支障をきたした時には系統連系を遮断した上で併設蓄電池を接続し、重要負荷に供給するというものです。

パワーエレクトロニクス技術（電力半導体素子）

パワーエレクトロニクス技術の応用であ

るインバータを構成するには、電力半導体素子が必要不可欠です。現状では、その素子の材料はシリコンで作られています。電力半導体の起源は、ダイオードから始まり、他励式素子のサイリスタ、自励式のバイポーラトランジスタ、MOSFET（MOS-Field-Effect Transistor）へ、その後バイポーラとMOSFETをカスケード接続したIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）へと変遷されてきました。また大容量素子ではGTO（Gate Turn Off Thyristor）という素子があります。それらすべて材料はシリコンです。シリコン材料で製作した素子は、応答周波数、つまりオン／オフできる周波数や容量に限界があります。容量は小さいが動作周波数は高くできるMOSFETや、容量は大きいが動作周波数が低いGTOということです。本来要求したい特性は、容量が大きく動作周波数も高い素子です。その特性を実現するにはシリコン材料では限界があるため、材料をシリコンからSiC、更に窒化ガリウム、ダイヤモンドへと素子開発は移行しています。

このようなパワーエレクトロニクス技術の応用の産業を大きくするためにも、電力半導体素子の重要性が必須であり、この産業もまだまだ大きくなっていくだろうと思います。

DSM 分野

次にパワーエレクトロニクス技術をより充実させるためにも、DSM (Demand Side Management) という考えが必要です。現状でもこの考えはありますが、将来的にもこの発想は継続していくであろうと思います。つまり、コンポーネント単位での高効率化にはパワーエレクトロニクス技術が必要ということです。また、DR (Demand Response) では、電気料金ベースやインセンティブベースのような消費の見える化に関する産業が出て来るだろうと思っています。

必要な技術と分野 (スマートコミュニティ)

スマートコミュニティを構成する3分野

図10は家庭をベースにしたコミュニティの一例です。家庭を考えた場合に、家電製品はコンセントを介して電力系統に接続されています。現在のコンセントは交流ですが、効率が良いのか悪いのか今の状態では判断できないところがあります。もしかすると条件に

よっては、直流給電という発想も、出てくるかも知れません。

また、色々な家電製品を制御するために情報のやり取りを行う必要が出てきます。各家電製品を制御するためにHEMS(住宅内のエネルギーマネジメントシステム)との間で情報通信が必要になります。その時の情報データ数は非常に大きく、この「ビッグデータ」の有効利用というのも今後市場に出て来ると思われます。これらの情報データの有効利用は家庭内だけでなく、ひいてはCEMS等との間のやり取りを行うことにより更なる利用価値が出てくるのではないかと思います。

これまでの内容をまとめると、①系統と連携した機能、②住宅内で自立した省エネ・エネルギー管理、③エネルギーデータを活用したサービスとの連携という3つの分野が、今後さらに伸びていくだろうと思っています。このうち、②と③について少し補足説明をさせていただきます。

住宅内で自立した省エネ・エネルギー管理

この分野は更に伸びると考えており、エネルギー供給源の太陽光発電や家電製品の接続に関する事項が重要になり、2030年以降にはほとんどの家電製品がECHONET-Lite規格の

