

鉄鋼業における環境負荷の削減

Eco-Process, Eco-Materials and Eco-Systems By Steelmaking Industry

川人 健二* 高松 信彦**

Kenji KAWAHITO Nobuhiko TAKAMATSU

ABSTRACT In this paper, we present direct and indirect contributions to the cut of global environmental loads by steelmaking industry in Japan. The first is what we have done as the steel industry in Japan in the use of resources, energy and control of our environment, and the second is what we plan to do for the future having in mind the entire Life Cycle of steel products. The last is our thinking of contributions to the eco-friendly steel products in construction industry.

KEYWORDS : 鉄鋼製造、地球環境問題、ライフサイクルアセスメント、リサイクル
 Steelmaking Industry、Eco-Process、Eco-Material、Eco-System、
 Life Cycle Assessment、Recycle

1. まえがき¹⁾

今日の環境問題は、従来のエンドオブパイプ的な処理技術から、大げさに言えば人類の存続の基盤である環境を将来にわたって維持するために、価値観の大きな変革を求めている。地球環境問題は、資源の消費量そのものを減らせ、地球規模で考えろ、孫・曾孫の代まで考えろ、と訴えている(図-1)。また、環境影響も環境ホルモンのように ppmレベルよりもはるかに低いピコグラムのレベルから、廃棄物、二酸化炭素といったギガトンレベルまで、桁数を間違えてしまいそうなレンジの広さである。建設業界においては、ゼロエミッション、ビオトープやウエットランドの保全、長寿命・ミニマムメンテナンスといった新しい概念が目白押しの状態であり、今まさに環境問題に対し大きく動き出したと言える。

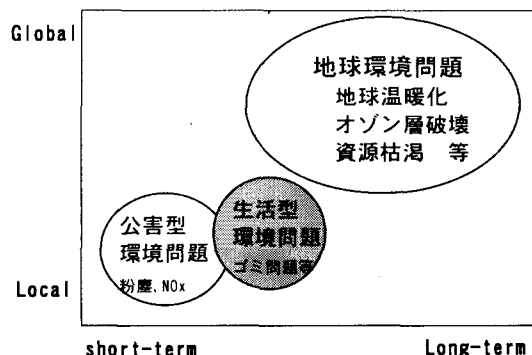


図-1 環境問題の視点の変化²⁾

一方、日本鉄鋼業界は、1970年代の公害問題や石油危機を契機に積極的な技術開発を進め、世界で最も低い環境負荷で、最高品質の鉄鋼製品を生み出すプロセスを既にも実現して来ているが、地球環境問題に直面し、"Think globally! Act locally"の観点から、鉄鋼製品の生産のみでなく、その使い方、再利用等を含めた製品開発、プロセス開発を進めていく必要があると認識している。

本報告では鉄鋼生産における環境負荷削減の取組と、鉄鋼業界での LCA (Life Cycle Assessment) への取組状況を紹介し、最後に鉄鋼製品の最大ユーザーである建設産業において、どうしたら鉄鋼製品が環境調和型な素材として貢献し得るかその開発の方向性について提案する。

* 新日本製鐵株式会社 建材開発技術部 建材技術企画グループ

** 同 技術総括部 技術総括グループ マネジャー

(〒100-8071 東京都千代田区大手町二丁目6番3号)

2. 鉄の物質循環

我が国では年間約1億tの鉄(粗鋼)が生産され、それから約9,300万tの鋼材が供給されて、自動車、機械、造船、建設等の分野で使用され、数週間から数百年間の蓄積を経て、最終的にほぼ100%が鉄鋼業に戻って来る。鉄鋼業で見れば、粗鋼生産量の約30%をスクラップを原料としているが、他に工場内で約10%を自家発生スクラップの再利用で賄っている。循環されていない大半は、土木・建築等のインフラという形で、12億tもの鋼材が国内に蓄積されているという試算がある。一方スクラップの需給バランスから見ると、年4,700万t(1996年度)のスクラップが利用され、低グレード鋼材へのカスケード利用がマーケットとして確立されている。以上から、「鉄」は保存性、リサイクル性、カスケード利用及び異業種や民生部門との連携によるゼロエミッションの推進という観点から、環境調和型材料として先導的であると言える。図-2に、鉄の物質循環とスクラップ需給バランスを示す。

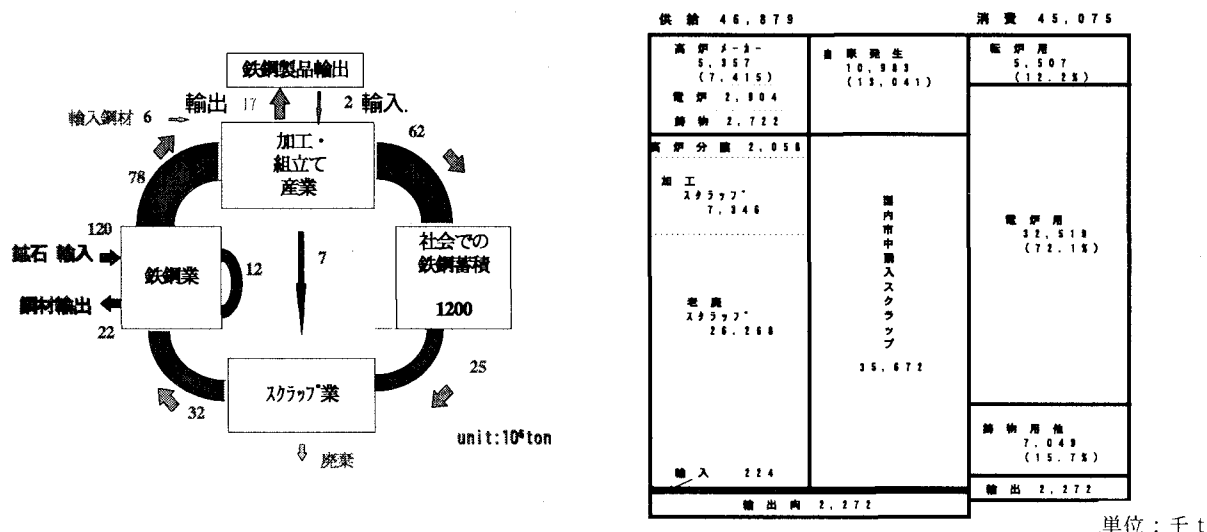


図-2 鋼材の社会循環(1995)とスクラップ需給バランス(1996)³⁾

一方、現状での鋼材物質循環をベースに、将来における老廃スクラップの発生予測を試みた。自動車・機械類、1960年代の後半から70年代前半(高度成長期)にかけて建設された建築物、缶等の包装材その他の部門において、過去の研究成果に基づき、それぞれの部門における除却・解体の確率分布モデル(例えば建設部門は、ガンマ分布で $\alpha=30$, $\beta=1$)を設定し、推計した。推計結果を図-3に示す⁴⁾。その結果、15年後の2015年には、老廃スクラップは約400万t増加し、約3,300万tに達する。増加量の内、300万t強が建設部門からの排出である。一方、スクラップの消費という観点から見ると、現在建設部門はスクラップの最大消費部門(総需要の内、電炉材が約60%を占める:1996年推定)であり、かつ低グレードへのカスケード利用という観点から、先ず建設部門がスクラップの増分を吸収していく構図が予測できる。このため、鉄の循環系を維持していくためには、先ずスクラップの最大消費市場である建設分野において、例えば建築鉄骨用のSN鋼材規格の整備等のように、建設鋼材に求められる材料性能を明確にし、その性能を満足する鋼材をメーカーが責任を持って供給することで、鋼材に対する社会的信用を維持していくことが不可欠と考える。

