

エコタウン事業の環境評価を支援 する物質フロー会計の開発

松本 亨¹・鶴田 直²・柴田 学³

¹正会員 工博 北九州市立大学 助教授 国際環境工学部環境空間デザイン学科
(〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

²非会員 工修 北九州市立大学 研究生 国際環境工学部

³正会員 工修 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科環境工学専攻

循環型社会の形成を目指し、国レベルのみならず地域レベルにおいても様々な資源循環施策が検討・実施されている。これらの施策の効果を評価するためには、環境面だけでなく、経済面、社会面など複数の側面を考慮する必要がある。本研究では、エコタウン事業による環境負荷と負荷削減効果を、地域の物質循環の中に位置づけることのできる統合評価体系を提案した。また、その有用性を示すため、北九州エコタウン事業の現状評価を行い、エコタウン事業による環境効果を、その地域性をもって表現した。さらに、リサイクル残さの焼却処理・エネルギー回収による効果と、事業所間連携による共同輸送の効果について、シナリオ分析を行った。

Key Words: material flow analysis, life cycle assessment, recycling society, Kitakyushu Eco-town

1. はじめに

エコタウン事業をはじめとするメゾスケールの資源循環施策、産業共生プロセスを評価するためには、次のような評価性能が要件として存在すると考えられる。

まず、リサイクルの環境負荷削減効果を評価するためにはLCA的視点は欠かせない。そのために、LCAを適用することになる。次に、時間的、空間的にバウンダリの異なる施策・対策の評価が比較可能であることである。空間的バウンダリの把握には、地域全域を網羅したメゾスケールのマテリアルフロー分析(MFA)の適用が適当であろう。時間的バウンダリの把握には、長期的に社会ストックに変化が生じることを考慮に入れることである。

さて、上記で言及したLCAとMFAを効果的に統合するには、環境会計のような勘定体系の適用が有効である。そこで本稿では、地域ゼロエミッション構想をめざして推進されているエコタウン事業を対象に、MFA及びLCAの実施と、その両者を統合した物質フロー会計表の作成を試みることにする。その際、追加的評価性能として、施策、対策がその地域内に及ぼす影響を明示できることも

考慮する。

2. エコタウン評価のための環境会計フレームの考察

(1) 循環施策とエコタウン事業の位置づけ

地域資源循環施策を評価するための、環境会計のフレームワークを検討するにあたり、まず評価対象の境界(バウンダリ)に着目した。その理由は、地域資源循環施策の対象とする範囲は様々で、短期的に影響を与える範囲もそれぞれ異なっているためである。そのため、評価のバウンダリは慎重に設定する必要がある。

表1は、市域と個別施策のバウンダリの関係及び社会資本ストックの短期的変化の有無により、地域資源循環施策を分類したものである。このように、市域と個別施策のバウンダリが異なる場合と同じ場合があること、ストックの変化を表現できることが求められる施策があることがわかる。図1は環境会計における多層連携のイメージであるが、環境会計における評価のバウンダリを変化させることで、様々な施策への対応が可能となる。

表-1 個別施策の分類

市域と比較して バウンダリが	社会資本ストックが短期的に	施策・対策
大きい	変化する	静脈物流の効率化
同じ	変化しない	ごみ処理有料化 デポジットリファンド制度導入
		グリーン購入促進 啓発活動
	変化する	行政回収による分別・リサイクル
小さい	変化しない	集合住宅の生ごみ処理機導入促進
	変化する	エコタウン事業 ごみ発電

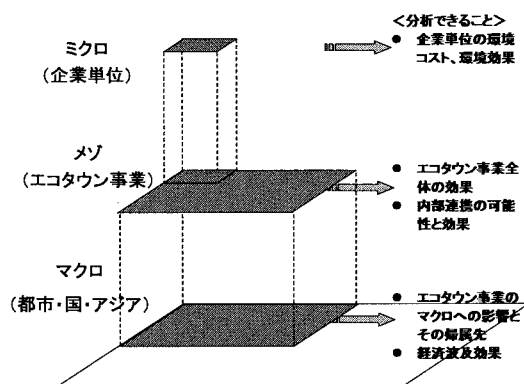


図-1 環境会計における多層連携のイメージ

(2) 提案する環境会計フレームの構造

このようなバウンダリの影響及び環境会計手法の特徴を考慮したうえで、本研究において提案する環境会計フレームを表2に示す。この手法は、小林（2004）の提案する物的勘定表をベースにしている。エコタウン、北九州市内、北九州市外の異なる3つの経済主体を想定し、各主体の一定期間における経済活動データを投入産出型の表形式に記述する仕組みとした。この形式においてはエコタウン事業のみの物質収支に限定し、経済部門は北九州市内、市外に分割し、さらに非経済部門、環境

