

第1章 社会資本 LCA の導入による社会変革

1. 1 持続可能な社会

1. 1. 1 持続可能性に関する意識の高まり

世界経済が目覚ましい発展を遂げ、今後も経済活動が一層活発化することが確実視される中、持続可能な発展を維持していくために、地球環境問題への対応はますます重要になりつつある。重点的に取り組むべき具体的な課題として、有限な資源の利用に直接的に関連する資源循環の促進や、経済活動との関連が立証された地球温暖化の防止・抑制が挙げられる。

人間活動に伴う環境負荷を低減し、将来にわたって持続的に経済発展を続けられる社会の実現が必要とされている。

【解説】

(1) 環境基本法における持続可能な社会の位置付け

環境基本法における基本理念の一つに、環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築等が示されている。

環境基本法

(環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築等)

第四条 環境の保全は、社会経済活動その他の活動による環境への負荷をできる限り低減することその他の環境の保全に関する行動がすべての者の公平な役割分担の下に自主的かつ積極的に行われるようになることによって、健全で恵み豊かな環境を維持しつつ、環境への負荷の少ない健全な経済の発展を図りながら持続的に発展することができる社会が構築されることを旨とし、及び科学的知見の充実の下に環境の保全上の支障が未然に防がれることを旨として、行われなければならない。

(2) 地球温暖化に関する対策と温室効果ガスの排出の現状

我が国における温室効果ガス排出量の推移を図 1. 1-1 に示す。我が国においては、京都議定書で約束された第一約束期間における基準年に対する 6%の温室効果ガス削減のため、地球温暖化対策の推進に関する法律の下、京都議定書目標達成計画に示される対策を始めとした各種の対策に国・地方公共団体・事業者・国民の各々が自発的に取り組んでいる。京都議定書において約束された削減目標のほか、中長期的には 2020 年に 1990 年比 25%減、2050 年に 1990 年比 80%減を達成するとの国際公約がある。

最新年（2009 年度）の温室効果ガス排出量は、約 12 億トンであると報告されており、京都議定書における基準年（1990 年）に比べて微かに減っている。しかしながら、この減少は金融危機の影響を受けていることが環境・循環型社会・生物多様性白書においても指摘されており、堅牢なものであるとは言い難い。実際、京都議定書における第一約束期間の初年である 2008 年の温室効果ガス排出量は基準年に対して増大であった。

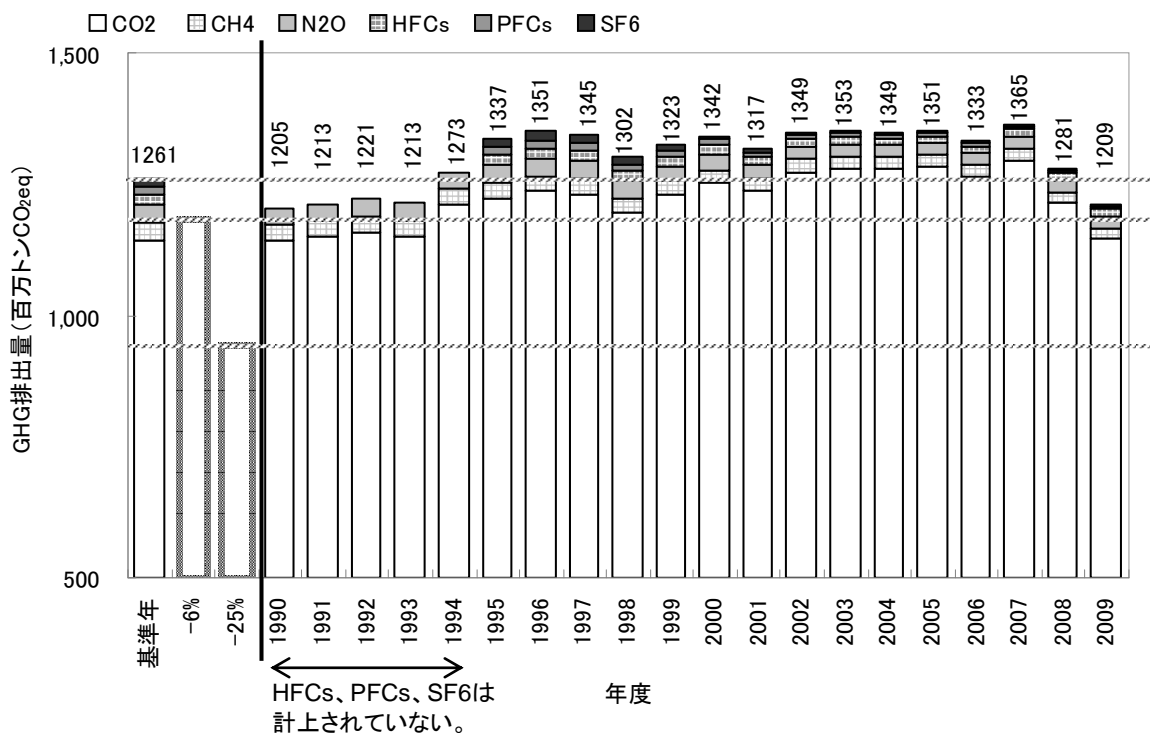


図 1. 1-1 京都議定書目標達成計画の進捗状況

数値根拠：温室効果ガスインベントリオフィス、日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2011 年 4 月版

(3) 資源利用に関する現状と今後の見通し

循環型社会は、製品等が廃棄物等となることが抑制され、循環資源が適正に循環的に利用され、廃棄物等が適正に処分されることが確保されることで、天然資源の消費が抑制され環境への負荷ができる限り抑えられる社会である。

循環型社会の形成に関する基本原則等を定めた循環型社会形成推進基本法に基づき、政府は、循環型社会の形成に関する基本的な計画（循環型社会形成推進基本計画）を定めている。

平成15年に定められた第1次計画を引き継ぐ形で、平成20年に第2次循環型社会形成推進基本計画が定められた。第2次循環型社会形成推進基本計画においては、第1次計画に引き続き資源生産性、循環利用率、最終処分量の三指標について数値目標が定められている。第1次基本計画において平成22年度であった目標年次は平成27年度とされ、個別の数値目標は、資源生産性が42万円/トン（第1次は37万円/トン）、循環利用率が14～15%（第1次は14%）、最終処分量が23百万トン（第1次は28百万トン）とされている。

平成20年度におけるわが国の物質フローの模式図を図 1. 1-2に示す。三指標の進捗状況は、資源生産性が36.1万円/トン、循環利用率が14.1%、最終処分量が22百万トンとなっている。資源生産性は数値目標の達成に向けて堅調に上昇しており、循環利用率と最終処分量は数値目標を既に達成している。

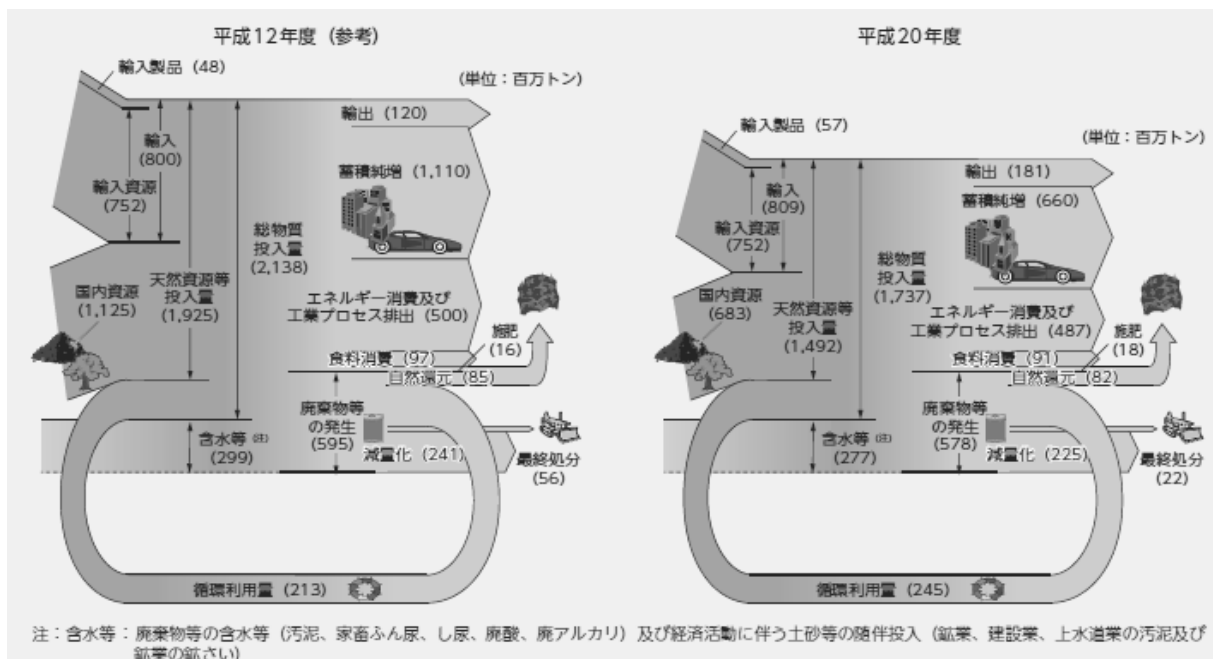


図 1. 1-2 平成 20 年度の我が国における物質フローの模式図

左は循環型社会形成推進基本法が成立した平成 12 年度の物質フローの模式図 (参考)。

出典: 環境省、平成 23 年版環境・循環型社会・生物多様性白書

1. 1. 2 持続可能な社会に果たす社会資本整備の役割

代表的な温室効果ガスである二酸化炭素排出、廃棄物最終処分、天然資源投入等に対して社会資本整備が及ぼす影響は大きい。

(1) 二酸化炭素排出量

日本全体の排出量の 14%が建設を目的とした事業から排出されている。また、社会資本整備は人々の活動様式を変化させ、関連する二酸化炭素排出量を変化させる。

(2) 廃棄物最終処分量・天然資源投入量

日本全体の物質フローの 46%が建設業に利用されている。その中には、他産業由来の副産物・廃棄物や建設リサイクルによるものも多く含まれる。

従って、社会資本整備に関連する活動まで遡及し、かつ社会資本整備の影響まで波及して、社会資本のライフサイクルをとおした環境負荷を着実に低減していくことが必要である。

ライフサイクルをとおした環境評価手法として、ライフサイクルアセスメント (LCA) がある。

【解説】

(1) 二酸化炭素排出量

社会資本整備による二酸化炭素には、建設現場で直接排出されるもののほか、建設資材、建設機械、仮設材の製造や運搬等の活動に伴って間接的に排出されるものがある。建設現場からの直接排出量は国内の総排出量の 1%に過ぎないのに対して、社会資本整備に係る活動を遡及すると 14%に及ぶ。14%の内訳では、コンクリートや鋼材等材料に関するもの、道路貨物輸送等運搬に関するものの割合が大きい。(図 1. 1-3 参照)

更に、社会資本整備は、社会資本が利用されることによる二酸化炭素排出にも大きく影響する。道路については、道路整備による二酸化炭素排出は国内の総排出量の 2%であるのに対して、利用することによる二酸化炭素排出は 16%に及ぶ(図 1. 1-4 参照)。道路整備によって利用側の交通量配分や走行速度が変わるため、整備で二酸化炭素が排出されるものの、それ以上の利用側の二酸化炭素排出を削減することもあり得る(図 1. 1-5 参照)。社会資本整備による二酸化炭素排出量と利用による二酸化炭素排出量の関係は、事業分野ごとに異なるものと思われる。

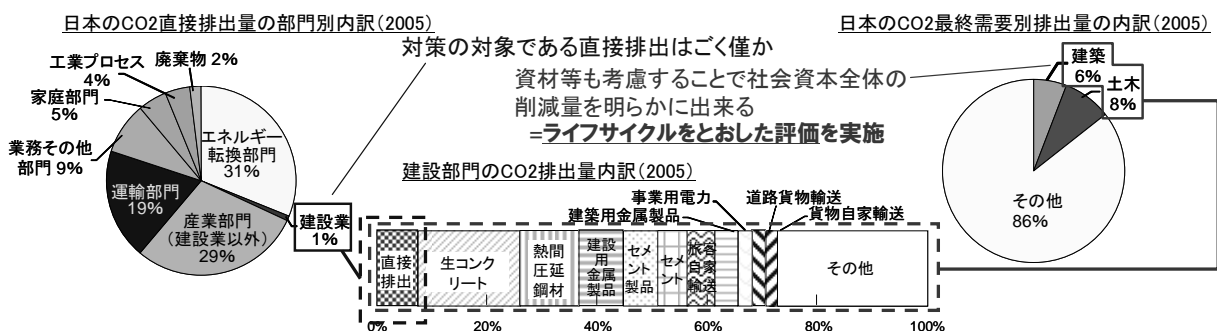


図 1. 1-3 建設部門の二酸化炭素排出量内訳

算出根拠：産業連関表(2005年版)、3EID(2005β)

