

LCI 分析への GIS データの利用による建設 分野における最適地域環境戦略の探索

東京理科大学 理工学部 建築学科
准教授 兼松 学

平成22年11月

研究関係者紹介

かねまつ まなぶ

兼 松 学

現職：東京理科大学工学部 准教授（博士(工学)）

共同研究者紹介

のぐち たかふみ

野 口 貴 文

現職：東京大学大学院工学系研究科 准教授（博士(工学)）

共同研究者紹介

ながい ひろのり

長 井 宏 憲

現職：東京大学大学院工学系研究科 助教（博士(工学)）

共同研究者紹介

きたがき りょうま

北 垣 亮 馬

現職：東京大学大学院工学系研究科 都市持続再生研究センター 特任助教（博士(工学)）

共同研究者紹介

ふじもと さとし

藤 本 郷 史

現職：広島大学工学研究科社会環境システム専攻 助教（博士(工学)）

目次

1. はじめに.....	5
1.1 目的	
1.2 研究計画の概要	
2. 研究概要.....	6
2.1 研究の背景.....	6
2.2 調査の概要.....	6
2.3 コンクリート関連産業の環境負荷原単位調査とデータベースの構築.....	7
(1) 実態調査.....	7
1) 調査概要	
2) 調査結果	
(2) 環境負荷原単位の算定.....	8
1) 評価範囲	
2) 算定方法	
3) 結果	
(3) コンクリート塊発生量の推定.....	11
1) 建築物の寿命推定	
2) コンクリート塊発生量の推定	
(4) 建築物の解体により発生するコンクリート塊の処理に伴う環境負荷評価.....	15
1) システムの信頼性の検証	
2) ecoMAを用いた廃棄物処理に伴う環境負荷評価	
3) 結果	
(5) マトリクス法による地域性を考慮したLCCO ₂ 排出量予測に関する研究.....	18
1) 研究概要	
2) 評価対象範囲	
3) 仮定条件	
4) 評価方法の提案	
5) 解析シナリオ	
6) 結果	
(6) マトリクス法によるコンクリート関連産業のCO ₂ 排出量シナリオ評価.....	22
1) 評価範囲	
2) 仮定条件	
3) 解析結果	
2.4 結果・考察.....	24

3. 本研究により得られた成果.....	26
4. 今後の課題.....	26
参考資料	27

報 告 書

1. はじめに

1.1 目的

建設産業は地域性が強い一方で物質投入量および廃棄量が多く、環境に対するインパクトは極めて大きい業種であり、また、異業種との廃棄物・副産物の授受は多種多様にわたることから、廃棄物の発生や処理の地域性を無視することができないことが指摘されている。実際コンクリート産業では、リサイクルを推進した結果、環境効率を度外視した遠方からの廃棄物輸送が行われるなど、地域性と施策、LCI 評価の間の不整合は看過できない。

そこで、本研究では、GIS データの利用による建設系廃棄物の最小化を最終目標とし、建設廃棄物・副産物を再生・処分に関わる運搬・製造に伴う環境負荷を最小化し、かつ再生品の品質を限りなく高めるようなマテリアルフローを得るための情報活用システムを構築することを目的とする。

本目的の達成は、地域での静脈産業の環境負荷を最適化戦略の策定に役立つだけでなく、規模情報・処理システムなど個別工場データなどを実装したGISデータの構築は、建設産業における廃棄物情報交換システムのプラットフォームとなりうるものとする。

1.2 研究計画の概要

現在、LCI へのマトリクス法の開発が顕著に進んでいる。マトリクス法は資源循環を考慮し各業種の活動量を算定し LCI を算定する手法であり、リサイクルなどを正確に評価できる点で、異業種からの廃棄物・副産物の受け入れの多い建設業分野での適用により適切な評価が期待できる。著者らは、これまでマルチエージェントシステムによる評価手法の構築を行ってきたが、より簡易な方法としてマトリクス法を工場レベルでの資源循環に適用し、地域性の強い建設産業とりわけコンクリート関連の地域性を考慮可能な LCI 分析を手法の開発を進めている。一方で、近年格段に充実してきている GIS データおよび GIS プログラムの利用は、これら LCI 分析により正確な情報を提供しうる強力なツールとなり得ることが期待されており、これら情報技術の枠組みを利用しない手はない。また、同研究を通じて、コンクリート関連産業の工場ごとの位置情報、生産情報、環境負荷原単位などを含むデータベースの構築を進めている。

そこで、本研究では、上記建設関連産業の個別工場レベルでの環境負荷原単位に関する GIS データベースの構築を行うとともに、既存の住宅地図情報などに基づく個別建物の GIS 情報や、着工統計や除却統計、固定資産台帳などの情報を加えることで、建設産業の廃棄物情報交換システムの基盤 GIS データベースの構築を行う。

さらに、これらを用いて、建設産業の資源循環をマトリクス法とGISの連携により評価するシステムの構築を行い、テストケースとして関東での実証研究として、システムの導入シミュレーションによる最適戦略分析を行う。

本研究範囲では上記地域性を考慮した資源循環分析に必要な、①工場レベルでの環境負荷原単位の調査、②建築物着工統計および固定資産台帳概要調書を用いた地域ごとの解体から発生量予測モデルに関する研究、③マトリクスモデルの導入およびシナリオの検討を実施した。

2. 研究概要

2.1 研究の背景

環境負荷評価を行う際に用いられる環境負荷原単位は、関連する産業や研究機関などによる整備が進んでいる。しかし、建設産業のように負荷排出量の大きな産業の評価では、地域差や工場の規模性が排出状況に影響を及ぼすことが推測されるが、これら地域性や規模性を考慮した原単位の整備は十分なされているとは言えない。

現在、コンクリートに関連する産業の環境負荷評価においては、環境負荷原単位として土木学会の調査結果¹⁾が用いられることが多く、各種統計²⁾などに基づく値が示されている。しかしながら、コンクリート製造による環境負荷は、地域性および規模性があるものと考えられる。前者地域性に関しては、例えば、材料調達に伴う輸送負荷の違いであったり、岩石種の違いによる破砕負荷の差であったり、燃料種の違いや温度管理の有無、製造方式の地域性などに起因するものと考えられる。また後者規模性に関しては、規模の増大に伴う合理化や、製造方式の違い、場内運搬の多寡などが要因として挙げられる。しかしながら、これら地域性・規模性に関する情報は極めて少ない^{3) 4)}。

2.2 調査の概要

本研究においては、解析に使用する基礎データであるコンクリート関連産業の環境負荷原単位の算定を目的として、一連の調査研究を実施した。

首都圏と北海道の2地域においてコンクリート関連産業を対象として実態調査を行い、環境負荷原単位算定のための基礎データを整備した。また、環境負荷排出における地域性の検討を行い、地域別・工場種別に環境負荷原単位を算定した。また、以降の解析で用いるべく、個別工場の立地、生産能力、生産実績、生産品目、環境負荷原単位、取引工場などについてGISで利用可能な形でデータベースを構築することを目的とする。

調査結果に基づき環境負荷原単位を算定した結果、環境負荷原単位に対して地域性の影響は確かめられたが、規模性との相関関係に関して有意な結果は得られなかった。調査の対象とした北海道と首都圏ではコンクリートの需要が大きく異なるため、地域性による原単位の違いが地域全体での負荷評価の際に及ぼす影響は無視できないものと考えられる。

また、廃棄物関連のマテリアルフロー分析での利用を目的として、地域性を加味した建設廃棄物発生量予測手法の開発を目指し、東京都23区における区毎のコンクリート塊発生量の推定手法の開発・高度化を行った。

続いて、建築物の解体により発生する廃棄物の処理に関して、最終処分される廃棄物量、およびCO₂排出量の削減を目的として、これまでに著者らが開発してきたマルチエージェントシステム(ecoMA⁵⁾)を用いて、中継ヤード設置シナリオの検討を行った。

最後に、本研究の目標であるマトリクス法についてプログラムを作製し、コンクリート関連産業での廃棄物物流の分析を例として、CO₂削減効果が高いと考えられるシナリオを設定し、関東圏におけるマテリアルフローシミュレーションを実施し分析を行った。

2.3 コンクリート関連産業の環境負荷原単位調査とデータベースの構築

(1) 実態調査

1) 調査概要

コンクリート関連産業の環境負荷原単位算定のため、首都圏、および北海道のコンクリートに関連する産業に対して実態調査を行った。調査は、CO₂排出につながる事項についてのヒアリングおよびアンケート調査とした。調査の概要を表 1 に示す。調査の対象とする工場は、表 2 に示す工場とし、各産業の組合に加盟している工場から、生産規模などを加味して選択した。なお、セメント工場については、中村らが 2002 年に実施した 4 社 13 工場を対象とした調査結果⁶⁾を用いた。また、調査の結果、回答の得られた全工場に対して電話による問い合わせをし、データの整合性の確認を行った。

表 1 調査概要

対象地域	首都圏（1都7県）、北海道
調査方法	電話、ファックス、ヒアリング
調査時期	2005年～2008年
調査対象	調査工場数の表を参照
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・生産量または処分量 ・生産能力または許可容量 ・原材料種別および調達先（所在地など） ・製造製品種類 ・工場使用エネルギー量（購入電力、LPG、ガソリン、重油、軽油、灯油）

表 2 調査工場数

工場種	首都圏			北海道			組織率 (%)
	データ回収工場数	有効データ数	組合加盟工場数	データ回収工場数	有効データ数	組合加盟工場数	
生コンクリート工場	37	17	919	22	18	345	73.9
砕石工場	26	22	185	29	24	201	87.8
砂利工場	26	26	214	23	11	65	—
アスファルト合材工場	12	10	190	18	17	189	—
中間処理場	115	33	767	27	7	220	—
最終処分場	4	0	60	8	5	187	—
セメント工場	*	—	—	*	—	—	100