部門との関係を記述する。この表により、エコタウン事業が環境に及ぼす影響を、その発生構造・帰着構造をもって表現できることが可能になる。

以下に経済部門、非経済部門、環境部門について記述する。

1) 経済部門

経済部門をエコタウン、北九州市内、北九州市外に3分割し評価を行った。行はそれぞれの部門からのアウトプット、列はインプットを表している。経済部門同士では、エコタウンへの物質の投入、再生資源の産出、エコタウン内部の相互連携を、非経済部門に対しては環境教育等の効果を表現できる。環境部門に対しては、廃棄、リサイクル活動による燃料消費、間接的な環境負荷等を表現できる。

2) 非経済部門

エコタウン事業による活動、循環型社会の形成・維持などに関連した自家処理や環境修復・保全による効果がここに含まれる。

3) 環境部門

エコタウン事業による活動、循環型社会の形成・維持などに関連した環境への影響を表示する。経済部門からのアウトプットとしてそれぞれの経済活動が引き起こす環境負荷を表現し、経済部門へのインプットとして、再生製品によるバージン資源採掘の削減効果を表示した。非経済部門との関係では、例えば、エコタウン事業による環境教育効果としての環境負荷削減効果等があり得る。ただし定量化には困難が伴う。

3. 北九州エコタウン事業におけるケーススタディ

(1) 北九州エコタウン事業の概要

北九州エコタウンには現在、20 のリサイクル企業が稼動している（平成16年9月現在）。これ

表-2 エコタウン事業の評価フレーム

／年		経済部門			非経済部門	環境部門	計
		エコタウン	北九州市	北九州市外			
経済部門	エコタウン	域内連携	再生資源産出（市内へ）	再生資源産出（市外へ）	非経済部門に及ぼす効果	廃棄 燃料の燃焼	エコタウンの 総アウトプット
	北九州市	再生可能資源投入	—	—	—	資源の採掘	市内の 総アウトプット
	北九州市外	再生可能資源投入	—	—	—	資源の採掘	市外の 総アウトプット
非経済部門		エコタウンに及ぼす影響	—	—	—	環境に及ぼす影響	非経済からの 影響
環境部門		資源削減効果	資源削減効果	資源削減効果	—	—	環境負荷削減 効果
計		エコタウンの 総インプット	市内の 総インプット	市外の 総インプット	非経済の 資源生産	環境への 総排出	エコタウンが 及ぼす効果

らの企業は、主に福岡県及びその周辺地域から再生可能資源を回収し、それらを鉄、アルミ、プラスチック、ガラス等の資源に再生し、北九州市内外に輸送している。このような静脈型産業を評価するには、各企業のリサイクル活動の評価を行うとともに、それが及ぼす影響を地理的な概念をもって評価することも求められる。なぜなら、エコタウン事業は国の補助事業ではあるが自治体も全国へ向けての情報発信や企業運営に対する支援等で大きく関与しており、自治体内部に及ぼす影響という点も重要な視点になるからである。同様に、新たに対策を施す場所とエコタウンの関係も明確に表現できることが望ましい。

(2) エコタウン事業の評価に関する既往研究

1997 年に認証を受け始めたエコタウン事業は、現在は全国 23 地域まで広がっており、近年ではその効果が問われ、定量的な評価も行われるようになってきた。そこで、エコタウンにおける既存の評価について考察を行う。

エコタウンの経済評価を行った事例として、北九州市環境局環境産業政策室が行った「北九州エコタウン経済波及効果基礎調査報告書」がある。この報告書では、評価項目として、雇用創出効果、見学者が及ぼす効果、報道に対する効果等が取り上げられており、それらを把握することで、北九州エコタウン事業の経済波及効果を試算している。また、経済産業省が行ったものとして、山口県、秋田県、川崎市のエコタウン事業の評価がある。これらはそれぞれのエコタウン事業における必要性、効率性、有効性を算出し評価しているものである。これらの報告書では、エコタウンが及ぼす効果は経済面だけに留まっており、環境面も含めた評価が望まれる。