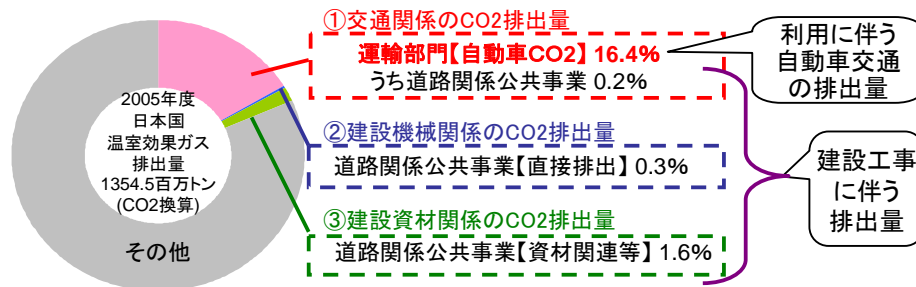


図 1. 1-4 道路関係二酸化炭素排出量の内訳

算出根拠：国立環境研究所 3EID、国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ」

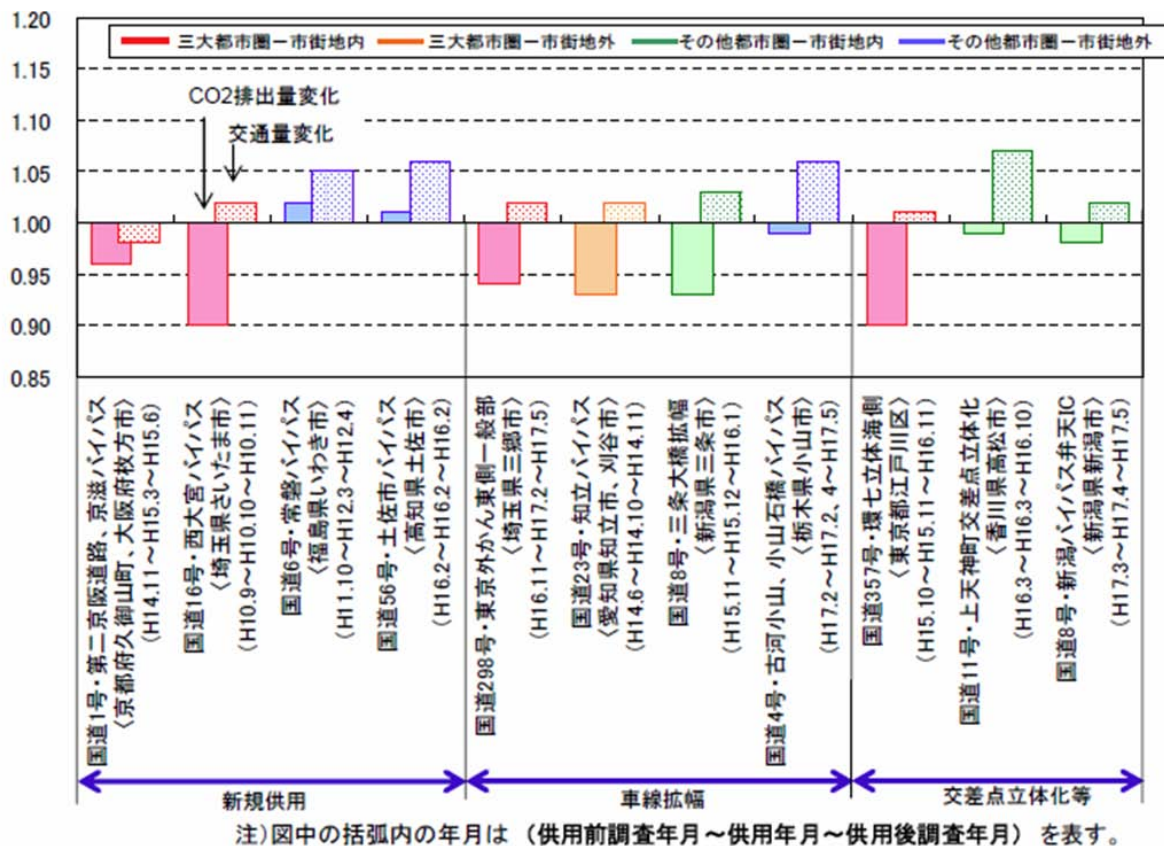


図 1. 1-5 道路整備前後の交通量及び二酸化炭素排出量比

出典：地球温暖化防止のための道路政策会議

(2) 廃棄物最終処分量・天然資源投入量

公共事業においては、工事で生じる建設廃棄物や建設発生土を有効利用しているだけでなく、他産業から発生した副産物・廃棄物についても建設資材への投入を通じて大量に再生利用している。国内の物質フローにおいて、社会資本整備等に利用される建設資材が占める割合は4割を占めており、大きな影響を有している。従って、公共工事において資源の有効利用がなされることで、循環型社会の形成に大きく貢献している。(図 1. 1-6 参照)

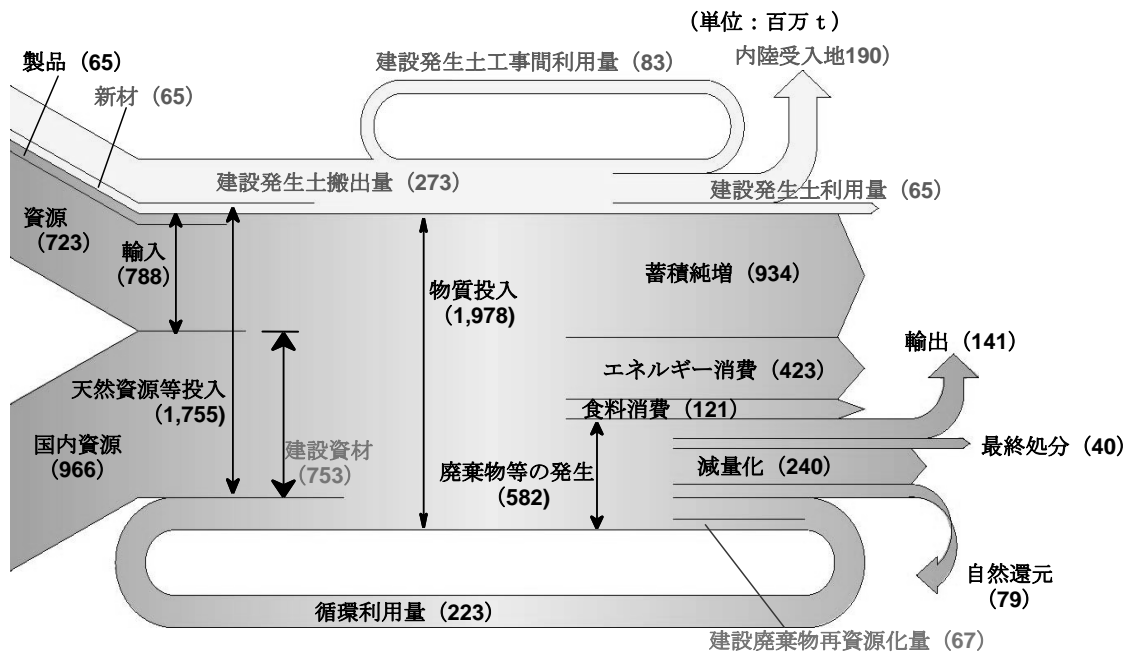


図 1. 1-6 国内の物質フロー

出典：曾根ら：公共工事におけるグリーン購入と循環型社会形成について、建設マネジメント研究論文集、Vol. 14、

2007、pp. 349-360

1. 2 ライフサイクルアセスメント (LCA)

1. 2. 1 LCAの概要

ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment : LCA) は、「製品の原材料の採取から製造、使用及び処分に至る生涯 (すなわち、ゆりかごから墓場まで) を通しての環境側面及び潜在的影響を調査するものである」と、関連する国際規格 (ISO14040 シリーズ) に記述されている。

この記述からも明らかなように、LCA は、社会資本整備を通しての二酸化炭素、廃棄物、天然資源等の入出力及び排出、並びにその影響について包括的に調査する手法として適している。

他方、自然破壊 (事業実施箇所におけるものに限る) や健康被害等の環境問題に関しては、相対的に狭い範囲における環境の保全が重要であり、二酸化炭素、廃棄物、天然資源等の広域的な環境問題とは、対象の空間的広がり異なる。なお、自然破壊や健康被害に関しては、従来、環境アセスメント等で対応がなされ、環境基準等の達成を基準とした影響の予測・評価や環境保全措置がなされている。

LCA に関する規格を定めた ISO14040 シリーズ (または JIS14040 シリーズ) においては、LCA の構成段階として、1) 目的及び調査範囲の設定、2) インベントリ分析 (Life Cycle Inventory-analysis、LCI)、3) 影響評価 (Life Cycle Impact Assessment、LCIA)、4) 解釈が挙げられている (図 1. 2-1 参照)。1)、2)、4) は必須要素であり、3) を除くこれらの一連の調査はライフサイクルインベントリ調査と呼ばれる。LCA は反復的手法であり、追加調査が必要と判断される場合には、前の構成段階に立ち戻って修正を加えることもある。

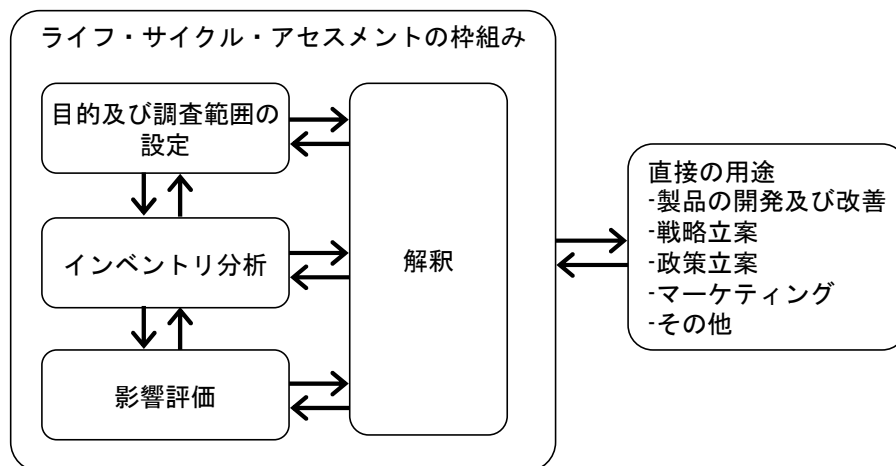


図 1. 2-1 LCA の構成段階

出典：日本規格協会、JIS ハンドブック 58-2 環境マネジメントを元に作図

【解説】

(1) LCA が特に強く求められる環境要素

二酸化炭素等の排出量の抑制等に向けて、各主体が実施可能な取組みを進めることが重要であることは言うまでもないが、実施する取組みの決定にあたっては、ライフサイクルを通じた総量を削減する視点が重要である。これは、二酸化炭素は大気中で安定であり、その影響は長期かつ広範囲に及ぶことから、特定の時点・地点における排出量ではなく、総量の削減が必要であるためである。ライフサイクルを通じた総量が重要である点は、地球環境問題が、騒音や大気質とい

った従来の公害型の問題と決定的に異なる特徴の一つである（図 1. 2-2 参照）。

従来、自然破壊や、事業実施区域や周辺における地域性の強い環境問題に対しては、環境アセスメント等で対応がなされ、環境基準の達成を指標とした影響の予測・評価や環境保全措置がなされてきた。このような実態や問題の影響範囲を踏まえて、優先的に対象とすべき影響領域を選定することが合理的である。すなわち、既存の制度で対応が図られている地域的な問題について、LCA を用いた別の評価を行うことは、適当ではないと考えられる。

なお、LCA の有識者を対象として、評価対象に含めることが望ましいと考える影響領域を調査した 8 種類の製品等についてのアンケート結果（郵送デルファイ法）より、推奨影響領域を示した既存研究がある。土木構造物については、地球温暖化、化石燃料・資源消費、自然の物理的改変、固形廃棄物が推奨影響領域として示されている。このことから、地域的な問題に対する LCA 適用については、LCA の専門家の間でも優先的な課題として認識されていないものと考えられる。

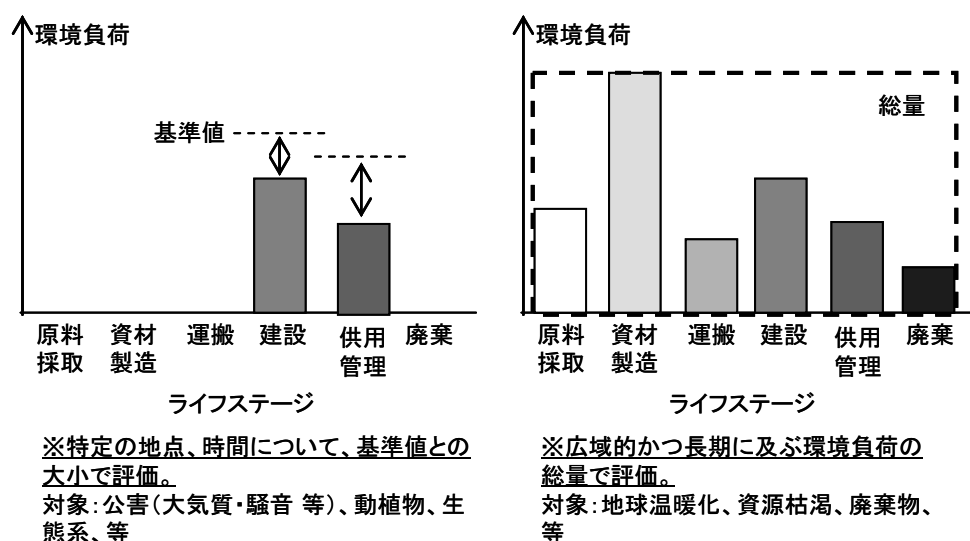


図 1. 2-2 従来の環境問題と地球環境問題の相違

(2) LCA に関する国際規格の作成経緯

LCA とは、製品やサービスのライフサイクル全段階において、地球環境に与える影響を分析する手法であり、環境負荷の低減を図るためのツールとして期待され、国際標準化機構（ISO：International Organization for Standardization）により ISO14040～14043 として 2000 年に国際規格化された。また、日本工業規格（JIS）化も進み、JIS Q 14040～14043 として 2002 年に日本の国内規格として発行された。さらに、ISO14040～14043 は、約 5 年の歳月を掛けて見直しが行われ、2006 年に環境ラベル：ISO14025、環境適合設計（DfE：Design for Environment）：ISO/TR14062 等の規格に対応した ISO14040/14044 の 2 つに再編され、環境影響評価を行うために必須の規格となった。しかしながら、規格は「LCA がまだ開発の初期段階にあるとの認識に立って」作成されたものであり、特に、「影響評価等一部の LCA 技法の構成段階は、相対的にまだ揺らん（籃）期にある」ことが断られている。「LCA の実践水準を更に向上させるために検討すべき事柄が多く残されており」、今後、「实际的な経験を蓄積する必要もある」ことが指摘されている。

なお、LCA の国際規格（ISO14040/44）は具体的な方法を定めているものではない。

国際規格である「環境ラベル及び宣言」、「環境パフォーマンス評価」においては、LCA の利用

に関する言及がなされている。

・環境ラベル及び宣言（JIS 14020 シリーズ）

環境ラベル及び宣言は、製品またはサービスについて、その全体の環境特性、特定の環境側面、またはいくつかの側面に関する情報を提供するものである。

一般原則の一つとして、「環境ラベル及び宣言の作成は、製品のライフサイクルにおける、関連する側面のすべてを考慮したものでなければならない」とある。ただし、「これは、必ずしもライフサイクルアセスメントを実施するべきであるという意味ではない」との断りもある。とはいえ、LCAがこの原則を満たすための有力なツールであることは確かであろう。

・環境パフォーマンス評価（ISO 14030 シリーズ）

環境パフォーマンス評価は、「組織の環境パフォーマンスが組織のマネジメントによって決められた基準を満たしているか否かを判定するために、信頼ができて検証可能な情報を、いつでもマネジメントに提供する内部的なプロセスであり、ツールである」。従って、直接LCAを求めるものではないものの、環境パフォーマンス評価に情報を提供するツールとして、環境レビューに加えて、LCAが挙げられている。

(3) 目的及び調査範囲の設定

目的及び調査範囲の設定は、LCA 調査の第一段階であり、LCA 調査を行う目的を明らかにした上で、目的に見合った結果が得られるように調査範囲を定めるものである。この段階、及び続く LCI については、「JIS Q 14041 環境マネジメントーライフサイクルアセスメントー目標及び調査範囲の設定並びにインベントリ分析」、及びその基規格である ISO 14041 に規格化されている。

LCA 調査の以降の構成段階である、LCI、LCIA 及び解釈は、この段階で設定した目的と調査範囲に照らして実施される。よって、目的及び調査範囲の設定は、LCA 調査の全体のあり方を規定する段階である。規格で規定されている、明示する内容または考慮する事項には、以下が含まれる。

