建設副産物の中間処理に伴う二酸化炭素排出量に関する研究

QUANTITY OF CARBON DIOXIDE EMISSION BY THE INTERMEDIATE PROCESSING OF THE CONSTRUCTION WASTE

福田 俊之*, 菊池 雅史**, 小山 明男***, 山口 善弘****

*Toshiyuki FUKUDA, Masafumi KIKUCHI, Akio KOYAMA
and Yoshihiro YAMAGUCHI*

The quantity of carbon dioxide emission discharged from the intermediate processing of the construction waste is analyzed. At the first part, this study was carried out the questionnaire survey toward the intermediate processing plants of the whole country. The yearly quantity of carbon dioxide emission by the intermediate processing of the construction waste was calculated from this result. At the second part, result of the questionnaire survey was tidied in terms of processing methods and items to calculate the carbon dioxide emission per weight. By using these the calculation of the quantity of carbon dioxide emission can be simplified. And these estimated values can contribute to the reduction of the environmental impact as the guide to select the method of the intermediate processing of the construction waste.

Keywords : *sustainable development, life cycle assessment, carbon dioxide, construction waste, intermediate processing*

持続的発展, ライフサイクルアセスメント, 二酸化炭素, 建設副産物, 中間処理

1. はじめに

近年、『持続的発展可能な経済社会の構築』が、21世紀における国際的な指標として位置付けられ、その具体的な施策が相次いで法制化、国際的な規格化が推進されている。

その代表的な法律として、「循環型社会形成推進基本法」、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」がある。また、製品やそのサービスを前段階でもたらす環境側面の評価方法等については、ISO14000s がすでに発効し、運用されている。

これら法律や国際規格等では、循環型社会の構築の必須条件として、製品のライフサイクルの段階で発生する廃棄物・副産物等の再資源化の率や質の向上を義務付けたり、推奨している。また、その際には、ライフサイクルアセスメント(以下 LCA と略称)の結果が、評価・判断の基準とすることに対する共通認識も定着している¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾³²⁾³³⁾³⁴⁾³⁵⁾³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾³⁹⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾⁵¹⁾⁵²⁾⁵³⁾⁵⁴⁾⁵⁵⁾⁵⁶⁾⁵⁷⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾⁶⁰⁾⁶¹⁾⁶²⁾⁶³⁾⁶⁴⁾⁶⁵⁾⁶⁶⁾⁶⁷⁾⁶⁸⁾⁶⁹⁾⁷⁰⁾⁷¹⁾⁷²⁾⁷³⁾⁷⁴⁾⁷⁵⁾⁷⁶⁾⁷⁷⁾⁷⁸⁾⁷⁹⁾⁸⁰⁾⁸¹⁾⁸²⁾⁸³⁾⁸⁴⁾⁸⁵⁾⁸⁶⁾⁸⁷⁾⁸⁸⁾⁸⁹⁾⁹⁰⁾⁹¹⁾⁹²⁾⁹³⁾⁹⁴⁾⁹⁵⁾⁹⁶⁾⁹⁷⁾⁹⁸⁾⁹⁹⁾¹⁰⁰⁾。このような現状下にあつて、全産業廃棄物の中で約 20%を占める⁵⁾建設副産物は、他産業に比べて適切かつ早急な対応が望まれている。

筆者らは、建設副産物の再資源化については 1974 年から、建築生産における LCA については 1993 年から技術開発、評価システム等に関する総合的な研究を継続してきている⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾³²⁾³³⁾³⁴⁾³⁵⁾³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾³⁹⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾⁵¹⁾⁵²⁾⁵³⁾⁵⁴⁾⁵⁵⁾⁵⁶⁾⁵⁷⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾⁶⁰⁾⁶¹⁾⁶²⁾⁶³⁾⁶⁴⁾⁶⁵⁾⁶⁶⁾⁶⁷⁾⁶⁸⁾⁶⁹⁾⁷⁰⁾⁷¹⁾⁷²⁾⁷³⁾⁷⁴⁾⁷⁵⁾⁷⁶⁾⁷⁷⁾⁷⁸⁾⁷⁹⁾⁸⁰⁾⁸¹⁾⁸²⁾⁸³⁾⁸⁴⁾⁸⁵⁾⁸⁶⁾⁸⁷⁾⁸⁸⁾⁸⁹⁾⁹⁰⁾⁹¹⁾⁹²⁾⁹³⁾⁹⁴⁾⁹⁵⁾⁹⁶⁾⁹⁷⁾⁹⁸⁾⁹⁹⁾¹⁰⁰⁾。本研究は、これら一連の研究に継続するものであり、建設副産物の再資源化を推

進する際の鍵を握っているとされている建設副産物の中間処理に焦点を当てたうえで、これまで明かされていなかった中間処理の過程における二酸化炭素(以下 CO₂)排出量を定量的に推定したものである。推定の手法としては、筆者らが、これまで、システム等の構築に際して共通認識を得るために実施してきた郵送調査法⁶⁾⁷⁾⁹⁾によった。その結果、中間処理段階における建設副産物の品目別の CO₂ 排出量等が高い精度で推定できた。本研究で推定した建設副産物の中間処理段階における CO₂ 排出量は、建築物のライフサイクルにおいて排出する CO₂(LCCO₂)を、積上法⁴⁾で予測する際の資料として使用できると考える。

