国際的環境規制が技術開発に及ぼす 影響に関する一考察*

足立 芳寛¹ 鹿野 昌弘²

Study of the Trend on Technological Innovation from the International Environmental Framework

by Yoshihiro ADACHI¹ and Masahiro SHIKANO²

1. Professor, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656
2. Research Associate, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo (Senior Researcher, ONRI, AIST)

We must consider that it is essential matter for every country to solve the global warming problem since multilateral agreement of COP3. First of all, as the example, this paper focused Japanese steel industries attitude to the reduction of CO₂ emission. Under the CO₂ emission trading mechanism, environment cost is emerging to the market. It means the paradigm shift of material innovation.

KEY WORDS : COP3, CO₂, Emission Trading, Environment Cost, LCA

1. 世界のエネルギー情勢

1・1 一次エネルギー消費の見通し

米国エネルギー省(U.S. DOE, 1999)によれば、世界のエネルギー消費量は2010年には1996年に比べ38%、2020年には1996年に比べて70%増加するものと予測されている。これを国別構成比でみると、アジア全体、とりわけ中国の構成比が急激に高まるものと見込まれている。一方、エネルギー源別の構成比でみると、石油依存度が低下する一方で、天然ガスへの依存が高まり、2020年においても、化石燃料に大部分を依存する構造は大きく変わらないものと見込まれる(図1)。

図1 世界のエネルギー消費の推移と見通し

1・2 エネルギー供給の見通し

主要化石燃料の可採年数は、石油が41年、石炭が218年、天然ガスが63年とそれぞれ見積もられており、石炭の寿命が最も長く、石油の寿命が最も短い(BP Amoco, 1999)。ただし、この年数はここ10年ほど大きく変化していない。これは生産量の増加に対して確認可採埋蔵量も増加していることによる。

石油の埋蔵量の2/3、および天然ガス埋蔵量の1/3が中東に偏在していること、今後中国をはじめとする発展途上国における石油と天然ガスの消費量が増加すること等を考え合わせると、化石燃料の需給状況は決して楽観視できない状況である。特に石油と天然ガスの需給バランスは21世紀中にひっ迫する可能性が高い。

2. わが国のエネルギー情勢

エネルギー・経済統計要覧(EDMC, 1999)によれば、図2に示すように日本の最終エネルギー消費量は、第2次石油危機が発生した1982年度以降一貫して増加している。特に運輸、民生(家庭、業務)部門の構成比が高まっている。一方、エネルギー消費量の実質GDPに対する原単位は、1974年度以降減少傾向が続いていたが、1991年度に118.24原油換算kl/億円という最小値を示して以来下げ止まり、再び増加の傾向がみられる。

総合エネルギー調査会需給部会の中間報告(The General Energy Survey Commission, 1998)では、1996年の一次エネルギー供給実績に対して、2010年度の供給見通しを示している(図3)。ここでは、総供給における各エネルギー源の構成比は、石油が減り、原子力と天然ガスが増えるとしている。しかし、1996年度実績では、石油依存度は依然として50%を超えており、非化石燃料の割合は16.9%、新エネルギーの割合は1.1%に過ぎない。

原油輸入CIF価格は80年代前半に比べると低水準で推移しているが(1998年度:12.76ドル/バレル)、上記のように世界の石油需給は予断を許さない状況である。このような状況、およびCOP3(1997)で合意されたCO₂排出削減目標を踏まえて、1998年6月に策定された新しい「長期エネルギー需給見通し」では、以

* 2000年2月8日受付 4月24日受理 資源・素材学会平成11年秋季大会(京都)において講演

1. 正会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科金属工学専攻
2. 東京大学助手 大学院工学系研究科金属工学専攻(大阪工業技術研究所主任研究官)

[著者連絡先] FAX 03-5841-7151(東大・工学部)

