

循環型の産業集積開発事業の 計画と評価についての調査研究

藤田 壮¹・盛岡通²・大石晃子³

¹正会員 工博 大阪大学大学院助教授 工学研究科環境工学専攻

²正会員 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科環境工学専攻

³学生会員 大阪大学大学院 工学研究科環境工学専攻

Industrial Ecology has attained global concerns in the manufacturing sectors. The idea has been highly validated as the key concept for new urban development strategy. While Kalundborg is recognized as the advanced sample which spatially materialized the industrial ecology concept in industrial complex, this paper focuses the well-recognized examples of cycle oriented industrial complex development in Europe, the United States, and Japan. While comparing the decision making process among three progressive industrial complex projects, that is, Kalundborg in Denmark, Fairfield in the United States and Kitakyushu Eco-town in Japan, material flows are categorized into on-site or intra-site, and five hierarchical recycle process.

Key Words: industrial ecology, Eco-Industrial Park, cycle oriented industrial complex, hierarchical recycle system

1. はじめに

個人の意識改革と同時に、「持続可能な開発」の原則を全ての社会活動に適用することが地球環境問題の解決に不可欠であるが、とりわけ、環境負荷に対する影響が大きく、社会構造の大きな部分を占める産業活動の変革が重要であり、急務の課題でもある。変革の軸をなすのは、従来の環境問題への対処法を改め、より将来を見据えた産業活動の設計を行うことである。すなわち環境問題が生じてしまった後の修復や、廃棄物・汚染物質を出した後の適正処理ではなく、廃棄物を出さない、あらゆる物質を使い回せる、そして結果として産業-環境の相互作用を健全なものに導くことができるような生産プロセス全体の設計を行うということである。

持続可能な低環境負荷型社会の形成にむけては、個別産業ごとの産業活動の最適化を行うだけでなく、産業間が連携して産業ネットワーク内の物質・エネルギー循環を促進し、ネットワーク全体での最終排出量を最小化する「循環複合」の形成をめざすことが不可欠である¹⁾。

産業エコロジーは、人類が、経済的、文化的、また技

術的に引き続き進展していくことを前提に、積極的に望ましい環境容量または地球の収容力に理性をもってアプローチしそれを維持する方法論であり、循環複合を形成する重要な理念となりうる²⁾。

産業エコロジーの具体的な形態が自然発生的に工業団地に集められたデンマークのカルンボー (Kalundborg) が、循環型の産業集積の初期モデルとされる。現在も計画的な事業を加え、Kalundborg の「産業共生」は進展を続けている。また、計画的に、工業団地に産業エコシステムを形成する取り組みとして「エコ・インダストリアル・パーク」(Eco-Industrial Park/EIP) 構想がある。米国においては1993年に「持続可能な開発委員会」(President's Council on Sustainable Development/PCSD) が発足し、EIPプロジェクトの国家スケールでの推進が決定した。米国内の4地域がEIP実証地として指定され、現在までに国内十数地域において、地域振興を含めた環境調和型拠点の構想が進められている。

また、国際連合大学 ZERI が提唱し、現在世界的に取り組みが行われているゼロ・エミッション構想も、産業組織や地域内部の最終排出量の最小化という側面において

EIP と一致する実証計画であり、より規範的なアプローチとしてとらえることができる。日本においても、平成9年度より通商産業省がゼロ・エミッション推進事業として創始した「エコタウン事業」が、北九州市や川崎市をはじめとする全国の自治体で進められている。

本研究では、第一に循環型の産業集積における世界での先進的な実証事業の事例としてデンマークのKalundborg、米国のFairfield Ecological Business Park、日本の北九州エコタウン事業について、物質の代謝構造および主体間連携の組織構造を調査する。第二に、環境効率の高い産業集積を実現するためのカスケードリサイクルのプロセスを描き、そのオープンリサイクルとクローズドリサイクル、さらに空間的な範囲において副産物あるいは廃棄物の再資源化施設を立地することにより成立する地域循環の理念を定義して、循環型産業集積を評価するフレームを提示する。最後に、このフレームを用いて前記の3事例を比較することにより、定性的な事業の展開の指針を得ることをめざす。

