

社会実験地での循環複合体のシステム構築と 環境調和技術の開発

研究代表者 大阪大学大学院工学研究科 盛岡 通

Construction of Cyclic Complex System and Development of Environmentally Sound Technologies

Tohru Morioka, *Research Director of CREST*

Dept. of Env., Eng., Graduate School of Eng., Osaka University

1. 研究の概要

本研究は3つの意図的に選ばれた社会実験地での部分複合体の循環形成の技術を開発し、その効果を評価するものである。ここから、環境低負荷を判断する評価プロセスを抽出し、環境技術のデザインとともに一般化を試み、途上国を含めた具体的な対象地への適用をおこなう。

第一の産業工場循環研究では、藤沢市の荏原製作所藤沢工場を対象として、地域の住工一体型再構築を支援する地区循環システムをつくり、同時に、逆工場を核とした広域製品回収再資源化と循環CALSから構成される広域製品循環システムをつくる。

第二の都市集積更新研究では、地区スケールの都市開発にともない発生する環境負荷を時間・空間的にみてトータルに削減する代替案を設計し、その評価を支援する地区環境計画システムを、大阪中之島西部地区を対象としてつくる。

第三の農工連携循環研究では、有機物を還元する農場とそこで収穫した農産物を活用したフードシステムによって食糧と有機物の安定な流れの面から産業社会の変革を図る複合体を構築し、コープこうべの流通と農場のシステムを対象に評価する。

ここでは、住宅や都市のユーザーの空間形成に注意しながら、選んだ3つの指標製品と2つの負荷のあり方を提示することとしている。3つの指標製品とは、前近代から続く重要な農産物、近代の機械工業製品、そして情報化社会の情報機器であり、2つの負荷とは、地球環境問題の中核をなす二酸化炭素と、物質的效果が資源循環や土地利用にも及ぶ廃棄物を取り扱っている。(循環複合体研究プロジェクトのURLは、<http://rio.env.eng.osaka-u.ac.jp/ccp/ccp.htm>)

2. 現在までの中間成果報告

2.1 成果内容の要約

3つの循環複合体で構成される全体システムを図-1に示す。外側の円環は、製品のライフサイクルに沿った分析評価および環境適合型のデザインを示している。そこでは二酸化炭素排出量、資源投入による非更新的消費量、副産物のうち廃棄物量、私的および社会的費用などを共通の評価指標として計測し、評価している。

評価モデルでは、一方では指標物質や指標製品の動きに着目した制御を展開するが、その際には回収と再生の物流を支えて環境の意味を情報として伝達し、同時に産業社会においてビジネスとして成立するような商流として形成することがカギである。他方で、収支やダイナミクスを区切って評価しながら、その代謝空間に着目した制御をもおこなうが、その場合には投入産出の物質的効率や副産物の再資源化率などが注目され、境界の内部に閉じるような転換技術による効用と経済価値の創出がカギとなる。

ついで、図-2 に産業工場循環を従来型と比較して示す。住宅あるいは周辺生活関連施設と工場との間で機能する転換装置として注目しているのは、有機副産物をむし焼き状態でガス化するガス化溶融炉や湿潤状態でも酸化する水処理装置である。燃料電池や堆肥化装置や太陽光発電なども、資源の有効活用と環境負荷の少ないシステムの構築のために導入される。第一次構想案での二酸化炭素排出量の削減率は25%に達する。

台所から排出される有機残渣もディスポーザーで下水システム（真空式で性能をあげる）に取り入れ、台所の生ゴミの車両による運搬上の問題を回避するとともに、台所生ゴミから堆肥化装置への投入によって堆肥づくりの成果をあげることができる。その上で、汚水処理で発生した汚泥からガスを回収して熱源として活用することを主なルートとすることも代替案としてあげられる。

また、住宅よりも熱需要密度の高い都市活動がなされるサービス業が立地することを想定すれば、熱併給発電や氷蓄熱、低温熱利用システムなど転換装置としての代替案は拡大される。しかも、ますます、水、廃棄物、熱、エネルギーなどの代謝物の相互のやりとりが盛んとなり、組み合わせとその産出物の資源化水準は多様から高質となる。

