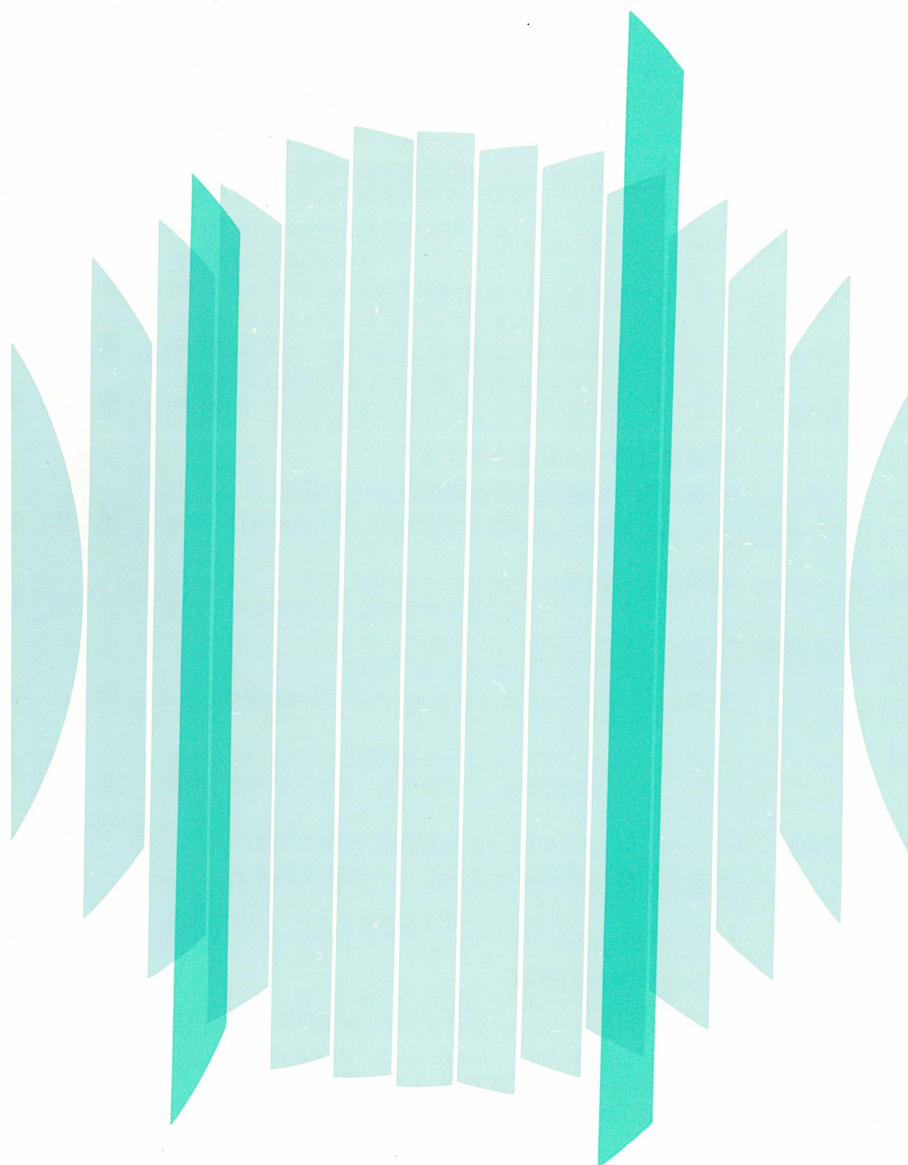


季報 エネルギー総合工学

Vol. 25 No. 2 2002. 7.



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】	「自動車リサイクル法」 (社)日本自動車工業会 副会長・専務理事 鈴木 孝 男 …1
【座談会】	今後の電力ネットワークシステム技術開発のあり方について —新電力供給システム技術検討会報告書を踏まえて— 東京理科大学理工学部教授 正 田 英 介 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 政策課 技術室長 森 山 善 範 電気事業連合会 技術開発部長 熊 谷 鋭 東京ガス(株) 役員待遇 エグゼクティブ・スペシャリスト 岡 本 洋 三 (株)エヌ・ティ・ティ・ファシリティーズ 常務取締役 武 井 務 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事 稲 葉 裕 俊 …3
【寄稿】	循環型社会への転換を考える —深めるべき環境経済性の観点からの認識 京都大学大学院 経済学研究科 教授 植 田 和 弘 …27
【寄稿】	循環型社会構築とサーマル・リサイクル 名古屋大学大学院 工学研究科 教授 武 田 邦 彦 …33
【講演】	危機管理とコミュニケーション戦略 淑徳大学国際コミュニケーション学部経営環境論専攻 教授 藤 江 俊 彦 …44
【講演】	リスクコミュニケーションへの取組みについて 大阪大学大学院 工学研究科 環境工学専攻 教授 盛 岡 通 …54
【調査研究報告】	インターネットを用いた効果的な情報共有の方法 —エネルギー情報ポータルサイト構築実験から— エネルギー技術情報センター 主管研究員 下 岡 浩 …63
【技術解説】	プルサーマルの意味 プロジェクト試験研究部 専門役 楠 野 貞 夫 …75
【内外情勢紹介】	二酸化炭素以外の温室効果ガスに関する 国際シンポジウム(NCGG-3)に参加して プロジェクト試験研究部 主管研究員 黒 沢 厚 志 …85
【研究所の動き】	 98
【編集後記】	 99

巻頭言

「自動車リサイクル法」

社団法人日本自動車工業会

副会長・専務理事 鈴木 孝 男



自動車リサイクル法が成立した。

これまでわが国の自動車リサイクルは、有償取引を前提に80%程度の比較的高いリサイクル率で推移してきた。近年、最終処分場の逼迫に伴うシュレッダーダストの埋立費用の高騰や鉄スクラップ価格の低迷により逆有償化が進み、従来の自動車リサイクルシステムは機能不全に陥り、不法投棄・不適正処理の懸念が増大していると指摘されてきた。

このような中で、2000年7月以降産業構造審議会で立法も視野に入れた新たな自動車リサイクル制度の検討が開始され、わが国の実情に合った実効あるシステムの確立に向けて関係者間で真剣な議論が行われた。この2年の間にも、EUの廃車指令の制定、わが国における循環型社会形成推進基本法の成立、家電リサイクル法の施行などリサイクルをめぐる動きも活発であった。

新たに制定された自動車リサイクル法は、民間事業者の活力を最大限に活用しつつ適切な公的関与により、わが国の風土に合ったジャパン・モデルとしての自動車リサイクルシステムの確立を基本理念としている。具体的には、自動車メーカー、関連事業者、自動車所有者、国、地方自治体等関係者の役割やリサイクルに要する費用の負担の仕組みなどについて詳細に規定している。

国会審議での議論の焦点の1つは、本案と拡大生産者責任論との関連であった。1つの意見として、OECDの拡大生産者責任のガイドラインを引用してリサイクルに係わる費用は、ユーザーに負担させることなく自動車メーカーが内部化すべきであり、今回の法律ではメーカーの役割が弱いのではないかとの指摘であった。これに対して多くの意見は、新たな法律により自動車メーカーに対して3Rに基づいた自動車の設計・開発やシュレッダーダスト等の引取り、リサイクルの義務付け等が規定されており、リサイクルシステム全体の中心的な役割を果たすことが求められていることから、循環型社会形成推進基本法の考え方にも沿っており拡大生産者論を十分具現化しているという考え方であった。新たな自動車リサイクル法の下では、自動車メーカーは多岐・多様の事業者が関与する自動車リサイクルシステム全体の中で中心的役割を果たすという重い責務が規定されている。

自動車メーカーが、リサイクル体制の必要な整備に主体的に取り組むことにより、2015年リサイクル率95%という目標の達成にむけた実効あるリサイクルシステムがわが国に定着化することを期待したい。

今後の電力ネットワークシステム技術開発の あり方について

—新電力供給システム技術検討会報告書を踏まえて—

正田 英介 (東京理科大学 理工学部 教授)

森山 善範 (経済産業省 資源エネルギー庁
電力・ガス事業部政策課技術室長*)

熊谷 鋭 (電気事業連合会 技術開発部長)

岡本 洋三 (東京ガス(株) 役員待遇
エグゼクティブ・スペシャリスト)

武井 務 ((株)エヌ・ティ・ティ・ファシリティ
ーズ 常務取締役**)

司会

稲葉 裕俊 ((財)エネルギー総合工学研究所
専務理事)



はじめに

司会 昨今電力自由化の動きの中で、分散型
電源あるいは電力供給システムの役割が問わ

れてきておりますが、私ども(財)エネルギー総
合研究所では昨年度、資源エネルギー庁から
の委託調査として、「新電力供給システム技術
検討会」を開催させて頂きまして、本年3月
に報告書^(注1)を取りまとめました。この機
会に検討会で中心的な役割を果たされた方々

* 現 高圧ガス保安協会 総合企画部長。 ** 現 同社取締役副社長。
本座談会中では開催時(2002年5月29日)における役職名となっています。

(注1) 「新電力供給システム技術検討会」報告書(平成14年3月)

にお集まりを頂きまして、報告書をご紹介しつつ、また今後の電力供給システム技術開発のあり方につきましてお話を伺うというのが本日の企画の趣旨でございます。検討会では東京理科大学の正田英介教授が委員長を務められ、産学官から多数の学識経験者にご参画を頂きました。

本日は正田委員長、そして委員として電力業界から電気事業連合会の熊谷 鋭 技術開発部長、またガス業界からは東京ガスの岡本洋三技術統括にお越し頂きました。また、需要家を代表して、エヌ・ティ・ティ・ファシリティーズからは常務取締役の武井 務 パワーソリューション事業推進本部長にお越し頂いております。さらに、本研究の委託元であります資源エネルギー庁電力ガス事業部政策課の森山善範技術室長にご参加頂いています。

検討会の設置の背景と目的

変わりつつある電力供給環境

司会 それでは本論に入ってまいりたいと思いますが、初めに森山室長の方から本検討会の設置の背景、目的、そのあたりからご紹介をお願いしたいと思います。

森山 近年、電力供給を取り巻く環境が大きく急速に変化しつつあります。例えば、2000年3月からの電力市場部分自由化を始めとした規制緩和、電力供給コスト低減要請のある一方で、これまで以上に電力供給の信頼性、安定性を求める新たな需要家ニーズの高まりが見られること、新エネルギーを初めとしたいわゆる分散型電源の目覚ましい普及などが



森山 善範氏

(資源エネルギー庁 電力・ガス事業部政策課
技術室長)

あるわけです。

こういった状況を踏まえて、電力の供給信頼度や電力品質の維持向上、安価な電力供給、さらには環境負荷の低減に資するこれからの時代にふさわしい新しい電力供給システムとして、今後ますます進展が予想される分散型電源と従来からの大規模電源が協調した電力供給システムが構築できないかということで検討会の設置をお願いいたしました。

大規模電源と分散型電源の協調時代をもたらすには、分散型電源の系統への連系で生じるさまざまな課題を解決する必要があります。一方で、ニーズに対応した今後の電力供給システム実現に関しまして、需要地系統システムですとか、未来型電気エネルギー流通システム（FRIENDS）などさまざまな新しい提案がなされています。このため、本検討会では電力供給システム分野に関して効果的な技術開発の実施など、技術的な課題を解決するための具体的な方策について検討をお願いいたしました。

分散型電源の現状と動向

自家用発電の設備容量は全体の約12%

司会 ただ今のお話でも出てまいりましたが、今後の大規模電源と分散型電源の協調ということが挙がっています。今回の報告書の重要なキーワードは分散型電源だと思います。報告書では分散型電源を「電力需要地内又はその近傍に設置される中、小規模の電源」と表現することとしましたが、一般的に確立された明確な定義があるわけではありません。例えば、平成13年度における自家発電設備の総容量から分散型電源の普及状況を類推することもできるかとも思います。自家用発電設備容量は約3,000万kW、わが国の発電設備2億6,000万kWの約12%に達しています。

司会 分散型電源には、太陽光発電、風力発電といった再生可能エネルギー発電、それから化石系燃料を用いるディーゼルエンジン、ガスエンジン、ガスタービンなどの内燃力発電といった種類があります（表1参照）。後者のカテゴリーに属する常用の内燃力発電は、設置容量の増加が年平均60万kWに達しており、特に近年発電コストの大幅低減が可能な軽油、重油を燃料とするいわゆるモノジェネレーションが堅調に増加しています。また、消防法に基づいて設置が義務づけられている非常用の内燃力発電も年平均の増加が100万kWに近い状況に達しています。

こういった近年の導入状況を踏まえますと、今後も分散型電源の普及が進むものと予想されています。このうち特に「新エネルギー」につきましては、経済産業省の総合資源エネ

表1 分散型電源の種類別普及状況と特徴

	普及状況	普及の特徴
太陽光	21万kW (平成11年度末全国設置総容量)	○日照等の要因により、北海道、東北、北陸は他の地域より導入が少ない
風 力	14万kW (平成12年度末全国設置総容量)	○北海道、東北、九州地域で全体の約8割を占める
内燃力 (常用)	240万kW (平成9～12年全国設置総容量)	○内燃力総容量の約64%がディーゼルエンジンで、出力170kW程度の小型のモノジェネレーションが多い ○ディーゼルは、環境規制の緩やかな都市郊外に普及、ガスエンジンは都市部に普及、ガスタービンは工場等への普及が見られる
内燃力 (非常用)	380万kW (平成9～12年全国設置総容量)	○消防法により設置基準が定められており特徴は見られない

出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構、(社)日本内燃力発電設備協会

注) ●大気汚染防止法では、重油換算で50ℓ/時未満の発電機は、ばい煙処理施設等の環境設備が不要となり、ディーゼルエンジンでみると重油換算で50ℓ/時未満の発電機は、出力170kW程度以下の発電機となる。

●東京都などの一部の都市部では、自治体の排ガス規制強化が進んでおり、出力170万kWのディーゼル発電機でも排煙脱硝装置が必要となることから、設置が少ない。

ルギー調査会において昨年導入目標が立てられています。2010年において太陽光は482万kW、風力は300万kWです。需要家サイドの新エネルギーとも言われている、天然ガスコージェネレーションは464万kW、燃料電池は220万kWというように、いずれもかなり大きな、意欲的な目標になっていると思います。一方で、分散型電源単体の他、系統への連系装置なども含めて、設備コストの低減など、今後の導入量に影響する課題も多いと予想されます。

欧米における技術開発の動向

司会 今回の検討会を進める過程では海外、特にアメリカ、ヨーロッパへは調査団も派遣して技術開発の動向などを調査しました。

アメリカでは、①複数の分散型電源の一括制御により、電力需要ピーク時における電力供給やアンシラリーサービス^(注2)の提供など、電力の供給・系統運用への貢献を可能とする技術（バーチャルパワープラントといったシステムが製品化されている）、②ハイテク工業団地などの地域の限られたエネルギー供給エリアにおいて、需要家の電力品質要求に応じた電力を供給するシステム（パワーパークシステム）、③商業地域や工業団地の限られたエリア内の複数の分散型電源や電力貯蔵装置、電力負荷設備をさまざまに組み合わせて制御・運用し、需要家ニーズに合わせてより効果的な電力供給を行うものなどの研究開発が行われています。

一方、欧州では、2001年9月に再生可能エ

ネルギーの導入に関するEU指令が出されたこともあり、分散型電源の普及促進のための方策が検討されています。昨年12月には分散型電源のエネルギーネットワークへのアクセス促進のためのインテグレーション・プログラムが策定されたと聞いています。

アメリカのプロジェクトの一部のもの、また、このEU（欧州連合）のインテグレーション・プログラムには大学、研究機関、民間企業など、多くの組織が参画しているという状況です。

電力供給システムの将来像

2つの大きな将来ニーズ

—分散型電源導入とIT機器用電力供給品質

司会 このような内外の動向を踏まえつつ、検討会では将来の電力供給システムのあり方を描いていったわけですが、ここで正田先生から今後の電力技術に対するニーズ、そしてそれに対応していく新しい電力供給システムの姿について語って頂きたいと思います。

正田 電力技術に対する将来ニーズは大きく2つに分かれると思います。第1点は、分散型電源です。分散型電源を地球環境問題の解決、エネルギー有効利用の視点、あるいは全体としてのエネルギー利用コストの低減といった視点からより積極的に導入する際、既存の電力システムとうまく整合させ対処してい

(注2) 送電ネットワークを通して顧客に届けられる電気の品質（周波数等）を維持するために、電源・流通設備が一体となったネットワーク機能を通じて行うサービスのこと。

くというのが1つのニーズだと思います。

もう1つは、特に情報技術（IT）の進展による社会の高度情報化の中で、需要家が求める電力の品質について、従来とはかなり違った視点で出てきているのではないかと思います。これはよく言われます瞬停問題、その他いろいろありますが、要するに受ける側の人から言えば、自分の欲する品質の電力が欲しい。もっと極端に言うと、利用機器の供給端の部分で一番望ましい品質の電力をもらえるようにできないかということです。

従来型の電力系統と分散型電源中心の局地的供給ネットワークで対応

正田 検討会の議論でも、これらの課題に対して供給システムをどう構成すれば将来的に適当であるか皆さんからいろいろな意見が出ました。また、世の中には「FRIENDS」,「需要地系統」,海外の「バーチャルパワープラント」などといった多様な構想が既に提示されています。ただ、我々の中では議論を少し収束させる意味で大きく2つに分けています。

1つは従来型の電力系統、専門家の間で「グリッド」と呼ばれているもので、電気事業者が経営する非常に大きな電力系統です（図1参照）。もう1つが分散型電源を中心として需要家に非常に近い部分で局地的に供給するようなネットワークです（図2参照）。この2種類がこれから併立して存在していくのではないかと思います。特に後者の地域供給系、つまり、1つあるいは幾つかのビルに対して供給するものや、副都心のような地域全体をカバーするエリア供給といったものが多様に出てくるでしょう。その中で、両者の関係を



正田 英介氏
(東京理科大学 理工学部教授)

どう整理するかということで、我々はそれら全体を「電力ネットワークシステム」という名前でとらえているわけです。ですから、「電力ネットワークシステム」にはグリッドとそれに接続される地域供給系統などが存在します。

分散型電源関連では3つのバリエーション

正田 分散型電源との関連では、①電力ネットワーク自体が性質の異なる分散型電源をすべて吸収して従来どおりのオペレーションで動いていく形、②全体としての安定供給を保ち、また、ある要求された品質の電力を保つために、従来の電力系統が入ってきた分散型電源から情報をもって運用制御をするようなケース、③地域供給系自身が自分で情報を集めて、安定な制御、安定な供給、安定な品質の電力を与える形というような3つのバリエーションがあり得るのではないかと考えています。

需要家システムの将来像

正田 最近の私たちの職場や家庭を考えていただければ分かりますように、コンピューター、エアコン、冷蔵庫のようなモーターが回っている電化製品もあり、多様な形で電力を利用しています。

(1) 品質別の電力供給および需要家サイドの パワーコンディショニング

正田 このように需要家の中でも非常に多様な電力を使っていますので、需要家自身が受けた電力をその品質に合わせて使うという考え方もあります。典型例が、UPSといわれる無停電電源装置です。こういうものが多くのビルの中、あるいは工場の中でIT装置などの電源として現在使われています。仮に電力系統の方で外乱があってもそういうものを通して質のいい電気を自分の所で必要部分に供給する装置です。

こういう需要家が使っているシステムについてもいかにその品質を上げていくか、あるいは負荷機器の要求にに応じていくかということが電力供給システムの将来像の中では大変大事なことです。同時に、このように需要家が個別に多様な電力をつくってくれば供給端での電力コストの低減も図れますから、そういう電力を集約して、品質の違った電力を供給するシステムというのも考えられるかも知れません。アメリカの「パワーオリティパーク」はそういう性質のものですが、これも需要家のシステムの将来像として現われてくるのではないかとと思っています。

このような需要家側で作られるシステムが発展していきますと、先ほどの3つのネットワ

ークシステムのうち、地域供給系とほとんど似たものになってくるので、その辺の境目がはっきりしないという問題も起こってくると考えられます。

(2) ITの利用等による需要家の電気利用総合システム

正田 このようなシステムの運用・管理・保守のすべてを通じてある種の情報が必要とされます。

センサーを例にとりますと、電力の量を瞬時瞬時に測って、その情報をやりとりするには現在の電力量計では不十分だという話があります。さらにより複雑なメーターも考えられます。また、電力品質を商取引上ははっきりと契約で取り上げていこうとすれば、電力品質を測る「パワーオリティメータ」というものも必要になってきます。そういったセンサー類の充実が求められてきます。

さらにそういう情報を集めて、系統との間、地域の供給系との間、あるいは1需要家のシステムのコントロールセンターとの間で情報交換をする通信システムをどのようにするのか、あるいは、そこでの情報制御の原理をどうとるのかといった測定以外の問題もあります。こういう非常に幅の広いIT利用の革新が電力供給システムの中で要求されているわけですから。あるいは、そういうものを実現したものが新しい電力供給システムであるとも考えられるわけです。

通信システムについていえば、現在のインターネットのように非常に汎用性の高いシステムで安いものをいかに、従来の信頼性の高い電力システムの中に取り込んでいくかというのも、この将来システムを構築する1つの

課題ではないかと思っています。

同時にこのようなITネットワークが需要家と電力ネットワークとの間に確立されれば、DSM（デマンド・サイド・マネジメント）や多様な情報サービスの提供にも役立つでしょう。

4つのフェーズがある技術開発課題

司会 電力技術へのニーズから、将来像につきお話を頂きましたが、正田先生から引き続き、将来像を実現していく上での技術開発課題のポイントのご紹介をお願いいたします。

正田 具体的な技術開発課題については、実際問題として、①ハードの問題、②ソフトの問題、③系統構成に関わる問題、④需要家に関わる問題の4つのフェーズが存在するという点が今までと非常に違うのではないかと考えています。

以下、それらの中から代表的な課題を紹介します。

(1) 分散型電源の自律分散制御

正田 個別の分散型電源自体が独立して、個別の需要家やネットワークに安定的に電力を供給でき、所要の信頼度や品質を維持できるかという問題があります。特に分散型電源には、太陽光、風力のような再生可能エネルギーが入ってくると思いますから、自律制御が可能かどうかというのが1つの大きな課題です。

(2) 分散型電源の群制御

正田 さらに、より大きな供給システムにな

ってきますと、分散型電源が群として運転されます。群として運転をすることによって再生可能エネルギー源の不安定要因などはかなり解消できるかと思いますが、変動が大きく電源としての性質の多様な多数の電源をいかに群として制御するか的方式も研究が必要です。また、群として制御した場合、従来大きな電力システムで巨大システムであるがゆえにカバーされていたいろいろな補助的なサービス、例えば、負荷が急激に変動しているのに電圧が変わらないとか、周波数が変わらなといった付加的な品質上のサービスを、分散型電源の群でどう提供していくかという課題もあります。

(3) 電力貯蔵装置の系統利用

正田 そうした場合、多分、電源だけで十分な制御性をカバーするのは大変難しいと思いますので、現在ハード面での技術開発が進んでいるバッテリーなどの電力貯蔵装置をどう運用制御するのかというソフトの問題が出てくることになります。

(4) 系統構成機器の制御

正田 もう1つの対処の方法として、ネットワークの系統構成そのものも固定的としなくて、ある程度可変的に考えていく必要があります。ただ、単純に受け身的なシステムとして性能を発揮するのではなく、系統構成を切り換えることによってより品質の高い電力を供給したり、安定度を出すということが求められるでしょう。そういう新しい構成をとるためのトランスファスイッチ、あるいは限流器といった機器が望まれてくるわけです。先ほどの電力貯蔵装置とあわせて、そういう新

しい技術に対する開発の要因が存在するかと思います。同時に、これらをまとめ、通信しながら制御するわけで、制御手法の開発は勿論として基盤としての通信制御技術機器やトランスファスイッチを実現したり、個々の電源を制御したりするためのパワーエレクトロニクスが基盤技術として求められてくることになります。

(5) パワーコンディショニング

正田 一方、需要家システム内の新しい課題として、パワーコンディショニングが電力品質維持のために必要となります。その場合、分散型電源や自家発電装置が介在しますとパワーコンディショニングにどのような関係を持たせていくのかも課題です。単純に供給電圧と周波数を一定にするという条件ではなく、電源からの妨害、あるいは負荷側からの妨害をすべて吸収した形で望ましい電力が供給できるようにするための制御が必要です。

同時に、地球環境問題の視点から、いかにエネルギーを有効利用するかに配慮すれば、家庭用のHEMS、ビル用のBEMS、地域用のDEMSといったエネルギー管理システムをいかに需要家のシステムの中に組み込んでいくか。また、その効果をユーザーに対して分かりやすい形で示すことも必要であると思います。

一方、ハード的に言いますと、UPS技術はもとより、やはり簡易な貯蔵技術も需要家用として必要になってくると思います。

機器の制御のための通信を確保するために、汎用情報ネットワークの利用、測定器、あるいは通信系の問題というのが需要家システム用としてもさらに関わってくると思います。そんなことが技術開発の課題として挙げられると思います。



熊谷 鋭氏
(電気事業連合会 技術開発部長)

電力流通システムにおける 技術開発の現状

司会 ここで各業界からお見えの3人の方々からもそれぞれの業界の技術開発の実情などについてお話しいただければと思います。まず、電力流通システム分野を中心としまして熊谷部長からお願いいたします。

熊谷 電力では、発電から送電、配電、そしてお客さまにわたるいろいろな分野の技術開発を行っています。これは電力の供給責任を果たすとともに、お客さまの信頼を獲得していくために、価格の低減、電力品質確保、また公益的課題への対応としてエネルギーセキュリティの確保、地球環境保全対策などに取り組んでいます。特に今は、設備をいかに効率的に使うかということから、設備の診断技術、余寿命評価技術、寿命延伸技術、といったところにも力を入れています。

電力流通システムに関わる技術開発は、これまで超高压長距離大電力送電技術や基幹系統連系強化技術等の開発を推進してきました。今後も電力の品質確保を図るため、将来的な系統技術および系統シミュレーション技術等について検討を進めるとともに、風害・雷害対策技術や絶縁技術等の電力基盤技術の研究にも継続的に取り組んでいきます。

高压の流通システムの技術開発は一般的に電力各社が独自に行っています。系統システムは地域性などにより条件の違いで対応が大きく異なるからです。例えば、系統につながっている分散型電源を見ても、西日本は太陽光発電、東日本、南九州および沖縄は風力発電、都市部は主にガスとかディーゼル発電といった導入普及の特徴があります。それらの電源の特徴に対して個別に対応していく必要があるからです。

配電設備は配電線ごとにいろいろな条件が異なります。架空線か、地中線であるか、線の太さ、配電線の長さ、また系統に繋がっている負荷の条件というものが異なれば、その対応もそれぞれ異なってきます。

さらに、発生する事故も種類はさまざまで、同一事故でも、その事故点が線路の始端で発生したのか、中間か末端かなど、また事故内容によってもまったく違った対応をしなければなりません。従って、現状ではそういう幾つものパラメータを持つネットワークについて、各社が配電線ごとに条件を変えてシミュレーション解析をして、その中で必要となる技術開発を行っているわけです。これは今後と同じような手法をとっていくものと考えます。なお、今後、分散型電源が大量に入るとなれば、違うパラメータを考慮しつつ、シミュレーション解析しながら必要な技術開発を

行っていくことになると思います。

流通システム分野における最近の技術開発項目の例をあげますと、周波数調整、系統安定、負荷変動補償および自然エネルギー電源安定化等の系統制御上のメリットならびに負荷平準化による設備運用の合理化、それから設備投資の抑制というような観点から、NaS電池、レドックスフロー電池の新型電池の開発を行っております。また、超電導応用の1つでありますSME Sなど電力貯蔵の技術開発も行っています。

その他、損失の低減、設備のコンパクト化に有効な超電導ケーブルなどの開発も進めています。これらの技術は配電系だけでなく、大中小の規模を問わず系統への導入を目指しています。

ガス業界における技術開発

司会 続きまして分散型電源を中心に岡本様からお願いいたします。

岡本 分散型電源とは、なかなか摘みどころのない対象ですが、最終報告を頂きましたら、新たに分散電源の定義をして頂いており、作業をされた事務局に敬意を表する次第です。

分散型電源の種類は多く、またエネルギーソースは広範です。私どもがやってきたことはその中のコージェネレーションですので、そこを中心にお話しさせて頂きたいと思っています。

日本コージェネレーション研究会の最新のデータを見ると累積容量で604万kWですから、日本の総電源容量を約200GWとすると、コー

ジェネレーションは約3%のシェアです。その中で天然ガスコージェネレーションは現在200万kW程度ですので、これを2010年に464万kWにまで伸ばすという総合エネルギー調査会の新エネルギー導入目標を達成するには大変な努力が要ると思っています。

民生用コージェネレーションの歴史はわりと新しく、本格導入は昭和59年（1984年）に浜松町に建てた私どもの本社ビルが初めてだったのではないかと思います。当時はまだ系統連系ができませんでした。その後、昭和61年（1986年）8月に、資源エネルギー庁のコージェネレーション運営基準検討委員会報告に基づき系統連系技術要件ガイドラインができました。それを受けて初めて我々も系統連系運転ができるようになりました。

このガイドラインは、当初特別高圧、高圧について定められましたが、その後もスポットネットワーク、低圧配電線という具合に何回にもわたり整備されて来ました。その間、経済産業省、あるいは電力会社さんに大変お世話になったことをこの場を借りて御礼申し上げます。

ガス業界の技術開発の現状

(1) 発電機関係のハード関係

岡本 国の予算を頂きまして、昭和63年頃に「ACT90」という技術研究組合によるプロジェクトがありました。ここではガスエンジン、ガスタービンといった内燃機関を使ったコージェネレーションの開発を行ないました。その後、燃料電池については磷酸形、熔融炭酸塩形、最近ではPEFC（固体高分子形燃料電池）について国のご指導を受けながら開発を進めています。



岡 本 洋 三 氏

（東京ガス 役員待遇エグゼクティブ・スペシャリスト）
エネルギー営業本部 技術統括

(2) 連系関係

岡本 先ほどお話したように民生用については昭和61年になって初めて連系が可能となりました。当時は系統連系保護リレーが非常に高価だということで、リレーをユニット化して低価格化するための技術開発を進めてきました。また、逆潮流連系を行うために系統シミュレーションを行いガイドラインの改定にもいろいろ協力させていただきました。

これを受けて、単独運転検出装置による逆潮流が可能となった平成6年頃には、逆潮流有りを実現する単独運転検出装置をメーカーさんと共同で開発しました。停電時にコージェネレーションから重要負荷に電力供給を行うための「ジェネライブ」という停電時生き残りシステムの開発もやりました。コージェネレーションからは少しずつですが、最近、エヌ・ティ・ティ・ファシリティーズさん、大阪ガスさんと(株)エネネットという電力の小売会社を設立し事業展開しておりますが、(株)エネネットでは今話題の同時同量に関連する技術開発を行いました。同時同量を達成するには設

備費が高価だったり、オペレーション費がかかったり、さらには発電所に非経済運転を強いるといった問題もあり、今後は技術面だけでなく制度的な検討も行ってゆく必要があるのではないかと考えています。

(3) 今後の技術開発

岡本 ハード面については、電力自由化に伴いコージェネレーションの付加価値をもっと増やさなければいけないと考えています。それで、効率を高くする、環境性を良くする、信頼性を上げる、あるいは低廉化するという技術開発をやっています。そのうち連系関係では、リレーのような機器そのものは既にかなり安くなり、さらに低廉化できる余地はあまりありません。今後は、例えば「受電点にリレーを設置しないで良い」「現場の工事は要らない」というような発想の転換が必要ではないかと考えています。

ソフト面ですと、今までややコージェネレーションは系統にぶら下がっている、言ってみれば系統の「厄介者」という扱いではなかったかと思います。今後は、系統にも貢献するコージェネレーションになる必要があるだろうということで、例えば自律分散制御とか、ガバナフリー制御、電圧制御等の技術開発を行いアンシラリーサービスの提供もできるコージェネレーションに生まれ変わりたいと思っています。この辺は分散型電源自身の開発の問題もありますが、そうした分散型電源を導入してネットワークが本当にうまく機能するかを評価するシステムも開発する必要があると思っています。

それから、アメリカ、EUでのITを使ったコージェネレーションの運用法を学んで、魅



武井 務 氏

(エヌ・ティ・ティ・ファシリティーズ常務取締役
パワーソリューション事業推進本部長)

力を増す道具にしていきたいと考えているわけです。

需要家サイドの電源関係

司会 引き続きまして武井常務から、需要家関連を中心にお話をいただければと思います。

武井

需要家における電力供給システムは、従来、電力会社から給電された電力を所要の電源種別に変換し所定の供給品質と信頼度を担保して負荷システムに供給するという役割を担ってきました。このために電力変換装置類と非常用発電装置・蓄電池等の予備電源を組合せて要求条件に合う電源をいかに低コストで提供するかに腐心してきました。

これは与えられた電力をどう上手くハンドリングするかと言った受身の仕事だったように思います。

ところが最近、需要家システムへの要求条件に、地球環境や電力自由化への対応、IT機器への配慮等が求められるようになり、クリーンエネルギー・システムやコージェネレーションといった分散型電源の導入、電力貯蔵の活用、高信頼度電源の設置等が広範囲に行われるようになってきています。

すなわち、従来とは比較にならないほど広範・多岐にわたる電源機器を活用して主体的、能動的なシステム構築が望まれていると言えます。

例えば、需要家システムのエネルギーソースを決めるにしても、かつては電力会社の商用電源が一般的でしたが、現在は電力自由化の進展により電力事業者からの買電が可能となった他、地球環境面から太陽電池や風力発電の活用、エネルギー利用向上の観点からコージェネシステムの導入等多くの選択肢があります。これらの中から利用形態との整合、品質、コスト面等からの検討によりシステムを決めていきますが、最近はその長所を組み合わせる複合型のシステムも多く見られます。この中で期待と注目を集めているシステムはマイクロガスタービンと燃料電池ではないでしょうか。

