

第2章 社会資本 LCI の枠組みの確立

2. 1 本研究における社会資本 LCI の位置付け

社会資本の環境負荷は、①社会資本の整備に伴い発生するもの（遡及分）、②社会資本の供用に伴い発生するもの（波及分）に分類できる。社会資本 LCI の実施にあたっては、意思決定の影響の広さに応じて調査範囲を設定しなければならない。従って、遡及分、波及分双方に影響が及ぶ意思決定への活用を目的とする場合には、当然のことながら、両者を調査範囲としなければならない。

しかしながら、波及分については、事業分野によって社会資本の運用方法が異なるとともに、利用者側の影響で決まる要素が大きいことから、事業分野横断的に共通の枠組みを定められるべきものではない。また、事業実施段階において、波及分の算定に不可欠な確からしいライフサイクルのシナリオを想定するためには、知見の蓄積が十分ではない。

そこで、波及分については、各事業分野における検討等を踏まえて適切な枠組み・手法が開発されるべきであると考え、本研究における社会資本 LCI は、社会資本整備（遡及分）のみの環境負荷量を算出する手法として位置づけた（図 2. 1-1 参照）。

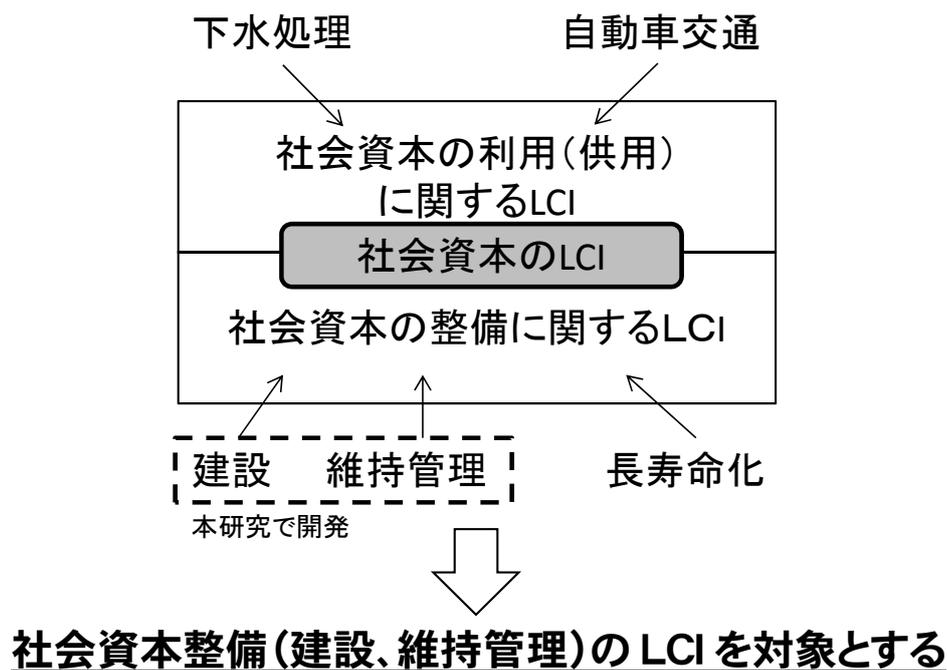


図 2. 1-1 社会資本整備の関連範囲と本研究の検討対象の関係

【解説】 特になし

2. 1. 1 各意思決定レベルにおける LCI で対象とすべき環境負荷の発生原因と本社会資本 LCI の関係

本研究は供用に伴って発生する環境負荷を検討の対象外とした。社会資本 LCI の実施者は、その結果を活用する意思決定が波及分へ影響する場合には、本報告書に記載の手法によって遡及分を算出するほか、その他の適切な手法によって波及分を別途算出しなければならない。

【解説】

各意思決定レベルにおける環境負荷量は以下に示す式で計算できる。

(1) 構想レベル

$$EP = \sum_j (S_j \times \overline{ES}_j) + EA + [EU] \quad \text{式(2-1)}$$

ここで

- EP : 事業全体の環境負荷量(Emission by Project)
- j : 構造物の種類
- S : 構造物(Structure)の規模
- \overline{ES} : 構造物当りの環境負荷原単位(環境負荷量) (Emission by Structures)
- EA : 構造物の計画に係る環境負荷量(Emission by Administering)
- EU : 構造物の使用に係る環境負荷量(Emission by Using)

(2) 設計レベル

$$ES = \sum_k (W_k \times \overline{EW}_k) + ED \quad \text{式(2-2)}$$

ここで

- ES : 構造物の環境負荷量(Emission by Structure)
- k : 工種の種類
- W : 各工種(type of Work)の作業量
- \overline{EW} : 工種当りの環境負荷原単位(環境負荷量) (Emission by types of Work)
- ED : 構造物の設計に係る環境負荷量(Emission by Designing)

(3) 施工レベル

$$EW = \sum_l (M_l \times \overline{EM}_l) + \sum_m (T_m \times \overline{ET}_m) + \sum_n (C_n \times \overline{EC}_n) \quad \text{式(2-3)}$$

ここで

- EW : 工種の環境負荷量(Emission by type of Work)
- l : 資材の種類
- M : 資材(Material)の数量
- \overline{EM} : 資材の環境負荷原単位(環境負荷量) (Emission by Materials)
- m : 運搬の車種等
- T : 運搬距離(Transport distance)

- \overline{ET} : 運搬に係る環境負荷原単位(環境負荷量)(Emission by Transport)
 n : 施工に係る環境負荷(建設機械、仮設材 等)の種類
 C : 施工(Construction)に係る数量(掘削量 等)
 \overline{EC} : 施工に係る環境負荷原単位(環境負荷量)(Emission by Construction)

(4) 資材選定レベル

$$EM = \sum_o (R_o \times \overline{ER}_o) + \sum_p (E_p \times \overline{EE}_p) + EO \quad \text{式(2-4)}$$

ここで

- EM : 資材の環境負荷量(Emission by Material)
 o : 原材料の種類
 R : 原材料の数量(Raw-material)
 \overline{ER} : 原材料に係る環境負荷原単位(環境負荷量)(Emission by Raw-material)
 p : 投入エネルギーの種類
 E : 投入エネルギー(Energy)の量
 \overline{EE} : 投入エネルギーに係る環境負荷原単位(環境負荷量)(Emission by Energy)
 EO : 未集計分等見込み値に係る環境負荷量(Emission by Others)

未集計分等見込み値については、本章第2節第4項を参照。

2. 1. 2 供用以降の環境負荷量の取り扱いに関する現状の課題

社会資本の供用に伴い発生する環境負荷は事業分野ごとに特性が異なると考えられるため、その具体的な取扱いは事業分野横断的に定めるよりも、各事業分野における検討を踏まえて定められる方が望ましいと考えられる。

現時点では、いずれの事業分野においても供用以降の環境負荷量の推計は困難であると考えられる。課題として、ライフサイクルシナリオの固定の困難さが挙げられる。寿命の決定要因を確からしく設定することすら非常に難しい。寿命は、社会資本 LCI の対象を社会資本の機能とするのか、構造物とするのか、一部の部材や材料とするのかによっても全く異なることが予想される。

【解説】

(1) 事業分野ごとに異なる社会資本整備の波及影響

社会資本の供用に伴い発生する環境負荷の原因として、自動車交通や下水処理が挙げられる。

供用（運用・利用）に伴う環境負荷量の算出手法を事業分野横断的に定めることは現実的ではない。これは、社会資本整備の内容によって波及影響の性質が異なるため、LCA の第一段階である調査範囲の設定を一概に定められないためである。

たとえば、道路整備では、波及影響をネットワークで捉えることが重要である。環境負荷の例として二酸化炭素排出を取り上げると、整備された区間には新規の交通需要が発生するため、自動車交通による二酸化炭素排出量は増大する。一方、周囲の既存路線の交通量は、新規路線の需要に応じて増大するかもしれないし、交通経路の転換が進んで減少するかもしれない。また、渋滞解消効果が見込める事業であれば、周辺地域全体で平均旅行速度が上昇することで燃費効率が上がり、走行距離あたりの二酸化炭素排出量は減るであろう。従って、道路整備の影響は当該路線だけでなく、ほかの路線も含めて面的なものであることから、ネットワークで捉えることが重要である。また、下水道整備では、下水処理による環境負荷発生が波及影響としてすぐに思いつくが、処理水の放流先での富栄養化等を通じて生じる温室効果ガスを加えて環境負荷量を算出することもあり得る。このように波及影響については、社会資本整備の分野ごとに広がりが多様であることから、一概に調査範囲や計算手法を定められるものではない。

さらに、供用に伴う環境負荷量は、利用者側の性質で大きく変化する要素も大きい。たとえば、自動車交通に起因する二酸化炭素排出量は、交通量や速度のほか、自動車の性能の選択、アイドリングストップ等ドライバーの意識によって変化するものである。

(2) 確からしい設定が困難なライフサイクルシナリオ

事業分野を問わず、ライフサイクルシナリオを固定することが困難であることが課題である。社会資本整備の影響は広い範囲に及ぶと同時に長期に及ぶ。よって、波及分の環境負荷量を確からしく求めるためには、空間的な影響範囲を適切に定めることのほか、社会資本のライフサイクルシナリオ（供用年数等）を適切に定めることが必須である。

供用年数を定める要因としては、構造物の損傷や劣化の進行等の物理的要因のほか、構造物の存在が社会に果たす役割が陳腐化すること等の社会的要因がある。物理的要因で決まる供用年数は、初期の性能のほか、供用時の維持管理方法によって変化する。また、社会的要因で決まる供用年数は、人々の価値観や生活様式等によって大きく変化する。

これまでのところ、供用年数を設定する指標（物理的要因、社会的要因）を定めるための知見ですら十分にはない状況であると見られる。従って、波及分について蓋然性のあるライフサイク

ルシナリオを設定することは困難である。

また、長寿命化等による環境負荷削減については、波及分と同様に、効果を定量化するためにライフサイクルシナリオの固定が必要であることから、本報告書で示す手法の対象外とする。

(3) 社会資本の捉え方によって異なるライフサイクル

本研究では社会資本のライフサイクルの具体的な設定手法までは言及できない。ライフサイクルシナリオの固定に向けた検討を今後進める際には、社会資本 LCI にあたって社会資本を「機能」、「構造物」、「材料（の集合体）」のいずれの視点で捉えるかが重要であると考えられる。これらの捉え方は、社会資本 LCI を実施する意思決定レベルと密接に関連すると思われる。意思決定レベルごとの社会資本の捉え方は表 2. 1-1 に示す整理が考えられる。

構想レベルにおいては、社会資本を機能面から捉えていると考えられる。すなわち、社会・経済活動等の変化を意図して、社会資本の存在による影響や、そのための前提となる整備による影響について様々な側面から検討を実施するのが構想レベルである。従って、機能は、ひとたび発揮されれば、社会的に必要十分である限り、保持されることが基本である。社会資本を構成する構造物が物理的要因によって寿命を迎えたとしても、補修等の実施によって機能は保持されるため、ライフサイクルは継続する。補修等による機能としてのライフサイクルの継続は、一級河川の治水・利水等の河川構造物、幹線道路、基幹港湾等の、特に重要な役割を担う社会資本について、よくあてはまる。特に重要な役割を担う社会資本については、これまでのところ、構造面の補修を行いながら、機能としては半永久的に保持されてきたと見られる。

設計レベルにおいては、社会資本を構造面から捉えることが主であると考えられる。すなわち、期待される機能や社会・経済的制約条件を前提としつつ、強度等の所要性能を備えた構造物をデザインするのが設計レベルである。従って、設計レベルにおいては、構造物の寿命を物理的に捉えることが基本である。しかしながら、物理的寿命よりも先に社会的寿命が訪れる構造物が多数見られる。このような、従来の設計時において考慮してきた事項から想定されるライフサイクルと現実のライフサイクルのギャップが、社会資本 LCI の実施における課題である。また、維持管理シナリオについても検討する際には、構造物を構成する部材（材料）のライフサイクルにも留意が必要である。

施工レベルにおいては、社会資本を材料面から、構成する建設資材の集合体として捉えていると考えられる。従って、社会資本よりむしろ材料としてのライフサイクルが重要である。なお、材料の補修が維持管理（補修）シナリオに及ぼす影響については、設計レベルで検討されることから、施工レベルにおける材料のライフサイクルとは、いわゆる「寿命」ではなく、社会資本整備の竣工までを指すものと考えて差し支えないと思われる。従って、論点は、再生資源の使用に関する環境負荷配分の取扱いが主である。この点については、本研究において整理した。

表 2. 1-1 意思決定のレベル、目的ごとの社会資本の捉え方とライフサイクルの想定における課題

社会資本の捉え方	関係する意思決定段階	ライフサイクル範囲 (原料採取から廃止(≠廃棄)まで)	ライフサイクルの決定要因	ライフサイクルに関する具体的課題の例
【機能】 社会的便益を必要水準まで高めるために必要な機能	・構想レベル 社会資本の機能面を見る。	【廃止時期は、社会的寿命(機能上の問題)が規定】  <p>木造(左、1603-1911)から石造(右、1911-現在)に架け替えられ、機能を発揮し続ける日本橋。 構造物は木造と石造で違うものの、機能は同じ「日本橋」。</p>	【社会的寿命】 1) 需要増大による機能不足 2) 需要減少による機能過剰 3) 代替機能への需要転換	1) 社会的寿命の想定が困難 2) 廃止後の処理の想定が困難  <p>線形改良によって廃止され、放置された、中央高速自動車道一部区間(山梨県上野原市)。なお、言うまでもなく、中央高速自動車道の機能は継続。</p>
	・設計レベル 社会資本の構造面を見るのが基本であるものの、構造物のLCAにあたっては、構造物としての寿命(物理的寿命)と機能としての寿命(社会的寿命)の両者に留意が必要。また、維持管理のシナリオの想定では、材料(部材)ごとの寿命に留意が必要。	【廃止時期は、社会的寿命(機能上の問題)、物理的寿命(所要性能を発揮する期間)が規定】  <p>強風への安全性の課題とそれに対応するための機能低下が相まって架け替えられた、旧余部鉄橋(左)と現在の余部鉄橋(右)。構造物としては旧橋と現橋は別物。</p>	【社会的寿命】 同上 【物理的寿命】 1) 強度、耐久性等の性能低下	1) 社会的寿命の想定が困難であることにより、ライフサイクルが不明確。
【材料】 構造物を具現化するための建設資材の集合体、又は建設活動の成果品		【設計レベルに おいて想定するライフサイクル範囲では、構造部材の維持補修シナリオが重要】		1) 構造物のライフサイクルが不明確であることにより、維持修繕シナリオ間の比較が困難。
	・施工レベル 社会資本の材料面を見る。	【施工レベルに おいて想定するライフサイクル範囲では、再生資源の環境負荷配分が重要】 ※構造物としての寿命に特段の注意を払う必要はない。	-	1) 再生資源の利用に伴う環境負荷を、発生側と利用側に配分するルール設定が必要。 →本研究では、0:100で配分し、実質的な配分の手間を回避。

2. 2 社会資本 LCI の開発方針

社会資本整備に関する環境負荷量を算出・比較し、削減していくために、社会資本 LCI は次の要件を満たす必要がある。

- ・多様な寿命分布を有する様々な構造物について環境負荷量を算出する時間範囲を一貫した考え方に従って定めること (2. 2. 1 参照)

本要件は、社会資本は整備、供用のいずれも長期にわたり、工期短縮や長寿命化等による環境負荷量の削減技術も開発されていることや、社会資本を機能、構造物、材料のいずれの視点で捉えるかによって、ライフサイクルの概念が異なることから必要である。

- ・社会資本整備に係わる既存の仕組みに対応した環境負荷原単位一覧表を整備すること (2. 2. 2 参照)

本要件は、社会資本整備は複数の意思決定レベルを経てなされており、環境負荷量の削減の余地は意思決定の内容ごとに異なること、各意思決定レベルで環境負荷量の算出の前提となる条件の具体性が異なること、意思決定に必要な精度を保ちつつも、社会資本 LCI の社会への普及や適切・迅速な社会資本整備の実施のため、算出手法は可能な限り簡易なものとする必要があることから必要である。

- ・建設資材の製造設備や建設機械等の資本の形成・減耗に関する環境負荷量を考慮すること (2. 2. 3 参照)

本要件は、注文生産の特徴を有する社会資本は、大量生産品に比べて生産設備の減耗に関する環境負荷の影響が重要になりうること、建設現場における建設資材等の受入れ形態は多様であり、受入れ形態によらず同一の環境負荷量の算出条件が必要であること、社会資本整備に用いられる建設機械の規模や使用頻度は工事工種や現場条件によって様々であり、それら資本の形成・減耗にかかわる環境負荷量は広く分布すること、建設資材の使用量が少ない工事では総環境負荷量に対して建設機械の稼働や減耗の影響が大きくなることから必要である。

- ・現場条件や新技術に対応した環境負荷量の差異化を可能にする算出手法を開発すること (2. 2. 4 参照)

本要件は、千差万別の現場条件が調達可能な建設資材や実施可能な工法、建設機械の稼働状況に影響するため、対象とする工事の現場条件に応じた独自の環境負荷量を算出可能にする必要があること、新工法、新材料の開発等の関係者の環境負荷量削減の努力を評価するため、比較される従来工法、従来材料の環境負荷原単位の分類を細分化するとともに、投入される材料やエネルギー等に応じた個別の環境負荷量の算出を可能にする必要があることから必要である。

2. 2. 1 環境負荷量を算出する時間範囲 –多様なライフサイクルの概念との対応–

利用する環境負荷原単位の年次、構造物の廃棄段階に関する環境負荷量の取扱い、環境負荷原単位の算定における配分手法の基本的考え方を整理した。

(1) 利用する環境負荷原単位の年次

多年度にわたる整備であっても、利用可能な最新年次の環境負荷原単位を用いる。

【解説】

LCA の国際規格においてライフサイクルとは、「原材料の採取、又は天然資源の産出から最終処分までの、連続的で相互に関連する製品システムの段階」と定義されている。社会資本 LCA でも、評価対象とするシステム全体の範囲は、通常 LCA のライフサイクルと同様であり、本来は、環境負荷原単位の将来の変化を考慮し、環境負荷が生じる時点の環境負荷原単位を用いることが望ましい。

しかしながら、将来の変化を確からしく見通すことは現実的に困難であり、確からしい想定ができないにもかかわらずその手間は非常に煩雑である。従って、計算結果が解釈によって変化する恐れを低減させるため、現状では多年度にわたる整備であっても単一年の環境負荷原単位を用いることと定める方が評価者にとって望ましいと考えられる（図 2. 2-1 参照）。これは、現在のところ、社会資本に限らず工業製品等の他の分野の LCA でも一般的な慣行である。なお、環境負荷原単位の更新性を高めることによって、環境負荷量の誤差の事後確認や修正は迅速に可能である。

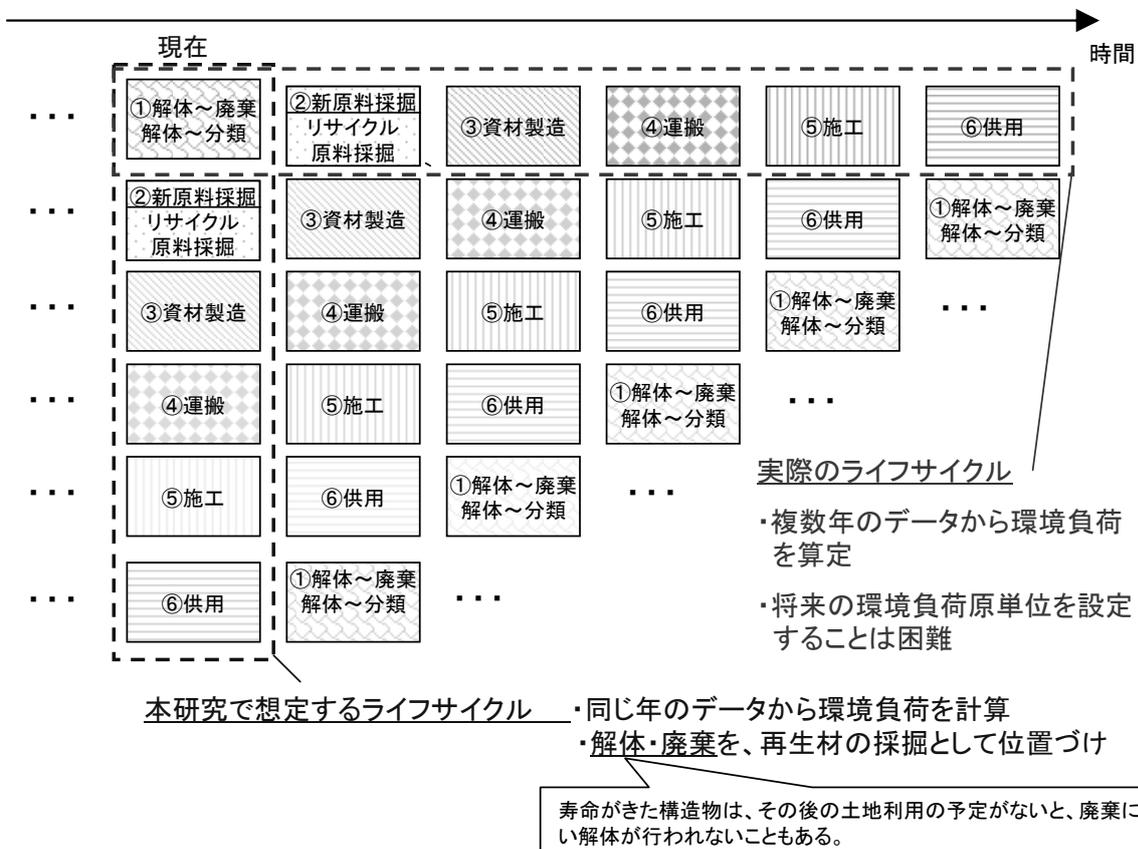


図 2. 2-1 社会資本のライフサイクルの計算上の考え方

一方、事後評価のように過去のデータのみで評価可能な場合には、真のライフサイクルの評価も可能であるといえる。また、新技術を導入する場合には、いずれにせよ実績データは利用できないので、何らかの仮定を置いて推計する必要がある。

さらに、社会資本の供用（構造物の利用）をライフサイクルに含める場合には、構造物の利用に伴い直接的に発生する環境負荷を計上する必要があることは無論として、社会資本整備によって生じる効果が波及する範囲をどこまで捉えて評価するかというシステム境界の設定（拡張）が重要である。（加藤、2009）¹

比較評価案で耐用年数等が異なる場合や、供用段階の維持管理の環境負荷量と総合して評価する場合等においては、評価期間を設定する等の何らかの対応を行う必要が生ずる。しかしながら、これを LCA において事前に設定することは困難かつ恣意的な面がある。社会資本の耐用年数（寿命）の評価は今後の課題である。

(2) 構造物の廃棄段階に関する環境負荷量の取扱い

社会資本の機能、または構造物のライフサイクルの環境負荷量の算出においては、解体、撤去、廃棄に伴う環境負荷を計上しない。

ただし、将来における解体、撤去、廃棄に伴う環境負荷量が現在の通常の方法から大きく変化することが想定される場合は、将来の解体等も算出対象に含む等、個別の LCI の実施目的や実施時点における知見の蓄積状況に応じて、柔軟な対応がなされる必要がある。

【解説】

社会資本においては「廃棄段階」が必ずしも明確にできない構造物も少なくないことが特徴的である。（鶴巻、2000）²

すなわち、社会資本は寿命が長く、かつ、地下構造物や港湾構造物、過疎地の道路等、廃棄に伴って解体が行われない構造物もある。実際には、解体は建設需要に伴って行われる。また、わが国の現状としては、解体に伴い発生する建設副産物はほとんどが再生資源として利用されている。

これらの状況により、機能、または構造物として捉えた社会資本について、解体、撤去、廃棄に起因する環境負荷量を計上しないことは現状では妥当な判断であると考えられる。その理由を整理すると次の 1) ～4) に示すとおりである。