一方、エコタウン事業の環境面の評価を行ったものとして盛岡ら (2000) や岡野ら (2002) の研究が挙げられる。前者はプラスチックに関する評価で、後者は自動車のリサイクルに関する評価である。その他にもいくつかの研究がなされているが、いずれも個別事業の評価にとどまり、エコタウン事業全体での評価を行っているものはない。そのため、エコタウン事業を包括的に評価する手法の開発が望まれる。

(3) 評価手法

評価の手法として、まず北九州市エコタウンによる静脈のマテリアルフローを把握した。算出に当たっては、それぞれの企業毎に、各企業及び各事

業団体が公表している統計データや企業ごとへのヒアリング調査によるデータを用いた。また、エコタウンは北九州市に立地しているが、再資源化原料の搬入元および、再生製品の出荷先は全国にまで及んでいる。そのため、エコタウンによる影響をその与える範囲も考慮して評価する必要がある。そこで、エコタウン、北九州市内、北九州市外の異なる経済主体に分けた物質の移動及びその量を把握した。

次に、エコタウンの個別企業ごとに LCA を行った。これらのデータもマテリアルフローの把握と同様に、公表データ及びアンケートにより把握した。これにより、エコタウン企業によるリサイクルの効果を把握した。

なお本研究ではエコタウンで稼働している企業のうち、ペットボトル、自動車、家電、OA 機器、蛍光灯、紙、食用油、有機溶剤、木材・プラ、発泡スチロール、医療機器のリサイクル事業を行っている 11 企業を対象に評価を行った。

4. 北九州エコタウン事業のマテリアルフロー

(1) エコタウン事業におけるマテリアルフロー

自動車リサイクル事業である西日本オートリサイクルに関しては、松本ら (2001) の 1 台当たりの環境影響データを用いて算出した。残りの 10 企業については、個別アンケートにより算出した。

これらのデータをもとにマテリアルフローの把握を行った。この結果が図 2 である。この結果によると、エコタウンはインプットとして再資源化原料を年間約 76 千 t 受け入れており、その処理に伴い、電力を約 16 千 MW、化石燃料を約 1.5 千 t、用水を約 21 千 t、天然資源を 341 t 使用していることがわかった。一方、アウトプットとして再生製品を年間約 69 千 t 出荷しており、環境への放出と

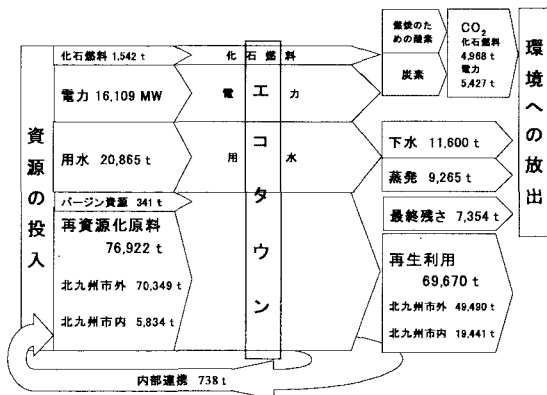


図-2 北九州エコタウン (11 企業) のマテリアルフロー

して、CO₂ を約 10 千 t、最終残さを約 7.4 千 t、下水を約 12 千 t 排出している事がわかった。また市内の割合は、再資源化原料としては全体の 8 %、再生製品としては全体の 28 %であることがわかった。

(2) エコタウン事業の LCA

各事業について LCA を実施した結果を統合したものが表 3 である。また、ライフステージ毎の CO₂ 排出量をグラフに示したものを図 3 に示す。この結果によると、CO₂ ではリサイクル処理、運搬、廃棄により約 23 × 10³ t-CO₂ 排出、資源回収により 175 × 10³ t-CO₂ 削減され、エコタウン全体としては 152 × 10³ t-CO₂ が削減されることがわかった。

マテリアルフロー分析及び LCA の結果を会計

表-3 エコタウン事業の LCA 結果

ライフサイクルステージ	エネルギー	CO ₂	SOX
	GJ	t-CO ₂	kg-SO ₂
運搬	57,648	3,894	7,566
リサイクル処理	297,325	18,426	17,310
廃棄物処理	7,220	592	16,471
リサイクルによる効果	-2,549,153	-174,925	-222,059
合計	-2,186,960	-152,012	-180,713