地区循環形成の将来像は、再資源化のための複合産業団地はもちろんのこと、オリンピックや博覧会などの大型地域開発においても示されている。今後、さらに環境低負荷型の地域形成もしくは産業複合体の形成の動機づけは強くなるだろう。その意味で、本研究によって循環複合体の中核をなす転換技術の開発と複合体形成の手順と評価の見通しが得られることが大いに期待されている。

実験地の工場の主要な製品のの一つはポンプであり、また、工場内にも多くの自社製ポンプが用いられていた。また、敷地面積1haあたりの年間電力消費百万キロワット時の約13%がポンプに由来し、その割合は照明や空調と同程度であった。まず、ポンプの環境保全性能をいくつかの次元にわけて考察し、そのうち、製品の素材面での資源消費とライフサイクルでみた二酸化炭素排出量、回収後の修理と再生品の出荷を容易にするエコ・デザインに注目した。

図-3 に示すとおり鉄の素材をステンレス製に変え、多段容量をインバーター制御に変え

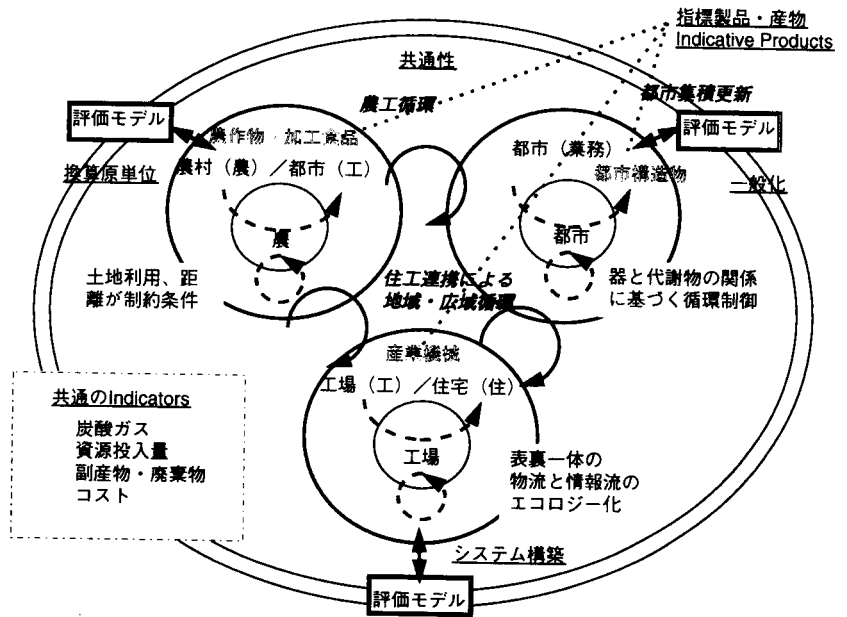


図-1 3つの循環複合体で構成される全体システム

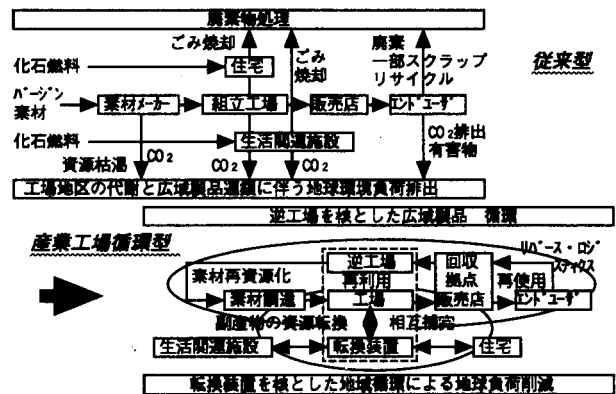


図-2 従来型と比較した産業工場循環

ることによって、重量すなわち非更新性資源消費量は約5分の1に、また、素材製造から運用段階まで含めた炭酸ガス排出でも約4分の1程度にまで減少させることができることを、LCA分析の結果は示している。他方でリサイクル対応のエコ・デザインは製造工程の逆工場化によって効果をもたらすので、その結果を直接に推定するのは容易ではないが、幅広い用途への利用を可能にしつつ少品種化によりコストダウンも同時にはかることができる。