2. 産業エコロジーの理念

産業エコロジー(Industrial Ecology)の実践において、農業や都市の基盤整備等を含む広義の産業プロセスにおける原料や資源の使い方を自然生態系に学び、「相互に依存した産業共生」を形成することが有用であるとする「産業エコシステム」のコンセプトが示されてきた。ここでの「相互依存」は、生産活動の工程から発生する熱や廃棄物などを他の工程の資源として相互に徹底利用し、廃熱や廃棄物の外部への排出を最小限(あるいはゼロ)にとどめようとすることで産業システム全体を持続可能なものにすることを意味する。

Ehrenfeld & Gertler³⁾によれば、安定状態の経済(steady-state economies)と熱力学との関係性を最初に説いたのはGeorgescu-Roegen(1971)であった。さらに、それを経済均衡の枠組の中で用いたのは、Herman Daly(1991)であった。また、Dalyは、エントロピーの増加を最小にするような経済活動は長期的な利益をもたらすとし、システム内の物質・エネルギーの有用性を測る尺度として、エントロピーの重要性を示した。これは単なる効率性の議論を超えた持続可能性という観点からの議論である。さらに、Cloud(1977)は、「経済システムにおいて、物質とエネルギーは熱力学によって調節される相互依存のフィードストックである。」と論文のなかで示した。この論文において「産業エコシステム(Industrial ecosystem)」という言葉が初めて用いられたとされている。その後、1989年に、Frosh, R. A が「あるプロセスの排出物が他のプロセスの原料となる」という「産業エ

コシステム」を提唱し、この言葉が普及することとなった。

以降、具体的な産業集積の提案と分析を通じて産業エコロジーの理念は成長してきた。Robert Ayres⁴⁾は、1993年に韓国、ポーランド、合衆国について産業メタボリズム(Industrial metabolism)の提唱をおこなった。また、Lowe^{5) 6)}によれば、Nelson Nemerowは、同敷地内に立地する企業の複合体を形成することを提案した。そこでは互いが「廃棄」した物質やエネルギーを供給原料(feedstock)として使用することを推進している。Loweは、これらの産業集積を「環境調和型産業複合体(Environmentally Balanced Industrial Complex)(EBIC)」と表現している。彼は、産業エコシステムのコンセプトと産業エコロジー(IE)の分野が、廃棄物を副産物として取り引きするシステムとして解釈されることがあるが、最適解は、むしろ循環系内のより川上の段階で副産物の発生を削減することに求められるべきであるとしている。

産業エコシステムのコンセプトを具象化した初期モデルは、デンマークのKalundborgであり、The Kalundborg companiesは自らのシステムを「産業共生」として次のように定義している⁷⁾。「産業共生(industrial symbiosis)は、異なる産業間の協働であり、それは互いの存在が他方の活力または経済的便益を増加させることによって、そして社会の資源保護、環境保護の要求を考慮することによってなされる。共生とは、一般に、異なる有機組織体が相互に有益であるという関係性をもって共存することを意味する。ここでは、相互に余剰生産物を使用する産業間の協働関係として用いている。」

米国では、PCSDの答申を受けた環境保護庁とエネルギー省の主導により、EIPの開発に向けて調査と計画を開始した。そこでは、EIPを産業共生の実証地として次のように定義している⁸⁾。「エコ・インダストリアル・パークは、製造業とサービス産業の企業が構成するコミュニティである。環境およびエネルギーや水、物質といった資源のマネジメントの協働を通じ、パーク内の企業は、集積の利益を追求するとともに、その個々の利益を最大化する。EIPの目的は、環境負荷を最小化しつつ、参画する企業の経済パフォーマンスを向上することにある。」

3. 循環型産業集積開発の先進的な実践例の調査

(1) Kalundborgでの物質代謝と主体間連携

デンマークのコペンハーゲンから西75マイルの、海岸部に位置する小規模な産業地区Kalundborgにおいて、20年以上にわたり企業および周辺コミュニティによる網状の物質・エネルギー交換が発展してきた。異なる業種の産業間における副産物の相互の取引を通じて産業からの