また、負荷システムへの給電品質や信頼性についても、多様な電化製品の普及やITの進展に伴い、その要求レベルは多種多様であり、従来の停電を許容する電源システムから無停電のUPSや直流給電システムといったように、これに応える電力変換システムも多くのパリエーションが必要になっています。

需要家システムにおいて、信頼性を確保するには一般に電力貯蔵装置が必要になります。これは一般には鉛蓄電池が使われますが、これも従来の液式のものからメンテナンスフリ

ーなシール鉛蓄電池に替わってきています。将来は、エネルギー密度の高いリチウム電池への転換やスーパーキャパシター、フライホイール、超伝導などを使った電力貯蔵装置の利用が考えられます。

全体のシステム構成についても、最近は地球環境といったことも大きく取り上げられ、地球環境に優しいかどうか、エネルギー利用効率がどうかといったことも考えなければいけません。

エネルギーソース、電力貯蔵、パワーコンディショニングする多様な機器で需要家システムは構築されますが、個々の装置の技術開発の重要性はもとより、これらをどう組み合わせたらいいのかという辺りに、技術ノウハウを使う部分が多いのだろーうと思います。また、ITを活用して装置単体のコントロールを行うだけでなく、システム全体の最適制御を行うエネルギーマネジメントシステムも重要になってきます。

直流電力が好ましいか—商用電源との連系

武井　ところで、需要家サイドでこれからの課題を考えると、IT時代の到来により給電品質の問題、特に信頼性の向上がクローズアップされてきます。日本国内の商用電源の品質は世界でも高いレベルにあると思われますが、これから導入されるIT機器はそれよりも一段高い信頼性を要求し、米国では社会インフラを支えるITシステムともなると、非常に信頼性の高いテン・ナインの品質（不稼働率）を要求すると言われています。商用電源で不足する信頼性を補完するにはバックアップ電源を必要としますが、これを50/60Hzといった交流（AC）レベルで行おうとすると

技術・コストと共に一番難しいのは商用電源との連系といえます。これを直流（DC）レベルで行えば電圧レベルを合わせるだけで、逆潮などの問題も起きなくなります。

また、最近ではIT機器の電力の最終使用形態がほとんど直流となっていることや信頼性を確保するためのバックアップ用電力貯蔵装置は一般に蓄電池が用いられていることから、IT時代の電源は直流給電にすべきではないかと考えています。この背景にはパワーエレクトロニクス的发展により直流の電力変換が容易になったことと共に将来の分散型電源として有望なマイクロタービンや燃料電池との接続が容易であるということもあります。

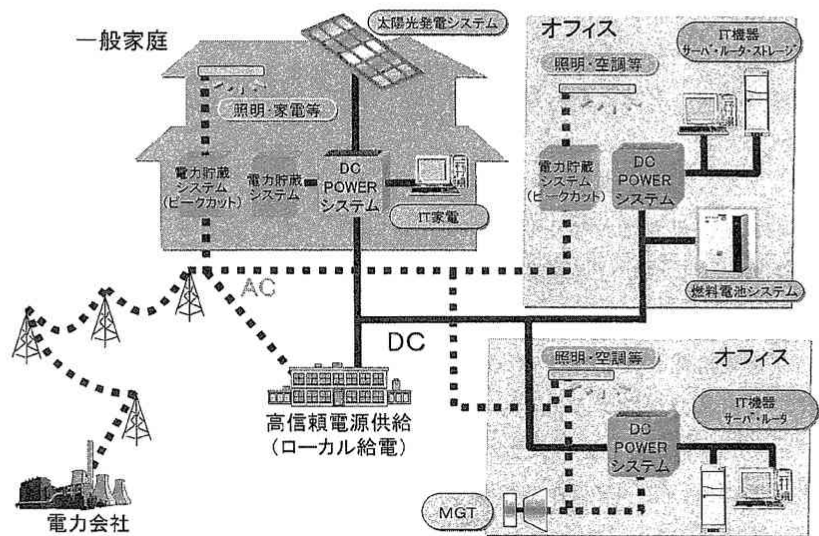
また、蓄電池や将来の超伝導等を用いた電力貯蔵装置を中心に直流でいろいろな電源をつなぎ、需要家としてベストミックスでいろんなシステムが組めるのではないかとということも魅力の1つです。将来、一定規模の需要地で各種分散型電源とIT負荷設備を直流給電で結んだ時のイメージは図3のとおりで、

所要信頼度別に電源の最適化が図れる他、地域内のエネルギー発生と消費をベストミックスすることやバーチャルパワープラントを構築することも容易にできると考えています。そうすれば、例えば、私どもの関連会社のエネットと電力融通契約を結べば、地域内の需要変動を相互調整したり、緊急の需要が発生した場合は負荷電力コントロールと分散型電源により対応するといったことも可能となります。

ただ、その前提にはITシステムとのインターフェイスが全部統一されていないといけないという話もあります。

今後考えていくこと

武井 これからの需要家システムは、平たく言うと、品質と信頼性、地球環境を天秤にかけて最終的にはコストで決めることになるだろうと思います。そのコストについても、分散型電源の場合かなり燃料関係のコストが支



出所：(株) エヌ・ティ・ティ・ファシリティーズ

図3 直流給電で結ぶ各種分散型電源とIT負荷設備

配的です。この燃料価格の変動がシステムの採算性を変えてしまうので、中長期で安定的に導入していくことを難しくしている要因となっています。分散型電源の場合には、装置コストを下げるだけでなく、燃料の安定供給も重要なファクターになるのではないかと考えています。

需要家側の負荷システムも、家庭を例に取れば、これまでは商用電源で充足できる洗濯機、冷蔵庫といった設備が中心でしたが、近年はデジタル家電、パソコン、老人福祉関係機器、さらにはセキュリティーといったものまでが、エネルギーに関わってくるようになりました。それもかなり要求信頼性が高くなっていくということで、それをどうしたらよいか考えています。多分、商用電源の信頼性では足りないものが結構ありますので、それに合わせた電源を過剰でない範囲でセットしていく必要があります。その時に分散型電源を組み合わせることで、信頼性のある程度確保する。それでも足りなければ電力貯蔵的なもので対応することになるのではないかと考えています。ですから電源貯蔵から分散電源、そして系統連系、この辺の技術開発がこれからかなり重要になってくると思っています。

電力ネットワーク技術開発の戦略

2010年頃までのロードマップ

司会 先程、正田先生からお話し頂きました将来像のもと今後の技術開発の基本的戦略の進め方という総括的な話題に移りたいと思い

ます。新しい電力ネットワークシステムに関する技術開発を進めるに当たっての戦略につき森山室長からお伺いしたいと思います。

森山 今回ご提案頂きました新しい電力ネットワークシステムの将来像には、さまざまなものがあります。それを実現する技術的方策もいろいろとあります。また、分散型電源の導入量、導入箇所、導入時期、そもそも配電形態がどうなっているかといったことによっても異なってくると考えられます。このため、今後、2年程度でそれぞれのコンセプトについてフィージビリティスタディを行って、システムの基盤となる個別技術の基本要件の整理やシステムの評価を実施して、2010年頃の技術確立を想定したロードマップ（図4参照）を策定して頂きました。

特に今後2年程度で各電力ネットワークシステムとしてのコンセプトを明確にし、モデル化して、コンピューター上でのシミュレーションによる系統影響評価などによって、システムの導入効果を検討していきたいと考えています。

また、そのシミュレーションの過程や結果から、システムを構成する各種機器、制御ソフト、通信仕様等の具備すべき技術要件を整理して、各システムの基本設計とそれらを構成する個別技術の開発の進め方を策定する計画です。また、こういった技術開発を進めるに当たって大変重要な点は、分散型電源の導入、あるいはITを始めとする通信制御技術の進展というものが大変目覚ましく、今後急速な技術革新が進むと考えられます。また、電力を取り巻く環境も非常に大きく変化していくということが予想されるわけです。従っ

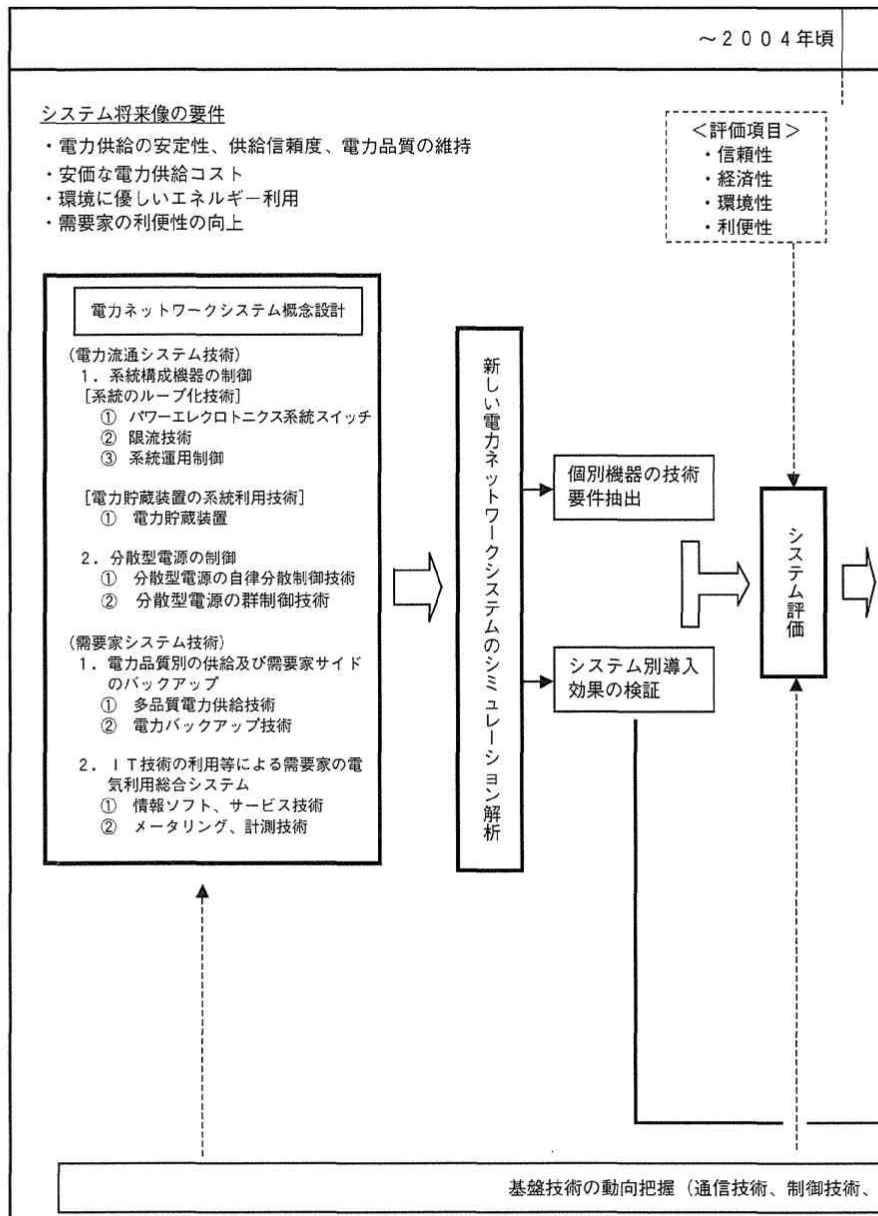
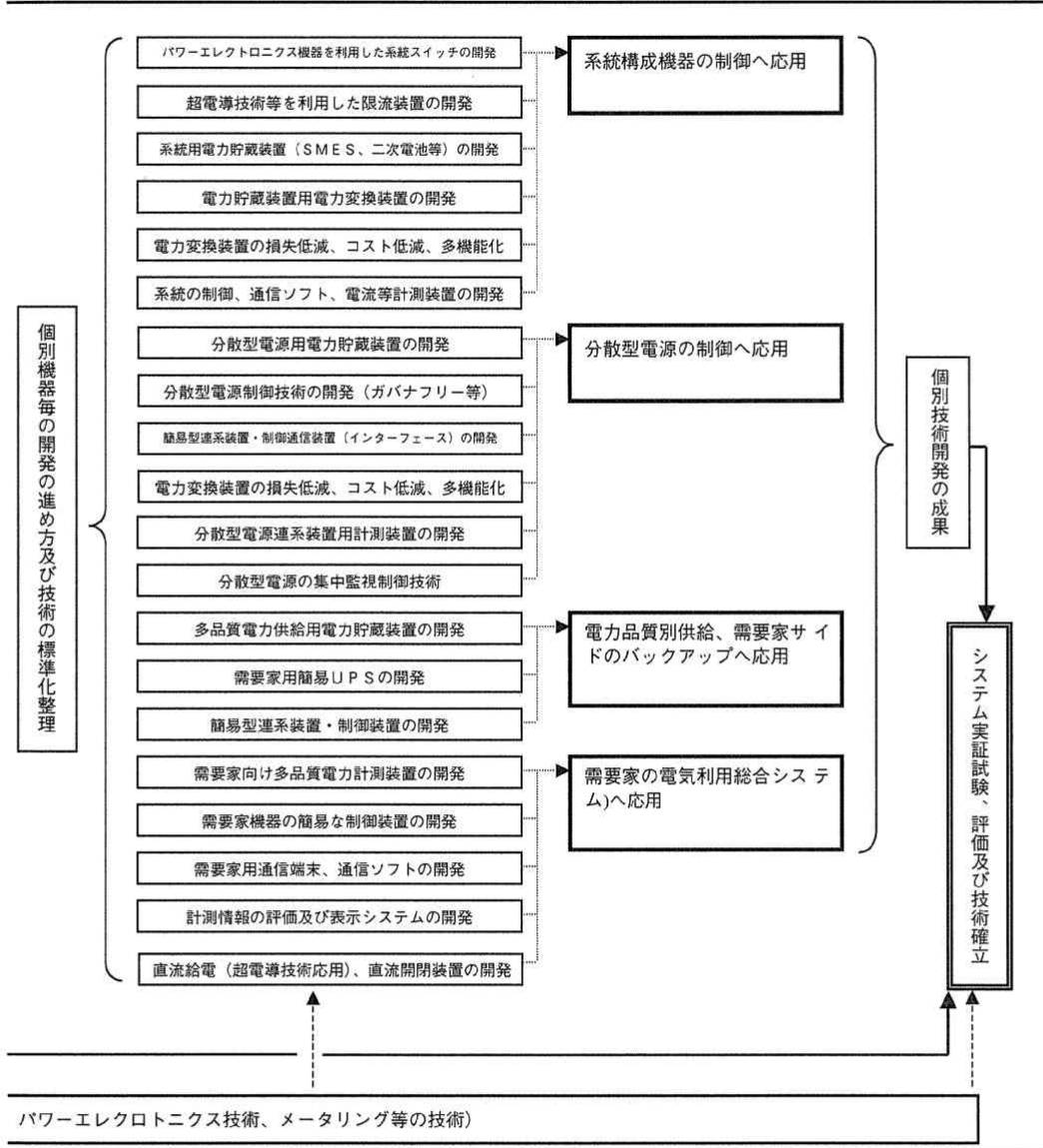


図4 新しい電力ネットワークシステムに係る技術開発ロードマップ



出所：「新電力供給システム技術検討会」報告書

て、こういった変化に柔軟に対応できるような技術開発が必要だと考えています。また、同時に、従来ありがちなすべての技術開発が完了して技術が確立していくといったようなものでは決してなくて、技術開発の過程で実用化に至ったり、研究開発の中で見出されるいろんな技術シーズが他の分野の技術ニーズと融合して新たなビジネスの創出につながるものもあると考えられます。従って、早期の市場導入、波及効果についても常に考えておく必要があると思っています。

円滑な技術開発のための戦略、体制等

多くの参加・協力と国際的な視点

(1) 多種多様な企業の参加協力の必要性

森山 今後早急に将来像の実現可能性検討とその技術開発に着手する必要がありますが、ほとんどがまだコンセプト段階です。これを効果的に進めていくには産学官の連系は当然ですが、やはり多種多様な企業や研究者の方々の参加協力、情報交換、共同研究、新しいビジネスモデルの創出を促進していくということが必要だろうと思っています。率直な感想として、今回の検討会では私どもが当初予想した以上の成果があったと思っています。それは、やはりこの検討会に多くのいろんな方々が参加され、触発し合い、いろんなアイデアを出し合いながら、いろんな情報を持ち寄りながら議論した結果だろうと思います。

今後、現実的かつ実践的に技術開発を進めていくために、議論やテーマを絞っていく必

要があります。新しいことを実現していくためには、やはり多様な価値観を持ち込む必要がありますので、できるだけ多くの人の情報ネットワークができるような形での取り組みができればと思っています。

(2) 国際的視点の重要性

森山 諸外国でもさまざまな検討が進められています。最近、開発途上国でも分散型電源システムを用いた地方電化に対する期待が大きくなってきています。新しい技術の普及を考えた場合にはどうしても国際標準化が大事だと思います。ですから、この分野の技術開発や実用化を図っていくには、どうしても国際的な視点が不可欠だろうと思っています。

(3) 早急な具体化と実用化が重要となるコンセプトの実現

正田 新しい電力供給システムのコンセプトには、2つの問題があります。1つは、キーワードは出ているのだが中身がはっきりしないという問題です。分散型電源というのはまさにそうだという話があります。もう1つは、具体的なものであっても使い方がまったく分からないという問題です。例えば、マイクロガスタービンにしても、それはある特定の目的に使われる部分だけが強調されて、システムの中の要求要素として考えた時にどこまで期待にやってくれるのか余り明確ではないわけです。

今後の検討の方向性として、コンセプト自体を固めていくことが、使う方の立場からも、つくる方の立場からも非常に大事なことだと思います。その場合、いろいろなプログラムが考えられているわけですが、私は余り長い

時間をかけても仕方がないのではないかと思います。つまり、技術の進展は非常に速く、また動きの速い諸外国と競争しているという状態で完璧なものができるまで議論を続けていても何もならない。検討を進めながら、それを部分的にでもいかに実用化していくのか。限られた規模で実際に使ってみるということをやうまく織り込んでいくことが非常に大事なことだと思います。

(4) 国際的展開のために重要な物差しの統一

正田 電力の質の差を除けば、こういう技術というのは途上国でも非常に求められている技術です。日本が産業として外へ出ていって商売できるという意味もあります。物づくりの側面でもありますし、システムを輸出する、あるいはシステムを設計する、運用する、あるいは保守するという、いろんなビジネス展開もあり得ると思います。しかし、外に出ていくという意味で、国際的な展開に注意する必要があると思っています。

コンセプト自体ははっきりしているわけですから、その中で物差しを何にするかという問題も含めて、物差しを統一することが必要なのではないかと思います。いろいろな方が電力貯蔵装置がこういった新しい供給システムの中で重要であると強調されています。例えば、電池1つ取ってみても、それを負荷平準化で使う時と、瞬停防止に使う時、あるいは自動周波数制御（AFC）運転で使っている時とでは電池の負担は全然違うのですが、電池の性能についてメーカーに伺ってもはっきりしません。あるいは、そのような使い方に対して標準的な試験方法は何なのかという点が余り明確になっていません。また、

電池そのものの性能の規格はできていても、こういうシステムの中で使うための規格というのはまだはっきりしていない部分があります。

そういう規格が国際的に用いられるのですから、かなり早い時期から国際的な展開を視野に入れてこの問題を評価して、デファクト・スタンダード（事実上の標準）としての情報発信に展開していく必要があるのではないかと私は思っています。

技術の標準化

司会 ただ今、技術の標準化ということにもお話しが及びました。この標準化に関しまして業界の方々からお話し頂ければと思います。

(1) 電力業界の機器標準化の現状

熊谷 電力での流通設備における機器の標準化ですが、規模の大きい送変電機器類（遮断器、変圧器、避雷器、碍子、電線など）については、機器コストの低減や国際調達に配慮した機器仕様を明確化するために、汎用性の高いものについて数年前から標準化作業を行ってきました。最近それも終わり、かなり標準化が進んできています。標準化の考え方として、①JIS（日本工業規格）、JEC（日本電気規格調査会標準規格）などの公認された諸規格にできるだけ準拠する。②コスト低減に効果が期待できるものについては、IEC（国際電気標準会議）などの国際規格を受け入れる。③基本構造設計に関わる部分については、仕様を統一し、設計および製造の合理化を図る。④メーカーの新規開発意欲を阻害しないよう十分配慮するなどといったとこ



稲葉 裕俊 氏

(エネルギー総合工学研究所 専務理事)

ろに留意しながら標準化を行いました。

一方、配電系機器の標準化については、全国的規模での標準化は多くありません。これは製品開発の進歩が非常に速く、また地域性が要求されるということで、標準化のメリットがありません。しかし、安くて良い製品はその地域でどんどん導入されて、デファクト・スタンダードになっているのが現状だと思います。

そう言いながらも新製品、新規導入機器類のうち、使用インターバルが長い製品および計量器などであまり地域性がないものについては、やはり標準化することによって大きなメリットが出てくるのではないかと考えます。

(2) ガス業界の機器標準化の現状

岡本 コージェネレーションが中心になりますが、コージェネレーションの本体、すなわち発電設備に関しては、経済産業省のご指導もあって10年ぐらい前から標準化に取り組ん

できました。昨年ようやくコージェネレーションに係わるガスエンジン、ガスタービン発電設備のJIS規格ができたところです。これはISO（国際標準化機構）を下敷きにしています。日本だと日本内燃機関連合会、世界的にはCIMAC（国際燃焼機関会議）が比較的早くから標準化に取り組んでいます。ということで、発電設備の方はかなり標準化が進んでいると思います。

次に、そういったものを合理的に運転保守管理するという課題があります。コージェネレーションはあちらこちらに沢山設置されていますから、それをいかに合理的に運転管理するか、あるいは低廉に保守管理するかが重要になるわけです。今、各メーカーがそれを通信線で結んで管理することを始めていますが、そのプロトコルは統一されていないのが現状です。この辺りは、ビル管理業界などで取り組んでいるバックネット（BACnet）^(注3)やロンワークス（LONWORKS）^(注4)とかと協調してやっていく必要があるのではないかと考えています。

(株)エネットの話に戻りますと、電力の計量（メータリング）問題があり、現在コスト上昇要因になっています。そこで、この辺が改善されると、(株)エネットのような新規参入者が市場参入しやすくなるのではないかと思います。例えば、同時同量制度の緩和、ロードプロファイリングの導入、電力会社のメータへのアクセス可能化などです。これらに関する技術開発を進めていく必要があるでしょう。

(注3) ASHRAE（米国冷暖房空調工業会）が主動的な役割を果たして推進したビル設備システム通信の標準規格。1995年にはANSI/ASHRAE規格135-1995として米国で規格化された。

(注4) ミエシェロン社（Echelon Corporation）が開発した知的分散制御ネットワーク技術。ビルオートメーションを始め、エネルギー監視制御や輸送システム監視制御、ホームオートメーションにまで導入されている。

(3) 需要家サイドにとっての標準化

武井 需要家サイドでシステムを設計する場合、その構成要素である各装置が事故等に遭遇した場合や技術進歩で陳腐化したとき等は、代替品があり交換できることが必須条件となります。このために必要なのが装置の標準化ですが、技術が確立した装置はともかくとして新たに開発したものはなかなか標準化が進まず、装置・部品類の互換性が取れないといったケースがよく見受けられます。標準化の遅れはシステムの開発効率にも大きな影響があり、それぞれが勝手な規格で開発を行えば研究実用化稼働の重複と規格統一のための調整作業が発生します。

現在、主要な電力装置の大まかなところの規格はほぼ揃っています。ただ、専門的な機器の範疇、例えば、UPSでは各種の方式があり、詳細部分は違うのが現状です。そうすると、停電時の切換え動作とかで規格が統一されていない、やってみないと分からないということが結構あります。電磁防護関係の規格も日本と諸外国で規定がかなり違っています。本当は輸入品でもそのまま持ってきて使えるはずなのに、ノイズが入ってきて使えないといったことが結構あります。

それに、問題なのが非常時の動作です。その時、外部へどう信号を出すのか。例えば、UPSの停止には、故障で停止する場合と、バッテリーの容量が足りなくなり自ら停止する場合とがありますが、その時にコンピューター側に信号を送出します。現在これも、デファクト・スタンダードである米APC社のものが採用されていますが、これが必ずしもコンピューター側の動作と一致していないのです。すると、それに合わせてソフトを組まな

ければいけないということも起こっています。これは以外と大変なことだと思っています。

多くの会社が開発競争をしていると、なかなか標準化が進まず、先に実用化して市場を占有したものがデファクト・スタンダードになるケースが多々見受けられます。でもデファクト・スタンダードができるのを待っていると普及が思うに任せないという状況に陥ります。ですから、有力な研究機関や会社に早めに標準化を手掛けてもらって調整してもらうということは、需要家サイドにとっては非常にありがたいし、ぜひそういうことを進めて欲しいと思っています。

最近、標準化が複雑になった理由に、システムにIT技術が導入され、そのインターフェイス統一が難しいという問題があります。先ほど岡本さんが言われたオープンネットワーク化を可能とする技術でもバックネットとかロンワークとか、いろいろなものが出てきておりますが、群雄割拠で本命が出てこない、どれを採用したらいいのか分からないといった状態です。

電力供給側の機器と制御・監視をする機器のインターフェイスはどこかで一元的にやっていかないと、トータルのエネルギーをコントロールしようにも、複数のメーカー機器の間で制御ができないという事態になりかねません。機器をつくっている側からしますと、「オリジナリティーを打出して差別化したい」という事情がありますから、自社が勝てると思ったら絶対よその会社に譲らないというようなこともあります。この辺はなにか政策的な取組みが必要かも知れないという気がしています。

放っておくと、分散型電源をベストミックス

スすればエネルギーを調整できるという話も夢物語になってしまうかも知れないと心配しています。インターフェイスの一元化を早急に進めるための仕組み作りが今求められていると思います。

海外での標準化の動向を注視する必要性

司会 この標準化の問題についてさらに正田先生に補って頂ける点などありましたらお願いいたします。

正田 国際的な動きから言うと、電力ネットワークシステム技術に関わるエリアには、運転、保守、サービスがかなり入ってきています。国際的な標準化の世界では、最近、設備やシステム自体のサービスに関する標準化も行われています。例えば、一種の設計に類する話ですけれども、設計の仕方として、どういう情報をどう取ってどうやるべきかといった指針があります。あるいは、安全評価をするときにソフトの安全性をどう見るのかということについても、国際標準化が進んでいます。日本では余り知られていないのですが、かなり明確な厚い資料が出てきています。電力供給についても、そういう部分について日本が遅れないように、この技術開発の中で対応していくということが非常に大事になります。

技術の標準化に関連して、システムの安全性、環境性を維持しようとする、そのシステムが完全に働くということを国なり当事者間なりで認証するためのしっかりした仕掛けが必要です。海外の先進国では十分に整備されています。そういうものについても注意

しておかないと、個別の標準化は進むんですが、実際にできたものは別の指標で測られてしまって何もできないということになると思います。設備としての標準化というのは大幅の広い問題を含んでいて、そこまで目を向けていく必要があるということがネットワーク技術の1つの問題点だと思っています。

それからもう1つ。電力ネットワーク技術についてはパワーエレクトロニクスが極めて大事な基盤技術であるという話をしたのですが、実は最近、日本のパワーエレクトロニクスは国際的にもかなり調子が悪くなっています。結局、海外と日本とで素子の種類の数がべらぼうに違うということが背景にあるようです。要するに、日本は非常にたくさんの素子の系列を電圧でも電流でも持っていて、お客さまが何か言ってくると、それに応えるものをつくって持って行く。非常にニーズオリエンテッドな製品づくりをしているのです。その分だけ製品が複雑化する傾向があると思われれます。

ところが海外の場合は、もともと電圧にしても電流にしても極めて限られた数の素子を持っていて、その素子をどう組み合わせているのかを考えたり、素子が能力的に耐えなければ別の仕掛けを考えたりします。

例えば、インバーターの技術で、日本は2レベルですときました。素子の性能が非常にいいのをどんどんつくっていった、耐圧の大きいのをつくることができましたから直流電圧は1個で、良いインバーターが作れました。海外の場合は、素子耐圧が2.5kVで止まっていたからどうしても3レベルが要るので、3レベルインバーターという、むしろ別の技術を開発して、それが現在ではモ

ーターコントロールの主流になってしまったのです。

新しい技術について、つくる立場の方は製品を複雑化させるのではなく、標準化、単純化を図っておいて、その製品をいかにシステムの方で使ってもらおうかということを考えた方がいいのではないかと考えています。そうなれば標準化も進むと思います。そうしないと、性能の良い製品ができては値段が高くて仕方がない。先ほど来、コストが非常に重要だという話がありますが、ユーザー側の細かい希望に応えるというよりは、製品の絞り込みとか、最初から余り細かい機能スペクトラムの製品群をつくらないという思想を標準化の中で持つ必要があるのではないのでしょうか。

今後の具体的な進め方

司会 それでは最後に、報告書がまとまって平成14年度にどのように取り組んでいくかというところを森山室長の方からご披露いただければと思います。

森山 平成14年度は、ロードマップに従って早急に将来像の実現のためのフィージビリティスタディを開始したいと考えています。具体的には、「新電力ネットワークシステム研究会」を設置して、昨年同様、さまざまな分野の方に参加して頂いて、システム概念の検討とか、信頼性、経済性、環境性、利便性といった観点からシステム評価をお願いしたいと考えています。今回は複数の異なるシステム

を検討対象としています。例えば、多品質電力供給システム、分散型電源の多数制御システム、配電線のループ化技術といったテーマごとに専門家からなるワーキンググループを設置して、現実的かつ具体的なモデルの検討、さらにはシミュレーションの実施を行って頂きたいと思っています。さらに、テーマによってはそういったシミュレーションからさらにはシステムの設計というところまで行っていただけないかと考えています。

そういった具体的なシステムやモデルの検討を行っていきますと、そこから幾つかの技術的な重要な課題が見えてくるだろうと思います。例えば、通信技術、制御技術、その技術の標準化といったところにテーマを絞って調査を深めていければと思っています。

それから、分散型電源の普及に関してこれまでは、どういう要因で普及するのか、あるいは何が問題なのかという、社会経済的な側面の検討が余りなされていなかったということがあります。

そこで、まず技術的な検討を行い、ある程度システムのイメージが具体的にになってきた段階で社会経済的な側面の調査に着手できればと考えています。

こういった事業を進めるに当たっては多くの関係者の方々のご協力が不可欠だと思いますので、この場をお借りしてご協力をお願いしたいと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

司会 民間の方からご意見がありましたら、お願いいたします。

岡本 今回の研究会の成果として技術開発の

進め方を定めた「ロードマップ」ができ、今後の開発の道程ができたわけです。ただ、研究会でも指摘があったように、このロードマップでは最終ゴールが2010年頃となっており、やや技術革新や時代の変化のスピードからすると遅いのかなという気がします。これは研究会で指摘された課題を網羅的に進めるとすると仕方ない面もありますが。

一方、研究会で紹介されたEUのインテグレーション・プログラムなどは、やや目的別にゴールを定めて研究が進められている。この違いは演繹法と帰納法の違いのようなものでどちらが良いとも決め兼ねるのですが、日本でも本来のロードマップの他に、民間の活力を生かした「裏街道」の技術開発の余地も残す考えもあると思います。そして、必要であれば国もそれをインセンティブ等により財政的にバックアップするといった体制が取れると、開発が加速されるのではないかと思います。

司会 最後に正田先生に森山室長からご説明の取り組みを踏まえまして、またこのたびの検討会のご議論全体を振り返って頂き、あるいは今後の展開に向けて締めのお言葉を頂ければと思います。

正田 これからの電力ネットワークシステムをどうつくるかというのは、視点が多様ですし、プレーヤーもたくさんいます。ビジネスとしても、モノをつくることから始めて運用する、あるいは保守をするところまで幅が広いわけです。限られた時間と資源の中で何を絞り込んでいくかというのは、非常に大事なことです。今、森山室長から平成14年度

の取り組みについてお話があり、その中でできるだけ多くの方々の意見を反映したいというお話がありました。この技術に関しては、できることなら少し透明な形で皆さんの意見を集められるような仕掛けも考えていくことが、非常に大事だろうと思っています。

検討会がスタートしました時は、大変失礼な話なのですが、電力システムのサイド、コージェネレーションサイド、あるいは需要家サイドにおいて、それぞれの利害がいろいろ対立して、かなり意見の行き違いが見られました。しかし、1年経って皆さん大体お互いにわかってきたというか、少なくとも事務局の努力で共通の言葉で話せるようになったというのは大変意義があったのではないかと思います。電力会社自身も場合によっては、自分でコージェネレーションの会社になったり、保守を支援する事業者になったりするケースもありますし、IT会社になったところもあります。お互いにビジネスが入り組んできている中で、電力供給に関する技術を日本の中で良くしていくために、できるだけ情報をお互いに利益になる形で共有することが非常に大事なことだと思います。今回の研究がそういうものの第一歩になればというふうに考えていますし、次年度以降、それがさらに進展して分散型電源の普及につながっていけばいいなと思っています。

司会 まだいろいろ言い足りないところがあるかと思いますが、大体時間になりましたのでこの辺で終わらせて頂きたいと思います。本当に長時間ありがとうございました。

〔寄稿〕

循環型社会への転換を考える —深めるべき環境経済性の観点からの認識



植田 和弘 (京都大学大学院
経済学研究科教授)

