

19. 北九州エコタウンにおける循環複合形成の評価に関する研究

EVALUATION OF CONSTRUCTING RECYCLE-ORIENTED INDUSTRIAL COMPLEX AT THE KITAKYUSHU ECO-TOWN

盛岡通^{*}，今堀洋子^{**}，○向井肇^{***}

Tohru MORIOKA*, Yoko IMAHORI**, O Hajime MUKAI***

ABSTRACT ; The formation of a recycle-oriented industrial complex needs collaboration with neighbor companies and the selection of the most effective recycling methods from available options. This study picks up Kitakyushu Eco town project in Japan as a representative case and attempts to reveal the enhancement process of the Eco-efficiency of the project under the existing industrial structure. Initially, Material flow at Kitakyushu eco town was surveyed which revealed the trouble with the existing plastics recycling system. This paper combines various plastics recycling technologies into several scenarios reflecting industrial structure and calculates the effect to the emission of global warming gas. As a result, it is shown that the collaboration with the regional industrial infrastructure makes the implementation of effective technology possible, and when coupled with appropriate transportation and distribution of resources, the Eco-efficiency of the project can be magnified.

KEYWORDS ; Recycle-oriented Industrial Complex, Eco Town, Eco-Efficiency, Plastics

1 はじめに

近年、循環型社会の構築を目的とした各種事業が国内外で展開されている。今後、循環型の産業集積では物理的・経済的にその集積が持続可能なことを目指す必要があり、集積メリットを最大限に活用して効率を高め、周辺産業との有機的連携の強化による多様な再資源化オプションの中から、より環境負荷削減効率の高い再資源化手法を選択してゆくべきである。その中では、循環型産業の複数の代替的な発展オプションを描きつつ、発生副産物の再資源化技術の適用性と需要主体の立地特性を考慮してシナリオを描くとともに、その客観的評価により事業を誘導することが重要となる。

よって本研究では、循環型社会形成を目的とする代表的事例として北九州エコタウンを抽出し、再資源化事業所間の連携強化による共同処理・輸送・取引や、周辺産業との連携強化による副産物相互利用や高効率の再資源化技術の活用により、環境負荷削減効果を増大させる手法を取扱う

そこで、本事業の物質収支の特性を調査し、その課題検出と分析対象の特定を行った上で、再資源化技術とその実行・需要・競合財の生産等に関わる産業の、周辺圏域における立地状況を調査することによって、地域特性を反映し、かつ上記の目標を満たす代替案を幾つか作成する。その後それらの定量的評価結果から、上記命題の有為性を立証するとともに、各施策の比較・分析を行うことで、今後の計画立案・実行への提案とすることを目的とする。

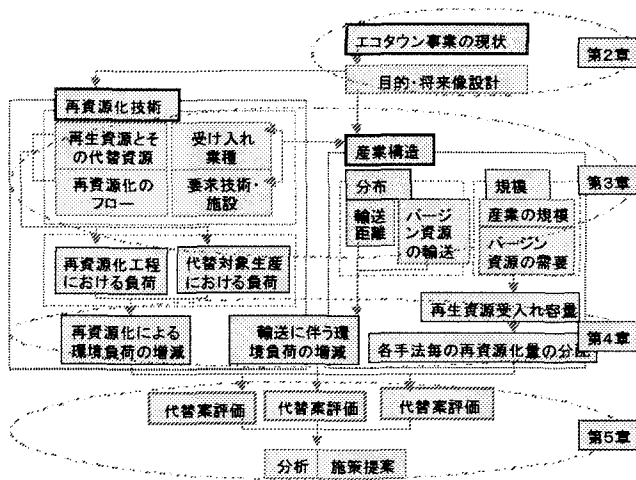


図1 各項目間の関係と本論文の構成

*大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻教授 Professor of Environmental Eng., Graduate School of Eng., Osaka Univ.

**科学技術振興事業団技術員 Researcher of Japan Science and Technology Corporation

***大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻博士前期課程 Graduate Student of Environmental Eng., Graduate School of Eng.,Osaka Univ.

