

2008.2.6

BIWEEKLY

1016

NEDO 海外レポート

I. テーマ特集 — 環境特集(有害化学物質対策、廃棄物処理・リサイクルなど)

1. ナノテクノロジーと環境(世界)―国連 地球環境概観 2007 より―	1
2. 米国における都市ごみの排出・リサイクル状況(米国)―日米間の比較に基づく特徴の分析―	13
3. 米国における水銀の使用・排出抑制への取組状況(米国)―EPA の水銀ロードマップより―	21
4. 環境大気質に関する新指令(EU)	28
5. 人体を模倣したバイオチップで化合物の毒性を明らかに(米国) ―化学品／化粧品／製薬業界の動物実験を代替する可能性―	36
6. 水銀の輸出や殺虫剤の使用を規制(EU)	39
7. 環境政策実施における組合組織コンソルツィオの役割(イタリア)	41
8. 廃棄物回収およびリサイクル事情(スウェーデン)	46
9. 自動車向けバイオ材料開発に向けた取組(カナダ)	50
10. 資源保護回復法と写真感材処理廃液にみるリサイクルの課題(米国)	52
11. 携帯電話のリサイクルを容易に(米国)	55

II. 個別特集

1. 国連気候変動枠組条約第 13 回締約国会議(COP13)及び 京都議定書第 3 回締約国会合(COP/MOP3)参加報告(インドネシア)	57
2. 「エネルギー自立及びエネルギー安全保障法」について(米国)(NEDO ワシントン事務所)	64
3. 開発途上国におけるエアコンのエネルギー効率と CDM の役割 (IEA レポート第 4 回:最終回)	70

III. 一般記事

1. エネルギー

(自動車用燃料)	
「エネルギー自立・安全保障法」と自動車燃料の基準(米国)	83
(ハイブリッド・電気自動車)	
米国エネルギー省がプラグインハイブリッド車の開発・普及に最大 3,000 万ドルを拠出	85
(省エネルギー・廃熱回収、ナノテクノロジー)	
シリコンナノワイヤーで熱電モジュールの飛躍的な進歩(米国)	88
(ヒートポンプ、省エネルギー)	
空気熱源ヒートポンプの出力増加を支援(米国)	91

2. 産業技術

(ライフサイエンス)	
米 PET(陽電子放射断層撮影法)用放射性薬剤の「代役」(米国)	93
(ナノテクノロジー)	
計測の革新は半導体の大きな節約につながる(米国)	95

URL : <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/>

《本誌の一層の充実のため、掲載ご希望のテーマ、ご意見、ご要望など下記宛お寄せ下さい。》

NEDO 技術開発機構 情報・システム部 E-mail : g-nkr@nedo.go.jp Tel.044-520-5150 Fax.044-520-5155

NEDO 技術開発機構は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の略称です。

【環境特集】 ナノテクノロジー 環境リスク

ナノテクノロジーと環境（世界）

－ 国連 地球環境概観 2007 より－

はじめに

ナノとは 10 億分の 1 を表す単位であり、1 ナノメートル (nm) は 1 メートルの 10 億分の 1 の長さ (10^{-9}m) である。ナノテクノロジーとは、このようなナノレベルの物質構造を作るための技術の総称である。物質の構造をナノレベルまで制御することによって、今までとは全く違った革新的な機能を持たせることが可能になり、これが「ナノテク」の特徴である。このような優れた機能は、材料技術・情報技術・バイオ・医療・環境・エネルギーといった様々な分野への応用が期待されている。

一方で、ナノ粒子の環境へのリスク評価（有害性評価、暴露評価）は、ナノテクの開発と比較すると十分に行われているとは言えない。ナノ粒子は極めて微小であることから、人体の血液脳関門¹さえも通過する。環境（水、大気、土壌など）に放散された場合の影響等、未知の部分も多い。

NEDO 技術開発機構では、「ナノエレクトロニクス半導体材料・ナノデバイス新構造基盤技術開発」をはじめとする様々な技術開発に取り組んでいる。また、「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」にも取り組んでいるが、これは、「ナノ粒子の環境へのリスク評価（有害性評価、暴露評価）」に向けた研究である。

本稿では、国連環境プログラム（UNEP : United Nations Environmental Program）が発行した「地球環境年鑑 2007 年版（GEO Year Book 2007）」から、「ナノテクノロジーと環境（Nanotechnology and the Environment）」の章を抄訳・編集し、紹介する。この文書では、ナノテクノロジーのメリットやリスクがバランス良く述べられている。

20 世紀の科学技術の進展は、環境に対する影響評価を初期段階から実施することなく行われ、時間が経過して、その影響が顕現化した時点で対処することが多かった。今世紀は、技術開発の初期段階から、環境への影響評価を含むリスク評価と対策を行うことが求められていると言えよう。

¹ 体内の血液中にある物質が、脳に移行することをコントロールしている部分。
薬にも脳に移行できる物と出来ない物がある。

1. 概論
2. ナノテクノロジーの環境上の便益
 - 2.1 モニタリング感度の向上
 - 2.2 汚染の修復
 - 2.3 エネルギー及び資源の節約
3. ナノテクノロジーの環境リスク
 - 3.1 環境中のナノ粒子の移動や行方
 - 3.1.1 大気
 - 3.1.2 水
 - 3.1.3 土壌
4. 知識の差に対処する
5. 毒物学と健康リスク
6. 今後の研究
7. 将来を見据えて

1. 概論

ナノテクノロジーは、社会、経済、環境面で、大きな便益をもたらす可能性がある（革新的な医療技術から資源やエネルギー使用量の抑制、汚染の検出や改善まで）。しかし、環境への影響は未解明の部分が多く、管理体制も未整備（つまり公的管理が存在しない）であるため、より体系的な研究とナノテクノロジー分野特有の政策が必要とされる。

ナノテクノロジーは1～100ナノメートル（1ナノ＝10億分の1メートル）の物質を扱う応用科学である。ナノ粒子を巧みに処理することにより、天然素材にはない機能を具備させることができる。単位体積あたりの表面積が大きく化学反応が促進されるので、新たな応用分野が開ける。

ナノテク研究者は、ナノテクが産業技術、健康、社会・経済の発展、環境に多大な効果をもたらすと予想している。公的および民間投資は巨額であり、なお増加している。多様な産業（医療、製造、エネルギー、水供給、運輸など）を変化させる可能性が大きいからである。

ナノテクはグローバル経済の中でも大きな要素を占めるようになるだろう。2004年時点では、ナノテク製品の収益が全製造業の収益に占める割合は0.1%だったが、2014年には14%（2.6兆USドル）に達すると予測されている。これはIT産業の総額に匹敵する額である。

ほとんどのナノテクの研究は、現在OECD加盟諸国で行われている。しかし、ブラジルやタイなどの新興経済諸国でも、ナノテク研究を優先している。

多くの新技術がそうであるように、ナノテクの潜在的な便益に大きな期待が寄せられているが、負の影響についてはほとんど知られていない。2005年には、世界で100億米ドル以上がナノテク研究に費やされた（図1）。しかし、健康や環境に及ぼすナノ粒子の影響について米国およびEUが支出した年間研究費はわずか3,900万米ドルだった。

ナノ物質の影響調査に一層のリソースを振り向け、健康や環境リスクを最小限にし、持続可能な開発を支援することにより、この不均衡を是正することが必要である。

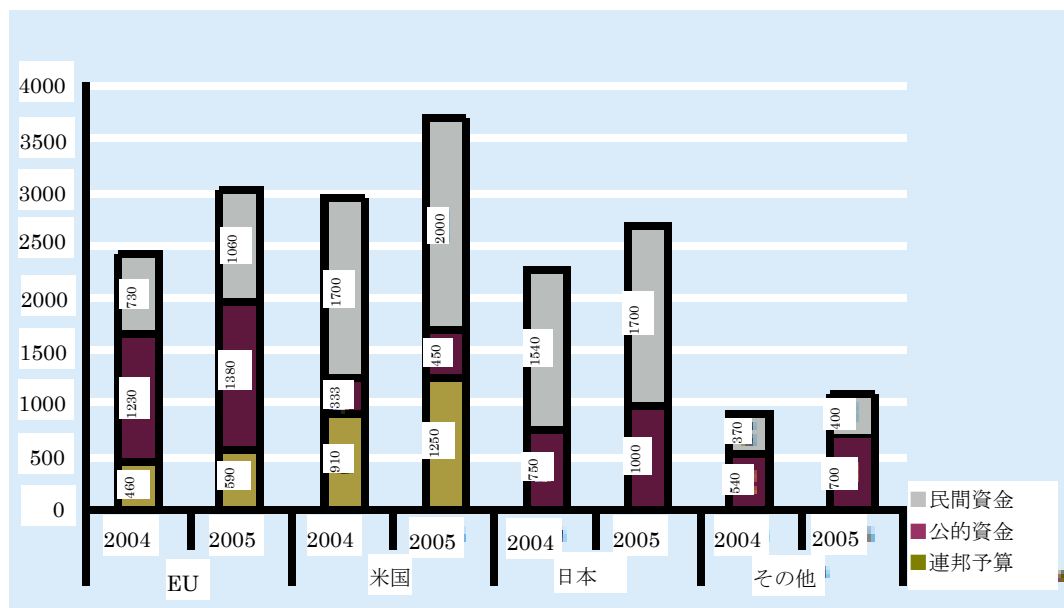


図1 ナノテク研究開発への支出額（百万米ドル）

「ナノテクと環境」というテーマに熱意を持って取り組むことは妥当であるが、政策決定者は科学的知見に基づいたフレームワークを確立して、不確実性やリスクを管理しなければならない。ナノ物質やナノ製品の開発・使用を含め、国境を越える問題に対処するためにも、国際協調の一層の強化も欠かせない。現在、国際的な取り組みとして、Global Dialogue on Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks (ナノテクノロジーと貧困層の問題に関するグローバル対話：機会とリスク)、the International Risks Governance Council (国際リスクガバナンス評議会)、the International Council for Nanotechnology (国際ナノテク評議会) などがある。これ以外にも、欧州委員会、米国などが支援するプログラムがある。

2. ナノテクノロジーの環境上の便益

ナノ粒子は、生産プロセスおよび製品の両面において、環境保護上の利益をもたらす可能性がある。これまで、物質を生産するには多量の原材料とエネルギーを必要とし、環境負荷が大きかったが、ナノ物質はそうした物質の代替となりうる²。ナノテクノロジーの誕生により、環境保護が進み、汚染検知と汚染回復が促進されるだろう。

多くのナノ粒子の表面が、特定の生物・化学的反応を促すように「機能化」（すなわち設計）されている（表1）。これは、人間や動物に適用する薬、および作物に使用する殺虫剤や肥料を、特定の部位（例えば、人間や動物の場合の癌細胞）を標的として届けること（targeted delivery）に関する新しい仕組みを提供する。このことによって、より少ない

² Masciangioli and Zhang 2003

物質間でより効率的な薬剤の利用が促進され、特に環境負荷の大きい殺虫剤などの化学物質の利用量を低減させる可能性がある。

表 1 オーダーメイドのナノ材料

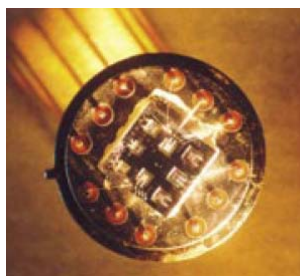
ナノ粒子を操作することにより物質の特性を微調整でき、特定の目的に適う物質を作り出すことが可能になる。

特性	例
化学	単位体積あたりの表面積が大きくなることにより、粒子の反応性が高まり、化学反応の触媒としての機能が向上する。
電気	セラミックや磁性ナノ複合材料の導電率の増加。
機械	金属や合金の硬度及び堅牢性の向上 セラミックの延性や超塑性の向上
光学	光電素子の光・電気変換効率の向上（太陽パネルなど）
立体構造	物質原子の空間的配置は化学反応に影響し、選択性を増加する。例えば、中空球は、体内における特定の薬剤の輸送や放出の制御に使用できる。
生物学	生物学的障壁（細胞膜、血液脳関門など）の浸透性向上。 生体親和性（生体系に対する毒性や有害性の影響を持たない性質）の向上。

2.1 モニタリング感度の向上

ナノテクノロジーの進歩が屋内外の環境に便益をもたらす事例の1つに、検出器がある。既存の検出器よりも安価な上に、感度が非常に高い（数千倍あるいは数百万倍の感度）。例えば、タンパク質ベースの新しいナノテクセンサーは、約 10^{-15} （千兆）分の一の濃度の水銀を検出できる³。これは既存の方法では不可能であった。酸化ユーロピウムのナノ粒子を利用した非常に高精度の方法が開発され、地下水の汚染源とされる農薬アトラジンの測定が可能になった⁴。

ナノテクノロジーに基づいた新しいモニタリング装置は既に多数あり、現場でリアルタイムに稼働しながら、広範囲の汚染物質や毒物を測定している。汚染物質の迅速な検知は、迅速な対応を可能にし、環境被害を最小限に抑え、環境修復コストの削減につながる（図2）。



ナノ結晶金属酸化物の薄層は、大気質監視用ソリッドステートガスセンサーの鍵である。

Source: Instituto de Fisica Aplicada, CISC Madrid

図 2 大気汚染のモニタリング

³ Bontidean 1998

⁴ Feng and others 2003

2.2 汚染の修復

ナノテクノロジーを利用したソリューションは、汚染や毒性物質の発生源で、その排出を軽減したり予防したりすることを可能にするだろう。金属酸化物あるいは金属ナノ粒子ベースのナノ構造触媒は、一般産業や自動車からの排出を減らす上で有望である⁵。例えば、様々な貴金属ナノ粒子は、自動車排ガスに含まれる有毒な一酸化炭素を酸化させ、毒性の弱い二酸化炭素に変えることができる。

ナノスケールでは、様々な粒子が汚染物質を修復させる目覚ましい機能を示している。二酸化チタンのナノ粒子は光からエネルギーを吸収し、周辺の有機分子を酸化する。この光触媒の特性は、自動車や一般産業の排ガスなどの汚染物質を引き寄せ、酸化するコーティング（被膜物）として有効に活用できる⁶。これらの特性は、自己洗浄表面（self-cleaning surface）を創るのに活用できるだろう（すなわち、大気汚染物質粒子を捕捉可能な自己洗浄ガラスや壁）。



表面をナノ粒子で覆った木材は、撥水性が著しく高まる。このように処理された表面は、自己洗浄（self-cleaning）するため、メンテナンスをほとんど必要としない。

Source: BASF Aktiengesellschaft

図3 コーティングにナノ粒子を使用

また、水や地下水を浄化するナノ構造物質もある。病原菌など望ましくない物質をろ過するナノ多孔性膜は、既に市販されている。鉄のナノ粒子を化学的還元剤として用いて地下水汚染を回復することを提案する科学者もいる。そのプロセスでは、鉄は酸化されて、さびとなる。ナノ粒子の大きな表面積を活用して、磁鉄ナノ結晶はヒ素を飲料水から除去するのに使用される。この方法は、「一般的な技術によって生じる廃棄物を、100分の1に減らす」と、報告されている。

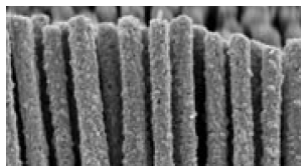
他の革新的なアプローチは、酸化鉄粒子の表面を選択的に汚染物質分子やイオンと結合する分子でコーティングすることである。水に浸すと、コーティングされた粒子は汚染物質を引きつける。

⁵ Rickerby and Morrison 2006

⁶ Strini and others 2005

2.3 エネルギーおよび資源の節約

室温で利用可能な新しいナノ触媒もある。これは、高温で動作し多大なエネルギーを必要とする今までの触媒と比較すると、大きな優位性がある。室温で作用するという特性は、ナノ構造物質を消費財や家庭用品に幅広く応用する道を開くだろう。ナノテクノロジーは、これまでの方法に代わる環境負荷の低い手段を提供し、エネルギーの生産・貯蔵・消費に変革をもたらすものと思われる。



先端的なリチウムイオン電池に使用されているナノ構造電極の走査型電子顕微鏡画像。
各柱の直径は約 200 ナノメートル。

Source: Universite de Picardie Jules Verne, Amiens

図 4 ナノテクノロジーの電池への応用

ナノテクノロジー技術の中には、現在のエネルギー源の効率を高め、二酸化炭素排出を削減しているものがある（燃料電池のナノ構造触媒やリチウムイオン電池の電極物質の改善⁷、先端的光電池のナノ多孔性シリコンや二酸化チタンなど⁸）。窓ガラスに使用するナノスケールの「光学選択的」コーティングは、エネルギー使用を削減する一方で室内の大気質を改善している（BOX 1）。

BOX 1 省エネ型窓

窓はエネルギー消費の面から見ると、効率的ではない。暑い季節には窓から入る日光は室内の温度を高め、冷房の必要性を高める。逆に寒い季節には、室内の熱のかなりの部分を放射し、熱エネルギーが無駄になる。その国の気候によっては、かなりの量のエネルギーが建物の冷暖房に使用される。ナノスケールの窓コーティングは、エネルギー消費と二酸化炭素排出を減らす上で有望である。

暖かい地域向けの窓ガラスコーティングは、可視光線を通し赤外線を通さないようにする。逆に寒い地域向けのコーティングは、光と熱の外界への放射を妨げることにより、光と熱を有効に活用する。天候の変化や光の角度に適応する、現在開発中のコーティングもある。ただし現状では、これらのコーティングは製造コストが高い。

Source: Muir 2004, Schelm 2003

ナノテクノロジーは省資源の面でも大きな可能性を持つ。製造プロセスにおいては、エコロジカル・フットプリント⁹の大きい物質の代替材料となることにより、環境負荷の大きい物質の使用を削減することができ、この事は結果的に原材料の効率的な利用につながる。

また、再生可能な、あるいは豊富な資源（貴金属の代替となる炭素ベースのナノ製品な

⁷ Tarascon and Amand 2001

⁸ Stalmans and others 1998, Pizzini and others 2005

⁹ 人間活動により消費される資源量を土地面積で表し、分析・評価する手法。自然生態（エコロジカル）を踏みつけた足跡（フットプリント）を意味する。

ど)の使用を通じて、ナノ構造物質を生産する試みも行われている。このようなことは、ナノ物質の回収あるいはリサイクルに向けた確固たる戦略により、さらに促進されるべきである。

強度が高く、かつ軽量のナノ物質の利用は、プラスチックなどの従来物質の寿命を延ばし、輸送などの分野で省エネにつながるかもしれない。例えば、カーボンナノチューブは分子スケールの炭素の円柱だが、強靱かつ特異な電気的特性を持ち、熱伝導率が高い。この事実は、カーボンナノチューブには、電子・光学・その他の材料科学の分野において、様々な応用の可能性があることを示している。様々な消費財でも広く利用されることになるだろう。

しかしながら、政府も企業も、以上に述べたようなナノテクノロジーの顕著な便益を認識するのは早かったが、同時に、この新分野にかかる総コストを査定する必要がある。例えば、多くのナノ構造物質はエネルギーを節約する一方で、その製造自体に多くのエネルギーを要するかもしれない。「費用対便益」の分析には、真の環境影響を考慮することが必須である。環境中に放出されたナノ粒子の行方には、十分な調査が求められる。

次の章では、ナノテクノロジーの環境リスクについて述べる。

3. ナノテクノロジーの環境リスク

ほとんどの新技術は、現実社会における環境への長期的な影響を吟味することなしに生まれるものである。しかし、ナノテクノロジーは、慎重な影響評価を必要とする特別な潜在リスクをはらんでいる可能性もある。微量ではあっても皮膚や血液脳関門を貫通するほど粒子が小さいからである。また、原子の多くが表面に存在し、反応性が高い¹⁰。

科学者は、実験室内においてナノ粒子の特性を明らかにし、その挙動を予測する事には大きな成功を収めた。しかし、ナノ粒子が広範に利用された際の環境への影響を予測することはずっと難しい。なぜならば、現実の状況下での物理的、化学的、生物学的相互作用は複雑だからである。

作製されたナノ粒子の潜在的な環境への影響は、量の如何を問わずその多くが今日まで未知である。最も喫緊な3つの問題は次の通りである。

- ① ナノ粒子が環境中に放出された後、長期にわたりどのような変化を辿るのか
- ② 生命体にどのような影響を与えるのか
- ③ 生態系にどのような影響を与えるのか

3.1 環境中のナノ粒子の移動や行方

ナノ粒子の移動や行方に関する研究は、ナノ粒子の特性や挙動が時間の経過と共に（特に環境中に放出された後に）、どのように変化するかを見極めることと深く関連している。ナノ物質が異なる環境下でどのような挙動をするのか、また比較的安定なままで留まるのか、あるいは予測した影響を超えてしまうほど変化するか、現段階で解明されている

¹⁰ Service 2005

部分は少ない。

あらゆる環境媒体¹¹の中でのナノ物質の潜在的な影響は十分に調査され、従来の物質の影響と比較される必要がある。環境への直接的な影響の他に、人間の健康に与える影響の調査も必要である。調査から得られる答は、それぞれの環境媒体特有の性質によるだろう。どのような化合物もそうであるが、潜在的な影響は、それがプラス／中立／マイナスのいずれであろうと、毒性や生体利用性（bioavailability：生物に利用できること）、移動性、安定性、溶解性、反応性などの性質と関連する。

3.1.1 大気

人工的に作製したナノ粒子は非常に小さく軽いため、長期間、大気中を浮遊する¹²。このことから、ナノ粒子が長距離を移動し、国境を越え、ガスやその他の大気中を浮遊する粒子と相互に影響しあう可能性が高まる。

大気中で自然発生する偶発的な超微粒子（100 ナノメートル以下）についての研究は、比較的進んでおり、浮遊する人工ナノ粒子を研究する上での基礎となるだろう。

3.1.2 水

水溶性ナノ粒子の生体利用性、生分解性、生体内変化に関するデータ不足には、深刻なものがある。水中に放散した自然の微粒子は集まって次第に大きく安定になり、最終的に沈殿する。一方、人工ナノ粒子が水中で集結する傾向や沈殿メカニズムについては、現在研究段階である。仮に人工ナノ粒子が予想通りの挙動をしたとしても、生体利用や毒性、暴露とどのような影響があるのかは未解明である。生命体とどのように相互作用し、水界生態系の機能にどのような影響を与えるのかは解明されていない。

いくつかの研究は進展しており、現在の廃水処理プロセスがナノ物質とどう相互に影響しあっているか、ナノ物質の溶解性が、ナノ物質自体の毒性、生体利用性、移動性に影響を与えるかといった研究もなされている¹³。

しかし、解明すべきことは、まだ多い。例えば、様々な水性条件（塩分、リン酸塩濃度など）が、潜在的な毒性や汚染を軽減・除去するために、コーティングあるいは機能化されたナノ構造物質に、どのような影響を与えるか等である。

3.1.3 土壌

土壌内のナノ粒子の行方については、ほとんどわかっていない。土壌に留る場所やそこへ辿り着く方法に影響を与えるような方法毎に、分類されるかもしれない。土壌粒子と化学的に結合するナノ粒子もあれば、単独のままで土壌粒子の表面あるいは土壌粒子間の隙間に留まるものもあるだろう。

科学者たちは、土壌粒子上のナノ物質と隙間に存在するナノ物質の相互作用を解明しよ

¹¹ 編集部注：大気、水、土壌などの事。

¹² Biswas and Wu, 2005

¹³ Westerhoff and others 2006

うと試みている¹⁴。土壌内の微生物はナノ粒子を効率的かつ適切に分解するのか、こうした生分解性は特に重要な問題である。

4. 知識の差に対処する

「ナノ構造物質が環境にどのような影響を与えるか」、という複雑な問題にアプローチするためには、ライフサイクルの分析は一つの効果的な方法である。生産から廃棄、散布にいたるまでのライフサイクルの各段階でナノ粒子の行方や移動を解析することが含まれる。既存のライフサイクル分析手法には、ナノ構造物質のデータが欠けているので、見直されるべきである。

人工ナノ粒子を計測・検知し、他のナノ物質と区別することは、ナノ物質の行方や移動の正確なモデルを開発する上で極めて重要である。現在のモデルとコンピュータシミュレーションは、「どこで、いつ、どのような方法で、環境中のナノ粒子を検知できるのか」ということに関して、さらなる開発と検証が必要である。人工ナノ物質を大量生産する前にその潜在的な環境への影響を評価することは、環境、人間の健康、持続可能なナノテクノロジーの開発のために、必須である。たとえ暫定的な解析であっても、そこから環境負荷の少ないプロセスの設計や最適化に利用できる実用的な情報を得ることができるだろう。

5. 毒物学と健康リスク

これまでナノ粒子の生態毒性研究は、非常に限られた物質や生命体を対象にしてきた。植物に関するナノ粒子の影響データは無い。そこで「ナノ物質（事実上どんな化学構造からも作製できる）は、自然界に存在するナノ粒子（中性あるいは低毒性のものが多い）と同じか大きく違うのか」について述べることはできない。

これまでに行われてきた限定された研究は、「ある種のナノ粒子は生体毒性があるであろう」ことを示している。例えば、実験室で、水中を浮遊する蛍光ラテックスナノ粒子は、事実上メダカのすべての臓器に吸収され蓄積され、卵にも取り込まれた。卵と成魚の体への摂取の毒性は、ナノ粒子の大きさと外部要因（例えば水の塩分含有量）に依存する¹⁵。

ナノ物質が細胞と接触した場合の毒性は、化学組成、量、溶解度、形状、範囲等の特性に依存する。持続性（ナノ粒子が原形を保つ期間）や生物濃縮（生体内に蓄積されたナノ粒子の量）といった要因も影響するだろう¹⁶。生産プロセスから生じる不純物も、ナノ粒子の毒性に影響を与える。どのように暴露（ナノ粒子にさらされること）するかも重要な点である。ある臓器内でのナノ粒子の転移や蓄積などといった特徴も、考慮されなければならない¹⁷。

大気汚染に関する研究には、主に燃焼排ガスから出る偶発的（非人工的）なナノ粒子を調査したものがある。しかし、これまでの研究によれば、ナノ粒子の毒性の一般化は難しいことがわかった。「ナノ粒子が、元々どのような物質から作製されたか」ということが毒

¹⁴ Wan and others 2005

¹⁵ Kashiwada 2006

¹⁶ SCENIHR 2005

¹⁷ Oberaorster and others 2004

性に常に正確に映し出されるわけではない。また「特定のナノ粒子に関する既存データが、全てのナノ粒子に当てはめる」と推定することもできない。

さらに、異なる種の動植物はナノ粒子に対して異なる感受性をもつ。例えば、二酸化チタンは表面のコーティングや日焼け止め等の化粧品に多く使用されている。研究結果によると、健康な皮膚を通して二酸化チタン粒子が細胞に吸収される可能性は、非常に限定されている¹⁸。しかし、実験室の実験によれば、二酸化チタン粒子が水中に放出された場合（水泳中や入浴中に起こり得る）、藻類やミジンコに対して有害となる可能性が示されている¹⁹。

「カーボンナノチューブが皮膚から吸収された場合、毒性をもつ」ことを示した研究もある²⁰。カーボンナノチューブ、あるいは製造時の不純物の吸入や摂取が、実験動物の肺に損傷を与えるかどうかについては議論が分かれる²¹。不確実性やリスクに対処する政策の枠組みに科学的な基盤を提供するため、この分野のさらなる研究や試験が必要である。

フラーレンは特別なナノ粒子で炭素原子のみで構成され、中空球、楕円、チューブの形状をしている。フラーレンはバクテリアに対する毒性が強い²²。魚のフラーレン暴露に関する研究では、負の影響がゼロの場合から 100%の致死に至るまで、種によって相反する結果が出た²³。やはり、適切な方法論が必要となろう。



紫外線を防止する二酸化チタン粒子は、健康な皮膚の場合、吸収されにくいいため、日焼け止めに使用される。

Source: Ap Photo/Mary Godleski

図 5 化粧品へのナノテク応用

6. 今後の研究

ナノ物質の生態毒性を評価する上で既存の方法が適切か、あるいはそれに代わる方法が開発されるべきかを明確にするため、さらなる研究が必要である。

ナノ物質の生態毒性を予測する上で、今までの暴露測定方法ではあまり効果がないことは、広く知られている。標準的なモニタリング手段では、環境試料に存在するナノ粒子を常に探知できるわけではない。したがって、ナノ粒子の挙動や新たな性質を明らかにし、その影響を追跡することは、真に科学的、技術的な課題である。

人間やその他陸上に生息するほ乳類の健康リスクを測定するために、ネズミ等の毒性テ

¹⁸ Schulz and others 2002

¹⁹ Hund-Rinke and Simon 2006

²⁰ Monteiro-Riviere and Simon 2006

²¹ Lam and others 2004, Donaldson and others 2006, Shvedova and others 2005, Worle-Knirsch 2006

²² Lyon and others 2005

²³ Oberdorster 2004

ストのデータが役立つだろう。多くの証拠が示しているところによれば、いくつかのナノ粒子は、普通は、より大きな粒子が到達しないような内臓に入り込むほどの能力がある。これは難問である。

さらに、異なる環境下や異なる生命体におけるナノ粒子の長期間の影響評価を検証する研究が必要である。

これまでの経験によって得られた既存データの詳細な評価と、綿密に計画された今後の新しい研究は、どちらもナノ粒子の生態毒性を明確にするために必要である。同じ物質で従来の形状のものがもたらす影響とどう違うのかということの解明も含まれる。自然界に存在しない新しいナノ粒子の生態毒性を測定するためには、今までとは違ったアプローチが求められるだろう。

7. 将来を見据えて

ナノテクはもはや将来の話ではなく、急速に日常生活の一部となりつつある。現在入手できるナノ製品は、十分な公開討論やナノテクの新しい機能に特別に注意を払った規制による監視のないまま、市場に出ている。現在の研究開発は、ナノ物質の新しい応用を見つけることに躍起となっている。

製品開発への多大な投資を考えると、ナノテクの幅広い普及がもたらす複雑な問題（長期・短期含め）を評価し、対処する上で、公的機関の役割は重大である。特に意識的あるいは無意識にしろ、自然界に放出されるナノ粒子に関しては、そうである。

既存の公害対策法規に基づいて、ナノテク製品を規制することも可能であろう。例えば、2006年後半、米国環境保護庁（EPA）はナノシルバーを使用する製造業者に対し、「その使用が水路や公衆衛生を害さない」という科学的証拠の提出を義務づけた。ナノシルバーは、靴の中敷や食品容器、空気清浄機、洗濯機などの殺菌に利用されている。

ナノテクの特異な性質に対応する上で、現在の規制の枠組が適切かどうかは明らかではない。これまで、ナノテクに特化した規制を課した政府はなかった。しかし、「既存の規制がナノテクに関する問題やナノテクの潜在的な社会的影響に十分に対応可能か」、あるいは「規制の修正や、あるいは全く新しいリスク管理の手法が必要かどうか」という事を解明するために、多大な努力を払っている政府はある。例えば、米国 EPA はナノテクノロジー政策白書 2006 を作成している。

多くの補完的対策が必要であることは確かである（実験室での慎重な実験やコンピュータシミュレーションから、小規模のフィールドテストまで）。ナノ物質の影響を正確に把握し、モニターする基準（standards）や手法も必要だろう。意図しない、また予見することのできない環境影響は長期にわたるため、現在確立されている製品トレーサビリティやライフサイクル分析を用いるか、または新たな手法を開発するべきであろう。