1. 大量廃棄社会から循環型社会へ

わが国においても、2000年5月に「循環型社会形成推進基本法」(循環基本法)が制定されたことに見られるように、大量廃棄社会から循環型社会へのパラダイム転換が法制度として具体化されようとしている。

大量廃棄社会とは、大量生産・大量消費の社会経済システムから大量の廃棄物が生み出されることを所与として、排出された廃棄物の処理・処分を行おうとするがゆえに、その過程でさまざまな困難が生じる社会である。大量廃棄社会では廃棄物が増加することは生産活動の活発化や生活が豊かになった結果なのでやむを得ないとするため、いきおい処理・処分施設は数多く必要になり、過剰になりやすい。廃棄物処理を考慮しない生産が行われるため廃棄物の有害化や処理困難化などが進み、質的にも問題が生じやすい。最終処分場や焼却などの中間処理施設をめぐる地域紛争が多発し、環境保全のための施設のはずの焼却工場がダイオキシンの発生源になり迷惑施設化するなどはそうした問題の典型例である。

大量廃棄社会は資源を浪費する社会でもあ

る。例えば、家庭から排出されるごみといっても、プラスチックはもともと石油からできたものだし、生ごみという最もごみらしいものでも堆肥や飼料、最近ではバイオマス・エネルギーの原料にもなりうるのである。このように考えると、ごみと言われているものの大半は資源だといえる。ところが、いわば制度的に、また、慣習としても資源として活用するのではなく「廃棄物」として排出することとなっているために廃棄してしまい、資源として利用できないのである。

要するに、大量廃棄社会における廃棄物の処理・処分システムは、処理・処分の過程で環境汚染や生態系破壊を引き起こし地域紛争が多発したことに加えて、活用できるはずの潜在的資源を浪費していた、二重の意味で欠陥のあるシステムであった。地域でそして地球的規模で環境問題や資源問題が重視されてくるにつれて、こうしたシステムの転換が求められるようになったのは当然であろう。

大量廃棄社会からの転換の方向は、廃棄物の発生が少なく資源として活かされる社会経済システムを構築することであり、廃棄物の発生が抑制され、再使用・再資源化の活動がビルトインされた社会、すなわち「循環型社

会」である。

循環型社会は国内における循環基本法と数多くの個別法によってその実現が目指されているだけでなく、国際的なルールとしてもロンドン条約（1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する国際条約）やバーゼル条約（有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約、1992年発効）などで（有害）廃棄物の国外への輸出や海洋への投棄は禁止される方向であり、廃棄物への対処を最初から組み入れた生産や消費が当たり前になる社会経済システムが求められている。

2. 循環型社会の主体

大量廃棄社会から循環型社会へのパラダイム転換は、それを担う主体にも大きな変化を

もたらさざるを得ない。大量廃棄社会は、生産者も消費者も廃棄物を考慮しない生産や消費を行っており、発生した廃棄物は処理業や公共部門、さらには処理施設周辺の住民がその処理の困難性に直面していたのである。つまり、大量廃棄社会においては、モノの流れでいえば上流部は全く廃棄物のことを考えておらず、そのためにもっぱら下流部において困難が生ずるということであった。この構図は循環型社会ではどのように変化するだろうか。

現在までの1つの傾向は循環型社会形成における生産者の責任が重くなるということである。拡大生産者責任（EPR：Extended Producer Responsibility）の考え方が経済開発協力機構（OECD）から各国政府へのガイダンス・マニュアルとして2001年に公表された。（図1参照）

(1) 定義	「製品のライフサイクルにおける消費者より後の段階にまで生産者の物理的又は経済的責任を拡大する環境政策上の手法」 より具体的には、 ①生産者が製品のライフサイクルにおける影響を最小化するために設計を行う責任を負うこと。 ②生産者が設計によって排除できなかった（製品による）環境影響に対して物理的又は経済的責任を負うこと。
(2) 主な機能	廃棄物処理のための費用又は物理的な責任の全部又は一部を地方自治体及び一般の納税者から生産者に移転すること。
(3) 4つの主要な目標	①発生源での削減（天然資源保全、使用物質の保存） ②廃棄物の発生抑制 ③より環境に優しい製品設計 ④持続可能な発展を促進するとぎれのない物質循環の輪
(4) 効果	製品の素材選択や設計に関して、上流側にプレッシャーを与える。生産者に対し、製品に起因する外部環境コストを内部化するように適切なシグナルを送ることができる。
(5) 責任の分担	製品の製造から廃棄に至る流れにおいて、関係者によって責任を分担することは、拡大生産者責任の本来の要素である。
(6) 具体的な政策手法の例	①製品の引取り ②デポジット／リファンド ③製品課徴金／税 ④処理費先払い ⑤再生品の利用に関する基準 ⑥製品のリース

出所：環境省編「平成14年版 循環型社会白書」（平成14年5月）

図1 OECD「拡大生産者責任ガイダンス・マニュアル」における拡大生産者責任

生産は単に売れるモノをつくればよいというのではなく、生産－流通－消費－廃棄－再生という一連の循環運動の中で適正であるか否かという社会的評価が問われる。EPRの導入は製品設計や素材選択に関する技術情報を生産者が占有していることからしても、また循環利用へのインセンティブが生産段階から働く仕組みを作る点からしても合理性がある。

循環型社会の形成には、住民・消費者の役割も大きくなろう。廃棄物を分別することは循環型社会形成の基本であるが、分別収集は行政と住民がよく話し合って合理的なシステムにする必要がある。その実行にあたっては住民が主要な担い手にならざるを得ない。そして、分別収集した「廃棄物」が資源として活かされるためには、事業者の責任の拡大が不可欠なのである。このように見てくると、循環型社会では行政だけでなく、事業者だけでなく、住民・事業者・行政のいわゆるパートナーシップ型の運営が不可欠になってこよう。

3. 循環型社会への新しい課題

大量廃棄社会から循環型社会への転換に反対する人はいない。企業でも「わが社は生産活動が活発化しているから廃棄物が増加しても仕方がない」と言っている企業があるとなれば、その企業の将来性はあまりないと言わざるを得ない。廃棄物の問題が経営に位置づけられていないという意味で、時代遅れの経営と言わざるを得ないからである。むしろ、実現できているか否かはともかくとして、多くの企業がゼロ・エミッションを目標に掲げつつある。このように、大量廃棄社会から循

環型社会への転換は、国民的な共通認識あるいは社会的合意が得られていると言っても過言ではないだろう。

しかし、循環型社会への転換について漠然とした合意があるからといって、循環型社会づくりが何の問題もなくスムーズに進むわけではない。循環型社会づくりが本格的に進むにつれて新しい課題が出現してきている。本稿でそのすべてに言及することはできないが、いくつか主要な論点について検討しておこう。

(1) マテリアル・バランスの問題

法をつくり人為的に循環の輪を形成するとそのやり方によっては物質収支の点から見て必ずしも望ましいとはいえない現象も出現しうる。

① 出口問題

今後、容器包装や家電のリサイクルだけでなく、建設廃棄物や食品残渣のような量的にも膨大になる廃棄物のリサイクルを進めていく本格的な循環型社会に向かうとなると、まず、いわゆる出口問題に直面することになる。すなわち、廃棄物を再生資源にすることは技術的には可能であるが、その使い途がなければ結局は再度廃棄物になってしまう。この問題は建設資材のように現状では公共事業以外に用途の広がりが見られないモノや、輸入品が安価に入ってくるような分野では特に困難であろう。

② 物質収支のトータル・バランスの制御

さらに、国土や都市の改造計画、さらには輸出入を含めて物質収支のトータル・バランスを時間的にも空間的にも適切に制御する視

点も必要になる。これらは地域の実情にあわせて取り組まれることが能率もよく、あらゆる主体の参加型システムを構築すると地域資源の掘り起こしにつながり、地域が活性化する。いわゆる環境産業の育成問題も重要になってくるであろう。同時に、循環には適正規模があり、その規模はモノによって異なり、技術の進歩や市場規模の変化に伴って変わる。従って、狭域と広域の循環システムが重層的に柔軟に連携し相互調整される地域の空間計画を整備することが必須になる。循環型社会づくりは新しい課題であるだけに試行錯誤の過程にならざるを得ない。

（２）有害物質やリスクの管理問題

リサイクルも生産活動であるが、従来は廃棄物であったモノを原料として利用することになると、廃棄物の中には有用物になるモノ以外に、有害物質が含まれている場合も少なくない。例えば、建設資材をリサイクルする場合にアスベストが吹き付けられた建材があるという具合である。この場合には解体現場での作業に伴う健康リスクに留意しなければならないだろう。また循環の過程で有害物質が濃縮することも考えられる。

（３）技術と社会経済システムの選択問題

大量廃棄社会における処理技術は、焼却を中心としたもので、せいぜいその前処理としての破碎や選別が加わるぐらいのものであった。ところが、循環型社会への転換が求められるようになって、そのための技術がさまざまに開発されてきた。それぞれの廃棄物に対応したマテリアル・リサイクルを始めとして、小は家庭用ごみ処理機から、大はごみ燃料発

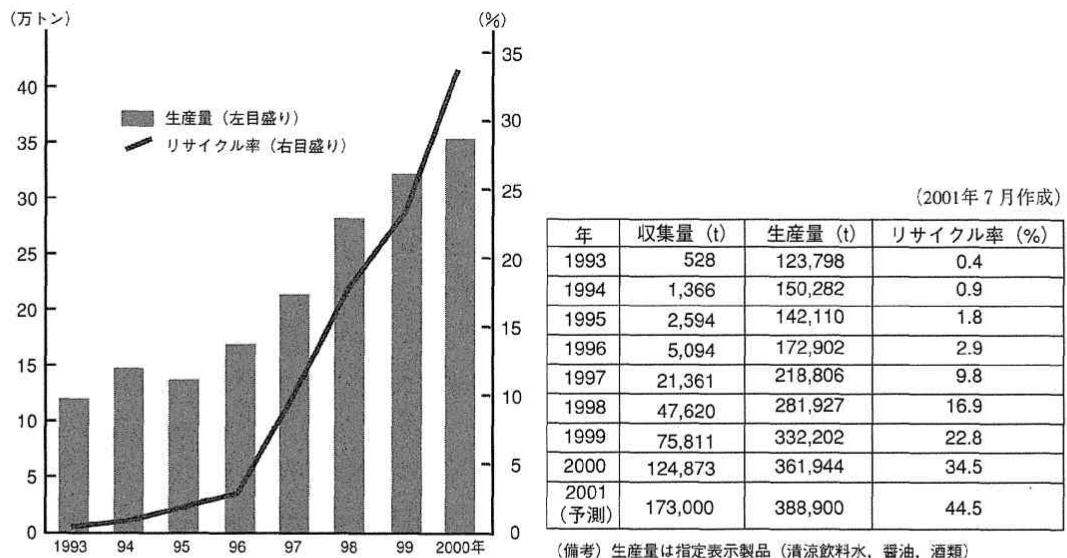
電やガス化溶融炉までさまざまな技術が実用化されている。各技術にはそれぞれの長所と問題点があり、かつ互いに補完的とは限らない。むしろ、競合的な部分が少なくない。だとすれば、どの技術を選ぶべきかという問題が出てくる。

問題をさらに複雑にしたのがダイオキシン対策を契機としたごみ処理広域化計画の推進である。この計画は、現場では燃焼の適切な管理のために、広域化による炉の大規模化が必要であると受け止められたきらいがある。やや大げさにいえば、循環型社会の方向性を巡ってとまどいが生まれている。これまでの容器包装リサイクル法などでの進め方は、分別収集に住民が参加することを前提としている。これに対し、ガス化溶融炉など炉を大型化することになれば、ごみ量を確保することが課題となりやすいので、むしろ分別はしない方が望ましいということにもなりかねない。

いずれにしろ、多様な技術オプションのいずれを選び、どういう社会経済システムのもので活用するかによって、その効果は大きく異なる。規模の経済性は働くが廃棄物量の確保が課題となる大規模技術中心のシステムと、分別収集を前提にする住民参加型システムとでは循環型社会のスタイルは根本的に違う。両者の関係やシステムを選択する基準が今後問われよう。

（４）求められる評価基準となる指標等の開発

容器包装リサイクル法に基づくPET ボトルのリサイクルは、法制定の段階から「大量廃棄、大量リサイクル」になり、必ずしも環境負荷を低減することにはならないのではないかと危惧されていた。しかし、率直に言えば



出所：PETボトルリサイクル推進協議会ホームページ (www.petbottle-rec.gr.jp/data/da_tou_you_f.html)

図2 PETボトル生産量とリサイクル率の推移

現実のリサイクルは「大量廃棄、大量リサイクル」にもなっておらず、「大量廃棄、ぼちぼちリサイクル」の状態である（図2参照）。廃棄物を発生段階から抑制する動機付けが、現在のリサイクル法には働いていない。商品の使い捨て化傾向が進み、その使い捨てられた廃棄物を膨大なマンパワーやエネルギーを投入して回収しリサイクルするというのは非効率的であるし、ライフサイクル全体で見た環境負荷も増大している恐れが大きい。これではとても、目指すべき循環型社会の方向へ向かっているということはできない。循環型社会は循環が自己目的なのではなく、低環境負荷でもなければならない。

この意味で、理念の段階から実行の段階に入った循環型社会の具体的内容を示し、公共政策や企業活動の評価基準になりうる尺度や指標の開発が求められる。循環型社会形成推進基本法における循環型社会推進計画での具

体化が求められよう。

（5）システムの設計と費用負担の問題

さらに、循環型社会の理念に忠実であるためには、システム設計のあり方の問題も重要である。日本の容器包装リサイクル法はドイツのシステムをモデルにしたが、システムの機能は大きく異なる。再利用を促すデポジット制度がない上に、再商品化義務量は、再商品化施設の能力の範囲に限られており、生産量に対応する負担関係はない。そのため、生産量が大幅に増加しているにもかかわらず、リサイクルはぼちぼちしか進まず、廃棄量が増える事態が生じているのである。

ドイツでは、政令によって回収とリサイクルの数値目標を設定し、それを事業者の責任で達成していくシステムであるのに対して、日本のシステムは、最も費用のかかる回収の部分が市町村の役割分担になり税金投入型のシステムになっているために、廃棄物を発生

源から減らすというインセンティブは弱いといわざるを得ない。廃棄物を削減する動機付けを内蔵したシステムへの転換が求められよう。

4. 循環型社会へ転換への方向性

以上のように、確かに循環型社会へ向けて進み出したのだけれども、それに伴って新しい課題も数多く出てきている。容器包装リサイクル法をみるかぎり、循環型社会の理念と現実の乖離は大きいといわざるを得ない。2000年の「循環」国会の参議院国土・環境委員会において「容器包装リサイクル法については、法の施行後再商品化の成果に結びつかない事例が生じていることから、対象とされる容器包装の排出量及び処理状況、市町村の分別収集に係る実態などを勘案し、同法の施行状況につき不断の検討を行うとともに、運

用などについては適切な見直しを行うこと」との付帯決議がなされたのも当然であろう。現在進められている見直し論議が循環基本法という循環型社会の理念に沿ったシステム上の改善につながるか否かが問われている。

要するに、大量廃棄社会から循環型社会への転換が求められているのだが、今日鋭く問われているのは、循環型社会一般への転換ではなく、どんな循環型社会への転換かということである。その方向性を明確にするためには、循環型社会の環境経済性についての認識をさらに深める必要があろう。

参考文献

- (1) 植田和弘『廃棄物とリサイクルの経済学』有斐閣、1992年
- (2) 酒井伸一・森千里・植田和弘・大塚直『循環型社会 科学と政策』有斐閣、2000年
- (3) 植田和弘・喜多川進監修『循環型社会ハンドブック』有斐閣、2001年



出所：高月紘「漫画ゴミック『廃棄物』第4集」（1999年5月）

〔寄稿〕

循環型社会構築とサーマル・リサイクル



武田 邦彦

(名古屋大学大学院
工学研究科教授)

1. はじめに

「資源」、つまり人間の活動を支えるものは、①物質、②エネルギー、③情報、④無形資源、⑤社会、⑥人間、そして⑦自然、の7つに分類することができる。これらの資源はそれぞれ特徴があるが、基本的には活動や進歩によって損耗したり変容したりするという特徴を有する。本稿では、これからの望ましい社会の概念の1つとして取り上げられている「循環型社会」について資源を中心として考えて

みた。また、「サーマル・リサイクル」と呼ばれるシステムについて環境工学的立場から解析を試みたものである。但し、本稿で使用する用語は社会が環境関係の用語として使用している定義と若干異なることがある。その主な理由は、行政や企業はその目的に沿って用語を使用し、それは時として学術的用語とはかなり異なることがあるからである。特に、環境関係ではそれが著しいので本稿では定義が紛らわしい時には、その都度、断ることで論旨の曖昧さを防ぐことにした。

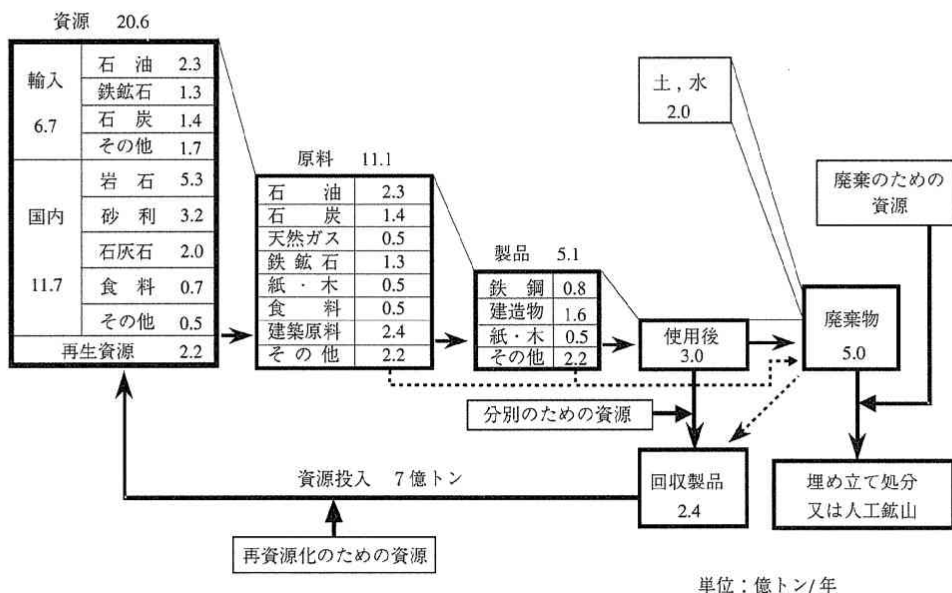


図1 循環型社会を想定した日本の物流

2. 「循環型社会」の成立要件

日本は20.6億 t の資源を投入して、国内総生産（GDP）で500兆円に相当する活動を行っている。それによって、石油製品、薬品などを除いた気体となる炭素資源が4.0億 t、固体（液体）16.6億 t が排出される。しかし、法律上「廃棄物」として捕捉されるのは固体（液体を含む）約5.0億 t であり、土、水や草木など天然からの廃棄物、循環が行われている紙、鉄など、さらに気体を考慮すると14.0億 t は日本国土に堆積しつつある⁽¹⁾。

（1）第1の成立要件

循環型社会の第1の成立要件は、投入資源に対する循環物質の比率が有意な数字であることだと考えられる。使用後の物質は図1に示すように約3.0億 t であり、これを「理論最高循環量」とすると、循環率の上限は15%程度となる。さらに、現実的には回収した物質のすべてを再資源化することはできないので、「循環歩留まり」を3分の2程度と仮定すると、循環物質量は2億 t となり循環率（Er）は約0.1（10%）となる⁽²⁾。「循環によって外から資源の供給を受けない」とした場合を想定すると、 $Er=1.0$ でなければならない、これは現実的ではない。 $Er=0.5$ であれば、新規な供給資源量を半減するので循環型社会と呼び得る可能性がある。循環型社会の定義を「資源を循環することによって持続性文明を保つことに資する」とすると、 $Er=0.1$ であり所期の目的を達成していないと考えられる。

現在の日本社会の構造で循環型社会が成立しない主な理由は、①5.1億 t の製品を作るのに、15.5億 t のインフラストラクチャーと化

石燃料（CO₂になる）を消費している、②使用時に2.1億 t の物質を失うため、製造工程と社会生活で消耗する資源が0でも $Er=0.5$ が達成されないからである。

（2）第2の成立要件

第2の成立要件は、3億 t の理論回収量を資源化するためには回収のための資源の投入量は3億 t を超えることはできない。ところが、著者の計算によると回収製品2.4億 t を再資源化のためにリサイクルを行うと7億 t 程度の資源を要し、収支はマイナス4.6億 t になる。現状では、循環すればするほど資源を多く使い、廃棄物も増加する。

（3）第3の成立要件

第3の成立要件は、循環は「浄化」を伴わなければならないということである。自然界での循環には膨大なエネルギーが使用され浄化が行われている。また、人間が行う化学プラントでも不純物の浄化にはかなりの負荷をかけている。これは循環型社会でも同様である。例えば、生ごみのリサイクルではそこに含まれる発がん性物質、内分泌かく乱物質、銅線、電池に使用される元素などを分離した後、堆肥として使用できるようになる。既に、実績データがあるのは、鉄のリサイクルであるが、鉄鋼材料として、有害物質である銅やスズが混合しているため循環は成立していない⁽³⁾。

以上のことから、日本語としての「循環」を「ひとまわりして元にかえり、それを繰り返すこと [岩波国語辞典]」とすると、「短時間にリサイクルすることでは循環型社会の成立要件を満たすことはできない」ということ

が明らかになる。

このことをエネルギー効率という点から考察し、その結果に基づいてサーマル・リサイクルを考えてみたいと思う。

3. 議論を整理するための注釈

議論を論理的に進め、且つ論旨の混乱を避けるため、循環に関するいくつかの項目について整理しておきたい。

(1) 炭素源は必ず二酸化炭素になる

プラスチックなどの「炭素源」は、空中の酸素によって直接的に二酸化炭素(CO₂)にする(焼却)、鉄鉱石の中の酸素を使ってCO₂にする(溶鉱炉における還元)、さらに微生物を使ってCO₂にする(腐食、劣化、汚泥処理など)等、たまたま酸素の存在しない環境におかれる例外を除いて、すべてCO₂になる。エネルギー的には炭素源をできる限り早くCO₂に転換することによって効率が上昇し、CO₂の発生量を抑制し得る。

(2) テレビを消しても二酸化炭素の発生量は変わらない

政府はCO₂を削減するための市民の行動規範として10個ほどの項目を挙げている。例えば、「テレビを1日1時間消す」という項目がある。テレビを1時間消せば30～50万tの

CO₂の発生が抑制されるが、同時に、①テレビを消している間は他の活動をしない、②それによって浮いた電気代分の紙幣はそのまま土に埋める(税金にも預金にもしない)という条件が必要で、テレビを消した分だけ他の活動を行えば基本的にはCO₂の発生量は変わらない。

(3) 森林は二酸化炭素を吸収しない

森林の活動は自然の活動なので、持続性があり、森林は吸収したのと同量のCO₂を放出する⁽⁴⁾。また、「成長期の森林」ではCO₂を吸収するが、世界の耕地をすべて森林に代えて人類の食料が無くなるという極端なケースでも、現在人類が放出しているCO₂の5年間の容量しかない。

(4) 二酸化炭素と国別活動量

1948年の世界人権宣言によって、人類は基本的に平等であることが国際的に認められたが、表1に示すように京都議定書の内容は再び人種別の活動量の上限が設定するものでもある。「資源についての平等な入会権」と京都議定書の思想が相反する⁽⁵⁾。

(5) 日本が資源を節約しても世界の資源の減り方は変わらない

日本には化石資源がほとんど無いので、日本がその本来有する資源を節約しても世界の

表1 京都議定書の活動量の上限(インド人1に対してアメリカ人20)

	面積 %	人口 %	GDP %	CO ₂ 排出量 %	1人当たりGDP 世界を1と仮定	1人当たりCO ₂ 排出量 世界を1と仮定
日本	0.28	2.15	14.6	4.8	6.79	2.25
ドイツ	0.26	1.40	7.16	3.5	5.10	2.53
アメリカ	6.90	4.58	28.1	22.6	6.14	4.93
インド	2.42	16.3	1.41	3.9	0.09	0.24

資源の減り方は変わらない。

(6) 「リサイクル量」と「廃棄物量」には直接的な関係はない

物質の流れとしてのインプットーアウトプット量（マスバランス）と繰り返し使用や再利用、製造工程中の循環などのリサイクル量とは直接的な関係はない。

(7) 環境は「部分」ではなく、全体の効率を問題にする

生産に注目し、社会が開放系で、部分的な効率に注目する時には部分的な計算でよい。しかし、環境に注目し閉鎖系、あるいは半閉鎖系で総合的な効率を問題にする時には、全体的で包括的な視点が必要とされる。

(8) 環境は「ローカリゼーション」である

アメリカの自動車工場を日本に移転しても同じ自動車ができる。デンマークと同じ風力発電所を日本に作っても同じ電気はできない。「生産」はグローバリゼーションと調和するが、「環境」は「地域と風土」であり、地域性が強い。

4. 環境から考えたエネルギー効率

エネルギー効率は既に熱力学などで明らかになっている。そしてエントロピー、エクセルギーなどの便利な関数もある。

しかし、“地球”もしくは“日本”の資源と環境を閉鎖系を前提として取り扱う環境工学では、別のエネルギー効率の概念を導入しなければならないと考えられる。

また、効率は、①地下資源、持続性資源か

らある程度の基礎工業資源（重油、熱湯など）にする時の効率（第一段階効率）、②基礎工業資源からエネルギー産業供給末端（電気のコンセント、家庭に運び込まれた灯油など）までの効率（第二段階効率）、さらに、③消費と社会の効率（第三段階効率）、に分かれるが、本章では紙面の都合もあり、第二段階と第三段階の効率について整理を行った。

(1) 「エネルギー・活動」変換についての第二段階効率

第二段階の効率については既にエネルギー工学、熱力学などで基礎的に研究され、且つ個々の事例については、産業連関表などを使用した個別の研究結果が知られている。

① 静的変換効率（熱効率：可逆過程の効率）

標準的な熱力学的変換効率〔式（1）参照〕は、ジェームズ・ワットによる蒸気機関発明以来の学問で処理される。その基本概念は、(a) 熱を活動（仕事）に変えることができること、(b) 活動（仕事）のために一定のエネルギーを損耗すること、の2つである。現実にはコージェネレーションやエネルギー回生機構などで損耗するエネルギーを減らすことはできるが、実際的には平均3分の2を失い、そのエネルギーは回復することはできない。この損失は「活動」という価値を生むための損失と考えてもよい。

$$\eta = \frac{T_h - T_l}{T_h} \quad (1)$$

② 動的損失率（一部はエクセルギー変化）

人間の寿命は有限である。そのため活動には一定の速度が求められる。瞬間的に伝熱さ

せるためには壁の厚みが無限小でなければならず、面積は無限大が求められる。また、地球上には空気があるので「速度」という時間的ファクターで測って速い列車は空気の抵抗で移動効率が低減する。新幹線を例にとると、単位距離あたりの動的損失率は44%（時速200kmと300kmの時の計算。空気抵抗のみを考慮）である。

③ 示強性変数損失率（エクセルギー変化）

静的変換効率に類似しているが、社会的要因でエネルギーのもつ示強性変数を下げることによって生じる効率低下がある。300℃のsteamが効率上優れていても使用できる場所が限定されることや、廃棄物の分別によって焼却燃料のカロリーが低下することなどがその例である。

④ 移動損失率

国土形状を考慮して、日本全体の最適エネルギー効率を考えると、港湾に石油精製基地、発電所を配置し、近傍の工場から運輸活動を通じて消費地にエネルギーが移動する形が良い。この時の損失は日本という物理的形状を持つ社会の基本的な損失であり、環境工学としてのエネルギー効率としてカウントされる。

⑤ 物質因エネルギー損失率

エネルギーや動力は「装置」や「器具」がなければ利用できない。電気を得るには発電所（建物、ボイラー、タービン）、送電・変電・家庭への引き込み、ブレーカーなどを必要とし、灯油で暖をとるには精油所、トラック、道路、灯油缶、灯油缶を作る工場、石油ストーブが必要となる。エネルギーを利用す

るために使う装置などを製造・運搬・販売するエネルギーもエネルギー効率に算入される。

（2）「エネルギー・活動」変換についての第三段階効率

次に、第三段階効率について整理する。第二段階効率が主として「生産側効率」であるのに対して、第三段階効率は「利用側効率」に分類される。生産を主体とした社会では利用側効率は問題にならないが、環境を主として計算する場合には最終的な活動量に結びつくまでのエネルギー効率が問題となる。

① エネルギー・活動変換効率

エネルギー・活動変換効率とは、例えば、家庭のコンセントに100ボルトの電気を供給した場合、それを光（照明）、映像、回転動力などに変換する段階における利用機器の効率等を意味する。

② 活動物質因効率

活動物質因効率とは、エネルギー・活動変換効率に対応する物質因の損失で、プラグ、電線、電灯、テレビなどを製造・販売するために消費されるエネルギーのことである。

③ 時間シフト損失率

エネルギーは量であり動力は瞬間的な力である。人間が生活する上で必要とするのは後者の動力であるので、時間的な損失または相互変換効率が問題となる。例えば、太陽光のように「動力」で与えられる場合、蓄電池や電力会社相互の融通システムによる安定電力供給によって時間調整をするのがこれに当たる。

④ 社会活動要因による損失率

社会的な要請でエネルギーの損失が起こるために効率が低下する現象。例えば、高速道路の照明、街路灯、信号、回送電車の電力、定期補修に伴うタンク内清掃、石炭灰、使用済み核燃料処理など、また、それに伴う物質変換損失などがこれに該当する。

⑤ 社会構造要因による損失率

人間が集団性を持つ生物であることによる本質的な損失。軍隊、警察、病院、保険、税金、選挙運動、社会構造要因による損失がこれに当たる。

⑥ 人間的要因による損失率

人間が肉体的・精神的動物であることによる損失。部屋が暗いと寂しいので電気をつけておく、廊下が暗いと気持ち悪い、テレビがついているといつも情報が入る、たまには贅沢をしてみたい等々による損失。読書の対象は小さい文庫版でも、部屋が暗いと瞳孔の収縮拡大が激しく目が疲れるので部屋全体を明るくする損失。引越し、子供の成長などによってまだ使えるものを捨てる等の成長、変化による損失がある。

5. 環境から考えた物質効率（物質損失）・その他の資源効率

物質効率（物質損失）とは、ある活動（仕事）をするために物質をどの程度損耗するかを意味する。エネルギー効率と同様の指標であるが、物質の損失を整理する時に必要とされる。本稿では現在、研究中の物質効率を整理すると共に⁽⁶⁾、知的資源などの無形資源

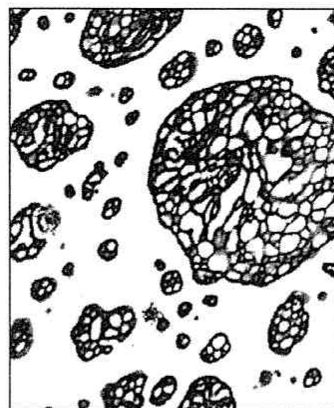


図2 オクルード・ゴムで補強したポリスチレン

や社会資源などについての効率についても触れた。

(1) 反応劣化損失

使用することによって物質（分子レベルなどの視点での物質）がエネルギーまたはエントロピー的に安定な方向に進むことによる損失で、鉄の錆び、結晶の粗大化、石の風化、プラスチックの解絡がその典型的な現象である。分子レベルのエントロピー増大に分類できる⁽⁷⁾。図2は、テレビのキャビネットなどに使用されるオクルード・ゴムで補強されたポリスチレンである。このように高度工業材料の多くは比較的複雑な物理的・化学的構造あるいは組成をしていることが多い。

(2) 混合劣化による損失（有害物質混合も含む）

使用によって物質相互が混合し劣化することによる損失。スクラップ鉄に銅が混合するのが最も典型的な例であり⁽⁸⁾、微視的領域のエントロピーの増大に当たる。既に混合による社会的価値の算出は式(2)の価値関数(value function)で計算される。

$$V_f = P(2x_p - 1) \ln \left(\frac{x_p}{1 - x_p} \right) + W(2x_w - 1) \ln \left(\frac{x_w}{1 - x_w} \right) - F(2x_f - 1) \ln \left(\frac{x_f}{1 - x_f} \right) \quad (2)$$

(3) 磨耗・破損などによる損失

製品は摩耗あるいは破損などによって損失する。例えば、自動車のタイヤは平均15%磨耗して回収されるが、磨耗や細かく破損した材料は拡散劣化して回収できない。これは物理的な原因によるエントロピーの増大と解釈できる。

(4) 拡散劣化損失

使用するために塊としての物質が拡散することによる損失。例えば、製鉄所で作られた鋼板は家庭の電気洗濯機の鉄板となって使用される。つまり、拡散することによって活動を得る不可逆損失である。国土全体のエントロピー増大にはほぼ比例するが、損失量はエントロピー増大量の数倍である⁽⁹⁾。

(5) 社会的・人間的要素による物質損失

社会的要素、人間的要素による物質損失とエネルギー効率を考慮する場合、物質を中心に計算する時には算入が必要である。まず、社会的な事情で不可逆的に損耗する物質としては、火災、天災、転勤による引っ越し、年末の予算消化工事などであり、毒物混合とし

ては、鉛、カドミウム、ダイオキシンなどの混合によって物質が使用できなくなる損失。さらに、人間が成長したり、飽きたり、新しい洋服を買いたくなったり、犯罪や失敗によって損失する物質量がある。