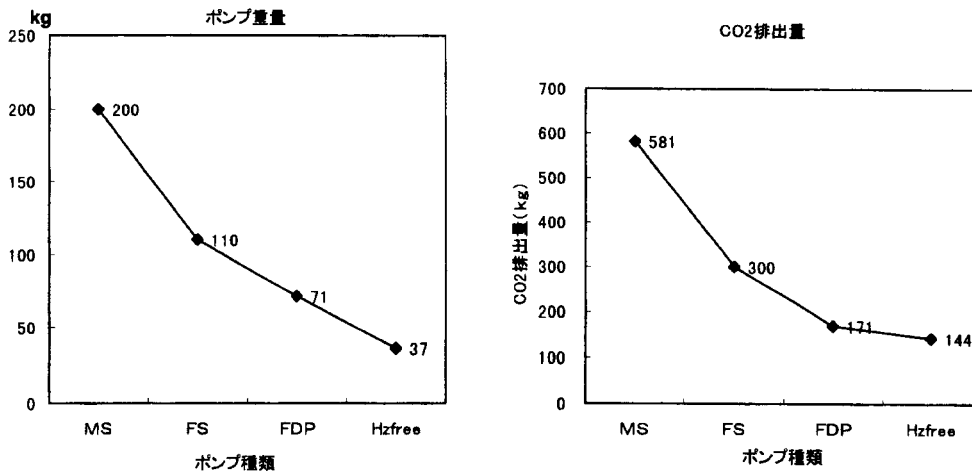


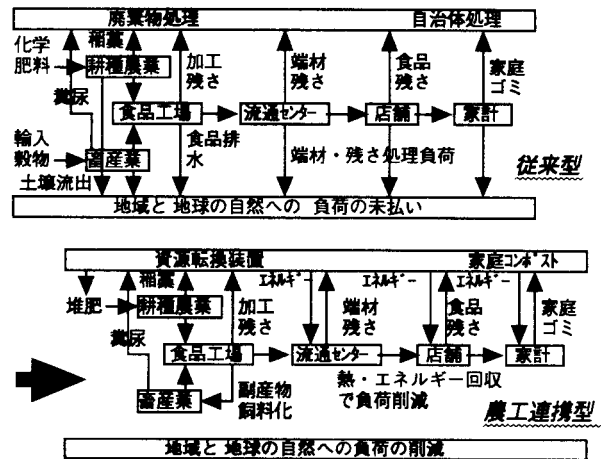
図-3 ポンプのエコデザインに伴う環境負荷削減効果

次に、図-4 に農工連携循環を従来型と比較して示す。食品工場や流通センターなどと農場との間で機能する転換装置として注目しているのは、堆肥化する装置や有機酸などの有用成分を回収する装置、さらにガス化したり飼料として衛生的に水分などを調整する装置などである。

転換装置を通して農業生産に要する資源を再生して利用するとすれば、一般的には新規資源を用いて農業生産向けの同等の資材をつくる案との比較をおこなって、エネルギー節約分や環境負荷低減量を評価することになる。ただ、飼料穀物の供給では船舶輸送によって結果として環境負荷の低減がはかられているので、有機回収飼料の優位性はむしろ栄養バランスに認められる。一方、残渣由来の有機堆肥と競合する林産チップなど有機副産物から製造された堆肥も、二酸化炭素発生量で見ると、他の案とそれほど明確な差異を示すものではない。

以上のことから、農業側の堆肥と飼料として活用するには、地域における有機副産物の占める位置を明確にすることが必要と思われる。

ちなみに、図-5 は物質連鎖に沿った有機物の資源転換方策の検討の例であり、店舗有機残渣のコンポストによる化学肥料削減や食品工場起因の汚泥から回収したバイオガスの燃料電池投入による効果が大きいことを示している。