キーワード: COP3, CO₂, 排出権取引, 環境コスト, LCA

図2 日本の最終エネルギー消費量の推移

図3 日本の一次エネルギー供給の見通し

下の展望および目標を掲げている (The General Energy Survey Commission, 1998)。

2・1 エネルギー需要

2010年度の最終エネルギー消費を、追加的な政策努力を講じない「基準ケース」(原油換算 4.56 億 kJ) に比べて、強力な需要抑制対策を講じた「対策ケース」(4.00 億 kJ) では 0.56 億 kJ の省エネルギーを達成し、1996 年度 (3.93 億 kJ) からの伸び率を 1.8 % 増 (年平均 0.1 % 増) にとどめる。

2・2 エネルギー供給 (対策ケース : 2010 年度)

2010 年度のエネルギー供給を、以下のような見通しで積算している。

(1) 石油 石油依存度を 55.2 % (1996 年度) から 47.2 % まで低下させる。

(2) 石炭 供給量を 1996 年度比で 6 % 減少させる。

(3) 天然ガス 供給量は 1996 年度比で 19 % 増の見込み。

(4) 原子力 CO₂ 排出削減目標の達成のため、閣議決定「石油代替エネルギーの供給目標」(1994 年 9 月) に掲げられた 4,800 億 kWh を達成する。これは原子力発電所の新/増設 21 基分に相当する。

(5) 新エネルギー 強力な導入促進策により「石油代替エネルギーの供給目標」に掲げられた 1,910 万 kJ を達成し、一次エネルギー供給に占める割合を 96 年度の 1.1 % から 3.1 % まで引き上げる。

表1 COP3 における主要合意事項

① 目標年次	2008~2012 年
② 基準年次	1990 年 (HFC、PFC、SF ₆ は 95 年も選択可能)
③ レベル	温室効果ガスを先進国全体で基準年より少なくとも 5% 削減 (日本 ▲6%、米国 ▲7%、EU ▲8% (90 年比))
④ 対象ガス	6 ガス (CO ₂ 、メタン、亜酸化窒素、HFC、PFC、SF ₆)
⑤ 吸収源	植林等の吸収源の増減を目標達成のために勘案することとした。(ただし、対象は、COP3 では 1990 年以降の植林等に限定することとし、その他の吸収源の扱いについては議定書の第 1 回締約会議 (COP1) で降検討、決定することとする。)
⑥ 柔軟性	先進国間排出権取引の導入 先進国間共同実施 (JI) の導入 クリーン・デベロップメント・メカニズム (CDM) の導入
⑦ バブル	EU バブルについては、削減目標について深堀りを求めるとともに、議定書上、責任関係の明確化、バブルの拡大時の扱い (EU が拡大した場合も拡大前の加盟国の目標に変更をもたらさないこと) を規定。

2・3 CO₂ 排出量

最大限の対策を講じた場合、2010 年度のエネルギー起源の CO₂ 排出量は概ね 1990 年度レベルで安定化する見込みである。これは、COP3 を受けた関係審議会合同会議報告書「総合的なエネルギー需要抑制対策」における基本的方向性をクリアしている。

3. COP3 とその後の地球温暖化問題

3・1 世界およびわが国の CO₂ 排出量

世界の CO₂ 排出量は年々増加の一途を辿っている (CDLAC, 1999)。特に、1980 年代以降の増加は発展途上国によるところが大きい。現在の世界の CO₂ 排出量は米国が最も多く、次いで、中国、ロシア、日本の順となっており、わが国の CO₂ 排出量は 1995 年度において世界全体の 5.3 % を占めている。今後の見通しとしては、1990 年の 60 億 t-C (炭素換算、以下同様) に比べて 2025 年には 107 億 t-C に達するものと見込まれ、特に中国、ASEAN をはじめとする途上国の割合が高まるものと見込まれている。

一方、わが国の CO₂ 排出量は、エネルギー消費量の増加などに伴い増加傾向にあり、1990 年度で 2.87 億 t-C、96 年度で 3.14 億 t-C に達している。