政府や国際機関は科学者や民間企業と協力して、ナノテク製品に関する科学的・倫理的に健全でリスクを考慮した基準を確立し、また潜在的な健康被害や環境脅威を回避するために最良の方法を追求すべきであろう。用語の統一も、ナノ物質と通常物質の違いについて述べる際や規制に基づき報告書を作成する際に、あいまいさを排除するために必要となる。

グローバル化された今日の社会は、技術革新を実現し、普及させ、より多くの利用者がより素早く、そのメリットを享受することのできる、前例のない機会に恵まれている。ナノテク先進国とそうでない国との「ナノ・デバイド(技術開発の恩恵を被ることに関して、国家間で差異が生じること)」の発生を避けることが重要である。

一般大衆の環境問題への科学的な理解は進んでいる。しかし、ナノテクに関連した様々なチャンスやリスクに関する人々の意識向上のために、政策決定者・産業界・NGO・科学者は協力することが必要である。また、ナノテク製品が市場に出回る前に、人々がナノ物質の潜在的な影響を評価できるよう、各段階で情報提供することも必要である。

ナノテクは、社会および経済の発展に対し、多くの可能性(長期、短期)を生み出している。環境モニタリングやエネルギー効率の向上、人間の活動による環境への影響の抑制など、ナノテクのもつ機能は、ナノ物質を利用することの明らかなメリットである。メリットを最大化し、リスクを最小限にするバランスの取れたアプローチが求められる。

出典:

国連環境プログラム

GEO Year Book 2007 より

Nanotechnology and the environment

http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2007/PDF/7_Emerging_Challenges72dpi.pdf

編集・翻訳: NEDO 情報・システム部 久我 健二郎、京 希伊子

【環境特集】 廃棄物処理・リサイクル

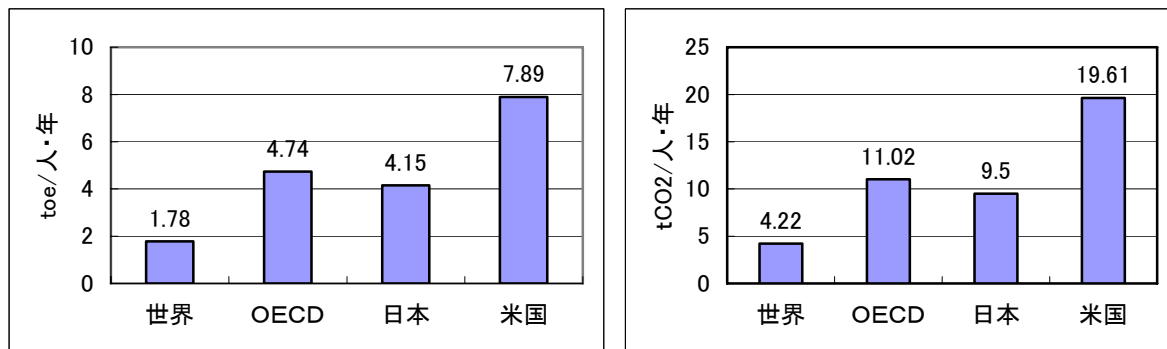
米国における都市ごみの排出・リサイクル状況

— 一日米間の比較に基づく特徴の分析 —

本稿では、米国環境保護庁(EPA)の資料¹を基に、米国での都市ごみの排出・リサイクル状況を紹介する。可能な範囲で日本との比較を行い、廃棄物処理・リサイクルに関する両国間の特性の違いを明らかにすることを試みた。

1. はじめに

米国は言うまでもなくエネルギーの大消費国である。例えばエネルギー消費や二酸化炭素(CO₂)排出量について見れば、一人当たりのエネルギー消費量やCO₂排出量は、米国は世界平均の約4.5倍、日本やOECD²諸国の約2倍である(図1参照)。

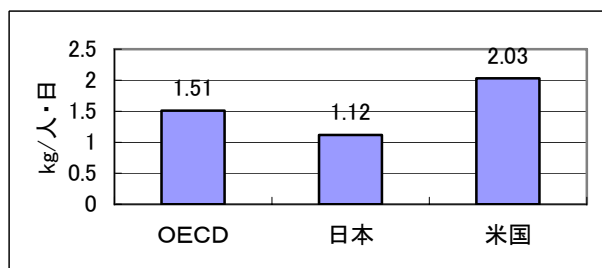
(a) 一人当たりの年間エネルギー消費量³

(b) 一人当たりの二酸化炭素排出量

(数値出所：資料2)

図1 人口一人当たりのエネルギー消費量およびCO₂排出量(2005年)

さらに、米国は大量資源消費国、大量廃棄物の発生国である。OECDの資料によると、一人当たりの都市ごみの排出量は日本の約1.8倍である(図2参照)。



(数値出所：資料3)

図2
一人当たりの都市ごみの排出量

¹ “Municipal Solid Waste (MSW) Basic Information” EPA、2008 (以下本編中では「資料1」)

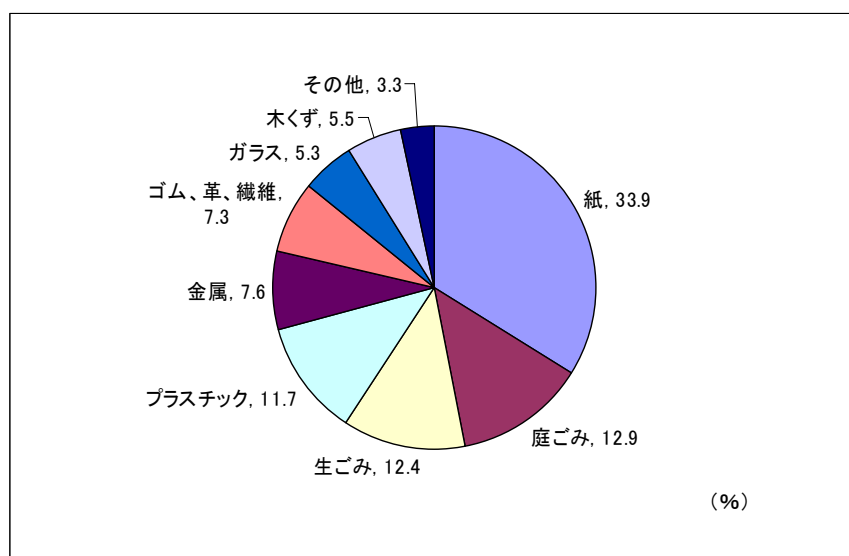
² OECD： 経済協力開発機構。欧州や北米や日本等の主に先進諸国30カ国で構成される国際的に経済問題を協議するために設立された国際機関。IEA(国際エネルギー機関)はOECD枠内で石油を中心としたエネルギー問題について協議・協力等を行う国際機関で、現在加盟国は26カ国。

³ 正確には、人口一人一日あたりのエネルギー供給量(TPES)。

以下では、前出の EPA の都市ごみに関する資料を翻訳して紹介する。該当する事項に関する日本の状況については枠で囲ったコラムの形式で紹介する。

2. 都市固形廃棄物（都市ごみ）MSW

MSW⁴ ーより一般的な言葉ではトラッシュ(trash)やガーベジ(garbage)として知られるーは、製品包装、刈り取られた芝、家具、衣服、ビン、生ゴミ、新聞、電機製品、塗料、電池などの日用目から構成される（図 3 参照）。



※2006 年の米国内での MSW の総発生量は 2 億 5,100 万トン（リサイクルの前）

（出典：資料 1）

図 3
米国の都市ごみの
内容構成

※日本の状況： 都市ごみの内容構成は、環境省の調査した 2000 年のデータ⁵によると、紙・ダンボール 33%、有機物 28%、プラスチック 13%、ガラス 5%、金属 3%、繊維その他 12%となっている。

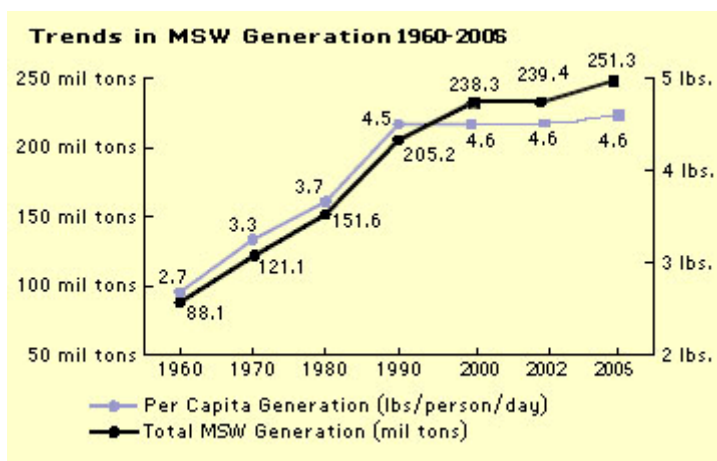
図 3 を同じ分類区分で整理し直すと、米国は紙・ダンボール 34%、有機物（庭ごみ＋生ゴミ＋木くず）31%、プラスチック 12%、ガラス 5%、金属 8%、繊維その他 11%となる。

この数字を見る範囲では日米間で大きな違いはないと言える。

米国内で家庭、業務、公的機関から発生する MSW の総量は 2006 年で約 2 億 5,100 万トンである。これは、一人一日当たり約 4.6 ポンド（約 2.1kg）の発生量である（図 4 参照）。

⁴ “Municipal Solid Waste (MSW)”。日本の「一般廃棄物」に相当。

⁵ 数値出所： 資料 4（後出）。



(出典：資料 1)

図 4

1960 年～2006 年における米国での MSW 発生量の推移

※日本の状況： 環境省の資料⁶によると、一人一日当たりの都市ごみ（一般廃棄物）の発生量は 1.131kg（2005 年度値）で、前出の図 2 で示したように、日本は米国の約半分の発生量である。

また、図 4 で示すように一人一日当たりの発生量米国は過去 15 年間でほぼ横ばい傾向であるが、日本は過去 10 年間で若干減少傾向にある。

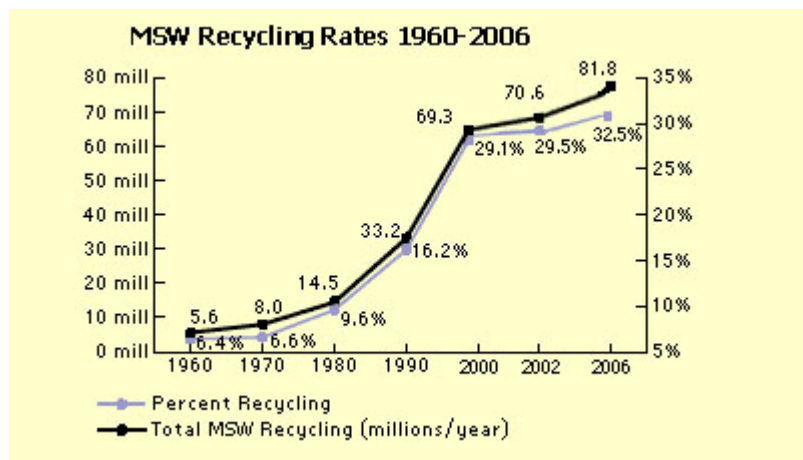
米国では、MSW 管理(処理・リサイクル)について次のような取組が行われている。例えば、**排出量の削減**（ソースリダクション）、**リサイクル**、**堆肥化**（コンポスト化）、廃棄物の流れの抑制または材料転換などである。**排出量の削減**には、廃棄される量や毒性を低減させるための設計、製造、製品や材料利用の変更が含まれる。**リサイクル**は、廃棄物の流れから、紙、ガラス、プラスチック、金属のような品目を迂回（転換）させる。これらの物質は、分類、収集、加工され、新たな製品として製造、販売、購入される。**堆肥化**では、生ゴミや剪定材などの有機廃棄物を、微生物（主にバクテリアや菌類）の力を借りて発酵させ堆肥を作る。

処理が必要な物については別の取組が行われている。**埋立**はどこに埋め立てるのかを適切に決める必要がある。埋立する場合は、地下水汚染を防ぐための保全手段が必要である。**焼却**は、埋立量の削減させるための手段の一つである。焼却施設では分量を減らし発電を行うために MSW を高温で燃焼させる。

3. MSW 処理の優先順位付け（ヒエラルキー）

EPA は MSW の処理法について、環境への優しさの観点から次のようにランク付けを行っている。**排出量の削減**(含む再利用)は、最も好ましい手段であり、次いで、**リサイクル**と**堆肥化**、そして最後は焼却施設での**焼却**と**埋立**である。現在、米国では 32.5%が回収・リサイクル・堆肥化されており（図 5 参照）、12.5%が焼却施設で焼却され、残る 55%が埋立されている。

⁶ 数値出所： 資料 5（後出）。



(出典：資料 1)

図 5
1960 年～2006 年の米国での MSW のリサイクル率の推移

※日本の状況⁷： 日本では、焼却処理を行わない直接埋立は約 3%に過ぎず、8 割近くが焼却処理されている。リサイクル(資源化)されているのは 2 割程度である。上記の文中にあるように米国で焼却する場合は発電を行う場合に限定されているようである。

(1)排出量の削減(排出抑制)

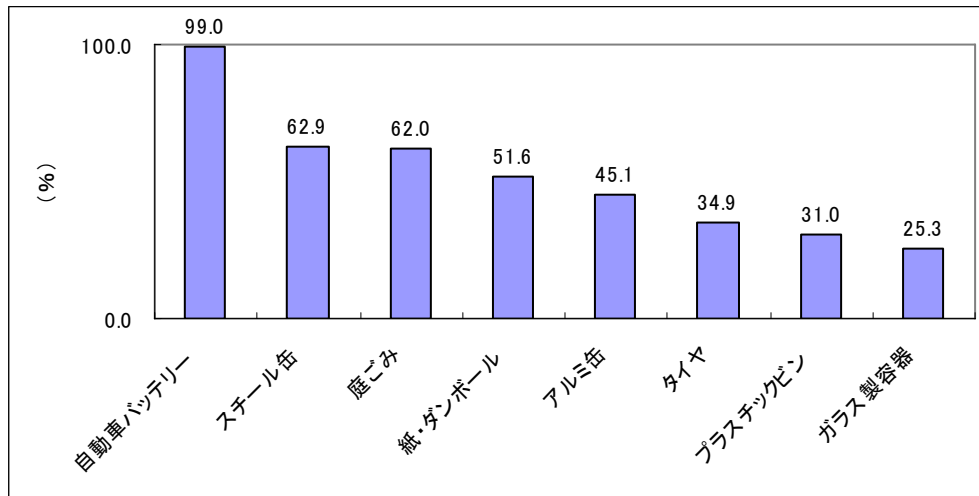
排出量の削減（ソースリダクション）は廃棄物の発生抑制の最も優れた手段である。ガラスサイクリング（草循環）⁸、バックヤードコンポストイング（自分の家での堆肥化）、紙の両面コピー、産業界での輸送梱包材の削減などの取組が、排出量削減のために非常に有効である。排出量の削減は多くの環境面での便益がある。大量の温室効果ガスの排出を防ぎ、汚染物質を削減し、エネルギーを保全し、資源を保護し、新たな埋立や焼却の必要度を低減させる。

(2) リサイクル

堆肥化を含むリサイクルによって、2006 年には 8,200 万トンの排出量を減らした。1980 年当時の削減量は 1,500 万トン、リサイクル率は 10%で、MSW の 90%はエネルギー回収のために焼却されたり、埋立られたりしていた。リサイクルされる代表的な品目は、電池で 99%がリサイクルされる。紙とダンボールは 52%、刈草は 62%である（図 6 参照）。

⁷ 数値出所： 資料 5（後出）。

⁸ 刈った芝を回収せずにその場に置いておくこと。その場で腐らせて肥料とする。



(出典：資料 1)

図 6
米国の主要
品目のリサ
イクル率
(2006 年)

これらは、カーブサイドプログラム（道路脇での回収）、ドロップオフセンター（回収拠点での引き渡し）、ペイバックプログラム（買い戻し）、デポジットシステム（預かり金制度）によってリサイクルされている。

リサイクルにより、多くの温室効果ガスや水質汚染物質の排出を防ぎ、エネルギーを節約し、産業へ貴重な原材料を供給し、雇用を生み出し、環境配慮技術の開発を刺激し、我々の子供達の将来のために資源を保全し、新たな埋立や焼却炉の必要性を低減させる。

リサイクルはさらに地球的な気候に影響を及ぼす温室効果ガスの排出を低減させる。1996 年には、固形廃棄物のリサイクルにより、米国で大気中への 3,300 万トン⁹ の炭素の放出を防いだ。この量はおおよそ 2,500 万台の自動車からの年間排出量に相当する。

※日本の状況： 日本の都市ごみのリサイクル率¹⁰ は 2005 年度で 19%(過去 10 年間で倍増している)。ただし、これを持って米国と比べて日本のリサイクル率が低いとは言えない。焼却処理によって分量が 8 割近く減じているためである。

日本における主要品目のリサイクル率を参考として文末に示す。統計データの取り方・精度、リサイクルの範囲のとらえ方などが両国間で異なるため、単純に数値間を比較することは危険な面があるが、個別品目に関しては概して日本の方がリサイクル率が高いと言える。

(3) 燃焼／焼却

MSW の焼却は廃棄物の量を体積で最大 90%、重量で 75%減らすとともに、エネルギーを生み出すことができる。EPA の大気・放射線部が焼却炉の規制を所管している。ごみ

⁹ 編集部注：米国の年間二酸化炭素排出量（炭素換算）は 15 兆 8,600 万トン（2005 年）であるため、3,300 万トンは約 2%に相当する。

¹⁰ 数値出所：資料 5（後出）。

焼却に伴う排気問題が、重要な環境問題であるからである。リサイクルはさらに全地球的気候に影響を及ぼす温室効果ガスの排出量を低減させる。2006 年は、米国のリサイクル率は 32.5% (8,200 万トンがリサイクルされた) であり、大気中へ約 4,970 万トン¹¹ の炭素が排出されることを防いだ。この量は 3,900 万台の自動車からの年間排出量であり、1,300 兆 BTU¹²、ガソリンで 100 億ガロンに相当するエネルギーを削減した。

(4) 埋立

資源保全およびリサイクル法(RCRA)¹³の下で、MSW を受け入れる埋立地は第一に州などの地方政府によって規制を受ける。しかし、EPA は埋め立て地が稼働していくために満たさなければならない国家基準を定めている。しかし、地方自治体(都市)の埋め立て地は、家庭有害廃棄物を受け入れることができる。米国内の埋め立て地の数はずっと減少してきている、1988 年の 8,000 カ所から 2006 年の 1,754 カ所に減少している。しかし、受け入れ容量はほぼ一定規模のままである。新たな埋め立て地は、過去のものよりもより大規模である。

※日本の状況： 2005 年度末段階で、一般廃棄物処分場数は 1,847 施設で、件数では米国とほぼ同数である。しかし、日本の年間埋立量は 733 万トンであるのに対し、米国の埋立量は日本の 20 倍近くの年間 1 億 3,000 万トンであり、米国では 1 カ所当たりの規模が相当大きいことがわかる。

4. 終わりに

最後に、前出の各種の数値を整理し、一人一日あたりの都市ごみの排出量・リサイクル量・処理量等の日米の比較を図 6 に示す。

日米間で排出量が 2 倍違うことに加え、米国は資源化・リサイクル比率が高いものの、日本の発生量とほぼ同等量がそのまま埋立されていることがわかる。一方、日本では、焼却による減量化に主眼が置かれていることが見て取れる。

¹¹ 米国の年間二酸化炭素排出量(炭素換算)は 15 兆 8,600 万トン(2005 年)であるため、4,970 万トンは約 3.1%に相当する。

¹² 1,300 兆 BTU=3,276 万 toe。米国の年間エネルギー消費量は 23 兆 4,300 万 toe(2005 年)であるため、約 1.4%に相当する。

¹³ RCRA は 1976 年に成立し、1984 年に改正された。この法律の第一の目的は、廃棄物処理の潜在的な危険性から、ヒトの健康と環境を守ることである。さらに、RCRA はエネルギーや自然資源の保全、廃棄物の発生低減、環境に優しい廃棄物管理の実施を要請している。

RCRA では家庭有害廃棄物(HHW)に関する条項もある。家庭からは、塗料、洗浄剤、油、電池、殺虫剤のような有害な成分を含む多くの日用品が排出されている。これらの製品分は、家庭有害廃棄物(HHW)と呼ばれている。これらの製品は、取り扱いを誤ると、ヒトの健康や環境に危害を及ぼす可能性がある。

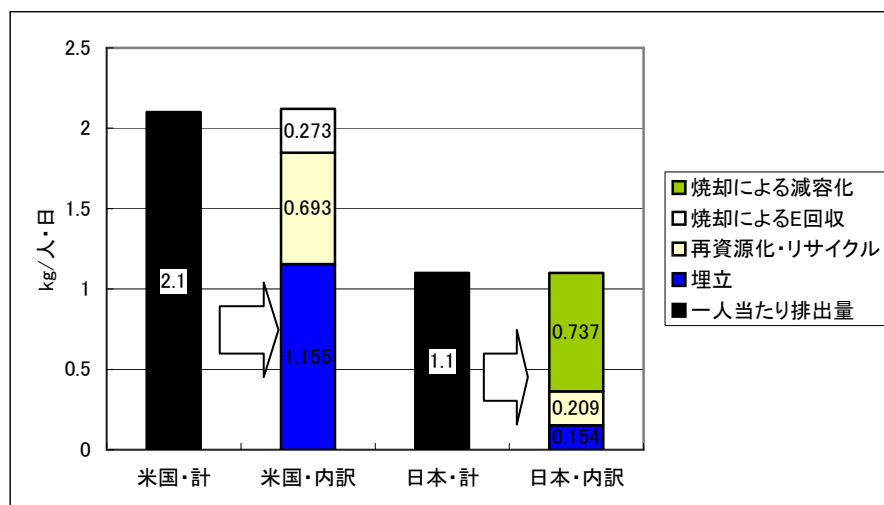
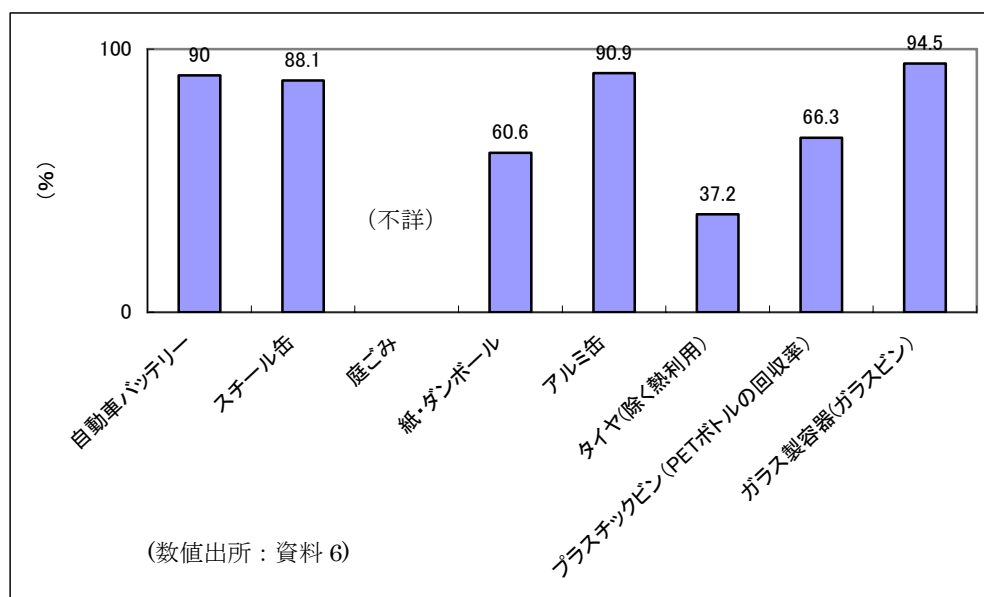


図6 一人一日あたりの都市ごみの排出量・リサイクル量等の日米の比較値

(NEDO 情報・システム部 林 欣吾)

参考 日本の主要品目のリサイクル率



(引用・参考資料)

1. “Municipal Solid Waste (MSW) Basic Information” 米 EPA, 2008.1 updated
<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/facts.htm>
 2. “Key World Energy Statistics 2007” International Energy Agency(IEA)
 3. “OECD Selected Environmental Data”(OECD)
<http://www.oecd.org/dataoecd/11/15/24111692.PDF>
- ※この資料中に掲載データの年次の記載は無いが 2004 年前後の数値と思われる。

4. 「世界のリサイクルデータ集(OECD 資料抜粋翻訳) (財)クリーン・ジャパン・センター、2007.3
5. 「一般廃棄物処理事業実態調査の結果 (平成 17 年度実績)」について (環境省)
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8277>
6. 図 日本における主要品目のリサイクル率は、下記の資料の数値を基に作製した。
 - ・ ガラスビン、スチール缶、アルミ缶、ペットボトル、古紙：
クリーン・ジャパン・センターの web サイト：主要品目のリサイクル率
<http://www.cjc.or.jp/modules/incontent/index.php?op=aff&option=0&url=CJC/haikibutsu/main09.html>
 - ・ 廃タイヤ： (社) 日本自動車タイヤ協会の web サイト
http://www.jatma.or.jp/kankyou/contents_02.html
 - ・ 自動車バッテリー：
(社) 電池工業会の web サイトなどに基づく推定値 (個数ベース)

【環境特集】有害化学物質対策

米国における水銀の使用・排出抑制への取組状況

—EPAの水銀ロードマップより—

本年1月23日に米国ニューヨーク・タイムズ紙が、ニューヨーク中心部マンハッタンで有名すし店などのネタのマグロを調査した結果、サンプルの25%から高水準の水銀が検出されたと報じた¹。米国では魚は健康食品として注目を浴びているが、その一方魚類中に含まれるメチル水銀による健康影響に対する関心も高い²。

本稿では、米国環境保護庁(EPA)の報告書「水銀に関するEPAロードマップ（以下水銀ロードマップ）」（2006年6月発表³）の情報等を基に、米国や世界における水銀の使用・排出状況、および水銀の使用・排出の抑制へのEPAの取組状況などを紹介する。

この水銀ロードマップでは、米国および国際的な水銀問題でEPAの果たす役割、水銀のリスク低減のための実施中・計画中の主な取組などに加え、米国内および世界の水銀の使用状況や環境中への排出状況、水銀のヒトや環境に及ぼす影響などがコンパクトに記載されている。この水銀ロードマップでは次の6つの領域に焦点を当てている。

- 1) 環境中に放出される水銀への対処
- 2) 環境放出の恐れのある製品や工業プロセスにおける水銀使用への対処
- 3) 日用製品中に使われる水銀の管理
- 4) 水銀のリスク情報の一般市民への伝達
- 5) 国際的な水銀発生源への取組
- 6) 水銀に関する研究とモニタリングの実施

1. はじめに —水銀のリスクに関する基礎情報

(1)水銀の排出源

水銀は自然界に存在している元素である。自然源（火山など）や人間活動（産業的な焼却・燃焼や鉱山など）から大気などの環境中に放出される。水銀は米国及び地球規模の環境中に広がっている。人間活動により、大気中、土壌や底泥(セディメント)中、湖・河川・海洋中の水銀量が増加している。

¹ “High Mercury Levels Are Found in Tuna Sushi”

http://www.nytimes.com/2008/01/23/dining/23sushi.html?_r=1&scp=2&sq=mercury&st=nyt&oref=slogin

本件については日本の新聞各紙でも報道された。

² 日本では、例えば厚生労働省はweb上に「魚介類等に含まれる水銀について」の頁（下記）を設置し、妊婦への魚介類の摂食と水銀に関する注意事項のパンフレットなどを掲載している。

<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/suigin/index.html>

³ NEDO海外レポートでは、水銀ロードマップの発表時点でその概略（下記）を紹介している。

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/982/982-02.pdf>

米国では今日までに、様々な工業プロセスや製品中に用いられる水銀の量が削減または廃止されており、産業的な水銀の放出量の削減はかなり進展している。産業分野での水銀排出地点は、焼却の副産物として水銀が排出される焼却プロセスの実施地点である。他の主な排出源は、例えば、塩素アルカリ式塩素製造プロセス、電池、ランプ、温度計などの計測機器など水銀を意図的に用いる工業プロセスや製品である。水銀は、採鉱、下水の放流、金属精錬などを通して放出される。

(2)メチル水銀

水銀元素は体内に摂取されると人体に毒性があるが、EPA はメチル水銀に最も関心を払っている。水銀の強力な形態でヒトが主に暴露される形態である。メチル水銀は、底泥や土壌中で微生物活動によって他の沈殿水銀からも生成される。メチル水銀は、一旦生成されると水生生物によって摂取され、水中の食物連鎖の中で生体中に蓄積される。水銀の全ての形態は生体蓄積されるが、メチル水銀は他の形態の水銀よりもより多く蓄積する。

2. 水銀ロードマップの作成経緯、位置づけについて

EPA は過去 10 年以上、環境やヒトの健康への水銀リスクに関する取組に力を入れてきた。水銀の放出や使用を減少させるための国際的、国家的、地域的な努力は増加し、目に見える成果を生じている。例えば、米国全体での大気中への放出量は 1990 年以降 45% 減少した。製品中やプロセス中に用いられる水銀は 1980 年から 1997 年までに 88% 削減した。1997 年には、米国のヒト起源の水銀放出量は世界の約 3% であった。1998 年、EPA は持続的・生体蓄積性毒性汚染物に関する取組の一環として水銀アクションプラン（ドラフト）を発表した。このドラフトに対して多くのコメントが提出され、EPA は引き続き 2003 年に州、自治体、産業、環境グループなどのステイクホルダー(利害関係者)達と会合を持った。水銀問題に関して EPA が実施すべき取組に関して、ステイクホルダー達は非常に有益なインプットを行った。そして、EPA は全庁的な作業チームを作り、新たなアクションプランを作成した。それがこの水銀ロードマップである。

EPA の関連部局は、水銀源や、水銀がヒトの健康や環境にどのような影響を及ぼすのかについて、より深く理解するために引き続き取り組んでいる。水銀ロードマップには、水銀の環境中への放出とヒトの水銀への暴露の両者を低減するための EPA の最も重要な活動を記載している。水銀ロードマップを作成することにより、EPA は同行が取り組んでいる水銀プログラムの改善を目的とする様々な取組の協調を最大限にすることが可能となった。この報告書では他の連邦機関や州・地方政府などの我々のパートナーや一般市民に対し、水銀に関する重要な情報も提供するものである。

3. 水銀のヒトの健康や環境に及ぼす影響

水銀への暴露はヒトの健康に多くの悪影響を及ぼす。影響の程度は、ヒトが暴露した水銀の形態や、暴露のレベル・期間によって異なっている。メチル水銀にヒトが暴露する可能性が最も高いのは、メチル水銀を含有している魚を食べることである。これまでの研究結果では、ほとんどの魚摂取では健康問題は生じない。メチル水銀の摂取は栄養学的機能障害を発生させる。成人よりも胎児や幼児がメチル水銀に対しより敏感である。母胎中のメチル水銀は胎児へ移行し蓄積する恐れがある。成人体内では有機水銀、メチル水銀は他のシステム（組織）に影響を及ぼしているという証拠がある。特に、幾つかの研究では、メチル水銀への長期間の暴露—特に高レベルの—では心臓、腎臓、免疫システムに害を及ぼすことが示唆されている。しかし、これらについてのメチル水銀の影響をより深く理解するためには更なる研究が必要である。

