

施設誘致型の社会基盤整備に対するLCA手法の研究：三重県クリスタルタウンのケーススタディ

栗島 英明¹・瀬戸山 春輝²・玄地 裕³・稲葉 敦³

¹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)

h-kurishima@aist.go.jp

²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)

³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

社会基盤整備をはじめとした地方自治体の地域施策に対するLCA手法を整理し、三重県「クリスタルタウン」のライフサイクルインベントリ(LCI)分析を実施した。

地域施策に対するLCAは、地域の持つ要素・属性を考慮する必要があるほか、整備計画の段階ごとの特性を考慮した環境負荷の推定手法を開発する必要がある。

「クリスタルタウン」のLCI分析を実施した結果、約5年の運用で建設段階の負荷を運用段階の負荷が超えることから、他の排出物質量も含めて運用段階に対する改善案の検討が有効であること、排出起源別に地域内外に分別したところ、地域外への間接排出が60%を超える物質もあり、無視できないこと等が示唆された。

Key Words: life cycle Assessment (LCA), inventory analysis, town development, regional measures, regional characteristics and attribute, Mie prefecture

1. はじめに

地方自治体が主体となった地域施策においても、経済的側面だけでなく、環境へのよりいっそうの配慮が求められている。この場合の配慮すべき環境とは、施策が実施される地域内の地域環境のみならず、施策実施によって影響をうける地球環境や地域外の地域環境も含まれる。特に、地方自治体の行う代表的な地域施策の1つである社会基盤整備は、これを構成する土木構造物、建築物が他産業で生産された多種多様の工業製品で構成され、長期的に使用されるため、そのライフサイクル全体での環境影響は大きい。実際に建築物の資機材製造・建設・改修・運用までのCO₂排出量は、日本全体の3分の1を占めると推計されている(秋山ら, 1999)¹⁾。社会基盤整備の環境的評価には、資材製造から施設の廃棄までを含めたライフサイクル全体での環境影響を考慮し、地域内外の負荷を明確化し、全体の負荷を低減する必要がある。ライフサイクルアセスメント(以下、LCA)の実施によって、事業の環境影響の定量化が可能となれば、地方自治体の意思決定とその具体性と透明性への寄与が期待される。

社会基盤整備のLCAについては、インフラLCAに

関する枠組みと数多くの事例分析がまとめとめられた井村編(2001)²⁾ほか、伊藤ら(1995, 1996)³⁾⁴⁾のニュータウンの事例、加藤(1996)⁵⁾の交通インフラの事例、鶴巻・野池(2000)⁶⁾の排水処理の事例など多数の分析事例や社団法人日本建築学会による建築物のLCA計算ソフト・データベース(日本建築学会, 2003)⁷⁾など、研究レベルでは数多くの蓄積がなされている。

筆者らのグループでは、こうした従来の成果を踏まえ、実際の地域施策を対象としたLCAのケーススタディを実施し、実用に資する手法の開発を行っている。現在、三重県、千葉県、岩手県においてケーススタディを行っており、そのうち三重県では三重県多気町が主体となり計画されている施設誘致型の社会基盤整備事業「クリスタルタウン」のLCAを行っている。

地域施策のLCA手法は、①現状把握と改善案検討のためのベースラインの確定、②地球全体の環境影響評価、③具体的な影響地域の同定と影響評価、④改善点の抽出と改善手法の検討、⑤改善案の立案と評価、という一連の流れで構成される。本報では、地域施策に対するLCA手法を整理し、第一歩として行った「クリスタルタウン」のライフサイクルイン

ベントリ (LCI) 分析の結果を報告する。

2. 地域施策に対するLCA手法

本研究におけるLCAの分析対象は、日常的な耐久消費財とは異なり、特定の条件下で個別の計画のもとに実施される地域施策である。そのため、その分析枠組みは、主として製品に対するLCAとして標準化されたISO14040の枠組みを拡大したものとなる。以下では、地域施策に対するLCA手法について、ISO-LCAからの拡大部分を念頭に置きながら地域施策に対するLCA手法の整理を行う。

