

1.土木建設物の二酸化炭素排出量原単位の推定

ESTIMATION OF UNIT CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM CIVIL CONSTRUCTION

*

酒井 寛二

Kanji SAKAI

ABSTRACT ; For analysizing life cycle CO₂ emission from civil constraction activities, we need standardized emission value for unit material production, transportation, and energy consumption etc. In this report, many proposed unit values are compared, after revising and combining them, recommended unit carbon dioxide emission values are estimated and prorosed for use.

KEYWORDS ; Global Warming, Carbon Dioxide, Life Cycle Assessment

1.はじめに

本報告は、地球環境委員会・環境負荷評価（LCA）研究小委員会において、共通データ解析のために設置された作業部会の内、二酸化炭素排出量原単位を解析した部分についての成果を示したものである。

2.解析対象

土木建設物の、ライフサイクル全体にわたる大気中への二酸化炭素の排出量を解析するには、各種建設資材生産過程、建設機器類組み立て過程、そしてエネルギー使用や運搬過程からの、標準的な排出量を求める必要がある。今回算定の対象としたのは、結果に大きな影響が生じそうな、後述の25項目とした。

3.分析手法

環境負荷の原単位算出法には、大きく分けて「産業連関分析法」と「積上法」とがある。両者は算出するに当たっての解析対象領域が、波及効果を含むか含まないかや、価格の影響を直接的に受けるかどうかの差異があり、理論的に同一の結果は得られない。ここで両者の手法を比較すると、次のようになる。

「産業連関分析法」

手法：産業連関表を基礎とする。国内の産業を約 400分割し、年間の相互間取引金額が示されている。この数値を加工し、特定の産業が消費するエネルギー量を推定。これから二酸化炭素排出量が求まる。

長所：誰でも利用可能で、日本全体をもれなくカバーしている。また波及効果が含まれており、社会システム全体の排出量が把握出来る。

短所：データが古く、最新の技術動向が反映されない。産業区分が大きくて、たとえば鉄鋼で高炉鋼と電炉鋼の区別不能。さらに金額当りの数量で、物量換算時に解釈次第で結果が大きく変動する。

「積上法」

手法：ある資材を製造する工場に注目し、製品の出荷量と購入エネルギー量を敷地境界で計量することから、単位製品量当たりの二酸化炭素排出量が求められる。

長所：詳細な分析が可能で、数値の信頼性が高い。最新技術の評価が可能。

短所：製造業者の協力がなければデータが得られない。必要な全資材について、そろった質のデータを得るのが現時点で困難。

現在、両手法による二酸化炭素排出量原単位がいくつか公表されるようになってきた。これらの代表的なものを後述の「二酸化炭素排出量原単位比較表」に示したが、このうち、1995年夏に空調衛生工学会と建築学会で公表された、産業連関分析法によるものが、比較的広範囲に解析されており、利用に当たっても適用性が高いと判断した。

また主要資材については、精度の高い積上法の結果が不可欠と考え、業界の協力を得て調査を進めた。そして両手法による結果は、波及効果を含むか含まないかで当然異なっているが、両者を合体させる方法を提案し、一体となった原単位表を提示することとした。ここで両者を修正して合体するには、類似の大きな産業区分での、積上法の結果と産業連関分析法の結果を対比し、波及効果によって増加する分を係数で求めた。そして対象とする細かい産業分野についても、同一の増加係数を適用できると推定し、積上法の結果を割り増した。また建設機器類や運輸についても、積上法と産業連関分析法を併用し、下の表に示す推奨値としてまとめた。

表-1 二酸化炭素排出量原単位

単位：特記なき限り[kgC/kg]、油は[kgC/l]、
生コンクリートと天然ガスは[kgC/m³]、
電力は[kgC/kWh]、運輸は[kgC/t・km]