米国では、メチル水銀に最も多く暴露する人達は、米国食品医薬品局(FDA)と EPA が合同で作成した消費者向け勧告書「魚や貝中の水銀に関してあなたが知らなければならないこと⁴⁾」での推奨値を超える量のメチル水銀を含む魚介類を食べる人達である。魚介類は、タンパク質や他の必要な栄養素を含むため、非常に健康によい食品である。これまでの研究結果では、ほとんどの魚介類は極微量の水銀は含んでいるものの、ほとんどの魚摂取では健康問題を起こさないことが示されている。しかし、胎児や幼児の血液中のメチル水銀のレベルが上がると、発達中の神経や子供の学習能力や情報処理能力を損なう可能性がある。食物連鎖中の高次の魚—例えばヨコシマサワラ、メカジキ、アマダイ、サメ—は、低次の魚よりもメチル水銀の濃度が高い。販売されている魚の水銀濃度は非常に幅が広い。米国で消費される魚種の大部分は海洋種であり、これらの魚種の水銀濃度は世界的な水銀のプール(蓄積)によって多大な影響を受ける。

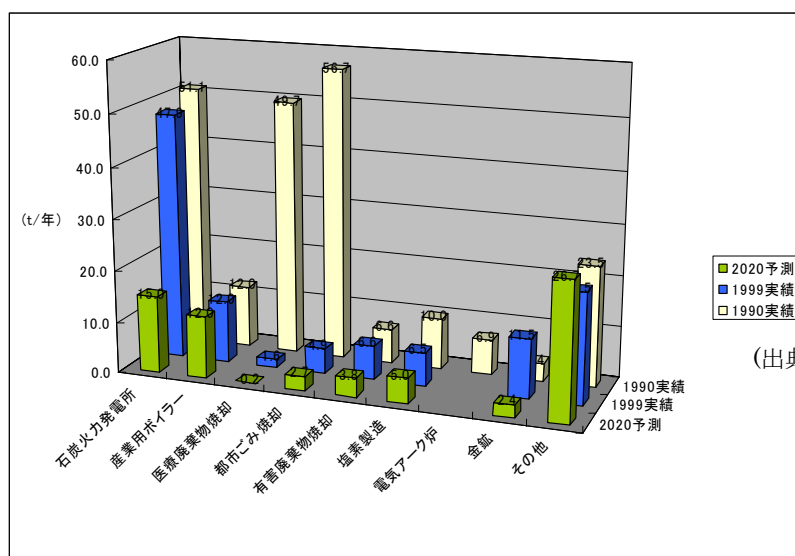
ヒトが水銀に暴露される最大の経路はメチル水銀を含む魚を摂取することだが、個人のレベルでは、就業場所や家庭の室内で有害なレベルの水銀元素の蒸気に暴露される可能性がある。空气中に蒸発した水銀元素が、ヒトに吸引される可能性がある。ただし、米国内ではこの経路で個人が水銀に暴露される可能性は非常に少ない。魚を食べる鳥や動物およびその捕食者は、他の動物よりも水銀への暴露のリスクが高い。メチル水銀は、タカ、フクロウ、絶滅の危機に瀕しているフロリダヒョウの体内でも検出されている。メチル水銀への暴露のレベルによって、野生動物に、致死、繁殖力低下、低成長、生死に影響を及ぼすような非正常な行動などの影響を生じる。魚の成長と繁殖に対しても、水圏のエコシステム中のメチル水銀のレベルによって影響を及ぼす。

⁴ "What You Need to Know About Mercury in Fish and Shellfish"

4. 水銀の環境中への放出量、使用量等

(1)米国での大気中への水銀放出量（図1参照）

1990年に大気浄化法が改正された時、米国内での水銀の大気への排出量（年間で約220トン）の7割以上は、1)石炭火力発電所、2)都市ごみ（都市固形廃棄物：MSW）の焼却炉、3)医療廃棄物の焼却炉の3分野から排出されていた。このうち、医療廃棄物焼却と都市ごみ焼却は、焼却施設に水銀の排出量を1990年レベルから90%以上削減させることを求めるという厳しい管理基準の対象となった。この取組のため大気中への総水銀排出量は1990年から1999年で排出量は45%減少している（排出量は年間約113トン）⁵。



（出典：「EPA 水銀ロードマップ」）

図1
米国での大気中への水銀排出量⁶

石炭火力発電所からの排出については、この図の1999年段階（年間約48トン）では削減が進んでいないが、EPAは大気浄化水銀規則(CAMR)を發布している。CAMRは石炭火力発電所からの水銀排出を直接規制するものであり、全国の水銀総排出量を2段階（フェイズ）で制限するものである。第一フェイズの制限(2010年に発効)では年間38トンに、第二フェイズ（2018年発効）では年間15トンに規制する。これが達成されると、国内の石炭火力発電所からの水銀排出量は約70%減少することになる⁷。

⁵ 編集部注：日本の水銀の排出状況については公的な統計値は存在しないが、環境省の有害金属対策策定基礎調査専門検討会(2007.3)での資料（下記）によると、2002年の大気への年間水銀排出量は合計9～29トンと推定されている。排出源としては、医療廃棄物焼却が最も多く、次いでセメント製造、さらに下水汚泥焼却・溶融、シュレッダーダストなどの産業廃棄物焼却、一般廃棄物焼却と続き、石炭火力発電所からは最大1.5トンと相対的に少なくなっている。

「我が国における水銀のマテリアルフロー作成のための基礎調査結果」

<http://www.env.go.jp/chemi/tmms/1802/mat03.pdf>

⁶ 編集部注：原典ではこの図中の数値の出典、対象範囲等について細かな注釈が付いているが本稿では割愛した。

⁷ 編集部注：米国での石炭火力発電所から水銀排出量低減に向けての具体的な取組例については、本誌の下記の記事を参照。「石炭火力発電所からの水銀排出の抑制（米国）」

(2)米国での製品中や工業プロセスでの水銀使用（図2参照）

米国での製品中での水銀利用量(2001年)の内訳を見てみると、スイッチや配線デバイスが42%（103トン）と最も多く、次いで温度計などの計測・制御装置が28%（69トン）、蛍光灯などの照明が9%（21トン）、アマルガムを含む歯科設備・サプライが14%（34トン）となっている。

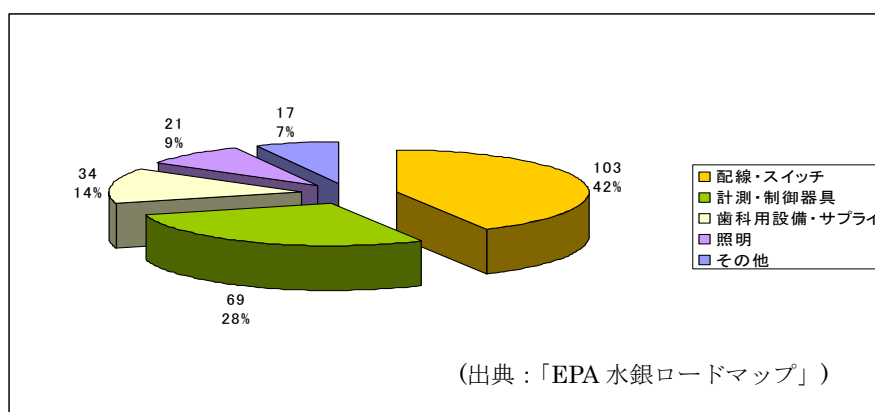
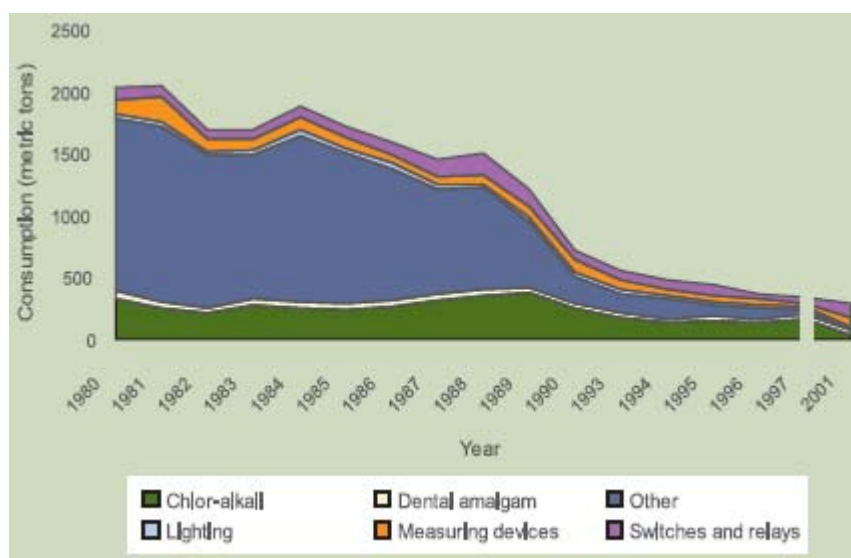


図2
米国での製品中
での水銀利用量
(2001年)

製品中および工業プロセスでの水銀使用量の推移(図3参照)を見ると1980年から1997年の約20年間で水銀使用量が大幅に減少している。この減少理由は、州および連邦議会が電池中の水銀使用を制限したこと、EPAが塗料中に水銀使用を禁じたこと、幾つかの水銀セル塩素アルカリ製造プラントを閉鎖したことなどによるものである。

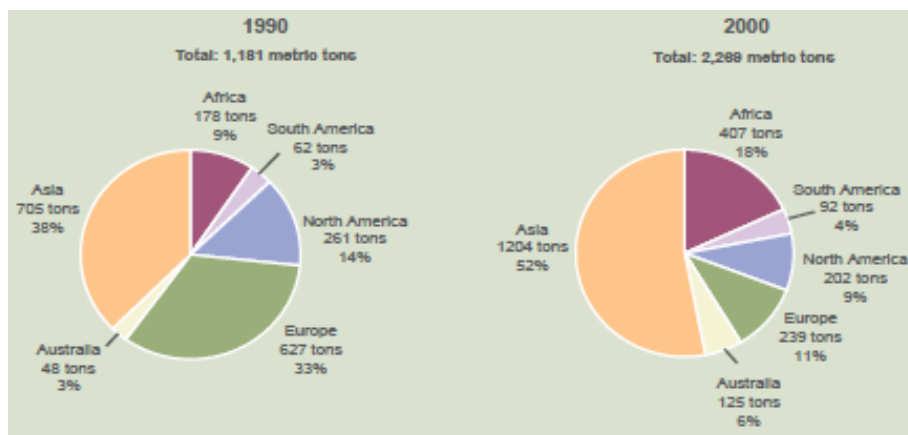


(出典：「EPA 水銀ロードマップ」)

図3
米国での製品中およ
び工業プロセスでの
水銀使用量の推移

(3)世界の水銀排出量および使用量

世界の大気中への水銀排出量の1990年および2000年の地域別構成比の変化（図4参照）を見ると、北米と欧州の割合が大幅に減少し（計47%→20%）、アジアとアフリカの割合が大幅に増加（計47%→70%）している。これらの排出源は、石炭火力発電所、鉱山や金属精錬、水素製造（塩素アルカリプロセス）、水銀含有廃棄物の焼却などである。EPAの推計では、50～70%が、石炭火力をはじめとする燃焼によって排出されている。その多くが中国、インドなどのアジア諸国である。



(出典：「EPA
水銀ロードマップ」)

図4
世界の水銀の人為的な放出の地域別構成(1990年、2000年)

世界の年間水銀使用量は2,000～3,400トンの推定されている。その内訳（図5参照）は、産業分野では塩素製造プロセス（塩素アルカリプロセス）での使用が中心で全体の24%を占めている。同プロセスでの水銀使用は米国などの先進諸国では減少しているものの、世界的にはまだ多量の水銀が用いられている。また、小規模の金や銀の鉱山からの排出も19%を占めている。製品に用いられている水銀としては、電池用が最も多く、スイッチなどの電気電子部品、照明、温度計、歯科用アマルガムなどに用いられている。

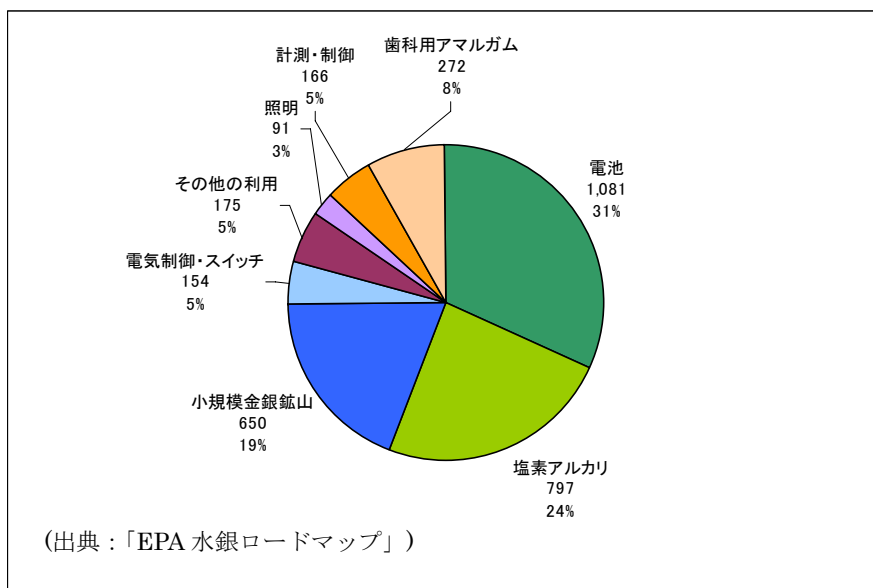


図5
世界の水銀使用の内訳(2000年)

5. EPA の最近の動き

EPA では、水銀ロードマップの発行以降も引き続き水銀対策に取り組んでいるが、最近のトピックスとしては以下のようなものが挙げられる。

- ・ 2007 年 12 月： 電気アーク炉を用いて自動車スクラップから製鉄を行う鉄鋼メーカーに対して適用する、水銀排出を減少させるための最終規則を公布した。
- ・ 2007 年 10 月： 特定の自動車部品(スイッチ)での水銀使用に関する規則を公布。この規則では、自動車の照明スイッチ、ブレーキシステムのスイッチなどに用いる水銀について、米国内で製造、輸入、加工する前に EPA への届出することを規定。
- ・ 2007 年 9 月： 国家自動車の水銀スイッチ回収プログラム 2006-2007 年次報告書を発表。同プログラムは、廃自動車から水銀を含む照明スイッチの削減を促進するもの。

(NEDO 情報・システム部 林 欣吾)

(引用文献)

- ・「EPA の水銀ロードマップ(EPA's Roadmap for Mercury)」、米国環境保護庁(EPA)、2006.7 <http://www.epa.gov/mercury/roadmap.htm>

(参考)

- ・ EPA の水銀に関する web サイト
<http://www.epa.gov/mercury/>

【環境特集】 大気環境規制

環境大気質に関する新指令（EU）

欧州議会（EP）は 2007 年 12 月 11 日、大気質指令の修正を採択した。これは欧州連合（EU）議長国ポルトガル及び欧州議会との間で行われた交渉での合意内容を踏まえたものである。

この修正では、微小粒子状物質（PM_{2.5}）について、初めて拘束力を持つ基準が設定された。EU 全域で 2015 年までに 25 マイクログラム／m³とする基準値等が盛り込まれている（可能な地域は 2010 年までに達成する）。

本稿は、この新指令に関する Q&A（EU プレスリリース）等を元に、作成したものである。まず、EU のこれまでの大気汚染に対する取り組みについて述べ、次に、今回の修正内容を中心に、大気質指令について説明する。また、大気質指令の元になっている大気汚染戦略（2005 年 9 月、欧州委員会採択）について述べる。

1. EU の大気汚染に対する取り組み
2. 大気質指令
 - 2.1 新しい大気質指令が必要な理由・指令の主要な要素
 - 2.2 今回の新指令下で大気質の環境基準は緩和されるのか
 - 2.3 加盟国はどのように、EU の基準を順守するのか
 - 2.4 大気質法の実施にあたり想定される変化
3. 大気汚染戦略
 - 3.1 テーマ別戦略とは何か
 - 3.2 大気汚染戦略が目指す目標
 - 3.3 大気汚染戦略がもたらす便益と、戦略にかかる費用
 - 3.4 対策を何も講じない場合の損失
 - 3.5 これらの費用便益計算は確かなものか
 - 3.6 2005 年以降の変更点
 - 3.7 大気汚染戦略の EU 国際競争力への影響
 - 3.8 大気汚染戦略で取り組む汚染物質
 - 3.9 影響のある部門

附録 用語集

1. EUの大気汚染に対する取り組み

大気汚染を規制する欧州連合（EU）の法律は数多くある。

大気質枠組み指令(the Air Quality Framework Directive)、及び関連する 4 指令¹

これらの法律は、二酸化硫黄(SO₂)、窒素酸化物(NO_x)、粒子状物質(PM10)、一酸化炭素(CO)、対流圏オゾン、ベンゼン、鉛、ヒ素、カドミウム、水銀、ニッケル、芳香族多環式炭化水素(polyaromatic hydrocarbons)などの、様々な大気汚染物質の濃度限界値、目標値を設定し、モニタリング（観測・監視）を義務付けている。モニタリングの結果、定められた目標値を超えていることが検出された場合は、加盟国に削減計画の策定・実施・報告が義務付けられる。規制は、新たな科学的知見に応じてこれまで何度も整備し直されてきた。既に発効された限度値（PM など）もあるが、2010 年になって発効される予定のものもある（NO₂ など）。

国別排出量上限指令(NECD: the National Emission Ceilings Directive)²

EU 全域及び各国の施策を通して、2010 年までに達成しなければならない SO₂、NO_x、NH₃ 及び VOC についての国別の排出量上限を規定している。この上限は定期的に見直される。

部門別の排出量関連規制

EU の多くの法律が、排出源毎の排出を規制している。

例として、①車両（EURO 1～6 及び EURO I～V）、②非公道用車両³、③大規模燃焼プラントと産業プロセス（統合汚染防止管理指令）⁴、④溶剤の使用・溶剤を含む製品・液体燃料の硫黄含量。

EU 加盟国は越境大気汚染に取り組むにあたり、最も効果的な削減策についての情報交換とそれぞれの活動の調整を組織的に行う。EU の財源は大気汚染への取組みにも使うことができ、近年ではこの分野で EU の大規模な研究活動が実施されている。

¹ 大気質枠組指令： Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management

関連する 4 指令：

(1) Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air
(2) Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air
(3) Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air
(4) Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air

² Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants.

³ 耕耘機、建設機械など。

⁴ the Integrated Pollution Prevention and Control Directive

2. 大気質指令

2.1 新しい大気質指令が必要な理由・指令の主要な要素

大気汚染に関するテーマ別戦略(the Thematic strategy on air pollution) (以下、大気汚染戦略) は、微粒子 PM2.5 に関する新しい目標を導入することの必要性を強調している。

注：テーマ別戦略の詳細は、「3.1 テーマ別戦略とは何か」を参照

また、PM2.5 以外の汚染物質に関する規制実施の経験から、環境基準を達成するには、柔軟性が大切であることが明らかになっている。

今回の新指令の提案(2007年12月11日、欧州議会採択)は、4つの指令と欧州理事会の決定を1つの法律に一体化・整備し、条項の見直し・現代化を行い、欧州委員会のより良い規制に関するイニシアティブに呼応した形となっている。

この欧州委員会提案の主な要素は、拘束力のある PM2.5 の目標が導入されたことと、現行の規制汚染物質についての限度値及び目標値を保持することで構成されている。

PM2.5 に関して、EU 加盟諸国は、2020 年までに、都市部バックグラウンド地域⁵における暴露濃度を、2010 年比で 20%削減しなければならない。最終的な合意では、条件が追加され、上記の地域では、2015 年までに暴露濃度を 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下とすることが義務付けられた。

また加盟国は、全域で、PM2.5 の限度値 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を順守する必要があり、2015 年までに達成しなければならない。可能であれば、2010 年までに達成する。

さらに今回の提案では実施に際して柔軟性をもたせた。これは、加盟国が法令順守のためにあらゆる合理的手段を講じたにもかかわらず特定の地域で達成できなかった場合を想定し、確実に順守できる計画を策定するという条件で、順守達成のために期限延長(最大3年間)が認められる場合がある。導入されたこの柔軟な処置の適用に際しては、委員会による厳密な評価が必要とされる。加盟国は、この延長された期間内に、できる限り早く限度値を順守するために、その地域においてあらゆる適切な手段を取らなければならない。

PM の健康への悪影響については明確な科学的証拠があったが、欧州理事会と欧州議会の話し合いでは、大規模な行動計画を策定できなかった。欧州における実際の PM 濃度計測値に不確実な点があったためである。今回の新指令ではモニタリングの規定を策定し、欧州委員会に対して 2013 年までに指令を見直すことを義務付けている。見直しでは、指標となる PM2.5 の限度値を維持もしくは下げる必要があるかどうかや、義務化を目指した暴露削減目標を修正する必要があるかについて、検討が行われる予定である。

2.2 今回の新指令下で大気質の環境基準は緩和されるのか

⁵ 地域内の固定汚染発生源の直接的な影響を受けない地点。代表的な汚染状況を表すものと考えられている。

緩和されるわけではない。その逆で、現行の全ての基準は維持されるとともに、PM2.5に関する新しい基準が設定される。これは世界保健機関と欧州委員会・SCHER（健康及び環境リスクに関する科学委員会：Scientific Committee on Health and Environmental Risk）の提言に沿っている。これらの機関は、最小の粒子状物質(PM2.5)を規制すべきであるとの強い主張の根拠を示している。このことにより、環境大気質指令を修正するための大気汚染戦略と付属提案には、粗粒子状物質(PM10)に関する既存の制限を補完するために、人のPM2.5への暴露を低減させる項目が初めて導入された。大きな粒子状物質よりも微粒子状物質の方が人間の健康により大きな被害を与えることを示す証拠は数多くある。

さらに今回の提案では、PM2.5を含む特定の汚染物質についてのより包括的なモニタリングを予定している。これによって、その汚染物質のより深い知見を得ることができ、将来、政策をさらに改善できる。

新指令では、基準の順守を評価する際、自然現象による影響は差し引かれる。例えば、「サハラの子塵粒子が越境移動した場合など」を除外している現行の法律の付加条項を適用している。これらの自然事象は制御不可能だからである。

2.3 加盟国はどのように、EUの基準を順守するのか

今回の指令では、モニタリングとモデリングによる大気質の評価に関する最小限の要件を規定している。加盟国は、大気質が閾値を超えた場合、それに対処することが必要である。対策手段の選択は、加盟国の裁量で決められる。対策には、一般的に、その国の排出削減戦略と特定の地域状況に合わせた地域・地方の対策の双方が含まれている。輸送と家庭用暖房については、都市部で取り組まれることが多い。対策の効果を高めるためには、それが時宜に適い、統合化され、良く展開され、適切に実施される必要がある。対策は策定時に、民間の参加が必要な「大気質計画(air quality plans)」の中でとりまとめられる。

道路輸送と、個別の大規模な点汚染源(point source)⁶における効果的な排出削減を支援するEUの政策は数多くある。これらの政策は、基準を確実に順守するために重要である。

2.4 大気質法の実施にあたり想定される変化

環境大気質法の実施の際、欧州委員会は成功事例を継続的に広めるとともに、ワークショップを開催して加盟国のためのガイダンスの策定を行う。また、必要な場合は、新指令で設置された委員会の下で、加盟国と連携して、効果的に汚染物質の低減を進める。

また、欧州委員会は、条約に従って正しく法規が実施されていない加盟国に対する違反手続きを行う。

注：「2.1 新しい大気質指令が必要な理由・指令の主要な要素」にて記した特定地域の期限延長の申請が検討されている間は、欧州委員会はその特定地域における上限値を超えている加盟国に対して、違反手続きを行わない。

⁶ 特定汚染源、点源ともいう。工場など特定の場所から汚染物質が排出されるような汚染の発生源のこと。

3. 大気汚染戦略

3.1 テーマ別戦略とは何か

第6次環境行動計画(6EAP: the Sixth Environmental Action Programme)は、2002年に欧州議会と欧州理事会によって採択され2012年まで実施される。同計画は、欧州委員会に対して、7つの分野（大気汚染、海洋環境、廃棄物抑制とリサイクル、資源の持続可能な使用、土壌、農業、及び都市環境）に関するテーマ別戦略の作成を求めている。

テーマ別戦略は次世代の環境政策の代表的なものであり、2020年頃までの中期的な計画である。その名が指し示すとおり、これまでのような特定の汚染物質や経済活動単位ではなく、テーマ別に取り組むを行う。テーマ別戦略は明確な環境目標（大気質など）を設定して、これらの目標を達成するために最も適切な手段を明らかにする。

各テーマ別戦略は研究と科学的知見によって策定される。既存の政策を徹底的に見直し、様々な関係者による協議が行われる。ねらいは、7つの戦略の調整を図り、既存の分野別政策、リスボン戦略⁷、持続可能な開発戦略と統合することである。このことによって、個々のテーマ別戦略は、リスボン戦略の目標である、成長・雇用促進及び環境イノベーション推進に貢献し、また環境の持続可能性に関する長期目標の達成にも貢献するであろう。

大気汚染戦略は2005年9月、新しい環境大気質指令の提案とともに、欧州委員会によって採択された⁸。

3.2 大気汚染戦略が目指す目標

2001年に設置された、欧州委員会の欧州大気清浄(CAFE: Clean Air for Europe)関係者プログラムの下で行われた分析では、健康と環境にあらゆる重大な被害をもたらす大気質汚染への取り組みについて、「資金を全く考慮せずに、大気質改善のために技術的に可能なあらゆる施策が実施された場合でも、2020年までに6AEPの目標を完全に達成することは難しい」との結論に達した。このため、6EAPのより長期的な目標を達成する重要なステップとして、大気汚染戦略で2020年までに大気質汚染の影響を削減するための中間目標を設置する。綿密に行われた分析に基づき、これらの中間目標は、便益と費用の最良のバランスを計るために、様々な可能な選択肢から選定された。大気汚染戦略は、大きな健

⁷ 2000年3月のポルトガル・リスボンで開かれた欧州理事会で採択されたEUの経済・社会政策に関する包括的な戦略目標で、「2010年までに、世界で最も競争力があり、社会的結束がより強く、より多くより良い雇用を伴う、知を基盤とした、持続的成長が可能な経済圏を構築する」事を目指している。IT革命への対応も含まれる。その後、2002年のバルセロナ理事会で、上記の「知を基盤とする経済圏」に関して、その構築に必要となる産業の高付加価値化・知識集約化のため、「EUの研究開発投資をGDP比3%まで引き上げる」などの具体的目標を掲げた。2005年3月の中間評価で、進捗の遅れを取り戻し、拡大EUにおいても効果的に機能するように、「優先分野の絞り込み、政策間の整合性の重視、EU加盟各国と欧州委員会の役割分担の明確化、実行プロセスの簡素化、政治的責任の明確化」などの見直しが行われた。

⁸ <http://www.europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/05/1170&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en>

健康被害をもたらすPMに対する暴露を削減することに特に重点を置いている。

3.3 大気汚染戦略がもたらす便益と、戦略にかかる費用

大気汚染戦略は、選定した中間目標を達成するための、最も費用効果的な解決策を提供することを目標としている。これは健康と環境に対して大きな便益をもたらし、EU 経済で年間何百億ユーロもの費用節約になる。その上、よりクリーンな革新的技術の開発により、EU の競争性が高まるという潜在的利益ももたらすだろう。

大気汚染戦略による健康面のみの便益は年間 420～1,350 億ユーロ⁹、2020 年時点での EU25 カ国の GDP 比で 0.30～1.0%と評価される。PM が原因による早死の数は、何も対策を講じない場合のシナリオと比較して、2020 年時点で 63,000 人減少するだろう。一般的に、低所得層は高所得層よりも、大気汚染への暴露レベルがより高いため、低所得者層はより大きな便益を受けると考えられる。

環境面の便益を貨幣換算で計るための合意された手法はないが、相当の便益があると考えられる。2020 年時点で酸性化の影響を受けている森林地帯は、何もしない場合のシナリオと比較して半減する。富栄養化により影響を受ける生態系の総面積は27%減少するだろう。

大気汚染戦略の費用は、2020 年時点で年間 71 億ユーロと推定される。これは 2020 年の EU25 カ国の GDP の約 0.05%に相当する。

3.4 対策を何も講じない場合の損失

多額の費用がかかる。何も対策を講じない場合は、人間の健康を害し環境に大きな被害が出るため、大気汚染戦略を実施した場合よりも EU 経済により大きな費用の負担がかかるだろう。何も講じない場合の健康面単独の損失は、2020 年までに年間 420 億～1,350 億ユーロとなるだろう（医療費の増大、実質労働力の減少他）。これは何十万 km² もの森林、その他の生態系への環境被害を計算に入れていない数値である。

3.5 これらの費用便益計算は確かなものか

EU 大気質法を一つの指令にまとめるために、大気汚染戦略と付属の提案の双方に対して包括的な影響評価を行った。この評価は利用可能な最良の科学と経済学に基づいている。

健康面の便益は、最も慎重な手法を試算に使用してきた。環境面の便益は、合意された手法がまだないため算出できず、便益を計算した数値にも反映されていない。

⁹ 早死によって引き起こされる経済的損失を算出する方法には、異なる二つの方法がある。低い方の数値は、生存年 1 年あたり (VOLY: value of a life year) の損失の中央値に基づき算出。高い方の数値は、確率的生命価値 (VSL: value of a statistical life) の中央値に基づき算出。

3.6 2005 年以降の変更点

2005 年以降、科学的証拠が追加され、大気質汚染の悪影響が裏付けられてきた。また、2008 年上半期導入予定の国別排出上限指令の改定による影響評価の一環として、追加的なモデリング作業が実施される。モデリングは、気候変動政策と大気汚染政策の強い相関を裏付けた。協調して進めれば、気候変動に関する新しい目標が、大気汚染の防止にも迅速に効果的に寄与するだろう。

3.7 大気汚染戦略の EU 国際競争力への影響

大気汚染戦略の中間目標を達成することは、他の先進工業国、例えば米国や日本などと比べても、欧州の競争力の妨げとはならない。これらの国には、類似の政策や、より厳しい大気汚染の政策がある。

実際、健康と環境への被害を減らせば、EU の競争性を高める助けとなりうる。より汚染が少なくより資源効率が良い新規の技術開発を刺激することも期待できる。このような技術の研究開発に重点を置くことにより、EU は強い競争力を確保できる。なぜならば、他の国々もいずれは EU の新技術の採用が必要となると考えられるためである。

中国、韓国やその他の開発途上国では大気汚染への関心が高まってきており、欧州から政策や技術の発想を探していることは確かである。例えば、韓国、中国の両国は、EU が策定した車両排出基準「Euro III」を採用した。また、EU から数年遅れて「Euro IV」の採用も計画している。

