

# ライフサイクル影響評価手法を用いた 地域施策の環境影響要因の分析: 三重県クリスタルタウンのケーススタディ

栗島 英明<sup>1</sup>・瀬戸山 春輝<sup>2</sup>・井原 智彦<sup>3</sup>・玄地 裕<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 理博 研究員 (独)産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター  
(〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

E-mail:h-kurishima@aist.go.jp

<sup>2</sup>非会員 工修 東急建設株式会社 建築エンジニアリング部 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14)

<sup>3</sup>非会員 工博 (独)産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター

本研究では、環境に配慮した地域施策の設計における基礎資料として、施策による環境影響の要因をライフサイクル影響評価(LCIA)手法を用いて分析し、改善点を抽出する手法について検討し、ケーススタディとして「クリスタルタウン」への適用を試みた。

ライフサイクルインベントリ(LCI)分析では、複数の資源枯渇や環境排出負荷物質など様々な環境負荷項目を対象とした。また、GISを援用した地域環境データベースを用いて、地域性も考慮した。

LCIA手法として、本研究では、日本版被害算定型環境影響評価手法(LIME)を用いた。複数の環境負荷項目を一つの指標に統合化し、環境負荷物質・プロセスごとの内訳を見ることで、対策の重要度を定量的に把握することが可能となった。クリスタルタウンの事例では、ショッピングセンターの照明・建設・空調、廃棄物処理、来客の自動車によるCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>の排出が大きく影響していることが確認された。

**Key Words :** Life Cycle Assessment(LCA), regional measures, town development,  
Life Cycle Impact Assessment(LCIA), Mie prefecture

## 1. はじめに

持続可能な社会の構築には、地域における取り組みが重要である。地域の範囲を越え、地球規模にまで至る環境問題もその原因をたどれば、地域における人間活動に還元されるためである。第2期環境基本計画(2000年策定)においても、「持続可能な社会を構築していくためには、(中略)地域段階からこれに取り組んでいくことが必要」と述べられている。

地方自治体が環境に配慮した地域経営を行うにあたっては、まずは自らが主体となる地域施策の環境負荷を可能な限り少なくすることが重要である。そのためには、施策が環境に与える影響とその要因を分析し、改善点を抽出することが必要である。

これまで、施策に対する環境アセスメントの例は多くあった。しかしながら、従来の環境アセスメントのほとんどは、環境基準に照らし、地域の環境影響を中心に評価してきた。また、施策の詳細があ

る程度決定した段階での評価であり、計画のより上流でのアセスメントも求められている。

地球環境問題を含む環境的側面の定量的評価については、ライフサイクルアセスメント(LCA)の考え方が有効である。LCAを用いれば、地域における直接的な環境負荷だけでなく、地域外で発生する間接的な負荷も見積もることが出来る。

LCAはISOで規格化されており、主として工業製品に対して適用されてきたが、近年では土木建設分野に拡大されている。個々の建築物については、日本建築学会(2003)<sup>1)</sup>が建築物のLCA計算ソフト・データベースを整備している。土木分野においては、井村編(2001)<sup>2)</sup>がインフラのLCAに関する枠組みと数多くの事例についてまとめている。また、伊藤ら(1995, 1996)<sup>3,4)</sup>はニュータウンを事例として、造成から運用までを含めた二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)量の評価を行い、いくつかの改善技術によるCO<sub>2</sub>削減効果について言及している。林ら(2000)<sup>5)</sup>は公共交通システム

や都市構造改変などについてライフサイクル影響評価を問題比較型の統合化指標である「環境への優しさ指数(EFP)」で行っている。松本ら(2000)<sup>6)</sup>のディスプレイの特性化までのライフサイクル影響評価とAHPを利用した改善案の検討を行っている。他にも加藤ら(1996)<sup>7)</sup>の公共交通システムや齋巻・野池(2000)<sup>8)</sup>の排水処理の事例など多数の分析事例が蓄積されつつある。

従来のLCAの多くは、環境負荷項目をエネルギーやCO<sub>2</sub>に限る場合が多い。しかし、地域施策の環境影響を、より計画の上位段階で、包括的にかつ簡便に扱うには、複数の環境負荷排出物質や資源消費などの多様な環境負荷項目を統合化して影響評価を実施し、改善対策を実施することが望ましいと考える。

