

本資料は 年 月 日付けで登録区分、

変更する。

01.10.-4

[技術情報室]

リスク評価手法を用いた環境影響評価に関する調査研究(Ⅱ)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1998年2月

財団法人 原子力安全研究協会

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また、今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107-8445 東京都港区赤坂1-9-13
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部 技術管理室

リスク評価手法を用いた環境影響評価に関する調査研究(Ⅱ)

松本 史朗※

要 旨

本調査研究の目的は、個々の施設の安全性にのみ着目した環境影響評価ではなく、核燃料サイクル全体を通しての地球規模での環境影響評価を行うための手法等の検討を行い、他のエネルギー源に係る環境影響との相対的評価手法の基礎を確立することである。

このため本年度は上記目的達成のため以下の調査を行った。

(1) 各種エネルギー源に係るリスクプロセス、リスクソース等の調査研究

既存の核燃料サイクルに関するリスクベネフィット研究、環境影響評価を行うソフトウェアについて調査を行った。

(2) リスク評価手法に関する調査研究

大気汚染物質である酸性物質の広域輸送について調査を行った。

(3) 一般公衆のリスク認知に係る社会科学的評価手法に関する調査研究

リスク受容、リスクへの対応としての保険について調査を行った。

(4) 各種エネルギー源へのライフサイクルアセスメント手法適用に関する調査研究

ライフサイクルアセスメント評価事例について調査を行った。

本報告書は、(財)原子力安全研究協会が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号 090D0186

事業団担当者 住谷 秀一 (本社 安全部安全管理課)

片桐 裕実 (東海事業所 安全管理部環境安全課課長)

森田 重光 (東海事業所 安全管理部環境安全課副主任研究員)

※環境安全総合評価専門委員会委員長(埼玉大学教授)



OFFICIAL USE ONLY

PNC LJ1533 98-003

February 1998

Investigation and research on the environmental impact assessment
using the risk evaluation technique(II)

Shiro Matsumoto ※

Abstract

The purpose of this research is that it examines techniques for carrying out not environmental impact assessment which noticed only the safety of facilities here but environmental impact assessment at a global scale throughout the whole nuclear fuel cycle, etc. and establishes the base of the relative evaluation technique with the environmental effect which concerns other energy source.

The following items have been studied in this year.

- (1) Investigation research of risk processes and risk sources which concern the energy source variously, etc.
- (2) Investigation research on the risk evaluation technique.
- (3) Investigation research on the socioscientific evaluation technique which concerns the risk recognition of the general public.
- (4) Investigation and research on the life cycle assessment technique application to the energy source variously.

Work performed by Nuclear Safety Research Association under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison: Shuichi Sumiya, Safety Division, Head Office.

Hiromi Katagiri, Health and Safety Division, Tokai Works.

Shigemitsu Morita, Health and Safety Division, Tokai Works.

※ Chairman of Expert Committee on Approaches of Environmental Safety Evaluation for Radioactive Effluents. (Saitama University)

環境安全総合評価専門委員会

委員構成

平成10年2月現在

(敬称略, 五十音順)

委員長	松本 史朗	埼玉大学工学部教授
委員	市川 陽一	(財)電力中央研究所狛江研究所 大気科学部上席研究員
”	稲葉 敦	資源環境技術総合研究所 エネルギー資源部燃料物性研究室長
”	大橋 弘士	北海道大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教授
”	大原 利真	(財)計量計画研究所環境資源研究室主任研究員
”	小佐古敏荘	東京大学原子力研究総合センター助教授
”	杉浦 紳之	東京大学原子力研究総合センター助手
”	鈴木 正昭	東京工業大学原子炉工学研究所助教授
”	福井 正美	京都大学原子炉実験所助教授
”	本間 俊充	日本原子力研究所東海研究所 環境安全研究部環境影響解析研究室副主任研究員
”	保田 浩志	放射線医学総合研究所第3研究グループ 第3サブグループ研究員

目 次

まえがき	1
第1章 各種エネルギー源に係るリスクプロセス、リスクソース等の調査研究	3
1.1 はじめに	3
1.2 核燃料サイクルに関するリスクーベネフィットについてのレビュー	3
1.2.1 Environmental Costs of Electricity	3
1.2.2 Social Costs of Energy Consumption	4
1.2.3 Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity	4
1.2.4 Abschätzung der Schaden durch einen sogenannten Super-GAU	5
1.2.5 Broad Economic Impact of Nuclear Power	5
1.2.6 Ontario Hydro's Study	5
1.2.7 CEPNによるECの原子力研究の最新の結果	6
1.2.8 まとめ	6
1.3 PC-CREAM 97	7
1.3.1 PC-CREAM 97について	7
1.3.2 仕様	7
1.3.3 動作条件	8
第2章 リスク評価手法に関する調査研究	10
2.1 はじめに	10
2.2 越境大気汚染	10
2.3 長距離輸送の間に起こる物理、化学現象	12
2.4 長距離輸送の解析	14
2.4.1 解析の必要性	14
2.4.2 解析方法	15
2.5 発生源寄与の見積もり	16
2.6 国際的な議論	17

2.7	まとめ	19
第3章	一般公衆のリスク認知に係る社会科学的評価手法に関する調査研究	31
3.1	はじめに	31
3.2	リスク・パーセプション	31
3.2.1	リスク・パーセプションとは	31
3.2.2	リスク・パーセプションの領域	31
3.2.3	リスク・パーセプションのメカニズム	32
3.2.4	リスク認知とバイアス	33
3.2.5	リスク・パーセプションの分類軸	34
3.2.6	リスク・パーセプションにもとづくリスク対応行動のタイポロジー	35
3.2.7	リスクの許容限界	36
3.3	巨大リスクへの対応としての保険	39
3.3.1	保険という仕組み	39
3.3.2	保険引き受けと巨大リスク	45
3.3.3	原子力保険	48
第4章	各種エネルギー源へのライフサイクルアセスメント手法適用に関する調査研究	56
4.1	はじめに	56
4.2	発電施設のエネルギー収支分析	57
4.3	発電システムの温暖化ガス排出量	59
4.4	技術進歩による改善効果	61
4.5	原子力新技術による改善効果	62
4.5.1	原子力新技術	62
4.5.2	エネルギー収支	63
4.5.3	温室効果ガスの排出量分析	63
4.6	まとめ	64
	あとがき	71
	付録	73

諸表リスト

- 表2.1 硫黄酸化物の発生・沈着マトリクス（1994年）：1000トン（硫黄換算）
EMEPの資料を改編
- 表2.2 長距離輸送の解析方法
- 表2.3 日本に沈着する酸性降下物の発生源寄与の見積もり（％）
- 表2.4 ESENA会議における発表論文一覧
- 表3.2.1 リスク認知バイアス
- 表3.3.1 PMLと類似の言葉
- 表3.3.2 Uninsurable Risk
- 表3.3.3 世界各国の原子カプール一覧表
- 表3.3.4 日本のプール組織引受金額
- 表3.3.5 アメリカプールの提供額
- 表4.1 原子力新技術の分類

諸図リスト

- 図1.3.1 A simplified overview of the PC-CREAM system
- 図2.1 酸性雨の原因物質の発生から沈着に至る過程
- 図2.2 非塩海の硫酸イオンの季節別湿性沈着量
- 図2.3 中国炭およびロシア炭中燃焼性硫黄の硫黄同位体比（左，単位‰）
および非塩海起源硫酸イオン濃度と硫黄同位体比の関係（右）
- 図2.4 隠岐島での大気中の鉛同位体比
- 図2.5 大気中の ^{222}Rn と ^{212}Pb 濃度の関係（左）および遠方から輸送される ^{222}Rn 濃度の季節変動
- 図2.6 収支計算の概念（上）と硫黄化合物の人為発生量に対する全沈着量（乾性+湿性）の比率（下，w：暖候期，c：寒候期）
- 図2.7 人間活動にともなう二酸化硫黄の排出量（1990年）
- 図2.8 日本に沈着する硫黄化合物に対する発生源寄与
- 図2.9 日本の5地点に沈着する硫黄化合物に対する発生源寄与
- 図3.2.1 リスク認知の概念図
- 図3.2.2 危機に対する反応の4つのタイプ
- 図3.3.1 生命保険と損害保険のリスクの違い
- 図3.3.2 保険・共済の社会的効用
- 図3.3.3 原子力損害考え方
- 図3.3.4 再保険の概念図
- 図3.3.5 原子力保険の概念
- 図4.1 発電プラントのプロセス
- 図4.2 発電システムのエネルギー収支比（寿命30年）
- 図4.3 発電システムの正味エネルギー収支（1,000MW，寿命30年）
- 図4.4 発電システムの温暖化影響
- 図4.5 技術進歩による発電システムの CO_2 排出原単位

図4.6 プルサーマルの燃料サイクル諸量

図4.7 高速増殖炉の燃料サイクル諸量

図4.8 原子力新技術エネルギー収支比

図4.9 原子力新技術によるCO₂排出量

まえがき

核燃料サイクル諸施設から放出される放射性物質の環境へ与える影響に関する研究については、原子力安全委員会においてとりまとめられている環境放射能安全研究年次計画に示されるように、環境・線量研究、生物影響研究、内部被ばく研究、安全評価研究等の各分野ごとに各研究機関が独立する形で実施され、それぞれの分野において研究の成果が蓄積されている。しかし、これらの研究は、核燃料再処理、廃棄物の処理・処分等、個々のプロジェクト中での局地的な評価が主なものである。しかしながら、昨今のプルトニウム利用をめぐる国内外の関心の高まり、さらには原子力はもとより自然環境汚染に関しても広域的な酸性雨問題やフロン、炭酸ガスの地球温暖化現象等の生態系も含めた地球規模での環境問題に対する意識が高まる等、核燃料サイクル全体を取り巻く社会情勢が大きく変わりつつある。

これらの背景を考慮し、これまで実施されてきたような個々の施設の安全性のみ着目した環境影響評価ではなく、他のエネルギー源に係る環境影響との相対的評価手法を含めた調査研究を行うことは意義あることである。

このような観点から本調査研究では以下の項目について基礎的検討を行った。

- ①各種のエネルギー源に係るリスクプロセス、リスクソース等の調査研究
- ②リスク評価手法に関する調査研究
- ③一般公衆のリスク認知に係る社会科学的評価手法に関する調査研究
- ④各種エネルギー源へのライフサイクルアセスメント手法適用に関する調査研究

第1章では、各種エネルギー源に係るリスクプロセス、リスクソース等の調査研究として、既存の核燃料サイクルに関するリスクベネフィット研究について調査を行った。また、NRPBより入手した環境影響評価を行うソフトウェアについての概要を紹介した。

第2章では、リスク評価手法に関する調査研究として、東アジア地域での大気環境問題の広域化が進む中で、大気汚染物質の一つである酸性物質の広域輸送について調査を行った。

第3章では、一般公衆のリスク認知に係る社会科学的評価手法に関する調査研究として、リスクパーセプション、巨大リスクへの対応としての保険について調査を行った。

第4章では、各種エネルギー源へのライフサイクルアセスメント手法適用に関する調査研究として、原子力発電システムのライフサイクル分析について調査を行った。

第1章 各種エネルギー源に係るリスクプロセス、リスクソース等の調査研究

1.1 はじめに

昨年度行った核燃料サイクルに関して、外部コストを含めたリスクーベネフィットについての欧米での研究について、再整理を行った。また、NRPBより入手した環境影響評価を行うソフトウェアについての概要を紹介する。

1.2 核燃料サイクルに関するリスクーベネフィットについてのレビュー

昨年度レビューを行った文献は、Environmental Costs of Electricity; Pace University (1990), Social Costs of Energy Consumption; Olav Hohmeyer (1988), Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity; M. A. DeLuchi (1991), Abschätzung der Schaden durch einen sogenannten Super-GAU; Ewars and Rennings, Broad Economic Impact of Nuclear Power; Nuclear Energy Agency (1992), Ontario Hydro's Study; Ontario Hydro (1993), およびCEPNによるECにおける核燃料サイクルに関する研究である。今年度は、これら文献の内容の再整理を行った。以下に各研究について再整理して得られた要点を述べる。

1.2.1 Environmental Costs of Electricity

(1) 特徴・位置づけ

- ・原子力施設の通常運転にともなう事故、および炉の苛酷事故に分類をしている
- ・電気の環境コストに一つの道を設定した出発点

(2) 方法

- ・炉の事故確率
- ・健康コスト(DOEデータ、チェルノブイリデータ)
- ・財産の損失(チェルノブイリデータ他)

(3) その他

- ・フロントエンドのコスト、廃棄物処分・熱汚染のコストなどは除外

(4) 結果

- ・ ルーチン運転時：0.11cents/kWh
- ・ 炉の苛酷事故の外部性の評価：2.3cents/kWh(電力生産コストと同程度)
- ・ 仮定に大きく依存

1.2.2 Social Costs of Energy Consumption

(1) 特徴・位置づけ

- ・ ドイツの全損失を見積もり
- ・ 燃料サイクル外部性評価の萌芽的研究

(2) 方法

- ・ トップダウン的アプローチ
- ・ 炉心溶融事故の影響の定量化(チェルノブイリデータ)

(3) その他

- ・ ルーチン運転の影響は除外

(4) 結果

- ・ ルーチン運転時：0.11cents/kWh
- ・ 炉の苛酷事故の外部性の評価：電力生産コストと同程度
- ・ 仮定に大きく依存

1.2.3 Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity

(1) 特徴・位置づけ

- ・ 温室効果ガスに対するエネルギーオプションの影響
- ・ 核燃料サイクルからの温室効果ガスの放出を含む

(2) 方法

- ・ 核燃料サイクルから結果的に放出される温室効果ガス量を評価

(3) 結果

- ・ 核燃料サイクルの生産電力の kWh 当たりの炭酸ガスの g 数で評価(詳細は不明)

1.2.4 Abschätzung der Schaden durch einen sogenannten Super-GAU

(1)特徴・位置づけ

- ・原子カリスクの経済性評価

(2)方法

- ・トップダウン的アプローチ
- ・炉心溶融(放出はチェルノブイリの2倍を仮定)

(3)結果

- ・炉の苛酷事故の外部性の評価：電力生産コストと同程度
- ・仮定に大きく依存

1.2.5 Broad Economic Impact of Nuclear Power

(1)特徴・位置づけ

- ・環境・健康影響をルーチン運転に起因するリスクと事故にともなうリスクに分離

(2)方法

- ・損失関数アプローチ

(3)結果

- ・炉の苛酷事故の外部性の評価：電力生産コストの約1%

1.2.6 Ontario Hydro's Study

(1)特徴・位置づけ

- ・カナダを対象とした全原子カシステムの外部性の予備的評価

(2)方法

- ・損失関数アプローチ

(3)結果

- ・全燃料サイクルの外部性評価：0.01～0.07mills/kWh
- ・炉の苛酷事故の外部性の評価：サイクル外部性中最大

1.2.7 CEPNによるECの原子力研究の最新の結果

(1)特徴・位置づけ

- ・地理的要素：Local(0～100km), Regional(100～1,000km), global(1,000km～)
 - ・時間的要素：短期(1年以下), 中期(1～100年), 長期(100～100,000年)
- に分類

(2)方法

- ・損失関数アプローチ

(3)結果

- ・(例) 長期的影響
 - 通常時の環境・健康影響：最大 3.12mille/kWhs
 - 炉の苛酷事故の外部性の評価：通常時の5%増加
- ・長期的には¹⁴Cが重要であることを見いだした。

1.2.8 まとめ

- ・Hohmeyerの研究から約10年が経過し、核燃料サイクルの外部性に関する研究は進み、トップダウン的なアプローチから損失関数アプローチが主流になってきている。
- ・トップダウン的アプローチでは、得られた結果が用いた仮定に強く依存しており、ルーチン運転に起因する外部性、苛酷事故に起因する外部性がともに大きな値となる。
- ・損失関数アプローチでは、一般に苛酷事故に起因する外部性はルーチン運転に起因する外部性の数%と小さく見積もられる傾向にある。
- ・これほどの大きな違いが、感覚的、主観的なリスクについての考察に依存しているのではなく、技術的な評価から生じている点に注目すべきである。
- ・今後の課題としては、トップダウン的アプローチあるいは損失関数アプローチといった方法論の妥当性の評価、損失関数アプローチによって得られた最新の結果の妥当性の評価、日本の核燃料サイクルへ適用をする場合についての技術的問題点の抽出、社会的受容性の評価についての検討が挙げられる。

1.3 PC-CREAM 97

今年度、NRPBより入手した影響評価を行えるソフトウェア PC-CREAM 97 について、このソフトウェアの概要、仕様などについて以下に述べる。

1.3.1 PC-CREAM97について

PC-CREAM97 は通常時の放射線影響評価と放射性核種の定常放出のモデルとデータのセットである。パッケージに含まれている主な構成は以下の通り。

- ・環境だけでなく放射性核種の移行を推定する環境中の移動モデル
- ・大気、海洋および河川への年間放出のモデル化
- ・被ばく経路の広範囲なリスト
- ・ICRP60 で決められているような実効線量を用いて、個人あるいは集団線量評価
- ・規制目的、健康影響の研究のために、仮想的なサイトからの放射性核種の放出の放射線影響を評価するための簡便さ

1.3.2 仕様

PC-CREAM97 は評価プログラムと 5 つのサポートプログラムの計 6 個のプログラムから構成されている。この評価プログラムとサポートプログラムなどの全体の関係を図 1.3.1 に示す。

(1) 評価プログラム (ASSESSOR)

ASSESSOR はこのシステムの重要な線量評価を行う。サイトや評価特性についてはデータ入力画面を通してユーザーが入力する。放射性核種の放出速度、そして場所、被ばくした個人の年齢集団のようなデータはすでに入力されており、利用者が被ばく経路のリストから選ぶ。すべての適切なデータが入力されたら、評価計算を行う。計算された線量はファイルとし、図表形式で表示される。

このプログラムはシステム、サポートプログラムを使い利用者が作成した、あるいはそれら自体のプログラムが作成した CREAM フォーマットで与えられるデータライブラリ入力を使っている。

河川への放出は多くのサイト特異性があり、そのため PC-CREAM97 には単純

な希釈モデル、より複雑な動的河川モデル、この2つの河川モデルが評価プログラムに組み入れられている。

評価を通じて、すべての点についてオンラインヘルプの機能がある。

(2) サポートプログラム

(i) FARMLAND

空気中から沈着し食物へ移行する放射性核種モデルを含む、動的な地球上の食物連鎖モデル。出力は以下の食物についての年平均放射能濃度である。牛の肉、レバーと牛乳、羊の肉とレバー、葉緑野菜、根菜、果物と穀物生産物。

(ii) PLUME

大気中の平均放射能濃度を計算する Gaussian plume 大気拡散モデル。空気で輸送する放射性物質からの堆積物や外部の γ 線被ばくを含めているモデルである。

(iii) DORIS

海水と、海洋沈殿物中の放射能濃度の計算を含めたヨーロッパ海域での海洋拡散モデル。

(iv) GRANIS

土壌中の堆積した放射能からの個人への外部 γ 線被ばくを計算するモデル。

(v) RESUS

以前に堆積した放射能の再懸濁をする大気中の年平均放射能濃度を計算する時間依存再懸濁モデル。

1.3.3 動作条件

PC-CREAM97 は以下の要件を満たす Microsoft Windows Version3.1, 3.11 および Windows95 の動作する PC で動作する。

- ・ CPU 80486 DX2 プロセッサ以上
- ・ 4 Mbyte の RAM (8 Mbyte を推奨)
- ・ 3.5 インチフロッピーディスクドライブ
- ・ マウス

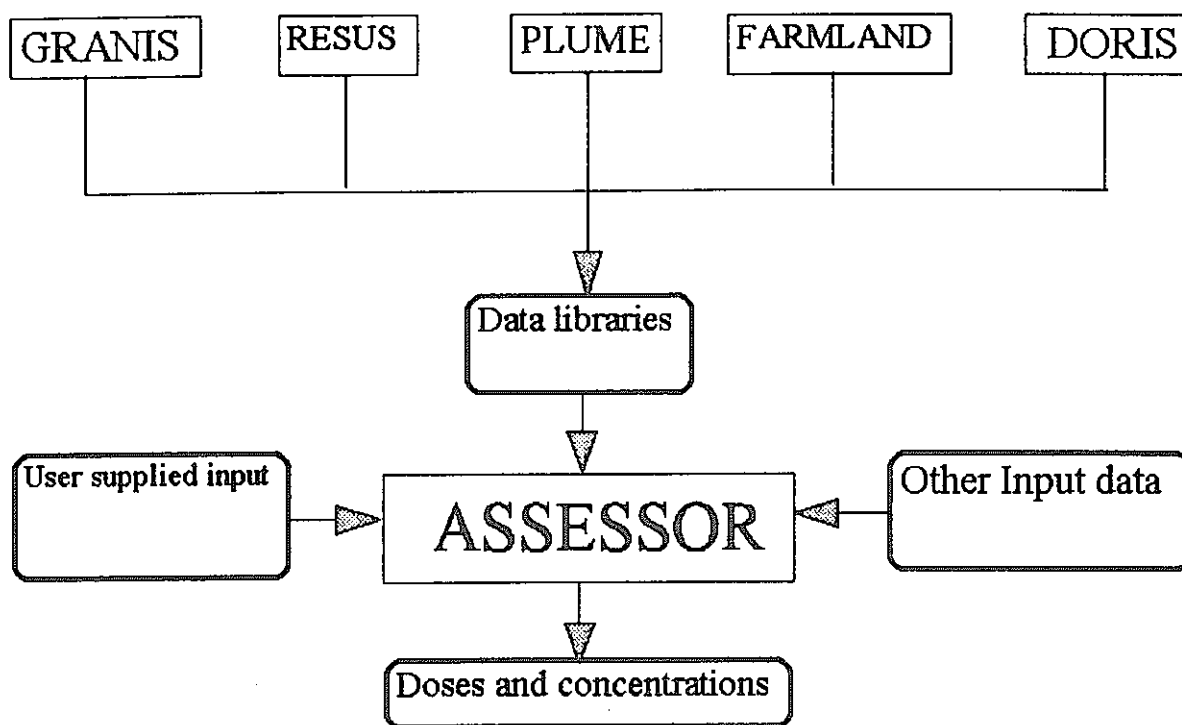


图 1.3.1 A simplified overview of the PC-CREAM system

第2章 リスク評価手法に関する調査研究

本章では、東アジア地域での大気環境問題の広域化が進む中で、大気汚染物質である酸性物質の広域輸送について、これまでの知見について整理を行った。

2.1 はじめに

大気環境問題の広域化が進む中で、酸性雨は地球温暖化、オゾン層の破壊とならんで、重要かつ社会的関心の高い現象である。現在、酸性雨が最も注目を浴びている地域は、人口増加や最近翳りは見られるものの経済成長が著しいアジアである。アジアにおける酸性物質の広域輸送の解析は、1990年代に入って行われるようになり、そして最近では、大気汚染物質がどこからどこへ運ばれたかという発生源寄与、つまり越境大気汚染の解析結果も報告されるようになってきている。1992年に越境大気汚染の解析結果が最初に報告されたときは、国内や近隣国でいろいろ物議を醸したが、ようやく国際的に議論できる雰囲気になりつつある。ここでは、アジアにおける越境大気汚染の解析現状について述べる。

2.2 越境大気汚染²⁾

大気汚染物質の輸送距離が1,000kmを超えると、もはや自分の国だけの問題ではなくなり、国境を越え近隣の国々へ影響を及ぼすことになる。国境を越えた大気汚染、つまり越境大気汚染の問題が生じる。酸性雨が越境大気汚染問題として注目を浴びたのは、1972年にスウェーデンのストックホルムで開催された国連人間環境会議である。スウェーデンやノルウェーでは、1950～60年代頃から多くの河川、湖沼で酸性化が進み、魚がいなくなるなど水生生物に被害が現れた。このような北欧の陸水の酸性化は、イギリス、ドイツの工業地帯から輸送される硫酸化物が原因というのである。同様のことは、1970年代にカナダとアメリカの間でも起こっている。カナダとアメリカの国境付近で湖沼の酸性化、森林被害が起り、カナダはアメリカに対し排出源対策を要求した。初め、それらの主張の真偽について国の間で論争があったが、やがて協力して酸性雨のモニタリング、長距離輸送の解析、評価

を行うようになった。

ヨーロッパでは、経済協力開発機構(OECD)が、国連人間環境会議が開催された同じ年に、LR TAP (Long Range Transport of Air Pollution)という大気汚染物質の長距離輸送に関するプロジェクトを発足させた。この中で、大気汚染物質の長距離輸送を解析する計算モデルを用いて、後述する表 2.1 に示すような国境を越えて移動する硫黄酸化物の量を定量的に把握した。さらに、1977年の欧州モニタリング評価計画(EMEP: European Monitoring and Evaluation Program)、1979年の国連欧州経済委員会の長距離越境大気汚染条約により、酸性雨の原因物質排出量データベースの作成、降水とガス状、粒子状物質のモニタリング、長距離輸送の解析などが進められた。

アメリカとカナダでも 1970年代の後半から降水の観測網が整備され、1980年には両国間で越境大気汚染に関する覚書が締結された。1980年には米国酸性降下物評価計画(NAAP: National Acid Precipitation Assessment Program)が発足した。こうして、アメリカとカナダの排出量データベースの作成、モニタリングネットワークからのデータ収集、長距離輸送の解析と評価などが行われた。さらに、1991年には両国間で大気保全に関する二国間協定が結ばれ、大気保全に関する活動が協力して行われるようになった。

ヨーロッパ、北米では上述の国際的な調査、研究が実を結び、酸性雨の原因物質の削減、抑制につながった。ヨーロッパにおける酸化硫黄の排出量は、1985年に締結されたヘルシンキ議定書により、「1993年までに1980年と比べて30%削減する」ことが決められた。窒素酸化物は、1988年に締結されたソフィア議定書により、「1994年までに1987年の排出量に凍結する」ことが決められた。アメリカでは、1990年の大気浄化法の改正により、「二酸化硫黄の排出量を1980年レベルより1,000万t削減(1990年を基準にすると2000年までの10年間で約50%削減)する」ことになった。これらの取り決めによって、欧米では大気汚染物質の排出量が着実に削減、抑制された。アメリカについて見ると、1986年から1995年の10年間で、二酸化硫黄は37%、窒素酸化物は14%、ヨーロッパ連合(EU)については、1990年から1994年の5年間で、二酸化硫黄は27%、窒素酸化物は10%削減された³⁾。表 2.1 はヨー

ヨーロッパにおける硫黄酸化物の長距離輸送を解析し、発生と沈着の関係を評価した結果である。上欄に汚染物質の排出国、左欄にそれらが沈着する国が記載されている。この表はE M E Pの越境大気汚染の資料をもとに、国を抜粋して作成した。もとの表はヨーロッパ38ヶ国間の関係(マトリクス)になっている。この表から、例えば、スウェーデンに沈着する硫黄のうち9,700 tは国内で排出された分、21,800 tはドイツ、14,700 tはポーランド、14,100 tはイギリスから輸送されてきた分ということがわかる。また、スウェーデンに沈着する硫黄酸化物の93%は国外から輸送されてくることがわかる。ヨーロッパではこのような表が毎年、ごく当たり前に作成され、硫黄酸化物や窒素酸化物の発生源対策に貢献している。

ヨーロッパや北米においては、このように越境大気汚染に対して国際的な対応がとられてきている。これに対し、近年、大気汚染の広域化が懸念されている地域がアジアである。最近、経済に翳りが見られるものの、アジアの実質G N P(国民総生産)の成長率は1984～94年の10年間の年平均で4.6%(先進国の集まりであるO E C Dは2.6%)であったし、人口は毎年1.8%ずつ(O E C Dは0.8%)増加している。こうした経済成長、人口増加に伴う大気汚染物質の排出量の著しい増大により、すでに重大な大気汚染が局地的に生じている国がある。そして、将来的にはかつてのヨーロッパ、北米のような問題に発展するのではないかと心配されている。酸性雨のような広域大気汚染の影響を未然に防止するには、国際的な取組みが必要なことは、欧米の例を見るまでもなく明らかである。その第一歩として、環境庁は酸性雨のモニタリングとネットワーク化を提唱し、東アジアの国々と共に、東アジア酸性雨モニタリングネットワークを1988年に試行し、2000年には正式稼働させることとなっている。

2.3 長距離輸送の間に起こる物理、化学現象²⁾

図2.1は酸性雨の原因物質の発生から沈着に至る過程を示している。大気中には様々の汚染物質が、例えば人間活動にともなって工場、自動車などから、また、自然活動にともなって火山、生物、雷放電などから排出されている。その中で、硫黄酸化物と窒素酸化物が酸性雨の大きな原因となっている。他にも、塩化水素が酸性

雨の原因となるが、先の2物質に比べると寄与は小さい。また、海からは硫黄化合物として、植物プランクトンが生産する硫化ジメチルなどが発生するが、大部分は海域に沈着して、降水の酸性化にはあまり寄与はしていない。

大気中に排出された硫黄酸化物、窒素酸化物は、風によって輸送される過程で酸化され、ガス状の硫酸、硝酸になる。二酸化硫黄が硫酸になるには5日位、窒素酸化物が硝酸になるには1日位かかる。さらに硫酸や硝酸は凝縮して1 μm 以下の小さな粒子になる。これは2次粒子と呼ばれる。酸化や粒子化には光化学反応の働きが大きい。硫酸や硝酸の一部は、土壌粒子に含まれるカルシウムイオンや大気中のアンモニアによって中和されて、硫酸塩や硝酸塩を作る。2次粒子は他の浮遊粒子状物質とともに雲の凝結核になり、雨や霧に生長する。二酸化硫黄は光化学反応でできた過酸化水素やオゾンとともに、大気中の水滴に溶け込んで硫酸になる。一方、窒素酸化物の水滴での酸化は生じにくい。