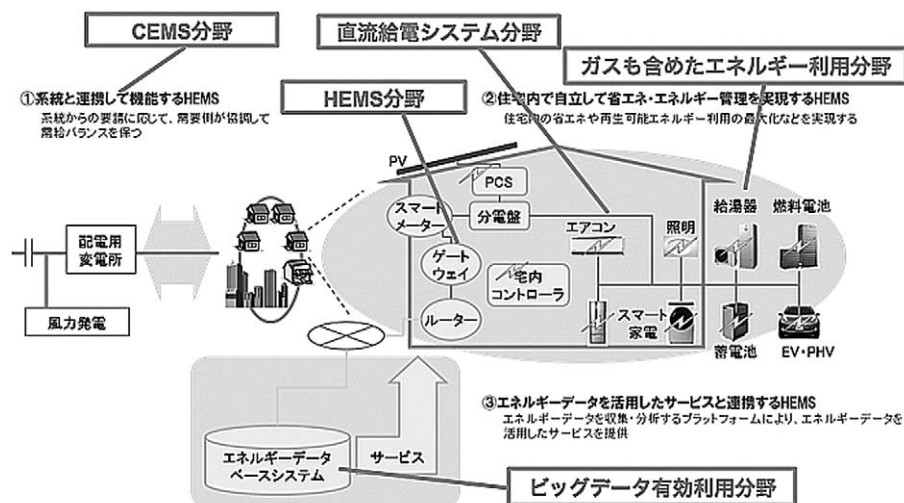


図10 スマートコミュニティの例

機器になっており、宅内で最良のエネルギー管理がされているだろうと思われます。現在、LTEを含めて通信インフラも良くなって来ていますが、2030年以降さらに通信環境は良くなり更に高速化されるだろうと思います。

この状況で、次にどんなことが考えられるかですが、個々のコンポーネントの効率アップも然りですが、電力系統や太陽光発電からの供給ができない時に、他のエネルギーとの共存も考えていく必要があると考えています。

エネルギーデータを活用した サービスとの連携

次に、「ビッグデータ」の取扱いですが、これは個人情報になるためセキュリティーの重要性をまず念頭に置く必要があると思います。今後、サイバー等が攻撃を受けた時に、いかにガードしていくのかも必要になると思います。

図11は「ビッグデータ」の有効利用の一例です。エネルギーの「見える化」も然りですが、ホームセキュリティー、ホームヘルスケアは今後重要な分野になると思います。例

えば、核家族化が進み一人で住んでおられる親御さんへの心配がある時に、朝起きて電気を使用しているか、もし電気をつけずにお湯も沸かしていないことがエネルギーの使用形態で分れば「あ、何かあったな」と気付くための情報としてもデータの有効利用の一手法だと思います。

このようなことも将来を見据えて考えていかなければならないだろうと思いますが、そのために必要な技術開発は何か等含めて、色々な切り口で将来の事業内容が考えられるのではないかと考えています。

おわりに

以上をまとめると、グリッド側では、単にコンポーネントだけではなく、それをつなぐケーブルおよび全体をどうコントロールするのかが重要と考えます。このような内容も含めて、グリッドとして考えていかなければならないと思います。より効率のいいコンポー

③エネルギーデータを活用したサービスとの連携

考えられる分野

ー生活に安心・快適・便利を提供するサービスー

a) エネルギーマネジメントサービス

・使用量、料金表示、各機器の省エネ運転、契約電力デマンド制御 etc

b) 快適生活支援サービス

・宅内外環境配慮制御、機器スケジュール運転（予熱、予冷）

c) ホームセキュリティサービス

・防火（火災、ガス漏れ、漏電監視）、防災（漏水検知、地震対応、凍結防止）、防犯（訪問者管理、侵入者防止）

d) ホームヘルスケアサービス

・健康管理サービス（病院、健康アドバイス会社）、高齢者生活ケアサービス、在宅医療機器監視・制御 etc

e) 機器リモートメンテナンスサービス

・遠隔故障診断・保守、運転遠隔コンサルタント etc

f) モバイルサービス

・機器運転状況、遠隔操作、施設操作、訪問者、高齢者生活状況 etc



（出所：「ホーム・エネマネ HEMS 認証支援センター総合パンフレット」神奈川工科大学を基に作成）

図11 エネルギーデータを活用したサービスとの連携の例

ネットについてはコミュニティ側としても同じようなことが言えると思います。

コミュニティ側では、単に自分が我慢をするだけでなく、「見える化」によって更に自動化された社会になっていくのではないかなと思います。そのためには、より情報通信技術を使用したシステム構成を考えていかなければならないと思います。