2 北九州エコタウンマテリアルフロー^{1) 2) 3) 4) 5)}

北九州エコタウンにおける物質循環は、平成12年現在、総合環境コンビナートに立地する4つの静脈型事業（以後4事業）が中心となっており、図2は各事業における処理計画量と収集対象域、再資源化工程を、ヒアリング調査等を元にまとめたものである。

北九州エコタウンにおける資源循環の特性把握と課題検出のため、4事業における処理工程から発生する再生資源量を種類別に算出する。算出にあたっては、それぞれの事業毎に、各種団体の公表する統計値や分解実験の計測値等から引用した、対象製品の素材構成比に処理量を乗じて、それらを総計した積み上げ計算を行った。但し、実際の事業では、技術面より寧ろコスト面の制約により、各資源を細分別せず、一括した焼却・熱利用等の再資源化を行うケースも多いが、本研究においては、将来あるべき姿を想定し、費用負担対効果を算出する前段としての本研究の位置付けから、コストをかけてでも、種別に完全分別するものとして計算を行った。また、一部製品に見られるリユースについても、その分量等については事業内容に関わる事柄であり、十分なデータが得られなかったため、完全に分解・分別されるものと仮定して扱う。

この結果をフロー図にまとめたものが図3であり、北九州エコタウンから発生する主な資源は鉄、アルミ、銅、プラスチック類、ガラスであり、その再資源化の現状は、各資源により大きく異なっていることがわかった。具体的には、金属類は、近隣の回収業者を通じて、製鉄業や非鉄金属製造業で精錬され、ガラスについては路盤材等への利用が見られる一方で、プラスチック類は埋め立てや焼却が多く見られ、再資源化システム改善の余地が大きいことがわかった。

よって本研究では、北九州エコタウンにおける再資源化システムの評価・分析の第一段階として、プラスチック類、中でも発生量上位6種の樹脂（PP、PS、ABS、PVC、PET、PUR）を取り上げ、その再資源化システムについての分析を行うこととする。

よって本研究では、北九州エコタウンにおける再資源化システムの評価・分析の第一段階として、プラスチック類、中でも発生量上位6種の樹脂（PP、PS、ABS、PVC、PET、PUR）を取り上げ、その再資源化システムについての分析を行うこととする。