(1) 地域の様々な属性の考慮

地域施策は、ある特定地域に対して施されるため、その地域が持つ様々な構成要素の属性に影響を受ける。また、地域施策によって生じる影響も同様である。地域施策に対するLCAでは、種々ある構成要素の持つ属性を考慮する必要がある。考慮すべき要素は施策の内容により異なるが、本研究では以下のよう

- ① 投入量の推計において考慮する要素
- ② 環境負荷原単位の選定において考慮する要素
- ③ 環境影響評価において考慮する要素
- ④ 改善方法の検討に際して考慮する要素

施策のLCI分析に関わるのが①と②である。①については、資材の輸送距離に影響を与える需給地の分布や需給地間の道路網、土地造成時の工事量に影響を与える地形、運用時のエネルギー使用量に影響を与える気候などが挙げられる。こうした要素の属性値を用いた投入原単位量の推計ができれば理想的ではあるが、非常に煩雑なものとなる。このため本研究では、対象地域における資材・エネルギー使用量の実績データの収集や各種統計調査によって得られた地方や都道府県ごとの原単位を用いて近似することで対応した。

②については、環境負荷物質の直接排出量に影響する地域に既存する施設の利用などが挙げられる。本研究では、利用が確定している施設の実績データの収集や類似施設のデータによって近似させることで対応した。

③は環境影響評価(LCIA)に関わる部分であり、これについては、すでに松野ら(1998)⁸⁾で指摘されているレセプタの分布や発生源の高低などのほか、拡散時の地形の影響などが挙げられる。従来のLCAでは、実施の実用的な観点から、排出地域・排出源の違いによる影響の違いまでを考慮することは困難であり、割愛されてきた(足立ら, 2004)⁹⁾。しかし

ながら、地域施策のLCAにおいては、施策実施地域への影響の考慮は欠かせない。それは、本来地域施策が地域問題を解決するために施されるものであり、トータルの影響量が低減された場合でも地域環境に重大な影響を与えるものは受け入れられないためである。本研究では、LCI分析の段階で、環境負荷物質の排出量を、発生源に基づいて対象地域内の排出とそれ以外の排出とに分け、物質ベースで地域環境への負荷量を検討した。また、当研究センターで開発された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)を用いた環境影響評価に際し、地方ごとの係数を用いることを検討している。

④については、自然エネルギーの利用における制約条件としての地域の自然条件や産業構造、立地を制約する地形条件や様々な法規制、再生品やエネルギーの地域における需要の分布や量などが挙げられる。こうした要素については、地理情報システム(Geographical Information System: GIS)を用いたオーバーレイ解析や、距離や需給量・分布をパラメーターに入れた最適化手法によって改善案の検討を行っている。

以上述べてきた地域の様々な属性を考慮するため、本研究では、現状の地形や土地利用、建物・人口の分布、道路網など種々の地域の属性データを収集して、GISに入力した。

(2) 整備計画の段階とLCAの対象

社会基盤整備事業は、いくつかの段階を経て行われる。すなわち、事前調査から始まり、基本構想、基本計画、事業実施の意思決定、基本設計、実施設計、事業施行、運営にいたる各段階である。先述のように、社会基盤を構成する土木構造物、建築物は、個別の条件下で個別の設計のもとに製造される一品生産品であり、長期的に使用されるため、試作品による事前検討が難しい。また、後に指摘するように、運用段階におけるエネルギー起源の環境負荷が多いため、計画・設計段階での配慮不足を建設段階で補うことも難しい。

そのため、LCAは事業のできるだけ早い段階で行うことが効果的である。しかし、各段階における作業・決定事項に起因して、LCAで使用可能なデータの粒度が異なるため、検討可能な事項も異なる。たとえば、基本構想の段階では、概略的なデータしか得られないため、細かい設備仕様などを検討することは困難であり、LCAでの検討事項としては導入する機能や立地となる。これが実施設計の段階まで至れば、詳細な設計図面などができているため、使用資材や工法などの検討が可能になる。こうしたことから、環境負荷の低減策を幅広く詳細に考慮するた

