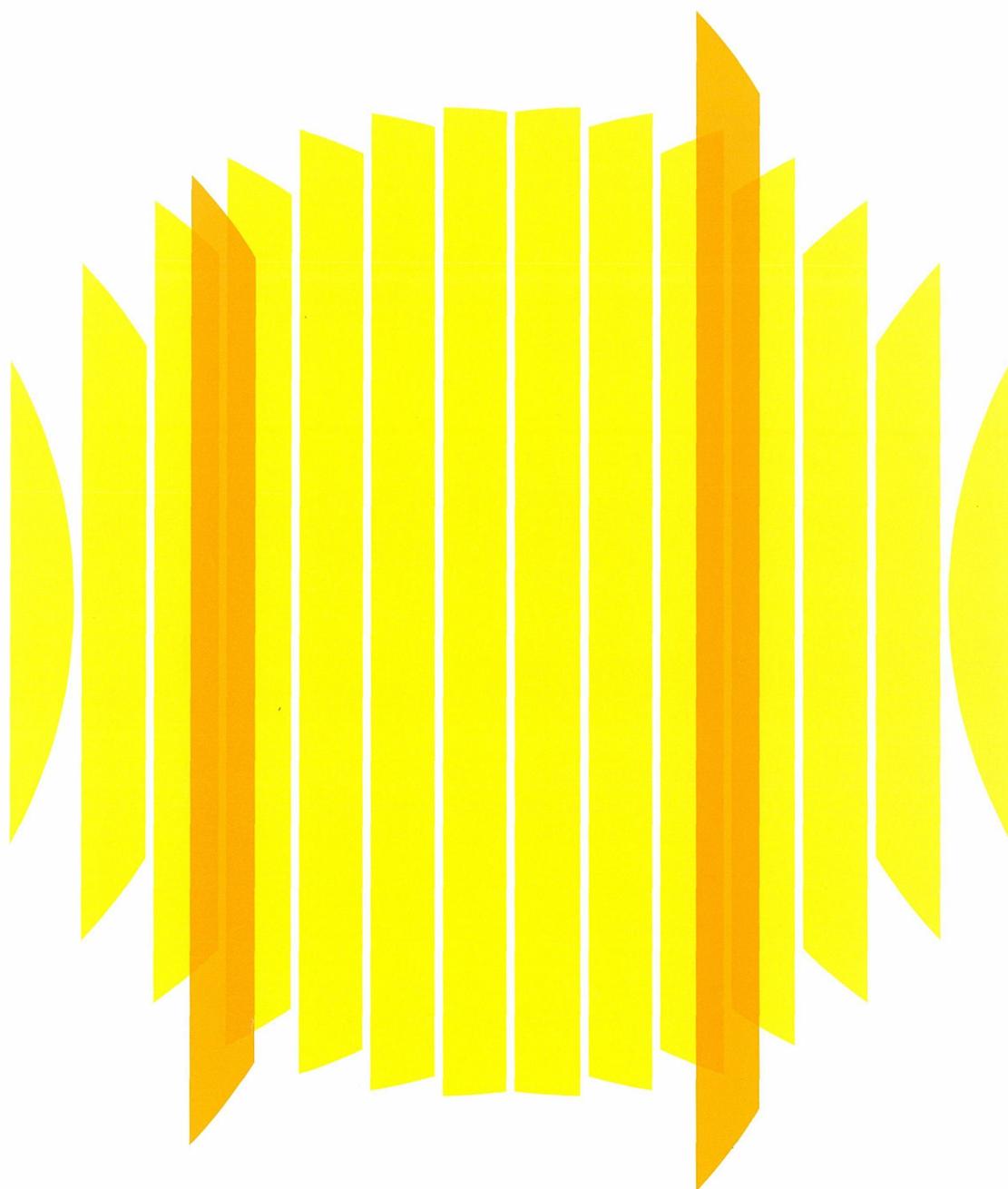


# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 29 No. 3 2006.10.



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

# 目 次

【巻頭言】 アジア環境・エネルギーパートナーシップの推進 (財)日本産業技術振興協会 専務理事	佐 村 秀 夫 ……	1
【理事長対談】 日本をめぐるエネルギー資源と大陸棚問題 京都大学大学院工学研究科 教授 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長	芦 田 讓 秋 山 守 ……	3
【寄稿】 日本の東アジア・エネルギーセキュリティ戦略はいかにあるべきか —期待されるアジアとのエネルギーパートナーシップ— (株)三菱総合研究所 シニア・エコノミスト	藤 井 秀 昭 ……	20
【寄稿】 中国の電力事情 (社)海外電力調査会 電力国際協力センター営業部 部長代理	中 山 元 ……	28
【寄稿】 最近の省エネルギー政策と技術の動向 (財)省エネルギーセンター 企画調査部 部長	佐 藤 文 廣 ……	39
【寄稿】 新規半導体 (SiC, GaN) のパワーエレクトロニクスへの展開 (独)産業技術総合研究所 パワーエレクトロニクス研究センター センター長 (独)産業技術総合研究所 次世代パワーエレクトロニクス実用化チーム チーム長	荒 井 和 雄 樋 口 登 ……	51
【調査研究報告】 欧州連合 (EU) における環境外部性評価の最新動向 プロジェクト試験研究部 主任研究員	都 筑 和 泰 ……	59
【調査研究報告】 「離島における新エネルギー導入可能性調査」について プロジェクト試験研究部 主任研究員 プロジェクト試験研究部 主任研究員	伊 藤 学 細 木 訓 ……	69
【調査研究報告】 再生可能エネルギーとしてのヒートポンプ —EUの事例を中心に— (財)ヒートポンプ・蓄熱センター 業務部 課長 プロジェクト試験研究部 主管研究員	矢田部 隆 志 埴 雅 一 ……	78
【研究所の動き】 .....		88
【編集後記】 .....		89

# 巻頭言

## アジア環境・エネルギーパートナーシップの推進

佐村 秀夫 (財)日本産業技術振興協会  
専務理事



アジア地域でのエネルギー需給の急拡大と深刻化する地球環境問題への対応が喫緊の政策課題であることはいうまでもない。こうした問題に対応するため、我が国が、アジア圏での新エネルギー創出のためのプラスサム、例えば、再生可能エネルギーに関する技術・機器・システム・評価分析手法の開発や市場創造に貢献することは地政学的にも必然といえよう。

新エネルギーの創出とともに、環境対策や新産業創出を同時に実現することがアジアのサステイナブル成長の実現に向けた最大の課題となろうが、より具体的には、技術を核とした環境・エネルギー・産業の三位一体の戦略的展開によるアジア産業技術圏の形成が重要と考えられる。さらに、人材ハブ機関とのネットワーク構築と標準化へのアクションも不可避的である。

こうした課題の解決には、わが国を代表する研究機関である独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）を中心とした産学官連携体制での運営が望まれるところであり、このための産総研のコアコンピタンスとしては次の4項目が挙げられよう。

- (1) 再生可能エネルギーや燃料電池等の分散型エネルギーネットワークの構築・運用技術
- (2) 環境・エネルギー優位性、低環境負荷を提供する革新的製造プロセス・材料技術
- (3) 輸送・民生部門のエネルギー効率化・環境対応技術（クリーン燃料、エンジンおよび排ガスCO<sub>2</sub>排出削減）
- (4) ライフ・サイクル・アセスメント（LCA）

産総研の認定技術移転機関としての機能を有する当協会においても、直接的にはアジア諸国への環境・エネルギー技術の技術移転を通じ、また、間接的には産

産総研とアジア諸国の研究機関への連携等を通じ、こうした課題に積極的に関与してゆきたいと考えている。

具体的なアクションとしては、共同研究契約やMOU (Memorandum of Understanding) 提携をはじめとする相手国とのバイ・マルチのワークショップ等により、産総研コアコンピタンスの統合や技術要素、および相手国のそれらを明確化し、これを踏まえた役割分担と中期的なシナリオを相手国と一緒に描き、相互補完的なパートナーシップによる実験的プロジェクトを推進することがあげられる。その為に重要な視点は、アジア諸国が、最適な関連技術の統合による事業コンセプトの構築とそれを担う人材のネットワーク化、および優秀な人材確保のハブ化を主体的に担い、欧米に先駆けてアジアにおける標準化を図ることであろう。さらに、実験プロジェクトの成果は各国の実情に即してアレンジしつつ、その他のアジア諸国に広域に展開させていく。また、現有および将来生み出される研究成果や知的財産権等については、産業界との連携を強め、アジア市場創出に向けて具体化することが必要であろう。産総研においては、その強みである環境調和技術、省エネ技術、経済生産性を勘案した技術のシステム化や評価技術、規格標準化について政府レベルのチャンネルと連携しつつ、アジア圏におけるソフト政策支援を積極的に行い、環境・エネルギー産業創出のイニシアチブをとることが望まれる。具体的には「化学物質リスク/LCA/温暖化等評価対策技術の融合」、「分散型エネルギー源の効率的利用システム」、「環境改善とエネルギー効率を両立させるクリーン燃料・エンジン・イニシアティブ」などに大きな期待が持たれるところである。

実験的プロジェクトとしての一例には「バイオマス・アジア」がある。言うまでも無く、アジアはバイオマス資源が豊富であり、収集や輸送の面でも有利である。このバイオマス資源を利用して、エネルギーの多様化と省エネおよびバイオマス・マテリアルの市場導入を図ることは経済的にも有利といえ、かつ地域社会の発展にも貢献することができよう。また、バイオマスの増産、森林再生、砂漠緑化等を併せて推進することにより、環境負荷の低減を図ることも期待される。2005年1月には、我が国において、アジア諸国の研究機関、農水省関連の研究機関および産総研が「バイオマス・アジア」の国際ワークショップを開催した。タイで開催した第2回を経て、本年2006年11月には第3回のワークショップを開催する計画であり、アジア諸国とのネットワーク構築と国際共同プロジェクトの立ち上げを進めている。今後はこれらの成果をさらに発展させ、真のパートナーシップを基礎に、市場創出と同時にエネルギー・グローバルセキュリティーをも視野に入れた活動を期待している。当協会としても、産総研におけるこうした活動を支援しつつアジア環境・エネルギーパートナーシップを推進してゆきたい。

## 日本をめぐるエネルギー資源と大陸棚問題

芦田 讓 (京都大学大学院工学研究科教授)

秋山 守 (財団法人エネルギー総合工学研究所  
理事長)



### はじめに

#### 地球物理学を志した背景

秋山 今日ではエネルギー・資源・環境、それから、それらのベースになる科学技術やライフスタイルまでキーワードを追ってお話を頂戴したいと思いますが、その前に、芦田先生が地球物理学を専攻なさった理由、背景などについてお話ししていただきたいと思います。

芦田 私、小さい時から田舎で自然に囲まれて育ちまして、未知のものを知るといふ喜びを非常に強く感じていました。また、田舎で

#### 芦田讓氏 略歴

1967年京都大学理学部地球物理学科卒業。同年石油資源開発㈱入社。1986年京都大学講師。1996年同大工学研究科資源開発工学講座教授。現在、同研究科社会基盤工学専攻教授。

日本学術会議第19期第5部会員。日本工学アカデミー理事。財団法人地球物理探査学会理事。資源エネルギー庁国内基礎調査実施検討委員会委員長。

すから周りに色々な物があって、そういう物を探すことにも強い興味を持っていました。それで、大学進学時には、工学部ではなく理学部へ行こうと決めたわけです。京都大学理学部の場合、3年生になる時にやはり目に見えるもので現在見えていないものを探そうということで地球物理に進んだわけです。

---

## 地球温暖化問題

---

### メカニズム不明がネックの温暖化対策

秋山 エネルギー需給に関しては2030年ぐら  
いまでの色々な見通しや問題分析のレポート  
が多数出されています。資源エネルギー庁の  
2030年までの需給見通しでは、人口が減り、  
経済活動もそう伸びないために、わが国のエ  
ネルギー需要は、2021年に4億3,200万ℓ（石  
油換算）でピークを打つだろうとされていま  
す。一方、エネルギー関連の国際情勢を見ま  
すと、ロシアによるウクライナへのガス供給  
停止で、エネルギーセキュリティへの関心が  
非常に高まっています。その流れの中で原子  
力もルネッサンス（復興）に沸いています。  
こうしたことを背景に、最近の地球温暖化問  
題についての先生のご認識、ご意見をお聞か  
せ下さい。

芦田 環境問題の中で一番大きなものは地球  
温暖化問題だと思います。と言いますのは、  
メカニズムがはっきりしないために対策が講  
じにくいからです。オゾン層の破壊はメカニ  
ズムがはっきりしているので、対策を打って  
います。残念ながら、地球温暖化については、  
炭酸ガスやメタンガスなどの温暖化ガスが増  
えれば、傾向として気温が上昇するというの  
は分かっているのですが、排出量がどのぐら  
い増えれば気温がどのくらい上昇するのかが  
はっきりしません。気温上昇の原因には太陽  
の11年周期等の黒点活動の活動変化が挙げ  
られます。それによる気温変動と炭酸ガス等  
が増えることによる気温変動とで、どちらが  
大きくなっているかという辺りのメカニズム  
がまだはっきりしません。ここが、地球温暖  
化問題の一番複雑なところだと思います。確  
かに、炭酸ガスが増えると温暖化が進む傾向  
にあります。今現在の炭酸ガスの増加という



芦田 讓 氏

(京都大学大学院工学研究科教授)

のは異常なもので、今まで地球が経験したこ  
とのないような急激な増加が見られます。だ  
から、それによる地球からの反応がどうなる  
か予測できないというようなことは非常に危  
険なことだと思います。

秋山 問題の実態が完全にクリアでないう  
えに、予測される影響が相当深刻だという中  
で「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」が  
国際的に専門家を集めて分析をして、参考  
になる認識をレポートにまとめています。それ  
と、私の個人的な印象なのですが、メカニ  
ズムはよく分からないけれども結果がかなり深  
刻だという問題については、「転ばぬ先の杖」  
で、より悲観的に見ておけばいいという姿勢  
で取り組むべきだと思っています。地球温暖  
化問題に取り組むことは、非常に重要だと言  
えますね。

芦田 現在の我々は先祖からずっと、地球が  
蓄えてきた化石資源を利用して文明を開いて  
きているわけです。これを、地球環境の破壊  
問題、あるいは汚染問題という負の遺産とし  
て子孫に残すべきではないという観点から地  
球環境問題を考えるべきだと思います。

秋山 温暖化物質の排出抑制について色々な

取り組みがあります。IPCCは制度的な取り組みですし、当研究所は技術が主体ですから、技術面での取り組み、大学では教育という取り組みがあるわけです。現状で温暖化も含めた環境問題について、まだまだ努力が欠落しているところはありますか。

芦田 地球温暖化問題は、地球全体の問題ですから、一国、あるいは一地域だけで対策を練っても意味がありません。そういう意味では、「中国人だ、日本人だ、アメリカ人だ」なんて言っている場合ではなく、「我々は地球人」という考えを持って、地球規模で取り組んでいかないと非常に難しいのではないかと思います。地球環境問題というのは利害得失があります。森林破壊の問題についても、例えばインドネシアとかに行って「木を伐採すると森林破壊になるからやめろ」といっても、彼らは日々家族がどうして食っていくかというのが問題で、地球温暖化問題というのは視野に入っていないと言います。彼らに「もともと計画的に焼き畑農業とかをやっていたのに、日本やアメリカが、パルプのために森林破壊をさせているじゃないか」と言われるとどうしようもないわけです。

だから共通認識に立ってコンセンサスを作っていくことが非常に大切なのです。気候変動枠組条約締約国会議（COP）だとか地球規模に立って利害得失を調整するものがなければいけません。「地球に優しい」などという考えは、とんでもない考えです。我々、あんまり地球に優しいことはしていないわけですので、そういう思い上がった考えを持っていると、地球からとんでもないしっぺ返しを受けると。地球は人類が滅亡しても痛くも痒くもないのですが、人間にとっては地球が滅びたらどうしようもない。そういう観点が必要です。

秋山 日々の新聞やニュースを見る限りでは、個々の地域の利害が絡むために、環境問題への共通の取り組みが進まないという事例があ

ります。また、国際的に大きく見ても、先進国と途上国とでは温暖化問題に対する規制のかけ方などで意見の違いがあります。例えば、COPにおける「ブラジル提案」は、産業革命の頃まで遡って、以後の積算したツケを勘定し、これに相当する精算をしたらどうかとっています。それは難しいと思いますが、おっしゃるように国際的にきちんと協力しなければいけないと思いますね。

---

## 資源エネルギー問題

---

### EPAで測るエネルギーの質

秋山 地球温暖化をもたらす二酸化炭素等の排出を抑制するために、化石燃料の消費を抑制することが大変重要だと認識されています。一方で、原油価格の高騰化や資源制約の面からも問題が指摘され、経済協力開発機構・国際エネルギー機関（OECD/IEA）の報告書や国内関係省庁の幹部の方々の発言でも、いよいよ「石油ピーク」の到来を前提にしたエネルギー政策を考えなければいけなくなってきた感があります。そこで、石油の将来的な見通しなどについてお聞かせ下さい。

芦田 液体でこれほど使い勝手のいい燃料というのは石油以外にありません。今、石油の可採年数（現在の確認可採埋蔵量をその年の生産量で割った値）は、41年だと言われておりますが、41年で石油が全く無くなるということではないのです。例えば、今でも石炭は日本でも沢山ありますが、使っていません。資源として存在していてもコスト的に採算が合わないと、エネルギーとして使われないのです。だから、石油の寿命が41年と言っていますけれども、絶対ゼロにはならないのです。次のエネルギーが出てくればもう使われなくなるのです。そういうことで、コストという

ことが非常に重要になります。我々はEPR (Energy Profit Ratio: エネルギー利得率) という指標ですべてのエネルギーを見ていくべきだと思います。EPRというのは出力エネルギーを得るのに、投入エネルギーがどれくらい必要かという指標です。1ならトントンで、1以下なら採らない方がましということになります。

秋山 EPRについて、一般の方に分かりやすく別の言葉でご説明願えませんか。

芦田 例えば、狩人がウサギを追いかけしているとします。当然、そのウサギを捕まえるためにエネルギーを使います。うまくウサギを捕まえることができれば、それを食料にしてエネルギーを得ることができます。そこで、使ったエネルギーとウサギから得るエネルギーのどっちが大きいかの問題です。使ったエネルギーが大きければ、うまくウサギを捕まえたとしても、その人は餓死するわけです。だから、それを得るのにどれだけのエネルギーを使うかという観点で非常に重要なのですね。

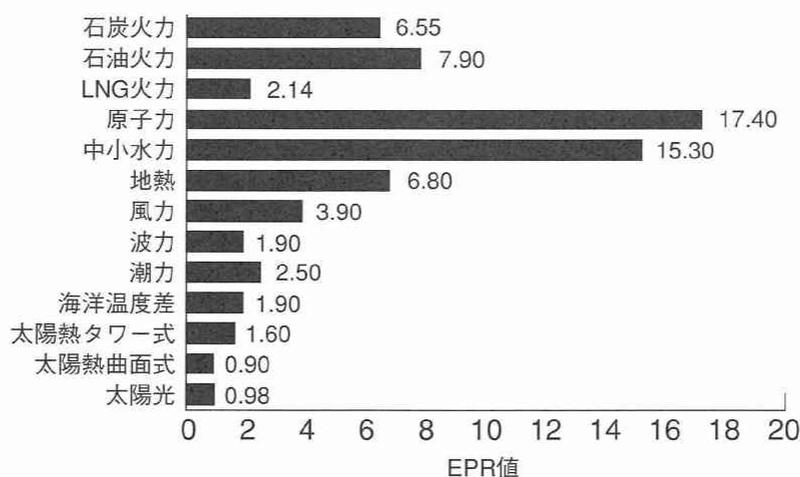
芦田 原子力についても、昔は4~40という

非常に幅の広い値がありました。今、原子炉のタイプの違いもありますが、電力中央研究所の天野治さんが「原子力のEPRは17.4だ」としています。(図1参照)。エネルギーを見ていく共通指標が出てきたことは重要なことだと思います。

秋山 EPRが1以上でないエネルギー資源やエネルギー技術は意味がないということで、このEPRという指標に照らして、様々なエネルギー資源の有効性、価値の分析を行っていくということが大変重要なのですね。ただ、気をつけておくべきは、技術の進歩も含めて状況は変化していくこと、従って、EPRの値も固定的なものではないということでしょう。

このEPRに関して、「日本原子力学会誌」(2005年7月)に、(財)電力中央研究所の長野浩司氏が論文を書かれ、日本の原子力プラント(軽水炉)のEPRは24だと紹介しています。原子炉のタイプ別だと、非常に魅力的なのは高速増殖炉(FBR)の106ということですよ。

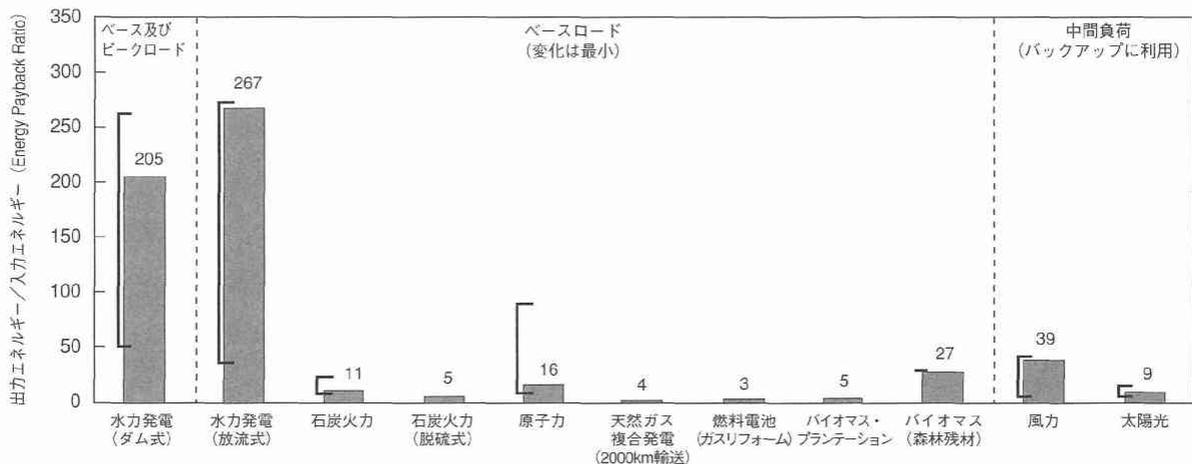
秋山 ところで、EPRでも“Energy Payback Ratio”というのがあります。これは(社)日本工学会アカデミー・エネルギー基本戦略部会(秋



注) 原子力では、ガス拡散と遠心を半分ずつにしている。

(出所: 天野治「エネ指標“EPR”」, 原子力サイト2006, 電気新聞, 2006年7月24日第12面)

図1 各種発電方式のEnergy Profit Ratio



注) 棒グラフは北米北東部における既存技術採用の値。半鍵カッコでくくった値は、文献ベースで、全世界における異なるシステムからの代表的な値。

(出所: Gagnon, Belanger, Uchiyama, "Life-cycle assessment of electricity generation options," Energy Policy, 30(2002), 1267-1278)

図2 各種発電方式のEnergy Payback Ratio

元勇巳部会長) のレポート「エネルギー基本戦略に関する調査報告書」(2005年3月)にも含まれていますが、エネルギー関連のプラントの全生涯にわたる出力をプラントの建設から始まって運転保守に要するエネルギー全体で割り返した比率です(図2参照)。

芦田 ライフサイクルアナリシスですね。

秋山 はい。そうです。Energy Profit RatioにしるEnergy Payback Ratioにしる、こうしたエネルギー収支分析をきちんとやっていくことによって、エネルギーの価値を認識していくことは重要なことですね。

#### 認知され始めた「オイルピーク」

芦田 今、石油価格が高くなってきている原因として、1つに需要の急増があります。それに対して生産が間に合えばいいのですが、統計を見ますと、石油発見のピークは1975年位なのです。それから、1980年には発見量と生産量が大体同じになりました。それ以後は毎年発見量の4倍を消費してきています。当然石油の埋蔵量が減っていかざるを得ません。それを見越して石油価格が上がっているの

はないかということです。

一時は、「どうせ高くなってもすぐまた安くなるだろう」という見方がありましたが、最近では少し傾向が違うのではと考える人が増えてきたようです。現実にサウジアラビアも生産量を見直して、これまで言ってきたほどの埋蔵量はないということで下方修正しています。

また、リスクマネジメントの観点から「石油生産のピーク」(オイルピーク)の時期をいつと見るかは重要です。例えば、ブッシュ大統領のエネルギーアドバイザーのマシュー・シモンズ氏は「石油生産のピークが2004年だった」と言っています。一方、米国地質調査所(USGS)は、「もっと後だ」と言っています。日本でも、「新・国家エネルギー戦略」で「楽観的に見ても2030年代に、場合によっては更に早い時期にピークを迎えるのではないかと」といった石油ピーク論なども指摘されているとの下りがあります。しかし、2004年と2030年ではかなりリスクの程度が違ってきます。だから、我々はリスクが大きいのか、小さいのか、また、そのリスクが好機なのか、脅威なのかを解析し、それに対して唯一絶対のシナリオではなく、複数のシナリオを持つべきではないかと思えます(図3参照)。

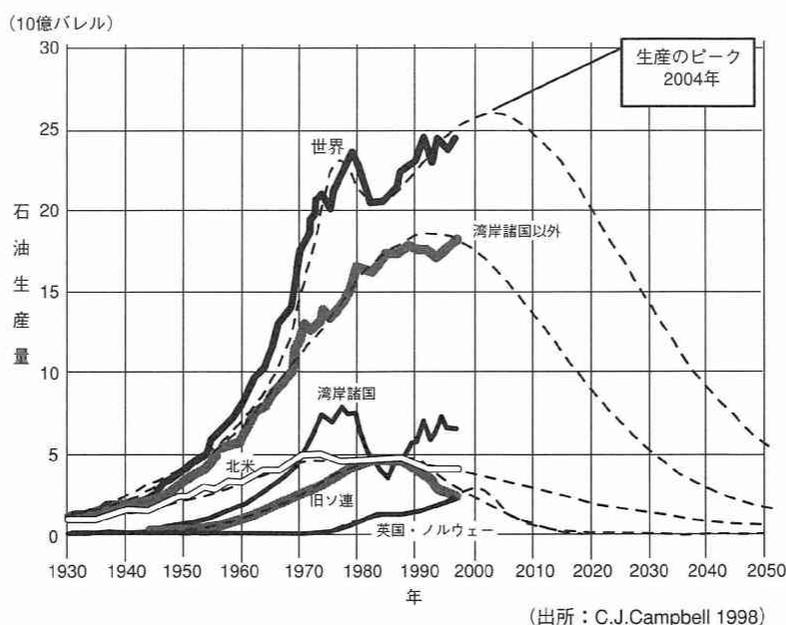


図3 石油生産のピーク（オイルピーク）

### 石油の推定埋蔵量に幅がある背景

芦田 石油というのは、岩石の中に空隙があって、その中に水と油とが混じる形であります。ですから、石油埋蔵量の計算では、まず、油層の縦×横の面積、それに厚さを掛けて体積を出し、空隙の比率（空隙率）を掛けて、石油の入り得る場所のボリュームを出します。それから水の分を引き、さらに回収率をかけると石油の可採埋蔵量が決まるわけです。

サウジアラビアにある世界最大のガワール油田は、幅50km、長さ280kmあります。これが60年ぐらい前に発見されました。現在かなり枯渇してきているという説もあります。最近、色々なところで油田が見つっていますが、ガワール油田のような大油田は見つかっていません。当然、大油田は見つけやすいですから、それが見つからないということは、いよいよ大油田発見の可能性が小さくなってきたということです。

秋山 石油メジャーは、探査・回収技術の格段の進歩や探査の投資の努力などにより、新たな石油・ガス資源の発見に期待を込めて楽観視しているのでしょうか。

芦田 石油メジャーの1つ、ExxonMobilは、彼らのホームページで、「石油生産のピークは2004年で、これから4%か6%減らざるを得ない」と言っています。それから、既存の油田に対し、もっと井戸を掘って取り出すとか、今まで使われていない、例えばオイルサンドとか、新エネルギーを使っても2030年には今の需要の伸びが続けば賄いきれないというレポートを出しております。

それから埋蔵量というのは非常に思惑がありまして、先ほどの考えで計算しますので、少し見直してみると、面積が大きかったとか、油層が少し厚かったとか、空隙率が少し多かったとか、あるいは水の部分が少なかったとかで、埋蔵量がすぐ変わってくるわけです。実際に、第二次オイルショックの時に、中東のOPEC諸国の埋蔵量が3倍から4倍にジャンプしているんです。これは新しい油田が見つかったわけでもなく、OPECの生産枠が埋蔵量によって決まるということから意図的に埋蔵量を多めに修正したのではないかとされています。

秋山 政策的な数字なのですね。

芦田 そういう事例もあります。それから、石油の推定埋蔵量はあくまでも推定に過ぎませんから、立場の違いで一桁ぐらい違ってくるわけです。石油のでき方については有機説と無機説があります。有機説は昔の動植物が変化してできたというもので、無機説は地球誕生の時のガスが地殻変動で上に上がってきたというものです。

石油価格が上がってくると必ず無機説が出てきて「地球誕生の時にできたガスがあるのだから、石油は無尽蔵にある」と言われます。ところが、これは大きな誤りで、石油やガスは凝集しなければ駄目なのです。ただできただけでなく、それが集まってコスト面で採り出せる形にならないと駄目です。有機説であろうと無機説であろうと、油田という形になっていないと利用できないわけです。

#### いずれにしろ石油は有限

秋山 米国地質調査所 (USGS) は、石油の究極埋蔵量を約3兆バレルと言っており、キャンベル氏が推定する1.8兆バレルと大きく異なっています。両者の推定の違いの背景について、分かりやすく説明をお願いします。

芦田 これは究極の推定埋蔵量なわけで、実際に調査してはじき出した数値ではありません。ですから、推定の仕方によって結果が大きく変わるわけです。当然、人によってデータの見方、推定の仕方が違うわけです。本当は物理探査を行って、地下3,000m、4,000mのデータをとって評価すると、より精度の高い成果が得られるわけです。ただ、ExxonMobilとか、石油メジャーが世界の色々な所で調査していますから、ある程度のデータはあると思います。それでも、評価の仕方によって埋蔵量が少しずつ違ってきます。例えば、キャンベルが1.8兆バレルで、USGSが3兆~3.4兆バレルと言っていますが、これは見方によってはかなり近い線ではないかと思えます。

秋山 両者の範囲に近い辺りが限界だということですね。

芦田 どっちにしても有限です。1.8兆で41年だと、3兆バレルだと68年ぐらいですから、そんなに変わらないわけです。

有限なものには必ずピークがあります。現実に今までアメリカの無煙炭も鯨油もそうでした。

芦田 石油の用途には発電と工業原料があるわけですが、発電は原子力や太陽光など、色々な手法で賄い、石油は工業原料に振り向けて、できるだけ石油の寿命を長くして、その間に新しいエネルギーだとか、社会システムを変えていくことが重要だと思います。

---

#### 石油代替資源の開発

---

##### オイルサンド、オイルシェール

秋山 石油代替資源としてオイルサンドやオイルシェールなどがあります。カナダのオイルサンドについては、アルバータ州を中心に、可採埋蔵量として2~3,000億バレル程度が存在すると言われています。そして、シンクレアオイル社がかなり輸出攻勢をかけているようですが、このオイルサンドの見通しについては、どう考えておけばいいのでしょうか。

芦田 石油、天然ガス、オイルサンド、オイルシェールは、有機説の立場に立てば、でき方はまったく同じです。石油は動植物がケロジェンというものになって、それが還元状態で熱変性を受けて石油になって、さらに温度が上がると天然ガスになるのです。

有機説の立場をとりますと、石油ができるには、まず根源岩(泥岩)が必要です。それから、それを溜めておく貯留岩(砂岩、石灰

岩、凝灰岩)がトラップを形成し、そのトラップの周りに油が逃げないようなシール(例えば背斜トラップに対してはキャップロック)があって、熟成するための熱が必要です。それから、石油が生成される所である泥岩と貯留される所である砂岩は堆積場所が異なりますので、石油を泥岩から砂岩へ移動させる力が必要なのです。これだけの条件が揃って、油田、ガス田ができます。オイルシェールというのは泥岩で石油ができそのまま移動しなかったものなのです。だから、オイルシェールは「泥まみれの油」です。それに力がかかって移動して行って、途中でトラップやシールがあれば油田、ガス田ができ、それらがなければ、地表近くに出てきて揮発性のものは蒸発し、重質油からなるオイルサンドとなります。

秋山 石油が途中で止まったか、地表に出てきたかの違いなのです。

芦田 そうです。それで、オイルサンドというのは重質で流動性がありません。石油やガスなら自噴してくるのですが、オイルサンドは自噴しないわけです。そのために、SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage)という日本の会社がカナダで290℃くらいの蒸気を2年くらい地中に入れ、重質油を溶かし、蒸気圧で温度が低い空洞の外側に追いやり、重くなって沈んでいく重質油を回収しています。ですが、ここでもコストを考えないとはいけません。石油だと井戸を1本掘れば自噴して出てくるわけですが、オイルサンドの回収は、何本も井戸を掘って、そこで2年間も蒸気を供給して初めて採れるわけですから、当然コストが多くかかります。

秋山 オイルサンドの場合、EPRはいくつなのですか。採取に相当な手間とコストとエネルギーを要することを思うと、その点が気になります。

芦田 オイルサンドのEPRには色々な試算がありますが、条件のいい所、つまり、あまり深くない場合で2ぐらいだと思います。オイルサンドがある場所はと言いますと、カナダとベネズエラです。ベネズエラはオリノコタールですが、これとカナダのオイルサンドでは油質が違うのですが、埋蔵量は中東の油田に匹敵するくらいの量があると言われています。それから、オイルシェールは地下の深い所であって、ほとんど手つかずです。オイルシェールの推定埋蔵量もやはり石油の埋蔵量に匹敵します。しかし、これはEPRで見るととても利用できるものではないのです。だから、「石油の後はオイルサンドがあるじゃないか。オイルサンドの後にはオイルシェールがあるじゃないか」ということで安心とはいかないのです。

芦田 オイルサンドの開発が商業ベースに乗るようになったのは1990年以降です。技術的要因として地下を3次元的に調べる物理探査技術、井戸を水平に掘る技術、そしてSAGDの技術の3つがそれを可能にしました。

3次元物理探査技術で非常に詳細なデータが採れるようになりました。それで、昔の川がどこを流れていたかを調べ、オイルサンドがありそうな砂のあたりを掘るわけです。

井戸を水平に掘っていく技術では、ある深度さえあれば鉄管を垂直に曲げて掘ることができます。

#### 「エネルギー」でないメタンハイドレート

秋山 日本の国産資源として大きな埋蔵量があるとして期待されているメタンハイドレートについて、エネルギーの観点からはいかがでしょうか。

芦田 メタンハイドレートはある圧力と温度(4℃くらい)でシャーベット状になった水にメタンガスが閉じ込められている(ハイドレ

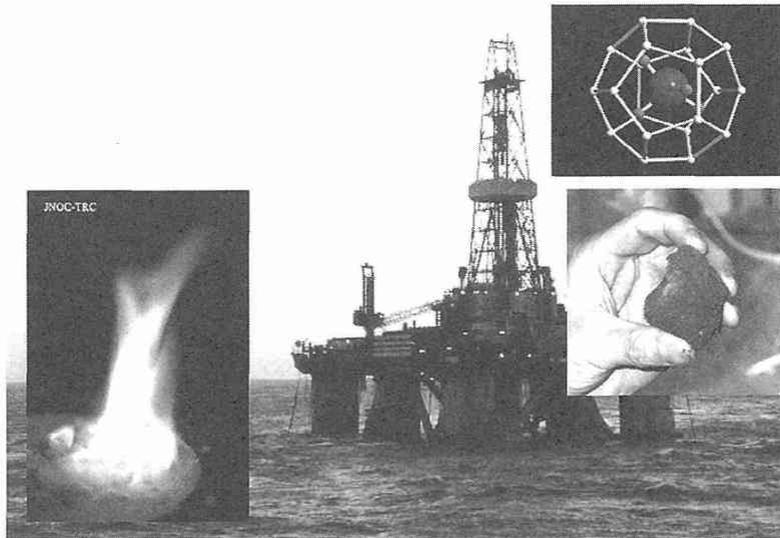


図4 燃えるシャーベット（メタンハイドレート）

ート化した) のものです (図4 参照)。

メタンガスがハイドレート化しますと水1ℓにつきメタンガスが150ℓ貯蔵されます。どこにあるかと言いますと、ツンドラ地帯か大水深の所です。日本だと南海トラップだとかです。日本近海にあるメタンハイドレートは、日本の天然ガス消費量の100年分という推定試算もあります。100年もあれば、みんなが注目するのも当然です。

それで、私も関係しているのですが、経済産業省がプロジェクトを立ち上げて、3次元物理探査をやって、一昨年、井戸を十数本掘ったのです。物理探査で調査しますと、海底に平行した非常に特異な現象 (BSR: 海底疑似反射面) が出る所があります。これがメタンハイドレートではないかということで調査を行っているところです。今迄の調査の結果によると、必ずしもBSRという特異な現象がメタンハイドレートの存在と一致しないということが分かってきました。となりますと、今度は推定埋蔵量が大きく変わってきます。

したがって、現在のところ、私はメタンハイドレートは資源としては存在しても、エネルギーではないと理解しています。EPRで見ると、採掘コストが高過ぎてまだ使えない資源だということです。研究開発はどんどんやるべきだと思いますが、最終的には事業とし

て採算がとれるかどうか重要です。

ツンドラ地帯にあるメタンハイドレートについては、カナダのマッケンジーで、日本が中心になりアメリカ、カナダ、ドイツと共同で基礎的な研究を行っています。どうするかと言いますと、シャーベットなわけですから、オイルサンドと同じで、蒸気を入れて、シャーベットを溶かしてメタンガスを取り出すとか、あるいは減圧して、メタンガス (気体) と水 (液体) に分離してメタンガスを取り出す実験を行っています。一応、一部取り出すのに成功したそうです。

秋山 この新しい分野の研究や技術開発で一番先端を行っているグループや国はどこですか。

芦田 メタンハイドレートでは日本がトップランナーの1つだと思います。

芦田 石油価格が上がってきますと、新エネルギー開発を大いにやるべしということになるのですが、その時に大事なものは、現在の安くて豊かにある石油を前提にコストを計算しては意味がないということです。石油がなくなった時のコストがどのぐらいかを考えないといけません。例えば、「石油がなくなれば水

素がある。だから水素ができればいいんだ」と安心されている人もおられるのですが、水素は水という形で存在しているので、コストをかけて水を電気分解して水素を得ることになります。その時のEPRを考慮しないとイケませんね。