3・2 COP3 における合意と国内政策の進展

1997 年 12 月の COP3 では主として表 1 に示した事項が合意された。日本の削減目標である 6 % の内訳は、CO₂、メタン、亜酸化窒素の排出削減が ▲ 2.5 %、土地利用の変化と森林活動による吸収が ▲ 3.7 %、代替フロン (HFC、PFC、SF₆) の排出増が +2.0 %、共同実施・排出権取引などの活用が ▲ 1.8 % である。これを達成するため、省エネルギー法の改正 (1998 年 6 月公布)、地球温暖化対策法の制定 (1998 年 10 月公布) 等の諸政策が実施されている。

3・3 COP3 以降の国際交渉の進展

COP3 では、以下の点では以降の検討に委ねられることとなった。

(1) 排出量取引、先進国間の共同実施 (JI)、クリーン開発メカニズム (CDM) 等のいわゆる「京都メカニズム」については、導入が決定されたものの、詳細については今後の議論に委ねられた。

(2) 途上国の数値目標についても、途上国の激しい反発のため、今後の議論に委ねられた。

これらの課題の解決に向けて、COP4 (ブエノスアイレス、1998 年 11 月) が開催された。しかし、両会議とも各国の利害が対立し、かつ検討事項も多岐にわたったため、容易に合意に達しない難交渉となったが、最終的に主として以下の合意がなされた。

(1) 京都メカニズム 第 6 回締約国会議 (COP6) においてメカニズムを決定するための作業計画が決定された。今後の検討項

目については、先進国と途上国の間などで見解の隔たりが大きかったため、各国の諸提案をそのまま掲載したリストが添付されるにとどまった。

(2) 途上国問題 アルゼンチンから提案された「途上国の自発的参加」問題については、多くの途上国が反対の発言を行ったため、議題から削除され、会議期間中に関心のある先進国、途上国それぞれの間で非公式な意見交換が行われるにとどまった。

途上国問題については、中国、インド、産油国等の強硬なポジションのもと、大きな前進には至らなかったが、アルゼンチン、カザフスタン、チリ、韓国、中南米、アフリカ諸国が一部前向きな姿勢をみせ、これまで一貫してみられた途上国側の一枚岩的な体制が崩れつつある状況がみられた。さらに COP5(ボン、1999年11～12月)が開催されたが目立った進展はみられず、京都メカニズムの運用ルール等の懸案については、2000年オランダで開催予定の COP6 に先送りされた。COP3 の議長国である日本としては、京都議定書の批准に向けてよりいっそうの国際貢献が必要になるであろう。

4. 産業の生産工程における CO₂ 排出削減計画

— 鉄鋼業を例として —

図4に示すように、鉄鋼業は、1997年度実績で日本全体の CO₂ 排出量の約 12% と大きな割合を占めている (EDMC, 1999)。これを COP3 の目標年である 2010 年前後およびそれ以降に向けて削減していくことは鉄鋼業の大きな使命と考えられる。日本鉄鋼連盟では、1998 年 4 月に地球温暖化対策に関する自主行動計画を策定した (JISF, 1998)。ここでは、1990 年における CO₂ 排出量 4,750 万 t-C、1995 年における CO₂ 排出量 4,480 万 t-C に対して、2010 年には 4,250 万 t-C (90 年比 10.5% 減) まで削減しようとしている。鉄鋼業は、これまで排エネルギー回収設備等の省エネルギー対策により、既に世界最高のエネルギー効率 (エネルギー原単位) を達成している (図5)。これをさらに進めようという意欲的な計画であり、具体的には、以下の手段により 90 年比 10.5% の削減を達成することとしている。

(1) 既存の省エネルギー対策の更なる導入促進 既にある程度導入が進んでいる高効率自家発電、石炭調質、コークス乾式消火設備、高炉炉頂圧発電等を、経済性の少ないものも含め今後さらに導入する。