1) 目的には、以下の事項があいまいさのないように記述されなければならない。

- 意図する用途
- 調査を実施する理由
- 意図する伝達先、すなわち、調査の結果を伝えようとしている相手

2) 調査範囲の設定にあたっては、以下の事項が考慮され、明確に記述されなければならない。

- 製品システムが持つ機能
- 機能単位
- 調査対象の製品システム
- 製品システム境界
- 配分の手順
- LCIA の手法、及び引き続いて実施される解釈の方法
- 必要とされるデータ
- 前提条件
- 限界
- 初期のデータ品質要件

LCA は反復的な手法であり、以降の段階の結果に応じ、目的と調査範囲を見直すこともある。

【解説】

調査の目的、範囲及び意図する用途は、調査の地理的・時間的広がり及び要求されるデータ品質等を規定することによって、調査の方向性及び詳細度に影響を及ぼすことになる。

(4) インベントリ分析

LCI は、設定した目的及び調査範囲に基づき、対象とする物質（二酸化炭素、廃棄物、天然資源、等）の入出力及び排出に関するデータを収集整理し、定量化する段階である。

データの収集整理にあたって、単一の工業プロセスから複数の製品が産出されたり、製品の製造のために副産物・廃棄物が有効利用されたりすることが多いことに留意が必要である。このような場合には、二酸化炭素等の排出量を関連する複数製品のそれぞれに対して割りあてる（配分する）方法を明確に定める必要がある。配分の優先順位は、1) 配分の回避、2) 物理的關係による配分、3) 経済価値等、物理的關係以外による配分、となる。

【解説】

ISO 14041 の配分原則では、適用例として以下のものが挙げられている。

- ・ 共製品・・・同一の単位プロセスからもたらされる二つまたはそれ以上の製品がある場合の配分。
たとえば、石油製品が挙げられる（図 1. 2-3 参照）。
- ・ エネルギーの内部配分・・・投入、発生したエネルギーが複数の工程で消費される場合の各工程へのエネルギーの配分。たとえば、高炉ガスの多段階利用が挙げられる。
- ・ サービス（例えば、輸送、廃棄物処理）・・・複数の製品を一度の輸送、廃棄物処理で取り扱う場合の配分。
- ・ リサイクル・・・リサイクルされる側とする側の配分。

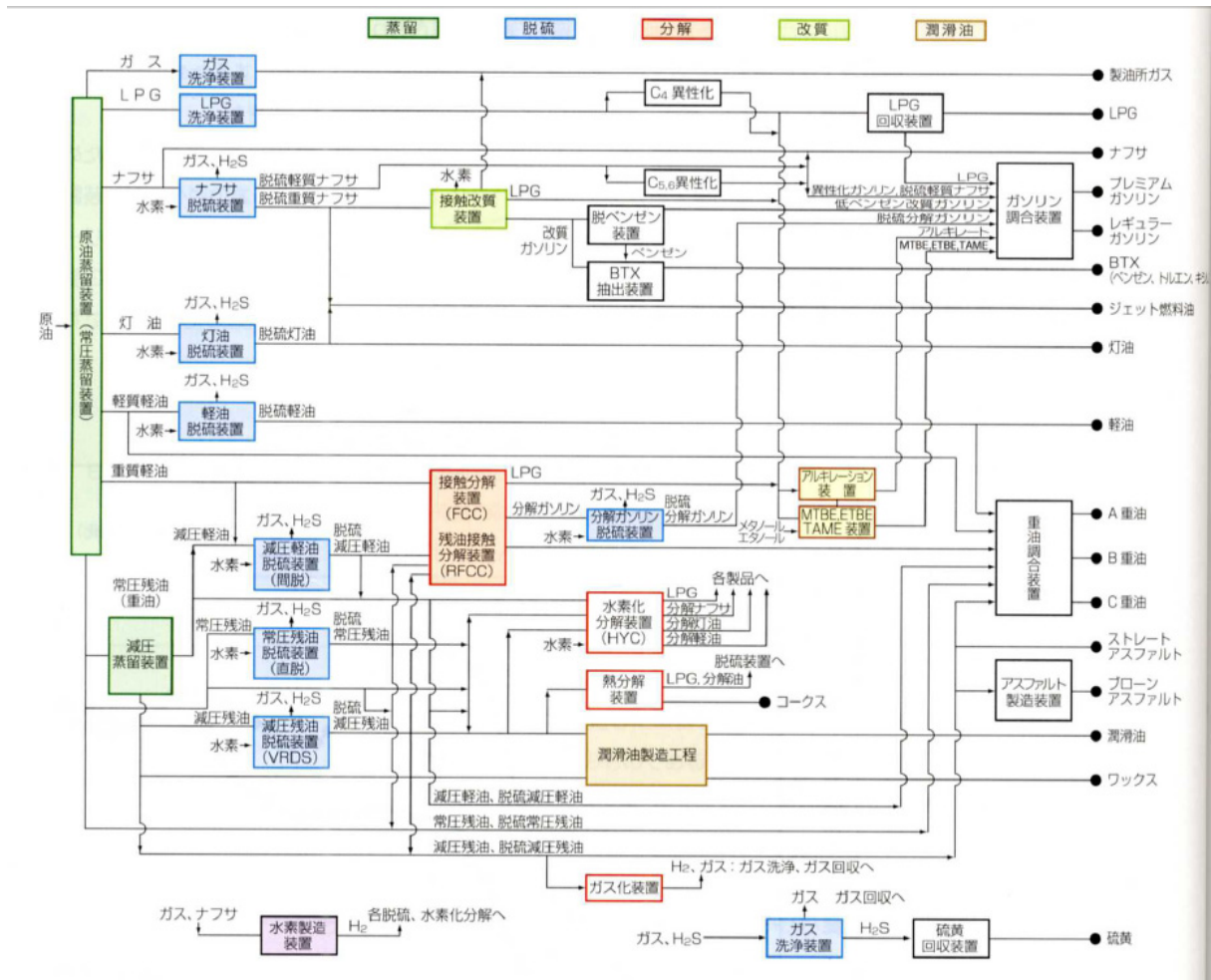


図 1. 2-3 石油精製プロセス

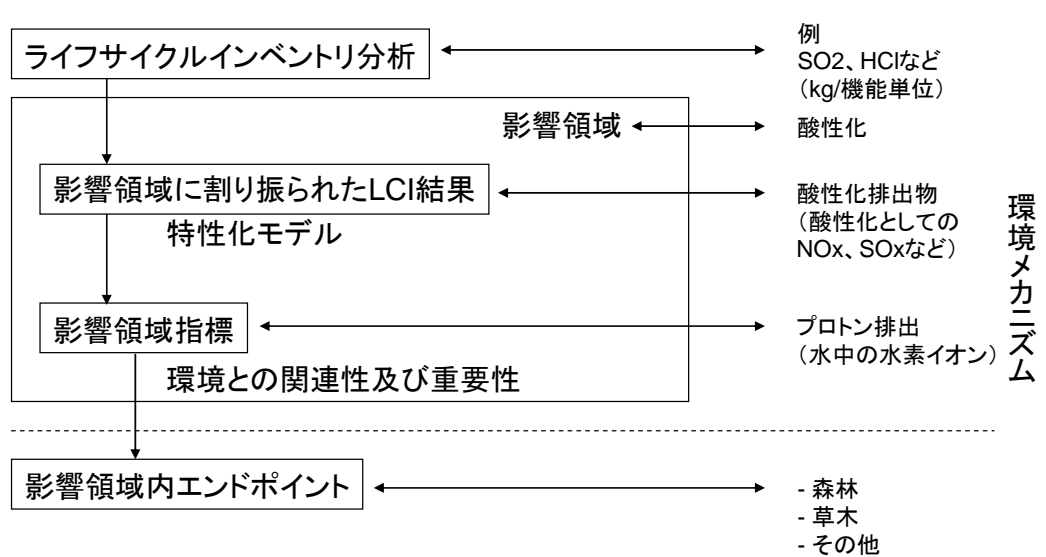
原油から様々な石油製品が製造される。出典：石油製品のできるまで（石油連盟）

(5) 影響評価

LCIAは、LCIで定量化された各環境負荷量を、懸念している環境問題（地球温暖化、等。）に割り振り、適切なモデルを用いて、その影響の程度を示す指標を数値化し、環境問題との関連性を明らかにする段階である。

【解説】

LCIAは、LCI結果に関連する影響領域及び影響領域指標を使って、環境という視点から製品システムを調査することが目的である。LCIA段階は、ライフサイクル解釈段階のための情報も提供する。LCIAの手順を図 1. 2-4に示す。LCIAは、LCI結果を影響領域に割り振る。それぞれの影響領域で、影響領域指標を選び、影響領域指標結果を計算する。また、LCIAの任意の要素として、影響領域指標の正規化、グルーピングまたは重み付け、及びデータ品質分析技法がある。正規化は、影響領域指標結果を参考情報と対比した強度を計算することである。グルーピングは、影響領域を分類し、可能であれば順位づけをすることである。重み付けは価値観の選択に基づく様々な係数を使い指標結果を換算し、可能であれば影響領域にまたがって集計することである。データ品質分析技法は指標結果の集合であるLCIAプロフィールの信頼性をより理解することである。



※影響領域：懸念する環境関連事項を表示し、LCI 結果が割り振られる領域

※影響領域指標：影響領域を定量化して表現したもの

※影響領域内エンドポイント：懸念する環境関連事項を特定する自然環境、人の健康若しくは資源の属性または側面。

図 1. 2-4 環境領域指標の概念 (例:酸性化の影響領域)

出典：JIS ハンドブック 58-2 環境マネジメント

(6) 解釈

解釈は、1) 目的及び調査範囲の設定から 3) LCIA までの先行する段階の知見に基づいて、結果を分析し、結論を導き、限界を説明し、提言を行うことを目的とする段階である。このため、以下の特徴を有することが規格に記されている。

- 調査の目的及び調査範囲に記述した用途に対する要求事項を満たすために、LCA または LCI 調査の知見に基づいた結論を特定し、検証し、点検し、評価し、そして提示する体系的な手順を使用する。
- 解釈段階の内部、及び LCA または LCI 調査の他の段階との間で反復的な手順を使用する。
- 調査の目的及び調査範囲の設定に関する LCA または LCI 調査の長所と限界を強調することによって、LCA と他の環境マネジメント技法との連携を可能にする。

結論を取りまとめるまでの調査結果の評価は、(1) 完全性点検、(2) 感度点検、(3) 整合性点検の技法を考慮して実施する。

【解説】

「ライフサイクル解釈」の目的は、LCA または LCI 調査の先行段階の知見に基づいて、結果を分析し、結論を導き、限界を説明し、提言を行うことである。さらに、ライフサイクル解釈の結果を透明な形で報告することである。

1. 2. 2 LCA の開発動向

社会資本整備を対象とした LCA は、研究レベルで個別の調査事例は蓄積されつつあるものの、調査の条件は必ずしも共通ではなく、相互の結果を比較することが困難な状況である。また、社会資本整備に係わる手続の中で利用していくことが可能な共通の技術手法は開発されていないため、環境負荷削減の駆動力として機能することが出来ていない。

他分野においては、建築分野も含めて、環境ラベル制度等で、ライフサイクルを通じた二酸化炭素排出量を中心に、現実に活用されつつある。諸外国においても状況は同様であり、社会資本整備に比べて建築分野において研究事例の蓄積がより一層進んでいる。また、社会資本に関連する分野（たとえば、コンクリート分野）において、国際規格の中で LCA 手法を定めていこうとする動きがある。

以下に、各分野における LCA の開発動向をレビューする。

(1) 社会資本 LCA の開発状況

社会資本分野において LCA の研究や取り組みは蓄積されてきているものの、環境負荷の調査範囲や計算方法は様々であり、実用可能な状況にはない。

【解説】

1) 環境分野における過去の検討について

① 土木学会地球環境委員会 環境負荷評価（LCA）研究小委員会¹

検討期間：平成 6 年度から平成 8 年度まで。

検討内容：土木建設構造物を対象とした LCA の適用性検討を実施。

検討成果：二酸化炭素を対象に資材等の品目ごとの推奨原単位を公表。

交通システムを担う構造物・施設、水の供給処理を担う構造物・施設及び都市インフラ複合体（ニュータウン整備、港湾施設）を対象とした LCA（二酸化炭素排出量）の事例研究を実施。

② 「社会資本整備に係る LCA 手法の体系化と環境影響の総合化」研究（文部省科学研究費）²

検討期間：平成 8 年度から平成 10 年度まで。

検討内容：交通システム、廃棄物処理システム・リサイクルシステム、水道システム・下水道システム等を対象として、構造物にとどまらないより広いシステム境界を設定した ILCA の事例研究を実施。

産業連関表に基づく環境負荷原単位の収集と整理、環境負荷原単位データの比較分析を実施。

検討成果：公共事業として実施されることの多い社会資本整備における LCA の適用を、ILCA（インフラ LCA）と呼んで区別することを提唱。

実施設計以前の早期の意思決定レベルにおいて概略の環境負荷量を見積もる考え方を提案。

指摘課題：LCA の理想（概念・手法）と実施された事例研究との間にはギャップがあることを指摘し、以下の課題があることを指摘している。

¹ 土木学会地球環境委員会 LCA 評価・環境パフォーマンス評価研究小委員会「ISO14030-40 の規格化による建設業の環境パフォーマンス評価とライフサイクルアセスメント」、鹿島出版会、2000

² 井村秀文 編著「建設の LCA」、オーム社、2001

①時間境界の設定、②空間境界と影響範囲の設定、③環境指標、④意思決定への反映（経済と環境の統合的評価）、⑤データ基盤の改善

特に、「⑤データ基盤の改善」については、次のように述べられている。

「産業連関表に基づく原単位データについては整備が進んでいる。しかし、産業連関表による項目分類では正確に把握できない項目が多い。また、全国平均、業界平均の値しか得られないから、工法や資材による環境負荷の差を検出することは初めから無理な注文である。この目的のためには、資材の製造者、工事施工者などに、それぞれの実態に合わせた正確なデータを「積み上げデータ」として整備してもらう必要がある。データ基盤の改善とともに、作成・提示が可能な環境指標の項目・内容も変わってくる。」（出典）井村秀文 編著「建設のLCA」、オーム社、2001

2) 各社会資本分野における過去の検討について

① コンクリート分野

i) 土木学会コンクリート委員会

「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」³を策定し、その中でコンクリート構造物のライフサイクルにおける環境負荷の定量的な評価と、合理的な環境負荷低減システムを示した。同書で提示されている資材等の環境負荷原単位は「積み上げ法」による。

ii) 日本コンクリート工学協会（現 日本コンクリート工学会）

「コンクリートセクターにおける地球温暖化物質・廃棄物の最小化研究委員会」（平成20～21年度）を設置し、コンクリートセクターから排出される地球温暖化物質と廃棄物を最小化するための要素技術、総合技術システム、社会制度等を提案することを目指し、検討を実施。検討成果をまとめた報告書が2010年7月に取りまとめられた。

② 舗装分野

i) 日本道路協会舗装委員会

環境配慮型の舗装技術に関する調査・検討成果が反映された、次に示す図書において、土木研究所を中心として研究が進められている舗装資材の環境負荷原単位（その多くは「積み上げ法」による。）や環境配慮型施工法の効果等といった定量的な数値が示されている。