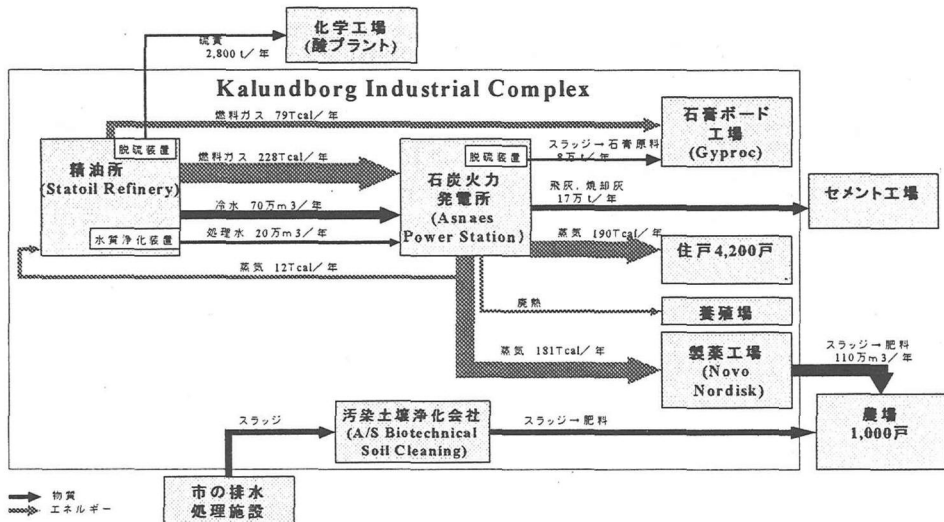


図-1 Kalundborg における物質代謝

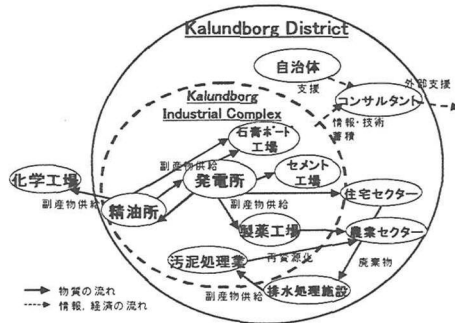


図-2 Kalundborg における主体間連携

環境負荷を削減する仕組みが構築された Kalundborg は、産業エコシステムを経済開発とともに実現する産業開発のプロトタイプとして産官学からの注目を集めている。Kalundborg では、発電所を中心とした産業複合体内において、企業主体間での副産物交換のパスが成立している。また、周辺地域に対し、地域熱供給システムへの廃熱供給や、近郊の農家への有機副産物供給が行われ、地域を介した循環形成がなされている。Kalundborg の物質代謝を図-1^{4) 5) 9) 10)}に示す。

Kalundborg の主体間連携においては、単独主体間での副産物の交換が徐々に多様化し、自律的な企業ネットワークが形成されたという経緯がある^{3) 4)}。これらの企業の集積が成長した後に、外部に向けての技術・情報支援ネットワークが形成された。この主体間の連携を図-2^{4) 5) 9) 10)}に示す。

さらに、調査により明らかになった、Kalundborg の主

要な企業における年間の副産物利用の割合、および副産物利用量を、表-1、図-3^{4) 5) 9) 10)}に示す。まず、副産物交換関係に注目すると、発電所および精油所からのエネルギー源としての廃熱、および製薬工場からの肥料としてのスラッジについて、比較的早い段階から需給関係が成立し、また Kalundborg における主要な副産物交換の対象となっている。とりわけ、廃熱のやり取りは、複数の主体間で相互に行われ、当該地域の副産物交換関係を代表する主体間連携となっている。次に、各主体の資源投入における副産物利用割合を比較すると、発電所が一次資源としての重油に資源投入量の98%を依存しているのに対し、他の製造業では資源投入の大半を他企業からの副産物に依存している。

これから、廃熱供給施設を中核に各種製造業が副産物供給を受け、副次的に副産物交換関係を形成していくという Kalundborg 産業複合体の構造が明らかになった。

表-1 Kalundborg の主要な企業における年間の副産物利用

	副産物利用用途(開始年)	全投入量	副産物利用量	副産物利用率
発電所	精油所からの排ガスを発電燃料として利用(1987)	11,400Tcal/年	228Tcal/年	2%
	発電所内の排水を再利用(継続的改善)	360 万m ³ /年	216 万m ³ /年	60%
	精油所からの排水を冷却水として利用(1987)		70 万m ³ /年	25%
	精油所からの処理水を給水として利用(1991)		20 万m ³ /年	
精油所	発電所からの蒸気を熱供給に利用(1982)	30Tcal/年	12Tcal/年	40%
石膏ボード工場	発電所からの石膏を原料として利用(1993)	12 万トン/年	8 万トン/年	67%
	スペインの発電所からの石膏を原料として利用		2 万トン/年以上	17%以上
	精油所からの排ガスを製品の乾燥熱に利用(1972)	79Tcal/年	79Tcal/年	100%
製薬工場	発電所からの蒸気を熱供給に利用(1982)	181Tcal/年	181Tcal/年	100%
セメント工場	発電所からの飛灰・焼却灰を原料として利用(1979)	—	17 万トン/年	—
地域熱供給システム	発電所からの廃熱を 4,200 戸の地域熱供給に利用(1981)	190Tcal/年	190Tcal/年	100%
化学工場	精油所からの準液体硫酸を原料として利用(1990)	—	2,800トン/年	—
農場 約 1,000 戸	製薬工場からのスラッジを肥料として利用(1976)	—	110 万m ³ /年	—
	製薬工場からのイーストを飼料として利用(1976)	—	—	—
	市の排水処理施設からのスラッジを肥料として利用(1998)	—	—	—