*は全国で4社13工場

2) 調査結果

本調査の調査時期は 2005～2008 年であるが、2008 年は主に首都圏の砕石工場、砂利工場の調査を行った。調査により得られた回答のうち、原単位算定に有効な回答の得られた工場数を表 2 に示す。アンケートにより得られた工場の使用エネルギーは、工場種ごとに違いがみられた。レディーミクストコンクリート工場、砕石・砂利工場、中間処理場においては軽油・電力が、最終処分場においては軽油が主な使用エネルギーであった。アスファルト合材工場においては重油・電力が主な使用エネルギーであったが、北海道の工場においては軽油の使用もみられた。これは冬期における重機のエンジン凍結防止を目的とした連続運転や、除雪作業に用いる重機の使用によるものであった。

(2) 環境負荷原単位の算定

調査によって得られたデータから、工場種別、地域別の環境負荷原単位の算定を行った。

1) 評価範囲

原単位算出の対象とする評価範囲は、工場の製造段階とし、原材料調達段階における輸送や、流通・販売段階などは対象外とした。また、この製造段階には、工場内での輸送による負荷発生量も含めるものとした。工場内で使用されるエネルギーは表 3 に示すものを対象とした。各エネルギー原単位は、使用時に排出される負荷発生量を評価範囲とし、エネルギーの生産時に排出される負荷量は範囲外として JEMAI-LCA⁷⁾ より得た。

2) 算定方法

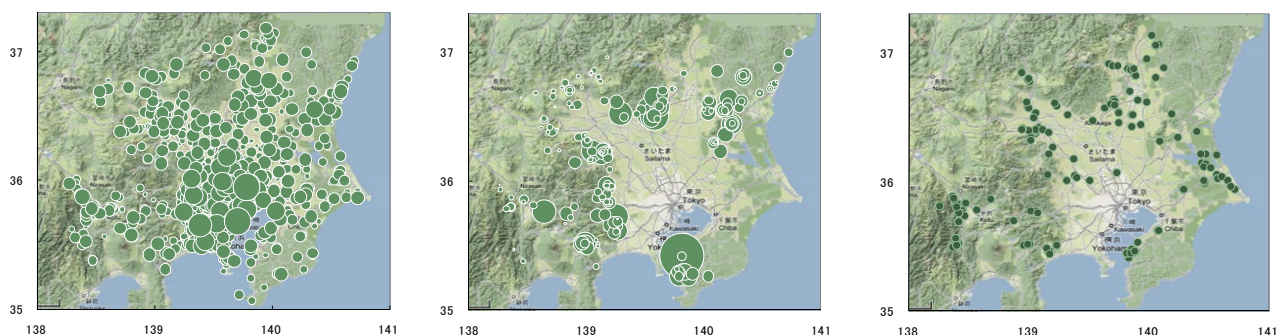
実態調査によって得られたデータをもとに、工場のエネルギー年間使用量に、表 3 に示すエネルギー原単位を乗じることにより、工場の製造により生じる CO₂ 排出量を求めた。これを年間の生産量で除することにより CO₂ 排出原単位を算出した。北海道においては、冬期の暖房使用などによるエネルギー量の増加に加え、冬期の工場の稼働停止や、除雪業などの副業を行う工場がみられた。その一方で、冬期は建設工事自体が少なくなることから、季節による影響は複雑であり、正確な評価にはさらなる検討が必要であると考えられる。本研究では、これらの季節変動を含めて年単位での分析を行った。

表 3 JEMAI-LCA によるエネルギー原単位⁷⁾

エネルギー名	JEMAI-LCA 環境負荷原単位	備考
重油	3.05 kg-CO ₂ /ℓ	
軽油	2.81 kg-CO ₂ /ℓ	比重を0.85 として計算
ガソリン	2.84 kg-CO ₂ /ℓ	比重を0.75 として計算
灯油	2.64 kg-CO ₂ /ℓ	比重を0.8 として計算
LPG (ガス)	1.67 kg-CO ₂ /ℓ	比重を0.5 として計算
購入電力量	0.42 kg-CO ₂ /kwh	

3) 結果

図 1 に、調査の結果得られた工場のデータから作成した規模性・立地条件の調査結果を示す。生コンクリート工場、砕石工場に関しては、工場の規模情報を円の大きさと表した。



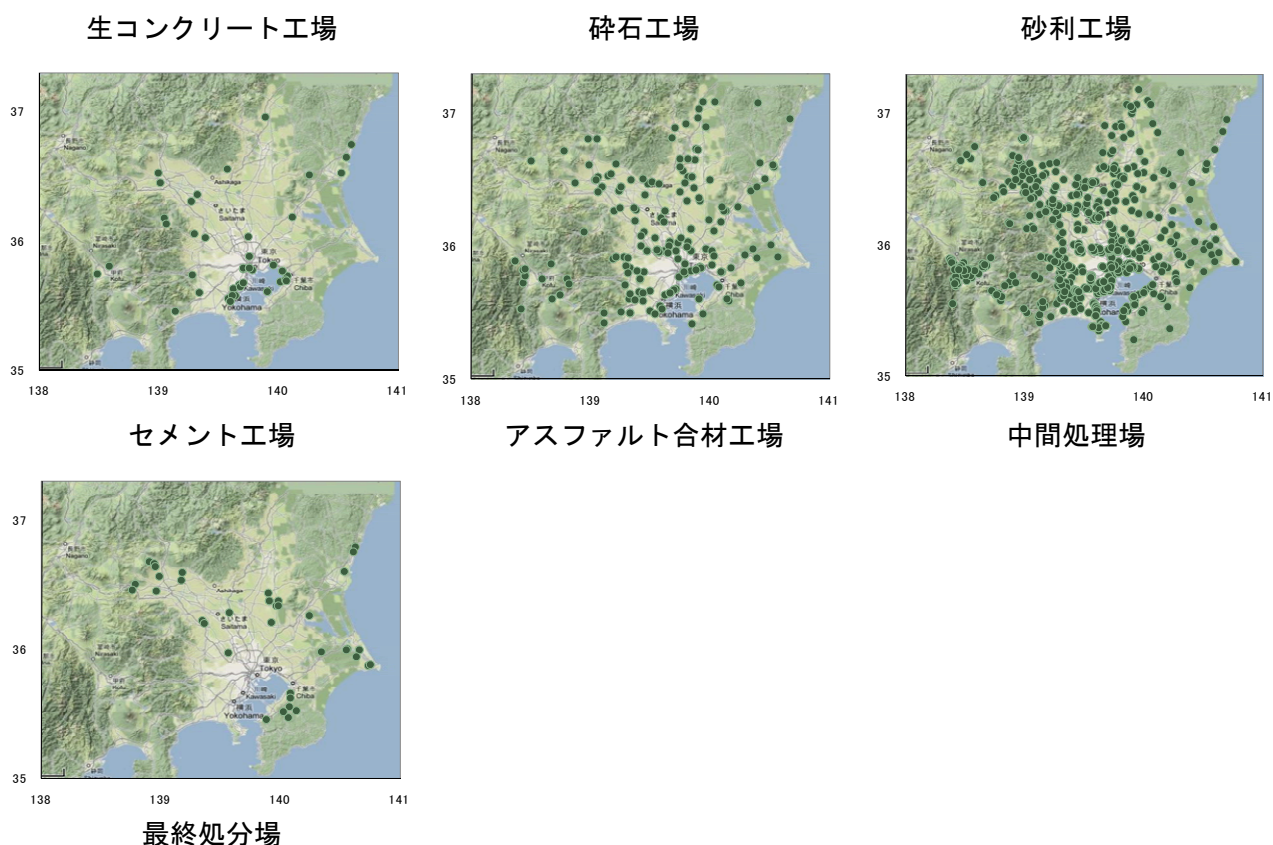


図1 規模性・立地条件の調査結果（首都圏）

図2に首都圏および北海道における工場種ごとの年間生産量とCO₂排出原単位のグラフを示す。これより、概して北海道の工場生産量は首都圏に比べ小さく、また、CO₂排出原単位は大きい傾向があることが確かめられた。図3に首都圏および北海道の2地域の生産量を、工場数により等分して平均し、それぞれの平均生産量において算出した平均原単位と標準偏差を示す。これより、レディーミクストコンクリート工場および砕石工場では、工場の規模の拡大に伴い原単位が減少する傾向がみられた。また、規模の小さな工場ほど原単位のばらつきは大きい傾向がみられた。しかし、砂利工場においては規模と負荷排出に有意な傾向はみられなかった。これは、採取地域や砂利原石の採取方法により、他の産業に比べて工場の形態が多様であるためだと考えられる。これより、コンクリート関連産