### 高い流通コストが日本の課題

秋山 エネルギーを考えたり、選択していくときに、EPRは非常に重要な指標ですが、エネルギーの持つ価値というのは、単にジュールベースに留まらず、様々な角度に照らして見ていく必要があります。経済学の分野で、外部性とか外部不経済といった用語が使われますが、費用に着目した場合、外部不経済を「外部コスト」と称しているようです。環境問題に対してどのくらい税金を払わなければいけないとかですね。そのように、エネルギー収支バランスに、エネルギー利用に関わる外部コストも加えて、トータルに考えることも重要だと思いますが、いかがですか。

芦田 外部コストのことも重要ですが、日本で一番問題なのは、流通コストが非常に高いことです。これから石油がなくなってきましたと、今のように車で運ぶのではなく大量輸送システムで運ぶことになるでしょう。そういう意味で、私は日本津々浦々まで広がっている鉄道網を死守すべきだと思っています。勿論、現在は、食糧、エネルギー、工業など、あらゆるものが石油をベースにしています。社会全体としての問題に対して、国家的な戦略、ビジョンが必要になってくるのではないかと思います。国土交通省では輸送問題に関する研究会をおやりになっています。資源エネルギー庁も「新・国家エネルギー戦略」を作りました。

自動車などはどうするかというと、取りあえず今はハイブリッド車でいく。その次はバイオだということです。できるだけハイブリッド

で石油を長持ちさせ、時間を稼いでその間に対策を練ろうという戦略ですね。

### 大きなインパクトを持つレアメタルの確保

芦田 最近、どうも何でもお金さえ出せば手に入るんだという考え方が蔓延しているのではないかと危惧します。入る間はいいのですが、これからはお金を出しても石油や物が入ってこない。一番大事なものは食糧とエネルギーですね。

アメリカは食糧にしてもエネルギーにしても、自分の所にある時は買え買えと言いますが、なくなれば日本にかまっていられないわけです。それは日本が考えればいいんだというのが本音だと思います。

その一番いい例が燐鉱石です。窒素・燐酸・カリは肥料の3要素ですが、窒素は空気中から、カリは灰ですから国内でも何とか入手できます。燐は燐鉱石を硫酸で融かして使うわけです。燐というのはどこにでも分散してありますが、集めなければ使えないのです。昔は鳥が食物で集めて、その糞で全体が燐鉱石という鳥があったのですが、今はその鳥の燐鉱石は取り尽くしました。今、燐鉱石を産出しているのはアメリカ（世界の34%）、あと中国、ヨルダン、モロッコ、チリとかです。アメリカの燐鉱石の可採年数は7～10年なのでアメリカは、燐鉱石の輸出を禁止しました。だから今日本に入ってきている燐鉱石は、中国などからの輸入なのです。

秋山 非常に重要なインパクトを持っている資源の1つにレアメタルがありますね。産業に直結したインパクトがあるということで、レアメタルの備蓄も政策的に国が始めるということも先日ニュースになっていました。

芦田 レアメタルでは、例えば、液晶の材料であるインジウムが大きなインパクトを持っています。この3月まで日本は世界第2位のインジ

ウム生産国でした。札幌近郊の定山溪にあるジャパン・エナジー（株）の豊羽鉱山で生産していました。これは鉛・亜鉛鉱山なのですが、そこで、鉛・亜鉛の付属物として出していたのですが、鉛・亜鉛が採算が合わないということで閉山しました。同時に、付属物であったインジウムも採れなくなったのです。

---

## エネルギー技術開発戦略

---

### 期待される「新・国家エネルギー戦略」

秋山 経済産業省の「新・国家エネルギー戦略」が2006年5月にまとまり、これに基づいて具体的な計画が予算化されつつあると思います。一方、「エネルギー政策基本法」に基づく「エネルギー基本計画」についても改定作業が間もなく仕上がります。この2つを両輪とするアクションプログラムが展開されていくことになるわけですが、「新・国家エネルギー戦略」を見ますと、目標が3つ明示されていて、第1が「国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立」、第2が「エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立」、そして第3が「アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献」となっています。これらに基づいて戦略の中身を策定していく時の基本的な視点や留意事項等が書かれています。そして「新・国家エネルギー戦略」の特徴は数値目標を挙げたことであり、省エネは2030年までに更に少なくとも30%の効率改善を目指すこと、石油依存度は2030年までに40%を下回る水準を目指すこと、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を80%程度とすることを目指す、などとしています。原子力の数値目標については、発電電力量に占める割合を2030年以降においても30~40%程度以上にすることを目指します。こういった数値目標を含めて、今回の「新・国

家エネルギー戦略」についてお感じのことをお話し下さい。

芦田 これまで経済産業省は3つの大きな課題に直面してきました。「グローバルイゼーション」、「エネルギー」、「産業振興・育成」の3つです。エネルギーは非常に重要だということで「新・国家エネルギー戦略」ができたわけですから、エネルギーに関する認識が高まってきました。これは非常に結構なことだと思います。目標が達成できるかどうかを別にしても、数値目標を設定することは必要だと思います。新エネルギーによる電気の導入促進を図るRPS（Renewable Portfolio Standard）法でも2010年における導入の数値目標が示されていますね。そういう意味で、「新・国家エネルギー戦略」が掲げる数値目標を基に産業や運輸などをどうしていくか、国家として考えていただくことは非常にありがたいことだと思っています。

秋山 「新・国家エネルギー戦略」はまさに戦略という文字がついた大変に重要なものです。その内容を進めていく上では、国際競争をも意識しながら選択と集中を行っていく必要があります。日本工学アカデミーや当研究所のようなシンクタンクも含めて、非営利で中立的な立場の専門家がこうした戦略に基づく事業の推進にどう力を尽くすことができるか。我々の心構え、期待、問題などについてのご助言をいただけるとありがたいのですが。

芦田 こういうプロジェクトが走り出しますと、色々なプロポーザルが一斉に出てくるのですが、ちゃんとした計画に基づき、ちゃんと査定して地に足のついた研究をやらないと成果は挙がらないと思います。日本というのは一般的に、部品を作るのは非常にうまいのですが、その部品を組み合わせ全体をシステム化するということが苦手です。システム構築のトレーニングを積まないとリーダーが

なかなか育ちません。やはりちゃんとしたリーダーの下で全体をシステム化する組織が必要だと思います。

## 大陸棚の境界確定問題

### 日本の場合難しい大陸棚境界画定

秋山 漁業や海底資源採掘などに主権的な権利を主張できる大陸棚境界の確定の問題があります。そのための海洋調査というのは、海洋権益確保の問題とエネルギー鉱物資源の確保といった面で、極めて重要だと思います。そこで、海洋の調査研究に関する最近の努力の方向や今後の見通しについてポイントを教えてくださいませんか。

芦田 大陸棚境界は国連にレポートを提出し、それが審査・合格して初めて確定されます。そのためには国連の審査に耐え得るような調査をやらなければ駄目ということです。調査については、内閣府でおやりになっているということで、それに非常に期待しています。もう1つ重要なのは、2009年の5月という期限です。現在、調査と解析を併行してやっているのですが、英語でレポートを出すのに一年以上かかりそうです。期限に間に合うのか私は少し懸念しています。

秋山 日本に1隻もなかった3次元調査船の建造計画がスタートしたということですが、調査船のことも含めて2009年5月の期限までの全体的な工程表はあるのですか。

芦田 私は直接関与していませんが、内閣府

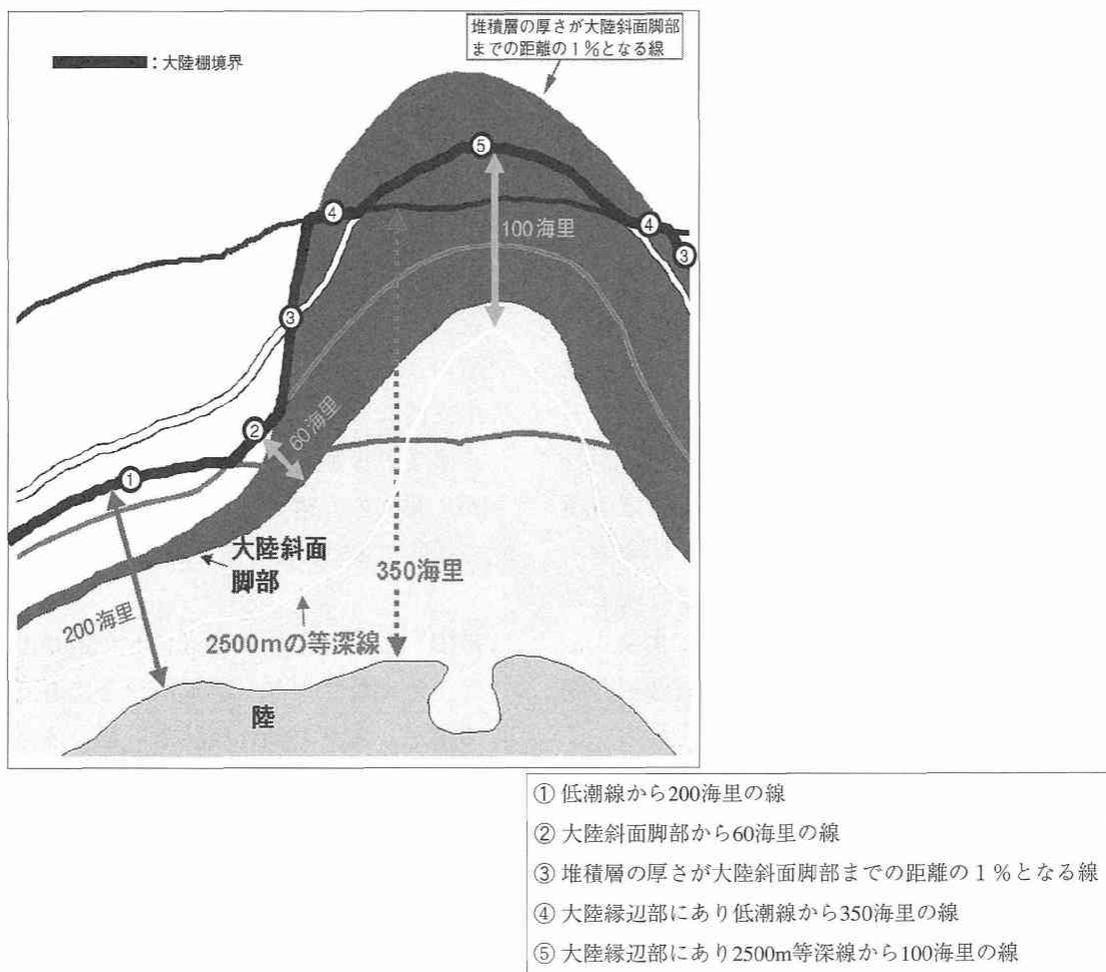


図5 大陸棚の定義（平面図）ヘッドバーク線

が然るべき方法でおやりになっていると思います。

芦田 日本の場合難しいのは、国連のガイドラインの中にいくつかのルールがあるということです。1つは大陸斜面脚部から60海里、あるいは堆積物の厚さがその脚部からの距離の1%になる、どちらか遠い方を境界とするという通常則です。それに対して制限則として、水深2,500mプラス100海里、あるいは350海里のどちらか遠い方ということがあります。日本の場合、堆積物はそれほどありません。水深2,500mプラス100海里は200海里の内側に入っていますから、これも駄目です。日本の場合には大陸斜面脚部の位置が一番重要になってくるわけです。これらのルールは日本のような沈み込み帯に適用できるルールではなく、アメリカやヨーロッパを主体にしたルールで、日本の場合に適用するのは難しいです(図5参照)。

さらに作業を難しくしているのは、通常則が適用できない場合には反証を示して陸続きであることを自分で証明しろということです。シナリオを自分で書いて、国連に提出しなければならないのです。日本の場合は反証の方法を用いるしかありません。各海域ごと

にシナリオを組んで、それで国連を納得させなければなりません。

#### 説得力あるシナリオ作りに必要な3次元調査

芦田 石油の探査であれ、大陸棚画定のためであれ、海の地下構造を調べるには3次元調査船が必要なのです。それは2年前には世界で40隻ぐらいありました。その時、中国が4隻、韓国が2隻、日本は0でした。現在、中国は3次元調査船を12隻持っていて、石油価格が上がってきている今、石油の調査を色々な所で活発化させています。

3次元調査船というのは、地震計を内蔵したケーブルを10本とか20本とか引っ張って、人工地震を発振しながら一挙に地下を調べていくという8,000トンぐらいの船です(図6参照)。2次元調査船だとケーブルを1本しか引っ張ってないんですね。だから2次元の断面のデータしか採れない。ケーブルが十何本あると面的なデータが採れるわけですね。そういう意味で3次元と称しているわけです。

秋山 3次元調査船は今では日本でも稼動が始まっているのですか。



図6 3次元調査船

芦田 いいえ。日本は世界第6位の経済水域を持つ海洋国家ですが、3次元調査船を現在1隻も持っていません。それで、色々な方をお願いして、一昨年、建造予算247億円がつけました。ところが、去年は発注業務が行われなかったのです。

秋山 予算がついたのに発注されないのですか。

芦田 そうです。やっと今年になって私も入っている調達委員会ができ、発注すべく業務を行っています。今年の12月ぐらいにはその発注業務がやっと動くと思います。船が完成するのは、中古船の改造の場合で平成19年度の春、新造の場合は20年度の春ぐらいです。

秋山 ともかく、国の海洋権益について政策的に議論するには、しっかりした調査が前提ですね。

芦田 そうです。中国は沖縄トラフまで大陸棚が広がっていると主張しています。国連海洋法条約では、係争地については関与しない、関係国で問題を解決することになっています(第76条10)。ですから、この問題は日中間で解決しなければならないわけですが、その時に、データを持っているのと持っていないのでは全然話になりません。先方は12隻の3次元調査船を持っていて、全部調べ上げているわけですから。

秋山 海洋、海底については、ニュージーランドでも随分詳しい調査を行っているということですが。

芦田 私、外務省に頼まれてニュージーランドとオーストラリアがどういう方法で行っているか調査しました。ニュージーランドの場合、北は東側から太平洋プレートが沈み込み、南は西側からインドプレートが沈み込んでい

ます。一方、オーストラリアは沈み込みがなく、水深調査だけやっている感じでした。しかし、ニュージーランドもオーストラリアも10年計画を立てて、そのとおりに実行し、レポートを国連に出しました。費用は両国とも10年間で30億円です。

芦田 日本は、3年ほど前から年間140億円ぐらい出して調査をやっていますが、日本の場合は難しいのです。オーストラリアは水深調査さえやれば、大陸斜面脚部が決まります。それで60海里の線を引っ張ればいいわけですが、日本の場合は海底地形が複雑でそう簡単にはいきません。

### 3次元物理探査の内容

秋山 物理探査の技術では2次元から3次元調査へ、さらにはバーチャルリアリティの普及へと進んでいるとのことですが、それらを含めて全体的な内容を分かりやすくご説明いただけますか。

芦田 物理探査技術は、アメリカを中心に石油開発のために開発され発展してきました。1927年頃から石油開発探査に用いられています。その後、ExxonMobilなどのメジャーを中心に、非常に多くの資金と優秀な人材を投入して石油を探してきたわけです。そこからの波及技術の1つがIC回路で、野外の劣悪な環境下での使用に耐えうる小型・軽量で丈夫な調査機器のために考案され、また、もう1つがアレイプロセッサで、非常に大量のデータを処理するための非常に高速な周辺装置です。

秋山 そのために専用のコンピュータを設計したということですか。

芦田 はい。高速の周辺装置をつけたプロセッサとIC回路です。IC回路は、我々が現場



秋山 守

(財)エネルギー総合工学研究所  
理事長

で調査する際に使える軽くて丈夫なものをTI社という1石油会社の探査会社の子会社だったところに作らせたのです。アレイプロセッサはIBMに作らせました。

3次元物理探査については、アメリカを中心に非常に高度な技術体系があります。今、IT技術を使って地下を、バーチャルリアリティ(仮想現実)で見ながらコラボレートテーブル、コラボレートデータ、コラボレートディジョンを行う技術体系です。要するに、すべてのデータを集めて、技術者、物理探査家、地質家、マネージャー、会計の人など、全部集まってきて意思決定をするのです。地下を詳細に調べたおかげで油田の発見率が飛躍的に向上したわけです。

秋山 今話された技術は、日本ではどのぐらい実際の探査に適用されているのでしょうか。

芦田 そういうシステムは、昔の石油公団(現(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構:JOGMEC)、石油資源開発(株)とかで、持っています。しかし、3次元調査船がないために入力するデータが十分ではありません。昭和40年代には拓洋丸という船を石油資源開発(株)が持っていました。昭和50年代には

開洋丸を作って、日本周辺海域の調査をしていたんです。それが、作業量がないということで昭和62年頃に開洋丸を売り払ったわけです。その当時、中国にはほとんどそんな技術はなかったのです。日本が技術を供与し、船を作って、それで技術を蓄積しました。今や、中国は、相当な技術で世界を股にかけて石油を探しに行っています。

日本は昭和60年頃からあった3次元調査の技術的な流れにまったく乗り遅れたわけです。

秋山 日本は、これから気を引き締めながら、海洋について人材やインフラも含めた投資をして、積極的かつ体系的に取り組んでいくべきですね。

芦田 そういう意味で、「新・国家エネルギー戦略」ができたということは重要なことだと思います。日本の石油関係を全部集めても、ちょっとしたアメリカの石油会社一社にも足りないということですから。

秋山 インターネットで人工衛星による探査の話を読みましたが、油田探査にも有効なのでしょうか。

芦田 人工衛星からだと非常に高い周波数で見ることになりますから、地表面のことしか分かりません。勿論、鉱物資源が地表に露出している場合には有効です。例えば、南アメリカでは人が入って行けないジャングル奥地の上空から人工衛星で探査して銅鉱脈を探しています。しかし、地下3,000~4,000mにある石油を人工衛星で探すのはとても無理ですね。

---

## 次世代への期待

---

秋山 人材教育も含めて、これからの日本の行方を考えながら、先生のご期待なされること、また、日本がエネルギー、食糧、環境問題の

中でどう先進的に振る舞っていけばいいか。さらには、近隣のアジア諸国との連携、協力における日本の役割などについて、特に若い人に期待することを教えていただければありがたいです。

芦田 科学技術を使って自然をコントロールするのではなく、やはり自然と調和するという東洋的な思想に還るべきだと思います。20世紀、特にその後半は資源・エネルギーという観点からは「バブルの時代」でした。バブルの厄介なところは、そこにいる時にはそれと認識できないということです。終わって初めて「バブルだった。ピークだった」ということが分かるわけですから、先を予測しなければ駄目なわけです。20世紀後半の「バブルの時代」が21世紀も続けば良いのですが、それが難しいとなると、19世紀の水準に戻らなければならないと思います。

現に、江戸時代の日本は最たる資源国だったのです。金、銀、銅を産出し、なおかつ、優秀な国民がいたわけです。300年の鎖国の中で儒教が広まって、非常に勤勉な、それから教育は寺小屋で行い、ほとんどの人が読み書きできたという、世界に冠たる国だったわけです。環境問題に関しても、当時の日本の人口は3,000万人なのですが、江戸などでは人糞を肥料として近郊の農村の人が買って行き、農作物を育てて、それを食糧として江戸の街に持ってくる。川もきれいだったし、循環型の社会が100年ぐらい前まではあったわけです。それを第二次世界大戦が終わってから捨ててしまったのは非常に残念だと思います。今の状態では石油や天然ガスがなくなると生きていけないと思うのです。

芦田 これから我々は「地方の時代」ということで、ヨーロッパ型の地方に中核都市を作って、そこでエネルギー、食糧の自給自足をやるという社会を目指していくべきだと思います。都市に人間が集まって、帰ろうにも帰

るところがないという状態ではいけないと危惧しています。

しかし、日本人というのは、非常に変わり身も早いので、期待はしています。そういう意味で、私は環境・エネルギー・農林業ネットワークという、NPOを作って活動しようとしています。

それから、近隣諸国との件では、資源の取り合いをしても埒があかないので、これから領土だとか、日本人、中国人とかいう考えではなく「地球人」という考え方で、地球規模の視点に立ち、領土問題を切り離して、資源開発は共同でやっていかないと、折角の資源も採れない状態になってしまいます。

秋山 特に都会で自然との付き合いがない状況で育った子供には、ご飯はどこからどうやってできてくるのか実感として湧かないということが、いろんな社会問題にも間接的に影響しているかもしれないし、やはり小さい頃から自然、あるいは厳しい環境を実体験することが重要なのではないか。そのような経験をしたかしないかは非常に大きな違いとなって現われるのだと思います。

芦田 やはり大自然の営みの偉大さを肌身に感じていますと、自分らのひ弱さ、あるいは地球に生かされているのだという考えが出てくるわけです。「我々が中心なんだ」と考えますと少し困ったことがあると挫折する。昔は家の中でもお父さんとか、おじいさんとかがいて、非常に畏怖の念、尊敬の念があって、日常的にそういうことを経験していたわけですね。それが核家族化で、そういう尊敬や畏怖の念を抱く対象がないんじゃないか。それが非常に気になります。

例えば、今、人口が増えている県がありますが、増えている要因として、夫婦共働きで収入が多いこと、それから、少なくとも二世世代以上の同居で子供の面倒を祖父母が見ることができていることがあるそうです。

秋山 自然も含めたところを幅広く経験することで、翻って、自分の家族とか、知り合いとかの大切さも理解でき、従って、仲良くやっていけるようになると思いますね。

芦田 学校の勉強ができるだけでなく、やっぱり一芸に秀でたものをもっている人に対するの尊敬とか、報酬を払うという、そういう社会でないといけないと思いますね。現実には日本は匠という非常に優秀な技術を持った

人がいます。だから、そういうものを大事にする、評価するということですね。再チャレンジは当然のこととしないといけません。勉強も大事ですが、やっぱりそういうものを受け入れる社会の度量というものをこれから目指すべきだと思います。

秋山 本当に貴重なお話を沢山ありがとうございました。今後ともよろしくお願いたします。



[寄稿]

## 日本の東アジア・エネルギーセキュリティ戦略は いかにあるべきか

—期待されるアジアとのエネルギーパートナーシップ—

藤井秀昭 ( ㈱三菱総合研究所  
シニア・エコノミスト )



### 1. はじめに

第2次世界大戦後61年を迎え、東アジアの協力枠組みのあり方を真剣に再検討すべき時期が来ている。戦後日本は経済成長を実現した。1960年代から90年代まで、東アジア経済は、日本を筆頭にたかも雁が次々に飛び立ち集団で飛んで行くように、順番で経済発展するという「雁行モデル」型経済発展とも評された時期があったが、90年代初頭に大きな転換点があった。その転換点とは日本国内ではバブル経済の終焉、国際秩序面ではソビエト連邦の崩壊である。転換点以後、日本国内はバブル経済崩壊後の「失われた15年」ともいうべき社会低迷が続いている。その一方で、近隣の中国等のアジア経済は急成長を実現しようとしている。

米ソ冷戦構造終結後、国際秩序はアメリカ一極主導の様相を呈してきたが、9.11アメリカ同時多発テロ事件(2001年)、アフガニスタン戦争(2001年)およびイラク戦争(2003年)以降、ハーバード大学のサミュエル・ハンチントン教授が指摘していたように国際秩序は新たな局面を迎えているようにみえる<sup>(1)</sup>。こ

うした国内外の秩序が変化するなかでの、東アジアのエネルギー需要の増加と近年の原油価格高騰は、資源の戦略物資化への回帰ないしは資源ナショナリズム<sup>※1</sup>を高揚させている。この結果、国内外でエネルギーセキュリティ(エネルギー安全保障)に対する関心が高まっている<sup>※2</sup>。21世紀に入り、アメリカ、ロシア、中国、欧州連合(EU)等が新たなエネルギー戦略を打ち出しており、日本の経済産業省も初めて「戦略」の用語を使った「新・国家エネルギー戦略」を2006年5月に公表した。しかしながら、「エネルギーセキュリティ(Energy Security)」の用語は、必ずしも厳密な概念規定に基づいて定義された用語ではなく、その曖昧な定義ゆえに議論全体の有意性を失わせている場合もある。また、エネルギーセキュリティの概念を共有化するためにはリスク(種類、大きさの程度等)の共有化が前提となる。「持続可能な発展(開発)(Sustainable Development)」についても同様である。

そこで本稿では、まず東アジアのエネルギーセキュリティの概念規定について触れる。次いで東アジアでは、中長期的には「東アジ

※1 資源ナショナリズムを示す最近の動向として、中南米資源国(ベネズエラ、ボリビア、ペルー、メキシコなど)における反米感情の高揚、サウジアラビアの国際石油資本に対する資源ナショナリズム、イラン核開発問題からイランのアザダガン油田開発に関するアメリカによる対日凍結要請、ロシアとウクライナとの「ガス騒動」(およびロシアの「欧州へのガス輸出の完全管理」と「東シベリア石油パイプライン計画」の野望)、東シナ海の石油ガス田開発、中国海洋石油(CNOOC)によるアメリカ企業ユノカル社買収の失敗などが象徴的な事例である。

※2 2006年7月、ロシア(プーチン大統領)で初めて開催されたG8、サンクトペテルブルク・サミット(第32回主要国首脳会議)での主要議題の1つはエネルギー安全保障であった。近年の資源価格高騰によるロシア経済の復活と資源戦略における復権は急である。全世界石油消費量に占めるG7/G8のシェアは1970年代に約6割であったが、1980年51.9%、1990年48.3%、2003年49.1%と世界全体では半数に満たない水準となっている。

ア共同体」を視野に入れた枠組みの構築を目指す一方で、短期的にはアジアとのエネルギーパートナーシップを推進すべきとする「日本の東アジア・エネルギーセキュリティ戦略」に関する簡単な私論を提示する。

アジアとのエネルギーパートナーシップについては、東アジアの地域特性を踏まえて、石油安定供給確保、環境配慮型エネルギー利用促進、原子力発電導入検討と核不拡散対策に重点を置くことが必要であると考え、それが日本の国益だけでなく、東アジアの地域益および地球益に寄与することが単純に認識できることが求められる<sup>※3</sup>。

## 2. 東アジアのエネルギーセキュリティとは何か

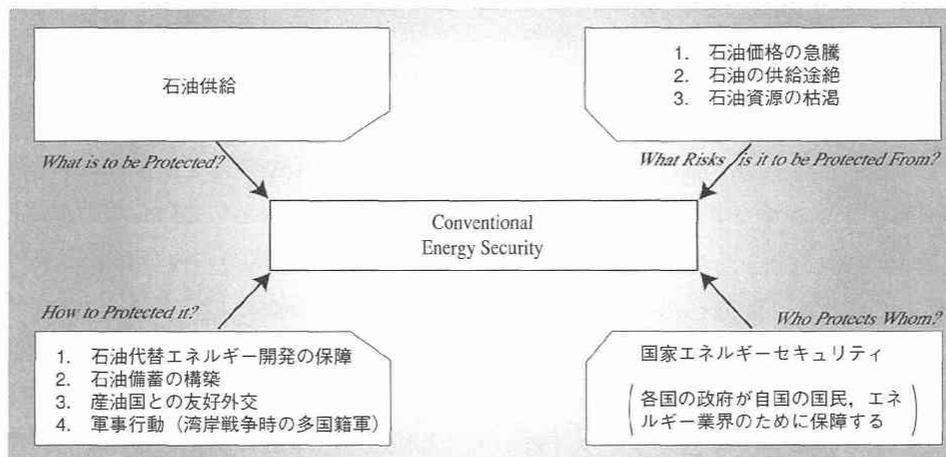
安全保障の概念を規定する重要な要素として、安全保障の対象（何を守るか）、安全保障

への脅威（何から守るか）、安全保障の手段（何で守るか）、そして「誰が誰を保障するか」の要素を挙げることができる<sup>(2)(3)</sup>。こうした安全保障の概念規定の方法をエネルギーセキュリティの概念規定に適用する。

1990年代初頭の米ソ冷戦構造の終結を転換点とし、エネルギーセキュリティの概念は伝統的概念から新たな概念へと再定義される必要がある<sup>(3)(4)</sup>。とりわけ、東アジアではセキュリティを規定する「保障されるべきものは何か」が変わっている。伝統的概念では保障されるべき対象の中心が石油供給であり、これを中心にセキュリティ問題に焦点が当てられてきた（図1）。

新たな概念では、保障されるべき対象として、環境、技術、エネルギー需要<sup>※4</sup>、社会文化的要素、国際関係（軍事面）が加わる<sup>(3)(4)</sup>。エネルギーセキュリティの問題は、単にエネルギーだけの問題にとどまらず、これらとエ

保障の対象	保障への脅威 (保障されるべき主要リスク)	保障の手段	誰が誰のために保障するか
石油供給	石油価格の急騰 石油の供給途絶 石油資源の枯渇	石油代替エネルギー開発の促進 石油備蓄の構築 産油国との友好外交 軍事行動	国家エネルギーセキュリティ (各国の政府が自国の国民、エネルギー業界のために保障する)



(出所：拙著『東アジアのエネルギーセキュリティ戦略 持続可能な発展に向けて』NTT出版、2005年11月)

図1 東アジアにおけるエネルギーセキュリティの伝統的概念（冷戦構造崩壊（1991年）以前）

※3 地球環境戦略研究機関（IGES）によれば、アジア主要国の気候変動枠組みと関連する将来の開発問題における優先事項として「エネルギー安全保障」が最優先順位を占めている<sup>(5)</sup>。

※4 日本を始めとするエネルギー純輸入国が消費エネルギーの「安定供給」に重大な関心を持つように、ロシアやオマーンを始めとするエネルギー純輸出国は生産エネルギーの「安定需要」に重大な関心を持つ。これは国際市場において石油および天然ガスを供給する国の数が増加したことによるところが大きい。2006年7月のサンクトペテルブルク・サミットにおいてもロシアが指摘した点である。

表1 東アジアにおけるエネルギーセキュリティの新たな概念（冷戦構造崩壊（1991年）以降）

保障の対象	保障への脅威 (保障されるべき主要リスク)	保障の手段	誰が誰のために保障するか
石油供給	石油価格の急騰 石油の供給途絶 石油資源の枯渇	石油代替エネルギー開発の促進 石油備蓄の構築 産油国との友好外交 軍事行動	国家エネルギーセキュリティ (各国の政府が自国の国民、エネルギー業界のために保障する)
環境	酸性雨 地球気候変動 放射性廃棄物 海洋汚染	国の枠組みを超越した多国間協力	多国間協力
技術	先端技術（例えば、高速増殖炉技術の不確実性）	国の枠組みを超越した多国間協力（技術移転協力など）	多国間協力（先進国がイニシアティブをとる）
エネルギー需要	需要変動リスク	国の枠組みを超越した多国間協力	多国間協力
社会文化的要素	社会文化的リスク (NIMBYism, 環境上の公正に係る問題など)	リスクコミュニケーションなどによる国民（草の根）からの信頼の確立	政府が自国のために保障する 多国間協力
国際関係	国際関係リスク 軍事リスク（地域紛争、宗教紛争、テロリズムなど）、 核燃料サイクル・リスクおよび核拡散リスク	国際協調 情報開示・交換 核燃料サイクル・リスクおよび核拡散リスクに関する理解	政府が自国のために保障する 多国間協力

（出所：拙著『東アジアのエネルギーセキュリティ戦略 持続可能な発展に向けて』NTT出版、2005年11月）

エネルギーとの関係で生じる問題が重要となる（表1）。また、アメリカ・カリフォルニア州で起きた電力危機、欧州でのデモ隊の製油所包囲による社会的混乱、アメリカのメキシコ湾岸を襲った大型ハリケーン「カトリーナ」による消費地での一時的な石油供給途絶等に象徴されるように、各国政府は海外からのリスクだけでなく国内リスクに対する保障手段も用意しなければならない。

エネルギーセキュリティ概念の拡張に伴い、その確保のためには包括的な新しい枠組み作りが必要である<sup>(3)</sup>。ただし、さらされるリスクの種類と大きさは、日本、韓国、中国の各国で異なるように、主体（国、地域、地球規模）によって異なる。つまり、東アジアのエネルギーセキュリティを論じるには、さらされるリスク（例えば、表1における「保障への脅威」の列で示したリスク）を共有化することが必要であり、それが東アジア共同体に期待される点である。本稿では、エネルギーセキュリティを「将来世代が現在世代と同等以上の幸福を実現するために必要な資源と環境を継承することを現在世代が保証したうえで、現在世代が相対的に希少なエネルギーを安定的に供給し、かつ低廉な価格でエネルギーを消費する仕組みを持続させ

ること」と定義し、東アジアが持続可能な発展を実現するのに必要なエネルギーセキュリティをいかに確保すべきかを論じる。

### 3. なぜ東アジアでエネルギーパートナーシップが必要か

戦後日本の経済成長は、海外資源の獲得ではなく、国際的なエネルギー市場取引の活用を重視することで実現した。エネルギーの市場取引の効率性が確保されているとき、エネルギー資源の政治化が強まることは、日本にとって取引費用の増加を意味するだけで望ましくない。たしかに、中国や新興工業国等の台頭や少子高齢化から、消費国としての日本の地位は相対的に低下し<sup>※5</sup>、購買力のみでは資源外交の切札にならなくなるかもしれない。それでも日本には人的資本・技術・知識等の総合力がある。今後、日本は国家を強調する国際政治重視の戦略よりも、基本的に経済の市場競争を重視する戦略を柱とすべきである。そのためには、健全な国際エネルギー市場の確立と、アジアを主要な事業基盤とした強靱な日本の民間エネルギー企業のさらなる成長を後押しする対策を講じるべきである。

※5 世界の石油貿易総量に占める日本の石油輸入量のシェアは1990年代半まで約15%だったが、2004年には約10%に低下し、この傾向は今後続くとみられる。問題は、石油輸入量シェアの低下は相対的なものであり、絶対値がほとんど変わらない石油輸入量を日本が従来の条件で入手できるかどうかである。

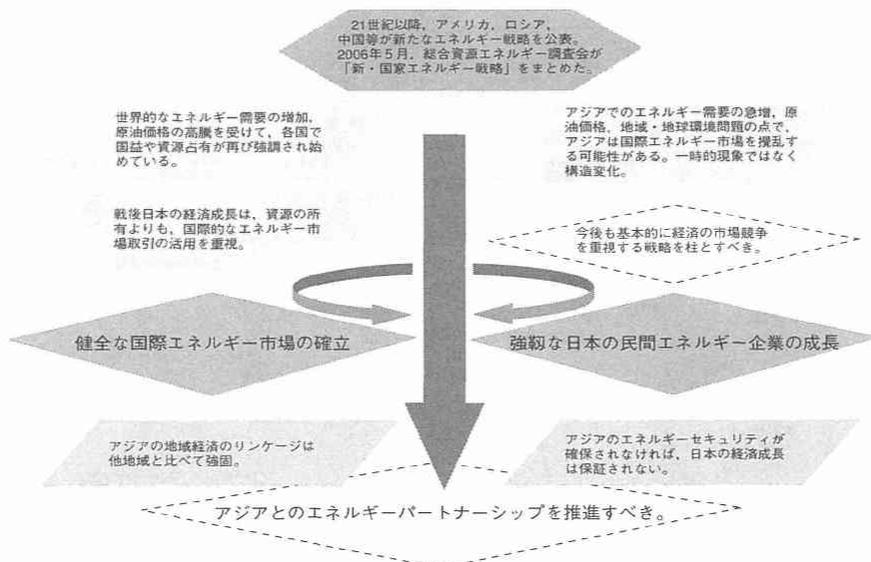
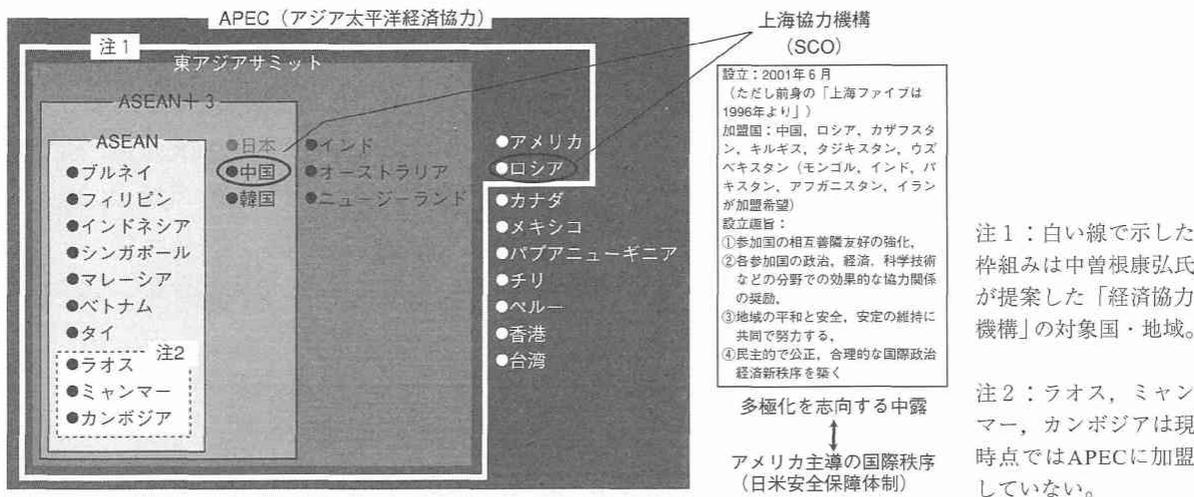


図2 なぜエネルギーパートナーシップが必要か

経済発展に伴うアジアでのエネルギー需要の急増<sup>※6</sup>、油価高騰、および地域・地球環境問題の点で、アジアは国際エネルギー市場を攪乱する可能性があるが、これが一時的現象ではなく構造変化に起因している点に注目すべきだ。既にアジアの地域経済のリンケージ（連鎖）は他地域と比べて強固であるうえに、将来、世界最大の地域経済となるだろう。アジアのエネルギーセキュリティが確保されなければ日本の経

済成長が保証されないことも明らかであり、健全な国際エネルギー市場を確立するために、アジアとのエネルギーパートナーシップを推進すべきである（図2）。

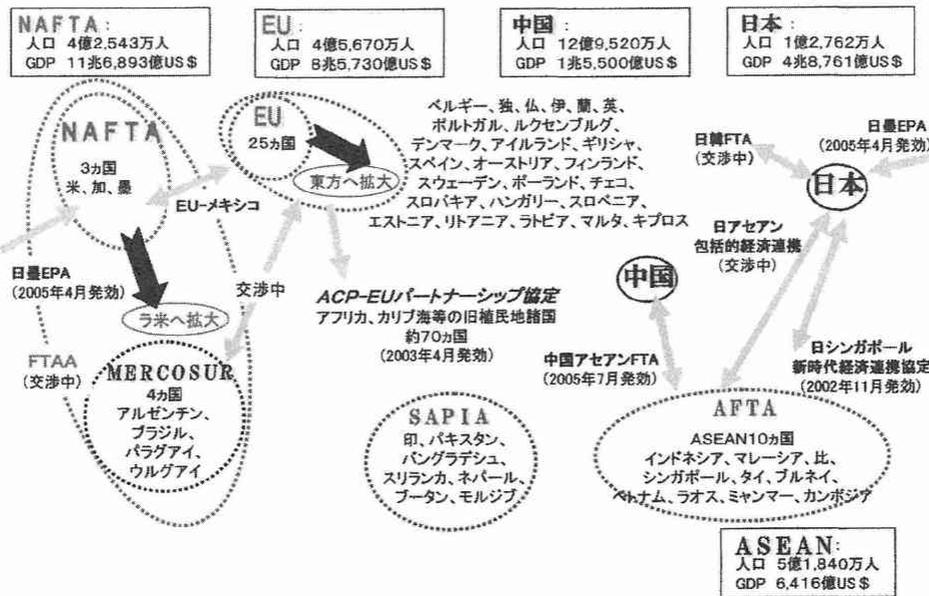
1990年代初頭以前の米ソ冷戦構造の日米安全保障体制下では、日本は近隣アジア諸国と「共同体」の意味での関与をしなくても致命的な支障がなかった。図3は、現在の東アジアのエネルギー協力に関する重層的な枠組みと