2. 調査・研究概要

2-1. 調査手法

筆者らは、2001 年度日本建築学会大会(関東)において、木造住宅 5 棟の解体工事から運搬、中間処理に至る過程について、建設副産物発生量、エネルギー消費量等を詳細に調査し、積上法⁴⁾による CO₂ 排出量の算出結果を報告¹¹⁾¹²⁾した。このような一中間処理施設に対する詳細な調査により得られた情報は、正確で、技術競合等による CO₂ 排出量の削減を期待できるものであるが、施設規模、処理品目・処理方法、地域特性など各種条件が変化することで、調査結果を比較・検討、

* 明治大学理工学研究科建築学専攻博士後期課程 工修

** 明治大学理工学部建築学科 教授・工博

*** 明治大学理工学部建築学科 専任講師・工博

**** 明治大学理工学研究科建築学専攻博士前期課程

Graduate School of Science and Technology, Meiji Univ., M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Science and Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

Assistant Prof., Dept. of Architecture, Science and Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

Graduate School of Science and Technology, Meiji Univ.

参考等に適用できない可能性がでてくる。そのため、中間処理施設の調査母数を増やしていくことが求められる。そこで本研究は、調査母数を増やすため、中間処理施設に訪問し建設副産物の処理量、エネルギー消費量等を調査・測定する手法ではなく、郵送調査法によるアンケート調査を行った。筆者らは、今までに、表1に示す郵送調査法によるアンケート調査⁶⁾⁷⁾⁹⁾を実施している。その際、調査項目、設問が妥当であり、1000件以上の対象から3割程度の回答を回収することが出来れば、ほぼ満足いく解析精度を確保出来ることを経験により得ている。また、あらゆる条件の施設に対し調査を行うことで、調査結果を比較・検討、参考等に用いる際の適用性は向上する。

表1 筆者らが実施したアンケート調査

アンケート調査名称 (調査期間)	有効 発送数 (通)	回収 数(通)	回収 率(%)	調査対象
解体、リサイクル、ダイオキシン、塩化ビニル建材などに関するアンケート調査 (期間：1999.2～1999.3)	1965	607	30.9	産廃処理業者、解体業者、住宅生産者、総合建設業、設計事務所、建材商社、公害・環境試験機関
建築業における外部コスト評価手法の適用可能性調査 (期間：2000.2～2000.3)	1023	271	26.5	建材関連の協会・団体、建材商社、設計事務所、デベロッパー、総合建設業、住宅生産者、ビル管理会社、解体業者、中間処理業・リサイクル業者、学生
建築系混合廃棄物中の廃プラスチック再資源化のための基礎調査 (期間：2000.10～2000.11)	1003	262	26.1	中間処理業・最終処分業者、総合建設業、住宅生産者
建設業における外部コスト評価手法の適用可能性調査仕様グレード評価に関するアンケート調査 (期間：2002.1～2002.2)	243	105	43.2	設計事務所、総合建設業、住宅生産者

アンケート調査実施に際し、筆者らが中心的な役割を果たしたものに限り

2-2. 調査対象及び調査結果の適用範囲

調査対象は、全国における建設副産物を受け入れている(もしくは受け入れることが可能な)中間処理施設を保有する団体・業者とし、「2001 全国 産廃処分業 中間処理・最終処分 企業 名覧・名鑑(以下名覧・名鑑と略称)」¹³⁾から抽出を行った。そのため、本研究の調査結果を比較・検討、参考等に適用できる範囲は、名覧・名鑑¹³⁾に掲載されている中間処理施設であり、2001 年以降新規参入もしくは増設等の理由で掲載されていない中間処理施設に関しては、適用範囲外である。

また、本研究における建設副産物の中間処理に伴うCO₂排出量は、中間処理施設の稼働により発生するものとする。そのため、木くずなどが含む有機物質の燃焼によって発生するCO₂については、カーボンニュートラルとして対象外とする。

2-3. CO₂ 排出原単位算出の対象及び調査項目

本研究は、建設副産物の中間処理時におけるCO₂排出量の算出を簡易化するため、CO₂排出原単位の整備を行うものである。CO₂排出原単位を算出する建設副産物を表2に示す。また、算出の対象とする中間処理方法は、焼却、破碎、圧縮、減容、切断、選別とした。

表2 二酸化炭素排出係数算出の対象とする建設副産物

建設副産物名称	意 味	記号
木くず	新築、改築、増築、除去等に伴う木くず	W
がれき類	工作物の新築、改築又は除去に伴って生ずるコンクリートの破片、レンガの破片、その他これに類する不要物 *中間処理施設によっては、これに廃せっこうボードを含む場合もあり	Ru
廃プラスチック	合成樹脂・合成繊維・発泡スチロールくず等	Pl
紙くず	新築、改築、増築、除去等に伴う紙くず	Pa
繊維くず	新築、改築、増築、除去等に伴う繊維くず	Fi
廃ガラス	新築、改築、増築、除去等に伴う廃ガラス	Gl
廃せっこうボード	新築、改築、増築、除去等に伴う廃せっこうボード	Gy
金属くず	鉄くず、非鉄金属くず等	Me

CO₂排出原単位(kg-CO₂/t)は、CO₂排出量(kg-CO₂)と処理量(t)の除算で求まる。そのため、調査項目は、この2つを算出するのに必要な項目であり、以下ようになる。

(1) 建設副産物の処理量

- ・対象団体・業者の保有する中間処理施設(以下対象施設と略称)の処理能力
- ・対象施設が受け入れている産業廃棄物中、建設副産物の占める割合
- ・対象施設の保有する中間処理機器の稼働率