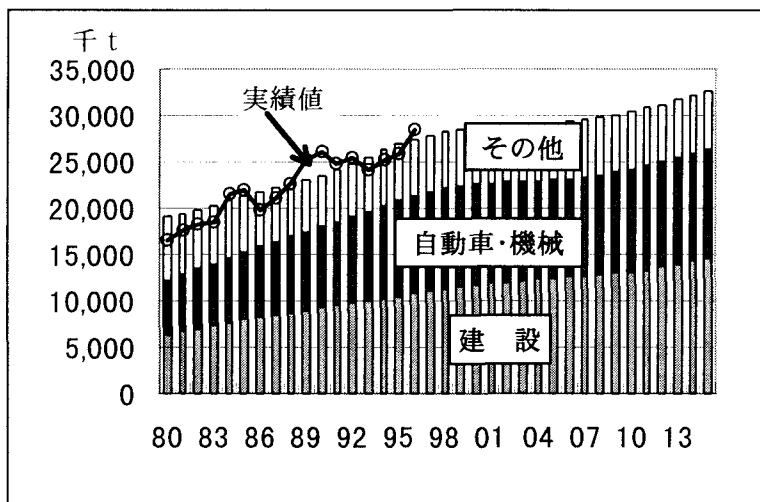


図-3 老廃スクラップの発生予測

3. 鉄鋼生産における環境負荷削減の取組⁵⁾

3.1 生産工程での省エネルギー

鉄鋼業は、我が国の最終エネルギー消費の約11%を占める産業であり、これまでもエネルギー使用効率の向上に積極的な取組を図ってきた。その結果、石油ショック以降、約20%の省エネルギーを達成した。主に、①操業技術の向上(燃焼制御、熱効率向上)、②TRT(高炉炉頂圧発電設備)、CDQ(コークス乾式消火設備)等の排エネルギー回収設備の設置、③連続鑄造、連続焼鈍、直行圧延等の工程連続化を進め、技術、設備装備率は世界トップレベルにある。(図-4、図-5)

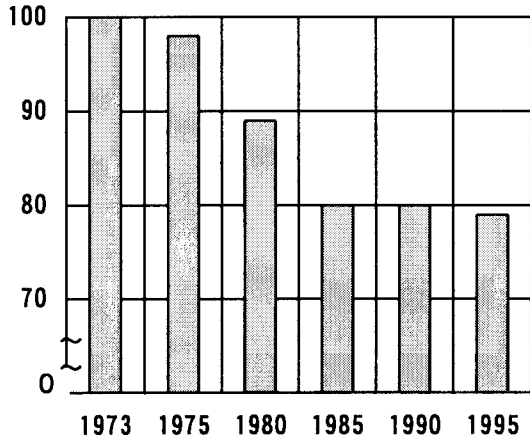


図-4 エネルギー原単位指標推移
日本鉄鋼連盟資料(鉄鋼界)

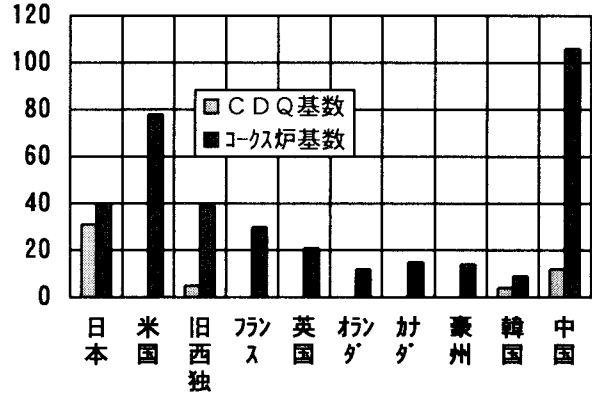


図-5 CDQ基数/コークス炉基数
(国際鉄鋼協会,新日鐵調査)

3.2 環境対策設備の推進

公害が叫ばれた時代から、排水、水質、粉塵、騒音等の環境負荷低減を進めてきた。例えば、低硫黄炭の購入促進、焼結機への脱硫、脱硝設備の装備を進め、当社のNO_x、SO_xの排出量は、1973年に対して1994年ではそれぞれ1/2、1/10のレベルにあり、この分野においても世界トップレベルにある。(図-6、図-7)

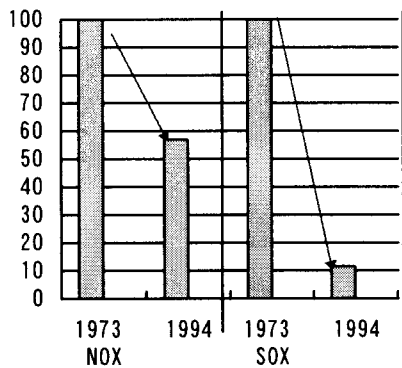


図-6 新日鉄におけるNO_x, SO_x低減実績
(1973年を100とした)

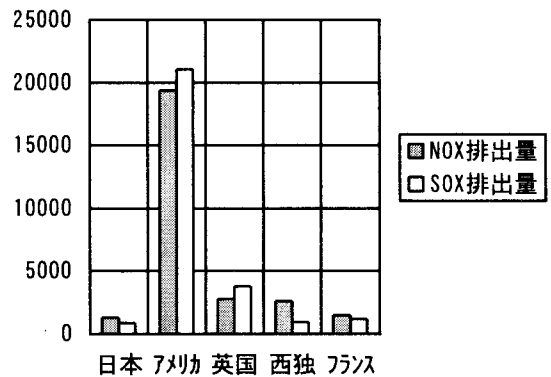


図-7 各国NO_x, SO_x排出量比較 (トン/年)
(出典: OECD ENERGY BALANCE 1991)

以上のように、我が国の鉄鋼業は、厳しい経営合理化努力を迫られる中、着実な成果を上げてきたが、ダイエットに次ぐダイエットの結果、省エネルギーは限界に近づき、コスト的にも難しい状況になってきている。今後は、投資効率の低い対策まで踏み込むことと、溶融還元製鉄等の革新的な製造技術の開発が不可欠な段階にある。