(6) 知的財産の損失

研究活動や文化活動などの知的資源や情報がなければ活動ができない。例えば、量子力学が存在しなければ電子産業は存在しないことから判るように、大学や国立研究機関、民間の基礎研究の負荷による損失がある。広義には、文化、芸能、娯楽などを損失として算入する方が適切である場合も考えられる。

6. 「エネルギー・活動」環境総合効率

以上を考察して資源から活動への転換効率の1つの例として「自動車を使用して移動する」という活動について示す。自動車の直接的エネルギー効率（静的変換効率、動的損失率）は既に計算されている。表2に示すように単位燃料当たりの移動エネルギー効率は2%とされる⁽¹⁰⁾。

表2 自動車の直接的エネルギー効率

項 目		消散%	(内数)	(内数)
ラジエーター		20		
冷却水		20		
排気ガス		35		
軸受け		6		
運転		19		
	横揺れ		4.2	
	空気抵抗		10.5	
	加速登坂		4.3	
	自重			17
	移動			2
合 計		100	19	19

次に、物質因エネルギー効率（移動損失率、物質因エネルギー損失率、エネルギー活動変換効率、活動物質因効率）は、個別の自動車については、燃料代金の平均と車体購入費の比率が環境負荷にはほぼ比例していると仮定して良いが、平均的には、表3に示すように自動車製造販売および関連産業を含めた総売上高57兆円と石油精製業総売上高15兆円の比率とすることができる。従って、物質因エネルギー効率は、表2の移動（2%）×石油精製業総売上高（15兆円）÷〔自動車製造販売（57兆円）+石油精製業総売上高（15兆円）〕となる。すなわち、 $2 \times 15 / 72 = 0.42\%$ となる。

ここで、表3に示した日本の全製品および

資源量に占める各部門の物質量は売上高の単純な比例計算である。しかし、実際に自動車の直接部門で消費する物質量は、製品基準で988万t、資源量換算で9,650万tであり、売上高比例との差は、前者が250万t、後者が3,000万tである。これは自動車が高度工業製品であり、売上高をベースにして比例計算をすると、平均より資源を52%多く使用し、製品は20%少ないことを意味している。つまり、製品の付加価値は総製造品平均に対して1.90倍であることが判る。これは自動車の完成品の平均材料価格が1,500円程度⁽¹¹⁾であり、日本の平均資源価格250円の6倍であることと、その傾向で一致している。

表3 自動車関連産業と物質量

項目	部門	就業人員（万人）	GDPをベースとした売上高（兆円）	GDPに占める割合（%）	日本の全製品に占める量（万t）	資源量をベースとした値（万t）
直接売上高	自動車製造部門	85	6.76	1.32	527	2,703
	販売・整備部門	114	9.09	1.77	709	3,632
	小計	199	15.85	3.09	1,236	6,335
関連部門	資材部門	90	7.19	1.40	560	2,871
	関連部門	115	9.12	1.78	711	3,645
	利用部門	304	24.20	4.72	1,887	9,671
	小計	509	40.51	7.90	3,158	16,187
合 計		708	56.36	12.94	5,174	26,517
日本全体		6,440	513.00	-	40,000	205,000

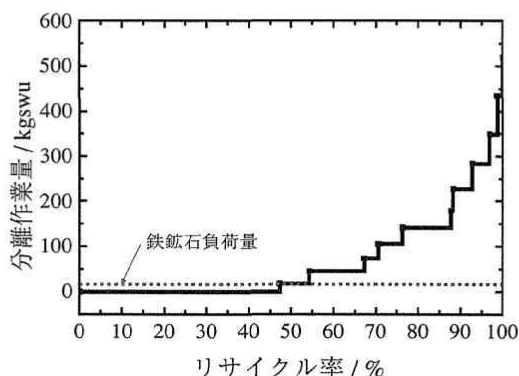


図3 自動車の鉄のリサイクルに関する分離作業量

物質の拡散劣化損失を知るには、自動車の材料毎の計算が必要である。主力材料の鉄についての拡散劣化損失の計算結果を図3に示す。横軸にリサイクル率をとっているが、リサイクル率を上げると拡散が進んでいる部品を回収しなければならないので分離作業量（回収のために要する負荷）が増大することを示している。また、点線は天然の鉄鉱石から鉄鋼を生産する時の負荷を示す。従って、拡散劣化損失が鉄鉱石の還元と同一の負荷量である循環鉄の割合は50%程度であることが判る。

また、社会的には自動車の活動に対して、道路建設、道路整備、道路関係営業などがあり、また、警察、病院、議員などの存在が不可欠であるが、正確な社会活動要因損失、社会構造要因損失、人間的要因損失などは明確ではない。また、知的財産も自動車の利用には必要であるが、これも今後の研究に委ねられる。

熱力学的な効率の計算に慣れているものにとっては、エネルギー効率というと30%程度、あるいは実用的なことも含めても10%近くの効率という感覚がある。しかし、上記のように現在の日本の社会活動における効率は1～2%またはそれ以下であることが判る。そして、自動車や電力など100年間にわたって効率向上に多くの技術者がその粋を集めて来たことを考えると、この低い効率が「活動とエネルギー」「活動と物質」というものの本質を示しているものと考えられる。

7. サーマル・リサイクルの環境への影響

サーマル・リサイクルの環境へのインパクト

トについて整理をするのは極めて困難なので少し長くなったが、循環と効率についての整理を行った。本章ではサーマル・リサイクルについて簡単にまとめた。

(1) サーマル・リサイクルの定義と評価

「サーマル・リサイクル」とは「使用して不要となった可燃物を焼却してそのエネルギーを回収すること」と定義される。しかし、「リサイクル」は英語であり、日本語では「循環」と訳すことができる。循環とは、既述したように「ひとまわりして元にかえり、それを繰り返すこと。『血液の一』『悪一』」（岩波国語辞典）であり、物質を焼却してCO₂にする際、CO₂を再び物質に戻すシステムを持っていない場合は、「循環」を形成しないとするのが適当であろう。つまり、循環の定義を正確に使用すると、サーマル・リサイクルがエネルギー資源として成立するか否かは、サーマル・リサイクルの経費から廃棄物処理費相当を差し引いた経費が石油火力単価を下回り、余剰電力を使用してCO₂を還元することができなければならない。しかし、これは熱力学の原理に反し、且つ非現実的である。従って、サーマル・リサイクルは成立せず、「有効熱利用」の可否を検討することになることを最初にお断りする。

(2) 現状の物流を前提として廃棄物を「有効熱利用」した場合

有効熱利用の評価を燃料側から計算する。燃焼性廃棄物を石油や石炭などと同等にエネルギー源としてとらえると、石炭価格を5円/kg、重油価格を20円/kgとした場合、同一基準で燃焼性廃棄物は250円/kg⁽¹²⁾と計算される。

これに対し焼却処分に関わる費用は、日本で45円/kg、イギリスで10円/kg程度であるので、プラスチックから熱源を得るのは、5～25倍程度の環境負荷になる。これは拡散劣化損失によるものである。

また、現在の廃棄物は一般廃棄物5,000万 t、産業廃棄物 4 億 t であるが、例えば、産業廃棄物は表 4 に示すように可燃性物質の含有量は少ない。廃棄物としてのプラスチックは目立つので問題視されるが、産業廃棄物中ではわずか1.7%を占めるに過ぎない。可燃性物質含有量が少ないのは一般廃棄物でも同じである。廃棄物の熱利用は、低カロリーの廃棄物を燃料にするため、示強性変数損失が生じる。

表 4 「産業廃棄物」の実態 (単位100万 t)

項 目	平成8年	予想資源
汚 泥	193	0
糞 尿	72	0
建設廃材	61	50
鋳 滓	24	20
煤 塵	8	0
木 屑	7	5
金 属 屑	7	5
廃 プ ラ	7	5
ガラス陶器屑	6	0
廃 酸	4	0
そ の 他	14	0
合計	403	85

表 5 に示すように、廃棄物の単純焼却は「活動と損失」という点で本質的に論理性の高い方法である。従って、それより優れた方法

を構築するのはかなりの困難を伴うことになる。しかし、石油資源を温存するという点を加味した全体システムとしては有効熱利用できる可能性があると考えられる。また、可燃性の廃棄物は容積が大きいこと、廃棄物貯蔵所の確保が困難であること、さらにダイオキシンなどの毒性物質の蓄積を避けるには熱利用が最も優れた方法であることなどを考慮すると、日本の物質循環に対する技術的検討の中心を現在のリサイクルから有効熱利用に切り替える必要があることを示している。

8. おわりに

「空を飛ぶたい」と希望する人が、鳥の羽を両腕につけて、今、まさに断崖絶壁から飛び出そうとしている。その希望は理解できるし、できれば空を飛ばせてあげたい。しかし、鳥の羽の構造と、人間のもつ瞬間的出力を考慮すると、その試みは失敗し、希望は叶えられないであろう。

希望が現実になるには工学的な合理性が求められる。そして、崖から飛び降りる前に工学の専門家は流体力学、航空工学などの知見を活かして、空を飛ぶという希望が叶えられないことを指摘しなければならない。学問は将来を予見したり、自ら社会に対して方向性を示したりするには慎重でなければならない

表5 プラスチック廃棄物の処分方法とその特徴

No.	処分方法	定性的評価	増幅係数
1	マテリアル及びケミカル・リサイクル	原理的に矛盾が多い。毒物除去のシステムが必要。	～1000
2	有効熱利用(現状)	原料価格が高い。毒性物質を除去しうる	～200
3	有効熱利用(化石資源保存)	原料価格が低減。毒物除去可能。	～100
4	単純焼却	毒性物質を除去しうる	100
5	埋め立て	国土が増えて森林が増え、大陸棚が成長して海産物が取れる。	?

が、事態を正確に把握し、専門の立場からそれを解説することに躊躇してはいけないだろう。

また、「物質を削減する」ことだけが環境のテーマのすべてではない。いわゆる豊かな人生を送るために求められる環境とはどのようなものであるかについて厳密な定義が必要とされる。つまり、「人口が増えること(末広がり)、効率的に大量生産できること(まめまめしく働く)」を「善」とし、それを基準に環境工学のテーマを設定することはできないということである。「人口を抑制するという前提の下で、同一活動量で最小の物質を使用し、毒物の発生を最小にする社会の構築」こそが今後の重要なテーマとなろう⁽¹³⁾。

参考文献

- (1) 武田邦彦、『リサイクル幻想』(文春新書) 文芸春秋社 (2000)
- (2) 武田邦彦、『環境負荷を考慮したリサイクルのあるべき姿』日本機械学会誌, Vol.104, No.995, p.50-56 (2001)
- (3) 那須昭子, 武田邦彦、『循環材料中の毒物の蓄積と浄化について』, 資源素材学会春季大会, p.144-145 (2001)
- (4) 日本森林研究所は「日本の森林は二酸化炭素を吸収する」としているので、異なる見解もある。
- (5) 武田邦彦、『テロと地球環境』, 学際, Vol.4, p.10-18 (2002)
- (6) 武田邦彦, マテリアルライフ第10回研究発表会(招待講演), 『マテリアルライフの概念』, p.31-42 (1999)
- (7) 那須昭子, 武田邦彦, 開発技術学会誌 (Vol.8 (2002) 掲載予定)
- (8) Iwasaki I, "Mineral Resources Supply and Recycling of Metals", Tokyo Symposium on Recycling and Treatment of Metals, p.1-21 (1997)
- (9) King C J, "Separation Processes", Tata McGraw-Hill (1972), Benedict M, "Nuclear Chemical Engineering", McGraw-Hill Book Company, New York (1957), 武田邦彦, 『分離のしくみ』, 共立出版 (1988), 『分離科学ハンドブック』, 共立出版 (1992), 七沢淳, 武田邦彦, 『リサイクルにおける分離の概念と理論』 資源素材学会誌, Vol.113, No.12, p.1049-1054 (1997)
- (10) クロード・フィスレ, ビーター・ジェームス著, 山本良一監修, 佐々木健訳, 『成長の限界を超えて』, 日科技連出版社 (1999)
- (11) 『日本の自動車工業』(社)日本自動車工業会, p.51 (2001) より算出
- (12) 佐伯康治, プラスチックス, Vol.50, No.11, p.22-29 (1999)
- (13) Brown H, "The Wisdom of Science", (1986), Cambridge University Press, Meadows D L, "Toward Global Equilibrium- Collected Papers", (1972), Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, マハトマ・ガンジー著, 田畑健編, 片山訳『ガンジー自立の思想』地湧社 (1999), 渡辺京二, 『逝きし世の面影』葦書房 (1997), 武田邦彦, 『リサイクルしてはいけない』, 青春出版 (2000), 『リサイクル汚染列島』, 青春出版 (2000), 『エコロジー幻想』, 青春出版 (2001)

〔講演〕

危機管理とコミュニケーション戦略*



藤江 俊彦 (淑徳大学国際コミュニケーション学部
経営環境論専攻教授**)

企業経営とリスクマネジメント

リスク・マネジメントとクライシス・マネジメント

リスク・マネジメントとは何でしょうか。リスク・マネジメントと言う場合、広い意味と狭い意味とで考えていただくとよいと思います。図1をごらん下さい。通常時にどのように備えを固めるかということが狭い意味のリスク・マネジメントです。そしてその主だった内容はリスク・アセスメントです。こんなことが過去にもあったから、今度あるのではないだろうかという予測を立てたりして、将来の危機に備えます。実は、このリスク・

アセスメントの後の部分、アラームが出た段階はもうクライシス・マネジメント（危機管理）の部分に入っているのですが、アラームが出ていても、ほとんど気がつかない。実際に事が表立って起きて大変だということになる。これがクライシスです。クライシスポイントというのが危機発生時点です。この段階から危機管理が始まるわけです。事態が発生すると、まずダメージを最小限に抑えて一時も早く収拾と回復をはかるわけです。回復というのは原状回復することとイメージの回復です。そして最後に再発防止策をとることです。

何もない平常時から収束時の再発防止策まで一連の流れをトータル・リスク・マネジメント（TRM）と呼んでいます。

そして、このリスク・マネジメントのあら

通常時	緊急時	収束時
リスク・アセスメント	危機（クライシス）管理	回復（リカバリー）
危機管理体制の確立	ダメージの最小化	修復と再発防止

© 藤江俊彦

図1 戦略対応のトータルリスクマネジメント

*本稿は、今年1月25日の「第198回月例研究会」におけるご講演を、本誌掲載のためにテープ起こししたものです。

**現在は、千葉商科大学政策情報学部教授。

ゆる段階において、重要なのがコミュニケーションです。事態の情報収集、関係者同士の連絡、通報、さらにマスメディアなど公共社会に向けてのコミュニケーション。つまり社内外とのコミュニケーションがこれぐらい重要な時はありません。

企業経営の目的—利潤追求と損失回避

企業経営の目的とは何でしょうか。「利潤の追求」と経営学のABCで習いました。従来はここまでしか教えなかった。ところが、アメリカの経営学の本を調べてみますと、もう1つ“lost avoiding”「損失の回避」と書いてあります。日本では戦後、右肩上がり経済の中で、「損失の回避」は考えないことにしてしまった。とにかく少々トラブルがあっても、「よいことだけ考えれば実現する」ということになった。しかしよい事だけ考えて全部実現することがいつまでも続く訳がない。イメージトレーニングの権威に会って聞いたところ、よい事だけでなく、どん底に落とされた自分の姿を具体的に思い浮かべ、そこから這い上がってくる自分の姿を具体的にイメージして、トレーニングしないと実現しないそうです。

リスク・マネジメントをイメージトレーニングでいうならば、どん底という最悪事態を想定し、そこからどのようにすれば収拾、回復するか、それをイメージして準備することなのです。リスク・マネジメントのコンセプトは何かというと「火の用心」です。火というのは火事だけをさしているのではなく「何が起こるかかわからない。そのために心を用いなさい」ということです。つまり、リスク意識をしっかりとつことだ、と言っているわけです。

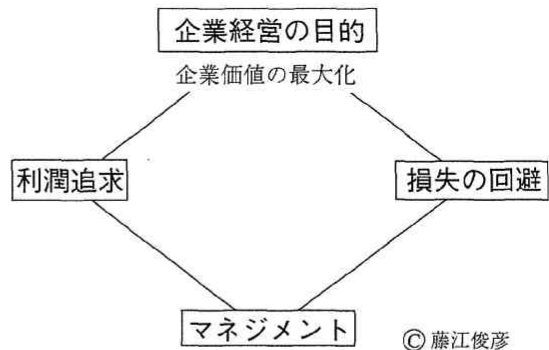


図2 企業経営の目的

企業の存続と成長の条件 —有効性と効率性

経営学では、企業が存続して成長する条件が2つあります。1つはEffectiveness（有効性）です。平たく言いますと「社会のためになること」を言います。「社会のため、世のため人のため、お客様のため」です。効果といってもいい。つまり、経営理念に書かれていることです。もう1つは、Efficiency（効率性）です。「仕事は効率的、能率的にする」「無駄をなくす」ということ。いわばコスト削減などです。

この2つを両立させることが一番重要なことだと習いました。原点に戻るとまさに、「そのとおりだな」と思うのですが、日常業務の中では効率性を優先させがちです。それが危機につながる。原点に戻り、有効性と効率性の2つを両立させることが重要です。

ただ、どちらが大切か、と言えば、明らかに有効性を取らなければいけない。何のためかを忘れ、コスト削減という効率性だけを追い求めると、企業の存在意義を失ってしまう。「お客さんのために」ということを理念に入れ

てあってもそれをいつの間にかすっかり忘れて、効率性優先の企業の論理に偏ってしまう。

危機対策の3つの柱 —理念、体制、行動指針

危機対策に求められるものが3つあります。

まず第1は理念です。これは危機への考え方や姿勢であり、「危機管理綱領」という形で作ります。社員も経営者が真剣に考えていることを知るのです。さらに理念は具体化しなければいけません。そのためには方針、そして目標を明確に立てることです。目標は幾らでも数字で立てられます。例えば、今まで工場で150件あったミスを80件に減らす。その翌年には30件に減らす。そのように、数値化した目標を立てることができます。2番目が体制です。危機管理に向けての体系、システムとあってよいでしょう。緊急時に備えて、常設機関としての危機管理委員会を設置する。また、全社にそういうシステムを浸透させる。3番目に行動指針としてのアクションプログラム、マニュアルをしっかりと整備することです。

もちろん、3本立ての行動指針の中には演習、つまりシミュレーショントレーニングがないといけません。実際に座学と実習です。体を動かさないとい人間はなかなか覚えられませんから。

危機管理と広報体制の整備

広報と危機管理

「広報は広報部の仕事だ」と思ったら間違いです。事が起ればメディアの記者は広報部を通さないで、社員通用口で社員をつかまえて質問します。記者から質問されて「私、関係ありません」と言っても、社員である限りは関係者です。写真も撮られるし、責められます。ということは、やっぱり全社員が広報に対する意識を持たないといけません。

「関係ない」という言い方は良くないです。最低限のことをしっかりマニュアル化して教えておかないといけません。だから、昼間のワイド番組をビデオに録って社員に見せればよいのです。ニュース番組よりも、話題中心のワイド番組を見れば、あのように世間に流されるものなんだ、と分かるはずですよ。

そういうことがありますから、広報、パブリック・リレーションズというのは一体何なんだということを研修しないといけません。広報というのは広く知らせる話ではなく「広く社会に報（むく）いる」ことなんです。だから、パブリック・リレーションズとは直訳すれば、「公共社会とのよい関係づくり」なんです。

世の中に完璧に安全なんてあるわけがないのに、「安全だ、安全だ」と安全の方を強調し過ぎるといけません。地域市民や生活者が安心して暮らせるようにする。信頼してもらうことが大事なんです。

実は、アメリカンスタイルというのもそれなんです。NASA（米航空宇宙局）でも、「何でも100パーセント安全はありません。だからリスク・マネジメントをするんです」と言うスタンスをとっている。はっきりコストをかけて、安全なんてあり得ないというところから出発する。だけど、精いっぱい努力はしておりますということで、安心していただく

ことが大事です。信頼関係をつくれば、いざという時にも「この人は誠意をもって対応してくれる」と思ってもらえるのです。こういう信頼関係をつくることが大事で、それが安心なんです。安全より安心を優先して対策を考える。リスク・マネジメントの基本です。

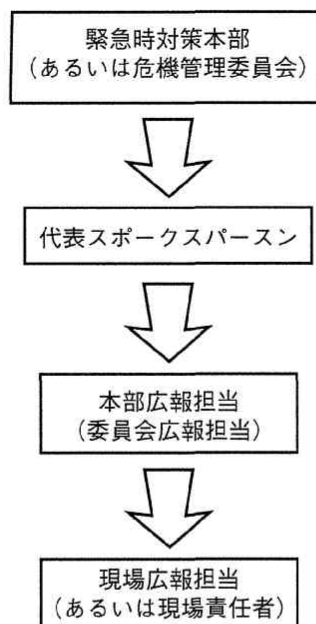
危機管理の最終目標は信頼づくりであり、安心をもっていただくためにすることがパブリック・リレーションズ。パブリックとのリレーションシップをつくるコミュニケーションなのです。

危機管理委員会と緊急時対策本部

危機に備えて、常設の危機管理委員会をつくります。普段から横断的に各部門から代表を出して構成する。そして、危機、リスクの洗い出しをして、優先順位をつけ、優先順位の高いものから重点的に人とお金の配分をする。

いざといった時に緊急時対策本部は、危機管理委員会がメンバーになるかもしれませんが、対策本部長に社長が就任して、全部指揮命令系統を一本化しなければなりません。営業担当常務だろうが、どのような重役であろうが、緊急時対策本部の中では、今までの担当はなかったことにして、割り当てられた役割を果たすだけとなります。全部の業務が本部長に一元化されるのです。

ここでのポイントは「中抜き原則」です。直属上長を通すのが通常のライン業務、普通の業務です。しかし、上がいなくなったら探す必要はありません。時間勝負ですから、どんどん上へ上げればいいのです。極端に言えば、社長に直接報告してもいい。緊急事態というのはそういうものだということをオフィシャ



- ① 危機時広報の一元化
- ② 本部（委員会）主導情報発信
- ③ 現場広報は本部の指示で
- ④ 情報収集は現場から本部へ
- ⑤ 本部は記事モニターと記録

図3 緊急時広報のレベルと体制

ルにマニュアル化、明文化しておくのです。これが通報システムと称する緊急時のコミュニケーションのルートです。

通報システムと広報体制の一元化

当然、広報も図3のように緊急時対策本部に対応を一元化します。本社広報が対策本部の広報と一体化する場合はよいが、例えば、名古屋の大きな工場で事故があった場合に、名古屋に広報の緊急時対策本部を設置して、社長以下みんな現地に向かった。そうすると、そこが広報の本部となり、広報の発信元になります。常に情報の受信、発信の本拠地を明

確化して、情報がルートを明確に流れるように普段からトレーニングしておかないといけません。それをやらないと大混乱をきたします。名古屋の人間が勝手にしゃべってしまった。名古屋の担当者がこう言っているのに、記者は本社からまた別のことを聞いた。この違いは一体何なんですかと追求されてしまうのです。だから、情報発信の一元化を徹底させておかないといけません。

マニュアル整備とメディア・トレーニング

マニュアルも具体的に書いてなければ何の意味もありません。例えば、「緊急時には本社ビル集合」と書いても、本社ビルのどこなのか分かりません。災害などの過去の事例を考えると、集合場所として3番目ぐらいまで明記しないとまず間に合わないと思います。

神戸のある洋菓子会社のトップと面識があるのですが、阪神淡路大震災の時、その会社の6階建ての本社ビルが壊滅してしまいました。マニュアルには、「緊急時に本社集合」と書いてあったが、集合できなかった。3つぐらいある工場へみんなばらばらに集まった。結局、1カ所に集めるのに、2、3日かかったということです。だから、本社ビル集合では曖昧すぎるのです。

メディアトレーニングは、大変重要であります。マスコミに出るといって、多くの経営陣は笑顔で出てくる自分の顔しか想定していない。そうではなく、頭を下げている写真を想起すべきです。ただ、頭を下げるにしても、下げすぎる必要はありません。深々と何度も頭を下げれば済む問題ではないのです。時代が変わったのですから言うべき台詞や、やるべきことを話すことが大事です。

事件や事故が起こると、普段の経済部ではなく社会部の記者が来ます。なかには相手を怒らせることを、本音を引き出すための手段と考えている者もいるようです。だから、緊急時の社会部対応は、そう心得て受けることが大切です。

能動的広報と受動的広報

能動的広報とは「攻めの広報」、受動的広報とは「受け身の広報」です。言い換えれば、能動的というのは発表広報。自分で記者会見をして、自分の方から情報を発表する。受動的広報は取材攻勢をかけられて、言わざるを得なくなって情報を発表することです。結果的に、出した情報の量も中身も同じだとすると、責め立てられてやっとしゃべった場合と、自分の方から堂々と記者会見をやって発表した場合とでは、後者のほうが信頼される度合が高いということです。それを隠そうとして、見えすいた嘘をつくのは、なめている証拠です。そういう甘さが結局、マスコミから徹底的に追求されることを招くのです。甘く考えてはいけません、相手はプレスです。だから事実があるがままに言う。これが基本です。

緊急時のマスコミ対応

正確な事実よりスピード重視のマスコミ

緊急時のマスコミ対応の基本は、ジャーナリズムというのはお互いに激烈な競争をしていることを理解するところにあります。皆さん方もライバルと競争しているけれど、彼ら

は、熾烈な情報の取り合い、スクープ合戦をしています。その時には正確な事実を細かく調べている暇なんかありません。評価にかかわる。自分の記事が紙面を飾らなければいけない。他社に先を越されると新聞社の社会部長、次長は更迭されるといわれます。それぐらい厳しい競争をしているから、激しい取材になるのです。

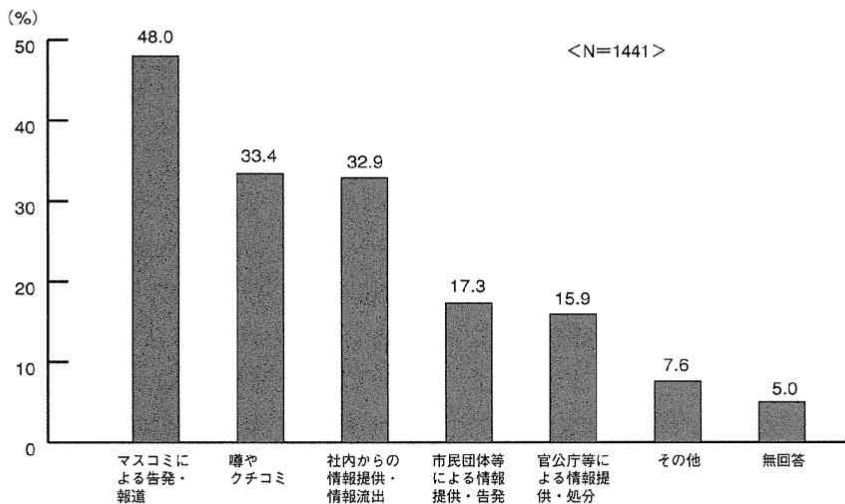
事態発生時のマスコミ対応

図4にあるように、緊急事態の第一報がマスコミから電話で入ることが多いです。「お宅の〇〇さんという人が今警察に逮捕されましたけど、この件についてお話を伺えますか」と。突然こんな電話があった場合は、「必ず社内で内部調査をして、すぐお答えいたしますので、そちらの連絡先を教えてください」と答えておいて、担当取締役や社長のところにすぐ行って対応を決めなければいけません。不祥事関連で連絡してくるのは、警察よりも

事件記者の方が早いことがあります。

必要とされるポジションペーパー

できれば記者会見を開いてください。記者会見を開く時の要領は図3に書きましたが、危機管理委員会、あるいは緊急時対策本部では、図5の必須事項を盛り込んだポジションペーパーを作らなければいけません。これは会社としての統一見解、声明文、ステートメントを用意することであって、盛り込む内容は決まっています。まず「今回何が起きたか」「現状はどうなっているか」。つまり、死者が出たのか、負傷者が出たのか、事実経過は追って整理する。何月何日午後何時、この工場でこういうことが起きた。事実経過を細かく整理をする。原因は何なのか。原因がわからない時には現在調査中。じゃあ、いつごろなら原因がある程度わかるのか。その、いつごろというのを言わなければいけないです。それに対して現在はどうのような対策を練ってい



(出所：東京商工会議所平成10年12月「緊急時おける広報対応」調査)

図4 一般的な緊急事態の発端

コメント順序	注意事項
お詫び・陳謝	● まず冒頭に法的責任の有無にかかわらず、「世間をお騒がせした」という意味でお詫びする ● 裁判などがからむ場合は、専門家と相談してコメントする
事実経過説明と対応策	● 正確な数字を添え、データが曖昧なら、わかり次第発表する ● 事態が長期化しそうなときは、随時記者会見を行い、新たな情報を提供する
原因の究明	● 原因を特定できない場合は、究明に全力を注いでいることを伝える ● 原因が明らかになれば発表する
賠償あるいは回収	● 事故で補償を問われている場合は賠償について言及する ● 商品事故の場合等は、回収の方法や既に購入した人への賠償に触れる
再発防止策の表明	● 早期に再発防止に着手する用意があるかどうか企業が評価を決定づける ● 具体的な再発防止策を表明する
責任の所在を表明	● 責任の所在を明瞭にし、責任の取り方を明確にする ● ことさら特定個人の責任のみを強調しない ● トップの引責辞任だけで終わらせようとするしない ● 補償などの誠意を尽くしたい、という意味表明が大切
処分	● 社会的にも納得できる責任者について相応な処分をする ● 適切で早急な実施をする

© 藤江俊彦

図5 ポジションペーパーの必須事項

るのか。打っているのか。そして、今回、このようなことが起きたことに対する会社としての見解です。見解という場合は、遺憾の意の表明だけではなくて、「わが社創業以来のことであって誠に遺憾に思っております」などと、一言添えて言わなければいけないです。このポジションペーパーは1枚紙にまとめますが、マスコミに発表する内容とまったく同じものを所轄官庁に出してください。記者は、「あの会社は今こういう発表をしたけれども、

役所にはどういうことを言っているか確認してくれ」と所轄官庁の担当と必ず連絡を取ります。これは裏付けの基本です。役所に言うこととマスコミに言うことが違ってはいけません。真実をそのまま出してください。

また同じことを社員にも言ってください。通用口から出てくる社員をつかまえて聞きますから。それから取引先など、ステークホルダーと言われている利害関係者にもきちんと情報を開示し、同じ情報を発信してください。

有利な記者会見と発表コメント

記者会見は、「いつ」「どこで」「誰が」「何を」発表するのかしっかりと決めてください。「いつ」というのは事件発生から大体2～3時間以内です。「どこで」は自分の会社の会議室が一番よいでしょう。ホテルを借りる必要はありません。それをすると逆に疑われる。「誰が」は、人命に異常があった場合には社長です。そうでない場合は専務ぐらいですね。専務の仕事は事故の時のスポークスパーソンだといわれ、以前から「事故専務」という言葉があるぐらいです。

「何を」はポジションペーパーに決めた内容です。そして必ず発表する。公にします。その公の場で嘘を言ったら犯罪です。例えば、「うちはエイズ治療薬を開発した」といって記者会見をやって監獄に入った社長がいました。記者会見の場での嘘は謝って済むことではないのです。犯罪になります。気をつけてください。そのためにもメディアトレーニングをやっておくとい良いでしょう。

誤報道への対応

誤報への対応にはいろいろあります。固有名詞、数字の間違いなどの場合は担当記者、それ以外のものは次長、デスクに申し入れます。マスコミでは次長が現場を取り仕切る最高責任者です。それでも埒があかない時には、マスコミの会社には審査部、審査委員会がありますから、内部の監察機関を通して調査してもらいます。新聞社は紙面審査部、と記事審査部の2つに分かれている場合がありますが、必ずそこへ通してください。それで出た結論は、90%信用してよいと思います。

それでも腹に据えかねて裁判にかけるとのことになりますが、多分、勝ったところで賠償金は最高200万円。日本の場合、大体せいぜい50万です。それも勝つかどうかかわらないので、ものすごいハンディです。それよりも関係のよりを戻す形で、結論が出たらその審査部を通して、審査部の人と担当のデスクや局長と一緒に一席設けて、今度、修正記事を書いて今回のミス報道を正していく。別件で自社の記事を書いてもらうのです。そうやって載った方が得なんです。損得で考えるのがビジネスです。

ケース別対応策

①内部告発への対応

内部告発を防ぐためにはやっぱりよい信頼関係、社内のリレーションシップをつくるのが一番です。もう1つ、内部告発ものでマスコミが取材に来た場合には、この告発者が言っているのは、ここまでですが、でも彼が知らない部分はこれだけあると言って、まあ6割認めて4割否定するとか、7割認めて3割否定するとか、そういう方法で頑張るしかないです。内部告発の場合、100パーセント間違いだと事実否定はまずできない。

②顧客からのクレーム、苦情への対応

東京商工会議所の調査結果を図6に示しました。お客様対応ミスを招く3つの原因。一番多いのはお客さんに対する誠意の欠除です。電話のタライ回し、話を聞かない、約束を守らない、対応が遅い。こういうのはイライラして、普通のお客さんがいつの間にかクレーム

企業側の原因	お客様側の見解と反応
①お客様への誠意の欠如	企業側に対する不信感 「対応が遅い」「電話のタライ回し」 「話をよく聞いてくれない」 「例外を認めない」「約束を守らない」
②お客様への説明のまずさ	説明内容に対して反発 「納得できる説得が得られない」 「ごまかしめいた説明」 「企業側の論理を押し付ける説明」 「説明内容難しすぎて理解ができない」
③お客様との感情的対立	人間、社会に対して反感 「話しても、ムダ」 「誰かにウップン晴らさないではいられない」

