

社会実験地における循環複合体のシステム構築と

環境調和型技術の開発

研究代表者 大阪大学工学研究科 盛岡 通

Tohru Morioka, *Research Director of CREST*

Construction of Cycle Oriented Complex at Social Experimental Sites
and Development of Environmental Technologies

Dept. of Environmental Engineering, Osaka University

1. 研究の概要

循環複合体研究では循環型の技術システムを提案し、試行する過程で新たな技術課題を発見するとともに、その解決の社会経済的、制度的課題とともに、その技術体系を実践的なアプローチを通じて明らかにした。社会実験地を対象とする実証研究を通じて、新たな循環技術の稼動状態を展示、見学に供することで技術開発と交流に寄与することできた。くわえて社会経済的、制度的な課題に対しては、循環社会を形成する制度のデザインを提案することによってブレークスルーを見出した。すなわち、工業製品と有機食品、都市構造物の3つの指標財について、社会実験地での企画と試行、評価を通じて産業社会の課題を明示したことに研究の特徴がある。製品の経路に沿って環境マネジメントを構想する製品連鎖アプローチと組織あるいは地域の代謝アプローチによって技術体系とそれを支える社会システムを明らかにした。その上で、循環複合体を構築する行動を支援するダイナミックな企画、試行、計画のサイクルを提示していることが研究の成果となる。

産業工場の研究では、工場の生産工程で用いられた汎用技術を資源リサイクルの視点から見直すモデルであり、またしばしば用いられる汎用製品の一生涯を通して環境負荷を低減する製品マネジメントでもある。間口の広いユーザーをもつ自立型エネルギーを産むことが期待される高温還元雰囲気での有機物分解によるガス製造技術や嫌気状態の汚泥等の発酵技術などで産業工場からの恵みを住宅や都市にわたすモデルを構築した。また、工業製品として汎用性の高い代表的なポンプの逆工場を視野に入れて製品連鎖アプローチを展開して、使い棄てよりも維持管理により長寿命化する施策(life prolongation)が廃棄物削減(reduction)よりも優先する上位の施策が有効であることを明らかにした。メンテナンス・サービス、リース事業、アップ・グレード、などに加えて、メーカーとして使用済み製品の回収と解体、再資源化を手がける逆工場の新たな循環事業のビジネスモデルを構築した。

農工連携の研究では、有機食品の循環については、農地と都市の経済主体が産業システムとして循環型である仕組みを構築した。そのために、安心と安全の食のくらしを実現する農工連携のモ

デルを設計してその評価をおこなった。食品の製造、流通、販売の段階で発生する副産物、廃棄物を再資源化する循環型フードシステムに焦点をあて、その成立と発展に合流する形で他のサブシステムの循環構築をもおこなった。都市からの有機副産物の再資源化の標準規格を作成して、都市圏内での新鮮野菜の循環型の供給を増加するプロセスを示し、その事業としての社会的な受容性を循環型食品に対する支払い意思額を計測することによってあきらかにした。

さらに、有機物のバイオマスとしての再資源化を促進し、各種のグリーンな合成化学の原料として、またエコ・エネルギーの源泉として活用する積極的なゼロ・エミッションを展開するマネジメントシステムを構築した。その上でコープこうべの堆肥センターの立地するみずほ農園のゼロ・エミッションとともに神戸市内の食品工場が多く立地する東部第4工区の有機食品のゼロ・エミッションシステムを構築してその評価をおこなった。

都市構造物集積の更新については、建築物や資材のサイクルを想定して、その資源化を促す技術開発、組織的要因、社会システム上の条件を明らかにした。その上で、副産物を投入した再生セメントの規格づくりと用途の弾力化、およびコンクリート構造物の改装によるリフレッシュ工法や非構造材の分離容易性など構造物の環境配慮型設計を採用することの効果をあきらかにした。

そのうえで、都市集積の維持によって長寿命化をはかるとともに、拠点地区や動線に沿った回廊の空間の機能転換、あるいは構造材についての更新を環境負荷が小さい条件のもとで実施してゆくなどの、長期的な都市更新モデルの環境効果を明らかにしている。都市の集積の循環効率を高めるエネルギー基盤、交通基盤と並んで構造物の資源循環を促す環境基盤を実現する、規制誘導政策の長期的な効果を明らかにした。