このように考えた時の将来のスマートな社会像とは、人間は技術を最大限に利用しながら人間らしさを生かした社会になるのではないかと想像されます。「技術は人間が使うものであって、使われるものではない」というのが私の考えであり、今後もこの考えに沿って色々考えていきたいと思います。

今回のシンポジウムの講演内容を整理すると、エネルギー転換・貯蔵および輸送の内容も含めて具現化していくには、もっと深掘りをした調査や検討を実施する必要があると思います。お金の回らない、世にも出ない技術にトライするよりも、世に出したい技術にターゲットを当てて、それをどのように使用していけば具現化できるのかという発想で考えていく必要があると思います。

そういう面で、本日ご紹介させていただいた分野を、私どももこれからより深く考えていきたいと思っております。また、ここにご出席の方々の中で、こういう分野で少し悩んでいるのだけとか、こういうところで少し相談に乗ってほしいのだけ等ございましたら、何なりと私どもの方にお声がけ、ご一報いただければできる限りのご協力はさせていただきますので、よろしくお願い致します。

これを最後に、私の発表を終わらせていただきます。どうもありがとうございました。

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「多様な未来に備えるエネルギー技術」というテーマで、開催いたしましたところ、多数の方々に、長時間にわたりご参加頂きまして、誠にありがとうございました。

午前中は、国立環境研究所の江守正多先生から「地球温暖化と将来のリスク管理」につきまして大変示唆に富むお話を頂きました。先生のお話をお伺い致しますと、今後の地球温暖化対策の取り組みでは、当研究所が標榜しております「総合工学」の視点がポイントではないかと再認識した次第であります。なお、江守先生が書かれました『異常気象と人類の選択』（角川新書）が先月出版されましたので、是非ご一読頂ければと存じます。

江守先生のご講演に続きまして、当研究所の三代副理事長、黒沢部長、石本主任研究員から「如何なる未来に備えるか」と題しまして、不確実な状況下において、将来のエネルギーを考えるにあたっての考慮すべきいくつかの点につきまして、ご報告させて頂きました。世界的に人口とエネルギー消費が増加する一方、地球温暖化と資源制約などのリスクに備えるには、エネルギーの供給面に加え、需要面の技術開発を強力に推進すべきとの報告がなされました。

また、午後には、当研究所の坂田、蓮池、徳田の各部長より、「期待されるエネルギー技術は」と題しまして、個別分野の技術動向につきましてご報告させて頂きました。「3EプラスS」を実現するには経済性を加味したエネルギーの転換技術、貯蔵技術、輸送技術を深化させることに加え、エネルギーの消費面におきますスマート化が重要であるとの報告がなされました。当研究所の研究員は、エネルギー技術に関する、的確なる評価を行い、それを基にした将来のエネルギービジョンを示すという使命があると考えております。その意味から、今回は、例年と異なり、当研究所の研究員を主体とした発表と致しました。日頃の研究活動の一端を皆様の前でご披露し、ご意見を頂くことで研究レベルのより一層の向上を図りたいと考えております。

また、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、幅広いエネルギー分野を長期的な観点から俯瞰的に分析し、エネルギーの技術戦略、あるいはエネルギービジョンづくりにおいて、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頂きます。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 25 年 10 月 2 日～平成 26 年 1 月 1 日)

◇ 第 19 回賛助会員会議

日 時：10 月 3 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. 電力・ガスを巡る情勢について
(経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部長 高橋 泰三 氏)

◇ 月例研究会

第 327 回月例研究会

日 時：10 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. バイオマスエネルギー産業の現状と将来展望
(三菱商事(株) 新エネルギー・電力事業本部
アジア・大洋州事業部 バイオ燃料チーム
シニアマネージャー 澤 一誠 氏)
2. バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発～総合調査研究～
(一財) エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長 徳田 憲昭, 主任研究員 森山 亮)