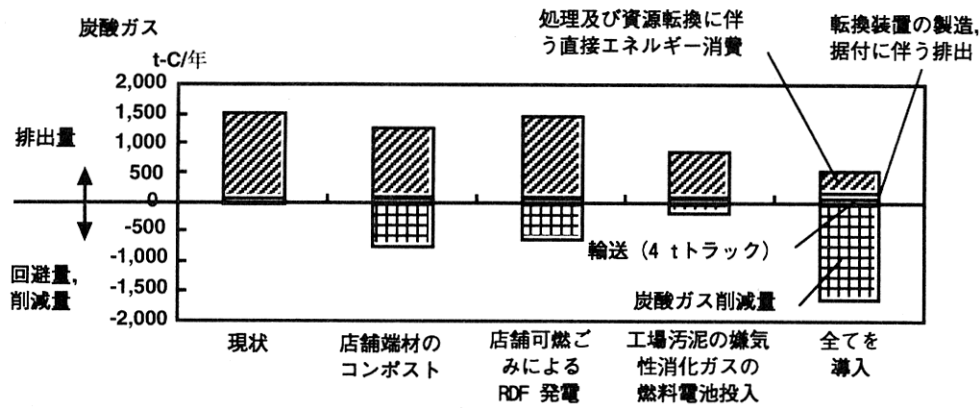


図-5 コープこうべの食品連鎖への転換装置導入による環境負荷削減効果

最後に産業や消費などの都市での活動を支えるインフラ整備に関係の深い都市更新についての取り組みを紹介する。図-6 に示すとおり都市の構造物や基盤施設を世紀のスケールで更新しながら、その過程で環境負荷を小さくしてゆくことは、持続可能な経済社会を築く上で大きな課題である。

従来のように短期間で取り壊して、しかも供用時に多くの環境負荷を与えるような都市再開発の方式にかわって、むしろ、建設時には投資額や資源消費などの面で不利であっても、ライフサイクルで評価すればトータルで環境負荷が小さくなるような都市更新のモデルをシミュレーション技術を用いて開発しようとしている。従来型との比較を図-6 に示す。

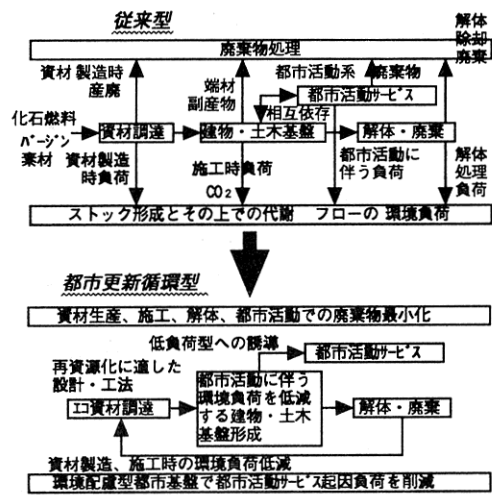


図-6 従来型と比較した循環型都市更新

対象地区は大阪市中心部の中之島西部（約 33ha）で、現状の建物が容積率 600%に更新される標準ケース(Bau)を比較対象に50年間のライフサイクル負荷を推定した。結果の一例を図-7 に示す。