- ・平成17年3月 「環境の改善を目指した舗装ガイドブック（2004年版）」
- ・平成20年3月 「舗装性能評価法別冊」
- ・平成21年6月 「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック」

③ 下水道分野

i) 国土技術政策総合研究所・日本下水道事業団・日本下水道処理施設管理業協会・上下水道コンサルタント協会^{4, 5}

想定目標： 政策立案レベルにおける意思決定支援ツールとしてLCAを適用すること

検討内容： 建設、供用、解体・廃棄に係る二酸化炭素排出量とエネルギー消費量の把握、下

³ 土木学会コンクリート委員会示方書小委員会環境側面検討部会「コンクリートライブラリー125号 コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」、土木学会、2005

⁴ 山中大輔「下水道システムとLCA」EICA、第13巻、第4号、40-43、2009
ISO14040に準拠して下水に応用できる手法を検討した。環境負荷原単位は建築学会の90年表（産連法）を利用している。建設（資材製造含む）、供用（運転、補修を含む）、解体・廃棄をライフ・サイクルとし、CO2排出量とエネルギー消費量を設定して環境負荷を把握した。リサイクル材の按分法は今後の課題としている。

⁵ 国土技術政策総合研究所「下水道におけるLCA適用の考え方」国土技術政策総合研究所資料第579号、平成22年2月

水道システムの特性を踏まえた環境負荷の評価。

検討の特徴： 異なる環境要素の総合的評価に向け、下水道が公共用水域への環境負荷を削減する機能を評価する、環境依存指数（LID：負荷排出環境要素/負荷削減環境要素）という指標の適用について検討。

環境負荷原単位は、産業連関法に基づく既存の環境負荷原単位を「基礎原単位」と呼んで引用し、さらに単位工事数量あたりの環境負荷原単位を「組立原単位」と呼んでいる。また、施設単位規模あたりの環境負荷原単位を作成するものを「イベントリ分析による原単位」と呼んでいる。

検討成果： 下水道分野で頻用される工種について環境負荷原単位（組立原単位）を作成。

計画・設計レベルを適用範囲とした検討において、下水道施設に着目したライフサイクルとしては建設、供用、解体・廃棄を対象として、地球温暖化及びエネルギー資源消費について1年あたりに換算した環境負荷量を表示すること等の考え方を提示。

指摘課題： 各環境要素の重み付けや許容される環境負荷量といった視点が不十分であることを指摘。

④ 空港・港湾分野

i) 国土技術政策総合研究所⁶

検討内容： 工種別・工法別の環境負荷低減効果の試算、環境負荷低減効果の評価方法の検討、及びグリーン購入による環境負荷低減の効果を明らかにするための検討を実施。

検討の特徴： 資材調達、輸送、施工を対象に、二酸化炭素排出量、廃棄物発生量は、資源消費量の環境負荷を試算した。二酸化炭素排出量は、当該工事で積算された数量等に資材や燃料、輸送車両、建設機械ごとの二酸化炭素排出原単位の積和とした。廃棄物排出量は、当該工事で発生する土砂等のうち、最終処分される量と、使用される副産物の量とした。資源消費量は、当該工事に使用する各資材の量を容積として算定した。

検討成果： 試算に基づき、品目審査にあたって重点的に取り組むことが望ましい工種、環境物品の調達が環境負荷低減に効果的な工種を示すことができたとされている。

⑤ 土木計画・交通計画分野

i) 加藤・柴原⁷

検討内容： 拡張ライフサイクル環境負荷（Extended Life Cycle Environmental Load, ELCEL）の概念に基づき、交通システム整備の波及影響を取り扱う手法について検討を実施。

検討の特徴： 従来多く用いられていた SyLCEL（System Life Cycle Environmental Load）が、代替案を検討する交通システム自体の評価であり、代替案と評価対象で範囲が一致しているのに対し、その交通システムの整備により影響が及ぶ範囲での評価となり、代替案が設定される範囲よりも広いものとして定義する。

指摘課題： 社会システムへの影響を含む機能単位の設定が必要であるものの、空間的システム境界の取り扱い、時間的変化の取り扱い、バウンダリと不確実性のトレードオフの管理、LCA を用いた評価のフレームワークについて課題があるとされている。空

⁶ 国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾施工システム課「港湾・空港等沿岸工事におけるグリーン調達による環境負荷低減に関する参考資料～環境負荷低減に関する基本情報～環境負荷低減効果の算定・評価編～」、平成20年3月

⁷ 加藤博和・柴原尚希「ELCEL 概念による Social/Dynamic LCA への挑戦」日本 LCA 学会誌、5(1)、12-19、2009

間的システム境界の取り扱いとして、積み上げ法による評価の場合、波及効果を完全に把握することができないため、完全性がどの程度が確保されているか検討する必要があるとされている。時間的変化の取り扱いには、インフラはライフタイムが長いことから、その設定が重要となり、感度分析や、パラメーターに構成要素の技術・ライフタイム変化シナリオとともに、需要変化シナリオを与えたシミュレートの実施の必要性が考えられるとされている。バウンダリと不確実性のトレードオフの管理として、確率的扱い、感度分析、割引の三つの方法が考えられるとされている。LCA を用いた評価のフレームワークは、経済的便益と環境負荷を評価軸とすることや、エコロジカルペイバックタイムや環境収益率を指標として用いることが有効であると指摘している。

(2) 他分野における LCA の開発・実施状況

LCA に基づく環境評価は、工業製品や建築物等の環境ラベル制度等で、ライフサイクルを通じた二酸化炭素排出量を中心に、現実に活用されつつある。

商品やサービスのカーボンフットプリント制度や建築分野における CASBEE（建築環境総合性能評価システム）において LCA の考え方が活用されている。

これらの活用にあたっては、ISO 規格だけでは LCA 実施者による恣意性が大きく、かつ LCA 実施者の負担が大きいため、制度化においては計算手法の基準や環境負荷原単位のデータベース等を整備・提供することで、比較可能性の確保や算定実施者の負担の低減が図られている。

LCIA の手法としては、LIME 等が代表的である。

【解説】

1) カーボンフットプリント制度

最近では、経済産業省による「カーボンフットプリント」制度の構築に向けた取組みが、多数の民間企業等も参画する形で進められている。この取組みでは、商品種別間で共通的な規準、商品等の定義と範囲、データ収集のルール等を示した「PCR の策定基準」を制定した上で、商品種別毎に PCR（Product Category Rule、製品分類別基準）の策定が進められつつある。PCR の策定基準では、二酸化炭素排出原単位データとして、国や公的機関が整備を行う積み上げ法のデータベースを活用することを原則とし、現状利用可能なデータベース（LCA 日本フォーラムデータベース、JEMAI-LCA データベース等）を活用して特定することとされているものの、信頼性・汎用性・網羅性が高く、最新のデータが整備・管理されている共通の二酸化炭素排出原単位データベースの整備が望まれると指摘されている。

LCA の国際規格である ISO14040/44 では、前述のとおり具体的詳細は実施者に委ねられている領域が広く、異なる LCA 調査間の比較可能性を担保することが難しい。従って、定量的環境ラベルの国際規格 ISO14025 では、同一表示制度における同一製品分類の中で比較可能性を確保することを求めており、そのために PCR の策定を要求している。

産業環境管理協会では、エコリーフ環境ラベルを 2002 年から本格運用している。エコリーフ環境ラベルは、LCA の手法で温室効果ガス排出量等の環境負荷量を定量的に把握し、それらの結果を、インターネットを通じて消費者に開示するもので、ISO の環境ラベルの分類ではタイプ III に分類されるものである（図 1. 2-5 参照）。現在までに累計で 1000 を超える製品の情報が公開されている。

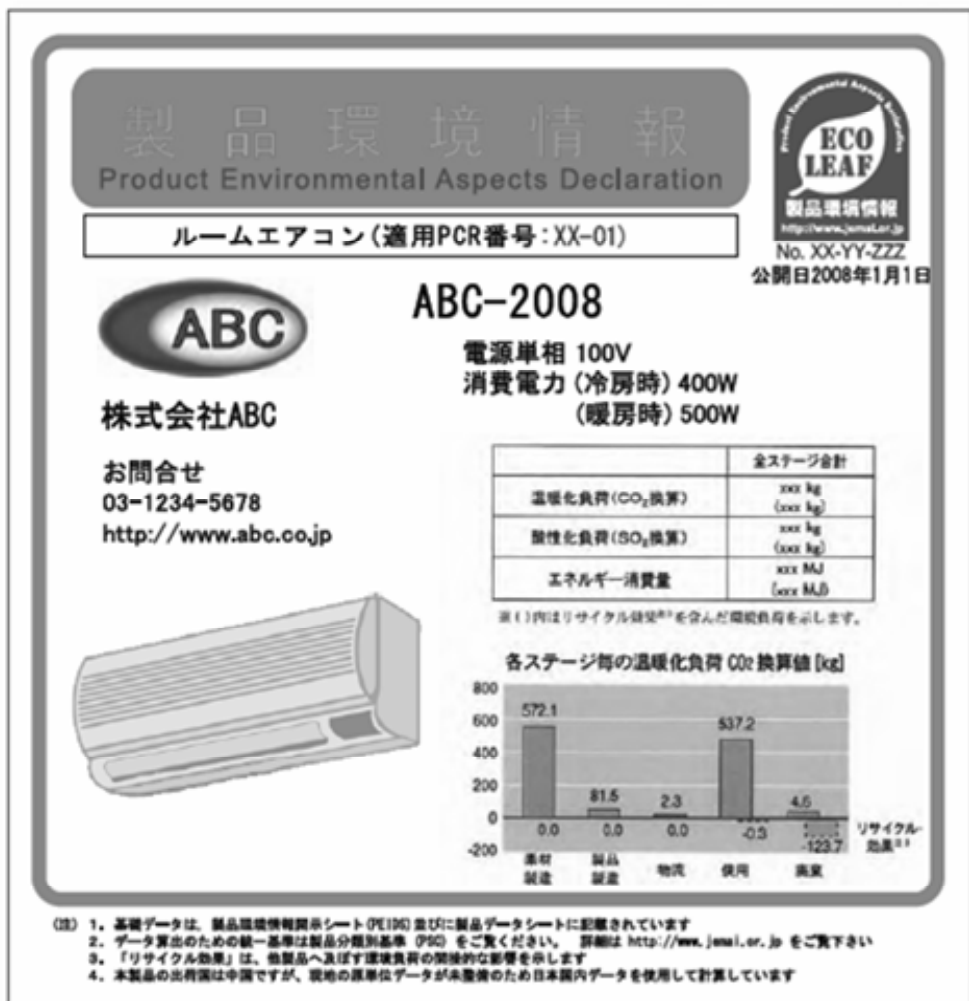


図 1. 2-5 カーボンフットプリントの表示例

出典：産業環境管理協会 (エコリーフ環境ラベル)

2) 建築分野における CASBEE

建築物を環境性能で評価し格付けする手法である「建築環境総合性能評価システム」(CASBEE)が、国土交通省住宅局の支援のもと産官学共同プロジェクトとして開発され、一部の自治体における制度等で活用されつつある。

CASBEE は、建物の敷地境界等で区分された仮想空間の内外のそれぞれについて、「建築物の環境負荷 L：仮想閉空間を越えてその外部（公的環境）に達する環境影響の負の側面」と「建築物の環境品質 Q：仮想閉空間内における建物ユーザーの生活アメニティの向上」を数値化し、この比で定義される $BEE=Q/L$ により、「建築物の環境効率」をランク付けするものである（図 1. 2-6 参照）。

CASBEE の基本ツールは、建築物のライフサイクルに対応して「CASBEE-企画」、「CASBEE-新築」、「CASBEE-既存」、「CASBEE-改修」の4つで構成される。このうち、CASBEE-新築においては、2008年版よりライフサイクル CO₂ (LCCO₂) が評価指標に含まれるようになった。

CASBEE-新築での LCCO₂ は標準計算と個別計算から構成される。簡易に概算を行える標準計算手法の構築では、資材の製造にかかわる二酸化炭素排出原単位の算定及び建設等における資材量に伴う二酸化炭素排出量の算出が、日本建築学会の「建物の LCA 指針」に含まれる環境負荷原単位

データベース及び LCA ツールを利用することにより行われた⁸。また、個別計算は、評価者自身が詳細なデータ収集と計算を行って LCCO₂ を算出するものであるが、その手法としては、「建物の LCA 指針」を利用することが想定されている⁹。建物の LCA 指針は、日本建築学会が 1999 年に発行し、その後、二回の改訂を経て現在は 2006 年に発行されたものが最新である。このような環境負荷原単位データベースと LCA 計算手法・計算ツールの継続的な開発成果が基盤となり、CASBEE-新築での LCCO₂ の導入は迅速に可能であったものと考えられる。

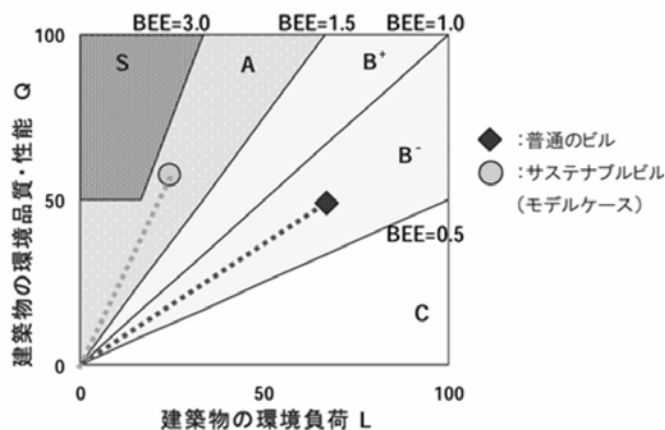


図 1. 2-6 CASBEE の評価指標「BEE」

出典：評価の仕組みと BEE (<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/method.htm>)、CASBEE ウェブサイト (<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/index.htm>)、2012 年 1 月 30 日参照

3) LIME による LCIA

LCIA の手法として、我が国では LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling、被害算定型環境影響評価手法) が利用されることが多い。LIME は、独立行政法人産業技術総合研究所が開発した手法で、現在は改善を加えた LIME2 が公開されている。LIME2 では、LCI の結果を受けた環境影響の評価が、次の手順で検討されている。

- ①運命分析：環境負荷物質の環境中の濃度変化を分析する。
- ②曝露分析：①を受けて、人間等（レセプタ）の曝露量の変化を分析する。
- ③影響分析：②を受けて、人間等の潜在的影響量の変化を被害態様ごとに評価する。
- ④被害分析：③の結果を、人間健康等のカテゴリーに集約する。
- ⑤統合化：④の各カテゴリーの重要性を重みづけ、統合化指標として単一の数値を得る。