(2) CO₂排出量

- ・対象施設における各エネルギー(電力、軽油、A 重油、各種ガス等)の消費量
- ・各エネルギーのCO₂排出係数

上記調査項目の中で、処理能力に関しては、名覧・名鑑¹³⁾から、CO₂排出係数に関しては、“温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果”¹⁴⁾からデータベースとして整備を行った(整備結果を表3、4に示す)。また、これら調査項目は、アンケート調査の回収率を高め、各回答の精度を高めることを目的に、前述報告¹¹⁾¹²⁾を参照し選定している。

表3 調査業者数及び処理能力合計 (千t/日)

	北海道 東北	関 東	甲信越 北 陸 東 海	近 畿	中 国	九 州	合 計
業者数	214	174	263	152	135	127	1065
焼 却	W, Pa・Fi混合	5.70	3.39	7.94	3.87	1.94	23.27
	W	4.77	0.14	0.33	0.29	0.10	5.78
	Pl	0.10	0.11	0.10	0.01	0.08	0.44
	Pa・Fi	4.65	0.00	0.15	0.00	0.05	4.84
破 砕	Ru, Gl, Gy混合	16.86	19.63	20.76	19.64	10.84	95.73
	W	7.39	3.32	3.15	0.95	2.34	18.73
	Ru	49.28	36.31	61.41	35.62	33.08	248.08
	Gl	0.05	2.83	5.92	1.24	3.25	14.55
	Pl	0.30	0.29	1.13	0.29	0.91	2.93
	Fi	0.00	0.00	0.40	0.05	0.04	0.50
	Gy	0.01	0.23	0.09	0.07	0.03	0.44
	Me	2.68	0.60	1.22	0.32	2.97	7.86
圧 縮	0.26	14.91	2.23	20.97	1.14	0.68	40.17
減 容	0.02	0.12	0.19	2.05	0.01	0.07	2.46
切 断	0.21	1.58	0.83	2.04	1.09	0.08	5.83
選 別	4.01	1.38	5.44	13.13	1.10	9.65	34.71
合 計	96.29	85.02	111.28	100.53	58.28	55.15	506.54

地域区分は、名覧・名鑑¹³⁾による

表4 各エネルギーの二酸化炭素排出係数

エネルギー名称		二酸化炭素排出係数
天然ガス液 (NGL)		2.40 kg-CO ₂ /ℓ
ガソリン		2.31 kg-CO ₂ /ℓ
灯油		2.51 kg-CO ₂ /ℓ
軽油		2.64 kg-CO ₂ /ℓ
A重油		2.77 kg-CO ₂ /ℓ
潤滑油		2.90 kg-CO ₂ /ℓ
液化石油ガス (LPG)		3.02 kg-CO ₂ /kg
液化天然ガス (LNG)		2.79 kg-CO ₂ /kg
天然ガス (LNGを除く)		2.20 kg-CO ₂ /m ³
都市ガス		2.15 kg-CO ₂ /m ³
電 気	一般電気事業者	0.357 kg-CO ₂ /kWh
	その他電気供給者	0.602 kg-CO ₂ /kWh

文献¹⁴⁾から引用2.4. 各建設副産物中間処理のCO₂排出原単位算出手順

本研究による建設副産物中間処理のCO₂排出原単位算出の流れを図1に示す。

図1 二酸化炭素排出原単位算出の流れ

本研究では、第一に、名覧・名鑑¹³⁾によるデータベース並びにアンケート調査結果を基に“我が国における建設副産物の中間処理に伴う年間CO₂排出量”を算出している。従来、建築行為のライフサイクルにおいて処理・処分時のエネルギー消費量は、他段階より比較的小さいとされている¹⁾。そのため、“我が国における建設副産物の中間処理に伴う年間CO₂排出量”について試算した報告は少ない¹²⁾¹⁵⁾。そこで、本研究は、全国の中間処理施設を対象に行ったアンケート調査結果から算出を行い、建築行為におけるライフサイクルアセスメントの基礎資料として整備を行った。

次に、アンケート調査回答について、名覧・名鑑¹³⁾によるデータベースを基に処理品目・処理方法別に分類・整理し、“各建設副産物中間処理のCO₂排出原単位”の算出を行った。また、詳細調査として前述アンケート調査とは別に、各建設副産物の処理量及び各処理機器のエネルギー消費量について調査を行い、算出したCO₂排出原単位の信頼性・妥当性について検証を行った。

またさらに、算出したCO₂排出原単位を中心に、建設副産物の再資源化率向上並びに中間処理時の環境負荷を抑制する方策について考察を加えた。

3. 建設副産物の中間処理に伴うエネルギー消費量に関するアンケート調査

3-1. アンケート調査概要

アンケート調査は、本研究の根幹をなすデータを収集するために行ったものであり、概要は以下のようになる。

(1) 目的

- ・各建設副産物中間処理のCO₂排出原単位を算出するために必要な情報を収集する。
- ・再資源化率の向上並びに中間処理時の環境負荷低減の方策を検討するための情報を収集する。
- ・筆者らが有する環境配慮の動向に関する情報を提供し、将来的な環境負荷低減のための布石とする。

(2) 調査期間

- ・アンケート調査発送 : 2003年6月9日
- ・アンケート調査回答の回収期間 : 2003年6月10日から6月末日

(3) 調査対象及び発送数

- ・アンケート調査対象は、名覧・名鑑¹³⁾に掲載されている全国における建設副産物を受け入れている(もしくは受け入れ可能な)中間処理施設を保有する団体・業者1065件とする(地域別発送数等は、表3を参照)。

(4) 調査内容(全4問)