- 1) 社会資本の供用期間は一般に長く、物理的要因と社会的要因の両者に影響されうため、ライフサイクルの固定が困難である
- 2) 特に、解体、撤去、廃棄は建設需要によって発生することが多いため、機能の廃止に伴って必ずしもなされるとは言えない
- 3) 解体、撤去、廃棄がなされる場合であっても、社会資本の供用期間は一般に長いため、ライフサイクルをとおした総環境負荷量に重要なウェイトを占めるとは考えにくい
- 4) また、施設更新等による解体については、新規事業において構造物取壊しに関する設計や施工がなされることから、この時点で環境負荷量を計上することが既存の制度と馴染みやすい

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

² 鶴巻峰夫「土木建設構造物のライフサイクルとは」（土木学会地球環境委員会 LCA 評価・環境パフォーマンス研究小委員会「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）

社会資本のライフサイクルの設定に関する課題については、土木学会環境システム委員会の過去の活動成果とも言える井村（2001）において次の記述がある。

「一般の製品の場合、消費財の寿命はせいぜい数年と短く、自動車や家電製品のような耐久消費財でも5年とか10年のことが多い。これに対して、インフラの寿命ははるかに長い。維持・管理を継続すれば寿命は半永久的^(a)とも言える。ダムや港湾などでは、その寿命を設定することが現実的に難しいし、廃棄、すなわちインフラの解体という事態を真剣に念頭に置くこともなかったので、解体に関するデータ収集は現実には難しい。また、供用期間を終えた後も解体されず放置されるケースもある^(b)。こうした事情もあって、これまでに実行されたILCAは、建設ステージに重点を置く例が多い。他方、道路舗装における再生路盤材の利用評価などにおいては、廃棄ステージの評価が重要な意味を持つ^(c)。」

（出典）井村秀文編著「建設のLCA」、オーム社、2001。ただし、下線及び下付きのアルファベットは、原著にはない。

ここで、下線（a）は構造物として捉えた場合の記述、下線（b）は機能、または構造物として捉えた場合の記述、下線（c）は材料として捉えた場合の記述として、それぞれ分類できる。機能、または構造物として捉える場合のライフサイクルの設定では、これらに加えて、寿命が社会的要因によるものか物理的要因によるものかの想定が困難であることが課題である。

ただし、想定したシナリオの将来の解体や建設副産物の中間処理に伴う環境負荷量が現在の水準から大きく変わると考えられる場合は、できるだけ評価に加えることが望ましい。将来における解体、撤去、廃棄に伴う環境負荷量が現在の通常の方法から大きく変化する事象は、ライフサイクルコストの縮減の一環として長寿命化や維持管理の省力化技術の開発・採用が盛んに行われていることから、今後増大する可能性がある。供用期間が長期に及びこの技術が期待される性能を十分に発揮すれば、供用中の環境負荷量は低減されると見込まれる。一方で、長寿命化等のために特殊な添加物が利用されることで分別が煩雑化し、結果として解体時の環境負荷量が増大する等の可能性も考えられる。一方、廃止後のリサイクルを念頭に、解体や分別を容易にする技術も開発されている。

(3) 環境負荷原単位の算定における配分手法

他産業由来の副産物・廃棄物については、それらが発生するまでの活動は主製品を製造するためのものであることから、それらを受け入れる建設資材や社会資本整備のシステム境界に含めない。発生後、建設資材に利用するための搬出、加工等による環境負荷量は、建設資材側に計上する。

建設廃棄物に由来する再生資源の環境負荷原単位の算定においては、再資源化プロセスの一部として解体、撤去、廃棄に伴う環境負荷量を取り扱う。

再生資源の使用に関する環境負荷の配分に関するこの考え方は、鉄鋼に代表される、繰返し利用され、新材製造と再生材製造が互いに関連している製品に対しては、必ずしも妥当であるとは言いきれない。鉄鋼製品の環境負荷算定にあたってのリサイクルの取扱いについては、今後の知見の蓄積を踏まえて、一層の検討がなされる必要がある。十分な検討がなされるまでは、他製品との環境負荷量の比較はできない。

【解説】

1) 国際規格における配分原則との対応

わが国では、解体等によって発生した建設副産物は、ほとんど全量が再資源化され、重要な建設資材として再利用されている。よって、代替品である新材との環境負荷量の比較を可能にするため、原料採取に相当する解体以降の環境負荷量は、再生材の環境負荷量とすることが妥当である。

また、再生資源の使用に関する環境負荷量の配分について、ISO14041では、可能であれば回避することが望ましいとされている。これは、配分方法による環境負荷量の不確実性を排除するためである。各活動の目的に着目した本方針は、0:100の配分であることから、計算実施上の解釈による不確実性を生じないため、配分のデメリットを回避していると言える。従って、LCAの規格に照らして妥当な判断であると考えられる。また、現状では、他産業由来の副産物・廃棄物の多くの種類は、建設資材に用いられない場合でも他の用途にリサイクルされうることや、構造物の解体や撤去が社会資本の更新等の建設需要によって行われることが多いことから、本方針は現実に即したものであると言える。

2) 社会資本整備を通じた循環資源の利用状況

① 材料分野における他産業由来副産物・廃棄物の受入れ

セメント産業を例に、他産業由来副産物・廃棄物の受入れ状況を表2.2-1に示す。1tのセメント製造のために400kgを超える他産業由来副産物・廃棄物を受け入れており、循環型社会の形成に顕著に貢献している。副産物・廃棄物の受入量は地域の実情に応じて大きく変化するものであり、セメント産業が意図して発生させているものではないことから、発生するまでの環境負荷量をセメント産業に計上することは適切ではないと考えられる。

表 2. 2-1 セメント業界の廃棄物・副産物使用量の推移（2005-2010 年度）

（単位：千 t）

種類	主な用途	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度
高炉スラグ	原料、混合材	9,214	9,711	9,304	8,734	7,647	7,345
石炭灰	原料、混合材	7,185	6,995	7,256	7,149	6,789	6,443
汚泥、スラッジ	原料	2,526	2,965	3,175	3,038	2,621	2,514
副産石こう	原料(添加材)	2,707	2,787	2,636	2,461	2,090	1,974
建設発生土	原料	2,097	2,589	2,643	2,779	2,194	1,931
燃えがら(石炭灰は除く)、 ばいじん、ダスト	原料、熱エネルギー	1,189	982	1,173	1,225	1,124	1,261
非鉄鉱滓等	原料	1,318	1,098	1,028	863	817	654
木くず	原料、熱エネルギー	340	372	319	405	505	564
鋳物砂	原料	601	650	610	559	429	478
廃プラスチック	熱エネルギー	302	365	408	427	440	413
製鋼スラグ	原料	467	633	549	480	348	400
廃油	熱エネルギー	219	225	200	220	192	269
廃白土	原料、熱エネルギー	173	213	200	225	204	236
再生油	熱エネルギー	228	249	279	188	204	195
廃タイヤ	原料、熱エネルギー	194	163	148	128	103	87
肉骨粉	原料、熱エネルギー	85	74	71	59	65	61
ボタ	原料、熱エネルギー	280	203	155	0	0	0
その他	—	468	615	565	527	518	591
合計	—	29,593	30,890	30,720	29,467	26,291	25,415
セメント1t当りの使用料(kg/t)		400	423	436	448	451	469

数値根拠：セメントハンドブック

② 建設リサイクル

建設リサイクルの状況を図 2. 2-2 に示す。平成 12 年度以降建設リサイクルの再資源化等率は顕著に高まっている。発生量の大きいアスファルト・コンクリート塊やコンクリート塊については 98%程度の再資源化率で推移している。平成 20 年度におけるアスファルト・コンクリート塊とコンクリート塊の再資源化量は約 5000 万トンに上る。建設廃棄物や土砂（両者を合わせて建設副産物という。）の発生量は建設需要と関連することが確認されている。すなわち、建設副産物は新規事業のライフサイクルにおいて発生し、解体、撤去、再資源化のプロセスは、建設産業全体としては再生資源の原料採取から製造に相当している。

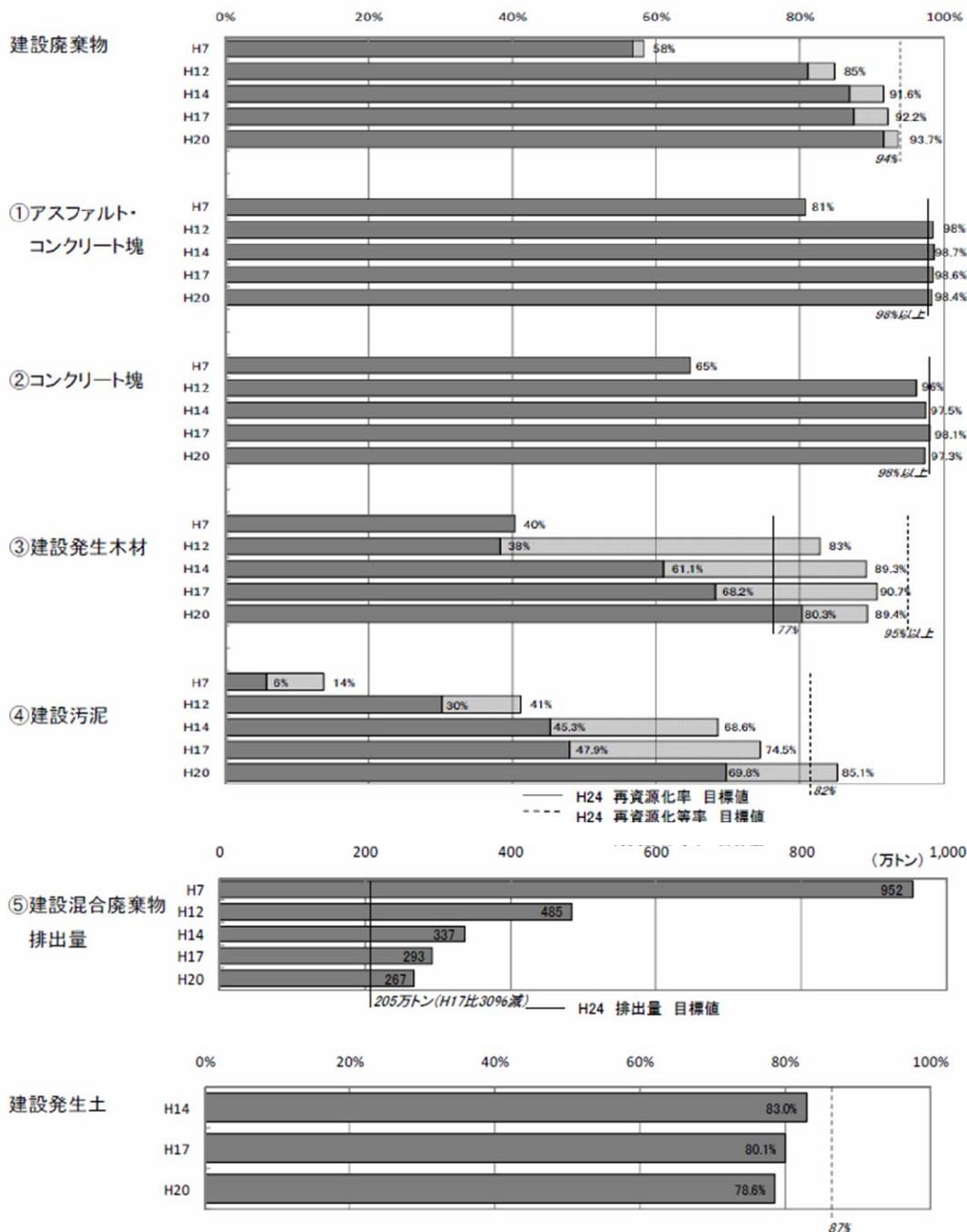


図 2. 2-2 建設リサイクルの推移

出典：平成 20 年度国土交通省建設副産物実態調査結果参考資料

3) 鉄鋼製品のリサイクルにおけるマルチステップリサイクリングシステム

鉄鋼分野においては、マルチステップのリサイクリングシステム（マルチステップリサイクリングのほか、エンドオブライフサイクルリサイクリングとも言う。）が確立しており、LCA におけるリサイクルの取扱い手法に反映されている。

$$LCI = (X_{pr} - X_{re}) \left[\frac{1 - RR \cdot Y}{1 - RR \cdot Y^n} \right] + X_{re} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} X_{pr} - RR \cdot Y (X_{pr} - X_{re}) \quad \text{式(2-5)}$$

マルチステップリサイクリングシステムは、無限回と見なせる鉄鋼のリサイクル過程で生じる環境負荷を、新材から再生材まで等分に割り当てるという考え方に基づいている（図 2. 2-3 参照）。鉄スクラップの鉄鋼製造における利用方法等から、新材と再生材の製造が一体不可分の関係

にあることを鑑みると、この考え方は一定の合理性を有していると言える。

しかしながら、社会資本整備に用いられる鉄鋼製品については、長寿命であることや廃止後の処理が特殊である等の社会資本の特徴により、マルチステップリサイクリングシステムを採用することが妥当であるか、現状では判断が難しい。たとえば、廃止後に解体や撤去がなされず放置される社会資本が少なからず見られ、これらに対して投入された建設資材は、鉄鋼製品やコンクリート等の別を問わず回収されていない。

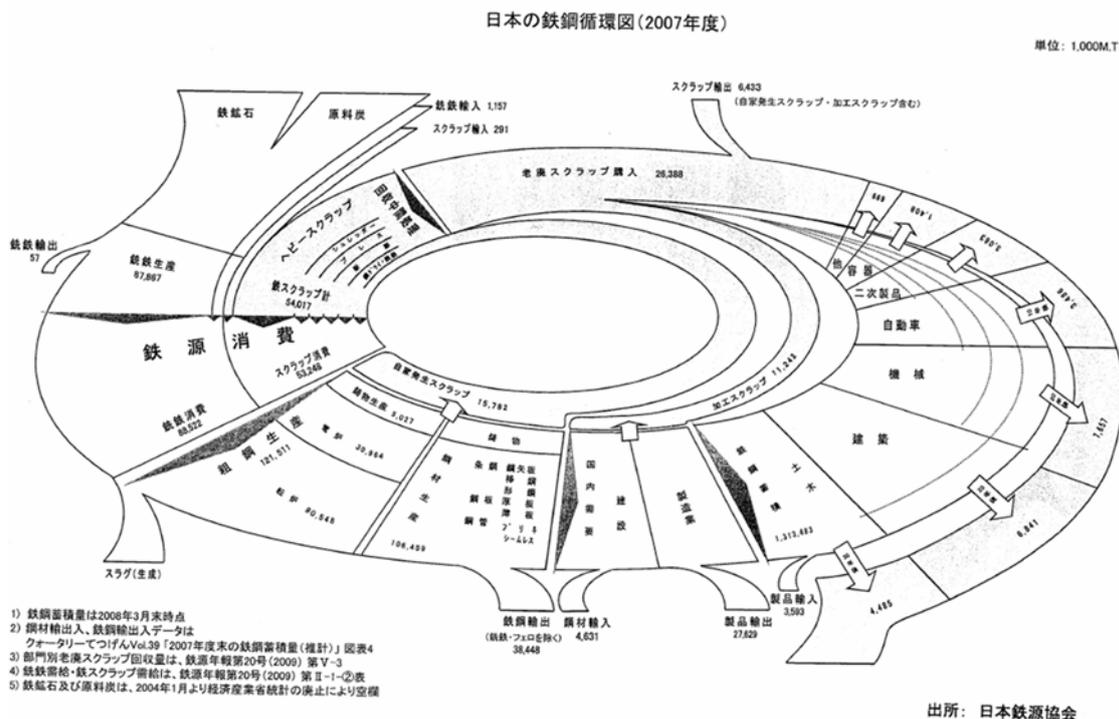


図 2. 2-3 鉄鋼分野におけるマルチ・ステップ・リサイクルの状況

出典: 日本鉄源協会

2. 2. 2 社会資本整備に係る既存の仕組みに対応した環境負荷原単位一覧表の整備

以下に示す方針に従って環境負荷原単位の一覧表を整備した。

- ・計画の構想、設計、施工等の意思決定レベルにおける検討事項と前提条件に対応した、階層的な環境負荷原単位一覧表を構築する
- ・最も具体的な条件が決定される施工レベルにおける環境負荷原単位の開発を基礎として、それらを集約することで上位の設計、構想の意思決定に用いる環境負荷原単位を構築する
- ・施工レベルの環境負荷原単位は、業界団体の協力により得られた詳細な品目区分の集計値を用いて、積算における建設資材等の種類に対応可能な品目区分で整備する。それらを集約することで、設計レベルは工種区分、構想レベルは構造形式区分に対応した環境負荷原単位を整備する
- ・比較対象となる環境負荷原単位の算定条件（システム境界）を共通化するため、詳細な集計値を得られない活動に関しては産業連関表を援用する。なお、国外における活動の影響が大きい原油、鉄鉱石、石炭については、業界団体の提供値や文献値を参照し、国外における採取や国外輸送分まで遡及する。その他の原料、燃料の環境負荷原単位については、輸入品であっても国産品と同等であると仮定する。

産業連関表の援用の妥当性は、社会資本整備の遡及活動がほとんどすべて国内に完結し、かつ国外に及ぶ場合であっても十分な資料が整っていることを前提としている。従って、もしこの前提が適さない製品を対象とするならば、調査範囲の共通性、網羅性を確保するための適切な追加処置を実施した上でなければ、環境負荷の比較を実施してはならない。

また、今後の社会情勢・技術革新の動向によっては、物質フローに大きな変化が生じる可能性がある。新たな物質フローが環境負荷原単位に対して無視しえない影響を及ぼしうる場合には、十分な調査の上で、適切な物質フローを適宜構築することが必要である。

【解説】

環境負荷原単位の算定にあたっての計算範囲は産業連関表の調査範囲を基本とする。産業連関表は、調査範囲の共通性、網羅性の点で優れているものの、経済フローを表現したものであり、環境負荷原単位に直接関係する物質フローを表すものではない。特に、同一の産業区分であっても、社会資本用途以外の製品を多く含み、かつ社会資本用途と他用途で製品の経済価値や製品機能が異なる場合には経済フローを環境負荷原単位と結びつけることは困難である。

そこで、社会資本整備に関する環境負荷原単位に重要な影響を及ぼす製品については、適切な公的統計、業界統計等の資料を可能な限り参照し、物質フローに基づいた投入産出表に改める。

本方針の採用は、次の条件が満たされる場合に可能である。

- ・影響の大きな選択肢について、物質フローに関する資料が充実し、かつ入手可能であること
- ・影響の大きな選択肢の数が限られ、物質フローの作成が効率的に実施可能であること
- ・入手した資料の調査範囲が、社会資本用途の製品で閉じているか、または他用途の製品も同様の製造方法によっていること

社会資本整備に係る活動を遡及すると、環境負荷原単位に及ぼす影響が大きい選択肢は、主要な建設資材に絞られる。主要な建設資材に関しては、一つ目の条件について、公的統計や業界統計等が充実し、物質フローに関する情報を得ることが可能である。二つ目の条件について、上位数種類の主要な建設資材が物質フローのほとんどを占めることから、効率的な物質フロー作成が可能である。三つ目の条件について、主要な建設資材は、ほとんど全量が社会資本整備用途

に用いられているものであるか、または他用途の製品も同様の方法によって製造されているものである。

本方針は、物質フローに基づく環境負荷原単位の算定が可能になることのほか、副次的に、製品区分の詳細化による比較対象の拡大や、根拠資料の更新頻度が高まることによる社会情勢の変化に即応した環境負荷原単位の更新等の利点がある。

(1) 主要な建設資材に関する公的統計、業界統計

本研究で利用したものを中心に、主要な建設資材に関する公的統計、業界統計等の一部を表 2. 2-2 に示す。

表 2. 2-2 主要な建設資材に関する公的統計、業界統計等 (1/5)

	使用方法	データ区分	統計・文献名	発行・著者	対象年	調査対象	調査方法	調査項目
セメント	-	公的統計	窯業・建材統計年報	経済産業省 経済産業政策局調査統計部	平成 17年	本社及び事業所全部	生産動態統計調査	ポルトランドセメント(早強・中庸熱、普通)、フライアッシュセメント、高炉セメント、その他セメント、ポルトランドセメントクリンカ
	○:輸出用クリンカの量を把握。なお、早強・中庸熱ポルトランドセメントの生産量も区分して把握。	業界統計	セメントハンドブック	社団法人セメント協会	平成 17年度	協会加盟の18社、32工場(白色セメントとエコセメント以外の全部)	業界集計	ポルトランドセメント(早強、中庸熱、普通、低熱、耐硫酸塩、その他)、フライアッシュセメント、高炉セメント、シリカセメント、その他混合セメント、その他のセメント、輸出用クリンカ
	○:自家発電用と、セメント製造用の燃料使用量を推計。	公的統計	石油等消費動態統計年報	経済産業省 経済産業政策局調査統計部	平成 17年	全部	生産動態統計調査	ガソリン、灯油、軽油、A重油、B・C重油、炭化水素油、液化石油ガス、オイルコークス、石炭、コークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガス、廃タイヤ、電力、蒸気
	○:循環資源の投入量を設定。	業界統計	セメントハンドブック	社団法人セメント協会	平成 17年度	協会加盟の18社、32工場(白色セメントとエコセメント以外の全部)	業界集計	石炭、石油コークス、重油、購入電力、自家発電、廃プラスチック、木くず、再生油、廃油、廃白土、ボタ、廃タイヤ、肉骨粉、
	△:セメント種別の燃料投入量の按分比率を算出。	業界データ	セメントのLCIの概要	社団法人セメント協会	平成 17年度	協会加盟の18社、32工場(白色セメントとエコセメント以外の全部)	各社の実測を基本としたデータを生産量で加重平均。	石炭、石油コークス、C重油、その他化石燃料、リサイクル期限(化石起源(副産物、廃棄物)、バイオマス(副産物、廃棄物))、購入電力

表 2. 2-2 主要な建設資材に関する公的統計、業界統計等 (2/5)

	使用方法	データ区分	統計・文献名	発行・著者	対象年	調査対象	調査方法	調査項目	
セメント(続き)	原料	-	公的統計	窯業・建材統計年報	経済産業省 経済産業政策局調査統計部	平成 17年	本社及び事業所全部	生産動態統計調査	石灰石、粘土、珪石、石こう(天然及び化学を含む)、鉱さい
		○:循環資源の投入量を設定。	業界統計	セメントハンドブック	社団法人セメント協会	平成 17年度	協会加盟の18社、32工場(白色セメントとエコセメント以外の全部)		石灰石類、粘土類、珪石類、鉄原料、石こう、高炉スラグ、石炭灰、汚泥・スラッジ、建設発生土、副産石こう、燃え殻・ばいじん・ダスト、非鉄鉱さい等、鋳物砂、製鋼スラグその他
		△:セメント種別の原料投入量の按分比率を算出。	業界データ	セメントのLCIの概要	社団法人セメント協会	平成 17年度	協会加盟の18社、32工場(白色セメントとエコセメント以外の全部)	各社の実測を基本としたデータを生産量で加重平均。	石灰石、粘土、珪石、その他天然原料、鉄原料(副産物、廃棄物)、リサイクル(副産物、廃棄物)、石こう(天然、副産)、高炉スラグ、微粉末スラグ、フライアッシュ
生コンクリート	生産量	-	公的統計	生コンクリート統計年報	経済産業省 製造産業局住宅産業窯業建材課	平成 17年	製造設備の混練能力が月産14,000m ³ 以上の事業所	生コンクリート流通統計調査	生コンクリート
		-:産業連関表と工業統計が一致することを確認し、産業連関表の値を利用。	公的統計	工業統計	経済産業省 経済産業政策局調査統計部	平成 17年	全部	生産動態統計調査	生コンクリート
	燃料	-	-	-	-	-	-	-	-
	原料	○:骨材(砂利・砂、碎石、石灰石、砕石(屑))は産業連関表の投入量が過小であるため修正。	公的統計	生コンクリート統計年報	経済産業省 製造産業局住宅産業窯業建材課	平成 17年	製造設備の混練能力が月産14,000m ³ 以上の事業所	生産動態統計調査	セメント、砂(河川砂、山陸砂、海砂、その他)、砂利(河川砂利、山陸砂利)、碎石、人口軽量骨材、高炉スラグ、その他の骨材
		△:呼び強度別の水セメント比を推計。	調査事例	「コンクリート構造物の環境性能照査指針」(2005年、土木学会)	土木学会 コンクリートの施工性評価小委員会	確認中	全国の生コンクリート製造工場(調査数不明)	ヒアリング調査	セメント水比
		△:呼び強度別の単位セメント量、骨材量、水量を推計。	調査事例	コンクリート標準示方書(施工編)	土木学会 コンクリート委員会 コンクリート標準示方書改訂小委員会	-	-	-	コンクリートの単位粗骨材容積、細骨材率、単位水量の概略値