3.8 大気汚染戦略で取り組む汚染物質

大気汚染戦略は 5 種類の一次大気汚染物質の排出削減に重点的に取り組む。また、対流圏オゾンもこれまで以上の管理が必要である。下記にこれらの汚染物質を示す。

- ①粒子状物質(PM)
- ②アンモニア(NH₃)
- ③窒素酸化物(NO_x)
- ④二酸化硫黄(SO₂)
- ⑤揮発性有機化合物(VOC)
- ⑥対流圏オゾン

さらに、ベンゼン、一酸化炭素、多環式芳香族炭化水素、重金属ヒ素、カドミウム、水銀、及びニッケルも対象としている。これらの汚染物質の大半はつい最近規制が始まった。

3.9 影響のある部門

大気汚染には様々な経済分野が様々な形で関連しているため、大気汚染戦略の下で想定される解決策にも関連してくる。同戦略では、以下の部門がそれぞれの排出削減に取り組む。

表 1 部門別取り組み内容

部門	対象汚染物質
農業（耕作地、家畜）	NH ₃
輸送（陸・海・空）	PM、VOC、NO _x 、SO ₂
産業（自動車製造、燃料製造・変換、燃料供給ステーション、小規模燃焼プラントの製造者・管理者）	NO _x 、PM、VOC、SO ₂

化学物質	説明
粒子状物質(PM)	Particulate Matter 一次粒子と二次粒子がある。一次粒子はディーゼル車排気ガス等を経て大気に直接排出される。二次粒子は、排出された汚染物質（二酸化硫黄(SO₂)、窒素酸化物(NO_x)、アンモニア(NH₃)など）によって、大気中で化学反応が起こって生成され、大量の粒子となったものである。PM₁₀ は粒径 10μm（マイクロメートル）以下の粗粒子である。PM_{2.5} は粒径 2.5μm 以下の微粒子である。微粒子状物質は、肺の敏感な領域に浸透することができるため、健康被害に強く関係している。PM に対する暴露の安全レベルを判断する十分な証拠はないため、実質的に、あらゆる PM の増加は健康に有害であると考えられる。
対流圏オゾン	ground level ozon 地表近く（高度 10km まで）で発生するオゾン。NO_x と VOC が日光により化学反応した時に形成される（二次粒子）。有害な紫外線から動植物を守る成層圏のオゾン層と比較すると、対流圏のオゾンは健康と生態系の双方にとって有害である。オゾンに暴露することで、肺機能への非致死性の影響や、急性死亡に関係してくる。オゾンの暴露に関して安全レベルを判断するための十分な証拠はない。環境面に関しては、オゾンの被害は森林、植物、農作物に影響を与える最も重大な大気汚染問題である。
アンモニア(NH ₃)	アンモニアガスは主に動物性廃棄物や、農地への肥料利用によって排出され、酸性雨、富栄養化、二次粒子の形成、及び環境被害に影響をもたらす。
窒素酸化物(NO _x)	NO_x には一酸化窒素(NO)や二酸化窒素(NO₂)がある。NO は主に高温燃焼プロセスで形成され、その後大気中で化学変化により NO₂ になる。NO_x は、酸性雨、富栄養化、対流圏オゾンの形成、及び人間の健康被害に影響を及ぼす。
二酸化硫黄(SO ₂)	二酸化硫黄ガスは硫黄を含む燃料（石炭、石油など）の燃焼から生成される。SO₂ は、酸性雨と健康に影響を与える。
揮発性有機化合物 (VOC)	volatile organic compounds 常温常圧で大気中に容易に揮発する有機化合物の総称。天然の発生源や人間の活動（溶剤、塗料、ワニスなど）、供給ステーションでの輸送燃料の補給や使用、及び車の排気ガスから大気中に排出される。VOC は対流圏オゾンの形成の主要要因である。

編集・翻訳 NEDO 情報・システム部

出典：

欧州連合

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/571&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

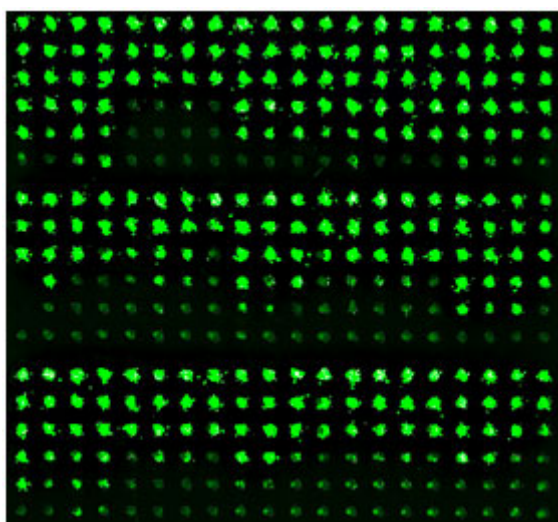
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1895&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

【環境特集】 化学物質 動物実験代替技術

人体を模倣したバイオチップで化合物の毒性を明らかに(米国)

ー 化学品／化粧品／製薬業界の動物実験を代替する可能性 ー

「新しいバイオチップ技術が、化学品と化粧品業界の動物実験を代替し、新薬開発の際のその実施を大幅に減らす可能性がある」との新しい研究成果が、レンセラー工科大学、カリフォルニア大学バークレー校および Solidus Biosciences 社の研究者チームにより発表された。



データチップにヒト肝細胞を点在させ、様々な化学物質、薬剤、薬剤候補の毒性を迅速に測定する。メタチップと一緒に使用すれば、二つのバイオチップにより、動物実験を代替する高度な毒性予測を行える可能性がある。

(Photo Credit: Moo-Yeal Lee,
Rensselaer Polytechnic Institute)

研究者チームの、この最新の発見は、米国科学アカデミー紀要(PNAS) のオンライン早版 12 月 17 日号に掲載された。

研究者達は、2 種類の新しいバイオチップ、すなわちデータチップ(DataChip)とメタチップ(MetaChip)を開発した。この 2 つのチップを組み合わせれば、人体の様々な臓器に対する化学物質や薬剤候補の潜在的な毒性や、体内での代謝時にそれらの化合物が有毒になるかどうかを、動物を使わずに一回の実験で明らかにできる。

従来の毒性試験では、動物実験により化学物質や薬剤候補の有毒性を予測していた。しかし、多くの化合物が製薬業界で開発されていることや、化学物質の毒性分析を行うことを規定する新しい法律の制定に伴い、効率的(high-throughput)に毒性試験を行う必要性が急速に高まってきた。

「私達は企業が直面している課題を調査した。その結果、安価で効率的、自動化が容易な、動物実験によらない方法を開発する必要があることが分かった」と、同論文の主執筆者

者の一人、ジョナサン・ドーディック（レンセラー大学化学・生物工学学部の「Howard P. Isermann'42」の教授であり、また、このチップの商業化を進めている Solidus Biosciences 社の共同創始者でもある）は話す。「私達は、化合物の毒性を調べる時に評価する必要がある 2 つの重要な項目、つまり『人体内の様々な細胞への影響と、体内で化学物質が代謝された時に毒性がどのように変化するか』に対処するために、データチップとメタチップを開発した。」

「これらのバイオチップを一緒に使用すれば、動物実験による毒性スクリーニングの有望で安価な代替法となり、安全で効果的な薬剤の開発につながる」と、レンセラーセンター・バイオ技術学際研究センターのメンバーでもあるドーディックは話す。

現在、創薬プロセスで詳細な毒性スクリーニングが行われるのは、企業がある化合物に既に莫大な時間と資金を投入した開発の後期段階である。また、動物実験からは、ヒトの場合に置き換えた化合物の毒性やその代謝物の情報が、常に得られるわけではない。

共同チームは、この 2 チップを組み合わせたものが、創薬プロセスのより早期の段階で薬剤化合物の毒性を検査するための、効率的でより正確な手法であると考えている。しかし、共同主執筆者のダグラス・クラーク（Solidus Biosciences 社の共同設立者であり、カリフォルニア大学バークレー校の化学工学教授）は、製薬企業は潜在的なユーザーの一つではあるが、必ずしも最初のユーザーではないだろうと考えている。

クラークは話す。「初期の市場はおそらく、動物実験の廃止を迫られたり、動物実験を行う余裕がない化学品企業や化粧品企業が有望である。実際、欧州の化粧品業界は、化学物質の毒性試験への動物の使用を 2009 年からは制限される予定である。言うまでもなく、化粧品には安全性が必要とされる。特に化合物の数は増えているために、動物を利用した毒性実験を行わずに新しい化合物の安全性を確保することが、業界の新たな課題である。これらのチップは、包括的な毒性データを非常に迅速、かつ安価に提供することによって、この課題を克服することができる。」

PNAS で概説されているこのチームの最新の研究成果は、データチップである。このバイオチップには、最大 1,080 個までの三次元培養(three-dimensional cell culture)¹ されたヒト細胞が含まれている。この三次元構造では、ヒト臓器の細胞配列が厳密に再現されている。データチップにより、様々な種類のヒト細胞に対する、化学物質や薬剤候補の潜在的毒性のスクリーニングを、企業や大学の研究室において超高速に実施することができる。

今回の論文発表に先立ち、PNAS の 2005 年 1 月 25 日号に掲載された論文では、同チー

¹ 分解性あるいは生体組織内物質でできたスポンジなどを使用して、立体的な組織構造を再生する培養法のこと。

ムがメタチップの紹介を行っている。このバイオチップは、化学物質と薬物が体内で処理されるヒト肝臓における代謝反応を模倣する。化合物によっては、一見害のない化学物質（アセトアミノフェンなど）が、肝臓で代謝される時に毒性が高くなる場合がある。また、化合物の種類や、薬物代謝酵素（そのほとんどは肝臓内に存在）の量の違いによって、薬物や化学物質の代謝に個人差が出る場合がある。ある人にとって害のないものが、別の人には有毒な場合もある。科学者達はメタチップの酵素の割合を調整することにより、薬物が個人毎にどれだけ毒性があるかを判定するための個人向けチップを開発できる可能性がある。

「オーダーメイド医療²への道のりは依然遠いが、メタチップは将来、それを実現する可能性がある」とドーディックは語る。新しいデータチップと組み合わせれば、将来この2つのチップにより、患者毎の安全で効果的な薬物の濃度と組合せを決定できるかも知れない、とクラークは説明する。

ドーディックとクラークは、Solidus Biosciences社のムー・イール・リーとマイケル・ホッグ、カリフォルニア大学バークレー校のアナンド・クーマー、レセンラー大学のスミトラ・スクマランらによる研究に参加した。

この研究は、国立衛生研究所(NIH)とニューヨーク州科学・技術・学術研究財団(NYSTAR)から資金提供を受けた。

翻訳：NEDO 情報・システム部

出典：[http://news.rpi.edu/update.do?artcenterkey=2376&setappvar=page\(1\)](http://news.rpi.edu/update.do?artcenterkey=2376&setappvar=page(1))

(Copyright © 1996-2007 Rensselaer Polytechnic Institute.

All rights reserved. Used with permission.)

² 個人の遺伝子レベルの情報を元に、副作用や有効な治療薬の効果を予め見積もり、個々の人に最も適した疾患の予防・診断及び治療を行うこと。パーソナライズド（個別化）医療ともいう。

【環境特集】 環境規制 化学物質対策

水銀の輸出や殺虫剤の使用を規制（EU）

「人の健康や環境の保護は最優先課題である」とする欧州連合（EU）は、水銀のような人や動物、生態系にとり非常に有害な化学物質の規制に力を注いでいる。このため欧州委員会は、2005年1月に「水銀に関する欧州共同体戦略¹⁾」と題されたコミュニケーション文書を発表、水銀の使用制限に乗り出した。

EUは水銀の主要な輸出地域であり、年1,000トンあまりを主に発展途上国に輸出しているが、欧州委員会は2006年10月26日、EUからの水銀の輸出を2011年から全面的に禁止する法案「水銀の輸出禁止及び水銀の安全な貯蔵に関する欧州議会・理事会規則案²⁾」を採択した。

EUはまた、2007年6月1日に発効した新規則、いわゆる「REACH」³⁾により化学物質の規制を強化した。

しかし、欧州委員会のディマス委員（環境政策担当）は、「REACHの発効により、EUは世界で最も進歩的な化学物質に関する規則を持つことになったものの、化学物質に起因する危険から人の健康や環境を守るためには、まだなすべきことが多い」ことを強調している。

スロベニアのイドリアやスペインのアルマデンにあった鉱山は閉鎖され、EUでは現在、水銀は殆ど生産されておらず、天然ガスの純化、非鉄金属の抽出の際に80トンあまりの水銀が産出されるに留まっている。また、EUレベルでも世界レベルでも水銀の使用量は減少する傾向にある。2005年度の統計によると、世界レベルでの水銀の需要は約3,400トン／年で、EU15カ国のそれは440トン／年だった。世界レベルでは、水銀は主に小規模な金の抽出、塩素・ソーダ産業、PVCプラスチックのベースとなる塩化ビニル・モノマーの生産に使用されている。一方、EUでは、塩素・ソーダ産業が主に水銀を使用しているが、塩素生産における水銀の使用は徐々に減る傾向にあり（2007年：168トン）、2020年までには1万2,000トンの水銀が回収されることになる。歯のアマルガム⁴⁾に使用される水銀（87トン／年）が量的にはこれに次ぐ。

欧州委員会は規則案において、EUからの水銀の輸出を2011年7月1日から全面的に禁止し、同日以降、塩素・ソーダ産業で使用されなくなる水銀や、天然ガスの純化、非鉄金属の抽出の際に産出される水銀は安全な場所に貯蔵することを提案していた。これに対し欧州議会は2007年6月、輸出禁止を2010年12月からに前倒しする修正を行ったほか、

¹⁾ COM(2005)20

²⁾ COM (2006) 636

³⁾ 化学物質の登録、評価、認可、制限（REACH）、欧州化学物質庁（ECHA）の創設、指令1999/45/ECの修正、理事会規則（EEC）No.793/93並びに欧州委員会規則（EC）No.1488/94、理事会指令76/769/EEC、欧州委員会指令91/155/EEC、93/67/EEC、93/105/EC、2000/21/ECの廃止に関する欧州議会・理事会規則（EC）No.1907/2006

⁴⁾ 水銀と他の金属の合金。歯の修復材料としてよく用いられる。

「2010 年 7 月から水銀の輸入を禁止する」とする条項を付け加えた。欧州議会はまた、水銀化合物や水銀を含む製品の輸出禁止も要求している。

2007 年 6 月 28 日に開催された環境理事会では、同規則案に関する政治的合意が成立した。理事会の合意では、規則の適用範囲や「2011 年 7 月から水銀の輸出を禁止する」とする欧州委員会の原案が維持されている。今後も同法案に関する審議は続き、2008 年 4 月には欧州議会での第 2 読会が行われる。

このほか欧州委員会は、殺虫剤の上市や使用の制限にも動いている。同委員会は、2006 年 7 月 12 日、「持続可能な殺虫剤の使用を実現するための欧州共同体行動の枠組みを整える欧州議会・理事会指令案⁵」、並びに「植物薬理学製品の上市に関する欧州議会・理事会規則案⁶」を採択した。

欧州委員会は、殺虫剤の使用を制限し、特定のゾーン内ではその使用を禁止したい意向であるほか、特別な場合を除き殺虫剤の空中散布を禁止しようとしている。また、環境や人の健康に害のない物質による殺虫剤の代替を進める。一方、加盟国は、殺虫剤の使用を減らすための行動計画の策定を義務づけられる。

2007 年 10 月 23 日、欧州議会は「殺虫剤パッケージ」と呼ばれるこれらの法案を第 1 読会で採択した。これらの法案は、大規模な化学産業をかかえるドイツの強い圧力にさらされており、欧州議会でもドイツ選出の議員が多く修正を試みた。殺虫剤部門の企業は、「殺虫剤は必要悪である」とし、環境や人の健康に害のない物質での代替を進めるとする「代替原則」に強く反発している。

因みにベルギーでは、年間 1 万トンあまりの殺虫剤が使用されており、連邦食物連鎖安全庁の 2006 年度の数字によると、果物の 57.6%、野菜の 48.4%で殺虫剤の残留が確認されている。ベルギー政府は、2010 年までに殺虫剤の使用量を 50%削減することを目標としている。

参考

欧州委員会

水銀：

<http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/index.htm>

http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/com_2005_0020_fr.pdf

http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/com_2006_636_en.pdf

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/06/1481&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

殺虫剤：

<http://ec.europa.eu/environment/ppps/strategy.htm>

http://ec.europa.eu/environment/ppps/pdf/com_2006_0373.pdf

http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/com2006_0388en01.pdf

⁵ COM (2006) 373

⁶ COM (2006) 388

【環境特集】 リサイクル政策

環境政策実施における組合組織コンソルツィオの役割(イタリア)

イタリアの環境政策の1つである「容器包装リサイクル法」は、10年前に制定され、非常に良い成果を上げている。「容器包装リサイクル法」の実施に当たり、**イタリア語でコンソルツィオ（CONSORZIO）と呼ばれる組合組織**が設置されている。イタリアの容器包装の回収とリサイクルは、このコンソルツィオのおかげで効果的に運営されている。また、イタリアの「廃電気・電子機器リサイクル実施法」がやっと最近制定されたばかりであるが、廃電気・電子機器リサイクルにおいてもコンソルツィオが既に設置されている。それでは、以下にイタリアの環境政策におけるコンソルツィオの役割をみていきたい。

欧州環境指針を受けて 1997 年に制定されたイタリアの「容器包装リサイクル法」は、当時のエド・ロンキ環境相の苗字を冠して通常「ロンキ法」と呼ばれている（ロンキ法は、その後改訂され、現在は 2006 年の法律 152 号が有効）。この「ロンキ法」は、特に企業と消費者の日々の努力もあって非常に良い成果を上げている環境法であったと評価されている。

容器包装の環境インパクトの縮小、合理的廃棄物の管理、リサイクル開発を実施といった一連のアクションのために、規模も部門も異なる企業の壮大なネット網を稼働させる目的をもって CONAI（Consorzio Nazionale Imballaggi / イタリア容器包装組合）という非営利の民間形態によるイタリアの容器包装組合組織、コンソルツィオが 1997 年 10 月 30 日に設立された。設立当時の組合企業は、53 社のみであったが 10 年後の現在では 140 万社が CONAI に入会しており、欧州でも非常に大きなコンソルツィオの 1 つとなっている。続いて CONAI 設立後、紙・ガラス・プラスチック・鋼鉄・アルミニウム・木材の 6 つの部門に分かれた CONAI に属するコンソルツィオが設立され、これらのコンソルツィオは、部門別に容器包装の環境インパクトを縮小し、リサイクルを実施する活動を展開している。これらのコンソルツィオの内容や活動等は、以下の通りであり、これらのコンソルツィオが果たしている役割は非常に大きい。

① CAN¹（容器包装用鋼鉄の回収とリサイクルの伊組合）

容器包装用鋼鉄（大部分がスズメッキの帯）・クロムや黒色メッキの帯・銀紙の帯の製造企業や輸入業者・鋼鉄製容器包装メーカー・付属品メーカー 250 社が入会している。CAN の主要活動は、原材料の使用量を縮小した容器包装を実現することであり、実際、新技術のおかげで同じ柔軟性や硬度の特徴をもっているが非常に薄い鋼鉄を実現している。例えば「オープントップ」と呼ばれる 500 グラムの缶の重量は、1988 年から 1993 年で 30%

¹ Consorzio Nazionale per il Recupero e il Riciclo degli Imballaggi in Acciaio

減少、1994年から2002年の間で20%減少、2003年から2005年の期間において更に7%減少した。1998年時における缶の厚さは、0.23ミリメートルであったが2005年においては0.12ミリメートルに減少した。現在の重量は、技術的にこれ以上減少できない段階に達しており、現在では新しいタイプの「先細缶」と呼ばれる直径が小さい蓋を使用できるように縁を細めた缶の製造を研究している。なお、2005年における容器包装用鋼鉄の消費量は56万トンであるが、その内の63.5%（35万6千トン）がリサイクルされている。

② COMIECO²（セルロースをベースとする容器包装物の回収とリサイクル伊組合）

現在COMIECOには紙メーカー・容器包装用紙輸入業者・容器包装用紙・カートン紙・ダンボール紙・買物バッグ等のメーカーが3,500社加入している。COMIECOは、都市ゴミ分別回収によって1998年時の37%であった紙回収の回収率を2006年には66.6%に増加させた。COMIECOは、同時に生産から消費までの廃棄物の発生を抑制する戦略を開始しており、その戦略の1つに廃棄物発生予防策を調査し評価する活動がある。その活動例としては、最良のイニシアティブの表彰・毎年1回の予防策に関わるレポート刊行・海外で実現した革新的容器包装についての報告・業界の関係者への喚起と育成・「未来の容器包装」のためのモニター化・e-パッケージング観察所の創出・容器包装とは異なる製品生産のために再生紙部門のモニター化・イタリアの主要大学との協力活動を通じたエコロジー容器包装デザインのための新アプローチ開発等がある。COMIECOは、目下、ミラノにあるSSCCP機関（Stazione Sperimentale Carta, Cartoni e Pasta per Carta /紙、ダンボール、パルプ実験ステーション）と協力して紙容器包装のためにナノテクを適用・開発する「サステインパック（Sustainpack）プロジェクト」を推し進めている。このイニシアティブには、3,000万ユーロの総予算をもって欧州13カ国、37のパートナーが関与している。

③ COREPLA³（プラスチック容器包装廃棄物の回収とリサイクル組合）

プラスチック容器包装材メーカーと輸入業者・プラスチック容器包装メーカーと輸入業者・プラスチック容器包装リサイクル業者等の2,249社の企業がCOREPLAに入会している。COREPLAは、不測の有害物を除去しつつプラスチックのパッケージの“寿命”を長引かせるためのリサイクルと生産プロセス改善を重要視している。市場に出されるプラスチック容器包装とリサイクルプロセスを両立させるには関連業界との連携が絶対不可欠と考え、Unionplast（プラスチック連盟。現名はFederazione Gommoplastica/ゴムプラスチック連盟）とPlastics Europe Italia（欧州プラスチックメーカー協会伊支部）と共にIPPR（Istituto per la Promozione delle Plastihe da Riciclo /リサイクル用プラスチック促進機関）を設置した。IPPRは、ポリマーリサイクルのために、企業やコンソルツィオの活動

² Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo degli Imballaggi a Base Cellulosico

³ Consorzio per la Raccolta, il Riciclaggio e il Recupero dei Rifiuti di Imballaggi in Plastica

を手助けし、環境省が定める基準に従っているかどうか製品を見極める目的を持つ「プラスチック第二の人生」という商標を考案した。

④ CIAL⁴ (アルミニウム容器包装組合)

アルミニウム生産企業と容器包装企業が CIAL の会員になっている。イタリア国内に流通しているアルミニウム製容器包装の 95% 強が会員企業によって製造されている。飲料水用アルミニウム缶の他に皿・チューブ・カプセル・他の多くの缶類がアルミニウムで作られている。近年アルミニウム製容器包装産業は、新テクノロジーとデザインの研究開発に最大限の努力をしており、缶からピール蓋のついた缶までパッケージングを著しく改善している。2006 年において体積 7,000 m³ のアルミニウムがリサイクルされ、これによって石油換算で 12 万 4,000 トンの省エネ効果と、34 万 3,000 トンの CO₂ 放出の削減に寄与した。また、新テクノロジーによってアルミニウム缶の 1 個の重量は、1990 年に 16.58 g であったものが、現在では 13.30 g に縮小した。「フード用容器」は、特に新合金開発・イージーピール蓋や容器を開けるリング等のデザインによって改善されている。家庭で使用されるアルミニウム箔の薄さも過去 15 年間で平均 30% 縮小している。

⑤ RILEGNO⁵ (木材による容器包装回収とリサイクル伊組合)

原材料サプライヤー・野菜果物容器包装メーカー・ペレットメーカー・産業用容器包装メーカー・木材製容器包装輸入業者・木材製容器包装廃棄物リサイクル企業や機関が RILEGNO の会員となっており、現在 2,200 社が入会している。他の原材料と異なり木材は、完全にリサイクルすることが可能であり、また原材料としても使用できる特徴を持っている。2006 年において RILEGNO は、161 万 4,000 トンの木材廃棄物を回収・リサイクルしている。この数値は、イタリア市場における容器包装用木材の 62% に相当する。このリサイクルによって年間 20 万トンの CO₂ 放出を削減した。野菜果物・産業用容器包装・ペレットへのリサイクル木材の使用を促進するために、RILEGNO は、リサイクルした容器包装を再び市場に流通させる業者に補助金を支給している。

⑥ COREVE⁶ (ガラス回収組合)

市場の 100% をカバーしているガラス製容器包装メーカーや輸入業者 80 社が COREVE に加入している。ガラスリサイクルは、溶鉱炉から放出されるガスを削減し、原材料を節約して間接的省エネを実施している。COREVE の努力やゴミ分別回収によって 2006 年においてイタリア市場のガラス容器包装物の 58.9% (125 万 6,000 トン相当。50 億個のガラ

⁴ Consorzio Imballaggi Alluminio

⁵ Consorzio Nazionale per il Recupero e il Riciclaggi degli Imballaggi in Legno

⁶ Consorzio Recupero Vetro

ス容器が再生された）がリサイクルされた。このリサイクルによって 68 万 3,000 トンの CO₂ 放出が削減されたと計算している。またガラス容器包装メーカーのイニシアティブによって、例えば 1990 年代においては 660ml 用ビールのビンの重量は 289g、牛乳ビンが 470 g であったが、2000 年においてはビールビンが 250 g、牛乳ビンが 360 g に縮小している。

イタリアの容器包装リサイクルの成功は、「ロンキ法」と特に容器包装廃棄物のリサイクルの必要性を強く感じた企業の意思、より良いゴミ分別回収システムを市民に与えることに努力した各市町村、そして消費者の日々の努力によるものである。イタリアの「容器包装リサイクルシステム」が CONAI や付属するコンソルツィオのような民間システムによって効果的に実施されたことにより、欧州で一番割安に実施されていることは、注目に値する。

さて、イタリアは、電気・電子機器の廃棄物の運営・管理システムを構築することを EU メンバー国に義務づける EU 指針（通常 WEEE 法と呼ばれている 2002 年〔2002/95/EC、2002/96/EC〕と 2003 年〔2003/108/EC〕の EU 指針）を 2005 年 7 月 25 日の省令 151 号で受け入れた。しかし、具体的に実施する態勢がまだ整っていなかったために「廃電気・電子機器リサイクル実施法」制定が遅れ、実施を延期する暫定措置が 3 回も出ていた。このほど遂に 2007 年 11 月 5 日の官報 257 号（2007 年 11 月 20 日から有効）によって欧州で一番後にイタリアの「廃電気・電子機器リサイクル実施法」が制定された。なお、イタリアでは本法を RAEE（Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche）法と名称している。（本文においては WEEE ではなくイタリアの呼称である RAEE を使用する）

2005 年の省令 151 号制定から実施法制定まで 2 年経過しているが、この間に廃棄物回収コストを負担するメーカーの「生産者登録簿」を作成する登録システムが整えられ、「生産者登録簿」の登録作業がイタリア各地にある商工会議所に委託された（イタリアでは会社登記は各都市に存在する商工会議所で行われており、商工会議所は公的機関として位置付けられている）。また「生産者登録簿」への登録は、2007 年 11 月 20 日～2008 年 2 月 18 日までに商工会議所のインターネット・サイト上で実施しなければならないとされ、商工会議所ではサイト上に企業登録システムを既に整えている。商工会議所は、その後、環境省内に設置された「廃電気・電子機器監督委員会」に電子様式で登録リストを提出しなければならないと RAEE 法では謳っている。

RAEE 実施のために、上記「容器包装リサイクル法」でも効果的に活躍している非営利組織であるコンソルツィオが、電気・電子機器の種類別に 12 ほど設置されている。これら 12 のコンソルツィオは、メーカー・輸入業者等が会員となっているが、その活動内容は以下の表 1 の通りである。

表 1 イタリアの廃電気・電子器具回収・リサイクル組合

組合名	WEB アドレス	活動
ECODOM	www.ecodom.it	冷蔵庫、洗濯機等の大型家庭電化製品の回収とリサイクルを実施する。目下大型家庭用電化製品メーカー38社が入会している。
ECOPED	www.ecoped.org	小型家庭用電化製品の回収とリサイクル。100社強のメーカーが入会している。
VALERE	www.valere.it	レストラン、アイスクリーム店、学校・病院・リゾートセンター等で使用された産業用電化製品の回収とリサイクルを実施する。
ECOR' IT	www.ecorit.it	携帯電話、プリンター、ビデオ器具等のIT部門における電化製品の回収とリサイクルを実施する。現在210社が入会している。
ECOSOL	www.consorzioecosol.it	産業用と家庭用の電化製品の回収とリサイクルを実施する。
RAEE-PMI	www.raeepmi.org	オーディオ・Hi-Fi製品の回収とリサイクルを実施する。
RIDOMUS	www.edoped.org	家庭用エアコンの回収とリサイクルを実施する。50社強のメーカーが入会している。
REMEDIA	www.consorzioremedia.it	電子機器、小型家庭電化製品、IT、エアコン等の電化製品の回収とリサイクルを実施する。現在110社が入会している。
ECOLIGHT	www.ecolightitaly.it	照明器具の回収とリサイクルを実施する・現在43社が入会している。
ECOLAMP	www.ecolamp.it	ランプ、電球、蛍光灯の回収とリサイクルを実施する。
ECOCAFFE	www.anima-it.com	家庭用、産業用コーヒー機器の回収とリサイクルを実施する。現在メーカー15社が入会している。
ECOATSA	www.anima-it.com	レストラン、ホテル等で使われる肉カッター、ミンチ器、薄切り器等の電化製品機器の回収とリサイクルを実施する。

2007年12月末時点においては電気技術・電子機器メーカー連盟（ANIE）、ディストリビューター連盟（Federdistribuzione）、市町村協会（ANCI）間における回収・リサイクル計画のための合意がまだ結ばれていないために、関係者によれば、廃棄物の回収・リサイクルシステムが具体的に実際に動き出すのは2008年1月からではなく、2008年3月か4月頃になると見込まれている。

出所：イルソーレ 24 オーレ紙、RAEE 規定、ロンキ法、CONAI サイト（www.conai.org）、本文内で言及された各機関のサイト、他

【環境特集】 廃棄物処理・リサイクル

廃棄物回収およびリサイクル事情(スウェーデン)

1. 廃棄物回収およびリサイクル関連団体と統計

スウェーデンにおける廃棄物およびリサイクルに関する管理行政管轄当局は第一義的には自然保護庁 (Naturvardsverket、Swedish Environmental Protection Agency) であり、廃棄物回収業界団体としては AVFALL SVERIGE (アブファル・スヴェリエ、www.avfallsverige.se/m4n) がある。このほかに、電気製品回収に関しては El-kretsen (エルクレツェン、www.el-kretsen.se/)、缶やペットボトル回収については Returpack (リトゥールパック、www.returpack.se/) など、種類別に特化した他の組織もある。

昨今の世界的な環境意識およびエネルギー危機感の高まりを背景に、政府は電池回収率向上キャンペーンを展開するなど、国民の意識のさらなる向上を図っている。一方、廃棄物回収やリサイクル業界もビジネス拡大のチャンス到来とばかり、積極的に回収方法や処理技術の改善に努めている。