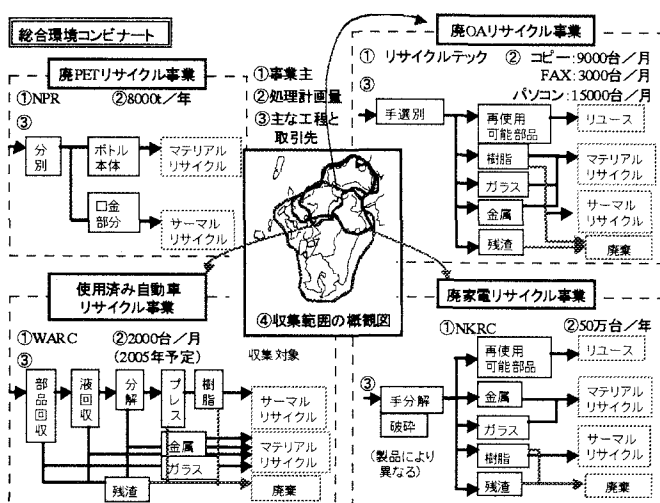


図2 総合環境コンビナートの現状

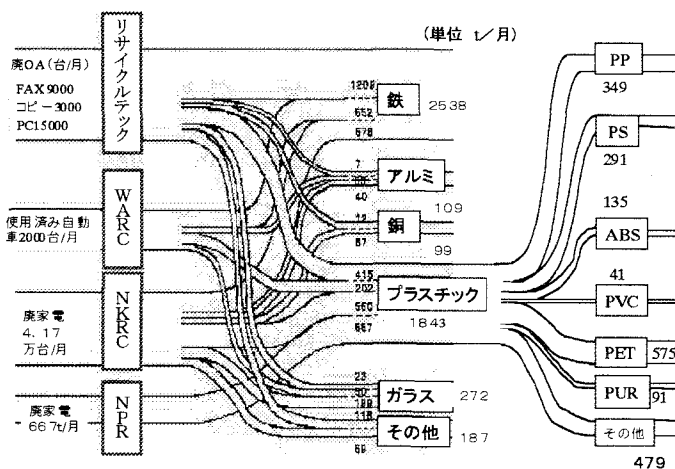


図3 総合環境コンビナートにおけるマテリアルフロー

3 再資源化の実行可能性

3.1 再資源化手法^{6) 7)}

本研究ではプラスチック類の再資源化手法を次のように分類・定義する。

(1) マテリアルリサイクル：廃プラスチックを再生ペレット、顆粒などにして成形原料とするか、熔融固化してプラスチック製品を直接成形する。

(2) ケミカルリサイクル：熱分解や解重合等により、廃プラスチック樹脂からモノマーを回収し、ポリマー生産の原料とする技術。樹脂の性質による収率の差により適性が大きく異なる。現在、対象樹脂としてはPET、PC、PMMA、ナイロン、PUR、FRP、PS等がある。

(3) サーマルリサイクル：重油、石炭の代替燃料として、熱エネルギーを直接あるいは蒸気、電気に変換して利用したりする。具体的には、熱利用焼却、発電付焼却、固形燃料化、熱分解油化、熱分解ガス化、高炉原料化等がある*1。本研究においては、廃プラスチックの持つ高い熱量を利用する代表としてプラスチックを主成分とするRDF化であるRPF化、北九州工業地帯を代表する産業である鉄鋼業を活用する高炉原料化を導入する代替技術として採用する。

*1：熱分解油化や高炉原料化はケミカルリサイクルとして分類されることも多いが、本研究ではケミカルリサイクルはモノマーとして回収する技術として定義し、これらはサーマルリサイクルとして扱うこととする。

3. 2 関連主体の立地状況 8) 9) 10) 11)

前節の各再資源化技術実行の際に、その関係主体となる産業の生産品出荷高とその分布を、北九州市周辺において調査し、プロットしたものが図4である。また、国内で消費される石油化学製品のうち、国産品は主に石油化学コンビナートで生産されており、周辺コンビナートにおける各樹脂の生産動向を、PETの繊維化やケミカルリサイクル、高炉原料化を行う事業所の分布調査結果と共に図5に示す。

これらより、各再生資源の需要量と、その分布からバージン資源と再生資源それぞれの輸送距離を求める。マテリアルリサイクルを行う際の各樹脂需要構造の推測には、プラスチック製品製造業の製造品出荷高の全国値に対する比を算出し、樹脂毎の消費量の全国値を乗じる手法を用いる。今回の需要分析においては、バージン資源由来の樹脂と再生資源の樹脂との区別をつけなかった。これは現実との乖離を増大させる要因になるとも考えられるが、今後の課題で述べる、バージン資源と再生資源の社会的価値をも含めた評価を行う第一段階としての位置付けより、本研究ではこのような仮定の元での分析を進めるものとする。また、PETの繊維用途利用やケミカルリサイクルについては、該当事業所が少数であることから、上記調査で抽出した具体的な事業所を需要先として設定する。