（出所：2006年5月26日付日本経済新聞、茅原郁生「米中、新たなパワーゲームの始まり」、中央公論、2006年8月号などを基に作成）

図3 東アジアのエネルギー協力に関する重層的な枠組み

※6 アメリカ・エネルギー省エネルギー情報局（USDOE/EIA）の「国際エネルギー見通し2006」によれば、とりわけ石油需要は2003年から2030年まで中国が年率3.8%増、その他の非OECD加盟国アジアで同2.3%増と予想している（全世界では同1.4%増）。また世界エネルギー機関（IEA）の「世界エネルギー投資展望2003」によれば、2001年から2030年の世界のエネルギー供給インフラに対する投資需要の総計を16兆ドルと予測、電力分野への投資需要が全体の60%、石油及び天然ガス分野がそれぞれ19%（3兆ドル）、石炭は2%（4,000億ドル）と予測している。地域別では、途上国での投資需要が世界全体のほぼ半分を占めており、中国単独で全世界の14%に達するとしている。



(出所：経済産業省編『2003年版通商白書』をもとに、人口とGDPはOECD統計等により2003年の値に更新、地域貿易協定の動きは2006年6月時点で更新)

図4 世界の主要な地域貿易協定の動き

構想を示している。日本がアジアとの関与志向を諦めれば、将来、日本は遠い隣人との絆を保ちつつも、近い隣人のアジアの間で孤立する可能性がある。図3の「ASEAN+3」(東南アジア諸国連合+日本、中国、韓国)の枠組みを中心に、日本はアジアとの関与を志向すべきであると考えられる。ただし、高い経済成長を諦めるなどの犠牲を覚悟できるとすれば、日本にとって孤立路線も明らかに検討する価値のある1つの選択肢である。

東アジアのエネルギーセキュリティを確保するうえで、「東アジア共同体」は重要な構想の1つである。「東アジア共同体」構築のためには、参加国において超国家レベルの意思決定を可能にする運命共同体の理念が理解および共有されていることが必要である。歴史問題や朝鮮半島問題等が深刻化している現状から判断すれば、エネルギーパートナーシップ、日中韓・ASEANで経済連携協定(EPA)、自由貿易協定(FTA)締結を推進することによって、具体的な成果を目に見える形で実現し、共同体意識と信頼を相互に深めていくことを優先すべきである。図4は世界の主要な地域貿易協定の動きを示している。北米自由貿易協定(NAFTA)の

ラテンアメリカ拡張志向、EUの東方拡大路線が見られる一方で、アジアでは中国ASEAN・FTA(2005年7月発効)があるものの、日本・中国・韓国の間では今のところFTAは実現できていない。2006年8月にマレーシアで開催された「ASEAN+3」経済担当相会議では、13カ国の経済連携協定に関する政府間の本交渉を2009年に開始し、2011年での合意を目指すことで一致した(日本は13カ国にインド、オーストラリア、ニュージーランドを加えた16カ国でのEPAを提案)。また、同会議では、2008年にASEAN、オーストラリア、ニュージーランドの間でFTAを発効させることに合意した。

#### 4. 東アジアで推進すべきエネルギーセキュリティ確保の枠組み作りとは

図5は東アジアにおいて推進すべきエネルギーセキュリティ確保のための枠組み作りを検討するうえでの全体フローを示している。今後のアジア地域のエネルギー協力枠組みのあり方について、既に数多くの提案があるが、2002年の第8回国際エネルギーフォーラム(IEF)で確認された「日中韓アセアン・エネ

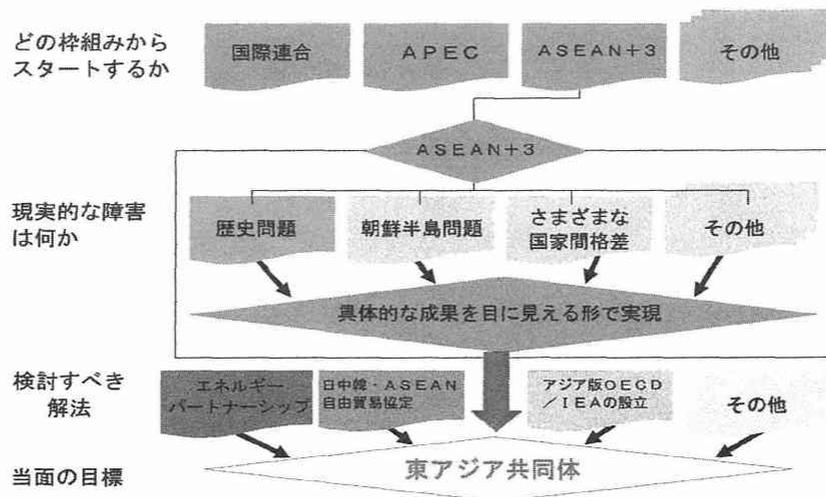


図5 東アジアにおいて推進すべきエネルギーセキュリティ確保のための枠組み作り

ルギー協力（平沼イニシアティブ）」と2004年のエネルギー大臣会合で合意されたマニラ閣僚共同宣言のASEAN（東南アジア諸国連合）+3（日本・中国・韓国）エネルギーパートナーシップの強化を推進することが現実的であろう。東アジアにインドを加えて、官民で経済協力開発問題を解決するために協議するアジア版OECD/IEA<sup>(※7)</sup>の設立構想を推進することも検討するに値するだろう<sup>(※8)</sup>。

### 5. エネルギーパートナーシップで何をすべきか

一次エネルギー消費の大きさでは、いまや東アジア（本稿では「ASEAN+3」を指す）は、米州や欧州とともに世界を3区分する存

在感を示している。ただし、東アジアのエネルギーセキュリティ問題には特殊な点がある。例えば、①国・地域間で経済社会の基礎的諸条件の格差が大きいこと（経済規模、人口、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量、一次エネルギー消費量、1人当たり経済水準、1人当たりCO<sub>2</sub>排出量、1人当たりエネルギー消費量のいずれの指標をみても欧州諸国と比較してばらつきが大きい）、②エネルギー消費最大国の中国では石炭依存度が高いが、輸送部門を中心に石油需要の増加が見込まれること<sup>(※9)</sup>、③東アジア地域全体がエネルギー純輸入の状態にあること、④温室効果ガスや硫黄酸化物等の排出量の増加が世界最大の地域になる公算が大きいことである。

※7 経済協力開発機構（OECD）の前身は、アメリカによる戦後欧州復興支援策であるマーシャル・プランの受入体制を整備するための欧州経済協力機構（OECE、1948年設立）である。欧州経済復興に伴い、欧州と北米が対等のパートナーとして自由主義経済の発展のために協力を行う機構としてOECEが発展的に解組され、1961年に経済協力開発機構（OECD：Organization for Economic Co-operation and Development）が設立されている。2006年7月現在、加盟国数は30カ国である。

国際エネルギー機関（IEA）は、第1次石油危機後の1974年にキッシンジャー・アメリカ国務長官（当時）の提唱を受けて、OECDの枠内における機関として設立された（事務局：パリ）。2006年7月現在、加盟国数は26カ国である。目的は、「加盟国において石油を中心としたエネルギー安全保障を確立するとともに、中長期的に安定的なエネルギー需給構造を確立すること、」理事会及び常設部会の定期的開催を通じ、石油供給途絶等緊急時の対応策の整備や、石油市場情報の収集・分析、石油輸入依存低減のための省エネルギー、代替エネルギーの開発・利用促進、非加盟国との協力等、である。

※8 2006年8月、二階俊博経済産業大臣は日本が「東アジア版OECD（経済協力開発機構）」構想の実現のため、100億円を拠出することを表明している。

※9 IEAの「世界エネルギー見通し2004」によれば、2030年まで中国の一次エネルギー消費は年率2.6%増、エネルギー集約度は年率2.3%低下、2030年の石油需要（1次エネルギー）は13.3mb/d、石油輸入量10.0mb/d（現在のアメリカの規模に匹敵）、自動車保有台数は1000人当たり90台超で130百万台、2030年に石油の輸入依存度は74%に上昇するとしている。中国では石油純輸入量の90日分の国家石油備蓄を構築する計画がある。

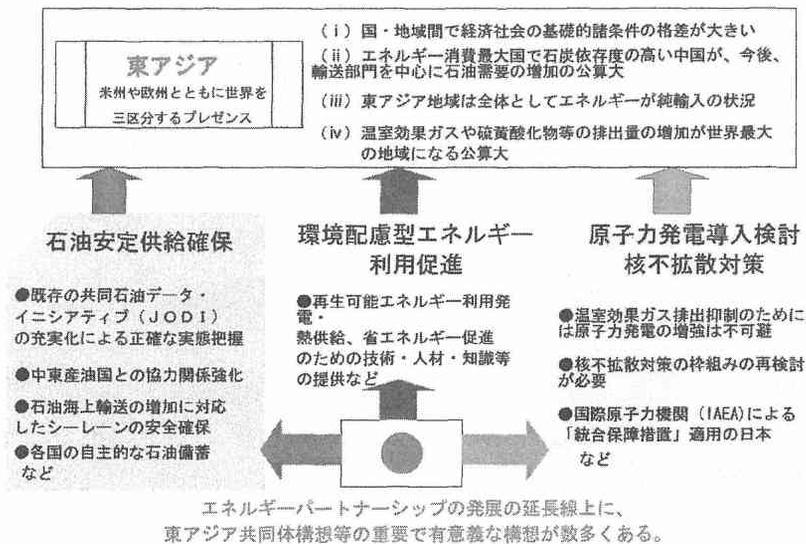
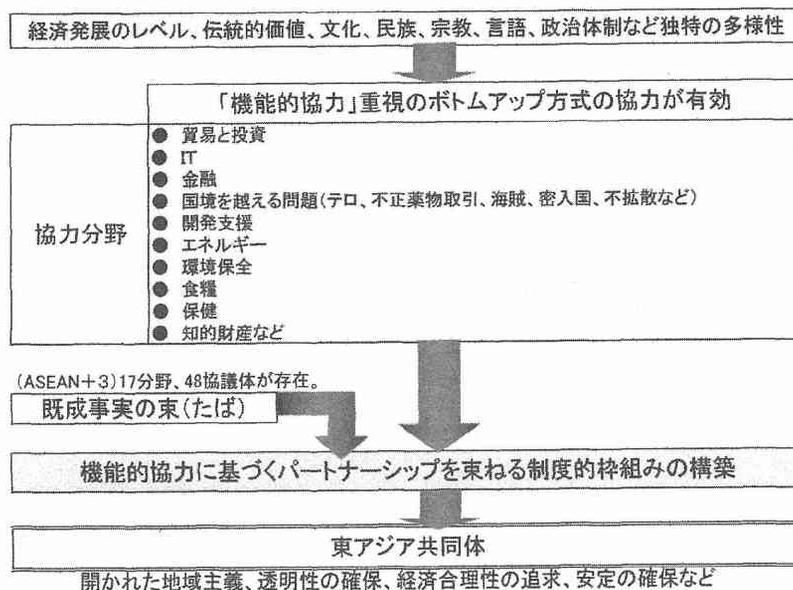


図6 エネルギーパートナーシップで何をすべきか

上記の東アジアの地域特性を踏まえて、図6で示すように、石油安定供給確保、環境配慮型エネルギー利用促進、原子力発電導入検討と核不拡散対策に重点を置き、日本はアジアとのエネルギーパートナーシップの強化を推進すべきであろう。東アジアの石油安定供給の重点対策として、既存の共同石油データ・イニシアティブ（JODI）の充実化による正確な実態把握、中東産油国との協力関係強化、石油海上輸送の増加に対応したシーレーンの安全確保、各国の自主的な石油備蓄構築

等の領域で日本の協力は不可欠であろう。また、環境配慮型エネルギー利用（再生可能エネルギー利用発電・熱供給、省エネルギー）を促進するうえで、技術・人材・知識等の提供を通じて日本が貢献できる領域は大きい。温室効果ガス排出抑制のためには東アジアでの原子力発電の増強は避けられないが、そのためには核不拡散対策の枠組みが再検討されなければならない。エネルギーパートナーシップの発展の延長線上に、東アジア共同体構想、東アジア共同石油備蓄構想、東アジア資



(出所：外務省資料等をもとに筆者作成)

図7 機能的協力重視の「ボトムアップ方式」

源リサイクル構想，北東アジア天然ガスパイプライン構想等の重要で有意義な構想が数多く存在し，それにより東アジアにおける機能的協力の領域も飛躍的に拡張する。

## 6. おわりに

「東アジア共同体」構想は「絵に描いた餅」に過ぎないと言われ続けてきた。たしかに，東アジアで共通のイデオロギーの確立を優先するトップダウン方式ではその実現可能性に疑問を抱かざるをえないが，「ASEAN+3」当事国が相互に必要と認識する機能的協力（エネルギー，環境，食糧，開発などの経済社会活動に係る協力）を重視するボトムアップ方式（図7）が健全に推進され続けるならば，「東アジア共同体」の実現可能性は一段と高まると推察される。

## 参考文献

- (1) Huntington, Samuels P. [1996]. *The Clash of Civilizations and the Remaking of World Order*, Simon & Schuster.
- (2) 田中明彦 [1997]. 『安全保障：戦後50年の模索』読売新聞社.
- (3) Suzuki, Tatsujiro [2001]. "New Energy Security Policy for Japan and Northeast Asia: Toward Comprehensive and Regional Security," Presented at the Workshop on "Energy Security and Sustainable Development in Northeast Asia," sponsored by Economic Research Institute for Northeast Asia (ERINA), Niigata, June 26-28, 2001.
- (4) Stares, Paul B. (ed.) [2000]. *Rethinking Energy Security in East Asia*, Japan Center for International Exchange.
- (5) IGES (Institute for Global Environmental Strategies) [2005]. *Asian Perspectives on Climate Regime Beyond 2012, Concerns, Interests and Priorities*. Hayama, Japan.
- (6) 経済産業省 [2006]. 「新・国家エネルギー戦略 中間とりまとめ」2006年3月.
- (7) 田辺靖雄編 [2004]. 『アジアエネルギーパートナーシップ』エネルギーフォーラム，2004年.
- (8) 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編『エネルギー・経済統計要覧』各年版.

[寄稿]

## 中国の電力事情

中山 元 (社)海外電力調査会 電力国際協力  
センター営業部 部長代理



### まえがき

中国は、世界第2位のエネルギー生産国であるとともに、急激な経済発展に伴い、急速にエネルギー消費を伸ばしており、世界第2位のエネルギー消費国になっている。

その成長方式は、固定資産投資への依存、エネルギー・電力多消費産業の急拡大という姿で、電力不足の問題も発生している。この問題に対して、電源開発および送電線整備が積極的に行われているところである。現在の電力需給構造は、石炭火力が中心で、今後も大きな変化はないが、石炭火力発電所の大型化等効率化に向けた措置が講じられるとともに、原子力、水力および再生可能エネルギーが積極的に開発されると見られる。

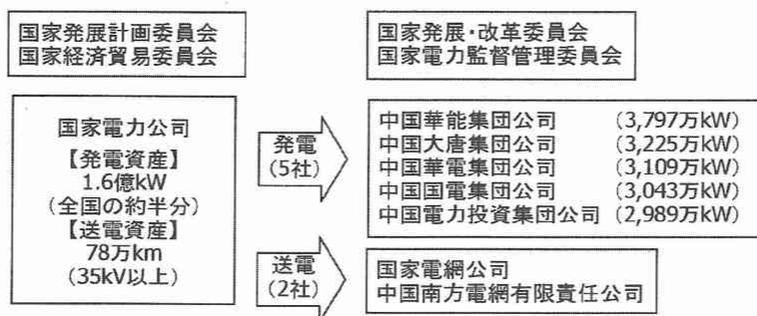
### 1. 電力組織

1949年の建国以来、電気事業は行政機能と

電力設備の所有・運転・保守、電力販売、資産管理等を運営する企業経営機能が一体化し、完全に国営事業として行われていた。しかし、東部沿岸地域の経済が発展するにつれ、行政と企業が一体化した体制では、企業の自主経営、競争原理の導入に制約があり更なる発展が望めないため、1998年、電力工業部の持つ企業経営機能が国家電力公司<sup>※1</sup>に移管された。これにより、国による電気事業経営に終止符が打たれ、電気事業の行政管理機能は国家発展計画委員会と国家経済貿易委員会の一部局である「電力司」が担い、「行政と企業の分離（政企分離）」が実現した。

さらに、2002年12月には、「市場競争による電力料金引下げ」、「卸電力取引市場の導入」を主たる目的として、「発電と送電の分離（発送分離）」が行われた。

図1に示すように、2つの送電会社、5つの発電会社、4つの補助事業会社が設立され、



(出所：海外電力調査会作成)

図1 電力組織改革の概要

※1 設立は1997年。資産は国有である。ただし、広東省、海南省、内蒙古自治区、西藏自治区の省電力会社は、独立経営となっている。これら電力会社の電源計画は、基本的には省計画委員会によって認可されるが、大規模あるいは国家大の計画については、国家経済貿易委員会による調整を行う。

「政企分離」以来の大規模な改革となった。

また、行政管理機関の改革として、国家発展計画委員会（現、国家発展・改革委員会）が“政策の企画・立案”を行い、“政策の実施”を担う組織として、新たに「国家電力監管委員会」が設立された。

5大発電会社には、当時の全発電設備容量の約50%が割り当てられた<sup>※2</sup>が、地域割りという形態を取っていない。

一方、送電部門については、二大電網（送電）会社に再編成された。このうち、国家電網公司の下には、華北（山東省を含む）、東北（内蒙古自治区東部を含む）、西北、華東（福建省を含む）、華中（四川省・重慶市を含む）に5つの区域電網公司が設置された<sup>※3</sup>。

なお、発電、送電会社とも、資産はすべて国有であり、国务院の国有資産監督管理委員会により管理、監督される。

## 2. 電力需給

電力需要は、経済の高度成長により近年急激に増加している。1990年の消費電力量は6,125億kWhであったが、2005年の速報値は2兆4,689億kWhで15年間に約4倍に増えている。

表1に、2003年からの産業別消費電力量の推移を示す。2004年における消費電力量の用

途別内訳は、工業用が73.8%、民生用が11.3%で大部分を占め、次いで市政・建築の5.9%、農業用の3.7%、商業用の3.4%、運輸の2.0%の順となっている。

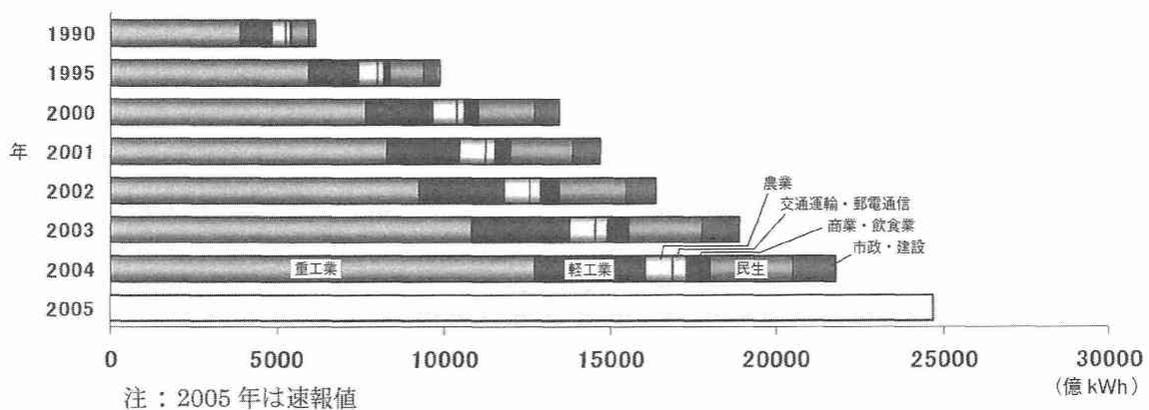
図2は、用途別の電力消費量の推移を産業別に示したものである。全消費量に占める工業用の割合は、1980～1990年には約82%であった。その割合は90年代に入って漸減するものの、工業用電力消費量が全体の約4分の3を占めている状況に大きな変化は見られない。これは、先進各国に比べても突出して高い水準で、電力の消費動向面での大きな特徴の1つである。

中国の発電設備容量は、建国時の1949年にはわずか185万kWであったものが、1987年までの38年間に1億kW増加した。さらに、1994年までの7年間に1億kW、2004年5月までの約10年間に2億kW、その後2005年12月までの17カ月間で1億kWそれぞれ増加しており、非常な勢いで電源開発が行われている。また、

表1 産業別消費電力量（単位：億kWh）

	（単位：億kWh）		
	2003年	2004年	2005年
消費電力量	18,919	21,735	24,689
第一次産業	595	603	741
第二次産業	13,961	16,275	18,478
第三次産業	2,108	2,428	2,631
民生用	2,230	2,456	2,838

（出所：「中国電力年鑑」）



（出所：「中国電力年鑑」および中国電力企業連合会等資料）

図2 用途別電力消費量の推移（億kWh）

※2 残る発電設備は、省の電力会社、外資およびその他事業者が所有。

※3 南方電網有限責任公司の管轄区域は、広東省・海南省・雲南省・貴州省・広西チワン自治区である。

表2 発電設備容量の推移

	2003年	2004年	2005年
発電設備(万kW)	39,140	44,239	50,841
水力	9,490	10,524	11,652
火力	28,977	32,949	38,413
原子力	618	684	685
その他	55	82	91

(出所：中国電力企業聯合会資料)

2004年には水力発電設備容量が1億kWを突破し、アメリカを抜いて世界一の規模になった。2002年以降、電力の需給が逼迫し、電源開発が急ピッチで進められ表2にあるように、2003年に約3,500万kW、2004年には5,100万kWの発電所が新規運転している。2005年には、6,600万kWが新たに運転開始した。この6,600万kWという数字は、東京電力が有する総発電設備容量を上回る規模である。

2005年末時点における電源の燃料別構成を見ると、水力1億1,652万kW、火力3億8,413万kW、原子力685万kW、その他91万kWとなっている。原子力は、1994年から導入されたが、2005年末時点で全体の1.3%となっている。このように、電源構成は火力がほぼ4分の3、

水力が4分の1で、火力が主体であり、その燃料はほとんど石炭である。

なお、2006年1～6月の間に新規運転開始した発電所の設備容量は3,241.46万kWで、そのうち水力359.91万kW、火力2,868.06万kWである<sup>※4</sup>。

表3は、2006～7年の設備容量の見通しである。このとおり推移すると、2億3,000万kWを超える容量が、わずか4年間で増えることになる。ちなみに、2005年度の日本の事業電力設備容量は2億3,400万kWである。

表4は、2004年、2005年に国により審査・許可された発電所の設備容量を示している。これを見ると、2年間で約1億7,000万kWの発電所建設が承認されている。

表3 2007年までの発電設備容量の見通し

項目	2004年実績	2005年速報	2006年見通し	2007年見通し
年末発電設備(億kW)	4.42 (12.6%)	5.08 (14.9%)	5.78～5.88 (15.7%)	6.28～6.38
増分電源規模(万kW)	5,100	6,600	7,000～8,000	5,000
消費電力量(億kWh)	21,761 (14.9%)	24,689 (13.5%)	26,680 (10.0%)	28,290～29,070 (6.0～9.0%)
電力不足規模(万kW)	3,500	2,500	600～1,000	均衡

(出所：発展改革委員会および中国電力企業連合会ホームページ)

表4 審査・許可された発電所の設備容量

(単位：万kW)

	火力	水力	原子力	再生可能	計
2004	3,885.50	783.00		37.30	4,705.80(74)
2005	8,944.90	2,656.85	330	50.00	11,981.75(140)
計	12,830.40	3,439.85	330	87.30	16,687.55

注：()内の数字は、発電所数

(出所：国家発展・改革委員会ホームページ資料)

※4 「2006年1-6月分電力工業生産簡況」(中国電力企業聯合会)

表5 発電設備容量の長期見通し

		発電設備容量 (単位: 万 kW)		構成比	
		2010年	2020年	2010年	2020年
火力	石炭	58,896	76,497	72%	64.5%
	ガス	2,536	4,270	3.1%	3.6%
	小計	61,432	80,767	75.1%	68.1%
水力	一般水力	16,442	26,804	20.1%	22.6%
	揚水	1,799	3,083	2.2%	2.6%
	小計	18,241	29,887	22.3%	25.2%
原子力		1,145	3,795	1.4%	3.2%
新エネルギー		982	4,151	1.2%	3.5%
合計		81,800	118,600	100.0%	100.0%

(出所: 海外電力調査会調べ)

表5には、2010年および2020年における電源設備容量の見通しを示す。これを見ると、火力発電の占める割合が低下し、水力、原子力および再生可能エネルギーによる発電が増える見込みである。しかし、発電設備容量に占める割合は漸減するものの、火力発電所が使用する石炭の絶対消費量は増えることになる。

### 3. 電力不足

2002年から電力需給の逼迫が顕在化し、2003年には22省市区、2004年は24省・市・区にのぼった。そして2005年第1四半期には26省・市・区で供給制限が実施されたが、夏以降はその数が減少し、11月には7省・市・区となった。

表6は、電力供給制限が実施された省・市・区をまとめたものである。表中、太字の省・市・区は、その年に新たに電力供給制限を行ったところである。

電力不足の原因として、高い経済成長伸び率(2003~4年は10%超)に見られるように、金属精錬など電力多消費産業需要の増大(2004年1~10月の工業用需要は前年比16.8%増)、生活水準の向上によるエアコンの普及(97年974万台→02年3,135万台、5年間で3倍以上、夏季ピークの3分の1が空調需要)がまず挙げられる。しかし、電力が供給過剰であった1990年代後半に、需要喚起策とともに新規電源開発、送電網整備が先送りされたことにより、2000年以降の高い経済成長による需要の増加に追いつけなかったことが、根本にあるという見方もある。

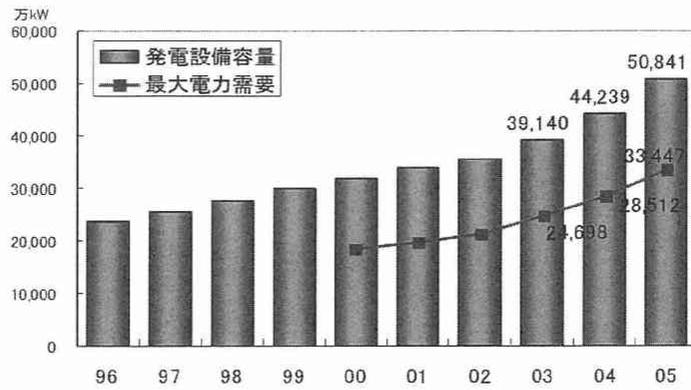
図3は設備容量と最大電力<sup>※5</sup>の推移を示したものである。最大電力と設備容量の値を見ると設備に余力があるように見えるが、実際には電力不足が発生している。これは、発電設備の老朽化等による休止や出力抑制により運転できない発電所が、相当数に上っていることを示唆していると考えられる。

表6 2002年~2005年に電力供給制限を実施した省・市・区

区域	2002年(12省市区)	2003年(22省市区)	2004年(24省市区)	2005年(26省市区)
華北	河北、山西、内モンゴ	河北、山西、内モンゴ	天津、河北、山西、内モンゴ、山東	北京、天津、河北、山西、内モンゴ、山東
東北				遼寧
華東	上海、江蘇、浙江	上海、江蘇、浙江、安徽、福建	上海、江蘇、浙江、安徽、福建	上海、江蘇、浙江、安徽、福建
華中	河南、湖北、四川、重慶	江西、河南、湖北、湖南、四川、重慶	江西、河南、湖北、湖南、四川、重慶	江西、河南、湖北、湖南、四川、重慶
西北		甘肅、青海、寧夏	陝西、甘肅、青海、寧夏	陝西、甘肅、青海、寧夏
南方	広東、貴州	広東、広西、貴州、雲南、海南	広東、広西、貴州、雲南	広東、広西、貴州、雲南

(出所: 海外電力調査会作成)

※5 各区域の最大電力の総和である。したがって、最大電力が記録された月日は区域ごとに違っている。



(出所：「中国電力年鑑」および中国電業等より海外電力調査会作成)

図3 設備容量と最大電力の推移

他の原因として、一部地域で火力発電所の石炭保管量が激減し、石炭の入手が困難となり操業のできない発電所が存在したこと、あるいは渇水、猛暑といった気象要因がある。

このような電力の需給逼迫に対して需要と供給の双方について以下の対策がとられている。

[需要面]

- ・夜間・土日の工場操業，設備点検，高温日休暇の要請，負荷遮断等といったピークシフト・カット
- ・空調の設定温度等の空調需要の管理
- ・時間帯別料金の拡大，電力多消費産業向け電気料金に格差を設ける電気料金制度

[供給面]

- ・電源開発の加速化
- ・送電網の整備（隣接区域との電力融通）
- ・電気料金値上げによる発電用燃料炭の確保

4. 西電東送

中国では東・西部間の経済格差を是正する目的で、2000年から「西部大開発」プロジェクトが実施され、このうち電力については「西電東送」プロジェクトが進められている。これは、中国の水力・石炭資源が西北・西南部に偏在し、需要が大きい地区は経済が発展

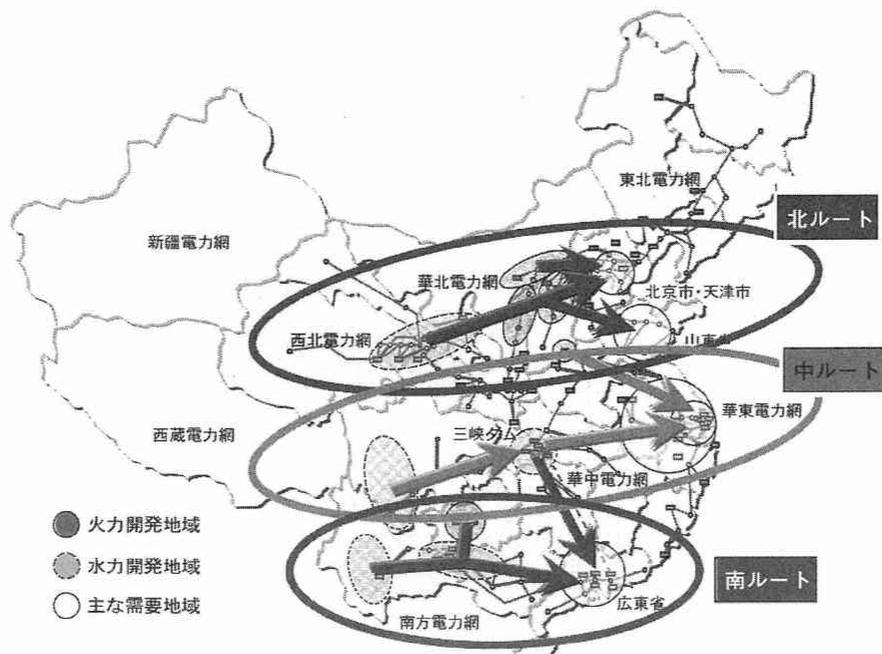


図4 「西電東送」計画概念

表7 三峡プロジェクトの概要

総貯水容量	[億 m <sup>3</sup> ]	393
洪水調整容量	[億 m <sup>3</sup> ]	222
集水面積	[万 km <sup>2</sup> ]	100
貯水池面積	[km <sup>2</sup> ]	1,084
ダム高	[m]	181
堤頂長	[m]	2,309.47
堤体積	[万 m <sup>3</sup> ]	1,600
発電方式		ダム式、立軸フランス式水車
設備容量	[千 kW]	ダム式 18,200(700千kW×26台)
年間発電電力量	[億 kWh]	847

(出所：「Three Gorges Project」(中国長江三峡工程開発総公司 発行))

している東部沿岸に集中しているため、中国西南部の豊富な水力・石炭資源を活用して発電を行い、東部沿岸地域へ送電するというもので、現在、電源開発や電力網の拡充・増強が急ピッチで進められている。図4には、「西電東送」の概念を示す。

電源の整備については、水力発電所とともに、石炭炭鉱近傍にいわゆる山元石炭火力発電所の建設が行われている。これは、鉄道や道路による石炭の輸送に限界があるため、電力の形で需要地域に送るという考えによるものである。

送電網については、2002年の電力機構改革までは省内および区域内の送電網が比較的整備されていたものの、区域間を跨ぐ連系が必ずしも十分ではなく、近年の電力不足の一因ともなっていた。この「西電東送」では、北、中および南ルートという東西間の送電網とともに、南北間の連系を強化することにより、全国における電力融通を図ることになっている。

次に、「西電東送」を象徴するプロジェクトである三峡プロジェクトについて述べる。三峡ダムは、上海から約1,700km離れた長江(揚子江)の中流部に位置し、1992年にプロジェクトが始まり、2009年に完成する予定である。2004年秋から、左岸側の発電機が順次運転され、現在14台が稼働している。発電した電力は、上海を中心とした華東区域および広東省に送電されている。また、ダム本体は、2006

年5月に完成している。現在、右岸側発電所に、残り12台の発電機の据付工事が行われている。三峡プロジェクトの概要は、表7のとおりで、発電所の規模は、日本の東北電力あるいは九州電力のそれぞれ1社分に匹敵<sup>※6</sup>するものとなっている。なお、右岸側の地下部分には、設備容量420万kWの発電所も建設中で、これが完成すると全体で2,240万kWになる。

## 5. 原子力発電

中国で最初の原子力発電所は、1994年に運転開始された。以後、徐々に開発が進められ、2005年末時点で、5発電所、総設備容量700万kWが稼働している。表8は営業運転中および建設中の原子力発電所である。

2002年から顕在化した電力不足は、2004年夏に最も厳しい事態となった。このため、2004年の秋、原子力について、それまでの「適度に開発」というスタンスが「積極的に開発」に改められた。また、「2020年に、全発電設備容量の4%を原子力にする。」という国の方針が打ち出されたこともあり、中国各地で原子力発電所の計画地点が目白押しという状況になっている。沿岸部のみならず、内陸部でも開発の動きが見られる。

発電所の開発とともに、核燃料のリサイクルについても積極的に取り組まれており、今

※6 東北電力の発電設備容量および発電電力量は、それぞれ1,551万kW、852億kWh。九州電力は、1,942万kW、881億kWh(2005年3月末現在、「電気事業便覧(平成17年度版)」より)

表 8 原子力発電建設の候補地点

2006年4月現在

発電所名	設置場所	発電事業者	炉型	出力 (万 kW)	工事開始	営業運転 開始	
秦山Ⅰ期原子力発電所 Qingshan Phase I	浙江省 海塩県	秦山核電 公司	PWR (自主設計)	31.0	1985.3.21	1994.4.1	
秦山Ⅱ期原子力発電所 Qingshan Phase II	1号機	浙江省 海塩県	核電秦山聯 營有限公司	PWR (自主設計)	65.0	1996.6.2	2002.4.15
	2号機				65.0	1997.4.1	2004.5.3
秦山Ⅲ期原子力発電所 Qingshan Phase III	1号機	浙江省 海塩県	秦山第三核 電有限公司	CANDU (加)	72.8	1998.6.8	2002.12.31
	2号機				72.8	1998.9.25	2003.7.24
広東大亜湾原子力発電所 Guangdong Daya Bay	1号機	広東省 深セン 市	広東核電合 營有限公司	PWR (仏)	98.4	1987.8.7	1994.2.1
	2号機				98.4	1988.4.7	1994.5.6
広東嶺澳原子力発電所 Guangdong Lingao	1号機	広東省 深セン 市	嶺澳核電 有限公司	PWR (仏)	99.0	1997.5.15	2002.5.28
	2号機				99.0	1997.11.28	2003.1.8
営業運転中 (①)	9基			701.4			
江蘇田湾原子力発電所 Jiangsu Tianwan	1号機	江蘇省 田湾	江蘇核電 有限公司	PWR (露 VVER)	106.0	1999.10.20	2006 (予定)
	2号機				106.0	2000.9.20	2007年 (予定)
嶺澳Ⅱ期(嶺東) (Lingdong)		広東省 深セン	嶺東核電公 司	PWR	2×100		
秦山Ⅳ期増設 (Qingshan IV)		浙江省 海塩県	核電秦山聯 營有限公司	PWR	2×65		
建設中 (②)	6基			542.0			
運転中・建設中 (①+②)	15基			1,243.4			

出所：海外電力調査会作成

後、中国のエネルギー戦略も原子力を中心に展開していくものと考えられる。表 9 に、原子力発電建設の候補地点を示す。

表 9 原子力発電建設の候補地点

国務院批准 (プロジェクト認可) サイト					
	発電所	場所	炉型 設備規模 (万 kW)	設置者または 主要出資者	最近の動向等
1	三門 (Sanmen)	浙江省 三門	PWR 2×100	中国核工業集团公司 (CNNC)	・2004.7に国務院の批准。最新型のPWRを ・三門建設プロジェクト設立準備処が秦山 に設置。 ・2005年に国際入札、結果が出る予定であ ったが、2006年4月現在未決定。
国務院批准待ちのサイト					
1	陽江 (Yangjiang)	広東省 陽江市	PWR 2×100	中国広東核電集団有 限公司 (CGNPC)	2004.2 国務院に項目建議書を提出 (中国 電力報) ・2005年に国際入札、結果が出る予定であ ったが、2006年4月現在未決定。
その他立地候補地点					
	発電所	場所	炉型 設備規模 (万 kW)	設置者または 主要出資者	最近の動向等
1	海陽 (Haiyang)	山東省 烟台市	PWR 2×100	中電投核電集団公司 (CPIN)	・項目建議書を国務院に申請中。 ・CPIの傘下に「山東核電有限公司」を 設立 (2004.9)
2	紅沿河 (Hongyanhe)	遼寧省 大連市	PWR 2×100	中電投核電集団公司 (CPIN) 中国広東核電集団有 限公司 (CGNPC)	・項目建議書を国務院に申請中。 ・2005年2月「遼寧核電有限公司」を設 立
3	田湾Ⅱ期 (Tianwan II)	江蘇省 連雲港	PWR 2×100	中国核工業集团公司 (CNNC)	
4	乳山 (Naishan)	山東省 威海市 (乳山市)	PWR 2×100	中国核工業集团公司 (CNNC)	2006年5月、山東省とCNNCがプロジ ェクトを進めるための合弁会社設立取り 決めに調印。 最終的に6基を計画
5	秦山Ⅰ期増設 (方家山) (Fangjashan)	浙江省 海塩県	未定	中国核工業集团公司 (CNNC)	・サイト選定に係る環境影響評価を実施。 ・方家山は秦山Ⅰ期の南西側隣接地の丘 陵、整地工事に着手。
6	寧徳 (Ningde)	福建省寧 徳市	2×100	大唐国際発電股份有 限公司 中国広東核電集団有 限公司 (CGNPC)	2006年1月、寧徳原子力発電有限公司を 設立
7	福清 (Fuqing)	福建省 福清市		中国核工業集团公司 (CNNC) 中国華電集団公司	2006年5月、福建福清核電有限公司を設 立 100万kW級6基計画