(2) 次世代製鉄技術の導入促進 2010 年までの開発完了に向けて取り組んでいる溶融還元製鉄、次世代コークス炉の次世代製鉄技術について、克服すべき課題がなお多いものの、極力前倒しの実用化を目指す。また鉄スクラップの多量使用を図る。

(3) 追加的取り組み 1995 年時点で、高炉への廃プラスチック

クの吹込み量は既に 100 万 t に達し、全廃プラスチック発生量 884 万 t の 11% を占めている。今後、廃プラスチックの集荷システムの整備等を前提に、高炉等における廃プラスチックの有効利用をさらに進める。

5. 技術開発による製品使用時の CO₂ の削減

— 鉄鋼製品を例として —

4. では鉄鋼業の生産工程における CO₂ 削減計画について述べたが、同じく鉄鋼を例にとれば、高性能電磁鋼板、高張力鋼等の製品がユーザーサイドで使用される際の省エネルギー効果や CO₂ 削減効果も重要である。

例えば、電気エネルギーロスの少ない高性能電磁鋼板で作ったトランスは、20 kVA の柱状トランスの場合で、1935 年に比べて現在は電気ロスが 1/3 以下になっている (Sakaida, 1999)。また、高張力鋼で作った自動車は 20 年ほど前に比べて約 5% 軽量化しており、この結果約 5% 燃費が向上している (JISF, 1998)。これを換算すると、現在は 1970 年代と比較して 1 年当たり 276 万 kl の原油相当する省エネルギーを達成していることになる。また、高張力鋼の使用比率を高めることにより将来的にはさらに 5% 程度の燃費向上が期待される。現在と比較した将来の省エネルギー効果は、1 年当たり 312 万 kl の原油に相当する。

このような鉄鋼製品は、民生・運輸・産業分野における CO₂ 排出削減に貢献している。

6. CO₂ 排出権取引の可能性

3. で述べたように、COP3 では CO₂ 排出権取引、およびこれに深く関連する JI, CDM の仕組みを設けることが合意され、アルゼンチンで開催された COP4 では、2000 年末の COP6 において、これらのメカニズムの詳細を決定することが決まった。これに向けて現在、各国の政府や研究者レベルで、CO₂ 排出権取引メカニズムの具体的なスキームおよびその効果が検討・研究されている。例えば、電力中央研究所の杉山ら (Sugiyama, 1998)、日本における CO₂ 排出権市場の設計試案として、排出権の割り当ては燃料輸入者に対して実績ベースに無償で割り当てる等の具体的な提案を行っている。

CO₂ 排出権取引メカニズムは、通常の取引と同様、元取引関係者双方のメリットがなければ成立しえないシステムである。逆に言えば取引双方がメリットを享受するシステムになる可能性が高く、硬直的になりがちな排出規制や税制に比べて、地球規模でみた場合のコスト効率が高い優れたメカニズムとなる可能性が高い。このほか、排出権の主たる売り手とみられる旧ソ連 / 東欧諸国のさらなる省エネルギー型経済発展の誘発、援助でない形の南

図4 日本の CO₂ 排出量の部門別構成比 (1997 年度)

図5 鉄鋼業のエネルギー原単位の国際比較 (1994 年度, 日本を 100 とした指数)

北間所得移転等の利点も考えられる。

したがって、さまざまな課題は残されているものの、CO₂ 排出権取引は国際的および国内的な市場メカニズムとして徐々に確立されていくことであろう。具体的には、最初は 2 者間の相対取引から始まり、次第に取引所等による 2 次マーケットが設立され、さらには通常の金融商品のように各種デリバティブ系の契約ベースの商品が開発されていくこととなる。

7. 技術経済水面の低下によりエマージングする新技術系

7・1 環境コストの市場メカニズムへの内部化

従来、生産工程における環境対策費や製品使用後の廃棄コストは、市場メカニズムの外にあり、環境に優しい取り組みを行ったり、環境に優しい製品を作っても、それが企業の利益に直接還元されることは少なかった。したがって企業は経済ベースでメリットのある一部の省エネルギー対策等の範囲でしか環境対策を講じることができなかった。