これらを反映させたプラスチック類の再資源化を中心とした地域連携の一例を図6に示す。

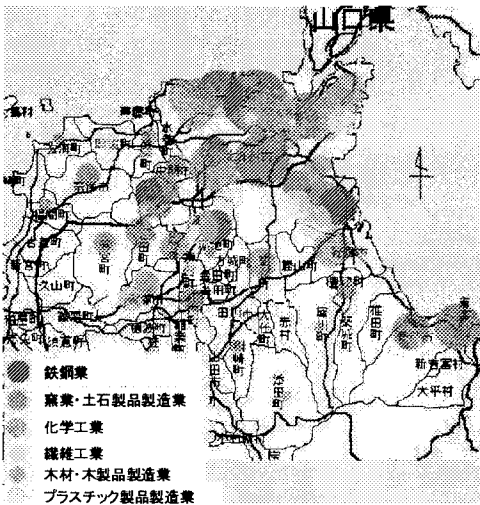


図4 福岡県北部における産業構造

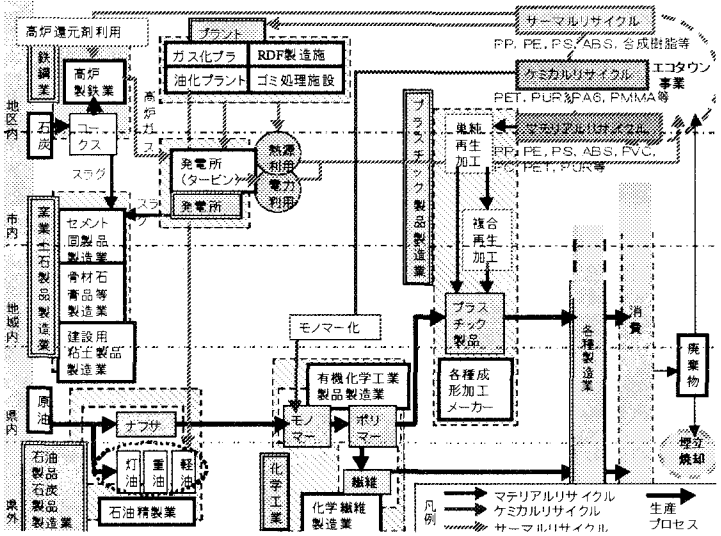


図6 北九州周辺域におけるプラスチック類の再資源化を中心とした産業連携のあり方

4 評価

4. 1 評価手法

再資源化には多様な技術が存在し、その環境負荷削減効果はそれぞれ異なる。再資源化の効率化の為に、各技術の上位下位の評価が重要で、その主要な手法に環境効率（以後 E/E）の概念がある。これは分母をコスト、分子をサービスとして表現するもので、図7はコストに生産及び各技術実行時のCO₂発生量（またはエネルギー投入量）、サービスを得られる社会的便益とすることで、この傾きが各再資源化手法におけるE/Eを表すようにしたものである。これにより、それぞれの傾きの比較から、再資源化技術の有為性検証、再資源化技術間の上位下位の評価、各工程別の評価と課題検出などが可能となる。

本研究では、E/E を高めるアプローチとして、各再生資源がバージン資源を完全に代替すると仮定し、現在のサービス水準を維持しながら環境負荷を削減する方法を考える。つまりバージン資源の需要に対して再生資源を投入した場合のCO₂排出削減量を、加工・生産およびその需要先まで

