廃棄物焼却施設の建設と運用に係わる環境負荷と資源量

ENERGY CONSUMPTION, CARBON EMISSION AND RESOURCE CONSUMPTION DUE TO CONSTRUCTION AND OPERATION OF REFUSE-INCINERATION

日 渡 賢 一*, 岡 建 雄**

Kenichi HIWATASHI and Tatsuo OKA

This paper describes the results of a calculation of the amount of energy consumption, carbon emission and resource consumption due to the construction and operation of refuse-incineration. In the results, we are found that the following.

- (1) The final amount of energy consumption, carbon emission and resource consumption are 469,286.8GJ, 10,385.4t-C and 48,906.2t due to the construction of refuse-incineration that can burn 360t wastes for a days.
- (2) The final amount of energy consumption and carbon emission are mainly related to the construction of mechanical plant and the building construction. The construction of mechanical plant account for about 70% of final energy consumption and carbon emission.
- (3) The final resource consumption is mainly iron stone, limestone and gravel. The iron stone, limestone and gravel account for 28.3%, 23.5%, 23.4% of final resource consumption due to the construction of refuse-incineration.

Keywords: refuse-incineration, input/output table, Energy consumption, Carbon emission, Resource consumption

ごみ焼却施設, 産業連関表, エネルギー使用量, 炭素排出量, 資源消費量

1. はじめに

建築物の建設に関連するエネルギー使用量と炭素排出量を算出する研究は国内において多数報告されている。例えば、林英明らによる地域冷暖房用の地域配管の建設を対象とした研究¹⁾、井村秀文らによる土木工作物の建設に関する研究²⁾、住宅³⁾やオフィスビル⁴⁾の建設に関する研究など多数報告されている。これらの研究は、建設計画の段階から建設や運用にかかわる環境負荷を把握し、環境負荷の少ない計画の選定を可能にすることを目的にしている。近年では、環境負荷の試算を行った上で建設を行い、実際に使用した資材数量から環境負荷を計算して試算結果を検証している報告がある⁵⁾。環境負荷の少ない社会の実現には、建築計画や都市計画規模での環境負荷の排出量評価を行う必要があると考える。そこで、都市インフラの一つであり、関東地方には325施設ある廃棄物焼却処理施設の建設と運用に係わる環境負荷の算定を行った。⁶⁾

既往の研究では、永田勝也らは廃棄物焼却施設に併設される発電システムの有効性を評価するためにシステムのLCA評価を行っている。⁷⁾ 間宮尚らは廃棄物焼却処理施設の運用データと廃棄物の収集に関するヒアリングデータを用いて一般廃棄物処理に係る環境負荷の把握をしている。⁸⁾ しかし、実際に稼働中の廃棄物焼却施設を対象にして建設と運用に由来する環境負荷を算出した研究はない。そこで、廃棄物処理施設の建

設と施設の運用に由来する環境負荷と使用された資源量について工事種類別に調査を行ない、環境負荷と資源消費量の算出を行なった。

2. 研究概要

本論文では、既に稼働している廃棄物焼却施設を対象にして建設と運用に由来する環境負荷と資源消費量を工事種類別に算出して示した。また、併せて1トン当りの廃棄物焼却処理に必要な環境負荷と資源消費量を示した。

3. 調査の対象

調査を行なった廃棄物焼却施設は、平成7年から一般廃棄物の焼却処理を開始した市営の施設である(表1)。この廃棄物焼却施設の最大処理能力は360t/日であり、ほぼ120~240t/日の処理能力で流動的に稼働している。この施設の稼働率は最大処理能力360t/日で1年間を稼働した場合を100%の稼働

表1 調査施設の概要

建築概要	構 造	: SRC造 (一部RC/S造)
		: 地下1階/地上6階
設備概要	延べ床面積	: 11,000 m ²
	形 式	: 全連続燃焼式ストーカ炉
	処理能力	: 360 t/日 (120 t/日×3炉)
	余熱利用	: 蒸気タービン発電設備1,600kW

* 電源開発株式会社 研究所 修士(工学)

** 宇都宮大学工学部建築学科 教授・工博

Chigasaki Research Institute Electric Power Development Co., Ltd., M. Eng. Prof., Dept. of Architecture, Utsunomiya University, Dr. Eng.

率と定義すると、約63%の稼働率である。また、焼却排熱を利用する発電設備を併設し、構内電力としての利用と余剰電力の売電を行なっている。厚生省は平成8年に、廃棄物焼却施設について廃棄物処理能力を100 t/日、全連続式の設備とするガイドライン⁹⁾を示し整備することとなっている。従って、調査対象を行なった施設の規模は今後の標準となる規模である。現在、人口50万人以上の関東地方の都市では、約65%の廃棄物焼却施設が200 t/日の処理能力である⁸⁾。

4. 産業連関分析

極力詳細な産業部門の分類を行うために、産業連関表の原表から直接レオンチェフ逆行列を算出した。国内の最終需要額Yより、究極的な国内総生産額Xを算出するモデル式は輸入係数 m_i を対角化した行列をMと置くと次式で表される。^{10) 11)}

$$X = (I - (I - M)A)^{-1} ((I - M)Y + E) \quad (1)$$

ただし、X : 究極的な国内総生産額 (円/年)

I : 単位行列 (-)

A : 投入係数 (-)

$Y_i, A E_i$: i 製品の国内最終需要額及び輸出額 (円/年)

m_i : M_i / C_i (-)

M_i : i 製品の輸入額 (円/年)

C_i : i 製品の国内最終需要額に輸入額を加算し、輸出額を差し引いた額 (円/年)

レオンチェフ逆行列は(1)式の $(I - (I - M)A)^{-1}$ であり、生産者価格基準である。商業マージンや貨物運輸・倉庫は原表の記載データに準じると考え、相当する産業部門に振り分けた。¹²⁾ 究極的な国内総生産額を算出するためには建設に必要な支出を整理し、最終需要額Yとして(1)式に与える。本研究では、建設時に合わせて1995年の産業連関表を使用した。¹²⁾ 計算に要した産業部門数は397部門である。最終需要の算出にあたっては、調査対象とした廃棄物焼却施設の建築図書等¹³⁾を用いて工事項目毎に建設時に係る材料費と人件費(粗付加価値)に分類した。産業連関表は生産者価格、見積書は購入者価格で構成されているため、購入者価格から商業マージン、運輸、倉庫費用を差引いて生産者価格に変換した。主要材料は産業連関表に付属の物量表に記載されている金額を使用した。経費(一般管理費)は請負金額から純工事費を差引いた額と表され、有価証券報告書¹⁴⁾に記載されている支出割合により動力用水費、通信費、広告宣伝費、事務用品費等を該当する各部門に振り分けた。このように求めた材料費を最終需要額Yに相当すると考え、(1)の逆行列に投入し、廃棄物焼却施設の建設工事による究極的な国内総生産額を求めた。また、産業連関表には物量表の原表が記載されており、519の産業業種において消費される134の資源や材料を物量と金額で示している。産業連関表を用いて各業種の国内総生産額に乗じることにより各工事項目でのエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量を算出した。この手法の特徴は産業連関分析により平均値として単位購入額当りのエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量を正確に求めることができる。ただし、エネ