— はデータとして提供されていない

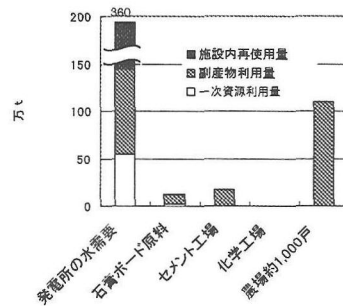
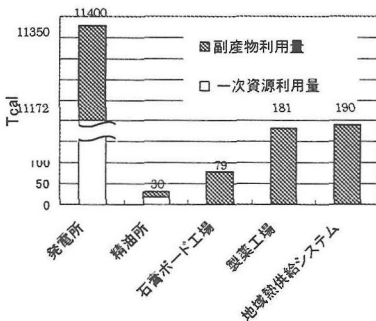


図-3 Kalundborg の主要な企業における年間の副産物利用量

(2) Fairfield Ecological Business Parkにおける物質代謝と主体間連携

米国メリーランド州バルチモア市 (Baltimore, Maryland) に約 2,000 エーカーの土地を有する Fairfield Ecological Business Park (FEBP) では、同市の第 3 セクターである The Baltimore Development Corporation (BDC) がその開発の主導的な役割を担ってきた。一方で、計画立案、企業誘致コンサルティング、パーク運営等の

様々な局面で Cornell 大学環境事業研究所 (Work and Environment Initiative) の支援をともなうなど、FEBP は計画段階からの官民共同の運営主体を構築してきた。また、Department of Housing and Urban Development の Empowerment Zone 事業制度を援用することにより、事業を具体的に支援する財政、規制緩和の制度を提供している。