雨ができる前に汚染物質が雲や雨に取り込まれて大気中から除去されることをレインアウト(雲内洗浄)と呼び、雲の中の汚染物質は、雲水の蒸発により大気中に戻されたり、雲が雨に生長して地表面に除去されたりする。また、落下する雨滴は大気中の二酸化硫黄や窒素酸化物、2次粒子を捕捉して地表面に除去する。これをウォッシュアウト(雲下洗浄)と呼ぶ。これらとは別に汚染物質の地表面への除去は降水がないときにも生じる。雲や雨を介するレインアウトとウォッシュアウトによる除去を合わせて湿性沈着、降水がないときの除去を乾性沈着という。湿性沈着は狭い意味での酸性雨である。湿性沈着と乾性沈着を合わせたものは、酸性沈着、酸性降水あるいは広い意味での酸性雨と呼ばれる。

図 2.1 は一般的に描かれているが、これを東アジアにあてはめてみる。右側の火山がある方の陸地を日本列島と考えると、左側の陸地はアジア大陸になる。日本からは、人間活動にともなって、二酸化硫黄は年間約 100 万 t、窒素酸化物(二酸化窒素換算)は年間約 160 万 t 排出されている。また、日本の火山からは年間約 150 万 t の二酸化硫黄が排出されている。日本を除く東アジア(中国、朝鮮半島、モンゴル、ロシア極東地域、台湾)からの人間活動にともなう二酸化硫黄と窒素酸化物の排出量は、それぞれ年間 2,500 万 t と 800 万 t である。中国は二酸化硫黄について

は、そのうちの 90 % 弱、窒素酸化物については 80 % を占めている。

冬の季節風が卓越する時期は図 2.1 のように大陸から日本に向かって汚染物質が輸送される。両方の陸地間の海は、日本海あるいは東シナ海であり、韓国の釜山と福岡の距離は 200km であるが、ロシアのウラジオストックと新潟、中国の上海と長崎の距離はともに 800km におよぶ。このような距離を含む 1,000 ~ 2,000km の範囲を酸性物質は輸送される。

2.4 長距離輸送の解析²⁾

2.4.1 解析の必要性

酸性物質の長距離輸送の解析は、適切な環境対策を考えるために必要である。硫黄酸化物や窒素酸化物の排出量を減らすには、燃料、燃焼、排煙処理の各段階で対策をとることが大切である。我が国の発電所や工場では、硫黄分を含まない天然ガスや硫黄分、窒素分の少ない重油、原油、石炭の使用、窒素酸化物の発生を抑制する燃焼技術の採用、排煙中の硫黄酸化物、窒素酸化物を除去する排煙脱硫装置、排煙脱硝装置の導入、さらには生産システム全体の効率アップ等により、酸性雨の原因となる物質の排出が抑制されている。また、自動車に対しても、エンジンの改良や排気浄化システムの導入、窒素酸化物を減らす燃焼技術の実用化、そのための軽油の低硫黄化などが進められている。このような技術、対策の導入、設備の場合はさらに導入後の運転には費用がともなう。例えば、我が国で導入されている脱硫率が 90 % 以上の排煙脱硫装置は一基数十億円 ~ 100 億円以上し、運転にも毎年何億円もの費用がかかっている。こういった装置を短期間でアジアの国々に普及できるものではない。大気汚染の改善が効果的に現れる地域から優先的に排出源対策を行う必要がある。ある地域の酸性降下物の量を減少させるには、どの地域の硫黄酸化物や窒素酸化物の排出量を削減すれば効率的かを考えないといけない。そのためには、大気汚染物質の長距離輸送を解析し、どこで排出されたものがどこで沈着するかを把握することが大事である。

2.4.2 解析方法²⁾

酸性物質の長距離輸送を解析する方法は幾つかあり、それらを表 2.2 に示す。まずは、酸性降下物の観測データをその地域の気象や地理的特性と関係づける方法である。全国の地方自治体の研究機関がまとめたデータによると、我が国の日本海に面する地域では、季節風が強い冬季に、硫酸イオンの湿性沈着量が高くなることが明らかになっている(図 2.2)³⁾。この現象を、卓越する風向きと我が国と大陸の位置関係から、大陸で排出された硫黄酸化物が、我が国に輸送されて来るためと説明する方法である。

次の方法は、酸性物質の起源を明らかにするために、硫黄の同位体比を利用するものである。中国ではエネルギー消費量の 76 % を石炭で賄っている。その中国炭の硫黄同位体比は、我が国の工場排ガス中の硫黄同位体比と比べて明らかに高いものである。我が国で測った大気降下物の硫黄同位体比の特性が、大陸で使われている石炭の特性に近ければ、大陸から酸性物質の輸送があると考えられる。新潟県保健環境科学研究所の大泉⁴⁾は、県内で測った大気降下物の硫黄同位体比が冬に高くなる傾向があること(図 2.3)、海塩由来を除いた硫酸イオンに対して、冬季には中国炭燃焼と考えられる寄与が夏期と比べて 34 % 増加することを示した。このように特定地域から排出される物質に着目して大気汚染物質の起源を推定する方法に、鉛の同位体比の利用がある。国立環境研究所の向井⁵⁾は、中部中国・朝鮮半島、北部中国、極東ロシア、日本のうち、空気塊がどの地域を通過したかによって、隠岐島で観測された大気中の鉛の同位体比に違いが現れることを見つけた(図 2.4)。東アジア各地域で使われている鉛製品の同位体比と大気中鉛の観測データを対応づけることにより、越境大気汚染の解析が可能となる。別の方法として、電力中央研究所の服部⁶⁾は、海からの発生が地面からの発生に比べて無視でき、半減期が 3.8 日と手頃なラドン(²²²Rn)を長距離輸送の指標として用いた。²²²Rn は放射性同位体である ²²⁰Rn(半減期は 55 秒と極めて短い)の崩壊生成物 ²¹⁴Pb は半減期が 10.6 時間と比較的短いため、近くの排出源の指標となる。近くの排出源の影響を受けた ²¹⁴Pb と遠近両方の排出源の影響を受けた ²²²Rn の濃度の間には正の相関があるので、²¹⁴Pb 濃度が 0 のときの ²²²Rn 濃度は遠方の排出源の寄与分

とみなせる。この考えをもとに、東京で測った ^{222}Rn 濃度から遠方排出源分を抽出したところ、大陸からの気流が卓越する冬季に値が高くなった(図 2.5)。大陸と日本列島の間には海があるので遠方排出源分の大部分は、大陸の地面から排出された ^{222}Rn が運ばれてきたものと考えられる。

三つ目の方法は、日本や関東地方といった比較的広い領域で、大気汚染物質の収支をとる方法である。表 2.2 の説明欄に示される式の左辺、すなわち大気汚染物質の流入量と流出量の差を計算することにより、その領域が外の地域の影響を受けやすいかがわかる。しかし、流入量と流出量を測ることは上空の観測が必要となって難しい。そこで、先の式の左辺を対象領域で沈着する量と排出する量の差に等しいとおいて推定する。電力中央研究所の藤田²⁾は、全国規模で実施した地表における酸性降下物の観測データと排出量の調査結果から、日本を地理的、気候的要因に従って区分した 15 地域に対して、硫黄化合物の収支計算を実施した。その結果、日本海側の 5 つの地域では、沈着量が排出量(火山を含む)をそれぞれ約 2 ~ 4 倍上回った(参考、図 2.6)。この原因を大陸から流入する硫黄化合物の量の多いことで説明している。

四つ目の方法は、輸送中に起こる様々な物理、化学現象を計算機の中で表現する長距離輸送モデルという計算手段である。長距離輸送モデルを用いると、他の方法よりも定量的に、大気汚染物質がどこからどこへ運ばれるかを把握することができる。表 2.2 に示したような酸性物質の発生と沈着の関係を評価するには、長距離輸送モデルが不可欠である。

2.5 発生源寄与の見積もり²⁾

長距離輸送モデルは、1970 年代から 1980 年代にかけて欧米を対象に開発され、その数は優に 60 を超える。1990 年代になると、アジアを対象としたモデル開発が始められ、我が国でも大学や国立、民間の研究機関が長距離輸送の解析結果を報告している。そして、最近では、我が国に沈着する酸性物質の起源がどこかという発生源寄与の評価も行われるようになってきた。

図 2.7 は人間活動にともなう東アジアの二酸化硫黄の排出量分布である。格子の

色が黒くなるほど排出量が多い。この図 2.7 は、1990 年には、東アジア全域で 2,500 万 t、中国から 2,100 万 t、朝鮮半島から 230 万 t、台湾から 60 万 t、日本から 100 万 t の排出量があったことを示している。排出量の多い地域は、朝鮮半島西方の渤海、黄海を囲む地域であることもわかる。この他に、日本の火山から年間約 150 万 t の二酸化硫黄が排出され、そのうち 2/3 が桜島など九州の火山の寄与である。窒素酸化物の排出量分布も図 2.7 と似ている。このような排出量分布のもとで、我が国の酸性降下物の発生源寄与を見積もった結果が表 2.3 である。

窒素(硝酸イオン)について評価しているのは大阪府立大学だけなので、まず、硫黄の発生源寄与について見る。中国や朝鮮半島といった大陸から運ばれてくる硫黄の割合は、5～約 40%と予測者によって大きな開きがある。日本の予測者は概ね似たような 40%前後の値を報告しているが、中国の予測者は 5%と大陸の寄与を小さく評価している。世界銀行の予測では両者の中間の 20%になっている。日本の人為起源の寄与は、中国科学院を除いて、比較的似たような値になっている。世界銀行の火山には、他の予測者が考慮していないインドネシアやフィリピンの火山が含まれるが、それを考慮しても高い値になっている。なお、図 2.8 は電力中央研究所の予測結果¹⁰⁾、図 2.9 は世界銀行のプロジェクトの予測結果¹¹⁾を示している。次に、大阪府立大学の硫黄と窒素の結果を比較する。窒素の場合、火山の影響はあまり考えなくてよい。窒素酸化物は硫黄酸化物より速く酸化し、大気から除去されやすいため、輸送距離が短い。そのため、遠方の大陸の寄与が硫黄と比べて低くなり、逆に、日本国内の寄与が高くなっている。

2.6 国際的な議論

前節で見たように、発生源寄与の見積もりには予測者により差があるのが現状である。アジアにおいても発生源寄与の評価結果が出始めた今、その差の原因を含めて、大気汚染物質の長距離輸送について国際的な議論が必要な時期にきている。ここでは、そのような国際的な議論が期待できる場を紹介する。

①世界銀行の RAIN S - A S I A プロジェクト

酸性雨の原因物質の削減シナリオを策定するための政策モデルとして、ヨーロ

ッパを対象にした R A I N S (Regional Acidification INformation and Simulation) モデルが既に開発されている。R A I N S モデルの開発は、オーストリアの国際応用システム解析研究所 (I I A S A) の酸性雨プロジェクトとして、1983 年～ 1988 年に実施された。このプロジェクトには、スウェーデン、ノルウェー、オランダの環境関連の省庁が支援した。R A I N S モデルは、エネルギーの消費のシナリオを作成し、そのシナリオに応じて酸性物質の発生から沈着、生態系への影響に至る一連の評価を行う。内容は本にまとめて出版されている¹³⁾。R A I N S モデルは越境大気汚染に関する新しい硫黄の議定書作成に当たって、科学的な支援手段として使われた。1989 年には、R A I N S をアジアに適用するための R A I N S (Regional Air pollution INformation and Simulation) - A S I A プロジェクトが始まった。タイのアジア工科大学で、毎年ワークショップが開催され、世界銀行、アジア開発銀行の支援があって、1995 年にフェーズ I が終了した。現在、パソコンで動くシステムが販売されている。昨年末、世界銀行のプロジェクトとして、フェーズ II が 1999 年までの予定で開始された。その中で、長距離輸送モデルの検証の一つとして、モデル間の比較が計画されている。こういった作業に日本の研究者も参加することになっている。

②北東アジアのエネルギー、安全保障および環境問題 (E S E N A) プロジェクト

E S E N A (Energy, Security and Environment of Northeast Asia) プロジェクトは、北東アジアのエネルギー、安全保障および環境問題についての日米間の相互理解を深めることを目的とした 3 年間 (1996 ~ 1998 年度) の研究プロジェクトである (国際大学グローバル・コミュニケーション・センター (G L O C O M) による)。事務局は、日本側が G L O C O M、アメリカ側が N G O のノーチラス研究所である。具体的に取上げている問題は、a. 北東アジアの酸性雨・大気汚染の問題、b. 日本海・黄海の海洋汚染問題、c. 環境・エネルギーの経済問題である。a については、1996 年 11 月 16 日～ 17 日に米国バークレーで会議が開かれ、この会議での発表論文一覧を表 2.4 に示す。この発表論文の全文は G L O C O M のホームページで見ることができる。

③電力中央研究所と I I A S A の研究プロジェクト

東アジアの広域環境問題の総合評価の一環として、1998年と1999年に、国内外の研究機関が開発した長距離輸送モデルの整合性を評価するための国際ワークショップを開催することを計画している。

④地域規模大気沈着国際セミナー

日本、中国、韓国、カナダ、オーストラリアの研究者が集まって、酸性雨の観測や黄砂、酸性物質などの長距離輸送について発表、議論する会議である。

⑤酸性沈着に関する国際会議

酸性雨の国際会議としては世界最大で、1975年から5年ごとに開催されている。

2.7 まとめ

大気汚染物質の長距離輸送の解析は、①予測手法の開発、②予測手法の妥当性の確認、③発生源寄与の評価、④国際的な議論、合意、⑤環境対策への反映、といった手順で行われる。欧米では、こういった流れが一応完結し、適切な環境対策がとられるようになった。これに対しアジアでは、ようやく③に達し、④に向かおうという段階である。

参考文献

- 1) 日本経済新聞, 日本の酸性雨はどこから来た(1992.11.10)
- 2) 市川陽一, 入門講座 酸性物質の長距離輸送: 大気環境学会誌(1998)
- 3) ワールドウォッチ研究所編, 山藤泰監訳: 地球データブック 1997~98, pp.65~67, (1997)
- 4) Meteorological Synthesizing Centre-West, Transboundary air pollution in Europa: EMEP/MS-C-W Report 1/96 (1996)
- 5) (社)日本化学会・酸性雨問題研究会編, 身近な地球環境問題 - 酸性雨を考える - : コロナ社, pp.28~30 (1997)
- 6) 大泉毅, 新潟県における降水中硫黄安定同位体比: 第38回大気環境学会年会講演要旨集, pp.180~181 (1997)

- 7) 向井人史, Pb 同位体比測定による越境大気汚染研究 : 第 38 回大気環境学会
年会講演要旨集, pp.186 ~ 187 (1997)
- 8) Hattori, T, T. Ichiji, Estimations of seasonal variations of ^{222}Rn from different origins by using the
correlation between ^{222}Rn and ^{212}Pb concentrations in air : The 7th Tohwa University
International Symposium, Radon and Thoron in the human environment (1997)
- 9) 藤田慎一, 日本列島における硫黄化合物の収支 : 環境科学会誌, 9, pp.185 ~ 199
(1996)
- 10) 市川陽一, 東アジアにおける酸性物質の広域輸送 - 酸性雨はどこからやってく
るか - : 電力中央研究所公開セミナー「酸性物質の広域輸送と環境影響 - 酸性
雨のよりよい理解のために -」講演要旨集, pp.6 ~ 10 (1997)
- 11) Carmichael, R. C., R. Arndt, Deposition of acidifying species in Northwest Asia : Energy,
Security and Environment in Northease Asia (ESENA) Policy Study Group Meeting II, p.25
(1996)
- 12) Alcamo, J., S. Roderick, L. Hordijk (Eds.), The RAINS model of acidification Science and
strategies in Europe, Kluwer Academic Publishers (1990)

表2.1 硫黄酸化物の発生・沈着マトリクス（1994年）：1000トン（硫黄換算）

EMEPの資料を改編（市川²⁾）

		発 生										全沈着量
		オーストリア	フィンランド	フランス	ドイツ	キリシヤ	ハンガリー	ポーランド	スペイン	スウェーデン	イギリス	
沈 着	オーストリア	51	0	68	141	3	46	62	12	0	23	947
	フィンランド	1	121	6	61	0	8	84	1	22	37	952
	フランス	3	0	1255	150	0	10	33	411	0	180	3063
	ドイツ	14	0	473	3095	1	28	243	76	2	441	6134
	キリシヤ	1	0	4	17	238	21	20	5	0	2	1081
	ハンガリー	15	0	22	95	3	582	94	6	0	12	1416
	ポーランド	10	1	97	1908	3	132	3253	16	7	179	7362
	スペイン	0	0	60	21	0	0	2	1795	0	21	2392
	スウェーデン	1	21	28	218	0	12	147	4	97	141	1400
	イギリス	0	0	103	77	0	2	15	43	0	2653	3348
		発生量	370	585	5649	14984	2550	3705	13025	10354	484	13590

表2.2 長距離輸送の解析方法（市川²⁾）

方 法	説 明
(1)大気汚染物質の観測データの解析	大気汚染物質が高濃度になるときの風向きから排出源を推定する。冬の季節風が強いときに、日本海側の地域で硫酸イオンの湿性沈着量が高い。→大陸からの長距離輸送
(2)排出源地域に固有な物質の観測	燃料や排煙中の硫黄や鉛の同位体比が日本と大陸で異なる。日本で測った大気降下物の同位体比の特性が大陸の燃料や排煙の特性に近い。→越境大気汚染
(3)大気汚染物質の収支計算	日本や関東地方といった比較的広い領域で、大気汚染物質の収支をとる。ある領域に対して、【流入量－流出量＝沈着量－排出量】を計算する。流入量が流出量より大きければ、その領域が外の地域の影響を受けやすいことになる。
(4)長距離輸送モデル	輸送中に起こる様々な物理、化学現象を計算機の中で表現する。大気汚染物質がどこからどこへ運ばれるかを定量的に把握できる。

表2.3 日本に沈着する酸性降下物の発生源寄与の見積もり (%) (市川²⁾)

(市川²⁾)

予 測 者	対象酸性降下物	対象年	モデルの種類	発 生 源				
				日 本	火 山	中 国	朝鮮半島	その他
電力中央研究所 (市川・藤田・速水)	硫 黄	1988.10 ~89.9	トラジェクトリー とオイラーのハ イブリッド型	40	18	25	16	1
大阪府立大学 (池田・東野)	硫 黄	1990	オイラー型	37	28	25	10	0
	窒 素	1990	オイラー型	76	—	13	11	0
山梨大学 (片谷)	硫 黄	1988	オイラー型	47	11	32	10	0
世界銀行 (Carmichael・Arndt)	硫 黄	1990	トラジェクトリー 型	38	45	10	7	0
中国科学院 (黄ら)	硫 黄	1989	オイラー型		94	3	2	1

表2.4 ESENA会議における発表論文一覧

<ul style="list-style-type: none"> • Gregory R. Carmichael & Richard Arndt "Deposition of Acidifying Species in Northwest Asia" • David Von Hippel "Global Dimensions of Energy Growth Projections in Northeast Asia" • David Von Hippel "Technological Alternatives to Reduce Acid Gas and Related Emissions from Energy-Sector Activities in Northeast Asia" • Hossein Razavi "Innovative Approaches to Financing Environmentally Sustainable Energy Development in Northeast Asia (in draft) " • Jonathan E. Sinton "Regional Cooperation Strategies to Mitigate Acid Rain in Northeast Asia: Promoting Energy Efficiency in China" • Jonathan E. Sinton "China's view of Acid Rain in Northeast Asia and Regional Cooperation Strategies" • David G. Streets "Energy and Acid Rain Projections for Northeast Asia" 「東北アジアのエネルギー並びに酸性雨に関する展望」 • 我妻伸彦・辻 昌美 「中国の環境問題」 • 市川陽一・速水 洋 "An Analysis of Sulfur Deposition Using Two Different Long-range Transport Models for East Asia" • 今井隆吉 「東アジアのエネルギーは日本の責任--湾岸原油依存の高まりと炭化水素燃料の将来」 • 小倉紀雄 & Zongwei Feng "Impacts and Control Strategies of Acid Deposition on Terrestrial Ecosystems in Chongqing Area, China: Overviews of the co-operative study between Japan and China" • 作本直行 & 井上秀典 「環境分野におけるアジアの地域協力／これからの地域環境協力に向けた課題--日米協力の観点から」 • 佐藤純次 「硫黄酸化物の沈着、変質過程を含んだ長距離輸送モデルと東アジア地域への適用」 "The Long Range Transport Model with Deposition and Transformation Components and Application to the East Asian Region" • 平松茂雄 「中国のエネルギー事情と原子力発電問題」 • 藤倉 良 「日本の地方自治体の環境援助における取り組み」 • 矢野友三郎 「アジアの環境問題、中国でのソフトパス (ISO14000) の試み」 • 山地憲治 「東アジアの長期エネルギー需給展望」

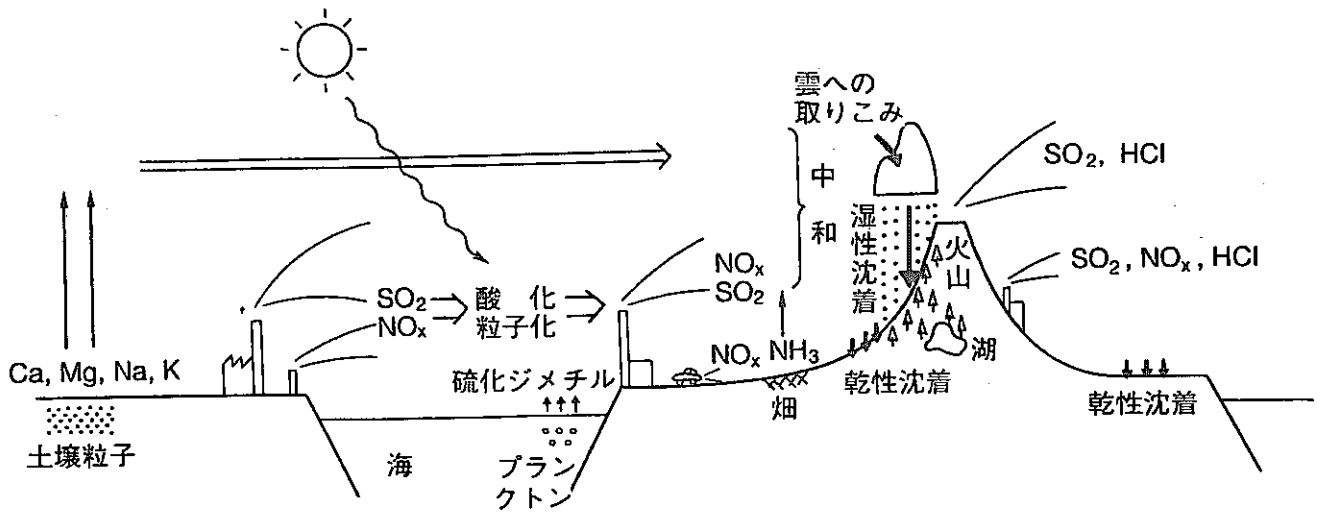


図2.1 酸性雨の原因物質の発生から沈着に至る過程

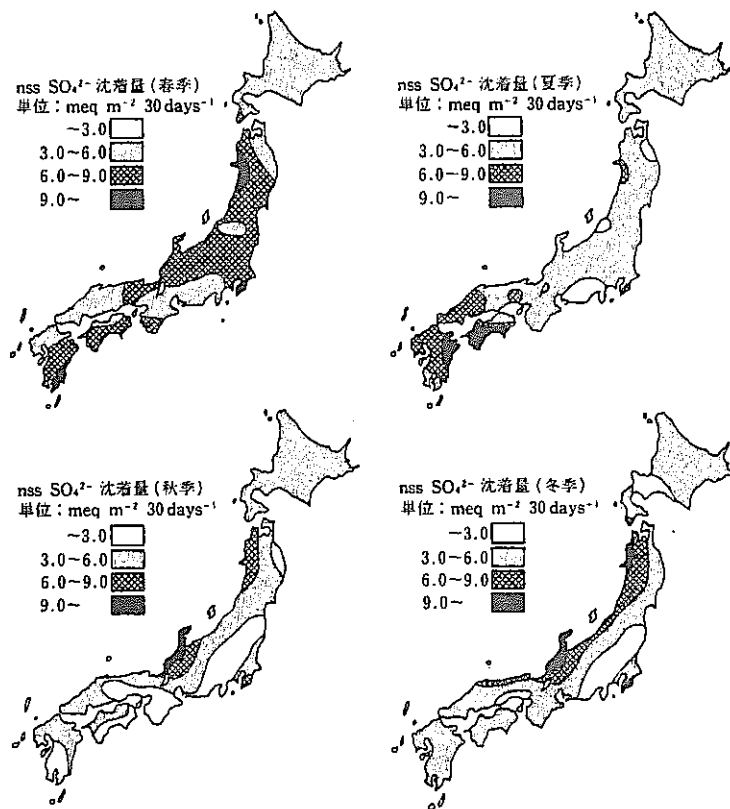


図2.2 非塩海の硫酸イオンの季節別湿性沈着量

(日本化学会・酸性雨問題研究会編⁵⁾)