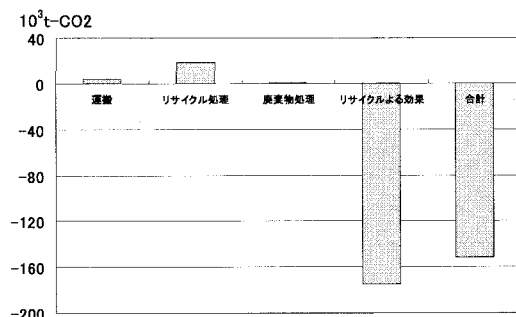


図-3 ライフステージ別の LCA 結果 (11 企業)

表-4 物質フロー会計表によるエコタウン事業 (11 企業) の評価結果

年	経済部門				非経済部門	環境部門		計
	エコタウン	北九州市	北九州市外			10,987 t-CO ₂	10,987 t-CO ₂	
経済部門	内部運搬 738 t	鉄 16,384 t 非鉄金属 125 t プラスチック 1,453 t 紙・木材 90 t 燃料 721 t その他 689 t	鉄 10,348 t 非鉄金属 1,258 t プラスチック 16,632 t 硝子 4,661 t 紙・木材 4,590 t 燃料 5,546 t その他 6,455 t		環境教育	廃棄物 7,354 t 排水 11,600 t 商業による環境負荷 592 t-CO ₂ 燃料燃焼による環境負荷 10,395 t-CO ₂	10,987 t-CO ₂	
						3,679 t-CO ₂	3,679 t-CO ₂	
	北九州市 再資源化原料 5,834 t 電力 16,109 MW 用水 20,865 t 天然資源 53 t					間接的な環境負荷 3,679 t-CO ₂		
	北九州市外 再資源化原料 70,349 t 燃料 1,542 t 天然資源 287 t					間接的な環境負荷 8,247 t-CO ₂	8,247 t-CO ₂	
非経済部門	見学者数 26.10 千人							
地域環境		-128 t-CO ₂	-28,525 t-CO ₂	-146,271 t-CO ₂				-174,925 t-CO ₂
	バーゲン資源の削減効果 -78 t-CO ₂	バーゲン資源の削減効果 -21,969 t-CO ₂	バーゲン資源の削減効果 -86,821 t-CO ₂					
	廃棄物削減効果 -52 t-CO ₂	廃棄物削減効果 -8,557 t-CO ₂	廃棄物削減効果 -59,850 t-CO ₂					
計		-128 t-CO ₂	-28,525 t-CO ₂	-146,271 t-CO ₂		22,812 t-CO ₂	-152,012 t-CO ₂	

表形式に統合したものが表 4 である。これにより、エコタウンにより地域環境に直接与える環境負荷、北九州市に及ぼす効果、市外に与える効果が表現できた。

5. エコタウン事業における対策シナリオ評価

ここまでは北九州エコタウン事業の現状評価を実施した。しかし、エコタウン事業が地域ゼロエミッションをめざしたリサイクル産業の集積であることを考慮すると、各企業が単独で立地・稼働しているだけでは効果が薄い。そこで、本章では、エコタウン内部の相互連携の進展として、リサイクル残さの焼却・エネルギー回収と、マテリアルの相互連携強化の 2 つの対策シナリオを取り上げ、それらの環境負荷削減効果を評価する。

(1) リサイクル残さの焼却によるエネルギー回収の効果

平成 14 年 8 月に設立された北九州エコエナジー株式会社により、現在北九州エコタウン内に建設中で、平成 17 年 3 月の稼働を予定している。この施設の主な目的として、エコタウン立地企業でリサイクルした後の残さ及び自動車のシュレッダーダストを中心とする産業廃棄物などを適正処理・リサイクルするもので、北九州エコタウン計画の中において国内初となるゼロエミッション型産業団地のモデルを具現化を目指している。受け入れ先はエコタウン、北九州市内、北九州市外を想定しており、アウトプットとして廃棄物の焼却により得た電力の供給、金属、スラグ等の再生製品の産出を想定している。そこで、この施設が北九州エコタウンに立地したときの効果を評価した。算出に