第 328 回月例研究会

日 時：11 月 29 日（金）14：00～16：00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 農工融合によるエネルギーイノベーション～太陽エネルギーによる肥料やアルコールの製造～
(東京農工大学大学院 工学府 産業技術専攻教授 亀山 秀雄 氏)
2. 光触媒および光電極を用いたソーラー水素製造～人工光合成から目的指向のソーラー水素へ～
(独) 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 太陽光エネルギー変換グループグループ長(兼務) 太陽光発電工学研究センター革新材料チーム チーム長 佐山 和弘 氏)

第 329 回月例研究会

日 時：12 月 20 日（金）14：00～16：00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構の活動について
(技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 理事長, 京都大学教授 山名 元 氏)
2. 再処理工場の安定運転の見通し
(一財) エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長(副主席研究員) 藤井 貞夫, 参事 波多野 守)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：都筑 和泰, 新藤 紀一, 黒沢 厚志

テーマ：中長期エネルギービジョンについて

発表先：キャノングローバル戦略研究所 (CIGS)
国内ワークショップ「地球温暖化抑制のための世界で共有できるエネルギービジョン」

日 時：7 月 10 日

発表者：石本 祐樹

テーマ：世界及び日本における CO₂ フリー水素の導入量の検討

発表先：科学技術動向研究センター政策のための科学研究会

発表時期：8 月 30 日

発表者：森山 亮

テーマ：途上国の持続可能なバイオマス利活用への道

発表先：第 45 回化学工学会秋季大会

日 時：9 月 16 日

発表者：都筑 和泰

テーマ：Middle and Long Term Energy Supply and Demand Structure with Considering Risks on Climate Change, Technology Development, and Economy (気候変動, 技術開発, 経済のリスクを考慮した中長期需給構造のあり方)

発表先：世界エネルギー大会 2013 (大邱)

日 時：10 月 14 日

発表者：(九州大学) 荒牧 寿弘, 楊 建校, 姜 勇, 宮脇 仁, 尹 聖昊, 持田 勲, (産業技術総合研究所) 杉本 義一, (エネルギー総合工学研究所) 小野崎 正樹, (㈲石炭利用技術コンサルティング) 岡田 清史,

上田 成

テーマ：褐炭を原料とする改質炭のコークス化性に関する基礎的研究

発表先：第50回石炭科学会議（日本エネルギー学会）

日 時：10月31日

発表者：(㈲石炭利用技術コンサルティング) 上田 成, 岡田 清史, (産業技術総合研究所) 杉本 義一, (エネルギー総合工学研究所) 小野崎 正樹, (九州大学) 荒牧 寿弘, 持田 勲

テーマ：木質系バイオマスを原料とする炭素材ピッチの炭化特性

発表先：第50回石炭科学会議（日本エネルギー学会）

日 時：平成10月31日

発表者：森山 亮

テーマ：途上国の持続可能なバイオマス利活用への道

発表先：INCHEM TOKYO 2013 産学官マッチングフォーラム

日 時：10月31日

発表者：松井 一秋

テーマ：Current status of Fukushima Daiichi NPP and Safety Measures at the other NPPs

発表先：カザフスタン核物理研究センター，アスタナ支部

日 時：11月6日

発表者：松井 一秋

テーマ：Current status of Fukushima Daiichi NPP and Safety Measures at the other NPPs

発表先：第10回カザフスタン原子力協会セミナー「カザフスタンの原子力の可能性」

日 時：11月7日

発表者：黒沢 厚志

テーマ：Geoengineering Representation in an

Integrated Assessment Model-Preliminary Assessment

発表先：ICA-RUS / CCRP-PJ2 International Workshop 2013（主催 ICARUS プロジェクト, CCRP-PJ2 プロジェクト（環境省予算））

日 時：12月5日

発表者：黒沢 厚志

テーマ：BECCS in integrated assessment models - road to the negative emissions based on Japanese experiences

発表先：ICA-RUS / CCRP-PJ2 International Workshop 2013（主催 ICARUS プロジェクト, CCRP-PJ2 プロジェクト（環境省予算））