本論では、ライフサイクルの視点から地域施策によって生じる複数の環境負荷や資源消費による環境影響をライフサイクル影響評価(LCIA)手法を用いて統合化・分析し、改善点を抽出する手法について整理した。また、ケーススタディとして三重県多気町の「クリスタルタウン」事業への適用を試みた。

## 2. LCIA手法による地域施策の環境影響要因の分析

### (1) 複数の環境負荷項目と環境影響の統合化

地域施策は本来、地域が抱える様々な問題を解決するために施されるものである。そのため、従来の環境アセスメントでは、地域の環境が中心に検討されてきた。たとえば、都市内大気汚染を引き起こす硫酸化物(SO<sub>x</sub>)や窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、ばいじんの地域内の発生源と発生後の濃度が推定などである。

しかしながら近年、地球温暖化などの地球環境問題が重要視されるようになり、地方自治体に対しても温室効果ガスの発生抑制の実行計画の策定が義務づけられた。このような地域を越える環境問題を引き起こす物質については、地域内での発生量を見積もるだけでは不足であり、ライフサイクルの視点から見積もられてきた。

もっとも、ライフサイクルの視点でいえば、地域施策によって、SO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>、ばいじんなども間接的に発生しており、他の地域の地域環境問題を引き起こす恐れがある。また、それらは酸性雨などの国境を越えるような広域的な環境問題の原因物質である。このため、できるだけ多くの環境負荷項目の間接的な発生・消費をLCAで評価することが望ましい。近年、第1期LCAプロジェクトによるデータや(独)産業技術総合研究所のNIREデータセットなど、CO<sub>2</sub>以外の負荷物質についてもインベントリデータの整備が

進み、複数の環境負荷項目を扱うことが可能となってきた。

一方、複数の環境負荷項目を扱う場合の問題として、評価項目の増加に伴う項目間の優先順位やトレードオフが不明瞭となるという問題がある。この場合、LCIAの実施が必要となる。ISO規格においては、温暖化や酸性雨といった評価項目への特性化が必須要素とされ、その後の統合化は任意とされている。しかし、地域施策の評価という観点からは、施策担当者や住民という必ずしも環境問題の専門家でない人々が判断可能な結果が必要であると言える。つまり、ISO規格で必須要素となっている特性化で評価を止め、GWP(地球温暖化指数)やODP(オゾン層破壊係数)といった特性化による複数の環境カテゴリーの値を並列的に提示しても、これを理解することは一般の人々には困難である。そのため、地域施策を扱う場合のLCIA手法は、できるだけ少数の指標に統合化可能な手法が望ましい。本研究では、統合化が可能な日本版被害算定型環境影響評価手法(Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling: LIME)を用いて評価を行う。

また、統合化の手法には、特性化の結果から直接統合化を行う問題比較(mid-point)型と環境問題を通じて何ほどの程度被害を受けるかという定量的評価結果をベースとした統合化を行う被害算定型(endpoint)型があるが、後者は前者に比べ、被害が定量的に特定されているために透明性が高く、問題が絞り込まれているために、重み付けがスムーズになるという利点がある。

さらに、LIMEは日本のバックグラウンドデータに基づいた日本独自の手法であり、日本の地方自治体の地域施策に対する環境影響評価手法としてこれを用いることは適当である。なお、LIMEの特性化や統合化については産業環境管理協会(2003)<sup>9)</sup>、伊坪ら(2003)<sup>10)</sup>に詳しい。

### (2) 環境負荷の地域内外分別

地域施策をLCAで検討する意義として、引き起こされる環境影響を、直接的な影響だけでなく間接的な影響も含めて総合的に定量評価できる点がある。ステークホルダーに対し、直接被害を被らない他地域や地球環境問題に対する対策を促すためには、施策の実施が他地域や地球にどれほどの影響を与えるのかを客観的に示すことが重要となる。

こうした地域内外の環境負荷・影響を見積もるために本研究では、目的及び調査範囲の設定において、LCAの対象となるシステム境界や環境負荷項目に加

えて施策の及ぶ地理的な範囲を「地域内」として設定し、インベントリ分析で環境負荷の発生を地域内とそれ以外に分別することとした。

### 3. ケーススタディの内容と結果

#### (1) ケーススタディ概要

ケーススタディの対象は、三重県多気郡多気町の「クリスタルタウン」事業である。多気町は、松阪市の南郊に位置する人口10,867(2000年国勢調査)、面積49.6km<sup>2</sup>の農村地域である。1955年以降、人口は減少を続けてきたが、1995年に大規模液晶ディスプレイ工場が立地し、これを境に増加に転じた。同事業は、住民と、工場誘致によって増加し今後も増加すると予想される企業従業員のために、約10haの丘陵地を開発し、商業施設や集合住宅等の生活関連施設を誘致・整備する計画である。