(出所：各種資料をもとに海外電力調査会作成)

## 6. 再生可能エネルギーの導入

主エネルギー源である石炭は、2002年以降急激に消費量が増加し、2005年には原炭ベースで20億トンを超え、世界一の消費国となった。また、石炭消費量の約半分が火力発電所で使われているため、経済発展に伴う電力消費量の急増が、石炭の消費拡大をもたらした。このように、石炭の消費拡大に伴って「第十次5カ年計画」期には大気汚染が深刻化し、特に、硫黄酸化物の排出量は規制当局の抑制目標を大きく超え、酸性雨の範囲も国土の3分の1に及んでいる。

このため、環境負荷の少ない電源として、政府は再生可能エネルギーに着目し、表10に示すように、再生可能エネルギーの導入見通しを発表した。

そして、再生可能エネルギーの開発、導入、普及を図るための基本法である「中華人民共和国再生可能エネルギー法」が2006年1月から施行された。この法律では、再生可能エネルギー電力の送電会社による買取義務、買取料金（卸電力料金）の認可制、および送電企業が買い上げた再生可能エネルギーの販売電力価格への転嫁等が定められている。また、細則として、「再生可能エネルギー発電関連管理規定」、「再生可能エネルギー発電関連管理規定」が定められており、今後、財政・税制優遇政策等に係る規定等が順次制定されることになっている。

「再生可能エネルギー発電に関する管理規定」の主な規定を表11に、また、「再生可能エネルギー発電価格及び費用分担管理に関する試行規則」の主な規定を表12に示す。

表10 再生可能エネルギーの導入見通し

(単位: 万 kW)

再生可能エネルギーの区分	2000年	2010年の見通し	2020年の見通し
風力発電	36	400	3,000
太陽光発電	2	28	100
バイオマス発電	80	545	2,000
地熱発電	3	11	50~100
海洋エネルギー発電	1	60	370~560
小水力発電	2,497	5,000	7,000~8,000

(出所: 国家発展・改革委員会の能源研究所資料)

表11 「再生可能エネルギー発電に関する管理規定」の主な規定

- ・主要河川に建設される水力発電、25万kW以上の水力発電、5万kW以上の風力発電は国家発展改革委員会が認可・審査し、他のプロジェクトは省レベル政府が認可すること
- ・資金面の支援が必要なバイオマス発電、地熱発電、海洋エネルギー発電、太陽エネルギー発電は国家発展改革委員会に申告すること
- ・発電企業は、国家が規定した再生可能エネルギー発電の割当義務を担うべきで発電割当の指標・管理方法は別途規定。大型発電企業は再生可能エネルギー発電プロジェクトに優先的に投資すべきこと

表12 「再生可能エネルギー発電価格及び費用分担管理に関する試行規則」の主な規定

- ・再生可能エネルギー発電価格は政府公定価格と政府指導価格の2種類の形式で実施し、政府指導価格は入札で確定した落札価格とすること
- ・再生可能エネルギー発電価格が脱硫型石炭火力発電の基準価格より高い差額部分は、全国省レベル以上の電力販売量に均等割すること
- ・風力発電プロジェクトの併入価格は政府指導価格とすること
- ・バイオマス発電プロジェクトの価格については、政府公定価格の場合は脱硫型石炭火力発電の基準価格に0.25元/kWhを加算すること
- ・太陽エネルギー発電、海洋エネルギー発電、地熱発電については、政府公定価格とし、その価格は国务院価格主管部門が合理的なコストプラスの原則に基づいて定めること

なお、一定規模以上の設備容量を有する発電企業に対して、2010年までに電源設備容量に占める再生可能エネルギーの比率を義務化することが検討されている模様である。

## 7. 電力セクターを取り巻く環境

経済的に見た中国は、“高い”成長率を誇っているが、東西地域間の“大きい”格差の問題（膨大な低所得者など）や“多く”の課題（エネルギー、国営企業改革による失業者、環境、構造改革、投資加熱など）を抱えている。このうち、電力セクターを取り巻く環境を見ると、電力不足による需給アンバランスとそれによる電気料金の値上げ、省エネルギー・環境保護意識の高まりやエネルギー・環境政

策の見直し等の問題が山積しているといえる。

2006年からは、「第十一次5カ年計画」がスタートし、単位GDPあたりのエネルギー消費量を、2005年比20%前後低減することを大きなテーマとして設定されている。つまりひとことでは、「高効率省エネルギー型社会の構築」<sup>※7</sup>で、省エネルギーと環境保護が、今後の政策面における主要テーマになると考えられる（図5）。

表13は、日中韓の単位GDPあたりの電力消費量を比較したものである。これによると、中国は日本の6倍のエネルギーが投入されており、効率改善の余地が非常に大きいと考えられる。中国がこのように多くのエネルギーを使う要因として、次の点が考えられる。

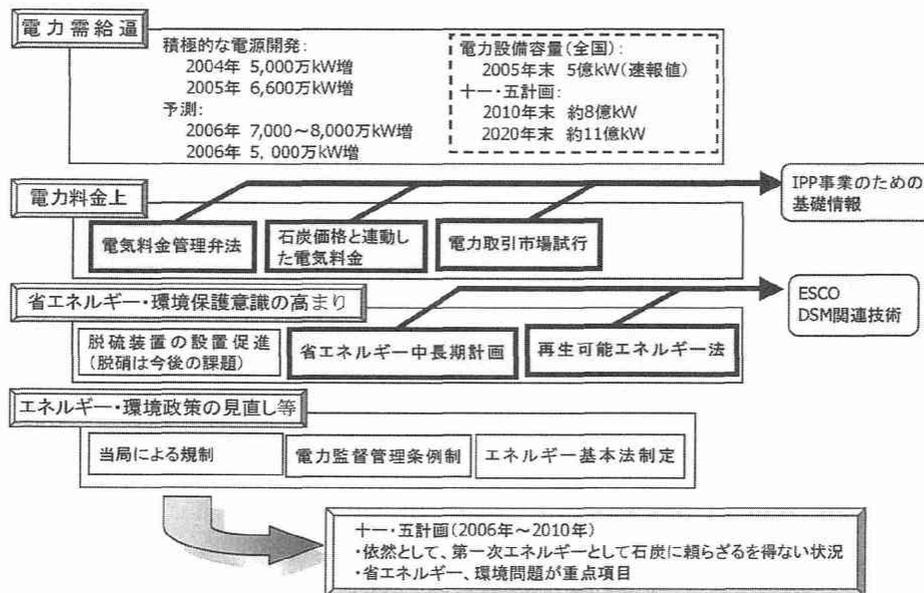


図5 電力セクターを取り巻く最近の動き

表13 単位GDPあたりの電力消費量の比較

	GDP①	電力消費量②	①/②	倍率
中国	1.24 兆\$	1.64 兆 kWh	0.76 \$/kWh	1.0
日本	3.98 兆\$	0.84 兆 kWh	4.74 \$/kWh	6.2
韓国	0.48 兆\$	0.28 兆 kWh	1.71 \$/kWh	2.3
米国	10.45 兆\$	3.47 兆 kWh	3.01 \$/kWh	4.0

※ 数値は2002年実績

(出所: 電力消費量は、各国の電力統計、GDPは総務省統計局データ)

※7 具体的な項目として、「エネルギー利用効率向上」「生態環境保護」「電力網建設強化」「水力発電を強力に開発」「優れた点を生かし石炭火力を開発」「原子力の積極的推進」「天然ガス発電を適度に開発」「新エネ発電を加速化」「協調的発展」および「電力体制改革の深化」が掲げられている。

- 鉄鋼，アルミ，化学等の電力多消費型産業の割合が大
- 生産効率の悪い工場等が多数存在
- 省エネ型電化製品（エアコン等）普及の遅れ

2004年に、政府は「省エネルギー中長期計画」を発表しており、表14にあるように、省エネルギー量の目標値を設定している。これによると、2010年で4億標準炭トン、2020年には14億標準炭トンで、2003年の一次エネルギー需要量16.78億標準炭トンに対して、それぞれ24%、83%に相当する量で、本当に達成されるかどうか注目される。

2002年から顕在化した電力需給逼迫は、2004年に最も深刻な事態になったため、中央政府は、電力を中心にしたエネルギー安全戦略の必要性を認識するようになった。このため、2005年5月に国务院総理をリーダーとする「国家エネルギー指導グループ（国家能源

領導小組）」が設置され、エネルギー戦略、計画および重大政策、エネルギー開発と省エネルギー、エネルギー安全と緊急対応、エネルギーの対外協力等について、総合的、戦略的に取り組むことを目的としている。

図6に、国家エネルギー指導グループの組織の概要を示す。

2003～2004年にかけて石炭価格が高騰し、発電に支障が出た石炭火力発電所が続出したため、電力不足の一因となった。このため、石炭価格高騰が発電会社の収益を圧迫したことを受け、政府は、2005年5月から石炭価格に連動した電気料金制度を導入した。これは、半年以内に石炭価格が5%以上変動した場合、変動分の30%は発電会社が自助努力で吸収し、70%を電気料金に転嫁することができるというものである（ただし、農業用と中小化学肥料用向けの電気料金には適用されない）。

表14 省エネルギー目標のマクロ指標

	2002年	2010年	2020年
GDP当たりのエネルギー消費 (標準炭トン/1万人民元) (DGPについては、1990年価値ベース)	2.68	2.25	1.54
年平均省エネルギー率		2003-2010 2.2%	2003-2020 3%
省エネルギー量(標準炭億トン)		4	14(注)

(注) 2003～2020年の二酸化硫黄2,100万トンの排出低減に相当

(出所：国家發展・改革委員会資料(2004年11月))

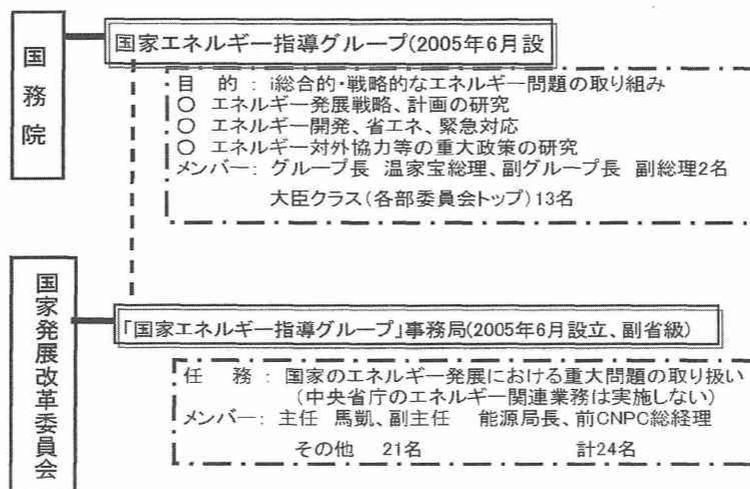


図6 国家エネルギー指導グループ組織概要

## 8. ビジネスチャンスが期待される分野

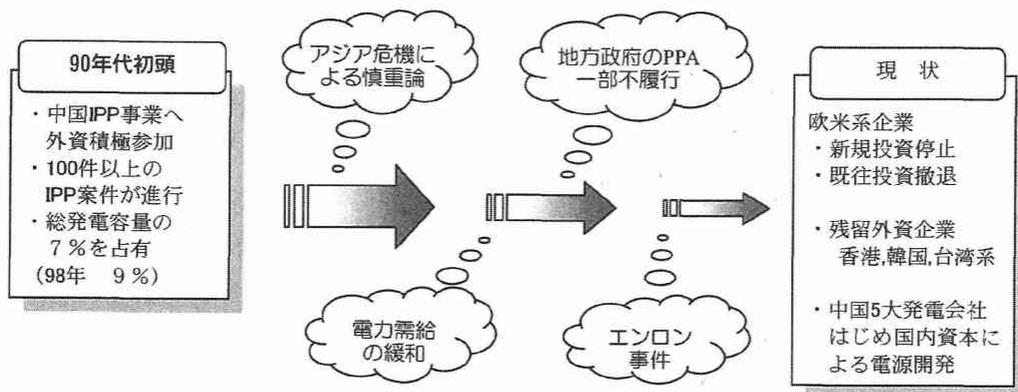
1990年代初期においては、電力の供給が不足する状況が継続していたため、外資によるIPP (Independent Power Producer, 独立系発電事業者) プロジェクトは、長期PPA (Power Purchase Agreement, 売電契約) をはじめ政府保証による各種の外資導入インセンティブが存在した。特に、最初の経済特区が置かれた広東省には、現在も多くの外資系発電所がある。

しかし、2000年代に入り電力市場化が指向されたため、IPPについては、長期PPAや価格保証などの投資に対するインセンティブはもはや期待できなくなっている。また、当初認められていたPPAについても、地方政府による見直しの動きも見られる。

そのような状況の中、2002年末の電力改革以降、5大発電会社および地方の電力会社により、積極的な新規電源開発が行われている。一方、PPAが認められないこと、市場化動向が不透明であることなど、投資環境が厳しくなったため、欧米系を中心とした外資は本体

の財務状況を改善する必要もあり、IPP市場への参入意欲は減退し、最近では、撤退が目立っている。しかし、香港やシンガポール、韓国は、中国市場への投資を継続している。

このように、中国でIPP事業を展開するには、大きな困難をとまなうが、先にも述べたように、種々の政策・制度が省資源・省エネルギー・環境を基本スタンスとして構築されるため、いわばエネルギーのソフト面を中心としたビジネスチャンスの可能性が広がるものと考えられる。発電事業者にとっては、電力市場競争を勝ち抜くために、環境に配慮した高効率発電所の運営が必要になるであろう。また、省エネルギーの余地が大きく、ESCO (Energy Service Company) 事業やCDM (クリーン開発メカニズム, Clean Development Mechanism) 事業をはじめとするビジネスが発展すると見られる。これらの分野では、クリーン・コール・テクノロジー、省エネ技術、環境対策技術、原子力発電等、日本の強みが生かせる場面が少なくなき、今後中国でのビジネス展開が十分期待できると思われる。



(国際協力銀行資料を基に作成)

図7 IPPへの外資参入の変遷

[寄稿]

## 最近の省エネルギー政策と技術の動向

佐藤 文 廣 ( 助省エネルギーセンター  
企画調査部 部長 )



### 1. はじめに

ここに来て石油価格の高騰を始めとして、エネルギーの需給に係わる問題が大きく取り上げられるようになってきました。中近東地域での政情不安に加え、いわゆるブリックス(BRICS: ブラジル, ロシア, インド, 中国, 南アフリカ)に代表されるこれまで途上国と呼ばれてきた国々の急速な経済発展に伴うエネルギー需要の増大が、エネルギー市場に大きな課題を投げかけています。

オイルショックを契機として始まった省エネルギー政策は、1990年代の地球温暖化問題の高まりによって近年、重要不可欠な政策として位置づけられるようになりました。2008年～2012年(第1約束期間)を温室効果ガス削減目標の達成期限とする京都議定書が2005年2月に発効したのを受けて、わが国は「京都議定書目標達成計画」(2005年4月)を策定し、省エネルギー対策の具体的な計画と実行を進めています。一方、最近のエネルギー需給問題は、長期的視野に立った抜本的エネルギー政策の立案を促し、経済産業省は「新・国家エネルギー戦略」(2006年5月)をとりまとめました。この中でも、省エネルギーは極めて重要な政策として位置づけられ、徹底した推進が期待されています。

本稿では、わが国における最近の省エネルギー政策の動向と技術の動向の概略を説明すると共に、世界的視点から見た省エネルギー対策への課題について紹介したいと思います。

### 2. 最近の省エネルギー政策の動向

「京都議定書目標達成計画」では、エネルギー起源の炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)排出量を基準年である1990年のレベルの+0.6%に抑えることとされています。しかし、2002年度実績では、1990年より約12%増加しており、2010年に向けて現状より約11%(約118百万t)を削減する必要があります。この大幅な削減を実現するために、国は昨年新たな省エネルギー対策を追加し、強力にその推進を図っています。

既にご承知と思いますが、わが国はオイルショック以降、積極的な省エネルギー対策により、特に産業分野で大きな成果を収めてきました。図1はわが国の最終エネルギー消費と省エネルギー関連政策の推移を示したものです。わが国の最終エネルギー消費は、高度成長期に急速に伸び、オイルショックで停滞期に入った後、1980年代後半より再び増加に転じています。2000年代に入りやや停滞傾向が見られますが、後半の伸びは主として民生・運輸部門の伸びによって生じています。

オイルショック以降、法整備や国家プロジェクトによる技術開発が積極的になされてきましたが、これらの施策の多くは産業部門に対するものでしたが、最近では、伸び続けている民生・運輸部門に対する対策が多く取られるようになってきました。

最近の施策を紹介する前に、各部門の最近のエネルギー消費指標の状況を見てみることにします。

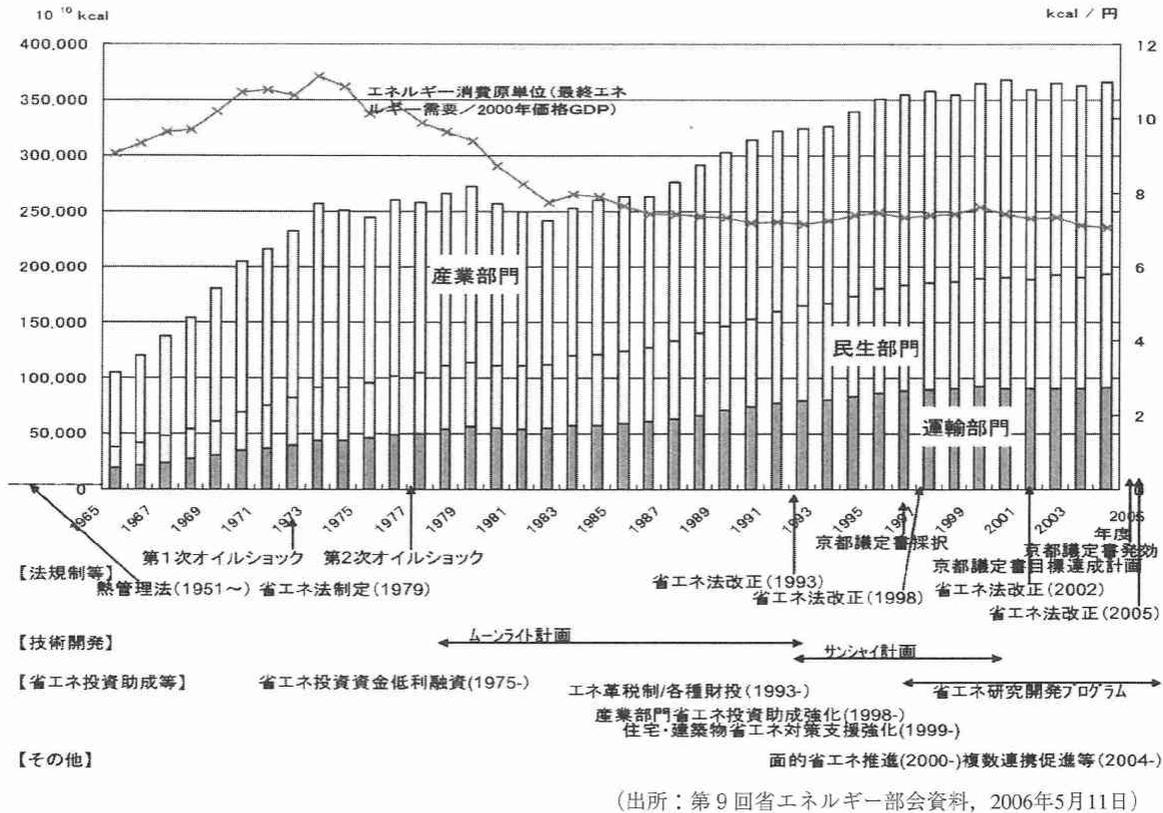


図1 わが国の省エネルギーの推移

(1) 最近のエネルギー消費指標の傾向と強化策

① 産業部門：産業部門のエネルギー消費量は1999年以降全体として概ね横這い基調にありますが、化学工業，その他製造業等において上昇傾向が見られます。また，鉱工業生産指数当たりエネルギー消費原単位で見ますと，オイルショック以後1990年までの間に急速な

改善が見られましたが，その後若干の増加傾向に転じています(図2)。これは産業構造の変化に伴う高付加価値製品等の生産品の変化によるものと説明されています。産業部門の省エネルギー対策は，主として「経団連自主行動計画」により進められ，大きな成果を生んでいるとされていますので，今後の傾向を注視したいと思います。



図2 製造業におけるエネルギー消費原単位の推移

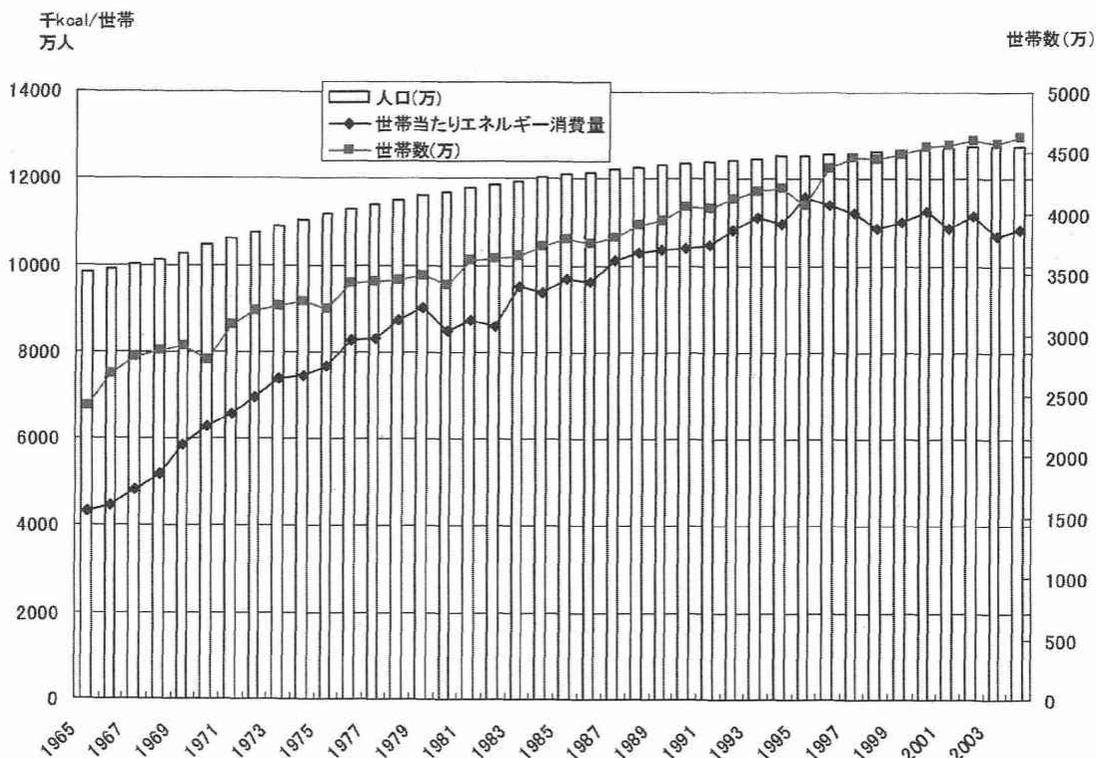


図3 世帯・人口の推移とエネルギー消費

② 民生部門：民生部門のエネルギー消費は、上昇幅が一時より若干下がってきていますが依然上昇傾向にあります。家庭部門では、世帯当たりエネルギー消費（消費原単位）は若干低下傾向にあります（図3）。しかし、世帯数増加の影響で全体のエネルギー消費は減少しておりません。業務部門では、床面積当たりのエネルギー消費原単位は減少傾向にありますが、床面積の増加が全体の消費を押し上げています。2003年度の値は下がっているようですが、これはデータのばらつきと考えられます。

③ 運輸部門：運輸部門のエネルギー消費は、近年貨物部門の消費が減少して、全体として低下傾向が見られます。貨物部門では、より積載率の高い車への切り替え等の対策により輸送原単位（kcal/t・km）の改善が進んでいるのに対し、旅客部門では自動車単体の燃費（km/ℓ）の向上には目覚ましいものがありますが、自家用車の輸送原単位（kcal/人・km）は上昇傾向にあります。

「京都議定書目標達成計画」で示された省エネルギー対策の各項目に対し、現在国が実施している具体的な施策内容の一覧を表1に示します。大きくは、補助金、税制、融資等の金融支援措置、法制度の改定による管理・規制、情報提供・普及啓発等の強化が図られています。

## （2）過去1年間の省エネルギー施策について

① 改正省エネ法（エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律）：昨年8月10日に公布され、今年4月1日より施行された今回の改正では、主として3つの分野で大幅な改訂が行われました。

### （a）工場・事業場に係わる事項

これまでの省エネ法では、管理指定を受ける工場・事業場を熱と電気に分け、エネルギー使用量の大きさにより、それぞれ第1種、第2種の管理指定工場を設けてきました。これは、熱と電気ではエネルギー管理を行う上

表1 省エネルギー部会で検討された省エネルギー対策強化策の実施状況

	レファレンス ケース	現行対策推進 ケース	追加対策量	追加対策 ケース	現在実施している具体的な施策		
産業部門	日本経団連自主行動計画の着実な実施とF U	1190	1190	0	1190	関係審議会等においてフォローアップを実施	
	高性能工業炉の導入促進	30	40	40	80	設備導入に対する支援（補助金、税制、融資）	
	高性能ボイラーの普及	10	50	0	50	設備導入に対する支援（補助金、税制、融資）	
	高性能レーザーの普及	0	0	0	0		
	次世代コークス炉の導入促進	0	0	10	10	設備導入に対する支援（補助金）	
	複数事業者の連携による省エネルギー	0	0	100	100	設備導入に対する支援（補助金、融資）	
	省エネ法によるエネルギー管理の徹底	0	0	40	40	熱電一体管理を求める改正省エネ法の施行 熱電一体管理に対応した工場・事業場判断基準の公表 工場・事業場の現地調査による総点検の実施 表彰制度による普及啓発	
建設施工分野における低燃費型建設機械の普及	0	0	10	10	低燃費型建設機械に対する指定制度の策定		
民生部門	トップランナー基準による機器の効率改善	430	430	110	540	機器の品目追加・対象拡大 機器ごとのトップランナー基準の策定 省エネラベリング制度・統一省エネラベル・省エネ型製品販売事業者評価制度による情報提供・普及啓発	
	待機時消費電力の削減	40	40	0	40	普及啓発	
	住宅の省エネ性能の向上	240	280	20	300	建築等した際に省エネ措置の届出を求める改正省エネ法の施行 住宅・建築物に係る省エネ判断基準の公表 環境性能評価手法の開発・普及	
	建築物の省エネ性能の向上	250	530	30	560	省エネ措置に対する支援（税制、融資等） 技術開発に対する支援（補助金） 設計・施工に係る技術者の育成	
	高効率給湯器の普及	20	110	150	260	設備導入に対する支援（補助金） 技術開発に対する支援（補助金）	
	高効率照明の普及	0	50	0	50	設備導入に対する支援（税制） 技術開発に対する支援（補助金）	
	業務用高効率空調機の普及	0	0	30	30	設備導入に対する支援（補助金、税制）	
	業務用省エネ型冷蔵・冷凍機の普及	0	0	10	10	中小規模業務用施設の省エネ化に係る補助	
	国民努力（情報提供、機器の買換）	0	0	270	270	エネルギー供給事業者・小売事業者による情報提供の促進 省エネラベリング制度・統一省エネラベル・省エネ型製品販売事業者評価制度による情報提供・普及啓発 エネルギー供給事業者等による省エネ事業に対する支援（補助金）	
	H E M S , B E M S の普及	120	220	0	220	設備導入に対する支援（補助金、融資） 技術開発に対する支援（補助金）	
	省エネ法によるエネルギー管理の徹底	0	0	70	70	熱電一体管理を求める改正省エネ法の施行 熱電一体管理に対応した工場・事業場判断基準の公表 工場・事業場の現地調査による総点検の実施	
	運輸部門	トップランナー基準による自動車の燃費改善	800	800	10	810	機器の対象拡大 機器ごとのトップランナー基準の策定 自動車購入に対する支援（税制、融資） 燃費性能に係る評価・公表制度及び車体表示を通じた情報提供
		クリーンエネルギー自動車の普及促進	20	50	40	90	自動車購入に対する支援（補助金、税制、融資） 技術開発に対する支援（補助金）
サルファーフリー燃料の導入		0	0	40	40	サルファーフリー燃料の生産に伴う製油所設備等に対する支援（補助金） サルファーフリー燃料の供給に係る支援（補助金）	
アイドリングストップ車導入支援		0	0	20	20	自動車購入に対する支援（補助金） 技術開発に対する支援（補助金） 普及啓発	
交通システムに係る省エネルギー対策		380	920	180	1100	交通需要マネジメント（TDM）施策の推進による自動車交通需要の調整 E T C , 道路交通情報通信システム（V I C S）の普及による高度道路交通システム（I T S）の推進	
(省エネルギー技術開発)	0	0	110	110	省エネ技術開発プログラム（補助金）		
省エネ対策合計	3530	4710	1180	5890			

※ 数値の単位は、原油換算万k l

※ 表中の項目及び数値は、昨年3月の第8回省エネルギー部会で審議されたものに、2010年エネルギー需給見通しの策定時における再検討を追加し、4月に閣議決定した京都議定書目標達成計画のベースとなったもの。

(出所：第9回省エネルギー部会資料、2006年5月11日)

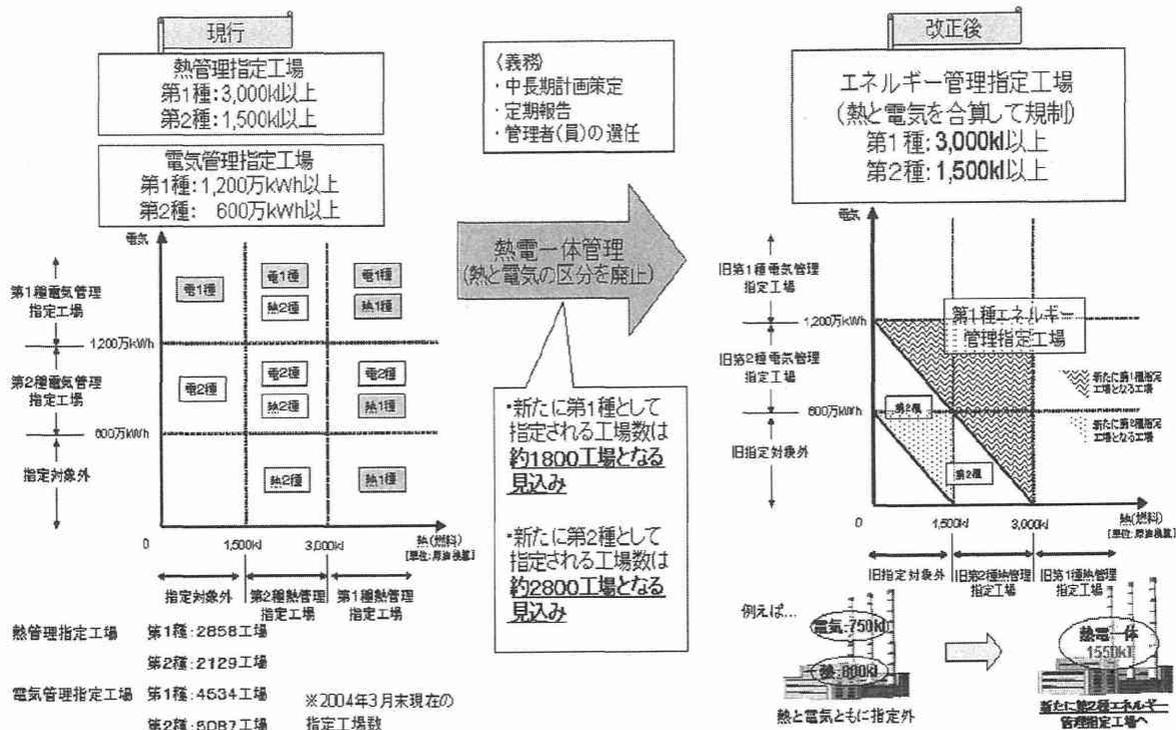


図4 熱と電気の一体管理による工場、事業場の省エネルギー対策の強化

での専門技術が異なり、専門性を高める上で別々に管理の方が良いとの考えに基づいていました。しかし、近年コージェネレーションの普及等が進み、熱と電気を一体に管理した方がより合理的な管理が可能と判断されるケースが多く出てきました。また、管理対象を増やすことも省エネルギー対策を進める上で重要であるとの認識から、熱と電気を合算して1つのエネルギー単位(原油換算)で管理指定工場を規定するよう改訂されました(第7条, 17条)。第1種, 第2種指定工場の規制範囲は従来の範囲を踏襲して、原油換算でそれぞれ3,000kl以上, 1,500kl以上としました(エネルギーの使用の合理化に関する法律施行令第2条, 第4条の2)。このことにより、指定工場の裾切り値の事実上の引き下げとなり、対象工場・事業場数が約1万から1万3,000に拡大、カバー率が産業部門全体の約7割から約8割に向上されました。改訂の要点を図4に示します。

また、改正法執行の実効性を高めるために、工場総点検の改善, 立ち入り検査の拡充(第

87条), 届出書の提出遅延に対する厳正な対処(第96条)等の施策が取られることとなりました。

#### (b) 運輸分野に係わる事項

改正前の省エネ法では、運輸分野に係わる判断規準は設けられていませんでした。近年の運輸部門のエネルギー消費量の増加傾向を考慮して、今回の改訂では、輸送能力(保有する輸送機械の台数)が一定基準以上(表2)の輸送事業者に対して、省エネ目標の設定と目標達成のための計画の策定(第55条)及び輸送に係わるエネルギー消費指標等(使用量, 原単位, 等)の定期報告(第56条)が義務付けられるようになりました。また、年間3,000万t・km以上の貨物を取り扱う荷主に対しても、同様な計画(第62条)と定期報告が義務付けられました(第63条)。荷主に係わる改正

表2 特定輸送事業者の判定基準

鉄道	300両以上	タクシー	350台以上
トラック	200台以上	船舶	2万総トン以上
バス	200台以上	航空	9千トン以上

省エネ法の適用は、貨物を自身で輸送しない事業者が輸送量（トンキロ）の削減努力をするもので、データの正確な収集などこれまでに無い工夫が必要とされています。このため、2006年度においては各社ともトンキロデータの把握に努め、2007年4月末日までにトンキロの報告を得て、以後順次特定荷主の指定が行われることとなっています。計画書、定期報告書の提出は2007年9月が最初となります。

(c) 消費者への情報提供に係わる事項

機器の効率改善を始めとした省エネルギー活動の実を上げるためには、消費者への的確な情報の伝達が不可欠と考えられます。このため、今回の法改正で一般消費者に対して、電力・ガス会社等のエネルギー供給事業者や、家電等の小売り事業者は、省エネ機器の普及のために情報を提供することが義務付けられています（第86条）。

② トップランナー基準の新展開

トップランナー制度は1998年の省エネ法改正時に、エアコンディショナー等9機器を対

象として制定されましたが、その後徐々に対象品目の追加を行い2006年4月現在21機器が対象となっています。

トップランナー制度が導入されてから既に6年以上が経過し、テレビジョン受信機、ビデオテープレコーダー、エアコンディショナー（ルームエアコン）、電気冷蔵庫及び電気冷凍庫は既に目標年度を迎えています。表3に基準策定時点での効率改善見込み値に対し、目標年度における効率改善の実績値を示しました。各機器とも当初改善予定値を大幅に上回る効率向上を達成しています。この間に主として実施されてきた各機器の省エネルギー技術の内容を表4に示しました。電子機器においてはIC化の推進、電源回路系の効率改善等多様な対策が取られたことにより大幅な改善がなされたことが分かります。一方、エアコンや冷蔵庫では、過去インバーター化が効率向上に大きな役割を果たしてきましたが、近年の効率改善策としては、電力消費の大きな割合を占める圧縮機や熱交換機の性能改善や構造改善が大きな効率改善に寄与しています。

表3 トップランナー制度の効果

機器名	効率改善（実績）	効率改善（見込み）
テレビジョン受信機	25.7%（1997年度→2003年度）	16.4%
ビデオテープレコーダー	73.6%（1997年度→2003年度）	58.7%
エアコンディショナー	67.8%（1997年度→2004冷凍年度）	63.0%
電気冷蔵庫	55.2%（1998年度→2004年度）	30.5%
電気冷凍庫	29.6%（1998年度→2004年度）	22.9%
ガソリン乗用自動車	22.0%（1995年度→2004年度）	23.0%（1995年度→2010年度）

表4 これまでの主たる省エネの取組み

テレビ	VTR	エアコン	冷蔵庫・冷凍庫
・ICの集積度の向上	・スイッチング方式電源の採用	・圧縮機の性能向上	・圧縮機の効率向上
・MOS型ICへの移行	・動作、非動作に対応した	・ファンモータの性能向上	・凝縮器の取り付け改良等
・スイッチング方式電源の採用	こまめな電源供給制御	・熱交換機の大型化	・冷気流れの改善
・合理的電源供給設計	・映像信号処理回路のLSI化		・真空断熱材の採用
・自動輝度調整回路の導入			・扉ガasketの断熱性向上
・省エネモードスイッチの導入			・ヒーター制御の最適化
・ブラウン管発光効率の向上			・コンプレッサ停止の熱ロス改善
・電子銃の改良			・冷却サイクルの効率改善
・待機時電源の専用電源化			
・低損失リモコンの開発			

これら達成年度を迎えた機器については基準値に対する見直しが行われ、新たな基準値が検討されています。これらは技術変化の激しい分野の機器であり、トップランナー基準設定当初から見ると機器の性能や機能に大きな変化が生じています。例えば、テレビジョン受信機においては、1998年段階で液晶やプラズマテレビは出現していたものの、技術開発の先行きが不透明で市場も小さいとして対象機器に上げられていませんでした。しかし、現在では出荷の大半がブラウン管テレビから液晶やプラズマテレビへと変わってきています。これに対応して、今回の基準改定では液晶とプラズマテレビの基準を設けることとしました。更に、VTRはDVDへ、冷蔵庫は使用側の便宜を図って用途に応じた室数の増加と配置を変えた新しい型式へと変わってきてお

り、これらも同様に新しい機能に対応した基準の設定が必要となっています。問題は、これら新たな商品の出現が多くの場合、省エネルギーとは反対方向のベクトルを有していることです。省エネルギー対策がエネルギー消費の絶対量の削減を最終目標とするのであれば、これら新しい機器の出現に即応して基準作りを行うことに加えて、消費者の欲求を満足し且つエネルギー消費の少ない機器の技術開発が求められます。