ルギー使用量、炭素排出量、資源消費量が価格に正比例することが前提条件として産出されている。また、本論文では海外波及効果分は計算結果に含めていないが固定資産形成分は計算結果に含めている。

表2 主要資材の使用量(建築・建築設備工事)

工事名	資材	工事種類	数量小計	数量合計	単位
建築工事	足場	仮設工事		54,635	m ²
	根切・掘削	土工		30,245	m ³
	残土処分	土工		30,245	m ³
	埋戻	土工		6,351	m ³
	砕石地盤	土工		747	m ³
	鋼材/デッキプレート/	土工(山留)	1,031	1,992	t
		鉄骨工事	961		t
	鉄筋	杭地業工事	145	1,188	t
		鉄筋工事	1,043		t
	コンクリート	杭地業工事	20	8,680	m ³
		コンクリート工事	8,660		m ³
	型枠(普通/打放)	型枠工事		49,710	m ²
	ALC/セメント板	既製コンクリート工事		8,952	m ²
	モルタル吹付け/塗り	土工	770	65,807	m ²
		左官工事	65,037		m ²
	防水(アスファルト/塗膜/モルタル)	防水工事		6,191	m ²
	コーキング	防水工事		4,933	m
	断熱・保温(GW/ウレタン/ポリスチレン)	内装工事		8,530	m ²
	塗装	塗装工事	24,120	40,546	m ²
		鉄骨工事	12,507		m ²
		左官工事	3,919		m ²
	プラスター・ボード	内装工事		8,018	m ²
	Pタイル・ソフト幅木・廻縁	内装工事		4,235	m ²
	アルミ空木 コーナーアングル 軽鉄下地 手摺り	金属工事		1,367	m
		金属工事		1,163	m
		金属工事		3,782	m ²
		金属工事		523	m
	アルミ/SUS建具/シャッター/スチール/木製	建具工事		911	m ²
	ガラス工事	ガラス		514	m ²
	グラウト	杭地業工事		53	m ³
	軽油	土工	179,569	202,203	l
		杭地業工事	19,602		l
		コンクリート工事	3,032		l
	重油	左官工事	8,811	326,798	l
		防水工事	317,987		l
給排水衛生設備工事	受水・高架水槽	給水設備工事		2	基
	配管類	給水設備工事	1,754	5,858	m
		給湯工事	1,142		m
		排水設備工事	1,695		m
		ガス設備工事	457		m
		屋内消火栓	810		m
	給湯装置	給湯工事		1	台
	ポンプ	排水設備工事	8	10	台
		屋内消火栓工事	2		台
	衛生器具	衛生器具工事		83	器
	屋内消火栓	屋内消火栓		24	台
空調設備工事	FAN	空調機器工事		53	台
		換気機器設備工事		114	台
	パッケージ空調	空調機器工事		10	台
	配管類	空調配管工事		2,286	m
	バルブ	空調配管工事		107	箇所
	ダクト	空調ダクト設備工事	711	6,365	m ²
		換気機器設備工事	5,478		m ²
		機械排煙工事	176		m ²
	スパイラルダクト	空調ダクト設備工事	161	444	m
		換気機器設備工事	283		m
	排煙口	機械排煙工事	5	5	個
電気設備工事	動力/分電盤	幹線設備工事	37	41	面
		動力設備工事	4		面
	操作盤	電灯設備工事	22	51	面
		電話設備工事	7		面
		火災報知設備	22		面
	ケーブル/配線	幹線設備工事	6,523	55,786	m
		動力設備工事	10,861		m
		電灯設備工事	33,966		m
		火災報知設備工事	4,436		m
	ケーブルラック	幹線設備工事	207	207	個
	電線管	コンセント工事	7,441	11,252	本
		火災報知設備工事	3,810		m
	IVビニール電線	コンセント工事		7,657	m
	電灯/水銀灯	電灯設備工事		1,507	個
	時計	電気時計工事		34	個
	インターフォン	インターフォン設備		41	台
	煙感知器	火災報知設備工事		336	個
	空気管	火災報知設備工事		2,100	m
	ハンドホール	構内配電線路工事		9	基
	外灯	屋外電灯設備工事		15	個
	ELV	昇降機設備工事		2	台

表3 主要資材使用量(プラント機械工事)

設備種類	機器・装置	数量	単位
受入供給設備	ゴミ計量器	1	基
	ゴミ投入口	6	基
	ダンピングボックス	1	台
	ゴミクレーン	2	基
	破砕機	1	基
	コンベア	2	台
燃焼設備	脱臭薬剤噴霧装置	1	基
	燃焼設備	3	基
	給じん装置	3	基
	燃焼装置	3	基
	乾燥火格子	3	基
	燃焼火格子	3	基
	後燃焼火格子	3	基
	駆動装置	1	基
	焼却炉	3	基
	燃焼ガス冷却設備	3	基
排ガス処理装置	ボイラ	3	基
	コンベア	3	基
	スートブロワ	3	基
	安全弁消音器	3	基
	脱気器	2	基
	ブロー装置(クーラー)	3	基
	蒸気だめ	3	基
	蒸気復水器	2	基
	復水タンク・純水タンク	3	基
	ポンプ類	20	台
	純水装置	1	式
	窒素酸化物除去装置	1	基
	有害ガス除去装置	3	基
	反応ろ過集塵装置	3	基
	コンベア	5	基
計装設備	加熱器(白煙防止装置)	3	基
	保温	1,901	m ²
	配管	735	m
	配線	9,068	m
	電線官	1,935	m
	バスダクト	230	m
	計算機システム	3	基
	計器盤	4	面
	カメラ	14	基
	モニター	11	台
雑装置	流量計	87	個
	伝送器(発信機)	116	個
	パネル計器	40	個
	熱電対	74	個
	調整弁(グローブ弁)	48	個
	ケーブル類	41,337	m
	電線管	3,623	m
	可とう電線管	554	組
	供給・信号空気管	2,415	m
	ボックス類	114	個

