

線形計画法による土石系循環資源物質の適正利用のフローに関わる環境負荷低減策の検討

九州大学大学院 学生会員 ○坂本 光二, 正会員 中山 裕文, フェロー会員 島岡 隆行, 非会員 長谷川 良二
 国立環境研究所 正会員 大迫 政浩, エックス都市研究所 正会員 小林 均

1. はじめに

近年、低炭素型かつ循環型の持続可能な社会システム実現に向けた取り組みが多方面で求められている。土石系廃棄物(がれき類、無機汚泥、鉱さい、土砂等)はH18年度の廃棄物全体の最終処分量約2,900万tのうち1,510万t(52%)を占め、量が大きく廃棄物の物質フローに大きな影響力を持つ。循環型の持続可能な社会システム実現のためには、最終処分の削減が不可欠であり、土石系廃棄物の有効利用は必須である。しかし、近年、建設分野を初めとする需要の減少などによる土石系循環資源の需給バランスの崩壊が危惧されている。そこで、本研究では、将来における土石系廃棄物の最終処分量削減策と土石系廃棄物の物質フロー検討をすることを目的とし、線形計画法による分析を行った。具体的には、2005年度を基準として2030年度での産業廃棄物の土石系廃棄物の最終処分量の削減目標を設定し、あわせてCO₂排出量の削減を考慮した土石系廃棄物の有効利用方法およびフローについて検討した。

2. 分析方法

本研究では、産業廃棄物由来の土石系廃棄物(以下、土石系産業廃棄物と呼ぶ)のマテリアルフローを図1のように設定し、各業種での廃棄物の収支とCO₂排出量の算定を行った。

2-1 分析の対象範囲・対象物質: 本研究では土石系産業廃棄物のうち、ストック解体由来のコンクリート塊とアスファルト・コンクリート塊、鉄鋼製造工程において副産物として発生する鉄鋼スラグ、主に電気事業より発生する石炭灰を対象とした。この4品目の発生までを供給、利用までを需要とした。需要では砂利・碎石・骨材製造業(天然、再生)、道路関係公共事業、その他の建設業、セメント製品製造業とした。また、発生した土石系廃棄物のうち再利用されないものは最終処分される。CO₂排出量の算定にあたっては図1の破線で囲まれる範囲を対象とした。

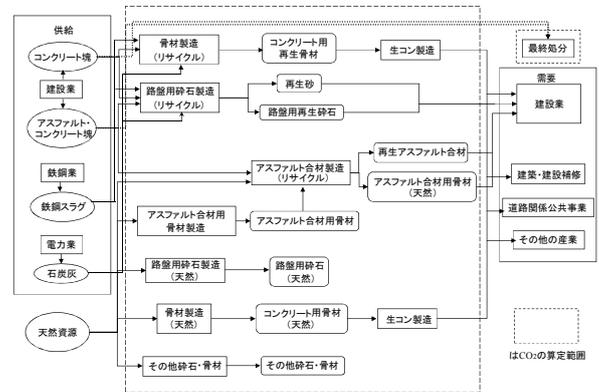


図1 本研究での対象とする土石系産業廃棄物物質フロー

2-2 モデル式・目標値・係数の設定

本研究で用いた線形計画法のモデル式および設定条件を表1に示す。このモデル式では、各業種の生産と需要のバランス、廃棄物の発生量、有効利用量、最終処分量のバランスを制約条件とし、CO₂排出量の最小化を目的関数としている。表1においてXは各業種の国内生産額、Fは各業種の最終需要、ZはCO₂排出量、Wは対象とするストック由来の土石系産業廃棄物の発生量、Lは最終処分量を示す。2030年における目標値の設定では2005年の実績値から2015年の目標値までの推移と同様に2015年以降も最終処分量が推移すると仮定し、2005年比で66%削減の950万tと設定した。また、各廃棄物の最終処分量の割合を乗ずることで各々の2030年の最終処分量の目標値を表1のように設定した。A₁ A₂ A₃ A₄は表2のように設定した。