これらの検討の結果として、LCIA の実施者が利用可能な、特性化係数、被害係数、統合化係数が提供されている。

特性化係数は、各環境負荷（例えば、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素）の排出が各影響領域（例えば、地球温暖化）に及ぼす影響の強度の基準値（例えば、二酸化炭素）の比として整理したものである。これを用いて、各環境負荷がある影響領域に及ぼす影響の比較や統合が可能になる。

⁸ 佐藤正章，村上周三，伊香賀俊治，高井啓明，林立也，遠藤純子，「建築物の総合環境性能評価手法 CASBEE に関する研究 その 72：CASBEE-新築に対する LCCO₂ 評価の導入」，学術講演梗概集.D-1，社団法人日本建築学会，2008，1077-1078

⁹ 財団法人建築環境・省エネルギー機構「CASBEE 新築（簡易版）評価マニュアル（2008 年版）」

被害係数は、各環境負荷の排出によって引き起こされる影響領域の変化（例えば、二酸化炭素排出による地球温暖化の進行）が、開発にあたって設定した被害様態（例えば、感染症、熱ストレス、農業生産、土地消失）に及ぼす影響を各分野の知見を元に設定したダメージ関数によって算出し、人間健康被害や社会資産等の保護対象のカテゴリーに集約した係数である。同一の保護対象を対象にした係数であれば、影響領域が異なっても比較や加算が可能である。

統合化係数は、各保護対象の被害に対する国民の選好についてアンケート調査を実施し、各保護対象の重要性を重み付け、被害係数として整理した被害の強度を乗じたものである。

これら3つの係数の内、特性化係数は比較的信頼性が高いとされる。一方、被害係数は多くの課題があるとされる。統合化係数は、価値感の影響を不可避免的に受ける数値である。

(3) 諸外国における LCA の開発・実施状況

諸外国においても、建設に係る LCA に関する研究が、欧米を中心に近年行なわれている。

建設に係る LCA 研究事例としては、建設資材に係る LCA と建設プロセス全体に係る LCA とがある。後者では建築物の LCA の事例と土木構造物の LCA の事例があり、これまでのところ建築物の事例研究が多い。なお、建築分野では、LCA を取り入れた定量的評価ツールが諸外国においても存在する。

また、交通システム、水処理・供給システム、廃棄物処理システム等社会資本の各分野でのシステム全体に着目した LCA 研究も行われている。

ただし、LCA を社会資本整備の実務に組み入れた事例（国）は、確認されなかった。

【解説】

建設分野において近年¹⁰実施された LCA をレビューした Ortiz ら (2009)¹¹は、建設産業に係る LCA を、建設資材 (Building Material and Component Combinations) に係る事例と、建設プロセス全体 (Whole Process of the Construction) に区分して整理している。事例研究のほとんどは、欧米の先進国のものとされている。

1) 建設資材に関する LCA 事例

上記レビューでは、建設資材に係る LCA の事例が多数示されている。なお、建設資材に係る LCA に関して、最近では、北海道大学、土木学会複合構造委員会、建設用先端複合材技術協会等の主催により、日米ワークショップ「環境に優しい社会基盤材料のライフサイクルアセスメント」が 2009 年秋に北海道で開催され、専門家による意見交換が行われている¹²。

2) 建設プロセス全体に関する LCA 事例

一方、建設プロセス全体としては、建築物の LCA で示されている事例数に比べて、土木構造物の LCA で示されている事例数は同レビューでは限られており、いずれも道路建設である。なお、建築分野では、LCA を取り入れた定量的評価ツールが諸外国においても存在する (ATHENA (カナ

¹⁰ 2000～2007 年の文献を対象としたレビューである。

¹¹ Oscar Ortiz, Francesc Castells and Guido Sonnemann, “Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA”, Construction and Building Materials, 23(1), 2009, 28-39

¹² “US-Japan Workshop on Life Cycle Assessment of Sustainable Infrastructure Materials”, 2009. Final Report (Jul. 20, 2010)

ダ)、Eco-Quantum (オランダ)、BEES (米国) 等¹³⁾。

3) 社会資本システム全体に関する LCA 事例

また、構造物を対象とするのではなく、社会資本の供用時の機能に着目してシステム全体として LCA を実施した研究もおこなわれている。例えば、カリフォルニア大学バークレー校では、米国における旅客輸送の LCA 研究のプロジェクト¹⁴⁾を実施しており、車両 (製造、走行等)、インフラ (建設、維持管理等)、燃料 (製造、供給) を対象範囲に設定して、自動車、鉄道及び航空についての LCI が実施されている¹⁵⁾。また、水処理システムや水供給システムについての LCA 研究も実施されている¹⁶⁾。廃棄物処理システムについては、世界各国で LCA のためのモデル (ソフトウェア) がツールとして開発されている。ただし、それらのモデルの中には処理施設の建設段階を環境負荷算定の対象範囲として含まないものも見られる¹⁷⁾。

(4) 国際規格等への導入の動き

ISO の Technical Committees 71 (TC71 : Concrete, reinforced concrete and pre-stressed concrete) の Subcommittee 8 (SC8 : Environmental management for concrete and concrete structures) においては、ISO13315 シリーズとして、コンクリート分野の関係者が誤解なく適切に環境負荷評価を行うためのルールの構築が進められている。これは、ISO 14000 シリーズやその他の関連規格のみではコンクリート分野の環境負荷評価を行うことは容易ではないとの判断から、これらの規格との整合性を図りつつ、コンクリート分野によるコンクリート分野のためのルールを作成しようという動きである。現在までに、Part 1 の General principles が発刊に向けた最終段階 (Approval stage) にあり、Part 2 の System boundary and inventory data が審議段階にある。

また、Technical Committees 59 (TC59 : Building construction) においては Subcommittees 17 (SC17 : Sustainability in buildings and civil engineering works) が活動しており、その対象範囲には土木構造物も含まれている (図 1. 2-7 参照)。

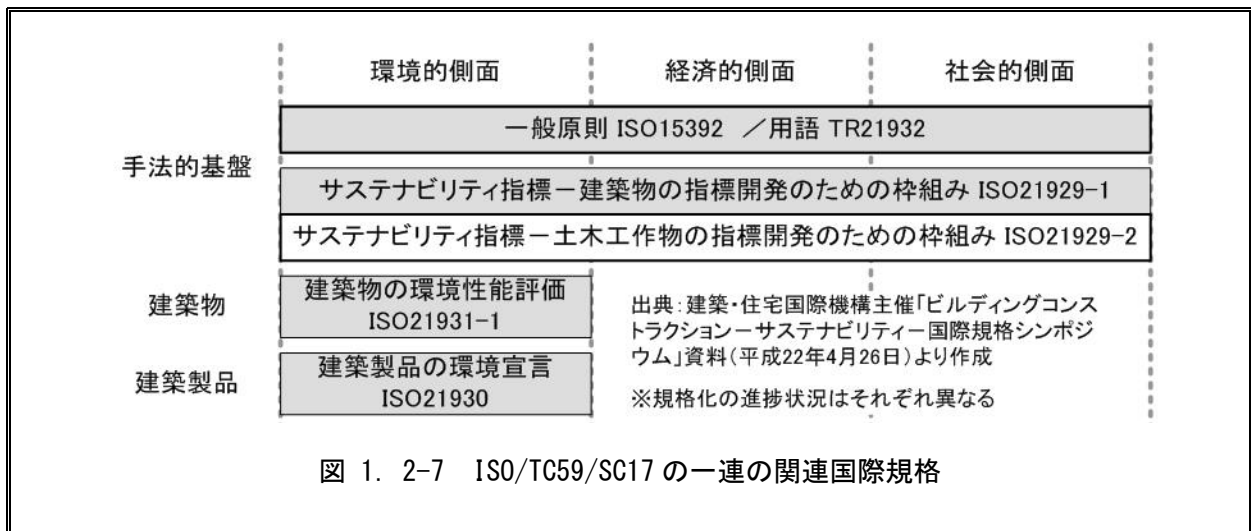
¹³⁾ Martin Erlandsson and Mathias Borg, "Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services-today practice and development needs", Building and Environment, 38(7), 2003, pp. 919-938

¹⁴⁾ <http://www.sustainable-transportation.com/>

¹⁵⁾ Mikhail V Chester and Arpad Horvath, "Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains", Environmental Research Letters, 4(2), 2009.

¹⁶⁾ 例えば、Environmental Science & Technology (ES&T) 誌に最近掲載された論文としては、Stokes, J. and Horvath, A. "Energy and Air Emission Effects of Water Supply", ES&T, 2009, 43(8), pp. 2680-2687 や、Jorgelina C. Pasqualino, Montse Meneses, Montserrat Abella and Francesc Castells, "LCA as a Decision Support Tool for the Environmental Improvement of the Operation of a Municipal Wastewater Treatment Plant" ES&T, 2009, 43(9), pp 3300-3307 等がみられる。

¹⁷⁾ Gentil EC, Damgaard A, Hauschild M, Finnveden G, Eriksson O, Thorneloe S, Kaplan PO, Barlaz M, Muller O, Matsui Y, Ii R, Christensen TH. "Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions", Waste Management, 2010, 30(12):2636-48.



(5) 社会資本整備に大量投入される材料分野における検討

各材料分野における LCA の検討データは、LCA 日本フォーラム等に登録されているものも数十にのぼる。社会資本整備に大量投入される材料では、セメント（セメント協会）、鉄鋼製品（日本鉄鋼連盟）、石油製品（石油連盟）が工業会提供データを LCA 日本フォーラムに登録している。また、舗装材料、骨材、産業廃棄物等についても、業界団体が中心となり、環境負荷量の把握や削減対策の推進に向けた取組みを実施している。

1. 3 社会資本 LCA のあり方

1. 3. 1 社会資本 LCA の導入による持続可能な社会への変革

社会資本整備に携わる多種多様な関係者は、各々個別に環境負荷削減に取り組んでいるものの、各取組みの効果を地球規模で把握することは困難な状況である。自身の責任において実行可能な取組を、関係者各位が各々実施することが重要であることは当然であるが、それらの取組が総体として地球環境の改善につながる構造となっているかを見極めることが必要である。

LCA は空間的・時間的に包括的な環境影響を評価可能な手法であるため、社会資本整備を対象とした LCA の共通手法を開発し、関係者の取組みの環境面の影響を適切に評価することで、社会資本整備全体としての環境負荷削減に資する取組を選択していくことが期待される。また、評価の結果を公表し、環境面に優れた技術を積極的に標準化していくことで、一層の環境負荷削減に資する技術開発が促進されることも期待できる。評価、公表、技術開発の一連のサイクルを繰り返すことで、社会資本分野が一丸となって、持続可能な社会の実現に貢献していくことが期待される（図 1. 3-1 参照）。

さらに、LCA の導入によって、個別の技術に関する環境面への貢献のほか、社会資本整備全体として、従来果たしてきた貢献、及び一連のサイクルの繰返しによって一層進んだ貢献についても評価が可能である。社会資本整備の環境への貢献は従来定量化が困難であり、従って、一般社会に対して発信し、認知されることもできなかった。LCA を活用していくことで、関係者自らが社会資本整備の新たな機能を発見するとともに、一般社会への積極的な発信によって、社会資本整備を見つめる国民の視界を広げていくことも可能であると期待される。

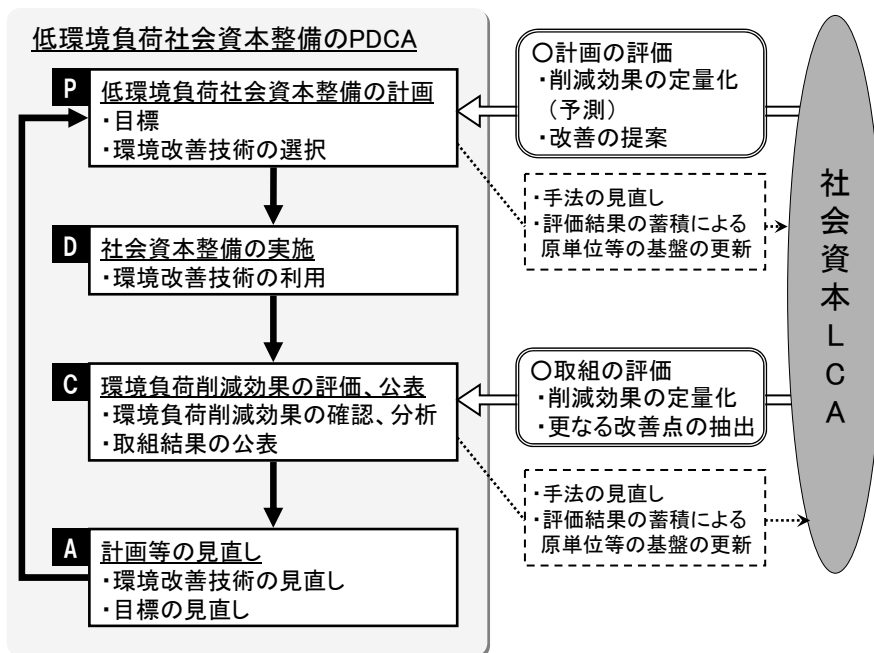


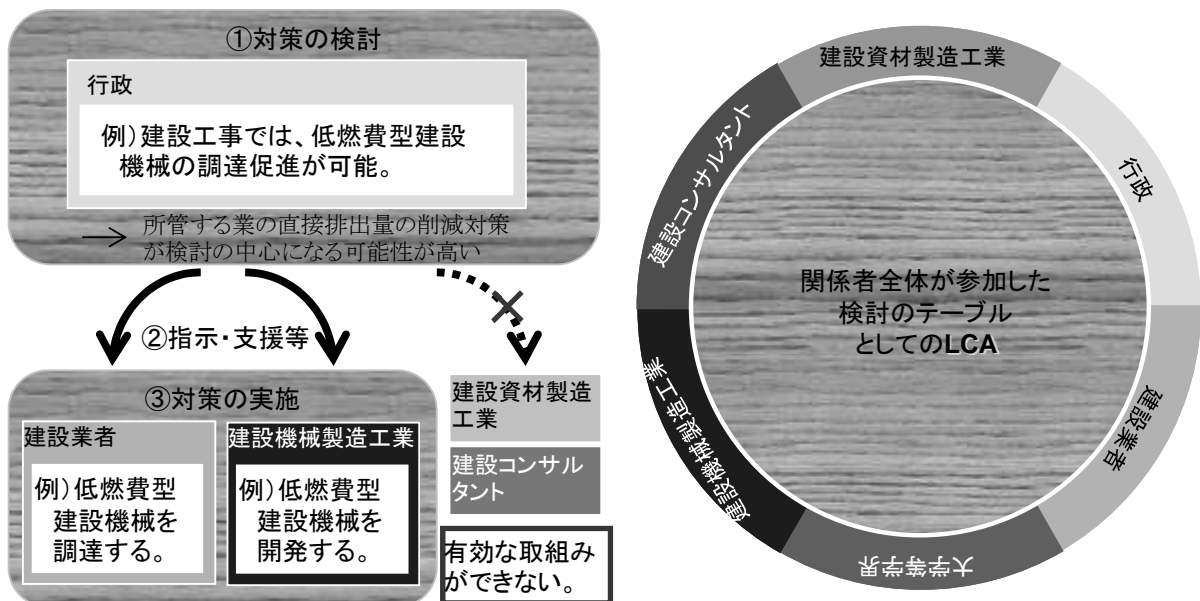
図 1. 3-1 LCA を用いた低環境負荷社会資本整備の PDCA

【解説】

関係するあらゆる主体が環境負荷の削減に取り組むことが重要であることはいままでのことである。ただし、それらの取組みは、地球環境全体の改善（全体最適）につながっているものでなければならない。狭い範囲で求めた部分最適の取組みは、全体としては環境負荷を増大させていることがあり得る。社会資本整備における低炭素化に向けて、建設業に限らず、関連する他