表 2. 2-2 主要な建設資材に関する公的統計、業界統計等 (3/5)

	使用方法	データ区分	統計・文献名	発行・著者	対象年	調査対象	調査方法	調査項目	
舗装材料	生産量	-:生産額しか把握できないため、使用しない。	公的統計	工業統計	経済産業省 経済産業政策局調査統計部	平成 17年	品目編は3人以下と4人以上の計895事業所)	生産動態統計調査	アスファルト舗装混合材、タール舗装混合材(アスファルトブロック、タールブロックを含む)の生産額
		○:新規合材、再生合材の生産量を設定。	業界統計	アスファルト合材統計年報	社団法人アスファルト合材協会	平成 17年度	1,325工場(回収率96.0%、全国1,381工場(破砕専用10工場及び休止86工場を含む)	業界集計	新記合材(細粒、密粒、粗粒、AS安定、常温合材、改質Ⅰ、改質Ⅱ、高粘度、その他)、再生合材(細粒、密粒、粗粒、AS安定、常温合材、改質Ⅰ、改質Ⅱ、高粘度、その他)
	燃料	○:A重油、B重油・C重油の値を修正。事業用電力の値を修正。	業界統計	アスファルト合材統計年報	社団法人アスファルト合材協会	平成 17年度	1,325工場(回収率96.0%、全国1,381工場(破砕専用10工場及び休止86工場を含む)	業界集計	燃料、電力量
		○:再生骨材製造用のA重油、B重油・C重油、軽油、事業用電力の値を修正。	調査事例	舗装材料の生産に関する環境負荷原単位について、第11回北陸道路舗装会議、2009	新田ら	不明	北海道から九州までのアスファルト合材工場30工場、アスファルト合材統計年報の工場	ヒアリング調査	軽油、電力
	原料	○:A重油、B重油・C重油の値を修正。事業用電力の値を修正。	業界統計	アスファルト合材統計年報	社団法人アスファルト合材協会	平成 17年度	1,325工場(回収率96.0%、全国1,381工場(破砕専用10工場及び休止86工場を含む)	業界集計	再生骨材、天然砂、砕石、その他細骨材、石粉、アスファルト
砕石	生産量	○:砕骨材の生産量を把握。	公的統計	砕石等統計年報	経済産業省 経済産業政策局住宅産業課	平成 17年	採石法第2条に定められた岩石及び鉱業法第3条に定められた鉱物のうち、石灰石、けい石、ドロマイトの砕石を行っている事業者(1,270事業所)。	砕石動態統計調査	道路用(単粒度砕石、粒度調整砕石、クラッシャーラン、スクリーニングス、その他)、コンクリート用(単粒度砕石、砕砂)、その他用(割栗石、その他)
		-	公的統計	採石法施行規則第11条の規定による報告	資源エネルギー庁資源・燃料部鉱物資源課	平成 17年	採石法により報告義務のある採石事業者(2,852事業者、全国3,087事業者)	採石法施行規則第11条の規定による報告	砕骨材(道路用、コンクリート用、砂、鉄道道床用、その他)、石材(切石、間知石割石、割栗石、その他)、工業用原料

表 2. 2-2 主要な建設資材に関する公的統計、業界統計等 (4/5)

		使用方法	データ区分	統計・文献名	発行・著者	対象年	調査対象	調査方法	調査項目
砕石(続き)	燃料	○:灯油、軽油、A重油、B重油・C重油、事業用電力の値を修正。	公的統計	砕石等統計年報	経済産業省 経済産業政策局住宅産業課	平成17年	採石法第2条に定められた岩石及び鉱業法第3条に定められた鉱物のうち、石灰石、けい石、ドロマイトの砕石を行っている事業者(1,270事業所)。	砕石動態統計調査	灯油、軽油、重油、購入電力
	原料	砕石は天然資源であるため、原料は不要。	-	-	-	-	-	-	-
再生砕石	生産量	砕石等統計年報では、H17年については再生砕石の生産量は不明。	-	-	-	-	-	-	-
	燃料	○:砕骨材の単位投入量のうち、橋本ら、土手ら、野口らの調査結果より、事業用電力、軽油、A重油、B重油・C重油の単位投入量を修正。	調査事例	コンクリートがらリサイクルの環境面からの評価、土木学会論文集, No.657/VII-16, 2008	橋本ら	不明	再生砕石製造業者3社(京都府内)	ヒアリング調査	軽油、電力
			調査事例	環境負荷の観点からのコンクリート塊リサイクルの評価、廃棄物学会論文集, Vol.13, No.5, 2002	土手ら	平成9年	宮崎県内及び近郊の再資源化業者6社	ヒアリング調査	軽油、電力
調査事例	コンクリート産業における環境負荷評価の開発及び最適化支援システムの構築に関する研究, 平成19年度廃棄物処理等科学研究費総合研究報告書	野口	不明	首都圏の中間処理場33件、北海道7件	ヒアリング調査	重油、軽油、ガソリン、ガス、購入電力			

表 2. 2-2 主要な建設資材に関する公的統計、業界統計等 (5/5)

	使用方法	データ区分	統計・文献名	発行・著者	対象年	調査対象	調査方法	調査項目
再生砕石(続き)	原料 ○:砕骨材の単位投入量のうち、アスファルトコンクリート塊、コンクリート塊、粒度調整用の砕石の投入量を修正。	調査事例	建設副産物実態調査	国土交通省	平成17年度	公共工事発注機関、民間公益企業、民間企業	アンケート調査	アスファルト・コンクリート塊、コンクリート塊、建設発生木材、建設汚泥、建設混合廃棄物、その他(金属くず、廃プラスチック類など)、建設発生土

(2) 公的統計、業界統計等により把握可能な環境負荷量の割合

後述するように、本研究では、社会資本整備の環境負荷量に及ぼす影響が大きい投入部門を弾力性の分析により抽出し、抽出された各々の環境負荷原単位を物質フローに基づいて算定することに努めた。抽出された部門は、骨材、コンクリート、鉄鋼製品、加熱アスファルト混合物等の建設資材である。従って、これらの主要な建設資材に関して、大部分の物質フローを把握することが重要である。公的統計や業界統計等の利用によって、主要な建設資材の各々の環境負荷原単位(二酸化炭素排出原単位の例)のうち、表 2. 2-3 に示す割合を物質フローに基づき算定することができた。

直接排出の割合が高いセメントやセメントを主原料として用いる生コンクリートでは、9割以上の二酸化炭素排出量を物質フローに基づく積み上げ計算で算出可能であった。アスファルト合材や骨材についても、出荷まで含めればほとんどの環境負荷量を物質フローに基づいて算出することが可能であった。

表 2. 2-3 物質フローに基づき算定した二酸化炭素排出量の割合（一部資材抜粋）

	品目・規格	間接排出			直接排出			合計		
		積み上げ計算	未集計分見込み値		積み上げ計算	未集計分見込み値		積み上げ計算	未集計分見込み値	
セメント	早強ポルトランドセメント	11%	1%	12%	88%	0%	88%	99%	1%	100%
	中庸熱ポルトランドセメント	11%	1%	12%	88%	0%	88%	99%	1%	100%
	普通ポルトランドセメント	11%	1%	12%	88%	0%	88%	99%	1%	100%
生コンクリート	早強ポルトランドセメント	93%	6%	99%	0%	1%	1%	93%	7%	100%
	中庸熱ポルトランドセメント	93%	7%	99%	0%	1%	1%	93%	7%	100%
	普通ポルトランドセメント	93%	7%	99%	0%	1%	1%	93%	7%	100%
ルトアスファルト合材	新規合材	38%	16%	54%	45%	0%	46%	84%	16%	100%
	再生合材	28%	17%	45%	55%	0%	55%	83%	17%	100%
骨材	砕骨石	24%	28%	52%	47%	1%	48%	71%	29%	100%
	再生砕石	15%	75%	90%	9%	1%	10%	24%	76%	100%

※再生砕石は、原材料のセメントによる二酸化炭素吸着分をマイナス値で計上している。

※「間接排出」とは、各建設資材のプラントより上流側の活動に起因するもの、「直接排出」とは、各建設資材のプラントの活動に起因するものを表す。

※「積み上げ計算」とは、公的統計や業界統計等により把握可能な物質フローに基づく計算であることを意味し、「未集計分等見込み値」とは経済フロー等に基づく計算であることを意味する。

2. 2. 3 資本の形成・減耗に関する環境負荷量の考慮

具体的な開発方針は次のとおりである。

- ・建設機械の減耗等については、「建設機械等損料表」における各建設機械の標準使用年数等を勘案しつつ、維持修理、償却、管理にかかわる環境負荷を機械質量別の環境負荷原単位として整備する。それぞれの計算方法は、次のとおり。

維持修理費・・・供用日あたりの維持修理費（建設機械等損料表）に機械修理部門の環境負荷原単位（産業連関表）を乗じることで求める。従って、年間の維持修理費が安いほど、長く使えるほど、使用頻度が高いほど、環境負荷原単位は小さく求まる。なお、維持修理は、機械修理部門のほか、建設機械器具賃貸業部門や自動車修理部門とのアクティビティの関連性が認められる。いずれの環境負荷原単位が最も妥当であるかの検証はなされていない。機械修理部門は建設機械以外の幅広い機械を含むことから、ほかの部門の方が妥当である可能性も否定はできないため、全体として環境負荷原単位が変化する可能性はある。

償却費・・・供用日あたりの機械質量（建設機械等損料表）に建設・鉱山機械部門の環境負荷原単位（産業連関表）を乗じることで求める。従って、質量が小さいほど、長く使えるほど、使用頻度が高いほど、環境負荷原単位は小さく求まる。なお、供用日あたりの環境負荷量は、機械質量と比例する傾向が確認されているものの、その比例定数はいくつかの分布を有している。従って、一律に建設・鉱山機械部門の環境負荷原単位を乗じることは必ずしも妥当とは言い切れないことに留意が必要である。

管理費・・・供用日あたりの管理費（建設機械等損料表）に、建設機械の管理に関する環境負荷原単位（管理費の内訳に関する関係者へのヒアリング及び産業連関表）を乗じることで求める。従って、管理費が安いほど、使用頻度が高いほど、環境負荷原単位は小さく求まる。なお、建設機械によって管理費の内訳が異なる可能性はあるものの、ここでは考慮されていない。

- ・生産設備の資本形成・減耗については、産業連関表の外生部門である固定資本減耗を元に環境負荷量を算定する。

【解説】

維持修理費と管理費に相当する環境負荷原単位は、上述の不確実性に考慮が必要である。また、機械質量あたり供用日あたりの環境負荷原単位を各建設機械について求め回帰させたところ、ブルドーザ（掘削、運土、敷き均し、転圧等に用いる）、バックホウ（掘削、積込み等に用いる油圧ショベル）、ホイールローダ（掘削、積込み等に用いる4輪駆動型の機械）、ラフテレーンクレーン（荷役に用いる機械で移動性に優れた機械）等について、非常によい一致を示したものの、環境負荷原単位が大きく異なる建設機械も見られた。しかしながら、現時点ではその原因を詳細に調べ切れていないことや、使いやすい環境負荷原単位の分割方法の検討が十分ではないことから、1種類の環境負荷原単位を示している。後に示す建設機械ごとの設定値からの乖離に留意する必要がある。

2. 2. 4 現場条件等に応じた環境負荷の差異化を行う計算システムの開発

具体的な開発方針は次のとおり。

- ・一覧表として整備する国内の平均的な環境負荷原単位と比較可能な形で現場条件等に応じた環境負荷量の算定を可能にするため、国内の平均的な環境負荷原単位の算定根拠を明らかにする。具体的には、物質フローを把握し積み上げるものとした投入部門の名称及び数値の設定根拠を示すとともに、計算条件を共通化するために付加した経済フローに基づく定数を示す。
- ・【積み上げ計算の方法】主要な原料や燃料等については積み上げ法による計算を行うものとして、その具体的方法を明らかにするために国内の平均的な数量等の算出に用いた既存資料を示す。
- ・【未集計分等見込み値】その他の原料や燃料等については、国内の平均的な環境負荷原単位の算定にあたって産業連関法を援用していることから、それらの合計値を「未集計分等見込み値」として資材ごとに示す。積み上げ法によって算定された環境負荷量に未集計分等見込み値を付加することで、国内の平均的な環境負荷原単位との比較が可能である。

未集計分等見込み値は定数として付加されるものである。よって、未集計分等見込み値に含まれる原料等の投入量が増えることで、積み上げ計算の対象となる原料等が減る技術等の評価に対して、本手法をそのまま用いることはできない。そのような技術等の評価を行う場合には、通常は未集計分等見込み値に含まれる原料等であっても、積み上げ計算の対象とすることが必要である。

【解説】

現場条件や技術開発に応じた個別の環境負荷量を算出し、全国の平均的な環境負荷原単位等と比較するためには、現場条件や技術開発による投入量の変化を反映する積み上げ計算が必要である。一方、現実的なデータの収集には限界があるため、変化したあらゆるデータを置き換えることはほとんど不可能である。そこで、公的統計や業界統計等によって集計されている活動量は、全体の環境負荷量に対する影響が大きく、かつ、現場条件や技術開発の影響を受けやすいものであると考え、これらの項目を積み上げ計算によって求めることを基本とした。その他の活動については、全国平均値を算定した際の内訳値をデフォルトとして、それらの小計値を未集計分等見込み値として定義する。このようにすることで、積み上げ計算と未集計分等見込み値の合計は、全国平均値と同一の算定範囲を対象としていることになるため、環境負荷量の比較が可能になる。

2. 3 社会資本 LCA 手法の枠組み、及び社会資本 LCI に用いるデータ基盤の特徴

2. 3. 1 社会資本 LCA の枠組みの具体化

前章で示した社会資本整備の特徴及び本章で示した開発方針に沿って、社会資本 LCA の枠組みを具体化する。今後、各社会資本分野の特徴及びこれまでの LCA に関する検討の蓄積を反映しつつ、本枠組みが、マニュアルやガイドライン等の LCA 実施の手引きに反映されていくことが期待される。

なお、製品比較を目的とする LCA 実施にあたっては、「クリティカルレビュー」が求められるものの、本報告書ではクリティカルレビューの具体的手続きまでは述べない。従って、活用用途に応じたクリティカルレビュー手続きの実務的な設計については、今後検討が必要である。

(1) 目的及び調査範囲の設定

1) 目的

LCA 調査の目的が意思決定レベルによって異なることは既に述べたとおりである。目的は各 LCA 調査の実施者が設定するものであるが、記述されなければならない事項について、例えば表 2. 3-1 の整理が参考となる。

表 2. 3-1 施工レベル、設計レベルの LCA 調査における目的の記述例

意思決定レベル	施工レベル	設計レベル
意図する用途の例	<ul style="list-style-type: none">・グリーン購入法に係る特定調達品目の指定や判断の基準の決定・入札契約制度における環境負荷量の評価	<ul style="list-style-type: none">・構造物の断面検討における環境面の評価
調査実施理由	例:A 社において環境負荷の低減を意図した製品が販売可能となったため、特定調達品目の判断基準を満たすことを示す。	例:環境負荷の小さい構造型式、断面形状、工種等の検討
意図する伝達先	特定調達品目の調達者	構造物の発注者
一般に開示されることを意図した比較主張への使用	該当しないと考えられる。 ・いずれも一般品あるいは基準値や、一般的な設計等との比較であり、LCA 実施者自身が直接に競合他社製品等と比較するものではない。	
LCA 実施主体※	特定調達品目の製造・販売者	建設コンサルタント 発注者

※は、ISO 14044 には記載はないものの、LCA 報告書に記載すべき項目。

2) 調査範囲

調査範囲は LCA の目的に見合ったものを設定する必要がある。機能及び機能単位、製品システム及びシステム境界について次に示す設定が考えられる。

- 機能及び機能単位：
調査対象に関する仕様、または上位の意思決定レベルで決定され、前提となる社会資本の機能。
- 調査対象の製品システム及びシステム境界（ライフサイクルの考え方及び環境負荷を調査する活動範囲）：
社会資本のライフサイクルは、既設構造物の解体・撤去を含む工事から供用物の廃止までと設定する。システム境界は、ライフサイクルを通じた物質の入出力に関する遡及的、波及的活動を含むように設定するものとするが、その中で意思決定が及ぶ範囲に限る。意思決定が及ぶ範囲を道路事業の例で示すと、通常は表 2. 3-2 の整理が考えられる。

表 2. 3-2 各意思決定レベルにおけるシステム境界の例

構想レベル	整備及び供用。 波及については、本報告書では言及しないため、LCA 調査の目的に照らして必要である場合には、別途調査が必要である。
設計レベル	整備の構成要素全て。具体的には、資材調達、建設機械の調達・稼働、仮設資材調達。 ここに、調達とは、原料採取～製造、運搬、生産設備の資本形成・減耗等の総称である。
施工レベル	工事の構成要素のうち、施工レベルで意思決定がなされるもの。なお、活用方法によっては、計算の厳密性・正確性（一意性）の観点から絞り込まれる場合がありうる。

- 対象とする影響領域：
対象とする影響領域は、「地球温暖化」、「廃棄物」及び「地形改変」を基本とし、それぞれの評価指標は、二酸化炭素排出量、最終処分量、天然資源投入量とする。

【解説】

① 調査範囲に含まれる具体的な活動

i) 対象とする活動

建設のライフステージにおける環境負荷は、資材等の製造、運搬、施工及び解体・廃棄によるものに大別される。資材等には、建設機械や仮設材等の工事目的物以外に使用する生産手段も含まれる。

社会資本 LCA では、工事目的物の材料や建設機械等の燃料等として使用される資材に係る環境負荷（資源採取、製造、輸送及び燃料の燃焼等）に加え、生産手段（建設機械や仮設材）の使用（減耗）に係る環境負荷を含める。このため、資材に係る環境負荷の算定においても、生産設備の減耗も含める（表 2. 3-3、図 2. 3-1 参照）。

表 2. 3-3 環境負荷の算定対象範囲

段 階		直接的に環境負荷を発生させる行為 (例)	間接的に環境負荷を発生させる行為 (例)		
建設時	解体・廃棄	解体工事	施工機械の燃料消費*	施工機械を製造するために必要な資材・エネルギーの消費(=施工機械の利用に伴う償却)	施工機械の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
		廃棄物の輸送	輸送車両の燃料消費*	輸送車両を製造するために必要な資材・エネルギーの消費(=輸送車両の利用に伴う償却)	輸送車両の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
		廃棄物の処理・処分	処理設備の燃料消費*	処理設備を製造するために必要な資材・エネルギーの消費	処理設備の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
	資材の消費	原料採取	施工機械の燃料消費*	施工機械を製造するために必要な資材・エネルギーの消費	施工機械の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
		輸送(採掘地から工場まで)	輸送車両の燃料消費*	輸送車両を製造するために必要な資材・エネルギーの消費	輸送車両の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
		製品加工	工作機械の燃料消費*	工作機械を製造するために必要な資材・エネルギーの消費	工作機械の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
	資材の輸送(資材調達先から現場まで)		輸送車両の燃料消費*	輸送車両を製造するために必要な資材・エネルギーの消費(=輸送車両の利用に伴う償却)	輸送車両の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
	施 工		施工機械の燃料消費*	施工機械を製造するために必要な資材・エネルギーの消費(=施工機械の利用に伴う償却)	施工機械の製造に必要な工場の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
	併用時	管 理	照明設備等のエネルギー消費	火力発電における燃料消費・や発電過程で必要となるエネルギーの消費等	発電に必要な発電所等の固定資本を形成するために必要な資材・エネルギーの消費
維持補修工事		(建設時と同様)			

*燃料消費に関しては、燃料の消費(燃焼)に伴い直接発生するCO₂などの環境負荷だけでなく、原料となる原油を採掘するために必要なエネルギーの消費や、原油から各種燃料を精製するために必要なエネルギーの消費など、間接的に発生する環境負荷が算定対象範囲となる。

出典：井村（2001）より改変（元の出典は運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所・財団法人港湾空間高度化センター「ライフサイクルアセスメント手法を導入した環境影響評価手法開発調査報告書」）

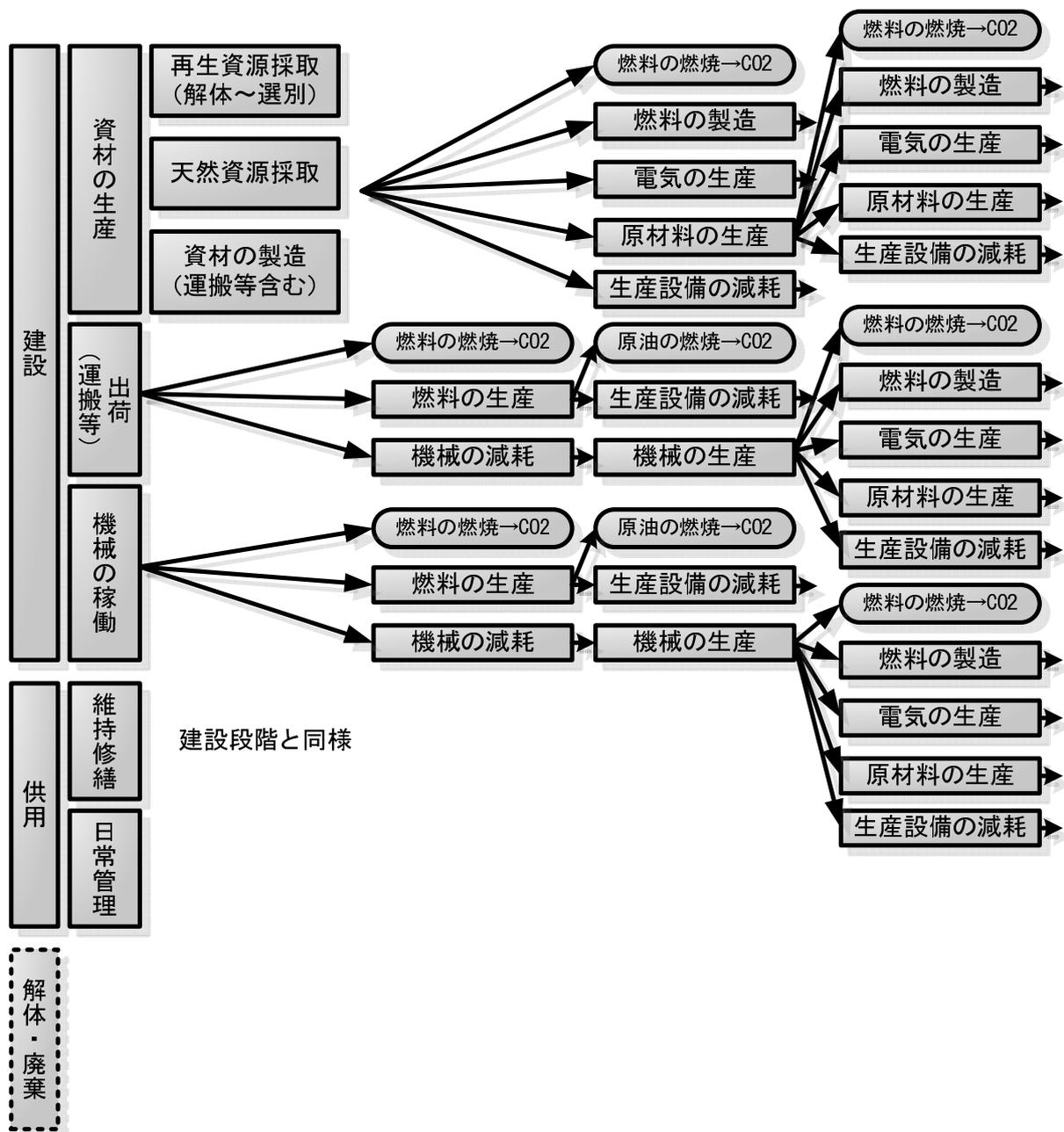


図 2. 3-1 環境負荷の算定対象範囲における活動の連鎖と環境負荷（二酸化炭素）誘発のイメージ

ii) 地理的範囲

LCA の原則 (ISO 14040) の一つが、ライフステージ間やプロセス間での環境負荷のシフトを把握・回避しうるシステム的な観点を意味する「ライフサイクル視点」である。