しかしながら、上で述べた CO₂ 排出権取引は人類全体の環境コストを金額評価し、市場メカニズムの中に組み込む試みであり、このような市場メカニズムが整備されれば、例えば CO₂ 排出の少ない生産工程への投資等への経済的なインセンティブが働くこととなる。すなわち、排出割当量よりも CO₂ 排出量が少ない企業または国は、それが割当量を超過する企業または国に排出権を 1 t-C いくらかで売ることができる。しかもその価格は市場メカニズムにより自ずから最適化されることになる。

7・2 環境技術開発に対するインセンティブの付与

そうなれば、これまで市場ベースに乗らなかった新しい環境技術が実用化される可能性が高まってくる。これは「環境イノベーション」といえるほどの大きな波が 21 世紀の早いうちに押し寄せる可能性があることを意味している。そのような新技術の例としては、CO₂ 固定化技術、製鉄スラグによる CO₂ 吸収、新エネルギー技術（太陽光、風力）、省エネルギー技術（石炭ガス化、高効率 / セラミックガスタービン、超電導、固体高分子型燃料電池、電力貯蔵用電池、コージェネ / 新型ヒートポンプ、熱電素子）、廃棄物処理技術（高温ガス化、油化、製鉄利用、超臨界分解）などが考

えられる。また、耐熱、耐腐食性、軽量材料等の省エネルギー / 環境保全に貢献する新材料も実用化の可能性が高まってくる。

7・3 LCA 的な考え方による CO₂ 削減貢献量の評価

さらに、最近では LCA 的な考え方により、当該製品の生産工程だけでなく、部品の生産工程、製品の使用過程、製品の廃棄段階まで含めて、製品なり産業の環境影響を評価する試みが増えてきた。上述した CO₂ 排出権取引は、現時点では生産工程における CO₂ 排出を対象とするものと考えられているが、将来的には 5. で述べたような製品使用時の民生・運輸・産業分野における CO₂ 排出削減分を差し引いたネットの CO₂ 排出量（純 CO₂ 排出量）を対象とすることが望まれる。その結果として、使用レベルでの CO₂ 排出を削減するような新材料（電磁鋼板、高張力鋼、耐熱材料、耐腐食性材料、軽量材料等）の開発に対するインセンティブが働き、省エネルギー / 環境保全に貢献する新材料の実用化の可能性が高まることになる。

このような LCA 手法の精緻化、CO₂ 排出権取引に代表される市場メカニズムの整備、および新環境技術に関する研究開発努力があいまって、21 世紀を環境イノベーションの世紀にしていけるための取り組みが期待される。

引用文献

- BP Amoco (1999) : Statistical Review of World Energy
- COP3 (1997) : Kyoto Protocol
- EDMC, The Institute of Energy Economics, Japan (1999) : Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan
- The Federation of Electric Power Companies materials (1999) : 89 g-C / kWh
- The General Energy Survey Commission (1998) : Demand / Supply Subcommittee Interim Report, June
- IPCC (1995) : IPCC Second Assessment Climate Change
- CDLAC, Oak Ridge National Laboratory (1999) : TRENDS-A Compendium of Data on Global Change
- Iron and Steel Federation (1998) : Voluntary Program for Environmental Protection by Steelmakers
- NEDO (1999) : NEDO-GET-9810-4
- Obata, Y. (1999) : Tekkokai, Vol. 49, No. 11, p. 14
- Sakaida A. (1999) : The Energy Conservation Vol. 51, p. 71
- Sugiyama, T., Tanabe, T. and Taniguchi, T. (1998) : CRIEPI Report, Y97007
- U.S. DOE (1999) : International Energy Outlook 1998, DOE / EIA-0484 (98)