スウェーデンの廃棄物・リサイクル関連統計は以下の通りである。「家庭からの廃棄物」の中には廃車や家具、家を修理した際の廃材なども含まれており、日本で一般に議論されている「家庭ごみ」よりも広い範囲の廃棄物を含んでいる。

表1 スウェーデンの家庭からの廃棄物の内訳 (2004 年)

単位: 1,000 トン

非危険ごみ総量	4,460	危険ごみ総量	373
家庭ごみ*	2,260	自動車	257
スラッジ	835	電気機器など	81.7
紙	512	電池	11.2
ガラス	297	化学物質(ペンキなど)	9.8
有機ごみ	353	廃油	6.5
プラスチック	46	溶媒	4.8
ゴム	28	混合危険物	1

*ビニール袋や紙袋に入れて出されるいわゆる家庭ごみおよび粗大ごみ
(出所: 自然保護庁)

表2 処理された家庭からの廃棄物の量 (2002-2006)

単位: トン

	2002	2003	2004	2005	2006
危険物	23,000	26,600	25,700	26,400	38,960*
素材リサイクル	1,294,820	1,313,760	1,384,760	1,474,80	1,657,520
生物学的処置	354,000	402,780	433,830	454,450	469,880
エネルギー取得のための燃焼	1,675,180	1,867,670	1,944,290	2,181,890	2,107,860
堆積	825,000	575,000	380,000	210,110	226,000
計	4,172,000	4,185,810	4,168,580	4,347,130	4,500,220

*2006 年より化学物質で処理された木材が危険物に含まれるようになった
(出所: AVFALL SVERIGE)

表3 処理された家庭からの廃棄物の量 (2002-2006 国民一人当たり)

単位: kg

	2002	2003	2004	2005	2006
危険物	2.6	3	2.9	2.9	4.3*
素材リサイクル	144.8	146.4	153.7	162.9	181.9
生物学的処置	39.6	44.9	48.1	50.2	51.6
エネルギー取得のための燃焼	187.4	208.1	215.8	241.2	231.3
堆積	92.3	64.1	42.2	23.2	24.8
計	466.6	466.4	462.6	480.5	493.8

*2006 年より化学物質で処理された木材が危険物に含まれるようになった
(出所: AVFALL SVERIGE)

表4 産業・社会分野別のごみの量 (2004)

単位: 1,000 トン

産業・社会分野*	危険物	非危険物	産業・社会分野*	危険物	非危険物
鉱業	4	58,632	機械工業	76	884
食料品・タバコ産業	2	1,139	他の製造業	3	85
衣料・テキスタイル産業	0.2	32	電気、ガス、上下水産業	174	1,990
木製品産業	5	15,237	建設業	62	11,209
製紙パルプ、グラフィック産業	31	6,436	リサイクル産業	42	842
石炭、石油、原子力産業	10	10	廃棄物取引業	8	207
化学品、ゴム、プラスチック産業	143	255	環境保全業	90	11,615
非金属産業	4	265	家庭	373	4,459
金属加工産業	328	4,644	計	1,354	117,941

*農林水産業、漁業、サービス部門は本統計に含まれていない
(出所: 自然保護庁)

2. 廃棄物回収&リサイクル政策と環境効果

スウェーデンの最近約 20 年間の廃棄物関連政策は表 5 のごとくである。環境を重視す

るスウェーデンは EU 諸国の中でも主導的な存在であり、廃棄物に関する EU 指令の国内法への反映も早い。

表 5 最近のスウェーデンの廃棄物政策関連年表

1994～ 1999	- 古紙 (SFS 1994:1205*) と包装物 (SFS 1994:1234) に関する製造者責任制度導入 その後同関連法規改正 (廃紙=SFS 1997:185、包装物=SFS 1998:917) 製造者 (輸入業者、販売業者) に回収、輸送、リサイクル、リユース、適正に廃棄する義務を課す 製品種別ごとにその目標を定める - ゴムタイヤに関する製造者責任制度導入→その後改正 (SFS 1994:1236→SFS 1998:935) 堆積量制限 - 自動車に関する製造者責任制度導入 (SFS 1997:788) - 環境基本法 (SFS 1998:808) 制定 - 清掃法 (SFS 1998:02) 制定→その後、廃棄物法 (SFS 2001:1063) に統合
2000	- 廃棄物課税法 (SFS 1999:673) 施行。堆積に課税＝トン当たり 250 クローナ。 - 電気製品に関する製造者責任制度導入 (SFS 200:28)。回収とリサイクルのシステム構築を義務付け
2001	堆積法制定 (SFS 2001:512)。EU 指令に従って制定された法律。堆積について細かく規定
2002	- 新廃棄物法 (SFS 2001:1063) 施行 (従来の清掃法と危険廃棄物法 (SFS 1996:971) を統合) 前年制定の堆積法で規定された可燃廃棄物堆積禁止が適用開始 - 廃棄物燃焼法 (SFS 2002:1060) 制定 EU 指令に従って制定された法律。燃焼の環境汚染基準などについて細かく規定
2003	- 堆積税増税＝トン当たり 370 クローナ - 政府法案「毒の無い、資源を大事にする生態系の社会」(2002/03:117) 発表
2004	- 廃棄物所有者の定義がより明確になる (環境基本法第 15 章第 5 条 a) - 包装物製造者責任法および古紙製造者責任法改正
2005	- 有機ごみの堆積禁止事項適用開始 (2001 年の堆積法による) - 新電気製品製造者責任法 (2005:209) 制定。 回収システムの改善、回収目標を 70～80% (重量) に設定 - 包装物製造者責任法および古紙製造者責任法に新規項目付加。回収システムの改善など。 - スウェーデンの国家廃棄物プラン策定
2006	- プラスチックボトルおよび金属缶回収システム法 (2005:220) 改正。回収率向上を狙う。 - 堆積税増税＝トン当たり 435 クローナ - 廃棄物燃焼税導入 (エネルギー課税法=SFS 1994:1776 および 2007 年エネルギー税・二酸化炭素税計算法=2006:1204) 廃棄物に含まれる化石燃料の部分を燃焼させる場合にエネルギーがかかるようになった
2008	堆積法のすべての部分が全国に適用されるようになる。
2010	スウェーデン国家廃棄物プランに掲げられたいくつかの部分目標の達成期限 生ごみの 35%を生物学的処理によりリサイクルする。家庭ごみの最低 50%をリサイクルする。

*法律番号

(出所: AVFALL SVERIGE Rapport2007:10)

スウェーデンの廃棄物回収業者の業界団体である AVFALL SVERIGE は、最近、スウェ

ーデンの廃棄物政策についての評価レポートをまとめた（参考文献 2）。同報告書は最近約 20 年間のスウェーデンの廃棄物政策を南スウェーデンの 2 地域を例に詳細に分析し、ごみの量がどの程度増えると考えられるか、環境への悪影響はとなると予想されるかをいくつかの条件の異なるシナリオに基づいて提示している。

同報告書では、特に家庭から排出される廃棄物について以下のように結論付けている。

1. 1994 年～2004 年の間、スウェーデンの廃棄物政策により、環境への悪影響は減少した。2010 年までにはさらなる減少が見込まれる。
2. 家庭からの廃棄物の環境への悪影響を二酸化炭素で換算すると、1994 年～2004 年の間に全国規模で 200 万トン減らすことができた。またさらに今後年間 200 万トンずつ減少させることが可能である。
3. 環境改善・環境問題の解決のために国が支出する様々なコストの総額は全国で 1994 年～2004 年の間に年間 40 億クローナ減少した。さらに 2010 年まで年間 10 億クローナずつ減少させることが可能である。
4. 上記の減少に最も貢献したものは、1)堆積の減少、2)廃棄物燃焼からの発電の増加および堆積ガス&バイオガスの燃焼、3)素材リサイクルの増加、であった。

スウェーデンの今後の動きが注目される。

*参考文献

1. 自然保護庁ホームページ： www.naturvardsverket.se
2. “Utvardering av svensk avfallspolitik I ett systemperspektiv” Rapport 2007:10, AVFALL SVERIGE （スウェーデン語、スウェーデンの廃棄物政策の制度的評価）

【環境特集】 バイオ材料 バイオプラスチック

自動車向けバイオ材料開発に向けた取組（カナダ）

カナダの人口の約3分の1が居住するオンタリオ州（州都トロント）で自動車向けバイオ材料開発に向けた活動が進んでいる。州政府の支援を受けたバイオ・オート・カウンシルがバイオ材料の商業化を目指し、研究開発援助や情報提供に加え、製造者と生産者をつなぐ役割を果たしている。これらの取り組みを通して、2015年までにバイオ材料市場の世界シェア25%を確保するのが狙いだ。

1. 15年までにバイオ材料市場世界シェア25%を目指す

現在、1台の自動車には約150kgのプラスチック材料が利用されているという。これらの**プラスチック素材を在来石油系素材から再生可能素材に転換**することで、化石燃料使用抑制を通じた環境負荷軽減、車体軽量化を通じた燃費の向上につなげようと、日本を始め欧米では再生可能素材であるバイオ材料の開発を目指し各社がしのぎを削っている。

カナダでもこの市場に目をつけた活動が話題を呼んでいる。**非営利団体バイオ・オート・カウンシル**は、2015年までに自動車1台につき約100kgのバイオ材料を普及させることを目指し、各企業への研究開発援助、情報提供、政策提言などを精力的に行っている。同団体は、フォード・カナダ社¹などの**自動車メーカー**、ならびにデュポン・カナダ社²などの**製造業者**とオンタリオ大豆生産者協会³などの**生産者**をつなぎ、自動車用のバイオ材料開発を発展させる触媒的役割を果たしているといえる。

カナダでの自動車生産市場は大きい。オンタリオ州における自動車生産台数は、2004年に米国ミシガン州を抜いて北米1位になった。2006年には同州の生産台数は北米の16%を占める約280万台に達しており、単純に1台150kgとして合算すると約42万トンのプラスチック材料が必要になる。同団体によると、もしカナダが自動車産業向けバイオ材料世界市場の25%のシェアが確保できれば、最終製品売上ベースで市場機会は約30億ドルにのぼるという。

2. 州内で進むバイオ材料の製造開発

オンタリオ州でバイオ材料として再生可能な供給原料（フィードストック）は、トウモロコシ、植物性油、セルロース系バイオマスなど多岐にわたる。その中でも大豆利用は、オンタリオ大豆生産者協会が会員になっているように、バイオ・オート・カウンシルが力を入れている分野といえる。ウッドブリッジ・グループ社⁴と穀物メジャーのカーギル社

¹ Ford Motor Company of Canada, Limited. 本社：オンタリオ州オークビル <http://www.ford.ca/>

² Dupont Canada http://www2.dupont.com/DuPont_Home/en_CA/

³ Ontario Soybean Growers 本社：オンタリオ州ゲルフ <http://www.soybean.on.ca/>

⁴ Woodbridge Group 本社：オンタリオ州ミシサガ <http://www.woodbridgegroup.com/>

は、ポリウレタンベースのバイオ材料開発を既にプラント・スケールで始めている。通常のポリウレタン樹脂ではなく穀物メジャーのカーギル社によって製造された大豆ベース BiOH™ と呼ばれるポリオール⁵ は、ウッドブリッジ社が製造するウレタン素材 BioForm™ に利用されている。これらの製品は、シートなどの内装部品に既に利用されている。その他、北米内ではデュポン社がトウモロコシなどから製造する Sorona® Polymer が有名だ。耐久性と発水性に優れた同ポリマーは 2008 年上半期からオンタリオで生産された商品が市場に投入される。

このようにバイオ材料の普及は進みつつあり、既にメルセデス S クラスの車種はバイオ材料を約 43kg 含んでいる。

3. 商業化ファンドにより実用化へ加速

オンタリオ州政府は研究開発段階にあるバイオ材料シード技術の商業化を目的に、2007 年 3 月にオンタリオ・バイオカー・イニシアティブを発表、オンタリオ・バイオ・オート・カウンシルに約 600 万ドルを投資すると発表した。**自動車産業用に特化したバイオ材料**の商業化と市場形成を目標として約 500 万ドルの資金が用意されており、a. 助成金、b. 融資（ゼロ金利、低金利）、c. a と b の組み合わせでプログラムに選ばれた企業に提供される。プロジェクト毎にバイオ・オート・カウンシルが投資するのは全投資額の最大 50% 程度で、プログラム参加機関は少なくとも全投資額の 25% を現金で、残りの資金を人件費、原材料、設備の提供など現物で提供しなければならない。

オンタリオ・バイオ・オート商業化ファンドの投資の第 1 号は、高機能の繊維強化複合材料の商業化を目指すグリーン・コア・コンポジッツ社⁶ である。トロント大学の研究者によって開発された基礎技術を基盤として製造される Green Inside™ ペレットは 3 つの利点がある。1) 再生可能資源であることに加え、2) 射出成形法など従来の成形法を利用した最終製品化が可能なこと、3) Green Inside™ 特性は従来の天然繊維強化樹脂 (NFRP)⁷ と比べて強度が大きいこと（表 1 参照）が挙げられる。

表 1 天然繊維強化樹脂 (NFRP) と比べた場合の強度

	50%繊維	40%繊維
引っ張り強さ	+40%	+30%
曲げ強さ	+60%	+60%

(出所)

- オンタリオ州 http://www.mri.gov.on.ca/english/news/Agri030807_bd1.asp
 - バイオ・オート・カウンシル <http://www.bioautocouncil.com/>
 - デロジエ・オートモーティブ <http://www.desrosiers.ca/>
- 各社インタビュー

⁵ 水酸基（-OH）を有する化合物。イソシアネートとの重付加反応によりポリウレタンを生成する。

⁶ Green Core Composites <http://www.greencorencf.com/>

⁷ Natural Fiber Reinforced Plastics

【環境特集】 廃棄物処理・リサイクル

資源保護回復法と写真感材処理廃液にみるリサイクルの課題（米国）

1. 資源保護回復法（RCRA）

1965 年、米国では固体廃棄物処理方法を改良することに焦点を当てた固体廃棄物処理法（Solid Waste Disposal Act）が制定された。その後、固体廃棄物処理法に修正を加えた**資源保護回復法（RCRA）**¹ が 1976 年に制定され、現在の有害廃棄物管理プログラムの基本枠組みが構築された。RCRA の目的は、廃棄物の廃棄による悪影響から国民の健康と環境を保護し、廃棄物のリサイクルと回収により 天然資源を保全し、廃棄物の削減と管理を行うことにある。2003 年、米国環境保護庁（EPA）は「RCRA を超えて—2020 年における廃棄物と物質の管理²」と題する報告書の中で、RCRA の中長期の方向性として、廃棄物を削減し効率的で持続可能な資源利用の拡大を図ること、人間や自然環境の有害な化学物質への暴露防止、廃棄物の管理と排出された化学物質の安全かつ環境上適切な方法による除去といった 3 つの目標を掲げている。

また、「資源保護に向けた挑戦（RCC：Resource Conservation Challenge）」と題された国家政策の枠組みに基づいて策定された行動計画の中でも、都市固形廃棄物のリサイクル率を 2002 年の 31%から 2008 年までに 35%まで引き上げるという目標の達成に向けた、廃棄物起源別の目標等を打ち出している。EPA は、有害化学物質の使用削減に加え、廃棄物の発生を抑制するために、RCC プログラムを通じて、廃棄物の抑制から資源の保全、再生（リサイクル）へと優先領域を拡大している。

2. 写真感材廃液にみるリサイクルの課題

写真感材処理廃液から銀を回収し、副製品として液体肥料を販売している企業に **Itronics 社**（本社、米国ネバダ州リノ）がある。写真感材処理廃液から銀を回収する技術は、日本企業のものも含め、いくつかの種類があるが、「写真処理廃液から銀を回収する方法」として、2002 年 4 月に米イーストマン・コダック社からも特許申請³ が出されている。同社の手法は、親水性コロイドのバインダーマトリックス(粘着性基質)中に分散された金属の微粒子を含む材料体に接触させ銀イオンを金属銀に還元する方法である。

Itronics 社は、写真感材処理廃液をベースとしたチオ硫酸塩技術の商業化に成功した。シアン化物は、採掘された粗鉍から金や



¹ Resource Conservation and Recovery Act

² BEYOND RCRA - WASTE AND MATERIALS MANAGEMENT IN THE YEAR 2020

³ <http://www.j-tokkyo.com/2002/C22B/JP2002-348617.shtml>

銀を抽出する主要原料として使用されており、チオ硫酸塩技術はこれを中和、あるいは置き換えるために使用される。同社の開発した回収手法では、写真感材処理廃液から回収する銀の回収率は 99.997%であり、他社の 90%～95%よりも高率の回収が可能である。同社は、自社で開発した基本技術を写真感材処理廃液再利用に応用し、液体肥料の精製と商品化に結びつけた。既に米国西部地区を中心に「GOLD'n GRO」というブランドで販売しており、植物の成長促進に効果があり、綿花やトウモロコシ、果物や堅果のなる木、フルーツや野菜など商業農場に使用されている。（前頁図、製品イメージ、出典 Itronics 社ホームページ）

また、Itronics 社は、同様の写真感材処理廃液を再利用した新製品として、鹿を追い払う忌避剤「GOLD'n GRO Guardian」の商品化を準備している。米国の鹿の生息数は、1900 年代初の 50 万頭から 1,500 万頭へと大きく増大し、鹿による被害は北東部の大都市圏（メトロポリタン）近郊のみで年間 20 億ドルと推測されている。また、鹿の忌避剤市場は、年間 5,000 万ドルと見込まれている。

当該新製品の販売に際しては、EPA の認可が必要となる。2007 年 11 月、EPA はこの登録申請を受理している。Itronics 社は、毒性に関連する規制遵守事例を精査した結果、2008 年第 1 四半期中には認可を取得できると見込んでおり、第 2 四半期からの販売を予定している。販売に至った場合、米国市場において、写真感材処理廃液を再利用した忌避剤製品として初めてのケースとなる。

そもそも、銀を含有する廃棄物は、RCRA により「有害廃棄物コード D011⁴」の適用を受け規制の対象となる。1994 年 2 月、EPA は Itronics 社が立てた代理人（Disposal Control Service 社）に対し RCRA との関連性につき見解を述べている⁵。写真感材処理廃液を利用したリサイクルは、有害廃棄物に関するプログラムである「サブタイトル C」の適用を受ける。

「サブタイトル C」には発生、輸送、処理、貯蔵あるいは処分に関する規則があり、有害廃棄物に関わる当事者を規制の対象としている。有害廃棄物の取り扱いは、連邦政府がその枠組みを作り、具体的なプログラムの策定と実施は州政府に委任することが認められている。

「サブタイトル C」では、州の有害廃棄物プログラムが連邦政府のそれと比べより厳しい場合には、州独自プログラムの実施を認めることとなっている。この様な背景を受け、上述の EPA の見解も規制対象の可否についてはネバダ州に委ねることとし、明確な指針の提示を避けるものの、写真感材処理廃液から再生された溶剤は「サブタイトル C」では、使用済み材料（spent materials）、汚泥、副産物、不要品（スクラップ）の 4 つのカテゴリーに区分され、Itronics 社の製品が「サブタイトル C」の適用を受ける固体廃棄物に属するとしている。

⁴ <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/id/infocus/printing.pdf>

⁵ <http://yosemite.epa.gov/OSW/rcra.nsf/Documents/FD3E634313A38C36852565DA006F0560>

これに対し、Itronics 社は、「フォトケミカル溶剤が 100%肥料、若しくは他の製品に活用される場合、同社の製品のユーザも RCRA 規制の適用外である⁶」という見解を 1996 年 12 月 31 日付け証券取引等委員会（ワシントン DC）報告書 FORM I0-KSB の中で示している。

毎年 11 月 15 日の米国リサイクルの日⁷には、アメリカにおける資源の保全、再利用の必要性が訴えられる。関連する法律や規制について、新しい技術や手法によって次々に作り出されてくるリサイクル製品との整合性を確保していくことが極めて重要であると考えられる。

参考資料

○ Itronics Inc.

6490 S. McCarran Blvd. Bldg. C, Ste. 23

Reno, Nevada 89509

ホームページ : <http://www.itronics.com/>

関連サイト : <http://goldngro.com/>

○ EPA

Resource Conservation Challenge (RCC)

<http://www.epa.gov/epaoswer/osw/consERVE/action-plan/act-p1.htm>

○ EPA

BEYOND RCRA

WASTE AND MATERIALS MANAGEMENT IN THE YEAR 2020

<http://www.epa.gov/epaoswer/osw/vision.pdf>

⁶ 原文 : Itronics also concluded that once the various photo solutions are 100% utilized in fertilizer or other products, then all Itronics customers will be exempt from RCRA requirements.
<http://www.secinfo.com/dP5Rs.8c.htm>

⁷ <http://recycleday.com/>

【環境特集】 リサイクル

携帯電話のリサイクルを容易に（米国）

携帯電話のリサイクルを容易にしたいという米国内の要望に応えるかたちで、大手携帯電話メーカー、サービス・プロバイダー、小売業者は、環境保護庁(EPA)と共同して携帯電話のリサイクルサービスを始めた。これは「e サイクリングにプラグイン（接続）計画」と称する EPA の取り組みの一環で、参加企業は AT&T ワイヤレス社、ベストバイ社、LG エレクトロニクス社、モトローラ社、ノキア社、オフィス・デポ社、サムスン社、ソニー・エリクソン社、スプリント社、ステイプルズ社、T モバイル社である。

「プラグイン計画に賛同してくれた企業の努力により、アメリカ国民は古い携帯電話を早く、簡単にリサイクルできるようになった。環境保護の一助になる」と、EPA 固形廃棄物・緊急対応室アシスタント・アドミニストレーターのスーザン・ボダインは述べる。「消費者は店頭を持ち込むか、郵送するだけで、リサイクルが可能になった。」

このキャンペーンを開始するにあたり、1月8日、EPA は一連の公共サービス案内文書の印刷版を公表した。これは「携帯電話をリサイクルしよう。それは簡単である。」と題され、携帯電話のリサイクルの容易さと、環境や社会面での利点が強調されている。さらに EPA は、携帯電話のリサイクルに関する多くの共通な質問に答えるため、ポッドキャスト¹を導入する。

EPA がこの取り組みを始めた理由は、多くの消費者が使わなくなった携帯電話をどこで、どうやってリサイクルしていいのかわからないという背景があったからである。携帯電話のリサイクル率は毎年 20%に満たないというのが実情だった。

携帯電話のリサイクルを通じて、誰でも温室効果ガスの排出抑制や省エネルギー、資源の保護に貢献できる。推計では 1 億から 1 億 3,000 万台の携帯電話が使われていないとされ、多くは物置で眠っている状態であろう。仮にアメリカ国民が 1 億台の携帯電話をリサイクル（資源の回収等）した場合、年間 19 万 4,000 世帯以上の電力を節約できたことになる。消費者がその携帯電話を再利用することができれば、環境面での節約はさらに大きく、年間 37 万世帯以上の電力を節約したことに相当する。

「e サイクリングにプラグイン計画」は、EPA と電子機器メーカー、小売業者、サービス・プロバイダーが自主的に連携した取り組みで、消費者が自分たちの電子機器を提供あるいはリサイクルできる機会を増やすことをめざしている。2007 年には、同取り組みの一環として、小売り事業者と電子機器メーカーは自主的に 4,700 万ポンドの電子機器（ほと

¹ ウェブサイトから音声ファイルを携帯音楽プレーヤーに取り込んで聞くことができる技術。

んどがコンピュータかテレビ) をリサイクルした。一例として、ステイプルズとオフィス・デポ（共にオフィス用品全般の小売り）は、2007 年から全米の各店舗で、消費者がリサイクル用に持ち込んだ製品を受け取るサービスを始めた。また、ソニーはウェイト・マネジメント社（廃棄物処理企業）と提携し、地元市民がテレビをリサイクルできる機会を拡大した。こうした取り組みを通じて、2003 年以降、「プラグイン計画」は 1 億 4,200 万ポンドの電子機器のリサイクルを達成した。



図 1：携帯電話リサイクルキャンペーンのロゴ

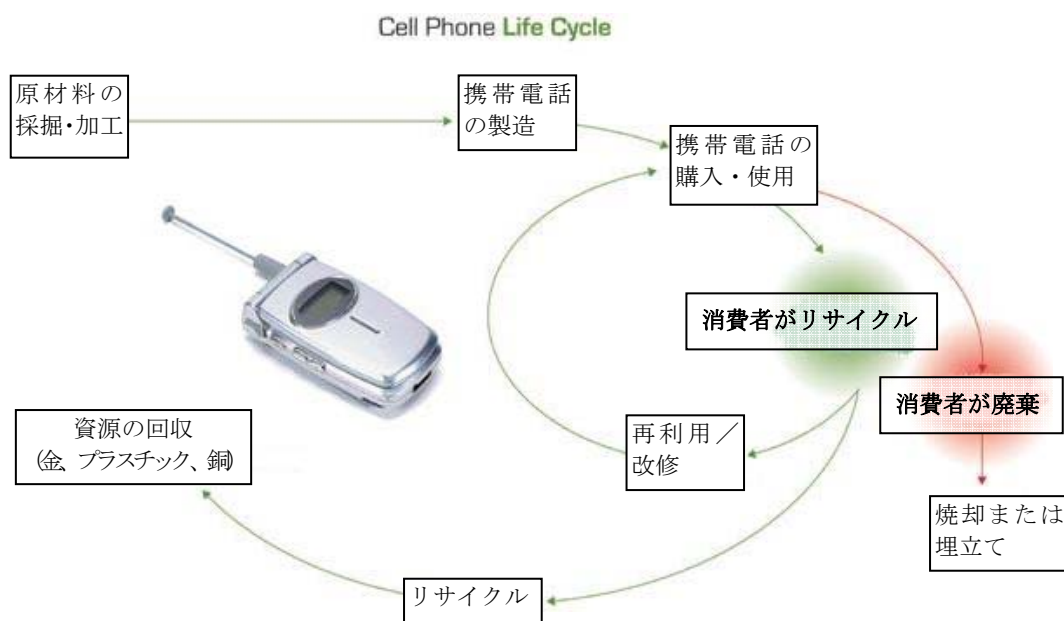


図 2：携帯電話のライフサイクル

出典： <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/dc57b08b5acd42bc852573c90044a9c4/489508efdf85e4f5852573ca0058bb98!OpenDocument>

翻訳：京 希伊子

【個別特集】 地球温暖化 国際会議参加報告

国連気候変動枠組条約第 13 回締約国会議（COP13）及び
京都議定書第 3 回締約国会合（COP/MOP3）参加報告(インドネシア)

〔内容〕

はじめに

I. 会合全体について

京都メカニズム事業推進部 熊手 瑞穂

II. NEDO による展示その他

1. アル・ゴア氏特別講演

エネルギー・環境技術本部調整統括室 矢部 貴大

2. CDM への期待

環境技術開発部 間瀬 智志

3. 熱心な海外メディア

省エネルギー技術開発部 大宮 俊孝

はじめに

NEDO 技術開発機構（以下、NEDO）では、昨年度(2006 年度)から日本国政府（経済産業省・環境省）の委託を受け、京都メカニズムクレジット取得事業を開始したところである。この度インドネシア・バリ島にて開催された「国連気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC）第 13 回締約国会議（COP13）・京都議定書第 3 回締約国会議（COP/MOP3）」（以下、COP13・COP/MOP3）では、本事業に関係を有する会議参加者と意見交換を行い、また各種会合・サイドイベント等へ参加した。さらに NEDO としての展示ブースを出展し、NEDO の紹介および京都メカニズム関連事業推進に係る宣伝活動を行った。

以下、本会議参加に係る概要及び所感について述べていく。



NEDO 展示ブース



エンタランスでの歓迎行事（ケチャックダンス）

I. 会合全体について ー京都メカニズム事業推進部 熊手 瑞穂

1. 会合概要

日程：2007年12月3日（月）～12月15日（土）

場所：インドネシア共和国バリ島

参加者：国連発表によると、10,828名。COP3を超え過去最多となった。



会議場（Bali International Convention Centre）の外観

2. バリ・アクション・プラン

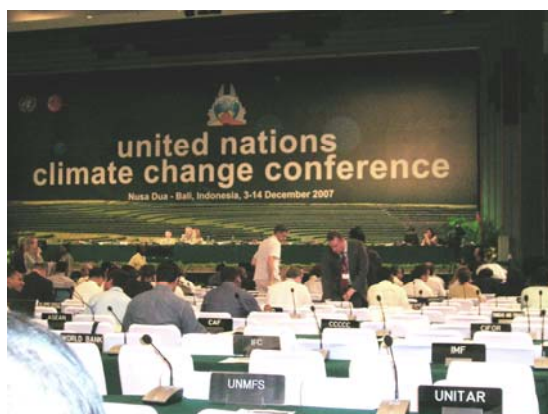
「ポスト京都」と言われる、2008年～2012年の第一約束期間後の2013年以降の地球温暖化対策の国際枠組の構築に関する「バリ・アクション・プラン（バリ行動計画）」を採択し、今次会合は閉幕した。バリ・アクション・プランでは、京都議定書を離脱した米国や、議定書でCO₂をはじめとする温室効果ガスの排出削減義務のない中国、インドも含めた全ての国が2013年以降の排出削減体制構築作業に参加することに合意し、ポスト京都における新たな対策の枠組を2009年中にまとめることを確認した。本採択に至っては、各国の思惑が交錯し、予定の協議日程を丸一日延長することとなり、また報道では、調整能力を批判されたUNFCCC事務局長Yvo de Boer氏が涙する場面もあったと伝えられる。今後、削減枠組内容をどうするかなど、各国に決断を迫られる課題が山積するが、いずれにせよ、主要排出国が今後の枠組作りの議論のテーブルに着くことが確認されたことは、今次会合の大きな成果であったと考えられる。

3. 先進国対途上国

マルチ（多国間）の国際会議ではもはやお馴染みの構図であるが、本会合でも先進国対途上国による熾烈なせめぎ合いが繰り広げられた。特に、京都議定書においては温室効果ガス排出削減義務を負っていない発展途上国の削減努力を求める文言については、紆余曲折を経た後、先進国からの支援を条件とする形で記載することで決着した。そんな中、筆者の印象に残ったのは、我が国の鴨下一郎環境大臣による声明（national statement）である。鴨下大臣はそのスピーチの中で、地球温暖化に伴う海面上昇の影響に対して特に脆弱であることで知られる、南太平洋の島国ツバルの名を挙げ、日本としてもその想いを共有する旨繰り返し述べておられた。難しいことだが、先進国・途上国ともに立場や主張を

尊重し、互いに互いの架け橋となる必要だと痛感した。

一方で、会合最終日の地元紙の一面広告には、沈みゆくタイタニック号とおぼしき船の舳先を背景に、ブッシュ大統領（米国）、ハーパー首相（カナダ）と共に、我が国の福田首相の顔写真が大々的に掲載され、あたかも地球温暖化防止に消極的な象徴のような扱いをされてしまった。NGO のプロパガンダとはいえ、最近の日本国内における地球環境問題に対する意識の高まりを考えると、如何ともしがたい気分である。