異なる指標財間での技術システムの設計にあたっては、ゼロエミッションプロセスや環境効率のエンジニアリングデザインへの反映とともに、現在の社会システムに欠如する静脈系の技術体系を構築して、時間プロセスや計画サイクルに沿った一体的な技術運用を開発するという共通の立場をとってきた

2. 現在までの成果の報告

2.1 成果内容の報告

(1) 産業工場研究

製造業の生産する製品を環境負荷の小さい製品に変え、同時にその生産および製品提供のプロセスで生じる廃棄物と汚染物を可能な限りゼロに近づけるモデルを開発した。すなわち、製品のライフサイクルに沿った環境負荷を小さくするためのエコデザイン、解体容易性などを向上させつつ、製造や流通に再帰と循環を備えるために逆工場や逆流通を構築した。①製品連鎖を通じての環境効率の向上について、製品製造(素材、構造)や使用時の駆動・制御方法に工夫をもたせるエコデザイン、メンテナンスで寿命延長を図る戦略、解体時の効率を向上させるDFD戦略、の3つによる効果を評価した。さらに、②ポンプの逆工場とエコデザインへの転換として鋳鉄ポンプからステンレス製のインバータポンプへのエコデザイン変更の効果は、単位サービス(出力×揚程)あたりの物質投入量で半以下に、ライフサイクル炭酸ガス量で約3割削減し、環境効率を向上させることができることをLCA分析の結果として明らかにしている。さらに、③DFDによる分解時間の削減による効果を実際の逆工場の分析を通じて明らかにした。解体実験に供された約250台の使用済みポンプに対して、ビデオ撮影で分解時間計測をおこない、工程

別分解時間を分析した。エコデザイン適用による分解時間削減効果とそれに要する投資費用を評価した(図1)。

また、藤沢のエコ・インダストリアルパーク計画において、ガス化資源化炉の入力、出力を安定化することで高いエコ効率を維持するための需要と供給のマネジメントとして、住宅等における市民的な意思決定と集積的に資源管理に適応した代謝結合の様式を構築した。さらに、住工連携を進める場合、住宅側のアップ・グレードやマネジメントには集積的意思決定が必要となるので、技術的なタウン・マネジメントと並行してユーザーのまちづくり支援が必要となることをあきらかにした。

(2) 農工連携研究

食品と農産物の生産と消費の過程での環境共生型製品・サービスづくりとそのゼロ・エミッションを実現することを試行した。農産物や食品の供給のチェーンに沿って環境対策と経営資源のマネジメントを展開してゆくアプローチでは、野菜について具体的に取り扱い、安心・安全の食の製品連鎖マネジメントへと発展させることを想定している。

農産物流通において、流通業がイニシアティブをとり、関係者との協力のもとで、製品の流れを管理することによって、汚染物質の管理、環境負荷削減、高品質(安全・新鮮)農産物の供給が実現できる。このとき、農産物流通の循環システムとして、店舗残渣で直接に有機農産物を生産することを想定し、トマトを指標としたシナリオを描いて、生産工程から輸送、堆肥化までの過程の投入、産出を積み上げ計算によってLCA分析を行った。さらに、循環生産のトマトを消費者が購入する意識を把握するために、仮想市場法(CVM法)により購入表明価格を調べ、その上で実店舗での販売実験を行った。その結

