

## 5-3 物質・エネルギーフロー最適化システム・地理情報システムの開発

薄井智貴（(財)科学技術交流財団）

窪田光宏（名古屋大学）

後藤尚弘、藤江幸一（豊橋技術科学大学）

### 1 研究の目的と概要

近年、廃棄物最終処分場不足や資源の枯渇、大気汚染などの環境問題において、地域や県、市等で循環型社会構築の必要性が論じられてきている。しかしながら、個別企業や事業所レベルにおいては社内外リサイクル等進められ、各社評価・公表するようになってきたが、地域や自治体レベルでのリサイクルのための物質フロー解析やエネルギー収支に関して定量的に評価している研究は少ない。

そこで本研究は、循環型環境都市を構築するための再利用技術や地域の原材料、製品、廃棄の物質フローを検討し、循環型社会構築に必要な各種施策（再利用技術の導入・配置、廃棄物回収システム）を物質フロー変化、エネルギー収支の観点から評価する。

具体的には、愛知県の産業連関表、産業廃棄物実態調査を基に現在の愛知県の物質収支を推計し、未利用物質と投入物を元素組成の面より解析する。未利用物質が投入原料として利用する為の新しいネットワークを設計する手法を開発すると共に、最終処分量の低減につながる最適な物質循環フローを設計・提案する。また、再資源化に関する技術データベースを設計、リサイクルに必要な技術情報提供と、リサイクル技術の有効性などを定量的に評価するシステムの構築を目指す。