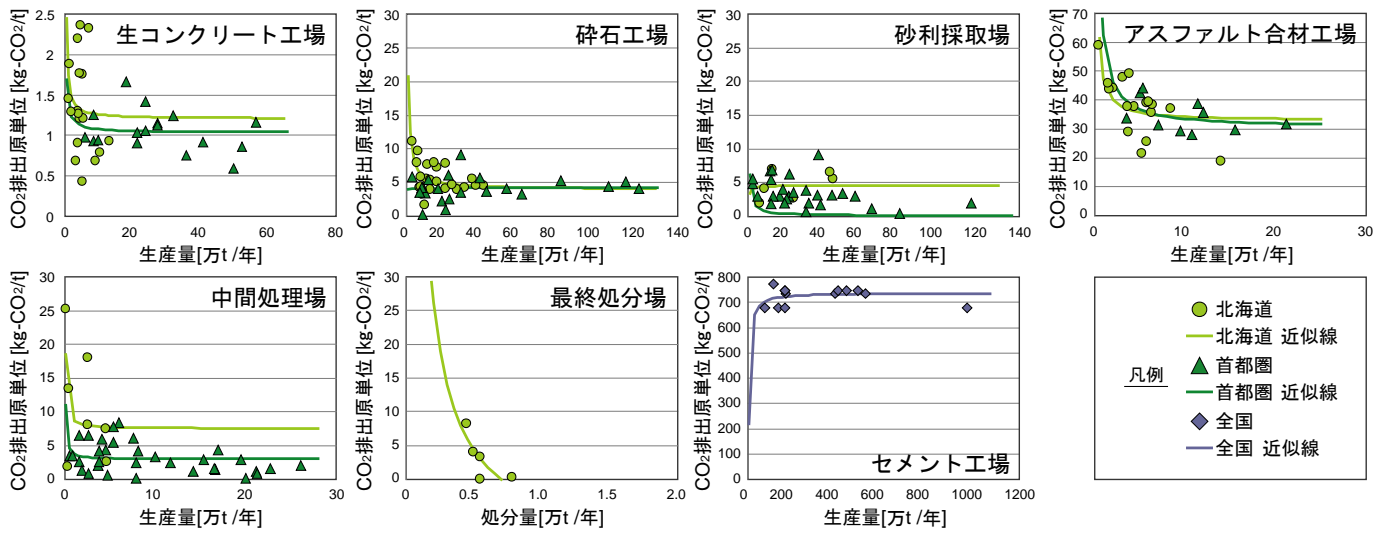


図2 首都圏および北海道における年間生産量とCO₂排出原単位グラフ

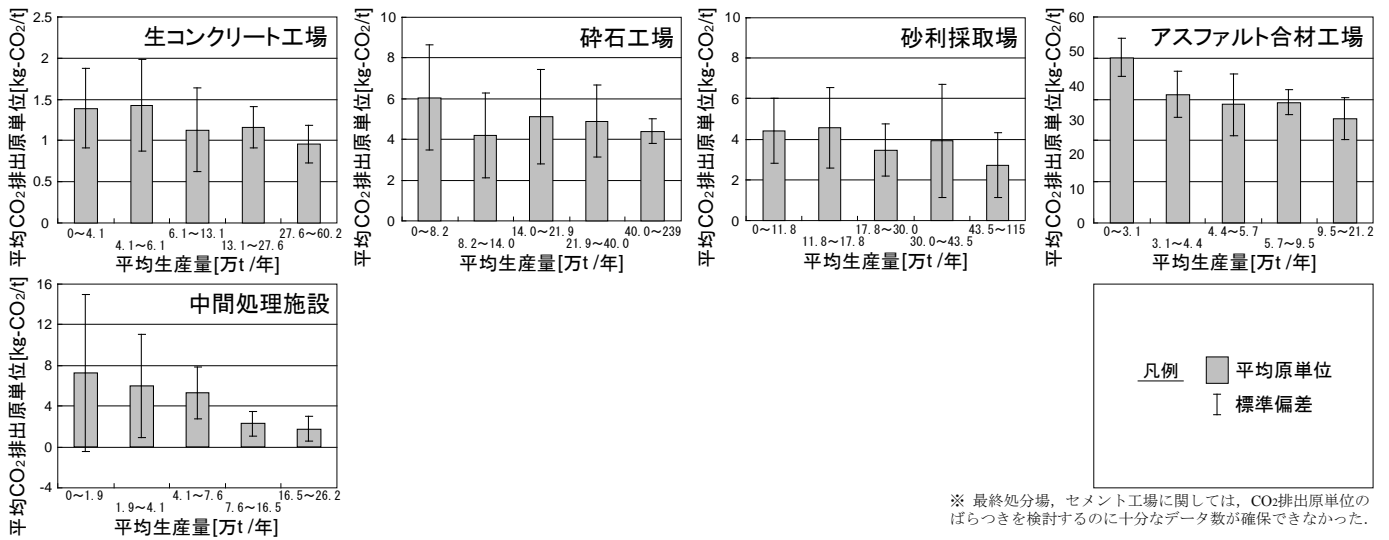


図3 2地域の工場生産量平均値とCO₂排出原単位平均値および標準偏差グラフ

表4 CO₂排出原単位の平均値および近似式，標準偏差

※ 最終処分場，セメント工場に関しては，CO₂排出原単位のばらつきを検討するのに十分なデータ数が確保できなかった。

	地域	CO ₂ 排出原単位平均値 調査結果	CO ₂ 排出原単位 参考値文献[1][8][9]	近似式*1	標準偏差
セメント工場	全国	733.98 (kg-CO ₂ /t)	746.60 (kg-CO ₂ /t)	$y = -0.013x + 730.2$ (kg-CO ₂ /t)	32.73
生コンクリート工場	首都圏	1.06 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -0.004x + 1.192$ (kg-CO ₂ /t)	0.24
	北海道	1.36 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -0.056x + 1.650$ (kg-CO ₂ /t)	0.57
	全国	—	0.26*2[1] (kg-CO ₂ /t)	—	—
砕石工場	首都圏	8.29 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -0.049x + 10.29$ (kg-CO ₂ /t)	1.79
	北海道	5.64 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -0.061x + 6.604$ (kg-CO ₂ /t)	2.15
	全国	—	2.9~3.7*2[1] (kg-CO ₂ /t)	—	—
砂利工場	首都圏	3.56 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -0.033x + 4.564$ (kg-CO ₂ /t)	2.03
	北海道	4.69 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = 0.061x + 3.305$ (kg-CO ₂ /t)	1.88
	全国	—	12.0*3[8] (kg-CO ₂ /t)	—	—
アスファルト合材工場	首都圏	34.40 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -0.474x + 39.20$ (kg-CO ₂ /t)	5.32
	北海道	38.21 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -2.316x + 49.35$ (kg-CO ₂ /t)	9.91
	全国	—	35.3[9] (kg-CO ₂ /t)	—	—
中間処理場	首都圏	3.17 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -0.124x + 4.367$ (kg-CO ₂ /t)	2.19
	北海道	10.94 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -1.957x + 15.11$ (kg-CO ₂ /t)	7.85
	全国	—	—	—	—
最終処分場	首都圏	—	—	—	—
	北海道	3.20 (kg-CO ₂ /t)	—	$y = -18.08x + 13.30$ (kg-CO ₂ /t)	3.00
	全国	—	—	—	—

*1 x = 生産量 (万 t), y = CO₂排出原単位 (kg-CO₂/t) *2 工場全体の消費電力を考慮しない値 [1] *3 砂利・採石の値として掲載 1995年値[8]

業の環境負荷評価においては、地域性を考慮した原単位を用いることは有効であるが、工場の規模性に関しては原単位の平均値を用いるのが適当であるということが確かめられた。

(3) コンクリート塊発生量の推定

現在、統計などとして公開されているコンクリート塊の排出量予測は、全国での予測値であり、地域別にどれだけのコンクリート塊が発生するかを読み取ることはできない。しかし、本研究で評価する廃棄物処理フローは、実社会を精緻に評価するため、廃棄物発生地域、および発生量を詳細に求める必要がある。また、これまでに実施された多くのコンクリート塊発生量予測では、建築物の長寿命化や、景気の低迷による解体の抑制等が考慮されていない。そこで本研究では、固定資産データをもとに建築物の減失率を推定し、比例ハザードモデルを用いて、建築物の寿命に影響を及ぼす社会的因子を考慮した島らの手法¹⁰⁾を用い、評価の対象とする地域における、地区ごとのコンクリート塊発生量の推定を行った。

環境負荷評価は、東京都23区から排出される廃棄物を対象とするため、コンクリート塊発生量の推定を東京都23区の区毎で求めることとした。

1) 建築物の寿命推定

① 比例ハザードモデルによる減失率の推定

本研究ではCoxの比例ハザードモデルを使用し、実社会の諸要因を考慮した推定を行う。

$$\lambda(i, j) = \lambda_0(j-i) \exp(\beta_{i,1}X_{i,1} + \beta_{i,2}X_{i,2} + \dots + \beta_{i,m}X_{i,m} + \beta_{j,1}X_{j,1} + \beta_{j,2}X_{j,2} + \dots + \beta_{j,n}X_{j,n}) \quad \text{式 1}$$

ここで、 $\lambda(i, j)$: 新築年 i の建築物の観察年 j における減失率であり、 $\lambda_0(t)$: 時間 t におけるベースラインハザード関数であり、 $\beta_{i,1} \sim \beta_{i,m}$, $X_{i,1} \sim X_{i,m}$ はそれぞれ新築年 i における説明変数

の係数および値であり， $\beta_{j,1} \sim \beta_{j,n}$ ， $x_{j,1} \sim x_{j,n}$ は観察年 j における説明変数の係数および値である．ベースラインハザード関数には，信頼性工学において寿命分布等によく用いられるワイブル分布を用いた．

$$\lambda_0(t) = m \cdot \frac{\ln 2}{T^m} \cdot t^{m-1} \quad \text{式 2}$$

ここで， $\lambda_0(t)$ ：時間 t （経年数）におけるベースラインハザード関数であり， m ：形状母数， T ：ベースラインハザード関数の平均寿命（年）である．

②説明変数の検証

建築物の解体に影響を与える要因を検証し，観察年において解体に影響を与える可能性のある指標を表 5 に説明変数として挙げ，式 1 にて非線形回帰計算を行った．説明変数の組み合わせを変更して回帰計算を繰り返し行い，有意な説明変数だけを用いて，自由度修正済決定係数 R^2 がもっとも大きくなる説明変数の組み合わせを決定した．また，新築年による説明変数としては，1980 年以降に新築された建築物において耐震基準改定の影響を考慮することとして 1 を，それ以前を 0 とするダミー変数を使用した．

表 5 入力データ

入力データ	使用データ期間	データ出典元	発行元
経済成長率(実質GDP対前年増加率)	1981～2007	国民経済計算年報平成20年度版	総務省統計局
公定歩合	1960～2007	基準割引率および基準貸付利率	日本銀行
地価上昇率(対前年増加率)	1965～2007	市街地指数	(財)日本不動産研究所
建設投資率(対前年)	1960～2007	建設工事費デフレーター	国土交通省
着工床面積増加率(対前年)	1960～2007	建築統計年報 各年度ごとに入手	東京都都市整備局
着工床面積比	1960～2007	建築統計年報 各年度ごとに入手	東京都都市整備局
人口増加率(対前年)	1960～2007	住民基本台帳 東京23区人口	総務省統計局