(出所：東京商工会議所平成10年12月「緊急時における広報対応」調査)

図6 お客様対応ミスを招く3つの原因

マーになってしまう。わざわざ感情的な対立をつくってはいけないということです。それから説明のまずさの中には、とにかく一方的にマニュアルで覚えたことしか言わない。それから企業側の論理を押しつける説明。どこの会社も女子社員がよくこれをやって、たたかれています。つまり、柔軟性がないし、権限を与えられていない、教わったことはこうだからと。実はそれが原因で相手はものすごく怒り出します。だから女子社員をどなりつけたりしているお客さんは間違いなくこれです。だから社員教育の時にも柔軟な対応とか、権限の問題をもう一度考え直してもらいたいと思います。

それから、お客様との感情的な対立。これは苦情ということです。クレームと苦情は違います。苦情というのは感情的なものです。冷静に聞いて対応して、謝って相手を立ててやると、言うだけ言ったらそれで終わりというのが多い。一番恐いのが調べあげ、データに基づいて冷静かつ文句を言うてくるクレーマーです。クレーマーは裁判になる可能性が極めて高いです。

③性的嫌がらせ（セクシャル・ハラスメント）への対応

これは人権問題です。実はハラスメントにはセクハラだけではなくて、年齢に基づくハラスメントもあります。「おじん」「おばん」という言葉はいけない。これは年齢差別です。だから冗談のつもりでも言ってはいけません。性別に基づくハラスメント、セクハラでも男性から女性に対してだけでなく、女性から男性へ、最近は同性同士のハラスメントもあります。要するに、ハラスメントは人権の問題です。人権を尊重するというのが基本です。

こういう問題が起きた時の対応策としては、ただ再発防止に努めますと言うだけでなく、「人権委員会を社内に設置いたしました」とか、具体策を言ってマスコミに納得してもらおうということです。

④風評リスクへの対応

これも大変恐い。「手形があぶない」とかの噂、風評が流れる。これで倒産した会社は結構あります。銀行が動き出したらもうだめです。そういう風評をどうやって抑えるかというと、やっぱり公の情報を流すことが一番で

す。つまり、公的な情報の発信が遅いから、あるいは完全に欠落している場合に、その弱みにつけこんで風評やら噂が立つわけです。公的情報が十分であれば、そういう噂は流れない。必ずオフィシャルな情報をしっかり、オフィシャルルートで流せということです。

⑤名誉毀損とプライバシー侵害への対応

名誉毀損とプライバシー侵害の違いは、名誉毀損は刑法犯罪121条、著しく他人の名誉を辱めるような言動をすると、これは刑法犯罪。ただし、第2項、免責項目として、報道機関が公共社会の利益のために行うことはよいとなっている。マスコミ、新聞がいわゆる総理大臣の犯罪とか何か、公職にある人をたたいたりするのは構わない、事実であれば。あくまでも公共の利益ということが基本になっているわけですから事実でなければならない。

プライバシーというのは本人が主観的に思い込めば成り立つわけです。「おまえは禿げだ」「あいつはバツ2なんですよ」などと人前で言われた。すごい本人は傷ついた。これは100パーセントプライバシー侵害です。だから基本的に、主観的に思い込めば成り立つのがプライバシー。ただし、ここで公人と準公人の2つをしっかりと区別しなければならない。公人とは公職にある人のことを言います。だから皆さんの会社の社長や会長もだんだん偉くなってきて、公職度合が高くなってくると、自分を守ってくれるプライバシーは実はだんだんなくなってきました。写真週刊誌は、著名人やら高級官僚やら役人やら政治家を引っ張り出します。なぜかという、彼らはプライバシーが制限されているからなのです。

準公人というのがテレビタレントや著名人、芸能人、スポーツ選手です。彼らも制限され

ます。彼らが審議会委員などをやっていたら完全に公職者になります。審議会是国家組織法第8条機関です。委員である間は公務員です。

このように公職者になればなるだけ、プライバシーは逆に制限されているわけです。皆さんの会社の社長や会長が商工会議所の役員をなさっていれば、それは公職ですから、それを幾つか複数やってかなりの地位にあるのは、それはプライバシーはほとんど制限されていますから、女性関係を叩かれようと、カジノですったとか言われようと文句を言えない。だから、その辺は結局気をつけともらうしかありません。プライベートな生活においても、公職者になればなるだけ、謹しんでいただくしかない。これは大変な危機管理のポイントであります。

これで講演を終わらせていただきます。ご静聴ありがとうございました。(拍手)

〔講演〕

リスクコミュニケーションへの 取組みについて*



盛岡 通 (大阪大学大学院工学研究科
環境工学専攻教授)

はじめに

私たちが今取り組んでいますリスク・コミュニケーション (RC) のプラットフォームづくり、ホームページを使った情報交流の場をつくることについてお話しします。一般社会のリスクに対する意識レベルをもう少し上げていきたい、地域社会における意思決定の中にこのリスクマインドというものを埋め込んでいきたいというスタンスに立っています。ですから、特定の利害関係者 (ステイクホルダー) がリスクをミニマムとしたり、対策を講じるための系統的なシナリオを描くということとは少し違うスタンスとなっていると思います。

私たちは、昨年から文部科学省のミレニアムプロジェクトという名称で3年間の研究を進めています。昨今は、このリスク対応型の研究を社会技術研究の一類型として随分と多くの方からサポートしていただくようになりました。各種の生産技術を社会に生かすため、特に安全面や環境面から社会リスク研究の必要性が強く主張されてきていると思っています

す。私たちがこの研究を始めた背景も、健康、安全、環境、それに人類生存を願う一般の社会技術研究の高まりと軌を一にしていると考えています。

実際問題として、社会的にシビアな事件であっても、その問題の発生と対応から得られた具体的な経験や知恵というものは、3年もすれば忘れ去られてしまい、みんなのものになりません。私たちとしてはそれが一番もったいないことだと思います。そこで、プラットフォームを用意して、その経験をそこに移し変え、そのシステムが言わば個人のものではなく、みんなのもの、社会的な情報インフラとして機能してくれればと思っています。そのためのプラットフォームづくりなのです。

プラットフォームの枠組みとコンテンツ

3つに分類できるリスクの発生原因

この十数年の間に、私たちの社会は本当にリスクに取り巻かれているということがよくわかってきました。私は神戸に住んでいます

*本稿は、今年1月25日の「第198回月例研究会」におけるご講演を、本誌掲載のためにテープ起こしし、とりまとめたものです。

表1 リスクの発生原因

- ①さまざまな高度技術に伴うリスク
これを「システムのほころび」として見ていく必要があるのではないかと思います。
- ②開かれた社会の人為的リスク
我々は開かれた社会を追求しており、疑いだけで特定の行為や誰かを排除しにくい状況です。ですから、意に反して入り込んでくるさまざまなリスクが生まれてきます。
- ③多様な化学物質および資源の消費によるリスク
現代社会は、物質の合成、消費それに廃棄によって、身体と地球環境に好ましくない影響を与える恐れを有しています。

が、阪神大震災以降、隣の明石市では、花火大会で11人が死亡し、さらに最近になって人工砂浜でまた死者をともなう陥没事故が発生しました。火事の話は枚挙にいとまがありませんし、世界最大のリスクといえば、昨年9月11日の米国同時多発テロ事件を挙げることができるでしょう。BSE（狂牛病）の問題も起こりました。このようなリスク原因は、表1の3つに分類できていると思っています。

市民の自立を支援することを目指して

私たちの研究は、科学的と称されるアセスメントのプロセス、政策科学として、パフォーマンスを最も尊ぶマネジメントと並行して、それらの成果を左右するコミュニケーションが重要であるという認識を出発点としています。

そこで手始めに、これまでのRCに関する書物、特にコミュニケーションを推進するためのガイドを集めて、その構成を整理してみました。こういうコミュニケーションガイドが複雑な様相を示す現場、実際のシーンで適用可能かどうか考えてみたかったからです。企業向けガイドの構成を見ると、相手が誰で、

どういう場なのかを区別した上で、状況設定として緊急時だとか、住民説明会だとか、記者会見だとかの時に、企業として取るべき事柄、あるいはやってはならない事柄が整理されています。

他方、行政機関向け、特に規制担当の行政のコミュニケーションガイドでは、生産活動、産業活動の過程で発生するリスクの低減、あるいはパフォーマンス向上のための施策を取る時の留意点がまとめられています。利害関係者の声に耳を傾けてメッセージをつくっていくとか、コミュニケーションのプロセスそのものを管理する方法、説明会の開催の仕方、事が起こった時の対応、特に危機管理型のコミュニケーションのあり方などについて書かれているものもあります。

市民向けガイドにも既にさまざまなものがあり、それなりのコミュニケーション論の枠組があります。基本的な問題として、その枠組を1つのシーンに則して考えるのはあくまでも当事者ですから、私たちがつくるRCガイドが本当に適用できるかを詳細に確かめてプラットフォームをつくらないと、一方通行的なコミュニケーションになってしまうのではないかと、私たちは考えています。極めて漠然とした不安感を市民が持つ時に、リスクゼロを求める心象を持ちやすいわけです。そのことになかなか気づいていないケースが多いので、絶対安全は求むべくもないということに気づいていただき、リスクを相対的にとらえることを学ぶインセンティブを与える、そういう方向に導く情報を提供していくことが大事ではないかと思ったのです。

市民が自立するためには、①必要なリスク情報を自ら集める、②リスクを程度で考える（分母や巾をそろえて比較、自分にとってどの



図1 RA, RM, RCの関係

程度切実な問題か、自分のことだけ考えればいいのか), ③リスクのトレードオフを考える, ④リスク情報の信頼性について考える (リスクに対する意見の源泉は, 元データの解釈の違いにあるというようなことがよくあるので, 解釈が別れる場所まで戻って考えてみる), ということが必要だと思います。

個々のケースを貫く骨太の枠組み

私たちのRCの枠組みでは, ①リスクの存在の特定, ②その大きさを見積る手順としてのリスク・アセスメント (RA), ③リスクを軽減するための対応策といったマネジメントのシステム (RM), ④リスク軽減の際の関係者間でのリスクに関する一定の理解を積み上げるリスクコミュニケーション (RC), ⑤さま

ざまな知恵, 情報を共通財産にし各主体がリスクに対応するのを支えるようなツールをつくる, という点を考慮しました。RA, RM, RCの関係を図1に, また, RCをとらえる切り口としての考え方を表2に示します。

このプラットフォームづくりにおいて, 私たちが最も参考にしたケースが, 1997年6月に起こった能勢のダイオキシン汚染の問題です。頻発した汚染事例に対して, 環境省によって問題のある焼却炉の点検が促され, 温度制御に難のある非連続炉からの切り換えが全面的に進みました。その過程で展開されたコミュニケーションの断面を整理し, どういうステイクホルダーがリスク観を高めたり, 情報交流を促進する役割を果たしたかを逐一分析しました。

表2 RCシステム導入部分の概要

①身近なリスク
我々の周りにあるいろいろなリスクイベントを, 日常生活, 産業社会, 自然災害の3つのカテゴリーに分類し, 図表などのわかりやすい情報で構成する。
②陥りやすい対応
一般市民や普通の企業が陥りやすい失敗例を取り上げる: あわてて冷静な対応がとれない, あきらめの気持ち, 誰かの責任を追及する態度。
③リスクと賢く付き合う
身のまわりや産業社会に危険が多くあることを知る。安全な状態を追及しつつも, どこまでいっても常に危険をはらんでいることを認識する。危機に対して未然に備える。危険の拡大を防止し, その被害を救済する。

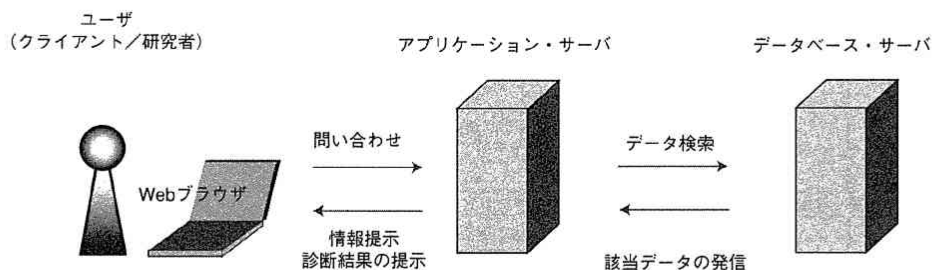


図2 コミュニケーション・プラットフォームのシステム構成の現状

私たちはこのシステムを、能勢のダイオキシン問題を1つのケースにしながら、そこから学び、その事例のコミュニケーションを支えられるようなシステムと位置づけています。勿論、ダイオキシン問題だけに対応するシステムとして運用するつもりはありません。別途、RC研究プロジェクトを展開している慶応大学湘南藤沢キャンパスの研究所が取り上げているリスクイベントも視野に入れながらシステム構築を図りたいと思っています。

「あなたが考えていることはこういうことなんですか」というやりとりをしながら検索してもらうシステムにしなければいけません。しかし、これは今のところ、すぐに達成できるものではありません。そこで、ユーザの問い合わせにオフラインで答える複数の専門家を配することにしました。ホームページ上の書き込み情報をそれぞれの専門家が読んで相手に応答するというような形でサービスを提供すると理解していただいていいと思います。

システム構成

ユーザーに情報を提示、あるいは質問に対して診断型の答えを出していくアプリケーションサーバと、基本となるコンテンツを収納し管理するデータベースサーバとで構成した上で、関連するウェブ・サイトや協力の得られたホームページ等をリンクするような形でシステムを構築して、ユーザーの要求に応えたいと考えています（図2参照）。また、ユーザーがキーワードで検索できる検索エンジンを内蔵しようと思っています。さらに、一般市民が必ずしもキーワードそのものを選択するプロセスに慣れていないと考えられることから、ランダムな書き込みの中からキーワードとおぼしきものをシステム側が選択して、

3層構成のコンテンツ

（1）RAコンテンツの例

RAコンテンツ例を図3で示しました。リスク・アセスメントの概念の解説から入りまして、その源泉をなす「化学物質一般情報」という下に「物質の毒性」というのがあって、その下に「ハザードとリスクの解説」というのがあります。このようにいくつかの層から成る構成にしています。他のホームページにリンクすることもできます。画面上のRAの「化学物質一般情報」をクリックすると、「物質の毒性」が出てきます。ここでの説明は、リスクの概念を理解できるように工夫しています。例えば、「お酒は適量に飲んでいる分には体に良いんですが、一気に飲むと急性毒性

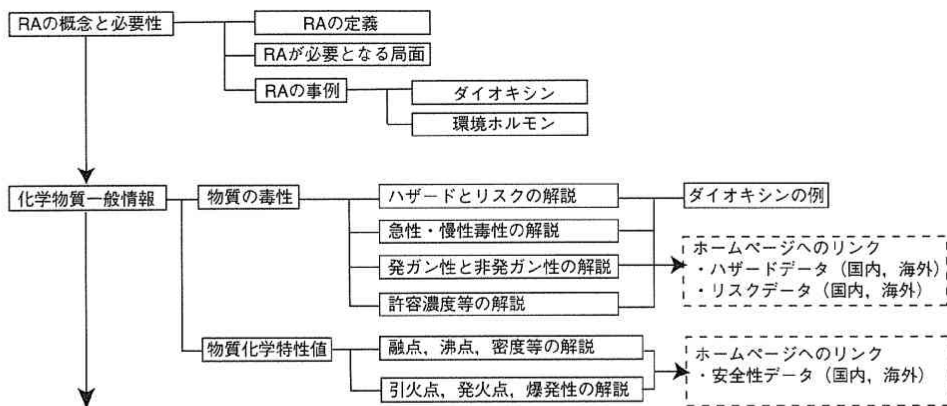


図3 システム上のRAの具体的な枠組み（部分）

になり、死ぬ場合もある」という記述でリスクは程度でとらえるべきことを市民に理解してもらえるように配慮してあります。時々「最大無作用量」など専門用語が出てきますが、これはキーワードとして内容を検索できるようになっています。

ハザードとリスクの違い

「ハザードとリスクの解説」では、リスクの源泉としてのハザードが伝播したり、減少させられたり、受け手の状況によって、ハザードは同じでもリスクは違ってくるといことなどを説明します。我々の社会ではハザードは大きいんだけど、実際に曝露される人数が少ないとか、逆にコントロールが効いてい

て実際のリスクは低いといったような多様な分布があります（図4参照）。こういう説明をしないと、一般市民は、リスクでなくハザードで恐れを感じてしまう傾向が極めて強いだろうと思います。

ハザードとリスクの違いについて、例えばダイオキシンの場合はどのようなのでしょうか。ダイオキシンは市場最悪の汚染物質と称されて、恐れられました。そのバックグラウンドレベルを比較対象とし、経路をもとに曝露される程度を全部足し合わせてRAが行われています。その結果、ハザードは大きいけれども、我々の前にあるダイオキシンのリスクは他のリスクよりも際立って高い方ではないといった論点があります。当然、そういう議論をす

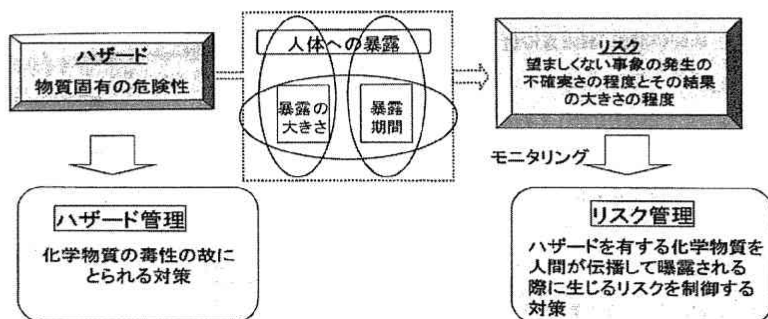


図4 ハザードとリスクの関係

る場合には不確実係数からTDI（耐容1日採取量）を求めるとか、発がん性の場合にはどのような曝露評価のモデル構成になっているか解説していく必要があると考えています。

化学物質のリスクの場合、なぜ専門家の間でも意見が違ふようなことになるのか、について解説してゆく必要があります。即ち、その背景としての、確率が小さい、長い時間がかかる、低濃度での影響を議論する場合に定まった考え方があったのではなく、不確実性の議論が過去に相当な振れ幅をもって展開されたという情報を提供することも大事でしょう。

例えば、能勢のダイオキシンの事件の場合も、市民のダイオキシンのリスクに対する反応と行政のリスクレベルに関する説明の違いが対照的でした。行政は周辺住民の血液中の平均的な濃度といった、比較対象を出すことによって「全国平均と周辺住民の平均値との差が有意ではない」という筋立てで毒性の問題を処理しようとしていました。他方、市民は、特定の異性体を取り上げて、「その異性体についていうならば、大阪府自体の平均に比べて周辺住民の血液中のダイオキシン濃度は高いもので5.5倍」というように問題をとらえました。多分データ自身の取り上げも違いますが、私たちはどちらが正しいと言うつもりはありません。むしろ、この例で示されるように、それぞれの立場の意見を載せることによって、そこを出発点にコミュニケーションを進めてもらうような役割を私たちが担えればと思っています。

（2）RCコンテンツの例

RCにおいては、市民、事業者、行政の間の

円滑な情報交流を支える人的資源が必要になってきます。その人的資源の職能として、「ファシリテーター」、「メディエーター」が必要になり、それを地域社会や企業の中で養成しようという動きがあります。図5は中身の1例です。例えば、ファシリテーターの役割を解説する部分に加えて、コミュニティ・アドバイザーを兼ねて事業者と地域社会との間の橋渡しをするアメリカのパネルの例を示して、そこで展開される実践例が分かるという組立て方をしています。

コミュニケーションの実践方法として、米環境保護庁（EPA）が明示している7つの原則も重要ポイントなので独立して掲げ、次いで、コミュニケーションを実施する上でしてはならないこと、必ずやるべきこととされてきた知恵を載せることで、アクセスした人に学んでいただくシステムの構築をしています。

このような話をしますと、「知識は増えるけれど、個別的でばらばらになってしまうんじゃないか」と懸念をお持ちだと思います。そうならないように、かなり大胆にコミュニケーションの目標を設定して、利害関係者の間で場の設定をしながら、目標を達成するためにどのような行動をするのかという一定の手順を示そうと考えています。ただし、この手順の具体化にあたっては情景を特定し、例えば、PRTR制度を軸とした化学物質の移動保管等の管理といった場の設定をしないことには、コミュニケーションの流れを描ききることはなかなか困難ではないかというのが今の印象です。

日本リスク研究学会挙げて『リスク学事典』（TBSブリタニカ刊、2000年9月）を編集しました。この中でコミュニケーションにおいて送り手と受け手の間でさまざまな不一致が生

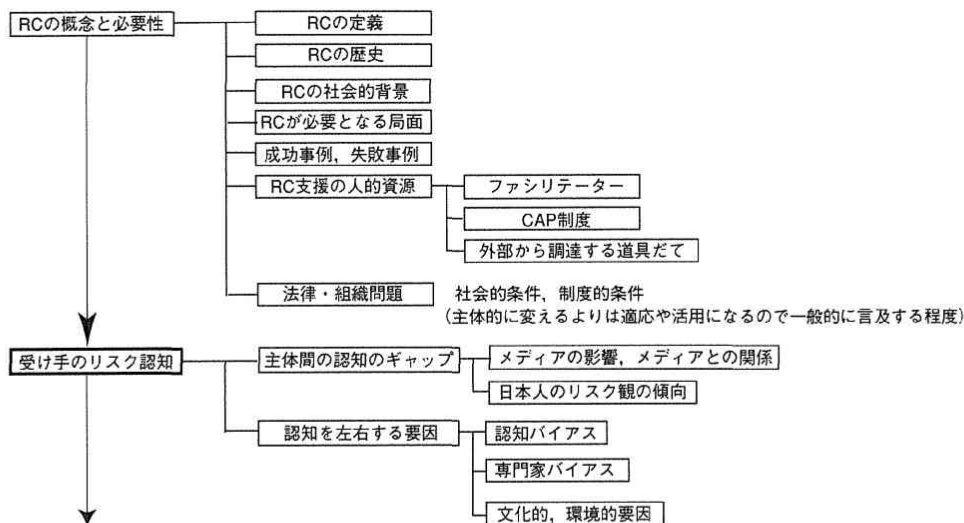


図5 システム上のRCの具体的な枠組み（部分）

ずることがあることを紹介しています。心理学では、このことを「認知バイアス」と解釈しています。例えば、ある異常傾向が計器等で観察された。ところが、この異常が通常は起こり得ないので、「何かの間違いだ」「幻想ではないか」というように考えて見逃しやすい。これは「正常性バイアス」と呼ばれていますが、こういうバイアスの様々な効果についての解説があります。この『リスク学事典』に掲載された解説は「リスク認知」の領域に限りませんが、これらの記述をコンパクトにしてシステムのコンテンツに織り込んでいきたいと思っています。

（3）RMコンテンツの例

マネジメントは、想定されるケースがいろいろあったり、問題の明確化すら難しい領域もありますので簡単ではありません。ただ、できる限りマネジメントの類型化を行っていきたくて考えて進めていきたいと思っています。

コミュニケーションとマネジメントは非常

に関連する領域です。例えば、目標達成のためには人々の参加を求めないといけませんし、参加のデザイン自身はコミュニケーション政策の対象でもありますから、RMの基本方針が前提になってそれぞれのリスク解釈と意思の伝達を行っていると思っています。

図6はRMの枠組みの例です。個々の施策を地域社会として受けとめ、理解し、受け入れていくためには、リスクの評価の仕方として、絶対化するのではなく、その相対化をはかるというスタイルをもっていただきたいと思っています。それは比較リスク分析とか、リスク便益分析という分野で基礎づくりを専門家が行ってきていることです。また、私たちは「リスクトレードオフ」という考え方を世の中で受け入れてほしいと発信しているのですが、こういったマネジメントの際の原則的な部分を整理していく必要があるでしょう。その上で個別事象のリスクマネジメントを行います。言うまでもありませんが、利害関係者によって、リスクが大きい小さいかという判断は変わってきます。

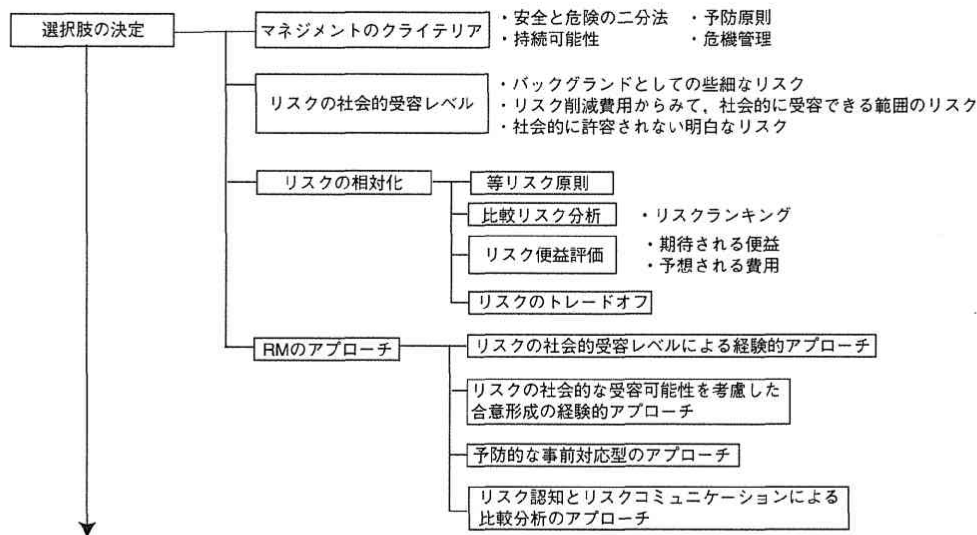


図6 システム上のRMの具体的な枠組み（部分）

それから、過去の政策的基準の変化というものを一応情報の中に収録しています。もし10万人に1人とか、100万人に1人とかの等リスク原則を1つの依るべき事項と考えていきますと、私たちの社会ではどの水準で基準値を設定してきたのかということを情報提供する必要があるだろうというように思います。

ケーススタディ

能勢のダイオキシン問題にみる

コミュニケーションの経緯

能勢のダイオキシン問題におけるRCの経過について紹介します。調停が進む過程でのコミュニケーションの様相として次の4つを抽出しました。

① 市民グループの意見態度の分裂

焼却炉の扱い等に関する調停の期間中の人

間関係に関する部分です。事業者側にとって、その多様な意見の分布をどうとらえるかという点で極めて重要な示唆を与えるものです。

単純に言い切ってしまうと過ちをもたす可能性があります。あえて言いますと、新しい住民と旧住民の間で考え方、価値判断、そして行動様式などでの違いというのがコミュニケーション上、極めて大きな要因としてあらわれてきています。

② 市民の強い不満

健康調査に対する不安が呈された段階です。この段階で重要なことは、健康を害されているのではないかと懸念に対して「あなたの健康への影響はこのレベルです。心配するには及びません」と発信していく際、市民からの不満と反発の矛先はどこに向けられているのか知ることです。一般市民は地域社会への影響という巨視的な発想よりも自分にどのように影響するかという発想になりやすいです。この様相はリスク水準を考える際、市民の不安の源泉が具体的にはどういう傾向を示

しているのかを見ていく部分です。

不安の源泉は、あらゆるところに存在します。すべての市民を対象に健康調査するという、極めてまっとうな対応策であっても、希望していたのに受診できなかったという個別体験が、次のリスク対応あるいは施策を打つ場合に、クレームや問題の指摘という形でバイアスがかかっていきます。ですから、行政は健康の問題を考える場合には、1人ひとりの市民の置かれた状況の視点で考える必要があるのではないかと思います。

③ リテラシーの機能

科学者がリスク水準を科学的に説明したとしても、私たちの社会がその説明を理解する力、リスクリテラシー、あるいは科学リテラシーを持つに至っていないことは、コミュニケーション上、注意しておかなければならない点です。リスク観を育むコミュニケーションについて想定することが大事です。

④ RCの場の設定

市民のコミュニケーションには様々な場があります。市民がどこでインフォーマルな情報交換し、調停というオフィシャルな場按要求の形で集約して出してくるのか、そのプロセスに関する部分は集団としてのコミュニケーションを語る時に重要となります。経験的には複数のチャンネルが活用できる姿が望まれているようです。

な影響を与えます。ダイオキシン問題の場合にも、毒性影響のとらえ方に大きな差が生まれました。専門家からすればダイオキシンが甲状腺機能に影響を与えるかどうかは分からないのです。むしろ、これまでの知見ではあまり良い指標ではないと理解してきました。しかし、市民は「甲状腺機能の検査をしてほしい」と要望します。一般市民が彼らなりの科学の論理構成の上で、不安から「甲状腺の検査をしてほしい」と言った場合、それを実施するかどうかを一般市民のリテラシーの水準にあわせて、専門家が判断し選択すべきこととするならば、これは合意形成のために非常に重要な段階だと考えます。

この時に、科学的論理性を極めて重視する専門家が委員会の中にいますと、市民のそういう要望をはねつけてしまうということがあります。能勢のダイオキシン問題の公害等調停委員会の席上でもそういう意見が出て紛糾し、再度問題をとらえ直してマネジメントをしたという経緯がありました。ですから、リテラシーの問題も極めて重要ではないかと考えます。

できれば、皆さん方個人個人が持っている膨大な知恵を活用してシステムに取り込んで共有化したいと思います。ぜひ私たちのホームページ**にもご意見をいただきたいと思います。ありがとうございます。(拍手)

おわりに

専門家と非専門家間の理解の仕方の違いは、コミュニケーションの様相に極めて大き

* * <http://risk.eve.eng.osaka-u.ac.jp/>

—エネルギー情報ポータルサイト構築実験から—



下岡 浩 (助)エネルギー総合工学研究所
エネルギー技術情報センター 主管研究員

1. はじめに した。ただし、これだけでは「机上の空論」

「情報化社会」といわれる現在社会において、この「情報」の重要性は以前にも増して大きくなっている。エネルギー関係においても例外ではなく、パブリック・リレーションズ（広報）や情報公開等、公衆と情報を共有することは互いの信頼関係を築く上で必須の要件である。

昔から、情報はさまざまなメディアを用いて公衆に伝えられてきているが、近年インターネットの登場によりエネルギー関係団体の多くが、この新しいメディアを情報提供等に利用している。今後も、このメディアの影響力はますます大きくなっていくものと予想される。ただ、新しい媒体であるがゆえに、その特性を生かした効果的な情報共有の手法はいまだ確立されているとは言い難い。

筆者は、十数年にわたり、原子力発電に対する公衆の認識アンケートを実施し、情報共有による信頼獲得の重要性を改めて認識した。その後、効果的なエネルギー情報共有手法について検討し、情報共有のあるべき姿を提案

した。ただし、これだけでは「机上の空論」に墮する恐れもあるので、平成13年度からそれまでの研究成果を踏まえ、実際に情報共有を行い効果的な情報供給の方法を探る実験を（財）電力中央研究所の委託研究の一環として開始した。

情報共有のメディアとしては、作成コストと有効性を考慮し、インターネットを利用することとし、計画の目的は下記とした。

- ① エネルギー情報を共有することでエネルギー関係者への信頼獲得の土壌を作る。
- ② ウェブ上（インターネット上）で公開されている有用なエネルギー情報の利用促進。
- ③ ウェブ上でのエネルギー情報共有手法の提案。
- ④ 情報共有やパブリック・リレーションズのあり方についての新しい知見の獲得。

以上の経緯から、ホームページを利用したエネルギー情報サイトを作成し、2002年4月8日に「?を!にするエネルギー講座」*という名称で公開し実験を開始した。本稿では、

* <http://www.iae.or.jp/energyinfo/index.html>, サイト名の読み方は「疑問を感動にする……」「不信を信頼にする……」「はてなを
なるほどにする……」等々、読者の皆様にお任せいたします。

このエネルギー情報共有の実験について、作成時の検討経緯や工夫、および利用者からの声等をまとめ、効果的な情報共有のあり方について以下に検討する。

ら検討した結果、エネルギーの情報共有を考える上で留意すべき点を摘出した。(表1 参照)

2.2 情報のあり方についての留意点

2. ポータルサイト作成上考慮した基本的事項

さらに、インターネットを用いたエネルギー情報共有実験において考慮した「情報」のあり方について、文献調査等による調査のまとめを次に述べる。

2.1 エネルギー情報共有のために留意すべき点

まず、効果的なエネルギー情報共有手法について、アンケート結果と文献調査の分析か

(1) 情報デザイン

例えば、気温、気圧、風力といった「データ」は、それ自体では「情報」ではない。誰

表1. エネルギーの情報共有を考える上で留意すべき点

- エネルギー技術（特に原子力発電）は社会的技術であることを常に自覚すること。
- 常に民主的と受け止められるように考慮すべきである。
- 積極的な情報提供が必要である。
- 情報を出すだけでは不十分であり、情報公開していると思われる事が重要である。
- 情報提供の目的は公衆にエネルギーのことを理解してもらうことではなく、関係者に対する信頼を得ることである。
- 対人情報伝達や双方向のコミュニケーションを重視すべきである。
- 分かりやすく簡略化された情報&オリジナル生データの提供が共に必要である。
- 自分の意見を全面肯定したり、反対派の意見を全面否定した表現を用いてはならない。
- 公衆は環境問題に高い関心を持っており、新・省エネと原子力発電は常にセットで考慮する必要がある。
- エネルギー技術（特に原子力発電）を特別のものと考えない。社会の中の1事象として考えるべきである。
- 有用性を伝えるべき。ただし、豊かな生活の増進・科学技術の進歩等に対する無条件の賛成はないとの考えを前提にする必要がある。
- マスコミは誤報・無理解等がつきものであり、その性癖を考慮した対処が必要である。
- 情報の受け手の状況把握が必要である。
- 情報の送り手の専門家を育成すべきである。
- 最も効果的で重要な情報は事故やトラブルを起こさない事である。