#### (2) 目的と調査範囲の設定

クリスタルタウンは、行政が誘致、道路整備、地権者の取りまとめのみを行う施設誘致型の事業である。行政の役割は、計画の上流段階において、進出企業側に具体的な改善要求を伝え、企業側の提案を精査することとなる。そのための基礎資料として、今回は、環境負荷対策を実施しなかった場合(当初案)の環境影響についてLCAによる評価を実施し、改善点を明確化することを目的とした。なお、クリスタルタウンは基本構想が決定された段階であり、具体的な規模や設計図面等は作成されていないため、表-1のように設計試案を作成し、当初案とした。

調査対象は、クリスタルタウンの[1]土地造成、[2]道路建設、[3]ショッピングセンターの建設・[4]同運用、[5]住宅の建設・[6]同運用のほか、[7]下水(排水)処理、[8]廃棄物処理も運用に限定して取り上げた。また、[9]ショッピングセンターの来客の移動も、多気町・勢和村在住者分のみ限定的に取りあげた。入力は、その原材料取得から投入までを対象とし、

[4]と[6]で生じた廃棄物・排水は、上記[7][8]で処理されるとした。廃棄物は最終処分、排水は放流までを対象とし、リサイクルプロセスは考慮しなかった。

推計する環境負荷項目は、大気汚染物質(CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、ばいじん)と固形廃棄物(リサイクルされないもの)の排出のほか、各種資源消費量とした。LCIAは、LIMEを用いた。

施策の及ぶ地理的な範囲である「地域内」をクリスタルタウンが立地する多気町内とし、環境負荷の地域内外分別を実施する。

#### (3) インベントリ分析

土地造成・道路建設は、表-1の設計試案から建設図面を作成し、標準歩掛に基づいて資材投入量・建設機械使用量を積算した。これらのデータを、投入資材の製造・輸送による負荷は、日本建築学会<sup>1)</sup>・南齋ら(2002)<sup>11)</sup>および瀬戸山ほか<sup>12)</sup>の原単位データに、建設機械使用の負荷は、「第2次基準値排出ガス対策型」建設機械の基準値および聞き取りによる値に乗じて算定した。ショッピングセンターと集合住宅の建設時の負荷についても、建物延床面積に、土地造成・道路建設と同じ環境負荷原単位を乗じて各値を求めた。

ショッピングセンター・集合住宅の運用期間は20年とした。ショッピングセンターの運用時のエネルギー・水の使用量は、(社)日本ビルエネルギー総合管理技術協会(2003)<sup>13)</sup>に延床面積を乗じて推計した。住宅の運用時のエネルギー使用量は、住環境計画研究所(2003)<sup>14)</sup>に、水使用量は三重県の水道事業概要から求めた原単位に、入居予定世帯数を乗じて推計した。これらを、エネルギー・上水使用の上流遡及を含めた環境負荷原単位に乗じて環境負荷を求めた。

ショッピングセンターと住宅から排出される下水量は、水使用量と同じとした。ショッピングセンターから排出される処理廃棄物量は、東京都清掃局(1994)<sup>15)</sup>と羽原ら(2002)<sup>16)</sup>から求めた原単位に建物延床面積を乗じて求めた。住宅の処理廃棄物量は、多気町の処理原単位に、入居予定人数を乗じて求めた。処理時およびエネルギー・薬品等の製造時における環境負荷原単位は、松阪浄化センター(下水処理施設)や多気町美化センター(廃棄物処理施設)の実績データ、第1期LCAプロジェクトデータを参考に作成し、これを先に求めた処理量に乗じて求めた。

ショッピングセンターの来客の移動については、2000年国勢調査の町丁字世帯数データとクリスタルタウンと競合すると考えられる周辺の大規模小売店舗の分布・面積データ、実際道路網から求めた町丁

表-1 設計試案の緒元

建物種別	延床面積	(m <sup>2</sup> )	
		構造	
商業施設 ショッピングセンター	19,000	S造地上2階建	
ビジネスホテル	2,300	RC造地上4階建	
医療施設	700	RC造	
集合住宅(単身世帯用54室)	2,700	RC造地上3階建	
駐車場	48,500	地上平面	