- ・設問1: 受け入れている産業廃棄物中、建設副産物が占める割合
- ・設問2: 対象施設の一ヶ月当たりのエネルギー消費量(月ごとの変動を考慮した消費量の平均値)
- ・設問3: 対象施設の保有する中間処理機器の平均稼働率
- ・設問4: 建設副産物の受入品質基準の設定状況(設定の有無、設定している品目、設定内容)

(5) アンケート調査回答の回収

- ・アンケート調査回答は、設問・回答用紙に記入し、Faxにて回収する。
- ・解析精度を確保するだけの回収数を得ることが出来た場合は、未回答団体・業者に対して督促は実施せず、積極的に参加頂ける団体・業者の回答を回収する。

3-2. アンケート調査回収数及び回収率

アンケート調査結果として、回収数・回収率を表5に、処理能力別発送数及び回収数を図2に示す。

表5 発送数及び回収数、回収率

発送地域区分	総発送数(通)	返送(通)	有効発送数(通)	回収数(通)	回収率(%)
北海道・東北	214	0	214	60	28.0
関東	174	2	172	59	34.3
甲信越・北陸・東海	263	3	260	89	34.2
近畿	152	3	149	31	20.8
中国・四国	135	2	133	47	35.3
九州・沖縄	127	2	125	37	29.6
合 計	1065	12	1053	323	30.7

アンケート調査の有効発送数は、転居先不明、2001年以降に廃業等の理由で返送された12通を引いた1053通となった。回収数の合計は323通であり、有効発送数に対する回収率は30.7%となった。本調

査は、筆者らが過去に行った郵送調査法によるアンケート調査の経験から、ほぼ満足できる解析精度を確保出来る結果といえる。約3割の回収率を得られたのは、調査対象が環境問題に高い関心を抱いていたこと、回収率並びに回答精度を高めるため設問設定に留意したことによるものと考えられる。

図2 処理能力別発送数及び回収数

また、図2に示すように、アンケート調査回答の回収は、施設規模の偏りがほとんどなく、様々な規模の施設からほぼ均等に回答を得ることが出来た。

3-3. アンケート調査結果

設問1から3の調査結果を表6に示す。設問2に関しては、対象施設において使用している代表的なエネルギーとして、電力、軽油の年間消費量について示す。

表6 アンケート調査結果(設問1、2、3)

発送地域区分	電力消費量 (千kwh/年)	軽油消費量 (kℓ/年)	建設副産物の占める割合(%)	稼働率(%)
北海道・東北	49269.7	3378.0	68.1	75.8
関東	89719.3	8503.3	64.2	78.4
甲信越・北陸・東海	40550.1	5820.1	76.6	71.0
近畿	9758.8	2421.4	64.1	69.7
中国・四国	37828.7	4044.7	65.9	71.8
九州・沖縄	5705.0	2510.5	71.5	51.0
合計	232831.6	26678.0	69.4	70.9

設問1から3に関しては、九州・沖縄地域の平均稼働率について他地域と比べ若干低くなっていることを除けば、ほぼ回収数(アンケート調査回答施設の処理能力の合計)の差が結果に反映される結果となった。

設問4の受入品質基準の設定状況に関する調査結果を表7に示す。

表7 アンケート調査結果(設問4)

	W	Ru	GI	PI	Pa	Fi	Gy	Me
(アンケート調査回答施設中)各建設副産物受け入れ施設数	142	208	104	119	76	66	18	100
各建設副産物に対する受入品質基準設定施設数	63	139	22	22	11	8	14	20
受入品質基準設定率(%)	44.4	66.8	21.2	18.5	14.5	12.1	77.8	20.0

廃せこうボード、がれき類及び木くずは、アンケート調査回答施設の中で受入品質基準設定率が高くなっている。がれき類は、特定建設資材であるコンクリート塊が中心であることから、廃せこうボードは、その中間処理によって、安定型又は管理型と処分方法が異なることから受入品質基準の設定率が高くなっていると考えられる。また、木くずは、高い設定率を示しているが、その基準内容は、不純物の含有に関するもの、破砕するための寸法・形状等に関するものが多く、再資源化率向上には、更なる対応が必要と考えられる。

4. 我が国における建設副産物の中間処理に伴う年間CO₂排出量

4-1. 算出式

建設副産物の中間処理に伴う年間CO₂排出量の算出式(a)を以下に示す([]は単位)。

$$A = \left\{ \left[\sum (B \times C \times D) / 1000 \right] / (E/F) \right\} \times 100 \cdots \text{算出式(a)}$$

A: 我が国における建設副産物の中間処理に伴う年間CO₂排出量 [t-CO₂/年]

B: 受け入れている産業廃棄物中、建設副産物が占める割合[%]

C: 保有している全中間処理施設の年間エネルギー消費量 [kwh, %, kg, m³]

D: CO₂排出係数¹³⁾ [kg-CO₂/kwh, %, kg, m³]

E: アンケート調査回答施設の処理能力合計¹³⁾ [t/年]

F: 我が国における建設副産物受け入れ(もしくは受け入れ可能)中間処理施設の処理能力合計 [t/年]

B×C×D: 各中間処理施設における建設副産物の中間処理に伴う年間CO₂排出量 [kg-CO₂/年]

E/F: 我が国における建設副産物受け入れ(もしくは受け入れ可能)中間処理施設の処理能力合計中、アンケート調査回答施設の処理能力が占める割合[%]