設備種類	機器・装置	数量	単位
排水処理設備	ゴミ汚ろ過機	2	台
	ろ液貯留槽FRP	1	基
	反応槽等(FRP)	14	基
	ポンプ類	49	台
	ろ液噴霧ノズル	3	基
	スクリーン(SUS)	2	基
	ろ過塔	4	基
	ブロワ	4	台
	脱水機	1	台
	配管	1,934	m
電気計装設備	弁類	337	個
	保温	237	m
	動力計装盤	28	面
給排水	計器類	68	個
	配線 ケーブル	9,510	m
	電線管	1,143	m
	反応槽等	2	基
余熱利用設備熱交換器	冷却塔	1	基
	ポンプ類	6	基
	配管	13,024	m
	弁類	1,121	個
	保温	5,129	m
	高温水熱交換器	1	基
	レシーバータンク	1	基
	高温水タンク(SUS)	1	台
	補給タンク(FRP)	1	基
	給湯用温水タンク	1	基
空調用熱交換器	保温	23	m ²
	ポンプ類	5	台
	空調用熱交換器	1	基
蒸気タービン発電設備	吸収式冷凍機・冷却塔	1	基
	蒸気タービン/同期発電機	1	基
	グランド蒸気復水器	1	基
	操作盤	3	面
	予備ボイラ	1	基
電気設備	受変電配電設備	7	台
	開閉器・避雷器	216	面
	受電盤・配電盤・制御盤	3	台
	車両検知制御設備	1	基
	非常用発電設備	1	基
灰出し設備	原動機	1	基
	交流無停電電源装置	1	基
	操作盤	6	面
	ケーブル・電線	77,983	m
	電線管等	6,980	m
通風設備	ブルボックス	142	個
	灰押出し装置	3	基
	コンベア	6	基
	灰分散機	3	台
	クレーン(灰田)	1	基
送風機	ダスト固化装置	1	基
	送風機	9	台
	予熱器	3	基
風道・煙道	風道・煙道	1,578	m ²
	保温	1,578	m ²

5. 資料集計方法

廃棄物焼却施設の建設工事は建築工事と廃棄物処理プラント機械工事が混在しており、建築工事とプラント機械工事の工事金額はほぼ同等である¹³⁾。建築工事は、工事契約書に使用資材毎に工事数量が記載されているものの、プラント機械は複数の装置や小型機器から構成されており、構成要素について一式価格で記載されているために使用資材や数量について詳細な情報を得ることは難しい。そこで、機械の構成装置ごとに分けて上記の方法で産業連関分析を行ない、環境負荷の算定を行なった。また、併わせて横山らが開発した究極的な資源消費量の算定方法を用いて資源消費量を算定した。¹⁵⁾ 表2には廃棄物焼却施設の建設工事を建築工事と建築設備工事に分け、使用された主要な資材と主要な機器・装置を工事種類別に示した。表3にはプラント機械工事に使用された機器・装置や資材を廃棄物処理プラントを構成する設備別に示した。また、工事契約書に機器価格等が一式単価として計上されて

いる項目については、積算資料^{16) 17) 18) 19)}やメーカーヒアリングを行ない分類した。機器・装置や資材の分類は産業連関表中の項目別に行い、一式計上されている機械費は工事に使用される重機械の償却及び管理に必要な対価と考えて集計した。

6. 廃棄物焼却処理の環境負荷分析

6. 1 建設工事の物量

建築工事に使用された資材量を表2に示した。これらの資材量は契約書からほぼ全ての使用資材量を定量化することが可能である。例えば、代表的な建築資材である鉄骨、生コンクリート、鉄筋はそれぞれ1,992t、8,680m³、1,188tであり、廃棄物焼却施設の建設工事に由来する単位床面積当りの使用量はそれぞれ181kg/m²、0.79m³/m²、108kg/m²である。特に、土工事において鉄骨の使用量が多い。これは、土工事においてソイルセメント連続壁工法^{注1)}を採用しており、山留め工事の擁壁の芯にH型鋼使用していることに起因している。建築工事

は表2に示したように資材の使用量を契約書等から算出することが可能である。しかし、プラント機械工事は、契約書に設備を構成する資材や装置の台数と価格で記載され、装置構成部材の素材数量を全て推定することは難しい。プラント機械工事の工事費の大部分を占めるボイラ、焼却炉、燃焼装置は契約書において鉄骨重量や設備を構成する機器と装置の価格で記載されることから、建築工事のように設備製作のための資材消費量を契約書から詳細に求めることはできない。そこで、次節6.2に示す方法で資源消費量を求めた。

6.2 建設工事の資源消費量

横山計三らの研究¹⁵⁾では、産業連関表を用いて各産業に百万円の資本が投入された場合に、その産業分野での資源消費量の算出が可能なる方法を提案している。横山計三らの研究で提案している手法は各産業分野ごとに資源消費量や基礎2次製品消費量の波及効果を含めた重量を求められることが特徴である。この手法を用いて基礎2次製品の波及効果を含む資源消費量を計算した。ここでの基礎2次製品とはゴム、合成樹脂、特殊鋼、銅、アルミとした。その計算結果と対象機械のメーカーヒアリング重量を比較し、計算結果の妥当性を検証した。表4には、計算から求めた代表的なプラント機械の基礎2次製品総重量と対象機械の重量のヒアリング結果を示した。また、表4に示した機械重量を横軸に、メーカーヒアリング及びカタログから求めた機器重量を縦軸にとり、両者の関係を図1に示した。両者は相関係数0.96の関係となる。近似式で表現すると、計算から求めた基礎2次製品総重量の約66%がメーカーヒアリングによる機械重量となる。この結果からこの計算手法を廃棄物焼却施設の資源消費量算出への適用が可能であると考え、この手法を用いて資源消費量を計算して表5に示した。資源消費量は、木材、鉄鉱石、銅・アルミニウム、石灰石、砂利・碎石・石材、石炭、原油、天然ガス、天然繊維・農産物の8種類について計算した。これらの資源は建設業で多く用いられる木材製品、鉄鋼製品、セメント、コンクリート、エネルギー、化学製品、繊維製品の原料となる資源である。これらの資源消費量を建築工事、建築設備工事、プラント機械工事、共通仮設・間接費に分けて集計した。さらに、建築工事は表5中の21の工事種類別に分類し、建築設備工事についても給排水衛生設備、空調設備、電気設備に分けて分類した。また、プラント機械工事は、廃棄物焼却プラントを構成する主要な受入供給設備、焼却設備、灰出し設備、通風設備、排水処理設備、余熱利用設備、電気設備、計装設備、雑装