めには、事業の進捗にあわせてLCAを段階ごとに繰り返し実施する必要がある。表-1は、それらの事業段階と各段階においてLCAで検討可能な事項をまとめたものである。

表-1 事業段階とLCAの検討事項

段階	LCAの検討事項
事前評価	現状把握, フィジビリティ
基本構想	立地, 機能
基本計画	施設規模・用途, エネルギーシステム
意思決定	
基本設計	施設配置, 動線計画
実施設計	工法, 建設資機材
建設施工	資材輸送
運用	システムの改善・維持

以上より、社会基盤整備のLCAの研究開発においては、段階ごとの特性を考慮した環境負荷の推定手法を開発する必要があるといえる。その際、前段階のLCA結果が後段階のLCAと矛盾を生じないように、前段階のLCA結果を後段階のLCAにどのように反映させるかが重要となる。

3. 「クリスタルタウン」のLCI分析

(1) 事例概要

事例対象は、三重県多気郡多気町の「クリスタルタウン」整備事業である。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)の農村地域であり、面積は49.6km²である。人口は昭和30年以降、一貫して減少を続けてきたが、平成7年に大規模液晶工場が立地し、その操業を境に増加に転じた。本事業では、住民と、工場誘致によって増加し、今後と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・整備する予定である。

ケーススタディの目的は、事業をLCAで検討し、エネルギーシステム等を考慮することで、環境負荷物質の排出量とその影響を低減することである。「クリスタルタウン」プロジェクトは、先に示した事業段階のうち、まだ基本構想が決定された段階であり、詳細な設計はできていない。そのため、事前に環境負荷低減策なしの標準的な仕様の設計試案(表-2)を作成し、これを評価・改善していくという方法を使った。そしてその最初の段階として、改善のベースラインを確定するため、試案のLCI分析を行った。

表-2 設計試案の諸元

建物種別	延床面積	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(单身世帯用54室)	2,700	RC造地上3階建
駐車場	48,500	地上平面

分析の対象は、土地造成および道路、建物(ショッピングセンター、集合住宅、ビジネスホテル、医療施設)の建設時における建設資材・建設機械使用・資材運搬、運用時におけるエネルギー・資材消費、廃棄物・排水の処理である。対象とする環境負荷物質は、二酸化炭素(CO₂)、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)、煤塵といった大気汚染物質のほか、固形廃棄物(リサイクルされないもの)とした。

(2) インベントリ分析

分析に当たっては、事業の構成要素を土地造成、道路建設、ショッピングセンター、集合住宅、ビジネスホテル、医療施設に分類し、建設・廃棄段階は総排出量、運用段階は年当り排出量を推計した。推計方法は図-1の通りである。

建設段階の土地造成・道路建設については、先述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。環境負荷物質の排出量のうち投入資材の製造・輸送は、南齋ら(2002)¹⁰⁾や日本建築学会(2003)⁷⁾の1995年の産業連関表に基づいた原単位データに、建設機械使用の場合は「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、推計した投入量・使用量を乗じて算定した。また、ショッピングセンターなどの建物建設による環境負荷物質については、日本建築学会(2003)⁷⁾に建物延床面積を乗じて求めた。

ショッピングセンターなどの商業施設の運用段階のうち、エネルギー・水使用量(排水発生量)は、建物用途別のエネルギー・水使用量の面積あたり原単位データ¹¹⁾、廃棄物発生量は、東京都清掃局(1994)¹²⁾と羽原ら(2002)¹³⁾の建物用途別の組成割合とリサイクル率のデータから面積あたりの原単位にそれぞれ延床面積を乗じて推計した。同じく、集合住宅の運用段階のうち、エネルギーの使用量は、家計調査をもとにした住環境計画研究所(2003)¹⁴⁾の世帯あたりの原単位に世帯数を乗じて求めた。水使用量および排水量は、三重県の水道事業概要の多気町における年間生活系有収水量を給水人口で除するこ