算出式(a)は、アンケート調査回答施設のCO₂排出量合計が、我が国における建設副産物中間処理の中で占める割合について処理能力を基に求め、その結果により全体量を算出するものである。そのため、アンケート調査回答施設の規模の偏りは、算出に影響を及ぼすことになるが、本調査では前述の通り特に支障はなかった。

対象の抽出に用いた名覧・名鑑¹³⁾は、我が国における全ての中間処理施設が掲載されているということを前提条件としている。そのため、この算出は、未掲載の中間処理施設が存在する場合は、その分のCO₂排出量を加える必要がある。しかし、建設業における建設副産物の中間処理業の位置付けを知るための基礎資料としては、ほぼ妥当な精度といえる。

4-2. 算出結果

算出式(a)に基づく算出結果として、表8に、我が国における建設副産物受け入れ(もしくは受け入れ可能)中間処理施設の処理能力合計中アンケート調査回答施設の処理能力が占める割合を示す。表9に、我が国における建設副産物の中間処理に伴う年間CO₂排出量を示す。

算出の結果、本アンケート調査回答施設の処理能力合計は、我が国全体の32.3%であり、総発送数における回収率30.7%とほぼ変わらない値であった。これは、図2と同様に、施設規模の偏りなく回答の回収を行えたことを立証している。

表 8 建設副産物受入(もしくは受入可能)中間処理施設の処理能力
合計中、アンケート調査回答施設の処理能力が占める割合

発送地域区分	F (t/日)	E (t/日)	F-E (t/日)	E/F (%)
北海道・東北	95,206.8	31,809.0	63,397.9	33.4
関東	87,784.3	34,093.1	53,691.2	38.8
甲信越・北陸・東海	110,303.9	41,978.9	68,325.0	38.1
近畿	86,266.0	15,191.2	71,074.8	17.6
中国・四国	58,169.5	19,721.8	38,447.7	33.9
九州・沖縄	56,405.5	16,700.6	39,704.9	29.6
合 計	494,136.0	159,494.6	334,641.5	32.3

表 9 建設副産物の中間処理に伴う年間二酸化炭素排出量

発送地域区分	$\Sigma(B \times C \times D)$ (t-CO ₂ /年)	E/F (%)	A (t-CO ₂ /年)
北海道・東北	13,779.8	33.4	41,244.0
関東	43,228.8	38.8	111,414.4
甲信越・北陸・東海	33,471.6	38.1	87,852.0
近畿	4,287.9	17.6	24,349.4
中国・四国	8,084.3	33.9	23,844.6
九州・沖縄	6,820.9	29.6	23,043.6
合 計	109,673.2	32.3	339,545.6

アンケート調査回答施設の建設副産物の中間処理に伴う年間 CO₂ 排出量合計は、109,673.2(t-CO₂)であり、ここまでの算出は実際のエネルギー消費量を基にしたものである。これが、全体の 32.3%を占めるものなので、我が国における建設副産物の中間処理に伴う年間 CO₂ 排出量は、339,545.6(t-CO₂)という算出結果を得ることが出来た。

この中間処理における CO₂ 排出量は、建設行為のライフサイクルの中で施工時の年間排出量を約 12,000(千 t-CO₂)¹⁶⁾とすると、これと比較して 3%程度となる。しかし、本研究では、木くずなどの焼却によって発生する CO₂ をカーボンニュートラルとして対象外としており、これを含めて考えるとこの数倍の CO₂ が大気中に排出されていることになる。また、この中間処理時における CO₂ 排出量は、資源循環に対する要求が高まる中で増加していくと予想され、他ライフサイクル段階と比較して環境負荷低減に関する報告も少ないことから、低減・抑制の余地も残っていると考えられる。

5. 各建設副産物中間処理の CO₂ 排出原単位

5-1. 算出概要

各建設副産物中間処理の CO₂ 排出原単位は、単位重量当たりの処理に伴う CO₂ 排出量であり、アンケート調査回答を処理品目・処理方法別に分類・整理し、算出を行った。算出方法は、以下の 2 通りである。

【算出方法①】

一品目、一処理方法の施設(例えば、コンクリートの破碎のみを行っている施設、木材の焼却のみを行っている施設等)の CO₂ 排出量を処理量で割ることで算出を行う(算出式(b))。

$$Gi = \Sigma(H \times B) / \Sigma(I \times B \times J) \quad \cdots \text{算出式(b)}$$

Gi: 算出式(b)による建設副産物 i の単位重量当たりの中間処理に伴う CO₂ 排出量(CO₂ 排出原単位)[kg-CO₂/t]

H: 建設副産物 i のみを受け入れている中間処理施設の年間 CO₂ 排出量[t-CO₂/年]

I: 建設副産物 i のみを受け入れている中間処理施設の建設副産物 i に対する処理能力[t/年]

J: 建設副産物 i のみを受け入れている中間処理施設の稼働率[%]

B: 受け入れている産業廃棄物中、建設副産物が占める割合[%]

I×B×J: 建設副産物 i のみを受け入れている中間処理施設の建設副産物 i の処理量[t/年]

【算出方法②】

算出方法②は、複数品目、複数処理方法の施設から各建設副産物の CO₂ 排出原単位の算出を行う。

算出方法①は、CO₂ 排出量と処理量の関係が明確である。しかし、算出方法①による各 CO₂ 排出原単位の算出は、ほぼ妥当な精度を確保するために必要な算出に用いるアンケート調査回答(算出対象施設)数の不足するものが大半である。そこで、算出方法①による CO₂ 排出原単位の算出において算出対象施設が多い Ru-破碎、Ru、Gl、Gy 等混合-破碎、W-破碎の 3 つを用い、図 3 に示す手順により算出方法②として各 CO₂ 排出原単位の算出を行う。