### ③ 今後の省エネ政策の方向性

国は今年5月に行われた省エネルギー部会において、省エネルギー対策の現状を踏まえて、今後の省エネルギー政策の方向性を示しました(表5)。特に、エネルギーコストの軽減効果がインセンティブとして十分機能しに

表5 分野ごとの現状、課題、今後の政策の方向性

分野	現状・課題	今後の政策の方向性
産業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギー多消費業種にあっては、現状の業態における既知の対応策は既に着手済。</li> <li>・エネルギーコストが相対的に少ない非装置型の業態にあっては、投資がなされる都度、最新の省エネルギー技術を適時的に導入することにより、省エネルギーが図られる可能性。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来の発想を超えた省エネ対策を生み出すような、革新的技術開発の重視。</li> <li>・先進的な設備、機器、システム等の性能を評価する基準を示し、事業者により性能の優れた設備等の積極的導入を促す方法(ベンチマーク・アプローチ)の活用。これを活かした効果的支援。</li> </ul>
民生業務	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギーコストが小さいこと等により、省エネルギーに対するインセンティブが働きにくい。</li> <li>・省エネルギーによって削減できるコスト幅も限定的で、投資回収期間が長期。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギー消費機器の更なる性能向上。</li> <li>・省エネルギー対策の方法・効果を分かり易く提示するESCO等の新業態の振興。</li> <li>・既存建築物の省エネ改修促進等による建築物の省エネ性能向上促進。</li> <li>・高効率機器や、エネルギー利用効率の高い事業環境の性能評価のためのベンチマークの整備と、表示等による需要側への的確な情報提供の工夫。</li> <li>・高効率機器等の普及・定着を促進する効果的支援。</li> <li>・地域、都市、交通等に関連する省エネを促す社会経済システムの整備。</li> </ul>
民生家庭	<ul style="list-style-type: none"> <li>・豊かさや利便性を求め、エネルギーを消費する機会が増える傾向。</li> <li>・近年のライフスタイルの変化、世帯数増加等により、更に、エネルギー消費量が增大。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国民の省エネルギー意識の向上</li> <li>・エネルギー消費機器の更なる性能向上。</li> <li>・既存住宅の省エネ改修促進等による住宅の省エネ性能向上促進。</li> <li>・高効率機器等の性能評価のためのベンチマークの整備と、表示等による需要側への的確な情報提供の工夫。</li> <li>・高効率機器等の普及・定着を促進する効果的支援。</li> <li>・住宅の省エネ性能の向上を促すための仕組み(性能評価、表示、支援等)。</li> <li>・地域、都市、交通等に関連する省エネを促す社会経済システムの整備。</li> </ul>
運輸	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送機関が、利便性のみで選択されるケースが少ない状況。</li> <li>・荷主、輸送事業者、着荷主等複数の関係者による協働が必要。</li> <li>・エネルギー消費量を管理するなど省エネルギーに関する理解の更なる浸透が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改正省エネ法の活用により、省エネルギーに関する認識を深め、エネルギー管理体制の整備を促進。</li> <li>・自動車等輸送機関の更なる性能向上。</li> <li>・エネルギー消費効率の高い輸送機械、輸送手段の性能評価のためのベンチマークの整備と、表示等による需要側への的確な情報提供の工夫。</li> <li>・高効率輸送機器等の普及・定着を促進する効果的支援。</li> <li>・地域、都市、交通等に関連する省エネを促す社会経済システムの整備。</li> </ul>

くい民生・運輸分野や、社会インフラの整備や多様な主体との協働を要する交通、都市構造などの社会経済システムに係わる分野において、省エネルギーを進める手法の工夫が必要であるとしています。即ち、革新的技術開発を戦略的に進めることを基盤としながら、様々な省エネルギー対策を適切に評価し、普及させていくために、政策評価手法の1つであるベンチマーキングの手法を広く取り入れ、各分野において展開することとしています。

### 3. 省エネルギー技術の動向

#### (1) 今後の省エネルギー技術開発の方向

昨年総合資源エネルギー調査会需給部会により答申された「2030年のエネルギー需給展望」、及び今年5月に経済産業省が中間とりまとめを行った「新・国家エネルギー戦略」においても、今後のわが国のエネルギー政策として、省エネルギー技術開発が極めて重要な施策として位置づけられています。これとは別に、膨大な技術開発をより透明性を高めて

推進するために、国は技術開発に於ける戦略マップの作成を進めてきました。今年4月、分野別の技術戦略マップ「技術戦略2006」が策定されましたが、省エネルギー分野については今年10月を期限として策定が進められているところです。今回の検討の前提は、「新・国家エネルギー戦略」等の議論を受けて、①省エネルギー技術を日本の国際社会における産業競争力の源泉とする、②資源制約・環境制約を乗り越え、尊敬される世界の省エネ国家の実現を目指す、の2点を将来のわが国のあるべき姿と位置づけ、これを実現するための省エネルギー技術開発の方向を、2010年から2030年を展望しながら描くこととしています。

省エネルギーは、機能を生み出す様々な技術の効率化により達成されるものであるから、特に産業部門においては、要素技術の融合・組み合わせを効果的に行うことが大切となります。このため、技術開発の相互連携を促進し、シナジー（相乗）効果を生み出すことが必要となります。また、民生・運輸部門において

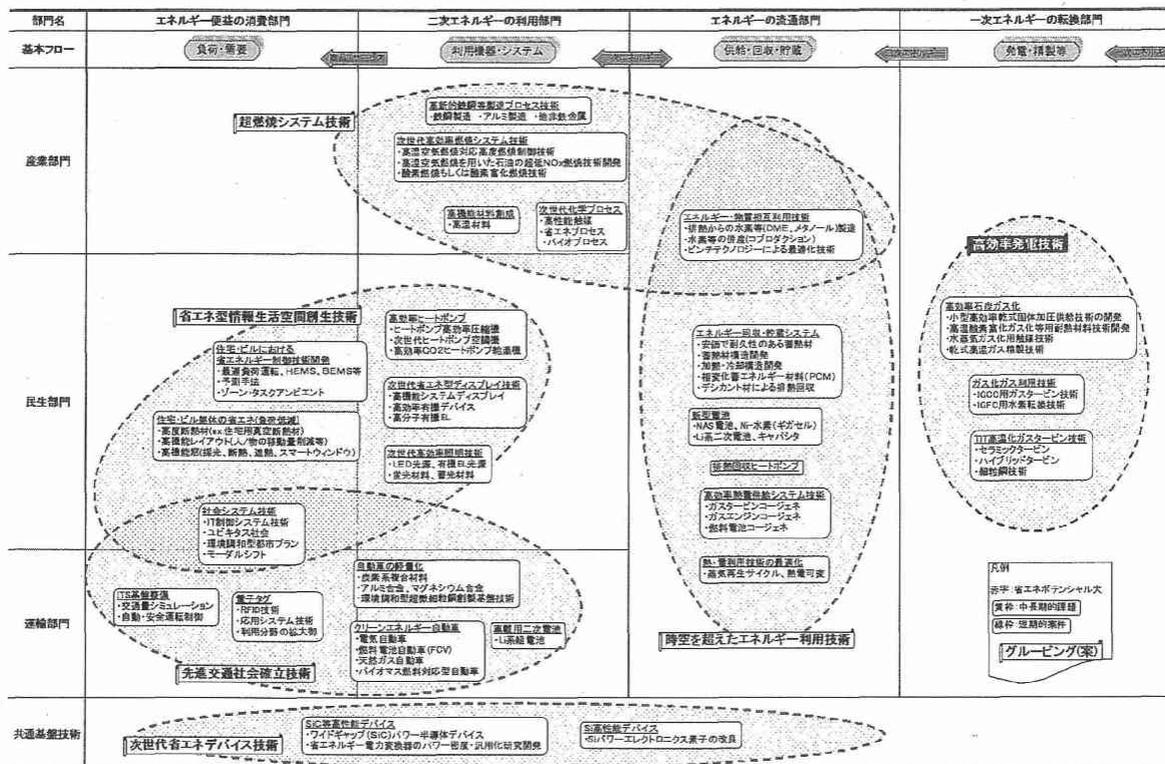


図5 省エネルギー技術課題コンセプトマップ

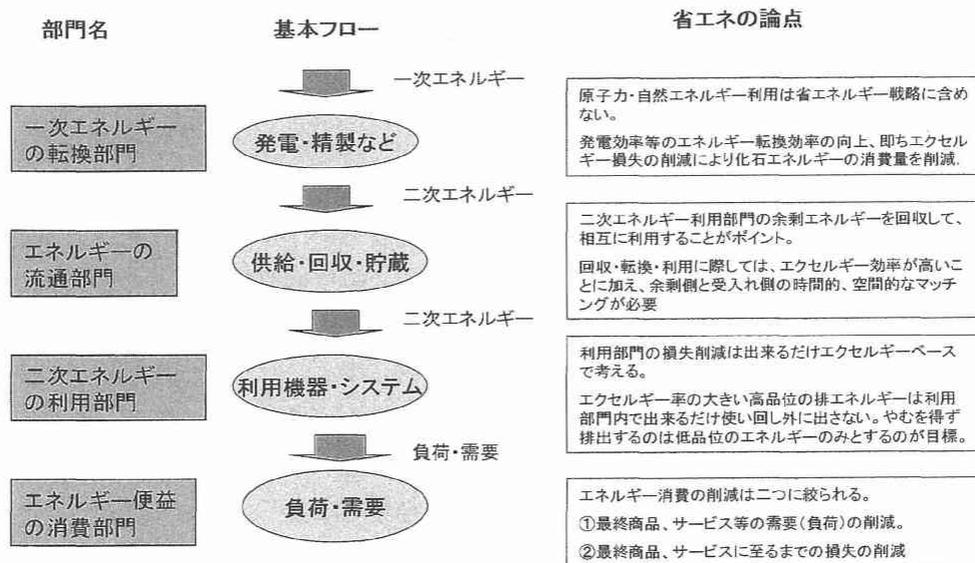


図6 省エネルギー技術に関する論点整理

は、IT化の進展やライフスタイルの変化といった社会システムの変革に合わせた省エネルギー技術の開発が必要となります。

## (2) 省エネルギー技術戦略「研究会」「WG」の活動

省エネルギー技術戦略を策定するために、今年初め「省エネルギー技術戦略検討会」が持たれ戦略作成の方向が議論されました。この議論を踏まえて、「省エネルギー技術戦略研究会」が発足し、その下に「ワーキンググループ(WG)」を置いて具体的な検討を行っています。検討会では、図5に示す省エネルギー課題コンセプトマップに基づいて、部門横断的に5つのコンセプトグループを構成し、コンセプトグループ毎にWGを設置して検討を進めています。コンセプトグループはそれぞれ次のように命名されました。

①超燃焼システム技術、②時空を超えたエネルギー利用技術、③省エネ型情報生活空間創成技術、④先進交通社会確立技術、⑤次世代省エネデバイス技術の5つです。研究会では4月に検討をスタートし、8月中には最終とりまとめを行うことで検討を進めています。

## (3) 省エネルギー技術の論点整理

省エネルギー技術を抽出する上で、エネルギーの供給側から消費側への一連のフローの中で、それぞれの段階毎に論点の整理を行いました。概要を図6に示します。まず、発電等一次エネルギー転換部門(原子力、自然エネルギーは除く)については、極めて高温域でのエネルギー転換が課題となるので、エクセルギー損失の低減技術が課題となります。次に、エネルギーの供給・回収・貯蔵を行うエネルギー流通部門では、需要側と供給側との時間的、空間的マッチングが大きな開発要素となります。更に、製造プロセス等二次エネルギーの利用部門では、エネルギーをエクセルギーベースで考えた時の利用効率の向上が課題となります。最後に照明や機器の稼働に利用するエネルギー消費部門では需要の削減と消費に至るまでの損失の削減技術が課題とされます。

## (4) 各グループの技術開発課題の概要

### ① 超燃焼システム技術

製造プロセスでは、化石燃料等の化学エネルギーを燃焼により熱エネルギーに転換してから利用しますが、燃焼時には必要とする温度レベルを超えた極めて高温のガスが発生し、

この温度差の大半がエクセルギー損失となります。このようなエネルギー価値の損失を伴う燃焼をできるだけ省く、または超高効率に利用することを「超燃焼」と捉えて、これにより実現される廃熱ゼロを目指した省エネルギー型の産業構造、エネルギー利用体系の実現を図ります。

## ② 時空を超えたエネルギー利用技術

製造プロセスにおいて発生する余剰エネルギー（廃熱）等は、時間的・空間的な輸送が困難であることから、十分に利用されないまま排出されるケースが多くあります。このような制約を蓄熱技術等により克服し、エネルギーの需要と供給のマッチングを行うことにより、エネルギーの高効率利用を図ることを目指します。

## ③ 省エネ型情報生活空間創生技術

民生部門では、高度情報化や豊かさを求めるライフスタイルの変化の影響などから、産業部門に比べてエネルギー消費の伸びが大きいため、機器設備などのハード面だけでなく、生活スタイルなどのソフト面と融合させた技術開発が必要になっています。このため、高効率の給湯、空調、コージェネレーション等の民生用機器の普及や更なる効率改善と併せて、IT技術との融合をすすめて、BEMS (Building and Energy Management System)、HEMS (Home Energy Management System) 等の最適管理技術や予測評価技術等による省エネ型空間の創生を図ることを目指します。

## ④ 先進交通社会確立技術

ハイブリット自動車の実用化されるなど、ハード面における省エネ対策は改善が進んできているものの、運輸部門の大幅なエネルギー消費量の削減には至っていません。先進的な交通社会を確立するためには、輸送機器ハード面の技術開発を更に進めるとともに、効率的な利用を社会システムとして進めるための技術開発を併せて行っていくことが必要で

す。これらによりモーダルシフトなど輸送機器の利用形態の高度化を含めた先進交通社会確立を図ることを目指します。

## ⑤ 次世代省エネデバイス技術

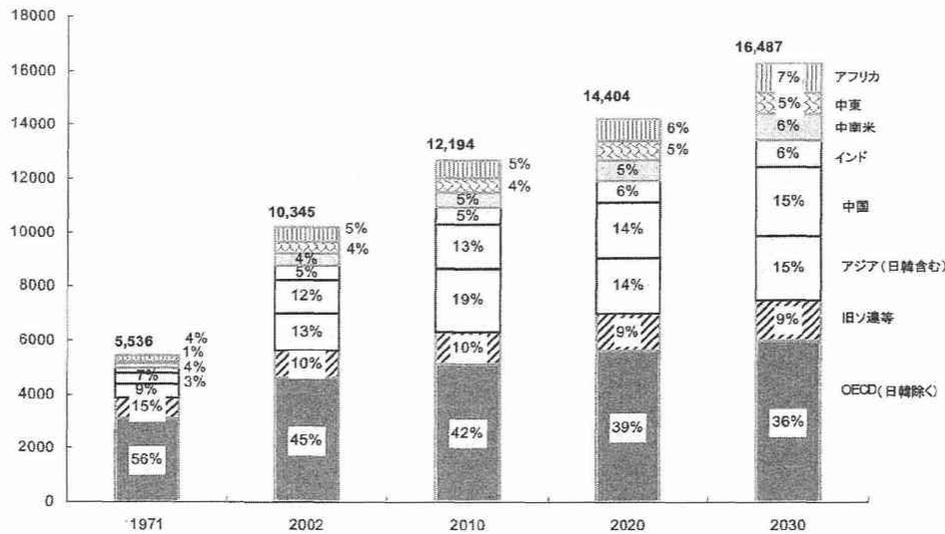
幅広い分野において使用される省エネ型デバイスの技術開発を図ることにより、分野横断的に大きな省エネ効果の実現を図ることを目指します。例えば、工場等のモーター、情報家電及び自動車等の産業・民生・運輸の各分野に跨った幅広い分野において使用される半導体電力素子の技術に「パワーエレクトロニクス」があります。そのキーデバイスである「パワー半導体（電力制御変換用半導体）」に係る技術的ブレークスルーにより、各分野において、大きな省エネ効果が期待されます。

## 4. 海外との連携強化

### (1) 省エネ協力の必要性

図7に国際エネルギー機関（IEA）が2004年に予測した世界の地域別エネルギー需要の推移と見通しを示します。世界のエネルギー需要は、今後とも急速に伸び、2030年には2002年比で60%の増加が想定されています。この中で、全体の伸びの約46%はアジア地域であると考えられています。とりわけ中国は、既にわが国を抜く世界第2位のエネルギー消費国ですが、近年石油依存度が急激に上昇し、1990年代半ばに純輸入国に転じて以降、2030年には需要の80%を輸入に依存すると想定されています。この傾向はインド等他のアジア諸国においても同様に見られます。

一方、このようなアジアを始めとする世界のエネルギー需要の増加は、気候変動の観点からも深刻な課題となっています。京都議定書は米国他を除く先進各国が炭酸ガス（CO<sub>2</sub>）の削減目標を立て、2008年～2012年の間に達成することを目標として昨年発効されましたが、当初よりエネルギー消費の急上昇が予測される途上国の扱いが議論の的となってきました。



(出所：IEA Energy Outlook 2004)

図7 世界の地域別エネルギー需要の推移と見通し

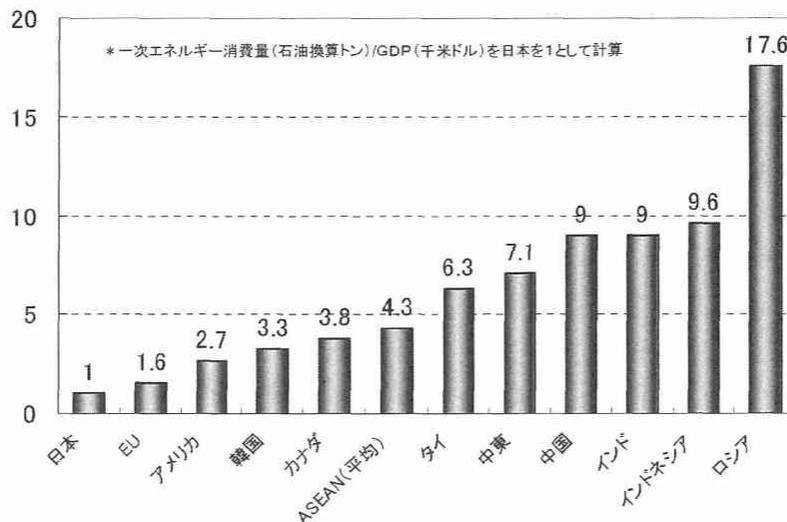
京都議定書後の次期枠組みを議論するCOP/MOP（気候変動枠組条約締約国会議・京都議定書締約国会合）は昨年12月にスタートしましたが、米国、途上国の動向が注目される所です。これらの国においては、総じてエネルギー消費原単位が高く、2003年のGDP当たり一次エネルギー消費は、日本を1とすると、米国3、中国9、インド9、タイ6（出典：IEA Energy Balance 2004）等となっています（図8）。

2005年7月、気候変動とエネルギー問題は不

可分の関係にあるとの認識に基づいて、G8サミットにおいてグレーンイーグルス行動計画が決定され、さらに時期を同じくしてアジア太平洋パートナーシップが立ち上げられました。このように脆弱なエネルギー需給構造の改善と気候変動の取組において、省エネルギーの重要性が強く指摘され、また、世界的に省エネルギー対策が急務とされてきています。

(2) アジア・省エネルギー・プログラム

昨今の原油高を受け、アジア諸国において



(出所：IEA Energy Balance 2004)

図8 GDP単位当たり一次消費エネルギー各国比較

も省エネルギーに向けた一定の取組が行われるようになってきました。しかし、省エネルギー規制等の制度整備、関連人材育成等の諸点において未だ実効性に乏しく、自律的に省エネルギーが促進される状況に至っていないのが実情です。こうしたアジア諸国のエネルギー効率を改善するために、欧米各国や国際機関等は省エネルギー分野における国際協力を精力的に進めています。

わが国はこれまで、産業分野を始めとした様々な省エネルギー活動の展開により、エネルギー消費効率において世界で最も優れた国を自負しています。アジア諸国における省エネルギーの自律的推進を図るために、わが国がこれまで蓄積した技術、ノウハウを提供することは、極めて重要な政策課題となってきました。このため、これまでの省エネルギー国際協力の取組を抜本的に強化した「アジア・省エネルギー・プログラム」を推進することとしています。その内容は、①アジア諸国の制度的取組への支援、②民生・運輸・電力部門の協力の実施、③わが国企業によるビジネスベースの省エネルギー機器・設備の普及に向けた支援、④国際機関等との連携、⑤政府及び関係機関の連携と体制強化、⑥国際的枠組みを活用したベンチマークアプロ

ーチの展開となっています。重点的に取り組む相手国として、中国、インド、タイ、インドネシア、ベトナムなどが候補として考えられています。

## 5. まとめ

以上を取り纏めますと、

- ① 省エネルギーは地球温暖化、エネルギー需給の両面から、益々重要な施策となってきています。
- ② 省エネルギー対策が急がれる中、国は法制度の充実による管理体制の強化を図るとともに、新たな技術開発に大きな期待を寄せています。
- ③ 省エネルギー技術は、求められる機能を達成させる様々な要素技術やシステム化技術の効率を改善する総合的技術です。国は、現在ロードマップの作成過程にありますが、個々の技術の相互連携が今後益々重要な課題となってくると考えられます。
- ④ 省エネルギー対策は今や地球的課題であり、一国の枠を越えた連携が求められています。

[寄稿]

## 新規半導体 (SiC, GaN) の パワーエレクトロニクスへの展開

荒井 和 雄 <sup>※</sup> (独)産業技術総合研究所  
パワーエレクトロニクス研究センター  
センター長

樋口 登 <sup>※※</sup> (独)産業技術総合研究所  
次世代パワーエレクトロニクス実用化  
チーム チーム長



### 1. はじめに

現在、日本の一次エネルギー消費のうち電気エネルギーの発生に使われる割合（電力化率）は既に、40%を超えており、益々増加する傾向にある。風力や太陽光などの再生可能エネルギーの導入や燃料電池、マイクロガスタービンなどの分散電源の活用は不可欠と考えられている。それらの効率のよい使い方、電力系統・配電系との調和のとれた関係には電力損失が少なく使い勝手がよく、コスト的にも負担の少ないパワーエレクトロニクスが必要である。輸送面においても、環境によく効率のよいハイブリッド自動車や燃料電池自動車に期待が集まっている。近海船舶の電気

化開発も進められているほか、爆発的に増大するインターネットなどの情報のやりとりには、インフラとしてのサーバシステムや各種通信基地局の更なる効率と信頼性の向上が求められている。これらにおいても直流-交流 (DC-AC)、直流-直流 (DC-DC) の電力変換器をはじめとする各種パワーエレクトロニクスの一層の高性能化が求められている。それらのキーとなるパワーデバイス、現在はシリコン (Si) デバイスであるが、その性能は飽和の傾向にある。シリコンの物性値からくる限界を乗り越える性能の半導体として、炭化珪素 (シリコンカーバイド: SiC) や窒化物半導体 (ガリウムナイトライド: GaN) などのワイドバンドギャップ半導体が目玉を集め

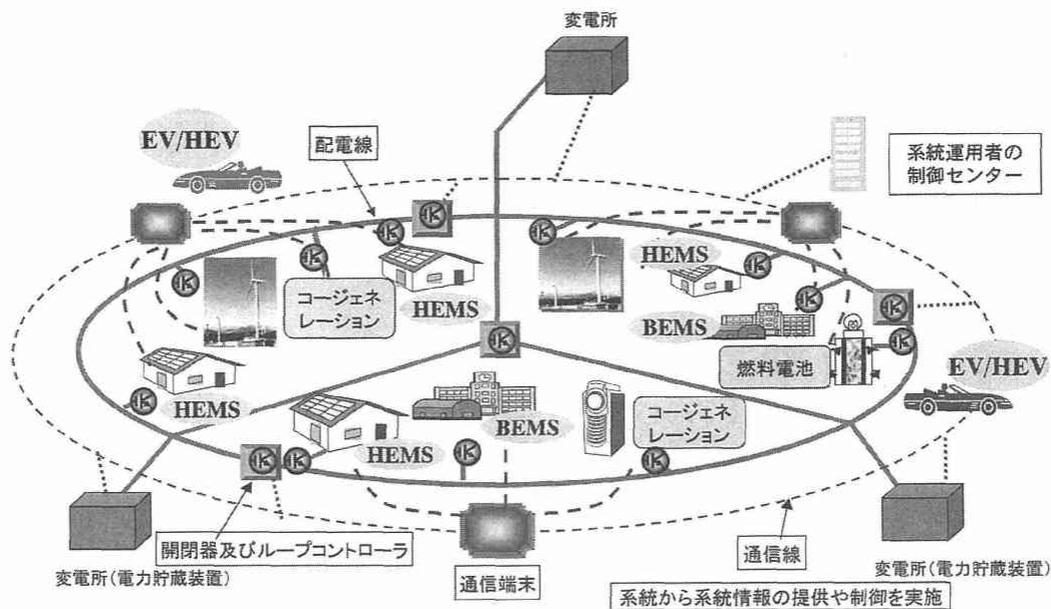


図1 エネルギーネットワークの未来図

ている。材料開発からデバイス研究開発へと  
 進み、パワーエレクトロニクスへの適応を望  
 むところまで開発が進んできた。そうした革  
 新的パワーエレクトロニクスの活躍する高速  
 情報ネットワークに適時・適宜に呼応する電  
 力エネルギーネットワークの姿を図1に示す。

## 2. ワイドバンドギャップ半導体の物性 とパワーエレクトロニクス

### (1) 材料特性に見るシリコンカーバイド (SiC) の優れた特徴

SiC, GaNの物性値をSiと比較して表1に示  
 す。もっとも重要なパラメータは絶縁破壊電界  
 でSiの8~10倍であり、その電界を支えるチャ  
 ージの最大密度は100倍にも達する。そのため  
 もしも両者で3.3 kV耐圧の金属酸化膜半導体  
 (Metal Oxide Semiconductor: MOS) デバイスを  
 作ると、図2に示すようにSiCでは通電時に発  
 生するオン電圧(小さい程電力損失が小さい)  
 が現在型(Si)の約200分の1となる、低損失

表1 シリコンカーバイドの材料特性

	Si	SiC(4H)	GaN
バンドギャップ $E_G$ (eV)	1.12	3.2	3.4
絶縁破壊電界 $E_C$ (MV/cm)	0.3	2.8	3.0
電子移動度 $\mu$ (cm <sup>2</sup> /Vs)	1450	1000	1500
熱伝導率 $k$ (W/cm <sup>2</sup> °C)	1.5	5.0	1.5

デバイスになる。ワイドギャップであることか  
 ら、高温まで半導体のドーピング制御が可能と  
 なるので、シリコンの限界を破る150°C以上、  
 原理的には500°C程度までデバイスが動作する  
 高温デバイスでもある。熱伝導度が大きいこと  
 も高パワーでデバイスを動作させた時に発生す  
 る熱の拡散に有利で、高温動作と相俟ってデバ  
 イスサイズを小さくできるので、チップコスト  
 の低減が可能となる。3.3kVのパワーデバイ  
 スは、Siデバイスでは、キャリアが電子だけであ  
 るユニポーラデバイスのMOSパワーデバイス  
 ではなく、絶縁ゲートバイポーラデバイストラン  
 ジスタ(IGBT)という電子とホール両方を  
 キャリアとするバイポーラデバイスが使用さ  
 れる。IGBTでは損失は低減できるが、キャリ  
 アが2種類あるためユニポーラデバイスに比べ  
 高速(高周波)動作が約1桁悪くなる。

### (2) 拡大が期待されるSiCの適用範囲

インバータで代表されるパワー変換器に求  
 められる特性は、電力変換損失が小さく(高  
 効率)、小型(低コスト)で使いやすい(壊れ  
 にくい)ことである。SiC, GaNパワーデバイ  
 スは、低損失であり、高周波動作による受動  
 部品(コンデンサやコイル)の小型化により、  
 変換器全体を小型化できる。デバイスの破壊  
 モードには色々あるが、Siデバイスでは、な  
 んらかの理由でデバイスの中で電流集中が起  
 こり、局所発熱・融解することもその代表的

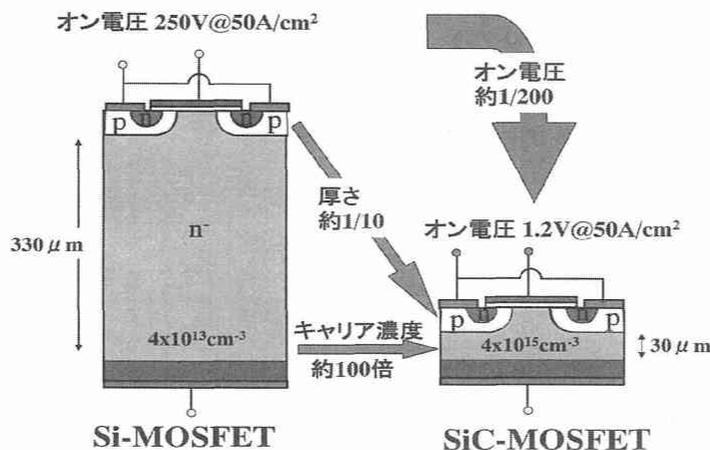


図2 仮想的Si-MOSと理想的SiC-MOSFETの損失の比較

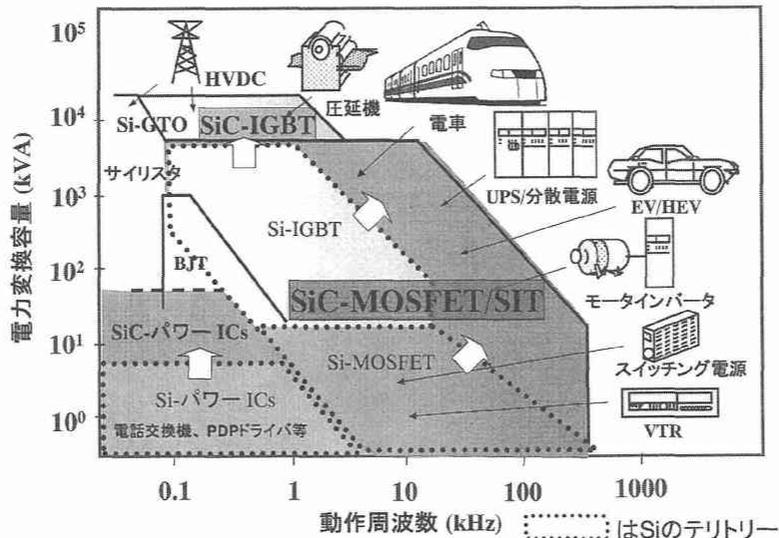


図3 SiCがSiに取って変わることにより拡大する現在のパワーデバイスの適用範囲

原因である。SiCは、2,000℃以上でも溶けず、熱伝導度よく熱拡散が早いので破壊に対して強く、変換器として堅牢で信頼性が高くなることを期待できる。高周波化により、信頼性に問題のある容量の大きな電解コンデンサを追放できれば、変換器のメンテナンスのコストを大きく下げることができる。こうした色々な特長から、各種パワーエレクトロニクスに使われているSiパワーデバイスの耐圧・容量の適用範囲に対し、SiCパワーデバイスの予想適用範囲を重ねて、図3に示す。SiCユニポーラデバイスの適用領域が矢印で示したように拡大し、広い範囲での使用が期待される。

### 3. 開発状況と課題

#### (1) SiCパワーデバイス

##### ① 開発の現状

SiCのパワーデバイスの研究開発は、90年代に入って米国クレー社(Cree)から直径30mmの基板が市販されるようになってから急激に立ち上がった。ショットキーバリアダイオードがシーケッド(ドイツ、シーメンスとインフィニオンの出資小会社: SiCED)社やクレー社から市販されている。同等の耐圧・電流値のSi-PNダイオード比べ、スイッチング時における逆回復電流が圧倒的に少なく(図4)、

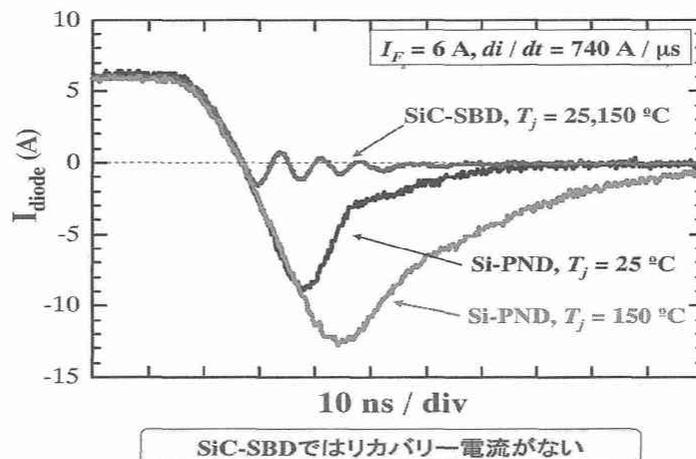


図4 Siと比較し、SiCが優れていることを示すダイオードの逆回復特性(リカバリー波形)

スイッチング損失とノイズを押さえられるので、値段が高いが使われはじめている。一方パワーデバイスの本命であるスイッチングデバイスの開発には時間がかかっている。結晶基板をはじめいくつかの課題を抱えている。

## ② SiCの製造法

SiCは大気圧下では溶融しないので、基板作製は、Siの融液からの成長とは異なるSiCの昇華ガスを原料とする気相単結晶成長法で行う。そのため成長速度が小さく、種々の結晶欠陥を発生するなどの問題がある。それでもクリーン社がリードして、市販ウエハサイズも2インチから3インチになり、4インチ市販も期待されるまでになった。ミクロンオーダーのマイクロパイプという貫通細孔欠陥はほぼ無くなった。10の4乗 ( $\text{cm}^{-3}$ ) オーダの結晶転位の低減が次の課題になっている。特に、PNダイオードの通電時に一定電流での順方向電圧が増加するというダイオード特性の劣化が大きな問題となった。これはバイポーラデバイスにおけるキャリア消滅（再結合）過程におけるエネルギー放出により、転位（基底面転位）が増殖するためであることが判明し、その転位低減の種々の工夫がなされている。最近、結晶成長方位の組み合わせを工夫し、結晶転位を2桁下げる成長法（RAF法）が提案され、転位低減についても明るい見通しがある。

## ③ SiCとSiの製造上の相違

SiCはSiとCの化合物半導体であるので、Siデバイス技術をほぼ追従することができる利点がある。しかしながら化学結合が強く、不純物の熱拡散ができず、ドーピングには高温イオン注入（500℃以上）と超高温アニーリング（1,700℃以上）が必要であるなど、装置開発を含む独自の研究開発が必要となっている。

もっとも汎用性の高いパワーデバイスであるMOSデバイスでは、電流のオン・オフを制御するゲートチャネルの抵抗値を下げる（キャリア移動度を上げる）ことが難しく、低い

オン抵抗のデバイスがなかなか作製できなかったが、酸化プロセスや結晶面の選択などによってSiの物性値限界を超え、さらにSi-IGBTのオン抵抗を超える低損失パワーデバイスが報告されるようになった。

## ④ 残された製造上の課題

残された問題は、現在10A程度の電流量の向上と、実用に足る酸化膜の信頼性の確証である。高温でも酸化膜の信頼性を心配しなくてよい接合型電界効果トランジスタ（JFET）では、少量ながら市販が始まっている。オン抵抗を低くするとゲート電圧をかけないとオフにならないノーマリーオフ型になる。そのため低耐圧のスイッチデバイスと組み合わせ、ノーマリーオフにするカスコード型複合スイッチ素子も開発されている。高温動作スイッチ素子としての応用が期待される。また、超高耐圧用（5kV以上）大容量デバイスとしては、オン電圧の低いバイポーラデバイスGTO（Gate Turn-Off thyristor）などが試作され、電力用としての展開が期待される。

## (2) GaN系パワーデバイス

### ① 開発の現状

GaN系デバイスは、発光ダイオード（LED）などの青色発光デバイスの実用化について、パワーデバイスとしても有望視されている。ウエハの作製法は、サファイアやSi基板上への単結晶薄膜成長（ヘテロエピタキシャル成長）が主流である。種々の技術開発が進められ、4インチ異種基板が報告されるまでに来ているが、ヘテロ成長に起因する転位欠陥は、SiCに比べ3桁以上大きい。2インチサイズでは、高速成長速度を持つハライド気相成長（HVPE）により厚膜を形成・剥離するバルク結晶基板作製法が考案され、転位の低減が図られ実用化が期待されている。

### ② GaN系の特徴

GaN系デバイスは、GaNと窒化アルミニウム

ムガリウム (AlGaIn) とのヘテロ界面にできる piezo 分極誘起 2 次元電子ガスをを用いた横型のいわゆる HEMT (高電子移動度トランジスタ) である。高周波パワーデバイスとして、ガリウム砒素 (GaAs) デバイスをしのぐ高出力デバイスを実現している。この特性は、高速スイッチングデバイスとしても魅力的であり、開発が進められている。SiC をしのぐ低オン抵抗の報告もある。デバイスのオン動作により逐次、電流が減少する電流コラプスやショットキーゲートの漏れ電流などの課題もあり、それぞれパッシベーション、高絶縁ゲート構造などの対策がとられ、ほぼ解決されている。ノーマリーオフ化にも種々の検討がなされている。

#### 4. 実用化へのシナリオ

##### (1) 用途により実用化直前まできた新規半導体

2, 3 項ではやや専門的な事項について述べた。要約すれば、新規半導体をデバイスとして実用化するまでには、材料 (ウエハ)、プロセス、デバイス技術において様々な課題がある。材料技術開発の成果を元にプロセス・デバイス開発を進めることができるが、その開発の進展に従い、以前には見えなかった材

料技術の一層の進展の必要性が見えてくる。そして、材料が改善されると今度はプロセス・デバイス技術の進展の必要性が明らかになる、いわば螺旋を描きながら技術の進展を見てきた。SiC はその開発のラセンを一段上がった段階にあるとあってよい。ショットキーバリアダイオード (SBD) の実用化を踏まえ、パワーエレクトロニクスに使える Si パワーデバイスの性能を越えるスイッチングデバイスの実用化を視野にいれるところまで来た。GaN 系デバイスは、高周波デバイスの開発に成功し、パワーデバイスとしての活躍の場を求めている段階にあるといえる。

##### (2) 実用化の鍵

実用化のキーは、SiC や GaN デバイスの活用により、システムとしてのメリットが引き出せるかにかかっている。SBD がすでに市場に入っていることは述べた。値段が下がり、品揃えが増えることで市場はさらに拡大する。SiC の Si に比べパワーデバイスの性能として優れた点を図 5 左に、またシステム応用によって求められるパワーデバイスの特徴的な性質を図 5 右に示す。しかしながら、低損失はすべての応用で求められる性能だが、その他の性能はシステムによって異なる。高い信頼性が重要な輸送・電力応用では、高い破壊耐量はキーとなる。家電機