表1 本研究のモデル式及び設定条件

モデル式	目的関数	Minimize	Z=A ₂ X (CO ₂ 排出量合計値の最小化) ... (1)	
モデル式	制約式	subject to the restrictions	A ₁ X+F=X (各産業における需給制約式) ... (2)	
	非不条件	and	W+A ₂ X-A ₂ X=L (廃棄物の需給制約式) ... (3) X≥0 (国内生産額の非不条件) ... (4)	
設定条件	F 最終需要	・建設分野...2005~2010年を-1.5%、2011~2020を-1.1%、2021~2030年を0%と設定 ・建設分野以外...2005~2010年を1.6%、2011~2030年を1.5%と設定 →建設投資額の予測値およびGDP成長率の予測値を基に設定		
	W 廃棄物発生量	各廃棄物の発生量 ・コンクリート塊...3220万t(2005年)から5478万t(2030年)まで増加 ・アスファルト・コンクリート塊...2606万tから1727万t(2030年)まで減少 →2005年から国土交通省の2020年の予測値(コンクリート塊:5022万t、アスファルト・コンクリート塊:2134万t)までの推移と同様に今後も推移するという仮定の下に設定 ・石炭灰...1067万t(2005年)から1120万t(2030年)まで増加 →「原子力・エネルギー」図面集2010を参考に石炭灰の排出量は横倍に推移するという仮定の下に設定		
	L 最終処分	最終処分量の目標値 ・コンクリート塊...60万t(2005年)から23.5万t(2030年)まで減少 ・アスファルト・コンクリート塊...37万tから14.5万t(2030年)まで減少 ・鉄鋼スラグ...31.7万tから14.5万t(2005年)から12.4万t(2030年)まで減少 ・石炭灰...47.9万tから55.9万t(2005年)から18.9万t(2030年)まで減少 →環境省の2015年度における廃棄物全体の最終処分量の目標値を基に設定		
Z CO ₂ 排出量	算定の対象とした部門 ・碎石、骨材(天然・再生)製造 ・最終処分 →土石系循環資源の利用が製品の製造および施工に伴うCO ₂ 排出量の算定に影響を与えない場合は算定の対象外とした。			

表2 投入係数および原単位

産業連関表の投入係数	A ₁	[-]
廃棄物の投入原単位	A ₂	[千t/百万円]
CO ₂ 排出量原単位	A ₃	[t-CO ₂ /百万円]
発生原単位	A ₄	[千t/百万円]

※産出原単位については鉄鋼スラグのみ算出
 鉄鋼スラグ: 鉄鋼スラグの発生量/鉄鉄・粗鋼・鉄鋼の生産額

2-4 土石系産業連関表への拡張・分割

H17年産業連関表、建設部門産業連関表より土石系に関連する業種については詳細な業種分類を用い、その他の業種は統合した。産業連関表の土石系の業種を天然土石系資材と再生土石系資材に分割するため、表2に示す価格等を用いて天然、再生資材の総生産額を計算して、天然材と再生材に分割し、RAS法を用いて行と列の整合性を調整した。

3. 分析結果および考察

モデル式において目標値を設定した2030年度のコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊、鉄鋼スラグ、石炭灰の最終処分量および計算の結果得られたフローを図5に示す。今回の分析では2030年度の上記4つの土石系産業廃棄物の最終処分量を69万2千t(2005年比66%減)と設定した。この

目標を達成するためには、各土石系資材における再生資材利用内訳を図5のように変化させる必要がある。計算では将来の建設業の最終需要の減少を設定しているため、図3の砕石、コンクリート用骨材については利用量が減少する。種類別の内訳をみると、砕石については、全体の利用量が150百万tから143百万tに減少する中で、再生材の使用量は46百万tから50百万tに増加し、再生材の割合が30.8%から35.0%へ増加した。コンクリート用骨材については、再生材の使用量が4百万tから36百万tへ増加し、使用割合が2.7%から27.2%へ増加した。また、計算の結果、2030年の土石系循環資源に関連する業種におけるCO2排出量は340万t-CO₂から494万t-CO₂となり、2005年に比べて全体で45%の増加となった。

4. まとめ

本研究では2005年を基準として、将来における土石系廃棄物の最終処分量削減を目的として土石系廃棄物の物質フローの分析を行った結果、最終処分量の削減を達成するためには現在の廃棄物の物質フローが大きく変わる必要があることを示した。