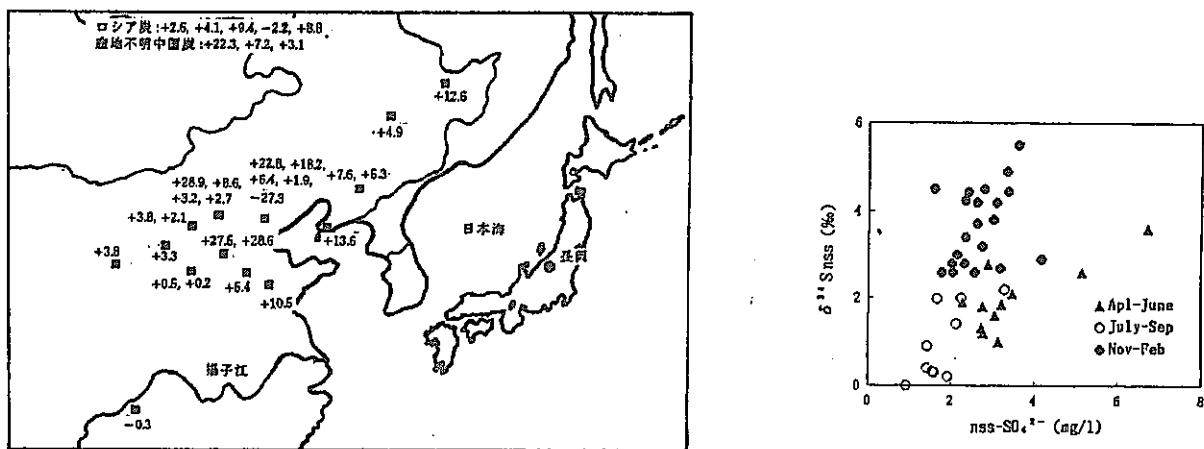


図2.3 中国炭およびロシア炭中燃焼性硫黄の硫黄同位体比（左，単位‰）
 および非塩海起源硫酸イオン濃度と硫黄同位体比の関係（右）
 （大泉⁶⁾）

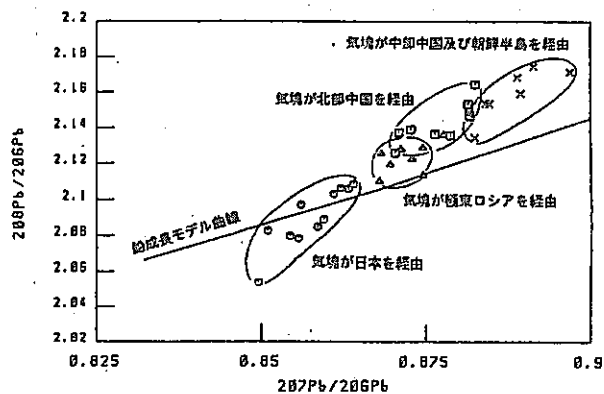


図2.4 隠岐島での大気中の鉛同位体比（向井⁷⁾）

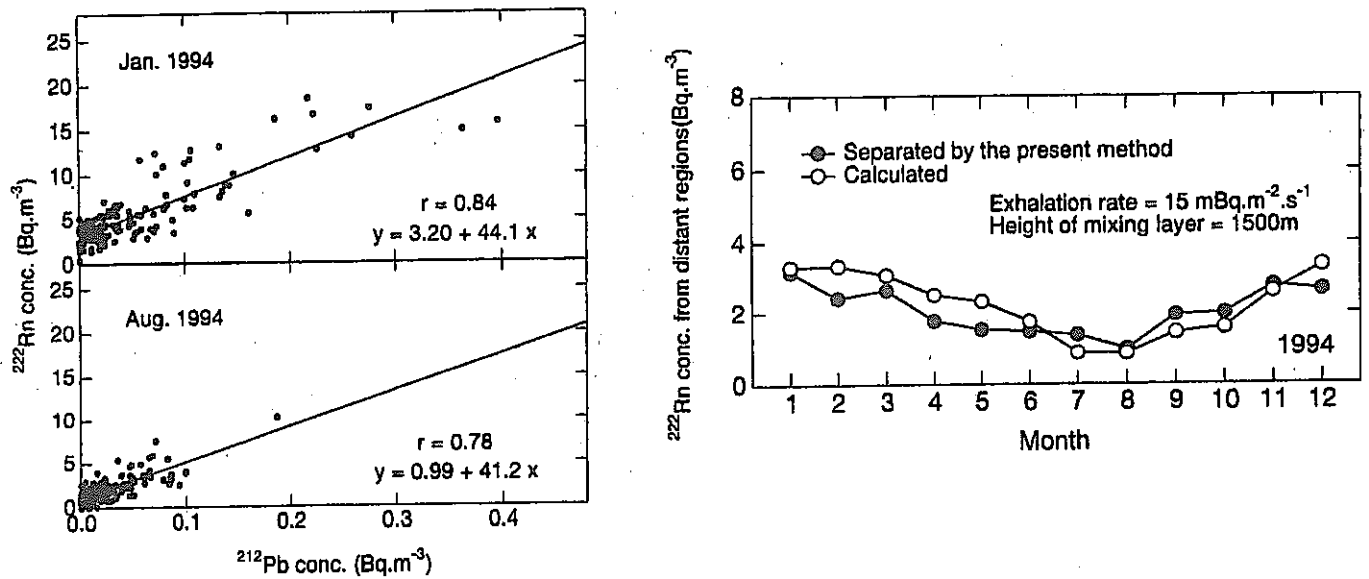


図2.5 大気中の ^{222}Rn と ^{212}Pb 濃度の関係（左）および遠方から輸送される ^{222}Rn 濃度の季節変動（服部・伊知地⁸⁾）

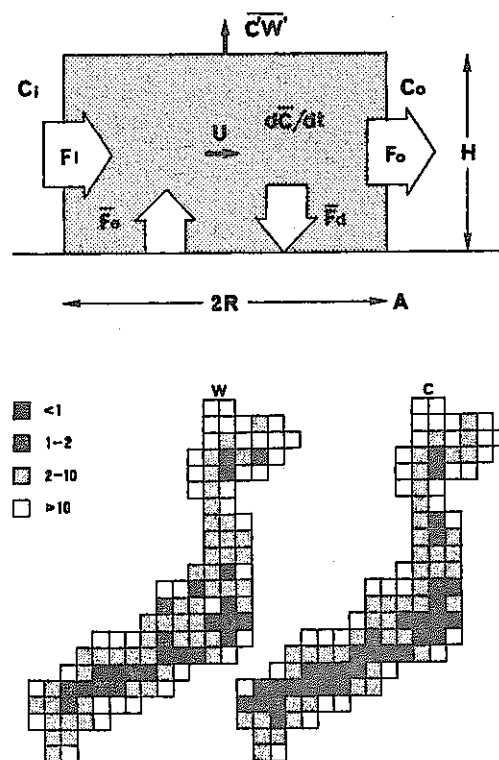


図2.6 收支計算の概念（上）と硫黄化合物の人為発生量に対する全沈着量（乾性+湿性）の比率（下，w：暖候期，c：寒候期）（藤田⁹⁾）

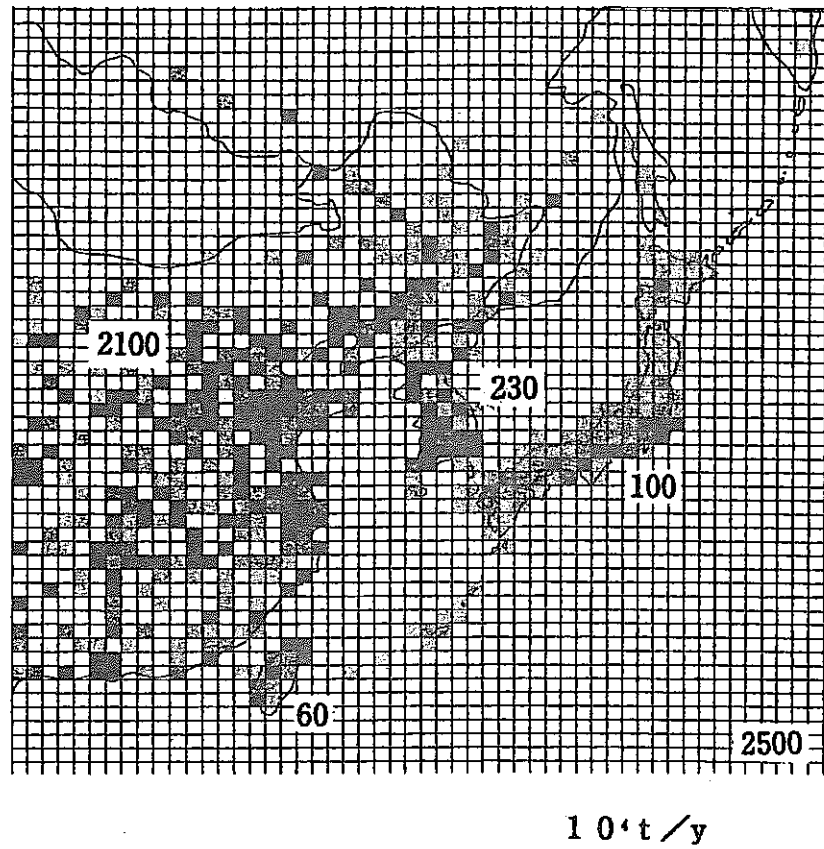


図2.7 人間活動にともなう二酸化硫黄の排出量（1990年）

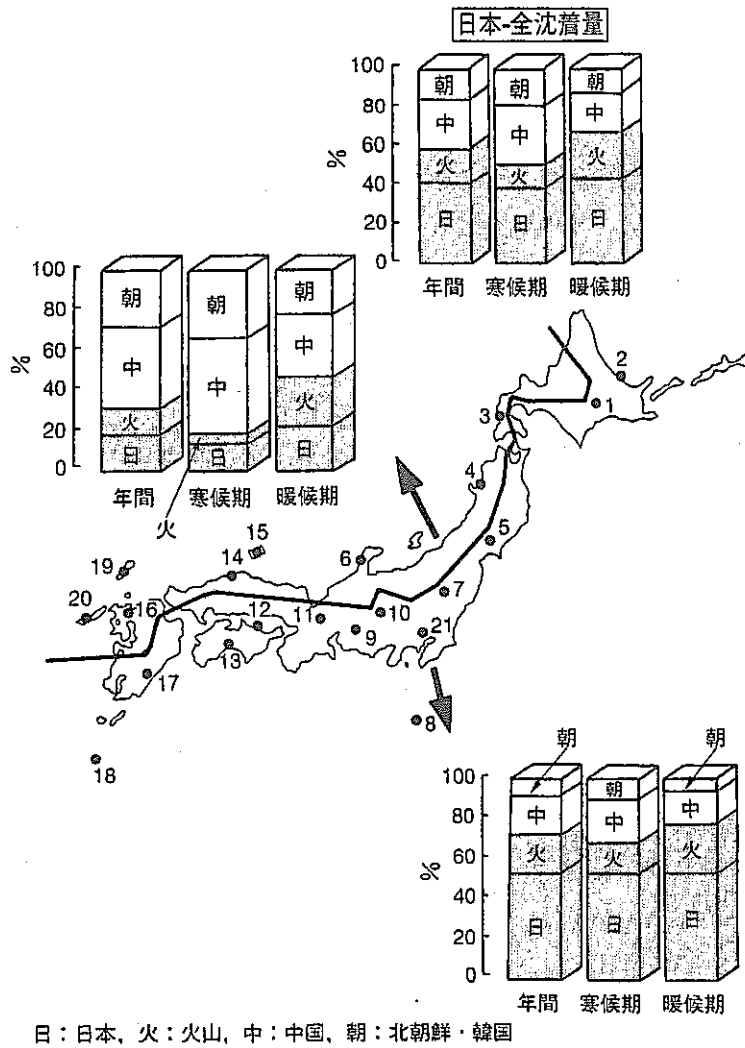


図2.8 日本に沈着する硫黄化合物に対する発生源寄与 (市川¹⁰⁾)

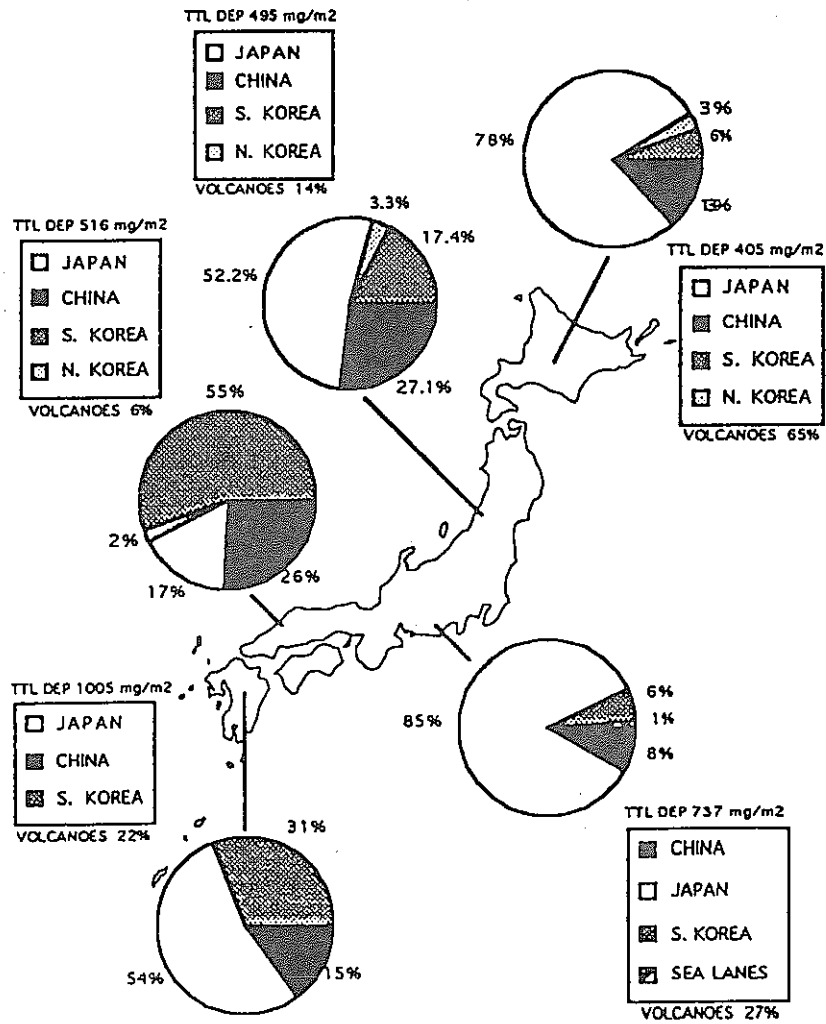


図2.9 日本の5地点に沈着する硫黄化合物に対する発生源寄与
(Carmichael・Arndt¹¹⁾)

3.1 はじめに

リスク認知に係る社会科学的な手法の基礎的調査として、今年度はリスクパーセプションについて検討を行った。また、原子力保険を含めた巨大リスクに対応する保険について検討を行った。

3.2 リスク・パーセプション

3.2.1 リスク・パーセプションとは

リスク・パーセプション(Risk Perception)の字義通りの訳語は、リスク知覚であるが、多くの場合、英語のリスク・コグニション(Risk Cognition)に相当するリスク認知と邦訳することがある。知覚と認知の間には、截然とした区別はないと考えられるが前者はより直接的で感覚に近い概念であるのに対して、後者はより複雑な思考媒介過程を経由するある種の意識概念である。個人のリスク・パーセプションには、文化や伝統、態度や信念、価値観、時代的ムードなど、様々な内在的あるいは外在的要因が関与することから、一種の心理的な認知過程と考える方がより適切であると考えられる。

さて、個人の生命や財産の毀損といった安全への危機、あるいは安寧、秩序の破壊といった社会的安全への脅威をもたらす危害因子を、とりあえずここではリスクと呼ぶことにする。このように定義した上で、リスク認知が発生するフィールドを考えていく。

3.2.2 リスク・パーセプションの領域

個人や社会が、極めて限られた情報に基づいて目前のリスクを管理する状況を考える。まず、個人や社会は目前のリスク事態を、極めて主観的な枠組みの中で理解しようとする。その第一段階が、“リスクの同定または推定”と呼ばれる段階である。ここでは、当該のリスクがどのような性質のものであるか理解し、把握しようとする努力が払われる。この段階で、リスクの“質”に関するイメージが個人や社

会の内部で次第に鮮明になっていく。第二段階では、第一段階でイメージ化されたリスクが、個人や社会にもたらすかもしれない危害についての予想が形作られていく。この第一段階と第二段階を合わせた一連の心理的プロセスを、リスク認知過程と呼ぶ。

さて、第三段階では、“予想される被害”を軽減するために、利用可能な様々な方法、手段などの選択肢が考慮・検討され、その利害得失が評価される。この結果、利用可能な選択肢の間に優先順位をつけることが可能ならば、優先順位の高い被害軽減選択肢の採用を意思決定するのが、その次の第四段階である。

さて、第五段階では、前段階での決定に基づき、リスク軽減行動を実行に移すことになる。そして最後の第六段階は、実行された行動が、はたして被害の軽減に役立つかどうかの評価を行うこととなる。このような判定の結果、当該リスクがもたらすかもしれない被害が十分に軽減されるとの予想が成り立てば、そのリスクはもはや個人や社会に脅威をもたらすことのないものとして、個人や社会の関心の外に置かれる。しかし、実行されたリスク軽減行動によっても、十分な成果を上げることができないという判定が行われた場合には、再び第一段階に立ち戻って、より正確なリスクのイメージ化をはからなければならない。

3.2.3 リスク・パーセプションのメカニズム

リスク環境からは、パーソナル・メディア、あるいはマス・メディアを通じて、公的・私的な様々なリスク情報が個人または社会に到達する。それらのリスク情報のうちのある部分は、情報源の信頼性やメッセージの信憑性などが疑われるゆえに無視されてしまう。また、ある場合にはリスク情報があまりに重大な脅威をもたらすため、個人や社会の自我崩壊を防止するために機能する自我防衛機構(自我同一性を維持するために働く自己防衛のメカニズム)によってチェックされ排除されてしまうことさえある。すなわち、リスク情報は、個人や社会に到達した段階でスクリーニングされ、取捨選択されるのである。この受容と拒否のフィルタリングを経て、個人や社会の中に受容されたリスク情報は、認知メカニズムの中に組み込まれたリスク情報処理システムに従って、一定の歪みをもつようになる(図 3.2.1)。この

歪みを、ここではリスク認知バイアスと呼ぶ。このリスク認知バイアスは、異なる個人や社会の違いを超えて共通する特徴を持っている。やや比喩的な言い方をすれば、我々は皆、ある共通のメガネをかけてリスクを見ているということになる。このメガネは、遠くて小さなものを近くて大きなものとして見せたり、近くて大きなものを視野の外に置いてしまうなど、一定のクセをもっている。そもそもこのクセは恐らく過去に我々が生きていく上で、何らかの適合性を持っていたものか、あるいは、現在の我々が環境に適応していく上で、何らかの積極的意義をもつものであるかもしれないが、このあたりの事情に関しては、未だ解明されていない部分が多い。

3.2.4 リスク認知とバイアス

表 3.2.1 は、評価する我々の側に主たる原因があって、リスク認知を歪めてしまうバイアスを示している。

第1番目は、正常性バイアスである。認知された範囲内であれば、なるべくそれをノーマルなコンテキストで見えてしまおうとする傾向のことである。つまり、何か異常でリスクな事柄があっても、その異常性を減殺して日常性のコンテキストの中に押し込めようとする心理的なプロセスである。

第2番目の楽観主義的バイアスとは、次のようなものである。我々はもしかすると破壊につながるかもしれないという立場から物事を見るよりも、それを、日常性の中の軽い逸脱の一つにすぎないと、異常事態をより楽観的に、より明るい側面から見る傾きがある。この楽観主義的バイアスは、正常性バイアスとともに、我々にリスクを過小評価させる原因ともなる。正常性バイアスや楽観主義的バイアスが生じるとき、我々は、事態の曖昧さが許容する範囲内でギリギリまでリスクの程度を低く評価し、そのようにして心理的ストレスを軽減しようとする。このような場合、リスク認知は極端に小さい方向にふれることがある。

第3番目は、カタストロフィー・バイアスである。極めて稀にしか生起しないリスクでも、危害性が大きく、極めて大きな被害をもたらす恐れのあるリスク(例えば、巨大地震、大絶滅-Mass Extinction-を引き起こしたとされる小惑星や彗星の地球

への衝突など)の場合には、我々の中にある“種の絶滅警戒センサー”に触れるのであろうか、極めて大きなリスクの過大視が起こる。

第4番目は、ヴェテラン・バイアスである。我々人間は経験から学ぶことのできる動物である。経験から学ぶという意味は、自分の得た経験を体制化し、ある見通しをもって事態に対処することができるようになるということの意味する。過去のリスク事態の経験は、個人や社会に新たなリスク事態への耐性をもたらすことは言うまでもない。しかし、この耐性には、次のような限定が付与されている。まず第1に、あるリスク事態の経験は、異なる種類のリスク事態に一般化(Generalize)しないことである。例えば、洪水についての被災体験の持ち主は、洪水については、ある程度の自信を持って切り抜けられるとしても、地震や津波に関しては、彼らの経験は役に立たないか、逆に害になることさえある。第2に、過去に経験したのと同じリスク事態であっても、リスクの程度や規模が著しく異なる場合には、過去の経験はほとんど役に立たないことがあり、場合によれば、リスク認知を誤らせる原因にもなりうる。

第5番目は、未経験ゆえのバイアス、ヴァージーン・バイアスである。リスク事態に対する経験を欠く場合には、リスクを過大に、または過小に評価し、正確なリスク認知を得られないことがある。

3.2.5 リスク・パーセプションの分類軸

Slovic(1987)は、調査対象者に81のリスクを18尺度で評定させた。彼はこのデータを因子分析し、恐ろしさ(Dreadness)因子、未知-既知(Unknown - Wellknown)因子、危害範囲(Number of people involved)因子などを抽出している。Slovicの結果は、その後、彼自身を中心とする研究者たちにより、アメリカ以外の多くの国々で追試され、同様な因子軸の抽出結果を得たとの報告がなされている。だが、それらの報告を詳細に吟味すると、因子負荷量のパターンは相互にかなり異なり、この種の因子分析結果の普遍性と妥当性を疑問視する向きもある。

そこで、ここでは災害社会学者 Barton(1969)や Dynes(1970)のひそみに倣って、リスク認知の分類軸を、第1にリスクの大きさについての認知、第2にリスク制御可

能性についての認知、の2つと考えることにする。

前者は、我々があるリスクのもっている危害性をどの程度のものとして捉えているか、それを大きいと考えるか、それとも小さいと考えるか、ということである。これは極めて主観性の強い認知であるために、リスクの実際の危害性はそれほど大きくなくても、マス・メディアによる報道や社会的状況によっては強い脅威を感じたり、激しい恐怖感をもたらすことがある。

オーソン・ウェルズのラジオ・ドラマが引き起こした『火星人の襲来騒ぎ(The Invasion from Mars)』や1973年のオイルショック直後にあった『モノ不足パニック』で、トイレットペーパーの買いだめ騒ぎなどが発生したのも、危険の認知が異常にこう進んだ結果である。これらの場合とはまったく逆に、客観的・科学的には強い危害性がある場合にもかかわらず、その危険を認知できなかつたり、あるいは正常性バイアスが働いて危険度の認知が極端に小さくなってしまう場合もある。

ところで、後者のリスクの制御可能性についての認知とは、いったいどのようなものであろうか。もし、何らかのリスクに直面したとしよう。そのときに、「もし適切な対応を行えば危害を回避することができる」という認知を、個人や社会がもつことができるか、それとも「どのような対応を行っても危害を避けることができない」という認知しかもてないか、ということである。

この制御可能性についての認知も、一方で、客観的事実からの規定を受けながら、そのような事実からの相対的な独立性を保つことのできる認知因子である。例えば、大地震は天罰であり、人為をもってしては如何ともし難いという認知をもつ個人や社会は、大地震に対する制御可能性認知を欠いている。他方、大地震は直前予知ができ、周到な防災準備を行えば、被害は十分に許容範囲に抑えることができると信じていることができる場合には、制御可能性認知をもっているということになる。

3.2.6 リスク・パーセプションにもとづくリスク対応行動のタイポロジー

個人や社会がもつリスクの大きさについての認知(大小)とリスクについての制御可能性についての認知(有無)の組み合わせから4つのパターンができる。これらのおのおのに関しては、個人や社会の特定の対応行動が結びついているように考えられ

る。図 3.2.2 は、このパターンに関連した対応行動を示している。

図中の(I)型は、リスクは大きいと認知するが、同時に個人や社会がある特定の対応を行うことにより、リスク発生の防止、あるいは軽減をはかることができると信じる場合である。この時、個人や社会は、当該の対応行動を過剰に採用する傾向がある。パニックは、そもそもある種の過剰反応である。この認知の組合わせが存在するところでは、リスクへの対応行動として、パニック発生の危険が存在することになる。

(II)型は、リスクは小さいという認知とともに、リスクは制御可能という認知がある場合に現れる反応パターンである。この場合には、リスク回避のための手段採用のためのコストが大きな意味をもつ。コストが大きい場合には当該手段の採用は過小に、コストが小さい場合には過大になる。

(III)型は、リスクは大きいと認知され、しかもその制御はできないという認知がある場合に現れる反応である。ここではあきらめと無気力が支配的となり、リスクを回避しようという積極的反応は現れにくくなる。客観的・科学的にはリスクを制御できる場合でも、無気力感が先に立って、はじめから対応を諦めてしまう場合も多い。

(IV)型は、リスクの程度は小さいと認知されているが、しかし同時に、その制御は不可能という認知も存在する場合である。この時、個人や社会は、リスクそのものに対して無関心となる。そのリスクは日常生活の中で主要な関心事とはならなくなってしまう。

3.2.7 リスクの許容限界

すべてのリスクを管理することは不可能である。しかもリスク・フリーの社会は存在しない。どこかに許容限界を設け、危険がそれ以下ならば、我慢するという社会的コンセンサスが必要であろう。そこで問題は、どこまで安全ならば良いか(How safe is enough?)ということになる。この点に関する社会的合意を得ることは難しい。リスク認知はリスク許容性の問題とも深くかかわっている。

表3.2.1 リスク認知のバイアス

- ① 正常性バイアス
- ② 楽観主義的バイアス
- ③ カタストロフィー・バイアス
- ④ ヴェテラン・バイアス（経験ゆえの過誤）
- ⑤ ヴァージンシ・バイアス（未経験ゆえの過誤）

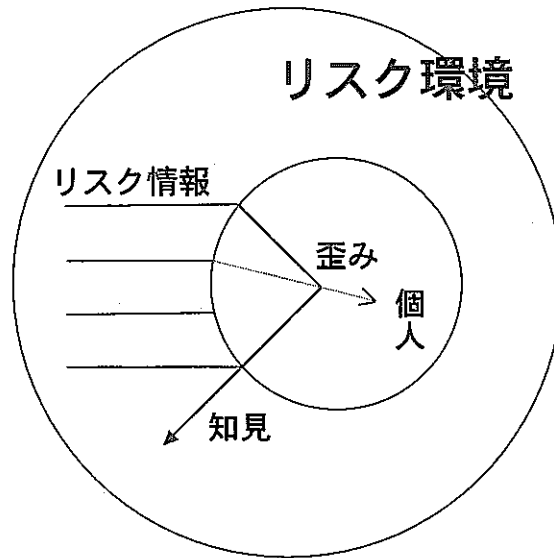


図3.2.1 リスク認知の概念図

		リスクの大きさに対する認知	
		大	小
制御可能性に対する認知	有	過剰反応 (Ⅰ)	日和見反応 (Ⅱ)
	無	無気力 (Ⅲ)	無関心 (Ⅳ)

図3.2.2 危機に対する反応の4つのタイプ

3.3 巨大リスクへの対応としての保険

3.3.1 保険という仕組み

(1) 保険とその類似行為

保険や保険に近い社会制度にどんなものがあるか。保険の本質つまり「リスク」から考える場合は「生命保険」と「損害保険」に大別できる(図 3.3.1)。この中間には日米協議で問題になった、いわゆる「第三分野」と呼ばれるものがあり、生命保険と第三分野の保険を合わせて「人保険」と「物保険」に分けることもある。

人間が必ず死ぬことは明確であり、その時期が判らないだけの生命保険とは異なり、損害保険のリスクは、自然災害などの例外を別にして、注意や準備で事故の発生回数を減らせたり、万一事故が発生した場合の損害を減すことが可能である。

また、保険を社会制度という切り口で見た場合、「保険」と「共済」に分けられ、保険を社会的な効用として考えると次のような分け方もできる(図 3.3.2)。

つまり共済とは、参加者が負担金を分担し、不慮の災害や死亡に備えるものである。共済には準拠法があり法的に認められた共済と、全くの任意の共済がある。共済はその性格上生命保険や簡明な損害保険に多く、複雑な損害保険のリスクには馴染まない。また法的に認められた共済はある程度実態を調査出来るが、任意の共済には出来事があってから負担金を集めるようなものもあり、実態がわからない。

世界的に見て、民間の保険会社や個人が法律的、社会的規制の中で業として営む「保険」と「共済」の割合は7対3から6対4の間といわれている。世界中の生命保険の保険料、損害保険の保険料は1兆数千億ドルといわれているから共済も数千億ドルの規模があると考えられる。

(2) 保険と社会

保険という言葉でくくってもその経営主体、経営目的、カバーされる内容は様々である。基本的には保険やその類似行為は社会の要請で発生、発展するものであり、それに過去の社会的な必要性から、あるものは強制保険となり、あるものは共済となるものである。またそれぞれの国や社会でそれぞれの要請に基づいてそれ相応の形となる。このことは保険ないしはその類似の社会的な仕組みが、その社会の根底

から生じる社会的な要請であり、社会が十分には対応しきれない部分に対する補償として自律的、自発的に発生するものであることを示している。したがって、この仕組み自体も国ごとに、大きく考え方、実施方法等に差異がある。

例えばアメリカとの比較では、日本では強制保険である自動車賠償責任保険、健康保険、労災保険などがアメリカでは任意保険であり、いずれも民営保険で運営されている。また日本の健康保険は大変な赤字であるが強制保険のため続いている。アメリカの医療保険制度は民営が原則であり、赤字のため保険会社が引き受けをしなくなり医療制度そのものが崩壊に直面している。もう一つの例として、マルクスとエンゲルスが提唱しレーニンが実現しようとした社会主義制度における保険はどうであったか。社会主義理論では国家の保護がされるため生命保険は不要となるのに対し、損害保険は「財」の流れの中断を資金的に補償するものであるため社会主義制度下でも必要とされた。さらに「資本主義的な損害保険は本当に保険が必要な場合、保険会社が引き受けず不必要な危険に対する保険が危険を強調されて売られている」とされた。その理論に基づき損害保険では難しいとされる農作物や家畜に対する天災や病気の保険が売られ、逆に原子力発電所は事故は起きないとして保険が付けられなかった。社会主義理論は壮大な歴史的トライアルとされ終焉したが、そこで洗い直された「リスクがあれば損害が生じる」、「事故は必ず生じる」などの保険理論は十分示唆に富んでいる。

(3) リスクということ

(i) リスクとは何か

世の中の組織にとって、リスクとはどんなものか。言葉の上では、「リスクは牙を剥く波が渦巻く崖の間を航海する状態」を表すギリシャ語が語源といわれる。リスクという英語は「危険」と訳されるのが一般的であるが、状態を表す言葉としては、「予測できずある程度突発的に発生し、放っておけば場合によっては大変悪いことになる」ことを示す。その意味でリスクの訳語は「災害」という、悪い状態を示す言葉が良いようである。世の中の組織にとって災害とは、組織の人または財産に被害をもたらすマイナスの状態を意味する。

リスクまたは災害を被る側の組織の存立、組織としての災害の有様を知ることが組織のために極めて重要なものである。しかし組織に対する災害のすべてを知り尽くすことは至難の技であり、組織に対する災害のすべてを知るための議論は様々である。

ここで論じているリスクには、3つのカテゴリ－6つのグループに整理できる。いろいろな問題はあるが、この3つのカテゴリ－6つのグループを手掛かりにその組織の直面するリスクの洗い出しを行い、現実的なリスク対策とすることになる。3つのカテゴリ－とは、「経営問題」、「事故と自然災害」、「法律・国際問題などコントロールなどの困難な問題」というカテゴリ－である。またおのおののカテゴリ－が2つずつのリスクグループに区分できる。

(ii) 3つのカテゴリ－6つのグループ

初めに経営問題は、組織の内部だけで処理すべき問題と、外部との取引の関係で出てくる問題に区分できる。前者は資金問題、労使問題、後継者問題、従業員の信用問題などであり、後者は欠陥製品問題、役員のスキャンダル、手形問題、悪い噂などである。

事故と自然災害は明確である。事故は注意をすることで発生頻度を限りなくゼロに近づけることはできるがゼロになることはなく、人間の注意の網を潜って何らかの形で必ず発生する。一方、自然災害は人間の意図や努力で左右できる範囲は極めて制限され、地震などは全く人間の意図は関係なく突如として発生する。

コントロールなどの困難な問題も2つのグループがある。1つはその動きがある程度トレースできる動きと、もう1つは全く動きがわからない突発的な出来事である。新しい法律や国際問題などはある程度動きがわかる場合である。しかし戦争やテロ、犯罪などは動きがわからず、突発性が強く結果が予測できない問題である。

先に挙げた経営問題におけるリスクは多くの場合、私的な要件と日常的に留意すべきことが中心である。経営問題の2つのグループはいずれもいわば企業や組織内部の問題であり、背景に経営者の資質や体質のようなものがあって、外部からはわかりにくく具体的な指摘が困難な問題で、それだけに判断が難しい。これに対応す

るには、組織体にとってリスクであり、災害の原因であることに対しては謙虚に初心に戻ることが最大の対抗策であり、さらに別途の組織や対策を必要とする他のグループのリスクと性格を異にする。別途の組織や対策を必要とするリスクは経営以外の2つのカテゴリー4つのグループである。

(4) リスクと損害

(i) 損害程度と頻度

リスクもしくは災害が具体化する時には、その時期が判らないが、どの程度の頻度でどの程度の損害が発生するかが問題である。この頻度と損害程度がリスクおよび災害のもつ2つの側面である。

組織や企業にとって具体的に損害が起こってしまえば、その頻度は100%で、損害も具体的に決まるが、この頻度(Frequency)と損害程度(Severity)の組合わせが、その災害が発生するまでは最も重要である。その頻度と損害程度の組合わせがその組織や企業が内在的に持つ危険度である。

同じような組織や企業でも、特定のリスクが具体的に発生する仕方は、頻度、損害額いずれも千差万別のはずである。しかしほぼ同種類の企業、組織、人などの一定の集団を集めるとその頻度と損害額は一定の数値に定量化できる。こうして同種の集団が集団として持つ危険度を表したものが、その集団のいわば内包する危険の総量で、保険の料率はここから決まる。