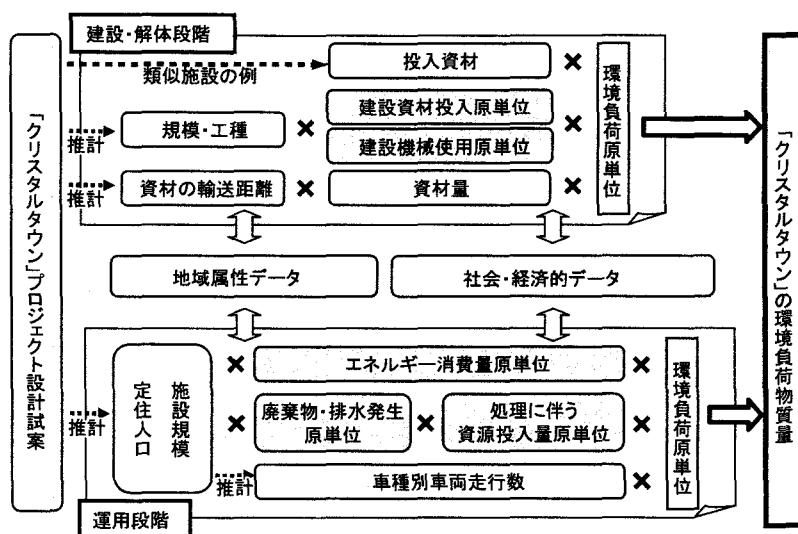


図-1 環境負荷物質量の推計方法

とで人あたり原単位を算出し求めた。廃棄物発生量は、同町の処理実績から人あたり原単位を求め、入居予定人数を乗じて求めた。

こうして求めた運用段階におけるエネルギー・水使用量に、当研究センターが開発したLCAソフト・NIRE-LCA ver.3データや社団法人産業環境管理協会(JEMAI)が平成15年8月1日～平成16年2月29日に試験的に公開したLCAプロジェクトデータから求めた環境負荷原単位を乗じて、エネルギー・水使用時における環境負荷物質の排出量を求めた。廃棄物と排水処理については、多気町美化センター(廃棄物処理施設)や松阪浄化センター(下水処理施設)の実績データから単位量当りの原単位を求め、廃棄物・排水発生量を乗じて、環境負荷物質の排出量を算定した。なお、処理過程における資材・エネルギー消費に伴う環境負荷についても、NIREデータとLCAプロジェクトデータから計算した。

(3) 結果と課題

以上のようにして計算した、ショッピングセンターの運用段階の入力と出力を図-2に例示した。

次に環境負荷物質量の推計結果を図-3に示す。CO₂排出量の分析結果を例示すると、建設段階が約19,000t、運用段階が約3,800t/年である。

建設段階と運用段階で比較すると、CO₂では運用の4.6年分が建設時の量に相当する。建築物は通常30年程度は使用されるため、運用段階における環境負荷を低減する事が、ライフサイクル全体での環境負荷を低減するためには効率的である。NO_x, SO_x

に関しても同様である。

また、事業の構成要素に注目するならば、建設時排出量の50～60%がショッピングセンターを起源とするものであり、運用時もその多くがショッピングセンターを起源とする排出であった。ショッピングセンターの環境負荷の低減が、本事業全体の環境負荷の低減のためには重要である。

次に、土地造成時の環境負荷の起源別割合を図-4に、道路建設時の環境負荷の起源別割合を図-5に示す。土地造成において、CO₂は資材起源が65%を占めているが、NO_x・SO_x・煤塵は建設機械起源が過半数であり、NO_xでは75%、煤塵では87%を占める。道路建設においては、CO₂・NO_x・SO_xは資材起源が60%前後を占めているのに対し、煤塵は建設機械起源が50%を占めている。以上のように、建設段階における排出構成は、排出物質種別により異なっているため、環境負荷の低減には、どちらか一方ではなく、投入資源量・建設機械使用量の双方について検討することが必要と言える。