図 3 算出方法②による二酸化炭素排出原単位の算出手順

算出方法②による各 CO₂ 排出原単位は、算出に用いるアンケート調査回答(算出対象施設)全体の CO₂ 排出量から、算出を行う建設副産物の中間処理以外の CO₂ 排出量を除くことで算出を行う。そのため、算出方法②による各 CO₂ 排出原単位は、算出を行う建設副産物の中間処理以外の CO₂ 排出量を除く際に用いる CO₂ 排出原単位の信頼性が乏しい場合は、その信頼性も低下する。そこで、算出方法②による CO₂ 排出原単位の算出条件を以下のように設定した。

- 算出方法①による CO₂ 排出原単位(Gi)の中で、算出方法②に用いるものは、算出に用いたアンケート調査回答(算出対象施設)数が 7 件以上の Ru-破碎、Ru、Gl、Gy 等混合-破碎、W-破碎の 3 つとする。
- 算出方法②は、算出に用いることが出来るアンケート調査回答(算出対象施設)数が多いものから順に行う。
- 算出方法②は、算出順を定めており、算出結果を順次用いて算出を行う。しかし、算出に用いるのは、算出方法②による CO₂ 排出原単位(Gii)の中で、算出に用いたアンケート調査回答(算出対象施設)数が 15 件以上のものとする。

以上の条件により、算出方法②の算出精度に留意し、各建設副産物中間処理に伴うCO₂排出原単位の算出を行った。

5-2. CO₂ 排出原単位算出結果

算出方法①、②による各建設副産物中間処理のCO₂排出原単位の算出結果を表10に示す。

表10 各建設副産物中間処理の二酸化炭素排出原単位

中間処理内容、品目		二酸化炭素排出原単位(kg-CO ₂ /t)	
		算出方法①	算出方法②
焼却	W, Pa・Fi等混合	71.87 (4)	112.07 (66)
	W	117.92 (2)	112.33 (33)
	Pa・Fi	*	2.36 (2)
	Pl	*	408.48 (10)
破碎	Ru, Gl, Gy等混合	3.95 (27)	3.73 (90)
	Ru	3.49 (105)	3.78 (153)
	W	4.02 (8)	3.76 (28)
	Gl	5.53 (4)	1.85 (15)
	Pl	74.08 (3)	14.00 (26)
	Gy	6.18 (1)	8.31 (4)
	Me	34.84 (1)	19.66 (10)
	Fi	*	555.35 (2)
	圧縮 (対象: Ru, Pl, Gl, Me)	2.26 (1)	35.51 (28)
減容 (対象: Ru, W, Pl, Fi)		*	70.21 (5)
切断 (対象: Pl, Me)		*	3.37 (11)
選別 (対象: 混合廃棄物)		*	9.42 (10)

()内の値は、算出に用いたアンケート調査回答(算出対象施設)数

各建設副産物中間処理のCO₂排出原単位の算出結果より、木くず(W)に着目すると、木くず(W)の焼却は、破碎と比較して約30倍の二酸化炭素を排出していることが分かる。これは、木くずを熱源として利用することによる化石燃料の削減効果を配慮していないものであるが、木くずを焼却する際は、その環境負荷の大きさから熱エネルギーの回収利用等の可能性を模索していく必要があるといえる。

5-3. 算出結果の検証

建設副産物の中間処理に伴うエネルギー消費量に関するアンケート調査により算出したCO₂排出原単位について、その信頼性・妥当性を高めるため以下に示す調査を行った。

(a) アンケート調査回答施設の一部に対する詳細調査

建設副産物の中間処理に伴うCO₂排出量に関するアンケート調査は、その回答率を高めるために、設問数を最小に抑え、その内容について出来る限り簡易化している。そのため、CO₂排出原単位の算出に必要な各建設副産物の処理量について、データの一部を名覧・名鑑¹³⁾を基に整備している。そこで、アンケート調査回答施設の中で、処理品目を参考に抽出した5社に協力頂き、各建設副産物の処理量及び各処理機器のエネルギー消費量について詳細な調査を行った。

(b) 中間処理機器メーカーに対する調査

建設副産物の中間処理に伴うエネルギー消費量に関するアンケート調査とは別に、中間処理機器を製造するメーカーに対して、最大処理能力とそれに伴うエネルギー消費量について調査を行った。調査対象は、環境関連機材カタログ集¹⁷⁾を基に抽出し、15社に協力頂いている。

(c) 既往の研究によるCO₂排出原単位の調査

既往の研究³⁾¹²⁾¹⁸⁾によるCO₂排出原単位の算出値を調査し、参照する。

以上の検証調査から2通りの検証を行っている。

まず検証(その1)として、検証調査(a)より、各建設副産物の処理量にCO₂排出原単位を乗算し求めるCO₂排出予測量と、エネルギー消費量にCO₂排出係数を乗算し求める実CO₂排出量の比較を行った。その結果を表11に示す。

表11 検証調査結果(その1)