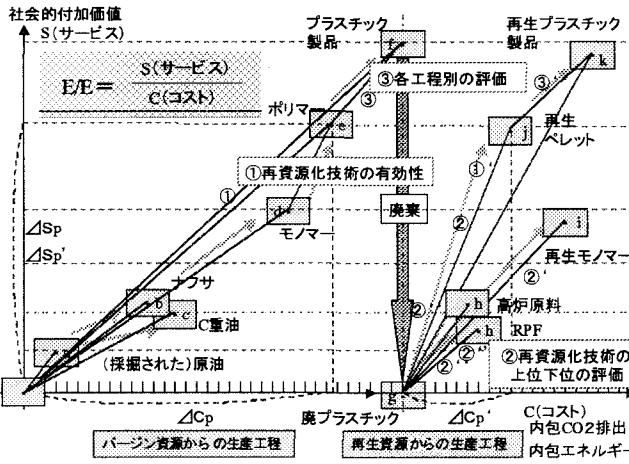


図7 環境効率の概念

の輸送に伴う負荷について、バージン資源、再生資源それぞれの差をとることで算出・評価する。また、図8は、プラスチック類の生産と再資源化のフローにおける、各評価項目間の位置付けを示したものである。但し、今回は各資源に分別された後の再資源化手法間の比較検討が目的であるから、廃棄物の収集に伴う負荷、およびエコタウン事業における一次解体・手分別の工程の負荷は、どの手法を用いる場合も同一であることから算出しないものとした。また、簡略化のためプラント建設の負荷を含めなかったが、本項目は費用負担の側面にも大きく関与するものであり、今後の研究に位置付けられる経済的費用対環境負荷削減効果の分析では計量すべきである。

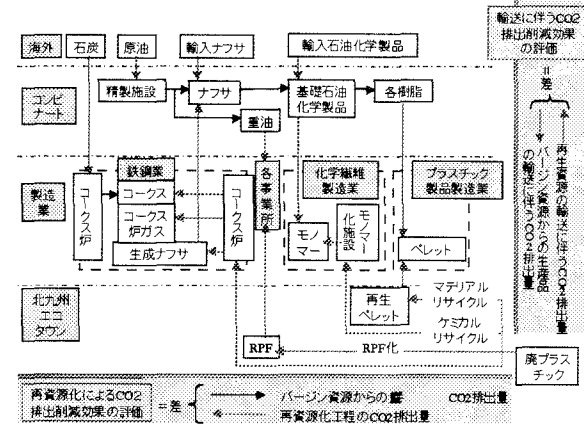


図8 生産・輸送プロセスと評価項目

4.2 各再資源化技術の評価

主に「LCA SUPPORT」¹²⁾のデータベースを用い、各樹脂のマテリアルリサイクル、サーマルリサイクルそれぞれにおけるCO₂排出削減効果を、バージン資源由来製品の生産工程と再資源化工程それぞれにおけるCO₂発生量との差として算出する。但し、ケミカルリサイクルについては現在の商業化の実現状況を考慮し、PETのみについてオプションとして取り上げることとする。

この結果、図9のように全ての樹脂について、マテリアルリサイクルが最も大きい環境負荷削減効果を持つことがわかった。

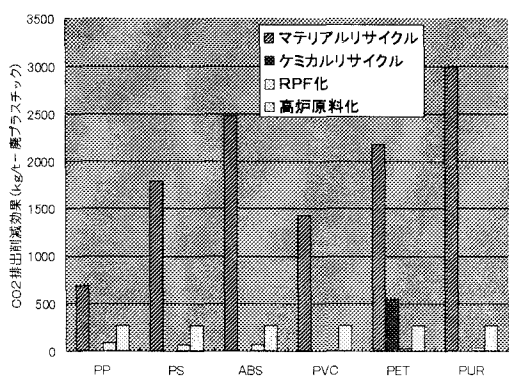


図9 再資源化技術の評価

4.3 輸送に伴う負荷の評価

輸送ルート・手段は輸送コストが最小になるように選択されるものとする、コストは距離を介して、輸送に伴う負荷と比例関係にあると考えられ、各樹脂は図10の通りに、それぞれのコンビナートにおいて生産・輸送されると設定でき、今後の輸送に伴う負荷の算出にあたるものとする。

また、同様に、特にマテリアルリサイクルを行う際のバージン資源、再生資源それぞれの輸送経路の詳細は図11のように設定でき、この時、輸送に伴う負荷は利用する港湾によって異なり、各港湾からの距離により決まる利用港湾毎に、各圏域における輸送に伴うCO₂排出量の増減の等しい圏域を形成することとなる。よって、再生資源の分配にあたっては、単純に静脈産業集積地からの距離によるのではなく、これらの圏域ごとの輸送に伴うCO₂排出量の増減の違いに着目し、CO₂排出削減効果の大きい圏域から順に再生資源の分配を行うべきと言える。本研究においては下図の設定の元に、輸送に伴うCO₂排出量の増減評価にあたる。また、本研究においては、輸送製品の形態の違いは考慮に入らず、輸送距離と重量及びCO₂発生原単位を掛けあわせた値を用いるものとする。