の産業界や大学等の学界とも認識を共有し、各々の役割を明確化するための共通手法が必要である。

また、従来の上位下達型のモデルでは、対策が部分的なものに留まりかねず、それらの積み重ねは全体最適につながらないことがあり得る。関係者が多岐にわたる地球環境問題については、実施する主体が自ら対策を検討する手法が求められる。関係者が自ら全体最適のシナリオを検討する共通の手法として、対象のゆりかごから墓場までを通しての環境に及ぼす影響を評価するLCAは適している（図 1. 3-2 参照）。



(a)上位下達型 対策の実施主体が限定されるため、地球環境問題に不向き。

(b)関係者連携型 関係する主体全体としての最適化が図れるため、地球環境問題に適する。連携を図る手法としてLCAが有効。

図 1. 3-2 地球温暖化を例にした、上位下達型の検討と、LCA を中心とした関係者連携型の検討の相違

1. 3. 2 社会資本整備の各意思決定レベルにおける LCA の活用

社会資本整備は、構想、設計、施工などのレベルを経てなされる。各レベルにおける意思決定は、全体的な概略計画から、工事実施に必要となる個別の具体的事項へと順に詳細になる。より具体的には、構想レベルは、河川事業における計画検討、道路事業における概略計画、港湾事業における長期構想など、事業の概ねの計画を決定するレベルである。設計レベルは、事業における工事対象となる構造物の形状や概略の工数などを決定するレベルである。施工レベルは、具体的な資機材を決定し、工事を実施するレベルである。

意思決定のレベルによって決定が及ぼす影響や取り得る選択肢が異なるため、それぞれのレベルに環境負荷削減の余地がある。よって、各レベルの意思決定の目的（影響や選択肢）に応じて適切な調査範囲を設定し、LCA を実施することで、一連の手続を通じた環境側面の評価・改善が可能である（図 1. 3-3 参照）。以上から、各意思決定レベルに LCA を活用した社会資本整備の実施によって、持続可能な社会の実現に大いに貢献していくことが期待できる。

意思決定レベル別の決定事項について、道路事業を例に示すと、次のとおりである。

- ・ 構想レベル：道路の機能（計画交通量、車線数）、基本構造（平面・高架・トンネル）
- ・ 設計レベル：道路線形、構造物断面
- ・ 施工レベル：使用資機材

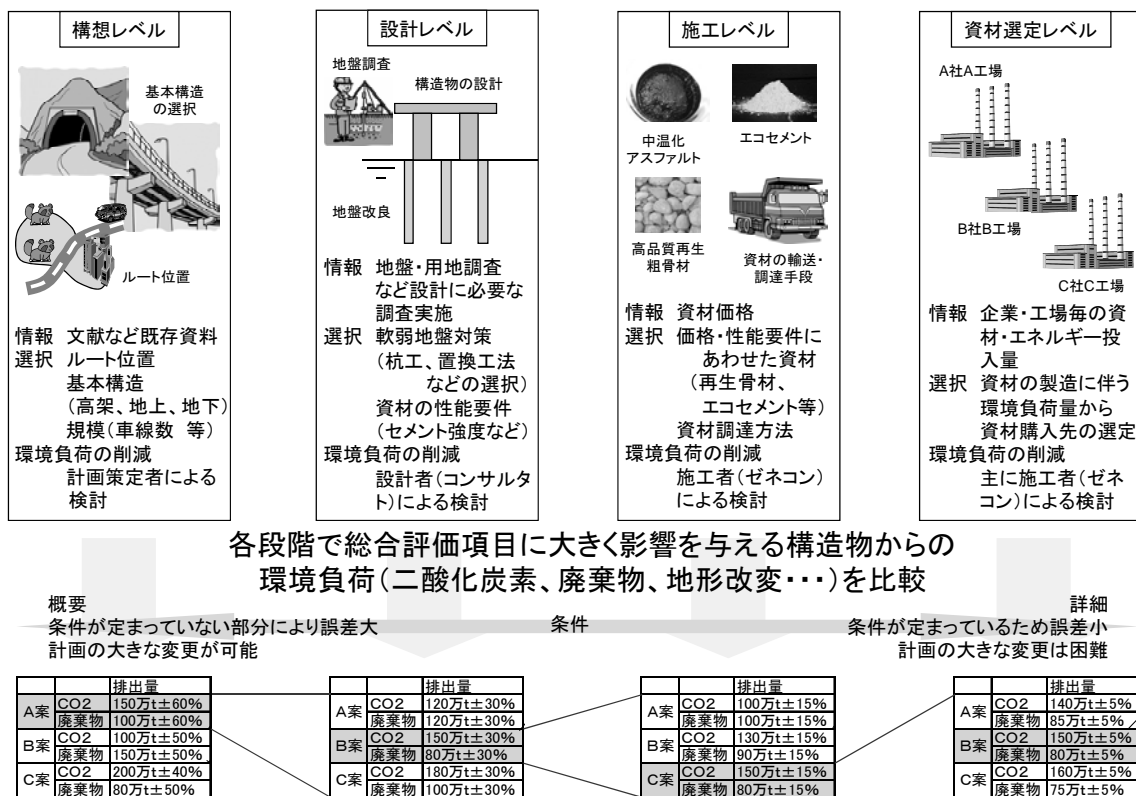


図 1. 3-3 各意思決定レベルにおける環境負荷低減検討イメージ

1. 4 社会資本 LCA の当初課題

社会資本整備を対象とした LCA（社会資本 LCA）の本格的運用により、社会資本整備分野が持続可能な社会の形成へ貢献していくことが期待されるものの、現状では、社会資本 LCA 実施にあたって留意が必要な一般的な事項（枠組み）や LCA 実施にあたって基盤となるデータベースについて、十分な整理や開発がなされていない。これらの整理開発にあたっては、社会資本の特徴を十分に考慮する必要がある。

1. 4. 1 社会資本 LCA の枠組み構築に向けた基本的認識

社会資本整備は次に示す特徴を有する。社会資本 LCA 実施はこれらの特徴を十分に考慮してなされなければならない。そのためには、これらの特徴が、LCA 実施の前提となる社会資本 LCA の枠組みに反映されていることが必要である。

(1) 将来シナリオ固定が不可能・廃棄シナリオの特殊性

社会資本整備は社会的に及ぼす影響が非常に大きく、かつ長期におよぶため、意思決定における環境面の考慮にあたって、この波及影響が重要な場合がある。社会資本整備の計画においては、長期にわたる社会情勢の推移の中で社会資本の運用が受ける影響を十分な蓋然性をもって想定することは容易ではない。すなわち、供用中や廃止後に関する遠い将来のシナリオを、事業実施のレベルで固定することは不可能である。特に、地下構造物や港湾構造物、過疎地の道路等は、廃止に伴って解体・撤去が行われなこともあり、実際には解体・撤去は建設需要に伴って行われる。また、建設廃棄物は、ほとんど全量が再資源化され、再利用されている。

(2) 大量調達・主要資材の限定

- ・大量調達される資材は、土、骨材、コンクリート、鉄鋼、アスファルト混合物等少数のグループに分類できる
- ・骨材や土等を大量に運搬するため、運搬に係る環境負荷の比率が高い。

(3) 注文生産・現場生産

- ・注文生産であるため、大量生産される既成品に比べて生産設備の資本形成・減耗に係る環境負荷の変動が大きい。また、建設現場における建設資材等の受入れ形態は多様である。
- ・調達される資材や利用される施工方法に関する詳細な条件は、事業ごと箇所ごとの現場条件で決まる側面が強く、様々である。また、建設機械の稼働状況、資機材の輸送距離等は、現場条件の影響を強く受ける。

(4) 分業性

社会資本整備には、原料の採取、運搬、資材の製造、加工、構造物の施工、管理、解体、廃棄・再資源化等多数の関係者が携わり、分業化されている。関係者ごとに、社会資本整備に担う役割が異なることから、環境負荷削減に向けて可能な取組みやその前提となる社会資本の捉え方も異なる。

【解説】

(1) 将来シナリオ固定が不可能・廃棄シナリオの特殊性

1) 社会資本の寿命

社会資本の寿命は、一般にライフサイクルシナリオを見通せないほど長い。たとえば、平成 8

年7月から18年6月までに架け替えられた橋梁について、供用年数を整理した結果を図1.4-1に示す。平均供用年数は約40年と長い。ピークは36～40年と66～70年に見られる。81年以上は、大正・明治時代に建設されたものである。なお、この図は、架け替えられた橋梁を対象とした調査結果から作成したため、架け替えられることなく更に長い期間供用されているものもあるものと推察される。

40年前に現在の社会、経済、科学技術等を予見し得たかと考えるまでもなく、数十年に及ぶライフサイクルシナリオを固定することは現実的ではない。また、各活動に起因する環境負荷も数十年のスパンでは大きく変化することが予想されるものの、現状では、単年度の数値を用いた計算をせざるを得ない。

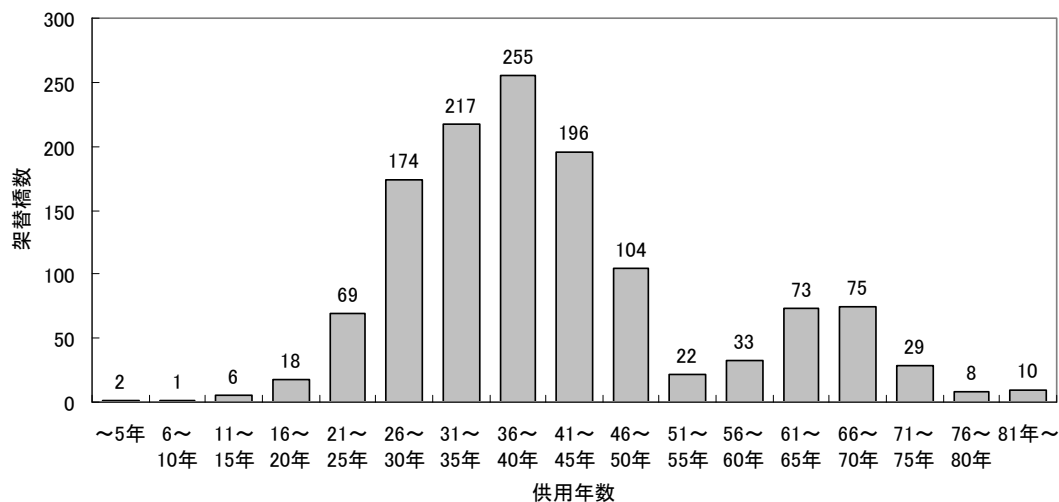


図 1. 4-1 架け替えられた橋梁の供用年数（平成 18 年度調査）

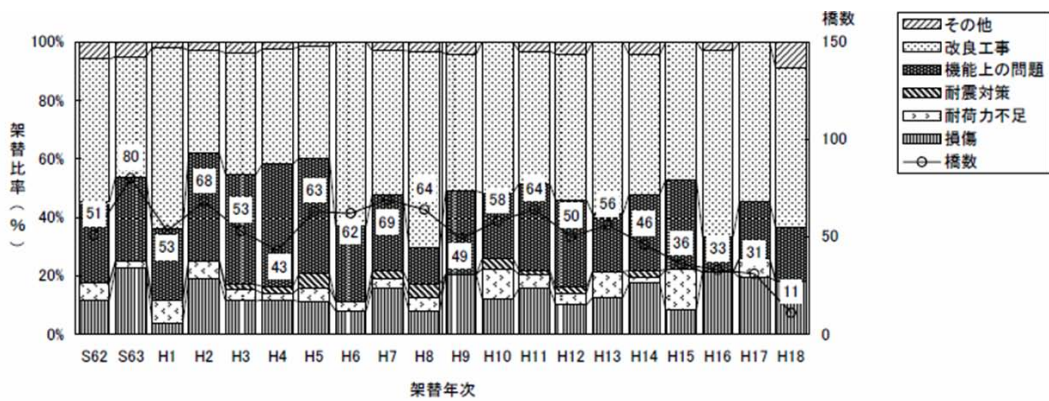
数値根拠：国土技術政策総合研究所「橋梁の架替に関する調査結果（IV）」

2) 廃止後の解体の取り扱い

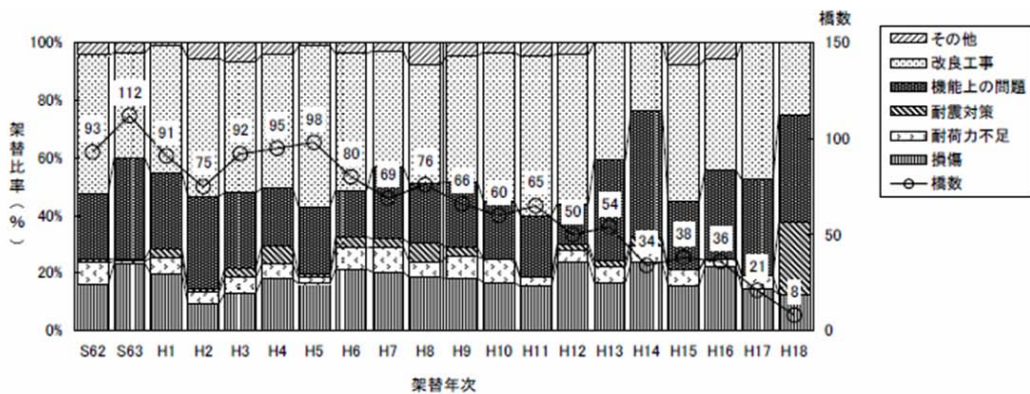
橋梁の架替に関する調査結果によれば、架替は「(道路線形や河道等の) 改良工事」、「機能上の問題」によってなされるものが8割程度であり、「損傷」等の物理的要因によってなされるケースは非常に少ない。すなわち、解体は建設需要によってなされている（図1.4-2参照）。

また、道路や地下構造物等、供用を終えて廃止された後も、解体・撤去がなされないことがある。この点に関する傍証として、S. Hashimoto et al(2007)は、廃棄物の発生状況について、建設実績からの推定量と実態に大きな乖離があることを指摘している。