分 類 項 目	土木学会 LCA 小委員会推奨値	分 類 項 目	土木学会 LCA 小委員会推奨値
(1) 砂利・採石	0.00154	(10) アスファルト	
(2) 碎石	0.00189	(10・1) アスファルト	0.0281
(3) 木材		(10・2) 舗装用アスファルト 混合物	0.0113
(3・1) 製材品	0.0297	(11) ゴム (タイヤ)	1.20
(3・2) 合板	0.0519	(12) 塗装	0.452
(4) セメント		(21) 建設機械類	1.52
(4・1) ポルトランドセメント	0.228	(22) 汎用機械類	1.21
(4・2) 高炉スラグ45%混入 高炉セメント	0.135	(23) 仮設機材	10年耐用とする
(4・3) 生コンクリート	84.9	(31) 軽油	0.779
(5) 鉄鋼		(32) 天然ガス (LNG)	0.669
(5・1) 高炉製熱間圧延 鋼材	0.411	(33) 液化石油ガス (LPG)	0.868
(5・2) 電炉製棒鋼・型鋼	0.128	(34) 電力	0.129
(6) アルミニウム (サッシ相当品)	2.03	(41) 運輸	0.0930
(7) 陶磁器 (建設用)	0.188		
(8) ガラス (板ガラス相当品)	0.486		
(9) プラスチック製品	0.492		

解析段階での各種仮定や推定方法の詳細は、脚注として添付した。本原単位は、未完成な部分もあるし、推定法にも疑問点は残されているが、現時点で土木建設物の二酸化炭素排出量を求めるに当たって、十分に使用に堪えるものと考えている。なお数値の精度であるが、表示は有効数字3桁に統一しているが、算出根拠となった数値には精度の低いものも混在しており、精度向上も今後の課題と考えている。しかし一方で、このLCA解析そのものは仮定条件が多く、有効数字3桁の精度は余り意味がないとの意見もあることも書き添えておく。

最後に、数値設定の過程で貴重なご意見を頂いた委員各位に感謝の意を表します。

『二酸化炭素排出量原単位比較表』

単位：特記なき限り [kgC/kg]、油は [kgC/ℓ]、
生コンクリートと天然ガスは [kgC/m³]、
電力は [kgC/kWh]、運輸は [kgC/t・km]

分類項目	土木学会 LCA小委 員会推奨値 *00	土木研究 所 *10	空衛建築 学会 *20	建築研究 所 *30	酒井他 *40	その他 *50
(1) 砂利・採石	0.00154	0.00246 ～267	0.00154	*40 0.000280	*41 0.000302	
(2) 碎石	0.00189	0.00265 ～325	0.00189	*40 0.000320	*41 0.000302	
(3) 木材				*40		
(3-1) 製材品	0.0297 *01	0.0380～ 0.147	0.0297 *21	0.00780 *40	0.00778	
(3-2) 合板	0.0519		0.0947	0.0487	0.0487	
(4) セメント	*02	*11	*22			*51
(4-1) ポルトランドセメント	0.228	0.205～ 0.346	0.213	0.214	0.235	0.193 *51
(4-2) 高炉スラグ45%混入 高炉セメント	0.135 *03	0.194～ 0.335	*23		0.138	0.114
(4-3) 生コンクリート	84.9	72.5～ 96.2	60.4			
(5) 鉄鋼	*04	*12	*24	*40		*52
(5-1) 高炉製熱間圧延 鋼材	0.411 *04	0.467	0.355 *25	0.436 *31	0.436	0.357 *52
(5-2) 電炉製棒鋼・型钢	0.128 *05	0.131～ 0.152	0.254 *26	0.189	0.173 *42	0.111
(6) アルミニウム (サッシ相当品)	2.03		0.699	1.38	1.77	
(7) 陶磁器 (建設用)	0.188		0.188		0.114	
(8) ガラス (板ガラス相当品)	0.486	*13 0.050～ 0.372	0.486	*40 0.41 *32	0.414	
(9) プラスチック製品	0.492		0.492	0.372	0.176	
(10) アスファルト	*06	*14	*27			
(10-1) アスファルト	0.0281 *07	0.0752 *15	0.0281			
(10-2) 舗装用アスファルト 混合物	0.0113	0.0293～ 0.0309				
(11) ゴム (タイヤ)	1.20		1.20			
(12) 塗料	0.452		0.452	0.142		
(21) 建設機械類	*53 1.52	*16 1.51～ 3.71				*53 1.52
(22) 汎用機械類	*54 1.21	4.28～ 17 ～4.96				*54 1.21
(23) 仮設機材	*08 ---					
(31) 軽油	0.779	0.994	0.779			
(32) 天然ガス (LNG)	0.669		0.669			
(33) 液化石油ガス (LPG)	0.868	1.37	0.868			
(34) 電力	0.129	0.130	0.129			
(41) 運輸	*55 0.0930					*55 0.0930