	A社	B社	C社	D社	E社
CO ₂ 排出原単位による排出予測量(kg-CO ₂)	48567	107055	19716	18301	25941
エネルギー消費量より算出した実CO ₂ 排出量(kg-CO ₂)	59710	102623	18564	18466	20144
合致率	81.3	104.3	106.2	99.1	128.8
受入品目・内容	W, Pa・Fi等混合-焼却	Ru, Gl, Gy等混合-破碎	Ru-破碎	W-焼却	W, Pa・Fi等混合-焼却
	Ru, Gl, Gy等混合-破碎	Ru-破碎	Pl-破碎	Ru, Gl, Gy等混合-破碎	Ru, Gl, Gy等混合-破碎
	Ru-破碎	Pl-破碎	Gy-破碎	Ru-破碎	Gy-破碎
	W-破碎	Me-破碎	W-破碎	Gy-破碎	Pl-破碎
	Pl-破碎	圧縮	選別	—	減容
	Me-破碎	選別	—	—	圧縮
	圧縮、選別	—	—	—	選別
	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—

合致率は、(排出予測量 / 実排出量) × 100 で求める

合致率は、若干のばらつきが見られるものの、概ね問題ない範囲を得ることが出来た。これにより、本研究におけるCO₂排出原単位の算出方法、手順等は妥当であったといえる。

次に、検証(その2)として、検証調査(a)、(b)、(c)より、本研究におけるCO₂排出原単位の算出方法とは別の手法を用いてCO₂排出原単位を算出し、検証を行った。その結果を表12に示す。

表12 検証調査結果(その2)

中間処理内容、品目		二酸化炭素排出原単位(kg-CO ₂ /t)	算出方法	検証調査		
				(a), (b)		(c)
				(kg-CO ₂ /t)		
焼却	W, Pa・Fi等混合	112.07(66)	②	—	—	400.48 ¹²⁾
	W	112.33(33)	②	199.07(b)	—	—
	Pa・Fi	2.36 (2)	②	—	—	—
	Pl	408.48(10)	②	537.33(b)	504.75(b)	—
破碎	Ru, Gl, Gy等混合	3.95 (27)	①	—	—	—
	Ru	3.49 (105)	①	—	—	4.5 ¹⁸⁾
	W	4.02 (8)	①	4.41 (a)	4.28 (b)	—
	Gl	1.85 (15)	②	—	—	—
	Pl	14.00 (26)	②	10.71 (b)	26.18 (b)	—
	Gy	8.31 (4)	②	8.51 (b)	—	—
	Me	19.66 (10)	②	13.20 (a)	—	—
	Fi	555.35 (2)	②	—	—	—
	圧縮	35.51 (28)	②	28.11 (b)	—	—
減容		70.21 (5)	②	39.27 (b)	—	—
切断		3.37 (11)	②	—	—	—
選別		9.42 (10)	②	34.32 (a)	0.31 (b)	6.1 ³⁾
						11.99 ¹²⁾

CO₂排出原単位の後にある()内の値は、算出に用いたアンケート調査回答数

本研究において算出した CO₂ 排出原単位の中で、算出方法①の算出に用いたアンケート調査回答(算出対象施設)数が多い、Ru-破碎、W-破碎は、検証調査(a)、(b)および(c)の結果より信頼性・妥当性の高い値といえる。

算出方法②による CO₂ 排出原単位に関しても、木くず(W)関連の焼却以外で、対象件数が 10 件を超えるものは、信頼性・妥当性の高い算出が出来たといえる。木くず(W)関連の焼却に関しては、建設副産物の中間処理に伴うエネルギー消費量に関するアンケート調査の結果においても、施設によるエネルギー消費量の差が大きく、検証調査の事例を増やしていく必要がある。また、算出に用いた対象件数が少ないものに関しては、現段階で算出値の信頼性を確保出来たとはいえず、今後、更なる調査が必要といえる。

5-4. CO₂ 排出原単位による中間処理施設の評価モデル

本研究により算出した CO₂ 排出原単位は、全国の中間処理施設に対し調査を行い、大小様々な規模の施設からほぼ均等に回答を得ていることから、我が国における建設副産物中間処理の平均的な値といえる。そこで、この CO₂ 排出原単位を、我が国における各建設副産物の平均的な再資源化率をなす時の CO₂ 排出原単位と仮定し、表 13 に示す評価モデルを設定した。

表 13 中間処理施設の評価モデル

モデル	環境 負荷	再資 源化	持続的発展可能な経済社会 に向けて取り組むべき対策
I CO ₂ 排出量が標準値 再資源化率が標準値	△	△	エネルギー効率向上 再資源化率向上
II CO ₂ 排出予測量 > 実CO ₂ 排出量 再資源化率が標準より劣る	○	×	再資源化率大幅向上
III CO ₂ 排出予測量 < 実CO ₂ 排出量 再資源化率が優れている	×	○	エネルギー効率の大幅向上
IV CO ₂ 排出予測量 < 実CO ₂ 排出量 再資源化率が標準より劣る	×	×	エネルギー効率大幅向上 再資源化率大幅向上

○：標準より優れている △：標準値 ×：標準より劣る

この評価モデルにおいて環境負荷は、表 11 に示すように、CO₂ 排出予測量と実 CO₂ 排出量を比較し評価する。再資源化は、我が国における各建設副産物の再資源化率と各中間処理施設により中間処理された建設副産物の再資源化施設への搬入率を比較し評価する。

ここでは、評価モデルを I から IV の 4 種類設定しており、各モデルにおける今後、『持続的発展が可能な経済社会の構築』のために取り組むべき対策を示した。

以上のように本研究で算出した CO₂ 排出原単位を活用することで、各中間処理施設の課題(もしくは優れている点)が明確になる。これにより、エネルギー効率の優れた中間処理または、再資源化率向上に資する中間処理として、技術競合が期待出来るため、環境負荷の抑制・低減につながると考えられる。