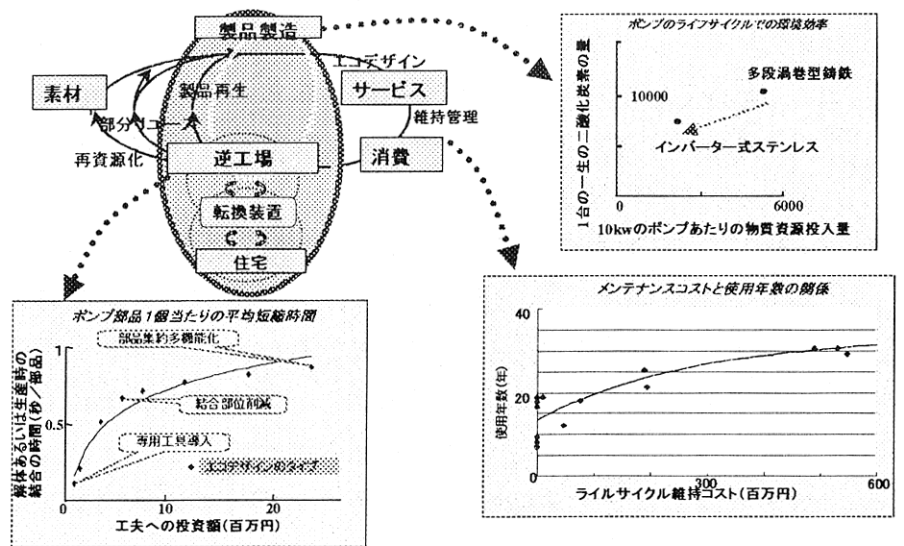


図1 ポンプの逆工場とエコデザインの効果

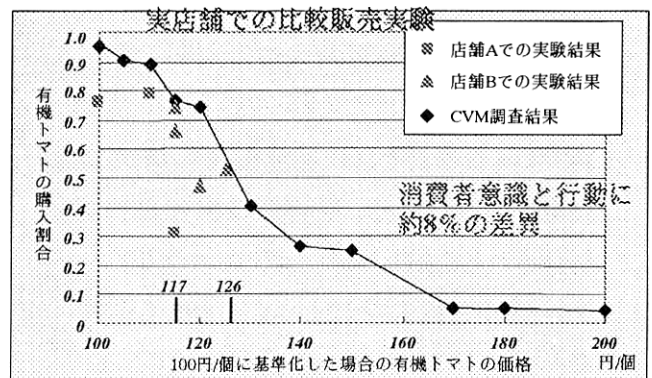
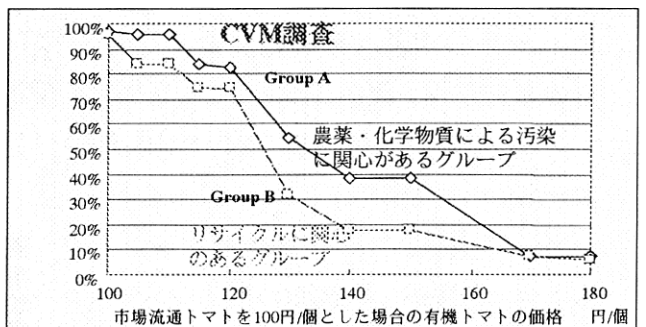


図2 循環農産物の社会的価値の測定実験

果、表明された意識と行動に約8%の差異が存在することを明らかにした上で、その改善の戦略として、流通業と農業の双方から連携型の施策として、安心安全の食品ブランドの確立、包装の簡略化、製品の無選別化、最大でなく適量販売、また店舗においては情報の開示、エコラベリングなどのマーケティング戦略を構築した。

さらに、有機物のバイオマスとしての再資源化を促進し、エコ・マテリアルとエコ・エネルギーの源泉として活用するマネジメントシステムを構築した。バイオマスの流れを操作する主体、組織を区分して、農場で農村食品加工業や畜産や林産を含めたゼロ・エミッションを展開する型、食品工場が集中して立地する地区でのゼロ・エミッション、店舗やショッピングセンターなどでの流通店舗ゼロ・エミッション、家庭の生ごみと場合によっては下水汚泥などの有機物をあわせてゼロ・エミッションにとりくむ試みなどの類型を明らかにした。その上でコープこうべの堆肥センターの立地するみずほ農園のゼロ・エミッションとともに神戸市内の食品工場が多く立地する東部第4工区の有機食品のゼロ・エミッションシステムを構築してその評価をおこなった。

(3) 都市集積更新研究

都市の構造物およびそれに付属した装置や製品の供給、運用と利用、および解体・廃棄の過程を通して環境負荷の小さい製品のライフサイクルに導く戦略的な方向性を示す。具体的には建設と解体の際のゼロ・エミッションを推進し、代表的な建設廃棄物、建設副産物の再資源化の技術とその効果について明らかにすることが研究の目的であった。業務ビルや住宅の解体は都市の再開発や空間整備によって大きな影響を受ける。活動が変容してゆく際に器としての構造物をも全面的に変えるのか、それとも活動の高度化に応じてユーティリティや床の一部をアップ・グレードしてゆくのかの違いは、結果として廃棄物政策を大きく変えることになる。空間政策と物質代謝との相互の関係を見極め、持続可能な都市のメタボリズムを構築することも研究の最終目的としてきた。構造物やそれを構成する部材の素材生産、部品生産、そして現場での建設行為があり、供用中の稼動パフォーマンス、メンテナンスののちに解体がおこなわれ、再資源化もしくは廃棄がなされる。製品連鎖のマネジメントとしては、動脈側の生産システムに関する施策、静脈側の再生システムに関する施策、構造物の供用維持管理システムに関する施策の3つに大別できる。動脈側では、エコマテリアルの利用、易更新・解体設計、それに環境配慮の構造物設計が重要である。現時点の現存建物が解体されることによるピークは、マテリアルリサイクルを行うことによって約2/3も削減できるとともに、その約半世紀後にくる次のピークについては、製品連鎖の上流側の施策としてフレキシブル・インフィルなど