現在、FEBP では、その市場近接性や優れた交通基盤

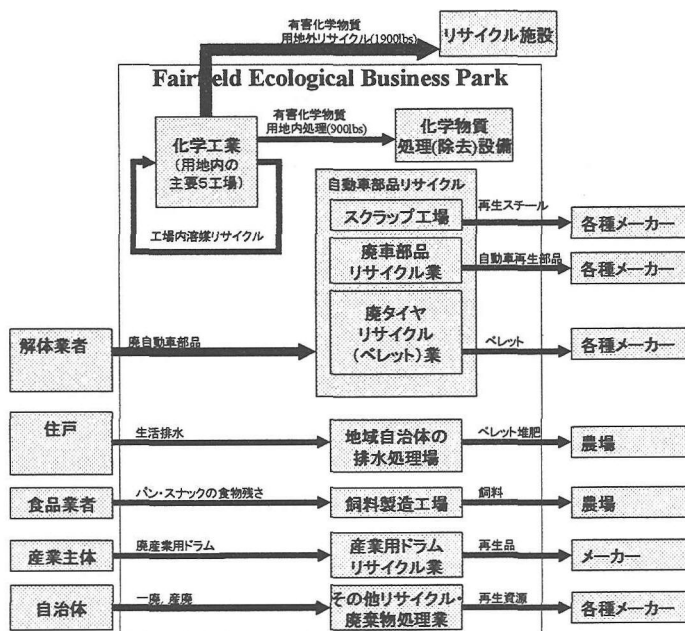


図-4 FEBP における物質代謝

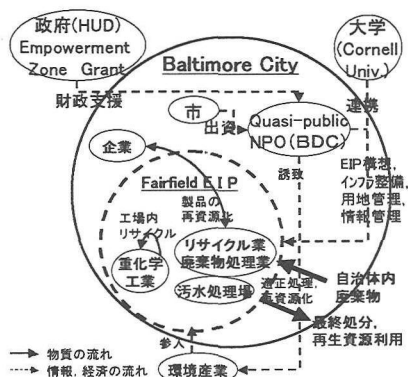


図-5 FEBP における主体間連携

などを活かし、各サイクル産業が地域の産業廃棄物や一般廃棄物の再生品、再資源化を行っており、金属系有価物の再資源化を中心に、近郊の市場とのパスが成立している。副産物の再利用については、パーク内に立地する自治体の排水処理施設による排出スラッジのペレット堆肥化以外には、事業の採算が合わず成立していない。市は、Kalundborg のような副産物交換関係が形成されない理由として、資源交換ネットワークの中核となるような、例えば発電所のように大量で安定した廃熱を出すセクターが立地していないことをあげている¹⁰⁾。FEBPに

おける物質代謝を図-4^{5) 8) 10) 11) 12) 13)}に、主体間連携を図-5^{5) 8) 10) 11) 12) 13)}に示す。

(3) 北九州エコタウンの物質代謝と主体間連携

福岡県北九州市の北部、若松区響灘地区において、平成9年度より北九州エコタウン事業が展開されている。通商産業省が推進するエコタウン事業の初年度承認地として、現在は、「総合環境コンビナート」を拠点に種々の環境ビジネスや実証研究の立地が進んでいる。北九州エコタウンでは、北九州市がパートナーとして複数の事業

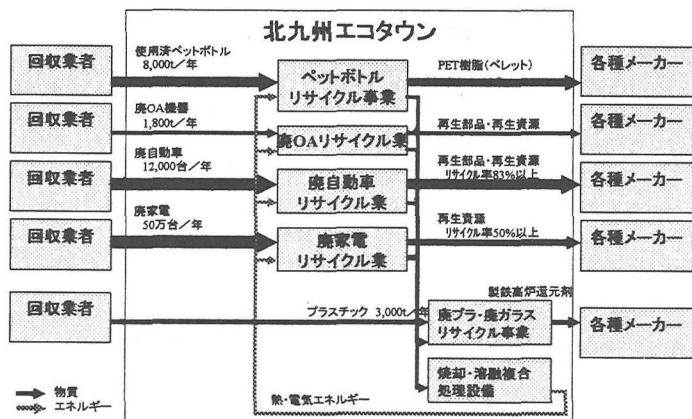


図-6 北九州エコタウンにおける物質代謝

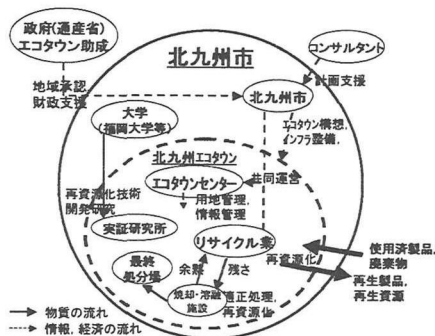


図-7 北九州エコタウンにおける主体間連携

に参加しており、官民連携の事業が推進されている。また、エコタウン内の事業主体は、通産省のエコタウン助成や市の補助金など、行政からのインセンティブを受けることができる。

北九州エコタウンでは、優れた広域輸送基盤や立地条件を利用し、外部からの使用済み製品を受け入れ、再生製品あるいは再生資源に転換し、外部の需要者へ売却・逆有償で提供することが事業の主軸となっている。また、各種リサイクル事業からの残さは、複合処理施設に集められ、熱回収、再資源化が行われることが計画されている(平成14年度稼働予定)。最終的な廃棄物は適正処理の後、響灘最終処分場に運ばれる。これらの一連のシステムを管理する機能として、エコタウンセンターが計画されており、事業全体の中核管理や各種事業支援、市民等外部とのコミュニケーションが展開される。