4. 2010年にむけた自主行動計画

以上述べてきたように、日本鉄鋼業は第一次石油危機以降、約20%の省エネルギーを達成し、世界最高水準のエネルギー効率を実現している。更なる省エネルギーは容易ではないが、鉄鋼業は、石炭を還元剤として使用しCO₂を排出していることから、地球温暖化問題への対応を最重要課題と認識し、以下の4つの観点から総合的、多面的な取組を展開し、社会の要請に応えていきたいと考えている。(表-1, 図-8)

この自主行動計画では、生産工程での省エネルギーを1990年を基準に2010年には10%削減し、さらに、政府の追加要請を受け、高炉等に廃プラスチックを利用することで1.5%の追加削減を目標としている。

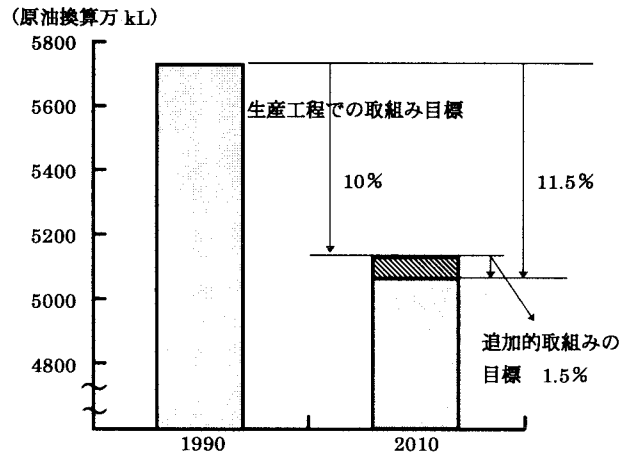


図-8 2010年の鉄鋼業数値目標

表-1 2010年に向けた自主行動計画

(1)生産工程での省エネルギーの推進：11.5%削減	(3)LCAからの製品による社会での省エネルギー寄与
①ベスト・アベイラブル・テクノロジーの積極的導入	高機能製品による製品使用段階での省エネルギー
例) 排エネルギー回収設備の普及向上	例) 高張力鋼板による自動車軽量化
例) 次世代製鉄技術の導入促進等	例) 電磁鋼板の鉄損改善による電力ロスの低減
②追加的取組として集荷システムの整備を前提に、	(4)国際技術協力による省エネルギーへの貢献
廃プラスチックの活用による削減追加	世界最高水準の省エネルギー技術の海外移転
(2)社会システム全体としてのエネルギー有効利用	例) CDQ、TRT
①製鉄所未利用エネルギーの近隣地域での活用	
②高炉等への廃プラスチック等の有効活用	

5. 鉄鋼業におけるLCAの取組状況

5.1 LCAの基本的考え方⁶⁾

LCAの概念は、図-9に示す様に製品のLife Cycle(原料の採掘、素材製造、組立、使用、リサイクル、廃棄)トータルでの、原燃料のインプットや製品の環境負荷(大気、水質、廃棄物等)のインベントリーを定量的に評価するものである。製品のLife Cycleでの環境負荷低減(例えば、省エネルギー)は、従来は、各工程毎に、省エネルギーを追求する個別最適化を指向して来たが、LCAで検討する場合は、図-10に模式的に示すように、Life Cycle全体での環境負荷を検討し、例えば、素材

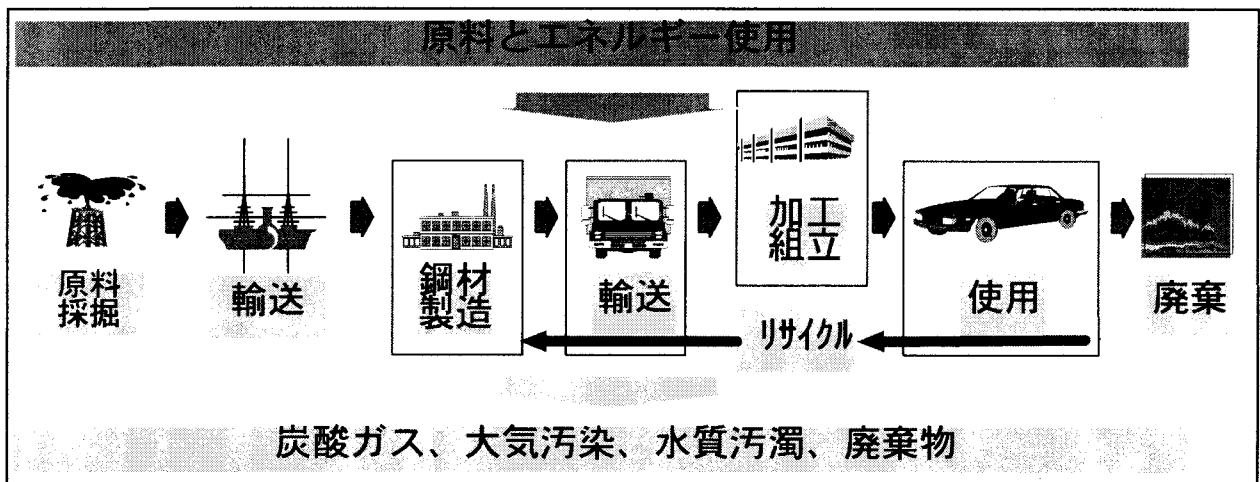


図-9 鉄鋼製品のライフサイクルフロー

製造で増エネルギーとなっても、その結果、次工程以降（例えば製品の使用段階）で大きな省エネルギーが図れ、Life Cycle で省エネルギーを実現するトータル最適化を指向することにある。例えば、自動車や船舶の軽量化に貢献する高張力鋼板の使用拡大は、この例に当たる。従って、LCA により製品を評価し、Life Cycle での最適化を図る為の視点を見いだすことこそ、LCA の開発が目指すところである。この点から、LCA 手法は、今後の鉄鋼分野における環境調和商品の開発に新たな視点を幅広く提供してくれるものと期待される。