1996年3月25日 作成

脚注

- *00 特記なき場合は文献*20の値を引用。
- *01 合板の実勢価格に合わせて*21の値を修正。修正の基礎となる数値については、*21項に記載。
 $0.0947 [\text{kgC/kg}] \times (120 \text{円/kg} \div 219 \text{円/kg}) = 0.0519 [\text{kgC/kg}]$
- *02 高炉スラグは、45%スラグ入り高炉セメントに換算するとセメント全量の17%を占めている。積上法による*51のデータを基に、セメント全体の加重平均を求めると、 $0.193 [\text{kgC/kg}] \times 0.83 + 0.114 [\text{kgC/kg}] \times 0.17 = 0.180 [\text{kgC/kg}]$ 。これは積上法の結果なので、波及効果含みに換算する必要があるが、この結果と*22の値を比較し、 $(\text{波及効果込み} / \text{積上}) = (0.213 / 0.163) = 1.18$ によってこの比率で、*51の値を修正して*02が得られる。
- *03 生コンクリートの原単位は、原料の配合比率や輸送距離で異なる値となる。下に算出方法と、標準的数値を示す。実際の使用に当たっては、標準値が使えるか検討し、必要に応じて別途計算する必要がある。

○ 生コン1 m ³ 当たり標準素材量		生産過程原単位	流通過程原単位	小 計
ポルトランドセメント	351 kg	0.228 [kgC/kg]	0.0025 [kgC/kg]	80.91
砂 利	849 kg	0.00154	0.00042	1.67
砕 石	955 kg	0.00189	0.00056	2.34
水	147 kg	0 と近似	0 と近似	0.00
合 計				84.92 [kgC/m ³]

ここで流通過程については、それぞれの原料についての平均的国内流通からの炭素排出であり、文献*20の表より引用した。*03の値には、生コンクリート工場から現場までの運送過程は含まれていない。

- *04 1985年の電炉鋼比率は27%と推定。積上法による*52のデータから、鉄鋼全体の加重平均を求めると $0.357 [\text{kgC/kg}] \times 0.73 + 0.111 [\text{kgC/kg}] \times 0.27 = 0.291 [\text{kgC/kg}]$ 。これは積上法の結果なので、波及効果含みに換算する必要がある。この結果と*24の値を比較し、 $(\text{波及効果込み} / \text{積上}) = (0.355 / 0.291) = 1.15$ 。よってこの比率で、*52の値を修正して*04が得られる。
- *05 新地金の海外生産分も評価に含めた、積上法の*42を基礎データとする。 $(\text{波及効果込み} / \text{積上})$ の比率は、類似産業の鉄鋼における比率(1.15)と同じ値を使用する。よって*42の1.15倍が*05となる
- *06 ここでは空気調和・衛生工学会と建築学会の作業結果*20から、アスファルトの項目が無いために、C重油と同等とみなして原単位を表示した。ただしアスファルト製造時のエネルギー消費が、二重に計算されていないか不明確であり、今後の詳細検討が必要な値である。
- *07 アスファルト混合物の原単位は、原料の配合比率やリサイクル率、輸送距離で異なる値となる。下に算出方法と、標準的数値を示す。実際の使用に当たっては、標準値が使えるか検討し、必要に応じて別途計算する必要がある。