北九州エコタウンにおける物質代謝を図-6¹⁴⁾15)に、主体間連携を図-7¹⁴⁾15)に示す。

4. 循環型産業集積におけるカスケードリサイクルの評価

物質の循環利用については3R (Reduce, Reuse, Recycle) やリサイクルでもサマールリサイクルとマテリアルリサイクルを区別する理念などが提示されている。社会での財やサービスの生産と消費を維持しつつ、発生する環境負荷を低減するには、多元的なリサイクルのパスを用意して、生産や消費に伴って発生する副産物や廃棄物の特性をできるだけ活用するリサイクルを行うことが有効となる。Allenby²⁾が total industrial ecology cycle で示すように、生産のライフサイクルで異なるステージに移行するためには必ず資源とエネルギーが必要となることから、できるだけ発生と再利用の近い段階でリサイクルを進めることによってリサイクルによる環境負荷削減の効果を大きくすることができることは明らかである。リサイクルのパスとしては、製品としての再利用、製品の素材を活用してのパーツリサイクル、物理的構造や科学的組成を活かして再生品化する物理化学的マテリアルリサイクル、さらにエネルギー回収施設としてと電気や熱源として再利用するサマールリサイクルの段階的なカスケードのリサイクルプロセスを描くカスケードのリサイクルプロセスで、同じ副産物をできるだけ上位で再利用することにより複数サイクルのリサイクルが可能により、環境効率が高くなる。

さらに、リサイクルの各ステージ毎に、同じ製品の連鎖 (Product Chain) で閉じて再利用する選択と当該の製品連鎖の外部で再利用されるプロセスがある。前者はクローズドのリサイクル、後者をオープンリサイクルと呼ぶ。クローズドのリサイクルが循環形成上有利となることは次の理由による。第一に副産物が生産、加工段階で発生する場合は再資源化施設が敷地内に立地することに

表-2 カスケードのリサイクルパスとクローズド循環とオープン循環

	クローズド循環 製品連鎖の系内での副産物の再資源化利用	オープン循環 製品連鎖の系の外での副産物の再資源化利用
リユース	修理や補修により廃棄物を製品として再利用するプロセス	副産物の形質、強度を製品生産に活かす再利用
部品リサイクル	副産物の形質、強度などの物性特性を活かして部品や製品の一部として再利用するプロセス	副産物の物理化学的特性を活かして、他の製品の材料として再利用するプロセス
物理化学的 マテリアルリサイクル	副産物の原材料の特性を活かして、物理化学的な加工を加えて製品の素材として再利用する	副産物の物理化学的な加工を加えて副産物を他の製品の素材として再利用するプロセス
サーマルリサイクル	副産物の原料とする熱エネルギーを製品生産工程で活用する	副産物の原料とする熱エネルギーを外部の産業主体に提供する

より、輸送に関する費用を節減できる。第二に製品の循環効率を管理指標として用いることができる。第三に動脈ロジスティクスの設備と情報を活かす静脈システムを構築するコストが節約できる。表-2にカスケードのリサイクルのクローズド循環とオープン循環の理念を整理する。

また、循環型の産業集積ではオープンの物質リサイクルも地域単位で閉じることで、逆輸送を含むロジスティクスのコストを低減するとともに、地区内での副産物の提供購入主体間での契約などのルールを構築することが容易であるなどから、より環境効率の高い産業システムを構築することができる。なお、「地域単位」とは、一義

的にスケールを設定することはできないが、都市としての機能を備え、共通のルールが適用可能な自治体をその基本単位とすることが妥当であると考える。

これらの評価基準を用い、3つの循環型産業集積地について、実在する物質のやりとりをカスケードのリサイクルの4ステージに分類し（縦軸）、さらにクローズドとオープン、およびその中間としてのオープンの地域循環の3ステージに分類（横軸）した（表-3、4、5）。そして、それらにより得られた各事例の現時点での循環形成の特性、および今後の循環形成の発展の展望について考察をおこなった。

表-3 Kalundborgにおける循環の閉鎖性とリサイクル特性

	クローズド循環	地域内循環	オープン循環
リユース	精油所の排水を同施設内で再使用	精油所の排水を発電所の冷却水に利用 精油所の排水を処理し発電所の給水に利用	該当なし
部品 リサイクル	該当なし	製薬工場のイーストを農場の飼料に利用	該当なし
物理化学的 マテリアル リサイクル	該当なし	発電所の排 SO ₂ に Ca を加え、石膏ボード工場の原料として利用 発電所の脱硫工程からの飛灰・焼却灰をセメント工場の原料として利用 製薬工場のスラッジを熱処理し、農場の肥料に利用 市の排水処理施設のスラッジをコンポスト化し農場の肥料に利用	精油所の排ガスを脱硫した純液体硫酸を化学工場の原料に利用
サーマル リサイクル	該当なし	精油所からの排出ガス（燃料ガス）を石膏ボード工場の製品の乾燥に利用 精油所からの排出ガス（燃料ガス）を脱硫し、発電所の燃料として利用 発電所からの蒸気を精油所の工程での熱供給に利用 精油所からの排出ガス（燃料ガス）を製薬工場の工程での熱供給に利用 発電所からの蒸気を製薬工場の工程での熱供給に利用 発電所からの廃熱を地域の住宅セクターの暖房に利用	該当なし