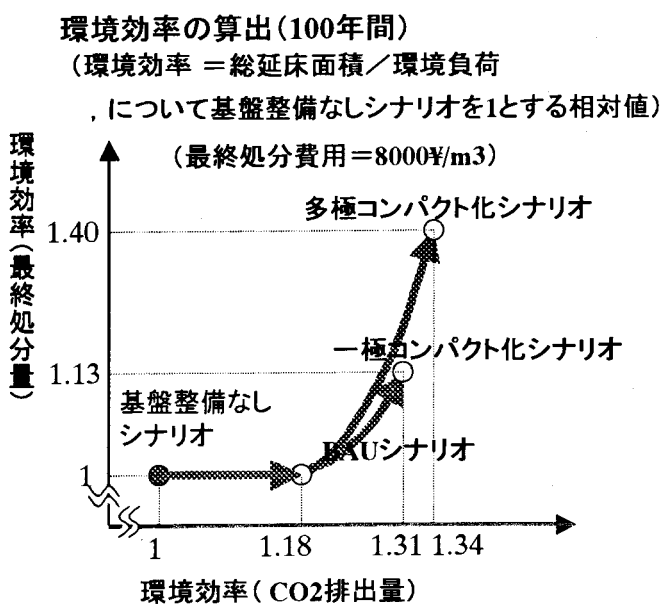


図3 建設物の製品連鎖マネジメントと都市の空間・基盤制御による環境改善効果

を導入することで、一層の削減が可能である事を明らかにした。

さらに、既存の建物ストックから、建築物の寿命の変化や土地利用の誘導パターンによって将来の容積率分布を決定する分析システムを構築した。それをもとにして、環境基盤の整備による環境効率の向上の効果を推定する。図 3 では、100 年間の総延床面積の提供をサービスとして解釈し、環境負荷発生量で割った値で環境効率を求めた。現状延長型 (Bau) でかつ環境基盤整備を行わなかったケースの値を1として相対化してパフォーマンスを表現している。エネルギー基盤整備は CO₂ 排出量の削減に寄与し、建設副産物を再資源化する施設の整備は埋立廃棄物量の削減に寄与する。再資源化基盤とエネルギー基盤の整備を行うと、CO₂ をベースにした評価で 6%、埋立廃棄物量の評価で 37%、環境効率が向上した。さらに土地利用を変化させ、一極集中化、多極分散化を行うと、さらに環境効率が向上することがわかった。

(5) 統合的企画・評価研究

統合的企画研究では、環境効率の算定評価や研究プロジェクトの進捗状況を管理するとともに、循環複合体の形成過程を診断するため診断・評価システムを構築した。システムは CCP 研究の進行管理のためのツールとしての役割とともに、新たなる循環複合体の形成を支援するより上位の支援システムとして構築した。実験地において、Goal-Project-Action-Work に階層化した要素関連図を作成し、プロジェクト進捗度評価と循環複合体形成目的との整合性評価 (目的達成度評価) をおこなっている。進行管理の経営学的手法を援用しつつ、研究がフェイズをもって進行することを前提として、複数の研究担当者を対象とした目標達成度評価指標の抽出過程を含めた支援ツールとして構築した。

3つの対象実験地において、製品・サービスを環境負荷で除した環境効率を定義し、その算定評価を行った。環境負荷として LC-CO₂、廃棄物最終処分量、Eco-Footprint を用い、多様な環境側面を取り扱えるように配慮している。さらに製品・サービス項目として、物理量で表される指標から生産額やサービス価格といった多様な指標にもとづく評価をおこなった。また、生態系への影響評価を行うため、産業および都市活動のための資源採掘や廃棄物処分により引き起こされる自然地改変を対象として、生態系ネットワークへの影響も加えたエコロジカル・インパクト評価を行った。さらに、EIP 等の複数主体がとりくむ事業においては、費用や汚濁負荷排出の帰属先等を明確にするために、既存の環境会計の枠組みを改良して、多主体連結型の環境会計のしくみを提案する。具体的には廃棄物ゼロ化事業を対象として、企業内部の事業実施の意思決定プロセスに関するヒアリング調査の結果、意思決定要因間の相対的重要度と促進要因の重要度や効果を評価している。