図1 計算結果とヒアリング重量の相関

置の9設備に分類して表5に記した。表中のマイナス(▲)の数字は、その産業の需要によって副産物や屑として直接又は間接的に産出されるものを表している。例えば、「砂利・碎石・石材」は、鉄鋼の生産プロセスで副産物(スラグ)として産出されるので、鉄の需要が大量にある部門ではマイナスとなる。表6中のハッチング部分は、建築工事、建築設備工事、プラント機械工事、共通仮設工事それぞれの資源消費量の合計を示した。また、工事に使用した資源(木材、鉄鋼石、銅・アルミニウム、石灰石、砂利等、石炭、原油、天然ガス、天然繊維・農産物)のそれぞれが占める割合を示している。また、最下段に廃棄物焼却施設の建設工事において消費された資源量の総量(48,906.2t)とその資源別の重量と割合を示した。表5の計算結果をもとに建築工事に限定して資源消費の割合を比較すると砂利等は副産物による差引き分を考慮すると7,966.6tが使用され、資源消費量の33.6%占めている。石灰石の使用量は6,675.6tであり、資源消費量の28.1%占めている。鉄鋼石の使用量は5,585.7tであり、資源消費量の23.5%を占めている。プラント機械工事に限定して資源消費の割合を比較すると、鉄鋼石の使用量は7,773.8tであり、資源消費量の34.3%を占めている。石灰石の使用量は4,434.1tであり、資源消費量の19.6%を占めている。石炭の使用量は3,861.7tであり、資源消費量の17.1%を占めている。また、工事種類別の資源消費の割合を計算し図2に示した。工事種類別の資源消費重量の割合は建築工事が48.5%、建築設備工事が2.1%、プラント機械工事が46.3%、共通仮設等が3.1%である。全体の資源消費量の約95%は建築工事とプラント機械工事に由来する資源である。次に、建設工事に使用された資源種類別の消費割合を図3に示した。資源別の消費割合は鉄鋼石が28.3%、石灰石が23.5%、砂利等が23.4%、石炭が13.7%、原油が8.4%、天然ガスが1.4%、木材が0.9%、銅・アルミが0.7%、繊維・農産物等が0.1%である。廃棄物焼却施設工事全体では鉄鋼石の使用量が最も多く、建築工事に関しては、砂利類の消費量が最も多い。廃棄物焼却施設の建設に由来する単位床面積当りの資源消費量は4.4t/m²であり、内訳は建築工事が2.1t/m²、建築設備工事が0.1t/m²、プラント機械工事が2.1t/m²、共通仮設等が0.1t/m²である。なお、単位床面積当りの資源消費量は、資源消費量の総量を延べ床面積11,000m²で除して求めた。

6.3 建設工事の環境負荷

横山謙司らの研究²⁰⁾では産業連関表を用いて、各産業に百万円の資本が投入された場合に、その産業分野で発生する環境負荷の算出方法を提案している。横山謙司らの研究で提案している手法では百万円の資本投入による波及効果も含めた環境負荷を求めることができる。この手法を用いて廃棄物焼却施設の建設に由来する環境負荷の算出を行い表6に示した。表6には環境負荷を建築工事、建築設備工事、プラント機械工事、共通仮設・間接費に分けて集計した。さらに、建築工事は表6に示した21の工事種類別に分類し、建築設備工事についても給排水衛生設備、空調設備、電気設備に分けて分類した。また、プラント機械工事は、廃棄物焼却プラントを構

表4 計算結果と対象機器のメーカーヒアリング重量の比較

設備種類	資 材		基礎2次製品資材重量[t]					基礎2次製品機器メーカーヒアリング重量[t]	
	機器名	数量	単位	ゴム	合成樹脂	特殊鋼	銅	アルミ	合計重量[t]
受入供給設備	ゴミクレーン	2	基	2.7	9.7	255.7	5.2	12.0	285.3
	破砕機	1	基	1.2	1.3	47.6	0.2	3.0	53.3
燃焼設備	脱臭薬剤噴霧装置	1	基	0.1	0.4	7.2	0.1	0.6	8.4
	ホッパ	3	基	0.1	0.6	11.7	0.1	0.9	13.4
燃焼設備	給じん装置	3	基	0.5	2.4	44.4	0.5	3.6	51.4
	燃焼装置(バーナ)								
燃焼設備	乾燥火格子	3	基	0.3	2.5	90.2	0.5	6.7	100.2
	燃焼火格子	3	基	0.8	6.4	234.4	1.4	17.5	260.5
燃焼設備	後燃焼火格子	3	基	0.2	1.9	69.1	0.4	5.2	76.8
	焼却炉	3	基	0.1	0.8	1,300.1	0.1	1.5	1,302.6
燃焼設備	落塵ホッパシュート	3	基	0.0	0.2	6.7	0.0	0.5	7.4
	ボイラ	3	基	1.0	10.0	627.8	8.8	19.6	667.2
燃焼設備	高圧蒸気復水器	1	基	0.3	1.3	23.7	0.3	1.9	27.5
	低圧蒸気復水器	1	基	0.3	1.5	27.1	0.3	2.2	31.4
燃焼設備	復水タンク	2	基	0.0	0.2	3.4	0.0	0.3	3.9
	純水タンク	1	基	0.0	0.0	0.9	0.0	0.1	1.0
燃焼設備	反応ろ過集塵装置	3	基	2.4	11.1	204.6	2.2	16.5	236.8
	加熱器(白煙防止装置)	3	基	0.7	3.0	54.6	0.6	4.4	63.3
灰出し設備	灰押し装置	3	基	0.5	1.7	45.5	0.9	2.1	50.7
	コンベア	6	基	0.6	2.0	53.2	1.1	2.5	59.4
灰出し設備	クレーン(灰田用)	1	基	0.8	3.0	78.3	1.6	3.7	87.4
排水処理設備	ゴミ汚水ろ過機	2	台	0.0	0.0	0.9	0.0	0.1	1.0
	ろ液貯留槽	1	基	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4
排水処理設備	反応槽等	13	基	0.4	1.7	30.6	0.3	2.5	35.5
	ろ過塔	2	基	0.1	0.6	11.2	0.1	0.9	12.9
排水処理設備	脱水機	1	台	0.3	1.2	22.4	0.2	1.8	25.9
	蒸気タービン	1	基	0.1	0.5	30.0	0.6	1.5	32.7
余熱利用設備	同期発電機	1	基	0.1	1.1	23.4	1.1	2.9	28.6