本会議（プレナリーセッション）が行われたメイン会議場内



会場を一步出れば、猛暑の中であった。会場付近では、ヤシの実が近くの人間を掠めて落下する瞬間を目撃。

4. 京都メカニズム関連サイドイベント

京都メカニズム事業推進部では、本会合に併せて催された各種サイドイベントの中から、事業推進の観点から興味深いと思われる内容を扱うものに出席・傍聴した。筆者の印象に残ったのは、**グリーン投資スキーム（GIS：余剰排出枠（AAU）の売却から得られる資金を用途指定し、温室効果ガスの排出削減または環境改善に活用する制度）**に関し、ウクライナ、ルーマニア、チェコ、ハンガリーの4カ国の担当者により行われた、その名も「Dispelling the myths about AAU trading（AAU取引に関する神話の一掃）」と題したプレゼンテーションである。AAUの売却は、京都メカニズムとして認められているにもかかわらず、このようなスキームを活用しなければ、削減義務の伴わない安易なホット・エアー（旧ソ連や東欧諸国など、削減目標に対し余裕をもって目標が達成されると見込まれる国々の持つ、余剰排出枠）の売買だという誤解を受ける。本イベントは当初の予定には載っていなかったが、昨今のGISの注目度の高さからか急遽開催されたようであり、各国とも自国の売り込みに余念がない様子であった。

しかしながら、実際にこの制度の活用した排出権取引をなし得る環境が整っているかどうかは各国まちまちであり、引き続き注視が必要であると思われる。

5. その他雑感

筆者は会合全期間を通して2週間をバリ島で過ごしたが、最初から最後まで、とにかく「暑い！」の一言に尽きた。そのせいなのか、ホテル等の敷地の入り口に配備されていた警備犬はすべからく寝ている様子であった。国を挙げての一大イベントのため急遽借り出

されたのだろうか（なお、メイン会場付近に配備されていた警察犬とおぼしき類は真面目に仕事をこなしているようで、セキュリティーに問題はなかった）。一方、会場内については場所によっては冷房が効き過ぎているとも感じ、いみじくも地球環境を憂う会議であることを鑑みると、設定温度の再考も期待したいところであった。

メイン会場とサブ会場とが離れていたため、レンタル自転車（無料）なるものが出現していた。環境問題を扱う国際会議に相応しい乗り物とも見受けられ、我が国環境省の谷津大臣官房審議官も華麗に乗りこなしている姿が印象的であった。

ガイドブック等にも書かれているが、インドネシアの人々は総じて親日的であると感じた。例えば、会場近くのショッピングセンター前の警備員は、明らかに日本人ではない人（白人）にまで、何故か「コンニチハ」と挨拶していた。また、ある日本人参加者がタクシーの中に財布を忘れたところ、無事に戻って来るという奇跡的な場面に居合わせることができた。このような出来事に出くわすと、インドネシア全体に対するイメージもより一層アップするというものである。もっとも、何もせず自動的に戻ってきたわけではなく、同じくその場に居合わせた NEDO の小林ジャカルタ事務所長（今回の会議参加は、日本からの出張者に加えて、所轄のジャカルタ事務所がバックアップする体制を組んだ。また、バンコク事務所にも応援をお願いした。）がインドネシア語でタクシー会社に連絡・交渉するなど、関係者による迅速な対応の賜であった。



レンタル自転車スタンド



実際に乗ってみると、筆者にはサドルが高すぎた

Ⅱ. NEDO による展示その他

本稿冒頭でも述べたとおり、今回は京都メカニズム関連事業などを広く紹介すべく、NEDO の展示ブースを設営した。運営スタッフについては、NEDO の複数のセクションから成る作業チームを編成して臨んだ。詳細については以下に述べるが、事前準備に始まり、2 週間という長丁場を乗り切れたのは、ひとえに関係者による多大な支援と細やかな配慮に負うものである。

ブースでは、存在をアピールすべく、NEDO のロゴ入りフラッグの掲出及び大型テレビモニターでの広報DVDの放映などを行ったほか、NEDO の概要・京都メカニズム関連事業・モデル事業（コークス乾式消火設備技術（CDQ）及びセメント廃熱回収システム）を

紹介するパネルを展示した。また、来訪者に関連パンフレット等の資料の配付も行った。特に会合後半にかけて、マスメディア関係者を含む各国から多数の来訪者を得た。

以下、チーム・メンバー3名により、概要及び所感について紹介する。

1. アル・ゴア氏特別講演 — エネルギー・環境技術本部調整統括室 矢部 貴大

インドネシア・バリ島で開催された COP13・COP/MOP3 で NEDO の展示ブースを出すこととなり、筆者は説明員の 1 人として参加した。筆者は、NEDO ブースで NEDO のエネルギー・環境関連事業を積極的に紹介し、我が国の当該分野における取り組みが認知・評価されることが、今後のポスト都議定書等を巡る国際交渉に向けて重要であると考えている。

NEDO ブースでは、前述のとおり京都メカニズム推進事業、国際モデル事業等のパネル展示を行った。筆者が参加した時期は閣僚会議が本格化した 12 月 12 日以降ということもあり、政府関係者、NGO 関係者、報道関係者等の多数の来場者が見受けられたが、その中であって、他のブースと比較して NEDO ブースに対する注目度は非常に高かったように思える。来場者の、我が国のアジア諸国における京都メカニズム関連事業、モデル事業に対する関心は非常に高く、今後の展開や具体的な技術内容等について多数の質問を受け、その対応を行った。また、エネルギー分野からやや話はそれるものの、ブースで上映した NEDO 広報 DVD の一部に産業技術事業（ロボット技術、ナノ材料技術等）を紹介するシーンがあるが、それらテーマについても大きな関心・コメントが寄せられ、結果的に NEDO 事業全般についての効果的なプロモーションができたと感じた。

そして、特に印象に残ったのは、12 月 13 日（木）の午後 7 時過ぎから 2007 年のノーベル平和賞を受賞したアル・ゴア前米副大統領の特別講演であった。このイベントはあまりにも人気が高く、多くの参加者が締め出されて、テレビモニターに群がる光景が見受けられた。筆者はあいにくブースで忙しく（大型ディスプレイの搬出作業等々）、直接聴講はできなかったが、米国抜きでの気候変動対策強化を訴えるといった非常に印象深い内容であり、会場の雰囲気・人の流れが一変したのも納得できる。また、NEDO の森谷参事が「ワールドビジネスサテライト(WBS)」テレビの取材を受け、筆者も補足説明を行ったが、結果的に放映には至らなかったようである。ただ、このような機会を活かし、今後もマスコミへのアピールを図っていければ良いと考える次第である。

2. CDM への期待 — 環境技術開発部 間瀬 智志

筆者は会合前半の 12 月 3 日～5 日にかけて、NEDO 展示ブースの対応業務を行った。展示ブース周辺に関しては、おおらかな南国の空気そのままに、緊迫感の少ない、ゆったりとした時間が流れていたように思う。うっかり「こんにちは」などと話しかけても、にこやかに「Hello」と応対してもらえた。

重要な会議は後半に多い中、会合前半の参加ということもあり、来訪者の賑わいは程々であったが、多種多様なバックグラウンドの方々にお立ち寄りいただいた。その多くの人々は、自分たちの事業が CDM（クリーン開発メカニズム：京都議定書で規定された柔軟性

措置で、京都メカニズムの一つ)事業とできないのかということに特に関心を持っていた。実際、NEDO ブースに置いた3種類のパンフレット(京都メカニズム関連事業、エネ環事業全体のパンフレット、及びインドネシアにおけるCDM事業に関する本)の中で、CDM事業について書かれた本は突出して人気があり、配布に規制をかけなければならなくなるほどであった。そのことから、世界全体に広がるCDM事業への高い関心を実感した。

今回NEDOブースで出展したパネルは、NEDOが省エネモデル事業として実施してきた内容を中心としたものであった。しかし来訪者の関心は、NEDOがこれまで行ってきたことよりも、今後NEDOを利用して(日本との間で)どのような活動が可能かということに向いているようであり、パネルの内容についてもそれを全面に押し出した方が、来訪者のニーズに合ったのではと感じた。

その他出展ブースに係る反省点として、DVDでNEDO概要の映像(20分)を流し続けたが、内容を最初から最後まで見ていく人はおらず、座席を設けるなど、居心地よく見られる環境作りが必要と感じたことが挙げられる。あるいは、通りかかった人々にも効果的にNEDOのアピールが出来るように、1~2分でループするNEDO事業の紹介ビデオがあれば、更に使い勝手が良いのではと思われた。ただ、DVD放映中は、それだけでブース全体が賑わった雰囲気になり、ブースの活性化に一役買ったと言える。

また蛇足であるが、ブースを飾るために作った折り紙の置物に、多くの人が興味を示し、持ち去ろうとした人も多く見受けられ、折り紙が、海外展示会などで有効な装飾品の一つであることが確認された。

3. 熱心な海外メディア — 省エネルギー技術開発部 大宮 俊孝

筆者は会合中盤の12月9日~11日にかけて、NEDO展示ブースの対応業務を行った。会場にはNEDO以外にも、各国から様々な団体のブースが出展していたが、どのブースを見ても、やや下を向いてノートPCの画面を見ている人達が目につき、余り積極的にPRをする姿勢が感じられなかった。そこで自分がNEDOブースにいる時にはなるべく前を見据え、行き交う人が少しでも興味を示した時は、会釈をするように心がけた。その結果、NEDOが国際事業を展開していない地域(主にアフリカ等)の方からも声をかけていただき、日本への「様々な期待」を実感した次第である。

ブースにいると一般客に加え、メディア関係者も時折訪れる。ある時、スイスの新聞Tages-Anzeigerの記者が突然訪れ、「日本はなぜ削減目標の設定に関して消極的なのか分からないので、日本の一般的な状況について教えてほしい」と単刀直入に聞かれた。筆者は政府団の交渉に直接携わっているわけではないので回答に苦慮したが、手元にあった筆者が製作に携わった「NEDO エネルギー・環境技術パンフレット」(英訳版)の資料ページのグラフを使い、日本のエネルギー消費の現状を簡単に紹介した。パンフレットは数ヵ月前、筆者が日本で研究開発事業の公募作業の合間を縫い、必死で作ったものだが、まさかバリ島の、このような場面で助けられるとは思ってもよらず、制作時の苦勞が報われた瞬間であった。

その後、オーストラリアのテレビ局ABC(Australian Broadcasting Corporation)の

クルーも取材にブースを訪れた。ややハイテンションな記者に話をふられて一瞬たじろいだものの、さきほどスイス記者に説明した経験がさっそく活かされ(?)、再びつたない英語で説明した。未確認ながら、おそらく放送はされていないと思うものの、日本の省エネ技術の先進性が記者に少しでも伝えられたのではないかと思う。

このように、筆者も、省エネの技術開発及び導入普及に係るプロジェクトマネジメントに携わることにより、我が国の温室効果ガス排出削減目標達成に向け、努力を続ける所存である。



	1 st Place	2 nd Place	3 rd Place
Dec. 3	Saudi Arabia	United States	Canada
Dec. 4	Japan	Japan	Japan, Canada
Dec. 5	Saudi Arabia	Japan	United States
Dec. 6	Australia	Saudi Arabia	European Union
Dec. 7	Canada	United States	USA
Dec. 8	Canada	Canada	Canada, United States
Dec. 10			Canada
Dec. 11			
Dec. 12			
Dec. 13			
Dec. 14			

NGO によって毎日発表される「本日の化石賞」。不本意ながら日本は常連国の一つ。



会場近くで行なわれていた、日本のエコカー（写真は電気自動車）の展示会

<参考>

文中に登場する NEDO の英文パンフレット：

NEDO Environment & Energy Booklet 2007

(エネルギー・環境技術事業全体の紹介)

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/pamphlets/bunya/08ene.html>

Kyoto Mechanisms Credit Acquisition Program

(京都メカニズムクレジット取得事業の紹介)

http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/pamphlets/bunya/08_6ene.html

【個別特集】 NEDO 海外事務所報告

「エネルギー自立及びエネルギー安全保障法」について(米国)

NEDO ワシントン事務所
松山貴代子

編集部より

NEDO 海外レポートでは前号(1015号)において、「『2007年エネルギー自給・安全保障法』ファクトシート(米国)」という記事を掲載した¹。これはホワイトハウスからのリリースを編集部にて翻訳したものである。今般、NEDO ワシントン事務所が、この法律の内容を章別にやや詳しく説明したレポートを作成したのでこれを紹介する。

米国下院がエネルギー法案²を314対100で可決した翌朝、ブッシュ大統領はエネルギー省(DOE)で早々に同法案の署名式典を行い、「エネルギー自立及びエネルギー安全保障法³」が2007年12月19日に成立した。新法令の主要条項は下記の通り。

第1章 自動車燃費向上によるエネルギー安全保障

- 乗用車および軽トラックの企業平均燃費(CAFE)基準を2020年までに35マイルまで引上げ、その後2030年までは達成可能な最大限の引上げを行う。運輸長官は車両の属性に基づき、乗用車と非乗用車(non-passenger vehicle)に個別の平均燃費基準を規定。
- 2011年に始まる暫定基準(interim standard)を設定。メーカーには該当年の基準の92%達成を義務付け、未達成のメーカーには罰金を課す。この罰金で、将来の規定策定努力を支援し、メーカーに研究開発および設備一新の為にグラントを提供。
- 運輸長官は、CAFE基準を上回る成果をあげたメーカーが燃費クレジットを取得し、基準未達成のメーカーにそのクレジットを売却することを認める燃費クレジット取引プログラムを設置。
- 先進自動車の開発・生産を奨励するため、プラグイン・ハイブリッド自動車推進計画、次世代バッテリー製造施設の建設借入保証計画、先進技術自動車製造インセンティブを提供。
- 低公害車に分類されない軽自動車や中型乗用車を連邦省庁が調達することを禁止。

¹ <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1015/1015-14.pdf>

² 上院本会議では12月13日に、下院エネルギー法案から論議の的であった再生可能エネルギー使用基準(Renewable Energy Portfolio Standard)とエネルギー税制の条項を削除した法案を86対8で可決。このエネルギー法案が、下院に上呈されていた。

³ Energy Independence and Security Act。
http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=110_cong_bills&docid=f:h6enr.txt.pdf

連邦省庁に対して、2015 年までに石油年間消費量を 2005 年比 20%減、代替燃料年間消費量を 10%増とすることを義務づけ。

第2章 バイオ燃料増産によるエネルギー安全保障

- 再生可能燃料使用基準（Renewable Fuel Standard = RFS）を下記の通り定める。

（単位：億ガロン）

年	RFS	RFS に占める先進バイオ燃料 （うちセルロース系）
2006	40.0	—
2007	47.0	—
2008	90.0	—
2009	111.0	6.0 (0.0)
2010	129.5	9.5 (1.0)
2011	139.5	13.5 (2.5)
2012	152.0	20.0 (5.0)
2013	165.6	27.5 (10.0)
2014	181.5	37.5 (17.5)
2015	205.0	55.0 (30.0)
2016	222.5	72.5 (42.5)
2017	240.0	90.0 (55.0)
2018	260.0	110.0 (70.0)
2019	280.0	130.0 (85.0)
2020	300.0	150.0 (105)
2021	330.0	180.0 (135)
2022	360.0	210.0 (160)

- バイオ燃料使用義務が深刻な再生可能原料不足その他の市場問題を起こし得る場合、バイオ燃料使用義務の一部を一時的に撤回する権限を環境保護庁（EPA）長官に付与。
- 新規バイオ精製所で製造する再生可能燃料のライフサイクルの温室効果ガス（GHG）は、ガソリンやディーゼルよりも最低 20%減とする。
- バイオ燃料生産の研究開発助成、セルロース系エタノールとバイオ燃料研究助成等に予算を認可。
- E85⁴ といった再生可能燃料の使用の為にインフラの構築または転換を支援する助成計画を設置するよう、DOE に指示。

第3章 電化製品および照明器具の効率改善による省エネルギー

- 家庭用ボイラー、洗濯機、皿洗い機、除湿器、電気モーターの効率基準を改定。
- 業務用の冷蔵・冷凍室向けの効率基準を設定。

⁴ エタノール 85%、ガソリン 15%の混合燃料。

- エネルギー長官が、加熱炉 (furnace)、エアコン、及びヒートポンプ向けに地域別基準 (regional standard) を設定することを許可。
- 2014 年までに白熱電球を段階的に廃止。
- 一般調達局 (General Services Administration = GSA) が新築、改装、または調達する公共ビルディングに、最大限可能な範囲でエネルギー効率の良い照明器具や電球を装備。
- 連邦取引委員会 (Federal Trade Commission) は、パーソナルコンピュータやモニター、テレビやデジタル・ビデオ・レコーダー等のエネルギー消費に関するラベリング、又は、その他の開示要件を規定。

第4章 ビルディング及び産業界における省エネルギー

- 住宅の耐候化支援プログラム (Weatherization Assistance Program) を再認可し、2008 年度に 7.5 億ドル、2009 年度に 9 億ドル、2010 年度に 10.5 億ドル、2011 年度に 12 億ドル、2012 年度に 14 億ドルの予算を認可。
- エネルギー長官は、①高性能グリーン商用ビルディング担当部⁵の新設、②Zero-Net-Energy Commercial Building Initiative⁶と呼ばれる新イニシアティブの設置、等を行うディレクター職を新設し、ディレクターを指名。
- 「国家省エネルギー政策法 (National Energy Conservation Policy Act)」の定めた連邦政府所有ビルディングにおける省エネ目標を、2010 年までに 2005 年水準比 15%減、2015 年までに 30%減と変更。
- 連邦政府所有の新築および新装ビルにおける化石燃料利用電力の消費量を 2010 年までに 2003 年水準比 55%、2030 年までに 100%削減する連邦政府省エネ効率基準を設定。
- 連邦省庁による、EPA の Energy Star ラベル⁷を取得していないビルディングの賃借を禁止。
- GSA 局長は、①高性能グリーン連邦ビルディング担当部⁸の新設、②連邦政府グリーンビルディング諮問委員会の創設、③連邦政府高性能グリーンビルディング基準の策定、④革新的なグリーンビルディング技術や概念を実証する機会の確認、等を行うディレクター職を新設し、ディレクターを指名。
- エネルギー集約型産業で使用する設備やプロセスのエネルギー効率を大幅に改善する新規プロセスや技術および運転慣行の研究・開発・実証を DOE に指示。
- 産業界における廃熱利用発電を奨励する先導助成計画の新設を EPA に指示。同計

⁵ 民間の商用ビルが対象。

⁶ 2025 年以降に新設される商用 (commercial) ビルのエネルギー消費をゼロ (zero-net-energy) にすることを目標としている。

⁷ EPA の定める一定のエネルギー効率基準を満たした製品にはエネルギー・スターのロゴを表示することが出来る。当初はコンピュータや関連機器で始まった制度だが、現在ではエアコン、電球などの電機製品、さらにビル全体にまで対象範囲が広がっている。

⁸ 連邦政府が所有するビルや施設が対象 (GSAは政府自身の調達を行う部門)。連邦政府が賃借するビルはこの対象となっていない。

画に 2008 年度予算として 1 億ドル、2009 年度から 2012 年度まで毎年 2 億ドルの配分を認可。

- グリーンな学校建設を州・地方政府に奨励する、健全な高性能学校（Healthy High-Performance School）助成計画を新設。

第5章 政府及び公共機関における省エネルギー

- 議事堂建築事務局は、Rayburn 下院議員会館および Hart 上院議員会館に太陽光発電システムを設置する可能性を調査し、議会敷地内または近接する場所に E85 燃料補給システムを建設することを検討。
- 連邦政府の省エネルギー達成契約（Energy Savings Performance Contract⁹）の利用推進。
- DOE 本部（俗称 Forrestal Building）に太陽光発電システムを設置。
- 連邦政府の新築及び新装ビルで使用する温水の 30%をソーラー給油装置で賄うよう義務付け。
- 省エネ製品、代替燃料や合成燃料の調達を奨励。
- 州政府や地方政府による再生可能エネルギー技術やエネルギー効率改善技術導入を助成するエネルギー効率改善・省エネブロックグラント¹⁰の設置を DOE に指示し、同プログラム支援のために 2008 年度から 2012 年度まで年間 20 億ドルを認可。また、ビルディングや住宅の省エネプログラムや燃料節約計画といった地方政府イニシアティブを支援する、エネルギー・環境ブロックグラント（Energy and Environment Block Grant）を設置。

第6章 研究開発の推進

- 太陽エネルギー装置の設置・保守に携わる熟練労働者を育成する研修プログラムを策定。また、太陽熱エネルギー貯蔵技術を改善する研究開発計画を設置。
- 国内の地熱資源ポテンシャルを最大限活用するため、地熱エネルギー資源の探査・研究・開発・実証・商用化プログラムを支援。
- 海洋再生可能エネルギー技術の研究・開発を支援。国立海洋再生可能エネルギー研究・開発・実証センター（marine renewable energy research, development and demonstration center）設立のため、高等教育機関に助成金を給付。
- 自動車や送配電用のエネルギー貯蔵技術および先進バッテリーを推進する費用分担型研究開発実証プログラムの実施を DOE に指示。DOE は、5 カ年研究計画の策定を担当するエネルギー貯蔵諮問委員会（Energy Storage Advisory Council）を創設し、エネルギー貯蔵研究センターを 4 カ所設置。
- 水素エネルギー技術でのイノベーション、および、輸送用燃料としての水素利用を促進するため、賞金（H-Prize）を提供。

⁹ エネルギー・サービス企業と連邦政府機関との契約。

¹⁰ Grant。「助成（金）」の意。

第7章 炭素回収・貯留

- DOE 長官は、①二酸化炭素 (CO₂) を回収・貯留・再利用する新アプローチ開発のために実験室規模の実験や数値モデリング及びシミュレーションといった基礎エネルギー研究を実施、②7 つ以上の大規模炭素地中隔離テストを実施、③地域的炭素隔離パートナーシップ (regional carbon sequestration Partnership) の地中隔離テスト実施を推進。2008 年度から 2012 年度の予算として年間 2.4 億ドルを認可。
- 内務長官は、全国的な CO₂ 貯留キャパシティ査定評価を実施。

第8章 エネルギー政策管理の改善

- 石油会社が市場操作に加担したり、原油卸売価格について虚偽情報を提供したりすることを禁止し、こうした規定に違反した石油企業に新たな民事・刑事の罰則を課す。
- エネルギー長官は、エネルギー効率化および省エネルギーに関して消費者を啓蒙するためのメディア・キャンペーンを企画・実施。この予算として今後 5 年間、年間 500 万ドルを認可。
- 議会の見解 (Sense of Congress) として、2025 年までに米国エネルギー消費の最低 25% を再生可能エネルギー資源で賄うという国家目標を表明。

第9章 国際的エネルギー計画

- 米国国際開発庁 (US Agency of International Development)、商務省、及び、その他の輸出推進業務に携わる連邦省庁は、クリーンかつ高効率な米国エネルギー技術のインド、中国、その他途上国への輸出を推進。主要途上国でのクリーンエネルギー市場実現を助長するため、クリーンエネルギー・省エネルギー技術に関する国際協力タスクフォース (Task Force on International COOPERATION FOR Clean and Efficient Energy Technologies) という多省庁間調査特別委員会を創設。
- 国際クリーンエネルギー基金 (International Clean Energy Foundation) を創設。目的は以下の通り。
 - ①クリーンエネルギーやエネルギー効率化技術等によって温室効果ガス (GHG) 排出を大幅削減するモデル事業を米国外で推進する助成金の提供
 - ②クリーンエネルギーやエネルギー効率化技術の利用で学んだ最善慣行や教訓に関する情報レポジトリの構築
 - ③米国製のクリーンエネルギーやエネルギー効率化技術利用の推進
- エネルギー長官を国家安全保障会議 (National Security Council) のメンバーに追加。

第10章 グリーンな職業 (Green Jobs)

- ソーラーパネル製造者やグリーンビルディング建設作業員といった「グリーンカラー (green collar)」職を訓練する、エネルギー効率化・再生可能エネルギー労働者研修プログラムを設置。

第11章 エネルギー輸送と基盤

- 運輸省は、①運輸部門関連のエネルギー消費を削減し、気候変動の影響を緩和する研究・戦略・行動、②気候変動が交通システムや輸送基盤におよぼす影響に対応する研究戦略や行動、を企画・調整・実施するため、気候変動・環境部（Office of Climate Change and Environment）を新設。
- 運輸省は EPA と協力して、鉄道業者によるハイブリッド機関車購入を支援するパイロット・グラント計画を設置・実施。
- 陸上貨物運送に代わる代替策として短距離海上輸送を促進。

第12章 中小企業のエネルギー計画

- 中小企業庁（Small Business Administration = SBA）が、中小企業による特定の省エネおよび再生可能技術の開発や調達に対して即時貸付（express loan）を提供することを認可。
- SBA は、中小企業が省エネ技術を半額で購入できるパイロット貸付プログラムを設置。
- 中小企業投資法の定める省エネおよび再生可能エネルギープロジェクトへの貸付上限を引上げ。
- 中小企業による再生可能エネルギー資源および新技術開発を助長するためにベンチャーキャピタルを活用する、再生可能燃料資本投資（Renewable Fuel Capital Investment）パイロット計画を新設。この予算として2年間で3,000万ドルを認可。

第13章 スマートグリッド（Smart Grid）

- 電力供給の信頼性とエネルギー効率を改善・近代化する、スマートな送電網を推進する連邦政策を策定。

第14章 プールとスパ（温泉）の安全性

- プールとスパ（温泉）に、安全な配水管のふたを利用するよう義務付け。

【個別特集】 省エネルギー

開発途上国におけるエアコンのエネルギー効率と CDM の役割

(IEA レポート第 4 回：最終回)

目次

1. はじめに
 2. エアコンのエネルギー効率
 - 2.1 途上国におけるエアコンのエネルギー効率
 - 2.2 先進国の場合
 - 2.3 先進国と途上国との比較 －以上 1013 号掲載－
 3. エアコンのエネルギー効率向上による、発電および CO₂ 排出の推定削減量
 - 3.1 発電および CO₂ 排出の推定削減量－ガーナの場合
 - 3.2 発電および CO₂ 排出の予測削減量－中国の場合 －以上 1014 号掲載－
 4. エアコンのエネルギー効率向上に対する障壁と対策
 - 4.1 電化製品普及への障壁とそれを克服する方策についての概説
 - 4.2 途上国における省エネ型エアコン普及への障壁
 - 4.2.1 ガーナの障壁
 - 4.2.2 ガーナにおける対策の可能性 －以上 1015 号掲載－
- －本号掲載－
- 4.2.3 中国の潜在的な障壁
 - 4.2.4 中国における対策の可能性
 - 4.3 CDM の財政的貢献
5. 結論

編集部注：図表の番号は全篇の通し番号である。

4.2.3 中国の潜在的な障壁

自国に製造能力を有する開発途上国では、表 3¹ で示された財務や事業活動・企業経営面での障壁が、省エネ製品の普及を妨げる要因になっている。この点をより明確に論じるため、実証的証拠を用いて、中国の状況と、過去に多岐にわたる障壁を克服した日本を比較する。図 16 と 17 は、消費者が直面している中国の購買力障壁を示したものである。×印は日本製エアコン（冷房能力 2.8kW）の購買価格と EER² の関係を、ダイヤ印は中国製エアコンの購買価格と EER の関係を示している。日本製エアコンについては、国内で販売

¹ NEDO 海外レポート 1015 号 53 ページを参照のこと。

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1015/1015-13.pdf>

² Energy Efficiency Ratio: 機器の冷房能力を定格消費電力で割った数値（冷房能力は Btu/h*、定格消費電力は W の単位の数値を用いる）。

* 1 Btu (British Thermal Unit: 英国熱量単位)=1,055J(ジュール)=252cal (カロリー)

されるエアコンの 35-40%をカバーしている POS（販売時点管理）システムを通じて情報を収集した³。中国製エアコンについては、インターネットのショッピングサイトを通じて情報収集した。

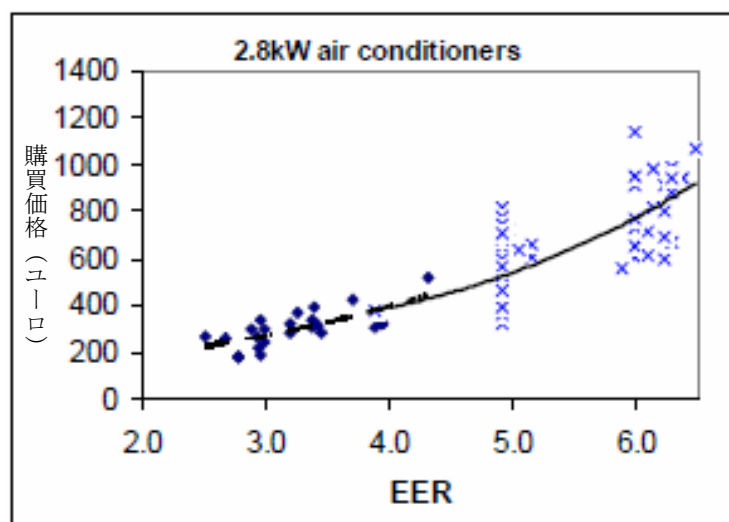


図 16 日本市場におけるエアコン(冷房能力 2.8kW)の購入価格

全体的な傾向として、エネルギー効率は向上しており、EER が 4.0 以上のエアコンについては、価格が急上昇する。中国製エアコンのエネルギー効率は、ガーナのエアコンよりも高いが、EER が向上する余地は他のもっと発展した国よりも少ない。中国製と日本製のエアコンは、エネルギー効率の観点で重なる点が多い。エネルギー効率が同じエアコンの価格を比較した場合、日本製と中国製のエアコンの販売価格はほとんど差がない。なぜならば、日本で売られているエアコンの中には中国で製造されているものがあるからだ。このことは、現在日本で販売されている省エネ性能の高いエアコンは、中国で売られたとしても同じ価格帯になる、ということを示している。

図 17 は、中国で使用されている 2.8kW のエアコンの LCC(ライフサイクルコスト)を、割引率 5%と 10%のケースについて、それぞれ示している。

³ ECCJ 2006, Report on labeling system for introduction of efficient energy consuming facilities を参照のこと。

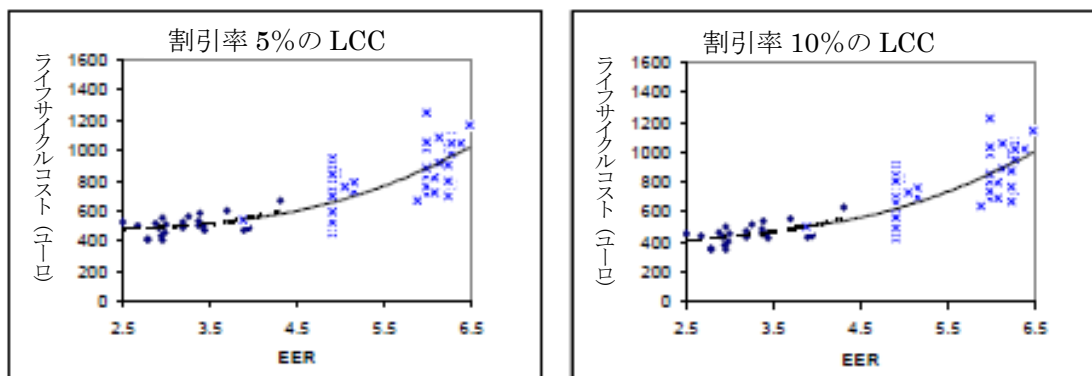


図 17 冷房能力 2.8kW のエアコンの LCC

図 16 に示された日本製エアコンの価格情報を利用して、LCC を求めた。この場合、稼働時間と電力料金は、中国の温暖地方の代表として選んだ広州と同じとする。中国で使用されている日本製エアコンの LCC は、×印で表している（実線の傾向曲線部分）。中国製エアコンの LCC は、ダイヤ印で表している（点線の傾向曲線部分）。稼働時間は中国の方が短く、LCC は購入価格の上昇に強い影響を受けている。どちらの割引率の場合でも、EER の上昇に併せて LCC は増加し、普及が難しくなっている。このことは表 3 で示した財政障壁だと見なせる。稼働時間が短期間で変更することはないため、省エネ型エアコンの普及には、購入価格をできるだけ低く抑えることが不可欠だといえる。