6. おわりに

本研究では、全国における建設副産物受け入れ(もしくは受け入れ可能)中間処理施設を保有する団体・業者に対して、エネルギー消費量など CO₂ 排出量算出に必要な情報を収集するため郵送調査法によるアンケート調査を行った。得られた結果を以下に示す。

(1) 建設副産物の中間処理に伴う CO₂ 排出量に関するアンケート調

査では、有効発送数 1053 通に対し、回収数 323 通、回収率 30.7% であった。これは、ほぼ満足出来る精度で解析を行える回収数、回収率といえる。また、この回収率により、中間処理業に携わる方々にとってこの種の問題に対する関心・認識が高いことがうかがえる。

(2) 我が国における建設副産物の中間処理に伴う年間 CO₂ 排出量の算出を行ったところ、約 34 万 t-CO₂/年ということが分かった。これは、建設行為のライフサイクルの中で施工時と比較すると、約 3%程度である。

(3) 各建設副産物中間処理の CO₂ 排出原単位の算出を 2 通りの方法で行った。その検証を行ったところ、算出方法①では、算出に用いた対象施設数が 7 件以上、算出方法②では、木くず(W)関連の焼却を除き、対象施設数が 10 件以上において、精度の高い算出を行っていることが分かった。木くず(W)関連の焼却に関しては、今後、詳細調査による検証事例を増やしていく。

(4) 本研究により算出した CO₂ 排出原単位の活用方法として、建設副産物の再資源化率を合わせた中間処理施設の評価モデルの設定を行った。また、各モデルに対し、『持続的発展が可能な経済社会の構築』のために取り組むべき対策を示した。

(5) 本研究は、建築物の LCCO₂ を積上法で予測する際の基礎資料として使用するものである。筆者らは他に、撤去・解体から最終処理・処分されるまでの一連の行為に対する一元化システムの構築を進めており、中間処理と他段階を結ぶための布石として、受入品質基準の設定状況等の調査も行っている。今後、一元化システム構築のため、更なる検討を行っていく。

参考文献

- 1) 酒井寛二、漆崎 昇、相賀 洋、下山真人：建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量とその抑制方法に関する研究、日本建築学会計画系論文集、Vol.484、p.p.105～112、1996.6
- 2) 伊香賀俊治、村上周三、加藤信介、白石靖幸：我が国の建築関連 CO₂ 排出量の 2050 年までの予測、建築・都市の環境負荷評価に関する研究、日本建築学会計画系論文集、Vol.535、p.p.53～58、2000.9
- 3) 漆崎 昇：建築物のライフサイクル環境負荷分析と対策評価に関する研究、2002.12
- 4) 竹林芳久、岡 建雄、紺矢哲夫：産業連関表による建築物の評価 その 2 事務所建築の建設による環境への影響、日本建築学会計画系論文集、Vol.431 号、p.p.31～38、1992.1
- 5) 環境省：産業廃棄物の排出及び処理状況等(平成 12 年度実績)
- 6) 建築業における外部コスト評価手法の適用可能性の調査委員会：建築分野における環境影響評価マトリックスの適用及び検証業務成果報告書、平成 14 年度独立行政法人建築研究所委託、(財)建材試験センター、2003.3
- 7) 福田俊之、菊池雅史、東 嘉哉、今富麻弥：解体、リサイクル、ダイオキシン、塩化ビニル建材などに関する動向 その 1 解体・リサイクル全般に関する調査結果及び解析、日本建築学会大会学術講演梗概集 p.p.271-272 1999.9
- 8) 道正泰弘、菊池雅史、増田 彰、小山明男、三浦隆広：再生再骨材を用いたコンクリートの構造用コンクリートへの適用 原モルタルの性質が再生再骨材および再生コンクリートの品質に及ぼす影響 日本建築学会構造系論文集、Vol.502、p.p.15～p.22、1997.12
- 9) (株)プラスチック処理促進協会：平成 12 年度建設系混合廃棄物中の廃プラスチック再資源化のための基礎調査報告書、2001.3
- 10) 福田俊之、菊池雅史、山口善弘、小山明男：建設副産物の処理・処分における二酸化炭素排出原単位構築に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.p.1103-1104、2003.9
- 11) 福田俊之、金村千絵、大島正明、村上泰司、菊池雅史：解体段階におけるエネルギー使用量及び二酸化炭素排出量調査 その 1 解体工事におけるエネルギー使用に伴う二酸化炭素排出量、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.p.381～382、2001.9
- 12) 金村千絵、大島正明、福田俊之、村上泰司、菊池雅史：解体段階におけるエネルギー使用量及び二酸化炭素排出量調査 その 2 中間処理におけるエネルギー使用に伴う二酸化炭素排出量、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.p.383～384、2001.9
- 13) (株)日経アイ・ビー編：2001 全国 産業処分業 中間処理・最終処分 企業 名覧・名鑑、日経企画販売(株)発行、2001.5
- 14) 平成 14 年度 温室効果ガス排出量算定方法検討会：温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果、環境省地球環境局、2002.8
- 15) (社)住宅生産団体連合会：住宅産業の自主的環境行動計画(第 3 版)、2002.9
- 16) 環境省地球環境局：平成 12 年度温室効果ガス削減シナリオ対策調査検討会報告書
- 17) (株)日経アイ・ビー編：環境関連機材カタログ集 2002、日経出版発行、2002.6
- 18) 島裕和、立屋敷久志、橋本光一、西村祐介：加熱すりもみによるコンクリート塊から高品質骨材回収の LCA 評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.2、p.p.67-72、2001

(2003年10月7日原稿受理、2003年12月12日採用決定)