この基本的枠組みで対象としている地球温暖化等の環境問題でも、国内の排出を減らすかわりに、国外の排出を増やしても、環境影響は緩和されない。よって、地理的範囲としては、国外のみならず、国外での環境負荷も含むものとする。

② 影響領域と本研究で取り扱う環境負荷の関係について

LCA は本来、自然環境、人間健康及び資源の全ての属性ないし側面を考慮することを原則とする (ISO 14040)。社会資本 LCA においても、潜在的トレードオフを把握・評価する視点を持ちつつ、評価対象の特性や活用用途における他の環境評価制度との関係も踏まえて、対象とする影響

領域を選択する必要がある。

ここで、環境負荷が集積・蓄積することで環境影響が生じる環境問題が、LCA の特性を發揮しやすい影響領域といえる。一方、事業実施区域や周辺における地域性の強い環境問題については、これまでも環境アセスメント等で対応がなされてきた。このような実態を踏まえて、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。

温室効果ガスのうち二酸化炭素は、社会資本整備に係る様々な段階から発生し、大気中に蓄積することで地球温暖化の原因となる。また、社会資本整備では、大規模な構造物を建設することから事業区域の外部での天然資源採取に影響を及ぼす一方で、様々な循環資源を直接・間接に受け入れている側面も有する。これらの環境問題は、従来の環境アセスメント等では十分に評価することは困難であった。

よって、社会資本 LCA では、様々な環境問題を網羅的に評価対象とするよりも、まずは、これらの環境問題に限定して実施していくことが効果的・効率的である。

また、本研究では、地球温暖化の防止や循環型社会の形成等、重要かつ喫緊の社会的課題となっており、かつ、色々な段階で様々な主体が関係して全体として対策に取り組むことが必要な環境問題に着目している。ここで対象とする環境問題は、関係者横断的な性格を有する LCA の特性にも合致するものである。その他の影響領域への展開については、既存制度における取扱いも踏まえて、必要に応じて検討していくことが合理的であると考えられる。

i) 地球温暖化

温室効果ガス排出量のうち、わが国で大部分を占める二酸化炭素排出量については、建設活動による誘発効果は約 2 割を占め、直接排出以外の対策の必要性が高いことから、地球温暖化を影響領域として選定する。

温室効果ガス全般が社会資本 LCA での LCI の対象となり得るが、社会資本分野、特に構造物の建設等においては、二酸化炭素の排出量が大部分を占め、それ以外の温室効果ガスの排出は少なく、データ基盤整備対象とする優先順位は低いと考えられる（図 2. 3-2 参照）。そのため、本研究では温室効果ガスについては二酸化炭素に限定してデータ基盤整備を実施した。

なお、下水道分野等においては、 CH_4 や N_2O も重要となる場合があると考えられる。

(参考) 社会資本整備の温室効果ガス排出量に影響の大きい資材の二酸化炭素以外のガスの寄与

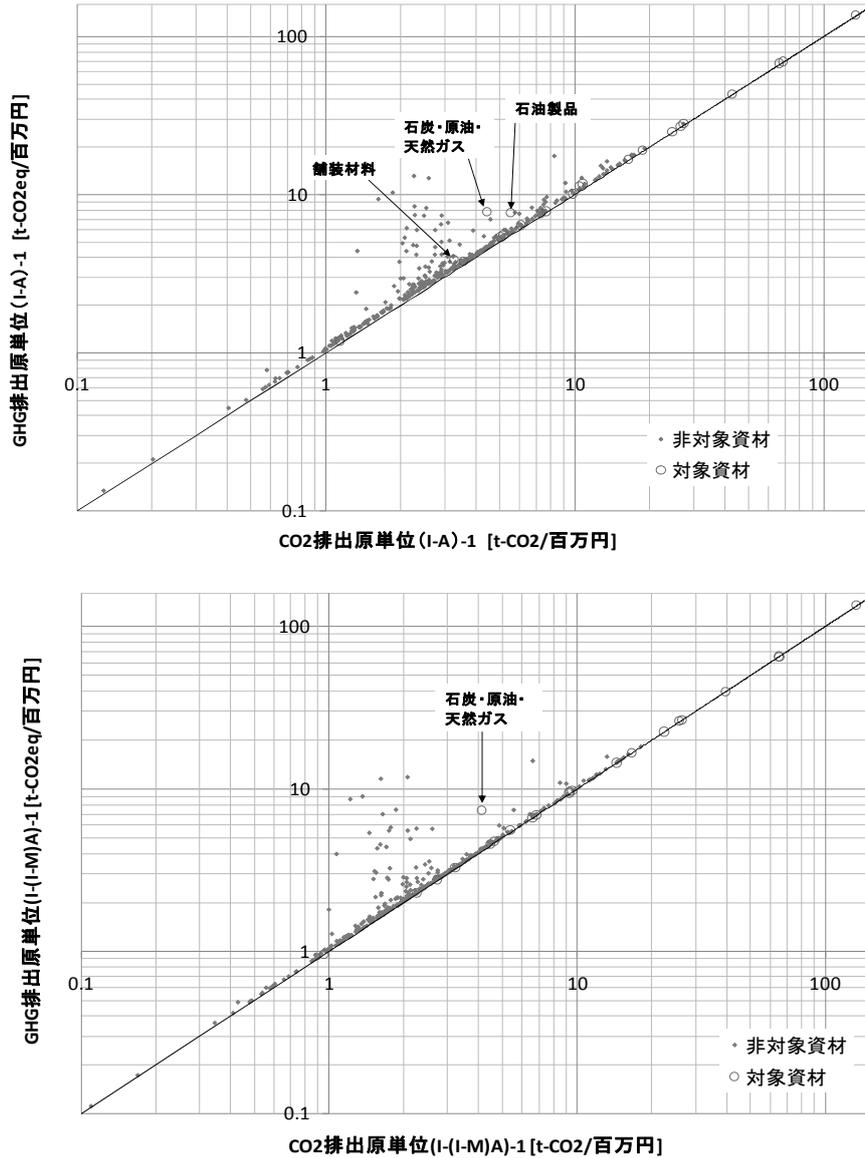


図 2. 3-2 二酸化炭素排出原単位と GHG 排出原単位の比較（上：輸入品国産仮定の場合、下：国内排出限定の場合）

国立環境研究所 3EID2005 年 β + 版を参照し、各産業部門の二酸化炭素誘発原単位と GHG 誘発原単位を比較したもの（百万円あたりの生産者価格原単位）。

図では、社会資本の二酸化炭素排出量に及ぼす感度が高い部門を、「対象資材（○）」として示した。対象資材の中では、「石油・原油・天然ガス」、「石油製品」及び「舗装材料」が $(I-A)^{-1}$ 型（国産仮定型：輸入品の環境負荷は国産品と同等であると仮定するもの）の逆行列による原単位において二酸化炭素と GHG の乖離の比率が大きい。一方、 $(I - (I-M)A)^{-1}$ 型（国内限定型：輸入品の影響を除外し、国産品のみの環境負荷を算定するもの）の逆行列において乖離が大きいのは「石油・原油・天然ガス」部門にとどまる。このことから、①（国産の）「石油・原油・天然ガス」において二酸化炭素と GHG で原単位の乖離が大きく、②国産仮定型の原単位において「石油製品」及び「舗装材料」で二酸化炭素と GHG が乖離しているのは「石油・原油・天然ガス」に由来していること、が分かる。

「石油・原油・天然ガス」について、二酸化炭素以外の GHG の排出要因を確認したところ、「エネルギー・石灰石起源以外」の二酸化炭素と、特に CH_4 の排出量が大きな値となっていた（表 2. 3-4 参照）。従って、 $(I-A)^{-1}$ 型（国産仮定型）で、石油製品と舗装材料で、二酸化炭素と GHG が乖離しているように見えるのは、原油由来で

はなく、天然ガス生産や石炭生産に由来する CH₄ 等が、「石炭・原油・天然ガス」の部門が分離されていないために、みかけ上、誘発されている部分が大きいと考えられる。

よって、本研究のデータ基盤整備において、二酸化炭素のみに限定した原単位を整備する方針で大きな問題はないことが確認される。ただし、石炭・原油・天然ガスについては CH₄ 由来の排出割合が大きく、将来的には原単位の対象ガスを拡大していくことも考えられる。同様に、現在の二酸化炭素排出原単位（国内分）では含まれないフレアリング（漏出）による二酸化炭素排出等についても、国外での排出の設定とあわせて検討することが課題として考えられる。

表 2. 3-4 「石炭・原油・天然ガス」部門の直接 GHG 排出量の構成（二酸化炭素換算量）

直接二酸化炭素排出量	19627
直接二酸化炭素排出量（エネルギー・石灰石起源以外）	37595
直接 CH ₄ 排出量	359892
直接 N ₂ O 排出量	564
直接 HFCs 排出量	0
直接 PFCs 排出量	0
直接 SF ₆ 排出量	0
直接 GHG 排出量	417677

出典：NIES「3EID2005年β版」（E表）

i) 廃棄物

社会資本整備は循環型社会の形成のために大いに貢献しており、循環利用量に占める建設産業の割合も大きいとみられる。

本基本的枠組みでは、再生材利用に伴う廃棄処分回避効果を含めて評価することにより、この視点が計算結果に反映可能である。

なお、建設残土（捨土）は法令上廃棄物には含まれず、政府の循環基本計画等でも、最終処分量として考慮されていない。よって、社会資本 LCA でも最終処分量に含めないこととした。

ii) 地形改変

物質フローに占める建設産業の割合は大きい。大規模な構造物を建設するために大量の資材を調達することがあり、その採取による地形改変等の影響を評価に含める必要があると考えられる。その要因となる環境負荷として、天然資源投入量を算定対象とする。

なお、地形改変という観点からは、土³の採取を含める必要がある。工事積算上、使用する土は、流用土、発生土、購入土、採取土⁴に区分される。地形改変の観点から、購入土、採取土を算定対象とし、他工事からの発生土は使用側では計上しない。事業区域内にとどまる環境負荷について

³ 土の採取量（生産量）の統計はなく、産業連関表においても該当する部門がないとみられ、一般品環境負荷原単位一覧表の整備で直接に原単位を算定することは困難であった。なお、土も調査対象に含めている調査としては、建設副産物調査が挙げられる。

⁴ 一般的に「土の流れ」すなわち採取場所と最終運搬先の組み合わせを基本として、流用土、発生土、捨土、購入土、採取土の5種類に分類されることが多い。【土の利用形態別分類】流用土：自工区内で利用する土、発生土：他工事へ搬出される土、または他工事から搬入される土、捨土：土捨場へ搬出される土、購入土：盛土に利用するため購入する土、採取土：盛土に利用するため工区外で採取する土

は本基本的枠組みでは対象外としているため、自工区内で発生（採取）した土については LCI で計算する天然資源投入に含めないこととなる⁵。これは、社会資本の存在による影響については、既存の環境アセスメントで対象とされていることから、重複を避けるための対応である。

iii) 化学物質

建設に用いる資材については、建設副産物に係るものを中心として、土壤環境基準を超える濃度で溶出するおそれのある場合が報告されているものについては、施工にあたっては予め測定を行い、環境安全性が確認されている。

また、本研究では、資材の数量と環境負荷原単位の積和で環境負荷量を算出する部分が多い一方で、同様の資材間で化学物質に関する環境負荷原単位は変動性が相当大きい可能性もありうる。従って、有害化学物質について、社会資本 LCA では優先順位が低く、今回は対象外とした。

iv) その他の影響領域

その他の影響領域としては、例えば、ヒートアイランド、光化学オキシダント、酸性化、富栄養化等が挙げられるものの、本研究では対象としない。

③ 環境分野の動向に関する留意点（オフセット、グリーン電力）

LCA におけるオフセットの取扱いについては確立した考え方はなく、オフセットクレジットは、社会資本 LCA の対象としない。社会資本 LCA とオフセットクレジットの関係としては、オフセットクレジットを LCI 結果の段階で埋め込むのではなく、LCA の結果を踏まえて、オフセットすべき量を決定する等の性格のものと考えられる。また、二酸化炭素にオフセットを認めるならば、土地改変についても議論が必要となろう。

グリーン電力については、本来算定範囲に含めるべきとの考え方もあるが、実際に反映させるためには検討すべき課題がある。例えば、企業が購入したグリーン電力の工事間の重複排除の確保の措置の必要性や、含めた場合には本研究における一般品環境負荷原単位で算定している電力の二酸化炭素排出原単位等との二重計上の恐れ（仮にグリーン電力が拡大すると数値的にも問題となりうる。）があること等が、課題として挙げられる。

少なくとも証書によるグリーン電力については、カーボンオフセットと同様の課題もあることも考えられ、当面は、LCI の対象外（通常の電力と同一の環境負荷原単位で評価する。）とすることが現実的と考えられる。

ただし、いわゆる「生グリーン電力」のようなものを考えると、今後、電気事業者別の区分方法も検討していく必要もあると考えられる⁶。また、地球温暖化対策推進法に基づく事業者の温室効果ガス排出量の算定等のために、電気事業者別の排出係数が公表されているが、化石燃料の燃焼分のみであり、LCA で用いる環境負荷原単位と整合させるためには、実務的な検討が必要である。さらに、同法では、電気事業者が償却した炭素クレジットを控除した電気の排出係数も「調

⁵ よって、発生土は搬出側、及び搬入側のいずれでも環境負荷として計上しない。

⁶ 本研究で開発した一般品環境負荷原単位において、電気については、電気事業者別に区分化していない。これは、社会資本 LCA の比較評価案では、構造物の立地地域が全く異なることで一般電気事業者が異なる場合の比較は想定しがたく、施工で用いる電気事業者が異なる場合は少ないと考えたことによる。なお、各資材については事業所ごとに製造地域（電力事業者）は異なると考えられるが、現時点で、一般品の環境負荷原単位一覧表にその点を反映させることは容易ではない。また、他の地域差要因と比べてバランスを欠くようにも考えられる。

整備後排出係数」として、実排出係数とあわせて提示するようになっており、このような概念への社会資本 LCA での対応方針は将来的な検討事項である。

(2) インベントリ分析

1) LCI の基本原則

LCI は、原則として、活動量と環境負荷原単位の積和計算によって行う。社会資本分野では積算体系において積和計算が浸透していることから、可能な限り積算体系に一致した活動量を用いるものとし、これに対応する環境負荷原単位を当てはめるものとする。

【解説】

わが国における社会資本整備は、かつては発注者自らが直営により実施してきた。そのためのノウハウとして、ある作業を行う場合に必要となる材料や労務、機械の単位数量が「歩掛（ぶがかり）」として発注者において整理されてきた。現在では、民間企業が施工を請け負っているものの、その予定価格はやはり歩掛に基づく原価の積算が基本となっている。

近年、国土交通省では、従来の積算体系について、合理的・機動的、かつ、統一性・一貫性のある体系への見直しを行い、新しい積算の枠組みを作るため、「新土木工事積算大系」として、体系化を進めている。

新土木工事積算大系の一環として、工事工種の体系化が行われており、図 2. 3-3 のようなツリー構造で階層化が行われている。ただし、工事工種の体系化とは、工事数量総括表について、階層数や階層定義、細分化法等の構成方法、用語名称や単位数量等の表示方法を工種毎に標準化・規格化することを狙いとしたものである。よって、上位の工事工種レベルであるからといって、上位の意思決定レベルで検討される工事工種の構成方法、表示方法と対応しているわけではないことに留意する必要がある。

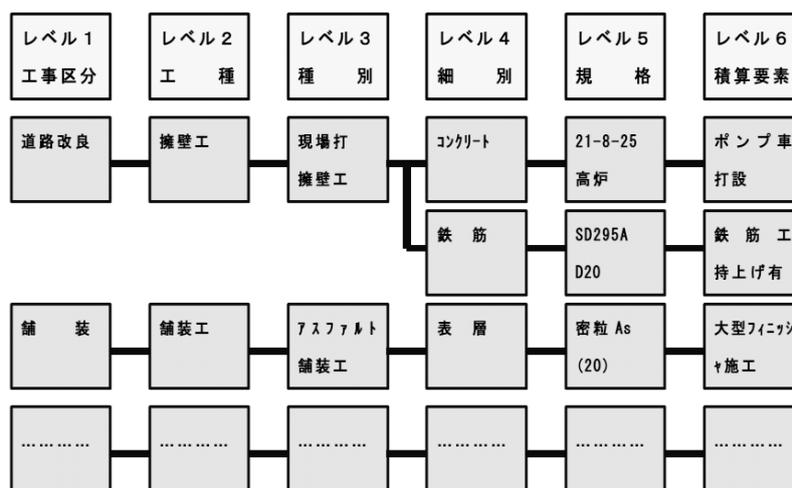


図 2. 3-3 工事工種のツリー構造の例

出典：国土技術政策総合研究所「新土木工事積算大系と積算の実際」

最近では、市場単価方式や、さらにはユニットプライス型積算方式⁷等、材料や機械の歩掛に基

⁷ 工種単位で労務費、材料費、機械経費、及び諸経費込みの取引単価（発注者と受注者（元請企業））を用いる。

づかない形の積算方式も導入されつつある。とはいえ、現状では、従来の積算方式が主流である。

ここで、LCI は、評価対象製品の製造過程等を関連する工程に分解し、各工程が使用している原材料・エネルギーや天然資源・環境負荷物質の単位入出力量を整理し、関連する工程を遡及的に調査・関連づけて、単位入出力量の連鎖から全体の環境負荷量へと「積み上げ」ることにより求められる。

構造物の建設等に必要な材料・エネルギーの使用数量を積み上げる必要がある点では、社会資本 LCI は、工事原価の積算と同様の手順といえる。

他方、社会資本 LCI では、構造物にとどまらず、構造物に用いられる材料の製造原価についても「積算」を実施することが環境負荷量を求めるために必要である。これは、工事原価の積算では材料等の市場価格調査結果の参照や見積もりの徴収に相当する部分であると考えられる。ただし、積算では製造原価の内訳まで調査しているわけではない。この点が社会資本 LCI と積算で調査深度が相違してくる点といえる。しかしながら、LCA 調査においても、現実の分析作業としては、各種材料等の製造工程等を全て遡って LCA 実施者が自ら調査しているわけではなく、評価対象固有で重要な部分の工程は独自に調査し、重要でないかあるいは評価対象に固有ではない一般的な工程の環境負荷量は既存の環境負荷原単位を参照することが通常である。

よって、材料の市場単価等に相当する数値を環境負荷原単位として一覧表に整備すれば、積算と同様の手順で社会資本 LCI を実施することが可能である。

社会資本 LCI による環境負荷量の計算イメージを表 2. 3-5 に示す。資材等の環境負荷原単位による計算は基本的には事業区域外で排出される環境負荷量（資材等の製造工場から発生する環境負荷量）に対応する。建設機械の稼働に係る燃料の燃焼については、建設機械の環境負荷原単位等を用いて材料とは別途計算し加算する。

表 2. 3-5 環境負荷量の計算イメージ

材料	数量	単価	環境負荷原単位		
			温室効果ガス (二酸化炭素排出量)	廃棄物 (廃棄物最終処分量)	天然資源 (天然資源投入量)
品目 1	x1	p1	g1	w1	n1
品目 2	x2	p2	g2	w2	n2
品目 3	x3	p3	g3	w3	n3
.....

・原則としてコスト計算と同様の手順（積和）で計算を行う。

$$\text{環境負荷量 } E(g, w, n) = (\sum x_i \cdot g_i, \sum x_i \cdot w_i, \sum x_i \cdot n_i)$$

活動量は、設計成果等に基づき LCA 実施者が準備する。一方、環境負荷原単位は、既存の環境負荷原単位一覧表からの引用が基本となる。データ収集範囲のイメージを図 2. 3-4 に示す。

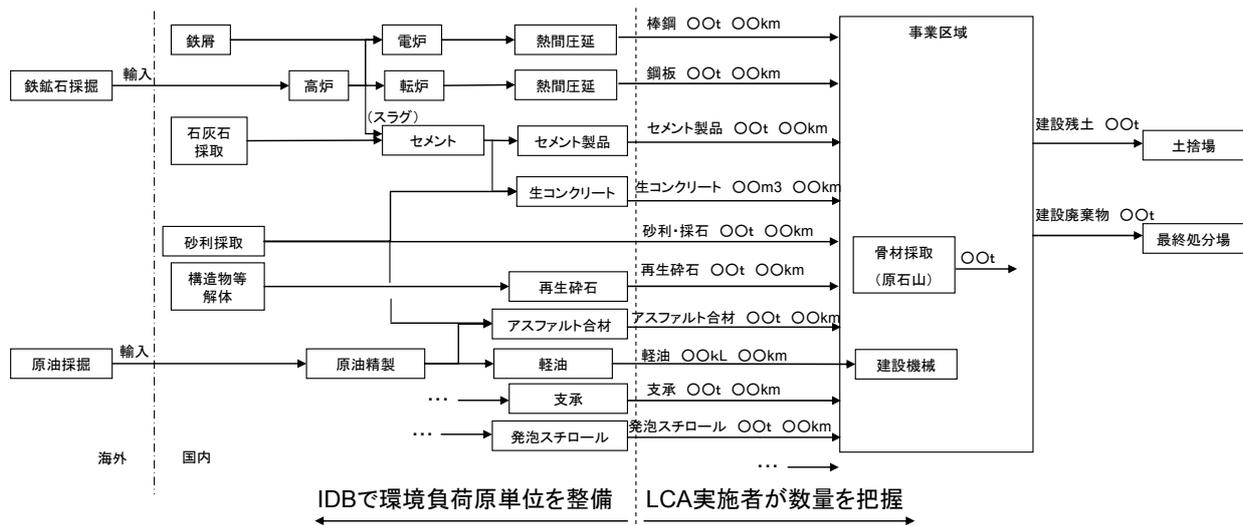


図 2. 3-4 環境負荷量の計算における LCA 実施者のデータ収集範囲（施工レベルの LCA のイメージ）

- ・ 例えば、アスファルト合材の環境負荷原単位は、合材工場の重油燃焼等に伴う二酸化炭素排出量にとどまらず、骨材の採取やアスファルトの精製等の過程を累積した（遡及）したものとして整備する必要がある。
- ・ 環境に配慮した特別な資材等を用いた場合を評価するためには、特別な資材の環境負荷原単位は一覧表には存在しないので、資材供給者からデータ提供を受けて個別品の環境負荷原単位を入手・作成する必要がある。

2) LCI に用いるデータ

①活動量に関するデータ

活動量は、設計成果等に基づき LCA 実施者が準備する。具体的な項目は、設計成果等に基づき用意される内容のほか、評価で求められる厳密性と網羅性の程度に留意して決定する。

②環境負荷原単位に関するデータ

本報告書に示す環境負荷原単位を引用するか、または本研究と同様の手法によって環境負荷原単位を独自に設定する。独自の環境負荷原単位を設定するためには、資材等の供給者が提供する環境負荷原単位を入手・参照するか、もしくは、資材供給者からデータ提供を受けることが必要である。