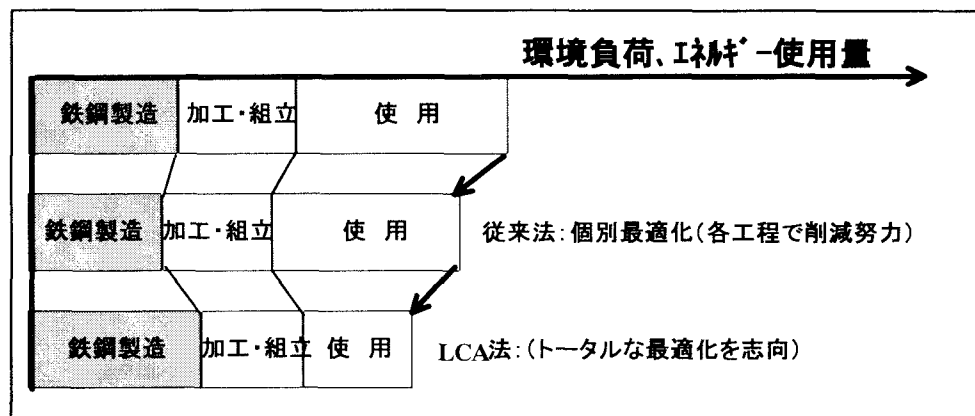


図-10 LCA評価からの開発の狙い

5. 2 LCA手法開発の課題

地球への優しさのPRが、新たな競争力になり得るとの見方が根付きつつあり、簡略化したLCAデータを元にやや客観性や公平さに欠ける環境負荷を取り上げ「地球への優しさ」を訴えるケースも出ている。簡略化は、検討範囲を適当に扱おうと、自工程の境界条件を多少拡大しただけで、結局、従来同様の個別最適化の検討となり、範囲が変わることで結果が大きく異なるという問題点を内在している。そこで我々鉄鋼業界は、LCAという評価手法の信頼性を維持することを第一に考え、信頼できるインベントリーデータ整備に活動主体を置くこととした。幸いにも、製鉄所に長年のプロセスデータが豊富に蓄積されており、日本鉄鋼連盟において組織的な取組も可能である。鉄鋼材料は多方面で広範囲に使われていることを考え合わせると、鉄鋼業界が率先して信頼できるインベントリーデータを整備することは、極めて重要な意味がある。折しも通産省の支援で、日本鉄鋼連盟を含む23の工業界が参加し、信頼できる公的なデータベースの作成や静脈系の評価手法の確立等に向けた「LCAプロジェクト(山本良一委員長(東大))」が平成14年度末完成を目標に開始された。この活動を通じて、鉄鋼業の真摯な姿勢が評価されつつある。

5. 3 鉄鋼業界の取組状況⁷⁾

上記認識の元、①製造プロセスのLCA的観点での見直し、②将来問題の予測(新商品開発のシーズ発掘)、③最終製品のLCAへの参画、④ISOの基準に対応出来る体制の整備等を目的に、業界を挙げて国際鉄鋼協会(IISI)を通じ、世界55製鉄所の参画により、1995年12月より鉄鋼業のLCA共通手法の開発に着手し、信頼性の高い世界標準インベントリーデータ、製品開発への適用についての研究を進めて来た。1997年末には、鉄鋼の共通手法を確立し、世界標準のインベントリーデータベースを作成している。基本的な境界条件(Boundary)設定の考え方と概要を以下に示す。

(1)基本前提

- ①鉱山の採掘から鋼材出荷(Cradle to Gate)までのInput/Outputデータ(インベントリー項目数、約950項目)を集約。(LCI: Life Cycle Inventory 迄の実施、システムバウンダリを図-11に示す)
- ②鉄鋼製品の種類は12種類(板厚、強度などの層別は今後の課題とした。)
- ③使用電力構成は、各国の発電電力量構成を採用。(日本の場合は日本の電力構成)

- ④ 鉱石、石炭海上輸送は、各地域の鉄鋼データ（国別輸送距離等）を整理。
- ⑤ 副産物については、標準プロセスで製造される時の環境影響を控除。
（高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガス、高炉スラグ、製鋼スラグ、化成品）

Impact Assessment については、現在 研究段階のテーマであり色々提案されている手法も各国の状況により結果が大きく異なることから、その整理は今後の課題とした。前提とするシステムバウンダリーには、副産物控除システムがバウンダリーに含まれる。これは、仮定の置き方や境界条件の採り方によってその結果が大きく異なる事に注意を払ったものである。例えば、一見その製品の環境負荷が小さくても、その製造時に付随的に発生する副産物の環境影響が極めて大きいケースもあり、Life Cycle で環境負荷を考察する以上、主製品のみならず、副産物も「環境に優しい」状態を考慮する必要があるとの考えに立っている。但し、過剰評価を避けるべく、現在経済的に成立っている副産物利用のみを考慮し、鉄鋼副産物（高炉スラグ、製鋼スラグ等）や副生ガス（高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガス等）を通しての社会貢献を評価した。又、上流データ（鉱山の採掘、輸送、発電等）については、文献のみならず、可能な限り調査し精査している。

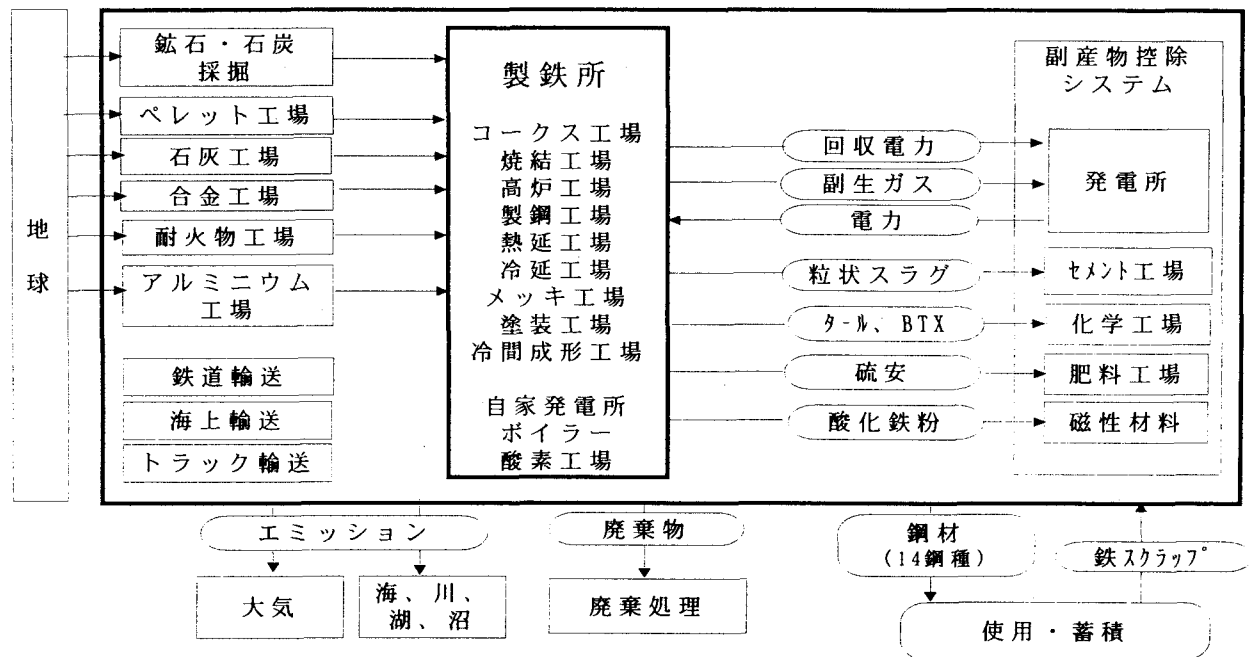


図-11 鉄鋼 LCA 検討範囲(システムバウンダリー)

