

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 董 亮 (DONG Liang)

論 文 題 目

Research on analytical methodology to plan and evaluate industrial symbiosis in steel plant industrial complex

産業共生を計画・評価する分析手法に関する研究：鉄鋼産業を含む産業集積地区を対象に

論文審査担当者

主 査 藤田 壮・環境学研究科客員教授

副 査 林 良嗣・環境学研究科教授

副 査 谷川寛樹・環境学研究科教授

副 査 加藤博和・環境学研究科准教授

## 論文審査の結果の要旨

資源枯渇や気候変動など地球規模の環境問題が顕在化する中、都市や産業から発生する廃棄物を効率的に循環活用して産業プロセスの環境負荷を軽減する「産業エコロジー (Industrial ecology)」の理論の社会への展開が緊急の課題となっている。欧米において発展した産業エコロジーの分野では、システム分析 (System Analysis, SA)、ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment, LCA)、マテリアルフロー分析 (Material Flow Analysis, MFA)、環境配慮型設計 (Design for Nature) などの方法が開発されてきたが、近年、循環資源の受入先となりうる素材産業の生産プロセスと他の産業間、および地域の都市活動を含めた資源循環システムを構築する「産業共生 (Industrial Symbiosis) の理論と社会への実装が注目されている。産業共生の施策は、気候変動某市や都市の効率的な運用に向けて取り組む中国をはじめとする発展途上国にとって、環境制約下で成長を持続するために、個別最適ではなく複合体としてのネットワークでの最適解を実現する「システム・イノベーション」を提供する鍵となることが注目されている。また、これまでは産業地区レベルの分析や国レベルでの分析は進んできたが、都市・地域圏スケールでの評価手法が確立されていない点や、素材産業の技術の定量把握が困難であることなどから、その環境改善効果などを同定する研究はあまり行われてこなかった。

本論文は、産業共生の実現に向けてのプロジェクトと関連する政策を定量的に構築するための理論と方法論を、経済成長と都市化が顕著である中国の都市を対象に行うところに特徴がある。さらに、データ収集から評価解析モデル開発、ケーススタディまでを通じて政策への知見を抽出する一連の研究が行われている。

第 1 章では、中国を含む各国での産業化・都市化とそれがもたらす環境問題・経済問題を体系的に示し、本論文の構成を提示している。

第 2 章では、産業エコロジーと産業共生についての既往研究を整理したうえで、LCA や MFA、産業連関分析などの解析手法について体系化するとともに、国際的な政策分析を通じて本論文の焦点を明らかにしている。

第 3 章では、中国と日本の比較分析に焦点を絞り、両国における産業共生の実現のための社会条件として、それぞれの国での循環型社会推進基本法や循環経済推進法などの法体制と、制度設計を比較している。その結果、日本のエコタウン事業や地域循環政策などでは分野横断的な特徴がある一方で、中国では環境共生型産業団地などの個別産業や、産業団地での環境制御に焦点が置かれていることを明らかにしている。日本のような総合的・循環型産業政策の導入を中国における環境改善の論理仮説として、地域条件を踏まえつつ定量的に明らかにする研究の枠組みを提示した。

## 論文審査の結果の要旨

第4章では、中国の代表的な産業都市として Jinan 市と Liuzhou 市を取り上げ、研究データの調査手法と解析モデルの構築を行っている。二つの都市で複数の企業、行政施設を対象に生産技術情報、企業の入出力情報および経済指標、排出指標とともに、地域情報を定量的に明らかにする方法論を構築し、その運用を通じて一般性を検証した。両都市の産業共生事業の比較分析を通じて、企業単位の環境配慮がある生産事業と、複数の企業間での共生効果を明らかにすることができた。

第5章では、プロセス LCA とハイブリッド産業連関分析を組み合わせた統合型の資源・エネルギー循環解析モデルを構築し、両都市の資源・エネルギー循環特性の解析に適用した。その結果、企業間連携などの技術、政策シナリオの直接効果と間接効果を定量化する手法を開発した。

第6章で、これらの定量化調査手法と解析モデルを活用して両都市の産業共生の特性を定量的に示し、さらなる改善に向けてのシナリオ分析を行った。Jinan 市の国家産業事業の解析結果で、年間 240 万トンを超える消費資源削減、石炭換算で 90 万 t のエネルギー資源節約、200 万 t の廃棄物削減効果があるなど、産業共生事業の効果を明らかにした。

第7章では、Liuzhou 市に手法を適用し、廃プラスチックの循環利用と、廃タイヤの循環利用などの産業共生事業の複合的導入が年間 110 万 t の二酸化炭素排出削減を可能にすることを示すなど、今後の経済と環境が両立する都市産業政策の可能性を明らかにした。さらに輸送に伴う二酸化炭素排出量の定量化を通じて、産業共生事業に伴う環境費用も定量化することにより、今後の最適事業規模の同定についての議論が重要であることを明らかにしている。

第8章では、以上に示した本研究の知見を総括するとともに、資源循環を立地都市や周辺地域に広げることで、素材産業の原料化施設の利用効率が高まり、新規資源の代替が進み、環境改善効果が高まることを定量分析するなどの課題があることを示している。

以上のように本論文は、特にデータ取得の困難な中国都市を対象に素材産業の有する技術を定量的に把握するとともに、地域スケールでの循環資源の利用促進シナリオを計画し、評価するシステムを構築することに成功している。さらに、資源循環において素材産業を活用するシナリオを計画し、評価するフレームワークを構築したことも評価できる。

本論文の特筆される項目を以下にあげる。

(1) 産業共生事業への効果を定量的に明らかにする手法を開発した。産官学連携の産業情報の定量的な調査の手法とともに、プロセス LCA と産業連関分析を組み合わせる統合評価モデルの開発によって、産業都市を対象とした物質・エネルギー

## 論文審査の結果の要旨

循環の分析により、各資源循環事業が素材産業と連携している効果を物量的に明らかにすることができた。中国の産業都市を対象とした実証研究は、これまでほとんど行われておらず、有意義な情報を提供している。

(2) 複数の素材産業を対象にデータを入手し、施設の物質・エネルギー特性を明らかにするプロセスモデルを同定するシステムを構築したうえで、中国 Lizhou 市を対象として資源循環事業の効果と費用を分析する手順を構築した。産業共生のシナリオを分節化し、物質・エネルギーのフローを定式化することで、統一的な記述が可能な形に一般化し、地域での産業共生シナリオのシミュレーションが可能になった。

(3) 中国で検討が始まっている地域循環圏や産業共生型拠点の高度化事業などの地域計画策定において科学的なプラットフォームとして機能しうる。また高い実用性を有することから、中国以外の発展途上国への応用も期待される。

以上より、本論文は学術上および工学上寄与するところが大きい。よって、本論文の提出者申請者薫亮氏は、博士（工学）の学位を授与される資格があるものと判定した。