表-2 インベントリ分析の結果

環境負荷物質 消費資源	建設段階	運用段階	計
CO2	1.62E+07	8.51E+07	1.01E+08
CH4	-	3.08E+03	3.08E+03
N2O	-	3.23E+04	3.23E+04
NOx	5.25E+04	7.24E+04	1.25E+05
SOx	2.04E+04	5.77E+04	7.81E+04
ばいじん	1.93E+03	5.28E+03	7.21E+03
固形廃棄物	4.00E+05	5.99E+04	4.60E+05
原油	2.08E+06	1.36E+07	1.57E+07
天然ガス	2.34E+05	5.63E+06	5.86E+06
石炭	8.36E+04	6.69E+06	6.77E+06
鉄鉱石	2.32E+06	-	2.32E+06
銅鉱石	1.18E+04	-	1.18E+04
石灰石	5.11E+06	1.17E+05	5.23E+06

字とクリスタルタウンとの道路距離データを用いて、ハフモデルによるクリスタルタウンの各町丁字のシェア推計を行った。次に、ハフモデルでクリスタルタウンのシェアとなった世帯が週2回程度、クリスタルタウンに来客すると仮定し、延べ移動距離を推計した。これに、南齋ら(2002)<sup>11)</sup>の普通乗用車1台1kmの移動を機能単位としたインベントリを乗じて、各環境負荷を算出した。

以上のようにして求めたインベントリ分析の結果を表-2に示す。

#### (4) 地域内外の分別

クリスタルタウンの建設段階における地域内外排出量の内訳を図-1に、運用段階における地域内外排出量の内訳を図-2に示す。建物運用と廃棄物・排水処理、来客の移動における燃料燃焼による排出に加え、廃棄物処理においては処理時の直接排出も地域内での負荷とし、それ以外を地域外での負荷とした。運

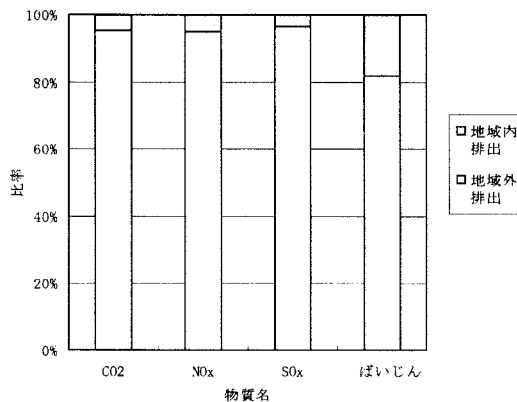


図-1 建設段階における地域内外排出量の内訳

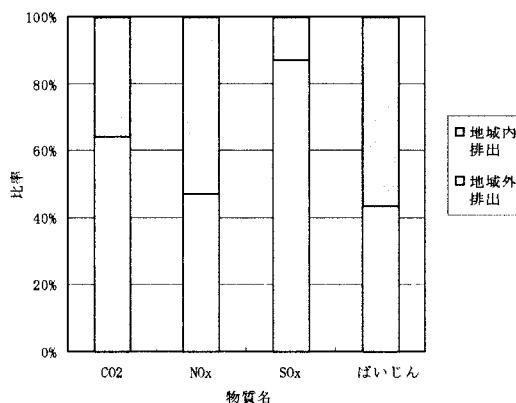


図-2 運用段階における地域内外排出量の内訳

用段階の内訳を見ると、SO<sub>x</sub>では9割が、CO<sub>2</sub>でも6割が地域外での排出であり、この大部分が電力生産を起源とする。一方で、局所的な環境影響を引き起こすNO<sub>x</sub>、ばいじん、固形廃棄物は地域内外が均衡しており、地域内排出の多くは多気美化センターでの廃棄物の焼却時の排出である。

#### (5) LIMEによる環境影響評価

インベントリ分析の結果を用いてLIMEによる環境影響評価を行った。LIMEは、地球温暖化や都市内大気汚染など各影響領域に及ぼす影響度を評価する特性化に加え、人間健康・社会資産・生物多様性・一次生産の4つの保護対象に対する被害を評価する被害評価や全ての環境影響を単一指標化する統合化が可能な手法である。なお、LIMEの統合化は、日本国民に対するコンジョイント分析による重み付けにしたがって行われ、貨幣価値換算も可能である。