表-4 Fairfield Ecological Business Parkにおける循環の閉鎖性とリサイクル特性

	クローズド循環	地域内循環	オープン循環
リユース	化学系溶媒を工場内リサイクル	用地内排水を用地内施設で一括処理	用地内の廃化学系溶媒を用地外施設でリサイクル
部品リサイクル	該当なし	該当なし	廃車を工場部品リサイクルし、出荷
物理化学的 マテリアル リサイクル	該当なし	水処理施設からのスラッジをコンポスト化し堆肥として出荷	金属をリサイクル工場で再資源化し、出荷
		市内のスチールをスクラップ工場 で再資源化し、出荷	プラスチックをリサイクル工場 で再資源化し、出荷
			廃タイヤをリサイクル工場 でベレット化し、出荷
サーマルリサイクル	該当なし	該当なし	パン・スナック残さを工場 で飼料として再資源化し、出荷

表-5 北九州エコタウンにおける循環の閉鎖性とリサイクル特性

	クローズド循環	地域内循環	オープン循環
リユース	該当なし	該当なし	該当なし
部品リサイクル	該当なし	該当なし	廃OA機器を部品リサイクルし、出荷 廃自動車部品を部品リサイクルし、出荷
物理化学的 マテリアル リサイクル	該当なし	各工場からの廃ガラス・プラスチックを再資源化し、出荷	廃OA機器をマテリアルリサイクルし、出荷
		各工場からの残さを溶融処理、金属等の資源を回収し、出荷	廃自動車をマテリアルリサイクルし、出荷
			廃家電をマテリアルリサイクルし、出荷
サーマルリサイクル	該当なし	用地内の残さを焼却・溶融処理により熱回収し、用地内施設に提供	ペットボトルを再資源化し、出荷

Kalundborg (表-3) では、単独主体の一次資源費用、廃棄物処理費用を削減する取り組みとして地域内主体間での副産物の交換や個々の副産物リユースが発展している。副産物の原材料の特性を活かした物理化学的マテリアルリサイクルを地域内で行うという点が特徴的である。今後の発展の展望として地域内循環の促進あるいは工場内でのクローズ循環の促進が考えられる。

Fairfield Ecological Business Park (表-4) では、広域から使用済み製品を受け入れ、スケールメリットにより再生製品、再生資源を送り出す逆循環事業を実験地発展の原動力としている。オープンではあるが、製品の部品リユースといったリサイクル段階として比較的高い取り組みを展開している点が特徴的である。また、工場内での化学系溶媒リサイクルといったクローズ循環を優先的に取り組んだという経緯もある。今後の発展の展望として、製品リユースといった高い段階のリサイクル事業の拠点となると同時に、地域やパーク内での副産物の交換を促進することが考えられる。

北九州エコタウン (表-5) では、Fairfield と同様、広域から使用済み製品を受け入れ、スケールメリットにより再生製品、再生資源を送り出す逆循環事業を実験地発展の原動力としている。さらに産官学協働による廃棄物の再資源化技術の開発を協働の求心力とする点に事業の

特徴を見ることができる。他事例と比較し、物質の製品連鎖の廃棄プロセスおよび End-of-Pipe プロセスに初期事業の施設建設を集中しており、動脈事業への展開が今後の課題であることが明らかである。今後の発展の展望として、製品リユースといった高い段階のリサイクル事業の拠点となると同時に、地域やパーク内での副産物の交換を促進することが考えられる。

5. 今後の研究課題

本研究では循環型産業集積としての先進的な事業例について、共通の尺度で比較分析し、その整備の方針を得ることができた。異なる国の異なる事業制度での事例の比較であることから、定性的な比較を先行したが、以下を今後の研究の課題とする。

(1) 主体間の連携の形成の動的なプロセスの分析をふまえての計画ガイドラインの構築

海外の事例についての主体間の連携の形成の動的な過程を調査することにより、上位のカスケードリサイクルを可能にする循環型産業集積構築のガイドラインを構築する。これまでの事例の比較を通じて次のような発展の