運用時の地域内外排出量の内訳を図-6に示す。CO₂とSO_xで地域外での排出が多く、地域外排出の大部分(固形廃棄物を除く)は、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_x, 煤塵の地域内排出もおおよそ40～50%を占めている。これらの多くは、多気美化センターでの廃棄物の焼却時の排出である。また、固形廃棄物のほとんどは廃棄物処理に伴う焼却残渣であり、その処理は多気町外で行われている。このことより、「クリスタルタウン」の運用段階を改善するためには、電力消費

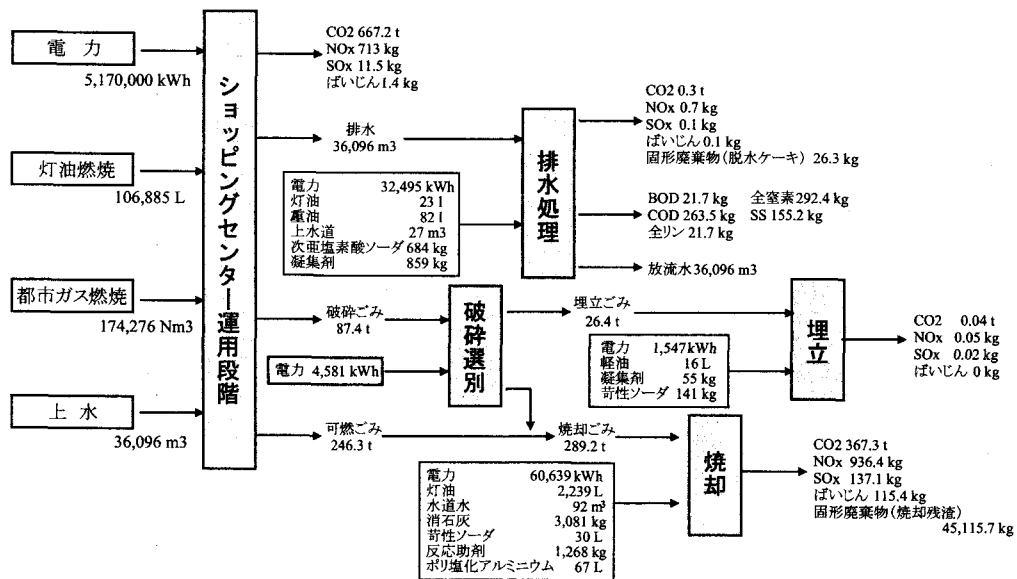


図-2 クリスタルタウンショッピングセンターの運用段階における入力と出力

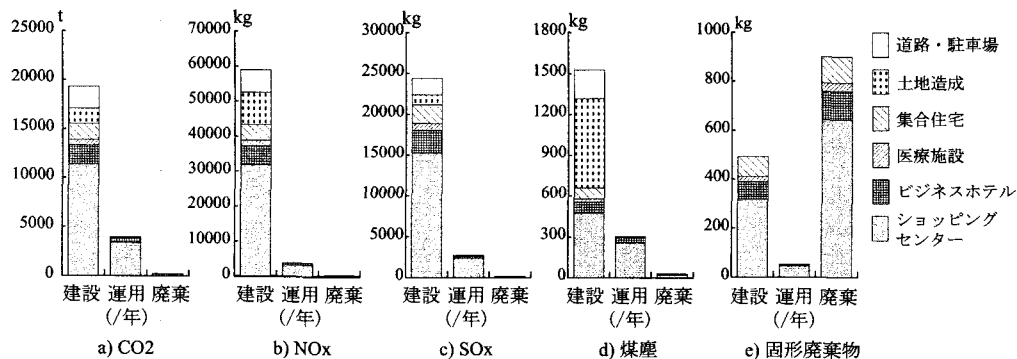


図-3 環境負荷物質量の推計結果

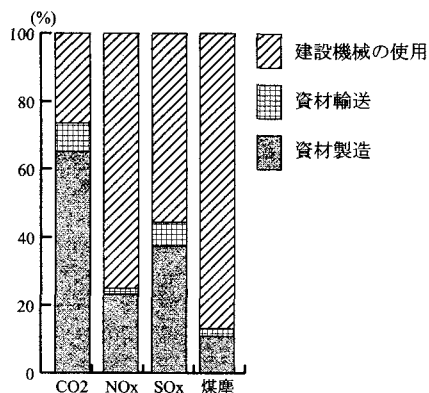


図-4 土地造成による環境負荷物質排出の起源別割合

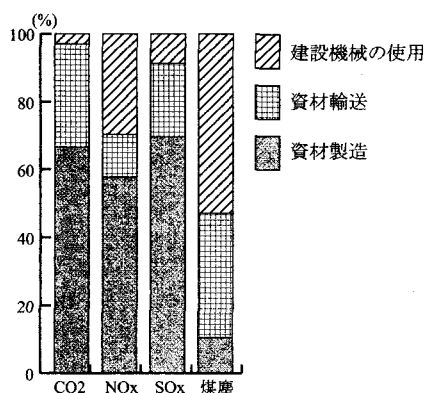


図-5 道路建設による環境負荷物質排出の起源別割合

をはじめとしたエネルギーシステムの改善と廃棄物焼却量を減少させることが必要である。

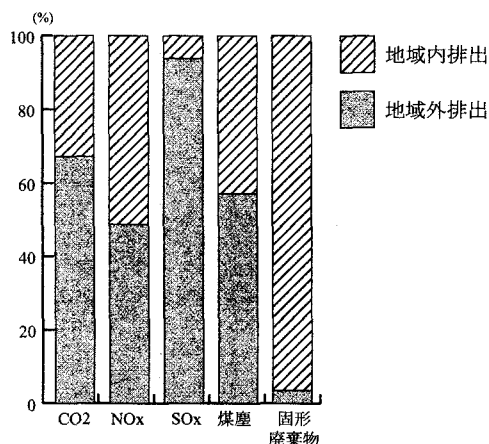


図-6 運用段階における環境負荷物質排出の地域内外割合

以上が「クリスタルタウン」のLCI分析の結果であるが、分析を進める上で、いくつかの問題・課題も抽出された。最後に、そうした問題・課題について検討を加える。