現在施行されている省エネ基準では、製造業者側が省エネ製品を製造するインセンティブが低い。中国製エアコンは、図 2⁴で明示したように、EER に応じて 5 段階に分類され、EER が 3.4 以上のエアコンが最もエネルギー効率がよいとされる。現行の国内ラベリング制度では、最低基準は 2.6 と制定されている。

図 18 は、中国国内の製造業者が直面している事業活動・企業経営面での障壁を示したものである。この図では、日本のトップランナー方式⁵に基づく日本製エアコンの省エネ基準と、中国製エアコンを比較した。日本では、冷房能力が大きいエアコンは小さいエアコンと比較して、省エネ基準が緩い。とはいえ、冷房能力の小さいエアコン（日本と同様、中国でも多く普及しているタイプ）に対する中国の要件は、日本の要件と比べても半分の厳しさである。これは表 3 で示す事業活動・企業経営面での障壁である。

⁴ NEDO 海外レポート 1013 号 38 ページを参照のこと。

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1013/1013-06.pdf>

⁵ 電気製品等の省エネ基準を、市場の機器の中で最高の効率の製品レベルに設定すること。日本では 1999 年 4 月施行の「改正省エネ法」で導入された。基準に達しない製品を販売する企業は、社名の公表、罰金などのペナルティーを科される。

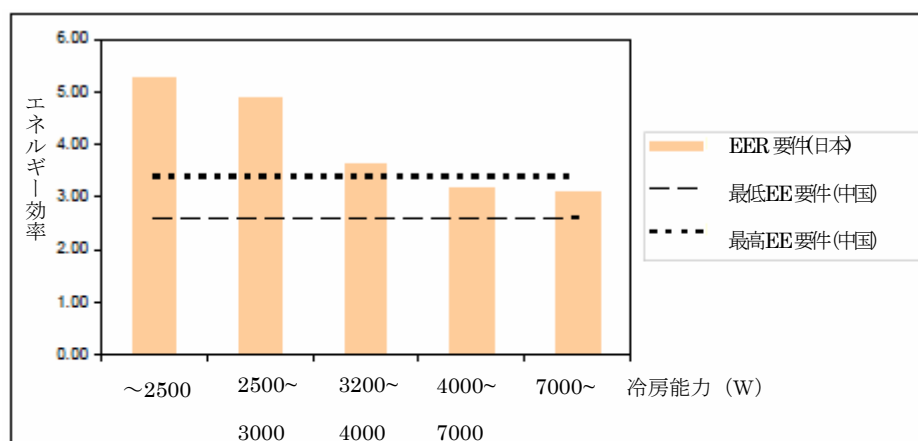
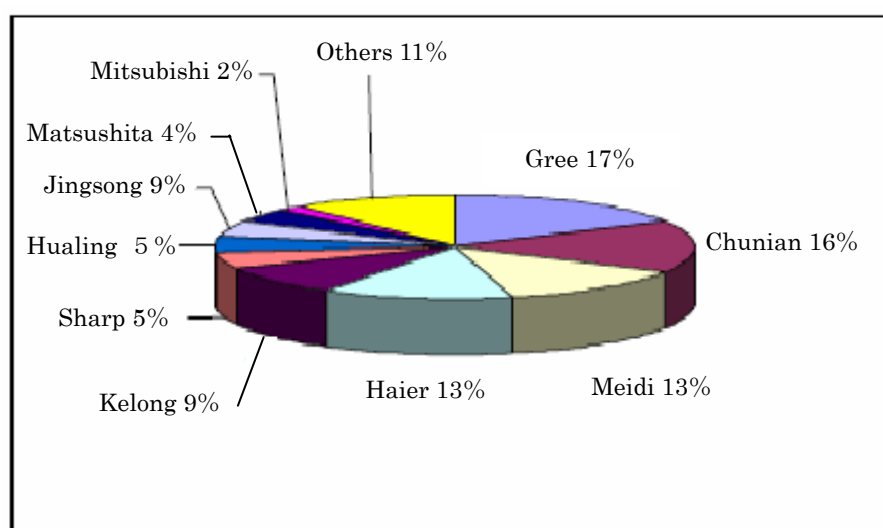


図 18 トップランナー方式による日本製スプリット型ヒートポンプの EER 要件 (CNIS 2005, ECCJ 2007)

中国の中小企業では研究開発リソース（人、技術、金）が乏しいため、国内の製造業者は研究開発に前向きでない。実際、2004 年の中国における科学技術支出の割合は 1.49%⁶で、日本の 3.49%(METI 資料 2005)⁷の半分以上である。零細企業の同支出は、産業全体の平均研究開発費比率をはるかに下回るとされる。開発途上国では一般的に、先進国と比較して中小企業の割合が高い。例えば、中国市場で販売されているエアコンの 6 割は、4 大メーカーが製造しているが、残りの 4 割は中小メーカーによるものである（図 19 を参照）。



デビット・フリッドレー、グレゴリー・ローゼンクイストなど 2001

図 19 エアコンのメーカー別シェア 1998 年 1～6 月

⁶ Chinese Statistical Book 2006 を参照のこと。

⁷ 平成 17 年企業活動基本調査速報－平成 16 年実績－の第 5 章「研究開発への取組状況」によれば日本企業の研究開発費売上高比率は 3.30%となっている。

<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kikatu/result-2/h17sokuho/pdf/h2c1s5hj.pdf>

中小企業の方が厳しい販売競争にさらされているため、省エネ製品への開発投資は大企業に比べ要求が厳しくなるだろう。しかし、国内大手メーカーの数社は既に比較的高度な省エネ技術を有しているとみられ、これに中小メーカーが追いつこうとすると大きな投資が必要となることから、実際には難しい。

タイで実施された GEF（地球環境ファシリティ）⁸の DSM（デマンドサイド・マネジメント）⁹プロジェクトでも、似たような障害が見られた。EGAT（国営電力会社）がエアコンのラベリング制度を開発しようとしたが、蛍光灯や冷蔵庫のような業者が少ない業界と違い、タイのエアコン業界は 55 のメーカーが林立しており、省エネモデルを製造するための追加コストは冷蔵庫のそれよりも高かった。EGAT は、省エネ性能が最も高いレベル 5 のエアコンを製造する追加コストに対しては、国内クレジットカード会社を通じて無利子ローンを用意したり、小売店が一定期間にレベル 5 の製品を販売した際のリベートを約束したりするなどの策を講じた。しかし、エアコン業界との合意に至らず、ラベリング制度の法制化や、省エネラベルのエネルギー効率レベルを徐々に引き上げることはできなかった¹⁰。

また、現在の中国市場では、先進国の省エネ形製品が、中国現行基準のエネルギー効率の劣る製品とあまり区別されないため、先進国の製造業者は、輸出や省エネ技術の移転にそれほど熱心ではない点にも留意すべきである。

4.2.4 中国における対策の可能性

前述のように、財政面での障壁は中国のような国で省エネ製品を導入する際の大きな障害となっている。エアコンの購入価格を引き下げる 1 つの対策として、市場規模を拡大することが挙げられる。一般的に、経験曲線効果¹¹により、製品の販売が 100% ずつ増加するにつれ、新技術のコストは 18% 下がる¹²。もしメーカーが中国の省エネ型エアコンの市場で自社エアコンを製造、販売しようと考えた場合、製造コストを下げることも可能かもしれない。それはそのまま小売店での販売価格の低下につながる。中国温暖地方のエアコン市場の規模は、現在の日本の市場に匹敵すると期待されることから、中国の工場で生産される日本製エアコンの製造コストは、最大で 20% 下がる可能性がある。省エネ型エアコンに対する中国国民の関心が高まれば、こうした製品の販売は伸び、新しい市場が築かれることにもなるだろう。ラベリング制度も、先進国で見られたように、国民の意識向上に効果的である。

⁸ 開発途上国で行う地球環境保全のためのプロジェクトに対して、主として無償資金を供与する国際的資金メカニズム。

⁹ NEDO 海外レポート 1015 号 54 ページを参照のこと。
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1015/1015-13.pdf>

¹⁰ Birnera, S. and Martinot, E., 2005, Promoting energy-efficient products: GEF experience and lessons for market transformation in developing countries, Energy Policy 33 (2005) 1765-1779 を参照のこと。

¹¹ 同一製品の累積生産量が増えるに従って、単位当たりの総コストが一定の割合で低下する経験法則のこと。

¹² IEA, 2000, Experience Curves for Energy Technology Policy, OECD/IEA, Paris, France を参照のこと。

省エネ型エアコンの購入価格を下げるその他の対策として、適正なスペックを定めることがある。例えば日本製のエアコンには、快適さを追求し、面倒な操作を軽減する様々な機能（自動フィルター掃除、換気、空気清浄、通風コントロール、除湿中の予熱）がついている。図 20 では、追加機能を少なくした場合に購入価格に与える影響を示した。四角はエアコンの価格を、黒塗り四角は多機能エアコンの価格を表している。省エネ性能が高いエアコンにおいては、より高性能な製品の割合が大きく、したがって省エネ型エアコンの販売価格の上昇につながる。点線は、基本性能型エアコン（追加機能が 1 つのもの）の価格傾向を示している。

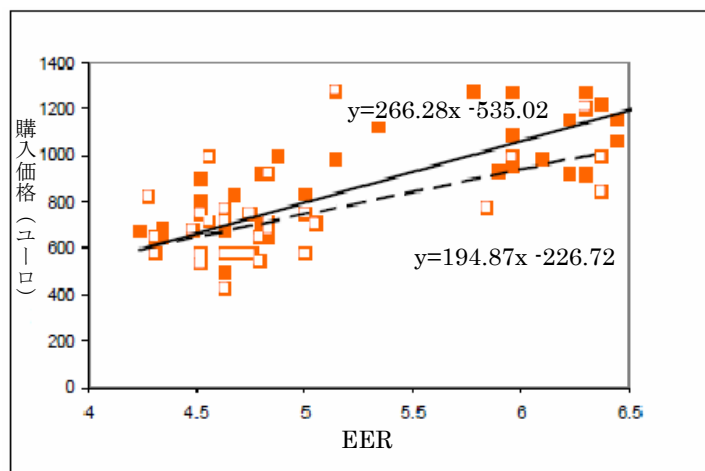


図 20 機能の削減による購入コストの低下

機能の少ないエアコンを普及させるためには、政府当局の技術開発調達が効果的であろう。例えば、スウェーデンの国家エネルギー庁(STEM)が行っている技術開発調達では、ある特定の機器（品目、工程、システム）の潜在的な購入者を集め、エネルギー専門家と一緒に、エネルギー効率やその他の性能仕様に関して、製品開発競争に向けたたたき台を作成させる。新製品導入の際についてまわるリスクをカバーするため、製品を実証試験に使用するという条件で、STEMは製品購入費用の一部を助成する¹³。途上国においても基本性能機器の購入を優先させるために、上記のような政府調達を実施することは可能だろう。

図 21 は、2005 年に中国でラベリング制度が導入された前と後での、エアコンのエネルギー効率の比較を示したものである。ラベリング制度によって規定されたエネルギー効率基準は、中国におけるエネルギー効率の改善を促進させる効果があったことがわかる。しかし、中小企業がエネルギー効率基準の急激な上昇について行くことは難しいだろう。場合によっては、中国などの途上国では倒産や失業なども起こりうる。実際、現行のエネルギー効率基

¹³ IEA, 2003, Cool Appliances Policy Strategies for Energy-Efficient Homes を参照のこと。

準であっても、「基準を達成できない企業」や「メーカー側の誇張宣伝」が出現している¹⁴。

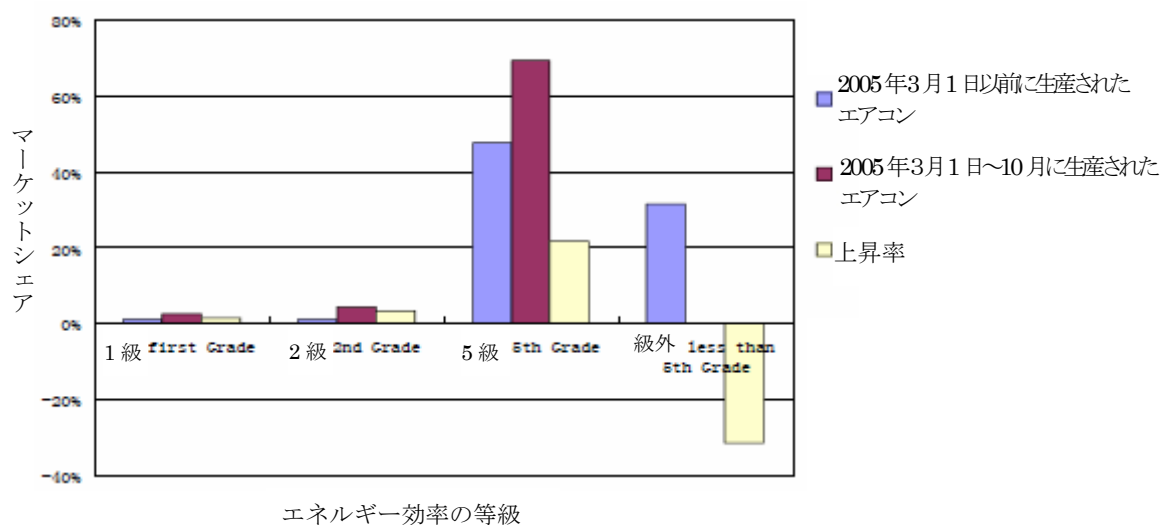


図 21 ラベリング制度導入による中国製エアコンのエネルギー効率の変化
(CNIS 2005)

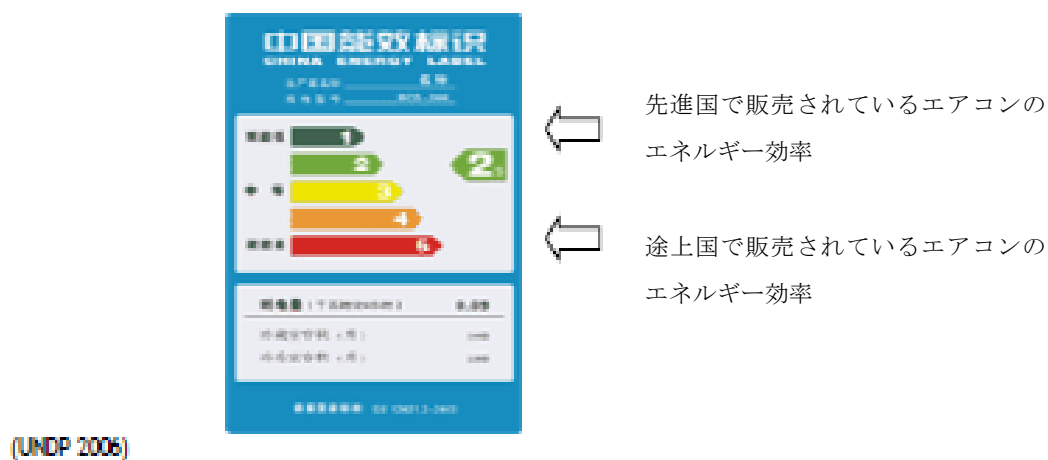


図 22 エネルギー効率ラベルと各グレード要件

倒産や失業などの社会的影響を緩和するためには、中小メーカーが生産している製品を全て追いやするような事態を避けながら、エネルギー効率基準を上げる必要がある。中国ではエアコンは5段階に分類されている（グレード5が最低エネルギー効率基準、グレード1が最

¹⁴ CNIS (China National Institute of Standardization), 2005, Framework of Chin's Energy Efficiency Standards Enforcement and Monitoring を参照のこと。

高エネルギー効率基準。図 22 を参照)。もしグレード 1 とグレード 5 が、先進国で販売されているほとんどの製品のエネルギー効率性能と、途上国で現在販売されている製品の性能をそれぞれ表すのであれば (図 22 を参照)、ラベリング制度によって途上国の製造業者にも受け入れられるような方法で市場を移行させることもできる。

大量生産と同様に、適正な基準およびスペックの制定、消費者に対するリベートも、エアコン価格の目に見える低下につながるだろう。リベートの資金は、前述の通り、CDM (クリーン開発メカニズム) を通じて得た CER¹⁵ を売って捻出できるだろう。その場合、もしエアコンのエネルギー効率が現在の中国市場における平均エネルギー効率 (EER=2.8) を上回るようであれば、CER が生み出されると想定できる。また、CER の販売を通して得られた収益の 70% は、省エネ型エアコン購入時のリベートとして、消費者に渡ると仮定することも可能である。残りの 30% は、CDM プロジェクトの実施者や出資者に運営費として分配される。資金の適正な分配に関しては、今後詳細な研究が行われる。

図 23 の LCC 曲線は、大量生産、機能縮小、消費者へのリベートといった対策を取った場合と、対策のない場合を示している。点と線の組み合わせの水平な線は、現在、中国で販売されているエアコンの平均 EER(2.8) の LCC レベルを表している。LCC がこの線より下にくるエアコンは、LCC の観点からいえば、全て採算があうものとみなされる¹⁶。

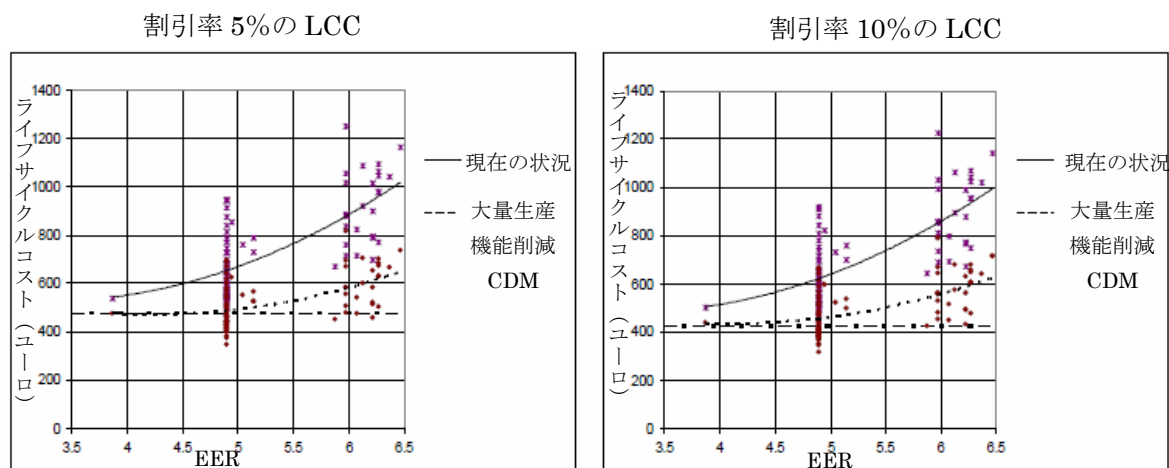


図 23 大量生産と追加機能の削減による LCC の低下

エアコンの EER は最大 5.0 まで上げることが可能だが、これは現在、日本で販売されているエアコンの平均 EER とほぼ同じ値である。もし資金が製造業者に直接渡るのであれば、

¹⁵ Certified Emission Reductions の略。京都議定書の枠内で 4 分類された「排出枠 (クレジット)」のうち、CDM によって獲得されたものを指す。

¹⁶ 本レポート原文(pdf) 35-39 ページ。

より効果的に活用できるだろう。流通マージンや輸送コストを下げ、消費者一人一人にリベートを与えることも可能だ。もしCDMによって生み出された資金が直接メーカーに届けば、省エネ製品を提供する業者へのインセンティブにもなり、事業活動・企業経営面での障壁を克服することにもつながる。

製造能力のある途上国でエネルギー効率向上をめざすプロジェクトを実施するには、潜在的な障壁ともなりうる知的財産の保護を考慮することが大事である。GEFで実施したあるプロジェクトでは、中国の産業ボイラー企業をグループとして選び、国際的な専門知識の伝達を通じて、エネルギー効率の向上を図ろうとした。しかし外国企業は知識移転に前向きでないため、ライセンスの入札を数回行わなければならなかった。入札に参加した外国企業は、比較的小規模で知名度の低い企業であった¹⁷。

もし上記の3つの対策が講じられた場合、EERが5.0のエアコン単価は177ユーロ下がると見込まれる。個々の対策の貢献度は、大量生産によるものが61%、適正な基準およびスペックの制定が31%、CDMからの財政援助が8%である。知的財産保護を強化するには、途上国の製造業者が最新技術に対して支払うライセンス料を補償することが効果的であろう。CDMからの資金はこの目的のために使用されうるであろう。

4.3 CDMの財政的貢献

CDMを実施して得られた資金と、GEFのエネルギー効率向上プロジェクトで得られた資金を比較することで、CDMの効果を計ることができる。ただし、現行ではこれらの資金はプロジェクト開発者の手に渡るもので、エネルギー効率向上の施策に投資できるわけではない。しかし、CERの収入のうち一定割合は、政府がとりまとめる公的資金に入ると想定でき（実際、中国ではそのようになっている）、本稿ではこのメカニズムが発揮できたかもしれない潜在的な効果を強調したい。表5はCO₂排出削減量とCERの売上金を示している（ガーナで2005－2011年にCDMを実施した場合と、中国で2006－2020年に実施した場合）。GEFの資金も比較のために表示した。

表5 CDMおよびGEFによる貢献の概観

	CO ₂ 排出削減量(百万トン)	CER売上金(百万ユーロ)
ガーナでのCDM事業	3	30
中国でのCDM事業	28－61	280－610
GEF	—	7.7－25.5

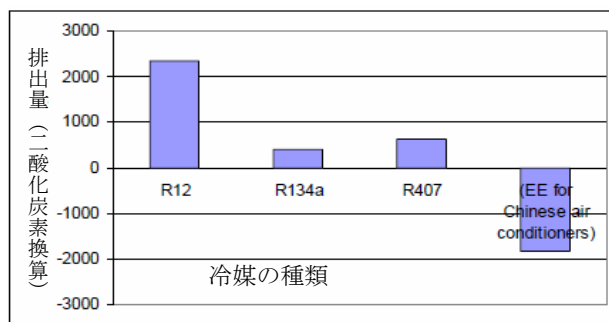
¹⁷ CRIEPI (edited by Taishi Sugiyama and Stephenie Oshita), 2006, Cooperative Climate Energy

ガーナに関しては、2005年から2011年にCDMを実施した場合、同国市場で販売されるエアコンのエネルギー効率値は2.55から2.8に向上し、CO₂の排出も300万トン削減されると予測できる。この削減量は、同時期の炭素（CO₂）価格が1トンあたり10ユーロだとすると、3,000万ユーロに相当する。770万から2,550万ユーロだったGEFのプロジェクトと比較しても、相当な金額だといえる。しかし、このようなCDMの財政的貢献は、プロジェクトの出資者がCERの売り上げ全額を手放すことにはならないだろうという点を考えると、算出された全体値より潜在的に小さいものになることは強調されないとならない。とはいえ、ガーナのプロジェクトが示すように、CDMの資金をより慎重かつ焦点を絞って使用すれば、途上国で省エネ製品を普及させる上での障壁を克服できるだろう。

中国製エアコンのEERをさらに向上させるには、CDMを通して先進国から技術伝播を図ればよいだろう。その実現のために、省エネ型エアコンの価格を抑制し、製造業者に適正なインセンティブを付与するといった措置を講じることが不可欠である。このようなあらゆる対策が取られた場合、中国製エアコンのEERは3.4から5.0前後に上がることもあり得る（この目標値はガーナと比較して非常に高いものだが）。2006年から2020年までCDMが実施されていた場合、得られた資金は、販売量や中国国内の技術開発のスピード、収益の利用可能性に応じて変わるが、2億8,000万から6億1,000万ユーロになるだろうと推計される（同時期の炭素価格が1トンあたり10ユーロだと仮定）。この金額は、既存のGEFプロジェクトやガーナでのCDMプロジェクトの支出額と比較すると、非常に大きい。CDM市場で循環している財政資金の規模は大きく、事前予測を裏付ける結果となっている（例えば、CERの売上金をよりよい用途に活用することは、エネルギー効率に関する障壁に対処する上で、違いをもたらすなど）。特に、先進国からの技術移転に伴って生じる知的財産保護の問題を解決に導き、中国の省エネ型エアコン市場が変容することにもつながる。

Box. 1 温室効果ガスの直接的および間接的排出

フロンの生産は、モントリオール議定書に基づき、先進国では 1995 年に停止され、途上国では 2009 年までに停止される（中国政府は 2007 年の停止を予定）。しかしこれらの温室効果ガスは製造禁止以前に出回ったエアコンに使用されており、現在も残留している。エアコンに残留した R12、R134、R407 の排出量（CO₂ 換算）は下図の通り（エアコン 1 台につき冷媒は 0.75kg と想定）。右端に、省エネ型エアコンによって削減された CO₂ の量を、参考までに示す（2006 年時点）。特に R12 は、途上国のエアコンに多く残留しており、地球温暖化を引き起こす可能性があり、エネルギー効率が改善されても相殺してしまう。



エアコンに残留した冷媒からの CO₂ 排出（換算）

5. 結論

2006年から2020年にかけて、中国の冷房専用エアコンの利用に伴う電力は、674TWh¹⁸（国内での技術革新が進まず、エアコンの売り上げが多い場合）または410TWh（国内での技術革新が進み、エアコンの売り上げが少ない場合）と見込まれる。CO₂排出の予測削減量¹⁹は、前者の場合が5,200万トン、後者の場合が2億1,600万トンと推定され、これは今後15年間の排出量のそれぞれ38%と15%に当たる²⁰。

ガーナに関しては、2005年から2011年のエアコン利用に伴う発電量は、43TWhになるだろうと推定される。最低エネルギー効率基準を導入することで、発電の削減量は3TWh、それに伴うCO₂排出の削減量は300万トンとされる。

省エネ型エアコンの広範囲な普及を妨げる数々の障壁によって、途上国の現状は特徴づけられる。省エネ製品を広める鍵は、そのための市場を創出することである。先進国では、ラベリング制度と併せて最低エネルギー効率基準を導入することで、こうした市場の創出を促進してきた。電化製品を海外から輸入する途上国にも、最低エネルギー効率基準の制

¹⁸ TWh=十億 kWh

¹⁹ 編集部注：本稿の第3章（NEDO 海外レポート 1014 号参照）の表2を参照のこと。これは先進国からの技術移転がなかった場合との比較である。

²⁰ 編集部注：本稿の第3章の表2で表しているのは、先進国からの技術移転がなかった場合と比べて、「エアコン使用に伴う発電量」が38%と15%削減されるということであり、説明の整合性が取れていない。

度はあるものの、適切に運用されていない。このような国では、ラベリング制度を通じて最低エネルギー効率基準の完全導入を図れるかもしれない。ラベリング制度を実施するには、設備の十分な試験機関の設立と政府職員の能力開発が欠かせない。CDMを通じて得られる資金を提供することで、GEFが行ってきた活動を強化する可能性がある。

自国に製造能力のある途上国にとっては、先進国から入っている高い省エネ技術を導入することが効果的だろう。省エネ製品のLCCは高く、メーカー側に対するインセンティブが低いため、これが省エネ製品を普及させる上で障害となっている。省エネ型エアコンのLCCを下げ、省エネ製品がより購買欲をそそるようにするには、省エネ型エアコンの購入価格を下げる必要がある。省エネ型エアコンの販売数が増加すれば、経験曲線効果により、購入価格は下がる。途上国に省エネ製品の市場が創出されれば、それは可能だろう。ラベリング制度を通じて一般国民の省エネ製品に対する意識が向上しても、新しい市場の創出につながる。こうした例は既に先進国で見られるものだ。エアコンの機能の数を抑えることも、省エネ型エアコンの購入価格を下げる上で効果的である。そのために政府調達も効果的だろう。

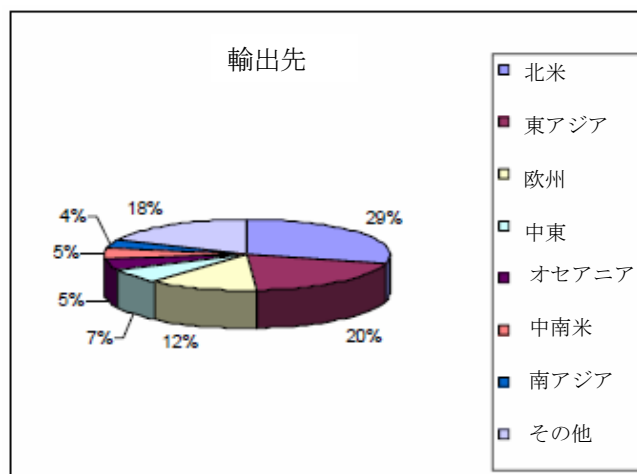
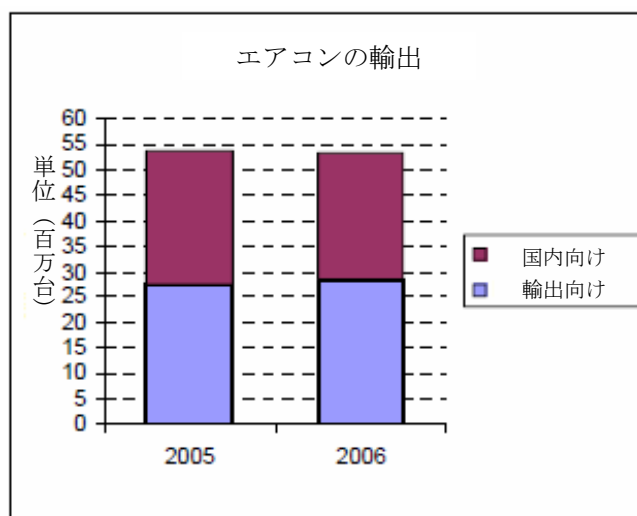
メーカー側にとっての低いインセンティブという障壁に対しては、途上国および先進国の技術水準を考慮した適切な基準やスペックを定めることで、メーカーがより省エネ型の製品を提供しようとインセンティブを感じるようになるだろう。中国のような製造能力のある途上国は、ガーナの例にあるように単に最低エネルギー基準値を定めるのではなく、高い目標値を課す方がより効果的なようである。挑戦しがいのある目標を設定することで、省エネ性能の高い製品をそうでない製品と区別することが可能になる。メーカーが工場に最新技術を導入するための投資を行う動機付けにもなるだろう。