③予測精度の検証

非線形回帰計算の結果を表 6 に示す．木造においては， R^2 は 0.80～0.97 と高く，非木造においては，0.70～0.85 であった．非木造においては，解体される規模が大きく，滅失率の変動が激しいため木造に比べ，低い結果となった．また，ワイブル分布において 95%信頼区間の幅が狭いものは適用性が高いことを示していることから，表 7 に示すような m ， T の 95%信頼区間の値も考慮して比較を行った．さらに固定資産データによる滅失率との検証を行った．これらから，観察年の説明変数としては，経済成長率，地価上昇率，着工床面積増加率，人口増加率が有意であると判断した．地域における相関が高く，地域性を反映させることができた．

表 6 非線形回帰結果

説明変数の組み合わせ	自由度修正済決定係数R ²	
	木造	非木造
ダミー変数 公定歩合	0.831	0.748
ダミー変数 経済成長率	0.821	0.733
ダミー変数 公定歩合 経済成長率	0.833	0.750
ダミー変数 公定歩合 地価上昇率	0.829	0.739
ダミー変数 着工床面積増加率 人口増加率	0.976	0.798
ダミー変数 公定歩合 経済成長率 地価上昇率	0.832	0.791
ダミー変数 着工床面積増加率 公定歩合 経済成長率 地価上昇率	0.924	0.827
ダミー変数 公定歩合 建設投率 地価上昇率 人口増加率	0.978	0.802
ダミー変数 経済成長率 地価上昇率 着工床面積増加率 人口増加率	0.977	0.848
ダミー変数 経済成長率 地価上昇率 着工床面積比 人口増加率	0.979	0.821

表 7 決定した説明変数の係数

パラメータ	木造推定値	95% 信頼区間		非木造推定値	95% 信頼区間	
		下限	上限		下限	上限
m	2.675	2.578	2.772	4.195	3.800	4.589
T	37.934	37.089	38.780	47.525	45.296	49.753
ダミー変数	-0.150	-0.237	-0.063	0.293	-0.070	0.657
人口増加率	-0.516	-0.566	-0.465	-0.528	-0.728	-0.329
着工床面積増加率	-0.003	-0.005	-0.001	0.010	0.004	0.015
経済成長率	-0.018	-0.030	-0.006	-0.119	-0.157	-0.081
地価上昇率	-0.005	-0.016	0.007	-0.083	-0.122	-0.045

④平均寿命の推定

1960年以降に新築された建築物の残存率を式3にて求める。

$$R(i, j) = R(0.5) = 1 \quad (i=j)$$

$$R(i, j) = R(0.5) \prod_{k=i+1}^j (1 - \lambda(i, k)) = \prod_{k=i+1}^j (1 - \lambda(i, k)) \quad (i < j) \quad \text{式 3}$$

ここで、 $R(i, j)$ ：新築年 i の建築物の j 年末における残存率、 $R(0.5)$ ：新築年 i の建築物の i 年末における残存率を 1 とみなす、 $\lambda(i, j)$ ：新築年 i の建築物の観察年 j における比例ハザードモデルによる滅失率である。

2) コンクリート塊発生量の推定

①推定方法

比例ハザードモデルにおいて推定した滅失率と残存率の積で表される除去確率密度を用い、1960年以降の各年の着工床面積とコンクリート塊発生源単位から式4にてコンクリート塊発生量を予測する。着工床面積は建築統計年報の東京の各年のものを使用した。また、コンクリート塊発生源単位は、橋本らの報告値¹¹⁾から、木造 0.205t/m²、建築業協会報告値から S 造 0.617 t/m²、SRC 造 1.097t/m²、RC 造 1.134 t/m²とした。

$$W(j) = G \times \sum_{i=1960}^j [I_i \times R(i, j-1) \times \lambda(i, j)] \quad \text{式 4}$$

ここで、 $w(j)$: j 年におけるコンクリート塊発生量 (t), I_i : 新築年 i における着工床面積 (m^2), G : コンクリート塊発生源単位 (t/m^2), $R(i, j)$: 新築年 i の建築物の j 年末における残存率, $\lambda(i, j)$: 新築年 i の建築物の観察年 j における比例ハザードモデルによる減失率である。なお、2007 年度以降の説明変数は、表 8 に示すように将来シナリオを設定した。

表 8 説明変数の将来シナリオ

説明変数	2009～2010	2011～2015	2016～2020	2021～2025	2026～2030	2030～2060
着工床面積増加率	0	0	0	0	0	0
経済成長率	2.1	1.9	1.9	1.2	1.2	1.2
地価上昇率	0	0	0	0	0	0
人口増加率	0.52	0.24	0.06	-0.08	-0.22	-0.32

②推定結果

推定結果を図 9, 10 に示す。木造の平均寿命は 40 年, 非木造は 46 年であった。非木造において、新築年 1970 年の平均寿命が 50 年であるのに対し、2000 年は 44 年と 6 年ほど短くなる結果となった。これは、説明変数の影響を分析するための実データが、新築年の新しいものは 7～17 年と短い期間であることが原因であると考えられる。また、表 7 に示す説明変数の係数推定値において、非木造の人口増加率に関わる係数は -0.528 であった。これは、人口増加が 0% の時に比べて 1% 増加すると減失率が約 6 割 ($\exp(-0.528) = 0.59$) に低下することをあらわしている。なお、この減失率の低下は、他の説明変数の影響を受けない場合のものであることに注意を要する。これより、人口の増減は建築物の需要と関わりがあることが示された。寿命をもとに推計したコンクリート塊の発生量は 2030 年にピークを迎え、その後は減少していく結果が得られた。また東京都環境局によれば、2006 年度に東京都から排出されるコンクリート塊の量は 386 万 t であり、推定結果は 333 万 t とほぼ同じ値が得られた。

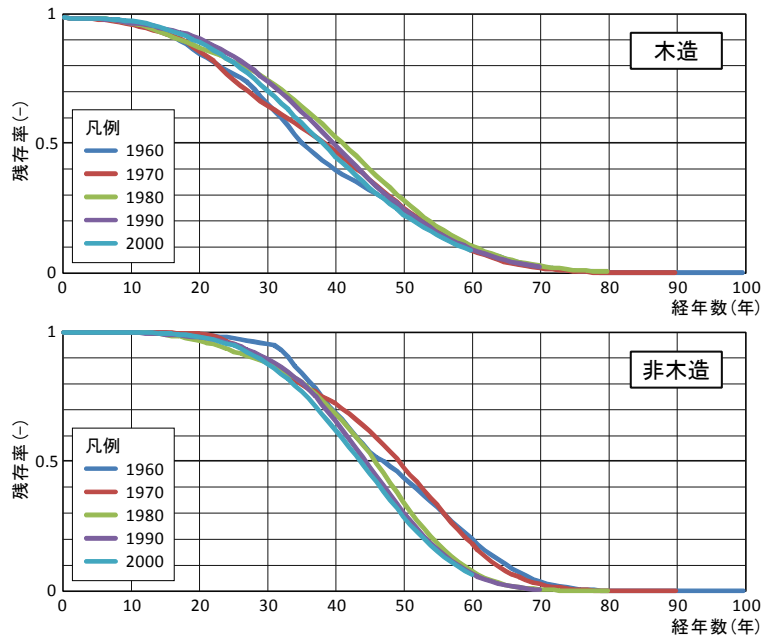


図9 残存率曲線

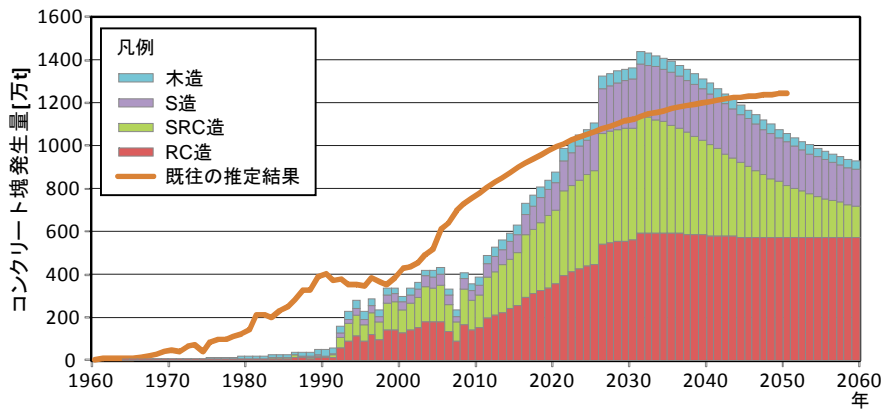


図10 コンクリート塊発生量

③コンクリートの需要量の推定

東京都23区では、統計より、1997年から2007年までの11年にもわたって需要量が除却量の6.2倍程度であり、ほぼ一定であった。そこで、将来のコンクリート需要量においても除却量に比例するものと仮定した。

(c)排出量予測のまとめ

図10に示すように、既往の研究では将来のコンクリート塊の排出量は増加傾向にあった。今後の人口減少をモデル化したことにより、コンクリート塊発生量は2030年以降減少すると予測される。人口減少によって建築物需要が減り、建築物が壊されなくなると考えられる。

(4) 建築物の解体により発生するコンクリート塊の処理に伴う環境負荷評価

ecoMA とは、マルチエージェントシステムを利用した資源循環シミュレーションシステムであり、時間・社会・地理因子を考慮することで、実社会を模擬するシステムである。

1) システムの信頼性の検証

本シミュレーションシステムの出力の信頼性検証を目的として、ecoMA による出力結果と実社会における統計データとの比較を行った。評価の対象とする地域は関東地方（1都6県）とし、以下に示す2つのシナリオによる検証を実施した。

a 生コンクリートの生産量比較シナリオ

建築物着工統計¹²⁾ から県別にコンクリートの需要量を算出し、この需要をまかなうために生コンクリート工場で生産されるコンクリート生産量のログをとった。工場の立地は、生コン協同組合から入手した名簿に基づく実際の工場のデータを用いた。なお、工場の生産能力に制限は設けないものとした。解析の結果得られた生コンクリート工場の生産量を、生コンクリートの県別出荷実績の統計¹³⁾ と比較した結果を図 11 に示す。

b 廃棄物受入量の比較シナリオ

建設系廃棄物発生量の統計¹⁴⁾ から、評価地域の廃棄物発生量を算出し、中間処理施設および最終処分場における廃棄物受入量のログをとった。処理施設および処分場の立地は、廃棄物関連組合等から得た名簿に基づく実際のデータを用い、処理能力は全処理施設の平均値とした。廃棄物のフローは統計に基づく再資源化率、最終処分率により定めた。解析の結果得られた廃棄物受入量を、建設系廃棄物発生量の統計と比較した結果を図 12 に示す。

c 検証結果

2つのシナリオの結果より、ecoMA による出力と実社会の統計は総量では合致しており、また、県別や工場種別の出力結果もほぼ一致する結果となっている。このことから、ecoMA のエージェントの挙動は現実社会を的確に反映しており、システムの出力の信頼性が確認された。