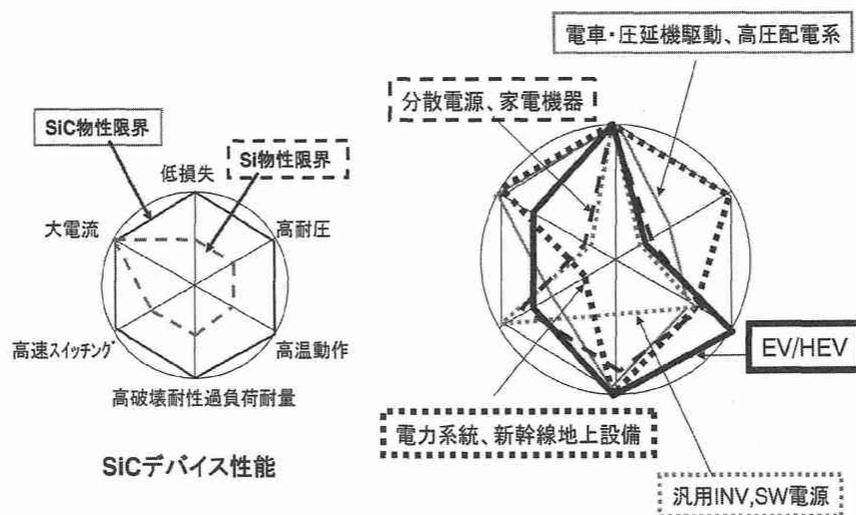
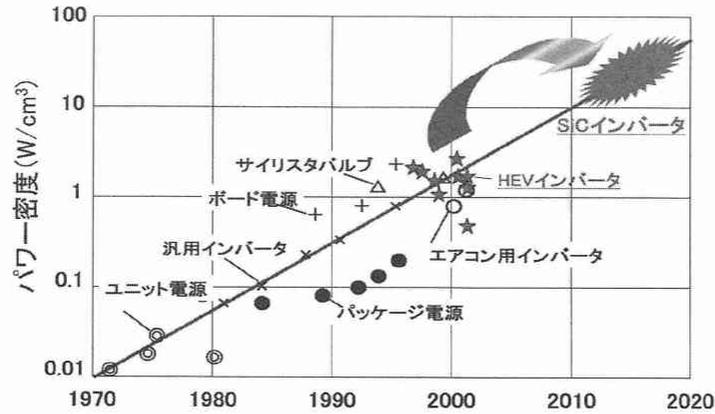


図 5 パワーデバイスに求められる Si と SiC の性能比較他



出典：大橋弘通；電気学会誌122(2002)168

図6 製品化された電力変換器のパワー密度の年次展開

器や分散電源のパワーエレクトロニクスでは、高周波化による小型・低コスト化が必要だ。ハイブリッド電気自動車（HEV）や電気自動車（EV）では、高信頼・低コストに加え、冷却系が簡単になる高温動作が強く期待されている。

### (3) 高性能化との関係が深いチップ実装技術

デバイスの性能をとことん発揮させるためには、それを可能とするチップ実装技術の開発の必要性が見えてきている。例えば、チップ面積を小さくすることは、コスト低減と高周波化に有利だが、一層のデバイスの低損失化とともに小さなチップでの新たな放熱技術、配線技術の開発を必要とする。高周波化すれば、回路の微小な浮遊容量、浮遊インダクタンスの影響が大きくなりその抑制技術が重要になる。200℃を越す実装技術とその信頼性は未知な技術領域である。電力変換器の変換効率が90%を超え、頭打ちにある現在、変換器の高パワー密度化が重要な開発の指標と指摘されている（図6）。デバイスの高性能化とともに、これらの高パワー密度を実現するパワーエレクトロニクスへの統合化技術開発は極めて重要になってきている。

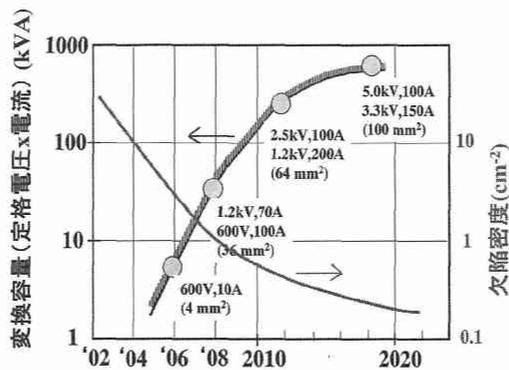
GaN系パワーデバイスは、横型デバイスであるため、縦型に比べ、集積化が容易であること、ウエハの電気抵抗の影響を受けないなどの利点がある。逆に表面での絶縁破壊の防止、大電流の取り出しなどに新たな技術開発

が必要である。数百V以下の耐圧での超低オン抵抗を活用した応用（例えばACアダプタなど）への期待が持たれる。

## 5. 「パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発」の目指すもの

国家プロジェクト「超低損失電力素子基盤技術開発」（平成10年度～14年度）により、日本におけるSiCパワーデバイスの開発の基盤技術が構築された。その後、各機関・企業が提案公募型の新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）課題でデバイス開発を進展させた。

世界の開発動向に合わせて、SiCパワーデバイスのパワーエレクトロニクスへの適用を展望するNEDOプロジェクト「パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発」が平成18年度からスタートした。三菱電機は、自社開発のMOSデバイスを用いて14kVAのSiCインバータを試作し、Siインバータに比べ損失を70%低減できることを実証する。(独)産業技術総合研究所（産総研）は(財)新機能素子研究開発協会（FED）と共同で民間企業（6社）と大学・研究機関の参画を得て、MOSデバイスを主体としたSiCパワーデバイスの信頼性と大容量化の可能性を明確化する研究に取り組む。パワーデバイスの大容量化には、デバイスの性能を劣化させる結晶欠陥の同定と低減が不可欠である（図7）。信頼性についても同様な観点から取り



SiCパワーデバイスの本格的な実用化には結晶の高品質化が最大の課題

図7 デバイス性能を阻害するキラ欠陥密度 ( $\text{cm}^{-2}$ ) の減少トレンド予想と実現できる変換容量

組む。低オン抵抗化が進められているMOSパワーデバイスを活用することによって、開発してきたパワーエレクトロニクス統合化技術を駆使して、SiCパワーデバイスによる高パワー密度化の可能性 ( $50\text{W}/\text{cm}^3$ ) を明確化する。

いずれにしても、高品質なウエハ開発がキーとなる。ウエハ製造会社との密接な連携は欠かせないので、プロジェクト全体として、FEDを軸としたウエハ管理・評価体制を構築してこれにあたる。SiCでは、バルク単結晶基板へのホモエピタキシャル薄膜成長によって、ドーピングを制御した膜を形成することによって初めてデバイスをつくることことができる。また、このエピ技術で結晶内の転位種の変換などウエハ品質の改良が可能である。産

総研と電中研は昭和電工と共同で、これまでに研究開発したエピ技術を実用機に適用できるようにする共同研究を進め、ベンチャーの一形態であるLLP（有限責任事業組合）をつくり、プロジェクト推進への寄与を図る。このプロジェクトによりSiCインバータの性能実証と大きな可能性の提示がされ、一気に実用化へと加速されるものと期待している。

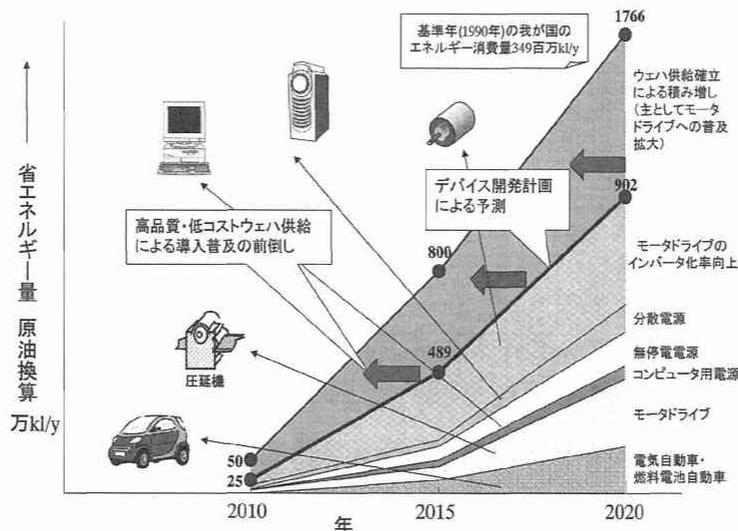
## 6. おわりに

世界のSiCのプレーヤーを図8に示す。ウエハ、デバイスとも多くの企業・機関が参画しているが、クリー社が飛び抜けている。STマイクロエレクトロニクスなど後続の参入もあ



図中、○内は研究機関、□内はウエハ開発企業を示す。

図8 世界のSiC研究開発機関



注) 省エネ効果には新たなパワーエレクトロニクス化の効果が含まれる。

図9 SiCパワーデバイスの普及による国内での省エネ効果の予想

る。SiCウエハのセカンドベンダーと期待した米国イントリンシック・セミコンダクター (Intrinsic) 社は最近、クリー社に買収されるなどこの分野の動きは早い。米国でのSiC研究開発の1つの大きな流れは、戦車や潜水艦などへの軍事応用を目指したアメリカ国防総省 (DOD) の一貫した支援である。こうしたハイエンドを目指した研究開発に対し、日本は常にコストを念頭にした産業応用を目指す研究開発であり、研究者人口も少なく、対抗する上で、産官学の連携が鍵となるように思える。第4章で触れたようにパワーエレクトロニクスは統合化技術であり、それを目指して、世界には幾つの特徴あるセンターが活動している。当センターは、米国のバージニア工科大学を中心とした米国科学財団 (NSF) 支援のCPES (Center for Power Electronics System) 及びシーメンスを中心とした欧州連合 (EU) のECPE (European Center for Power Electronics) と共同でワークショップを持ち、情報交換やパワーエレクトロニクスのロードマップの議論を開始している。国際的に人材を育成することも視野に入れている。

パワーエレクトロニクスは経済産業省資源エネルギー庁による「省エネルギー技術戦略」(平成18年9月)において、省エネルギーを達

成する重要な共通基盤技術として位置づけられ、なかんずくSiCデバイスの実用化への期待が述べられている。

図9にSiCパワーデバイスの導入によるわが国における省エネルギーの見積もりを示す。現在のSi デバイスの代替効果だけでなく、SiC デバイスの実用化により、コストパフォーマンスの高いパワーエレクトロニクスが実現され、これまで普及していなかったシステム分野までインバータなどの導入・加速が進むものと期待している。

#### 参考文献

- (1) 松波弘之編著, “半導体SiC技術と応用, 日刊工業新聞社 (2003) (注: 基礎文献的図書)
- (2) 荒井和雄, 吉田貞史共編, “SiC素子の基礎と応用” オーム社 (2003) (注: 「超低損失電力素子基盤技術開発」プロジェクト成果をまとめたもの)
- (3) “ここまで来たSiC半導体”, セラミックス, No1 (2005) (注: 学会の特集)
- (4) “Silicon Carbide and Related Materials 200X” Trans Tech Publications LTD (注: 最新の情報は, 2年に1回交互に開催される国際会議 (ICSCRM と ECSCRM) のプロシーディングの出版物に詳しい。)
- (5) 奥村元 “Present Status and Future Prospect of Widegap Semiconductor High-Power Devices,” Japanese Journal of Applied Physics Vol.45, No. 10A, Invited Review Paper (注: 総説として詳しい図書)
- (6) 奥村元 総合報告 “ワイドギャップ半導体 高周波電子デバイス研究の現状と今後の展開”, 応用物理, No.3 (2004) (注: 高周波デバイスについて詳しい。)
- (7) PERC (産総研) と CPES, EPEC とのワークショップ, “Power Electronics New wave” は2005.4 (Tokyo) と2006.6 (Narita)。

## 欧州連合（EU）における 環境外部性評価の最新動向

都 筑 和 泰

（プロジェクト試験研究部  
主任研究員）



### 1. 序論

#### (1) 外部性評価の必要性

人間の経済活動はさまざまな形で人の健康、生態系に影響を与えている。例えば、火力発電所は、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出による地球温暖化、汚染物質（SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, ばいじん等）の放出に関わる健康・建物・農作物への被害等、種々の環境問題の原因となる。その一方、安価で十分な量の電力を供給することは社会に大きな効用をもたらしており、発電所の休止や極端な汚染物質の削減（過剰な排ガス処理施設の導入によるコスト高）は、必ずしも望ましい解ではない。そのような状況で社会全体の効用を最大にしていくためには、単に倫理や道徳の観点から規制を行うのではなく、対象とする活動に関わる効用と被害を定量化した上で、適切な対策を行っていく必

要がある。そこでは、経済学的な観点も重要になってくる。経済学（環境経済学）においては、環境問題は「外部性」の存在による「市場の失敗」と認識されている。ここで、「外部性」とは、自動車の排気ガスのように、適切な対価、あるいは補償を支払うことなく他者に与える影響のことである。このことを説明するため、図1に典型的な需要供給曲線を模式的に示す。現状の市場価格は、環境影響等の外部性に関わる費用（外部コスト）を考慮しない供給曲線（私的供給曲線）と需要曲線の交点であるP1で与えられる。一方、社会全体への影響を考慮した価格は、外部コストを考慮した供給曲線（社会的供給曲線）と需要曲線の交点であるP2で与えられる。現状では環境影響を考慮しない分価格が低くなっており、その結果、生産量過剰、すなわち汚染過剰になっていると解釈される。この状態

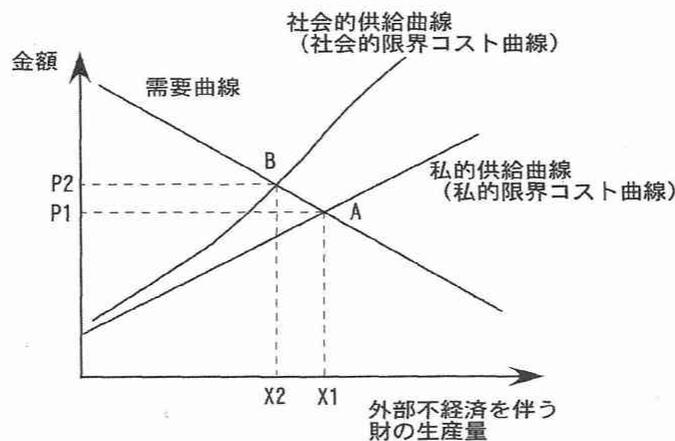


図1 外部不経済を伴う財の生産に関わる需要供給曲線

を修正するには、外部コストを定量的に把握した上で、課税等により価格に上乗せすることが有効と考えられる。この概念は「ピグー税」として20世紀半ばには指摘されていた。しかしながら、「外部コストを定量的に把握する」ということは非常に困難な課題であり、ごく最近までまとまった成果は得られていなかった。

## (2) 外部性評価の経緯とExternEプロジェクト

外部性評価研究は、1990年代に入って主に米国、ヨーロッパにおいて急速に進展した。その理由は大きく2つ考えられる。1つ目は、環境被害がより広域化、複雑化してきたという点である。1980年代までは主要な環境問題はいわゆる「公害」であり、排出規制の強化に重点が置かれてきた。一方、急性被害がある程度沈静化すると、これまでは問題視されていなかった、より広域的・慢性的被害が顕在化してきた。さらに、地球温暖化問題のようなより長期的、広域的な問題も指摘されてきた。これらの問題は被害の範囲や程度が不明瞭であり、適切な対策を行うためには、環境影響を定量的に把握するための網羅的な研究を行うことが必須であった。2つ目の要因は、情報工学の進歩である。このような少量・長期間の汚染に関わる被害を定量化していくためには、膨大なデータを統計処理していく必要があるため、最新の情報工学が必須であった。

それらの研究の中で、最も体系的・網羅的との評価を受けているものの1つにExternEプロジェクト<sup>(1)</sup>がある。このプロジェクトは、欧州委員会（EC）と米国エネルギー省（USDOE）の共同で1991年に開始された。その時期、ヨーロッパでは酸性雨、地球温暖化など、国境を越えるような環境問題が表面化しており、環境問題は欧州連合（EU）統合時の（1992年のマーストリヒト条約）主要な課題として位置づけられていた。そのような背景で、関係各国で精力的に研究が進められた。

表1 ExternEの報告書リスト

発行年	巻	内容
1994~ 1995	1.	サマリー
	2.	手法
	3.	石炭とリグニン
	4.	石油とガス
	5.	原子力
	6.	風力と水力
1996~ 1997	7.	手法更新 1998
	8.	地球温暖化
	9.	廃棄物、新エネルギー
	10.	国ごとの適用結果
2005	手法更新 2005 (2005年改訂版)	

主要な目的は、一次エネルギーの主要な成分を占める発電システムについて、外部コストを比較・検討し、各国の政策に反映する手法の開発を行うことである。そのためには、まず手法を確立することから始めなければならず、まとまった結果を得るまでに7年を要している。表1にExternEにおける報告書の項目および出版年をまとめて示す。1997年までに、全10巻におよぶ報告書が出版され、種々の発電システムに関わる外部コストおよびその評価手法が一通り報告された。その後も適宜検討が加えられ、2005年に手法の改訂版が発表された。

ここで開発された手法は、ヨーロッパの発電システム評価だけではなく、日本における様々な分野の外部性評価を行う上でも大いに参考になるものである。ごく最近に最新の手法がまとめられたこともあり、本稿では、その手法（ExternE 2巻、7巻、2005年改訂版：表1参照）、特に、2005年の改訂版における主要な変更部分を中心に紹介を行うことにする。2005年の改訂版だけでも多くの内容があるが（全文270ページ）、ここでは、外部コストの主要因とされている大気汚染と地球温暖化を中心に解説を行う。2章で大気汚染による人間の健康被害、3章で地球温暖化、4章でその他の更新点の概説を行い、5章でまとめをおこなう。

## 2. 大気汚染による人間の健康被害

大気への汚染物質放出に起因する人間の健康被害は、地球温暖化と並んで発電システムの外部コストの主要な部分を占めている。そのため、その影響の定量化に関わる研究は広く行われ、手法に関するいずれの報告書においても（ExternE 2巻，7巻，2005update：表1参照）かなりの分量がさかれている。基本的には、関連する被害を積み上げていく手法である、影響経路法を用いている。すなわち、図2に示すような手順で評価を進めている。（1）の「発生量評価」は発電に関わるあらゆる発生物質を過不足なく積み上げるという作業であり、技術的な側面が強い。（2）の「拡散挙動解析」は汚染物質の大気拡散挙動の解析である。発電所近傍50km以内では、単純な拡散方程式を用いて解析を行う。一方、国境をこえるような長距離の移送も重要であり、その場合、化学反応による二次生成物も考慮しつつ、より複雑なモデルで解析を行う。1997

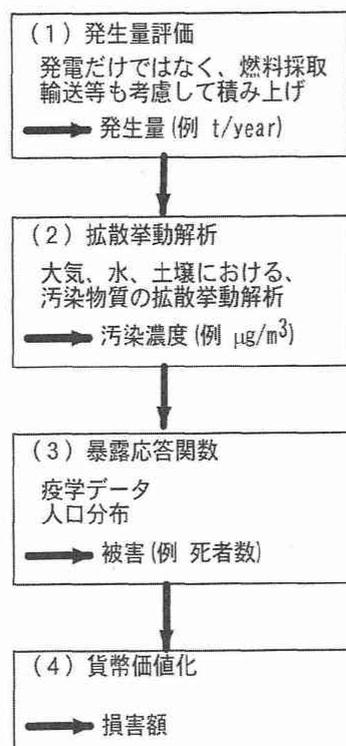


図2 大気汚染の健康被害算出

年の更新（7巻）では、大気中の拡散と、直接の吸収に限られていたが、今回の更新では、大気中の汚染物質が、土壌、水を経由して、飲み水、食料として人間に摂取される影響も考慮した。（3）の「暴露応答関数」、および（4）の「貨幣価値化」は、重要ではあるが不確定性の大きい領域であり、基本的な考え方は保持しつつも、手法、データに適宜更新が行われてきている。以下に、今回の更新部分をこれまでの経緯も含めて説明していく。

### （1）汚染物質の摂取量と死亡率、疾病率の相関

#### ① 評価手法とその困難性

汚染物質の吸収は、呼吸機能および循環機能に障害をもたらす。その被害と汚染濃度を結びつける関係式は、暴露応答関数（Exposure Response Function：ERF）とよばれる。この関係式の基になるのはいわゆる疫学調査である。すなわち、死亡率、疾病率の統計調査データと汚染物質濃度との相関をとることにより、その影響を定量化していくことになる。被害が大きい場合にはこの関係は明瞭であるが、現状における大気汚染の健康被害は、大都市においても高々死亡率を数%高くするという程度であるため、有意な統計データを得ることは容易ではない。さらに、図3に示すように、健康被害に影響を与える汚染物質は複数ある上、喫煙、年齢等の汚染物質以外の要因も存在している。これらは、それぞれ複合的な影響を持つ可能性もあり、評価する際に注

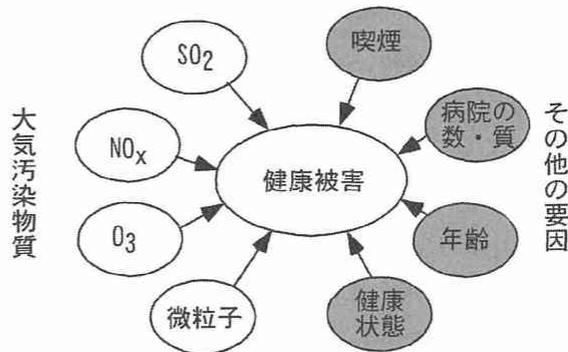


図3 健康被害を与える汚染物質とその他の要因

意を要する。ともあれ、ExternEプロジェクトにおいては、これら既存の疫学調査研究結果を収集し、比較検討を行うことで、汚染濃度と死亡率、疾病率の関係式を決定するという手法をとってきている。

## ② 疫学調査の経緯と現状

初期のExternEにおいては、ヨーロッパの疫学データが不十分であり、アメリカのデータを数多く引用していた。1997年の手法更新（7巻）までに、ヨーロッパにおける疫学調査研究が進展し、アメリカのデータに頼らずに汚染物質の影響を評価できるようになった。しかしながら、研究例ごとに値のばらつきが大きく、単純に平均を取ることの危険性が指摘されていた。そこで、値にばらつきが生じる原因を考察し、値を補正する研究が進められてきた。当然のことながら、局所的なデータに基づいた結果は、包括的・統計的に行った研究結果と比べて、値のばらつきが大きい。2005年の更新においては、それぞれの研究の調査条件に配慮しつつ、データの再整理を行うことにより、より信頼性の高い推奨値を得ることができた。その結果、死亡率に関しては、濃度 $10\text{mg}/\text{m}^3$ の $\text{PM}_{10}$ に対して0.6%増という値を得た。ここで、 $\text{PM}_{10}$ は直径 $10\mu\text{m}$ 以下の微粒子（Particular Matter）である。この値は、ExternE手法更新時（7巻）における推奨値の下限に近い値となっている。なお、一口にPMといってもその性状は場所によって大きく異なる。その性状依存性を調べる研究が2000年前後にいくつか報告されているが、まだ明確な結論を得るには至っていない。

その他の代表的な汚染物質である、二酸化硫黄（ $\text{SO}_2$ ）、窒素酸化物（ $\text{NO}_x$ ）、オゾン（ $\text{O}_3$ ）の寄与に注目した研究も進められている。 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ は、その悪影響が想定されるものの、その被害を直接実証する結果が得られず、初期のExternEでは影響を考慮されていなかった。その後の検討で、影響が定量化されつつあり、その効果は外部コスト算出に反映

されている。

しかしながら、2005年の更新時においても、未だにデータが不十分か、全くない汚染物質も多数存在する。主要な汚染物質の影響の定量化を進めるとともに、その他の汚染物質についてもデータを集積していく必要がある。

## ③ 低汚染への外挿性

前述のように、有意な統計データが得られるのは汚染レベルが十分大きい場合のみである。汚染レベルが低い場合、統計的に影響を評価することは困難であり、既存のデータ（高い汚染レベル）から補間を行う必要がある。図4にその概念図を示す。汚染がない場合には悪影響もないと考えられるので、このグラフは必ず原点を通る。低汚染領域の挙動は、次の4通りが考えられる。

- 線形補間、
- 非線形関数の場合、
- 閾値がある場合、
- 少量だと正の影響を持つ場合（肥料のようなもの）

ExternEはこれまで単純な線形補間を行ってきたが、その妥当性は毎回議論の対象であった。そこで、1995年以降も様々な検討が行われ、線形補間の正当性に関する裏付けが強化された。基本的な考え方は、もし人間が均質であれば何らかの閾値が存在する可能性が高

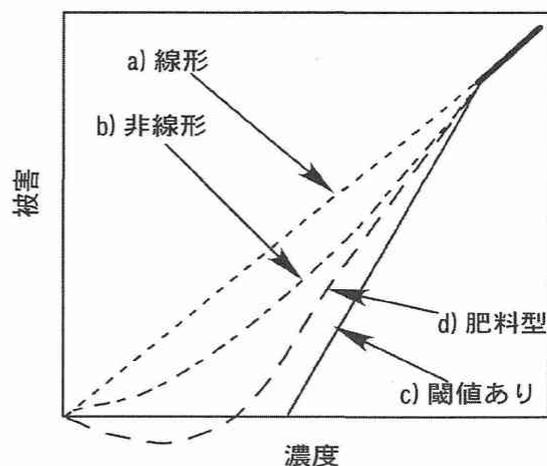


図4 低汚染領域への外挿性

いが、実際には人間の毒物感受性には大きな個人差があるので、全体としては線形に近い形になるであろうというものである。その議論をふまえ、2005年の更新においても線形補間が引き続き適用されている。

#### ④ 慢性的な影響の定式化

慢性的（長期的）な影響評価の重要性と困難性は、初期のExternEから指摘されていた。慢性の影響は、急性の影響と比べ、因果関係がより不明瞭であるため、より多数のサンプルをより長期にわたって観測する必要がある。比較的簡単なのは、都市ごとに統計データを取り、汚染レベルの高い都市と低い都市の比較を行うという手法である。この手法による研究結果は、ExternEの初期段階から存在していたが、図3の右側に示すような大気汚染以外の要因と大気汚染の影響の切り分けが困難であり、信頼に足るデータを得ることができていなかった。従って、初期のExternEでは、慢性的な影響を含めることはできなかった（急性症状の場合には、汚染濃度の時間変化がその他の要因の変化より早いので、その他要因をある程度除去可能）。より詳細に個人の特性まで考慮した統計調査は1993年Dockeyら<sup>(2)</sup>によって報告された。その中では、ハーバードの6都市、8,000人に対し、1974～1991年の16年間の統計調査を行った。死亡率を、年齢、性別、喫煙、教育レベル、BMI別に整理し、種々の汚染物質（TSP, PM10, PM2.5, SO<sub>4</sub>, H<sup>+</sup>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>）に対する依存性を調べ

た。その結果、汚染レベルの高い都市の方が死亡率が有意に高いことを見いだした。同様にPopeら<sup>(3)</sup>は50万人に対して8年間の統計調査を行い、やはり、汚染レベルと死亡率の正の相関を見いだした。1997の更新（7巻）においては、この結果を単純に使用し、（汚染の高い都市の死亡率－低い都市の死亡率）／汚染濃度の差、という形で、慢性影響を簡易的に求めた。2005年の更新（2005年改訂版）では、年齢構成まで考慮した解析が導入された。これらの研究を通して、慢性的な影響による生命の損失がより高精度で定量化された。なお、慢性的な影響は、急性の影響よりも一桁以上大きく、健康被害の主要因となっている。

## （2）貨幣価値化

### ① これまでの経緯

ここまでの段階で、大気汚染による死亡率や疾病率の増加分を評価できるようになった。しかしながら、死亡率の変化を直接評価できるような経済指標はないため、このままでは、その他の被害や環境対策費用と比較・検討することは困難である。そこで、「死亡率」や「疾病率」を「貨幣」の単位への変換するための様々な手法が発表されている。間接的な手法としては、「労働リスク法」（Compensating Wedge Method）、「回避行動法」（Averting Behavior Method）が有力である。前者は、労働市場において作業のリスクと危険手当の関係を解析し、後者はシートベルトや火災報知器等の防災器具の購入意思を解析する。一方、

表2 死亡や病気に対する支払い意思額

	Vol. 7 (1997)	2005 更新
統計的生命価値 (百万ユーロ)	労働リスク	3.4-4.3
	CVM	4.7-8.3
	市場調査	1.0-3.5
	平均	2.5-4.4
呼吸器系病院への入院 (ユーロ 以下同様)	7,870	2,000
緊急救命室の利用	223	670
制限された活動日数	75	130
喘息による息切れ	37	38
慢性呼吸器疾患	105,000	190,000

聞き取り調査をベースとして、直接的に評価する手法も有力であり、その質問体系に応じていくつかの手法に分類されている。初期のExternEにおいては、これらの既存の研究成果を調査の上、並列で整理して、死亡に関わる推奨値を導出していった（表2参照）。

## ② 仮想評価法を用いた最新の更新結果

間接的な手法はデータ収集が簡便であるものの、労働市場の流動性が不十分等、本質的な誤差を含む。また、労働事故は比較的若い人に多いのに対し、大気汚染の影響は高齢者や病気がちの人に出やすいので、評価対象も異なる。そこで近年、聞き取り調査をベースとする手法の1つである「仮想評価法」(Contingent Valuation Method: CVM)を用いた評価研究が体系的に実施された。「仮想評価法(CVM)」とは、リスク低減に有効な仮想的な商品（例えば、死のリスクを低減する新薬）の購入価格を尋ねることで、リスク低減への支払い意思(Willingness to Pay: WTP)を直接調査する手法である。この長所は、いかなる対象に対しても適用できること、およびパラメータ依存性(年齢、収入、教養、国民性等)を解析しやすいことである。短所は、一般的な課題ではあるが、回答者がその現象の影響を正しく理解することが大前提になっていることである。これまでもCVMによる研究は行われてきているものの、研究結果のばらつきが非常に大きかった。この欠点の影響を小さくするため、アメリカにおいて、質問体系や調査手法の最適化が進められた。具体的には、心理学者と協力しつつ質問の工夫をするとともに、調査にコンピュータを用いることで客観性を高めた。具体的な質問例は下記の通り。

- 今後10年間に死ぬ可能性はXです。
- もしその確率が5/1000にする薬があったら、あなたはいくら出しますか？
- 1/1000ならどうですか？

- 同様に、あなたが70~80歳の間に死ぬ確率Yです。
- もしその確率が5/1000になる薬があったら、あなたはいくら出しますか？
- 1/1000ならどうですか？

このような調査は文化・民族性等に依存するので、本来ヨーロッパにおける調査では質問体系をヨーロッパ用に再構築すべきであるが、必要な期間や費用を勘案し、ExternEプロジェクトでは、アメリカで開発された質問体系・評価手法をそのままヨーロッパに適用した。そして、イギリス、イタリア、フランスで実際にデータ収集を行い、その結果を比較検討・集約した。この研究を通して、今後10年間、および70歳~80歳の10年間に死亡する確率を1,000分の5にすることに対する個人のWTPが求められた。その結果は526ユーロ/年×10年間であった。WTPをリスクで規格化した指標である統計的生命価値は、 $526 \times 10 / (5/1000) = 105万2,000$ ユーロ(約1億5,000万円)である。また、別な解析で上記のリスク低減に伴う寿命変化は1.2カ月程度であることが見積もられたことから、寿命1年の損失に対するWTPは、 $526 \times [(10/1.2) \times 12] = 5万2,599$ ユーロ(約750万円)と算出された。これらの値は前回のExternEの推奨値よりやや小さいが(表2参照)、当面の最適値と考えられている。

病気の影響評価に関しても、上記のCVMによって求められた値が活用された。病気による被害額としては、治療費や薬代、欠勤に伴う賃金の損失等市場価格で評価できるものと、病気に伴う手間、苦痛等市場価格に現れないものがある。後者に関してはCVMで求め、これを市場価格と足し合わせるという形でデータ整理を行った。この観点から、ヨーロッパ5カ国における病気の損害額が集約された。典型的な入院の場合(3日入院、5日自宅療養)、治療費969ユーロ、欠勤に伴う損失88ユーロ/日×8日=704ユーロ、WTP468ユーロで、計2,141ユーロ(約32万円)という見積もりに

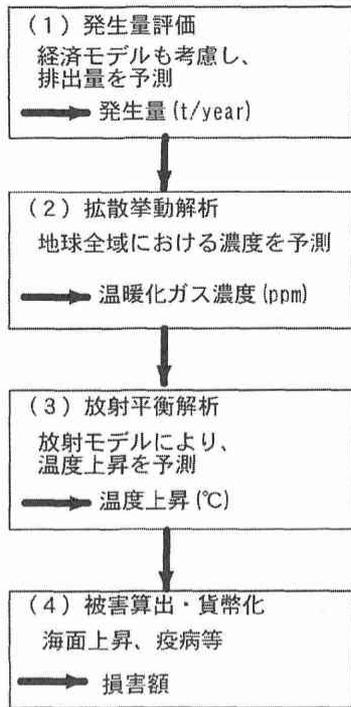


図5 地球温暖化被害算出のボトムアップ手法

なった。同様に、虚血性心疾患、呼吸器障害等の損害額もまとめられた。その最新結果を表2にまとめて示す。

### 3. 地球温暖化

地球温暖化の影響は健康被害と並んで外部コストの主要因と評価されている。初期のExternEでは、温暖化の影響を大気汚染の場合と同様のいわゆるボトムアップの手法で算出した。その概要を図5に示す。この手法は有力であり、データ・手法の更新を適宜行いつつ2005年版においても使用されている。しかしながら、依然としてデータの精度が不十分であり、算出結果の不確実性が極めて大きい。また、潜在的に大きな被害をもたらす可能性があるものの、不確実性が大きいためにコスト計算に反映できない事象（台風の規模・頻度上昇等）もある。そこで、代替手法として、CO<sub>2</sub>の排出制限を社会がどうとらえるかを政策と関連付けて評価する手法を今回初めて導

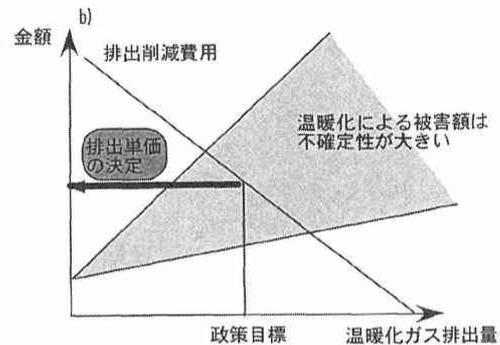
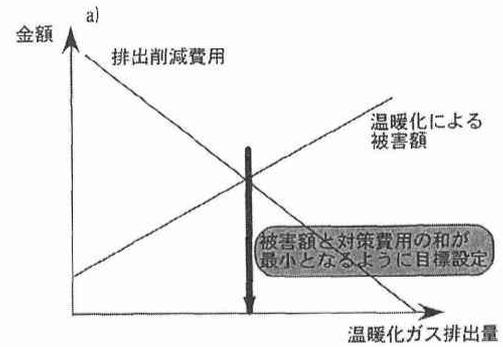


図6 温暖化ガス排出による被害額と政策目標

入した。図6にその概念図を示す。一般に、排出削減量が大きくなるにつれて高度な対策が必要となってくるので、排出削減費用は図に示すように右下がりになる。一方、温暖化被害は当然右上がりである。本来政策目標は図6a)に示すように、被害額と対策費用を比較・検討の上決定されるべきものである。しかしながら、温暖化の場合、被害額の不確実性が非常に大きいので、通常的手法では政策目標を設定しにくい。その一方、京都議定書等、すでに合意された政策目標もある。そこで、図6b)に示すように逆に対策費用と政策目標から被害額（正確には被害を避けるために支払う意志額）の指標を得ることにした。ExternE 2005においては、CO<sub>2</sub>削減に関わるコストを算出するため、2つの政策が指標とされた。1つは、京都議定書を実行するためのコストから算出する手法、もう1つはスイスにおいてしばしば行われている環境やエネルギーに関する国民投票の結果を参照するという手法である。

#### (1) 京都議定書の目標を達成するコスト

京都議定書は1997年に採択され、2002年に批准された。EUの目標は、EU全体として2008～2012年の5年間（第1約束期間）に温室効果ガスを1990年比で8%低減するというものである。京都議定書の準備段階でCO<sub>2</sub>の削減能力およびその実現コストが十分に検討されたので、この実現コストが個人のWTPとつりあうと考えるのは基本的に妥当である。京都議定書のCO<sub>2</sub>削減目標を達成するためのコストを求める研究はいくつか行われてきているが、最近のレビュー<sup>(4)</sup>における中央値は20ユーロ（約3000円）/tCO<sub>2</sub>である。この値は国ごとに異なり、ベルギーでは90ユーロ（約1万3,500円）/tCO<sub>2</sub>、オランダでは50ユーロ（約7,500円）/tCO<sub>2</sub>という値が報告されている。多くの研究が、20ユーロ（約3,000円）/tCO<sub>2</sub>前後の数字を報告している。これは排出過剰に対する罰則である40ユーロ（約6,000円）/tCO<sub>2</sub>よりは低い。理論的には、もっと広い範囲もありえるが、ここまでの研究では5～20ユーロ（約750～3,000円）/tCO<sub>2</sub>が妥当な範囲だと考えている。

この手法は、政策決定が理想的に行われていることを前提としているが、現実にはすべての影響が把握できているわけではない（把握できないからこのような指標を利用している）。実際、多くの国において排出量削減は目標値に対して遅れ気味であり、これは、削減コストがWTPよりも高いという可能性を示唆する。最近のレビュー研究<sup>(5)</sup>では、議定書の目標を達成するには排出権を安くする必要があることが指摘されている。

一方、CO<sub>2</sub>の排出権取引市場がすでに運営されており、その排出権価格が、まさしくCO<sub>2</sub>の価格やWTPを正しく反映しているとの考え方もある。しかし、現状では、排出権売買にかかわるような企業は、削減目標を割り当てられる段階でそれなりの既得権益を与えられており、適正な市場にはなっていない。また、市場の将来性も不透明である。そのため、現状では信頼性の高い値にはなっていない

いが、将来市場が健全に機能すれば、その取引価格はCO<sub>2</sub>削減コストに関するより正確な指標になりえる。

#### (2) スイスにおける国民投票

スイスは他の国と異なり、政策決定において国民投票がしばしば導入される。実際、「エネルギー」「環境」をキーワードとするような投票は何度も行われている。投票は非常に多くの人間が行うので、その結果から大衆の意思を考察することが可能となる。

投票結果に対して、いくつかの信頼性の高い仮定を踏まえて解析を行うことにより、スイスの国民がkWhあたりいくら税金を払う意思があるかを求めた。ただし、この投票は、もともと再生可能エネルギーの利用を促進するため、非再生可能エネルギーに税金をかけるという目的で行われた。化石燃料から自然エネルギーへ移行することにより、CO<sub>2</sub>だけでなく大気汚染物質も低減するので、その効果の切り分けには注意を要する。