もが理解しやすい「かたち」で表わすことによって初めて「情報」となる。気象データは、快晴のマーク（○）や雨のマーク（●）で表され、それらが天気図に示されることによって、気象の専門家以外の多くの人々にとっても理解しやすい情報となるのである。つまり、データは、他のデータとのつながり（関係）を持つことで、理解可能な「情報」となるのである。

このようなデータを情報へ変換する作業を「情報デザイン」という。他者と情報を共有するために情報にまとまりをつけ、組織化することが情報デザインの第一歩である。

インターネットを用いてエネルギー情報共有を行う際にも、単に「データ」を表示するだけでは不十分であり、価値のあるわかりやすい「情報」に変換する作業が必要となる。

（２）情報の組織化

身のまわりの情報（およびモノ）は、必ずある基準によって組織化されている。情報デザインの専門家リチャード・ソール・ワーマンは、情報を組織化する５つの方法を「究極の５個の帽子掛け」と呼び、これらの方法で世の中にあるほとんどすべての情報を組織化

できる、としている。（表２参照）

インターネットを用いたウェブサイト**の多くは、この方法のどれかを用いてサイトの構造をデザインしている。どの方法が最適かを十分検討して、サイトデザインを行うことが必要である。

（３）サイトデザインと情報アーキテクチャ

インターネットは急激な勢いで普及しているが、「本当に欲しい情報になかなか辿り着けない」という不満を感じる人も多いと思われる。その理由は、ウェブサイトの「見た目」のデザインが格段に美しくなっているのに比べ、「使い勝手」の方は必ずしも良くなっていないからである。旧来の「印刷物」（あるいはプリントメディア）的な感覚でデザインしたのでは、本当に使いやすく魅力あるウェブサイトは作成できない。

サイトデザインが悪いから上記のような不満が生じるのである。そこで、ユーザーの使い勝手を高めるデザインを行う上で不可欠なのが「情報アーキテクチャ」という方法論である。情報アーキテクチャとは、ウェブサイトを情報の「かたまり」でできた建築物のように組み立てていくアプローチである。

表２ 情報を組織化する方法―「究極の５個の帽子掛け」

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">● カテゴリー：「総記」等の図書分類や「総務，経理，営業」等の組織区分など● 時間：歴史年表やテレビの番組表などのように、時間によって変化する情報● 位置：地図や人物の相関関係などのように、空間的な位置にしたがって情報を配列する方法● 五十音（アルファベット）順：辞書や電話帳など、非常に多い項目の情報を整理する際によく用いられる方法● 連続量：大小や高低，重要度などの程度の違いによって情報を整理する方法 |
|---|

** 一般に「ホームページ」と呼ばれている。

この「情報アーキテクチャ」の構成要素として、次の4つがある。これらの要素をうまく取り入れていけば、情報が「かたまり」として整理され、ユーザーが欲しい情報に辿り付きやすい構造のウェブサイトを作ることが可能になる。

① 情報の組織構造

情報の組織構造とは、前述の「究極の5個の帽子掛け」のように、情報の中身のある共通する性質をもった「かたまり」として整理された情報同士を互いに結びつけていく際の構造のことである。ウェブサイトで採用されている組織構造には、表3のような型があり、それぞれ一長一短ある。これを適切に使いつけることがアクセスのしやすさを実現する要素である。

今回当所が作成したウェブサイト「?を!にするエネルギー講座」のメインコンテンツである「やさしいエネルギー解説集」のコーナーでは、「純粋なウェブ型」を採用している。

② ナビゲーションシステム

サイト内での迷子状態を防ぐための仕掛けである。ウェブページのなかにあるクリックボタンを押し新しいページを開いていくと、いつの間にか自分がどこにいるのか分からな

くなる「迷子」状態になることがよくある。そのようなサイトデザインは明らかに落第である。適切なナビゲーションシステムを使い、サイトを訪れた人が次にどう進めばいいのか、自分がサイトのどの位置にいるのか、といった情報を示して、迷うことなく必要なページに辿り着けるようにすべきである。

③ ラベリングシステム

これは、情報の「かたまり」の中にどんな中身が含まれているのかを示すための方法である。情報のラベルには、サイトやページのタイトル、メニュー、ボタン名など、非常に多くのものが存在する。ユーザーの視点に立って、誰にでも分かるラベルをつけることが前項の情報の組織化やナビゲーションシステムの効果を左右する非常に重要な要素となる。

④ 検索システム

インターネットには、「Google」などの「検索エンジン」と呼ばれる情報検索のためのシステムがあり、個々のウェブサイトの中には独自に検索システムを備えているところもある。この検索システムを利用したがるユーザーは案外多い。しかし、単に機械的に検索システムを用いるだけでは、かえって混乱を招くことになる。サイト内に検索システムを設置する場合には、利用しやすくする工夫を行い、適切な検索のインターフェイス（操作環境）をつくる必要がある。

(4) ユーザビリティ

非常に重要な概念であるため、次章で詳しく述べる。

表3 ウェブサイトの組織構造

● リニア型
本のように順番に内容が進んでいく構造
● グリッド型
水平・垂直の2つのリニアな軸で構成される構造
● 階層型
多くのウェブサイトで採用されている構造
● 純粋なウェブ型
ページ同士が縦横に複雑にリンクした構造

2.3 ユーザビリティ

(1) 「ユーザビリティ」の考え方・方法論

使いやすく魅力あるウェブサイトの作成で忘れてならないのが、「ユーザビリティ」という考え方・方法論である。ユーザビリティ(usability)とは、一般に「使い勝手」「使いやすさ」と訳されるが、簡単にいうと、ユーザーの視点や発想に立ってシステムやインターフェイスの開発・改良を進めていこうという考え方のことである。

ユーザビリティの世界的権威、ヤコブ・ニールセン博士はユーザビリティの特性を5つの原則としてまとめている。(表4参照)

「作り手」は、いざモノづくりをする段になると、自分のなかにある「使い手」の視点を忘れる恐れがある。自分のデザインを他者の目でもう一度客観的に見つめ直してもらうことは、ただ単に「使い勝手」を向上させる改善・改良以上の意味をもっている。ウェブに代表されるインタラクティブ(対話型)な情報メディアは、ユーザーが能動的にかかわることで初めてメディアが成立するものであり、そのようなデザインが他のメディア以上に求められている。

ニールセンが実際に提唱しているユーザビリティの手法を表5に示す。

(2) ウェブ上におけるユーザビリティの基本

インターネットユーザーには、紙上の情報等、これまでの情報媒体とは異なるいくつかの特徴がある。この特徴を考慮することがユーザビリティを高める上で必要不可欠である。下記にその特徴を考慮したウェブ上におけるユーザビリティの基本を述べる。

表4 ユーザビリティの特性

- 学習しやすさ
すぐに、そして簡単に使用できる。
- 効率性
学習後は高い生産性を創出できる。
- 記憶しやすさ
簡単に使い方を記憶できる。
- 間違えにくさ
操作ミスやエラーを起こしにくい。
起こしても簡単に回復できる。
- 主観的満足度
ユーザーが満足し、楽しく利用できる。

表5 ユーザビリティの手法

- 作業の観察：
まず黙ってユーザーの行動をじっくりと見てみる。
- シナリオ法：
デザインしているプロトタイプを紙などで表現し、含まれている機能を減らしてみる。
- 思考発話法：
ユーザーに使ってもらいながら感じたことをありのままに語ってもらう。
- ヒューリスティクス評価法：
過去のユーザビリティテストから発見されたデザイン上の経験則に照らし合わせて分析を試みる。

① スピード

ユーザーが強く求めるものの1つがスピードである。ユーザーは表示の速いページが好きであり、遅い表示を待ってくれない。それゆえ、まず応答時間を短くする(なるべく1秒以下)ようにデザインすべきである。当然、ファイル容量の大きな画像の使用等は避けるべきである。

② 分かりやすさ

前項のスピードにも関係することであるが、素早く理解できるよう分かりやすく、すっきりしたデザインが求められる。ユーザーに考

表6 分かりやすくする方法

●説明なしでも使えるサイトにする。
●TOPページは、サイト内容が素早く明確に分かるデザインにする。
●サイトIDのようなウェブ上の暗黙の約束を活用する。
●文章はできるだけ短く簡潔にし、 unnecessaryな言葉を省く。 また、結論から先に書くという方法も良い。
●可読性を良くするため、背景は薄い単色、文字色は黒とし、できるだけ大きな文字を用いる。
●色文字はリンクのある部分だと誤解されるので色文字は控える。
●スクロールはなるべくしないようにする。特に、横スクロールは絶対に避ける。
●フレームは使わない。フレームには下記のような欠点がある。 ・再度ブックマークをたどって訪問しても、同じ表示にはならない。 ・ブラウザの上部に表示されるURLが表示ウィンドウのURLを示すものとはならない。 したがって、URLを介してウェブページを紹介することができない。 ・フレームが狭い表示領域をさらに狭くする。 ・表示通りにプリントアウトされない。
●使いやすい検索機能を付ける。リンクを利用したブラウズより、検索の方を好む人も多い。

えさせないで、一目瞭然のデザインにすべきであり、正に「シンプル・イズ・ザ・ベスト」がウェブサイト・デザインの基本である。そのためには表6のような方法が有用である。

がない行為である。従って、ユーザーがサイトのどの位置にいるのかが分かりにくくなっている。そのために、表7のような方法が有用である。

③ 自分の位置の特定

ウェブページを見るという行為は、モニター上のバーチャルな体験であり、物理的感覚

④ ユーザーの環境

ユーザーのネット環境はさまざまで、どの基本システム（OS）、画面サイズ、解像度、

表7 ユーザーが自分の位置を特定できるようにする方法

●クリックするとTOPページに戻るサイトIDを利用する。
●現在どの位置どの階層にいるのかが分かるナビゲーション機能を採用する。
●一目でどの階層にいるのかが分かるデザインを採用する。例えば、同一カテゴリー、同一階層のページには同一デザインを採用する。
●ページタイトルをよく考えて付ける。ページタイトルは、ブックマークや履歴リストを見る時に役に立つ重要な情報である。
●リンク元のリンク名とリンク先のページ名は一致させる。
●サイト構造の階層を深くしない。ただし、選択肢の数も多くしない（7以下が望ましい）。
●複数のブラウザーウィンドウを表示しない。

表8 ユーザーの環境を考えた方法

- あまり使われていないや先進的な技術は使わない。
- ウィンドウズ、マッキントッシュ両方のOSや古いブラウザにも対応させる。
- 特殊なケースを除き、現在利用されている最も小さなモニターサイズは横幅640ピクセルである。そこで、ページ幅は600ピクセル以下で設計する。
- プリントアウトによる利用を行うユーザーのために、モニター上とプリントアウト（特に、グレー印刷）での利用の両方を考慮する。

ブラウザ等にも対応できるように作成しなければならないことはウェブサイトをデザインする上で当然である。表8に示す方法が有用である。

⑤ ユーザビリティテスト

サイト作成者がどんなにユーザビリティを考慮しても、恐らく完璧なものとは作れない。サイト作成者の判断を整理するためにも、実際にユーザーにテスト使用してもらい問題点を洗い出す「ユーザビリティテスト」は不可欠である。ユーザーの意見ほど有用なものはない。

3. エネルギー情報ポータルサイト構築の方針

(1) サイト構築の基本方針

① サイトコンセプト

サイト作成前には、まずサイトコンセプト(5W1H)を考慮する必要がある。基本的にエネルギー情報は最低限の情報のみを提供し、詳しい情報が得られる他サイトへのリンクを充実させ、ここを見ればエネルギー情報サイトが皆分かり目的の情報が入手しやすい、と

いうポータルサイトの作成を目指す。内容は、訪れる人の判断の参考となるように、できるだけ中立的に記述する。

ユーザーのメインターゲットは、最もエネルギー情報を欲している（または提供したい）と思われる中高生とし、対象を絞ってサイトを作成することとした。

② リンク機能の活用

「リンク」機能をフルに活用する。ウェブサイトの最も有効な特徴であり、他メディアと異なる点の1つは「リンク」機能である。他サイトへのリンクを活用し、他サイトからのリンクも積極的に受け付けなければならない。「リンク」機能こそウェブの基盤であり、他関連サイトへのリンクは必要不可欠である。これがないと情報の流れはそこで止まってしまふ。これは情報にとって致命的であり、一言で言えば「死んだ情報」となる。

また、文字を読みたがらないユーザーのために、文章は簡単に書くべきだが、半面、それではより詳しい情報を求めるユーザーのニーズに応えることができない。また、1つのページに求める全ての情報があることは希である。そこで、この問題には、他サイトも含めて求める情報があるページへリンクを張ることで対応する。幸いなことにユーザーの多くは関連ページも見たがるものであり、リンク機能の充実化は有効なものとなる。

③ 表示速度

表示までの時間なるべく短くなることを心がける。ウェブサイトはスピードが命である。例えば、図表の色数はできるだけウェブ用の216色カラーパレットを用いる。

④ ユーザビリティ

何よりも、ユーザーに分かりやすいウェブ
サイトであることを第一に考え、ユーザビリ
ティを認識して作成する。

⑤ スクラッチ&ビルド

読みやすいウェブサイトの作成には、作成
者の他に、作成されたサイトをユーザーの立
場で批評を行う協力者が必要である。さらに、
ユーザーからの意見を参考に修正を加えてい
くことが、より良いサイト構築の基本である。

従って、ウェブサイトを双方向のメディア
として活用するためにも、常に批評者の意見
を求め、サイト運営者とユーザーをつなぐ電
子メールアドレスなどのチャンネルを用意し、
改良作業に努める。

(2) サイト構築の具体的方針

前項のサイト構築の基本方針を考慮し、下
記の具体的方針でウェブサイトを作成した。

① サイトの構造

サイト構築にあたり、構成要素として、下
記の事項を考慮する。

● サイト名

サイト名は内容を的確に表すという条件
の他に、覚え易く、親しみやすく、興味を
引く名前であることが望まれる。検討の結
果、サイト名として「?を!にするエネル
ギー講座」という名称を採用した。

● 主要コンテンツ

分かりやすいサイト構造を目指し、コン
テンツは図1および図2の3項目とした。

● ページデザイン

各コンテンツには基本色を割り当て、現
在ユーザーがサイト内のどのコンテンツに
いるのか分かるようにした。

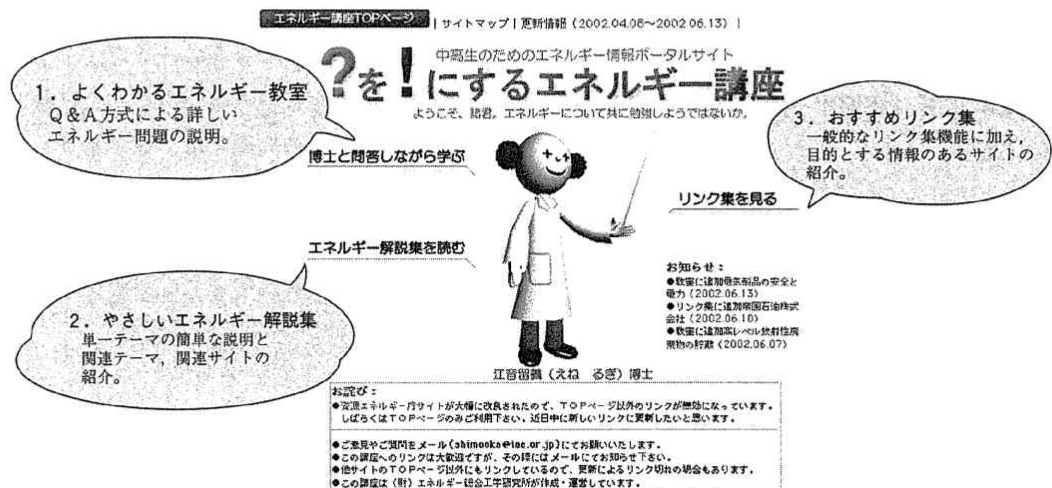


図1 「?を!にするエネルギー講座」のトップページ

1. よくわかるエネルギー教室→青
2. やさしいエネルギー解説集→赤
3. おすすめリンク集 →黄

また、これら3コンテンツの目次ページや情報ページには同様のページデザインを採用し、現在ユーザーがどの階層にいるのか分かるようにした。

● ページタイトル

ウェブページのページタイトルは必ず付ける必要がある。ページタイトルは「履歴」や「戻る」ボタンを利用した場合に表示されるので、これがあるとユーザーは簡単に目的のページにジャンプすることができる。また、今回のウェブサイト作成においては、ページタイトルを「?を!に…>解説集>>人類とエネルギーのかかわり」というように、いわゆる「パンくずナビゲーション」方式を採用し、目的のページを探し易くした。

② トップページの作成方針

ウェブサイトの顔であるトップページは、どのようなサイト内容であるか明確に示す、できるだけ速い表示速度にする、コンテンツの数はできるだけ少なくする、スクロールなしで表示できる大きさにする等の方針で作成した。

● お知らせ・更新情報

頻繁に訪問するユーザーのために、トップページの分かりやすい場所にこれらの情報、またはこの情報ページへのリンクを配置する。

再度、サイトを訪れるユーザーにとって

この情報は必須である。スピードを重視するユーザーに対し、求める情報に簡単にアクセスできるようにしなければならない。

● 問い合わせの連絡先

サイト運営者とユーザーをつなぐチャンネルとして、電子メールアドレスを載せる。双方向というウェブの持つ最も有効な手段を利用するため、メールアドレスはウェブサイトの必須要因の1つである。

● 注意事項

このサイトへのリンクについての条件や、サイト作成・運営者を明示する。

原則的に、ネットルールとしてウェブサイトへのリンクは自由であるとされているので、「このサイトへのリンクは自由」との記述を行う。

③ 「やさしいエネルギー解説集」ページの作成方針

目的の情報を入手しやすくするポータルサイトを目指すという基本方針に従い、説明は簡単にし、別ページまたは他関連サイトへのリンクを充実させる。そのため、1件1葉の情報提供スタイル、最初に結論を箇条書きで示す等の方針で作成した(図3参照)。

④ 「よくわかるエネルギー教室」の作成方針

上記の「エネルギー解説集」だけでは、こま切れのデータとなり、全体像が分かりにくく、関心の強い人しかアクセスしないと考えられる。そこで、「エネルギー解説集」の情報をQ&Aの問答形式に再構成し、親しみやすい解説のコーナーとした。そのページ中に「エ

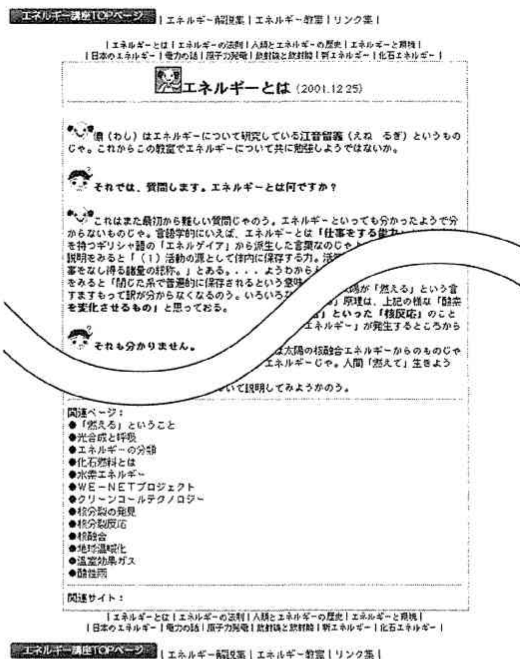


図3 「やさしいエネルギー解説集」の例

「やさしいエネルギー解説集」へのリンクを張り、関心のあまり強くない人にも興味を持ってもらうようにした。また、双方向のコミュニケーションを目指し、ユーザーからの質問に答えるコーナーも設けた(図4参照)。

⑤「おすすめサイト集」の作成方針

最終的に数百サイトを登録することを目標にしている。その場合、一覧表でサイトを探すことは困難になると考え、基本的には検索で目的のサイトを探す方法を採用した。

また、サイトの情報にはさまざまなものがあり、どのサイトにどのような情報があるのかを示すことは、ユーザーにとって非常に有益であると考え、情報内容別の推薦サイトも示すことにした。(図5参照)。

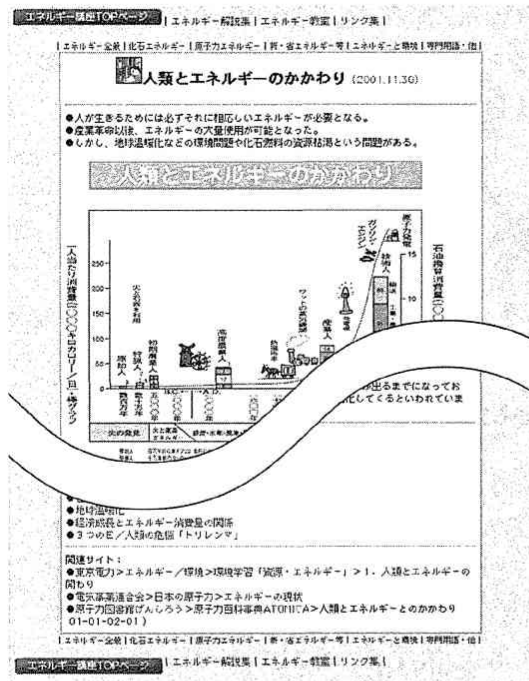


図4 「よくわかるエネルギー教室」の例

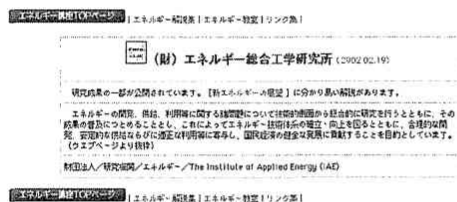


図5 「おすすめリンク集」の例

4. おわりに

読みやすい情報共有サイトの作成には、ユーザーの立場で批評する協力者が必要である。そこで、今回の作成時においてもこのような協力者からの意見をもとに数多くの修正を行っている。これまで協力していただいた皆様に感謝の意を表します。また、今年度からは、中学・高校の教諭の方々にも協力をお願いし

ており、加えてユーザーからの意見を募集し、さらなる修正を加え、より良いサイトの構築を行いたい。

まだ不完全なサイトですが、この報告をご覧の皆様にも是非ご訪問いただき、できましたらご意見を戴ければ幸いです。

参考文献

- (1) 下岡浩『原子力のパブリック・リレーションズの考察』原子力eye, Vol.48. No. 7 (2002年7月)
- (2) 渡辺保史『情報デザイン入門 インターネット時代の表現術』平凡社新書096, 平凡社 (2001年7月)
- (3) D. A. ノーマ『誰のためのデザイン? 認知科学者のデザイン原論』新曜社 (1990年1月)
- (4) (株) ビービット『ウェブ・ユーザビリティルールブック 顧客を増やすサイト設計』インプレス (2001年7月)
- (5) ヤコブ・ニールセン『ウェブ・ユーザビリティ 顧客を逃がさないサイトづくりの秘訣』エムディエヌコーポレーション (2000年8月)
- (6) スティーブ・クルーグ『ウェブ・ユーザビリティの法則 ストレスを感じさせないナビゲーション作法とは』ソフトバンク (2001年6月)
- (7) ルイス・ローゼンフェルド, ビーター・モービル『情報アーキテクチャ入門 ウェブサイトとイントラネットの情報整理術』オライリー・ジャパン (1998年12月)
- (8) ダレル・サノ『ユーザーオリエンテッドなサイト構築のための実践Webデザイン論』翔泳社 (1997年10月)
- (9) ロビン・ウィリアムズ, ジョン・トレッド『ノンデザイナーズ・ウェブブック』毎日コミュニケーションズ (2000年2月)
- (10) I S T Webデザイン研究会『Webサイトづくり成功の秘訣』共立出版 (2001年6月)
- (11) 安藤和宏『よくわかるマルチメディア著作権ビジネス』リットーミュージック (1996年8月)
- (12) 資源エネルギー庁公益事業部『原子力コミュニケーション 新しい原子力広報を目指して』エネルギーフォーラム (2001年3月)
- (13) 篠江俊彦『現代の広報－戦略と実際－』電通 (1997年8月)
- (14) 電通パブリックリレーションズ『広報110番ーパブリック・リレーションズ実務辞典ー』電通 (1998年3月)

プルサーマルの意味

楠野 貞夫

(財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 専門役



1. はじめに

日比谷通りと外堀通りとが交差する西新橋交差点の西北角にたいまつを掲げたプロメテウスの金色像がある。外堀通りに面する当研究所からは、この像がよく見える。我々人類が、天然ウランを加工して原子力発電を進めてきたことも、その結果として生まれてきたプルトニウムを混合酸化物(MOX)燃料に加工して再び原子力発電の燃料とすることも、すべて人類が火を使い始めたことと同様に、地球誌のなかの自然な1こまにすぎない。

「プルサーマル」は、最近の新聞でよく見かける言葉である。しかし、一体「プルサーマル」とは何だろうか？ おそらく英語では、“Utilization of plutonium in thermal reactors”、“Plutonium recycle in thermal reactors”、“Thermal recycle of plutonium” などであろう。直訳すれば、「熱炉(後述)でのプルトニウム利用」「プルトニウムの熱炉でのリサイクル」とかになる。日本の「プルサーマル」が順調に進んでいないことに関して、6月10日読売朝刊15面に新井光雄編集委員が意見を述べている。「こんな和製英語を作らずに、少しでも実体に近い核燃料サイクル、あるいは原子燃料サイクルとでもしておけば、ひょっと

して事態は変わったかもしれない」と。

また、「サーマル」あるいは「熱」炉とは「普通原発」のことである。すなわち、加圧水型軽水炉(PWR)と沸騰水型軽水炉(BWR)のことであり、軽水炉(LWR)と総称している原子炉のことである。1986年に史上最大の事故を起こした旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所4号炉は、西側から見れば「普通の原発」ではない。

日本では、52基の軽水炉が稼働中で、約4,600万kWを発電している。世界全体では348基が稼働中で32,200万kW余、世界の発電量の17%を発電している。軽水炉が世界の原子力発電設備容量に占める割合は9割近くにのぼる⁽¹⁾。

2. 核分裂の一般的な話

プルサーマル理解の一助として、先ずその基礎となる核分裂一般の性質について述べる。

(1) 核分裂で得られるエネルギー

「熱」炉の「熱」とは、原子炉中の中性子の持つエネルギー状態を表す言葉である。原子炉中では、ウラン原子核1個の核分裂あたり、ほぼ200 MeV(百万電子ボルト)*のエ

*エネルギーの単位の1つ。

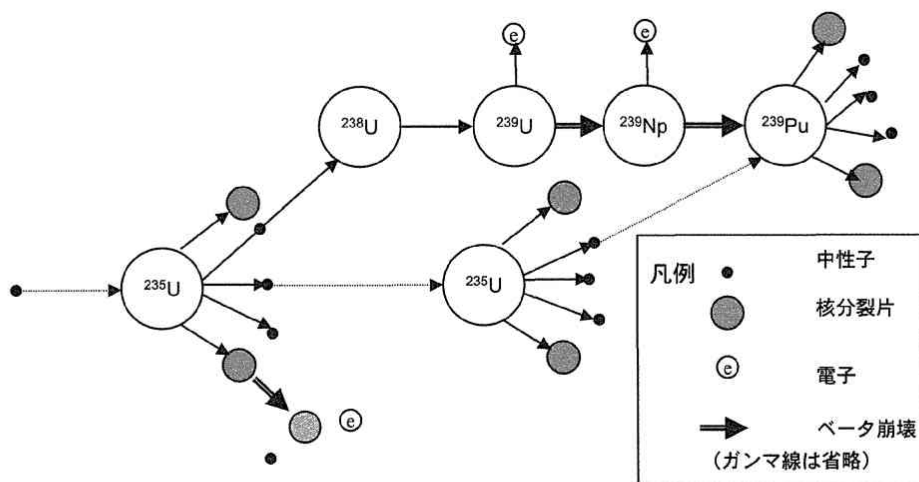


図1 原子炉の中で起きている核反応の概念

エネルギーが発生する。核分裂で発生した直後の中性子は、4.8 MeVの高い運動エネルギーを持っているので、高速中性子と呼ばれている。速度は2万km/秒という高速である。この中性子をそのまま連鎖反応の引き金に使う原子炉が「高速炉」である。中性子の速度を減速させていくと、中性子は減速材と熱平衡に達する。このときの中性子を熱中性子と呼んでいる。そのエネルギーは典型的には0.0253 eVであり、速度は2,200 m/秒である。時速換算で毎時7,920 kmであり、ジャンボ旅客機の巡航速度約1000 km/時の約8倍に達する。

図1は、原子炉の中で起きている核反応を、簡略化して示したものである。中性子(n)を吸収したウラン235(質量数235のウラン原子核： ^{235}U)が核分裂を起こし、2個の核分裂片、数個の中性子(即発中性子)やガンマ(γ)線(即発ガンマ線)などを出す。

このように、原子炉の中では、最初にウランだけであっても、中性子を吸収したウランは核分裂するが、プルトニウムに転換される。

さらにそのプルトニウムはウランと同様に核分裂をするか、または中性子を吸収して、より大きな質量数を持つ原子核に転換される。このような現象を「燃焼」と称しているが、ウランを燃料とする原子炉であっても、ウランだけが燃焼している訳ではなく、生成されたプルトニウムもまた燃焼しているのである。すなわち、原子炉内では、核分裂性物質(^{235}U やプルトニウム239(^{239}Pu))は、中性子吸収によってなくなると同時に、他の原子核の転換によっても生まれている。

核分裂当たりのエネルギーのうち、原子炉の中で熱として回収できるものを表1にまとめる。 ^{235}U では195 MeV、 ^{239}Pu では202 MeVである。

実際には、すべての中性子が核分裂を引き起こすわけではない。中性子が原子核に吸収される際には、 γ 線の形でエネルギーが放出される。従って、1個の核分裂当たりで発生するエネルギーは、表1の195 MeVの他に中性子捕獲に伴う5 MeVのエネルギーを加え

表1 ウラン235核分裂当たりの発生エネルギー内訳⁽²⁾

発生エネルギー内訳		(MeV)	備考
核分裂時	核分裂片の運動エネルギー	168.2	
	即発中性子の運動エネルギー	4.8	
	即発ガンマ線のエネルギー	7.5	
核分裂片の崩壊時	ベータ線の運動エネルギー	7.8	
	中性微子のエネルギー	(12)	利用できない
	ベータ崩壊に伴うガンマ線のエネルギー	6.8	
	遅発中性子のエネルギー	--	無視できるほど小さい
利用できるエネルギーの合計		195	

て、200 MeVとなる。²³⁹Puの場合には、対応する値は約 207 MeV である⁽²⁾。1 g の²³⁵U がすべて核分裂すると、そのエネルギーは 0.95 MWd $\div$ 1.96 $\times$ 10⁴ Mcal となる。

このエネルギーを原油で賄おうとすると約 2 klが必要である。これは重量換算では2 t に近い膨大な量であり、しかも、燃やすと1.5 t 余の炭素がCO₂の形で空中に廃棄される。

(2) ウランは濃縮して燃料にする

「普通原発」である軽水炉の場合、天然

ウランを濃縮した濃縮ウランを燃料とする。天然ウランには、質量数で234, 235, 238の同位体がある。核分裂性は²³⁵Uのみであるが、原子数割合で0.720%（重量割合では0.711%）しか含まれていない。残りの大部分はウラン238（²³⁸U）である。濃縮ウランを製造する場合には、濃縮の残り滓として、劣化ウラン（廃棄ウランまたはテイルウランともいう）も同時にできる。劣化ウラン中の²³⁵U 割合は、天然ウランの値よりもかなり低く、例えば、

表2 ウランの等級分類⁽³⁾

名称	²³⁵ U 濃度(%)	備考
劣化ウラン (DU: Depleted uranium)	0.711 未満	MOX 燃料母材またはブランケット燃料として利用する他に、さらに再濃縮する場合もある。
天然ウラン (NU: natural uranium)	0.711	濃縮せずに利用するか、MOX 燃料母材とするが、大部分は濃縮して利用する。
低濃縮ウラン (LEU: low enriched uranium)	0.711 超、 20.0 未満	5%未満が商業軽水炉で利用されている。
高濃縮ウラン (HEU: Highly enriched uranium)	20.0 以上	原子力潜水艦や研究炉の燃料として使われてきた。また、核兵器保有国は、初期の核分裂型兵器 (fission-type nuclear weapon) にもこれを比較的小規模に利用したが、大部分の量は熱核兵器 (thermonuclear weapon) に利用されたものと信じられている。
兵器級ウラン (WGU: weapon-grade uranium)	90.0 以上	量的にも多く、かつ核拡散上も問題となる WGU を、HEU と称していることが多い。
回収ウラン (RepU または RU) (Magnox 燃料から回収されるものは、とくに MDU と呼ばれることがある)	0.711 前後	使用済燃料を再処理して回収されるウラン。再濃縮して、濃縮ウラン燃料として利用する。ベルギーの Doel-1 炉やフランスの Cruas-2, 3, 4 炉では、再濃縮した回収ウランを燃料としてきた。MDU は、英国では天然ウランレベルまで再濃縮されて再利用されている。