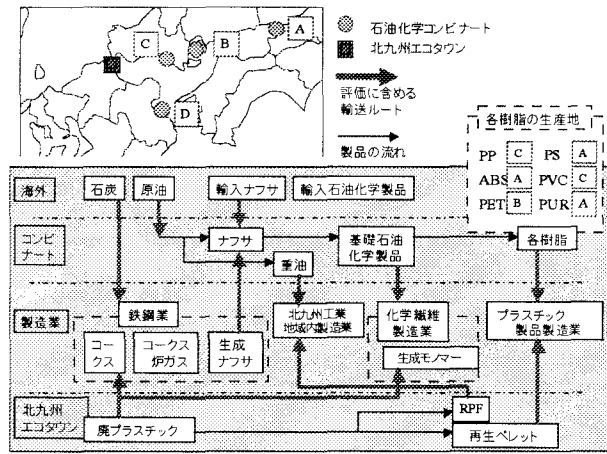


図10 輸送ルートの設定

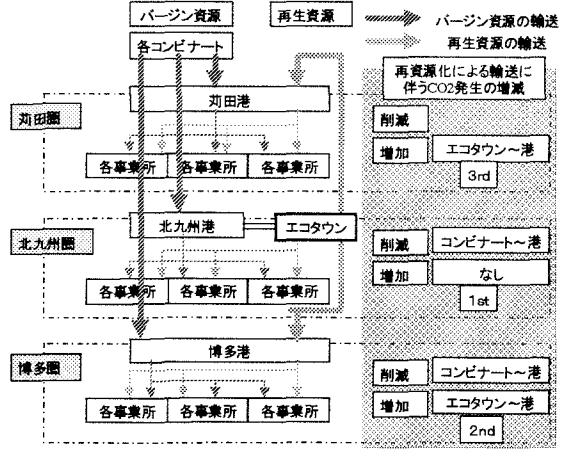


図11 輸送経路の差異による再生資源の分配圏域

5. 分析

5. 1 分析手法

本研究における評価項目の中で、再資源化技術の評価結果は立地環境による影響を受けない。一方、周辺産業における再生資源の需要構造とそこへの輸送に伴う負荷の増減は地域構造に即した値をとる。よって、これら地域の産業構造に応じて、適用する再資源化手法を選択し、その手法ごと、地域・事業所ごとの分配を設計することで、北九州エコタウンを取り巻く環境における再資源化システムの代替案を作成し、どの比較評価を行うことで、地域に即した計画のあり方を検討することとする。

5. 2 代替案分析

前節における CO₂排出削減効果の定量的評価結果から、より有効であると示されたマテリアルリサイクルを、その需要に応じて最大限行い、残りについてサーマルリサイクルを行う場合を基本計画とする。この時、ある領域を設定した時の CO₂排出削減量は、図1 2に示す通り、X軸にプラスチック製品製造業の規模、Y軸にその時のマテリアルリサイクル可能な量と総発生量、Z軸に各再資源化手法による単位量あたりの CO₂排出削減量と輸送に伴う負荷の差をとり、量に乗じることで求められるが、取引を行う範囲となる境界を広げれば広げるほど、マテリアルリサイクルを行う余地が増大し、CO₂排出削減効果も大きくなるが、逆に単位量あたりの輸送に伴う負荷も増大することになり、これらの転換点が存在するとの仮説の元で、各代替案の比較評価にあたる。(図1 2～1 4参照。但し、これらの図では境界の大きさの替わりに、相関関係にある産業の規模を一方の軸にとってある。)

基本計画の評価結果を図1 3に示す。また、それぞれの産業・事業所と連携した場合を比較することを目的とした代替案設計を以下のように行った。それぞれの評価結果は図1 4のようになる。