得られた結論は、中央値で6～9ユーロ（900～1,350円）/tCO<sub>2</sub>であった。この見積もりは他の手法と概ね同程度であるが、スイスにおける排出削減コスト（70ユーロ（約1万500円）/tCO<sub>2</sub>）よりは低い。

### 4. その他の更新事項

#### (1) 事故に対する扱い

事故に関しては、原子力以外の分野における事故の外部コストが初めて系統的に評価された。基本的な手法は、発電システムの事故に関わる死傷者、物損の統計データを収集し、その後各影響の単価を算出するというものである。原子力に関しては、1997年以降大きな更新は行われていない。ただし、確率が低いが規模の大きい事故に関しては、危険性が期待値よりも大きく認識されることが指摘されており、今後この観点からの評価手法を確立していく必要がある。

## (2) 騒音に対する扱い

騒音に関しては、初期のExternEでは、単に不快感を指標としていた。そのコストを算出するにあたっては、騒音の大きさと、家賃の相関を調べる「ヘドニック法」が主に用いられた。今回はこれに加えて、騒音のストレスに関わる心筋梗塞等の病気の影響が加えられた。仮想評価法の研究成果も得られつつあるが、まだ値のばらつきが非常に大きく、今回の更新ではその結果は使用されていない。

## (3) 建物、農作物、酸性雨、富栄養化に対する扱い

建物の被害に関しては、腐食、汚れの影響がより精度よく定量化され、メンテナンス手法を検討する手法が提案された。農作物についても、既存のデータの一部が更新された。酸性雨や富栄養化に関しては、これまで定量化できていなかったが、今回は地球温暖化の場合と同様に政策目標実現のためのコストを評価する手法によって、そのコストを見積もった。

## 5. まとめ

ヨーロッパにおいては、電力システムの外部コストを包括的に評価する目的でExternEというプロジェクトが行われてきている。その

手法に関し、2005年に出版された最新の報告書の内容を紹介した。更新点は多数あるが、外部コストの主要部分を占める大気汚染の健康被害と地球温暖化を中心に説明を行った。大気汚染の影響評価に関する主要な変更点は下記の3点である。

- 汚染物質の拡散過程の解析において水、土壌を通る経路も考慮
- 健康影響評価の基礎となる疫学データが、より広域的に整理され、値の精度が向上
- 貨幣化にあたり、仮想評価法の最新結果を反映

地球温暖化に関しては、既存の手法を改善するとともに、政策目標を実現するためのコストからその価値を算出するという新たな指標を導入した。特に京都議定書を実現するためのコスト、およびスイスにおける国民投票結果を参考にしてCO<sub>2</sub>排出に関わる外部費用を算出した。

事故に関しては原子力以外の大事故の影響も考慮した。その他、騒音、建物、農作物、酸性雨、富栄養化、景観、視界、に関してデータが更新が行われた。

これらの更新を反映した、最新の外部コスト検討結果を図7に示す。火力発電に関わる外部コストは、地球温暖化と健康被害がほぼ同程度の寄与であり、その総額は発電単価と同じオーダーという高い値に評価されている。

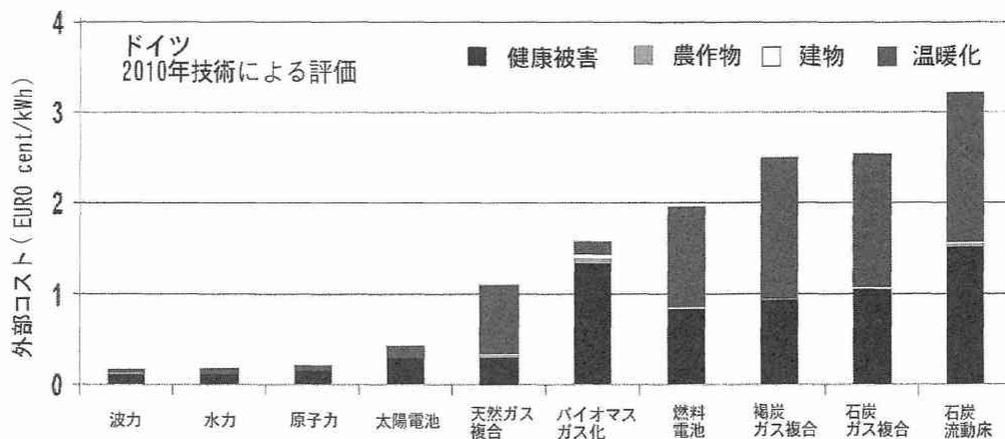


図7 最新手法を反映した外部コスト評価結果例

原子力、水力、太陽光発電の外部コストは、それと比べて十分に小さい。この結果を反映するような税制を適用すれば、火力発電の競争力が弱まり、原子力や自然エネルギーへの移行が促進されると思われる。しかし、実際に政策を実行していくには、まだ計算結果の不確定性が大きい。外部コストの主要因である温暖化の機構・被害はまだ十分に解明されていないし、もう1つの主要因である健康被害も平均すると数日からせいぜい数週程度の寿命損失に過ぎない。また、このような小規模・不確実な被害に対する支払い意志額は、社会性や民族性にも依存するので、結果を他の地域に適用するためには、対象地域の特性を反映した再検討が必要となる（日本においても、産総研のグループの研究等がある）。外

部性研究は、環境対策を行う上で不可欠なものであるものの、最新の検討結果においてもまだ不確定性が非常に大きい状況にある。その状況を改善していくためには、今後も国内外の最新の動向に注視しつつ、手法・データの改善を進めていくべきであると考えられる。

#### 参考文献

- (1) European Commission ; ExternE : Externalities of Energy Vol. 1-10, 2005 update.
- (2) Dokery DW, CA Pope III, Xiping Xu et al., New England J of Medicine 329, 1753 (1993) .
- (3) Pope C.A., Thun M. et al., Amer. J. of Resp. Critical Care Med. 151 669 (1995) .
- (4) Downing and Watkiss, (2003) Proc. of “The marginal Social Cost of Carbon in Policy Making” (Defra, UK, 2003)
- (5) Ecofys (2004) , “Analysis of the National Allocation Plants for the EU Emission Trading Scheme.” August 2004

[調査研究報告]

## 「離島における 新エネルギー導入可能性調査」について

伊藤 学 ※ (プロジェクト試験研究部  
主任研究員)

細木 訓 ※※ (プロジェクト試験研究部  
主任研究員)



### 1. はじめに

わが国は多数の有人離島を有している。離島の電力系統は本土と連系していない、すなわち離島内で発電と需要をバランスさせる必要のある独立系統の場合が多い。

また、本土の発電が主に原子力、火力、水力発電などで発電しているのに対して、離島では液体燃料を用いた内燃力機関、いわゆるディーゼル発電機で発電をまかなっている場合がほとんどである。

液体燃料のみを用いた発電は一般に本土における発電単価を上回ることも知られており、加えて原油価格が高騰している昨今においては更なる発電単価の高騰を招いている。また、化石燃料を用いているため環境性、特に二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出も多くなる。

これらの状況を踏まえ、(独)新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)では離島地域における新エネルギー等分散型電源を活用した電力供給システムの構築の可能性調査を実施している。

(財)エネルギー総合工学研究所では上記調査の委託を受け調査を実施したのでその概要を紹介する。

### 2. 離島の電力供給実態

日本国内における、独立系統を有する離島の分布を図1に示す。図1では便宜的に離島の大きさを各離島が保有する発電機の設備容

量で大中小規模に分類してある。図1より、独立系統の多くは東京地区、九州地区、沖縄地区に多く存在していることが判る。またその数は56系統であり、発電設備容量の単純合計は約83万kWであった。

また、図2に日本国内全体の電力の1日の使われ方、図3に中規模離島の1日の電気の使われ方の例を示す。

図2、3から判るように、この離島では夕方の需要増加が特徴的である。夕方の電力需要の増加は住宅の電力使用量の増加が表れていると推定でき、離島では住宅需要の割合が比較的高いことが考えられる。

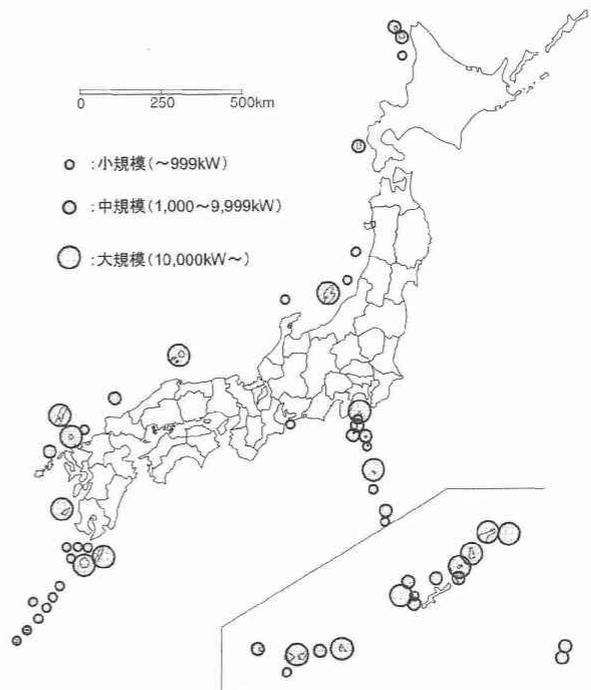


図1 国内の離島系統の分布

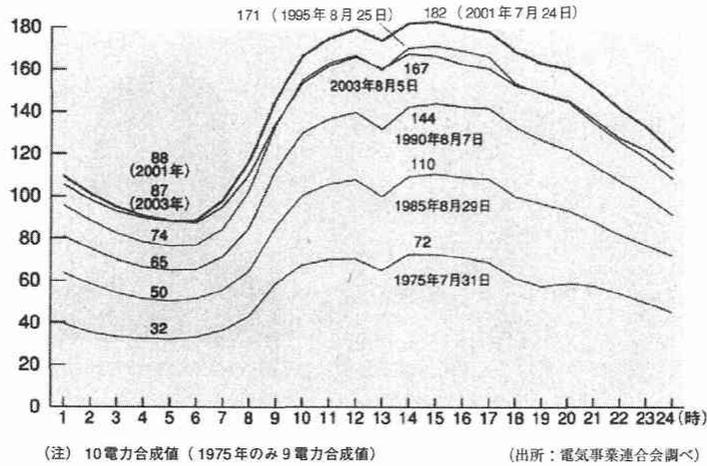


図2 夏期の日負荷曲線例 (全電力合成値)

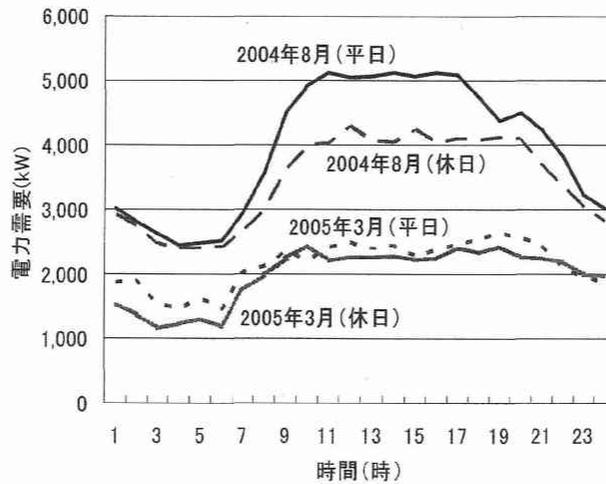


図3 中規模離島の日負荷曲線例

図4には離島人口と発電機設備容量の関係を、図5には離島における発電機設備容量と発電機の数との関係を調査した結果を示す。これらから、離島においてはほぼ1人に対して1

kWの発電設備が備えられていること、発電機数は設備容量が大きくなるにつれ増加し、一般的に5~12機程度の発電機を保有していることが判る。

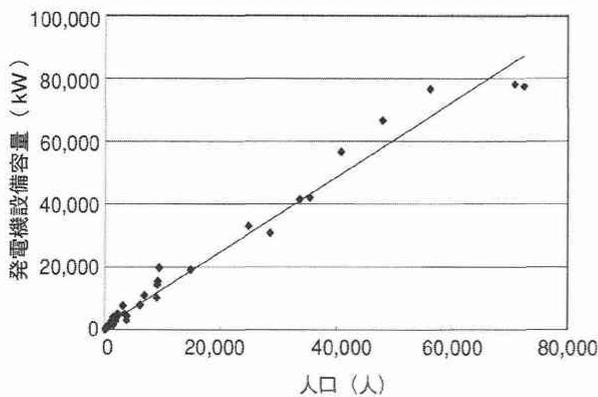


図4 離島における人口と発電機設備容量

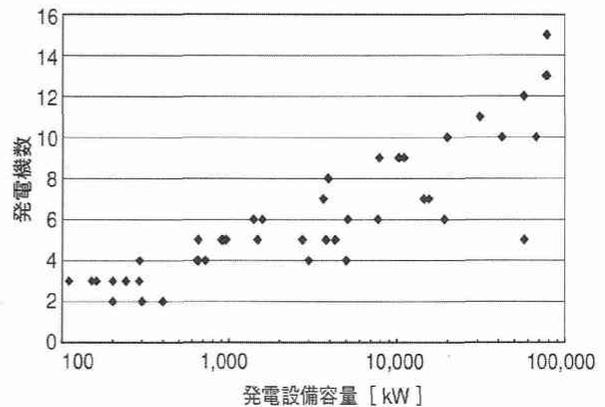


図5 離島における発電機設備容量と発電機数

### 3. 新エネルギー等分散型電源導入拡大時の影響および対策

新エネルギー等分散型電源が電力系統に連系することにより、供給する電力の品質面などに様々な影響が生じると言われている。特に、今回の調査対象である離島は他電力系統との連系が無いため、本土に比べて弱い系統であり以下のような面での影響が顕著に現れることが考えられる。

- ① 新エネルギー等分散型電源（特に風力発電）の急激な出力低下に伴う瞬時の電圧の低下
- ② 新エネルギー等分散型電源（特に風力発電）の急激な出力低下に伴う瞬時の周波数の低下
- ③ 新エネルギー等分散型電源（特に風力発電、太陽光発電）の常時出力変動に伴う常時の周波数変動
- ④ 新たな発電機が導入されることによる既存ディーゼル発電機の下げ代制約（下げ代制約の詳細は4. 項に記載）

本調査ではこれらの影響の内、①と②を瞬時の影響、③と④を常時の影響として分類し、対策を含めて検討を実施した。

#### (1) 瞬時の影響に対する対策

新エネルギー等分散型電源、特に風力発電は風速がある閾値（例えば25m/sec）を超えると風車に対する機械的な影響を考慮して発電を急激に停止する。一般的にカットアウトと呼ばれるこの動作は特に脆弱な離島等独立系統においては電圧低下と周波数低下を招くことが知られている。これら瞬時の影響を緩和して電力品質を一定に保持するためには、不足した電力を別の手段により瞬時に供給する方法が有効であると考えられる。

具体的には、カットアウトを検知して瞬時に電力を放出することのできる蓄電池を設置

することが有効であり、また既に国内の離島では蓄電池の設置が行われている。

以上のことから、本検討ではカットアウト対策用の蓄電池の効果を検討した。

#### (2) 常時の影響に対する対策

新エネルギー等分散型電源、特に風力発電や太陽光発電からの発電電力は常に細かな振動をしていることが知られている。これらの細かな出力変動は電力系統の周波数変動を増加させる要因となり、電気の安定供給の妨げとなる。

常時の周波数変動に対する対策案を表1に示す。基本的に発電、負荷の出力調整、または蓄電池による充放電が効果的である。

今回の検討では表1の対策の内、効果の大きいと考えられる下記3案の効果を検討した。

- ① 高速ディーゼル
- ② 周波数変動対応型蓄電池
- ③ 周波数変動対応型負荷（電気温水器）

### 4. 新エネルギー等分散型電源導入可能量の試算

離島等独立系統に新エネルギー等分散型電源を導入した場合の影響を確認し、対策を行うことによる効果を確認する目的で電圧面と周波数面の両者に関するシミュレーション<sup>※</sup>を実施した。シミュレーションには通常の負荷の変動に加えて風力発電と太陽光発電の出力変動を入力し、その影響の度合いを検討した。なお、風力発電と太陽光発電の導入容量の比率は便宜的に1対1とした。

#### (1) 瞬時の影響

離島の配電系統の擬似モデル（図6）を用いて風力発電のカットアウトに伴う瞬時の電圧変動を確認した。今回のモデルは配電系統の容量が2,000kW程度の場合に最も電圧変動が大きく、風力発電が1,016kWカットアウト

※ シミュレーションの詳細については巻末参考文献を参照。

表1 常時周波数変動抑制対策案の一覧

電力会社電源側					
対策名	概要	効果	実現可能性	懸念事項	評価 <sup>1</sup>
高速ディーゼル	調定率低の変動補償専用発電機の追加設置。	効果：大	既存技術の延長上の技術。機器開発要。	他の発電機との協調制御手法必要。燃費の悪化。	◎
新型発電機 (燃料電池)	出力調整幅の大きい、瞬時に応動できる発電機の追加設置。	効果：大	安定性等の確保のため、技術開発要。	コスト高 燃料確保が困難。メンテナンス手法の確立が必要。	×
系統側					
対策名	概要	効果	実現可能性	懸念事項	評価
フライホイール	慣性増大化。	効果：小	大容量フライホイールの開発要。実現可能性低	常時損失の増加。系統事故時の安全性。	△
周波数変動対応型蓄電池	周波数変動に応じて充放電を行う蓄電池の設置。	効果：大	既に蓄電池は開発済み。実現可能性大。	蓄電池損失・コスト高。容量選定手法、寿命の評価の確立が必要。	◎
制動抵抗	周波数変動に応じて余分な電力を消費。	効果：中	新規開発必要。実現可能性中。	エネルギー損失高。常時電力を消費しないと周波数低下対策にならない。	△
分散型電源側					
対策名	概要	効果	実現可能性	懸念事項	評価
変動抑制タイプの風力発電機	二次励磁制御方式（超同期セルビウス型等）、フルインバータ同期型風車の採用等。	効果：小	既に市販されている。	風車コスト高。数秒程度以上の変動抑制は不可能。設備利用率低下。アクチュエータ部の疲労。インバータ部分の寿命確立が必要。	△
周波数対応出力可変風力発電機	常時は最高効率での運転をせず、系統周波数に応じてある程度の出力増減を行う。	効果：小	既存の機種でも制御の変更により実現可能。	設備利用率低下。アクチュエータ部の疲労。制御効果は風況に依存。	△
出力変動平滑化蓄電池	新エネルギー等分散型電源の出力変動に応じた充放電を行う蓄電池の設置。	効果：中	現在技術開発中。既に導入されている。	蓄電池損失・コスト高。周波数対応蓄電池よりも効果低い。	○
負荷側					
対策名	概要	効果	実現可能性	懸念事項	評価
周波数変動対応型負荷	周波数変動に応じた負荷の制御。	効果：中	技術的には可能性大。制御手法の開発要。	必要な消費電力量の確保手法の確立。効果が負荷容量に依存。集中制御の場合、大幅なコスト増。	○

<sup>1</sup> 評価の基準は効果が比較的大きく、現時点で極端に経済性を悪化させず、多少の技術開発は必要だが至近年に実現可能な対策を◎としたが、エネルギー総合工学研究所での独自評価であることに留意する必要がある。

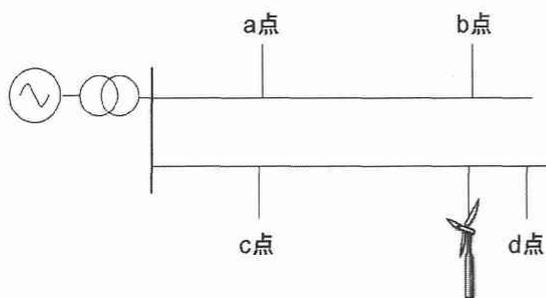


図6 配電システムのモデル概要

した場合に瞬時の電圧変動が常時電圧の10%低下となることが判った。10%の瞬時電圧低下という値は「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」に記載されている、発電設備等の並列時に電力会社の配電システムに対して引き起こす瞬時電圧低下の最大許容値である。

また上記電圧の検討時と同程度の離島系統において1,016kWの風力発電がカットアウトした場合の周波数変動をシミュレーションにより確認した。カットアウトによる瞬時の周波数変動（低下）は2.57Hzという結果が得られ、一般に電力会社が維持する目標としている【基準周波数±0.1~0.3Hz】と比較して極めて大きな影響を与えることが判った。

上記の影響に対して、蓄電池を設置したシミュレーションを実施した結果、瞬時の周波数変動を仮に0.5Hzに押さえるためには820kWの出力が可能な蓄電池が必要なことが判った。

なお、以上の検討はあくまで模擬配電線を

対象とした簡易的なシミュレーション結果であり、数値の絶対値を求める目的ではなく、影響の傾向をつかむ目的で実施したことに留意する必要がある。

## (2) 常時の影響

### ① 常時周波数変動による導入制約

風力発電や太陽光発電の常時の出力変動が常時の周波数に及ぼす影響を把握し、対策の効果を確認する目的でシミュレーションを実施した。

シミュレーションは中規模の離島をイメージしたモデルで実施し、ディーゼル発電機による自動的な周波数調整能力（一般にガバナフリーと呼ばれる）をモデル化し、需要の変動と風力発電、太陽光発電の変動を模擬した波形を入力して周波数を検討した。風力発電、太陽光発電の導入量を少しずつ増加させていき、周波数の変動が±0.3Hzに到達した時点で導入限界と判定した。また、需要立ち上り時（早朝）及び最大需要時（昼間）の2断面でシミュレーションを実施したが、需要立ち上り時（早朝）における導入限界量は最大需要時（昼間）の導入限界量よりも低いことが明らかとなった。すなわち、電力需要が1,900kWの断面（早朝）において、700kW（太陽光350kW、風力350kW）の新エネルギーが導入された断面で常時の周波数変動が0.299Hzとなり、導入限界と判定された。図7にシミュレ

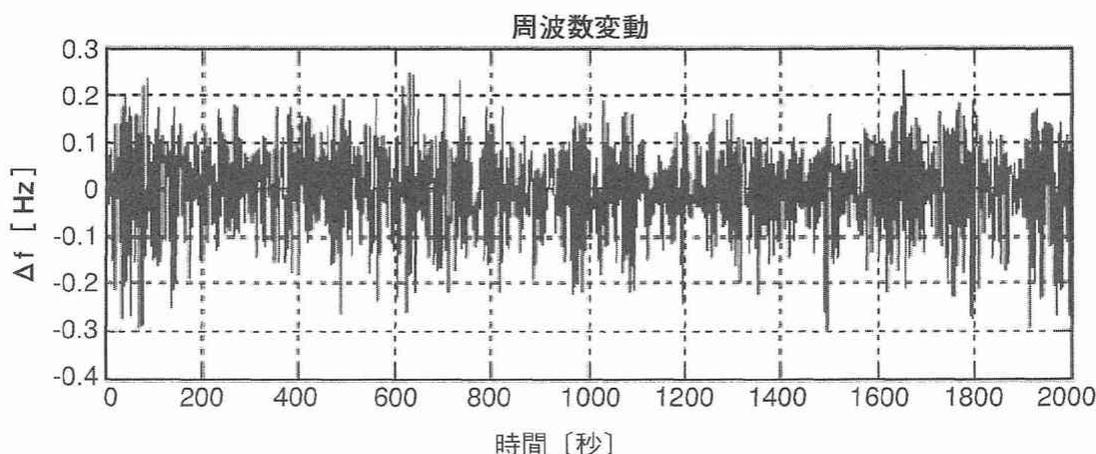


図7 シミュレーション結果（太陽光350kW、風力350kW導入時）

表2 対策実施時の新エネルギー導入可能量シミュレーション結果

	対策機器容量 [kW]	新エネルギー導入可能量 [kW]		
		太陽光発電	風力発電	合計
対策なし		350	350	700
蓄電池	50	490	490	980
	100	620	620	1,240
	150	730	730	1,460
	200	850	850	1,700
高速ディーゼル 発電機	100	500	500	1,000
	200	620	620	1,240
	300	740	740	1,480
	400	850	850	1,700
電気温水器	100	450	450	900
	200	530	530	1,060
	300	620	620	1,240
	400	710	710	1,420

ーション結果の一例を示す。縦軸が周波数変動、横軸が時間でありシミュレーションは2,000秒間実施した。

次に、3. に記載の対策機器を導入したシミュレーションを実施し、対策無しの時と同様に周波数変動が±0.3Hzに達した点を導入限界と判定した結果が表2である。

表2から、対策機器の容量を増加するほど新エネルギー導入可能量が増加していることが判る。また、同容量（例えば200kW）の対策機器を用いた場合の新エネルギー導入可能量増加率は 蓄電池>高速ディーゼル>電気温水器の順に高いことがわかる。この主な原因は蓄電池は200kW容量といった場合、充電200kW、放電200kWと合計400kW幅の調整能力があることが挙げられる。また、電気温水器による対策は市販の電気温水器に比較的安価な制御機器を取り付けることを想定し、応答性を若干犠牲にした設定としたため高速ディーゼルに比較して劣る結果になっている。

### ② 電力会社のディーゼル発電機下げ代による制約

現在離島で用いられている発電機は内燃力機関であるディーゼル発電機が主流となっていることは既に述べた。このディーゼル発電機は本土で用いられている火力発電機などと比較して高速に起動が可能で出力を変化させる速度が速いなど、離島での需要変動に対応するに十分な性能を有しているが、設計上定格出力の半分以下の出力（例えば1,000kW定格の場合、500kW以下）での運転は問題が生じることが多い。そのため、一般的には発電機出力を定格出力の50%以上に制限する運転が行われている。一方、発電出力を制御できない新エネルギーを離島系統に導入する場合、新エネルギーの出力が0又はフル出力のいずれになっても対応できるだけの発電機を動かしておく必要がある。これらの事情から、いわゆる「下げ代問題」が発生し、新エネルギー等分散型電源の導入制約となってくる。図8にその概念図を示す。

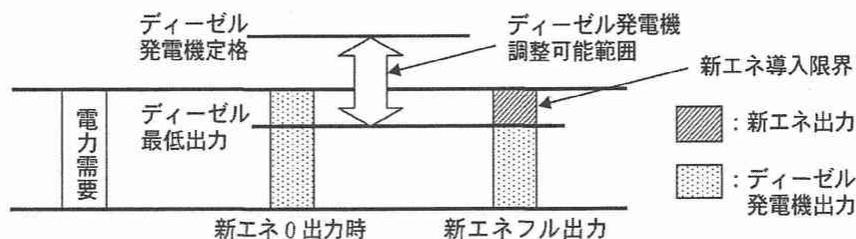


図8 ディーゼル発電機下げ代制約概念図

表3 常時の制約を全て考慮した時の新エネルギー導入可能量

	対策機器容量 [kW]	新エネルギー導入可能量 [kW]		
		太陽光発電	風力発電	合計
対策なし		350	350	700
蓄電池	50	490	490	980
	100	620	620	1,240
	150	645	645	1,290
	200	645	645	1,290
高速ディーゼル 発電機	100	500	500	1,000
	200	562	562	1,124
	300	520	520	1,040
	400	479	479	958
電気温水器	100	450	450	900
	200	530	530	1,060
	300	620	620	1,240
	400	645	645	1,290

※網掛け部は、ディーゼル発電機下げ代制約により制約された箇所を示す。

また、対策機器として高速ディーゼル発電機を用いた場合、高速ディーゼル発電機を常時運転させ、その分既存ディーゼル発電機の出力を下げる必要があるため、下げ代制約を更に強めることとなる。

③ 常時周波数変動と下げ代制約の両者を考慮した導入可能量

常時の新エネルギー等の導入制約として常時周波数変動による制約と下げ代による制約を検討してきたが、両者を総合して考慮した導入可能量の試算結果を表3に示す。

5. 経済性・環境性を考慮した最適化モデルの検討

4項で求めた新エネルギー導入可能量の新エネルギーを対策機器と共に導入した際の経済性と環境性について検討を実施した。経済性の算定手法の詳細は割愛するが、新エネルギー、対策機器共に年経費率を用いた1年当たりのコスト換算値を計算している。また、新エネルギーによる発電電力量を推定し、同量の電力量を生み出すためのディーゼル発電機の燃料費を削減可能な発電コストとした。

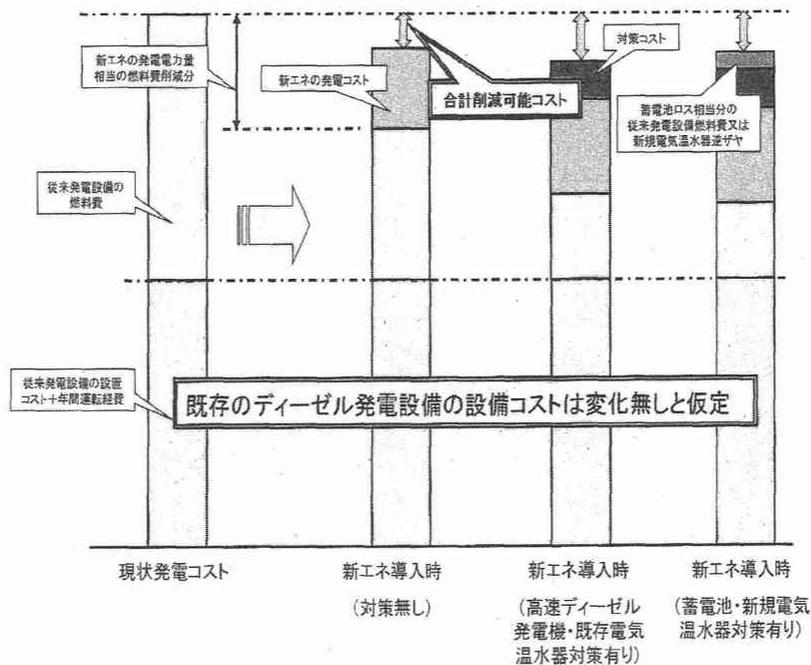


図9 経済性の計算手法概念図

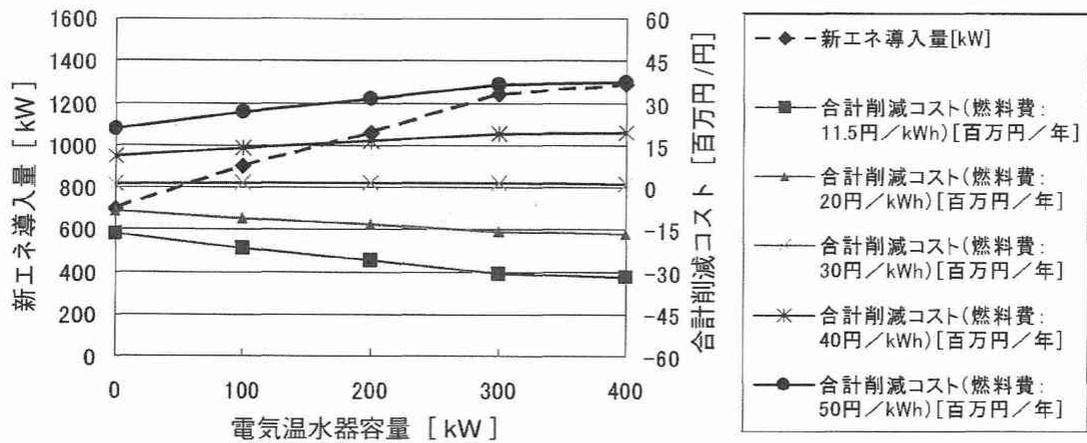


図10 電気温水器対策による新エネ導入時の合計削減コスト試算例

図9にその概念図を示す。なお、離島におけるディーゼル発電機の燃料費(円/kWh)は離島の位置や港湾設備の状況、需要の大小などにより大きく変化するため、パラメータ化してある。また、蓄電池の充放電ロスや高速ディーゼルの燃料費も織り込んで試算している。経済性の試算の結果の一例を図10に示す。この例では、新エネルギーの導入量(点線)は電気温水器の対策容量を大きくするにつれ増加していくが、対策容量300kWの点で増加の傾きが下がってきている。燃料費が30[円/kWh]の場合には合計削減コストが正の値となり経済効果が生まれる結果となっているが、

対策を増やして新エネルギー導入量を増加させても合計削減コストが大きくなる、すなわち新エネルギー導入量を増やしても経済的なメリットが増えない結果となっている。燃料費が40[円/kWh]以上の場合には対策容量を増加させるに伴い合計削減コストが多少上昇しているため、新エネルギーの導入量を増やす経済的メリットがあるが、その増加割合は対策容量が300kW程度で飽和する傾向にあり、結果として対策容量300~400kWで最大限新エネルギーを導入するのが経済的であろうという試算結果となっている。

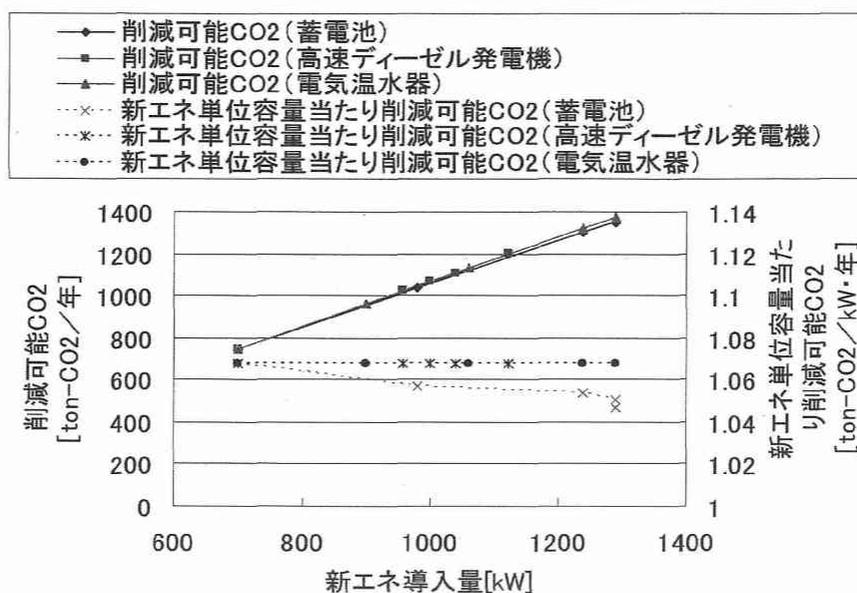


図11 環境性の試算結果

他の対策機器についても同様の試算を行った結果、次のようなことが判った。

- 燃料費が30[円/kWh]以下の場合、新エネルギーを導入する経済的メリットは無い。
- 対策間の比較では、電気温水器を用いた対策の経済性が高く、次に蓄電池、高速ディーゼルという順に経済性の高い。

また、上記の試算は常時の影響にのみ対策した結果を記してあるが、3.(1)項で検討した瞬時の影響に対する対策を蓄電池で行った場合、経済性効果の表れる燃料費が全般的に10[円/kWh]程度ずつ悪化する結果となる。

環境性についての検討では各対策におけるCO<sub>2</sub>削減量を試算し、比較した。なおCO<sub>2</sub>の計算はライフサイクルCO<sub>2</sub>を用いて計算している。試算結果を図11に記す。この結果、以下のようなことが言える。

- 削減可能CO<sub>2</sub>は新エネルギーの導入量にほぼ比例する。
- 高速ディーゼル発電機、電気温水器による対策は新エネルギー単位容量当たりの削減可能CO<sub>2</sub>量が比較的大きい。これは蓄電池対策の場合充放電ロスが悪影響を及ぼすためである。

## 6. おわりに

本調査においては、離島における新エネル

ギー導入可能性の調査という目的で離島の電力供給実態の調査、電力品質に新エネルギー等が与える影響の検討、導入可能量の試算、対策を仮定した場合の導入可能量の変化やその経済性・環境性の試算を実施した。留意すべきこととして、本調査は机上のシミュレーションによるものであり、この試算結果の数値が直ちに絶対的な意味を持つものではないということである。特に電圧のシミュレーションなどは実際の配電システムの構成や風力発電の接続位置などにより大きく結果が変化することに留意する必要がある。

今後は本調査結果の計算手順を用いて、具体的な特定の島の各種条件をシミュレーションに導入して検討し、その効果が実証されることを期待する。また、本検討が離島における新エネルギー導入の促進になんらかの寄与を与えることを希望している。

最後に、本調査のヒアリング等にご協力いただいた電力会社の方々、電力関係の有識者の方々、メーカーの方々、市町村の役所の方々、また多くのご助言をいただいた新エネルギー・産業技術総合開発機構に深く感謝するものである。

### 参考文献

- (1) エネルギー総合工学研究所：「離島等独立系統における新エネルギー活用型電力供給システム安定化対策実用化可能性調査」報告書、(平成18年7月)

[調査研究報告]

## 再生可能エネルギーとしてのヒートポンプ —EUの事例を中心にして—

矢田部 隆志<sup>※</sup> (財)ヒートポンプ・蓄熱センター  
業務部 課長

埴 雅一<sup>※※</sup> (財)エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 主管研究員



### 1. エネルギー社会とヒートポンプの技術動向

資源・エネルギー問題に対する関心が世界で急速に高まっている。ロシアのサンクトペテルブルグで開催された2006年7月のG8サミットでも世界のエネルギー安全保障は中心的議題の1つであった。その背景にあるのが、原油価格の高騰であり、1バーレル70ドル台(2006年8月時点)へ上昇、この2年ほどでほぼ2倍になった。中東の政情不安に加え、中国やインドなど新興諸国において急伸するエネルギー需要がさらに上昇圧力をかけている。その結果、先進諸国においては、より安価で国際社会の動向に左右されない安定したエネルギーを求める動きが加速している。

エネルギー問題への関心が高まる理由にはもう1つ、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)など温室効果ガスの排出による地球温暖化を抑制するという課題である。1997年の第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)で議決された京都議定書は2006年2月に発効し、そこで示されたCO<sub>2</sub>削減水準を達成するには、これまで以上に化石燃料の使用を減らさなければならない。

それを実現する新しい代替エネルギーには既にいくつかの候補が挙がっている。供給サイドでは、風力、水力、太陽光発電、燃料電池、バイオマス、原子力などである。コスト面や技術面における技術革新とともに、これらを組み合わせることで化石燃料に依存しないエネルギー供給体制の構築が必要となっている。つまり、供給サイドにおいて非化石エ