表-3に、クリスタルタウンによる各保護対象のLIMEによる被害評価の結果を示す。人間健康を例にすると、多気町の年間環境影響と同程度といえる。

次に統合化を行い、環境影響を貨幣価値換算したところ、クリスタルタウンの建設と20年間の運用による影響は、2億9000万円と見積もられた。また、この値について、環境負荷物質とプロセスごとの内訳を見た。図-5が物質ごと、図-6がプロセスごとである。

表-3 LIMEによる被害評価の結果

被害対象	単位	建設段階	運用段階	計
人間健康	DALY	4.57E+00	1.54E+01	1.99E+01
社会資産	YEN(円)	2.24E+07	1.19E+08	1.42E+08
一次生産	kg	9.06E+04	6.57E+05	7.47E+05
生物多様性	EINES	7.90E-08	2.46E-07	3.25E-07

これによれば最も影響が大きい物質はCO<sub>2</sub>であり、次いでSO<sub>x</sub>となっていた。また、プロセスで見ると、ショッピングセンターの照明・動力が最も寄与率が高く、これにショッピングセンターの建設、空調、廃棄物の焼却、来客の自動車による影響が続いていた。つまり、ショッピングセンターの運用時に利用される系統電力発電時のCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>の負荷が大きいといえる。したがって、クリスタルタウンに進出する企業に対しては、系統電力消費量の削減が第一の課題であると指摘できる。また、ショッピングセンターの建設、廃棄物焼却、来客の自動車についても個々の対応が必要であることが確認された。

#### 4. 結論

本研究では、環境に配慮した地域施策の設計における基礎資料として、施策による環境影響の要因をLCIA手法を用いて分析し、改善点を抽出する手法について検討し、ケーススタディとして「クリスタルタウン」への適用を試みた。

LCI分析では、複数の資源枯渇や環境排出負荷物質など様々な環境負荷項目を対象とした。来客の移動プロセスの分析において周辺の商業施設の動向を踏まえたハブモデルによる来客推計を行うなど地域性を考慮した。また、環境負荷物質の排出を地域内外に分別し、施策の実施が地域内外に対してもどれくらいの負荷を発生させているかを定量的に把握することが可能となった。

LCIA手法として、LIMEを用いた。複数の環境負荷項目を一つの指標に統合化し、環境負荷物質・プロセスごとの内訳を見ることで、対策の重要度を定量的に把握することが可能となった。クリスタルタウンの事例では、ショッピングセンターの照明・建設・空調、廃棄物処理、来客の自動車によるCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>の排出が大きく影響していることが確認された。

今回ケーススタディとして検討した結果は、施策担当者と基本計画案を作成するために作られた行政(多気町と三重県)、住民、有識者からなるクリスタルタウンプロジェクト委員会に示され、実際に計画の策定と進出企業に対する改善依頼のための基礎データとして用いられた。

今回の検討にあたっては、計画の初期段階であったため、仮想的な当初案について評価を実施した。そのため、示された結果は高い不確実性がある概略的なものである。今後、事業の段階が進み、より詳細な設計が行われた際には、より詳細なLCAによる評価の実施が必要であろう。

また、今回抽出された改善点に対する対応技術・施策についても同様に定量評価していくことがある。これについては、一部の技術についての評価を始めており、今後報告していきたい。

さらに、今回はクリスタルタウンのみの評価であったが、今回の結果が多気町全体(三重県全体)の現状の環境影響においてどれくらいの割合を占めるのか、についても見ていくことも重要である。そのためには、対象地域の現状評価が必要であり、現在そ