○ アスファルト混合物1 t当たり標準素材量		生産過程原単位	流通過程原単位	小 計
砂 利	267 kg	0.00154 [kgC/kg]	0.00042 [kgC/kg]	0.523
砕 石	683 kg	0.00189	0.00056	1.673
アスファルト	50 kg	0.0281	0.0003	1.42
燃 料 油	9 l	0.779 [kgC/l]		7.011
電 力	5 kWh	0.129 [kgC/kWh]		0.645
合 計				11.27 [kgC/t]

ここで流通過程については、それぞれの原料についての平均的国内流通からの炭素排出であり、文献*20の表より引用した。*06の値には、アスコン工場から現場までの運送過程は含まれていない。

再生アスファルト混合物の場合には、下記のような標準的計算例を参照し、必要に応じて別途計算する必要がある。

標準素材量（1t当り）：碎石 256kg、再利用アスフ 724kg、アスファルト＋軟化剤（計算上はアスファルトと同じ原単位を使用して良いと考える）20kg、燃料油や電力は同量。

標準原単位：再利用アスフを20km片道輸送するとして計算すると、10.19[kgC/t] となり、新鮮材料と大差ない値となった。

- * 08 足場、支保工、鋼矢板、仮設H鋼等は、通常の使用条件では10年程度の寿命である。よって使用仮設機材の資材別製造段階排出量に、実使用期間（年）／10を乗じて算出すれば良い。

- * 10 土木研究所における、総プロ「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」の成果を用い、阿部委員が個人的に試算した結果であり、あくまでも私見の参考値である。解析は「産業連関分析法」で、輸送分は分離せずに解析されていると推定される。また解析結果の基本的数値は、資材別の価格あたりの炭素排出量であり、資材の重量あたり単価を乗じて原単位を求めているが、単価に幅があることが多く、結果の原単位も幅を持った数値で表されていることが多い。
- * 11 産業連関表ではセメントは1分類のみ。よってポルトランドセメントと高炉セメントの加重平均値と推定される。両者の販売価格の差によって、原単位が異なった結果となっている。
- * 12 産業連関表では高炉鋼材と電炉鋼材の区別なし。両者の加重平均値と推定される。両者の販売価格の差によって、原単位が異なった結果となっている。
- * 13 板ガラスから安全ガラスまで、価格が10倍程度異なるため、原単位も幅が大きい。
- * 14 舗装材料について解析した結果である。
- * 15 舗装材料の解析結果と、アス混の標準単価から算出。
- * 16 鉱山・土木建設機械の解析結果と、ブルトーザとトラッククレーンとの重量あたり単価から算出。
- * 17 ポンプ・圧縮機の解析結果と、回転空気圧縮機と水中ポンプとの重量あたり単価から算出。

- * 20 載気調和・衛生工学会・地球環境に関する委員会編の文献 1) より、生産過程・国内排出分の値を引用。解析は「産業連関分析法」。日本建築学会・地球環境建築特別研究委員会報告との共通資料。
- * 21 合板の購入単価として薄物の 219円/kgを採用して算出している。建設分野で多用される厚物合板の購入単価は、相場で変動するが大略1200円／3*6 枚で、重量換算すると 120円/kgと大差あり。
- * 22 産業連関表ではセメントは1分類のみ。よってポルトランドセメントと高炉セメントの加重平均値と推定される。
- * 23 原典の値をそのまま引用。* 3に示したように、構成資材別に積み上げて算出すると、これとはかなり異なる値となる。
- * 24 産業連関表では高炉鋼材と電炉鋼材の区別なし。両者の加重平均値と推定される。
- * 25 文献の普通鋼小棒の数値を引用。* 24と同様の処置をしていると推定されるが、単価が低いために炭素排出量も低い目に算出されていると推定。
- * 26 文献より「アルミニウム（含む再生）」の数値を引用。新鮮地金の99%を占める海外電気精練分が算入されておらず、国内電気精練分と再生処理、圧延等の後処理分の数値である。
- * 27 石油精製副産物と考え、C重油生産過程の数値と同等と仮定して文献値より算出した。