まず、NO_xやSO_x、煤塵といった局地性の強い物質の地域内への環境影響の見積もり方法である。地域の政策担当者や住民にとっての最大の関心は、自地域への影響である。LIME手法では、地域化された係数を使用し、最終的な結果に地域の属性による影響を反映させることができるが、具体的な地域内の影響を見積もるためには別の手法が必要である。環境アセスメント(EIA)はそれに答えるものであるが、LCAに加えてEIAを実施することは非常に煩雑となる。地域施策のLCAの枠組みの中で、簡易的な地域環境への影響の見積もりができ、それを改善案の立案に利用できれば、本手法はより実用的な手法となる。現在、そうした簡易的な推計手法を取り入れるかどうかも含めて、手法を検討している。

また、社会基盤整備をはじめとする地域施策は、運用が長期にわたるため、単年度の推計だけでなく将来予測を含めた推計の方法も検討していく必要がある。

そして、今回の事例のような施設誘致型の開発に対する改善を目的としたLCAのもっとも大きな課題が、事業全体を地方自治体によって制御できない点である。つまり、民間企業を誘致する場合、その建設・運用・廃棄の主体は地方自治体ではなく、企業となるため、地方自治体がLCA手法を援用した改善策の提案を行ったとしても、必ずしも採用されると

とは限らない。提供するデータや改善手法を含めたLCAの結果を事業に反映させる具体的な仕組み(例えば、環境影響評価法のような法制度)を整備することで、施設誘致型の社会基盤整備のような地域施策に対するLCAの普及を望むことができる。