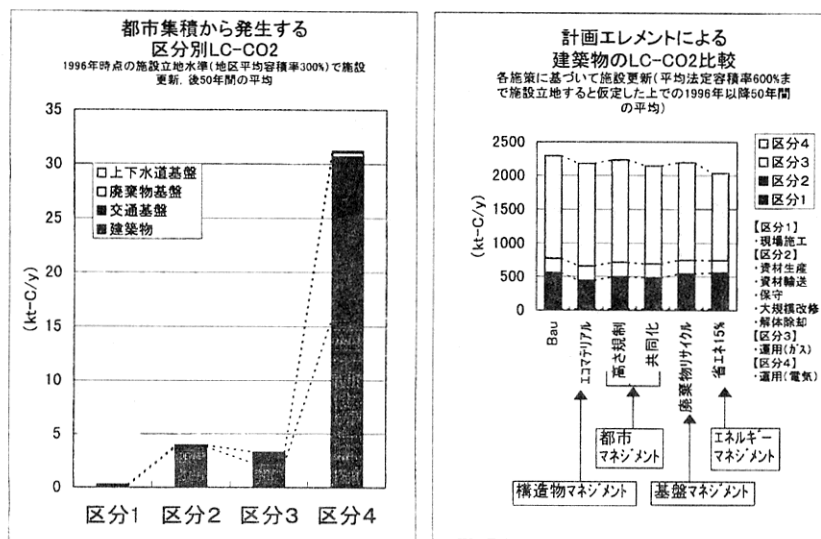


図-7 都市集積から発生するライフサイクルCO₂

予想通りではあるが、都市基盤などの建設時の資材や工事中のエネルギー消費にともなう二酸化炭素排出量よりも、それらの供用・運用時に地区外で排出される二酸化炭素排出量（区分4）が大きいことが示されている。特に、事務所ビル等の建設による照明や空調にともなう環境負荷や誘発交通のうち道路を利用する車からの環境負荷の占める割合の大きさが目立つ。

環境負荷を減少させる戦略は、大きくは構造物マネジメント、基盤マネジメント、空間マネジメント、エネルギー・マネジメントなどに大別されるが、その効果の比較の一例を図-7に示している。すなわち、建築物のみに限定すれば、エコ・マテリアルの使用、建物共同化などととともに、やはり電気や熱エネルギーの建物設備レベルの省エネをビル単体から建築物群、地区レベルに拡張してゆくことの重要性が読みとれる。本研究では、地区レベルの都市環境システムを設計、評価するシミュレーション・システムの開発をめざす。構築した都市更新の汎用ソフトウェアの試行版は希望者への公開を予定しており、将来は協調設計の水準へ展開したい。

2.2 発表論文（①提出先②論文タイトル③アブストラクト）

1)① Proceedings of the 1st International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE, pp.469-474, 1998

② Industrial By-product Utilization System to Minimize Environmental Pollutants with Collaborated Partnership

③アブストラクト：異なる産業セクターで発生した副産物や廃棄物を生産活動の入力として使い、廃棄物ゼロをめざして物質代謝を実現するような循環型産業複合体の概念と適用について紹介する。また、生産・消費システムにおける環境効率等の環境的健全さの評価フレームについて検討した。具体的には、産業工場循環プロジェクト、農工連携循環プロジェクト、都市更新プロジェクトの3つにおいて、典型的な指標製品の連鎖的システムと戦略的に組み合わせた投入産出の代謝システムを、それぞれ考察した。

2)①7th International Conference of Greening of Industry Abstracts, CD-ROM ISBN 9036512387, 1998

② Eco-efficient Product Innovation and the Take Back System of Industrial Pumps

③アブストラクト：循環志向の産業コンプレックスを製品連鎖管理の面から形成してゆくアプローチとして広域製品循環のモデルをデザインし、その中で産業ポンプを指標製品として取り上げて、ライフサイクル思考による製品エコデザインのプロセスをLCA分析により検証した。鋳鉄の素材をステンレスに替え、多段式をインバーター制御に替えることによって非更新資源消費量は約5分の1に、また間接分を含む炭酸ガス排出量は約4分の1にまで減少させていることを定量的に把握して、製品連鎖管理におけるライフサイクルエンジニアリングの重要性を指摘した。

3)① Proceedings of the 3rd Ecobalance International Conference, pp.189-192, 1998

② Study on Life Cycle Assessment of Cycle-oriented Waste Management in Food System