6. 鉄鋼利用分野における取組

LCA の使われ方については幾つかの視点が考えられる。第一に、LCA の結果を使用して「エコラベル」への適応やそれを元にした「グリーン調達」等への反映であるが、その為の LCA データは産業界全体でまだ未整備な部分が多く、汎用的な適用は慎むべきと考える。一方、前述してきたように LCA の検討により、自社の商品をエコプロダクトとして商品開発したり、社会システム（例えば、「循環型社会の構築」）に向けた新たな視点を検討し、技術開発に発展させる使い方は充分可能であり、多くの業界で取り組まれている。ここでは、鉄鋼業の最大ユーザーである建設分野における環境調和型鉄鋼建材の考え方の例を提案したい。

6. 1 環境調和型鉄鋼建材の開発視点

スチール缶の様な短寿命なフロー型商品に対し、護岸、橋梁、トンネルなどの土木構造物は、ストック型製品である。フロー型商品は、商品のライフサイクルに投入された材料をできるだけ低いエネルギーでできるだけ回収することが重要であるが、寿命の長いストック型製品は、商品の長寿命化、信頼性向上といった質的な面に視点を置く必要がある。土木のストック型商品の特徴は、

- (1) イニシャル投資が支配的であること
- (2) 数十年から百年を越える期間、供用されること
- (3) 構造物の規模が相対的に大きいこと、建設段階での環境影響が大きいこと
- (4) 廃棄時に大量の廃棄物が発生すること

であり、各ライフステージにおいて環境負荷削減策を検討してみたい。以下で個別ステージでの視点を提案するが、本来なら、各ステージの負荷を Life Cycle 全体で検討しトータル最適化を指向することがLCAの最終目標であるが、現時点では道中場であることをお許し頂きたい。

6.2 イニシャル投資の視点

大半の土木構造物の建設時のエネルギーは、図-12に示す如くその7割以上を建設資材が占める。また、資材別の分析結果では、鉄とセメントで資材エネルギーの9割を占めるのが一般的である。

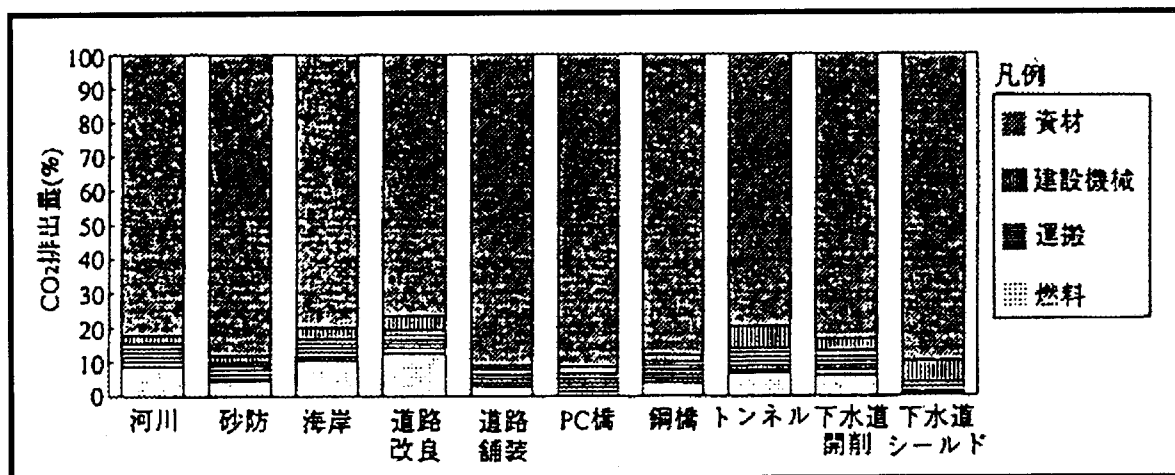


図-12 土木代表工事のエネルギー消費構成⁸⁾

この点から、初期資材を低減する、特に鉄とセメントの使用量を低減することが、初期エネルギーの低減に利くことが分かる。具体的に鉄鋼資材を削減していく方法としては、以下の例がある。

- ① 鋼材の高強度化、部材の高剛性・大型化による鋼材重量の削減
 - 例) 高張力線材を使用した吊り橋(明石大橋)での橋梁主塔、基礎構造のコンパクト化
 - 例) 広幅型鋼矢板使用による単位長さ当たりの鋼材削減 等
- ② 鋼材の特質を活かした合理化設計による鋼材重量の削減
 - 例) 少主桁橋梁による鋼材の低減等

6.3 供用時の環境負荷低減

寿命が長いストック型商品は、長寿命化と維持エネルギーの低減が重要な視点となる。寿命が100年の橋を200年に延ばすことができれば、建設に要したエネルギーは1年当たり半分になる。また、ステンレスや海浜耐候性鋼のように耐食性の向上した鋼材を使用することによるメンテナンスフリー化、鋼材の持つ圧延・加工性を活用して水密性の高い嵌合部を持つセグメントを使用することによるトンネル内部の漏水排水エネルギーの低減等、維持管理エネルギーの低減に対しては、鉄鋼建材からまだ様々な提案ができるものと考えられる。例えば、橋梁分野では、維持管理が容易で数倍の寿命を持つミニマムメンテナンス橋の研究が進められている。ミニマムメンテナンス橋は、維持管理費を最小限に押さえるために、原因が明らかである耐久性喪失要因に対して技術的・経済的に可能な対策を施した工学的永久橋であるが、合成床版、耐候性鋼材等鋼材の持つ特性を活かせる技術領域が多い。

6. 4 建設工事段階における環境負荷低減

建設副産物は、建設発生土と建設廃棄物から構成されるが、建設発生土は、海面埋立工事等に利用される再生資源でもある。一方、建設廃棄物は、産業廃棄物の2割、最終処分量の4割、不法投棄の9割を占める最大の排出源である。この現状を踏まえ、通称「建設リサイクル法」が5月の通常国会で成立している。建設廃棄物の発生量と再利用の状況を図-13に示す。