日 時：12月6日

発表者：松井 徹

テーマ：バイオガス利用技術概要と藻類のメタン発酵技術について

発表先：技術情報センターセミナー「メタン発酵／バイオガス利活用のための技術と事業及び研究開発の最新動向」

日 時：12月12日

発表者：松井 一秋

テーマ：エネルギーシステムの安全性比較と事故・災害～OECD/NEAの調査研究より～

発表先：電子情報通信学会 安全性研究会

日 時：12月19日

発表者：徳田 憲昭

テーマ：太陽光発電用大規模パワーコンディショナのミニモデル開発事業の紹介

発表先：「JPEA（太陽光発電協会）公共産業部会」

日 時：12月26日

[寄稿]

発表者：坂田 興

テーマ：「二次エネルギー」水素

発表先：日本エネルギー学会誌

日 時：8月号

発表者：坂田 興

テーマ：水素エネルギー

発表先：日本機械会誌

日 時：8月号

発表者：坂田 興

テーマ：水素エネルギーシステム

発表先：化学工学年鑑 2013

日 時：8月号

発表者：森山 亮

テーマ：研究グループ紹介（プロジェクト試験研究部）

発表先：日本エネルギー学会誌

日 時：11月号

◇ 人事異動

○11月1日付

（採用）

鶴沢 憲 原子力工学センター 主任研究員

（兼務）

重政弥寿志 企画部長（副主席研究員）兼プロジェクト試験研究部

○12月31日付

（嘱託定年退職）

波多野 守 プロジェクト試験研究部参事兼原子力工学センター

○平成26年1月1日付

（採用）

酒井 奨 プロジェクト試験研究部 主任研究員

益田泰輔 プロジェクト試験研究部 主任研究員

編集後記

新政権が発足して1年余りが経過し、2回目の正月を迎えた。昨年末の街の賑わいを見ると、世の中が若干明るくなってきたかもしれないと感じた。そうは言っても、東日本大震災後の復興、福島第一原発事故対応を筆頭とし、財政再建、景気浮揚等々数多くの国内問題、加えて外交面の様々な課題も抱え、日本の未来にとって国の舵取りの重要性がかってなく大きくなっていることも確かだ。危機が深いがゆえに、政府に対する期待が高まっていると言えるだろう。そんな中、昨年末に漸く明らかになったエネルギー基本計画案の中で、極めて控えめな表現ながら、原子力を「重要なベース電源」として位置付けたことは、原発事故後初めて前向き的一步が印されたこととして評価したい。以前にも書いたので繰り返さないが、エネルギー資源のほとんどを輸入に頼る我が国にとって、「準国産エネルギー」である原子力の役割が大切であることは言うまでもないからである。「安全性が確認された原発の再稼働を推進」するには多くの障壁が予想されるが、焦らずに、一基また一基と着実に実現されていくことを期待したい。

基本計画案のなかでも「構造的課題」

の一つとして人口減少が言及されているが、日本の将来を考えるうえで、このことはもっと注目しなければならないファクターであると考え。エネルギーに限らず多くの局面で、真剣に人口減少への対策を用意していく必要があるのではないか。日本の人口は2050年に約9,700万人と、現在の約4分の3になると推定されている。また、高齢化の進展に伴って、2050年の人口の約4割は65歳以上となる。生産年齢人口比率低下の結果、エネルギーインフラのみならず、輸送（鉄道、道路、空港、・・・）、通信、公共施設、等々を維持するための一人当たりの負担の上昇は避けられない。今のうちにインフラを充実・蓄積し、社会資産として将来世代に引き継ぐ努力は当然のこととして、同時にストックは劣化することも忘れてはならない。すなわち、人工減少・高齢化の社会にとっては、インフラ維持が比較的低コストで行えなければならない。設備の高耐久・長寿命化と低コスト化の両立という大変困難な課題について、今から懸命の努力を払う必要があるだろう。インフラ設計思想の根本的な見直しが必要かもしれない。

編集責任者 疋田知士

季報 エネルギー総合工学 第36巻第4号

平成26年1月20日発行

編集発行

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。