(ii) 巨大火災爆発リスクの処理

石油が燃える水から原油となり、石油精製、石油化学などの工業の原料として成立する過程で、その内包するリスクは装置の巨大化に比例して巨大化してきた。しかし、装置産業としての石油精製工業、石油化学工業などから発生する損害は特別な例外を除いて、物自体の損害額と、それに比べると相対的に多くない関連費用と装置の一部の飛散などの賠償損害に限定される。つまり、火災も爆発も装置がいかにかに巨大であろうと、それらが起こったら損害額が幾らになるかということが推定できるということである。つまり、いかに巨大であろうとも、火災爆発のリスクは定

量化されている。その点が定量化されていない原子力損害や地震などの一部の自然災害と違うところであり、保険として運営できる理由である。具体的な装置やプラントでどの程度の損害が発生するかがわかっているならば、その保険を引き受ける保険会社は極めて安心してそのリスクを保有することが出来る。その鍵になるのが P M L という言葉である。

(iii) P M L ということ

現実にリスクが具体化したときに考えられる最大の損害額を表す言葉が P M L である。P M L に類似した言葉は表 3.3.1 のようにいろいろある。

特定のリスクに関して普通考えられる最大級の予想損害を P M L と言う。通常であれば P M L が最大の損害と考えて良い。しかし、様々な悪条件が重なり、普通考えられる最大級の予想損害の中でも最悪の損害が発生する可能性もないわけではなく、これが潰滅的な大損害であり、P M L に対して M P L と言われる言葉である。当然ながら P M L の発生に対して、最も最悪の事態である M P L の発生頻度はさらに低く、損害額は大きいものである。

実際の損害額で最も大きくなるのは火災と爆発、特に爆発の危険である。火災や爆発の P M L の見極めは、リスクを引き受ける保険会社にとっては最大の研究課題であり、P M L や M P L をどの程度にどんな方法で見積もっているかが重要視される。

(iv) P M L の算出方法

P M L の算出方法はプラントなどの危険度の定量化の努力と裏表の関係にある。プラントなどの危険度の評価方法にはダウ方式をはじめ様々な解析方法があり、広く利用されているが、保険における P M L の算定は損害の額を対象としている。

その中で長い間 P M L の算出で世界をリードしていたのはイギリス最大のブローカーであるセジックが使用していた方法と、Hartford に本拠をもつ Industrial Risk Insurers (以下、I R I) というアメリカの保険引き受け団体の方法である。

セジック方式と呼ばれる方式は、各施設や建物の作業工程、使用化学製品などが

ら、保険の付いたものの保険金額、火災や爆発に対する強度や脆弱性、危険物との距離、管理状態など危険度の評点を付けてゆき、全体の危険度を判断をしてゆく「危険度採点評価方式」と呼ばれるものである。

一方 I R I 方式とは I R I が提唱している方法であり、I R I は通常のリスク判断の得意でない保険会社が引き受けを渋るようなリスク、その中心は石油精製工業、石油化学工業などを積極的に引き受けている保険引き受け団体で同時に研究機関である。I R I 方式の考え方は単純で、「蒸気雲爆発予測方式」と呼ばれるものである。この方式は、プラント内の危険品が漏洩して蒸気雲を形成する可能性と、その蒸気雲の大きさ、危険品の種類からその蒸気雲が爆発した場合の爆発力を TNT 爆薬の爆発に換算し、プラント内で爆発が起こった場合にその影響が及ぶ範囲を推定する。それを構内の図面上で損害程度順に同心円を書いてトレースして推定損害額を決める方法である。最近ではコンピュータの利用により極めて簡単に P M L が算出できる。

ところが 1995 年末になってセジックは自社の方式による P M L の推定はバラツキが大きいとし、I R I 方式の方が優れていると発表したため、火災爆発の際には I R I 方式を採用して P M L が算出されている。

(v) リスクごとの P M L

P M L はリスクごとに決まるものであり、火災爆発は火災爆発の、盗難は盗難の最大予想損害額があるものである。財物の場合、損害賠償の場合など、考え方も支払いの限度額も全く異なるものであることは容易に理解できるであろう。その意味で火災爆発に関してはセジックの危険度採点評価方式は I R I の蒸気雲爆発予測方式に遅れを取ったが、個別のリスクに対しては危険度採点評価方式も十分に応用できる技術であり、今なお使われている。ただ、財物の場合は火災爆発が桁違いに大きく、建物や収容品のような財物の損害を論じる場合は火災爆発だけで十分に用が足ることから、火災爆発が特に P M L との関係で取上げられるのである。

3.3.2 保険引き受けと巨大リスク

(1) 保険の実際

(i) 保険の引き受け

保険の引き受けを「アンダーライティング」という。これは保険の引き受けを望むブローカーが、スリップと呼ばれる紙の上部に保険に付保する物件と条件を書き、それを保険者に持って回ることである。最初の保険者は「リーダー」と呼ばれ、リーダーが最終的な引き受け料率と条件をブローカーとの間で決める。そしてリーダーとしてのその物件の引受額を書き込む。それ以外の保険者はリーダーの見識と経験とその引受額を見て自分の引受額をリーダーの名前の下に書いてゆくため、保険の引き受けをアンダーライティングと呼ぶわけである。

リーダーは自分の経験と勘でブローカーの持ってくるリスクの判断をしなければならず、それ以外の保険者もリーダーの判断の善し悪しを自分の経験と勘で読みとってゆかなければならないことになる。

(ii) イギリス的アンダーライティングとドイツ的アンダーライティング

アンダーライティングの実務は古くはエドワード・ロイドのコーヒー店で始まり、ほとんどそのまま現在が続いているといわれる。ロイドのコーヒー店は17世紀にロンドンのロンバート街で始まったが、その実務が現在に生きていることが、イギリスの損害保険における指導性を示しているといえる。

このイギリス的なアンダーライティングは、それなりの統計や資料はあるものの、基本的にはアンダーライターの経験、勘や閃きに依っており、統計と資料分析に重点を置く近代的とされる料率の決定のメカニズムと一線を画している。この方法の優れたところは、統計や資料のないリスク判断にも答が出ることで、経済社会の新しいリスクや社会的に興味のある出来事にも料率が出されることである。

経済社会の新しいリスクとしては、北海の石油掘削リグなどの特殊船や初めて世に出る土木工事の新工法などがある。また社会的に興味のある出来事としては、マレーネ・デートリッヒの足やネス湖の怪物発見に料率が提示されたことなどがある。これらは統計と資料分析の料率決定のメカニズムからは出てくるはずのない強

みである。

このようなイギリス的なアンダーライティングとは別の歴史と生き立ちを持った保険引き受け方法は、16世紀のドイツ、ハンザ同盟の火災金庫に始まるといわれる。神聖ローマ帝国の中でドイツの港湾諸都市が力を持ち、商人がギルドと呼ばれる組織を作って自主活動をしていた。多くの都市が火災金庫を持っていたがその一つ一つは構成員100人程度の小規模なもので、大火など複数の罹災には耐えられなかった。殊に1666年のロンドンの大火は火災金庫関係者に大きな動揺を与えた。それが契機となり1676年既存の火災金庫を糾合して大火にも耐えられるものにしようということになり、ハンブルグに本拠を置く火災金庫が出来た。

こうして世界最初の公営火災保険機構として発足したハンブルグ火災金庫は火災保険の研究、火災保険の基礎となる比例填補、実損填補、消火設備の管理などを行い、さらに消防制度を管理して防災に留意し火災事故の低下にも努力した世界最古の公営防災活動といえる。こうしたリスクに体系的に取り組み統計的に料率を算出するという、組織的系統的包括的なドイツ的なやり方が世界に君臨している。

(2) 保険になるか否か

(i) アン・インシュアラブル・リスク

特定の集団の内包する特定のリスクについて、そのリスクの頻度と損害額が定量化できて社会的に負担できる範囲内で、その損害の救済が社会的に容認できる場合、そのリスクを *Insurable Risk* という。

これに対し、そのリスクが定性的に把握できないか、頻度・損害が定量化できないかまたはその救済が社会的に容認できないリスクや不測性、突発性に欠けてリスクといえないものは *Uninsurable Risk* と呼ばれて保険にならないとされる(表 3.3.2)。

Insurable か *Uninsurable* かは難しい問題である。巨大リスクは保険になるかならないか話題になるが、特に原子力損害は興味ある議論を投げかける。

まず、原子力損害が定性的に把握できるかの問題があり、物の損害としては火災と放射能損害であると決まり、定性化できたとされるまでに時間がかかった。次いで、どの程度の頻度でどんな損害が発生するか問題とされた。E T A、F T Aが確

立されたいわゆるラスムッセン報告 (Wash1400) では、原子炉の重大事故の発生が 10 のマイナス 6 乗年であることが証明され、同時に 10 のマイナス 6 乗年が社会的に容認可能なリスクの限度とされることになり、交通事故のリスクは 10 のマイナス 4 乗年で危険度が高いというようになった。

(ii) 原子力のリスクへの保険技術

原子力のリスクを保険に付保することが出来るかということが、保険者に対する興味ある挑戦であった。そこで世界で最初に作られたハンターストン型原子炉の保険を引き受けた経験があり、損害保険でも世界の指導的立場にあるイギリスが中心になり、世界中の保険会社が協力して各国単位に原子力保険プールを作って原子力リスク、原子力賠償責任リスクを引き受けることにした。

こうして原子力保険が世界的に成立したが、この引き受け方法も十分とはまだ言えない。現在、原子力発電所は炉そのものが大型化して 1 基 130 万キロワット以上が普通になり、建設費も 1 基で 2,000 億円以上になっている。さらに立地の関係で一つの原子力発電所に複数の炉が設置されるのが普通となっている。

しかし世界中の原子力保険プールを糾合したとしても 2,500 億円程度のカバーしか集められず、ウォームゾーンやコールドゾーンの原子力損害をすべてカバーすることが困難な場合が出てきている。

また、賠償損害も定量化が完全でなく、TMI (Three Mile Island) 事故では財産損害 69 百万 \$、賠償損害 65 百万 \$ といわれる。さらにチェルノブイリはロシア国内の被害さえもカバーできず、炉自体の処理もできず、炉を封じ込めようとしている。しかも幾ら掛かるかわからず、各国の協力で乗り切ろうとしている。このような事例は、物保険の最高損害額が建物や施設の価格の何十倍にもなり、原子力損害が定性的にも定量的にも把握しきれていないことを示している (図 3.3.3)。

(iii) 不測性と突発性

不測性と突発性も Insurable か否かの判断にとって重要である。不測性や突発性がなければ事前に対策を打つことが可能であり、保険にならない。最初のカテゴリー

の経営問題の中のリスクの多く、例えば後継者問題、資金問題、労使問題などは、大きなリスクでありながら、不測性に欠けることからアン・インシュアラブルとされる。不測性と突発性も保険としての成立要件としてのリスクが定性的、定量的に把握出来ているか否かという問題である。

(iv) 再保険という技術

巨大リスクを引き受けるためには事前にリスクを分散させるシステムを作っておくことが必要であり、この手段として保険会社は保険のまた掛けをして自分の所に入ってくるリスクを分散する。これを再保険という。

例えば5億円であれば何度か反復継続的に支払いに耐えられる保険会社の代理店が20億円のビルを引き受けたとする。保険会社はそのうちの15億円を再保険に売ってそれとは別に1個5億円のリスクを別々に3個買う。そうすると保険会社の保有するリスクは合計20億円で引き受けたのと変わらず、事故の頻度は4倍になるが支払いは4分の1となり経営の安定度が増えることになる(図3.3.4)。

再保険には様々な方法と技術が開発されているが、再保険の技術により、倒産することなく支払いを繰り返し、経験と事故情報を蓄積することで、巨大リスクの消化が可能になっている。保険というリスクの転嫁技術の中で、再保険というリスクの分散手段は極めて特徴的であり、ほとんど損害保険固有の手段である。

3.3.3 原子力保険

(1) 原子力保険の特徴(図3.3.5)

原子力保険は二つの種類があり、原子力施設が被る物的な損害(Property Damage)と原子力施設が原因で第三者に与えた損害を担保する原子力賠償責任保険である。いずれの場合も、普通の保険では免責になっている原子力固有の損害、つまり放射能汚染の損害を担保するところが他の保険とは決定的に異なっている。

この原子力固有の損害、つまり放射能汚染の損害担保を別にすれば、原子炉といえどもリスク的には通常の工場のリスクであり、その財産保険と第三者賠償責任保険の組合わせである。どんな工場かといえ、安全度も注意度もずば抜けて高いあ

る種のプロセスを管理している工場であり、ほとんどそのまま化学工場のリスクの定義となる。

それではその化学工場のリスクの何が問題か、ということが最初の原子力の「保険」のリスクについての問題であった。その時点ではあまり重要視されず、放射能を浴びたものは「廃棄すればよい」という程度の議論で原子力損害が理解され、原子力損害は化学工場と同等であり、放射能損害も化学の新プロセスの製品と同様と考える良いと理解された。

こうして原子力損害は化学工場並みと「定性化」され、最大予想損害は化学工場の物的損害と「定量化」されて *Insurable Risks* と判断されて原子力保険が可能となった。そうして出来たのが、世界各国の保険引き受け能力を糾合してリスクを引き受ける「プール方式」による原子力引き受けであり、それを提唱したのがイギリスの原子力保険プールであった。イギリスは世界で初めてのハンターストン型の原子力保険をプールを結成して引き受け、その再保険を世界に売った経験からプール結成の必要性を感じたためである。

(2) 料率と原子力保険プール

イギリスの原子力保険プールは世界各国のリーディング・カンパニーに各国ごとのプールの結成とその引き受け能力の提供を呼びかけた。当時世界各国で彷彿と進んでいた原子力発電所の研究と建設計画の中で、このプール結成案は各国の受け入れるところとなり、先進各国にプールが結成され、日本では昭和 35 年 3 月に発足した。その後原子力発電所を持つ東欧諸国や中国などもこの組織に参加し、現在 28 カ国 29 プールがある(表 3.3.3)。また、最近では一部の有力な *Captive* 保険会社などもプールからの再保険に応じるようになってきており、一時に比べると引き受け可能な金額も大きくなってきてはいる。

日本のプールの現在の引き受け金額は正式には表 3.3.4 の通りである。この中から日本国内の各社が自分で保有する金額は損害賠償責任保険と財産保険合わせて 350.4 億円で 18 % 強である。アメリカのプールが日本のプールに提供している引受限度額は表 3.3.5 の通りである。しかし日本の東電柏崎刈羽の財産保険は 1 兆 9,456

億円、東電福島2号炉 7,658 億円、関電大飯 7,320 億円などからプールとはいえ引受額が窮屈であることが見られる。

原子力発電所に適用される原子力保険料率は市況等を睨んでイギリスプールが決めていたが、もともと技術交流の盛んな分野であり管理状態、環境、保険金額などで横の比較が出来ているかなどを問題視する技術者が出てきて、現在ではイギリスプールの認めた原子力保険料率算出基準がある。賠償責任保険はすべての施設所有の業者に責任が集中して支払われ、全世界にわたる輸送を想定していることから料率の算定過程は極めて精緻であり、財産保険は比較的単純である。

いずれの算出基準も前出の火災爆発の P M L 算出で見てきた2方式のうち、採点評価方式であり、火災爆発の P M L 算出では I R I 方式に遅れはしたが、原子力保険には採点評価方式が有効であることがわかる。

(3) 原子力保険としての実務

プールの保険引き受けはプール能力を有効に利用するため、ゾーン区分という技術を使っている。当該物件自体の原子力危険を内蔵する建物や収容機械設備を Hot Zone 物件、当該物件自体に原子力危険を内蔵しない建物・設備を Cold Zone 物件、両者の中間的領域を Warm Zone 物件に区分する。その上で、Hot Zone 物件と Warm Zone 物件、Cold Zone 物件それぞれに填補限度額を付して保険契約する。同一サイトに複数の炉のある発電所の場合には、一番大きな炉の保険金額を填補限度額とすることになっている。その方法によって Hot & Warm Zone の合計保険金額よりはるかに低い填補限度額が設定される。

料率は前項でも一部述べたが、イギリスプールが原子力保険料率算出基準を炉ごと、ゾーンごとに決めてきており、それに基づいて保険契約が結ばれている。

表 3.3.1 P M L と類似の言葉

P M L	Probable Maximum Loss	: Normal Events	: IRI
E M L	Estimated Maximum Loss	: "	: IOI, Swiss Re
M F L	Maximum Foreseeable Loss	: "	: SCOR
M P L	Maximum Probable Loss	: Catastrophic Events	: IRI, Swiss Re

表 3.3.2 Uninsurable Risk

定性化できないリスク
 定量化できないリスク
 救済が社会的に容認できないリスク
 不測性・突発性に欠けるリスク

表 3.3.3 世界各国の原子力プール一覧表

世界各国で 29 のプールがあり、プール相互間で国際的再保険取引が行われている。

(28ヶ国 29プール)

British Insurance (Atomic Energy) Committee	(英国プール)
ASSURATOME	(フランス・プール)
Deutsche Kernreaktor-Versicherungsgemeinschaft	(ドイツ・プール)
Pool Italiano per L'Assicurazione dei Rischi Atomici	(イタリア・プール)
Schweizer Pool für die Versicherung von Nuklearrisiken	(スイス・プール)
Svenska Atomförsäkringspoolen	(スウェーデン・プール)
Dansk Atomforsikrings Pool	(デンマーク・プール)
Norsk Atomforsikringspool	(ノルウェー・プール)
B.V. Bureau van de Nederlandse Pool voor Verzekering van Atoomrisico's	(オランダ・プール)
Syndicat Belge d'Assurances Nucleaires	(ベルギー・プール)
Finsk Atomförsäkringspool	(フィンランド・プール)
Aseguradores de Riesgos Nucleares, a.i.e.	(スペイン・プール)
Pool Atomico Portugues	(ポルトガル・プール)
The Korea Atomic Energy Insurance Pool	(韓国プール)
American Nuclear Insurers	(米国プール[株式会社系])
Mutual Atomic Energy Reinsurance Pool	(米国プール[相互会社系])
Nuclear Insurance Association of Canada	(カナダ・プール)
Instituto de Resseguros do Brasil	(ブラジル・プール)
The South African Insurance Association	(南アフリカ・プール)
Verband der Versicherungsunternehmungen Österreiches	(オーストリア・プール)
Nuclear and Reinsurance Pool, Zagreb	(クロアチア・プール)
Nuclear and Reinsurance Pool, Ljubljana	(スロベニア・プール)
Australian Nuclear Insurance Pool	(オーストラリア・プール)
Nuclear Energy Insurance Pool of the Republic of China	(台湾プール)
Egyptian Nuclear Insurance Pool	(エジプト・プール)
Philippine Nuclear Insurance Pool	(フィリピン・プール)
The People's Insurance Company of China	(中華人民保険公司)
Pool Atomico Mexicano	(メキシコ・プール)
Romania Atomic Insurance Pool	(ルーマニア・プール)

表3.3.4 日本のプール組織引受金額

原子力損害賠償責任保険	310 億円
原子力財産損害保険	1,600 億円

表3.3.5 アメリカプールの提供額

プール名	財産保険	賠償責任保険
A N I	110 百万 US\$	31 億円
M A R P	15605 百万円	23 億 2,500 万円

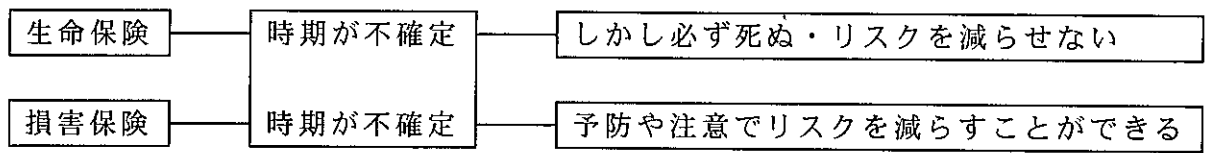


図3.3.1 生命保険と損害保険のリスクの違い

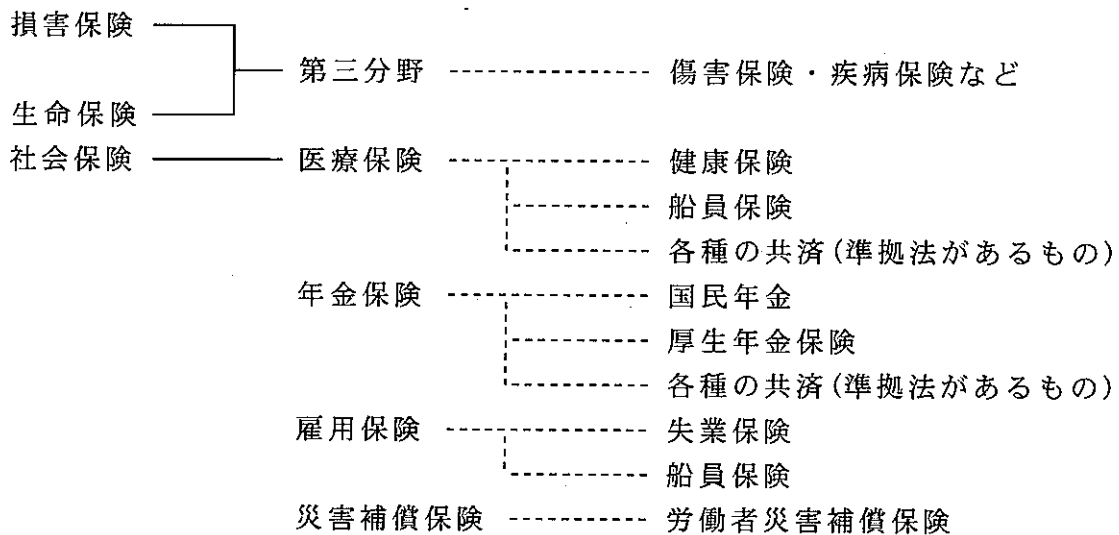


図3.3.2 保険・共済の社会的効用

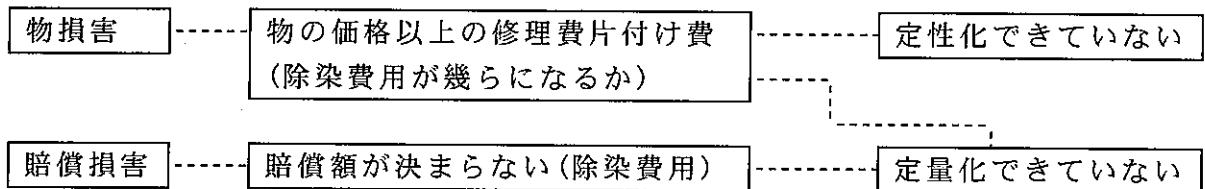
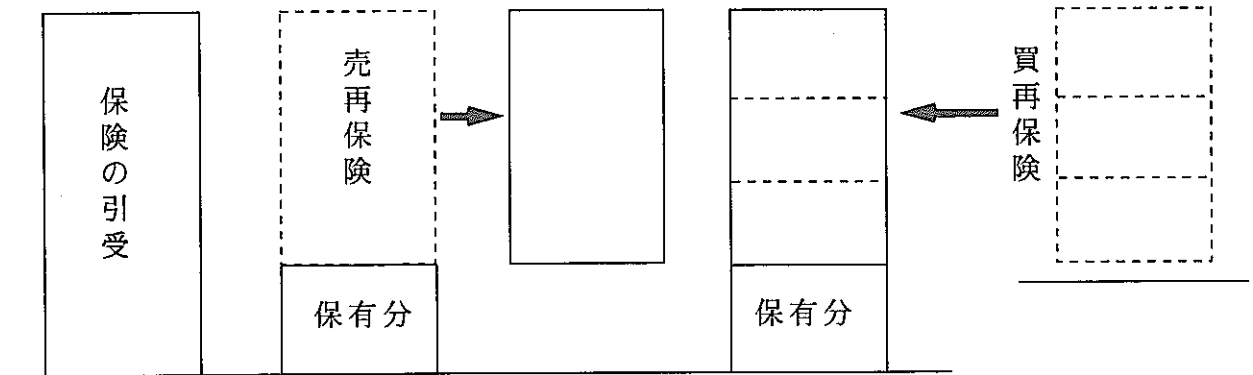


図3.3.3 原子力損害の考え方



保有分 = 保険会社が反復継続的に支払いに耐えられる金額

図3.3.4 再保険の概念図

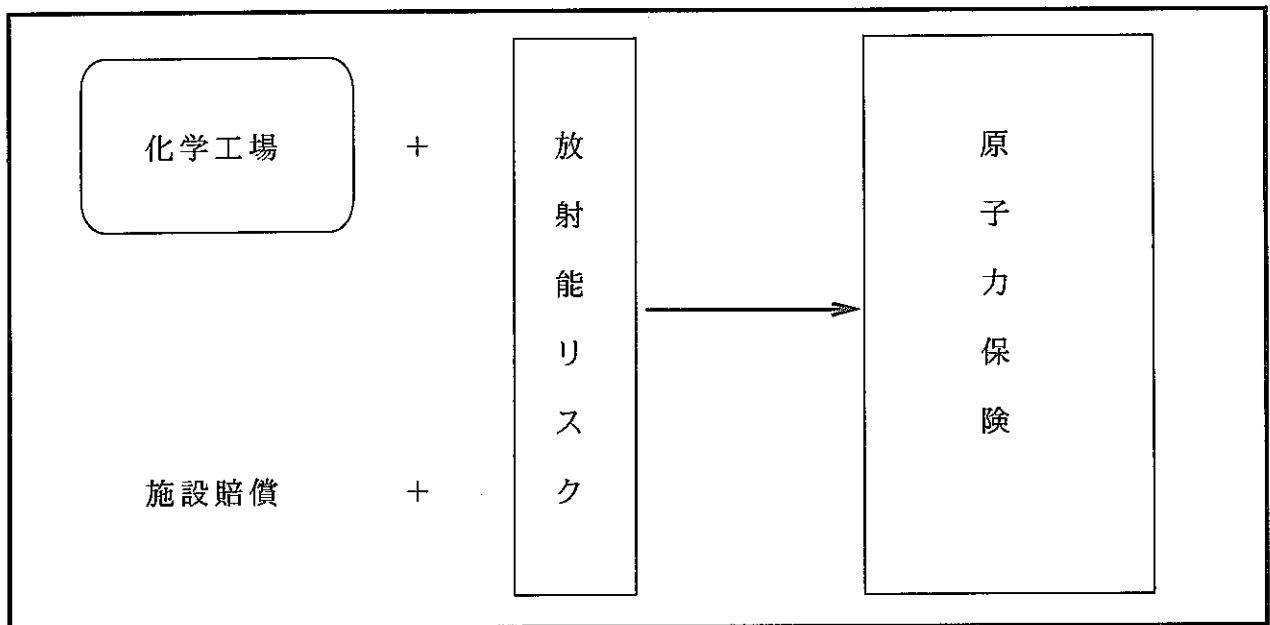


図3.3.5 原子力保険の概念

第4章 各種エネルギー源へのライフサイクルアセスメント

手法適用に関する調査研究

本章では、ライフサイクルアセスメント手法により環境への影響評価について検討が行われている事例として、原子力発電システムのライフサイクル分析について検討を行った。

4.1 はじめに

ライフサイクルアセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)とは、現代の複雑な工業社会が生み出した諸問題を取り扱うシステム分析法の一つである。それは、製品や技術について“ゆりかごから墓場まで”のライフサイクルにおける諸問題、特に環境問題を中心に社会に与えている影響を総合的に分析する方法である。そして、複雑な環境影響を個々の成分について明らかにすることで、環境負荷を低減する具体的な対策に役立てるものである。

LCAは、インベントリー分析と環境影響の2つの基本的な分析プロセスからなっている。インベントリー分析とは、製品や技術に投入あるいは産出している資源、労働、金額、環境負荷などを定量的に明らかにするもので、ライフサイクルアセスメントの最も基本となるプロセスである。そのことからLCA研究の中で、インベントリー分析は最も多く研究が行われている。

発電技術のような社会インフラ施設は、一般の製品と違い検討範囲も複雑になる。インベントリーとしての検討範囲には、発電設備だけでなく、燃料の採掘、変換、輸送、さらに送変配電といった電力輸送設備も含まれる。そしてこの発電に必要な一連の設備である「水平システム」について、“ゆりかごから墓場まで”の「垂直システム」を検討することになる。すなわちそれぞれの設備について、建設、運転・保守、廃棄に係わるインベントリーを調べなければならない。発電施設のインベントリー分析には、一般に、投入されるエネルギーと算出する発電電力量を比較するエネルギー収支分析がある。また投入エネルギーからCO₂や温室効果ガスを求め、それを発電電力量当たりで計算するCO₂排出原単位もインベントリー分析の1つで

ある。

4.2 発電施設のエネルギー収支分析

発電システムのエネルギー収支分析を行うには、まず対象となるシステムをできるだけ広範囲かつ詳細なプロセスに分解する必要がある。対象プロセスは単に発電設備だけでなく、国外における燃料の採掘から輸送、精製、そして設備から廃棄される物質の処理処分、あるいは送配変電設備を含むこともある(図 4.1)。

それぞれのプロセスについて、建設、運用、廃棄のライフサイクルで消費する資材とエネルギーを分析する。投入エネルギーは設備エネルギーと運用エネルギーにわけられる。建設時に消費する設備エネルギーには、機器や資材に使われた素材エネルギー、加工・組立に使う製造エネルギー、機器・資材の輸送エネルギー、施設の建設エネルギーなどが含まれる。設備エネルギーはプラントを建設するときに消費するものであるが、運用エネルギーは寿命期間中に毎年消費するエネルギーである。産出エネルギーは発電プラントが生産する電気エネルギーである。

通常、投入エネルギーには発電用燃料を含めないため、産出エネルギーは投入エネルギーより大きな値となる。すなわち発電技術がエネルギー生産プラントとして成立する条件は、 $(\text{エネルギー収支比}) = (\text{産出エネルギー} / \text{投入エネルギー}) > 1$ 、 $(\text{正味エネルギー}) = (\text{産出エネルギー}) - (\text{投入エネルギー}) > 0$ になる。