- * 30 国土開発技術センターの文献 2) より引用。ここに示した他文献からの引用値も混じって使われている。解析は「積上法」。
- * 31 文献 3) の古いデータからの引用。超太物鉄筋が高炉製なのを評価に入れた結果、標準的鉄筋の場合

に比較して少し大きくなっている。

- * 32 各種プラスチックの原単位が示されているが、PVC樹脂を代表として採用。

- * 40 酒井他の文献 3) より引用。解析は「限定間接効果算入法」で「積上法」とほぼ等しい結果が得られている。
- * 41 砂利・採石と碎石とは大差がないので、両者の平均値を用いて簡略化。
- * 42 新鮮地金の世界生産分を評価対象に含めている。リサイクルされた再生地金の混入率は、アルミサシの平均値である9%を採用。

- * 51 セメント協会から、1995年11月にLCA小委員会に提供された資料より算出。「積上法」による値。
- * 52 鋼材倶楽部から、1995年 1月にLCA小委員会に提供された資料より引用。「積上法」による値。
- * 53 建設機械類の代表として、建設用車両を考えた。しかしこの分野の発表データはなく、比較的類似機械として乗用車の解析結果から推定した。乗用車については、森口の文献 4) を参考とした。
乗用車自動車本体の生産から廃棄までの 1522[kgC/台] と、乗用車の平均重量1000[kg/台] とから、1.522[kgC/kg] となる。この値は、自動車本体の生産のほかに、ほぼ同量の販売・修理分の炭素排出が含まれており、このため後述の汎用機器より大きな値となっている。なお、解析は「産業連関分析法」。
- * 54 汎用機器類の代表として、ポンプを考えた。これについては酒井他の分析結果文献 5) より引用。なお、解析は「産業連関分析法」。
- * 55 足場、支保工、鋼矢板、仮設H鋼等は、通常の使用条件では10年程度の寿命である。よって使用仮設機材の資材別製造段階排出量に、実使用期間(年)/10を乗じて算出すれば良い。
- * 55 自動車の燃費と積載量が判明している場合には、それらより消費燃料量を求めてから炭素排出量を算出したほうが良い。この値が得られぬ場合のために、運輸省運輸政策局情報管理部編の文献 6) の自動車貨物の平均値を加工して参考値として示した。
ここで自動車貨物平均のエネルギー消費原単位として、産業連関分析と年度を合わせた1985年では、1098[kcal/t・km] となっている。燃料を軽油と仮定し、軽油の発熱量9200[kcal/l] とから、0.0930[kgC/t・km] が得られる。なお、建設現場で専用車に片道しか載荷しない場合は、往復載荷したとみなして計算することが望ましい。

引用・参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会・地球環境に関する委員会編：地球環境に関する委員会報告書、1995年 3月、p.130 ~ 133
- 2) 国土開発技術センター：省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発（建築委員会）報告書、1995年 3月、p.20~26
- 3) 酒井他：建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量、土木学会第3回地球環境シンポジウム、1995年 7月、p.288
- 4) 森口：自動車による CO₂排出のライフサイクル分析、エネルギー経済、Vol.19、No.4、(1993-4)、p.43
- 5) 酒井他：リサイクル資材利用と設備機器加工効果を考慮した建物炭素排出量解析、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1994-10、p.1347
- 6) 運輸省運輸政策局情報管理部編：運輸関係エネルギー要覧、平5年3月、p.68