- ① 基本計画：上述の通り。
- ② 高炉原料化導入案：基本計画における RPF 化を高炉原料化で代替する。脱塩技術を用いて PVC も処理可能と仮定する。
- ③ PET 樹脂繊維化導入案：PETは全量を繊維化し、その他の樹脂については、可能な限りマテリアルリサイクルを行い、残りを RPF 化する。
- ④ PET のケミカルリサイクル導入案：可能な限りマテリアルリサイクルを行い、残りの樹脂のうち、PETはケミカルリサイクル、その他は RPF 化を行う。
- ⑤ 高炉原料化+PET 樹脂の繊維化導入案：③における RPF 化を高炉原料化で代替する。
- ⑥ 高炉原料化+PET のケミカルリサイクル導入案：④における RPF 化を高炉原料化で代替する。
- ⑦ 全量サーマルリサイクル案：全量を RPF 化する。

6 まとめ

6. 1 結論

各再資源化手法における、廃プラスチックの単位処理量あたりの CO₂排出削減量はマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルの順に大きく、その値、その差も樹脂毎に大きく異なる。よって、北九州地域にお

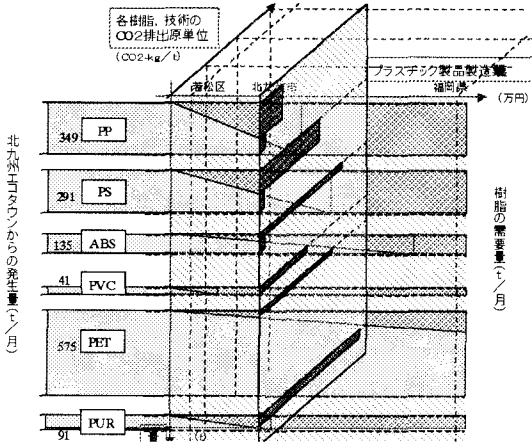


図1 2 ある領域の CO2排出削減量

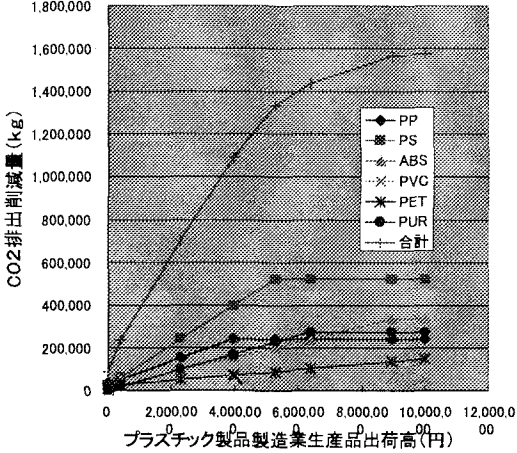


図1 3 CO2排出削減量

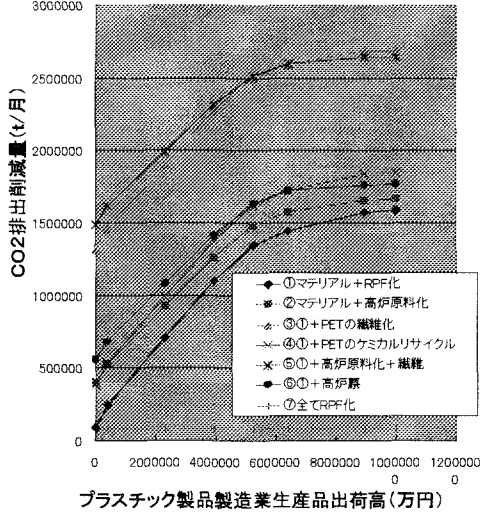


図1 4 代替案比較

いても、樹脂の種類による優先順位を意識しつつ、その需要に応じて可能な限りマテリアルリサイクルを推進してゆくべきであり、また、残りを一括して再資源化する際も、単純な熱利用（RPF 化）より高炉原料化を行う方が CO₂ 排出削減効果は大きく、地域産業との連携を強める手法の有効性が示された。