電気事業用の実用プラントを中心に火力、原子力、自然エネルギー発電についてエネルギー収支比と正味エネルギー収支を求めてみることにする。エネルギー収支比は、設備の建設や運転で自ら消費するエネルギーに比べ発電のエネルギーが何倍になるかを表す指標で、その値が大きくなるほど効率的なエネルギー生産システムであることを意味している。図 4.2 には異なる発電システムのエネルギー収支比を示す。

図 4.2 から水力発電は、最も大きな値で最も優れており、次に地熱発電、原子力発電、石油火力が続いている。水力発電がエネルギー収支に優れている理由は、エネルギー源となる水が雨という自然現象で貯えられることによる。それは石油や石炭のように油田や炭坑から燃料を運ぶ必要もなく、太陽光や風力のように希薄なエ

エネルギーを設備で集める必要もないためである。水力発電は自然現象をエネルギー生産に有効に利用したシステムであり、発電技術として最初に開発された理由がエネルギー収支比の結果からも理解できる。

同じことは地下のマグマ熱を汲み上げて発電する地熱発電についてもいえる。蒸気井と還元井の配管を地下に敷設するだけでボイラーなしに蒸気を取り出すことができる地熱発電は、火力発電や原子力発電に比べ施設が単純である。その分、資材の投入量も少なくすみエネルギー収支比の値も良くなる。

石油火力については、全体の 57 % が重油火力で残りは原油を直接燃焼して発電しているという我が国の実際の設備構成をもとに計算した結果である。重油火力の投入エネルギーには石油精製装置で消費したエネルギーを含めているが、それでも石油火力のエネルギー収支比は化石燃料の中で最も優れている。LNG 火力のエネルギー収支比が小さいのは、もともと気体状態の天然ガスのエネルギー密度が小さいため、その密度を高めるために大量のエネルギーを消費しなければならないことによる。天然ガスの採集と液化には生産ガスの 10 ~ 15 % もの多量なエネルギーを消費しており、LNG として発電所に運び込まれるまでに 17 % 以上ものエネルギーが失われている。天然ガスを液化しないでパイプラインで需要地まで輸送してもかなりの搬送動力が必要になる。通常、ガス井の生産ガスは自噴のガス圧が 20 気圧以下であり、それをパイプラインで需要地に搬送するには 50 ~ 60 気圧にまで昇圧しなければならない。それに消費するエネルギーは生産ガス量の 10 % に達しており、パイプラインの輸送距離が長くなるほど損失も大きくなる。結局、地中に気体状態で希薄なエネルギー密度で蓄えられている天然ガスを、どのような手段を取るにせよ、採集して需要家に輸送するには多量のエネルギーを消費することになる。同じことは水力と地熱を除く自然エネルギーについてもいえる。希薄なエネルギーを設備を使って集めなければならず、また設備の年間稼働率が比較的小さいために、自然エネルギーによる発電システムのエネルギー収支比は小さくなる。

図 4.3 は各種発電システムについて、実際に社会に供給できるエネルギー量がどれだけになるかを表す正味エネルギー収支の結果である。図 4.3 の値は、すべてのプラントについて発電出力を 1,000MW、耐用年数を 30 年として、その間に生産す

る電気エネルギーから建設と運用の投入エネルギーを差し引いて求めたものである。

正味エネルギー収支の値は、発電設備の年間設備利用率に大きな影響を受ける。すなわち定格出力で運転できる設備利用率が大きければそれだけ多くの電気を発電でき、社会に供給する電力量も多くなる。火力や原子力の設備利用率 75 % は十分に可能であり、それに対して太陽光発電の場合は我が国の日射条件ではせいぜい 12 ~ 15 % である。したがって火力や原子力は同じ設備容量で太陽光発電より 5 ~ 6 倍の電気を発生していることになる。

図 4.3 から、石油火力をはじめとする火力発電および原子力発電は、正味エネルギー収支の値が大きくなっている。その値は水力や地熱よりも優れており、エネルギー収支比の悪い LNG 火力でも正味エネルギー収支になると優れている。すなわち火力や原子力といった大型発電プラントは、同じ容量の発電設備で自然エネルギーに比べて大量の電力を社会に供給できる設備であることがわかる。その供給量は、太陽光発電の 7 ~ 8 倍にも相当している。大量に電力を消費している今日の工業社会には大量に電力を供給する発電システムが必要である。それは水力などの自然エネルギーでは賄いきれず、大量供給が可能な火力や原子力に頼らざるを得ないのが現状である。

また電力は安定的に供給されなければならない。自然エネルギーの多くは、供給力の少なさに加え、その供給が自然任せで変動が大きいという欠点がある。化石燃料や原子力は貯蔵されたエネルギーであり、それを使った発電システムは必要なときに発電できる利点がある。火力発電と原子力発電は燃料が確保さえできれば電力を大量かつ安定的に供給できる発電プラントである。エネルギーを大量に消費する今日の社会が、火力や原子力といった大型プラントによって支えられている所以である。

4.3 発電システムの温暖化ガス排出量

発電部門の CO₂ を削減して行くには、各種対策技術について、温暖化ガス排出量を分析し、それぞれの削減効果を明らかにしていかなければならない。発電システ

ムの温暖化ガス量は、エネルギー収支で求めた投入エネルギーから求めることができる。温室効果ガスには、単にエネルギー(石炭、石油、天然ガス、電力)の消費によって発生する CO₂ だけでなく天然ガスの採掘時に粗ガス中に含まれる CO₂、セメント製造時の化学反応で発生する CO₂、それに石炭や天然ガスの採掘時に大気中に漏洩するメタンなどがある。そういったガスの総排出量を発電システムのライフサイクルで求め、1 kWh の電気を生産するのに排出した CO₂ 量で表すと、異なる対策の比較ができる。1 kWh 当たりの CO₂ 排出原単位は次式により求めることができる。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出原単位 [g/kWh]} = \frac{\text{寿命期間中の CO}_2 \text{ 排出量(設備建設+設備運転+発電用燃料+メタン洩れ)}}{\text{寿命期間中の発電電力量[送電端]}}$$

メタン洩れは採掘地点で大きく異なるが、我が国に輸入しているガス田と炭坑について調べると、天然ガスで生産ガス量の 1%、坑内掘りで石炭 1 トン当たり約 7.3kg のメタン洩れがあるといわれている。漏洩メタンの温暖化影響は CO₂ に比べ大きい。それは、メタンが時間とともに分解していくため積算年数によって異なる。今回の検討では積算年数を 100 年とし、温暖化ポテンシャルを CO₂ の 21 倍として計算した。

図 4.4 は発電システムの CO₂ 原単位を計算した結果である。図 4.4 の値はプラントの寿命 30 年間に発生する全 CO₂ を、その間の発電電力量で割ったものである。

発電システムの温暖化影響は CO₂ の排出原単位の大きさに比例する。図 4.4 の結果を見ると、水力が最も小さく、原子力、地熱、その他の自然エネルギー、そして火力発電の順に大きくなっている。特に火力発電の温暖化影響は、原子力や自然エネルギーに比べてかなり大きい。それは発電時に燃料の燃焼によって直接排出される CO₂ 量が、設備や運用、あるいはメタン洩れといった間接的な排出量に比べ圧倒的に多いためである。

火力発電だけを比較すると、石炭、石油、LNG の順に CO₂ 排出原単位は小さくなっている。その比率は発電用燃料だけで比べると 100 : 76 : 56 であるが、設備と運用、それにメタン洩れを含めて比較すると 100 : 74 : 66 と、石油火力はやや優位に

なり、逆に LNG 火力の優位性が小さくなっている。これは天然ガスの採集と液化に消費するエネルギーが大きく、かつ粗天然ガスに含まれる CO₂が多いためである。液化時と粗天然ガス成分中の CO₂量は、発電時の燃料から発生する値の約 25 %に相当している。

原子力発電は、燃料から CO₂を排出しない分、温暖化影響が小さく、その値は LNG 火力の 1/30 である。原子力発電は、燃料サイクルが複雑で、そのプラント建設に多くの資材とエネルギーを必要としている。しかし、それを耐用期間で均等化し、かつ発電所 1 基分相当の値にしてみると、それほど大きくはない。建設から排出する CO₂に比べれば、燃料サイクルの運用エネルギーによって排出する量の方が大きく、特にウラン濃縮時の多量の電力消費による CO₂量は極めて大きい。

自然エネルギーも温暖化を抑制する発電システムである。太陽光発電の排出原単位は、原子力と水力よりは大きな値であるが、火力の値に比べるとかなり小さい。特に家庭の屋根に設置すれば、架台や基礎工事を必要とする電気事業用の導入に比べ原単位は半分以下にまで改善することになる。

4.4 技術進歩による改善効果

これまでの分析で CO₂排出量は、水力発電が最も少なく、原子力、地熱、その他の自然エネルギー、そして LNG、石油、石炭の火力技術の順になっていることがわかった。発電技術で CO₂を抑制するには、CO₂排出原単位が小さい原子力発電や自然エネルギーを利用する発電技術を積極的に導入していけばよいことになる。しかし、水力や地熱、原子力発電といった CO₂抑制効果が大きい電源を設置しようとしても、実際には立地上の制約が大きく大量に導入することは難しい。我が国の電源構成は、総発電量の 61 %が火力発電によって賄われており、将来の見通しをみてもその比率は 2000 年で 57 %、2010 年で 50 %となっており、将来とも火力発電が電力供給の中心であることに変わりはない。発電の CO₂を抑制していくためには、火力発電に対しても CO₂を削減する技術開発の努力が必要である。

火力発電の CO₂排出量の大半は、発電時の燃料から排出している。CO₂を削減するには、燃料を節約していくことが最も大切であり、それには高効率発電やコジェ

ネレーションといった技術開発が必要になる。発電効率を向上する技術には、LNGを燃料とする LNG 複合発電、石炭を燃料とする超々臨界圧発電、石炭ガス化複合発電、それに石炭ガス化熔融炭酸塩型燃料電池 (MCFC) 複合発電などがある。

図 4.5 は発電技術の進歩によって CO₂ 排出量がどのように改善されるかを示したものである^{1,2)}。火力新技術の中で、LNG 複合発電(発電効率 50 %)は在来火力である LNG 火力に比べ CO₂ 原単位を 22 %も低減している。その値 139g-C/kWh は、1992 年度の電源構成の平均値 128g-C/kWh にほぼ近い値である。石炭火力の場合、新技術による排出原単位の低減効果は、超々臨界圧発電、石炭ガス化複合発電、熔融炭酸塩型燃料電池 (MCFC) 複合発電で、それぞれ 10 %、13 %、30 %である。原単位の低減率は、主に発電効率の上昇率にほぼ比例している。

4.5 原子力新技術による改善効果²⁾

4.5.1 原子力新技術

廃棄物発生量と燃料サイクル費の低減および運転サイクルの長期化を図るため、ウラン燃料の高燃焼度化が進められている。すでに現在までに平均燃焼度 39.5GWd/t の燃料が実用化しており、新たに 45GWd/t の燃料について実用化の準備が進んでいる。

原子炉で燃焼したウラン燃料は再処理をしなければ、いずれは使用済み燃料としてそのまま地下岩盤などの地層に直接処分することになる。このワンス・スルーの路線を取ると、利用できるウランは、天然ウランの中に 0.7 %しか存在しないウラン 235 だけに頼ることになる。その場合、ウランの資源量は可採年数で 40 年程度に過ぎない。

軽水炉では、燃焼した燃料中に燃え残ったウラン 235 とプルトニウムの核分裂性物質が 2 %弱ほど残っている。それを再処理によって回収し有効に利用すれば直接には分裂しにくいウラン 238 をプルトニウム燃料として利用できることになる。このプルサーマル路線よりウラン 238 をもっと効率的に利用する方法に高速増殖炉の導入がある。高速増殖炉が実用化すれば、ウラン資源の 60 %がエネルギー源として利用できることになる。

表 4.1 は、本研究でエネルギー収支と温室効果ガスの分析に取上げた原子力新技術の検討プロセスを示す。対象の軽水炉は発電出力 1,000MW の BWR で燃焼度 30GWd/t の炉特性は参考文献 1 の値を、燃焼度 45GWd/t の炉特性は参考文献 3 の値を引用した。プルサーマルに関しては、ウラン新燃料を 2/3 炉心、MOX 燃料を 1/3 炉心とした(図 4.6)。回収プルトニウムは、新燃料の再処理から発生するものだけを使用し、MOX からの回収プルトニウムのリサイクルはないものとした。

高速増殖炉は金属燃料を用いる新型原子炉で、乾式再処理施設が併設するプラントについて検討した。平均燃焼度は 70GWd/t を使用し、平衡装荷燃料を 11.75t/y として年間設備利用率は 90 % となった。装荷プルトニウムは、炉心燃料回収プルトニウム 0.972t にブランケット燃料からの回収プルトニウム 0.293t 中の一部 0.180t を混合した調整プルトニウム 1.152t を供給するものと仮定した。高速増殖炉の諸量を図 4.7 に示す。

4.5.2 エネルギー収支

原子力発電システムでエネルギーが最も多く投入されているのはウラン濃縮プラントの運転時である。ガス拡散法によると運転エネルギーは全体の投入エネルギーの 81 % にも達している。もしそれを遠心分離法に置き換えれば、エネルギー収支は大幅に改善することになる。エネルギー収支の向上は、燃料サイクルの負担を軽減する高燃焼度化や高速増殖炉によっても期待できる。図 4.8 は、原子力の新技術導入によって改善したエネルギー収支の結果を示したものである。図 4.8 から遠心分離法、高燃焼度技術、高速増殖炉は電力の生産効率を大幅に改善する技術であることがわかる。

4.5.3 温室効果ガスの排出量分析

原子力発電はライフサイクルからみた CO₂ 排出量が最も小さく、温暖化抑制効果が最も大きい発電システムである。現在、我が国では、軽水炉の使用済み燃料を再処理してプルトニウムを取り出し、それを燃料として再利用するプルサーマル路線の開発が進んでいる。濃縮ウランにしても、これまでの海外のガス拡散プ

ラントで製造されたものから、我が国の独自技術である遠心分離法による生産が計画されている。また準国産資源であるプルトニウムを高速増殖炉で利用していけばウラン資源の有効活用が図れる。

原子力技術で遠心分離法、高燃焼度技術、高速増殖炉といった新技術は CO₂ 排出量を改善する。中でも高速増殖炉は、改善効果において最も優れている。その理由は、高燃焼度と設備利用率の大きさである。高速増殖炉の燃焼度は 61GWd/t と軽水炉の 45GWd/t に比べて大きく、年間の設備利用率も 90 % にもなる。すなわち、高速増殖炉はわずかな燃料で長時間、大きな出力を発生する能力を持ったプラントである。図 4.9 は原子力新技術による CO₂ 排出原単位の低減効果を示したものである。

4.6 まとめ

ライフサイクル分析で得られた結果を参考に発電プラントの位置づけを考えると、我が国の CO₂ 排出レベルを低減する対応として、早期に考えられることは、火力発電の燃料を石炭や石油から LNG に転換し、高効率の LNG 複合発電を導入していくことである。もし火力電源をすべて LNG 火力に置き換えれば、我が国の電力部門の CO₂ 排出量は 1990 年度レベルに維持することは可能である。しかし LNG だけへの大量依存はエネルギーの安定供給を脅かすことになる。特に世界の多くの国々が天然ガスにシフトしている最近の動向をみると、天然ガスの需給逼迫が来世紀初頭に懸念される。そうなるとエネルギーセキュリティから石炭火力の導入を図ることが大切になる。たとえ CO₂ 排出量が多くても石炭火力ならば安価でかつ安定的な供給が確保できる。できるだけ効率の良い石炭火力の導入が望まれる。

CO₂ の回収技術は、火力技術の CO₂ 抑制に大きな効果がある。排ガス中の CO₂ を 90 % 近くも削減するため(実際には電気の所内消費が多いため kWh 当たりの削減量は 90 % より少なくなる)、高効率技術に比べ CO₂ の抑制効果は大きい。CO₂ 削減からみると CO₂ 回収技術の導入は効果的であるが、問題は技術の信頼性、経済性、それに新たに発生する外部性の問題である。新たな外部性とは、CO₂ 回収時に大量に電力を消費するため化石燃料を無駄にすること、回収した CO₂ を海洋などに投棄したと

きの環境影響などである。化石燃料の無駄や海洋への環境問題などを考慮すると CO₂ 回収技術の導入はできるだけ避けたいが、CO₂ 対策として原子力や自然エネルギーの導入が思うように進まなければ、緊急避難的に CO₂ の排出量を安定化する手段となる可能性はある。

発電時に CO₂ を発生しない原子力と自然エネルギーは CO₂ 抑制において大きな役割がある。それらはライフサイクルからみた化石燃料消費も kWh 当たりの値が小さく、化石燃料を節約する技術でもある。太陽光や風力による発電技術は、CO₂ 抑制効果は大きく、導入が期待される。しかし、問題はコスト高と供給の不安定さである。投資リスクが小さいことから導入しやすさはあるが、発電の出力規模が小さいため電源としての大きな寄与は期待できない。

それに対して、原子力、水力、地熱は化石燃料の節約効果が大きく、かつ最も安価に大量の CO₂ を削減する技術である。問題は、すべてに立地上の制約課題があることである。安全性や国立公園の環境問題などエネルギー分析や CO₂ 分析では評価できない社会問題が技術導入に大きく影響している。CO₂ 問題の解決や我が国のエネルギーセキュリティにとって、原子力、水力、地熱は必要であるが、そのためには国民レベルあるいは地域住民レベルで理解を得る必要がある。

参考文献

- 1) 内山洋司, 発電プラントのライフサイクル分析: 電力中央研究所研究報告 Y94009 (1995)
- 2) 内山洋司, 横山速一, 原子力発電新技術のライフサイクル分析: 電力経済研究, No.37(1996)
- 3) 米田文重, 我が国における F B R 導入のシナリオ: 原子力工業, Vol40, No.9(1994)

表 4.1 原子力新技術の分類

(発電出力：100万kW)

		設備利 用率[%]	燃焼度 [GWd/t]	燃料サイ クル	ウラン 濃縮法
軽 水 炉	在来型	75	30	ウラン・プルトニウム	ガス拡散
	A	75	30	ウラン・プルトニウム	遠心分離
	B	88	45	ウラン・プルトニウム	遠心分離
	C	75	30	プルトニウム	ガス拡散
	D	75	30	プルトニウム	遠心分離
高速増殖炉	E	88	45	プルトニウム	遠心分離
高速増殖炉		90	70	プルトニウム	なし

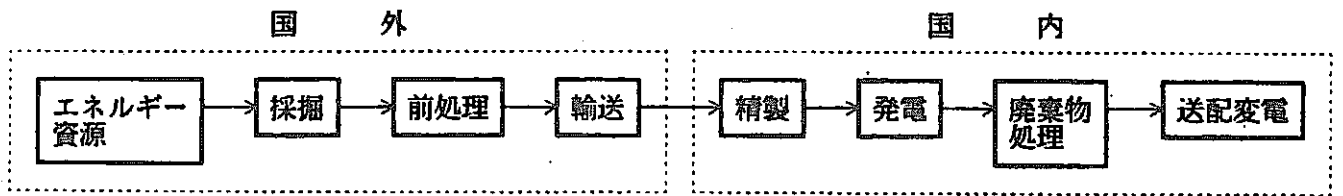


図 4.1 発電プラントのプロセス

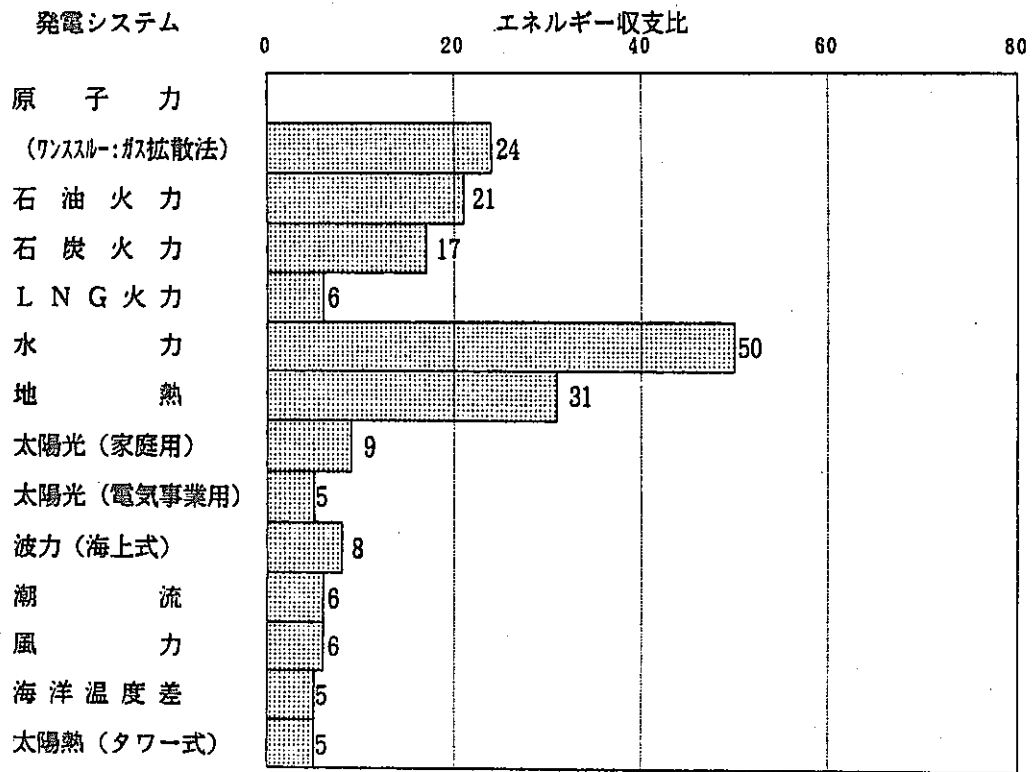


図 4.2 発電システムのエネルギー収支比 (寿命30年)

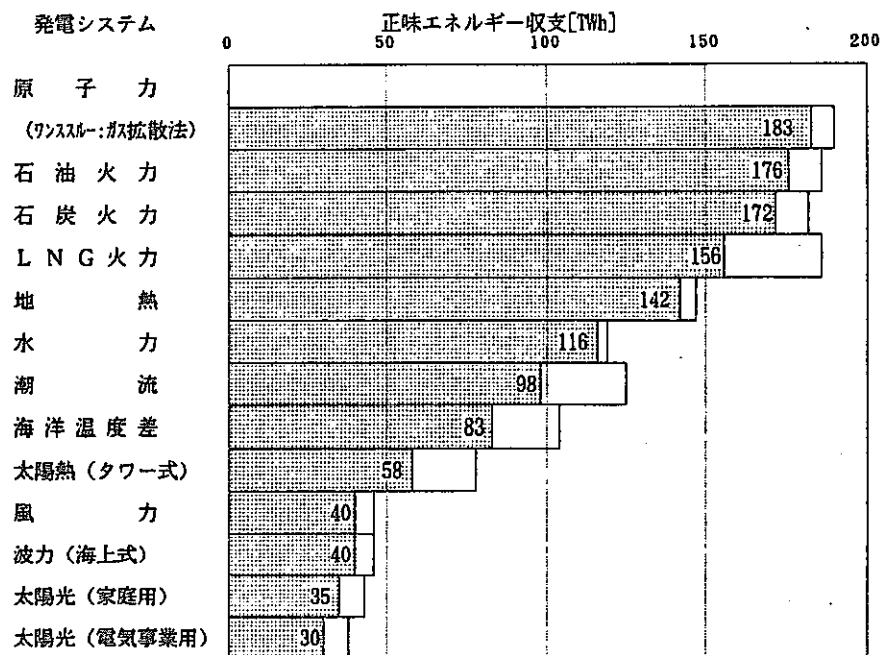


図 4.3 発電システムの正味エネルギー収支 (1,000MW, 寿命30年)

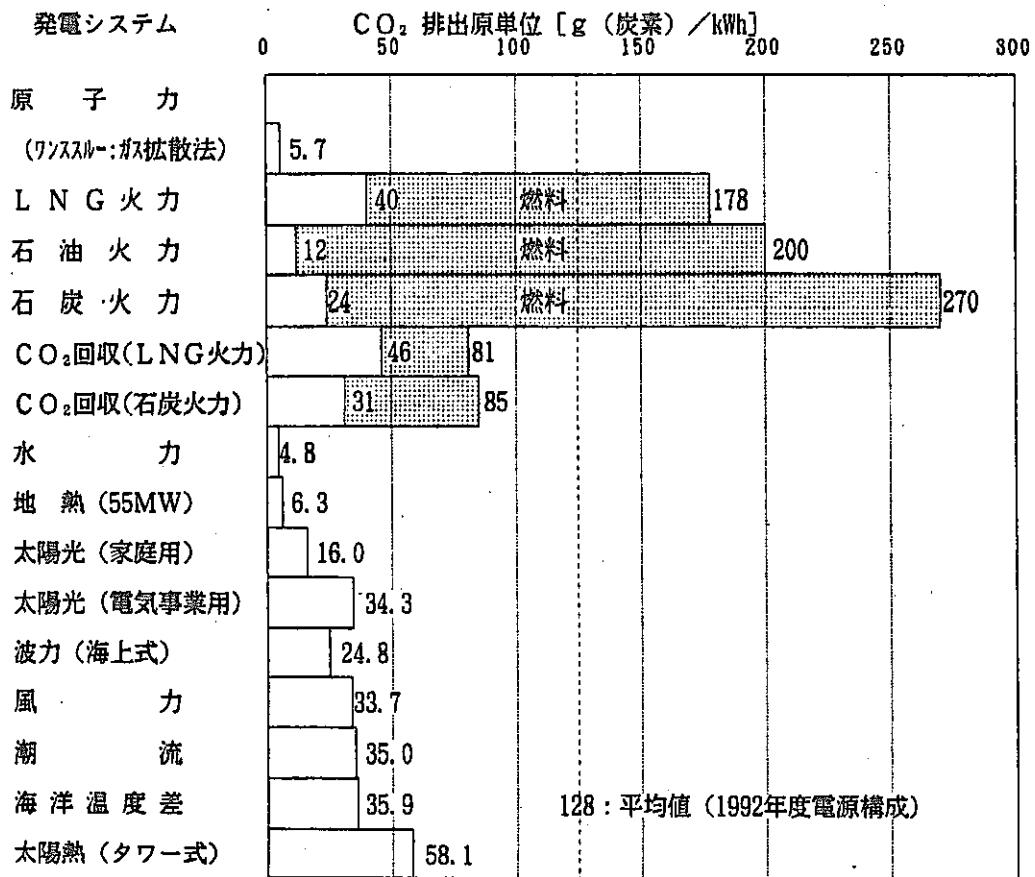


図 4.4 発電システムの温暖化影響

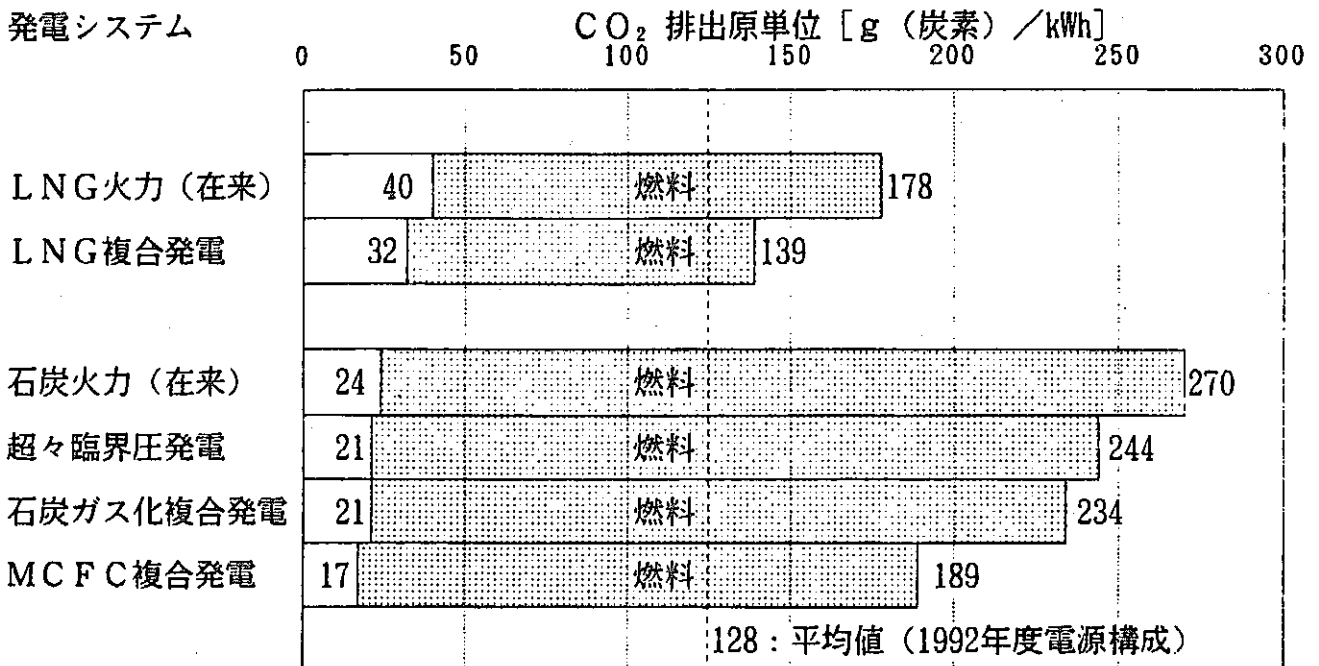
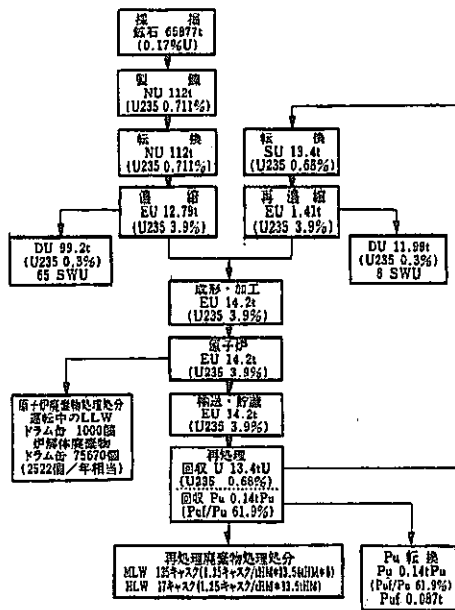
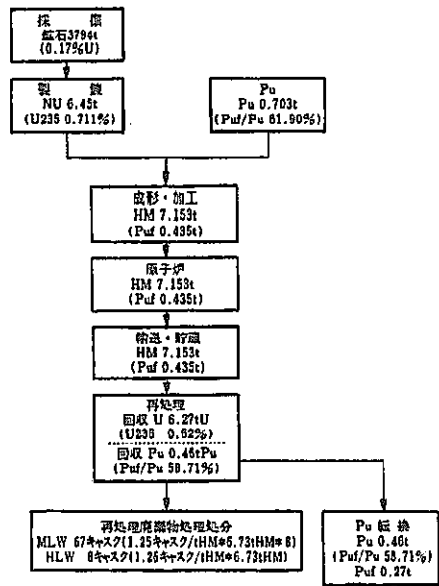