図2 資源消費量の工事別割合

図3 資源消費量の資源別割合

表5 究極的な資源消費量

工事種類	資源消費量 [t]										合 計 [t]	工事別割合 [%]
	木 材	鉄鋼石	銅・ アルミニウム	石灰石	砂利・砕 石・石灰石	石 炭	原 油	天然ガス	天然繊維・ 農産物			
①建築工事	仮設工事	0.9	1,130.1	1.1	364.2	▲ 348.9	447.9	62.9	17.5	0.6	1,676.3	7.07
	土工	43.9	1,470.5	3.4	496.7	▲ 449.4	449.9	94.6	18.6	0.8	2,129.0	8.98
	杭地業工事	0.1	89.4	0.2	105.4	2.3	35.0	5.5	1.2	0.0	239.1	1.01
	コンクリート工事	0.8	8.1	0.4	1,965.6	8,424.7	210.4	71.2	7.4	0.3	10,688.9	45.06
	型枠工事	272.3	2.7	0.2	4.7	2.0	14.8	62.4	5.7	1.4	366.2	1.54
	鉄筋工事	0.5	1,279.3	1.1	409.4	▲ 399.4	369.3	35.7	11.6	0.3	1,707.8	7.20
	鉄骨工事	0.6	1,331.6	1.6	427.1	▲ 414.8	387.8	42.1	12.8	0.4	1,789.2	7.54
	既製コン工事	0.5	22.3	0.2	408.2	588.7	49.2	26.5	3.1	0.3	1,099.0	4.63
	防水工事	0.1	1.4	0.1	12.4	2.3	10.5	29.3	2.2	0.2	58.5	0.25
	石工事	0.0	0.0	0.0	3.9	2.3	0.1	0.1	0.0	0.0	6.4	0.03
	タイル工事	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.1	0.4	0.1	0.0	1.2	0.01
	木工	0.6	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	1.3	0.01
	金属工事	0.5	51.7	19.0	21.5	▲ 12.9	23.9	16.6	3.2	0.2	123.7	0.52
	左官工事	0.3	1.8	0.1	1,981.2	313.7	208.4	28.4	4.6	0.1	2,538.6	10.70
	木製建具工事	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.00
	金属建具	1.5	86.2	26.7	32.0	▲ 21.3	41.4	34.3	6.5	0.4	207.7	0.88
	ガラス工事	0.1	0.1	0.0	1.6	0.3	0.7	2.6	0.3	0.0	5.7	0.02
	塗装工事	0.1	0.4	0.0	1.3	0.6	6.3	26.2	1.2	0.1	36.2	0.15
	内装工事	0.5	3.5	0.3	394.3	222.0	24.2	80.8	4.2	1.5	731.3	3.08
	雑工事	1.1	12.1	1.9	5.5	▲ 2.3	14.6	52.6	2.6	0.2	88.3	0.37
	プラント関連工事	0.3	94.4	0.1	40.0	56.6	28.7	5.0	1.1	0.0	226.2	0.95
建築工事の資源消費量合計		324.8	5,585.7	56.4	6,675.6	7,966.6	2,323.3	677.7	103.9	6.8	23,720.8	100.00
建築工事の資源消費割合 [%]		1.4	23.5	0.2	28.1	33.6	9.8	2.9	0.4	0.0	100.00	
②建築設備工事	給排水衛生設備	0.4	70.0	1.3	45.9	▲ 5.4	35.2	30.5	3.1	0.1	181.1	17.83
	空調設備工事	0.7	234.6	2.9	124.4	▲ 42.9	87.7	43.1	6.5	0.4	457.4	45.01
	電気設備工事	3.1	92.9	19.0	55.2	3.7	72.5	113.4	16.8	1.1	377.6	37.16
	建築設備工事の資源消費量合計	4.2	397.5	23.2	225.5	▲ 44.6	195.4	187.0	26.4	1.6	1,016.2	100.00
建築設備工事の資源消費割合 [%]		0.4	39.1	2.3	22.2	▲ 4.4	19.2	18.4	2.6	0.2	100.00	
③プラント機械工事	受入供給設備	20.5	1,034.0	36.9	1,108.1	2,853.2	541.2	348.4	56.7	3.6	6,002.6	26.52
	燃焼設備	36.5	3,437.9	119.8	1,646.9	▲ 675.0	1,808.1	1,554.4	253.2	15.3	8,197.3	36.21
	灰出し設備	10.8	522.1	23.4	319.6	378.8	266.4	215.3	34.7	2.3	1,773.5	7.84
	通風設備	6.3	1,604.4	6.5	749.3	259.9	514.3	101.9	22.1	0.9	3,265.6	14.43
	排水処理設備	8.6	575.0	15.7	281.4	▲ 93.6	274.4	173.5	28.5	1.7	1,265.1	5.59
	余熱利用設備	1.4	125.4	8.2	52.4	▲ 28.2	74.2	59.2	11.3	0.5	304.3	1.34
	電気設備	6.6	270.1	42.9	159.0	▲ 29.4	200.9	250.8	40.2	2.5	943.6	4.17
	計装設備	7.1	108.8	24.1	78.2	0.7	121.8	253.2	39.7	2.6	636.2	2.81
	雑装置	1.3	96.1	6.0	39.2	▲ 22.3	60.4	56.1	9.9	0.5	247.2	1.09
	プラント機械工事の資源消費量合計	99.1	7,773.8	283.5	4,434.1	2,644.1	3,861.7	3,012.8	496.3	29.9	22,635.3	100.00
	プラント機械工事の資源消費割合 [%]	0.4	34.3	1.3	19.6	11.7	17.1	13.3	2.2	0.1	100.00	
④共通仮設等工事	共通仮設	4.7	34.1	1.4	99.1	642.4	41.0	48.1	12.4	0.6	883.8	57.62
	間接費	6.2	27.8	1.7	42.2	20.4	296.5	196.0	56.5	2.8	650.1	42.38
	共通仮設等の資源消費量合計	10.9	61.9	3.1	141.3	662.8	337.5	244.1	68.9	3.4	1,533.9	100.00
	共通仮設等の資源消費割合 [%]	0.7	4.0	0.2	9.2	43.2	22.0	15.9	4.5	0.2	100.00	
全工事の資源消費量合計		439.0	13,818.9	366.2	11,476.5	11,228.9	6,717.9	4,121.6	695.5	41.7	48,906.2	-