③アブストラクト：本研究では、都市部人口約130万規模の、農地から家計を含めた広義の食品の生産・消費システムとそれに携わるフードチェーンのセクターを対象として現状のマテリアルフローを解析し、それぞれのエネルギー投入量、副産物量を把握し、食品工場や店舗を中心として工業化された食品の生産・消費システムでの卓越したエネルギー消費や有機副産物に起因する環境負荷削減を図るため、コンポスト、RDF発電、メタン発酵装置を伴った燃料電池などの資源転換装置の導入効果をライフサイクルアセスメントにより評価した。

4)① CIB World Business Congress Symposium A Vol. 1, pp.819-826, 1998

② Application of Life Cycle Assessment to Urban Renewal Projects

③アブストラクト：都市における構造物全体として多数の建築物群や土木構造物の現状および更新に伴い発生する長期的な環境負荷算定手法の構築を行った。対象指標はライフサイクルにわたる資材使用量、エネルギー使用量、二酸化炭素排出量、廃棄物発生量である。大阪都心の中之島西部地区をケース対象とした現状解析では建築物の影響が大きく、特に二酸化炭素排出量では運用段階、廃棄物発生量では解体段階の環境負荷削減が重要であることを確認した。

5)① Proceedings of the 3rd Ecobalance International Conference, pp.163-166, 1998

② Life-Cycle Estimation of Environmental Emission from Urban Development Process

③アブストラクト：様々な環境費用の原因である。LCA分析は都市開発に伴う、二酸化炭素排出、固形廃棄物、資源消費などの環境費用を定量化する有効な手段であるが、都市全体を代謝体として捉えて都市環境政策要素との関連を分析した事例は少ない。本論文では、中之島都心地区を対象に、直接、間接のエネルギー消費を中心とした環境負荷フローを独自の負荷区分によって算定し、それをもとにエコマテリアルへの転換から一体型更新までの戦略的代替案導入の効果を、時間軸を考慮したLCA分析により評価した。

6)① 森北出版, pp. 1-172, 1998

② 産業社会は廃棄物ゼロをめざす

③アブストラクト：本著作は、循環複合体の形成という新しい循環社会形成のアプローチを提案し、それに基づく研究成果のエッセンスを体系的に著述したものである。3つの循環複合体に関連する実社会での様々な産業コンプレックスや産業エコロジー形成の事例を紹介するとともに、そのパラダイム転換や原則、社会制度などの情報を解説している。循環形成には、複合的アプローチ、即ち、一方で物質、特に産業製品の流れを循環型に変えながら、他方で地域の経済主体自らの代謝制御が欠かせないことを、実例をもとに示したものである。

3. 今後の研究の方向

循環複合体研究の第二段階では、ここで明らかにした産業工場循環モデル、農工連携循環モデルおよび都市更新循環モデルを一般的に表現し、特に循環複合体の構築の際の要素の組立とその効果の評価手順を核とした社会システムのデザインを検討対象とする。中核技術としての有機物の高質エネルギーへの転換技術と産業製品の回収・再生・維持管理サービスの製品チェーン・マネジメントは3つの社会実験地に共通のものとして、インターフェイスのリンクの面で汎用性のある技術システムとして開発する。

さらに、3つの循環モデルの重なり合う局面について、実際の対象地区を選定して循環複合体の環境負荷低減効果を予測、評価する。このような循環複合体の構築上の課題として、経済的効率性、法制度上の整合性などを明らかにしたのちに、事業所等が協議体や事業コンソーシアム等を形成した場合のバイオニアに付与するのが妥当なインセンティブを検討する。

循環複合体の構築と評価のツールとしてのLCA、MFA、I/O分析、環境資源勘定などを組み合わせた製品連鎖分析と物質代謝分析の方法を開発して、地域の空間情報や製品の設計情報などと組み合わせた循環複合体情報システムを構想する。

中間成果を発表し、各界の専門家等からの意見、コメントを受ける国際シンポジウム（3月8、9日、大阪）に引き続いて、2000年春にも2回目のシンポジウムを開催する予定である。また、ゼロ・エミッションやエコ・デザインなど各種の試みと連携しつつ、成果を交流した上で、2001年秋にはまとめのシンポジウムを構想している。