当たっては、企業にアンケートを行った。

最初にデータをもとに複合中核施設稼働後のマテリアルフローの把握を行った。この結果によると、従来ではエコタウン外に廃棄されていた残さ7,354 tのうち6千tが複合中核施設により処理されることがわかった。一方、アウトプットとして約101千MW発電しており、エコタウン企業の使用電力の全て供給することが可能である。また、再生製品を年間18千t出荷し、最終残さとして約12千t排出することがわかった。

次にLCAを行い、ライフステージ毎のCO₂排出量をグラフにしたものが図4である。この結果によると、CO₂ではリサイクル処理、運搬、廃棄により約46×10³ t-CO₂排出、資源回収により53×10³ t-CO₂削減され、エコタウン全体としては6.9×10³ t-CO₂が削減されることがわかった。

(2) マテリアルの相互連携強化による効果

北九州エコタウンには現在20の企業が立地しており、それぞれ異なった処理プロセスで稼働している。しかし、処理の連携・委託、再生製品の使用により、輸送距離や資源の削減等様々な効果を生むことが考えられる。現在もいくつかの企業で連携は行われているが、さらなる連携の強化による効果を算出する。内部連携にも様々な物があるが、算出に当たりまず内部連携の類型化を行った。その結果以下に示す5項目に分類されることがわかった。

- ① 共同物流による輸送エネルギーの削減効果
- ② エコタウン内処理による輸送距離の削減効果
- ③ 従来廃棄されていた物をリサイクルする効果
- ④ 環境によりよい処理方法への転換による効果
- ⑤ 再生製品のエコタウン内利用による輸送距離の削減効果

本研究では5項目の中から①による効果を想定し、算出を行った。

内部連携の①の具体例として2つ挙げた。1つ目は、家電、OA機器、自動車のリサイクル企業から出るハーネスをまとめて20tトラックで運送すると仮定して効果を算出した。2つ目は、家電、OAのリサイクル企業から出るパソコンのCRTまとめて貨物鉄道で輸送すると仮定して効果を算出した。この結果が表5である。この結果によると、共同物流による輸送エネルギーの削減効果として、CO₂では22 t-CO₂が削減されることがわかった。

(3) 対策シナリオの評価

2つの対策シナリオ及びエコタウンのLCAの結

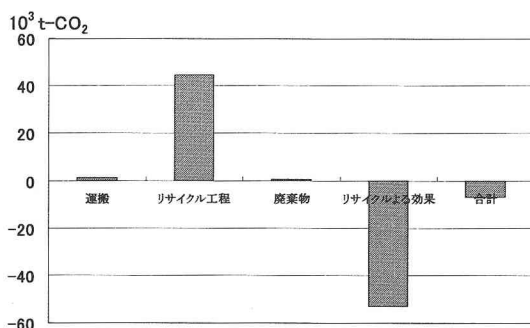


図-4 複合中核施設のLCA結果

表-5 内部連携のLCA結果

輸送エネルギーの削減効果	Energy	CO ₂	SO _x	NO _x
	GJ	t-CO ₂	kg-SO ₂	kg-NO ₂
ハーネス	-6	-3	-23	-13
パソコンのCRT	-262	-19	-31	-156
合計	-268	-22	-54	-169

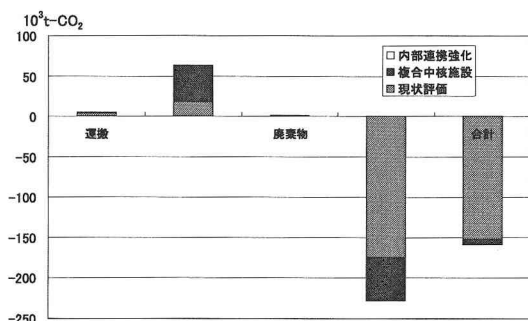


図-5 複ライフステージ別のLCA結果
(11企業+対策シナリオ)

果を統合した物が図5である。この結果によると、CO₂ではリサイクル処理、運搬、廃棄により約69×10³ t-CO₂排出、資源回収により228×10³ t-CO₂削減され、エコタウン全体としては159×10³ t-CO₂が削減されることがわかった。またこれらの結果を会計表形式に統合したものが表6である。

4. おわりに

本研究では、マテリアルフロー分析とLCAを用いたエコタウン事業の評価を行った。これにより、資源循環構造の地域的特性を包括的かつ体系的に把握する手法を提案することができた。その結果、エコタウン全体として152×10³ t-CO₂が削減されることがわかった。また暫定的であるが、エコタウン事業による市内の効果は14×10³ t-CO₂、市外の効果は138×10³ t-CO₂の削減効果があることが示せた。