財政障壁は、途上国で省エネ製品の施策が遅れる主要因である。したがって、より適切な炭素基金の設計が求められる。家電のエネルギー効率は、タイ、中国、ポーランドといった国でGEFのスキームを通じて改善されてきた。多くのプロジェクトは、エネルギー効率の改善につながったが、GEFの資金は不足しており、改善の余地を残している。CDMは炭素市場でCERを販売して潤沢な資金を得ることができるため、本稿は、もしCDMの収益の一部が政策実施のきっかけとして提供されるのであれば、CDMがGEFプロジェクトのカバー範囲を拡張できると明示した。ただし、今回の調査ではCDMの潜在的な財政的貢献を概観したのみであり、CDMの複雑さを検証していない。実際、CDMの潜在的な役割に疑問を呈しつつも、CDMを円滑に運用するための条件（知的財産保護の法的枠組、家電のエネルギー効率向上に対するホスト国の前向きな姿勢、CDM承認手続きの合理化など）が必要とされている。

Box. 2 エアコンの省エネ化の波及効果

製造能力のある途上国は、自国の製品を他国へ輸出する。下図は、中国から輸出されたエアコン台数と国・地域別にみた輸出の割合を示す。中国製エアコンの約半数は輸出されている。多くは先進国への輸出向けだが、輸出品の4分の1はアフリカなど途上国へ渡っている。したがって、もし製造能力のある途上国で省エネ型エアコンの価格が下がれば、相対的に発展の遅い途上国（より発展した国から輸入している国）でも価格低下は広まるのではないかと。

中国から輸出されるエアコン



(AIR CONDITIONER BUSINESS INFORMATION 2006, China)

(完)

出典 : http://www.iea.org/Textbase/Papers/2007/Energy_Efficiency_Air_Conditioners.pdf

翻訳 : 京 希伊子

【エネルギー】自動車用燃料

「エネルギー自立・安全保障法」と自動車燃料の基準（米国）

別稿のNEDOワシントン事務所レポートに紹介するように、昨年12月、ブッシュ大統領の署名により、エネルギー自給・安全保障法(Energy Independence and Security Act of 2007)が成立した。同法の概要については別稿を参照されたい。本稿では、このうち自動車燃料に関する基準をめぐっての米国内の話題を紹介する。

燃費基準と州独自の規制について

同法は、ブッシュ大統領が2007年1月の一般教書演説において発表した、ガソリン消費量を今後10年間で20%減らすという「Twenty in ten」構想の実現に向けたものである。

同法ではこの中で、バラバラであった各州の燃費基準について、整合性を確保しつつ、2011年から順次強化し、軽トラックも含めた全乗用車の燃費を2020年までに35マイル／ガロンにすることを求めており、これは現在の燃費を40%改善することに等しい。

ところで、同法の成立について、環境保護庁(EPA)ジョンソン長官は、「ブッシュ政権は、自動車が気候に与える影響を減らすべく、州ごとの規制による複雑で継ぎはぎ的な対策ではなく、全国規模の解決策を進めている。大統領と議会とは高いハードルを設定したが、完全に実行に移されれば、燃費基準は50州すべてで適用され大きな成功を収めるであろう」と述べ、全国レベルでの基準を設ける意義を強調している。

一方で、EPAは、州が独自に基準を策定する動きを牽制している。カリフォルニア州は、2009年のモデルから州内で販売される自動車の燃費改善を図り、2016年までに自動車による温室効果ガスの排出量を30%削減することを義務付けている。ところがこの同州の自動車排ガス規制と比べた場合、エネルギー自給・安全保障法による規制開始時期は2年遅れになること等から、同州は大気浄化法(Clean Air Act)第209条に基づき、連邦の基準とは異なる州独自基準の適用許可を、米国環境保護庁(EPA)に対して申請していた。

しかし、エネルギー自給・安全保障法の成立と同じ2007年12月19日、EPAは、温室効果ガスの問題は個別の州の大気の質に関わるものではなくグローバルな問題である等の理由から、カリフォルニア州の申請を却下する意向を表明した。カリフォルニア州のシュワルツェネッガー知事に対し、ジョンソンEPA長官は、温室効果ガスの問題に関しては同日に成立したエネルギー自給・安全保障法に大きな期待を寄せており、カリフォルニア州が独自規制を設ける必要性がみいだせないと伝えている。これに対して、カリフォルニア州は、EPAによる申請却下は違法であるとして、2008年1月2日、サンフランシスコの第九区連邦控訴裁判所に、EPAを提訴したことを発表した。

再生可能燃料基準

エネルギー自給・安全保障法では、再生可能燃料総生産量を 2006 年の 40 億ガロンから 2022 年までに 360 億ガロンまで拡大し、その 360 億ガロンのうち 210 億ガロンを非トウモロコシ系の先進バイオ燃料とすること等を求めている。トウモロコシを原料とするエタノール生産が拡大し続ける場合、水質や土壌の汚染を引き起こす可能性が指摘されており、持続可能性の観点から、セルロース系エタノールの生産増が必要であるとされている。

なお、2005 年 8 月に発効済みのエネルギー政策法(Energy Policy Act of 2005)によって、EPA が再生可能燃料規格を定めることになっており、輸送用ガソリンに含まれるべき再生可能燃料（事実上バイオエタノール）の割合は、2007 年の 4.02%から、2008 年に 4.66%に引き上げられることが既に決まっている。これにより、2008 年には、少なくとも 54 億ガロンの再生可能燃料が輸送用ガソリンに混合されることとなるが、今回のエネルギー自給・安全保障法の成立を踏まえ、この再生可能燃料規格は更に強化されていくものと予想される。

参考資料

○ EPA 12/19/2007

America Receives a National Solution for Vehicle Greenhouse Gas Emissions
<http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/bd4379a92ceceeac8525735900400c27/41b4663d8d3807c5852573b6008141e5!OpenDocument>

○ Office of the Attorney General, State of California, 1/2/2008

Brown Sues EPA for Illegally Blocking California's Plan to Curb Tailpipe Emissions
<http://ag.ca.gov/newsalerts/release.php?id=1514&>

【エネルギー】ハイブリッド・電気自動車

**米国エネルギー省がプラグインハイブリッド車の
開発・普及に最大 3,000 万ドルを拠出¹
ーミシガン州および産業界とも協力関係を築くー**

ミシガン州デトロイトで開催中の北米国際オートショーを訪れていた、米国エネルギー省(DOE)のバド・オルブライト次官は、1月17日、プラグイン・ハイブリッド車(PHEV)²の開発と実用化をめざすプロジェクトに対し、同省から最大 3,000 万ドルまで拠出すると発表した。また、「**技術開発促進のための米国自動車パートナーシップ**」(USAutoPARTs)と呼ばれる、開発競争前段階³の共同研究開発連合への参画も表明した。いずれも、車、住居、事業活動への電力供給のあり方を、最先端技術を利用して根本的に変えようとする、政府の長年の努力を後押しするものである。

「先月、大統領が署名したエネルギー関連法に続き、これらのプロジェクトは、輸入エネルギーへの依存度を下げる一方、力強い経済発展を喚起させることに貢献する車両技術の発展をめざす責任の一端を担うという、強い意志の現れである」と、同次官は述べる。

「DOE は、より多くのクリーンエネルギー技術の実用化に向けた政府戦略を進めるため、低コストかつ高効率の車両電池を完成、普及させる約束を継続する。我々は、協力してこのプロジェクトを進めることで、この上なくクリーンで省エネ型の車両が、実験室を出てショールームで販売を待つようになることを切望している」と続けた。

今回の公募プログラム(FOA)⁴による 3,000 万ドルは、充電なしで最長 40 マイルまで電気走行が可能となるような、電池性能の向上をもたらす解決策を提供するプロジェクトに拠出される。プロジェクトは、プラグインハイブリッド車の価格を 2014 年までに競争力ある価格にし、2016 年までに商業化の目処をたてるという DOE の目標を達成する上で、重大な障壁となる問題にも対処しなければならない。「充電なしで 40 マイルの電気走行」とは、最も一般的な日々の往復通勤距離であり、米国内の一日の平均走行距離の 70%を満たすものである。

応募企業も最低半分の費用負担となるため、研究投資額は総額 6,000 万ドルに達する(そのうち 3,000 万ドルは DOE 負担)。選考を通ったプロジェクトでは、地理的に分散した、いくつかの小さい車両群に分けて PHEV を配置する。PHEV が市場に出た際の操作面や

¹ 編集部注:NEDO 海外レポート 1010 号 <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1010/1010-14.pdf> を参照。

² 編集部注: Plug-In Hybrid Electric Vehicles。家庭用電源からでも充電可能なハイブリッド車。これまでのハイブリッド車よりも電池の容量を増やし、モーターによる電気自動車モードで走行できる距離を長くする。ただし現状の技術では大容量=大型の電池が必要なため、電池の小型化に向けた研究開発が課題。

³ 民間企業が単独で研究開発するにはリスクが大きすぎる段階。

⁴ Funding Opportunity Announcement。

経済面での実現可能性（市場で生き残れるかどうか）を評価し、実証するための実用データを地域別に収集するためである。実験車両に掲載される電池は、DOE の資金で開発した技術の結晶を「陳列」するものとなる。この実証プロジェクトを通じて得られた情報は、高性能の PHEV の構成要素（部品など）が実際の社会でどのように作動するか見極めるために利用される。

OEM（相手先ブランド製造）ではない会社によって PHEV に改造されたハイブリッド電気自動車は、実験室および路上テストの両方で、著しい燃費の向上をみせた。こうした燃費の向上は、高性能電池（車両エンジンからではなく、外部の系統電力インフラからの充電が可能）などの蓄電装置を、車両に追加搭載したことに拠り達成される。OEM 車両の完全統合を促進できれば、既存のリソースと技術情報は最大有効利用され、PHEV の可能性は最大限に現実となるだろう。

2008 年度の DOE のこの FOA への拠出額は 700 万ドルとされ、2009～10 年度には残りの 2,300 万ドルが、議会の承認に応じて投下される。DOE は今回の発表を通じて、1～4 件のプロジェクトを選考する予定（同じ条件で 2 回選考）。第 1 回の書類申請締め切りは 2008 年 2 月 13 日、第 2 回の締め切りは 4 月 30 日。詳細は FOA のウェブサイト⁵を参照のこと。

DOE が州政府および産業界と現在行っている活動の一環として、オルブライト次官はジェニファー・グランホルム ミシガン州知事および OESA⁶ の CEO と共に、USAUTOPARTs の支援に参加する趣意書(MOI)に署名した。この連携によって、企業間の開発競争前段階研究が実施され、また、自動車部品サプライヤーが、新たに誕生する価格競争力の高い技術を、性能を特定して、工場で準備した材料、工程、部品、およびシステムに対して提供することを、確実なものとするだろう。

USAUTOPARTs の努力を促進するために、連邦レベルでは DOE は世界有数の全米の国立研究所（特にオークリッジ研究所）と共に、2008 年から先端研究を行い、最大 900 万ドルの技術支援を開始する。USAUTOPARTs がはじめに焦点を当てる分野は、DOE の「車両技術プログラム」との整合性が非常に保たれている。このプログラムは、大気汚染物質や温室効果ガスの排出を抑制する車両技術とクリーン再生エネルギーを開発するのと同時に、米国の運輸産業が国内および海外で、永続して強固かつ競争優位な地位を維持できることを目的とした計画である。同様の支援や資金拠出は、国防総省も行っている。

USAUTOPARTs は、まず 3 つの研究コンソーシアム（共同事業体）を形成する。これら

⁵<http://doe-iips.pr.doe.gov/iips/faopor.nsf/8df825feb86675de852564650046faea/561b9ce14b56bf41852573b60062a912?OpenDocument>

⁶ Original Equipment Supplier Association. 車両部品サプライヤーが結成した団体。

は参加企業であるサプライヤーと、エネルギー、環境、競争力といった国家の優先事項とが足並みを揃えたものとなる。コンソーシアムの研究分野は、軽量材料、電気・電子温度管理、エンジン燃焼、排出物の後処理となる。サプライヤーなどの参加企業は、既存の研究コンソーシアムあるいは将来設立するコンソーシアムの中から、1 つあるいはそれ以上を選んで参加することが可能である。参加企業は、選択したコンソーシアムの数に応じて財政負担の義務を負う（出向者の提供や現物支給を含む）。

USAUTOPARTS の本部は、ミシガン州シェルビー・タウンシップにある車両総合研究開発センター内（56,000 平方フィート）に設置される予定。同センターは 200 名を収容可能な研究施設を有している。この施設は、デルフィ社（編集部注：GM の最大の部品供給会社で、2005 年に会社更生法が適用され、現在再建中）の会社更生手続きに従い、明け渡しが決まっている。

最新車両技術に関する DOE の詳細な取り組みについては、ウェブサイト⁷を参照のこと。

出典：http://www.energy.gov/print/5850.htm

翻訳：京 希伊子

⁷ http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/

【エネルギー】 省エネルギー（廃熱回収） ナノテクノロジー

シリコンナノワイヤーで熱電モジュールの飛躍的な進歩(米国)

米国エネルギー省(DOE)ローレンス・バークレー国立研究所(バークレー研究所)およびカリフォルニア大学(UC)バークレー校の研究者によって開発された技術により合成されたシリコンナノワイヤーを利用して、発電中に熱として捨てられているエネルギーを利用することが可能になる。この技術の広い範囲にわたる潜在的な応用としては、DOE の水素燃料電池を動力とする「フリーダム・カー」(Freedom CAR)や、携帯電話とか他の電子機器を充電するために人体からの熱を使用することができる個人のパワージャケットが含まれる。

「これは、シリコンでの高性能熱電機能の初めての実証である。シリコンは豊富な半導体であり、そのための廉価で高生産性の加工や実装をする数十億ドルのインフラストラクチャーが既に存在している」と、バークレー研究所と UC バークレー校の両方に所属する、機械工学・材料研究者のアレン・マジウムダールは述べる。「我々は、ウェーハ規模の電気化学合成によって処理された、粗い表面のシリコンナノワイヤーにより、室温での熱電エネルギー効率に大きな向上が可能であることを示した」と、化学者ピードン・ヤンは述べた。彼もこの研究の主任研究者であり、また、バークレー研究所と UC バークレー校の両方に所属している。

マジウムダールは、バークレー研究所環境エネルギー技術部門(EETD : Environmental Energy Technologies Division)の所長に最近指名されており、また材料科学部門にも所属する、エネルギー変換とナノスケール化学工学の専門家であり、ヤンは、バークレー研究所材料化学部門および UC バークレー校化学部に所属するナノサイエンスの第一人者である。

マジウムダールとヤンは、「粗い表面のシリコンナノワイヤーの熱電性能の向上」と題したネイチャー誌 2008 年 1 月 10 日号の報告書*の共同執筆者である。このネイチャー論文は、ユニークな「無電解エッチング」法について報告している。この方法により、水溶液中で数 10 平方インチの面積のウェーハ表面にシリコンナノワイヤーアレイが合成される。この技術は、ウェーハ表面上の銀イオンの減少を通じたシリコンの電気的変位に関係している。

滑らかな表面のナノワイヤーを作り出す他のナノワイヤー合成技術と異なり、この無電解エッチング法は、特に粗い表面を特色とした垂直配向シリコンナノワイヤーアレイを作り出す。粗さが、このシリコンナノワイヤーの驚くほどに高い熱電効率に重要であると考えられている。

「粗い表面は、シリコンナノワイヤーの熱伝導性を 100 倍低下させることに間違いなく役割を果たしている。しかしながら、この時点では、我々はその物理を完全には理解していない。なぜそれが働いているかを正確に説明することができないが、この技術はうまく機能している、とすることができる」とマジウムダールは述べた。

およそ 10 兆 W の世界の電力のほぼ全ては、熱を力学的エネルギーに変換し、その後電気に変換する、巨大なガスタービンあるいは蒸気タービンの熱機関によって発電されている。しかしながら、この熱の多く、およそ 15 兆 W 分は、電力に変換されずに環境中へ熱のまま放出されている。この捨てられている熱のごく僅かな部分でも電力に変換することができれば、エネルギー問題への影響は膨大である。

「現在捨てられている低品位の廃熱の多くを捕捉して電力に変換するために、熱を電力に変換する能力を持つ熱電材料を潜在的に使用することができる。これは、燃料と二酸化炭素排出に大きな節約をもたらすだろう。この同じ装置は、冷凍器やエアコンとして使用することもできる。また、これらの装置は小型化できるので、暖房や冷房をもっと局在化し効率的にすることができる」とマジウムダールは述べる。

しかしながら、科学者やエンジニアが現在継続中の課題は、現実的な十分に効率的な熱電材料を作ることであった。その目標は、「熱電性能指数」あるいは「ZT 値」と呼ばれる性能指数で 1.0 以上の値を実現することである。それは、熱から電力を発電する能力と、材料の電氣的・熱的伝導度の組合せである。これらのパラメーターは、一般に相互依存しているので、この目標への到達は、非常に困難であることが分かっている。最近、テルル化ビスマス半導体とその合金から作られた薄膜やナノ構造で ZT 値が >1 以上が達成された。しかし、そのような材料は、高価で、動作が難しく、また大規模エネルギー変換には役立たない。

「バルクのシリコンは、室温では貧弱な熱電材料である。しかし、導電率を著しく低下させずに、シリコンナノワイヤーの熱伝導性を大きく下げることにより、我々は、直径およそ 50 ナノメートルのシリコンナノワイヤーで、室温での ZT 値 0.60 を得ることができた。ドーピングの最適化と表面粗さの制御の組み合わせと共に、シリコンナノワイヤーの直径を縮小することによって、室温で 1.0 以上の ZT 値を得ることができるに違いない」とヤンが述べる。

ウェーハを溶液に漬け、その表面に寸法の一致した垂直に配向したナノワイヤーの森を成長させる能力は、種々様々の状況で使うことが可能な熱電モジュール製作の門戸を開くであろう。例えば、このようなモジュールは、「フリーダム・カー」車輛の補助電力として、排気ガスからの熱を電力に変換したり、あるいはラジオ、エアコン、パワーウィンドなどを操作するのに、従来の車輛が必要とした電力を提供したりすることができる。熱

電モジュールがスケールアップされた時には、いずれ、ガスタービンや蒸気タービンを持った熱電併給システムでの使用が可能であろう。

「現在捨てられている熱が存在するあらゆる状況で、電力を吸い取ることができる。例えば、熱電モジュールが埋込まれた材料で作られたジャケットを寒い外部で着ている場合、体の熱でモバイル機器を充電することができる。実際、既に熱電発電装置は、体の熱で腕時計に電気を供給する変換に使用されている」とマジウムダールは述べた。

バークレー研究所の研究者は、この現象をよりよく理解するためにその物理を研究し、恐らく、さらなる改善のためにそれを扱うことができるであろう。さらに、彼等は、シリコンナノワイヤーアレイに基づいた熱電モジュールの設計および製作に専念する。バークレー研究所技術移転部は、この技術をさらに開発し商業化するために、現在、産業パートナーを求めている。

* "Enhanced thermoelectric performance of rough silicon nanowires", Allon I. Hochbaum, Renkun Chen, Raul Diaz Delgado, Wenjie Liang, Erik C. Garnett, Mark Najarian, Arun Majumdar & Peidong Yang,
<http://www.nature.com/nature/journal/v451/n7175/full/nature06381.html>

(出典 : <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/MSD-silicon-nanowires.html>)

【エネルギー】 ヒートポンプ 省エネルギー

空気熱源ヒートポンプの出力増加を支援(米国)

空気熱源ヒートポンプは、電気エネルギーよりも約 1.5 倍～3 倍多くの熱エネルギーを家庭へ送り届けることができる。ヒートポンプは、燃焼加熱システムが行うように燃料を熱へ変換するのではなく、熱を移動させることにより、このことが可能である。

米国立標準技術研究所(NIST)の研究者は、エンジニアに熱交換器設計を最適化するコンピュータ基盤ツールを提供することにより、エネルギーの大スターであるヒートポンプの性能をさらに向上させる研究を行っている。

典型的な空気熱源ヒートポンプでは、空気はコイルとして知られている 2 つの冷媒が充填された熱交換器を流れる。一方は屋内に、他方は屋外にあり、その両方のパイプは熱の移動を助けるために金属フィンを持っている。加熱モードでは、屋外コイル内の液状冷媒は、大気から熱を受け取り、冷媒をガスに蒸発させる。屋内コイルは、ガスの冷媒が元の液体へ凝縮する時に、冷媒から熱を放出する。圧縮機の近くバルブは、冷却時に冷媒の流れの方向を切り変えることができる。

空気から冷媒への熱交換器の性能は、不均一な空気流の分布によって低下している。しかしながら、性能の低下は、より多くの空気を受取る場所の冷媒流を増加させる設計変更によって著しく回避することができる。これを達成するために、与えられたシステムでの実際の空気の分布を確認する必要がある。

NIST の研究者は、レーザ照射ダスト粒子により、フィン付管熱交換器の空気流の動きと分布を追跡記録するための、高解像度カメラを使用する試験装置を開発した。これらの非常に正確な実験データは、計算流体力学(CFD : computational fluid dynamics)ソフトウェアで行われた空気流の計算機シミュレーションと比較される。

一度正確な CFD モデルが開発され有効性が確認されれば、エンジニアは、既存の空気の流れを最適化するために、コイルアセンブリや冷却回路類の設計変更に使用する基礎としてこのモデルを使用することができる。

共同研究開発契約(CRADA : Cooperative Research and Development Agreement)の下で、空調冷凍技術研究所(ARTI)によって部分的に資金提供された、この NIST のプログラムは、フィン付管熱交換器の暖房あるいは冷却能力を 5%増加させ、ヒートポンプ効率の向上をもたらすであろう。さらに、このような改善は、メーカーが熱交換器の寸法を縮小することを可能にし、材料費および必要な冷媒量の削減をもたらすであろう。

家庭用空気熱源ヒートポンプに関する NIST の研究結果は、2009 年に報告される予定で、商業ビルや冷凍システムで使用される大型熱交換器にもまた適用可能であると予測されている。

詳細については、www.bfrl.nist.gov/863/HVAC

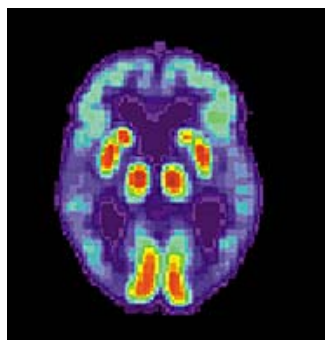
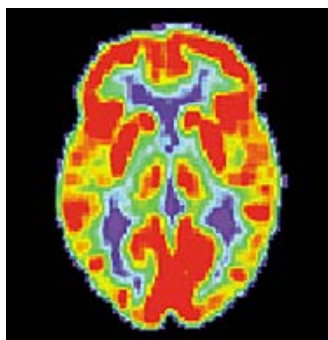
(出典 : http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2008_0123.htm#flow)

【産業技術】 ライフサイエンス

PET（陽電子放射断層撮影法）用放射性薬剤の「代役」（米国）

ブロードウェイ・スターには代役がいるものだが、年々普及の進む放射性アイソトープ¹にも「代役」となる物質が現れる日が来たようだ。米国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology : NIST)の研究者らも開発に関わっているこの物質は、今後、医療画像診断の進歩や薬剤の臨床試験の加速化、またより個別化された医療の実現に向けた取り組みの促進などをもたらす可能性がある。

陽電子放射断層撮影法(PET)²と呼ばれる技術を使って撮影される医用画像の数は年に20%の割合で増加しており、それに伴いフッ素 18(¹⁸F)の使用も増加している。フッ素 18は PET 検査で最も一般的に利用されている放射性アイソトープである。検査ではまず、フッ素 18などの放射性アイソトープが「担体」となる分子に結合されて血流中に注射される。この薬剤が体内で発する放射線を PET 装置で検出することにより、腫瘍の発見や心臓動作のモニタリング、あるいは特定の作業をするときに活動する脳の領域の判定などが行われる。



PET 装置で撮影された画像の例。左の画像は正常な脳の状態を示しており、右の画像はアルツハイマー病の特徴が現れた脳を示している。

(Alzheimer's Disease Education and Referral Center, National Institute on Aging)

しかし、フッ素 18は寿命が非常に短く、注射されて2時間未満で半分に減少し、一日経過すると体内残量は10分の1未満となる。このように減少速度が非常に速いことから、一つの研究所で精密に測定したフッ素 18溶液を遠方の施設に配布して PET 装置のキャリブレーション³に利用するということができない。つまりフッ素 18には基準となる標準物

¹ 放射性アイソトープ： 同じ元素でありながら中性子の数が異なる原子同士のことをアイソトープ（同位体）という。これらのアイソトープのうち、不安定な構造を持ち放射線を出すことで安定したアイソトープになるもののことを放射性アイソトープという。ラジオアイソトープ、あるいは放射性同位体とも呼ばれる。

² 陽電子放射断層撮影法(PET)： 陽電子（ポジトロン）という放射線を出す物質を含む薬剤を体内に注射し、その放射線を PET 装置で検出することによって薬剤の体内分布を画像化し病気の診断を行う検査法。

³ キャリブレーション： 基準値と比較して計測器等の偏りを正しくなるように調整すること。較正とも呼ばれる。

質が存在しないため、PET の測定値を異なるセンター間や異なる患者間で比較したり、同一患者の測定値を経時的に比較したりすることが困難、あるいは不可能になっている。

NIST の研究者らは、オハイオ州に拠点を置く核医学関連企業 RadQual 社と共同で、フッ素 18 のキャリブレーション・サロゲート物質⁴としてゲルマニウム 68(⁶⁸Ge)溶液の開発に取り組んでいる。このゲルマニウム・アイソトープの寿命はフッ素 18 よりもはるかに長く、半減期は 270.95 日である。ただし、この点を除けばゲルマニウム 68 の放射性崩壊⁵はフッ素 18 と類似した性質を持っており、それぞれの計測値の間に生じる僅かな差は、数学的な「換算係数」によって解決することができる。ゲルマニウム 68 は、実際の PET 検査には決して利用されず、フッ素 18 アイソトープを使った検査の精度を上げるために装置を正しく調整するという用途にのみ利用される。ゲルマニウム 68 は以前から PET スキャナーの補正に利用されていたが、これまで業界には国家標準にトレーサブル⁶なキャリブレーションを実現するための標準物質が存在しなかった。

NIST の研究者らは、このアイソトープの新しい標準物質の土台となり得るゲルマニウム 68 溶液のキャリブレーションを既に終えている。プロジェクトの次の段階では、RadQual 社との協力の下で、エポキシ樹脂に固定されたゲルマニウム 68 を使って注射器内のフッ素 18 をシミュレートするための、新しい「模擬」注射基準量が定められる。この技術により PET 検査で患者に注射するフッ素 18 の量をより正確に決定することができるようになるため、放射線量を最低限に抑えつつ最高の画像を得ることが可能になる。NIST はまた、ゲルマニウム 68 を基にした PET ファントム⁷の開発にも単独で取り組んでおり、これが実現すれば NIST にトレーサブルな PET 装置のキャリブレーションが可能になる。

今年後半には、この共同研究で開発された最初の製品が PET センターで利用できるようになる可能性があるという。PET 画像診断における基準の整備が進めば、特定の患者におけるガン治療の効果がより正確にわかるようになる。また臨床試験においても、個々の患者が特定の薬剤をどのように代謝しているかが、より早い段階で、より正確にわかるようになる。これらの進歩により、個別医療の到来が加速化されることになるかもしれない。

出典：Radioactive ‘Understudy’ May Aid Medical Imaging, Drug Development

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2008_0108.htm#radioactive

翻訳：桑原 未知子

⁴ サロゲート物質： 目的の物質と同じ化学的性質を持つ指標物質。

⁵ 放射性崩壊： 放射性アイソトープが放射線を放出して壊れること。

⁶ 国家標準にトレーサブル： 計測器を較正する標準器や標準物質は、さらにより正確な標準器/物質によって較正される。このような較正の連鎖が最終的に国家標準である標準器/物質に辿り着ける状態を「国家標準にトレーサブルである」という。

⁷ PET ファントム： 放射線による人体内での被爆量を計測するための模擬人体。

【産業技術】 **ナノテクノロジー**

計測の革新は半導体の大きな節約につながる(米国)

米国立標準技術研究所(NIST)からの新しい報告書*は、計測科学への投資が、先端技術セクターの革新、生産性、成長および競争力に劇的な効果を持ち続けることを示している。

例として半導体産業を引用して、RTI インターナショナル(RTI : www.rti.org)によって NIST のために行われた解析は、1996 年からの 10 年間に計測機能の進歩に費やされた 120 億ドルが、このセクターに個々に 510 億ドル以上の節約をもたらし、さらに 2011 年までの改革コストを節約する、と評価している。およそ 390 億ドルの実質的な利益である。

RTI は、測定に費やされた 1 ドル毎に、全体として産業は 3.30 ドルの利益を得ていると推測している。(インフレ調整のため、ドルの価値は、2006 年米国ドルに相当)

この報告書は、半導体メーカーと関連利害関係者のコンソーシアムである国際半導体技術ロードマップ(ITRS: International Technology Roadmap for Semiconductors)によって進められた測定技術への戦略集中が、欠陥率の減少および半導体形状の小型化を通じて産業界と消費者の両方に役立つことを発見している。この取り組みを通じて促進された進歩は、特に、価格低下、高品質と、さらに高速の処理速度をもたらしている。

測定技術は、半導体産業が「ムーアの法則」に従って行くことを可能にしてきた。「ムーアの法則」は、1 つのチップ当たりのトランジスターの数が 2 年ごとに 2 倍になると予測している。半導体産業界は、1990 年代の初めまでに、ナノスケールに分類する形状を扱う能力なしで、このベンチマークを満たすことはもはや可能ではない、ということを認識していた。

この報告書は、品質、設計、ソフトウェアおよび相互運用性を際だって改善する一方で、メーカーがチップあたりの可能なトランジスター数を 1996 年の 310 万個から 2006 年の 17 億個に増加させるのを助けた要因のうちの 1 つとして、ITRS とその前身で調査されたナノスケール計測能力の拡大イニシアティブを評価している。

この報告書は、半導体産業への計測科学の重要性を強調し、産業がこのままのペースを続ける場合、さらなる改善が必要とされるいくつかの領域を明らかにしている。これらの領域は、新しくより正確な較正、相互運用性およびテスト標準と同様に、32 ナノメートルの形状長さを測定する新しい標準、無線周波電磁エネルギーや高周波磁場を制御する新しい技術、および、よりよい化学物質や材料標準の必要性を含んでいる。

RTI は、この解析のための情報を質問調査と他の方法を通じて収集している。回答された質問は、半導体産業からが 80 パーセント以上を占めた。また、その結果は全体として半導体産業を代表としていると捉えることができる。RTI が、生産性への効果を品質の向上ではなく、定量面で評価することができたという点で、この解析結果は妥当なものとして捉えられるであろう。

*Economic Impact of Measurement in the Semiconductor Industry is available on the NIST Web site at http://www.nist.gov/director/planning/policy_studies.htm

Economic Impact of Measurement in the Semiconductor Industry (Planning Report #07-2) : <http://www.nist.gov/director/prog-ofc/report07-2.pdf>

(出典 : http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2008_0108.htm#measurement)