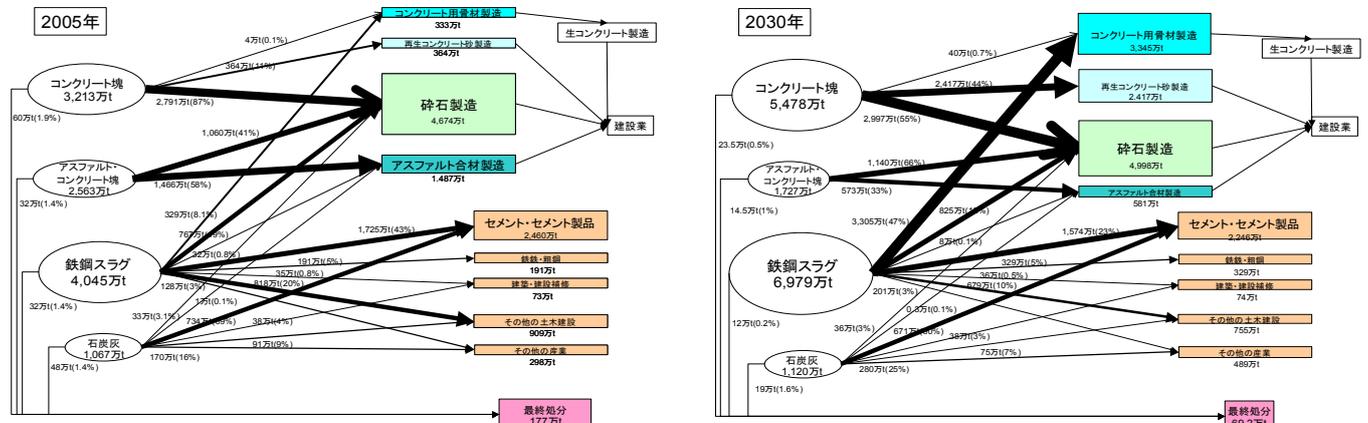


図5 物質フローの算定結果

謝辞：本研究は平成22年度循環型社会形成推進科学研究費「循環型社会ビジョン実現に向けた技術システムの評価モデル構築と資源効率・環境効率の予測評価」(代表者：大迫政浩)の補助を受けて実施をした成果の一部である。記して謝意を表す。

表2 土石系に拡張した産業連関表

需要部門(買い手)	1 天然採石	2 コンクリート骨材	3 その他の砂利・砕石	15 再生As用砕石	16 再生コンクリート用骨材	17 再生コンクリート砂	18 その他の産業	計	最終需要	国内生産
	1 天然採石	2 コンクリート骨材	3 その他の砂利・砕石	15 再生As用砕石	16 再生コンクリート用骨材	17 再生コンクリート砂	18 その他の産業	計	最終需要	国内生産
供給部門(売り手)	生産された財・サービスの販売先の構成								【産出金額】	
粗付加価値	投入された財・サービスの構成								【投入金額】	
国内生産額	投入物量									

表3 土石系資材の単価、単位容積質量およびCO₂排出原単位

産業連関表業種分類	分割後の業種	単価 (円/m ³)	単位容積質量 (t/m ³)	CO ₂ 排出原単位 (t-CO ₂ /百万円)	備考
砂利・砕石	天然砕石	3,150	1.64	3.08	-
	コンクリート骨材	3,300	1.69	5.03	-
	その他の砂利・砕石	2,800	1.67	0.00	-
廃棄物処理(産業)	再生砕石	2,100	1.64	3.96	-
	再生As合材	2,250	1.64	8.50	-
	再生コンクリート骨材	3,300	1.69	32.74	天然材と同じ単価に設定
	再生コンクリート砂	1,900	1.67	8.68	-

注1) 月刊建設物価2006 6月号 財団法人 建設物価調査会
 注2) 電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案) 土木学会
 注3) 島裕和、立屋敷久志、橋本光一、西村祐介、加藤すもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収のLCA評価 参考に設定

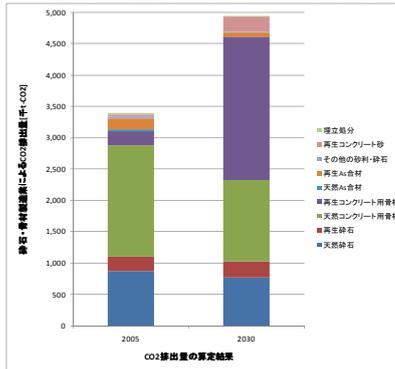


図3 CO₂排出量の算定結果

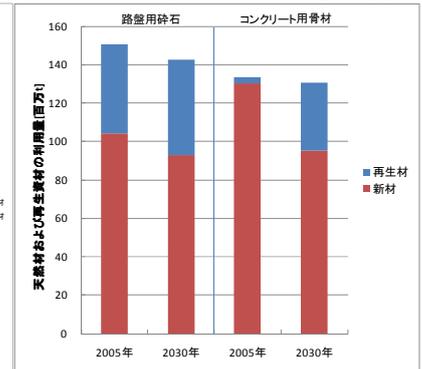


図4 天然材と再生材の使用量と割合