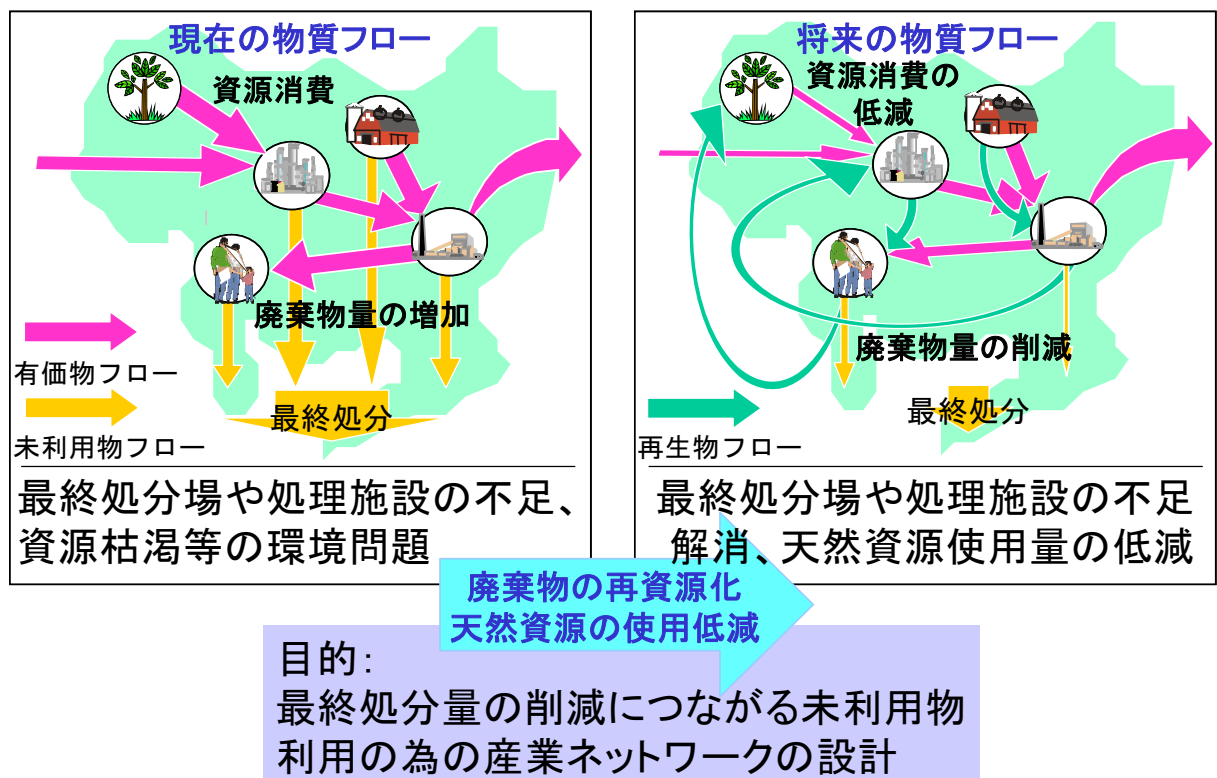


Figure 1 背景と目的

## 2 フェーズ I の成果

### 2-1 目的及び目標

最終目標として、循環型都市構築のための全体の環境影響評価を行うためには、まず、個々のサブシステムを開発する必要がある。これらのサブシステムを最終的にまとめ、一つの循環型環境都市を評価するシステムへと発展させていく。

そのために、フェーズ I では、(1)物質フローを解析するためのシステムである産業ネットワークシステム、(2)全国のリサイクル技術を集めた再資源化技術データベースの構築、(3)愛知県内のリサイクル技術実用化の事例を集めた再資源化事例データベースの構築、(4)再資源化技術データベースを Web 上に一般公開し、必要としている情報を効率よくかつ的確に検索するための検索エキスパートシステムの開発を行っていく。

### 2-2 方法及び結果

#### 2-2-1 再資源化技術データベース

再資源化技術は、全国の企業や自治体、工場等が公表しているものを対象として、新聞や雑誌、特許、報告書、インターネットから収集する。収集したデータは、データ項目 (Table 1) に従ってデータベース上に格納する。これらのデータは簡易検索システムにより、インターネット上から検索が可能となっている。

##### 1) データベース

データベースは、安定性、安全性、利便性、汎用性に実績があるリレーショナル型データベース Oracle 社製 Oracle8i(Windows 版)を使用した。

Table 1 再資源化技術データベース・データ項目

技術の名称		
リサイクルの種類	(マテリアル or サーマル or ケミカルリサイクル)	
未利用物質情報	どんな未利用物質を原材料として使いますか？	
	未利用物質の種類	
	未利用物質名	化学物質名、一般的名称
	未利用物質状態	形状、荷姿、混合状態
	未利用物質成分	主要な成分の組成
	排出側業種	
	排出側業種詳細	
製品情報	どんな製品を作りますか？	
	製品名称	
	用途	複数回答化
	物質名	
	製品状態	形状、荷姿、混合状態
	製品成分	主要な成分の組成
	受入側業種	複数回答化
	受入側業種詳細	複数回答化

(Table 1 再資源化技術データベース・データ項目の続き)

技術情報	技術のレベル	製品化・プラント化	開発(特許)	研究(学術論文)
	会社名・人名	○	○	○
	業種	○	○	
	業種詳細	○	○	
	プラントの所在(移動式の場合は除く)	○		
	未利用物質処理量	○	○	○
	製品生産量	○	○	○
	製法	○	○	○
	変換に必要な他の資源	○	○	○
	消費エネルギー	○	○	○
	環境負荷	○	○	○
	コスト	○	○	○
	その他	○	○	○
出典	著者・技術の所有			
	出典先(特許番号)			
	巻、号、頁			

2) システム

データをデータベースから検索するシステムは、Java 言語により開発、サーバー上で動作する JSP(Java Server Pages) と Servlet 技術を用いたサーバーサイドシステムとなっており、下記の要件を満たすサーバーマシン上で動作している。

- Server CPU                   Pentium II 400MHz 以上
- Server メモリ                128MB 以上
- Server HDD                 100MB 以上の空き
- ブラウザ                     InternetExplore5.0 以上推奨
- OS                            Windows2000 Server SP4
- Web サーバー                Apache1.3.2
- ApplicationServer         Tomcat3.2.3

(JSP1.1、Servlet2.2 を含む Sun-J2EE 仕様に準拠したアプリケーションサーバ)