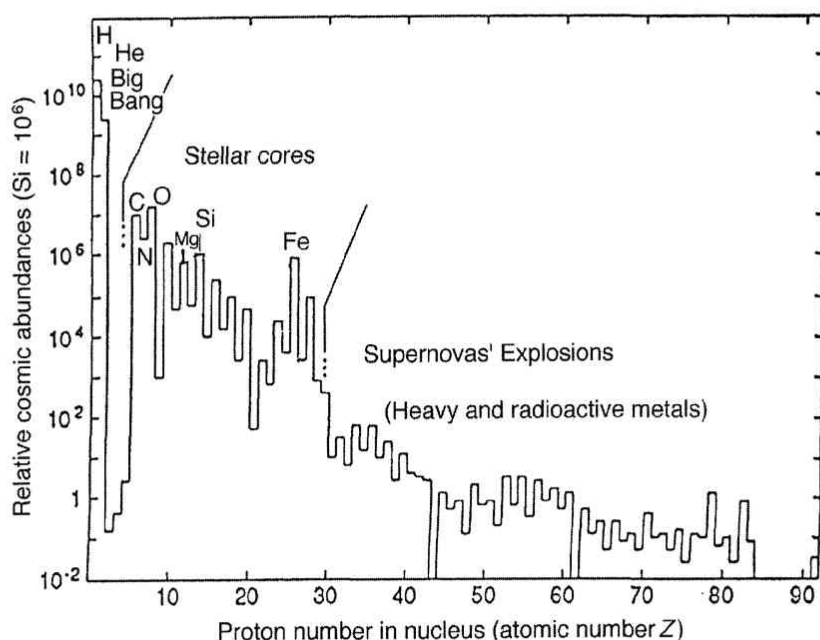
※ 参考文献(3)を基に作成。

0.225%などである。濃縮ウラン製品の濃縮度が高くなるほど、必要な天然ウラン量も、分離作業量（濃縮のための仕事量）も増大する。ただし、同じ濃縮度の製品を一定量得るために、劣化ウラン中の ^{235}U 割合を大きくしていけば、分離作業量は減少するが、天然ウラン必要量は増加する。

商業軽水炉燃料の濃縮度は ^{235}U が5%未満である。実用上は、濃縮度の変動を考慮して4.95%を上限値にしている。通常、これは低濃縮ウラン（LEU：low enriched uranium）と呼ばれている。表2にまとめたように、一般的には、濃縮度が天然ウランよりも大きく20%未満の濃縮ウランをLEUといい、20%以上の濃縮ウランを高濃縮ウラン（HEU：high enriched uranium）と呼んで区別している。

（3）ウランは生き残り、プルトニウムは消えた

今から約150億年前に、宇宙はビッグバンという爆発から始まったと言われている。それ以前の記録は宇宙には一切ない。宇宙の物質はすべてビッグバンの爆風に乗って広がっている。ビッグバン後の宇宙物質は、水素とヘリウムという2つの元素からできていた。それから10万年後、水素とヘリウム・ガスが形成され、さらに数10億年後（今から約140億年前）、その他の90個の元素が、約1億個の赤色巨星と呼ばれる星の内部で水素とヘリウムの急速な燃焼（核反応）により生成され、赤色巨星の爆発によって近隣の星雲の中にまき散らされた。我々の太陽の起源は、銀河の形成と、銀河の中における無数の赤色巨星の生成



※ 水素とヘリウムの存在比はビッグバンに由来する。
炭素（Z=6）から鉄（Z=26）のピークに至るまでは、星内部における原子核合成に由来している。鉄ピークを越えた元素は超新星の爆発から生じたものである。超新星の爆発が分子雲の元となり、これが最終的には太陽系を形成した。

図2 太陽系で見られる元素の相対存在比⁽⁴⁾

表3 現存する原始トリウムおよびウラン同位体[※]

原子核	半減期 (年)	存在比 (%)	地殻存在比 (ppm) *	海水存在比 (μg/dm ³) *	安定娘核	備考
$^{232}_{90}\text{Th}$	1.405×10^{10}	100	9.6	0.6×10^{-3}	^{208}Pb	ほぼ宇宙の年齢に等しい半減期。 α 崩壊(A=4n: Thorium 系列)。 親物質
$^{235}_{92}\text{U}$	7.038×10^8	0.7200	2.7	3.3	^{207}Pb	α 崩壊(A=4n+3: Actinium 系列)。 核分裂性物質
$^{238}_{92}\text{U}$	4.468×10^9	99.2745			^{206}Pb	α 崩壊 (A=4n+2 : Uran-Radium 系列)。親物質

● 地殻および海水存在比のみ、岩波理化学辞典から引用。

※ (5) から作成

消滅に伴う核融合と中性子吸収反応によるものである。重い元素の合成は、宇宙を構成するすべての星雲（銀河も含む）の中で起こったに違いないと考えられている。太陽系の物質は、今から約46億年前に銀河（星雲）から分離された。従って、140億年～94億年前に、原子核が合成されたことになる。この現象を示唆する証拠は、我々の太陽系を構成する元素の相対的な存在度に記されている（図2参照）。元素の存在度は原子核の半減期や中性子吸収断面積などの性質とよく相関しており、核反応を通じてこれらが合成されたことを示している。

星は様々な核融合反応を起こしながら進化していく。水素の核融合反応によって光る主系列を離れた星の大部分は赤色巨星となり、その終末を迎える。星の死に方は、大きく2種類に分かれる。太陽のように比較的質量の小さい星は、燃料である水素の燃焼が継続した後、ヘリウムが少し燃焼した後は、白色矮星となって静かに冷えていく。それに対して、太陽質量の8倍以上の大きな質量を持つ星は、重力崩壊を起こして超新星という華々しい爆発を起こして飛び散っていく⁽⁶⁾。

赤色巨星と呼ばれる太陽よりも遙かに巨大な星では、水素燃焼は太陽よりも急速に進行し、百万年程度で水素が燃え尽き、こうしてできたヘリウムは、さらに融合してだんだん重い核をつくると考えられるが、発熱反応としては鉄（Fe）またはニッケルあたりまでしか進まない。それより重い核を合成する最も重要な反応は中性子の捕獲反応（n, γ ）で、中性子束の大小によって分類されるがその結果、ビスマス他のウランやトリウムなど重い元素が生成する。

このようにして、地球上に核分裂可能な核種として、トリウム232（ ^{232}Th ）、 ^{238}U 、 ^{235}U が存在しているのである。これら3つの原子核は、その半減期が十分に長いために現在も生き残っている（表3参照）。特に、 ^{232}Th 、 ^{238}U の半減期は長いので、地球誕生時の46億年前の量は、それぞれ現在の1.25倍、2.04倍程度である。しかし、 ^{235}U の量は現在の92.7倍もあったことになる。すなわち46億年前には、ウランは約25%の高濃縮ウランであった。オクロ（Oklo）ウラン鉱山で天然原子炉が稼働を始めた20億年前にはウラン濃縮度は3.7%であったと推定される。ガボンにあるオクロ鉱

表 4 プルトニウム同位体※

質量数	半減期	崩壊形式 (*)	主要放射線 (MeV)	備考；基底状態 SF 半減期
232	34 m	EC (>80%) α (<20%)	α 6.60 (62 rel) 6.54 (38 rel)	
233	20.9 m	EC (99.88%) α (0.12%)	α 6.30 γ 0.235	
234	8.8 h	EC (~94%) α (~6%)	α 6.200 (4%) 6.149 (1.9%)	
235	25.3 m	EC+ β^+ (99.9973%) α (2.7×10^{-3} %)	α 5.85 γ 0.049	
236	2.858 y	α (100%) SF (1.37×10^{-7} %)	α 5.768 (68.1%) 5.721 (31.7%)	^{232}U に α 崩壊する。 SF 3.5×10^9 y
237	45.2 d	EC (99.9958%) α (4.2×10^{-3} %)	α 5.65 (0.0007%) 5.33 (0.0015%) γ 0.059 (3.25%)	^{237}Np に β 崩壊する。
238	87.7 y	α (100 %) SF (1.85×10^{-7} %)	α 5.499 (71.0%) 5.457 (28.8%)	SF 4.77×10^{10} y。原子力電池
239	2.411×10^4 y	α (100 %) SF (3.0×10^{-10} %)	α 5.157 (73.1%) 5.144 (15.0%) γ 0.129	SF 5.5×10^{15} y。核分裂性。
240	6.563×10^3 y	α (100 %) SF (5.75×10^{-6} %)	α 5.168 (72.9%) 5.124 (27.0%)	SF 1.2×10^{11} y
241	14.4 y	β^- (99.998 %) α (0.00245 %) SF ($\sim 2.4 \times 10^{-14}$ %)	α 4.897 (0.002005%) 4.853 (0.00292%) β^- 0.021 γ 0.149	β^- 崩壊して ^{241}Am になる。 SF $\sim 6 \times 10^{10}$ y。核分裂性。
242	3.73×10^5 y	α (100%) SF (0.000554%)	α 4.900 (76.5%) 4.856 (23.5%)	SF 6.84×10^{10} y
243	4.956 h	β^- (100%)	β^- 0.581 γ 0.084 (23%)	^{243}Am に β 崩壊する。
244	8.00×10^7 y	α (99.879%) SF (0.121%)	α 4.589 (80.5%) 4.546 (19.4%)	自然界にごく微量存在する
245	10.5 h	β^- (100%)	β^- 1.281 γ 0.328 (25%)	^{245}Am を經由して ^{245}Cm へ。
246	10.85 d	β^- (100%)	β^- 0.374 γ 0.224 (23%)	
247	2.27 d	β^- (100%)		
^{241}Am	432.7 y	α SF 3.8×10^{-10} %	α 5.486 (85.2%) 5.443 (12.8%) γ 0.059 (35.9%)	

(*) SF=自発核分裂(spontaneous fission)、EC=電子捕獲、 α =アルファ崩壊、 β =ベータ崩壊。原子力産業では、質量数 238～242 のプルトニウムが重要である。

※ (5) から作成

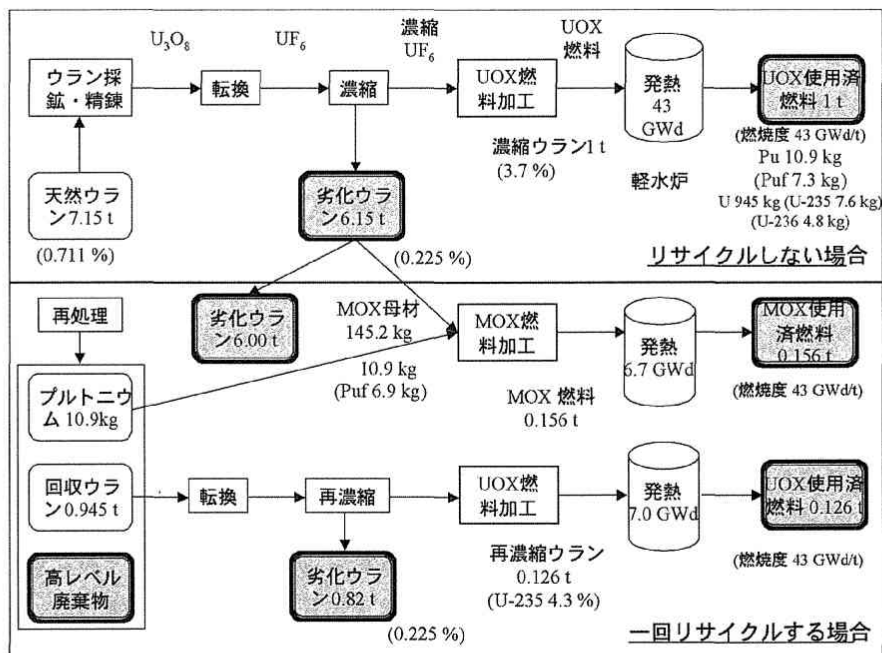
山では、今までのところ、16カ所で天然原子炉の痕跡が発見されている⁽⁷⁾。

この他にウラン234 (^{234}U) も天然に存在しているが、これは半減期が短いために、 ^{238}U のアルファ (α) 崩壊によって供給されているにすぎない。すなわち ^{234}U と ^{238}U の存在割合の比はその半減期の比になっている。表 3 にはないが、最大の安定原子核であるビスマス209 (^{209}Bi) は、ウラン237 (^{237}U) → ネプチニウム237 (^{237}Np) から始まる α 崩壊系列

($A = 4n + 1$: ネプチニウム系列) の安定娘核 (崩壊していった最後の安定な原子核) である。

(4) プルトニウムの復活

プルトニウムもまた原始には、トリウムやウランと同様に生成された。しかし、プルトニウム同位体の半減期は、 ^{235}U に比べても短いものばかりである。表 4 では、アメリシウム241 (^{241}Am) はプルトニウム同位体ではな



上段：天然ウラン7.15 tを濃縮ウラン燃料1 t（濃縮度3.7%）に加工して、原子炉で燃焼すると、1 tの使用済燃料（燃焼度43 GWd/t）のほかに、6.15 tの劣化ウランが残される。
 下段：上記使用済燃料を4年間冷却後再処理し、その2年後にPuは劣化ウランを母材としてMOX燃料に、回収ウランはすべて再濃縮して濃縮ウラン燃料に加工して燃焼する。0.282 tの使用済燃料、6.8 tの劣化ウランとわずかな高レベル廃棄物が残される。再濃縮ウランは、²³⁶Uに対する反応度補償のために、やや濃縮度を高めている。

図3 軽水炉を中心とする燃料サイクルの例

いが、プルトニウム241 (²⁴¹Pu) のベータ (β) 崩壊で生じるので、参考のため加えた。また、崩壊形式と、主要放射線もまとめた。半減期は、最も長いプルトニウム244 (²⁴⁴Pu) でも²³⁵Uよりも一桁小さい。大部分のプルトニウムは、 α 崩壊により、また自発核分裂により、他の原子核になってしまった。しかし、20世紀になって人類は、人工元素を作り出すことができるようになった。プルトニウムがNpに続く2番目の人工超ウラン元素として同定されたのは、1941年である。これらの名前は、単純に天王星 (Uranus)、海王星 (Neptune)、冥王星 (Pluto) から採用したものである。これら惑星の名前は、ギリシャ神話の神々に由来する。プルートは地下の神、地

下すべての富の神、鉱山と農耕の神、富の授与者である。また、地獄と破滅の元素でもある。

プルトニウムの半減期は相対的に短いため、天然には事実上存在しない。従って、ウラン鉱山はあっても、プルトニウム鉱山というものはない。

3. プルサーマルの話

(1) 核燃料サイクルの一部分であるプルサーマル

軽水炉を中心とする燃料サイクルの流れを図3に示した。例として、ウラン燃料の濃縮度は3.7%とし、図上段の使用済燃料中のウラ

ンおよびプルトニウム組成は文献（８）によった。プルサーマルの特徴は、プルトニウムを将来高速増殖炉で使用される予定の劣化ウランと混合してMOX燃料とする。天然ウランも濃縮工程も不要である。

使用済燃料 1 t を再処理してプルサーマルを行えば、濃縮ウラン 0.156 t すなわち天然ウラン 1.1 t の節約となる。さらに、回収ウランも再濃縮してリサイクルすれば、濃縮ウラン 0.126 t（天然ウラン 0.9 t）の節約となり、両者をあわせると、天然ウランを 28% も節約することができる。節約 30% という数値は、米国の商業再処理を止めたジミー・カーター大統領によって提唱された INFCE 会議報告にも示されている^{（９）}。

プルサーマルのもう 1 つの特徴は、ウラン使用済燃料 1 t が、MOX 使用済燃料 0.156 t すなわち 6.4 分の 1 に減容することである。さらに、回収ウランもリサイクルすれば、3.5 分の 1 に減容される。しかし、再処理コスト、MOX 燃料成形加工コストが高いから、プルト

ニウムは不経済だと主張する人々もいる。確かに、備蓄ウランの放出、ロシアの余剰濃縮プラントによる劣化ウランの再濃縮や余剰核兵器からの HEU が希釈されて市場に投入されるなど、ここ当分のウラン市場は二次的資源により、影響を受けている。しかし、この状態がいつまでも続く訳ではない。

一般的に、単位投入物量あたりの発生エネルギーが増加、言い換えれば、燃料の取出燃焼度（核燃料 1 t 当りの発生エネルギー量：GWd/t）が増加すれば、燃料サイクルの経済性は向上する。発生する使用済燃料は、取出燃焼度に反比例して減少するからである。ウラン燃料の場合には、濃縮度 5% 未満^{（10）} という制限によって、取出燃焼度には、上限（～70 GWd/t）が存在する。しかし、MOX 燃料のプルトニウム富化度は許認可で支配されるので、さらに高燃焼度化の可能性がある。もちろん、材料や炉心特性の制約はあるが、それは技術開発上の問題である。

表 5 プルトニウムの等級分類[※]

等級	スーパー級	兵器級 ^e (WPu)	原子炉級 (RPu)			
²⁴⁰ Pu	< 0.03	< 0.07	> 0.18			
Pu 質量数			Magnox ^c (5 GWd/t)	CANDU ^c (7.5 GWd/t)	PWR ^a (33 GWd/t)	PWR (53 GWd/t)
238		0.0001			0.013	0.029
239	0.98	0.938	0.685	0.666	0.603	0.538
240	0.02	0.058	0.250	0.266	0.243	0.258
241 ^b		0.035	0.053	0.053	0.091	0.100
242		0.0002	0.012	0.015	0.050	0.075
SF 中性子 (n/g/sec)	20	66			360	
崩壊熱 (W/kg)	2.0	2.3			10.5	
文献	(2)	(2)	(8)	(8)	(2)	d

(a) 10 年冷却後再処理

(b) ²⁴¹Am を含む

(c) 取出直後

(d) (8) のデータから、10 年冷却後再処理時の値を算出

(e) 兵器級と原子炉級の間(0.07~0.18) は、燃料級と呼ばれている

※ (2) および (3) を基に作成。

(2) プルトニウムに違いはあるか

興味本位のプルトニウム利用反対者がいつも問題にするのは、商業炉から回収されたプルトニウム（原子炉級プルトニウム：RPu）で、原爆を作ることができるかである。RPuを使って少なくとも2件のテストが1953年と1962年に行われたようである。長崎型よりもはるかに威力は小さかったと言われている。

ウランに等級があるように、プルトニウムにも等級がある。典型的な例を表5に示す。

ウランでは、単純に核分裂性の ^{235}U 割合で区別するのに対して、プルトニウムの場合には、核分裂性ではないが、核分裂可能な ^{240}Pu 割合が基準になっている。これは、まったく軍事目的の基準である。その理由は、核弾頭物質の爆縮が起きる際に、偶数質量数の同位体、特にプルトニウム240（ ^{240}Pu ）（プルトニウム238（ ^{238}Pu ）、プルトニウム242（ ^{242}Pu ）も同様）の自発核分裂による高エネルギー中性子が、プルトニウム中での連鎖反応を未熟な状態で開始してしまうため、核兵器の十分な爆発は失敗し、その核出力が減るからである。偶数質量数の同位体により放出される熱もまた、核兵器取り扱い上大きな問題となる⁽²⁾。 ^{240}Pu に対しては、自発核分裂からの中性子放出率は約 910 (g sec)^{-1} であり、RPuにおいては、 220 (g sec)^{-1} の寄与をしている。 ^{238}Pu および ^{242}Pu もまた表4に示すようにかなり大きい値を持っており、全中性子放出割合はRPuに対しては 360 (g sec)^{-1} である。もしも、総Pu質量で6 kgのPu爆弾を想定すると、これは毎秒 2×10^6 個の中性子放出となる。兵器級Puにおける自発核分裂からの中性子数はかなり少なく、またスーパー級ではさらに少ない。従って、predetonation（前駆爆轟）の確

率はこれに対応して低くなる。RPuを使うと、未熟な状態の連鎖反応の確率が大きい⁽²⁾。

商業取引では、プルトニウムの重量は、特定のバッチ毎にその核分裂性同位体（ $\text{Pufiss} = ^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}$ ）の量で表現される。しかし、保障措置の目的からは、各バッチの全プルトニウム重量が常に測定される。

燃焼度の高い使用済燃料ほど、核分裂性プルトニウム（ Pufiss ）は減少することが分かる（表5）。プルトニウムがウランと違う点の1つは、半減期の短い ^{241}Pu の存在である。

^{241}Pu が14.4年で β 崩壊して生成した ^{241}Am は、 α 崩壊の際に約60 keVの γ 線を出す（表4）。また、偶数質量数の同位体からの自発核分裂中性子放出もある。

通常、分離されてから3年以内のプルトニウムをリサイクルすることが最も良い。もし、プルトニウムがそれ以上長く放置されると、燃料加工の前に、余分の防護を装備したり、化学的手段によりアメリシウム（Am）を抽出したりする必要もある。その結果、兵器製造者にとっては、RPuはまた、その放射毒性がより高いために、より注意をもって取り扱うことが要求される。

(3) 核不拡散とプルサーマル

解体核兵器プルトニウムに関する事情は、HEUに比べて問題が多い。同位体のブレンドでは解決にはならない。なぜなら、プルトニウムに関しては、あらゆる関連する同位体混合から臨界質量を形成することが可能であるし、またプルトニウムはMOX燃料（劣化ウランとプルトニウムの混合物）から化学的手段により容易に分離できるからである。しかし、MOX燃料として、原子炉で燃やして

MOX使用済燃料とすれば、核拡散抵抗性は高くなるとしている（使用済燃料基準）⁽²⁾。解体核兵器のプルトニウムの処分方法については、長い間の論争の結果、米エネルギー省はプルサーマル方式を選択した（2002年1月23日）。最初の試験MOX燃料は2004年半ばにマクガイヤー（McGuire）炉に引き渡されることになっている⁽¹¹⁾。

（４）膨大なMOX燃料の使用実績

米国および欧州では、1960年代初期からプルサーマルが実施されてきた。そのなかで現在も実施中の国は、ベルギー、フランス、ドイツ、スイスの４カ国である。2001年末までに、3500体以上のMOX燃料集合体が燃焼された。また、わが国では、核燃料サイクル開発機構（JNC）の重水減速沸騰軽水冷却型（圧力管型）炉「ふげん」のMOX燃料がこれまでに726体利用され、燃料破損が１体もないという実績があることも付け加えておきたい。

４．おわりに

プルサーマルを、少し異なる観点から見てみた。紙面の制約から、プルサーマルを含めた長期的な燃料サイクル戦略、増殖を含めた燃料利用率に関する議論は別の機会に行いたい。多少専門的な視点も交えた説明になったが、プルサーマルの用語自体を議論する際の参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) 日本原子力産業会議『2001年次報告 世界の原子力発電開発の動向（2001年12月31日現在）』（平成13年5月）に、2002年1月運開の女川3号機82.5万kWを加えた。
- (2) David Bodansky, "NUCLEAR ENERGY: Principles, Practices, and Prospects," AIP Press (1966)
- (3) David Albright, Frans Berkhout and William Walker: "Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996. World Inventories, Capabilities and Policies, Sipri," OXFORD UNIVERSITY PRESS (1997)
- (4) Armand Delsemme, "OUR COSMIC ORIGINS: From the Big Bang to the emergence of life and intelligence," CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS (2000)
- (5) "Table of Isotopes, 18th Edition, 1998 Update, Wiley-Interscience.
- (6) 杉本大一郎、吉岡一男編、『宇宙の進化』NHK放送大学教材に加筆
- (7) Herman V. Henderick X, "PLUTONIUM: Blessing or Curse?" ,The Copper Beech, (1999)
- (8) "PLUTONIUM FUEL: AN ASSESSMENT," OECD/NEA (1989)
- (9) "Report of INFCE Working Group 4: REPROCESSING, PLUTONIUM HANDLING, RECYCLE, International Nuclear Fuel Cycle Evaluation," IAEA (1980)
- (10) ASTM Designation: C 787-90; ASTM Designation: C 996-90.
- (11) "Nuclear Fuel" February 4, 2002-3: "DOE decides to focus on MOX track for disposition of weapons Pu."

二酸化炭素以外の温室効果ガスに関する 国際シンポジウム（NCGG-3）に参加して



黒沢 厚志（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. はじめに

日本や欧州で、温室効果ガス削減を定めた国連気候変動枠組条約京都議定書に関する批准の動きが始まっている。しかし、削減義務のある先進国や移行期経済圏諸国のポジションは、アメリカのように離脱を明言している地域があるなど、現時点で統一的なものではない。議定書は、温暖化ガス排出量に制約が課されている枠組条約附属書I国の55か国以上の批准、および1990年時点の二酸化炭素（CO₂）排出量附属書I国合計の55パーセント以上をカバーする国の批准、という2つの条件がともに満たされた場合発効するように定められている。議定書が発効するか否かは、日欧が批准に向かい、アメリカが離脱を表明した現時点では、ロシアの動向にかかっているといつてよい。

条約附属書I諸国に対する温暖化ガス削減目標は、CO₂以外の温暖化ガスについても、削減効果を温暖化ポテンシャルによりCO₂換算した上で、包括的削減目標としての達成に用いてよいことになっている。しかし、化石燃料起源のCO₂については分析評価が進んでいるが、それ以外の温暖化ガス発生源については、発生量、削減費用とそのポテンシャル

に関する不確実性が大きい。

京都議定書で定義されている温暖化ガスは、CO₂、メタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）、ハイドロフルオロカーボン類（HFC）、パーフルオロカーボン類（PFC）、六フッ化硫黄（SF₆）の6種類である。気候変動対策の柔軟性には、地域的柔軟性（共同実施、クリーン開発メカニズム、排出権取引などの京都メカニズムがこれに含まれる）、時間的柔軟性（バンキングやボローイング）の他にも、削減ガスの多様性を考慮することが必要であると考えられる。温暖化への寄与が最大であるCO₂対策は今後とも必須であるが、多種類の温暖化ガスの削減策検討によって、気候変動対策の選択肢が増加するとともに、柔軟な対応策の提示が可能となるためである。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の排出シナリオ特別報告書には、CO₂以外の温室効果ガスの排出実績と予測のデータが掲載されている。世界全体では、メタン、亜酸化窒素に加えて、HFC、PFC、SF₆の3種類のガスの総称であるフッ化ガス（元素記号をとってFガスと呼ばれることも多い）を含めた5種類のガスのCO₂換算合計値で、温暖化ガス全体の排出量の20%程度に達しているとされ

る。日本の場合はCO₂が90%以上と推定されているが、世界レベルでみると、特に途上地域を中心として、CO₂以外の温暖化ガスの対策も重要となっている。

CO₂排出は、化石燃料燃焼というエネルギー起源の排出が圧倒的に多く、セメント製造、土地利用変化（森林伐採など）に伴う排出等がこれに続いている。それに対し、CO₂以外の温室効果ガスは、どのような発生源から発生しているのであろうか。

メタンについては、農業（稲作、家畜腸発酵等）、廃棄物（埋立等）、エネルギー（天然ガス・石油、石炭の採掘・輸送時の漏出、燃焼）などからの発生が多く、亜酸化窒素については、農業（家畜排泄物、窒素肥料施肥等）、廃棄物（焼却）、エネルギー（燃料の燃焼）、工業プロセス（アジピン酸（ナイロンの原料）、硝酸の製造）等からの発生が多い。日本におけるメタンおよび亜酸化窒素の1999年の排出量内訳を図1に示す。100年間の温室効果をCO₂換算した温暖化ポテンシャルは、1分子あたり、メタンで21、亜酸化窒素で310でありCO₂よりも大きい。

また、フッ化ガスは、冷媒、絶縁材、発泡

剤、噴霧剤、半導体洗浄、消火剤などの各種用途に用いられ、オゾン層破壊のためモントリオール議定書で使用禁止が決定されたフロン類の代替人工物質を含む。これらフッ化ガスは、オゾン層破壊効果は減少したものの、強力な温暖化効果を有しており、温暖化ポテンシャルが数千から数万に達する気体が数多く含まれている。

2. 第3回二酸化炭素以外の温室効果ガスに関する国際シンポジウム (NCGG-3)

CO₂以外の温室効果ガスは、京都議定書の削減対象となっているメタン、亜酸化窒素、フッ化ガスに加えて、フロン類、オゾンがあることが知られている。これらの温室効果ガスに対しては、従来から、その発生や大気中の挙動について、主に自然科学的側面からの検討がなされてきたが、気候政策面からの要請により、削減策についても取り組みがなされるようになってきている。

このような背景のもとに、学際的情報の効率的交換を意図したCO₂以外の温室効果ガス

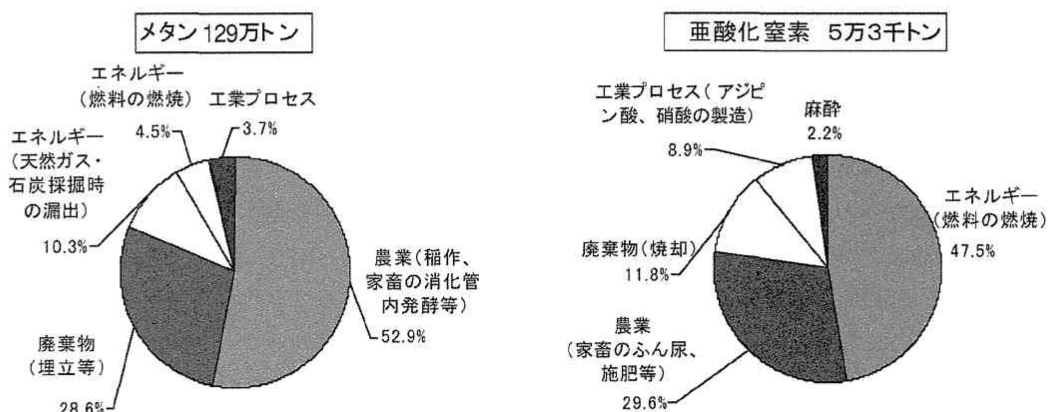


図1 1999年の日本のメタン、亜酸化窒素の排出内訳⁽¹⁾



図2 マーストリヒ・コンファレンス・センター全景

に関する国際シンポジウム（International Symposium on Non-CO₂ Greenhouse Gases, NCGG）が定期的開催されている。これまでの会合では、CO₂以外の温室効果ガスの削減ポテンシャルは大きく、かつCO₂削減と比較してコスト効率的なケースもあることが指摘され、その一部はIPCC第3次評価報告書にも引用された。筆者が参加した2002年1月にオランダのマーストリヒト・コンファレンス・センター（図2）で開催された第3回会合（NCGG-3）は、これまでの成果を踏まえ、

さらに進んだCO₂以外の温室効果ガス手段に関する知見を深めることを目的としている。NCGG-3は、オランダ環境専門家協会（VVM）の主催、IPCC、欧州委員会（EC）、国連食糧農業機関（FAO）、アメリカ環境庁（USEPA）、オランダ住宅環境省等が後援して開催された。会議は、CO₂以外の温室効果ガスに関する発生メカニズム、排出量・吸収量推定、削減策、大気化学、経済影響、政策的側面などのセッションから構成された（表1参照）。参加者は欧州を中心に約200名であった。

表1 NCGG-3 プログラム

	ストリームA	ストリームB	ストリームC
1月21日（月） 09:00-13:00	オープニング・セッション		
14:00-17:20	○農業起源のメタン・亜酸化窒素排出 ○その他起源のメタン・亜酸化窒素排出	○インベントリ	○フッ素化合物排出削減 ○メタン排出削減
1月22日（火） 09:00-12:40	○地下水・河岸・通気帯水系および淡水域における亜酸化窒素発生 ○メタン発生源と吸収源	○排出インベントリおよび排出検証の不確実性	○温暖化ポテンシャル ○亜酸化窒素排出削減
13:30-15:10	○メタン発生源と吸収源	○CO ₂ 以外の温室効果ガス政策	○亜酸化窒素排出削減
15:30-17:30	ポスターセッション		
1月23日（水） 09:00-12:40	○亜酸化窒素排出源と吸収源 ○測定とトレンド	○経済的側面 ○フッ素化合物排出源	○オゾンおよび大気化学
13:30-15:30	クロージング・セッション		



図3 ユーロ誕生を祝福する市内にある銀行の旗

オランダ東部の街マーストリヒトは、ドイツ、ベルギー両国境の近くに位置し、近年では通貨統合を決定したマーストリヒト条約を議論した場所として有名である。ユーロ現金流通直後であり、街には欧州連合（EU）の旗が至るところで掲げられていた（図3）。

以下には、まず全体セッションであるオープニング・セッション、およびクロージング・セッションと参加セッションでの主なトピックを紹介したい。また、本報告内では、CO₂以外の温室効果ガスというのは長いので、会議のタイトルにもなっているNCGG（Non-

CO₂ Greenhouse Gases）と呼ぶこともあることを断っておく。

（1）オープニング・セッション

後援機関からの参加者などによるプレゼンテーションがあった。

a. 基調講演（Thorgeirsson（科学技術に関する補助機関（SBSTA）/IPCC））

京都議定書交渉では6種類の温暖化ガスを包括的に削減するバスケット削減が採用された。IPCCでは、フッ化ガス排出削減に関する

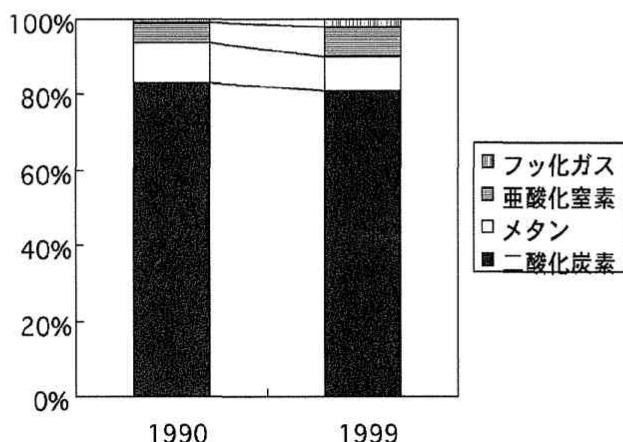


図4 京都議定書で削減対象の温室効果ガスの排出比率（世界全体、CO₂換算）

文書公開、温暖化ガス排出インベントリデータ提供などを行い、削減活動を支援している。

b. IPCCの活動 (Metz (IPCC))