環境負荷原単位の引用・設定にあたっては、比較対象の間で環境負荷原単位が異なると思われるならば、それらが差別化されている必要がある。それができなければ、結果の限界として、LCA 調査報告書の解釈部分において明記する必要がある。

【解説】

① 活動量の設定

設計・施工レベルにおいて基本とする算定範囲を、工事費の内訳との対応として図 2. 3-5 に示す。実際の社会資本 LCI では、評価で求められる厳密性と網羅性の程度により、この中から算定範囲を限定することもある。

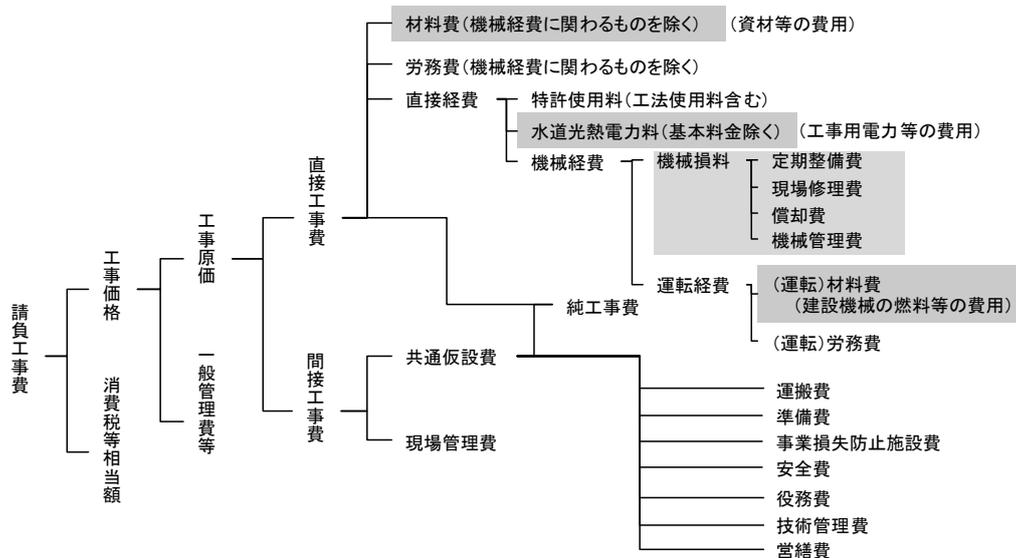


図 2. 3-5 工事費の内訳との対応でみた設計・施工レベルにおいて基本とする算定範囲（網掛け部）

注 1) 評価で求められる厳密性の程度により、この中から算定範囲を限定する。

注 2) 材料費部分については、購入材料及び支給材料を算定対象とし、流用材料は基本的には含めない。

購入（または支給）材料等以外で工事に伴い発生する環境負荷量（採取土の投入量や、現場で発生した建設廃棄物の最終処分量）は、社会資本 LCI 実施者が直接に把握する。

② 環境負荷原単位の引用

目的に見合った環境負荷原単位の選択が重要である。つまり、比較対象の間で異なる材料を一定以上用いている場合に、それらの材料の環境負荷量が有意に異なると思われるならば、それらが差別化された環境負荷原単位を選択する必要がある。それができなければ、結果の限界として、社会資本 LCA 調査報告書の解釈部分において明記する必要がある。

本研究では、一般品の環境負荷原単位一覧表の開発と、個別品の計算手法の開発を行った。また、繰り返し利用される建設機械や仮設材等の施工に関する環境負荷原単位を開発した。

材料の環境負荷原単位は、一般品については既存の環境負荷原単位を参照する。その際は、社会資本分野で用いられる多くの材料は物量基準の環境負荷原単位を優先して用いることが適切であると考えられる。

個別品については資材等の供給者が提供する環境負荷原単位を入手・参照するか、もしくは、資材供給者からデータ提供を受けて個別品の環境負荷原単位を自ら作成する必要がある。これは、工事原価の積算でいえば、既存の市場調査単価を参照するのではなく、見積もりによる単価を設定する場合に相当する。

(3) 影響評価

影響評価（Life Cycle Impact Assessment、LCIA）は、評価対象システムの潜在的な環境影響の大きさと重要度を把握・評価する段階である。LCA の国際規格では、LCIA は、必須要素である「分類化」、「特性化」と、任意要素である「正規化」、「統合評価（重みづけ）」から構成される。

本報告書では、「地球温暖化」、「廃棄物（最終処分）」及び「地形改変（天然資源採取）」を優先的な影響領域として選定する。これらについて規格の必須要素である分類化と特性化を実施する

(表 2. 3-6 参照)。社会資本 LCA にあたってこれらの手続きを意識する場合はほとんど無いと考えられる。なお、任意要素については今後の検討に委ねる。

- 分類化

LCI 結果を各影響領域へ割り当てる。本基本的枠組みで取り扱う環境負荷項目は影響領域との対応関係が明確であるため、実際にはこの手順を特別に意識する必要はない。

- 特性化

LCI 結果を共通単位（評価指標）へ換算し、集計する。本報告書では各影響領域に対して単一の指標を採用していることから、実際にはこの手順を特別に意識する必要はない。なお、二酸化炭素以外の温室効果ガスについても LCI を実施した場合には、温室効果ガス別の地球温暖化係数等を用いて、二酸化炭素換算量に特性化すればよい。

表 2. 3-6 対象とする環境負荷物質の分類化、特性化

LCI 結果における 環境負荷項目	分類化する 影響領域	評価指標（特性化結果）	単位
二酸化炭素（及びその他の温室効果ガス）	地球温暖化	二酸化炭素換算排出量	重量
廃棄物	廃棄物	最終処分量（重量合算値）	重量
天然資源	地形改変	天然資源投入量（重量合算値）	重量

【解説】

LCIA は、表 2. 3-7 に示す手順から構成される。これらのうち、分類化及び特性化は必須要素であり、正規化、グルーピング及び重みづけは任意要素である。（その他の任意要素としてデータ品質分析がある。）

表 2. 3-7 LCIA の構成要素

構成要素	必須/任意	説明
分類化	必須	LCI 結果（環境負荷量）を各影響領域へ割り当てること。例えば、特定フロン（CFC）は、オゾン層破壊原因物質であると同時に温室効果ガスであるので、オゾン層破壊と地球温暖化という二つの影響領域に割り当てられることになる。
特性化	必須	影響領域ごとに、環境負荷項目ごとの環境負荷量と「特性化係数」（地球温暖化であれば地球温暖化係数（GWP）が代表的）の積和を求め、環境影響の評価を行うこと。
正規化	任意	特性化結果を、例えば日本全体で発生している年間影響量（年間環境負荷量の特性化結果）で割ることで、相対的な大きさに変換すること。
グルーピング	任意	特性化や正規化等の影響領域ごとの評価結果について、一つまたは複数のグループに割り当てること。
重みづけ	任意	影響領域ごとの評価結果を重み付けて、単一指標化を行うこと。

LCA の国際規格化が進められた時点では、LCIA 手法は発展途上段階にあり、LCI に比べて、実

施事例が十分に蓄積されていなかった。その後、内外において LCIA 手法の研究開発が盛んに進められた。日本で開発された LCIA 手法としては、経済産業省 LCA プロジェクトによる「LIME」等が挙げられる。

現在では、工業製品の LCA や、企業活動の評価に各種の LCIA 手法が利用される状況となっている。また、構造物を対象とした研究事例においても、このような既存の LCIA 手法を利用した事例がみられる。

(参考) ミッドポイント型手法とエンドポイント型手法 (表 2. 3-8 参照)

LCIA 手法は、近年、大きくミッドポイント型 (問題比較型) とエンドポイント型 (被害算定型) に区分して、論じられることが多い。

ただし、エンドポイント型 (被害算定型) の LCIA 手法においても、特性化 (ミッドポイントレベルの評価) も採用されており、信頼性が相対的に高く、エンドポイント型の評価や重みづけ結果を補完する上で大変有用とされている。なお、エンドポイント型評価 (被害評価) は、広義には特性化に含まれるとみることができ、特性化と重みづけの間に位置するステップであると考えた方が理解しやすいであろう。

表 2. 3-8 LCIA 手法における問題比較型と被害算定型の特徴の比較

	問題比較型	被害算定型
比較項目数	多い(10項目以上)	少ない(5項目以下)
透明性	低い(環境問題を通じて発生する被害のうち、どの被害態様について評価に含めるかが明確ではない)	高い(どの被害態様について評価に含めているのか明示されている)
価値判断の範囲	広い(疫学や毒性学等学術的知見を評価に含めない)	エンドポイントと単一指標化の間のみ
比較対象に関する定量的表示方法	実際の環境影響とは異なる(例：二酸化炭素排出等価量)	エンドポイントの被害量(例：損失余命)
被害評価の有無	含めない	LCIAの1ステップとして評価結果をみることができる

出典：伊坪徳宏・稲葉敦「LIME2－意思決定を支援する環境影響評価手法」社団法人産業環境管理協会、2010

1) LCIA の必須要素 (分類化、特性化)

LCI では、廃棄物や天然資源について、多くの種類の入出力量が計上されるため、特性化を行い、少数の指標に集約することが有用である。二酸化炭素以外の温室効果ガスを対象に含める場合も同様である。

「地球温暖化」については、地球温暖化係数 (GWP) を特性化係数として用いることが一般的である。ただし、GWP は物理定数ではなく、算出時期や評価期間あるいは考慮する効果の範囲により値が異なる。我が国の地球温暖化対策に係る法令や行政計画では、京都議定書に定められた数値 (IPCC 第二次評価報告書に示された GWP100 年値) が用いられている。この GWP は、必ずしも最新の科学的知見に基づくわけではない点で、LCA の原則 (自然科学に基づく決定が国際条約よりも優先される。(ISO14040)) に十分には整合しないとの見方もありうる。とは言え、これを特性化係数として用いることが、現時点では社会資本 LCA の実務上は適すると考えられる。

「廃棄物」及び「地形改変」に関しては、循環型社会形成推進基本計画では、最終処分量 (重量) 及び資源生産性 (GDP÷天然資源等投入量 (重量)) が数値指標とされている。

社会資本 LCA においては、有害廃棄物や重量に比して環境影響が著しく大きい資源投入等が焦点となることは多くないと想定されることを踏まえ、それぞれの重量（廃棄物の最終処分量、天然資源投入量）を影響領域指標とする。

ここでの地形改変は、資材製造に伴う資源採取による地形改変である。前述のとおり、本研究においては、社会資本の存在・供用を評価対象範囲外としており、社会資本の建設工事による地形改変は含まれない。

本来、地形改変を問題とする視点からは、そもそも LCI において地形改変量（土地改変面積）を把握すべきとも考えられる。そのために必要なデータ整備も含めて、将来的な検討課題と考えられる。また、社会資本 LCA においては、地域性が重要となる部分も多いと考えられる。LCI における空間的区分の進展とあわせて、LCIA においても、このような地域性を反映できる LCIA 手法が検討なされていくことが望まれる。

なお、特性化に先だつ分類化（LCI 結果の影響領域への割り振り）では、「地形改変」が資源採取のみを対象とし、廃棄物を対象としていないことから、複数の影響領域に係る LCI 結果はない。

2) LCIA の任意要素（正規化、重みづけ）

① 正規化

正規化することで、解釈における「重要な項目（影響領域）の特定」に資する場合がある。

正規化を実施するためには、対象とする影響領域について、例えば、日本全体の環境負荷量（規格値）の特性化結果が必要となる。

② 重みづけ（統合評価）

特性化及び正規化した後の LCIA 結果は 3 つの指標で表されることとなる。これらの指標を 1 つに集約するためには、影響領域指標間を重みづけて、統合評価を行う必要がある。

重みづけを行うメリットは、影響領域間のトレードオフが解消されることにより、結果の解釈が容易となることである。特に、重みづけ結果が貨幣価値等の既存の尺度で表わされる場合には、解釈の容易性が増す（表 2. 3-9 参照）。

問題点としては、この過程は、手法の選択のみならず、重みづけ係数の値自体についても、主観的な評価に依存することが多い点が挙げられる。とりわけ、地球温暖化等に関しては、問題が長期にわたることを鑑みると、現世代が将来の影響を貨幣価値等に換算する行為について、主観の論拠を用意することは本質的に困難であるとも考えられる。

また、貨幣価値評価を行うことで、LCA による環境面の評価が、経済面の評価に埋没する恐れもある。

本基本的枠組みでは、特性化結果の指標の数が 3 つと比較的少数にとどまることから、重みづけに関する困難点を踏まえると、重みづけを必須とするには至らないと考えられる。

しかしながら、想定されうる用途のなかには、事業評価（費用便益分析）のように、多くの評価項目を貨幣価値で評価することを前提としている場合もある。環境面の評価結果が副次的に位置づけられる場合には、貨幣換算値等を用いて異なる種類の環境負荷量を統合的に評価できることの利便性は認められる。

工事の総合評価等においては、最終的に環境面以外の側面と重みづけるための点数化がおこなわれることとなるが、そのための重みづけは最終的には個別の工事の発注者に委ねられるべきであると考えられる。

表 2. 3-9 生活の質・環境改善とのトレードオフ

トレードオフの種類	例	有効な手法	留意点
A	同一環境負荷間（環境影響に地域性なし） 太陽電池の〔運用時CO2削減〕対〔製造時CO2排出〕比較	LCA（インベントリー分析）	
B	同一環境負荷間（環境影響に地域性あり） 〔脱硝設備のNOx削減〕対〔資材・製造時NOx排出〕比較	LCA（インベントリー分析）	地域による環境影響の差を評価することが課題
C	異種環境負荷 〔排水処理による水環境改善〕対〔運用に伴うCO2排出〕	LCA（インパクト分析） 金銭価値評価	インパクト分析の手法により結論が異なる 地域的な環境影響を把握できるが環境負荷の網羅的把握困難
D	リスク軽減と環境負荷 〔水道による健康リスク軽減〕対〔建設・運用に伴う各種環境負荷〕	被害算定型LCAによる比較 金銭価値評価	受苦者が異なるリスクを比較する際の公平性の問題 リスクの金銭価値変換の問題
E	生活の質と環境負荷 〔街並み整備〕対〔整備に伴う各種環境負荷〕	金銭価値評価	環境負荷の網羅的把握困難。 文化の多様性評価困難

出典：花木東京大学教授（社会資本のLCAに関するシンポジウム、2009）

(4) 解釈

解釈は、分析・評価結果をその限界とともに要約し意思決定の基礎とするための段階であり、社会資本LCAにおいても重要である。国際規格では、「解釈」には、1)重要な項目の特定、2)点検に基づく評価、3)結論、限界及び提言が含まれる。

解釈における実施内容については、活用用途ごとに、ケーススタディ等を通じてさらに知見を蓄積し、そのあり方を明確化していくことが必要な状況にあると考えられることから、LCA実施者は、本報告書や既往事例を参考としつつも、個々の調査目的や内容に応じて、適切な解釈を実施していくことが期待される。

1) 重要な項目の特定

具体的な検討内容及び留意事項は次のとおりである。

- ①LCI及びLCIA結果を、図表等を用いてわかりやすく整理する。
- ②環境負荷量の全体に占める割合を分析し、重要な活動を明らかにする。
- ③複数案の比較では、結果の相違の原因を明らかにすることが重要である。

2) 点検に基づく評価

点検の目的は、LCA結果の確実性と信頼性を検証し、改善することである。国際規格では、次の点検項目が定められている。

- ①完全性点検（解釈に必要なデータが揃っているか）、
- ②感度点検（結論が手法や仮定に影響を受けず、信頼できるものであるか）、
- ③整合性点検（前提条件やデータは目的及び調査範囲と整合しているか）

遡及影響のみを対象とする社会資本LCAに対しては、本報告書に示すデータで完全性は確保されるものと考えられる。

環境負荷原単位等の算定に仮定が含まれる場合には、仮定によって結論が変わらないことを感度点検で確かめる必要がある。

整合性点検については、本報告書に示すデータを適切に運用すれば、満足されるものと考えられる。

環境負荷原単位一覧表は、数値のみならず、LCA 実施者による点検作業を支援するための情報を提供できることが望ましい。

3) 結論、限界及び提言

個別の LCA 調査の限界は、本基本的枠組み自体が有する限界、使用した環境負荷原単位が有する限界、及び LCA 実施者による判断や調査における限界から生じる。LCA 実施者による判断（LCA 実施者が個別に工夫した点）は、調査報告書に記載する必要がある。

【解説】

1) 重要な項目の特定にあたっての留意事項

複数案の比較においては、結果の相違が何に起因するものなのかを明らかにすることが重要である。例えば、同一の材料で使用量が違うことによる差である場合には比較結果の信頼性は高いと考えられる一方、異なる材料で環境負荷原単位が違うことのみによる差である場合には、環境負荷原単位の限界によって結論の確からしさが左右される。

なお、本基本的枠組みでは、異なる影響領域の統合評価（重みづけ）は基本的に行わない。このため、評価結果において影響領域間でトレードオフが生じた場合には、どのような結論を導けばよいか問題となる。

2) 点検にあたっての留意事項

評価においては、次に示すような点検を実施することが考えられる。

① 完全性点検

環境負荷原単位を当てはめることができたカバー率（重量、価格）を点検する。ある資材等について環境負荷原単位が利用できない場合に、他の資材等の環境負荷原単位で代用した場合には、両者を区別してカバー率を整理することも有用であろう。

② 感度点検

採用した前提条件や手法、データの違いが結果に及ぼす影響を分析する。例えば、環境負荷原単位を適用するために行った単位の換算値その他重量等の推計方法の違いによる感度、LCI において特別な配分を実施した場合にはその方法による違いによる感度、あるいは、輸送距離等を仮定した場合にはその違いによる感度等を点検する。

③ 整合性点検

例えば、比較する複数案において差異のある部分に対して、信頼性の異なる環境負荷原単位が使われていないか等を点検する。

本基本的枠組みで提示した LCI 手法では、事業実施区域外の多くの活動が誘発する環境負荷量の推計は、LCA 実施者自身の調査ではなく、環境負荷原単位一覧表の値を用いて計算することになる。このため、環境負荷原単位一覧表が点検作業を支援するための情報を提供しなければ、LCA 実施者が感度点検や整合性点検を十分に実施することは難しい。そこで、例えば、LCA 実施者による感度点検や整合性点検を支援するために、環境負荷原単位の一覧表において、数値のみならず、データ品質に関する情報が提供されることが望ましいと考えられる。

3) 結論、限界及び提言にあたっての留意事項（本研究成果を参照する場合に生じうる限界）

個々の LCA 調査における適切な解釈の実施に資するために、本基本的枠組み自体の限界、及び本報告書で示す環境負荷原単位の限界を次に示す。

① 本研究の調査範囲から生じる限界

繰返し述べているとおり、本研究においては社会資本整備の遡及分のみを扱っている。従って、波及分に対して影響する意思決定を実施するレベルにおいては、本報告書に基づく環境負荷量の算出のみで意思決定の判断材料としてはならない。

② 開発方針から生じる限界

将来における材料のリサイクルの反映等については、異なる考え方にに基づき算定を行うことも可能であり、本報告書で掲げ、環境負荷算定に用いた方針が合理的であるとの社会的合意は確立されていない。もとより、本研究で開発した環境負荷原単位は、リサイクルシステムが異なる材料間の比較を行う趣旨のものではないことから、もし LCA 実施にあたって材料間の環境負荷原単位の差異にのみ基づく比較がなされるならば、結果の解釈では特別の注意が必要である。

また、社会資本 LCA の目的に照らして、国外活動も含めて環境負荷量を計上し、環境負荷原単位一覧表を整理している。国外活動に起因する環境負荷量は、主要なものについては既存文献を調査の上で引用し、その他は輸入率が十分に低いとして国内と同一の値を見込んだ。従って、調査データを直接利用しているわけではなく、一定の仮定に基づいていることから、正確性は国内活動に比べて低い。LCA 実施の結果、排出内訳において国外分の寄与が大きい場合には、その部分の結果の信頼性は相当程度低いものとして結果を解釈する必要がある。

③ 開発した環境負荷原単位の限界

本報告書では、利用者の便宜のために、積算に用いられる一般的な材料名に即した名称で環境負荷原単位一覧表を整理した。環境負荷原単位の積算体系に即した名称変換にあたっては、同様の材料については同一の環境負荷原単位数値を当てはめられると仮定しているものの、実際には、厳密に同一ではない。もとより、同一の材料においても製造設備、技術、原材料等の違いにより環境負荷原単位は変動する値である。従って、本報告書に示された数値を類似品に引用する際には、算定根拠が個別の LCA 実施主旨に適したものであるかの観点からも解釈が必要である。

2. 3. 2 社会資本 LCI のためのデータ基盤の改良

従来の LCI 用データ基盤に関する課題に対して、本研究の開発方針に沿った改良を実施した。改良されたデータ基盤の特徴として、次のものが挙げられる。

- ・算出手法の共通化
- ・環境負荷削減効果の見える化
- ・活用用途別環境負荷原単位一覧表の整備
- ・影響の大きい環境負荷原単位の更新簡素化・迅速化

改良されたデータ基盤の特徴、及び改良の具体的手順を示す。なお、既に述べたとおり、データ基盤構築の基礎的作業は施工レベルに関するデータの作成であることから、特に断らない限り、本項においては施工レベルに関するデータ基盤を想定した記述とする。

また、従来のデータ基盤において見落とされていた、セメント系材料による二酸化炭素固定量に関する独自の調査を実施し、再生砕石の二酸化炭素排出原単位に反映した。

【解説】

(1) データ基盤作成の全体像

施工レベルにおける LCA であれば厳密さが求められるため、資材等の環境負荷原単位を積み上げていくことが必要である。しかしながら、構想レベル、設計レベルにおいては入手可能な情報が概略的であることから多くの仮定が必要であり、また、環境負荷を網羅的に把握することが求められることから資材等の環境負荷原単位を積み上げることは大きな労力を必要とする。LCI 実施者の負担軽減のため、手法の簡素化、省力化を考慮する必要がある。

そのため、施工レベル用に開発した資材等の環境負荷原単位を集約することで工種あたり、構造物あたりの環境負荷原単位を整備する。一般的な工種、構造物の環境負荷原単位を用いて計算できるようにすることで、LCI 実施者の負担を軽減する。

本研究では、図 2. 3-6 に示す階層的な環境負荷原単位を整備した。社会資本整備は、構想レベルから施工レベルへと進むにつれ、検討範囲が狭まり、同時に、検討の詳細度が増す。一方、環境負荷量は、資材の環境負荷原単位を基盤として、より高次の環境負荷原単位を組み立てながら、上位の意思決定レベルほど集約的な方法で算出されることになる⁸。資材、工種、構造物の順に下層の環境負荷原単位の積和により算定する。

なお、新土木工事積算大系での工事工種の階層を参考に、階層的な環境負荷原単位を提示した既存研究としては、(木嶋ら、2006)⁹が挙げられる。

⁸ 「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 No. 579、2010) では、工事数量に対応した原単位を、組立原単位と呼んでいる。