また、この手法を用いてエコタウン事業におけ

表-6 エコタウンのシナリオ評価結果

レ/年	経済部門			非経済部門	環境部門	計
エコタウン	エコタウン		北九州市	北九州市外		
	内部運搬 6,738 t		鉄 16,384 t	鉄 10,348 t	環境教育	46,632 t-CO2
	電気 45100 MW		非鉄金属 125 t	非鉄金属 10,258 t	廃棄物 12,854 t	46,632 t-CO2
			プラスチック 1,453 t	プラスチック 16,632 t	排水 11,800 t	
			紙・木材 90 t	硝子 4,661 t	産業による環境負荷 716 t-CO2	
北九州市			燃料 721 t	紙・木材 4,590 t	燃料燃焼による環境負荷 45,916 t-CO2	
			その他 9,669 t	燃料 5,546 t		
			電気 55700 MW	その他 6,455 t		
北九州市外	再資源化原料 85,834 t					3,679 t-CO2
	用水 21,465 t				間接的な環境負荷 3,679 t-CO2	3,679 t-CO2
	天然資源 63 t					
北九州市外	再資源化原料 100,349 t					13,021 t-CO2
	燃料 13,779 t				間接的な環境負荷 13,021 t-CO2	13,021 t-CO2
	天然資源 15,737 t					
非経済部門	見学者数 26.10 千人					
地域環境	-6,628 t-CO2	-63,607 t-CO2	-152,054 t-CO2			-222,289 t-CO2
	バーゲン資源の削減効果 -6,549 t-CO2	バーゲン資源の削減効果 -53,390 t-CO2	バーゲン資源の削減効果 -90,574 t-CO2			
	廃棄物削減効果 -52 t-CO2	廃棄物削減効果 -10,217 t-CO2	廃棄物削減効果 -61,480 t-CO2			
	運輸距離削減効果 -27 t-CO2					
計	-6,628 t-CO2	-63,607 t-CO2	-152,054 t-CO2		63,332 t-CO2	-158,957 t-CO2

る各種対策シナリオの評価を行った。その結果、対策を取ることににより $6.9 \times 10^3 \text{ t-CO}_2$ 削減されることが示せた。

手法面の課題としては、ストック指標の取り込みが課題として挙げられる。また、今後この手法を用いることによりエコタウン事業だけでなく、エコタウン事業と既存産業間連携、事業者や市民といった生活圏との連携の強化、例えば資源の回収・再資源化やグリーン購入の促進等の対策についても評価を進めていくことも課題である。

謝辞：研究を進めるにあたり、情報の提供やアンケート調査にご協力頂いたエコタウン立地企業に

対し、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 岡野雅道，盛岡通：循環型社会の構築を支援する環境会計システム，環境情報科学論文集，2002，pp. 7-12
- 2) 小林久：地域資源・地域環境のための物的勘定の試み，環境情報科学，2004，33(2)，pp. 67-77
- 3) 松本亨，櫻井利彦，中村昌広ほか：使用済自動車分解・リサイクル事業へのLCAの適用，環境科学会2001年会，2001，pp. 24-25
- 4) 盛岡通，今堀洋子，向井肇：北九州エコタウンにおける循環複合形成の評価に関する研究，第9回地球環境シンポジウム，2000，pp. 115-120

EVALUATION OF KITAKYUSHU ECO-TOWN BASED ON MATERIAL FLOW ANALYSIS AND LIFE CYCLE ASSESSMENT

Toru MATSUMOTO, Tadashi TSURUTA, Manabu SHIBATA

For building a recycling society, various resource recycling measures both at the national and regional level have been considered and implemented. To evaluate the effects of these measures, not only environmental aspect but also economic and social aspects need to be taken into consideration. This study proposed an integrated assessment system which could position the environmental load and the effect of load reduction brought from Eco-town project in regional circulation of material. In addition, to prove the availability of this method, it was used to assess the present status, environmental effects and regionally behavior of Eco-town project in Kitakyushu. Moreover, this study predicted effects of two scenarios. One scenario is the effect of thermal recycling from incinerating waste. The other scenario is the effect of combined transportation by the cooperation of companies in Eco-town.