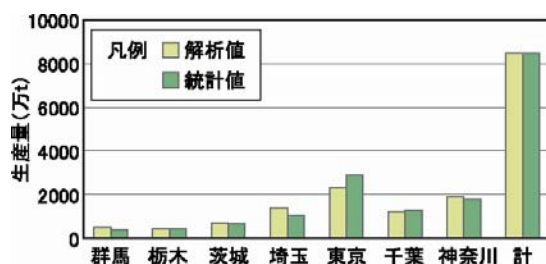


図 11 生コンクリート工場の生産量の比較

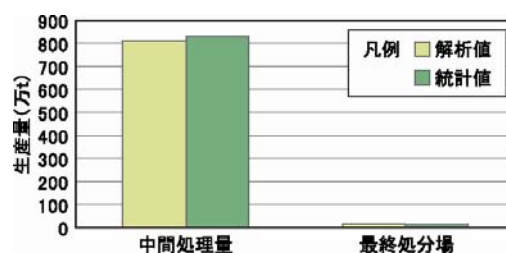


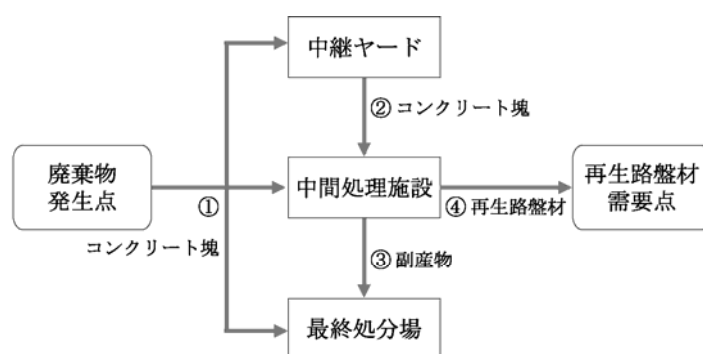
図 12 廃棄物受入量の比較

2) ecoMA を用いた廃棄物処理に伴う環境負荷評価

高度経済成長期に大量に供給されたコンクリート構造物の更新に伴い、近い将来、コンクリート系廃棄物量の増加が予想される。しかし、最終処分場の残余年数は 7.2 年とされており¹⁵⁾、最終処分される廃棄物量の削減が求められている。大都市圏では、処理のために

廃棄物の広域輸送が行われているが、経済性や環境面の問題から排出地域近辺での処理が望ましいとされている。

そこで本研究では、建築物の解体により発生する廃棄物のうち、コンクリート系廃棄物を対象とした環境負荷評価を行った。シミュレーションでは、図 13 に示す廃棄物処理フローを設定し、環境負荷として、このフローから発生する最終処分される廃棄物量、および CO₂ 排出量を評価の対象とした。評価範囲は、建築物の解体により廃棄物が発生した時点から、最終処分場において処分されるまで、または、中間処理施設において再資源化されるまでを対象とした。資本財の建設やエネルギーの加工による環境負荷発生は評価範囲外とし、廃棄物の処理・処分、および輸送による環境負荷を評価することとした。本研究において設定したシナリオの概要を表 9 に示す。廃棄物処理フローにおいて、中間処理施設と最終処分場の他に、中継ヤードを加えることによる環境負荷低減効果に関して評価を行うこととした。本研究における中継ヤードとは、廃棄物を一時保管する役割を持つ場所として定め、廃棄物の処理、加工や処分等は行わないものとする。この中継ヤードの設置により、輸送距離の効率化、および廃棄物処理時間の延期を図ることによる最終処分場の残余年数の延伸を期待する。シミュレーションに用いた入力データの概要を表 10 に示す。



廃棄物等の輸送条件

- ① 廃棄物発生点から半径30km以内にある中継ヤード、中間処理施設、最終処分場において、距離にして最も近いヤード、中間処理施設から順次コンクリート塊を受け入れる。受入可能なヤード・施設がなくなった場合は、発生点に最も近い最終処分場へ輸送する。30km以内に受入可能なヤード等がなくなった場合は、半径30km以上にあるヤードなどへ輸送する。
- ② 中間処理施設において再生路盤材の製造に必要なコンクリート塊の量が不足した場合、中間処理施設に最も近い中継ヤードから、ヤードに溜めていたコンクリート塊を輸送する。
- ③ 中間処理施設において再生路盤材の製造により副産物が発生した場合、中間処理施設から最も近い最終処分場へ、副産物を輸送する。
- ④ 再生路盤材の需要が発生した場合、路盤材の需要発生点に最も近い中間処理施設から需要点へ、再生路盤材を輸送する。

図 13 廃棄物処理フロー，および廃棄物輸送の設定条件

表 9 シナリオの概要

シナリオ1	中継ヤードを基盤の目状に10km間隔で設置 中継ヤード数 546
シナリオ2	中継ヤードを基盤の目状に30km間隔で設置 中継ヤード数 62
シナリオ3	中継ヤードを設置しない 中継ヤード数 0

表 10 入力データの概要

評価期間	2009年～2019年
評価地域	東京を中心として 基準地域メッシュ*300×300メッシュ
廃棄物発生場所	東京都23区
中間処理施設数	関東地方に立地する 656施設
最終処分場数	関東地方に立地する 62施設
中間処理施設・最終処分場の 廃棄物年間受入容量	一日あたりの処理能力×年間稼働日数 で算出 処理能力が不明なものは、他の施設の平均値
輸送CO ₂ 排出原単位	0.078 kg-CO ₂ /t・km
中間処理施設CO ₂ 排出原単位	3.17 kg-CO ₂ /t
最終処分場CO ₂ 排出原単位	3.20 kg-CO ₂ /t

*基準地域メッシュ：JIS X 0410に規定

3) 結果

図 14 に、ecoMA によるシミュレーションの結果を示す。評価結果は、中継ヤードの設置数が多いシナリオ 1 ほど、他のシナリオに比べて CO₂ 排出量、最終処分量ともに減少する傾向がみられた。また、シナリオ間の環境負荷量の差は 2012 年ごろから見られた。これは、2012 年までは廃棄物量が中間処理施設の受け入れ可能量を下回っていたが、2012 年を境に廃棄物の発生量が受け入れ可能量を上回り、中継ヤードが使われ始めたことが考えられる。また、本解析では評価期間を 10 年間と設定したが、時間の経過によりシナリオ 1 とシナリオ 2 の環境負荷発生量の差が広がることから、評価期間をより長く設定した場合、環境負荷発生量の低減効果はより顕著になることが想定される。以上より、中継ヤードを設けることによって、廃棄物輸送の効率化、および最終処分される廃棄物の排出時期の延期が可能となることが示された。このことから、廃棄物処理フローにおいて中継ヤードの設置による環境負荷発生量の削減が可能となることが示された。

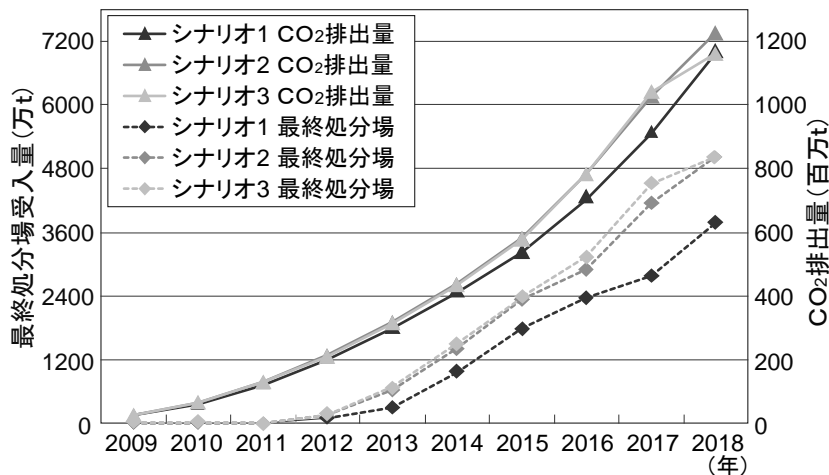


図 14 ecoMA によるシナリオの解析結果

(5) マトリクス法による地域性を考慮した LCCO₂ 排出量予測に関する研究

1) 研究概要

以上の調査で得られたコンクリート産業の工場データベース，および解体から発生量予測，環境負荷原単位の地域特性をもとに，これらを考慮した行列計算による環境負荷評価プログラムを開発し，地域性を考慮したコンクリート産業系のライフサイクル環境負荷評価を行った．このとき，工場の位置情報および工場間実輸送距離の算定には GIS を用い，地理情報との連携の可能性を探った．

2) 評価対象範囲

負荷評価は首都圏および北海道の 2 地域において，表 4 に示したコンクリート関連産業，およびコンクリート需要，アスファルト合材需要，建設関連廃棄物を対象とし，材の輸送・製造・処分による CO₂ 排出を評価範囲とした．なおセメント工場およびアスファルト合材工場における原料調達および原料製造は評価範囲外とし，製品の製造にかかわる排出のみを対象とした．

3) 仮定条件

首都圏および北海道におけるコンクリート需要量・アスファルト合材需要量および廃棄物発生量は，対象地域を JIS X 0410 の基準地域メッシュにより分割し，人口分布に比例して発生するとした．

需要・廃棄物発生点および工場間の材の輸送距離は，緯度経度情報からヒュベニの距離計算式¹⁶⁾により直線距離を求め，原料輸送の際の工場間の輸送距離算出には地理情報システム（以下 GIS）を用い，生コンクリート製造工場および原料工場間において最近工場間距離を実際の道路データに基づいて解析し，工場間の直線距離に対する比率を算出した．その比率を実取引工場間の直線距離に乗ずることで輸送道路距離を算出した．