また、北九州エコタウンにおいては、PET 樹脂の繊維化やケミカルリサイクル、高炉原料化による CO₂ 排出削減効果が大きく、ここでも周辺産業との提携を進めてゆくことの意義が示された。さらにこれらを比較すると、繊維化が最も有効で、高炉原料化と RPF 化をベースとした PET 樹脂のケミカルリサイクルを比較すると、小さな領域ではその効果はほぼ同程度であるが、境界を広げるに従って、ケミカルリサイクルのほうが CO₂ 排出削減量は大きくなる。よって、この優先順位の従うべきということになるが、繊維化後の再資源化手法が未開であるのに対し、ケミカルリサイクルは社会的要求であるボトル to ボトル、クローズドリサイクルの形成の可能性もあることから、今後は前述の「サービス」の定量評価に取り組む中でこれらの比較にあたってゆくべきである。

さらに、本研究の範囲内においては、再資源化によって輸送に伴う CO₂ 排出も減少した。これは北九州エコタウンの立地が (i) 港湾への隣接 (ii) 石油化学コンビナートとの位置関係、の 2 点において有利な条件にあるからであり、これにより、領域を大きく設定をすればするほどマテリアルリサイクルを行う余地が増大し、CO₂ 排出削減量が増加するという結果になっている。このように、静脈産業集積の効率には、周辺産業の立地状況やバージン資源生産地との兼ね合い等の立地条件も大きく関与すると言え、前述の再生資源の分配地域についての議論も加えて、これら産業構造を十分に反映した計画立案・実行を行うべきであると言える。

6. 2 今後の課題

本研究においては第 2 章のマテリアルフロー分析結果より、プラスチック類の再資源化について扱ったが、今後は他の資源についても同様の分析を行った後、今回取り組んだ環境負荷の側面だけでなく、再資源化ための費用を算出することで、各再資源化技術毎の費用対効果を定量的に比較・評価し、より現実に応じた施策の検討にあたるべきである。

また、環境効率による評価手法については、本研究では簡略化及び事業の性質に適合させる意味で、収集する製品は全てバージン資源由来の製品で、かつ再資源化を一度しか行わない場合を想定した。しかし、今後、資源循環の輪をクローズドに変換してゆくためには、再資源化を繰り返す必要があり、そこでは再資源化を繰り返すことにより発生する上記サービス（社会的価値）の減減やコストの増大と、手法毎のその性質の差異により、今回示した再資源化手法の上下関係の逆転現象も起こるものと考えられる。このように、再資源化手法をどのように連続させ、組み合わせてゆくかを検討するには、今回示した環境効率の概念は有効な手法であると考えられ、カスケードリサイクルの実施方針の設計にあたるべきである。このように、これら 2 つの課題に取り組むには、本研究においては簡略化して扱った、サービス（社会的価値）の差異の詳細についての評価手法を確立するべきである。

さらに、近年注目を集めている生分解性プラスチックや、その他非石油系の代替品の動向についても取扱う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 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報告書、1999.
- 2) 循環複合体研究グループ；循環複合の物質代謝へ向けた戦略的産業行動に関する調査、2000.
- 3) 通商産業省；製品毎の特性及びリサイクルに向けた取組み状況、2000
- 4) 循環複合体研究グループ；パーソナルコンピュータを指標製品とした製品循環研究 2000
- 5) 高分子素材センター；高分子リサイクル報告書、1994
- 6) 大谷寛治；プラスチックリサイクルの総合技術；シーエムシー；1999.
- 7) B.R.Allembly, et. al. 後藤典弘訳；産業エコロジー、トッパン、1996.
- 8) 通商産業省；平成 10 年度工業統計—市区町編—、2000
- 9) 通商産業省；平成 10 年度化学工業統計、2000
- 10) 通商産業省；平成 10 年度プラスチック製品統計年報、2000
- 11) 福岡県；平成 10 年度福岡県の工業、2000
- 12) NEC；LCA SUPPORT、1998