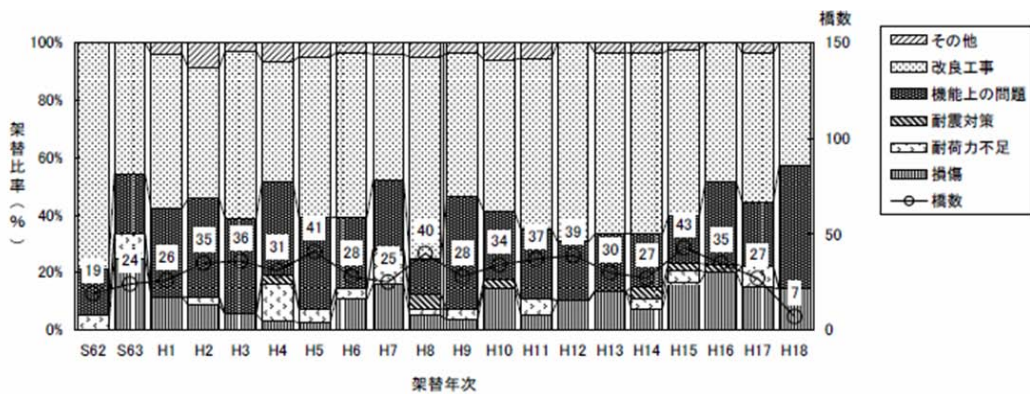
以上から、将来の解体を前提としたライフサイクルの設定は適切ではないと考えられる。



(a) 鋼橋



(b) RC 橋



(c) PC 橋

図 1. 4-2 橋種別の架替理由の経年変化 (a) 鋼橋、(b) RC 橋、(c) PC 橋

出典：国土技術政策総合研究所資料 No. 444 「橋梁の架替に関する調査結果 (IV)」

3) 解体・撤去後の廃棄物等の処理の実態

建設需要によって発生した建設副産物（建設廃棄物及び建設発生土）は、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」の公布以降、再資源化の動きが高まっている。代表的な建設廃棄物であるコンクリート塊やアスファルトコンクリート塊は、平成 20 年度において約 98%が再資源化されている（表 1. 4-1 参照）。

表 1. 4-1 建設副産物の再資源化等率

	平成17年度	平成20年度	増減
アスファルト・コンクリート塊の再資源化率 ^(注5)	98.6%	98.4%	-0.2%
コンクリート塊の再資源化率	98.1%	97.3%	-0.8%
建設発生木材の再資源化率	68.2%	80.3%	12.1%
建設発生木材の再資源化等率	90.7%	89.4%	-1.3%
建設汚泥の再資源化率	47.9%	69.8%	21.9%
建設汚泥の再資源化等率	74.5%	85.1%	10.6%
建設混合廃棄物の排出量	293万トン	267万トン	-26万トン
建設廃棄物の再資源化等率	92.2%	93.7%	1.5%
利用土砂の建設発生土利用率	80.1%	78.6%	-1.5%

出典：国土交通省「平成20年度建設副産物実態調査」

(2) 大量調達・主要資材の限定

1) 社会資本整備への資源（材料）投入状況

社会資本整備への天然資源の投入状況を図 1. 4-3 に示す。なお、この図は、後述する弾力性分析によって作成したものであり、影響が一定以上大きいもののみを示している。

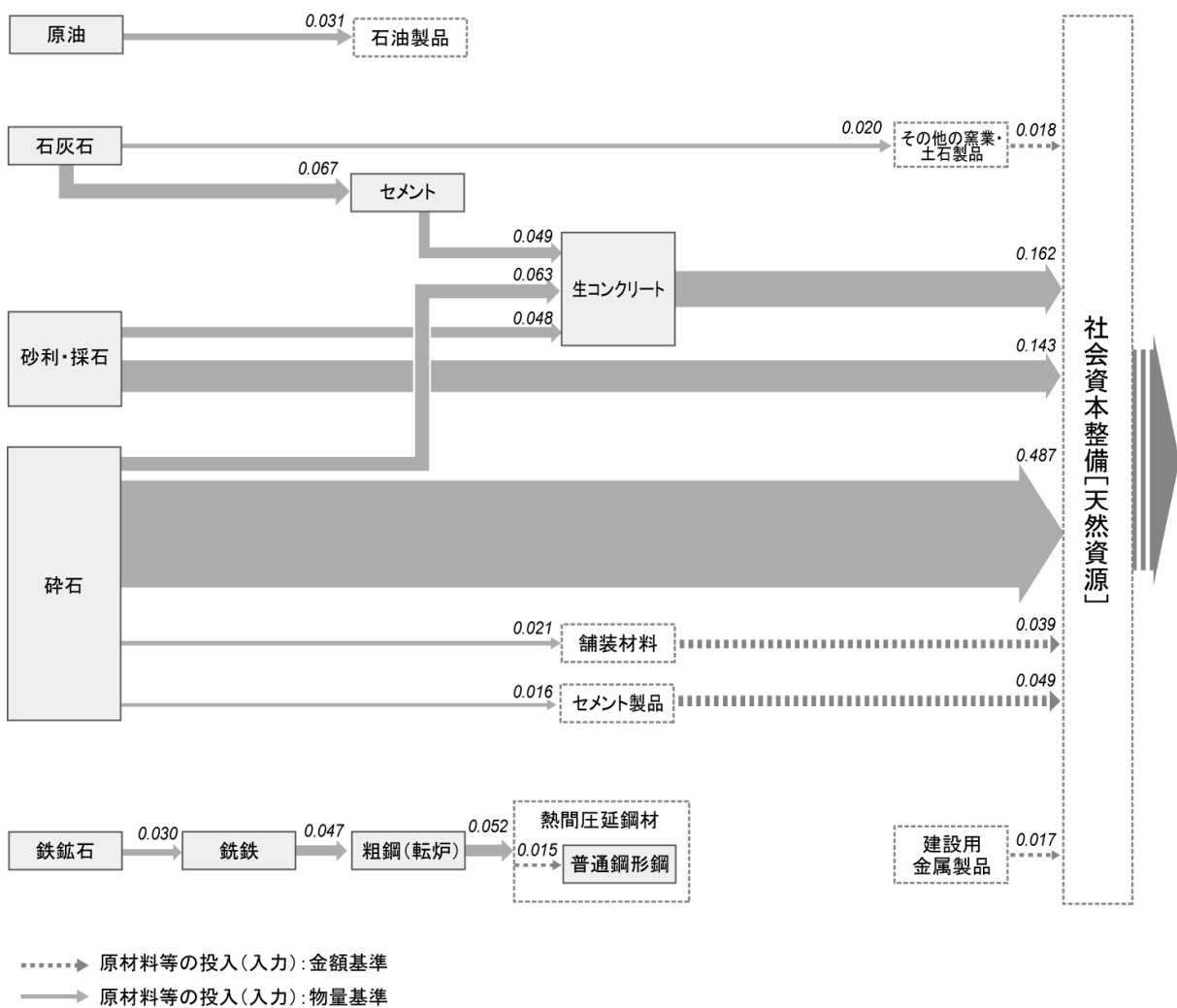
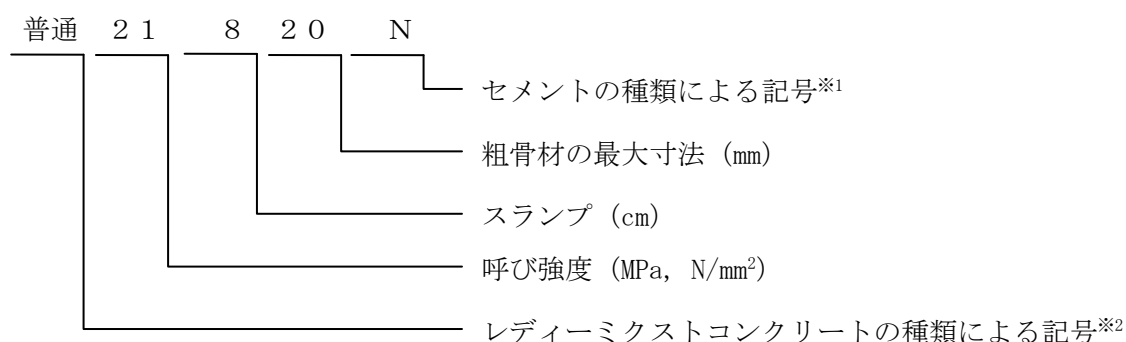


図 1. 4-3 社会資本整備への天然資源の投入状況

コンクリート（生コンクリート、セメント製品）、骨材（砂利・採石、碎石）、アスファルト混合物（舗装材料）、鉄鋼製品（建設用金属製品）が直接投入されるものとして多い。よって、これらの主要資材に係る環境負荷量を上流工程も含めて精度良く推計できれば、一般的な社会資本整備における環境負荷量の推計の精度を効率的に高めることができる。主要資材の種類が限られ、かつ、自動車等ほかの工業製品に比べれば加工度が相対的に低いことが建設資材の特徴である。

一方、同一分野の製品であっても規格は様々であり、規格に応じて環境負荷量も異なると考えられる。たとえば、レディーミクストコンクリートでは、以下の記号により、レディーミクストコンクリートの種類、呼び強度、スランプ、粗骨材の最大寸法、セメントの種類等が指定される。

（図 1. 4-4 参照）



※1 セメントの種類

N, NL, H, HL, UH, UHL, M, ML, L, LL, SR, SRL,
BA, BB, BC, SA, SB, SC, FA, FB, FC, E

※2 レディーミクストコンクリートの種類

普通、軽量1種、軽量2種、舗装、高強度

図 1. 4-4 コンクリートの表記

2) 社会資本整備を目的とした環境負荷に対する運搬比率について

図 1. 4-5 に示すように、公共事業の環境負荷に占める運輸部門からの二酸化炭素排出量は、工業製品である「精密機械」、「輸送機械」、「電子部品」、「情報・通信機器」、「電気機械」、「一般機械」等に比べて大きい。

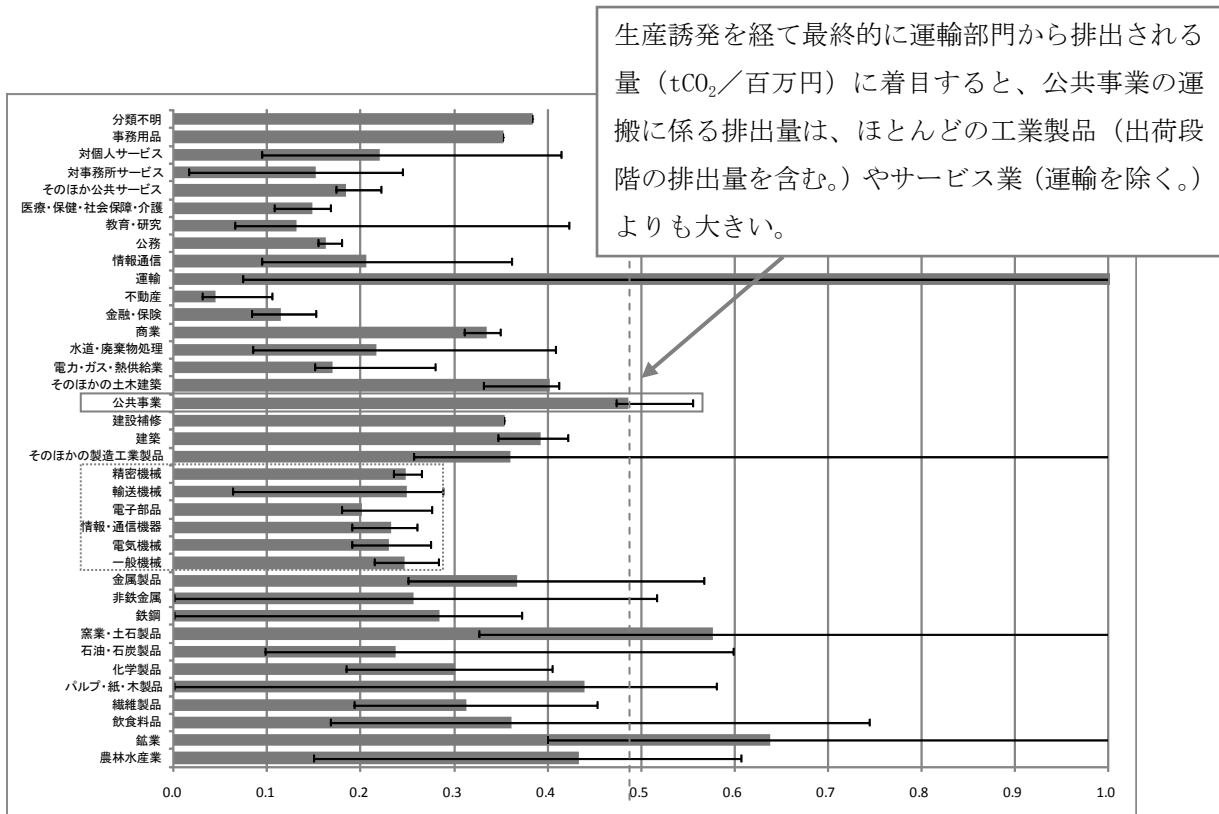


図 1. 4-5 購入者価格二酸化炭素排出原単位 (tCO₂/百万円) の最終誘発量のうち運輸部門からの排出量

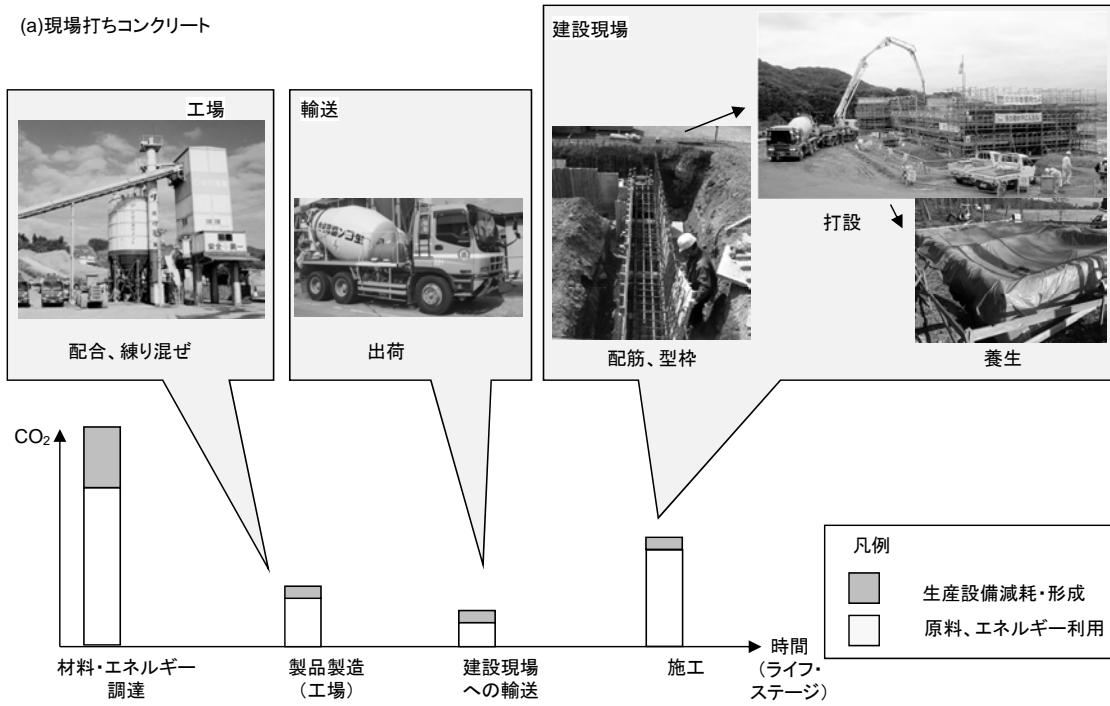
算出根拠：国立環境研究所 3EID (2005 年β+版)