工場の製造に関わる CO₂ 排出量の算出には 2.3 節の結果を用い，輸送に関わる排出量の算

出には、既往の文献⁶⁾より得た 10 t トラックの輸送原単位によった。

4) 評価方法の提案

2.3 節の結果を用いて CO₂ 排出量の算出を行うために、需要・廃棄物発生量からの各工場の生産・処分量を行列計算により求めた。

以下にその導出法を示す。

需要・廃棄物発生点から工場への材の取引量は (式 1) により与えられる。

$$N_m = \alpha_{1m} N_m + \alpha_{2m} N_m + \cdots + \alpha_{nm} N_m \quad (\text{式 1})$$

ここで、 N_m : 地点 m における需要・廃棄物発生量

α_{nm} : 地点 m から工場 n への取引割合

$$\because \alpha_{1m} + \alpha_{2m} + \cdots + \alpha_{nm} = 1$$

これらをマトリクス表記すると (式 2) のように表せる。

$$\bar{N} = \bar{\alpha} \times \bar{N}^T \quad (\text{式 2})$$

ここで、 \bar{N} : 各工場の需要量マトリクス

$\bar{\alpha}$: 発注割合マトリクス

これにより取引され、需要・廃棄物量を分配された工場における生産・処分量は (式 3) によりあらわせる。

$$X_n = \alpha_{n1} N_1 + \alpha_{n2} N_2 + \cdots + \alpha_{nm} N_m \quad (\text{式 3})$$

これをマトリクス表記すると (式 4) のようになる。

$$\bar{X} = \bar{\alpha}^T \times \bar{N} \quad (\text{式 4})$$

ここで、 \bar{X} : 各工場の生産量

このとき $\bar{\alpha}^T$, \bar{N} , \bar{X} をそれぞれ、取引マトリクス \bar{B} (Business matrix), 需要マトリクス \bar{D} (Demand matrix), 生産量 (発注量) マトリクス \bar{P} (Production matrix) とし改めて (式 5) のように表す。

$$\bar{B} \times \bar{D} = \bar{P} \quad (\text{式 5})$$

なお取引マトリクス \bar{B} の策定によってシナリオの設定を可能とした。

5) 解析シナリオ

工場と需要・廃棄物発生点の距離および取引を行う工場間の輸送距離が最短となるようにシナリオを設定した。

6) 結果

首都圏および北海道のコンクリートのライフサイクルにおける、輸送による CO₂ 排出量の比率を図 15 に示す。首都圏においては生コンクリート工場および砕石工場間、北海道においては生コンクリート工場および砂利工場間の輸送による CO₂ 排出量が占める割合が大きく、地域特性による CO₂ 排出量の排出割合の違いが示された。

コンクリート関連産業からの CO₂ 排出量の規模に応じた分布を図 16 に示す。X 軸および Y 軸には経度および緯度をとった。首都圏において 50000t 以上および北海道において 10000t 以上となっている分布はすべてセメント工場およびセメントサービスステーションの分布である。これは 2.3 節によって示されたようにセメント工場の製造における CO₂ 排出量の多さによるものと推測される。

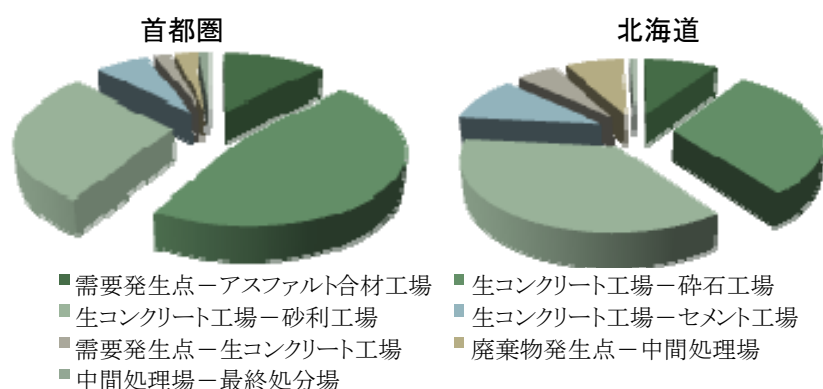


図 15 首都圏における LCCO₂

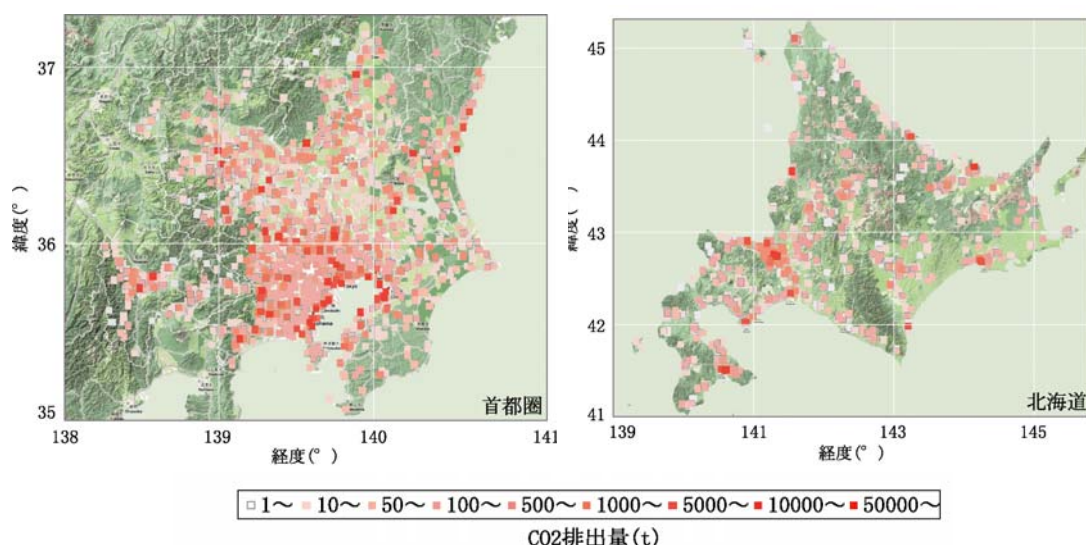


図 16 コンクリート関連産業の CO₂ 排出量

また、図16より首都圏におけるCO₂排出量は人口密度の高い東京都の都心部よりその周辺の埼玉県や神奈川県などに多いことがわかった。また北海道においては札幌や函館など都市部にCO₂排出量の偏りがみられた。CO₂排出量の分布において首都圏は全域的にみられるが、北海道においては都市部を除けば分散していた。

(6) マトリクス法によるコンクリート関連産業のCO₂排出量シナリオ評価

コンクリート関連産業からのCO₂排出量を低減することを目的として、2節において推定したコンクリート塊発生量、およびコンクリート需要量を用いて、マトリクス計算によるCO₂排出量評価を行った。

1) 評価範囲

首都圏に存在するコンクリート関連産業の工場を対象として、コンクリートの製造、廃棄、輸送によるCO₂排出量を評価範囲とした。具体的には、東京都23区で発生したコンクリート需要に伴い、首都圏のレディーミクストコンクリート工場、およびその材料製造工場（砕石工場・砂利工場・セメント工場）の製品製造、およびそれらの輸送により発生するCO₂量を評価の対象とした。また同様に、東京都23区で発生したコンクリート塊の処理・処分のために、首都圏の中間処理場における処理、および最終処分場における処分によるCO₂量と、これらの廃棄物輸送に伴うCO₂量を評価範囲とした。評価期間は2010年から2060年までとし、10年間隔で評価結果を検討することとした。入力データの概要を表11に示す。

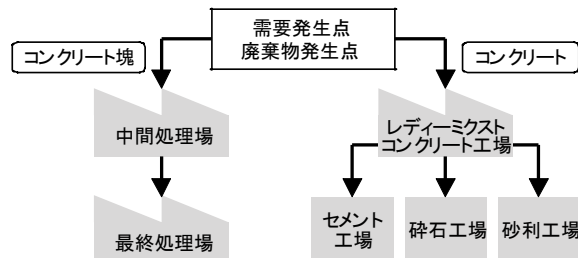


図 17 評価範囲

表 11 入力データ

	入力データ数 (工場)	CO ₂ 排出原単位* ¹ (kg-CO ₂ /t)	工場位置・規模データ* ²	データ出典元
レディーミクストコンクリート工場	922	$y=0.389/x + 1.037$	生コン年鑑 平成18年度版	セメントジャーナル社
砕石工場	192	4.227 (平均値)	セメント年鑑 第60巻	セメント新聞社
砂利工場	209	$y=6.061/x + 3.107$	日本砕石新聞	日本砕石協会
セメント工場(全国)	462	739.0 (平均値)	各都道府県の砂利関連の協同組合から入手	
中間処理場	747	$y=0.802/x + 2.952$	各都道府県の産業廃棄物関連部署や課から入手	
最終処分場	60	3.200 (平均値)	各都道府県の産業廃棄物関連部署や課から入手	
輸送		0.078	JEMA+LCA (10tトラックの輸送原単位)	

*1 x=生産量(万t), y=CO₂排出原単位(kg-CO₂/t)

*2 レディーミクストコンクリートの規模データは、全国生コンデータ、東京都生コンクリート工業組合出典を参照

2) 仮定条件

仮定条件として以下の5点を設定した。

① 需要点、および需要量

東京都 23 区内に位置する基準地域メッシュ 570 点を需要・廃棄物発生点とした。各需要（コンクリート、コンクリート塊）の発生量は、23 区各区の需要量を区内の地域基準メッシュ数で等配分して与えた。

② 工場の位置および規模

工場の位置、および生産能力等の規模情報は、表 11 に示すデータに基づき設定した。このとき、規模情報がない工場に関しては、当該工場の存在する県の他の工場の規模の平均値を与えるものとした。県ごとデータがない場合は、首都圏内の他県の平均値とした。