図 4.5 技術進歩による発電システムのCO₂排出原単位



NU:天然ウラン EU:濃縮ウラン DU:濃縮ウラン
PuF:核分裂性プルトニウム

(1) ウラン新燃料 (2/3 炉心)



HM:金属ウラン MLW:中レベル放射性廃棄物
HLW:高レベル放射性廃棄物

(2) MOX 燃料 (1/3 炉心)

図 4.6 プルサーマルの燃料サイクル諸量

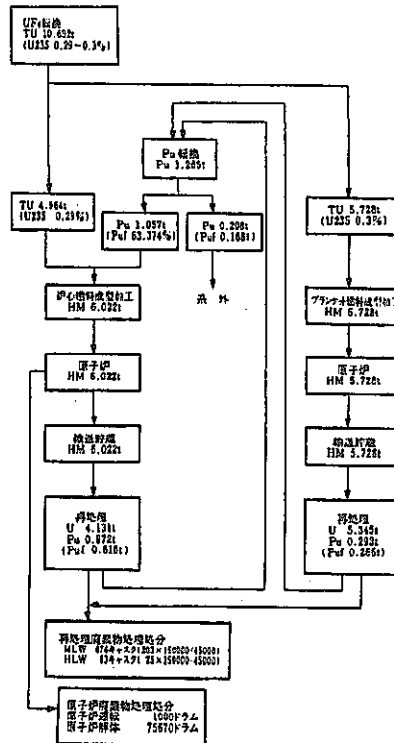


図 4.7 高速増殖炉の燃料サイクル諸量

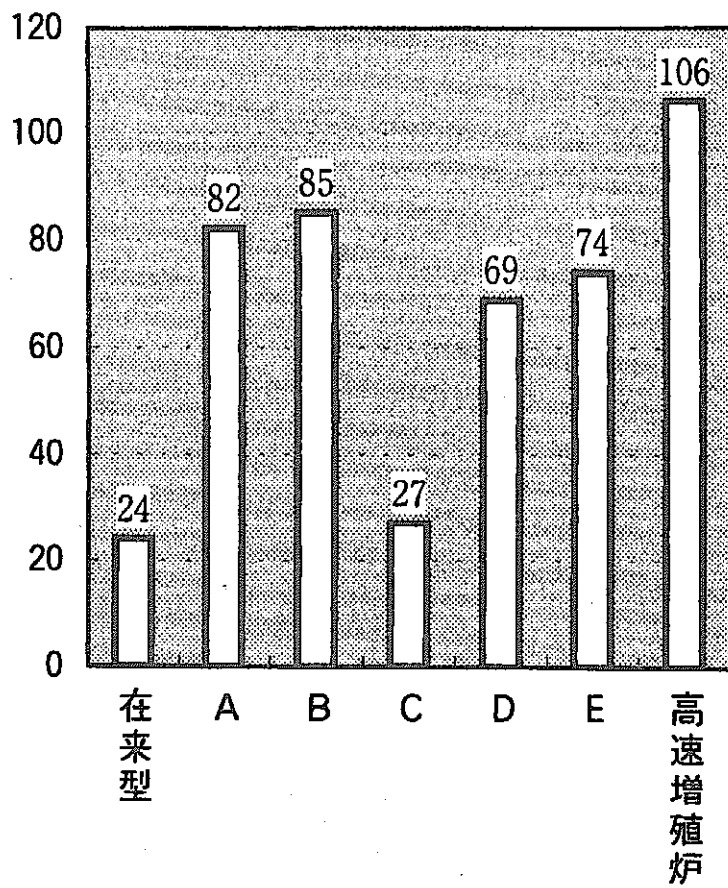


図4.8 原子力新技術エネルギー収支比

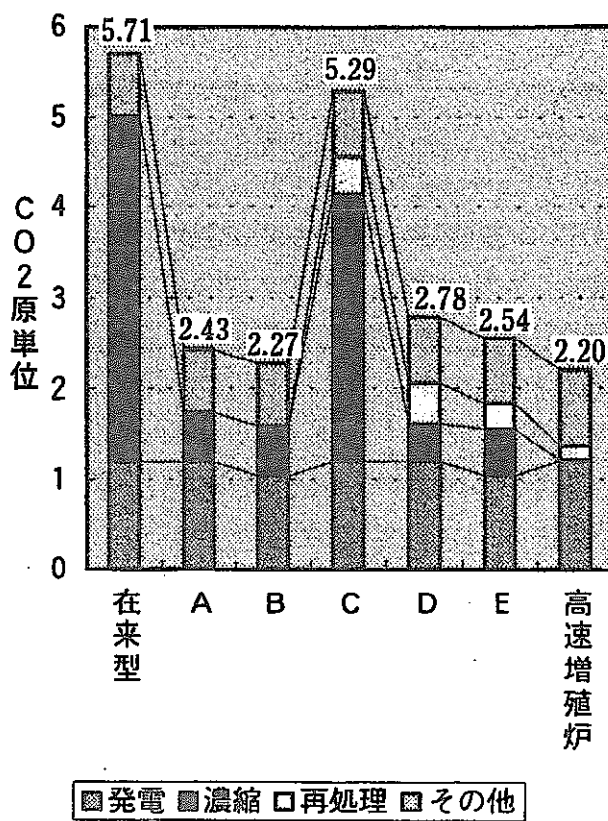


図4.9 原子力新技術によるCO₂排出量

あとがき

リスク評価手法を用いた環境影響評価に関する調査研究として今年度は①各種エネルギー源に係るリスクプロセス、リスクソース等の調査研究、②リスク評価手法に関する調査研究、③一般公衆のリスク認知に係る社会科学的評価手法に関する調査研究、④各種エネルギー源へのライフサイクルアセスメント手法適用に関する調査研究について基礎的な調査を行った。

アジア地域における広域的な酸性雨が問題となってきたため、第2章で述べたように酸性雨の広域輸送について調査を行ったが、この結果より、近い将来、中国や韓国が建設を予定している原子力発電所の事故が起きた場合の放射性物質の放出挙動をある程度推定することが可能であることがわかった。このようなことから各エネルギー源に係るリスクプロセス、リスクソース等の調査、リスク評価手法に関する調査の重要性を再認識した。

また、昨年度からの継続として検討してきた、リスクの認知・リスクの受容について、第3章で述べているように、リスクを認知・受容する側の個々の受け止め方がそれぞれに違うこと、また、リスクを測ってそれを生業としている保険の分野でも、定量的あるいは定性的に測ることのできない事象については保険にはなりにくいということからも、一般の公衆と専門家との間にはリスクに関する意見のギャップがあることを認識させられた。

最後に、現在、環境管理システムの国際規格化が進められているが、この規格の中に、ライフサイクルアセスメントが取入れられているため、この環境管理システムの国際規格についての概要を参考として付録で紹介する。

環境管理システムの国際規格（ISO14000シリーズ）の概要

環境管理システムの国際規格 (ISO14000シリーズ) の概要

1. はじめに

図1に示す通り環境管理規格の一つに環境管理(マネジメント)システムがあり(EMS)、このEMSが適正に機能を果たしているかをチェックするために環境監査(EA)がある。そしてこれらに携わる人々は、環境マネジメントシステム審査登録制度による登録制に依っている。また、実際にシステムを構築し、それを運用した場合の結果、すなわちパフォーマンスについても考慮しており、このパフォーマンスの標準規格も考えることとしたのが環境パフォーマンス評価(EPE)である。

以上が管理手法、管理手段のレベルであるが、次に環境面からいえば、製品とサービスの環境面への配慮が絶対的に必要となることから、当然製品やサービスの環境要素を評価する手法が必要となってくる。その評価手法がライフサイクルアセスメントであり、製品やサービスの始まりから終わりまでを、つまりライフサイクル全体をトータルで見ていこうという評価方法である。

2. 環境管理の国際標準化の動向

環境管理の国際標準規格は、国際標準化機構(International Standardization Organization、以下ISO)で規格化を行っている。ISOの組織自体は非政府間機構であり、スイスに法人格を持っている国際機関として存在している。ISO会員の半分以上は政府機関、または公法で規定された法人組織で、1ヶ国1機関だけで構成されている。各国には国家規格の機関が存在し、先進国では主に民間ベースの、日本でいう公益法人組織が多く、アメリカはANSI、カナダはCSA(Canadian Standard Association)、イギリスはBSI(British Standard Institute)、フランスはAFNOR、ドイツはDIN等である。

我が国は、日本工業規格(J I S)の調査、審議を行っている日本工業標準調査会(J I S C)が、日本工業標準法に基づき、1952年4月に閣僚了解に基づいてI S Oに加入している。

I S Oの組織は、図2に示す通り、理事会の下に技術管理評議会(Technical Management Board)が設置されており、さらにその下部機構として専門委員会(Technical Committee、T C)が設けられている。具体的には、I S Oが新たな国際標準を作る際には、技術管理評議会がそれぞれの規格に応じたT Cを設置し、これらのT Cで議論を重ね規格化していく方式であり、環境管理の分野についてはI S O/T C 207が設置されている。

このI S O/T C 207の設置の経緯(表1)は、地球全体の環境を考えると国際的に統一した環境管理の手段が必要ではないかとの産業界側からの提言もあり、1990年に設置されたB C S D(Business Council for Sustainable Development)からI S Oに国際標準化の検討の要請がなされ、これを受けて、I S Oは1993年1月にT C 207を設置し、同年6月に第1回目の総会をトロントで開催、その後は年1回総会を開いて現在に至っている。現在、このT Cからは環境マネジメントシステム、環境監査に関連する規格が1996年9月と10月に計5点発行されており、T C 207は現在も活動を継続している。

T C 207に設けられた環境管理(Environmental management)のI S O標準化検討体制を図3に示す。T C 207にはサブコミッティ(以下、S C)が設けられており、規格作成に当たっての議論がS Cで行われている。S Cはそれぞれ環境管理システム、環境監査、環境ラベル、環境パフォーマンス評価、ライフサイクルアセスメントおよび用語・定義を検討する6つのグループに分かれている。また、我が国の対応体制は図4に示す通り、図3のT C 207に対応するような審議体制が採られており、小委員会もT C 207のS Cに対応したものとなっている。

現在の国際標準の進捗状況を表2に示す。また、この規格番号にしたがった相互関連は図5のようになることをI S Oは示している。日本の状況

は、国内においてこのような環境管理の規格がなく、またOECD加盟国の義務として規格を持って貿易障壁を形成しないとの観点から、国家規格を国際規格に整合する方向であるため、ISO規格を100%受け入れJIS規格とする方針である。

3. 環境マネジメントシステム

環境マネジメントシステムは、環境に関する組織の方針を定め、それを実行していくためのシステムに係る規格であるが、環境マネジメントシステムの規格には、ISO14001と14004が発行されており、このISO14001の概念は図6に示す通りである。図中の4.1、4.2という番号は、ISO14001に記述されている要求事項の番号である。

環境マネジメントシステムは、まず第一に組織は環境方針を立て、その方針に基づいて計画を構築する。そしてその計画の実施・運用段階を経て、点検および是正措置を行い、最後に経営層の見直しがされることになっている。したがって、環境マネジメントシステムの継続的改善がなされ、図中に示した矢印のスパイラルアップが作り出される。なお、図中の(P)、(D)、(C)、(A)は、品質管理上のPDCA(Plan、Do、Check、Action)のことである。

また、ISO14001の特徴を表3に示す。項目Aは、世界共通唯一の環境マネジメントシステム基準とある通り、公平に見て世界共通唯一の規格であり、この規格で仕切る事ができるということである。つまり、ある企業が世界各国に分散している子会社、支社、現地法人がその国々の独自規格で実施してきたことを、この規格でもって実施できるということである。項目Bのミニマムリクワイヤメントは、この規格の要求事項がどのような組織でも、どの地域でも、さらに文化的背景が違っていても分かり合えるものとすることで作成されており、そういったことでの最低限、最小限の要求事項である。項目Cは経営層の直接的関与ということ、経営層がマネジメ

ントをしっかりと行わなくてはならないと規定されている。項目Dは、PDCAサイクル、すなわち設計、原材料調達から使用、廃棄にわたる総合管理のシステム規格になっている。

4. 環境監査

環境マネジメントシステムをチェックする機能として環境監査が規格されている。この規格では環境監査の一般原則の規格ISO14010、環境マネジメントシステム監査の手順を決めている規格ISO14011、それから監査をする人である環境監査員の資格基準の規格としてのISO14012の3つがある。

監査手順ISO14011の流れを図7に示す。監査は3つのステージに分かれており、監査の準備段階のステージ、監査を実施するステージ、監査の終了段階のステージである。

監査の準備段階のステージでは、まず物理的な対象範囲を決めることも含めた監査範囲を決める。監査の対象とする環境マネジメントシステムを明確にして、何を監査するのかはっきりとさせる。そしてシステムを審査するために、システムを規定している様々な文書により予備文書検査を行う。このような事前の段階が終わったら、監査の実施計画を行うことになる。何人で監査を行うか、場合によっては専門家を必要としたり、これらをも考慮して監査計画を立て、監査チームを編成する。そして監査の手順等の時間軸を入れた作業文書を作成する。ここまでが監査の準備段階のステージである。

次に監査を実施するステージでは、まずはじめに受審者、審査を受ける側と打合せを行う。この時は監査側が作業文書を見せて手順、スケジュール、チェックを行うところを説明し、場合によっては審査を受ける側からの要望あるいは注意事項を監査側に説明する。この打合せが終了した後、証拠の収集、監査知見の記録という監査そのものを実施し、その後に終了の会議を開く。終了の会議は、監査を行った結果の問題点などを監査側が

受審側に説明し、監査側の誤解や理解違いを避けることと、受審側の説明の場を設けるために開催される。

この会議が終了したら、監査の終了段階のステージとなり、一気に監査報告書を準備、作成し、しかるべき所へ配付され、この報告書は当然保管されることになる。

5. 環境マネジメントシステム審査登録制度

前述の監査にはいろいろなケースが考えられる。企業内の内部監査も含まれ、それには例えば支社間で監査を行うケースのような第一者監査がある。自らが取引先、下請け、部品を供給する供給先を監査する場合は、第二者審査と呼ぶ。より客観性を持たせて自分自身のバイアスを除くことにすると、どこかの監査会社、審査会社に監査を実施してもらう場合が生じるが、これを第三者審査と呼ぶ。

ここでいくら内部監査をしっかりと行っても、外部に対しては客観性に欠けてしまう。そこで客観性を常に確保するとの観点から設けられたのが環境マネジメントシステム審査登録制度である(図8)。我が国における認定機関は(財)日本適合性認定協会(以下、JAB)であり、図中の中段にある第三者審査を行う機関が第三者審査を行う能力があるか否か、審査を適正に、公平・公正にできる組織かどうかをこの認定機関が審査する。

第三者機関には、審査登録、評価を行う審査登録機関、審査員評価登録機関、審査員研修機関がある。審査登録機関の審査登録を行うのは審査員であり、この審査員の能力について一定の資格基準を設け、資格制度を作ることになっており、これを行うのが審査員評価登録機関である。審査員評価登録機関への申請に基づき、評価、判定をし、資格が決まると付与される。そのときに審査員の資格に対する規格がISO14012である。

また、審査員の能力を開発するために、ISO14001の内容やISO14011に基づく審査方法、監査行為の手順の実施に関する研修や、トレーニングを行う

必要性から、審査員研修機関が設置されている。

そして審査員研修機関がしっかりとした研修コース、研修施設を持ち、適切な教師、教材、カリキュラムを保有し、ISO14000シリーズの内容を的確に教えているか否かを認定機関がチェックする体制となっている。

このように審査登録制度は、全体的に中段の3つの機関を認定機関が客観性を持たせる認定行為をし、あとは審査登録機関と各企業・工場が、審査員になりたいと思う個人と審査員評価登録機関やトレーニングコースを行っている研修機関とつながることになる。この制度を構成する機関の考え方は表4の通りであり、この認定機関から研修機関に至るまでが、第三者認証制度を形成している。

6. 環境パフォーマンス評価

ISO14031で規格されている環境パフォーマンスは、組織の環境行動、実績を定性的・定量的パラメータを使って評価するための指標と評価方法のガイドラインである。このガイドラインの中心は、インディケータと呼ばれる定性的・定量的パラメータ部分と、組織の環境行動、実績を測るための対象カテゴリーと測る物差しの明確化が中心となっている。

組織の管理システムというのは、具体的には人の部分であり、人が意志決定をしていくプロセスを指している。一方、運営システムというのは工場なら工場そのものの施設であり、製品、サービスの出・入りである(図9)。このような活動を環境との関係で見ると、資源や原材料、エネルギーが入ってきて、設備や施設を動かし、廃棄物を含む排出という形で出て行くことになる。その設備や施設を動かすのは管理・コントロールする人間の組織体が決定することとなり、設備・施設からの運転状況を情報として受け取り、判断をし、運用を続けていく。このマネジメントシステムには、目的や目標の設定があるわけで、当然数値目標を決めることになる。例えば廃棄物を、1990年のモデルに対して5%減らすとか、CO₂排出量をどれ

だけ減らすとか、そういった目標への到達度というのはインディケータを使うことでわかる。それから時系列変化や業種間、工場間での比較検討を行うことができる(図10)。

インディケータの一つに、E C I (Environmental Condition Indicator)がある。これは地方、地域、国または地球規模の環境の状態に係る情報を提供する特定のインディケータ、という定義である。例をあげると(表5)、この表にある Environmental Condition を念頭に置いて、自らの環境側面をチェックし、研究することにより関係するコンディショニングインディケータがわかる。

次にコンディショニングインディケータに対応する実際のパフォーマンスインディケータは、表6のマネジメントパフォーマンスインディケータと運転システムに対応したオペレーショナルパフォーマンスインディケータから成る。これら両方を併せてE P I (Environmental Performance Indicator)と呼んでいる。

この規格では、自らが関係するE C Iをまず把握し、それと関連するM P IとO P Iを作ることとなる。

O P Iの生産フロー(図11)については、インプットとアウトプット、図中真ん中はプロセスの中の問題である。つまり原材料やエネルギー、サービスがインプットされ、製品、サービス、廃棄物、排出物がアウトプットで出てくる。このように生産プロセスのフローを何がどこでというのをインディケータとし、概念図として大きなものを作ることができる。

E C IとO P Iとの関係を表7に示す。この例は鉄鋼業であり、窒素酸化物他のE P Iがある。O P I側は鉄鋼業であるから、アウトプットでは工程別排出量、工程別排出濃度、工程別排出ガス酸素濃度、工程別排出ガス温度が指標として考えられる。事業活動因子で考えると装置と機器が、インプットで考えると原材料では鉄鉱石と石灰、エネルギーでは電気、石油などこれらが全部指標になり、E C IとO P Iはこのようにつながりで整理できる。

意志決定をしているマネジメントシステムを指標化して、実績などを評価することを考えることも行える(表8, 9)。表中の共通事項がいわゆる指標になる。考え方の例として、例えば計画の1の体制を取ってみると、管理(年間の会議の開催計画数)、管理規定(管理規定数、管理規定の名称)とあるが、マネジメントシステムの方は定性的になりがちであるが、なるべく定量化を図り、これが定量化されると指標になる。

このような評価手法を環境パフォーマンス評価(Environmental Performance Evaluation、以下EPE)と呼んでいる。

7. ライフサイクルアセスメント

ライフサイクルアセスメント(以下、LCA)の規格とは、製品の環境負荷を原料調達段階から廃棄に至る各段階ごとに分析し、製品の環境負荷の改善を目的とする手法に対するものである。インベントリー分析とインパクト評価という2つの評価プロセスを通じて、製品やサービスの環境負荷と影響を評価するのがLCAである。

ISOでは図12に示すように、目的と範囲を設定し、その上でデータを集めてインベントリー分析を行い、各インベントリー分析で集まったデータに基づいて、その製品に対しての環境影響評価を行い、その結果をどう解釈すべきか、というフェーズで進めていく。

産業界ではこのLCAが自主改善とかマーケティング、経済社会システムへの反映、消費活動などに様々な利用が出来るのではないかというLCA手法の用途を図13に示し、環境調和型製品の開発、リサイクル設計、プロセス改善等々の項目を挙げている。

ここで出てきたインベントリーとはどういうものかというのを例を示したのが、図14~16、表10である。これは乗用車1台が一生にどれくらいエネルギー消費し、各ライフサイクルのステージのどの部分でどのくらいになっているかを示している。

インパクト評価は、自動車という製品が排出する環境影響物質が環境カテゴリーとどのように結びついて相関関係をもつかを探す Classification という段階を済ませ、次に、例えばオゾン層破壊という環境カテゴリーが人の健康や病気などにどのように関係をしているのかを特定化 (Characterization) しようとするものである。そして最終的には出来るならば人の健康、死亡超過、病気、エコシステムの損害、資源枯渇などという環境の受けたダメージを総合的に評価すること (Valuation) になる (図17)。このように L C A という手法を使うと、環境に配慮した製品の開発が積極的にされることとなろう。

表1 ISO/TC207環境管理標準化の経緯

- * 1990年、持続的な開発のための経済人会議(B C S D : Business Council for Sustainable Development)
- * 1992年6月、国連環境開発会議(UNCED)－アジェンダ21採択
- * ISO標準化の経緯
 - a. 1991年 : B C S Dからの検討要請
 - b. 1991年7月 : S A G E (Strategy Advisory Group on Environment)の活動開始
 - c. 1992年10月 : S A G E 第3回会議－TC設置勧告
 - d. 1993年1月 : T C 2 0 7 設置決定
 - e. 1993年6月 : T C 2 0 7 第1回総会(トロント)
 - f. 1994年5月 : T C 2 0 7 第2回総会(ゴールドコースト)
 - g. 1995年6月 : T C 2 0 7 第3回総会(オスロ)
 - h. 1996年6月 : T C 2 0 7 第4回総会(リオデジャネイロ)
 - i. 1996年9月 : ISO14001/14004発行
10月 : ISO14010/14011/14012発行
 - j. 1997年4月 : T C 2 0 7 第5回総会(京都)
 - k. 1998年6月 : T C 2 0 7 第6回総会
(サンフランシスコ・予定)

表2 ISO/TC207の標準化進捗状況

SC	WG	規格No.	タイトル	現在の地位	見通し
SC1	WG1	14001	環境マネジメントシステム－指針と仕様	96/9/1発行	3年後見直し
	WG2	14004	環境マネジメントシステム－原則、システム及び支援技法の一般指針	96/9/1発行	3年後見直し
	SMEプロジェクトチーム		SME向けガイド	98年9月のラッソソ総会まで持越し	
	TC176との合同タスクグループ		ISO9000sとISO14001の整合	97/8に第1回会合開催	
SC2	WG1	14010	環境監査の指針－一般原則	96/10/1発行	3年後見直し
	WG2	14011	環境監査の指針－監査手順－環境マネジメントシステムの監査	96/10/1発行	3年後見直し
	WG3	14012	環境監査の指針－環境監査員のための資格基準	96/10/1発行	3年後見直し
	WG4	14015	環境監査－サイトアセスメント	WD	来秋CDの見込み
	TC176との合同タスクグループ		ISO10011とISO14010sの整合	97/9に第1回会合開催	
SC3	WG1	14024	環境ラベルType I－原則と手続き	CD投票中	98年初発行
		?	環境ラベルType III－定量的表示	論点整理中	TR作成で合意か。
	WG2	14021	環境ラベルType II－自己宣言による環境主張	CD(第2次)	98年末
	WG3	14020	環境ラベル－一般原則	DIS投票中	98年初発行
SC4	WG1 WG2	14031	環境パフォーマンス評価指針	第2次CDのナショナルコメント収集中	98年末発行
SC5	WG1	14040	LCA－原則及びフレームワーク	97/6/15発行	3年後見直し
	WG2	14041	LCA－インベントリ分析一般	DIS投票中	98年春発行
	WG3	TR-Type3	14041の技術解説	作成中	98年秋発行
	WG4	14042	LCA－インパクト評価	CD投票	98年末発行
	WG5	14043	LCA－インタープリテーション	CD投票	98年末発行

表3 ISO14001規格の特徴

A.	世界共通唯一の環境マネジメントシステム基準
	* 環境問題のボーダレス化
	* 企業および企業活動のグローバル化
B.	ミニマムリクワイヤメント
	* 各国・地域に受け入れ可能－貿易障壁の回避
	* 世界共通のパスポート
	* 外部への表明に使用可能
C.	経営層の直接的関与
	* トップダウンと計画重視
D.	P D C Aサイクル
	* 設計、原材料調達から使用、廃棄にわたる総合管理

表4 環境マネジメントシステム審査登録制度を構成する機関の考え方

認定機関：	
(1)機能――	・制度の最上位機関として、審査登録機関、審査員評価登録機関、審査員研究機関の認定を行う。 ・認証された組織の登録の受理、公表。
(2)要求事項――	・非営利組織。 ・絶対的中立機関。 ・審査登録機関、審査員評価登録機関、審査員研究機関の業務を行うことの禁止。
審査員評価登録機関：	
(1)機能――	・審査員の評価および登録(資格付与)の業務。 ・審査員の登録の管理。
(2)要求事項――	・中立性、不偏性の確保。 ・審査員研修機関が行う業務の禁止。
審査登録機関：	
(1)機能――	・環境マネジメントシステムの第3者認証を行う。 ・認証された組織の登録の受理、公表。
(2)要求事項――	・審査員評価登録機関により資格付与された審査員の保有。 ・認証業務に係わる客観性の確保。 ・認証業務に係わる中立性の確保。 ・コンサルタント業務の禁止。
審査員研究機関：	
(1)機能――	・審査員を目指すものへの正式トレーニングコースの提供。
(2)要求事項――	・認定機関が定める審査員研究コース基準の遵守。 ・研究業務に係わる客観性の確保。 ・研究業務に係わる中立性の確保。

表5 国内法令類に定められた環境基準を目安としたECI例

ECIカテゴリー	ECI
大気汚染	環境中の二酸化硫黄濃度[ppm] // 一酸化炭素濃度[ppm] // 浮遊粒子状物質濃度[mg/m ³] // 二酸化窒素濃度[ppm] // 光化学オキシダント濃度[ppm] // ヘンセン濃度[-] // トリクロロエチレン濃度[-] // テトラクロロエチレン濃度[-] // 特定粉じん濃度[本/l] (石綿) オゾン層の保護に関する特定物質濃度[ppm] (CFC-11など89物質)
悪臭	環境中の特定悪臭物質濃度[ppm]、臭気指数[-] (アンモニアなど22物質)
騒音・振動	騒音、振動レベル[dB]
水質汚濁	人の健康の保護に関する環境基準項目濃度[-] (カドミウムなど23項目) 生活環境の保全に関する環境基準項目濃度[-] (水素イオン濃度など5項目) 指針値の設定された要監視項目濃度[-] (クロロホルムなど25項目)
土壌	環境基準項目濃度[mg/検液] (カドミウムなど25項目)
廃棄・海洋	(一般廃棄物排出量[t]) (産業廃棄物排出量[t])
化学物質	環境中の第一種化学物質濃度[ppm] (ホリ塩化ビフェニールなど9項目) // 第二種化学物質濃度[ppm] (トリクロロエチレンなど5項目) // 指定化学物質濃度[ppm] (クロロホルムなど257項目)
国土・都市	緑地面積、環境施設面積[ha]

表6 ECIとEPIの違い

<p>ECI: Environmental Condition Indicator</p> <p>地方、地域、国又は地球規模の環境の状態に係わる情報を提供する特定の表示。</p>
<p>EPI: Environmental Performance Indicator</p> <p>— MPI: Management Performance Indicator</p> <p>組織運営の環境パフォーマンスに影響を与えるマネジメント努力に係わる情報を提供する表示。</p> <p>— OPI: Operational Performance Indicator</p> <p>組織運営の環境パフォーマンスに影響を与える施設、設備の運転に係わる情報を提供する表示。</p>

例：鉄鋼業

表7 ECIとOPIの関連図

共通 指標	工場敷地面積 (㎡)、資本金 (億円)、生産能力 (t/年、t/月)、 主要製品生産量 (t/年、t/月)、従業員数 (人)、 環境対策設備仕様 (煙量、煙灰)、
----------	---