京都議定書に含まれるNCGGの温暖化への寄与率は20%程度と推定されている (図4)。IPCC第3次評価報告書では、NCGGの重要性、排出量の不確実性が再確認された。特に農業、林業、土地利用変化に関する不確実性が大きい。HFC類は過去10年で排出量が倍増し、今後10年でも倍増が予想される。省エネ型冷蔵庫や空調は、電力消費が少ないためエネルギー起源のCO₂排出は少ないが、代替フロンを利用しており、温暖化に対してはトレードオフがある。冷蔵庫では炭化水素利用が進行中である。アジピン酸生産における亜酸化窒素対策のように、低コストでNCGG削減が可能である手段は多数ありそうだ。また、冷却効果を有するエアロゾル (大気汚染や火山噴火などで生じる大気中微粒子) に注目が集まっており、次のIPCC評価報告書の主要テーマとなるだろう。

c. CO₂以外の温室効果ガスへのECの取り組み (Vanio (EC))

EUが最低コストで削減目標 (1990年の排出と比較してマイナス8%) を達成するための対策をモデルで評価した。エネルギー起源のCO₂、メタン・亜酸化窒素を削減し、その他起源のCO₂、代替フロン等3ガスの排出増加を多少許容する方策をとった場合の削減費用が最小となることがわかった。NCGG排出の占める割合は、EUでは20%程度だが、途上地域では50%程度に達する国もある。EUでは、農業起源の亜酸化窒素は、生産高補助から土地面積補助へといった補助金制度変更でかなり減少した。埋立地、自動車、フッ化ガ

ス対策なども実施、検討中である。

d. FAOの気候変動問題への関与 (Sanchez (FAO))

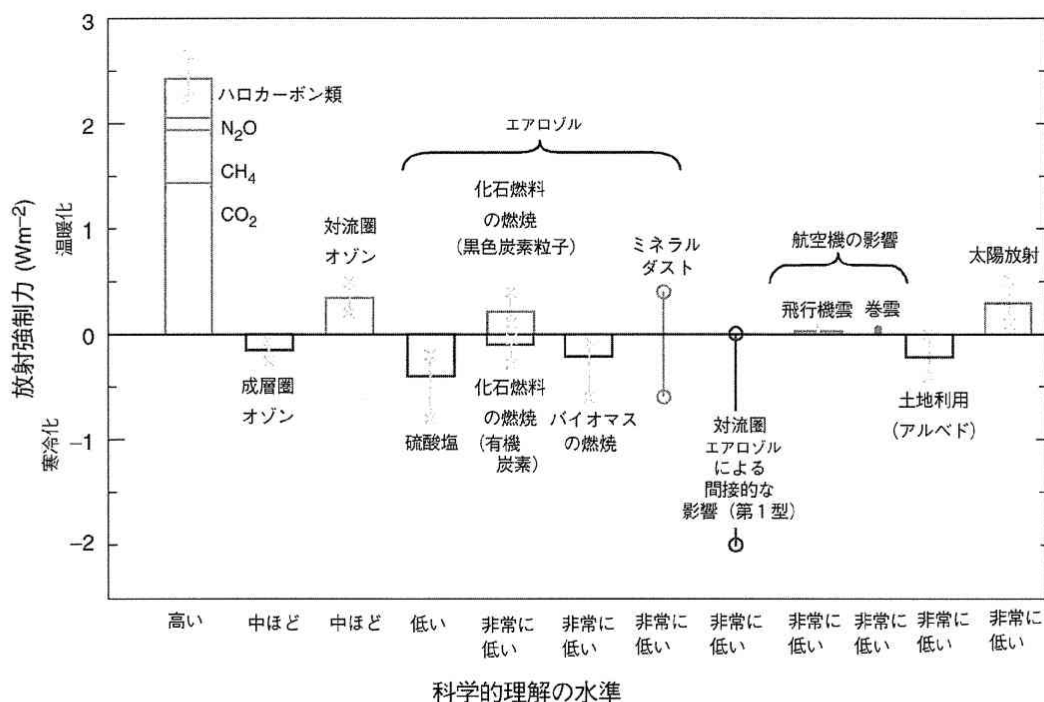
FAOでは、農業と気候変動の関連に関する各種調査や情報提供を行っており、家畜・穀物・土地利用に関する長期シナリオ、農業部門からの亜酸化窒素・メタンの測定方法などの報告書を公開している。今後もNCGG評価活動を継続する予定である。

e. CO₂以外のガス：進展と見通し (Kruger (USEPA))

フッ化ガスについては、多くの先進国で1990年より排出量が下がっており、亜酸化窒素もアジピン酸対策等の産業部門排出で削減傾向に転じたものがある。排出量推定精度も向上している。今後は、産業界との協力、NCGGの気候変動政策への組み込み、政府－専門家間の情報共有、削減技術移転、ボトムアップ評価とトップダウン評価の結合、排出量予測精度の向上、温暖化ガスインベントリ整備と不確実性の削減、温暖化ガス寿命と削減対策特性の理解、農業・代替フロン類・運輸部門など削減の難しい部門での対策、およびIPCCへの参画などが重要である。

f. レビューペーパー：温室効果ガスと大気化学：大気汚染と気候変動政策の統合に向けて (Dentener (ISPRA joint research center, イタリア))

対流圏オゾンは3番目に重要な温暖化ガスであり (図5)、メタン、亜酸化窒素との相互関係もある。IPCC第3次評価報告書以後の作業では、オゾン減少によるメタン、亜酸化窒素の増加が重要となるだろう。それでも、CO₂は依然として最も重要な温暖化ガスであることに変わりはない。温暖化ガス・各種汚



※地球へ入る放射と出る放射バランスが崩れると、気候系はバランスを回復する反応を示す。大気から地表面に向けての放射が増加すると（グラフで正の方向）、温暖化する傾向となる。

図5 産業革命から現在までの地球規模での放射強制力の変化と内訳⁽³⁾

染物質排出と環境影響（生物多様性、農業、気候、健康）は複雑に関係しているため、温暖化ガスおよび大気汚染政策は統一的に取り扱われるべきである。

g. レビューペーパー：エアロゾルと気候 (Ramanathan (カリフォルニア大学サンディエゴ校, アメリカ))

エアロゾルには天然起源（海塩、ダスト、オーガニック・カーボン、硫黄酸化物等）と、人間活動起源（硫黄酸化物、オーガニック・カーボン、ダスト、ブラック・カーボン等）の2種類があり、太陽光を反射するので地域気候に影響が大きい。アメリカでは国レベルでのエアロゾル評価研究プログラムが立ち上がる予定になっている。

(2) クロージング・セッションと関連トピック

クロージング・セッションでは、セッションサマリ、招待講演があった。以下には関連セッションでの発表におけるトピックを含めて、分野別の総括を試みる。

a. 気候変動について

招待講演では、気候変動枠組条約第6回締結国会議（COP6）の議長であったブロンク大臣のスピーチがあった。

冷戦終了直後にリオデジャネイロで開催された、国連「持続可能な発展に関する会議」では、世界の重要な対立要因がなくなったため、協力に対する熱気が感じられた。その5年後に温暖化ガスの定量的削減目標を含む京

都議定書が定められ、昨年のマラケッシュで運用則の詳細合意に至った。この世界的な合意には大きな意義がある。次のステップは、京都議定書発効であり、今年ヨハネスブルグで開催される、「持続可能な成長に関する世界サミット（リオ・プラス10）」までに発効することが期待されている。

グローバリゼーションは今後ともこれらの地球環境に関する交渉において重要な問題であり、持続可能な社会への道筋を与えるために社会、経済および技術的な要素を統合的に示さなければいけない。京都議定書の内容に関する交渉には、IPCCなどの科学的知見が活用されたが、政治的意志がなければ合意には至らなかったであろう。

今後の我々が歩む道は簡単なものではない。温室効果ガス削減に関与する国を増やす必要があり、アメリカはこの地球規模の問題に対する国際コミュニティに再加入する必要がある。京都議定書発効直後はともかく、長期的には経済成長に伴って大きくエネルギー消費が伸びると予想されている途上国の参加も必要である。

ヨハネスブルグ会議では、持続可能な発展に関する全般的な検討や決定がなされることが予想されるが、気候変動に関する新たな交渉は行われまいだろう。気候変動交渉は、京都議定書第2約束期間に関する検討を行うCOP8、COP9で、別途検討が行われるものと思われる。

b. メタン：発生源強度推定に対する進展

シンポジウムでは、未処理下水、廃鉱といった2種類のメタンの新たな発生源についての議論がなされた。これらの排出量は、現在推定されている発生総量に大きな影響を与える可能性がある。下水に関して従来は、先進

国の下水処理場に焦点をあてていたが、特に途上国の未処理下水からのメタン排出量はそれを上回る可能性が指摘されている。石炭廃鉱からのメタン発生も注目を集めており、メタン回収増加により、推定方法に対する必要性は大きい。

エネルギー部門では、2つの問題が提起された。ひとつは、廃鉱からのメタン回収はこれまで国別の排出量推計に含まれておらず、回収量データ収集により排出量推定精度が高まる可能性があること、もうひとつは、先進国の化石燃料からのメタン排出量は過大に推定されており、実績に従って、標準的な排出係数を見直す必要性があることである。

腸発酵、水田などの農業および土地利用起源の発生源に対しては、直接的および間接的な推定手法の進歩によって、排出量推定の精度は高まっており、特にこれまで精度の低かった農業分野での進展が見られた。腸発酵に関しては、SF₆トレーサー法による測定を行っているいくつかの農業国のデータを集計比較することで、より正確な推定が可能になると思われる。排出係数および推計方法をまとめたIPCCガイドラインでは、排出係数標準値を定めているが、飼料の違いなどの要因によって国ごとの排出係数は大きく異なっていることが予想される。農業国では、動物排泄物からのメタン発生量も大きく、処理方法、温度などに大きく依存する。温度依存性に対する報告がなされた他、排泄物の汚水池（ラグーン）処理では滞留時間が排出量に大きく影響することがわかった。水田からのメタンの発生量に関しては、他の農業起源の発生源と同様に、国による違いがあると共に、国内地域間でも発生量に差異が認められる。従来の排出係数は先進国からの情報に基づいていたが、実測データとの比較によって、水管理、温度、

pHなどによって影響を受けることがわかっている。土地利用起源のメタン排出にも注目が集まっている。輪作や、土壌質による排出係数の変化などの効果が報告された。

廃棄物部門評価も進展している。不確実性の扱いなどが記述されている最新のIPCCグッド・プラクティス・ガイダンスでは、産業廃水メタン発生量評価方法の進展が示されている。先進国の下水処理場を中心とした評価は、途上国の管理されない水管理システム（浄化槽等）にまで拡張される必要がある。

メタンの発生強度に関する評価は進んでいるが、特に評価が開始されてから期間が短い発生源に対する不確実性が大きく、国別、地域別の評価をさらに強化する必要がある。

（関連セッション）

関連セッションでは、中国農業気象研究所から中国の土地利用変化に関する温室効果ガスの発生量推定報告、USEPAからの世界メタン発生量評価、API（American Petroleum Institute）からの石油・ガス産業施設運転からの温室効果ガス推定方法の検討、EUの温室効果ガス排出トレンドと予測などの報告があった。

c. 亜酸化窒素排出推定の進展

人間活動による亜酸化窒素発生量は、少なくとも過去100年間にわたって増加してきている。その結果、濃度は、産業革命以前の濃度275ppb^{*}から、現在の315ppbまで増加した。発生量増加の主な原因は、農業部門での食糧増産である。その他の産業からの排出も無視できない。亜酸化窒素の発生原因はよくわかっているが、発生の空間的、時間的分布の定量的把握は容易ではない。IPCCガイドライン

等はその定量化を助けるものである。大国での亜酸化窒素発生量の把握は困難であるが、地球レベルでは大気濃度から排出量を逆算することができる。窒素換算で、1850年の11 Tg/yearから、1990年代半ばには18Tg/yearに達していることが推定される。

農業は、人為起源の亜酸化窒素発生の約80%を占めており、化石燃料燃焼（固定源、移動源）、産業（特にアジピン酸と硝酸製造）、バイオマス燃焼がそれに続いている。農業からの排出源は3種類に分類できる。直接排出（肥料・動物排泄物・穀物残差および生物的窒素固定などによる土壌への窒素供給増加）、畜産活動（畜舎や貯蔵中の動物排泄物の貯蔵）、間接排出（窒素分の地表水および地下水への流出に伴う増加）などがその原因である。窒素酸化物やアンモニアの排出増加も、化学反応を通じて亜酸化窒素排出増加の原因となる。

過去20～30年間、世界レベルでの亜酸化窒素発生量は科学的に議論されてきた。1980年代には、化石燃料燃焼が最も重要な人為起源の排出源であると思われていた。1990年代前半には、化石燃料燃焼による排出量が過大評価されていることがわかってきたが、濃度上昇の原因は明確ではなかった。1990年代半ば以降、農業が最も重要な人為起源の発生源であるという認識が一般化し、不確実性はあるものの、濃度上昇原因を説明できることがわかった。前回会議（NCGG-2）では、世界レベルでは大きくないが、局所地域的に排出の多い排出源を無視できないことが指摘された。それらは、大気中窒素酸化物から誘導された亜酸化窒素、アジピン酸および硝酸以外の化学工業、大気中の亜酸化窒素合成反応、麻酔用笑気ガス、地球温暖化の結果増加した亜酸化窒素、農業以外の水系への窒素投入などで

* ppbは10億分の1を称する単位

ある。それ以降、新たな発生源は報告されていない。

運輸部門、特に三元触媒付きの乗用車からの発生量は大きい。その発生量は、車種、燃料および運転モードで異なることが知られている。会議では、現在の排出係数が技術進歩によって低減する可能性が示された、これらの技術進歩をIPCCガイドラインにどう織り込むかは政策的課題として残されている。

農業部門からの排出実測例やモデル研究に関する報告も数多くなされた。それらの多くは土壌中への窒素投入に伴う亜酸化窒素発生の直接または間接測定の報告であった。IPCCガイドラインの数値は広く用いられているが、国によって土壌および家畜からの異なる排出量を用いる事が望ましい場合もあることが示された。農業起源の窒素の水系への流入に伴う間接的排出源についての報告も数多くなされた。IPCCガイドラインは、地圏への窒素のうち30%が水系に流出し、2.5%が亜酸化窒素の発生につながると想定している。この想定は概ね妥当であるが、世界全体についてこの値を用いることは現実的ではない。

IPCCガイドラインは、現在または近い将来の制御できない排出に対する評価である。削減策に対する推定方法はほとんど示されておらず、技術進歩に対する評価もなされていないため、これらの評価が始まったところである。自動車からの排出係数は再評価される必要があり、農業排出においてもプロセスモデルによる推定が求められている。

以上をまとめると、

- ・新しい排出源は報告されなかった。
- ・IPCCガイドラインは新しい情報に基づいて再評価されるべきである。移動源排出係数、農業排出量（土壌、水系からの間接排出）の再評価によって、不確実性を

削減するべきである。

- ・排出係数による推定にかわって、プロセスベースのモデルによれば、削減技術評価も可能となるのではないか。
- ・時間、空間的分布をもつ、より多くの地圏、水系の実測データが必要である。従来のデータは温帯の地圏に関するものが多く、熱帯、水系に関するデータが求められている。
- ・水系からの排出（農業からの間接的排出）の不確実性が大きい。流域での人間活動と窒素フロー、地下水・河岸・湖・河川・河口・海岸での亜酸化窒素発生に関するデータが求められている。プロセスベースのモデルがあれば、理解も深まる。

（関連セッション）

関連セッションでは、ノルスク・ハイドロ（ノルウェー）による窒素肥料からの亜酸化窒素排出推定、土壌科学森林栄養研究所（ドイツ）による森林土壌からの亜酸化窒素排出推計、生態水文研究所（イギリス）による地域差・時間差、間接排出源などの不確実性を考慮した実測研究、生態学・資源管理研究所（イギリス）の農業土壌からの亜酸化窒素排出係数推定があった。前述の中国農業気象研究所から中国の土地利用変化に関する温室効果ガスの発生量推定報告、API（アメリカ）からの石油・ガス産業施設運転からの温室効果ガス推定方法の検討、EUの温室効果ガス排出トレンドと予測などの報告は、亜酸化窒素排出推定を含むものである。

また、アグリサーチ（ニュージーランド）による農業からの亜酸化窒素排出推定の報告では、ニュージーランドの温室効果ガス排出量のガス別構成が報告された。その構成は、CO₂40%、メタン44%、亜酸化窒素14%であり、

農業活動に伴う同国のメタン、亜酸化窒素比率の高さが注目を集めた。メタン、亜酸化窒素といった温室効果ガス発生量の比率が高いのは、370万人の人口に対して、4500万頭の羊、460万頭の肉牛、430万頭の乳牛が存在するためである。1998年の亜酸化窒素排出のうち約半分は放牧家畜から発生しているとされているため、推計方法の再検討を進めているとのことであった。

d. フッ化ガス：発生強度推定に対する進展

近年、排出量推定精度が飛躍的に高まったフッ化ガスの種類がある。コミュニティの意見を反映したIPCCグッド・プラクティス・ガイドランスもまとめられた。スイッチギア、アルミ生産、自動車用エアコン、半導体生産などについては、地域または世界レベルでの業界団体による排出削減と排出量のデータが示された。その他の産業団体による排出量報告システムの標準化などが進められている。

発泡剤、吸入薬噴霧剤の排出量に関する報告に加えて、排出量検証とモデリングに関する報告が多数なされた。温室効果ガス大気中濃度から気候モデルを用いて排出量を推定するインバースモデリングによる地域的なフッ化ガス発生量推定、SF₆販売量と大気濃度との関係などである。

先進国の排出量報告をよりよい精度でまとめることで、途上国の排出量推定精度を高めることの必要性が指摘された。

e. 短寿命気体と気候影響

長寿命の温室効果ガスに加えて、人為起源のエアロゾル、オゾンやその前駆物質が気候に大きな影響を与えている。これらの放射強制力への影響はあまりよく理解されていない(図5)。エアロゾルは直接、間接に気候シス

テムに影響を与えるが、空間的分布は極めて非均質であり、局所性が強い。対流圏オゾンの温室効果は大きいが、人為起源の先駆物質である一酸化炭素、窒素酸化物、メタン、他の炭化水素や揮発性有機化合物の複雑な物理化学反応を経て生成されている。

京都議定書では、温暖化ポテンシャルに従って温暖化ガス排出量の気候影響を定めているが、上記の前駆物質や短寿命気体の抑制が可能となれば、政策的位置づけも変わってくるだろう。

エアロゾルの直接的影響として放射吸収するブラック・カーボンや、大気上部で放射を反射するエアロゾルがあり、特に後者は降水量変動に影響があるといわれている。

放射強制力でいうと、対流圏オゾンは3番目の温暖化ガスであり、北半球ではすでに2番目となっている。オゾン濃度は産業革命開始時と比較して著しく増加しているが、過去20年間程度はその増加率が鈍化している。オゾンは一酸化炭素、窒素酸化物および揮発性有機化合物を前駆物質とする生成物であり、IPCC排出シナリオに関する特別報告書における高位の推定では、50%程度の濃度増加が想定されている。成層圏でのオゾン消失は放射強制力を減少させ、1980年代および1990年代の観測結果とも整合している。対流圏オゾンは、水酸基反応を通じてメタンなどの短寿命温室効果ガスの寿命および温暖化ポテンシャルにも影響する。バイオマス燃焼などの熱帯地域での大気汚染が対流圏オゾン濃度に大きく影響している可能性も指摘された。気候変動と大気化学反応は相互に関係しており、将来はその関係を解明する必要がある。将来には対流圏オゾンも気候条約の抑制対象とすべきであると主張もみられ、結果としてそれは前駆物質の排出規制につながるものとなる。

温暖化ポテンシャルは、CO₂以外の温室効果ガスの気候変動への相対的影響を示すために考案されたインデックスであり、広く受け入れられてきた。しかし、気候変動に直接影響しない前駆物質である窒素酸化物、一酸化炭素、メタンや他の炭化水素も温暖化ガスの寿命や濃度に影響を与えている。3次元輸送モデルによる包括的な化学反応評価の報告などが注目を集めた。

f. 排出量の不確実性および検証

不確実性の発生原因には、入力データ、入力データの組み合わせ、活動量データ、排出係数等がある。化石燃料生産／輸送に関するメタン排出量報告は、UNFCCCへの国別報告書とかなり異なっていた。特に石炭輸送に関する差が大きかった。石油とガスに関しては、管理方法の違い等起因する国毎の差が大きく、IPCCの推定方法は見直す必要がある。下水からのメタン排出を世界的にみると、特に途上国の家庭用下水処理により注目すべきである。下水処理全体では、埋立地からの排出と同量程度のメタンが発生している可能性が指摘された。動物排泄物、穀物などからの農業起源の亜酸化窒素は、IPCCのデフォルトファクターからの変動が大きい。施肥後の降水量、穀物の種類や気温にも影響を受けるためである。SF₆については、北米の排出量が過小に報告されている可能性が指摘された。フッ化ガスの生産は途上国で増加するため、世界全体では今後も増加すると思われる。

検証についての評価も進められており、国情に沿った詳細評価により、不確実性が減少する可能性もある。検証の実例は少ないものの、国内地域を対象にして農業、埋立地からのメタン、運輸、動物排泄物からの亜酸化窒素、世界全体を対象にしたフッ化ガスの検証

例が報告されている。国内地域を対象にした検証は実用化のレベルに達しているが、国全体の報告に適用できるまでには、多少の時間を要するものと思われる。

化石燃料生産、埋立地、家畜および稲作からのメタン、硝酸、触媒付き自動車、動物排泄物からの亜酸化窒素、HCFC22製造時に発生するHFC-23、アルミニウム生産および半導体製造時のPFC、スイッチギア、ブレーカなどのメンテナンス時に発生するSF₆などのフッ化ガスなどにおける排出係数推定改善が求められている。排出係数の国別データベースを集約すれば、IPCCの排出係数データにも影響を与える可能性がある。排出係数や推定方法の質が向上した場合、排出量も影響を受けるが、排出量推計の透明性、比較可能性、一貫性、完全性を確保するために、今後も国別報告のレビュー改善に向けての努力を続けるべきである。

(関連セッション)

関連セッションでは、マサチューセッツ工科大学（アメリカ）によるインバースモデリングによる排出量検証、ノルウェー統計局による温暖化ガス排出推計の不確実性、ワグeningen大学（オランダ）による温室効果ガスモニタリングの改善方法、エコフィス（ドイツ）による大気観測によるフッ化ガス排出量推定と排出データ積算との比較、ブリストル大学（イギリス）からのハロゲンガス観測のためのヨーロッパ内ネットワーク、国民健康・環境衛生国立研究所（オランダ）から世界・地域・国レベルでの排出インベントリの不確実性に関する報告があった。

g. 排出削減

フッ化ガスの削減は成功し始めたようであ

る。アルミニウム製造、半導体製造、スイッチギアメンテナンス、HCFC22生産時のHFC23などに関する削減は既に始まっており、CO₂削減と比較しても低コストで削減が可能であることがわかってきた。自動車エアコン、冷房などの分散排出源は排出主体が多岐にわたるため、対策も困難である。

同様の結論が亜酸化窒素排出削減についても言える。アジピン酸製造時の排出削減はすでに世界で導入されており、硝酸製造時の削減も実証を終えて実用化直前にあるのに対し、触媒つき自動車等の分散排出源からの削減は難しい。

農業起源のメタン、亜酸化窒素の評価は、排出量および削減オプションの定量的把握のいずれにおいても難しいが、より応用的な研究が報告され、メタン回収が可能であるメタン削減策、例えば、動物排泄物管理などの魅力が高まっている。石油、天然ガス、石炭、埋立地からのメタンについての報告は少なかったが、ある程度対策が進んでいるためであると思われる。

産業界の大規模排出源削減の理由は、主に、単位削減コストが安価であること、それぞれの産業界内で協力して対策をとったこと、の2点であろう。マルチガスおよびライフサイクル分析は、特に運輸と農業部門において、今後ますます重要になると想定される。

h. 経済および政策的側面

経済的側面では、前回会議からの進展が見られた。アメリカやEUについては、工学的な積み上げ推定に基づく削減ポテンシャルが推定されており、他地域での評価も進められている。経済モデルとの統合も図られつつある。NCGGの気候変動へのインパクトに基づく評価も行われている。NCGGを対策に含め

れば、削減費用は25%程度削減可能であるという評価結果が得られているが、産業におけるフッ化ガス、メタン、亜酸化窒素の削減は無限に可能ではないことにもあわせて注意したい。技術進歩の排出量と削減費用に与える影響、途上国や農業といった不確実性の大きい部分の評価などは課題として残されている。どのガスを減らした方がコスト効率のかを踏まえて、単位削減コストの大きい部門の削減費用分担、農業、自動車、エアコンなどの分散排出源削減プロジェクトの設計といった問題を解決していく必要がある。

政策面では、政府と産業との継続した協力関係が重要である。成功例は冷凍機用の省エネ型冷媒などにみられる。政策面で最も重要であるが、同時にチャレンジングな課題は、大気化学などの科学的知見をさらに蓄積し、時定数の異なる多種類のガスをどう組み合わせるかという、マルチガス削減政策を実現することである。そのために政策的資源を科学、経済、削減、排出量把握と報告といった活動にどう有効配分するかを決定していく必要がある。

(関連セッション)

経済的側面のセッションでは、USEPA（アメリカ）からのアメリカと世界におけるメタン削減技術進歩推定、および温暖化ポテンシャルの大きいガスの削減限界費用、ワグeningen大学（オランダ）の、農業からの亜酸化窒素およびメタンの費用効率的な削減方策、およびアンモニア削減との関係、エコフィス（ドイツ）のEU15か国のCO₂以外の温室効果ガス削減：京都議定書遵守コストの削減、エジンバラ大学（イギリス）の農地からのCO₂以外の温室効果ガス排出と炭素取引への影響、コロンビア国立大学の1998～2010年における

温室効果ガス削減オプション評価などの報告があった。

政策のセッションでは、USEPA（アメリカ）からのメタン排出安定化可能性評価、オランダ住宅環境省からのCO₂以外の温室効果ガス削減政策における協力体制、オーストラリア温室効果ガス局の人工温室効果ガス（京都議定書で定められたHFC、PFC、SF₆に加えて、モントリオール議定書で削減が決定したガスを含む）に関する削減政策、持続可能な成長に関する世界事業者評議会（スイス）の企業でのアカウンティングおよび報告標準の報告があった。

また、筆者は、ポスターセッションにおいて、マルチガス削減と排出権取引を組み合わせで行った場合の経済影響に関する報告を行った。

3. まとめ

会議に参加して得られた所感は、以下の3点でまとめられる。

（1）京都議定書削減目標達成の柔軟性手段としてのマルチガス削減

日本の温室効果ガス排出のガス別内訳（CO₂換算）をみると、CO₂が90%以上を占めている。これは先進国平均、世界平均の数字を大きく上回っている。京都議定書が発効した場合、国内対策として、日本はエネルギー起源のCO₂削減策を強化せざるを得ない一方で、他の先進国は他の温暖化ガスで削減するという選択の広がりが生じる。比較的低コストで削減できることがわかっている発生源、例えば、HCFC-22の生産に伴う副生HFC-23の回収処理や、既に対策が実施されているアジピン酸製造時の亜酸化窒素などは、日本でも

もっと注目されてもよいのではないかと感じた。また、農業、運輸などの分散型排出源の対策が相対的に難しいと認識されていることも再確認できた。

（2）政治的、科学的関心の高まり

IPCCの第3次評価報告書をみても、CO₂以外の温室効果ガスの排出やエアロゾルに関する科学的知見の蓄積が図られていることが窺える。自然科学では、大気・海洋大循環、大気化学、削減技術などに関するさらなる基礎的研究が必要であり、社会科学では、削減費用評価、経済影響などの評価研究を進めなければ問題の効率的解決は図れない。これらの要素を組み合わせた評価方法の確立が求められている。

（3）評価における不確実性

CO₂以外の温暖化ガスは、排出係数、活動量、将来シナリオ、自然発生源、複雑な化学反応による発消滅過程（特にメタン）などの面で、不確実性が大きい。これらの不確実性を減少させるには、科学的知見の蓄積、技術進歩推定の精度改善などが必要である。温室効果の原因であることはほぼ確実なので、今後は、各種対策を実施しながら推定精度を高めていくことが必要となる。

参考文献

- (1) 1999年度（平成11年度）の温室効果ガス排出量について、環境省
- (2) Non-CO₂ Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control Options and Policy Aspects (Proceedings of the Third International Symposium, Maastricht, The Netherlands, 21-23 January 2002), Milpress, 2002
- (3) Climate Change 2001, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2001

研究所のうごき

(平成14年4月2日～7月1日)

◇ 第58回理事会

日 時：6月14日(金) 11:00～12:00

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

第一号議案 平成13年度事業報告書および決算報告書(案)について

第二号議案 評議員の一部交替および辞任について

第三号議案 その他

◇ 月例研究会

第201回月例研究会

日 時：4月26日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 地球温暖化対策への新たな取組みについて
—新「地球温暖化対策推進大綱」の解説を中心として—

(経済産業省 産業技術環境局
環境政策課 課長補佐 菊川人吾 氏)

2. 平成14年度供給計画の概要について

(電気事業連合会 電力技術部
副部長 石川一弘 氏)

第202回月例研究会

日 時：5月31日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 再生可能エネルギーの課題と展望

(筑波大学 機能工学系教授 内山洋司 氏)

2. 再生可能エネルギーの導入シナリオ

(財電力中央研究所 経済社会研究所
主任研究員 山本博巳 氏)

第203回月例研究会

日 時：6月28日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 分散電源とマイクロガスタービン

(東海大学 工学部 機械工学科
教授 伊藤高根 氏)

2. PEFCの家庭用コージェネレーションへの応用

(社)日本ガス協会 燃料電池・水素プロジェクト部 部長 寿美心道 氏)

◇ 主なできごと

4月23日(火) ・第1回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会

5月10日(金) ・第3回高効率発電技術検討会

20日(月) ・第1回高効率廃棄物ガス変換発電技術評価委員会

・第1回高効率廃棄物ガス変換発電技術開発導入調査委員会

22日(水) ・第1回多用途ニーズに対応するフレキシブルタービンシステムに関する研究開発委員会

6月6日(木) ・第1回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会

11日(火) ・平成14年度革新的実用原子力技術開発提案公募説明会

24日(月) ・第1回高温ガス炉プラント研究会

26日(水) ・第1回木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発推進委員会

27日(木) ・第1回ソーラーフューエル研究推進委員会

◇ 人事異動

○6月26日付
(出向解除)

内田 洋 (プロジェクト試験研究部部長
副主席研究員)

○6月27日付
(出向採用)

野口 仁 プロジェクト試験研究部部長
副主席研究員
田村豊一 プロジェクト試験研究部
主管研究員

○6月30日付
(出向解除)

笠原章一 (経理部長 兼 総務部)

毛呂 達 (プロジェクト試験研究部 主管
研究員)

佐藤正明 (プロジェクト試験研究部 主管
研究員)

○7月1日付
(出向採用)

糟谷邦彦 経理部長 兼 総務部
菅野 実 プロジェクト試験研究部 主管
研究員

編集後記

本年9月初旬に、国連「地球サミット」が「リオ・プラス10」の呼称のもとにヨハネスブルグで開催されます。前回(1992年、ブラジル・リオ)は、地球憲章の採択、「気候変動枠組み条約」の取組、具体的行動計画(アジェンダ21)の策定など、その後の地球環境問題の方向性を大きく左右する取り決めがなされました。

日本でも本年6月「気候変動枠組み条約」(京都議定書)の批准が決定されたことは記憶に新しいところであります。しかし、ここにきて同議定書からのアメリカの離脱、景気停滞などもあり、同会議への関心が薄れている感じがします。また、同会議は一種の「お祭り」という意見もきかれます。しかし、本問題の端緒となったローマクラブの「成長の限界」(1972年)或いはその後の国際的な会議で指摘された「人間社会の活動は地球の許容限界(破滅)に近づきつつあること」、あるいは「破滅を避けるためには『持続可能な開発(サステナブル・ディベロップメント)』が重要であること」等で見られる諸警鐘に対し、同会議でどのように総括され、未来への宣言がなされるのか注目される場所ではないでしょうか。かねて指摘されてきた地球規模の諸問題(例えば、中国西部の砂漠化拡大、世界的に懸念される水不足、南北問題、希少種

の絶滅危機、近年の民族間抗争等々)は、温暖化と直接の関係がないものもあるのですが、その実態においては益々深刻の度を深めてきているものもあるのではないかと危惧されます。

現在日本では「循環型社会構築」に向けた取組みが、特に平成12年より本格的に推進されておりますが、輸入資源を元に製造し、製品を輸出することから成り立っている日本においては、同社会構築は日本単独では到底達成できないのではないのでしょうか。すなわち世界が「持続可能な開発」を達成することと日本の「循環型社会構築」とは不可分といっても過言ではないと思われます。

そのような意味で、本季報で取り上げました「循環型社会」も、「電力供給システム技術開発」の取組みも、「リスクマネジメント」も、「プルサーマル」も、そして「温室効果ガス」の話も多少アラカルト的ではありましても上記問題を踏まえ「総合的に、俯瞰的に」物事を考える場合、それぞれが意味あるテーマであると考えます。

本格的な暑さが押し寄せ冷房負荷のピークを迎えるこの時、環境とエネルギー問題を考えられる際の一助にいただければ幸いです。

編集責任者 小川紀一郎

季報 エネルギー総合工学 第25巻第2号

平成14年7月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8894

FAX (03) 3501-1735

<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。