③ 取引工場の選定

最短距離にある工場間で取引を行うこととした。各工場間の距離は、市販の GIS 解析ソフト（arcGIS Network Analyst）を用いて道路距離を求めた。

④ コンクリートの調合

本評価において製造されるコンクリートの調合は水セメント比 55%とした。骨材は、粗骨材に砕石・砂利、細骨材に砂・砕砂を使用するものとした。さらに、県別の骨材消費割合を示す統計¹⁷⁾から、県ごとに異なる砕石・砂利、砂・細砂の使用割合を求め、調合計算の際にも県ごとに異なる骨材消費割合を反映させた。

⑤ CO₂ 排出量の算定方法

製造による CO₂ 排出量は、工場の規模性を考慮した岩田ら¹⁸⁾の CO₂ 排出原単位を用いて求めた。ただし、一部の規模性による影響を受けない工場に関しては、CO₂ 排出原単位の平均値を用いることとした。また、輸送による CO₂ 排出量は JEMAI-LCA⁷⁾より得た 10t トラックの輸送原単位を用いて求めた。

3) 解析結果

① 規模性や地域性の考慮について

規模性を考慮しない場合、取引を行う工場が東京近辺に集中するため、少数の工場が稼働し、輸送に伴う負荷が 3 割程度減少した。現状では、工場の生産許容量により、3 割遠くの工場と取引を行っているといえる。コンクリート関連産業の製造・輸送・処分に伴う CO₂ 排出量のうち、輸送に伴う CO₂ 排出量は、全体で占める割合は 4%であるが、現状では、輸送にかかるコストの圧力が高いこともうかがえる。地域性については、コンクリート需要点とレディーミクストコンクリート工場間の取引を例にとると、地域性を考慮する場合もしない場合にもほぼ同じ CO₂ 排出量である結果を得た。

② シナリオによる CO₂ 排出量削減の検討

本節では、コンクリート関連産業から排出される CO₂ の削減可能性を検証するために、これまで効果が高いとされている以下の 5 つのシナリオを設定した。

主な CO₂ 削減対策としては、新規建築物の長寿命化(シナリオ 2)、高炉スラグの積極利用(シナリオ 3)、再生骨材の利用(シナリオ 4)の 4 項目を検討し、さらに、長寿命化と高炉スラグ積極利用のハイブリッドシナリオ(シナリオ 5) について検証を行った。表 12 に概要を示す。

表 12 設定シナリオ

名称	シナリオ概要
シナリオ 1.基準	今後、CO ₂ 発生量削減のための対策を行わなかった場合の推計として、他のシナリオと比較するためのものである。2 節で推定したコンクリート需要量、およびコンクリート塊発生量を条件としたシナリオを基準シナリオとして用いた。
シナリオ 2.長寿命	コンクリート塊排出源の抑制として、新規建築物の寿命が2倍となった場合のシナリオである。
シナリオ 3.高炉	普通セメントに比べてCO ₂ 排出原単位が小さい高炉セメントの利用促進シナリオである。経済産業省の報告書 ⁹⁾ によれば、現在、高炉セメントを用いたコンクリートの建築物への使用割合は20~30%であり、その用途は基礎・地下構造である。したがって、高炉スラグの積極利用シナリオについては、今後、この使用割合が増えた場合を想定した。また、高炉セメントのCO ₂ 排出原単位はセメント協会より、480.7kg-CO ₂ /tとした。
シナリオ 4.再生	首都圏における骨材資源の枯渇、および今後の路盤材需要の頭打ちへの対策として、高品質再生骨材を建築物用の骨材として代替利用するシナリオである。再生骨材は、加熱すりもみにより製造するものとし、その製造に伴うCO ₂ 排出原単位には中村らの報告値60.10kg-CO ₂ /t ⁹⁾ を用いた。
シナリオ 5.高炉+長寿命	建築物の寿命が2倍になり、高炉セメントの利用が促進した場合のシナリオである。

③シナリオ検討結果

シナリオ1では、2030年にCO₂発生量がピークを迎え、2010年比で3倍以上になることが示された。シナリオ2では、シナリオ1に比べ2020年までは1/10の負荷に抑えられる。CO₂排出量の低減効果は大きいことがわかった。しかし、寿命が延びた分、その後も単調に負荷が増え続ける。シナリオ3では、シナリオ1に比べてCO₂排出量が2/3となった。これは、高炉セメントのCO₂排出原単位が普通セメントに比べて小さく、製造段階での負荷が削減されたためである。シナリオ4では、輸送に伴う負荷はシナリオ1に比べて削減するものの総計負荷は製造に伴う負荷の割合が大きいいため、シナリオ1とほぼ同じ排出量となった。骨材の再利用は、天然骨材の保全に繋がる一方で、製造・処分に伴う負荷が増加するため、CO₂排出量削減効果は見られなかった。また現状として、再生骨材の需要は伸びておらず、価格面や処理および製造にかかるエネルギー面に問題が残されている。シナリオ5では、CO₂排出量の削減効果が大きいことがわかる。今後、高炉セメントが建築物への実用化がなされた際には、効果が大きいことがわかった。

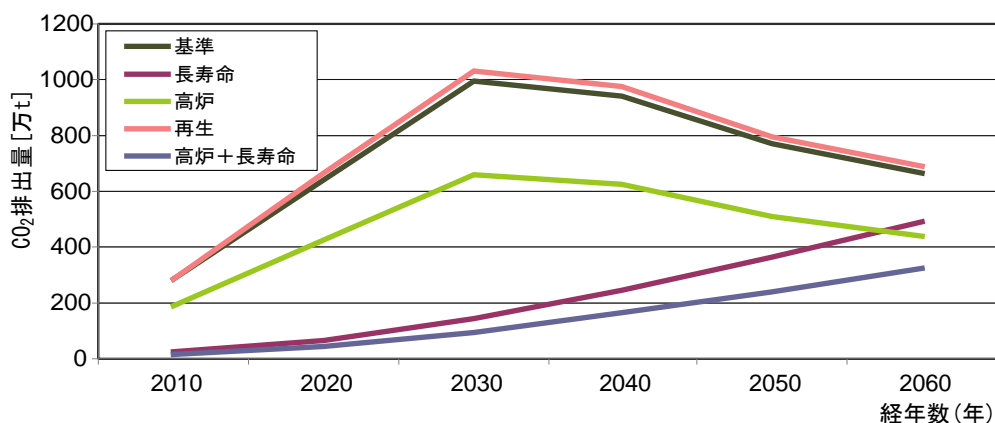


図 18 シナリオ別 CO₂ 排出量

2.4 結果・考察

(1) 実態調査に基づくデータベース作成

コンクリート関連産業について、調査に基づき組合情報など各種情報に基づき、工場の立地、生産能力、生産実績、生産品目、環境負荷原単位、取引工場などのデータベースを構築した。

(2) 環境負荷原単位の算定

2地域のコンクリート関連産業を対象として実施した実態調査のデータから、環境負荷原単位を算定した。これにより、環境負荷原単位に対して地域性の影響は確かめられたが、規模性との相関関係に関して有意な結果は得られなかった。調査の対象とした北海道と首都圏ではコンクリートの需要が大きく異なるため、地域性による原単位の違いが地域全体での負荷評価の際に及ぼす影響は無視できないものと考えられる。

(3) 建築物の解体により発生するコンクリート塊の処理に伴う環境負荷評価

建築物の解体により発生する廃棄物の処理に関して、最終処分される廃棄物量、および CO₂ 排出量の削減を目的として、ecoMA を用いた中継ヤード設置シナリオの検討を行った。

特に、東京都 23 区における区毎のコンクリート塊発生量の推定を行った。シナリオ評価の結果、環境負荷の低減に中継ヤードの設置シナリオは有効であることが示された。今後は、社会的要因や地理的事項などに基づき、より現実社会において実施可能なシナリオの評価による環境負荷低減のための提案を行うことが必要であると考えられる。

(4) 本研究の目標であるマトリクス法について提案を行い、コンクリート関連産業での廃棄物物流の分析を例として試行的検討を行った。得られたデータベースに基づき、本手法により分析を行った結果、首都圏においては生コンクリート工場および砕石工場間、北海道においては生コンクリート工場および砂利工場間の輸送による CO₂ 排出量が占める割合が大きく、地域特性による CO₂ 排出量の排出割合の違いが示された。

3. 本研究により得られた成果

(1) 東京圏におけるコンクリート産業を主とした関連産業の二酸化炭素排出原単位を調査し明らかにするとともに、関連情報を GIS 上でデータベース化した。これら二酸化炭素排出原単位は今や環境政策には必要不可欠な情報であるが、その地域性や規模性に関する正確な情報はなかったことから、以降当該分野における基礎データとして参照されることが期待される。

(2) 地域性を考慮する上で必要な、廃棄物量の地域性について関連統計の調査を進めるとともに、建築物の除却量予測手段の検討を行い将来の排出量予測手法の検討を行った。これら地域性に関しては未だ明らかになっていない点が多く、以降の環境負荷分析には必要不可欠な情報として科学的意義は大きいと考える。

(3) 研究の目標であるマトリクス法について提案を行い、コンクリート関連産業での廃棄物物流の分析を例として試行的検討を行った。これらを検証した結果、物流の収支整合性を失うことなく、地域性を考慮したマテリアルフロー分析が可能であることが示された。

(4) 開発したマトリクス法を用いて、都内における建設系廃棄物の排出シナリオ分析を行った。その結果、以下が明かとなった。

(4-1) 基準シナリオでは、2030年にCO₂発生量がピークを迎え、2010年比で3倍以上になることが示唆されたのに対して、長寿命化シナリオでは、基準シナリオに比べ2020年までは1/10のCO₂排出量に抑えられることがわかった。しかし、寿命が延びた分、その後も単調に負荷が増え続ける。

(4-2) 高炉スラグの積極使用シナリオでは、基準シナリオに比べてCO₂排出量が2/3となる結果となった。

(4-3) 再生骨材の利用シナリオでは、輸送に伴う負荷は基準シナリオに比べて削減するものの、総計負荷は製造に伴う負荷の割合が大きいため、基準シナリオとほぼ同じ排出量となった。骨材の再利用は、天然骨材の保全に繋がる一方で、製造・処分に伴う負荷が増加するため、CO₂排出量削減効果は見られなかった。