ECI \ OPI	O P I の 例			備 考
	Output	事業活動因子	Input	
【大気例】 NO _x	【排出物】 工程別〔燃焼炉、ボイラー等〕排出量 (㎡/h、㎡/月) 工程別排出濃度 (ppm) 工程別排ガス酸素濃度 (%) 工程別排ガス温度 (℃)	【装置と機器】 工程別生産量〔燃焼炉等〕 (t/年、t/月、t/h 他) 操業条件〔燃焼炉等〕 (燃焼温度 ℃、燃焼速度 t/㎡・h) ガス別処理条件 (処理風量 ㎡/h、脱硝率 % 他) ガス別処理用役 (電気 kWh/㎡、NH ₃ g/㎡ 他) 燃料消費 (ガス ㎡/t 他)	【原材料】 鉄鉱石 (t/年)、スクラップ (t/年) 石灰石 (t/年)、石炭 (t/年) 【エネルギー】 電気 (kWh/年)、石油 (kl/年) 【サービス】 NH ₃ [排ガス処理用薬剤] (t/年)	
【水質例】 COD	【排出物】 排出量 (㎡/分、㎡/h、㎡/月、㎡/年) 排出濃度 (ppm)、	【装置と機器】 安水を例 (他に、生活排水、合油排水等から発生する。) ※コークス生産条件 (石炭の炭種、石炭水分 %、乾燥温度 ℃) ※安水処理条件 (ORP mV、曝気量 ㎡/分、水温 ℃) ※水処理用役 (電気 kWh/㎡) ※水処理用薬剤 (凝集剤 ppm、pH調整剤 ppm)	【原材料】 石炭 (t/年) 【エネルギー】 電気 (kWh/年)、 【副資材】 水処理用凝集剤 (t/月) " pH調整剤 [中和剤] (t/月)	
【地球温暖化例】 CO ₂	【排出物】 工程別・エネルギー種別CO ₂ 排出量 (t/年 他)	【装置と機器】 工程別生産量〔・、燃焼炉、・〕 (t/年、t/月、t/h) 操業条件〔・・、加熱炉、・・〕 (排出温度 ℃、処理量 t/h) 燃料消費条件 (加熱量 Kcal/t、BFG Kcal/㎡)	【原材料】 石灰石 (t/年)、石炭 (t/年) 【エネルギー】 電気 (kWh/年)、石油 (kl/年)	

表8 M P I の例 (Case 1)

Case 1 【例：共通事項の場合】

		共 通 事 項	情 報 提 供 先 ①：②：③：④：⑤
計	1. 体制	管理(年間の会議の開催計画数)、管理規定(管理規定数、管理規定の名称)	○ ○ ○ ○ ○
	2. 環境方針	周知徹底(徹底方法と計画徹底回数、頻度、徹底対象者数・組織数)	○ ○ ○ ○ ○
	3. 環境側面	発生源特定(発生源の工程・設備名、工程・設備仕様)、地域特性の把握(周辺居住者数、周辺企業数、用途地域名称等)、周知徹底(徹底方法と計画徹底回数、頻度、徹底対象者数・組織数)、利害関係者(利害関係者毎に対応させた環境側面、利害関係者毎の視点)、環境モニター(モニター数、モニター会議計画開催数)	○ ○ ○ ○ ○
	4. 法規制及び遵守事項	遵守法令(遵守すべき法令のリスト、遵守すべき法令の数、事業運営に係る関連法令集、自主管理に係る指針等の件数)、周知徹底(徹底方法と計画徹底回数、頻度、徹底対象者数・組織数)	○ ○ ○ ○ ○
	5. 目的及び目標	達成すべき目標(件数、線項目別の目的及び件数、目標等の達成に取り組んでいる組織数、周知徹底(徹底方法と計画徹底回数、頻度、徹底対象者数・組織数)、文書化(文書数)、協力会社等の支援(協力会社別の目的等の項目、項目数)	○ ○ ○ ○ ○
	6. 環境計画	目的・対象別の達成目標値(大気排出量、排水量、投棄廃棄物量、排出汚染物質毎の対前期比削減率、資源のリサイクル率等)、目的・対象別の達成目標スケジュール、周知徹底(徹底方法と計画徹底回数、頻度、徹底対象者数・組織数)	○ ○ ○ ○ ○
	7. 投資計画	計画予算と実績(計画・実績件数、計画・実行件数)、環境対策投資効果(計画値・実績値)、省資源や廃棄物のリサイクル等による削減コスト(計画値・実績値)、環境配慮型製品販売に伴う利益(計画値・実績値)、資源別分配計画(人員計画・資材計画・資金計画に係る計画値)、研究開発(計画件数・費用、実施件数・費用)	○ ○ ○ ○ ○
実 行	1. 体制と運営	資源別分配計画(人員計画・資材計画・資金計画に係る実績値)、マネジメントや操業に係る規定類の実施の度合い	○ ○ ○ ○ ○
	2. 日常管理	管理対象設備数、設備別管理基準値、汚染物質排出実績(排出量・排出数)、環境影響が想定される契約者数、EMSを有する供給者の契約数、環境配慮型商品(商品の種類、生産量)、罰金等(支払い回数、支払い金額)	○ ○ ○ ○ ○
	3. 監視・計測	監視・計測実績(監視・計測マニュアル数、監視・計測箇所数、監視・計測箇所配置図、監視・計測実績値、公共データ等採用点数、公共データ等の地域実績値、バックグラウンド値)、基準適合性の程度、契約事業者の基準適合性の程度	○ ○ ○ ○ ○
	4. リスク	リスク特定マニュアル(マニュアル数)、周知徹底(周知マニュアル、周知説明会の回数、説明対象者数)、リスク対応(リスク管理に基づく対応リスクの種類・件数、リスク管理に基づく対応が必要な組織数、実績対応回数)	○ ○ ○ ○ ○
	5. 緊急事態への対応	緊急措置基準(基準類の数、設定件数)、緊急措置訓練基準(基準類の数、計画訓練回数・訓練参加予定者数、訓練実施回数・実績参加者数、関連の評価)、環境事故対応実績回数、訓練の成果(対応実績)、違法性の程度、トラブル対応実績(対応回数、対応時間、対応人数、対応コスト、対応結果及びその程度)	○ ○ ○ ○ ○
	6. 是正予防措置	是正予防措置実績(改定回数、改定件数)、解決済又は未解決件数、是正予防措置の見直し履歴、見直し結果の周知徹底(徹底方法と計画徹底回数、頻度、徹底対象者数・組織数)、文書化(文書数)	○ ○ ○ ○ ○
	7. 従業員教育	教育(資格別教育内容、資格別教育項目数、教育計画・実施回数、教育計画・実施人数、教育実施率)、教育終了時試験の成績、従業員からの改善提案件数、表彰者数・表彰金額、環境教育の必要な契約者数及びその従業員数と教育実施者数	○ ○ ○ ○ ○
	8. 外部とのコミュニケーション	対応実績(計画対応回数・対応実績、緊急対応実績回数、相手の人数、対応コスト、マスコミ対応回数、マスコミ報道回数、コミュニケーションに対する相手方の満足度)、地域社会への対応(計画活動回数・実施活動回数、教育プログラム数、地域支援のプログラム数)、地域からの評価(苦情件数、対応に対する評価の程度)、社外モニター(モニター数、モニター会議開催計画数・実施回数、会議参加者数、開催費用)	○ ○ ○ ○ ○
	9. 社会貢献	社会貢献活動(計画活動項目数・費用、実施回数・費用、スポンサーとなったあるいは自ら実施した地球規模活動の回数、リサイクル率先活動回数、参加者数、支援団体数・支援費用)、貢献団体数、貢献にかかったコスト、技術移転実績(見学者数、見学団体数、特許提議数、特許料の収入実績)	○ ○ ○ ○ ○
	10. 情報管理	情報提供実績(情報提供回数、情報提供相手数、情報提供に対する相手方の満足度)	○ ○ ○ ○ ○
III	監査	監査(監査対象の組織数、計画監査回数・スケジュール、監査実施回数、監査計画現場の数・実施現場の数、計画費用、実施費用、問題点指摘箇所数)、	○ ○ ○ ○ ○
IV	マネジメントレビュー	担当部門(体系表)、文書化(文書マニュアル)、改善措置マニュアル(改善件数)、周知徹底(周知マニュアル)	○ ○ ○ ○ ○

注：上記表中、最右欄の番号は、①：経営者、②：全従業員、③：担当部門管理者、④：担当部門関係者全員、⑤：外部 を意味する。

表9 M P I の例 (Case 2)

Case 2 【例：鉄鋼業の場合】

		OPIS が NO _x 排出量の場合の例	OPIS が 廃棄物 排出量の場合の例	情報提供先				
				①	②	③	④	⑤
計	1. 体制	---	---					
	2. 環境方針							
	3. 環境側面	---	---					
	4. 法規制及び遵守事項	○環境基準値(ppm) ○排出基準値(m ³ /h、ppm ³) ○地域環境実態値(ppm)	○排出物性値等(対象物別の、水分%、油分%、有害金属含有率 mg/kg、排出量 t/月 ³)					○
	5. 目的及び目標	○対応総合目標値(m ³ /h、ppm ³) ○設備別操業目標値(m ³ /h、m ³ /d ³)	○対応目標値(対象物別の廃棄物処理量・リサイクル等処理方式別の処理量 t/月) ○排出物性値等(対象物別の、水分%、油分%、有害金属含有率 mg/kg、排出量 t/月 ³) ○原・燃料使用量(鉱石やスクラップ等対象物別の、使用量 t/月 ³) ○再利用計画値(リサイクル率%) ○計画排出量(t/月 ³)					○
	6. 環境計画	○設備別燃料使用計画値(t/月、m ³ /h、l/h、kg/h ³) ○脱硝設備運転計画値(脱硝率 ³)	○原・燃料使用計画値(t/月、m ³ /h、l/h、kg/h ³) 原料販売分等のコスト(円)					○
	7. 投資計画	○計画運転コスト(整備費 円、用役費 円、運転要員コスト 円)	○計画運転コスト(整備費 円、用役費 円、運転要員コスト 円) ○メリットコスト(資源減量化分					○
実	1. 体制と運営	---	---					
	2. 日常管理	○生産設備別操業条件(生産量 t/h、加熱温度 ℃、加熱ビッチ 00分/回、 ³) ○燃料使用量(設備・種類 m ³ /h、l/h、kg/h ³) ○設備別排ガス実態(ppm、m ³ /h ³) ○排ガス処理用役(電力使用量 kWh/月、薬品使用量 t/月、 ³)	○生産実態(製品別生産量 t/月、稼働時間 h/月、 ³) ○副産物の発生実態(物別の発生量 t/月、主要性状 ³) ○再利用処理設備の稼働実態(品別処理稼働時間、再生品主要品質 ³) ○廃棄物処理の用役コスト(電力使用量 kWh/h、薬品使用量 00割 t/月、 ³) ○排出後の処理・処分実態(マニフェスト伝票、最終処分実態のフロー、 ³)					○
	3. 監視・計測	○排ガス性状等(ppm、m ³ /h、 ³) ○地域環境濃度(ppm) ○Back Ground濃度(ppm) ○設備運転条件(t/h、 ³) ○気象状況(風向・風速 m/s ³)	○主要原・燃料の実態(購入量 t/月、主要品質 ³) ○廃棄物の物性等のチェック(対象物別の発生量 t/月、主要成分 水分・油分 ³) ○再利用処理設備の稼働実態(品別処理稼働時間、再生品主要品質 ³) ○排出後の処理・処分実態(マニフェスト伝票の有無、最終処分実態のフロー ³)					○
	4. リスク	---	---					
	5. 緊急事態への対応	○警報設定値(ガス流量 m ³ /h、ガス温度 ℃、NO ₂ 濃度 ppm、酸素濃度 % ³) ○気象情報(風向・風速等の予測情報)	○運搬途中の対応基準(対応実態、対応内容の記録 ³) ○対応基準の整備					○
	6. 是正予防措置	---	---					
	7. 従業員教育	---	---					
	8. 外部とのコミュニケーション	---	---					
	9. 社会貢献	---	---					
	10. 情報管理	---	---					
III	監査	---	---					
IV	マネージメントレビュー	---	---					

注：上記表中、最右欄の番号は、①：経営者、②：全従業員、③：担当部門管理者、④：担当部門関係者全員、⑤：外部 を意味する。

表10 乗用車の材料構成比(1992年)

種類	構成比%
鉄鉄	2.1
熱延圧鋼板	13.7
冷延圧鋼板	20.9
亜鉛メッキ鋼板	20.2
炭素鋼	12
ステンレス鋼	3.3
電気銅	1.8
アルミ地金	6.2
ポリウレタン	5
塩化ビニール	1.1
ポリエチレン	0.3
ポリプロピレン	3
ABS	0.7
ガラス	2.8
木材	0.4
ゴム	3.1
油脂・その他	3.4
合計	100

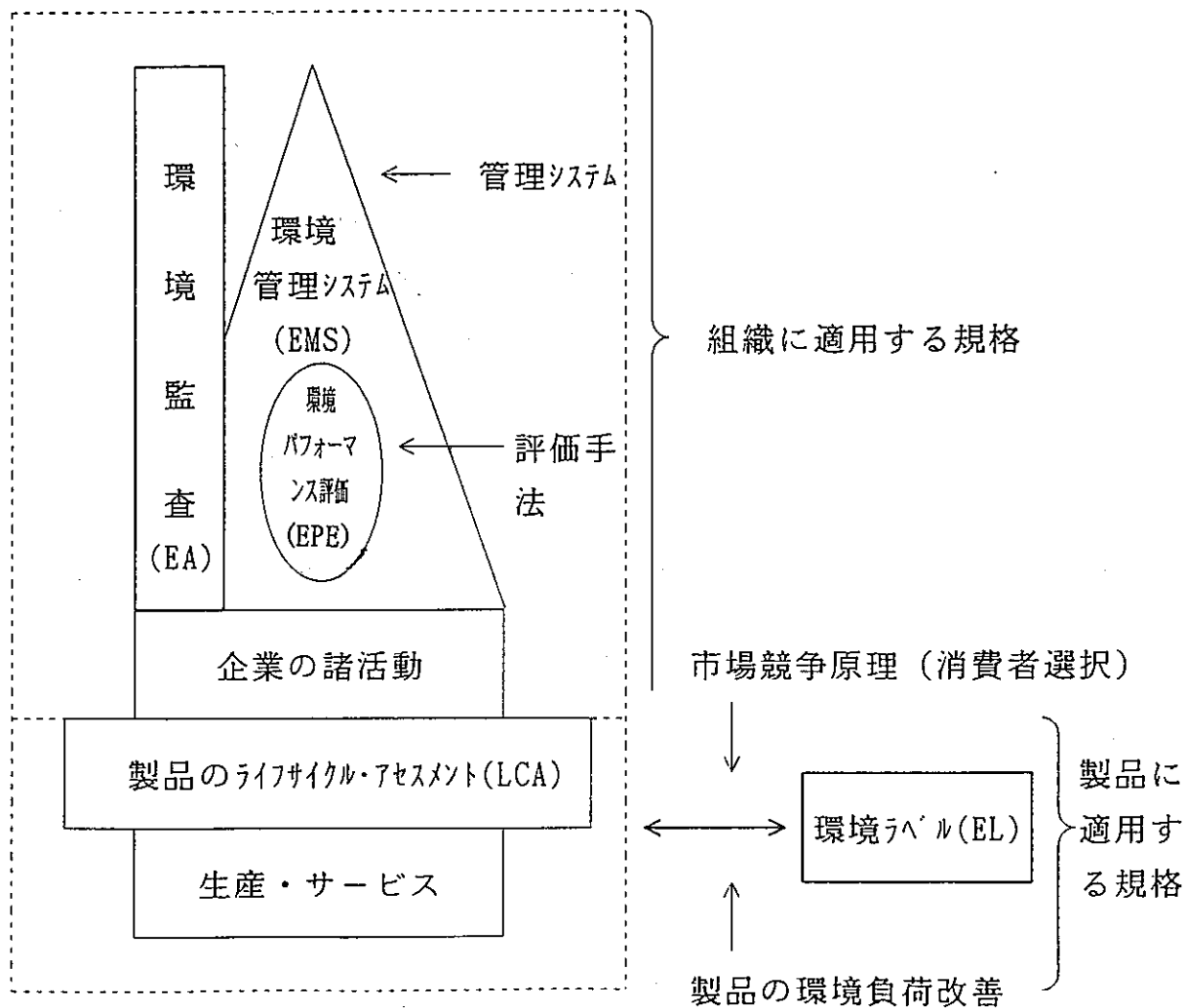


図1 環境管理規格の関連図

国際標準化機構 : International Organization for Standardization (ISO)

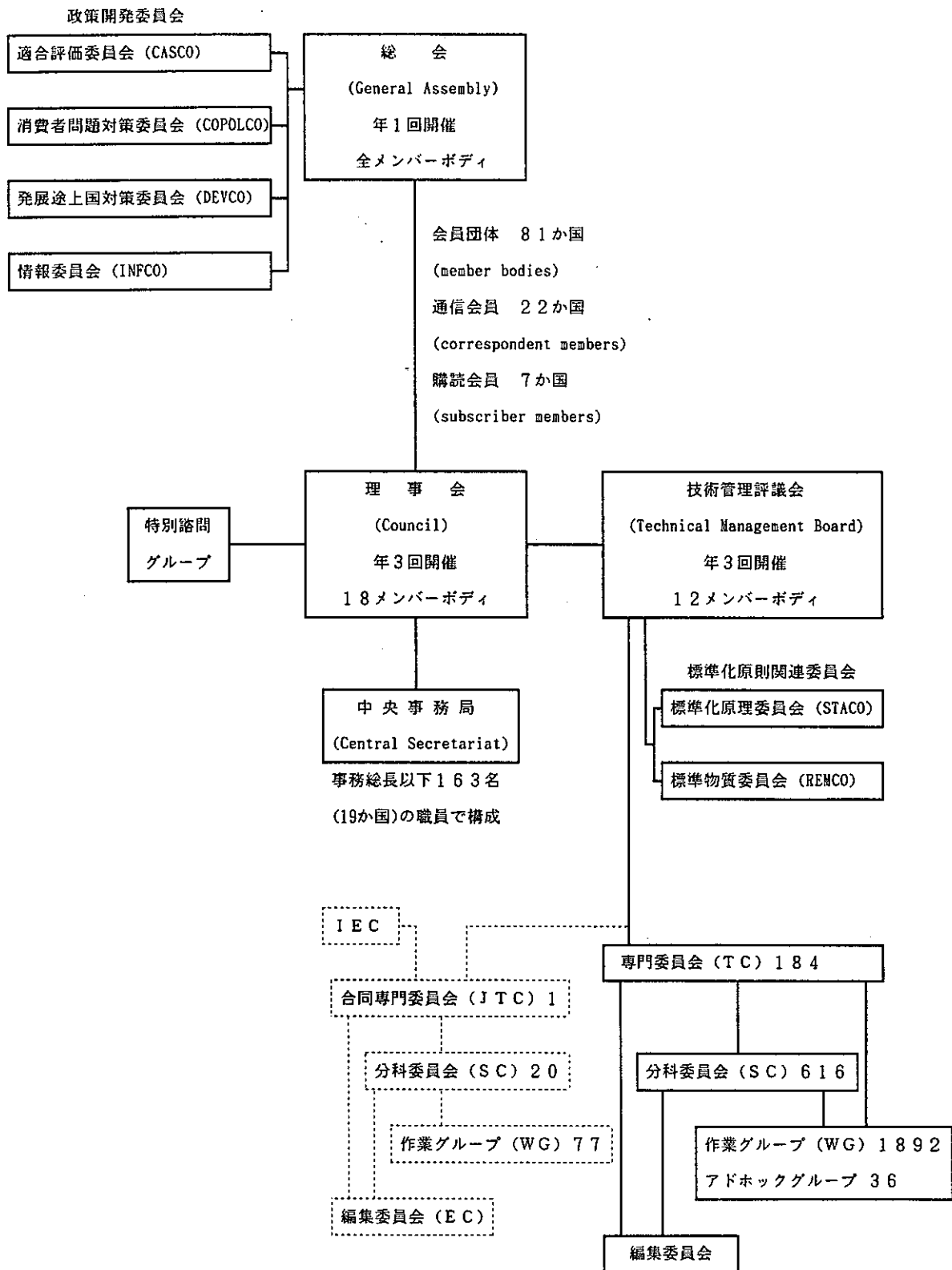


図2 ISO組織図

参加国：Pメンバー：52ヶ国
Oメンバー：18ヶ国
Aメンバー：37団体

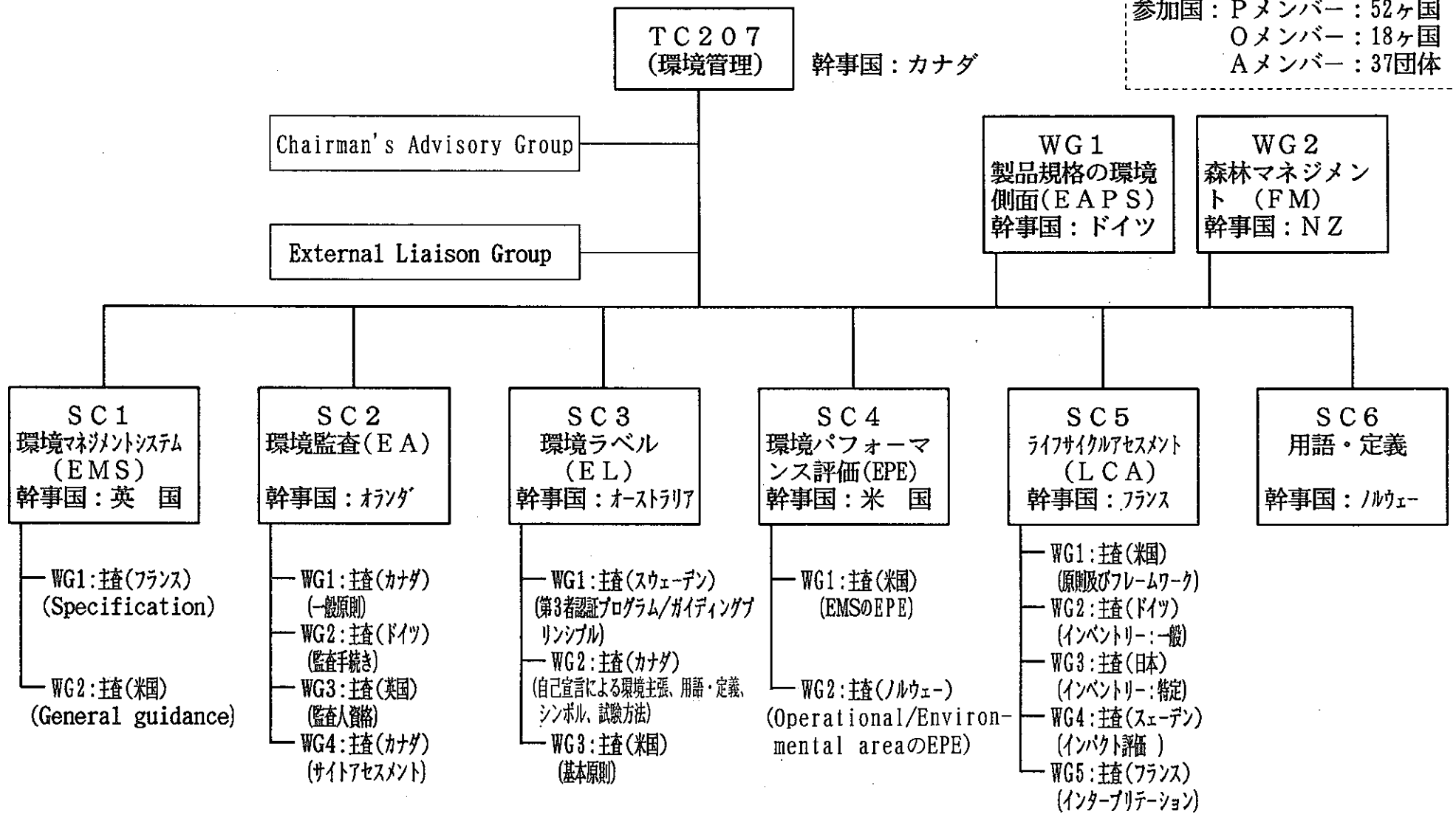
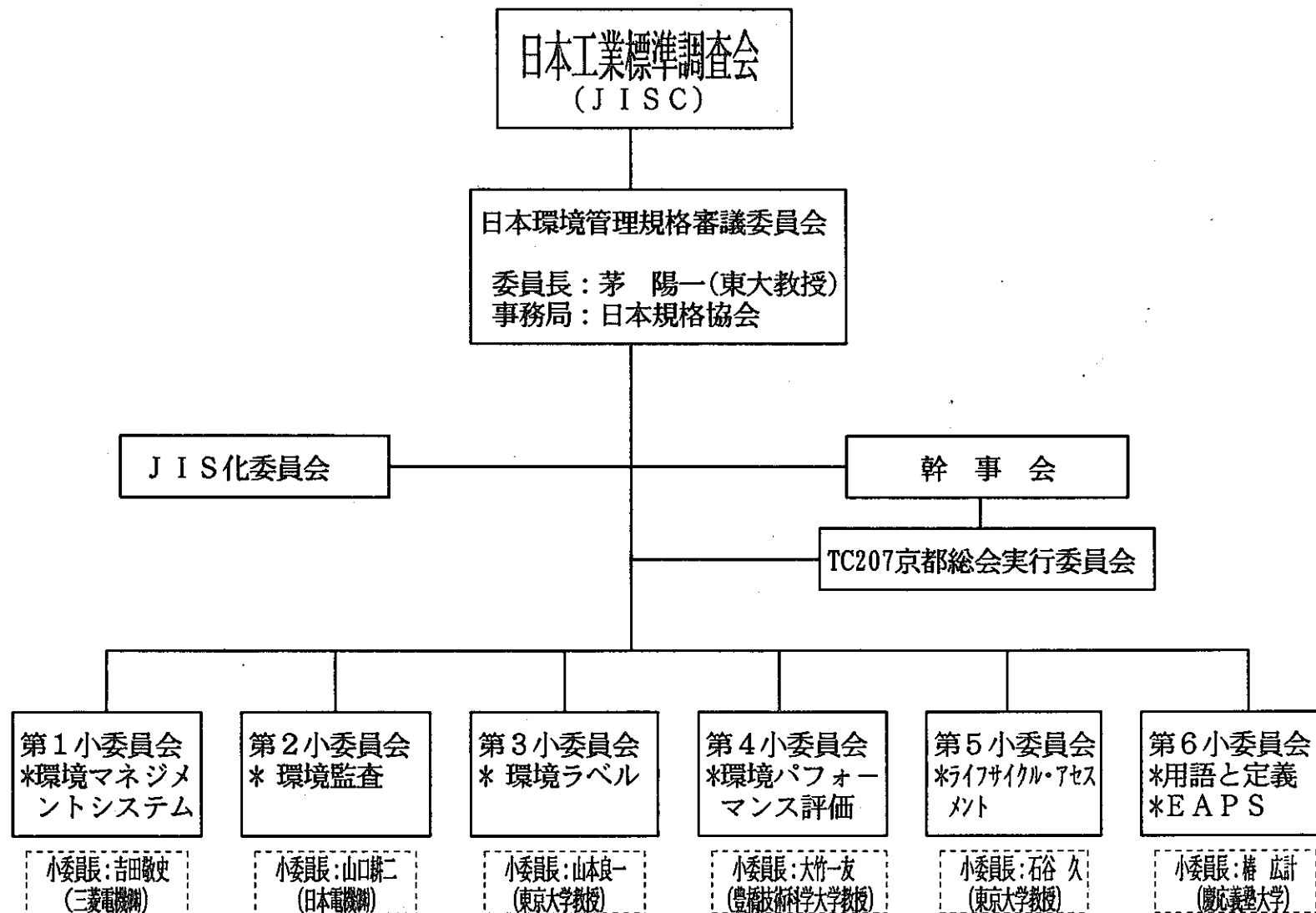


図3 ISOの標準化検討体制



*事務局：規格協会 (第1、2及び6小委員会を担当)、産業環境管理協会 (第3、4及び5小委員会を担当)