(3) 注文生産・現場生産

1) コンクリートを例にした生産設備の資本形成・減耗に係る環境負荷の変動について

コンクリートには、レディーミクストコンクリートを注文して建設現場で打設する「現場打コンクリート」、セメントや骨材を注文して現場で練混ぜる「現場練りコンクリート」、成型されたコンクリート製品を注文して現場で架設する「プレキャストコンクリート」と、様々な注文形態が用いられる (図 1. 4-6 参照)。原料採取から施工まで通してみれば、いずれの注文形態であっても同様の工程を経るものの、各工程で使用する生産設備の機能・規模は異なる。従って、生産設備の資本形成・減耗に係る環境負荷も多様であると推察される。よって、多様な注文形態について同様の計算を可能とするためには、生産設備の資本形成・減耗を考慮することが必要である。

(a)現場打ちコンクリート



(b)プレキャストコンクリート

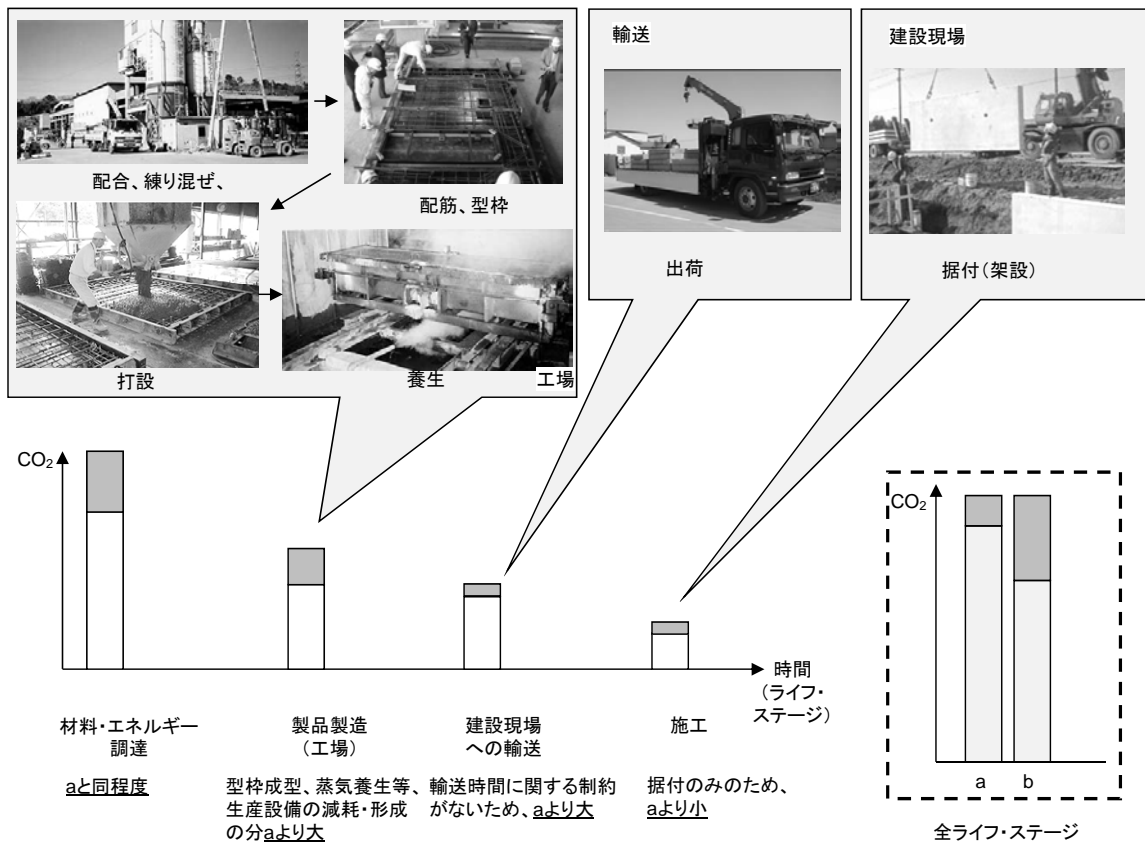


図 1.4-6 現場打ちコンクリートとプレキャストコンクリートの二酸化炭素排出量内訳イメージ

各ライフステージの影響が異なるとともに、全ライフステージの合計では、生産設備由来の二酸化炭素の比率が異なる。

1. 4. 2 社会資本 LCA の技術開発に向けて解決すべき課題

(1) LCI に利用可能な既存のデータ基盤

LCI に利用するデータ基盤（環境負荷原単位一覧表、IDB）の作成方法は、「産業連関法」と「積み上げ法」、及び両者を組み合わせた手法に大別できる。これまでの代表的な IDB の開発経緯を図 1. 4-7 に示す。

産業連関法は、総務省が作成している「産業連関表」に示された国内の経済フローに基づいて環境負荷原単位一覧表を構築する手法である。産業連関法によって継続的に作成されてきている環境負荷原単位一覧表として、慶応大学の「環境分析用産業連関表」、国立環境研究所の「3EID」、日本建築学会の「建物の LCA 指針」等が挙げられる。

積み上げ法は、各産業における製品製造プロセスから重要な物質フローを特定し、環境負荷原単位一覧表を構築する手法である。積み上げ法を用いた環境負荷原単位一覧表として、LCA ソフトウェアの附属データベース等のほか、経済産業省が LCA プロジェクトで開発したもので、各工業会が提供しているデータを中心に構成されているデータベースが挙げられる。コンクリートや舗装等個別の分野における既往の LCI 検討にあたっては積み上げ法が用いられている。

土木学会 LCA 検討小委員会（1996）¹⁸では、主要な資材については積み上げ法を、それ以外は空調衛生工学会・建築学会（1995）による産業連関法を用い、両者を組み合わせた環境負荷原単位一覧表を推奨値として提案した。しかしながら、平成 8 年度以降更新されていない。

また、土木研究所では、二酸化炭素排出量について材料別原単位、事業別原単位、構造物別原単位、工法別原単位を作成している。材料別原単位では、一般的な材料は産業連関法を、リサイクル材料、特殊な材料は積み上げ法を用いて作成し、木嶋ら¹⁹はその算出数値を公表している。しかしながら、積み上げ法自体が材料生産のライフサイクルを全て考慮に入れていないため、結果的にバーゲン材や従来材料に比べて低い値となり、結果の取扱いに注意が必要であるとされている。なお、事業別原単位は、産業連関表の建設部門分析用産業連関表を取り込むことにより算定されたものである。また、構造別原単位は、「土木工事積算基準マニュアル」に記載されている標準的な 12 工事の、新設、維持管理、解体廃棄のライフサイクルを対象に、積み上げ法で算定された。工法別原単位は、この 12 工事を対象に、工種、種別、細別区分にまで細分化し、種別ごとに推計されたものである。

¹⁸土木学会地球環境委員会、環境負荷（LCA）評価検討小委員会：土木建設業における環境負荷評価（LCA）検討部会、平成 7 年度調査研究報告書

¹⁹木嶋健・寺田剛・明嵐政司・西崎到「建設事業における CO₂ 排出量に関する検討」月刊土木技術資料、48(12)、60-65、2006

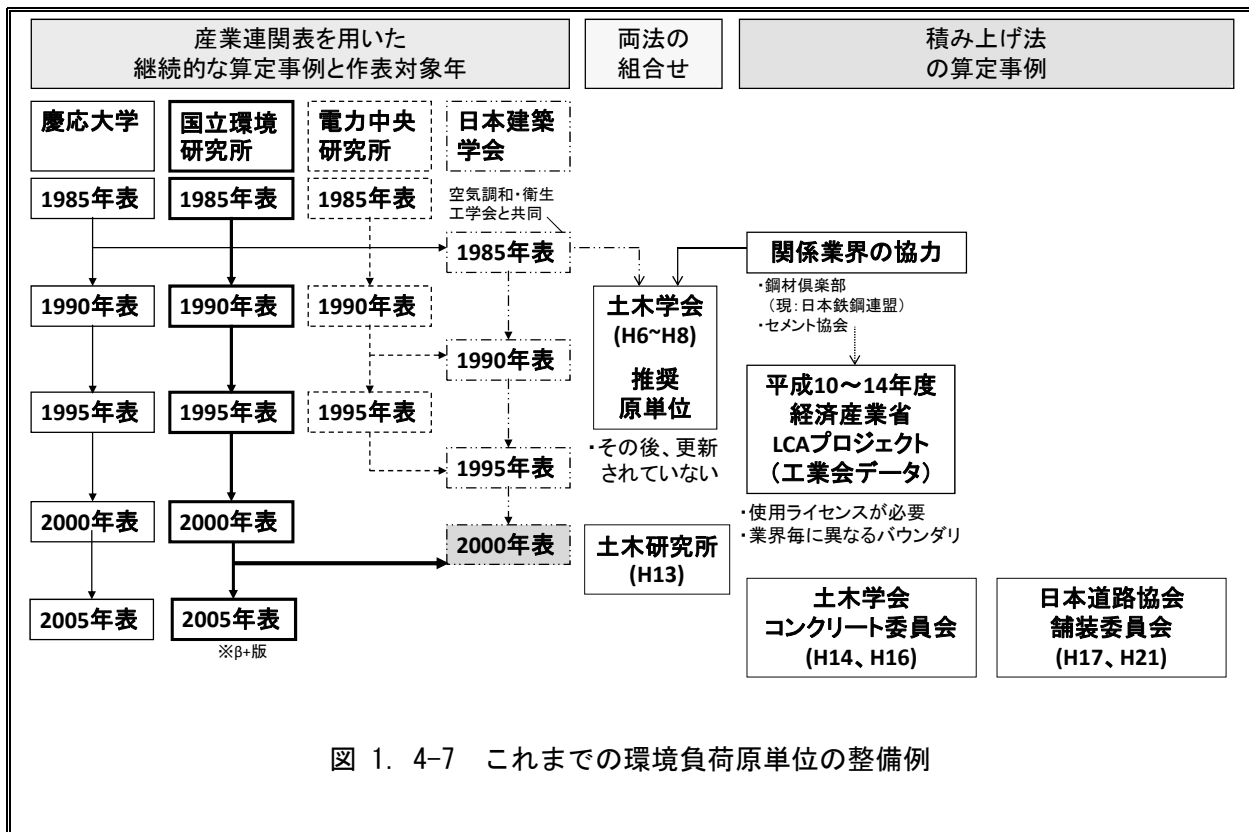


図 1. 4-7 これまでの環境負荷原単位の整備例

【解説】

産業連関法と積み上げ法の利点・欠点は表 1. 4-2 のとおりである。整合性、精度、透明性、網羅性、差異化における利点、欠点は相補的である。

産業連関法による環境負荷原単位一覧表は、日本国内全体の生産活動の部門で構成されており、網羅性、整合性を保つことができる。しかしながら、産業連関表の更新頻度は5年に1回であり、新技術の開発や調達材料の変化等による環境負荷原単位の変動を逐次反映することが困難である。また、産業連関表の数百の部門ごとの環境負荷原単位しか設定できないため、詳細な品目毎の評価ができない。

積み上げ法は、詳細な品目について環境負荷原単位が作成でき、最新データによる更新も可能である。しかしながら、評価者によって環境負荷計算のシステム境界や計算根拠が異なりうる。

表 1. 4-2 産業連関法と積み上げ法の特徴の比較

		産業連関法	積み上げ法
算定方法		日本全体の経済活動を区分した部門（業種）間の取引額を利用 →約500の部門分類毎に推計	対象及び関連活動の物質・エネルギーフローの調査結果と既存のデータベース利用 →詳細なプロセス毎に環境負荷量を設定可能
特性	① 信頼性		
	整合性	○業種間で評価条件・評価範囲が同一	×評価実施者の任意性が高い →業種間で評価条件・範囲が異なりうる
	精度	×500部門なので詳細な品目毎の評価不可能 ×マテリアルフローのため、技術的実態と不一致 ×更新間隔が5年のためタイムラグがある	○調査内容に応じて詳細な分析が可能 ○物質・エネルギー収支との対応が明確 ○最新データによる一部更新が容易
透明性	○公的統計に基づく	×内訳や根拠が十分公開されない場合がある	
② 網羅性	○各経済活動は何れかの部門に区分 ○サービス調達なども含めて遡及評価 ○各部門の合算により国全体の環境負荷量へ	×全ての資材を調査することは不可能 ×全ての関連プロセスの調査は不可能。 →カウントロスによる過小評価	
③ 差異化	×個別企業環境負荷軽減努力が示されない	○製造方法・地域条件の違いを反映可能	

(2) 社会資本 LCI のためのインベントリデータベースにおける課題

社会資本分野の持続可能な社会の実現への貢献のためには、各関係者による取組の評価にあたって、環境負荷算定手法、及びベースラインとなる数値が整備されていなければならない。これらの整備にあたって、次に示す課題を解決する必要がある。

1) 比較対象間の算定手法の相違

環境負荷の比較を行う対象間において、共通の条件の下で環境負荷の算定がなされなければならない。しかしながら、ライフサイクルの考え方、具体的なシステム境界等の共通化がなされていない。

2) LCA 実施による環境負荷削減効果の見えにくさ

- ・ 既存のデータベースは社会資本整備の意思決定レベルにおける選択肢に対応した区別がなされていないため、選択肢間の環境負荷の相違が見えない。
- ・ 一組織等限られた範囲の部分最適が社会資本の遡及・波及効果を含めた全体最適とならない場合があるため、日本国内全体や地球全体等広い範囲に及ぼす環境影響を取り扱う必要がある。しかしながら、技術開発者、技術利用者、意思決定者等の関係者が個別に情報を収集できる範囲は限られる。

3) 計算の煩雑さ

意思決定の上位レベルにおける環境負荷の算定は、技術的には下位レベルの決定事項に対応した詳細な数量と環境負荷原単位を用いて可能であるものの、上位レベルにおいて得られる情報は限られることから多くの仮定が必要になることや、影響範囲が広いため、全ての数量と環境負荷原単位を下位レベルと同様に把握・整理することは作業量が膨大となることから、計算が非常に煩雑であり、現実的でない。

4) 社会情勢・技術開発への対応の遅れ

環境面に優れた技術開発は目覚ましく、また、環境負荷は技術開発動向だけではなく、社会情勢等の影響を受ける。そのため、社会情勢・技術開発へ即応する必要があるものの、以下の課題がある。

- ・ データベース化された環境負荷原単位のみでは、新技術の計算を行えない場合がある。
- ・ 定期的に更新されている既存のデータベースは、膨大な情報を取り扱っており、更新自体に大きな労力と長い作業時間を要する。