(4-4) 高炉の積極利用に加え長寿命化を指向したシナリオでは、CO₂排出量の削減効果が大きい結果となった。

4. 今後の課題

(1) これまでの成果を踏まえ、各地域における需要発生に関して、土木構造物他、建築物以外の物流の調査を行い、廃棄物量予測の精度のさらなる向上を目指す必要がある。

(2) 本年度得られた基礎情報を元に、マトリクス法を本格導入した建設産業の資源循環をマトリクス法とGISの連携により評価するシステムの構築についてはさらなる開発が必要である。

【参考資料】

- 1) コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案), コンクリートライブラリー No.125, 土木学会, 2005
- 2) 社団法人セメント協会ホームページ <http://www.jcassoCO.jp/> (2008.1 現在)
- 3) 曾根真理, 木村恵子, 並河良治: 砕石, As 合材, 生コンの運搬に伴う二酸化炭素排出量に関する実態調査, 第3回日本LCA学界研究発表会講演要旨集, pp.82-83, 2008.2
- 4) 北垣亮馬, 岩田彩子, 兼松学, 長井宏憲, 藤本郷史, 野口貴文: 資源循環における輸送距離に対する東京都文京区本郷7-3-1 北海道のGISによる比較, 第3回日本LCA学界研究発表会講演要旨集, pp.130-131, 2008.2
- 5) 時間・社会・地理因子を考慮した資源循環シミュレーション手法の開発とそのコンクリート材料分野への適用, 藤本郷史, 東京大学学位論文, 2006
- 6) 中村洋太: コンクリートのインベントリ分析と最適化に関する研究, 東京大学学位論文, 2003
- 7) JEMAI-LCA Pro ver.2.11, 社団法人 産業環境管理協会, 2000
- 8) 日本建築学会 建物のLCA指針～温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール～, 1999
- 9) 社団法人 日本アスファルト合材 <http://www.jam-a.or.jp/> (2008.5 現在)
- 10) 島裕和, 原卓也, 吉田好邦, 松橋隆治: 比例ハザードモデルによる建築物の寿命推定及びコンクリート塊の発生量予測, 日本建築学会計画系論文集, 第573号, p87-94, 2003
- 11) 橋本征二, 寺島泰: 建築解体廃棄物の原単位設定, 廃棄物学会論文誌, Vol.10, No.1, pp. 35-44, 1999
- 12) 建築統計年報 平成19年度版, 財団法人 建設物価調査会
- 13) 生コンクリートの出荷実績 年度別・都道府県別出荷実績の推移 平成18年度, ZENNAMA ホームページ (2009.1.28 現在)
- 14) 平成17年度建設副産物実態調査結果, 国土交通省ホームページ (2009.1.28 現在)
- 15) 平成19年版 環境・循環型社会白書, 環境省編
- 16) Localizing the Error Covariance by Physical Distances within a Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF), Takemasa Miyoshi, Shozo Yamane, Takeshi Enomoto, SOLA,, Vol. 3, pp.89-92, 2007
- 17) 平成20年生コンクリート統計年報, 経済産業省, 2008
- 18) 岩田彩子他, 日本建築学会技術報告書, 第32号

DEVELOPMENT OF ANALYTICAL TECHNIQUE FOR OPTIMIZATION OF LOCAL CONSTRUCTION MATERIAL FLOW BASED ON MATRIX-BASED LCI.

Kanematsu M.¹ Noguchi T.² Nagai H.² Kitagaki, R.² Fujimoto, S.³
¹Tokyo University of Science ²The university of Tokyo. ³Hiroshima University

Total amount of industrial waste in Japan remains at about 400 million tons after 1990s. Waste from construction industries account for 18% of the above and is the leading waste generating industry category along with agricultural and energy industries. According to the survey by Ministry of Land, Infrastructure and Transportation Ministry Japan, demolished concrete accounts for 30-40%, and used asphalt concrete accounts for 25-35% of the total construction waste.

Striking an optimal balance between the reduction of waste and the reduction of CO2 emission is a controversial issue during production of cement and concrete, and construction of concrete structures to achieve the sustainable development of cement and concrete industries. In this research, comparative case studies are made in Tokyo area to induce the best available supply chain, with the scenarios on lifetime extension of buildings, continuous investment of road construction, corporation strategies as well as the supply chains of recycle aggregate, blast furnace slag, and so on.

In this research material flow analysis based on matrix method was developed to simulate and evaluate the environmental impacts, which are caused during production and construction activities, in relation with geographical information and governmental corporation strategies. And also some scenarios are analyzed based on the proposed method.

KEYWORDS: *matrix-based LCI, material flow, Concrete Industries.*

研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助成研究名	研究者・所属
第2008-10号	LCI分析へのGISデータの利用による建設分野における最適地域環境戦略の探索	東京理科大学 理工学部 准教授 兼松 学
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>1. 研究の目的</p> <p>建設産業は地域性が強い一方で物質投入量および廃棄量が多く、環境に対するインパクトは極めて大きい業種であり、また、異業種との廃棄物・副産物の授受は多種多様にわたることから、廃棄物の発生や処理の地域性を無視することができないことが指摘されている。実際コンクリート産業では、リサイクルを推進した結果、環境効率を度外視した遠方からの廃棄物輸送が行われるなど、地域性と施策、LCI評価の間の不整合は看過できない。そこで、本研究では、GISデータの利用による建設系廃棄物の最小化を最終目標とし、建設廃棄物・副産物を再生・処分に関わる運搬・製造に伴う環境負荷を最小化し、かつ再生品の品質を限りなく高めるようなマテリアルフローを得るための情報活用システムを構築することを目的とする。</p> <p>本目的の達成は、地域での静脈産業の環境負荷を最適化戦略の策定に役立つだけでなく、規模情報・処理システムなど個別工場データなどを実装したGISデータの構築は、建設産業における廃棄物情報交換システムのプラットフォームとなりうるものと考えられる。</p> <p>2. 調査の概要</p> <p>本研究においては、解析に使用する基礎データであるコンクリート関連産業の環境負荷原単位の算定を目的として、一連の調査研究を実施するとともに、マトリクス法によるマテリアルフロー分析手法を開発し、建築分野におけるマテリアルフローを予測した上で想定される将来シナリオについて評価を行った。</p> <p>まず、首都圏と北海道の2地域においてコンクリート関連産業を対象として実態調査を行い、環境負荷原単位算定のための基礎データを整備した。また、環境負荷排出における地域性の検討を行い、地域別・工場種別に環境負荷原単位を算定した。また、以降の解析で用いるべく、個別工場の立地、生産能力、</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>生産実績、生產品目、環境負荷原単位、取引工場などについてGISで利用可能な形でデータベースを構築することを目的とする。</p> <p>また、廃棄物関連のマテリアルフロー分析での利用を目的として、地域性を加味した建設廃棄物発生量予測手法の開発を目指し、東京都23区における区毎のコンクリート塊発生量の推定手法の開発・高度化を行った。</p> <p>続いて、建築物の解体により発生する廃棄物の処理に関して、最終処分される廃棄物量、およびCO2排出量の削減を目的として、これまでに著者らが開発してきたマルチエージェントシステム(ecoMA)を用いて、中継ヤード設置シナリオの検討を行った。</p> <p>さらに、本研究の目標であるマトリクス法についてプログラムを作製し、コンクリート関連産業での廃棄物物流の分析を例として、CO2削減効果が高いと考えられるシナリオを設定し、関東圏におけるマテリアルフローシミュレーションを実施し分析を行った。</p> <p>3. 結果</p> <p>(1) 東京圏におけるコンクリート産業を主とした関連産業の二酸化炭素排出原単位を調査し明らかにするとともに、関連情報をGIS上でデータベース化した。これら二酸化炭素排出原単位は今や環境政策には必要不可欠な情報であるが、その地域性や規模性に関する正確な情報はなかったことから、以降当該分野における基礎データとして参照されることが期待される。</p> <p>(2) 地域性を考慮する上で必要な、廃棄物量の地域性について関連統計の調査を進めるとともに、建築物の除却量予測手段の検討を行い将来の排出量予測手法の検討を行った。これら地域性に関しては未だ明らかになっていない点が多く、以降の環境負荷分析には必要不可欠な情報として科学的意義は大きいと考える。</p> <p>(3) 研究の目標であるマトリクス法について提案を行い、コンクリート関連産業での廃棄</p> </div> </div>		

研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助成研究名	研究者・所属
第2008-10号	LCI分析へのGISデータの利用による建設分野における最適地域環境戦略の探索	東京理科大学 工学部 准教授 兼松 学
<p>物物流の分析を例として試行的検討を行った。これらを検証した結果、物流の収支整合性を失うことなく、地域性を考慮したマテリアルフロー分析が可能であることが示された。</p> <p>(4) 開発したマトリクス法を用いて、都内における建設系廃棄物の排出シナリオ分析を行った。その結果、以下が明かとなった。</p> <p>(4-1) 基準シナリオでは、2030年にCO2発生量がピークを迎え、2010年比で3倍以上になることが示唆されたのに対して、長寿命化シナリオでは、基準シナリオに比べ2020年までは1/10のCO2排出量に抑えられることがわかった。しかし、寿命が延びた分、その後も単調に負荷が増え続ける。</p> <p>(4-2) 高炉スラグの積極使用シナリオでは、基準シナリオに比べてCO2排出量が2/3となる結果となった。</p> <p>(4-3) 再生骨材の利用シナリオでは、輸送に伴う負荷は基準シナリオに比べて削減するものの、総計負荷は製造に伴う負荷の割合が大きいため、基準シナリオとほぼ同じ排出量となった。骨材の再利用は、天然骨材の保全に繋がる一方で、製造・処分に伴う負荷が増加するため、CO2排出量削減効果は見られなかった。</p> <p>(4-4) 高炉の積極利用に加え長寿命化を指向したシナリオでは、CO2排出量の削減効果が大きい結果となった。</p>		