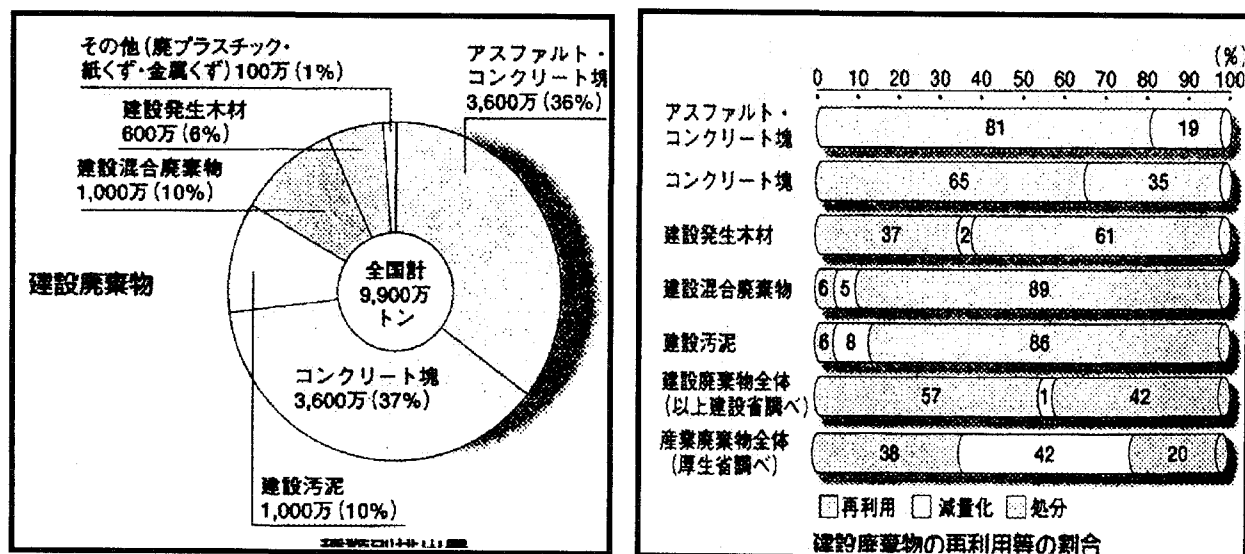


図-13 建設廃棄物の種類別排出量と再利用の割合 (平成7年度) 9)

品目別では、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊はリサイクルが進んでいる一方、建設発生木材、建設混合廃棄物(ミンチ材)、建設汚泥は低迷している。混合廃棄物に含まれる鉄くずは、容量組成で14%、重量組成で13%と量も少なく¹⁰⁾、こまめに回収されているためそれほど問題になっていない。この点から、特に再利用が進んでいない建設発生木材、建設汚泥、建築ミンチ材の削減とリサイクルを進める建材・工法を提案していくことが緊急課題と考え、以下の視点を提案する。

①建設混合廃棄物の再利用率が向上する鋼材部材の提案

例) エポキシ樹脂加工が必要ない鉄筋の開発

例) 木材の鉄化 (特に住宅部材) によるミンチの減量化、分別回収の促進

②建設汚泥、発生土の削減に寄与する工法の提案

例) RC場所打ち杭に対する鋼管杭による無排土工法の提案 (汚泥の削減)

例) 鋼殻部材による覆工桁高薄壁化によるトンネル、堅坑の掘削断面の減少 (汚泥の削減)

また、建設段階での環境保全価値の視点から考えた場合には、大規模な国土開発において、自然破壊を極力抑えた方法を提案していくことが重要となる。例えば海上空港や防災基地としてその利用が期待されているメガフロート(超大規模浮体工法)は、従来の埋立工法に対して土砂をほとんど使用しないため、丘陵での土砂採取によって発生するビオトープの破壊や、自然防災機能の喪失、景観の喪失がない。また、資材の陸上運搬集中による地域住民への交通公害や、海底地盤の改良・土砂投入による海水汚濁も軽微である。さらに、海岸浅瀬(ウエットランド)の喪失がないため、野鳥等の生息地保全や浅瀬の自然浄化機能が保持できる等、自然破壊を極力抑えた工法として期待されている。¹¹⁾

6. 5 鋼材のリサイクル評価¹²⁾

鋼材はリサイクル性に優れた材料であるが、既存のLCA研究では、転炉鋼と電炉鋼を区別してそれぞれの環境負荷を算定していることから、高炉鋼の環境負荷が過大に評価され、逆に電炉鋼は、スクラップの環境負荷をゼロと見なすため、環境負荷が過小に設定されている。例えば、土木学会LCA小委員会の推奨値は、高炉製熱間圧延鋼材の二酸化炭素排出原単位が411 kg C/tであるのに対し、

電炉製棒鋼・形鋼は 128 kg C/t と高炉鋼の 1 / 3 の原単位となっている¹³⁾。リサイクルされる材料の環境負荷については、容器包装類を対象とした LCA 研究¹⁴⁾ 等で評価方法が提案されているが、まだ研究段階にあり世界的に認知・設定された原単位がないのが現状である。循環型社会を追究する限り、リサイクルが静脈系として不可欠であることは明白であり、ミニマムエネルギーで如何に再利用するかが環境負荷削減のポイントとなる。この視点に立つと、ミニマムエネルギーでリサイクルに努めた素材が環境上評価される方法を考えることが望ましく、またそのように技術開発が、自立的に誘導される評価方法が必要と思われる。

一方、リサイクル材(この場合、鉄鉱石でなく鋼片)が無限に埋蔵されているのであれば、リサイクル材を起点に環境負荷を計算することも可能だが、スクラップがほぼ全量リサイクルされている現状でも、スクラップの倍以上のバージン鉄(鉄鉱石を還元した最初の鉄)が需給バランス上必要であり、将来ある一定の比率に漸近すると思われるが、供用期間が今以上に長くなることを考えると、バージン鉄の供給がゼロとなることは考えにくい。また鉄の需給は、バージン鉄と低グレード鋼材へのカスケード・リサイクルで成立しているが、極端な例ではスクラップを原料にコストを掛けて自動車用鋼板を作り、鉄筋をバージン鉄で作るといった需給バランスでも、鉄全体の環境負荷はあまり変わらないであろう。以上から、高炉材、電炉材と区別して評価するよりも、十分に循環が成り立っている鉄に関しては、循環系を前提とした平均的な原単位で評価することも可能であると考え、以下にその一例を示した。

鋼材のクローズド・ループ・リサイクルのシステムフローを図-14に示す。リサイクルを考慮した循環系全体での原単位は、高炉鋼が製品になって利用されたのち回収(回収率: γ)され、電炉鋼として繰り返し(リサイクル回数: n 回)利用されるというライフサイクル全体で評価する。算定式を次に示す。

[高炉～電炉を通したライフサイクルでの CO₂ 排出原単位]

$$= (A + \gamma_1 B + \gamma_1 \gamma_2 B + \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 B + \dots + \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \dots \gamma_n B) / (1 + \gamma_1 + \gamma_1 \gamma_2 + \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 + \dots + \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \dots \gamma_n) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

ここで、A: 高炉鋼の原料採取・製造による CO₂ 排出原単位 (= a+b+c+d+e)
 B: 電炉鋼の製造による CO₂ 排出原単位 (= f+g+h+i)
 $\gamma_{1\sim n}$: 鉄スクラップの回収歩留り