表 6 建設工事に関わる環境負荷

工事種類	エネルギー [GJ]	炭素排出量 [t-C]	エネルギー 割合 [%]	炭素排出 割合 [%]
①建築工事				
仮設工事	17,900.1	398.0	16.1	13.4
土工	22,860.7	758.1	20.4	25.4
杭地業工事	1,430.5	48.1	1.3	1.6
コンクリート工事	10,153.8	361.7	9.1	12.2
型枠工事	3,671.7	70.6	3.3	2.4
鉄筋工事	13,559.0	306.1	12.2	10.3
鉄骨工事	14,598.0	328.5	13.1	11.1
既製コン工事	3,035.9	91.2	2.7	3.1
防水工事	1,849.2	37.8	1.7	1.3
石工事	9.6	0.2	0.0	0.0
タイル工事	26.1	0.5	0.0	0.0
木工	26.0	0.5	0.0	0.0
金属工事	1,844.1	37.6	1.7	1.3
左官工事	5,534.3	239.5	5.0	8.1
木製建具工事	6.7	0.1	0.0	0.0
金属建具	3,553.1	71.8	3.2	2.4
ガラス工事	178.1	3.4	0.2	0.1
塗装工事	1,512.0	28.9	1.4	1.0
内装工事	5,338.5	101.0	4.8	3.4
雑工事	3,110.0	59.7	2.8	2.0
プラント関連工事	1,159.6	26.3	1.0	0.9
建築工事合計	111,356.8	2,969.6	100.0	100.0
②建築設備工事				
給排水衛生設備工事	3,237.6	68.0	18.0	18.6
空調設備工事	5,561.7	117.6	31.0	32.1
電気設備工事	9,146.6	180.4	51.0	49.3
建築設備工事合計	17,945.9	366.0	100.0	100.0
③プラント				
受入供給設備	39,682.8	870.6	12.2	13.0
機械工事				
燃焼設備	161,342.6	3,267.5	49.8	48.8
灰出し設備	22,767.6	472.0	7.0	7.1
通風設備	22,699.0	513.0	7.0	7.7
排水処理設備	21,106.4	452.5	6.5	6.8
余熱利用設備	6,563.9	132.7	2.0	2.0
電気設備	23,266.1	461.7	7.2	6.9
計装設備	20,996.5	408.0	6.5	6.1
雑装置	5,663.7	113.8	1.7	1.7
プラント機器工事合計	324,088.6	6,691.8	100.0	100.0
④共通仮設等				
共通仮設	5,511.4	152.5	34.7	42.6
工事間接費	10,384.1	205.5	65.3	57.4
共通仮設・間接費合計	15,895.5	358.0	100.0	100.0
建設工事環境負荷総計	469,286.8	10,385.4

図 4 建設工事別の環境負荷割合

成する主要な受入供給設備、焼却設備、灰出し設備、通風設備、排水処理設備、余熱利用設備、電気設備、計装設備、雑装置の9設備に分類して表6に示した。表6中のハッチング部分は、建築工事、建築設備工事、プラント機械工事、共通仮設工事それぞれのエネルギー使用量と炭素排出量の合計値を示した。また、最下段に廃棄物焼却施設の建設工事に由来するエネルギー使用量と炭素排出量の総量を示した。建設工事に関連して発生する環境負荷はエネルギー使用量が469,286.8GJ、炭素排出量が10,385.4t-Cである。単位床面積当りではエネルギー使用量が42.7GJ/m²、炭素排出量が0.9t-C/m²である。単位床面積当りの環境負荷は、環境負荷の総量を延べ床面積（11,000m²）で除して求めた。なお、建設工事の工事種類別の環境負荷の割合を図4に示した。エネルギー使用量の内訳は次の通りである。建築工事のエネルギー使用割合は23.8%、建築設備工事は3.8%、プラント機械工事は69.0%、共通仮設・経費は3.4%である。また、炭素排出量については、建築工事の炭素排出割合は28.5%、建築設備工事は3.5%、プラント機械工事は64.6%、共通仮設・経費は3.4%である。工事種類別の環境負荷はエネルギー使用量も炭素排出量もプラント機器工事、建築工事、建築設備工事、共通仮設・経費の順に多い。プラント機械工事の環境負荷が工事の全体に占める割合は65～70%であり、施設の建設に由来する環境負荷への影響度は最も大きい。次に、廃棄物焼却施設建設に関連する環境負荷の大きさを相対的に評価するために、オフィスビル建設工事の環境負荷との比較を行なった。¹⁸⁾ オフィスビルの単位床面積あたりの環境負荷はそれぞれエネルギー使用量は9.0GJ/m²であり、炭素排出量は0.2t-C/m²である。廃棄物焼却施設建設工事に由来する単位床面積（1m²）当りのエネルギー使用量はオフィスビルの4.7倍であり、炭素排出量は4.5倍である。

6.4 施設運用の環境負荷と資源消費量

廃棄物焼却処理施設の運営において、1年間に使用された資材に由来する環境負荷を算出した。算出手法は、「6.2 建設工事の資源消費量」、「6.3 建設工事の環境負荷」と同様の手法で行なった。

表 7 施設運用に関わる環境負荷

運用資材			エネルギー [GJ/年]	炭素排出量 [t-C/年]
資材名	数 量	単位		
投入資材量				
部品・工具	-		1,919.1	40.8
消石灰	935	t	8,055.9	161.5
反応助剤	228	t	2,953.2	59.2
セメント	226	t	702.8	32.1
キレート剤	92	t	3,688.5	76.5
アンモニア水(25%)	177	t	7,840.1	138.3
塩酸(35%)	22	t	72.4	1.5
苛性ソーダ(24%)	32	t	154.0	3.1
塩化第二鉄(37%)	5	t	18.8	0.4
その他薬剤	-		1,175.8	23.4
事務・安全用品	-		123.8	2.4
油脂	-		37.1	0.7
軽油	1,101	ℓ	4.5	0.8
ガソリン	492	ℓ	19.4	0.3
ガス	21,685	m ³	847.0	11.9
水道	50,614	m ³	1,592.4	34.3
電気	258,252	kWh	1,813.0	34.1
修繕(炉内耐火物)	-		3,715.8	75.4
原材料(配管類)	-		11.2	0.2
備品購入(除塵装置)	-		70.0	1.4
投入資材量の環境負荷合計			34,814.8	698.3
産出資材量の環境負荷合計 (発電電力量)	13,070,516	kWh	▲ 91,755.0	▲ 1,725.3
施設運用に係わる環境負荷の総計			▲ 56,940.2	▲ 1,027.0