表-6 循環型産業集積の主体間の連携の形成プロセス

	動脈セクター	静脈セクター
個々の主体の活動	大量に廃棄物を代謝する企業が、企業内で End Of Pipe 技術を主とする環境改善に取り組む	製品連鎖の再資源化、処理拠点が個別に立地する
複数主体間の連携	企業主体の副産物を他の主体が定常的に資源として活用するパスが定常的に構築される	製造工程からの副産物を活用するオンサイトの逆ロジスティクス、物質転換、熱転換の基盤システムが成立する
地域外を含む多主体間の連携	副産物を活用する製造業セクターの地区内立地が促される	異なる製品連鎖間の副産物交換ネットワークが集積地区外にも社会基盤として成立する。

表-7 循環型産業集積の計画要素

	組織のシステム	技術開発	循環の物的インフラ	循環の社会インフラ
個々の主体の活動	行政による個別企業への情報提供	企業の研究開発、実用化事業の支援	立地事業主体の個別活動を支えるインフラ	企業誘致の立地インセンティブ、経済インセンティブ、環境規制インセンティブ
複数主体間の連携	副産物交換を定常化する契約、協定、規約	複数企業間での技術、情報の交換	逆流通のストック、輸送システム	企業間の技術、物質提供情報
地域外を含む多主体間の連携	副産物の利用を促進する企画、品質保証のシステム	企業の情報データベース		企業の副産物のデータベースの公開

フレームを構想する（表-6）。

（2）主体間の副産物交換についての費用便益分析フレームの構築、既存および新規事業についての代替的計画とその改善効果の提示

循環型産業集積の計画要素としては、再資源化基盤、研究施設、逆ロジスティクス基盤、社会基盤（契約保証、情報、人材）を操作的に取り扱い（表-7）、「環境負荷の削減、輸送費用の削減、処理費用の削減、一次資材の投入量の削減など」を便益項目として「再資源化費用、再資源化施設、分別費用」などを費用項目として取り扱い、企業主体、集積地区全体、都市・圏域の評価境界を設定して費用便益を定量的に算定する。

謝辞

本研究は科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業（CREST）の「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 盛岡通）の一環として行われ、研究を進めるに当たりその支援を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 盛岡通 編著、「産業社会は廃棄物ゼロをめざす」、森北出版、1998
- 2) Graedel, T.E., Allenby, B.R. 共著、後藤典弘訳、「産業エコロジー」、トッパン、1996
- 3) Ehrenfeld, John., and Gertler, Nicholas. Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at

- Kalundborg. Journal of Industrial Ecology. Volume 1, Number 1. Massachusetts Institute of Technology and Yale University. 1997.
- 4) Ayres, Robert U., and Udo E. Simonis eds. Industrial Metabolism --- Restructuring for Sustainable Development. New York. United Nations University Press. 1993
- 5) Lowe, Ernest A., Moran, Stephen R., and Warren, John L. Discovering Industrial Ecology. Battelle Memorial Institute. 1997. pp.129-158
- 6) Lowe, Ernest A., Moran, Stephen R., and Holmes, Douglas B. Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks (Executive Summary). Indigo Development. 1995.
- 7) Kalundborg companies . Industrial Symbiosis.
- 8) President's Council on Sustainable Development (PCSD). Eco-Industrial Park Workshop Proceedings. February 1997
- 9) UNEP. Industry and Environment October - December. 1996.
- 10) Cornell Work and Environment Initiative, Eco-Industrial Development Program
- 11) Baltimore Development Corporation, Fairfield Ecological Business Park. Available at www.buildfairfield.com
- 12) Cornell Work and Environment Initiative, Designing Eco-Industrial Parks, The North American Experience
- 13) Cornell Work and Environment Initiative, EIDP Update Newsletter
- 14) 北九州市、「平成10年度北九州エコタウンプラン事業化計画調査報告書」、1999年3月
- 15) 北九州市環境局、記者発表資料、1999年10月27日

Comparing Survey Of Eco Industrial Development Projects In Different Countries

Tsuyoshi FUJITA, Tohru MORIOKA, Akiko OISHI

Industrial Ecology has attained global concerns in the manufacturing sectors. The idea has been highly validated as the key concept for new urban development strategy. While Kalundborg is recognized as the advanced sample which spatially materialized the industrial ecology concept in industrial complex. This paper focus the well-recognized examples of cycle oriented industrial complex development in Europe, the United States, and Japan. While comparing the decision making process among three progressive Cycle industrial complex projects, that is Kalundborg in Denmark, Fairfield in the United States and Kitakyushu Eco-town in Japan, material flows are categorized into on-site or intra-site, and five hierarchical recycle process.