⁹ 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」、土木技術資料、48、60-65、2006

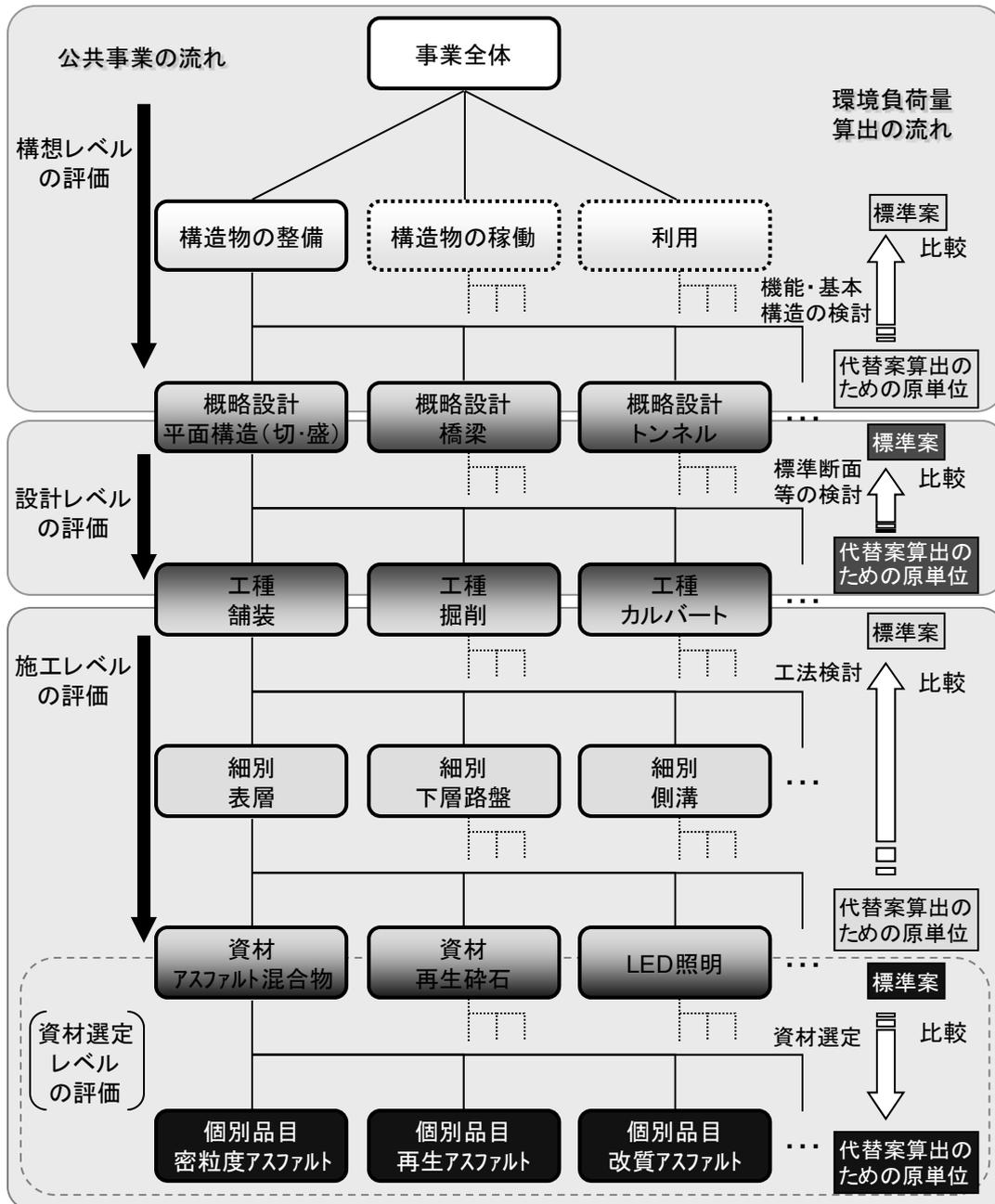


図 2. 3-6 階層的な環境負荷原単位

1) 資材製造に関するデータ基盤作成方法

社会資本 LCI に用いる資材等の環境負荷原単位は、使用される資材間でライフサイクルの考え方が統一されている必要がある。システム境界も資材間で統一され、かつ、個別の取組による国内の平均的な環境負荷量からの環境負荷削減量を算出できるようにする必要がある。また、次々と開発される新技術に対応できるように、最新のデータへ素早く簡単に更新できる仕組みが必要である。

そこで、社会資本整備の環境負荷原単位の算定において、感度の高い重要なフロー（主要部分の物量）については公的一次統計や業界統計等の物量データを用い、これを産業連関表の物量表、金額表で補完することにより、積み上げ法の長所である精度、更新性と産業連関法の長所である網羅性、整合性とを両立させた環境負荷原単位算定手法を開発し、主要資材を含む「一般品」の環境負荷原単位を一覧表として整理した（図 2. 3-7 参照）。

なお、資材製造工場の設備等の損耗分の環境負荷量を含めた場合についても算定し、建設機械等と資材の一般品環境負荷原単位との間で算定範囲を整合させた。

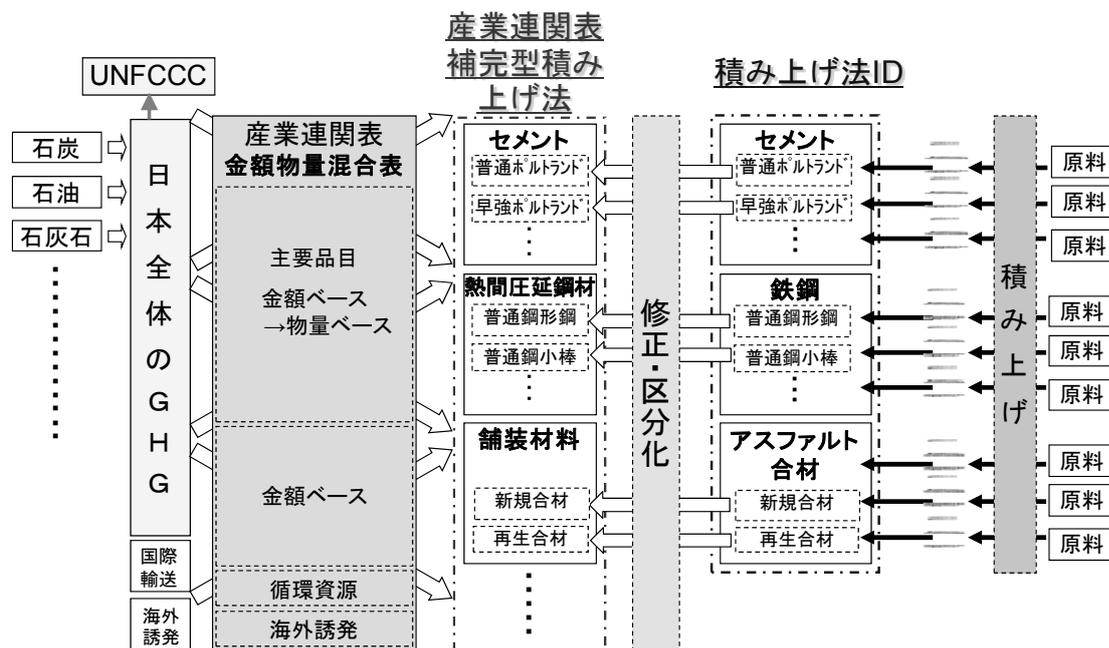


図 2. 3-7 産業関連表補完型修正積み上げ法と積み上げ法の関係

社会資本整備に関係する設計者、施工者、資材製造者等が、環境負荷の削減効果のある資材の選択、開発等を行った場合は、その取組みを評価できるようにする必要がある。そのためには、比較対象となる一般品の環境負荷原単位と共通の計算手法によって個別品の環境負荷量を算出可能とすることが必要である。

そこで、個別品の環境負荷原単位は、環境負荷量に占める割合や変動が大きい原燃料等について積み上げ法により計算し、それ以外の環境負荷量について一般品と同じ定数（未集計分等見込み値）を付加することで環境負荷量を計算するものとする（図 2. 3-8 参照）。

資材あたりの環境負荷原単位に対して影響の大きい原燃料等を積み上げ法によって計算することで、独自の取組みの効果を反映することが可能である。また、未集計分等見込み値を付加することにより、計算範囲の共通化が実現するため、一般品や代替品との計算結果の比較が可能である。

(2) 算出手法の共通化

算出手法については、国外活動も含めたあらゆる遡及的活動の網羅、配分手法の具体化、リサイクルによる回避プロセスの具体的設定を実施することで共通化し、社会資本 LCI 実施者による計算条件の相違が生じないものとした。

1) 国内活動の取扱い

先に述べたとおり、環境負荷量の算出範囲は、産業連関表の調査範囲に一致させることで共通化している。産業連関表の調査範囲は国内の経済活動の範囲を網羅していると考えられるため、積み上げ法では追い切れない活動に伴う環境負荷量を含めた算出が可能になっている。

2) 国外活動の取扱い

社会資本整備に直接・間接に関連する活動の範囲は概ね国内に閉じていると考えられるものの、一部の原料、燃料については、国外活動の影響が重要であると考えられる。本報告書では、国外でなされる活動について、以下の方法によって取り扱った。

- 輸入割合が一定以上高い等、国外での活動が全体の環境負荷量に及ぼす影響が一定程度見込まれる、原油、鉄鉱石、石炭については、国外における原料採掘と国際輸送に係る環境負荷量を付加した。
- その他の製品については、輸入割合が低かったり社会資本整備への投入量が小さかったり、影響はわずかであると考えられたことから、輸入品と国産品の環境負荷は同等であると見なした。

3) 循環資源の利用に関する取扱い（配分と回避）

① 配分

- 他産業由来副産物・廃棄物については、社会資本整備へ利用するための搬出、加工等の活動によって発生する環境負荷量を計上する。
- 建設副産物については、解体・撤去以降の環境負荷量を新規の社会資本整備に計上する。

② リサイクルによる代替活動の回避の取扱い

社会資本整備においては大量の他産業由来副産物・廃棄物や建設副産物を受け入れていることから、これらを再利用することによる社会的影響を評価可能とした。すなわち、リサイクルによって回避された廃棄物最終処分等のプロセスに起因する環境負荷量を控除するものとした。回避プロセスの具体的設定は、実態との一致に注意して、次の方法によって行った。

- リサイクル用途が複数あり、建設業に利用されないならば他の産業等へリサイクルされる場合、他の産業等へのリサイクルプロセスを回避するものとする。具体例として、高炉水砕スラグについては、輸出の実績がセメント原料代替に次いで多いことから、セメント原料代替に用いる場合には輸出を回避しているものとした。
- リサイクル方法が単一で、建設業に用いられないならば最終処分される場合、最終処分を回避するものとする。

【解説】 特になし

(3) 環境負荷削減効果の可視化

施工レベルにおける環境負荷量の算出については、具体的な資機材の規格や調達先等の現場条件を変えた場合の計算を実施可能にすることが必要である。本研究では、環境負荷原単位の算定を物量データに基づく手法にすることで、1) 詳細な品目区分で環境負荷原単位の比較を可能にするとともに、2) 個別の現場条件等を考慮した環境負荷原単位の算定手法を標準化した。これらの対応によって、環境負荷量の削減効果の見える化が可能になった。

1) 詳細な品目区分による環境負荷原単位の算定

物量フローに基づいた算定とするため、公的統計や業界統計等を用いた環境負荷原単位を整備した。具体的な検討は以下の手順で実施した。なお、社会資本整備全体の環境負荷量に対する感度が高い建設資材のみを対象とした。

① 対象とする主要資材の抽出

各活動により直接的に排出される環境負荷量、または各部門間のフローの変化による、社会資本整備に関連する総環境負荷量の感度（弾力性）を指標とし、弾力性が一定以上の製品を、「変動した場合に LCI 結果に及ぼす影響が大きい」主要資材として抽出した。環境負荷の項目は、二酸化炭素、廃棄物最終処分、天然資源投入とし、判断の基準となる弾力性は 0.015 とした。

その結果、骨材、セメント、生コンクリート、鉄鋼製品、アスファルト混合物が主要資材に抽出された。これらの主要資材による社会資本整備に関連する総環境負荷量（遡及分）のカバー率は、二酸化炭素排出量、天延資源投入量、廃棄物最終処分量のいずれについても 8 割を超えた。

② 主要資材の物質フローの修正・区分化

主要資材は社会資本整備に関連する総環境負荷量に及ぼす影響が大きいことから、それらの環境負荷量の算定は物質フローに基づくものに修正した。具体的には、公的統計や業界統計によって物質フローを作成し、埋められないフローのみ産業連関表で補完するものとした。産業連関表で補完した活動に起因する環境負荷量は、算定範囲の共通化のために必要な仮定値であり、「未集計分等見込み値」と名付けた。

その結果、主要資材の環境負荷量（二酸化炭素）の多くを物質フローに基づいて算定することが可能になるとともに、製品の分類を建設事業者が区別するレベルに近いものまで細分化することができた。

【解説】

社会資本 LCI 結果において、環境負荷量に及ぼす影響が大きい品目の環境負荷原単位を精度良く計算することができれば、排出量の大部分を精度良く計算できることになる。

このような社会資本に用いられる頻度、環境負荷量等を考慮した上で品目を選定する手法として、弾力性分析がある。すなわち、環境負荷量の算定精度の観点からは、「分布が幅広く（変動が大きく）」、かつ、「変動した場合に LCI 結果に及ぼす影響が大きい」部分について正確かつ詳細な環境負荷原単位を算定することが重要であると考えられる。このうち、「LCI 結果に及ぼす影響が大きい部分」は、産業連関表に基づく環境負荷量算定に関する弾力性分析により、大まかな特定が可能である。

本研究では、国土交通省所管公共事業を中心とする社会資本整備部門（産業連関表の「道路関係公共事業」と「河川・下水道・その他の公共事業」に相当）の環境負荷原単位の弾力性の評価を行い、対象品目を選定する。

使用する産業連関表は、産業連関表のシステム境界をデフォルトとして使用しつつ、付帯物量

表で把握できる部分は物量の取引量に置き換えた、社会資本用金額物量混合型産業連関表（2005年表）とする。

弾力性は、「資材の投入係数及び直接環境負荷量の変動率」と「評価対象の環境負荷量の変動率」の比である。この弾力性の大きい投入係数等を有する品目を主要な建設資材として選定した。

弾力性の定義式と、本研究で用いた実際の計算式は表 2. 3-10 に示すとおりである。定義式はパラメータの任意の変動量に対する一般解であるため、実際の計算は一次近似（1 階微分）して解析的に一つの解を算定するものとする。

表 2. 3-10 弾力性の定義と計算式

	弾力性の定義	実際の計算式 ¹⁰ (一次近似による計算式)
直接排出係数 (e) の弾力性	$S_i^k = \frac{\Delta \varepsilon_k / \varepsilon_k^0}{\Delta e_i / e_i^0}$ 式(2-6)	$S_i^k = \frac{\bar{b}_{ik} e_i^0}{\varepsilon_k^0}$ 式(2-7)
投入係数 (A) の弾力性	$S_{ij}^k = \frac{\Delta \varepsilon_k / \varepsilon_k^0}{\Delta a_{ij} / a_{ij}}$ 式(2-8)	$S_{ij}^k = \frac{\bar{a}_{ij} \varepsilon_i^0 \bar{b}_{jk}}{\varepsilon_k^0}$ 式(2-9)
式の説明等	直接排出量の変動 (Δe_i) もしくは投入係数の変動 (Δa_{ij}) に伴い、第 k 部門の環境負荷原単位 (ε_k) が変動するときの、基準値における e_i もしくは a_{ij} の変動率に対する ε_k の変動率の比とした。	弾力性の定義式を 1 次近似 (1 階微分) とした解析的計算式を用いる。これにより、入力量の変動率の設定が不要となり、弾力性は一定値となる。

注：表記の説明

環境負荷原単位：下記の計算式による。

$$\varepsilon = e^T (I - A)^{-1} \quad \text{式(2-10)}$$

n ：部門数

ε ：各部門の環境負荷原単位ベクトル（うち、「社会資本整備」部門等に着目）

e ：各部門からの直接環境負荷係数ベクトル（二酸化炭素直接排出量，天然資源投入量¹¹）

A ：投入係数行列（金額基準または重量基準。 $n \times n$ の正方行列） ※国産仮定型

S_i^k ：直接排出係数の弾力性

S_{ij}^k ：投入係数の弾力性

a_{ij} ：投入係数行列の要素

$$\bar{b}_{ij} = \left[(I - \bar{A})^{-1} \right]_{ij}$$

¹⁰本藤祐樹・酒井信介・丹野史郎「産業連関表を用いて推計された CO₂ 排出原単位の感度分析」エネルギー・資源、22(4)、322-328、2001

¹¹ 天然資源投入部門について生産単位数量あたりの重量を要素とし、その他の部門は 0 であるベクトル。

2005年の金額物量混合型産業連関表で、社会資本整備部門を対象に弾力性を計算し、0.015を基準として主要なフローを抽出した。その結果は図2.3-9～図2.3-12に示すとおりである。0.015を基準とした抽出により、社会資本整備部門の二酸化炭素排出原単位の85.5%、天然資源投入原単位の96.3%、最終処分原単位の83.9%をカバーすることができる。なお、このカバー率は、社会資本整備からの直接分と、資材等の生産による間接分の環境負荷量を含んだ値である。なお、土については、採取土（土地改変－天然資源）及び建設残土（最終処分）のいずれも、計算対象として含めていない。

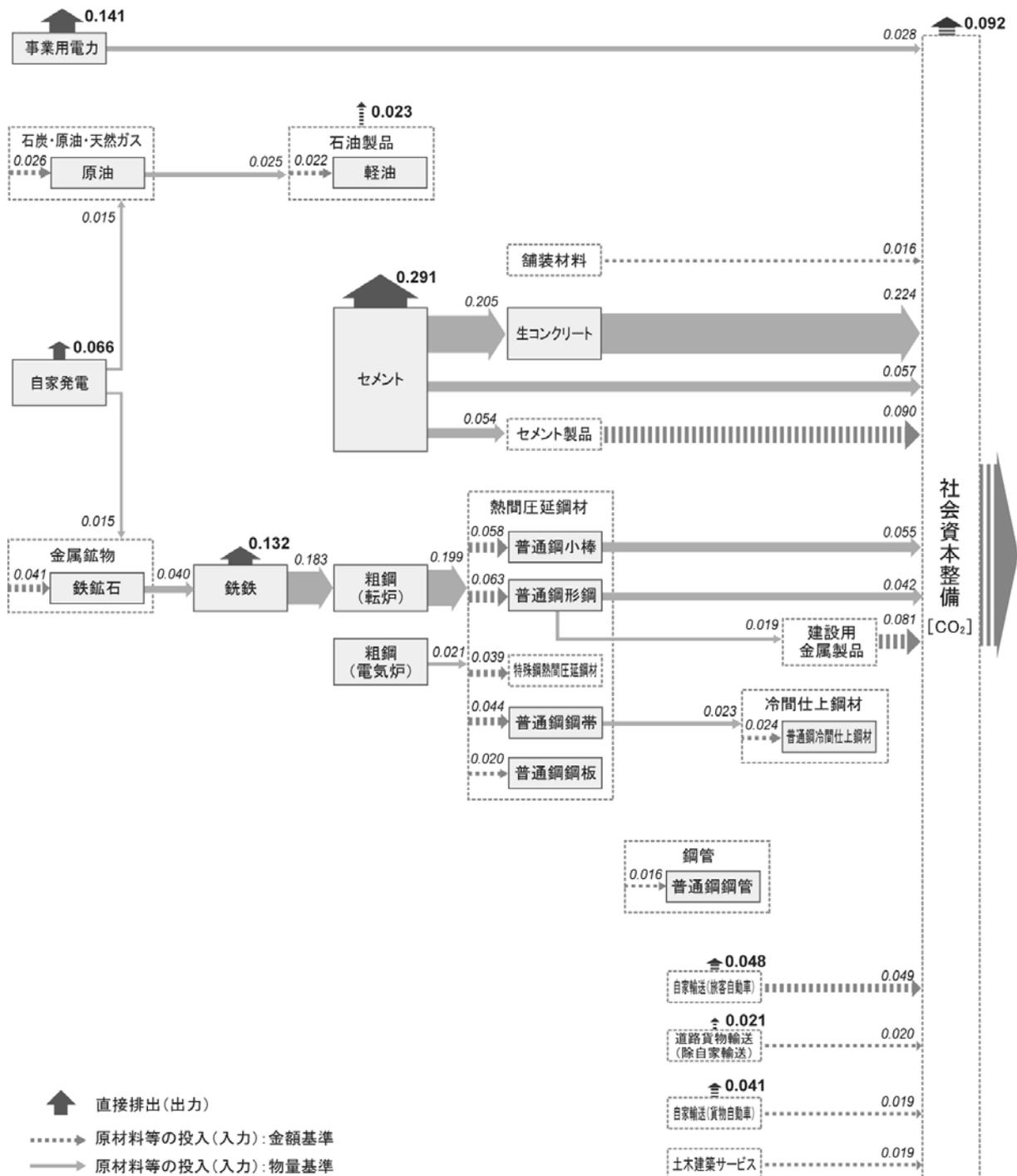


図 2.3-9 2005年 金額物量混合表 社会資本整備 二酸化炭素 (弾力性 0.015 以上)

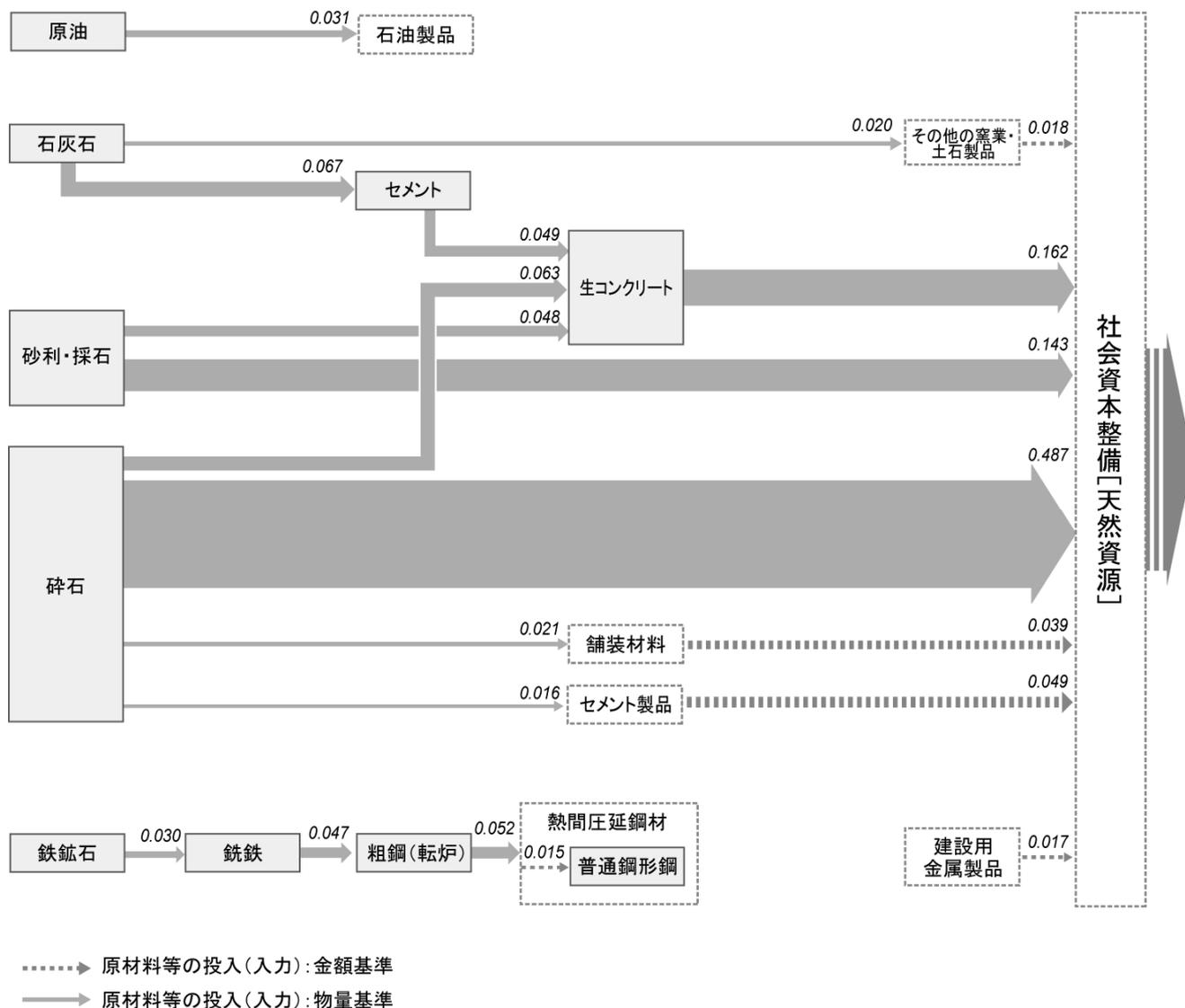


図 2. 3-10 2005 年 金額物量混合表 社会資本整備 天然資源 (弾力性 0.015 以上)