表 8 施設運用に関わる資源量

資源種類	資源消費量 [t/年]									合 計 [t/年]
	木材	鉄鋼石	銅	石灰石	砂利等	石 炭	原 油	天然 ガス	農産物 等	
投入と産出										
投入量	2.2	114.6	6.4	615.5	87.4	343.4	371.2	82.3	20.7	1,643.7
産出量	▲ 2.2	▲ 12.7	▲ 0.1	▲ 17.1	▲ 29.7	▲ 937.7	▲ 397.8	▲ 549.9	▲ 18.0	▲ 1,965.2
合 計	0.0	101.9	6.3	598.4	57.7	▲ 594.3	▲ 26.6	▲ 467.6	2.7	▲ 321.5

法を用いた。算出した環境負荷を表7に示し、資源消費量を表8に示した。表8に示した資源消費量は表7に示した運用資材や電力・ガス等のエネルギーに由来する資源の消費量を示している。施設の運用時に発電した電力については、産出量として示し、マイナス(▲)で表示した。環境負荷と資源消費量は運用のために投入された資材と運用の結果副産物として産出されるものに分けて示した。なお、廃棄物の焼却時に廃棄物から直接排出される炭素量は運用に由来する炭素排出量には算入していない。廃棄物の焼却処理を1年間実施する為には、1,643.7t/年の資源が使用される(表8)。また、施設運用時に使用される資材に起因するエネルギー使用量は、34,814.8GJ/年、炭素排出量は698.3C-t/年である(表7)。環境負荷の算定を行なった施設は焼却排熱を利用した発電を行っており、廃棄物焼却と同時に91,755.0GJ/年のエネルギー(電力)を生み出し、炭素排出量1,725.3t-C/年と資源消費量1,965.2t/年を削減している。従って、施設の運用に伴って投入される資源に副産物として産出される資源等による差引きを考慮すると正味のエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量はそれぞれ▲56,940.2GJ/年、▲1,027.0t-C/年、▲321.5t-C/年である(表7)。表7と表8中のマイナス(▲)の数字は、廃棄物処理によって副産物が生成されることを表している。表7と表8中では排熱発電による電力やこの発電の為に電力会社の発電を補完するために削減される環境負荷や資源などを副産物と考え、マイナス(▲)表示とした。つまり、施設を運用して排熱発電を行なうことによって、施設の建設に投入されたエネルギー、排出された炭素、消費された資源を回収していると解釈することができる。

6.5 廃棄物焼却施設の環境負荷と資源消費量

廃棄物焼却処理施設について建設と運用に由来する環境負荷と資源消費量を統合して考察を行なった。算出手法は「6.2 建設工事の資源消費量」、「6.3 建設工事の環境負荷」、「6.4 施設運用の環境負荷と資源消費量」で求めた計算値を施設の延べ床面積(11,000㎡)で除して求めた。なお、炭素排出量の算定に関しては、廃棄物の焼却時に廃棄物から直接排出される炭素量は運用に由来する炭素量には算入していない。以上の計算結果をもとに施設の運用期間を8年として計算を行い、計算結果を表9に示した。運用期間を8年とした理由は、廃棄物焼却施設は運用開始から10年程度を経過すると設備の劣化が顕著になると同時に、部品の入手が困難となる²¹⁾。従って、運用開始から10年以前に一定規模の単体設備の更新が行なわれていると考えられるためである。表9には環境負荷と資源消費量の内訳を施設建設過程、施設運用過程及び両者の合計値で示した。また、施設運用過程については運用時に使用する資材と排熱発電による電力量に分けて示した。エ

表9 廃棄物焼却処分施設の環境負荷と資源消費量

環境負荷と資源 排出時期等		エネルギー 使用量[GJ/㎡]	炭素排出量 [t-C/㎡]	資源消費量 [t/㎡]
施設建設	建設資材	42.7	0.9	4.4
施設運用	運用資材	25.3	0.5	1.2
	排熱発電	▲66.7	▲1.3	▲1.4
環境負荷・資源量合計		1.3	0.1	4.2

ネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量はそれぞれ1.3GJ/㎡、0.1t-C/㎡、4.2t/㎡である。施設の運用期間が8年時点では、建設工事でのエネルギー使用量と炭素排出量を排熱発電によるエネルギー削減量と炭素排出の削減量が上回っている。また、施設の運用過程では使用した資材に由来するエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量よりも排熱発電によるエネルギー削減量、炭素排出の削減量、資源の削減量の方が上回り、それぞれ2.6倍、2.6倍、1.2倍となる。また、異なる規模の廃棄物焼却処理施設については廃棄物焼却に由来するエネルギー使用量、炭素排出量、資源使用量を施設の単位床面積又は、施設の単位処理能力(1t/日)当りの量で等価に比較することができると考えられることから廃棄物焼却処理能力(360t/日)で環境負荷と資源使用量を除した単位処理能力(1t/日)あたりの環境負荷と資源使用量についても併せて計算した。単位処理能力(1t/日)当りのエネルギー使用量、炭素排出量、資源使用量はそれぞれ38.3GJ/(t/日)、6.0t-C/(t/日)、128.7t/(t/日)である。

7. 一般廃物焼却処理に由来する環境負荷と資源消費量

前出の「6.3 建設工事の環境負荷」と「6.4 施設運用の環境負荷と資源消費量」のエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量の計算値をもとに1トンの一般廃棄物を焼却処理するためのエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量を算出した。計算方法は、廃棄物焼却施設の建設工事と施設運用時の使用資材や排熱発電の電力量に起因する総エネルギー量、総炭素排出量、総資源消費量を焼却処理した一般廃棄物の総量で除して求めた。計算条件は表10に示し、焼却処理を行なった廃棄物1t当りの環境負荷と資源消費量の計算値を表11に示した。1トンの一般廃棄物を焼却するためには、エネルギー使用量は36.1MJ/t、炭素排出量は5.7kg-C/t、資源消費量は121.9kg/tである。施設の運用期間が8年時点では、施設建設時のエネルギー使用量と炭素排出量を排熱発電によるエネルギー削減量と炭素排出の削減量が上回る。施設建設時と運用時の資材に由来するエネルギー使用量は合計で1,966.2MJ/t、排熱発電によって削減されるエネルギー削減量は1,930.1MJ/tであり、正味のエネルギー使用量は1,966.2MJ/tの約2%となる36.1MJ/tに削減される。炭素排出量は建設と運用時の資材に由来する量は合計して42.0kg-C/t、排熱発電によって削減される炭素排出量は36.3kg-C/t、正味の炭素排出量は42.0kg-C/tの14%となる5.7kg-C/tに削減される。資源消費量は建設と運用時の資材に由来する量は合計して163.2kg/t、排熱発電によって削減される炭素排出量は