図4 ISO/TC207への我が国の対応体制

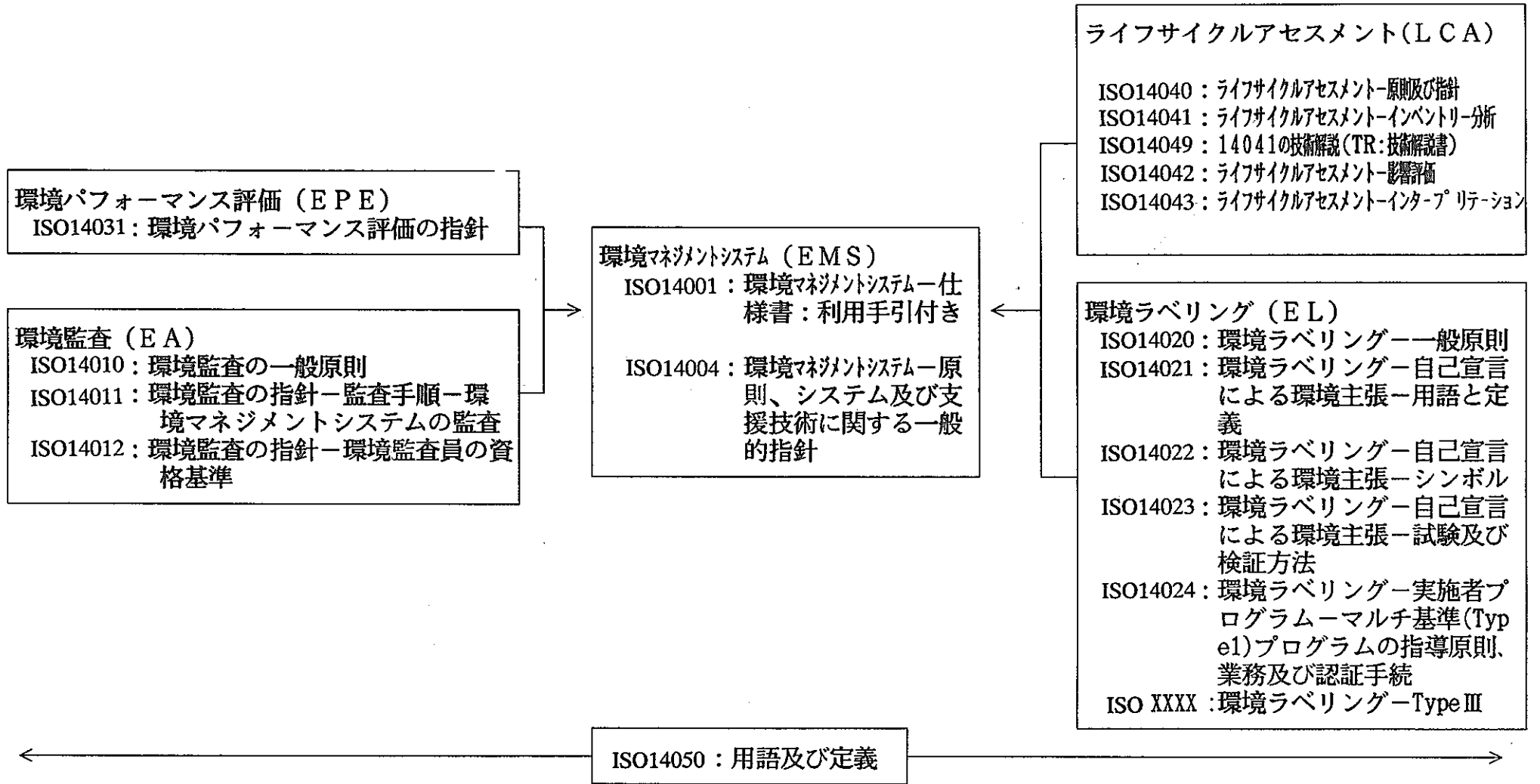


図5 ISO14000シリーズの相互関係

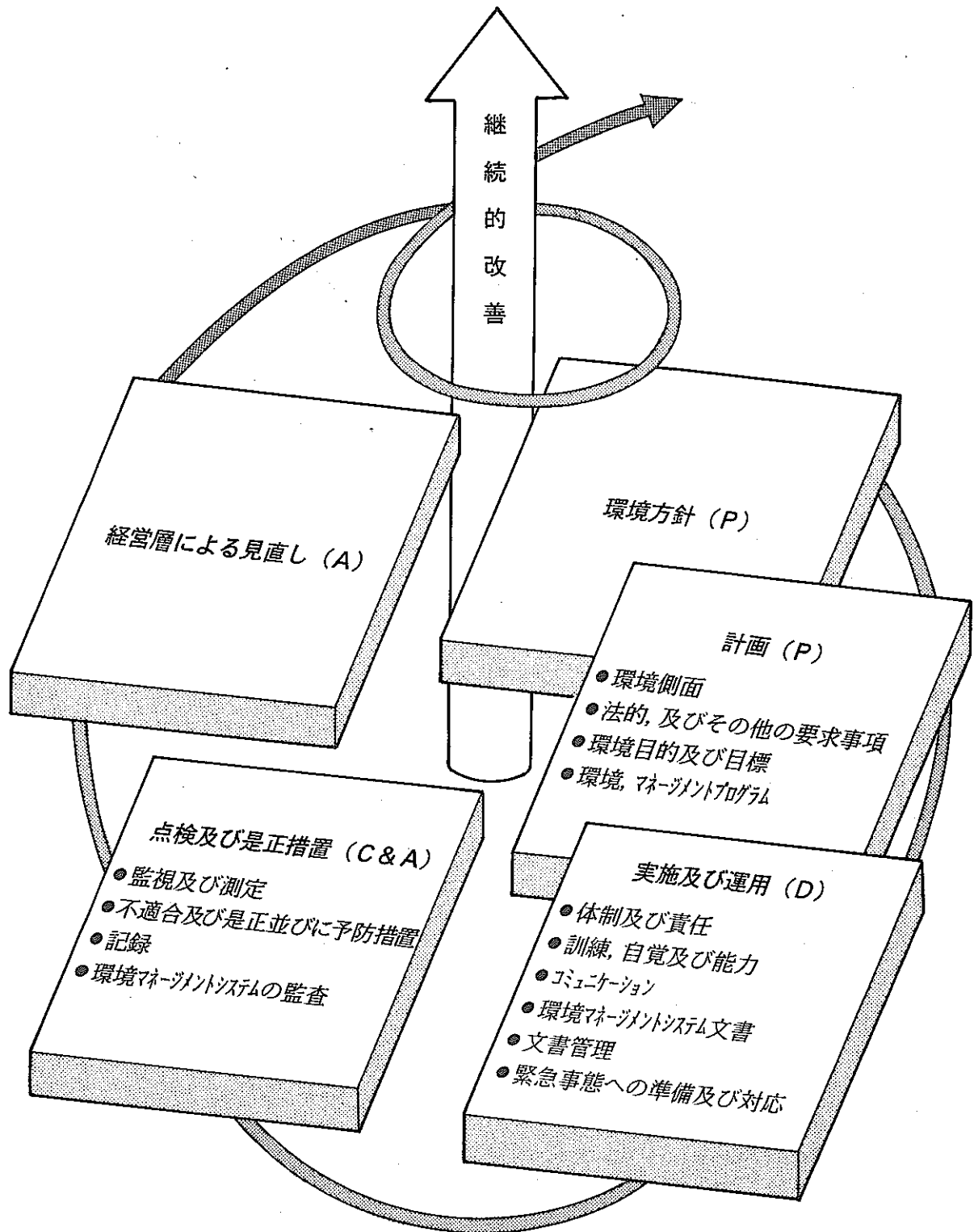


図6 環境マネジメントシステムの概念

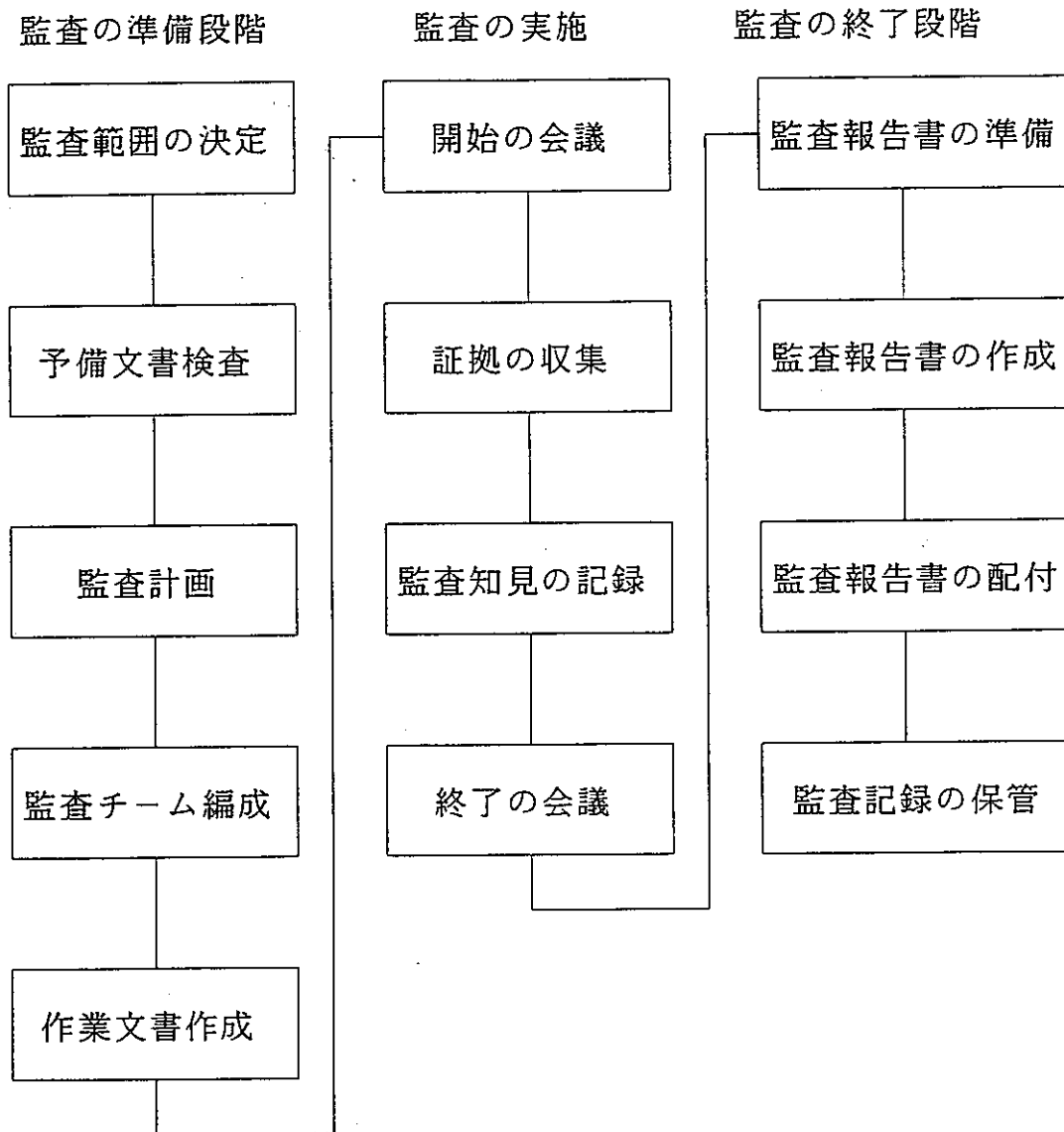


図7 環境マネジメントシステムの監査手順

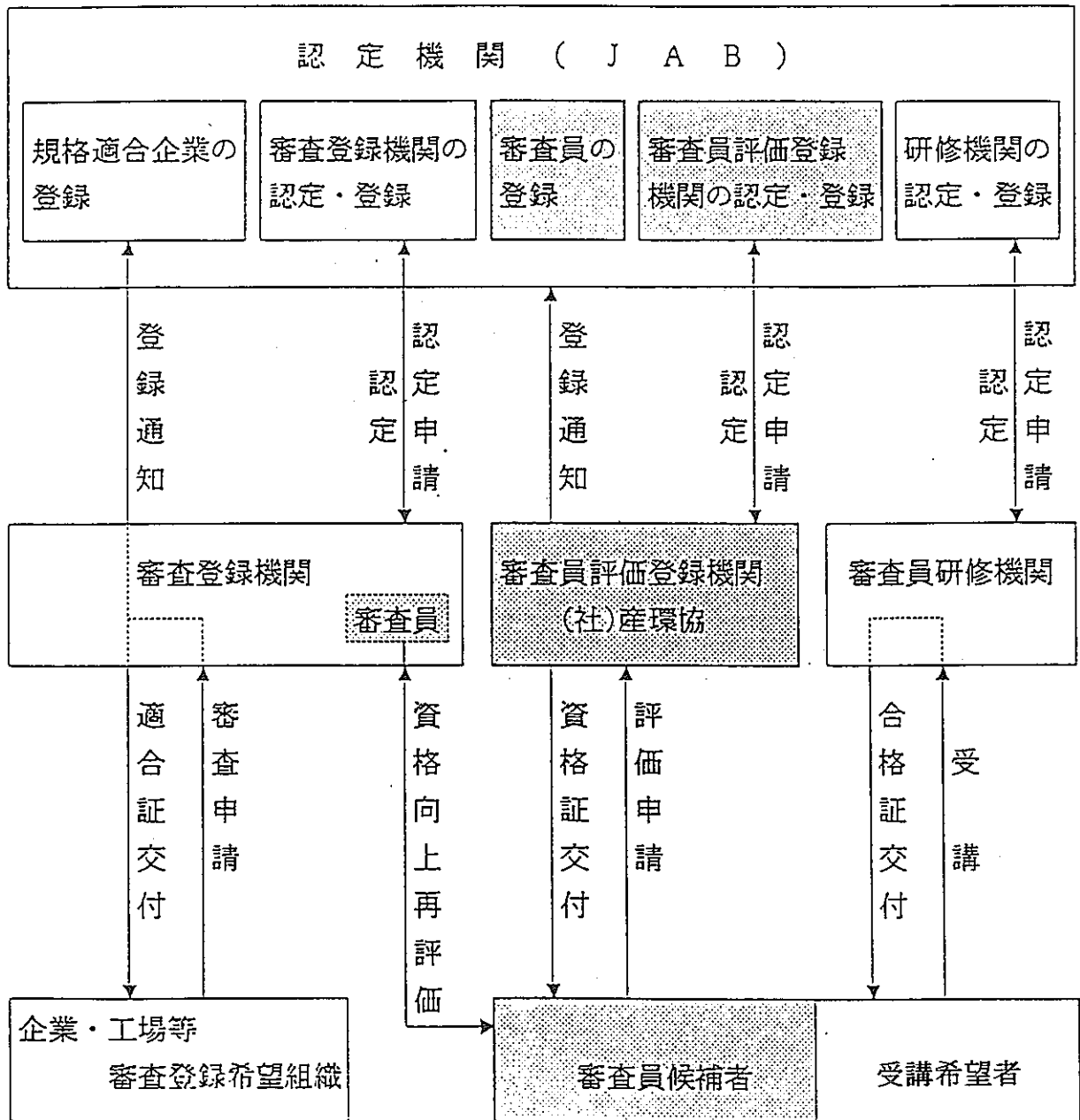


図8 環境マネジメントシステム審査登録制度の枠組み

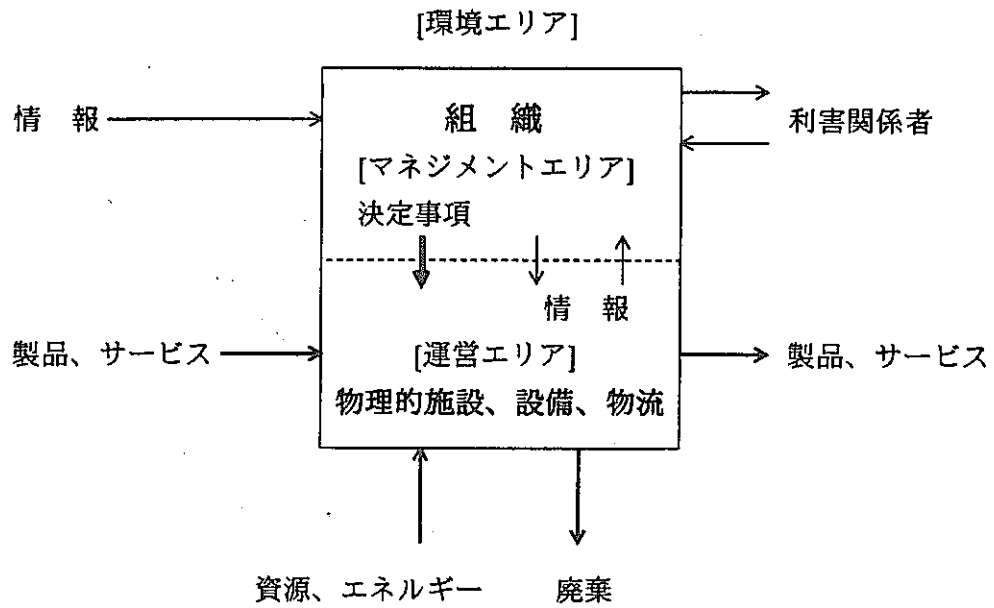


図9 管理システムと運営システムとの関連図

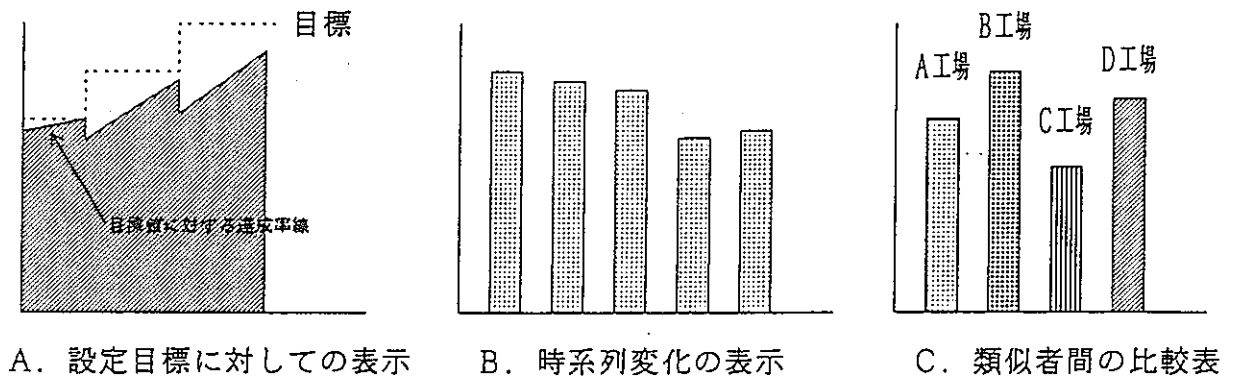


図10 インディケータを用いた結果の表示例

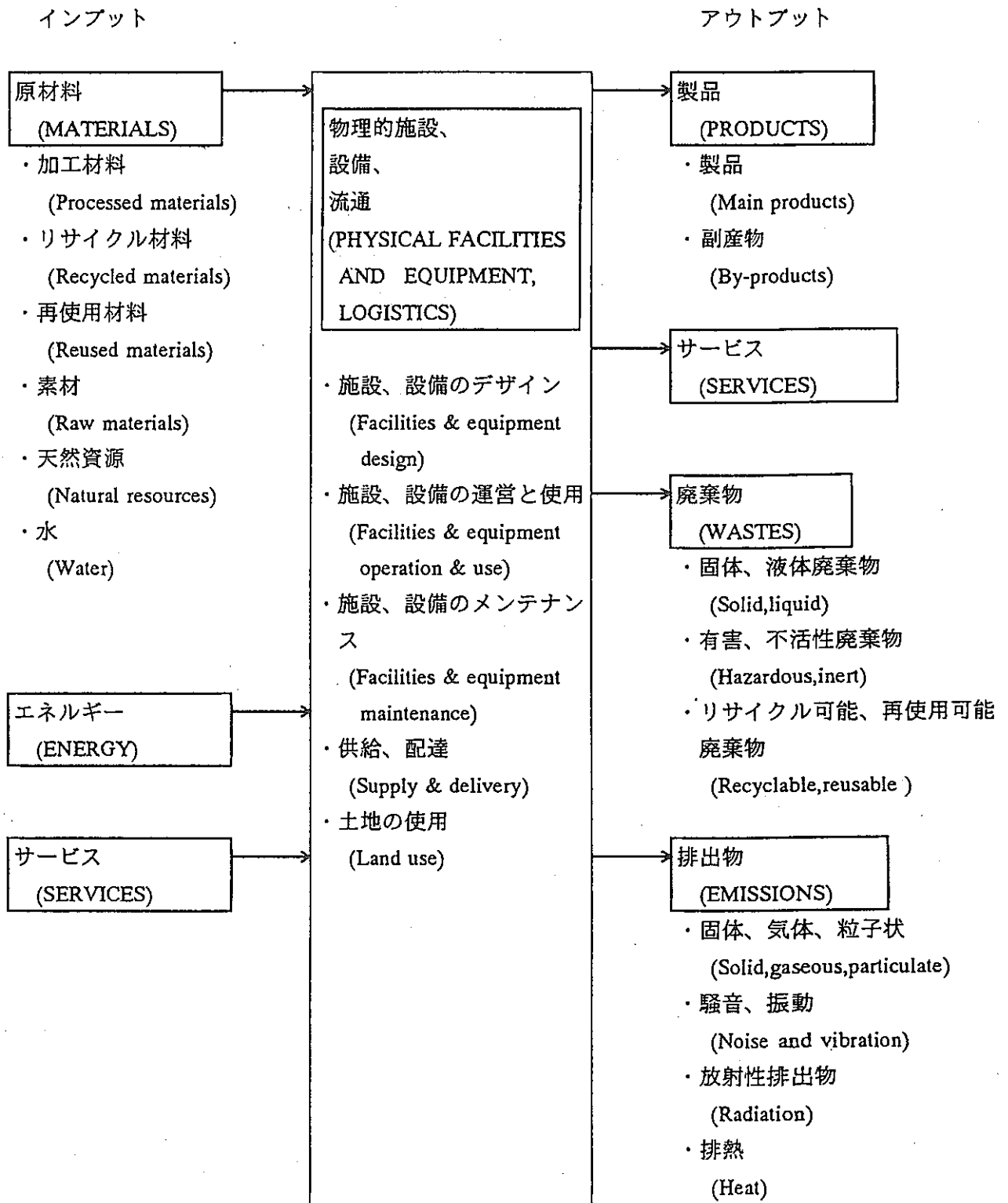


図11 OPIの生産フロー

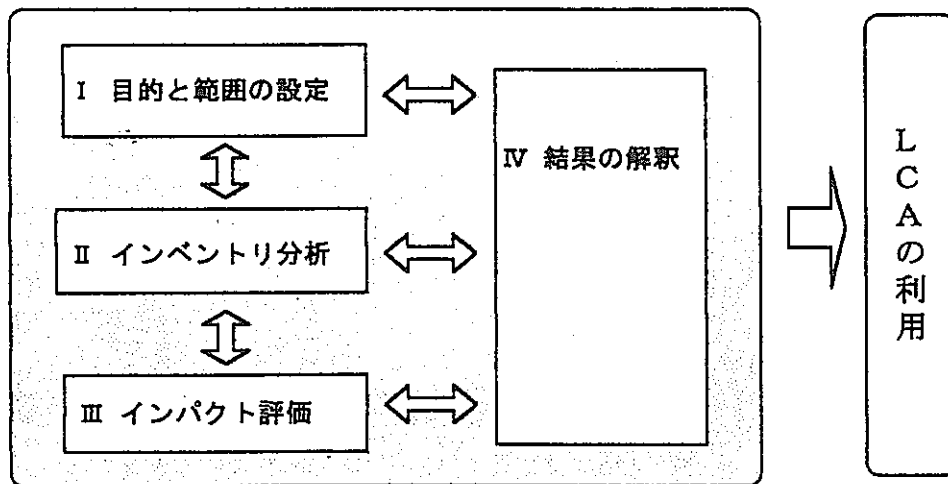


図12 LCAの実施手順概略

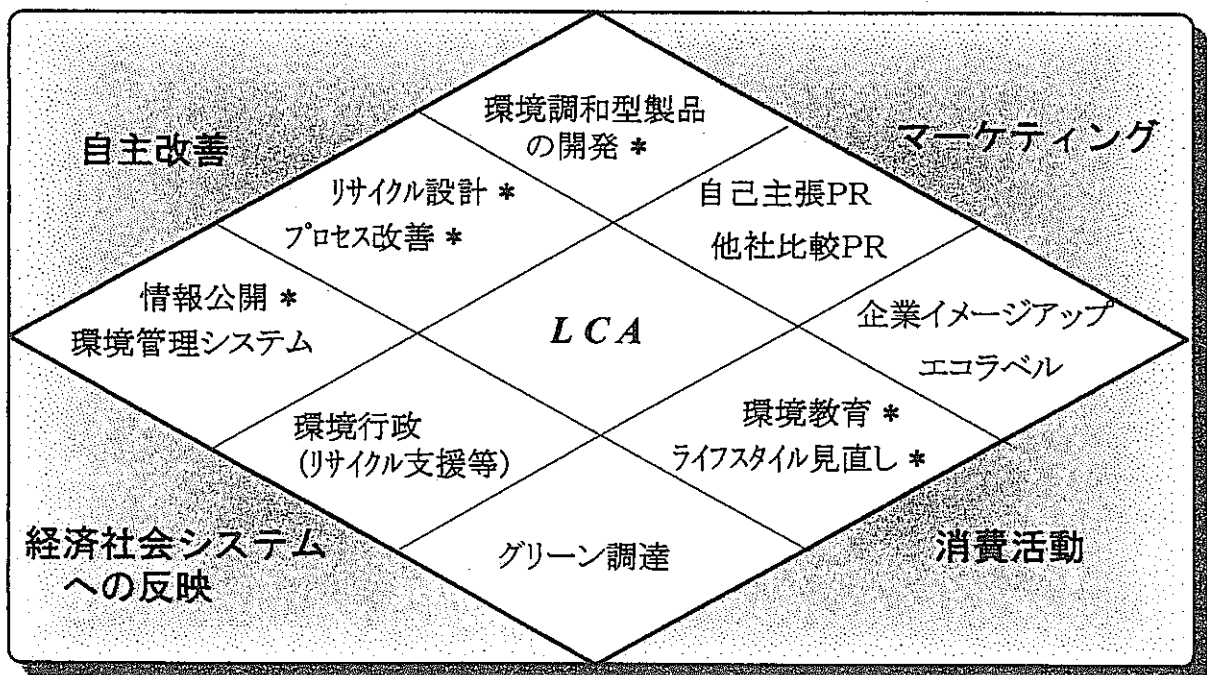


図13 LCAの用途例(将来の可能性を含む)

エンジン：ガソリン、2000ccクラス
 車重：1270kg
 生涯走行距離：94100km

変速機：オートマチック
 燃費：10.8km (10・15t-ト)
 耐用年数：9.29年

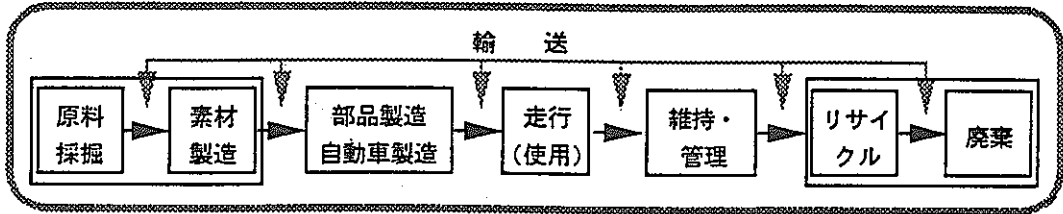


図14 乗用車のライフサイクルステージ

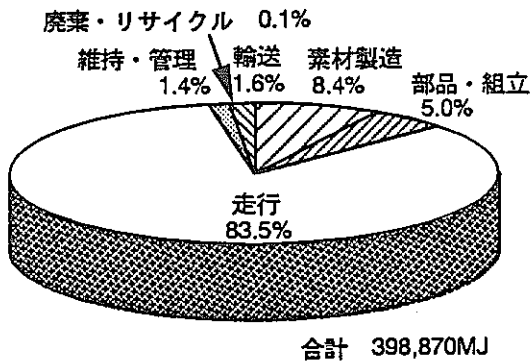


図15 乗用車の生涯エネルギー消費

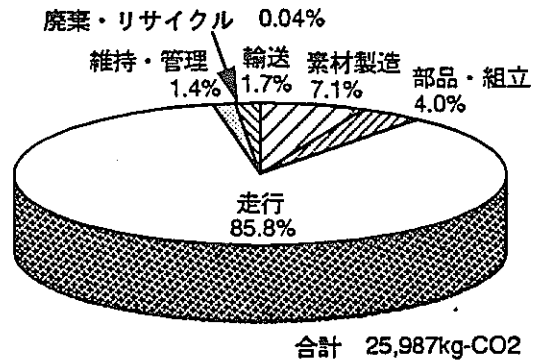


図16 乗用車の生涯CO₂排出

(排出物質/環境負荷)

(環境影響・被害)

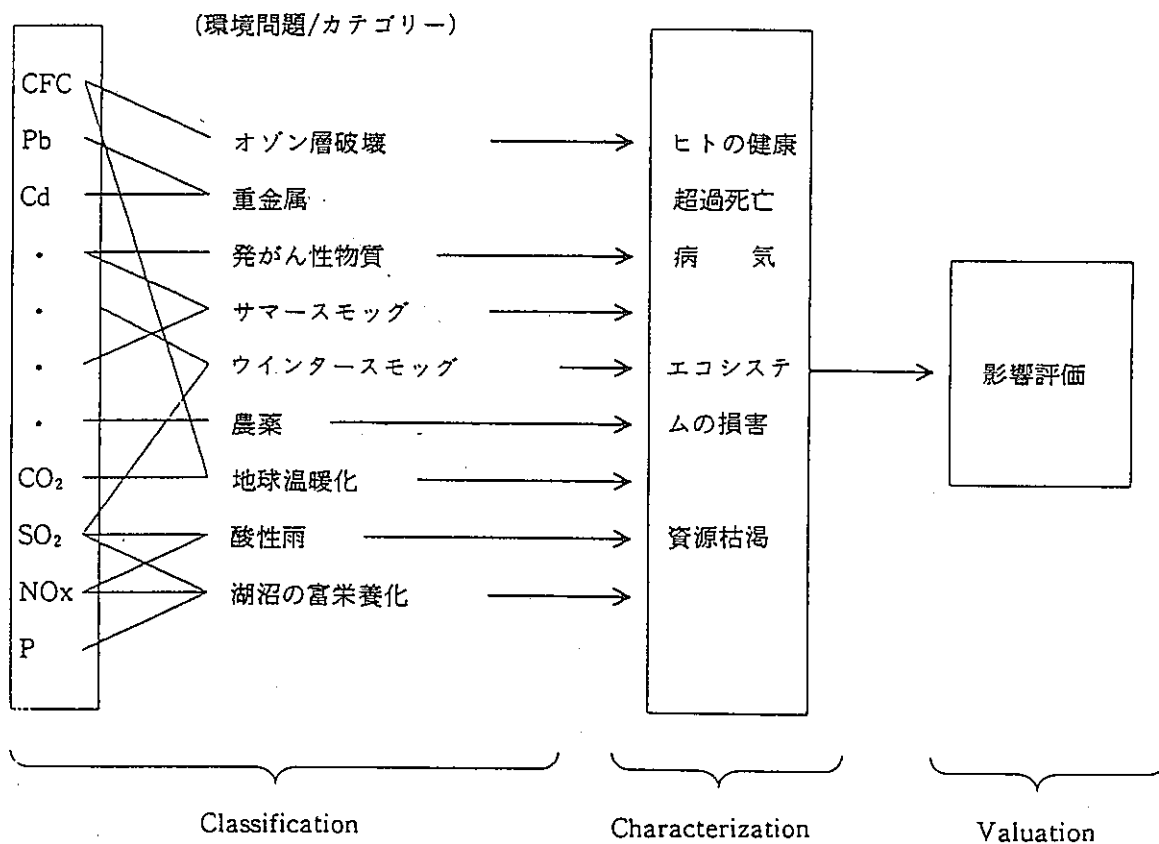


図17 LCA/インパクトアセスメントの概念図