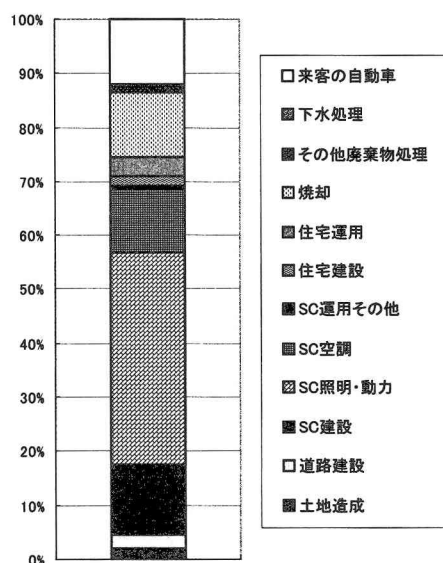


図-5 統合化結果への物質ごとの寄与率

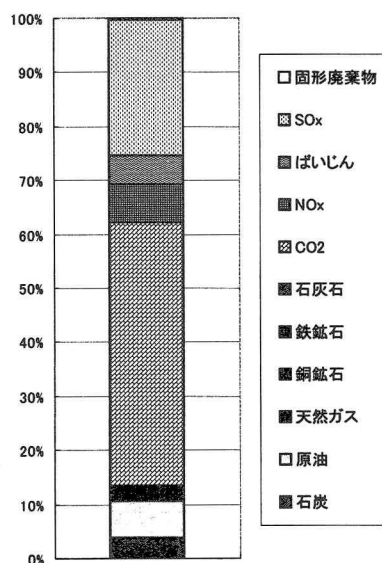


図-6 統合化結果へのプロセスごとの寄与率

の検討を行っているところである。

謝辞：本研究を実施するにあたり、三重県環境森林部、三重県多気町には行政資料の提供等でご高配を賜りました。また、地域産業LCA推進委員会の諸先生方には研究開発を進めるにあたり、数多くの貴重なご助言をいただきました。ここに記してお礼申し上げます。本報告は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)より受託の「LCAのケーススタディ」の平成16年度研究成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 社団法人日本建築学会：建物のLCA指針－環境適合設計・環境ラベリング・環境会計への応用に向けて、日本建築学会、2003。
- 2) 井村秀文編著：建設のLCA、オーム社、2001。
- 3) 伊藤武美、花木啓祐、谷口幸幸、有浦幸隆：ニュータウン建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究、環境システム研究(全文審査部門)、Vol.23, pp.190-197, 1995。
- 4) 伊藤武美、花木啓祐、本多 博：二酸化炭素排出抑制技術・システムのニュータウン建設への適用、環境システム研究(全文審査部門)、vol.24, pp.250-259, 1996。
- 5) 林 良嗣、加藤博和、大浦雅幸、北野恭央、喜代永さち子：都市空間構造改変施策に伴う各種環境負荷のライフサイクル評価システム、環境システム研究論文集、vol.28、pp.55-62、2000。
- 6) 松本 亨、鮫島和範、井村秀文：ディスプレイ導入による家庭の生ゴミ処理・再資源化システムの評価、環境システム研究論文集、Vol. 28, pp.9-19, 2000。
- 7) 加藤博和、林 良嗣、登 秀樹：道路代替案の地球環境負荷に関するライフサイクル的評価手法、環境システム研究(全文審査部門)、Vol.24, pp.282-293, 1996。
- 8) 轟巻峰夫、野池達也：LCA手法を用いた排水処理の評価手法に関する研究、土木学会論文集、643/VII-14, pp.11-20, 2000。
- 9) 社団法人 産業環境管理協会：「平成14年度製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書」新エネルギー・産業技術総合開発機構報告書、2003。
- 10) 伊坪徳宏、坂上雅治、栗山浩一、鷺田豊明、國部克彦、稲葉 敦：コンジョイント分析の応用によるLCIAの統合化係数の開発、環境科学会誌、16(5)、pp357-368, 2003。
- 11) 南齋規介・森口祐一・東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)－LCAのインベントリデータとして－、(独)国立環境研究所、2002。
- 12) 瀬戸山春輝・栗島英明：産業連関表による原単位を用いたライフサイクル影響評価の試み、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)環境系、pp1063-1064, 2005。
- 13) 社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会：平成14年度版建築物エネルギー消費量調査報告書、2003。
- 14) 株式会社住環境計画研究所：家庭用エネルギー統計年報2002年版、2003
- 15) 東京都清掃局：事業系一般廃棄物性状調査報告、1994。
- 16) 羽原浩史、松藤敏彦、田中信壽：事業系ごみ量と組成の事業所種類別発生・循環流れ推計法に関する研究、廃棄物学会論文誌、13(5)、pp.315-324, 2002。

## A ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT FACTOR OF LOCAL MEASURES USING LCIA METHOD

Hideaki KURISHIMA, Haruki SETOYAMA, Tomohiko IHARA, Yutaka GENCHI

In this research, we examined the method which analyzes the factor of the environmental impact by measure and extracts an improving point using life cycle impact assessment (LCIA) method. We applied it to "Crystal town" in Mie prefecture.

It became possible to integrate some environmental load items and to see the contribution for every item and every process by using the Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling (LIME) method. In the case of "Crystal town", it was checked that the CO<sub>2</sub> and SO<sub>x</sub> which are discharged by the lighting, construction, air-conditioning of the shopping center, the waste incineration and the visitor's cars have impacted greatly.