さらに、①式で各段階での鉄スクラップの回収歩留り($\gamma_{1\sim n}$)を一定と仮定すると、次式が導かれる。

[高炉～電炉を通したライフサイクルでの CO₂ 排出原単位]

$$= (A+B \sum \gamma^n) / (1 + \sum \gamma^n) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

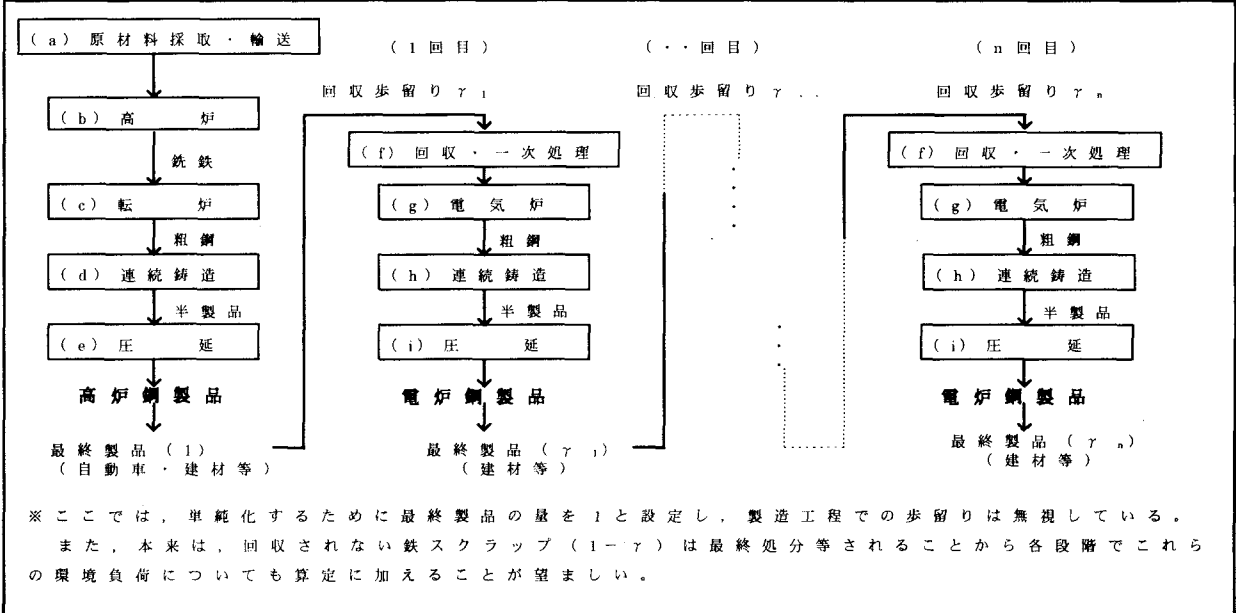


図-14 鋼材のクローズド・ループ・リサイクルのシステムフロー

この考え方で循環系で捉えた環境負荷の評価を行うと、図-15に例示した結果を得る。図では、縦軸のCO₂排出原単位は初期値を100とした。回収歩留り(γ)及びリサイクル回数(n)が多くなるほど、鋼材全体でのライフサイクル環境負荷は低くなる。例えば現状のγを0.6程度と想定し、リサイクル回数を3回と仮定すると、環境負荷はリサイクルのない場合に比べ60%程度迄低下する。

この評価方法を用いて、具体的に土木学会推奨値の原単位を基準に算定すると、鋼材は高炉材、電炉材の区別無く247 kg C/tの環境負荷と見なすこともできる。

以上述べたように、鋼材のように循環系が成立している材料については、環境負荷を高炉材・電炉材といったライフサイクル過程のある断面で一般的数値として捉える方法と比べ、ライフサイクル全体の系として捉える試みにより、

LCA特にリサイクルの重要性を表現できる可能性を提案でき、リサイクル率が低いPCや木材の再利用を誘導すると共に、リサイクルを視点に、より環境負荷を削減する技術開発が進むことが期待できる。リサイクルの評価に関しては、本来オープンループでリサイクルされている現実を考えると、LCA的にどのような評価をすべきかについては、今後の大きな課題であるが、本例も一つの方向性を示すものとする。

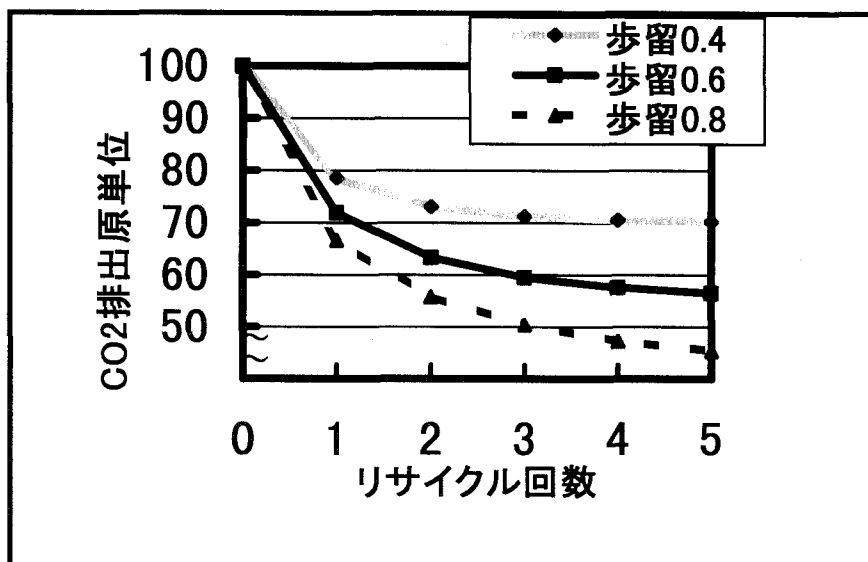


図-15 循環系で捉えた環境負荷(CO₂)原単位の評価例

7. 鋼橋を例とした試算結果¹⁵⁾

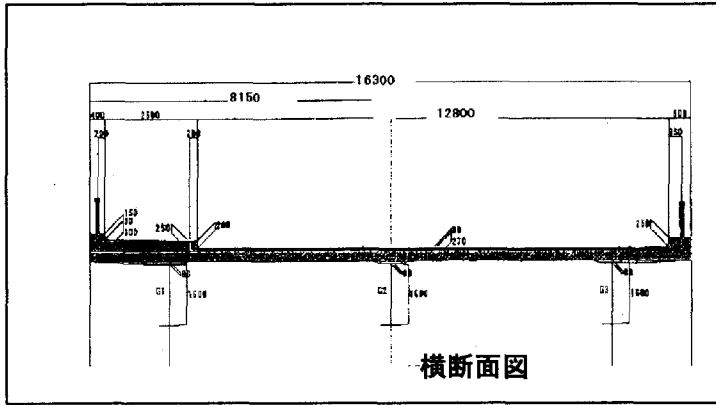
土木学会地球環境委員会がとりまとめた「土木建設業における環境負荷評価(LCA)研究小委員会平成8年度調査研究報告書」¹⁶⁾の中の「2-6.橋梁上部工」で検討されている型式をベースに、新たに合成床版を用いた鋼3径間連続非合成3主鋼桁橋を追加し、概算工費およびCO₂排出量を試算した。尚、鋼材の二酸化炭素排出原単位は、6.5で提案した循環系で捉えた環境負荷原単位(247 kg C/t)を使用した。その他各種データ及び手法は、特に断らない限り上記報告書の値を採用している。