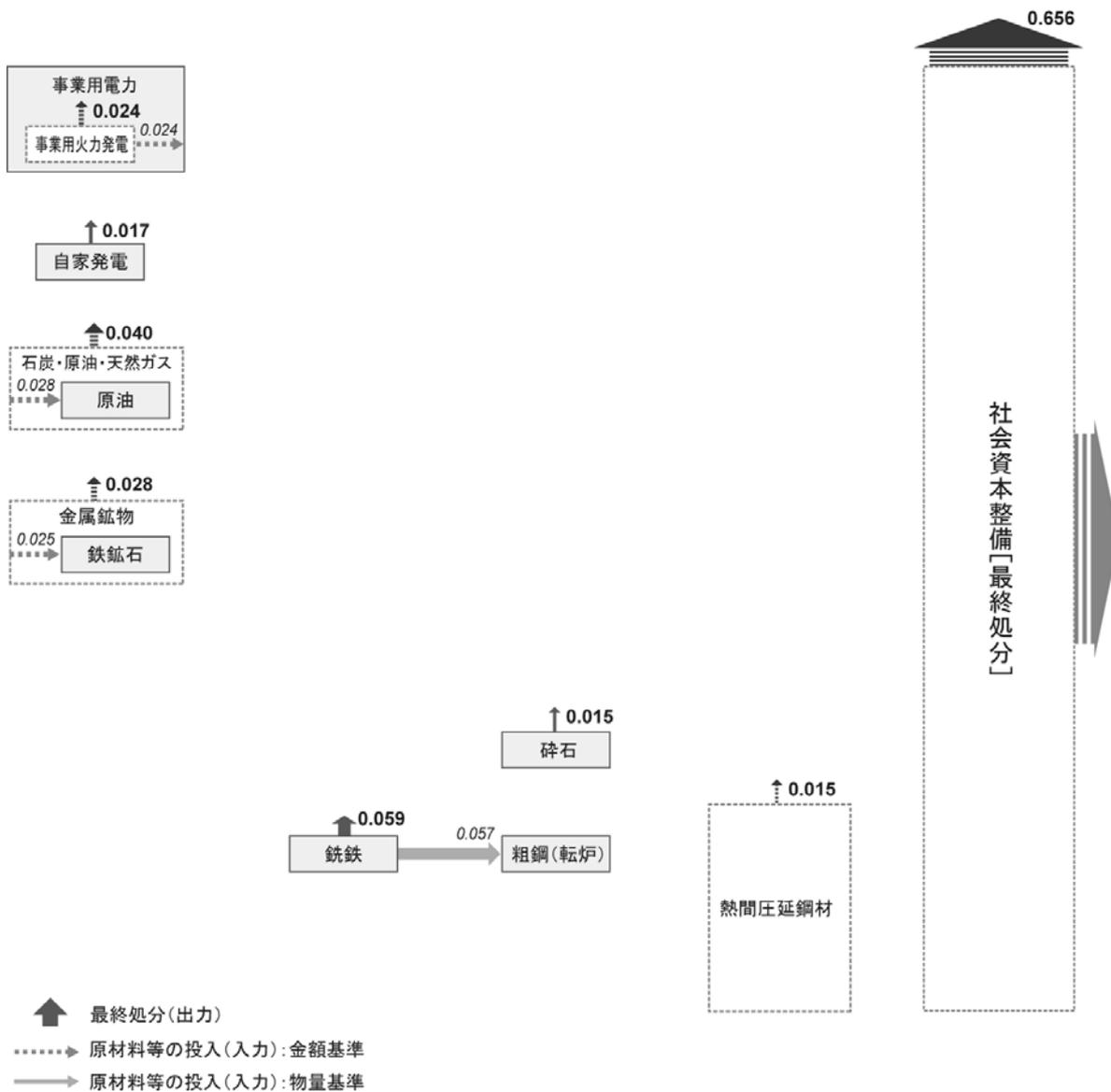


図 2. 3-11 2005 年 金額物量混合表 社会資本整備 最終処分 (弾力性 0.015 以上)

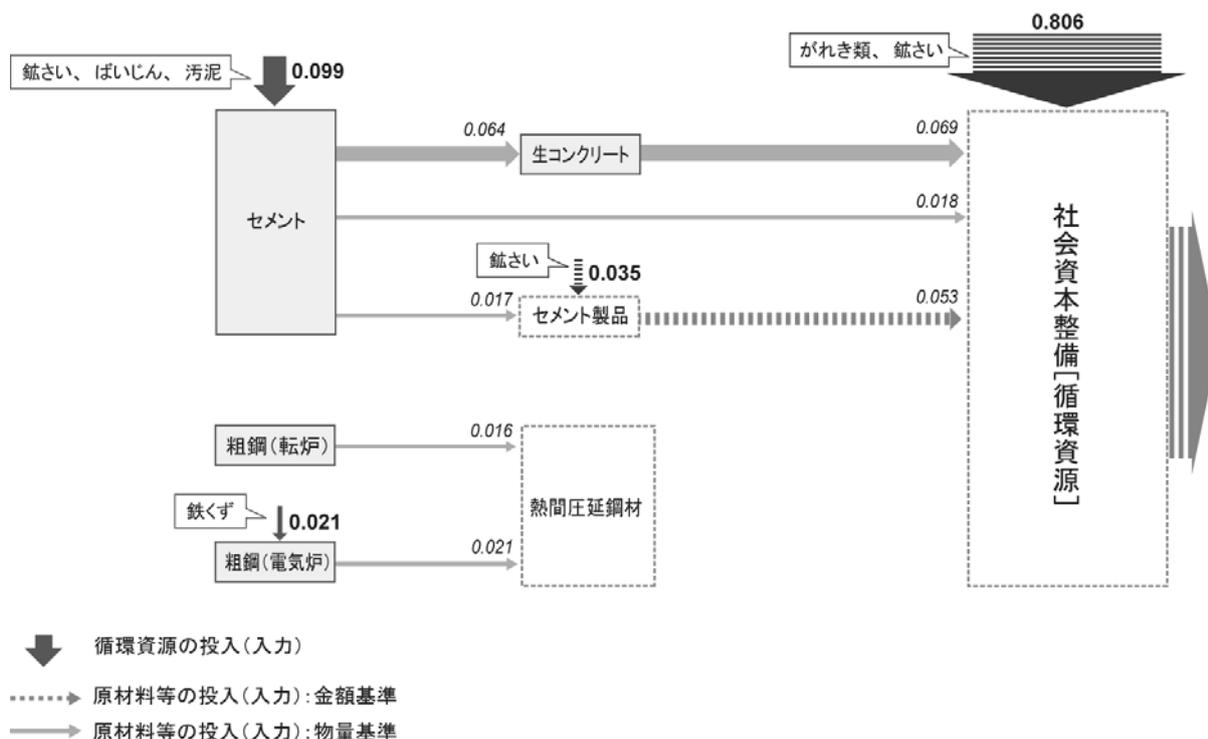


図 2. 3-12 循環資源投入の弾力性

注) 環境省循環利用量実態調査に基づき簡易的・一律的に循環資源投入量を設定した段階で弾力性を評価した。二酸化炭素等と同様に、本図の段階では、資材ごとの検証(修正・区分化)はまだ実施しておらず、最終的には、修正・区分化に伴い、作図結果は変更される。

例えば、がれき類(アスファルトコンクリート塊等)については、直接道路関係公共事業に投入する設定としているため、舗装資材(再生合材)への投入量が本図では表現されていない。

2) 個別の現場条件等を考慮した環境負荷原単位の算定手法の標準化

調達先の製造工場等、現場に固有の条件に応じて環境負荷を算定する手法を標準化した。具体的手法は次のとおりである。

- ・ 公的統計や業界統計で物質フローを作成した活動について、引用した統計と同様の手法によって調査した個別の工場等の物質フローを作成し、当該部分の環境負荷量を積み上げる。
- ・ 積み上げ法によって算出した環境負荷量に、未集計分等見込み値(定数)を付加する。

この手法は、調査対象となる企業等の範囲が異なるものの、基本的には一般品の環境負荷原単位算定手法と同じであり、物質フロー作成にあたって、公的統計や業界統計の代わりに、同様の手法で調査された個別の工場等の数値を代入しているに過ぎない。よって、公的統計や業界統計から作成した全国平均値との比較が可能である。

【解説】

未集計分等見込み値は、環境負荷原単位算定の範囲を共通化するために付加するものである。従って、公的統計や業界統計等を用いて数値の置換えを実施した活動以外が含まれる。未集計分等見込み値が材料全体の環境負荷量に及ぼす影響は、主要資材に関する限りでは大きくないことを確認している。

(4) 活用用途別環境負荷原単位一覧表の整備

社会資本 LCI 実施にあたっての、作業負荷の軽減、及び計算の一貫性の確保の狙いから、活用用途別の環境負荷原単位一覧表を整備した。具体的には、1) 積算体系等の製品区分に合致した環境負荷原単位整備、2) 工種別、構造型式別等、上位レベルにおける利用を想定した環境負荷原単位整備である。

1) 社会資本整備分野の資料に合わせた環境負荷原単位の変換

施工レベル用の環境負荷原単位作成に用いた公的統計や業界統計と、社会資本整備実施にあたって利用される積算体系等では、材料等の製品区分が厳密には一致していない。本研究は社会資本整備の実務者に利用されることを想定しているものであることから、公的統計や業界統計を元に算定した環境負荷原単位を積算体系に則った製品区分に名称変換する作業を実施した。

2) 上位レベルにおける利用を想定した環境負荷原単位整備

社会資本整備は、構想レベルから施工レベルへと進むにつれ、検討範囲が狭まり、同時に、検討の詳細度が増す。一方、環境負荷量は、資材の環境負荷原単位を基盤として、より高次の環境負荷原単位を組み立てながら、上位の意思決定レベルほど集約的な方法で算出されることが精度を高める観点から望ましいと考えられる。

この考えに従って、設計レベル用、構想レベル用の環境負荷原単位一覧表を整備した。先ず、施工レベル用の環境負荷原単位（資材別、建設機械別等）を、新土木工事積算体系等を参照して工種レベルに集約し、設計レベル用の環境負荷原単位とした。さらに、設計レベル用の環境負荷原単位を構造型式レベルに集約し、構想レベル用の環境負荷原単位とした。

【解説】 特になし

(5) 影響の大きい環境負荷原単位の更新簡素化・迅速化

環境負荷原単位のデータ基盤整備に用いた公的統計や業界統計の多くは、毎年（度）更新されている。一方、環境負荷量の算定範囲の設定にあたって基本とした産業連関表は5年に一度の更新である。よって、公的統計や業界統計を利用することで、環境負荷原単位の数値の更新頻度を上げることができる。設計レベルや構想レベル用の環境負荷原単位は、その集約過程において施工レベル用の環境負荷原単位と関連づけられていることから、資材別の環境負荷原単位だけでなく、工種別、構造型式別の環境負荷原単位も毎年度更新が可能である。

よって、社会情勢や技術革新等による環境負荷原単位の変化に対して、従来よりも迅速かつ簡易な更新が可能である。

【解説】

公的統計や業界統計によって毎年更新可能な数値だけを更新することの妥当性について、セメント部門の二酸化炭素排出原単位を対象にして確認した。

2000年の金額物量混合型産業連関表の一部を2005年の値で置き換えた場合のセメント部門の二酸化炭素排出原単位を計算し、2005年本来の値と比較した。ここで、2000年表の数値を2005年表の値に置き換えた原燃料は、積み上げ法により数値を修正した原燃料であり、投入係数を2005年の値に置き換えている。投入量に乗じる二酸化炭素排出原単位は2000年表と同様の値を用いている。

結果を表 2.3-11に示す。2000年表を2005年の数値で置き換えた二酸化炭素排出原単位は0.766 t-CO₂/t であり、2000年表の二酸化炭素排出原単位の0.693t-CO₂/t から大きく増大し、2005年表

の二酸化炭素排出原単位である 0.758t-CO₂/t に近づいている。なお、2000 年から 2005 年で値が大きく増大している主な原因は、2005 年では一般炭・亜炭・無煙炭の単位投入量が増加したことである。

この比較において、2005 年数値との近似は、一部を 2005 年の値で置き換えた方がよい結果を得ている。セメント部門に関しては、積み上げ法により修正した原燃料からの排出量が全体の排出量の大部分を占める。セメントのように積み上げ法で把握する部分からの排出量が多い資材については、公的統計や業界統計を用いた環境負荷原単位の更新は妥当であると考えられる。

他方、公的一次統計や業界統計を用いた更新であっても、1 年以上前の環境負荷原単位となることは避けられない。従って、特異的な事象が生じることで、1 年前の数値が現在の数値と大きく異なると考えられる場合には、逐一更新は現実との乖離をかえって大きくする方に作用しうる。環境負荷原単位更新にあたっては、個々の数値の変化に特異的な事象が影響していないかについて、精査が必要である。

表 2. 3-11 更新性を高めることによる二酸化炭素排出量の再現性の試算（セメントの例）

	単位	2000年金額物量 混合表	2000年金額物量 混合表を2005年の 数値で修正	2005年金額物量 混合表		
		単位投入量(※/t)	単位投入量(※/t)	単位投入量(※/t)		
積み上げ計上分	投入量	自家発電	百万kWh	5.45E-05	5.12E-05	5.12E-05
		事業用電力	百万kWh	1.59E-05	4.39E-05	4.39E-05
		石炭	t	5.29E-02	7.74E-02	7.74E-02
		A重油	kl	7.26E-05	2.44E-04	2.44E-04
		B重油・C重油	kl	1.05E-03	1.85E-03	1.85E-03
		石灰石	t	1.02E+00	7.84E-01	7.84E-01
		セメント	t	4.82E-03	1.58E-03	1.58E-03
		碎石【屑】※	千t	—	—	4.47E-05
	原燃料消費量	石灰石	t	1.03E+00	1.03E+00	1.03E+00
		一般炭・亜炭・無煙炭	t	5.29E-02	7.74E-02	7.74E-02
		原料炭	t	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		A重油	kl	7.26E-05	2.44E-04	2.44E-04
		B重油・C重油	kl	9.54E-04	2.70E-03	2.70E-03
		石油コークス	t	1.42E-02	1.14E-02	1.14E-02
		廃油※	t	—	—	6.07E-03
		廃プラスチック	t	7.12E-09	4.10E-03	4.10E-03
		廃タイヤ	t	4.32E-03	2.46E-03	2.46E-03
廃材	絶乾t	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
生産量	t	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00		
直接CO2排出原単位	排出原単位計	t-CO2/t	0.641	0.707	0.712	
	積み上げ計上分	t-CO2/t	0.638	0.704	0.707	
間接CO2排出原単位	排出原単位計	t-CO2/t	0.052	0.059	0.081	
	積み上げ計上分	t-CO2/t	0.043	0.051	0.071	
誘発CO2排出原単位	排出原単位計	t-CO2/t	0.693	0.766	0.793	
	積み上げ計上分	t-CO2/t	0.681	0.754	0.778	

※2000 年金額物量混合型産業連関表では、部門または原燃料を設定していないため数値を示していない。

※表に示した主要項目以外の単位投入量と投入量に乘じる二酸化炭素排出原単位は 2000 年のままである。

(6) コンクリートの炭酸化が建設資材の二酸化炭素排出原単位及びライフサイクルを通じた二酸化炭素排出量に及ぼす影響

－本研究における調査で新たに発見され、具体的対応が定まっていない課題

コンクリート（セメント水和物）は、大気等の周辺環境中の二酸化炭素を固定する作用があるものの、これまでその定量的な知見の蓄積は十分になされてこなかったため、LCI に反映することが困難であった。セメント、生コンクリート、コンクリート製品については、構造物の供用中における二酸化炭素固定を考慮しない LCI は、ライフサイクルを通じた二酸化炭素排出量を過大に見積もっている懸念がある。また、コンクリート塊等を再資源化した再生砕石については、資材製造段階において二酸化炭素固定が進行することから、この固定量を二酸化炭素排出原単位に反映することが妥当である。

本研究において、コンクリート塊の破碎直後の試料を対象に全国調査を実施した限りでは、コンクリートの供用中、再資源化時の二酸化炭素固定量は次のとおりであった。なお、ここで言う「コンクリートの供用中」とは、厳密には、解体工事やコンクリート塊の中間処理場・最終処分場への搬出・運搬等を含んだ期間であることに留意が必要である。

- コンクリートの供用中：15.2kg-CO₂/t-コンクリート（セメント換算で、約100kg-CO₂/t-セメント）
- 再生砕石等への再資源化時：8.5kg-CO₂/t-コンクリート塊

コンクリートの供用中の固定量については、ライフサイクルの取扱いが定まっていないことから、二酸化炭素排出原単位一覧表に反映できていない。従って、ライフサイクル等長期の二酸化炭素排出量の比較を目的として本研究成果を用いる場合には、供用中の二酸化炭素固定量について別途考慮が必要である。

【解説】

1) コンクリートによる二酸化炭素固定のメカニズム

コンクリートの練混ぜによって、セメント中の各化合物と水は、水和反応と呼ばれる化学反応を起こす。この水和反応の生成物をセメント水和物という。代表的なセメント水和物は、けい酸カルシウム水和物 ($n\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ 、C-S-H)、水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CH)、エトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)、モノサルフェート水和物 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) である（エトリンガイトは、セメント中のアルミネート相と呼ばれる化合物とせっこうの水和生成物であり、それ自体と未水和のアルミネート相の反応によってモノサルフェート水和物に次第に変化する。）（図 2. 3-13参照）。

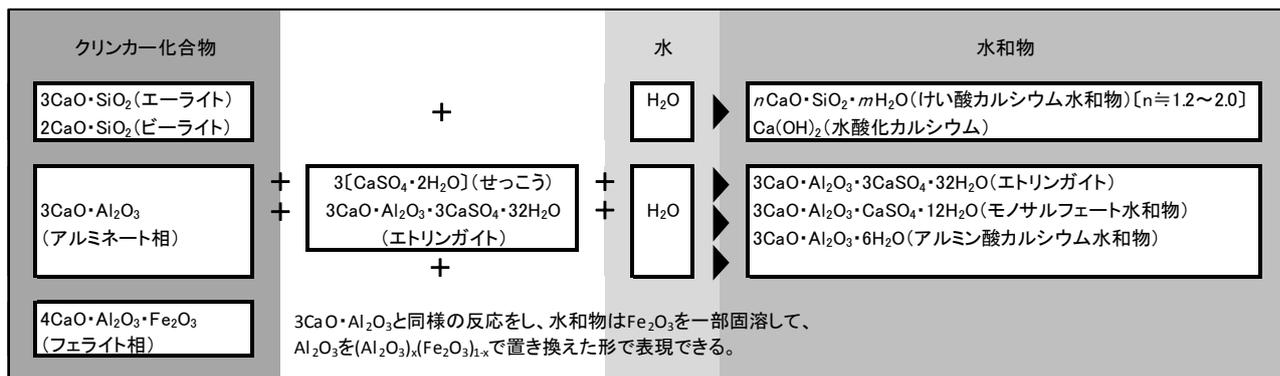


図 2. 3-13 セメントの水和反応

出典：社団法人セメント協会「セメントの常識」を元に作成

これらのセメント水和物は、pHが概して高い。フレッシュなコンクリートではpHは約12.5である。コンクリートの微小な毛細管を進入してきた二酸化炭素は、コンクリート内部の水に溶けて、炭酸イオン等のイオンになる。これがセメント水和物由来のカルシウムイオンと反応し、 CaCO_3 を生成し、コンクリート中に固定される（図 2. 3-14参照）。

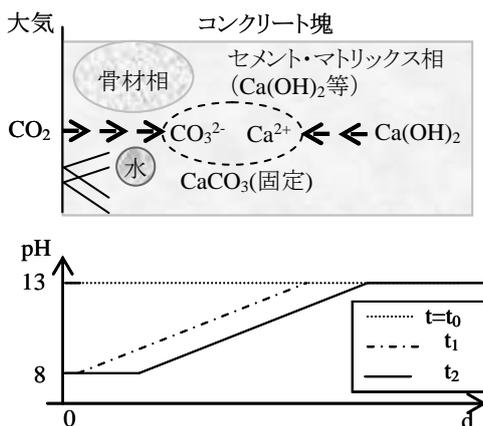


図 2. 3-14 コンクリートの炭酸化機構

最も容易に二酸化炭素を固定するのは水酸化カルシウムである。水酸化カルシウムによる固定が進行すると、コンクリート内部のOH濃度が低下し、OH濃度を保つためにけい酸カルシウム水和物等のイオン化が引き起こされ、二酸化炭素を固定する。

水酸化カルシウムとけい酸カルシウム水和物によるコンクリートの二酸化炭素固定は、簡略的に以下の反応式で表せる。



コンクリート塊の再資源化においては、再生砕石に望まれる所定の粒度分布を得るため、破碎が行われる。破碎によってセメント水和物の比表面積が増大し、かつ新しい断面は炭酸化が進行していないフレッシュな状態がほとんどであることから、二酸化炭素固定速度が上昇する。

2) 本研究で実施した調査概要

コンクリート塊の受入れ、及び再生砕石の製造を行っている中間処理工場から再生砕石を収集し、炭酸カルシウム含有量の測定結果から、二酸化炭素固定量を算出するものとする。コンクリート構造物の利用中の二酸化炭素固定量と再資源化による二酸化炭素固定量をそれぞれ求められるように、既往研究を参考にし、破砕直後の試料の炭酸カルシウム含有量（利用中の固定を示す）のほか、破砕後に一定期間の大気暴露を経た試料の炭酸カルシウム含有量（利用、及び再資源化の総固定量を示す）を測定する。破砕後の暴露は、中間処理工場における製品化から出荷までの期間を再現するものである。再資源化による二酸化炭素固定量は大気暴露による炭酸カルシウム含有量の増分から算出する。また、既往研究との比較を可能にするとともに、粒径5mm以上の粗大粒子による二酸化炭素固定に関する知見を得るため、CC含有量の測定は、5mm未満の粒群、5-20mm未満の粒群ごとに実施するものとする。本調査における再資源化による二酸化炭素固定量の定義は図 2. 3-15に示すとおりである。