表10 計算の条件

施設運用期間	8年
廃棄物焼却処分量	47,540t/年

表11 一般廃棄物焼却処理の環境負荷と資源消費量

環境負荷と資源 排出時期等		エネルギー 使用量[MJ/t]	炭素排出量 [kg-C/t]	資源消費量 [kg/t]
施設建設	建設資材	1,233.9	27.3	128.6
施設運用	運用資材	732.3	14.7	34.6
	排熱発電	▲1,930.1	▲36.3	▲41.3
環境負荷・資源量合計		36.1	5.7	121.9

41.3kg/t、正味の炭素排出量は163.2kg/tの75%となる121.9kg/tに削減される。以上のことから、廃棄物の焼却処理では、排熱発電を積極的に行ない施設の長期間運用することによって1トンの廃棄物の焼却処理に要するエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量を削減することができる。

8. まとめ

廃棄物焼却処理施設の建設と運用に関するエネルギー使用量と炭素排出量と資源消費量の算出を行い、以下の結論を得た。

(1) 廃棄物焼却処理施設の建設工事に関連する環境負荷はエネルギー使用量が469,286.8GJ、炭素排出量は10,385.4t-Cであり、資源消費量は48,906.2tである。

(2) 建設工事に関連する単位床面積当りの総環境負荷はエネルギー使用量が42.7GJ/m²、炭素排出量は0.9t-C/m²であり、資源消費量は4.4t/m²である。オフィスビルの環境負荷と比較するとエネルギー使用量と炭素排出量はそれぞれ4.7倍、4.5倍である。また、建設工事過程と8年間の運用過程をあわせた単位床面積当りの環境負荷はエネルギー使用量が1.3GJ/m²、炭素排出量は0.1t-C/m²であり、資源消費量は4.2t/m²である。

(3) 建設工事に関連するエネルギー使用量を建築工事、建築設備工事、プラント機器工事、共通仮設・経費に分類すると、総エネルギー使用量に占める割合はそれぞれ23.8%、3.8%、69.0%、3.4%である。エネルギー使用量が多い工事種類の上位3項目はプラント機械工事の燃焼設備工事、受入供給設備工事、建築工事の土工事である。

(4) 建設工事に関連する炭素排出量は建築工事、建築設備工事、プラント機器工事、共通仮設・経費に分類すると、炭素排出量に占める割合はそれぞれ28.5%、3.5%、64.6%、3.4%である。炭素排出量が多い工事種類の上位3項目はプラント機械工事の燃焼設備工事、受入供給設備工事、建築工事の土工事である。

(5) 建設工事において消費される資源の割合は、鉄鉱石28.3%、石灰石23.5%、砂利等23.4%である。資源消費量が多い工事項目の上位3項目は建築工事のコンクリート工事、プラント機器工事の燃焼設備工事、受入供給設備工事である。

(6) 廃棄物焼却処理施設を8年間運用した場合を想定し、廃棄物1トンを焼却処理するためのエネルギー使用量、炭素排出量、資源消費量を算出した結果、それぞれ36.1MJ/t、5.7kg-C/t、121.9kg/tである。

参考文献

- 1) 林英明他：地域配管の建設によるエネルギー消費量と二酸化炭素排出量，日本建築学会計画系論文集No. 521, pp81-87, 1999. 7
- 2) 井村秀文：建設のLCA，オーム社，平成13年6月
- 3) 鈴木道哉他：住宅建設によるエネルギー消費量と二酸化炭素排出量，産業連関表による建物の評価（その3），日本建築学会計画系論文集No. 463, pp75-82, 1994. 9
- 4) 鈴木道哉他：事務所ビルの建設・運用に関するエネルギー消費量と二酸化炭素排出量，産業連関表による建物の評価（その4），日本建築学会計画系論文集No. 476, pp37-43, 1995. 10
- 5) 吉田直裕：Nビルにおけるライフサイクルアセスメント実施例，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp1009-1010, 2001. 9

- 6) 白井 裕子：埼玉県における処理人口の規模からみたごみ焼却施設の整備実態とその問題点に関する調査，日本建築学会計画系論文集No. 563, pp53-69, 2003. 1
- 7) 永田勝也：廃棄物焼却発電システムのLCA評価，第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp87-90, 1998
- 8) 木原勇信：生活系一般廃棄物に係わる環境負荷の把握，第17回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp685-690, 2001
- 9) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課長通知：ごみ処理の広域化について，1997
- 10) 岡 建雄：建設に関わる資源消費量の算出，建築設備士，1993. 3
- 11) 吉田公夫他：石炭火力発電所建物建設に伴う環境負荷及びフライアッシュセメント利用による環境負荷低減効果の評価，産業連関表による建物の評価（その9）日本建築学会計画系論文集No. 544, pp79-84, 2001. 6
- 12) 総務庁：1995年産業連関表 計数編(1)，(2)，1999. 3，(財)全国統計協会連合会
- 13) A 市廃棄物焼却処分場建設工事資料
- 14) 日立造船(株)：有価証券報告書，日立造船(株)，1995
- 15) 横山計三：1995年表による資源消費原単位，産業連関表による建物の評価（その10），日本建築学会計画系論文集No. 568, pp1-7, 2003. 6
- 16) (財)建設物価調査会：建設工事標準歩掛（平成7年度版）
- 17) (財)建設物価調査会：土木工事積算基準マニュアル（平成7年度版）
- 18) (社)日本建設機械化協会：建設機械等損料算定表（平成7年度版）
- 19) (社)公共建築協会：建設省建築工事積算基準（平成7年度版）
- 20) 横山謙司：1995年表によるエネルギー消費量と炭素排出量の原単位，産業連関表による建物の評価（その8），日本建築学会計画系論文集No. 531, pp75-80, 2000. 5
- 21) 廃棄物学会：廃棄物ハンドブック，P273, 1997. 4，オーム社

注 釈

- 1) 山留め工事の中の工法の一つである。2連又は3連の多軸混練オーガー機で地盤を掘削し、その先端より、セメントスラリーを噴出して掘削と同時に土とセメントの混練を行なう。次に、セメントと土を混練りしと同時に削孔した部分にH型鋼やI型鋼を挿入する。セメントが硬化後には、中心に鋼材があり、鋼材の周囲が土とセメントで硬化された連続壁が形成され、山留め壁となる。図5にソイルセメント連続壁の平面図を示す。

図5 ソイルセメント連続壁の平面図

(2004年7月7日原稿受理，2005年3月25日採用決定)