2. 2 主な研究論文等 (審査付論文を主体に主要なもののみ記載)

1) ①Environmental Information Science, in print, 2002

②Carbon Dioxide Emission Reduction by Product Chain Management for Industrial Pumps

③産業ポンプの製品連鎖を通じた環境効率を向上について、製品製造 (素材、構造) や使用時の駆動・制御方法に工夫をもたせるエコデザイン、メンテナンスで寿命延長を図る戦略、解体時の効率を向上させる DFD 戦略、の3つによる効果を LCA 分析で評価した。

- 2) ①環境システム研究論文集 vol.29, pp.347 - 354, 2001
 ②都市構造物の製品連鎖マネジメントのシステム構築とケーススタディ評価
 ③都市構造物をマネジメントする政策オプションの導入効果を評価するシステムを構築し、環境負荷削減効果について国土を対象とした評価をおこなった。
- 3) ①環境システム研究論文集, Vol.28, pp.207-213, 2000
 ②産業機械逆工場推進施策の評価のための応用一般均衡モデルの構築
 ③リサイクルとメンテナンス機能を持つ逆工場のシステムを設計し、応用一般均衡モデルを用いて逆工場セクターの持続性を高める社会制度の環境効果, 経済効果を明らかにした。
- 4) ①Journal of Global Environment Engineering, Vol. 6, pp103-116, 2000
 ②Life Cycle Estimation of CO2 Emission from Urban Districts and its Application for Urban Environmental Management
 ③建築物と土木基盤施設の都市構造物に起因するライフサイクル環境負荷を包括的に算定するプログラムを構築した。都心地区での構造物関連の環境負荷の発生構造を明らかにした上で、土地利用政策と製品連鎖政策を組み合わせた環境改善施策の効果を分析した。
- 5) ①Journal of Global Environment Engineering, Vol.5, pp.87-95, 1999
 ②Evaluation of Environmental Impact in Civil Infrastructure Systems with Respect to Sustainable Industrial Transformation
 ③土木建設活動とその提供する社会サービスに伴う環境インパクトを類型化して、ライフサイクル分析と産業連関分析により定量化をおこなった。建築物では構造物ストックの20分の1が運用時負荷に相当するなどサービス時の運用時の負荷が大きい事を明らかにした
- 6) ①Journal of Risk Analysis Vol.10 No.1, pp.73-81, 1998
 ②Site-based Environmental Risk Management in Industrial Factory Illustrating Practical Inventory and Improvement Analyses with Life-cycle Thinking Japanese
 ③副産物の除去や資源リサイクル促進などの工場における環境パフォーマンスの改善効果をライフサイクル分析を用いて評価した。鉄鋼製造に関して、脱脂剤クリーン化、めっき設備能力向上、銅めっき浴の変更、圧延油の変更、焼鈍の雰囲気変更に伴うライフサイクル二酸化炭素排出量削減効果を算出した。
- 7) ①International Conference of Greening of Industry, CD-ROM, ISBN 9036512387, 1998
 ②Eco-efficient product innovation and the take back system of industrial pumps
 ③産業ポンプについて使用済み製品の回収、解体、再資源化殻構成される、逆工場システムを設計して、各工程の環境効率を算定して最適制御の方法を明らかにした。
- 8) 研究報告等
 ■盛岡通 (研究代表), 社会実験地での循環複合システム構築と環境調和技術の開発, 研究実施最終報告書 (CD-ROM 版及び報告書印刷版) (2001),
 ■盛岡通 (研究代表), 社会実験地での循環複合システム構築と環境調和技術の開発, 研究実施中間報告書, p.2-1~54, 3-1~54, 4-1~29, 5-1~57(2000)
 ■Morioka, T., (edi.), Proceedings of CREST International Workshop 1999, "Construction of Recycle-Oriented Industrial Complex Systems with Environmentally Sound Technology at Social Experimental Sites Project", p.1-218(1999)
 ■盛岡通 (編著), 産業社会は廃棄物ゼロをめざす, 森北出版, p.1-177(1999)