以上は、本手法をより実用的にする上で重要な課題であり、今後の課題としたい。

4. 成果

本報では、実用に資する地域施策のLCA手法開発の第一歩として、社会基盤整備をはじめとした地域施策に対するLCA手法を整理し、「クリスタルタウン」のLCI分析の実施とその結果と課題について報告した。

社会基盤整備をはじめとする地域施策に対するLCA手法については、ISO-LCAの枠組みを意識しつつ、局所的な地域施策を対象とするがゆえに、地域の持つ要素・属性を考慮し、整備計画の段階ごとの特性を考慮した環境負荷の推定手法を開発する必要がある。

以上を踏まえ、「クリスタルタウン」のLCI分析を実施した。約5年の運用で建設段階の負荷を運用段階の負荷が超えることから、他の排出物質量も含めて運用段階に対する改善案の検討が有効であること、排出起源別に地域内外に分別したところ、地域外への間接排出が無視できないこと等が判明した。今後は、この結果をLIMEを用いた環境影響評価へとつなげていくとともに、分析から重要であると認識された運用段階におけるエネルギーシステムを中心とした改善案の検討を行う。

また、本研究は、三重県や多気町といった地方自治体の担当者の協力の下で実施されており、行政や企業、住民らで構成される「クリスタルタウンプロジェクト委員会」にもオブザーバーとして加わっている。そうした中で、担当者や委員会のニーズが環境影響評価だけでなく、環境改善の対価等のコストや便益といった他の指標との関係性にあることも強く感じられた。今後は、先述した手法上の様々な問題・課題と併せて、便益・コスト部分もライフサイクルの視点で同時に評価できる手法の検討を行っていく。

謝辞：本研究を実施するにあたり、三重県環境森林部および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。

参考文献

- 1) 秋山 宏, 伊香賀俊治, 木俣信行: 地球環境問題への建築学会の取り組みと展望, 建築雑誌, Vol.114, No.1444, 1999.
- 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, 谷口宇幸, 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) 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.
- 6) 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.
- 7) 社団法人日本建築学会: 建物のLCA指針ー環境適合設計・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.
- 8) 松野泰也, 稲葉 敦, 水野建樹: 排出地域及び排出形態を考慮した局地性インパクトカテゴリのインパクトアセスメント手法の開発, 日本エネルギー学会誌, 77(12), pp.1128-38, 1998.
- 9) 足立芳寛, 松野泰也, 醍醐市朗, 瀧口博明: 環境システム工学ー循環型社会のためのライフサイクルアセスメント, 東京大学出版会, 2004.
- 10) 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)ーLCAのインベントリデータとしてー, (独)国立環境研究所, 2002.
- 11) 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.
- 12) 東京都清掃局: 事業系一般廃棄物性状調査報告, 1994.
- 13) 羽原・松藤・田中: 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.
- 14) 株式会社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.

LCA FOR DEVELOPMENT AND OPERATION OF INFRASTRUCTURE: A CASE STUDY OF "CRYSTAL TOWN" PROJECT IN MIE PREFECTURE

Hideaki KURISHIMA, Haruki SETOYAMA, Yutaka GENCHI, Atsushi INABA

This report organizes the method of Life Cycle Assessment (LCA) for regional measures and analyzes life cycle inventory (LCI) of "Crystal town" project in Mie prefecture as a case study.

This method is necessary to reflect the regional elements and attributes because regional measure is implemented for a certain region. Additionally, the development of estimate method of environmental load is needs to reflect each phase's characteristics in the project.

We evaluated the amount of CO₂, SO_x, NO_x, dust discharged in the air and solid wastes of "Crystal town" project. Consequently, The examination of alternative plan is needed in operation stage to be more effective, because the burden on environment of operation exceed the burden of construction in about 5 years. To obtain data of regional influence of the pollution discharge, we classified the discharge into either the one from inside or the one from outside of Taki Town. More than 60% were discharged outside of Taki Town.