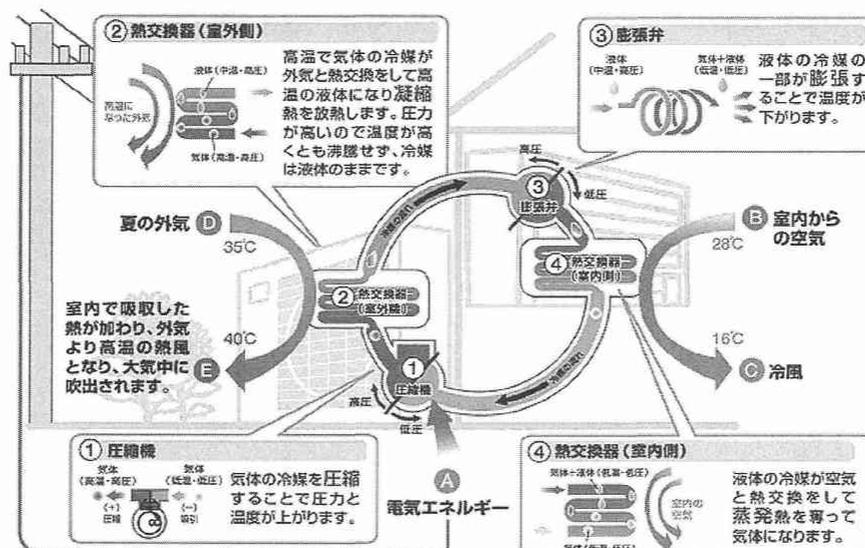


図1 ヒートポンプの原理

エネルギーの比率を高めて行くことである。

しかし、CO<sub>2</sub>削減やエネルギーセキュリティにとってポイントとなるのは供給サイドだけではない。エネルギーを消費する需要サイドの対策も重要である。それらが両輪になって、実効性の高い効果が生まれる。特に民生部門では冷暖房・給湯など熱利用分野で多くのエネルギーが消費されている。この分野で昨今、脚光を浴びているのが空気などに存在する熱エネルギーを活用することである。空気の熱エネルギーはそのまま使うにはエネルギーの密度が低く、十分な効用を得ることができない。そこでこの空気の熱エネルギーを生活空間で利用できるように加工する技術が必要となる。それがヒートポンプ技術である。

このヒートポンプの原理は冷媒（熱媒）を圧縮することで空気の熱を凝縮し暖房・給湯に利用するものである。一方、冷房では冷媒が膨張する際に部屋の熱を吸い取る作用、例えば山に登ると気圧が下がり涼しくなる現象を利用するものである（図1）。水を高いところに押し上げるポンプのように、空気の熱を汲み上げ移動させるシステムであることから、熱（ヒート）のポンプと呼ばれている。ヒートポンプは燃焼やヒーターなどのジュール加熱と異なり、熱サイクルを利用するため、投入するエネルギーを大幅に抑制できる特徴をもつ。

ヒートポンプの効率をあらわす指標としてCOP（coefficient of performance：成績係数）が一般的に用いられる。COPは投入したエネルギーに対して得られる熱エネルギーを比率で

あらわしたもので、COP=3とは投入エネルギーの3倍の熱エネルギーが得られることを意味する。日本ではヒートポンプのCOPがここ数年で大幅に向上した。その背景には技術改善を促すいくつかの要因があった。1つは社会的要因である。省エネルギー法に基づく「トップランナー方式」の浸透で機器開発が進んだことと、環境負荷の低減効果やCO<sub>2</sub>削減効果を消費者が機器選定時に評価するようになったことである。1999年に導入された「トップランナー方式」は、環境評価の判断材料として消費者に省エネルギー性能を明示する「ラベリング制度」を導入し、高効率機器の購入意識を高めてきた。環境負荷の低減効果やCO<sub>2</sub>削減効果、それにライフサイクルコストなども、購入価格と同様に判断材料として評価するようになった。その結果、価格が多少高くなっても効率の高い機器を選択する消費者も現れ、メーカー間でCOP向上を目指した開発競争が本格化した。

もう1つの要因は、日本の気候がヒートポンプの活用に適していたことである。温暖で湿潤な日本の気候は欧州に比べて暖かいため空気に含まれる熱エネルギーが多く、暖房の場合、より効率よく使うことができる。

ヒートポンプを内蔵したエアコンに関しては、過去10年間でCOPが3～6.5前後（2006年時点）まで向上している（図2）。それは、革新的な技術の導入で達成されたのではなく、各部の性能が向上したことで相乗効果が働き、効率が大幅に改善した結果である。

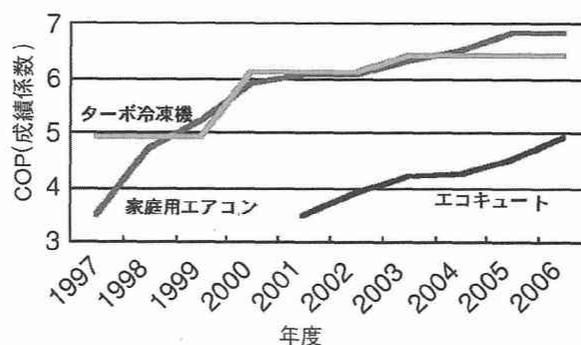


図2 ヒートポンプのCOPの向上

ところで、環境への取り組みとして自然界に存在するエネルギーの活用がよく話題に上る。これら自然界に存在し使い尽くすことのないエネルギーを再生可能エネルギーと呼ぶが、一般に再生可能エネルギーは発電に結びつけられることが多い。しかし、民生需要では冷暖房・給湯などの熱エネルギーの利用が非常に多いため、そこに再生可能エネルギーが使えるのであれば効果が大きい。ヒートポンプは、太陽光によって暖められた最も身近な空気の熱エネルギーを冷暖房・給湯で活用可能にするため、再生可能エネルギーとみなすことが可能ではないかと考える。本稿ではヒートポンプを再生可能エネルギーとして考える上で参考とすべく欧州の取組みを調査したので紹介したい。

## 2. 欧州気候変動プログラム (ECCP) や 欧州連合指令 (EU指令) でのヒートポンプの取り扱い

欧州では、1970年代の2度の石油危機を契機に、化石燃料に代わるものとして、いち早くバイオマスなどの再生可能エネルギーの利用拡大が図られた。後述するように、国ごとに、再生可能エネルギーの利用拡大のための様々な政策が取られた。多くの国では、エネルギー効率化の1つの手段として、ヒートポンプ導入拡大の試みも行われた。

第二次石油ショック後のヒートポンプの導入が始まった当初は、機器の品質が悪く、据付技

術も未熟であったことから、ヒートポンプは市場の信頼を失った。さらに、その後の石油価格の低下のため市場が縮小したことから、しばらくの間ヒートポンプ導入の低迷が続いた（これは、スウェーデン、オーストリア、スイス、ドイツといったヒートポンプの普及率が高い国に共通の事例であったが、それでもスウェーデンでは年間1万台のレベルをキープしていた）。その後、省エネルギーの進展にともない、新築住宅の断熱効率が高くなってきた（熱ロスが少なくなってきた）ことは、ヒートポンプの導入に有利に働いた。また、機器の性能向上による市場からの信頼回復も、ヒートポンプの導入拡大に役立った。これらのことから、1990年代初めより、各国共に、再びヒートポンプの導入が拡大基調となった。なお、競合相手であるボイラーの燃料である灯油価格の変動が大きいことと、電力価格が安定していたことはヒートポンプの導入拡大にとって有利となった。

1990年代後半には、地球温暖化対策を急ぐべきとの議論を背景に、1997年に欧州委員会 (European Commission, EC) の再生可能エネルギー白書「欧州共同体 (European Communities) の戦略及び行動計画」<sup>(1)</sup> が取り纏められた。欧州連合 (EU) におけるこれ以降の再生可能エネルギー政策は、この白書に基づいている。白書において、欧州共同体における再生可能エネルギーのメインフレームワークとアクションプランが提示された。

この計画において、EU全体での域内エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割

表1 欧州委員会の白書における主要再生可能エネルギーの熱利用計画 (単位: Mtoe)

エネルギーの種類	1995年時点での 利用量	2010年時点での 計画利用量
バイオマス	38.04	75
地熱 (ヒートポンプ含む)	0.40	1
太陽熱コレクター	0.26	4
再生可能エネルギー合計	38.7	80
パッシブ・ソーラー	—	35

(出所: EC再生可能エネルギー白書)<sup>(1)</sup>

合を、現状の6%から2010年までに2倍の12%にまでもっていくことが明記された。白書では、3つの主な再生可能エネルギー源を対象として、1995年時点での生産量と2010年における計画生産量が示されている。その詳細を表1に示す。再生可能エネルギーによる熱の生産量の目標を1995年時点での38.7 Mtoe（百万原油換算トン）から2010年には80Mtoeに引き上げると設定している。しかも、その主たるものがバイオマスで、全体の90%以上の割合を担う。ヒートポンプを含む地熱分は、増加分として0.6 Mtoeとしており、再生可能エネルギーの1%程度を占める。

白書においては、再生可能エネルギーを「化石燃料ではない再生可能なエネルギー源」と定義し、水力、バイオマスに加えて、地熱（ヒートポンプを使用するものを含む）も再生可能なエネルギーとしており、ヒートポンプ導入促進の必要性を強調している。

また、欧州はエネルギー供給の50%を輸入に依存しており、地域で突発的な事態が起これば、社会と経済の健全性が危ぶまれていた。それにもかかわらず、反対運動により原子力発電の拡大にも暗雲が漂う中、エネルギー輸入への依存度はより一層高まっていた。このような背景から、2001年には欧州委員会では「欧州のエネルギー供給に関する安全保障政策に向けてのグリーンペーパー」という青書を発行した。青書の主な内容は表2のとおりである。

平行して、欧州委員会は、2001年にスタートした「欧州気候変動プログラム（ECCP）」<sup>(3)</sup>の中で、主たる政策である排出枠取引制度の策定・実施以外に、再生可能エネルギーの利用促進、そしてバイオマスを燃料として利用する熱電併給コージェネレーションシステム（CHP）促進、さらには建物の省エネルギー促進等を大きなテーマとして掲げた。実際に、2001年から2002年にかけて再生可能エネルギーの電力利用指令（RES-E指令）および建物エネルギー効率（性能）指令（建物指令）が制定された。また、2004年には、様々な奨励策が

表2 青書の主な内容

1. 今後のエネルギーの輸入依存度上昇を抑えるためには、省エネルギーや再生可能エネルギーの開発が有効である。
2. 地球温暖化問題やエネルギー市場の自由化によるエネルギーの供給不安に対応するため、省エネルギーや再生可能エネルギーの導入が有効である。
3. 今後のエネルギー戦略として、エネルギー供給に関するリスクを軽減するために、エネルギー需要抑制策やエネルギー輸入依存度の抑制策が必要で、輸入ソースの多様化に加えて、安定供給、環境問題の点からは、省エネルギーや域内で自給できる再生可能エネルギーが最も有効である。

含まれた熱電併給コージェネレーションシステム指令（CHP指令）が制定された。これらの指令は、再生可能エネルギーの熱利用を促進する環境を醸成すると同時に省エネルギーを促進するものである。

ECCPの第1フェーズにおいて、フレキシブルメカニズムを検討するワーキンググループ（WG）1、エネルギー供給を検討するWG2、エネルギー需要を検討するWG3、輸送分野での対策を検討するWG4、産業分野での対策を検討するWG5、そのほかに調査や農業に関するWGも設置され、2001年6月に報告書が発行された<sup>(4)</sup>。ECCPにおいて、RES-E指令、建物指令、CHP指令に加え、再生可能エネルギー源の熱利用を促進するための単独の指令（RES-H指令）も検討され、RES-H指令に関する調査報告書も公表されている。

ECCPにおいて策定中のRES-H指令の影響を検討するために、欧州委員会はオランダのVHK社に委託して調査を行った。その報告書（再生可能エネルギー指令実施状況報告）<sup>(5)</sup>には再生可能エネルギーの熱利用の状況がCHP指令やRES-E指令の実施状況を含めて記載されている。

本報告書よれば、RES-E指令で再生可能エネルギーの対象となっていない熱源である「周辺熱（ambient heat）」も、RES-Hでは再生

可能エネルギーの対象となると考えられている。「周辺熱」には地熱のほか、空気（排気も含む）や水（地下水や地表水）から得られる熱も含まれる。ヒートポンプの利用によって、この周辺熱も暖房や給湯に利用できるレベルの温度まで引き上げることができる。従って、熱源として現実的に利用可能な再生可能エネルギー源は主に、バイオマス、ソーラー、地熱（ヒートポンプ利用による周辺熱を含む）とされている。

しかしながら、RES-H指令案については、利害関係者の一部から反発を受けたため、他の既存の政策や計画中の政策や措置との妥当性を調整して、内容を修正する必要性が生じている。（2006年8月中旬現在RES-H指令は発効していない）

ヒートポンプは、熱利用効率の向上によって省エネルギーを図るものであるため、再生可能エネルギー源の熱利用を促進するための単独の指令（RES-H指令）によってカバーされることになるが、同時にRES-E指令、CHP指令、建物指令の影響を受けるものと考えられる。そこで、これら3つのEU指令について紹介する。

#### ① RES-E指令<sup>(6)</sup>

RES-E指令はECCPの第1フェーズで提案され、2001年9月27日制定された。正式には「域内電力市場での再生可能エネルギー源から生産された電力の促進に関する欧州議会及び理事会指令2001/77/EC」（RES-E指令）と言われるように、再生可能エネルギー源の電力利用を狙いとしたものである。RES-E指令において、「化石燃料ではない再生可能なエネルギー源で、風力、ソーラー、地熱、波、潮流、水力、バイオマス、埋立地ガス、下水処理プラントガス、及びバイオガス」を再生可能エネルギー源と定義している。

#### ② 建物指令<sup>(7)</sup>

EUにおけるエネルギー消費の40%以上は非産業用建物部門によるもので、そのほとんど

が冷暖房、給湯および照明に用いられている。このような建物部門による省エネルギーを強化するため、建物の断熱性能を向上させるための法的整備が行われ、2002年12月に正式には「建物エネルギー効率（性能）指令」と言われる建物指令が制定された。

建物指令により、建物の断熱性能が向上し（熱ロスが少なくなり）、ヒートポンプを暖房や給湯に利用できるようになった。このため、EUの多くの国々で、再生可能エネルギー源にヒートポンプ利用による熱を含めるようになってきている。

#### ③ CHP指令<sup>(8)</sup>

「EU域内エネルギー市場における熱需要に基づくコージェネレーションの促進に関する欧州議会及び理事会指令2004/8/EC」、いわゆる一般に「コージェネ（CHP）指令」と言われるもので、熱供給の促進による再生可能エネルギーの利用効率を向上が期待される。2004年2月11日に制定され、2月21日にEU官報（Official Journal）で告示された。

これにより加盟国は、公布されてから2年以内に国内法化を完了し、3年以内に最初の報告を行い、以降4年ごとに進捗状況などを報告する義務を負う。

CHPにおける熱供給とヒートポンプによる熱供給は、推進に際しての技術的課題や行政手続など、ほとんどが共通事項であり、CHP指令の実施の推移について注目する必要がある。

### 3. EU諸国における再生可能エネルギーとしてのヒートポンプ

欧州では地域暖房に占めるCHPの割合は比較的高い<sup>(9)</sup>。地中海沿岸諸国を除き、一般に気候が寒冷であるために地域暖房が広く普及している。1970年代の2度の石油危機を契機に、CHPの燃料に天然ガスやバイオマスが広く導入されるようになった。電源構成に占める化石燃料比率が低い国々では、石油価格が

上昇すれば電力価格が相対的に割安になるため、地域暖房へのヒートポンプの導入も促進された。ただし、近年、バイオマス燃料CHPの比率が上昇する傾向にあるため、地域暖房用ヒートポンプの比率が徐々に低下してきている。しかし、最近の石油価格上昇にともない、再び、地域暖房へのヒートポンプの導入が進むことが期待されている。

欧州における地熱の導入量およびヒートポンプの導入例が前述のVHKレポート<sup>(5)</sup>に示されている。200MWh以上地熱を利用している国の中で、地熱を利用したヒートポンプが導入されているのは、スウェーデン、オーストリア、スイ

ス、ドイツ、フランスの5カ国である。アイスランドは地熱の温度が高く、地熱発電や地熱CHPが大部分で、ヒートポンプはほとんど導入されていない。表3に人口千人当たりのヒートポンプ導入台数とエネルギー消費量を示す。なお、欧州の戸建住宅では、わが国と異なり、部屋毎にヒートポンプを設置するのではなく、セントラルヒーティングタイプのヒートポンプを設置するのが主流となっているため、その分設置台数は少なくなるが、それを考慮しても、わが国より桁違いに少ないヒートポンプの導入量となっている。

化石燃料を使用したCHPの代替として未利用

表3 人口千人当たりのヒートポンプ導入台数とエネルギー消費量

国名	ヒートポンプ導入台数(2000年)	人口(千人)(2000年)	千人当たりの導入台数	一次エネルギー消費量(万トン石油)1998年	千人当たりのエネルギー消費量
スウェーデン	370,000	8,872	41.7	4,119	0.46
オーストリア	149,000	8,110	18.4	2,503	0.31
ドイツ	100,000	82,017	1.2	32,272	0.39
スイス	67,000	7,170	9.3	2,346	0.33
デンマーク	33,000	5,337	6.2	1,672	0.31
ノルウェー	30,000	4,493	6.7	2,659	0.59
フランス	30,000	58,892	0.5	23,564	0.40
オランダ	29,500	15,864	1.9	8,337	0.53
フィンランド	15,000	5,176	2.9	2,599	0.50
ベルギー	6,500	10,249	0.6	5,272	0.51
イギリス	3,000	59,501	0.1	23,267	0.39

(出所：Heat from Renewable Energy Sources, The RES-H initiative and related Directives, VHK (2002) および世界国勢図会を基に作成)

表4 再生可能エネルギーとしてのヒートポンプの取り扱い

	エネルギー白書等におけるヒートポンプの扱い	資料出典
ドイツ	再生可能エネルギーのリストにヒートポンプの記載は無い。再生可能エネルギーに地熱利用を含める。	RENEWABLE ENERGIES The way forward
	本文中にヒートポンプの記載は無い。図中でヒートポンプを再生可能エネルギーに含める。	ENVIRONMENTAL POLICY, Renewable energy sources in figures - national and international development - Status: March 2004 -
フランス	再生可能エネルギーの統計に熱利用として計上済み。	energy in France highlights 2002 edition
スウェーデン	ヒートポンプを再生可能エネルギーに含めていない。地域冷暖房を中心にヒートポンプによるエネルギー量削減効果の記述多し。	Energy in Sweden 2004
イギリス	再生可能エネルギーの説明にヒートポンプ明言。	ENERGY WHITE PAPER 2003
デンマーク	エネルギー行動計画にコージェネからヒートポンプへの転換によるCO2削減量が織り込み済み。	Proposal for a Climate Strategy for Denmark
ノルウェー	ヒートポンプを含む再生可能エネルギー利用技術の改善が長期的にはエネルギー問題の解決になると明言。	Report to the Storting No. 29(1998-99) on Norwegian energy policy
スイス	ヒートポンプを再生可能エネルギーに含めるとした。	Campaign for Take Off for renewable heat pumps in Ireland, Country report, April 2004
	2010年のターゲットにおいて、ヒートポンプを再生可能エネルギーに含めて提示	Responding ministry/ office; Swiss Federal Office of Energy SWITZERLAND REPORT FOR CSD-14/15-ENERGY

エネルギー（地中熱）を用いたヒートポンプを使用している国として、デンマーク、フランス、ドイツ、ポーランド、トルコ、イギリス等がある。未利用エネルギーを用いたヒートポンプによって地域暖房を行っているとは報告されているのは、スウェーデンとノルウェーの2カ国で、それ以外の国についての詳細報告はない。

さて、再生可能エネルギーとしてのヒートポンプの取り扱いについては、国によって多少異なる。表4にそれらを取り纏めて示す。スウェーデン、デンマークのように、再生可能エネルギー以外のものが電源構成に含まれるために、ヒートポンプを再生可能エネルギーに含めるとの明言を避けながらも、ヒートポンプによる省エネルギーにより地球温暖化ガスの削減に効果があるため、ヒートポンプの導入促進を図るべきとしている国がある。一方、フランス、イギリス、スイス、ノルウェーのように、それぞれの国の白書等でヒートポンプを再生可能エネルギーに含めると明言している国も多い。

#### [ドイツ]

ドイツでは、連邦政府環境省が発行する再生可能エネルギーの将来というレポート<sup>(10)</sup>には、ヒートポンプについての記載は無く、地熱についてコメントしているだけである。一方、環境政策というレポート<sup>(11)</sup>では、本文中にはヒートポンプについての記載は無いものの、図表中でヒートポンプを再生可能エネルギーに含めている。しかしながら、ヒートポンプが地球温暖化ガスの削減に効果があるため、政府の助成策が地方ごとに異なるシステムで採用され、ヒートポンプの導入拡大に貢献している。

#### [フランス]

フランスでは、経済・財政・産業省のエネルギー・一次資源局が公表している再生可能エネルギー電熱源量に、ヒートポンプを再生可能エネルギーに含めて公表している<sup>(12)</sup>。フ

ランス政府は、「2003年度財政法」の中で、ヒートポンプを含む再生可能エネルギーを利用した設備に対する優遇税制について規定している。また、フランス電力公社（EDF）は、家庭用ヒートポンプ設備を普及させるサービスを導入している。さらに、住宅改善庁（ANAH）は、ヒートポンプ導入の助成金を提示している<sup>(13)</sup>。

#### [スウェーデン]

スウェーデンのエネルギー白書<sup>(14)</sup>では、ヒートポンプを再生可能エネルギーとして規定してはいないものの、ヒートポンプによる省エネルギー効果に関する記述は多い。1981年～1991年には政府の補助金による助成策が取られ、ヒートポンプの普及が進んだ。現在では、スウェーデンのヒートポンプ市場はすでに自立可能な状況にあり、政府の補助政策は必ずしも必要不可欠な状況ではない。

#### [イギリス]

イギリスでは、エネルギー白書<sup>(15)</sup>の中でヒートポンプを再生可能エネルギーに含めている。地中熱、河川水、下水、空気を熱源として、ヒートポンプによって水や空気を加熱することが再生可能エネルギーであるとしている。

#### [デンマーク]

デンマークの取り組みは早く、1976年には「国家エネルギー計画」を策定し、その中で熱電併給コージェネレーションシステム（CHP）の普及促進、石油暖房の代替としての天然ガスやバイオマス利用の地域暖房等の省エネ・プログラムの導入をうたっていた。デンマークでは、気候変動対策案<sup>(16)</sup>の中で、地域暖房のエネルギー源を石油燃料のボイラーからヒートポンプに変更する事による炭酸ガス削減効果を計上している。

#### [ノルウェー]

ノルウェーでは、エネルギー政策のレポート<sup>(17)</sup>の中で、ヒートポンプを含む再生可能エネルギー利用技術を改善することが、長期的に見てエネルギー問題の解決になると明言している。ノルウェーは豊富な水力資源があり、電源構成に占める再生可能エネルギー比率が99%以上を占め、ヒートポンプを再生可能エネルギーとして規定しても問題がないものと思われる。

#### [スイス]

スイスでは、ヒートポンプ導入促進計画が国のエネルギー政策「energie2000」に組み入れられた。スイスヒートポンプ促進協会の設立、ヒートポンプの品質と性能の改善、ヒートポンプを設置する消費者に対する補助金という3つのプログラムが推進された。また、2010年のターゲット<sup>(18)</sup>において、ヒートポンプを再生可能エネルギーに含めて提示した。

以上のように、ヒートポンプ設置数の多いスウェーデン、オーストリア、ドイツ、スイスでは、ヒートポンプを再生可能エネルギーとして規定しない場合であっても、戸建住宅向けのヒートポンプに対する政府助成策とともに、建物の断熱性能を向上させるべく建物基準の改定が行われ、ヒートポンプの導入促進が図られた。それぞれの政府が、ヒートポンプは地球温暖化ガスの抑制に効果的であると判断したためであろう。

## 4. 日本の現況

### (1) ヒートポンプの位置づけ

以上のように、統一的な方針は出ていないものの、欧州では多くの国で従来の地中熱利用のみならず、大気熱利用まで対象範囲を広げてヒートポンプを熱利用分野の再生可能エネルギーとして進めていることが判った。また、スウェーデンのように既に国際エネルギー機関(IEA)へ再生可能エネルギーの普及実績として空気熱

利用のヒートポンプを計上している国もある。

一方、日本ではヒートポンプを京都議定書目標達成計画において民生部門の給湯、空調分野で高い省エネルギー効果があることから普及促進等の必要性を明記しており、省エネルギーの重点施策として位置づけている。

また、現行の「新エネルギー利用等の促進に関する法律」(新エネ法、1997年施行)では、河川水、海水、下水などの熱エネルギーを利用する温度差エネルギーが定義されているが、これらのエネルギーもヒートポンプがなければ利用できないようなエネルギーである。

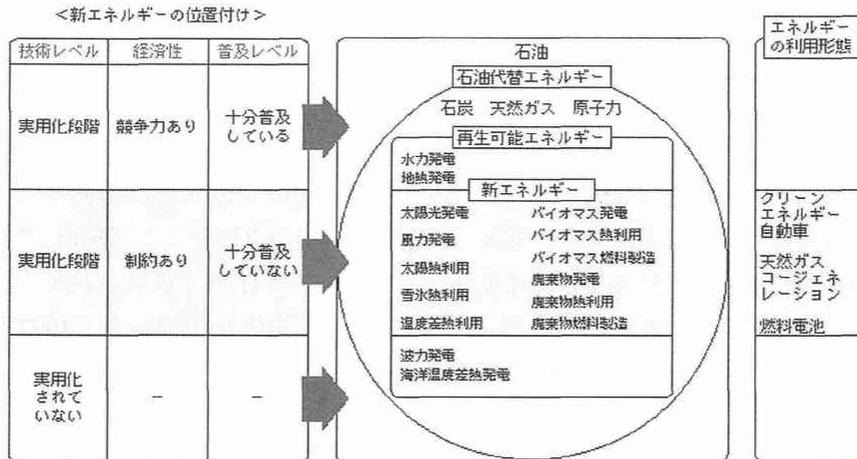
### (2) 「再生可能エネルギー」と「新エネルギー」の概念整理

現行新エネ法でいう「新エネルギー」とは「技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面での制約から普及が十分でないもので、石油代替エネルギーの導入を図るために必要なもの」であり、石油代替という概念に基づいている(図3)。

他方、「再生可能エネルギー」の定義について、国際機関や諸外国で統一的なものはない。しかし、例えば、IEAは「絶えず補充される自然のプロセス由来のエネルギー」と定義し、太陽、風力、バイオマス、地熱、水力、海洋資源から生成されるエネルギーを含むとしている。一方、日本では「再生可能エネルギー」を「『供給サイドの新エネルギー』に水力(揚水式を除く)および地熱を合計したもの」としてきている(「新エネルギー部会報告書」(平成13年6月))<sup>(19)</sup>。

また、「再生可能エネルギー」が供給サイドのエネルギーを意味する一方で、現行新エネ法における「新エネルギー」には、エネルギーの製造や利用といった「需要サイドのエネルギー」が含まれている。

ここにきて日本政府は、「再生可能エネルギー」の導入拡大に向けたスタンスを明確化するために、

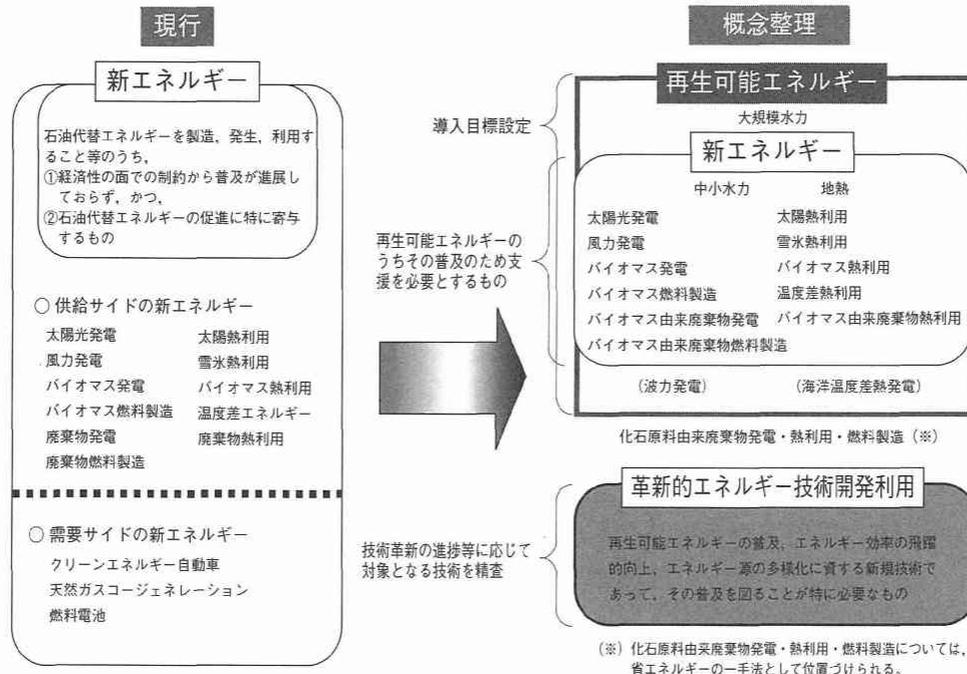


(出所: 「平成17年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2006))

図3 現行新エネ法における新エネルギー

①再生可能エネルギーの導入拡大、  
②革新的なエネルギー技術の開発・利用の促進、  
の2つをこれまでの新エネルギー政策に代わる新たな政策の基軸とすべきであるとし、再生可能エネルギーに関する国際的な用語の使用との整合性を持たせるため「新エネルギー」の概念の範囲を図4のように整理した(「第18回新エネルギー部会中間報告(案)」(平成18年5月))<sup>(20)</sup>。

新基軸のうち①については、再生可能エネルギーの国際的整合性を図ったものだが、注目すべきは新たに設けられた②である。これは「革新的エネルギー技術開発利用」と呼称し、現時点では「再生可能エネルギーの普及に資する新規技術」、「エネルギー効率の飛躍的向上に資する新規技術」、「エネルギー源の多様化に資する新規技術」を対象としている。今回の「中間報告(案)」では、現行新エネ法で明記されていなかったヒートポンプがハ



(出所: 資源エネルギー庁「新エネルギー部会報告書骨子(案)」, 2006年5月11日)

図4 新エネルギーと再生可能エネルギーの概念整理

イブリッド自動車などとともに「エネルギー効率の飛躍的向上に資する新規技術」として分類されることとなった。今後は新エネルギー政策の中でもヒートポンプの普及促進を目指すことになるだろう。

### (3) 風力、太陽光の3倍にも上るエネルギーの利用量

日本では太陽光・風力エネルギー供給量は原油換算で65万kl<sup>※1</sup>である。しかし、ヒートポンプによる空気熱エネルギー利用量を原油換算すると、そのおよそ3倍の172万kl<sup>※2</sup>に相当する。日本の石油輸入量は2004年度で2億4,200万kl<sup>※1</sup>。資源の乏しい日本にとっては、「空気熱エネルギーとはCO<sub>2</sub>を出さず、政情不安などの影響を受けない国産のエネルギー」とも言える。最終エネルギー消費に占める割合は燃焼方式に比べまだ少ないものの、すでにヒートポンプ給湯機（エコキュート）48万台、ヒートポンプエアコンが1億台普及しており、空気熱利用という点で日本は世界でも最も進んだ再生可能エネルギー利用国家と言えるだろう。

さらに、日本のヒートポンプ技術は世界の先端に行く。新興国・欧州なども民生部門で空調・給湯需要によって化石燃料が多く消費されているため、ここに適用されれば海外での環境改善にも寄与するものである。従って、エネルギー政策に限らず環境技術での世界貢献は経済産業政策においても、ヒートポンプ技術が重要な要素となるものと考えている。国際的に不安定なエネルギー需給の状況下で需要側対策としてヒートポンプが果たす役割は少なくないはずである。官民一体となり、国際的な視野のもと、技術開発から施策までを有機的に連携し、地球規模での普及促進に繋がるように日本が導いていくことを期待したい。

### 参考文献

- (1) Communication from the Commission, ENERGY FOR THE FUTURE:RENEWABLE SOURCES OF ENERGY, White Paper for a Community Strategy and Action Plan, COM(97)599 final (26/11/1997)
- (2) 52000DC0769 Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply/\* COM/2000/0769 final
- (4) European Climate Change Programme , Report-June2001
- (5) Heat from Renewable Energy Sources The RES-H initiative and related Directives, September 2002
- (6) 2001: Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market
- (7) 2002: Directive 2002/77/EC of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings
- (8) 2004: Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC
- (9) エコエネ都市システムのシステム化研究平成12年度成果報告書（財）ヒートポンプ・蓄熱センター（2001）
- (10) RENEWABLE ENERGIES, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), March 2004
- (11) BMU, Renewable energy sources in figures - national and international development - Status: March 2004 -
- (12) [http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se\\_bilan2.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/textes/se_bilan2.htm)
- (13) energy in France highlights 2002 edition
- (14) Energy in Sweden 2004, Swedish Energy Agency Publications
- (15) ENERGY WHITE PAPER 2003,Our energy future - creating a low carbon economy
- (16) Proposal for a Climate Strategy for Denmark, Danish Government, February 2003
- (17) Report to the Storting No. 29(1998-99) on Norwegian energy policy, Recommendation from the Ministry of Petroleum and Energy 19 March 1999, approved in the Council of State the same day
- (18) Responding ministry/office: Swiss Federal Office of Energy, SWITZERLAND REPORT FOR CSD-14/15-ENERGY
- (19) <http://www.meti.go.jp/report/data/g10705aj.html>
- (20) <http://www.meti.go.jp/committee/materials/g60613dj.html>

※1 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編「2006年版 エネルギー・経済統計要覧」, (財省エネルギーセンター, 2006年2月。

※2 (財)ヒートポンプ・蓄熱センター調べ

## 研究所のうごき

(平成18年7月11日～9月30日)

### ◇ 第25回理事会

日時：7月20日(木) 11:00～11:45

場所：経団連会館(9階) 901号室

議題：

- 第一号議案 役員の一部改選について
- 第二号議案 評議員の一部交替について
- 第三号議案 平成17年度事業報告書および決算報告書について
- 第四号議案 その他

### ◇ 第12回賛助会員会議

日時：9月14日(木) 16:00～19:30

場所：千代田放送会館

2階ホールスタジオ・1階ラウンジ

議事次第：

1. (財)エネルギー総合工学研究所の調査研究活動の状況について
2. 研究報告「バイオマスエネルギーの将来展望」
3. 講演  
「わが国のエネルギー政策のあり方」  
(エネルギー・ジャーナリスト 新井光雄氏)

### ◇ 月例研究会

#### 第248回月例研究会

日時：7月28日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館5階 501・502会議室

テーマ：

1. 日本の東アジア・エネルギーセキュリティ戦略はいかにあるべきか—期待されるアジアとのエネルギーパートナーシップ—  
(株)三菱総合研究所 地球環境研究本部  
地球温暖化対策研究グループ 主任研究員  
シニア・エコノミスト 藤井 秀昭 氏)
2. 中国の電力事情  
(財)海外電力調査会 電力国際協力センター  
業務部 部長代理 中山 元 氏)

#### 第249回月例研究会

日時：9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. 新規半導体(SiC, GaN)のパワーエレクトロニクスへの展開  
(独)産業技術総合研究所 パワーエレクトロニクス研究センター センター長  
荒井 和雄 氏)

### 2. 最近の大型二次電池の開発状況

(財)電力中央研究所 材料科学研究所  
材料物性・創製領域 エネルギー変換・貯蔵  
グループ 主任研究員 三田 裕一 氏)

### ◇ 主なできごと

- 7月11日(火) ・第1回低品位化石資源導入による原材料生産プロセス、エネルギー利用におけるリスク可能性発現に関する予測調査委員会
- 19日(水) ・第1回「ベトナム ドンナイ省における産業廃棄物の発生・処理状況及び産廃発電モデル事業の実施可能性に関する基礎調査」専門委員会
- 8月1日(火) ・第1回リスク情報検討委員会
- 8日(火) ・第2回革新的技術に関する研究委員会
- 11日(金) ・第1回バイオマスエネルギー導入シナリオおよび総合ロードマップ策定に関する調査委員会
- 24日(木) ・第1回エネルギーモデル検討委員会
- 29日(火) ・第2回高温ガス炉プラント研究委員会
- 9月1日(金) ・第1回水素FC技術検討WG、エネルギー需要・利用形態検討WG合同WG
- 6日(水) ・第1回無触媒石炭乾留ガス改質技術開発委員会
- 13日(水) ・原子力水素研究会
- 15日(金) ・第2回「ベトナム ドンナイ省における産業廃棄物の発生・処理状況及び産廃発電モデル事業の実施可能性に関する基礎調査」専門委員会
- 28日(木) ・第2回品質別電力供給システム総合調査委員会

### ◇ 人事異動

○8月1日付

(嘱託採用)

寺本英司 事務局長

○9月30日付

(出向解除)

西間木幸彦 プロジェクト試験研究部 主任研究員

## 編集後記

最近、アジアが特に政治面の動向から世界的に注視されておりますが、エネルギー面に関しても今後の展開を注視する必要がありますようです。日本エネルギー経済研究所報告（2006年9月）によれば、長期（2030年）エネルギー需要予測において、世界全体は現状（2004年）から1.6倍（石油換算102億トンから159億トン）となるが、その内アジアは2倍（同31億トンから62億トン）に増加し、また、世界シェアも現状30%から40%になると予想されています。そして、その増加の大半（約7割）を中国とインドが占めるといわれます。1人当たりのエネルギー消費量が、日本の10分の1にも満たない国が多いアジア諸国が発展し、より多くのエネルギーを消費し豊かになることは、喜ばしいことではあります。しかし、このままの状態で推移した場合、IPCC（気候変動政府間パネル）シナリオによる深刻な温暖化を避ける将来のCO<sub>2</sub>発生量期待値（例、2100年で現状レベルかそれ以下）と大きな乖離が生じると懸念されますし、一方では最近話題になっている石油ピークとの関係で、エネルギー確保もますます困難となってくると考えられます。アジアにおけるエネルギー問題の解決に資する日本の役割が益々重要になってきているのではないのでしょうか。

さて、本号はご覧いただきましたように、巻頭言から寄稿記事までアジアのエ

ネルギー事情を取り扱った記事を重点的に掲載いたしました。とりわけ、芦田譲京都大学教授と当所秋山理事長との対談では、エネルギー・資源状況と評価手法、さらにアジアを視野に入れた資源探査の動向・問題に関し、両氏の思いも込めて語られております。エネルギー問題、特にアジアのエネルギー事情理解のお役に立てていただければ幸いです。

過日の安倍新首相の所信表明演説では「日本を、世界の人々が憧れと尊敬を抱き、子どもたちの世代が自信と誇りを持てる『美しい国、日本』とする」との覚悟を述べてありますが、現実の日本は隣国諸国から、必ずしも「憧れと尊敬」を持って見られていないように思われます。その鍵を握るのが万国共通の「技術」、その国独特の「文化」であり、また一人一人が隣国に寄せる「関心と理解」の深さではないでしょうか。

筆者なりともこの秋の夜長に、昔読んだ吉川栄治の「三国志」や「水滸伝」をひもとき、「チャングムの誓い」を見て中国や韓国を理解したいとの思いを新たにしたい次第ですが、焼け石に水でしょうか・・・

秋深き隣は何をする人ぞ 芭蕉

小川紀一郎 記

## 季報 エネルギー総合工学 第29巻第3号

平成18年10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（8F）

電話（03）3508-8894

FAX（03）3501-8021

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

（印刷）和光堂印刷株式会社

※ 無断転載を禁じます。