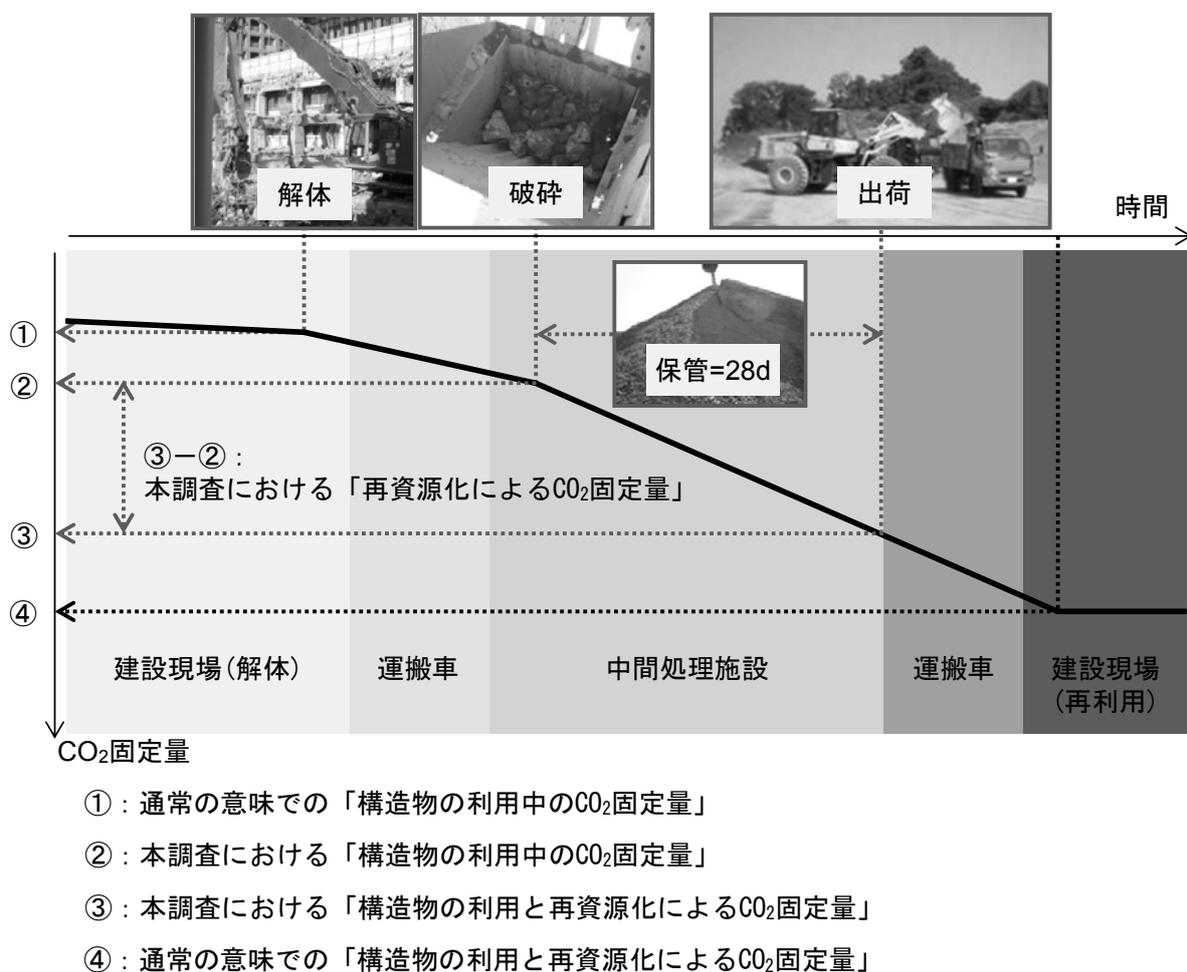


図 2. 3-15 再資源化による二酸化炭素固定量の定義

① 対象試料の収集

測定に供する再生砕石試料は、45都道府県の46工場から収集した。試料収集工場は、アスファルト・コンクリート塊の混入を極力抑えられること、試料収集が日常業務の支障とならないこと等を条件に選定した。選定した工場において、RC40を基本に、製造ライン上または製品山から破

砕直後の試料を採取し、粒度が均質となるように四分法、またはその他の手法を用いて約25kgまで縮分した。ただし、測定のためには一定量以上の微粒分が必要であることから、微粒分を優先的に採取した場合もある。採取した試料は、直ちに厚手のビニール袋とペール缶で密封し、大気との接触を断った状態で速やかに実験室に送付した。

② 再資源化による二酸化炭素固定量算出のための前処理

実験室に到着した試料は、物理試験用、化学試験用、二酸化炭素固定量試験用に分割した。二酸化炭素固定量試験用は、さらに、即時分析用試料 (0d) と大気暴露後分析用試料 (28d) に分けた。28d用の試料については、空調を一定に管理 (温度約20℃、湿度約50%) した実験室内において、28日間の大気暴露を実施した。暴露時間は、中間処理工場における破碎から出荷までの仮置き期間に関する既往知見を参考に定めた。大気暴露中は、国内における平均的な降雨頻度を考慮し、一週間に2度の散水を実施し、散水後の含水比を約15%に調整した。また、大気暴露中における室内の二酸化炭素濃度を計測し、400ppm程度でほぼ安定していることを確認した。なお、炭酸カルシウム含有量分析に供するための微粉碎は、微粉碎後の二酸化炭素固定を防ぐため、試料を窒素雰囲気中で乾燥させた上で実施した。

③ 分析項目、手法

分析項目、手法を表 2. 3-12に示す。分析項目は、炭酸カルシウム含有量のほか、炭酸化の進行を示すCH含有量、炭酸化に影響を及ぼすと考えられる、粒度分布、セメント含有量 (不溶残分、Ca0から推計) 等とした。粒度分布を除く分析項目については、対象を粒径20mm未満の粒径に限った。炭酸カルシウム含有量は、示差熱分析 (TG-DTA) により測定した。事前に実施したTG-MS試験の結果から、450-500℃における質量変化をCH中のH₂Oの脱水、600-1000℃における質量変化を炭酸カルシウムの脱炭酸によるものとみなした。二酸化炭素固定量は、炭酸カルシウム含有量から式(2-13)により、セメント含有量は、不溶残分量、及びCa0含有量の測定結果から、式(2-14)、式(2-15)により推計した。

$$CO_2 = CC \times \frac{M_{CO_2}}{M_{CC}} \quad \text{式(2-13)}$$

$$a = \frac{u_m}{u_a} \times 100 \quad \text{式(2-14)}$$

$$c = \frac{CaO_m - a \times CaO_a / 100}{CaO_c} \times 100 \quad \text{式(2-15)}$$

ここで、 CO_2 : 二酸化炭素固定量、 CC : 炭酸カルシウム含有量、 M : 分子量、 a : 骨材量、 u : 不溶残分量、 c : セメント含有量、 $Ca0$: $Ca0$ 含有量であり、添え字 CO_2 、 CC 、 a 、 c 、 m 、はそれぞれ、二酸化炭素、炭酸カルシウム、骨材、セメント、コンクリート (再生砕石) を表す記号である。石灰石骨材が利用されていると考えられた試料については、試験方法の性質上セメント含有量を過大に見積もってしまうため、結果の整理では除外した。

表 2. 3-12 分析手法

分析項目	対象試料	分析手法	結果の利用
CaCO ₃ (CC)	0d、28d/2粒群	示差熱分析 (TG-DTA)	二酸化炭素固定量
Ca(OH) ₂ (CH)			炭酸化進行
粒度分布	0d	JIS A 1102、舗装再生便覧	二酸化炭素固定量との関係
不溶残分	0d/2粒群	セメント協会F-18	セメント量推計、二酸化炭素固定量との関係
CaO (C)			
含水比	0d/28d	JIS A 1203	乾湿繰返し状況の把握

3) 調査結果

① 粒度試験

粒度試験の結果を図 2. 3-16に示す。多くの試料の粒度分布は再生クラッシュラン (RC40) の望ましい粒度範囲に分布し、平均もこの範囲に収まった。0-5mmの粒群と5-20mmの粒群の割合は、質量でそれぞれ平均的に、32%、44%であった。なお、再生クラッシュランの望ましい粒度範囲よりも細粒側に分布している試料も散見されるものの、これは主として、分析に必要となる量の試料を得るためにあえて細粒分を多めに採取した試料もあったためである。

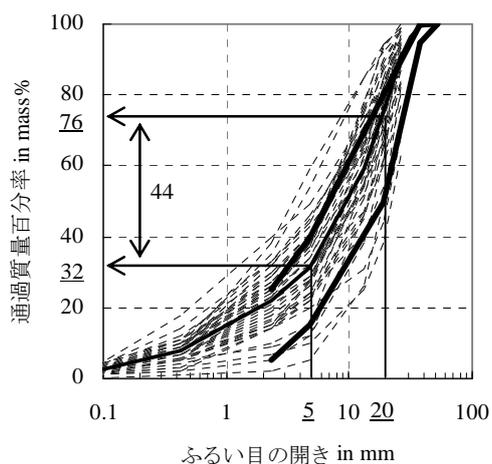


図 2. 3-16 粒度試験の結果

(実線は全試料の平均曲線、太実線は再生クラッシュランの望ましい粒度範囲を示す。)

② 配合推定

骨材量、セメント量の推計結果を表 2. 3-13に示す。骨材量の平均は81%、セメント量の平均は14%であり、両者ともコンクリートの一般的な配合であった。また、地域による相違はわずかであり、配合はほぼ安定していた。粒群別には、骨材は粗粒分 (5-20mm) に多く、セメントは細粒分 (0-5mm) に多い結果であった。

表 2. 3-13 配合推定の結果

粒径(mm)	骨材量 in mass%			セメント量 in mass%		
	-5	5-20	-20	-5	5-20	-20
北海道・東北	75.8	84.1	80.3	16.4	11.0	13.5
関東	75.0	82.8	79.7	17.5	12.5	14.5
北陸	78.7	85.3	82.0	14.9	10.7	12.7
中部	75.8	85.6	81.9	17.0	10.6	12.9
近畿	76.0	84.1	81.1	17.5	12.1	14.0
中国	75.6	84.6	80.6	17.5	11.0	13.9
四国	79.8	87.6	83.9	14.0	9.3	11.5
九州・沖縄	76.2	81.7	80.3	17.7	12.9	14.3
全国	76.3	84.2	81.0	16.7	11.4	13.6

③ 熱分析 (TG-DTA) 試験

熱分析 (TG-DTA) 試験の結果から求めた二酸化炭素固定量を図 2. 3-17に示す。二酸化炭素固定量は、粒度試験の結果によって0-5mm、5-20mmの二酸化炭素固定量を重み付け、採取したコンクリート破砕物1tあたりの0-20mmの粒群の固定量として示している。

収集直後 (0d)、大気暴露後 (28d) の二酸化炭素固定量は、それぞれ、平均15.2、23.6kg-CO₂/tであった。コンクリート破砕物の発生後 (28d-0d) の二酸化炭素固定量は、両者の差分として、平均8.5kg-CO₂/tであったが、試料によって大きく異なり、全く固定が進まない試料から最大では17.0kg-CO₂/tを固定する試料までであった。

0-5mmと5-20mmの粒群別の二酸化炭素固定量は、0dについては、それぞれ、7.5kg-CO₂/t、7.7kg-CO₂/tで同程度であった。一方、28d-0dの二酸化炭素固定量は、0-5mmの粒群が8割近くを占めていた。

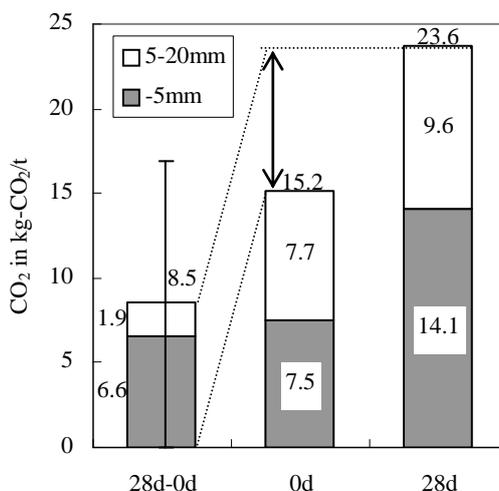


図 2. 3-17 二酸化炭素固定量

4) 調査結果を踏まえた再生砕石の二酸化炭素排出原単位の検討

コンクリート破砕物の発生後の二酸化炭素固定原単位 (8.5kg-CO₂/t) を用いてわが国のコンクリート塊の再資源化による二酸化炭素固定量を推計した。結果を表 2. 3-14 に示す。

建設副産物実態調査によれば、我が国では平成 20 年度に 3043 万トンのコンクリート塊が再資源化されている。これらが平均的に 8.5kg-CO₂/t の二酸化炭素を固定しているとする、一年間での二酸化炭素固定量は約 26 万トンである。

二酸化炭素固定原単位が一定であれば、二酸化炭素固定量はコンクリート塊の再資源化量の経年変化に従って推移する。コンクリート塊の発生量は、平成 7 年度以降減少傾向が続いている。一方、再資源化率については、建設リサイクルの発達によって平成 7 年度から 12 年度にかけて急激に高まり、平成 14 年度以降は 98% 程度の高い水準を維持している。結果として、コンクリート塊の再資源化量は平成 14 年度にピークを迎え、近年は減少傾向である。

本調査で得られた二酸化炭素固定量を LCCO₂ の計算に反映し、消費者の意思決定に役立てる上では、コンクリート塊 1t あたりの二酸化炭素固定原単位よりも、再生砕石 1t あたりの二酸化炭素固定原単位が便利であると考えられる。わが国では、再生砕石の原料としてコンクリート塊のほか、アスファルト・コンクリート塊が従来利用されている。従って、コンクリート塊とアスファルト・コンクリート塊の再生砕石への投入比率を考慮することで、再生砕石 1t あたりの二酸化炭素固定原単位が算出される。コンクリート塊、及びアスファルト・コンクリート塊の再生砕石への投入量は、それぞれ、建設副産物実態調査、アスファルト合材統計年報によって把握できる。近年は、建設廃棄物の用途が、コンクリート塊であれば再生砕石、アスファルト・コンクリート塊であれば再生加熱アスファルト混合物と区別されつつあり、再生砕石の原料としてはコンクリート塊の割合が上昇している。その結果、再生砕石の二酸化炭素固定原単位は増大する傾向である。平成 17 年度は 6.3kg-CO₂/t であった。砕石 (新材)、再生砕石の二酸化炭素排出原単位は、熱エネルギー利用等による排出量を積み上げたのみの場合、同程度であると考えられる。従って、二酸化炭素固定の影響を考慮すれば、再生砕石の二酸化炭素排出原単位は砕石 (新材) に比べて著しく小さいと考えられる。

本調査結果の LCCO₂ への影響を整理すると、表 2. 3-15 に示すとおりである。

表 2. 3-14 再生砕石による二酸化炭素固定原単位、及び年間固定量

(Co塊の再資源化用途は、砕砂等がわずかに含まれるものの、再資源化工程は再生砕石と類似であるため、全量再生砕石であると仮定して計算している。)

年度	コンクリート破砕物の一年間の二酸化炭素固定量		再生砕石の二酸化炭素固定原単位		
	Co塊の再資源化量 (1) 1000t	年間の二酸化炭素 固定量 (2) 1000t/year	As・Co塊の再生砕石 への投入量 (3) 1000t	再生砕石への投入 量のCo塊割合 (4) mass%	再生砕石の二酸化 炭素固定原単位 (5) kg-CO ₂ /t
H7	23590	201	21435	52.4	4.5
H12	33940	289	16104	67.8	5.8
H14	34250	291	14529	70.2	6.0
H17	31550	268	10854	74.4	6.3
H20	30430	259	4050	88.3	7.5
根拠	建設副産物実態調査	8.5*(1)	アスファルト合材 統計年報	(1)/((1)+(3))*100	8.5*(4)/100

表 2. 3-15 二酸化炭素固定の LCCO₂ への影響

二酸化炭素固定原 単位	コンクリート破砕物	8.5kg-CO ₂ /t
	再生砕石	7.5kg-CO ₂ /t (平成 20 年度)
二酸化炭素固定量	一年間	26 万トン (平成 20 年度)
	平成 12 年度 (建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律公布) から平成 20 年度まで	248 万トン

2. 4 社会資本LCIの各意思決定レベルへの導入で必要となる網羅性と一意性の水準

各意思決定レベルにおける社会資本 LCA にあたっては、各意思決定の内容や選択肢間の有意性に応じた調査範囲と要求精度を満足する適切な社会資本 LCI の結果を参照することが必要である。また、社会資本 LCI の実施にあたって生じる技術的制約として、投入できる労力や入手可能な資料の詳細さについても、意思決定レベルごとに異なる。

以上から、意思決定レベルごとの社会資本 LCI 実施にあたって配慮すべき指標として、必要な調査範囲と動員できる労力のバランスを勘案して設定すべき「網羅性」と、要求精度と入手可能な資料のバランスを勘案して設定すべき「一意性」の二つが挙げられる。意思決定レベルに応じた網羅性と一意性に配慮することで、最小の労力で技術的要件を満足する実用的な社会資本 LCI の実施が可能であると考えられる。

【解説】 特になし

2. 4. 1 構想レベルの意思決定に用いる社会資本 LCI の網羅性と一意性のレベル

構想レベルは、道路の概略計画、河川整備計画や港湾の長期構想等、事業の概略計画を行うレベルである。道路の概略計画であれば、道路の機能（計画交通量、車線数等）、基本構造（平面、高架、トンネル等）等を決定する。

構想レベルにおける環境負荷量の比較イメージを図 2. 4-1 に示す。構想レベルでは、意思決定の影響が広範囲に及ぶことから、網羅性の高い社会資本 LCI を実施することが必要である。網羅が必要な内容には、遡及分に加えて、本研究では対象としていない波及影響も含まれる。一方、一意性については、意思決定の内容が概略的であることから高い水準が求められることはないと考えられる。むしろ、このレベルにおいて利用可能な情報に基づく社会資本 LCI の結果は、後の設計や施工の意思決定レベルにおける環境負荷量の削減の余地を必然的に含むことから、選択肢間の環境負荷量の相違の有意性を見誤らないことが重要であると考えられる。

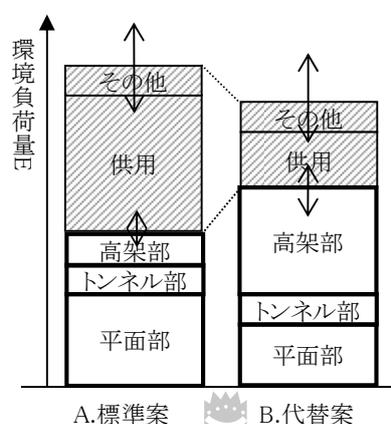


図 2. 4-1 構想レベルのシステム境界

道路整備の例。網掛けは本研究の対象範囲外であることを意味する。この図の結果では、道路整備（建設）に伴う環境負荷量は A 案の方が少ないものの、ルート距離等によって供用時、その他を含めると環境負荷量が平均的に逆転している。また、両者の差は誤差の範囲であることから、誤差要因を精査した上で有意性を判断する必要がある。

【解説】 特になし

2. 4. 2 設計レベルの意思決定に用いる社会資本 LCI の網羅性と一意性のレベル

設計レベルは、社会資本の構造形式、構造諸元を検討するレベルであり、構造物の断面形状、概略の材料や工種別数量等を決定する。

設計レベルにおける環境負荷量の比較イメージを図 2. 4-2 に示す。このレベルの意思決定の影響は遡及分全体に及ぶことから、社会資本 LCI に求められる網羅性は構造物の整備全体の環境負荷量である。社会資本 LCI に用いるバックデータは設計図書等に記載の工種別数量等であり、具体的に資材の種類・数量や建設機械の種類・稼働時間を計算するものではない。従って、社会資本 LCI の結果は、工種ごとの環境負荷原単位が有する揺らぎによる誤差を含んだものとなる。一意性は構想レベルに比べて高まるものの、意思決定にあたっては選択肢間の環境負荷量の相違の有意性に対して留意が必要である。

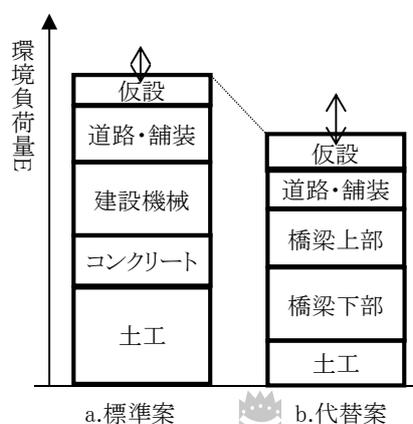


図 2. 4-2 設計レベルのシステム境界

【解説】 特になし

2. 4. 3 施工レベルの意思決定に用いる社会資本 LCI の網羅性と一意性のレベル

施工レベルは、施工方法や使用資材等を決定し、社会資本を建設するレベルである。工事価格を見積もるための積算では、材料の種類、規格、投入量や建設機械の種類、規格、供用日数等が詳細に設定される。

施工レベルにおける環境負荷量の比較イメージを図 2. 4-3 に示す。このレベルの意思決定は、工事価格等の詳細な計算に基づき、厳密に実施されることから、環境面を考慮するにあたっても高い水準の一意性が求められる。また、材料や建設機械の詳細が設定されることから、一意な計算の実施が可能である。

一方、設計レベルまでで既に厳密な計算がなされている部分や選択肢間で違いのない部分について社会資本 LCI を実施することは、比較の上では無意味であるため、調査範囲はこのレベルの意思決定で変化する余地があるものに限ってよい。すなわち網羅性は他のレベルに比べて低くて構わない。

社会資本 LCI の実施を求める主体は、環境負荷原単位、数量の設定方法、計算範囲を厳密に指定する等し、一意な計算を導くための配慮をする必要がある。環境負荷量 E を一意に計算させるためには、LCI の積和計算に含まれる変数 i 、 e 、 x の設定方法を厳密に定めればよい。

$$E = \sum_i (e_i \times x_i) \quad \text{式(2-16)}$$

ここに、 E : 環境負荷量 e : 環境負荷原単位、 i : 活動を示す記号、 x : 活動量 (資材数量等)

(1) システム境界 (i) を共通に定める

システム境界は、選択肢間で共通に設定する (図 2. 4-4 参照)。現場条件や新工法等を反映するために積み上げ計算をする場合には、積み上げ計算を行なえない項目については未集計分等見込み値を付加することで、システム境界の共通化が可能である。

(2) 環境負荷原単位 (e) を固定する

共通の考え方に基づいて作成された環境負荷原単位を用いることが必要である。

(3) 数量 (x) の設定方法を一意に定める

材料の数量や建設機械の供用日数は、積算資料等を用いて設定できる。輸送距離等、複数の設定方法が考えられる数量については、一意に設定方法を定めることが必要である。

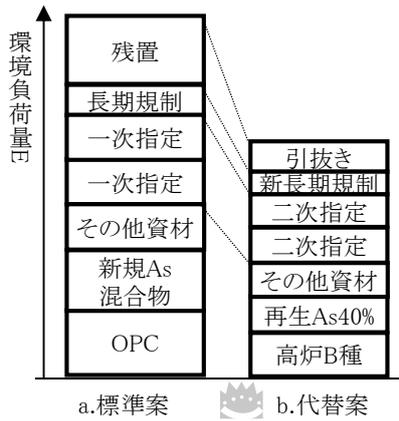


図 2. 4-3 施工レベルのシステム境界

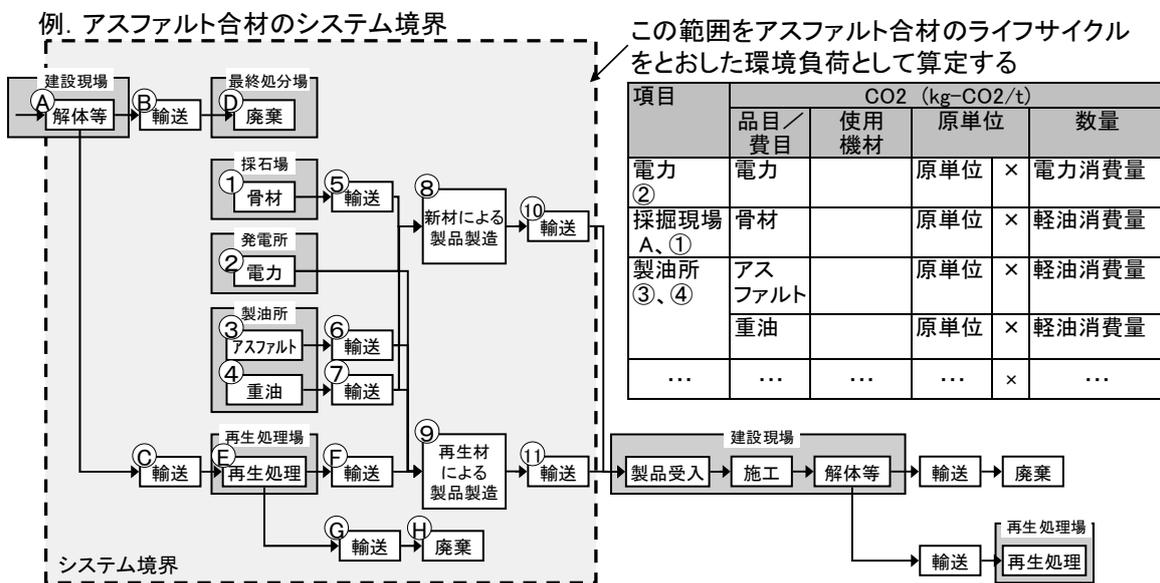


図 2. 4-4 新工法等に関する社会資本 LCI を実施する際の積み上げ計算の項目の指定例