7.1 対象橋

対象とする型式を表-2に、概略図を図-16に示す。本案の設計および概算工費の算出にあたっては、「鋼道路橋数量集計マニュアル(案)」、建設省道路局国道課監修、建設物価調査会、1996.10.1の指針に示される合理化桁の概念を取り入れた。

表-2 対象橋の比較案

比較案	第1案 鋼3径間連続 非合成鋼桁橋	第2案 PC4径間連結 プレテンT桁橋	第3案 RC4径間連続 中空床版橋 +PC単純 プレテンT桁橋	第4案(追加案) 鋼3径間連続 非合成3主鋼桁橋 (合理化桁)
径間長	3@27.0m	20.5+2@20.0+20.5m	4@15.0+21.0m	3@27.0m
設計	従来設計	従来設計	従来設計	合理化設計
積算	従来積算	従来積算	従来積算	合理化積算



形式	鋼 3 径間連続非合成 3 主鈹桁
支間長合計	79.8 [m] (構造基本線)
桁 高	1600 [mm]
床版形式	合成床版 t=270 [mm]
舗 装	アスファルト舗装 t=80 [mm]
平面線形	R=∞
横桁斜角	90° 0' 0.0"
活荷重	B 活荷重-L
添加物	なし
使用鋼材	-H 仕様材
鋼種の仕様	道路橋示方書
耐候性鋼材	使用する

図-16 概略図

7. 2 検討結果

H8 報告書で示された設計条件と従来の二酸化炭素原単位の元では、プレテン T 桁橋（2 案）に対して従来の鋼鈹桁（1 案）は経済面と炭素排出量共に優位性が見出せないと考えられていた。今回、合成床版や合理化桁あるいは耐候性鋼材等、近年の施工実績等を踏まえた新しい技術を積極的に取り入れた鋼合理化桁（案 4）を加え、二酸化炭素原単位として循環系で捉えた環境負荷原単位を用いて試算した結果（表-3）、橋脚、橋台等の下部構造が大きくなるコンクリート系の橋梁は、二酸化炭素排出量が大きくなり、鋼合理化桁（案 4）が工事費及び CO₂ 排出量共で、優位な結果となった。

表-3 炭素排出量算定結果

		炭素排出量 (t・c)						直接工事費	
		従来原単位		循環系で評価した原単位				百万円	指数
		合計	指数	資材	運搬	施工	合計		
1案 鋼鈹桁	上部工	174.2		108.9	18.1	22.1	149.1	256.6	
	下部工	191.8		162.4	30.3	25.3	218.0	135.6	
	合計	366.0	100	271.3	48.4	47.4	367.1	392.2	100
2案 プレテン T桁	上部工	144.0		82.5	26.4	34.1	143.0	164.1	
	下部工	231.4		197.4	35.6	30.8	263.8	164.1	
	合計	375.4	103	279.9	62.0	64.9	406.8	328.2	84
3案 RC中空 床版	上部工	144.6		112.5	23.8	25.0	161.3	152.6	
	下部工	264.1		221.7	43.0	37.1	301.8	194.8	
	合計	408.7	112	334.2	66.8	62.1	463.1	347.4	89
4案 鋼 合理化桁	上部工	168.7		120.7	10.2	19.4	150.3	181.8	
	下部工	191.8		162.3	30.3	25.3	217.9	135.6	
	合計	360.5	98	283.0	40.5	44.7	368.2	317.4	81

8. おわりに

鉄鋼業は、地球環境保全のため、材料製造プロセス・製品への使用・廃棄処理システムにわたるライフサイクルでの評価技術を構築し、エコマテリアルとその利用システムを世の中に提案して行きたいと考えている。しかし、まだ具体的な事例の積み重ねや、検討項目が少ない等、多くの課題が残されている。今後、この方向の中で、環境調和型鉄鋼建材の技術開発を進めると共に、大規模な国土開発においては、環境保全価値を含めて検討する等、地球環境保全に努力して行きたい。

尚、本報告に当たり、筆者もメンバーである「鋼材倶楽部 社会資本整備とITマテリアルに関する調査研究委員会」における研究成果を、委員会を代表し発表した。関係者各位に厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 環境庁国立環境研究所：21世紀における環境研究の展望、公開シンポジウム、1999.6.8
- 2) 高松、古川：金属、vol.69、No5、1999
- 3) (社)日本鉄源協会：鉄源年報第9号、1998
- 4) (社)鋼材倶楽部：社会資本整備とITマテリアルに関する調査、平成10年度調査研究報告書、H11.5
- 5) (社)日本鉄鋼連盟：鉄鋼業の地球温暖化対策への取組み概要、H10.4.24
- 6) LCA日本フォーラム：LCA日本フォーラム報告書、1997.6
- 7) (社)日本鉄鋼連盟、通産省：鉄鋼製品の利用に関するエネルギー評価調査、1998.3
- 8) 寺田剛、坂本浩行、片脇清：建設事業における資源・エネルギー消費量及び環境負荷量の算定調査、土木技術資料37-9 1995
- 9) 建設副産物リサイクル広報推進会：議総合的建設副産物対策、平成10年度版
- 10) 近藤次郎：建設廃棄物とリサイクル推進の在り方、日経BP建設セミナー、2000年2月24日
- 11) 浅井康次：ガット～環境に優しい国土の創出に向けて～、日本沿岸域学会研究討論会NO.12、1997.7
- 12) (社)鋼材倶楽部：社会資本整備とITマテリアルに関する調査、平成10年度調査研究報告書、H11.5
- 13) 土木学会地球環境委員会：土木建設業における環境負荷評価 平成7年度調査研究報告書、H8.4
- 14) 環境庁企画調整局環境研究技術課監修、社団法人情報科学センター編：ライフサイクルインベントリー分析の手引き、化学工業日報社、pp.104-105、1998
- 15) (社)鋼材倶楽部：鋼橋の環境負荷評価試算例、H11.11
- 16) 土木学会地球環境委員会：土木建設業における環境負荷評価、平成8年度調査研究報告書、H9.3