3) 検索手法

検索方法は、SQL 言語の LIKE 演算子により、全項目に対してマッチングを行っている。SQL 言語の記述は、Servlet モジュールの中に記述してあり、検索結果は、JSP により動的にリストを作成し、ブラウザ上で表示している。表示されたリストは、各番号にリンクが張ってあり、すべての詳細データの表示を可能にし



Figure 2 技術データベース詳細表示

ている (Figure 2)。

開発技術として用いたサーバーサイド Java システムは、インターネット上でクライアントが出した要求をサーバー側で受け取り、サーバー側で必要なすべての計算を行う。そして得られた結果から、HTML を作成し、クライアントマシンで表示で行うため、計算速度はサーバーに依存するものの、クライアントには依存せず、どんな性能、種類のマシンでも、一定の速度で結果が返ってくる。※ただし、回線速度の影響はある。

このため、本研究のようなデータベースに頻繁にアクセスする処理や、膨大な計算量を必要とするプログラムには最適である。本研究の中では、産業ネットワークシステムに関してもサーバーサイド Java システムを利用している (2-2-3 参照)。

#### 4) 技術データ

集めた再資源化技術データは、全部で 200 件強。件数自体増やすことは容易だが、詳細データが埋まらないものが多かった。というのも、基本的に一般に公開されているデータから収集しているため、内部処理能力やコスト、環境負荷など具体的な数値として掲載しておらず、技術概要のみというものが多数を占めるからである。そのため、フェーズ II では、もう一度必要なデータ項目を整理し、データ収集もヒアリングやアンケート、専門業者への収集委託等、詳細データの充実に力を入れていく予定である。

### 2-2-2 再資源化事例データベース

EPOC と共同で、愛知県内企業の再資源化の事例を集めたデータベースを構築した。基本的なシステムと仕組みは、2-2-1 の再資源化技術データベースのものと同じものを利用し、開発コスト削減をしている。

#### 1) データベース

データは、EPOC が会員企業 300 社にアンケートを行い収集したもので、全 230 件ほどの事例データがデータベースに登録してある。

Table 2 再資源化事例データベース・データ項目

事例 No.
企業名
取組場所(事業所等)
対象物の種類(番号)
対象物名
取組の種類(記号)
取組の段階(記号)
取組名
取組に至る背景
取組内容
取組による効果
取組の特徴/実施上困難だった点
今後の課題
参考文献
問合せ先 部署/担当者/TEL/FAX/Email

データ項目 (Table 2) は、再資源化技術データベースと違い、具体的な取組内容や、取組効果、特徴、課題など実機ベースデータを登録するようになっている。

## 2) 結果

このデータベースは、技術データベースと同様インターネットからアクセスできるようになっており、完成後すぐにプレス発表を行い、新聞社3社に紹介された。新聞発表の後、一ヶ月間で1000件を越えるアクセスがあったことが、環境技術への一般市民の興味の高さを伺うことができる。

### 2-2-3 産業ネットワークシステム

本研究では、地域の最終処分量削減による環境負荷低減を考える。愛知県の産業連関表、産業廃棄物実態調査を基に現在の愛知県の物質収支を推計し、未利用物質と投入物を元素組成の面より解析する。未利用物質が投入原料として利用する為の新しいネットワーク（以下、産業ネットワーク）を設計する手法を開発すると共に、最終処分量の低減につながる最適な物質循環フローを設計・提案することを目的とした。

産業ネットワーク解析は、大きく二つに分かれており、一つは、金額ベースの産業連関表の統計値を物量ベースに変換し、県の物質フロー・収支を推計するもので、もう一つは、物量ベースに変換したものから、独自ネットワーク推計手法を用い、県内の最終処分量削減のための産業ネットワークを構築するものである。

#### 1) 定義

本研究内において、『未利用物質』と『産業ネットワーク』と言う2つの特殊な単語を使用する。これらの定義について、以下に記す。

『未利用物質』とは、最終処分される廃棄物を示す。産業連関表より未利用物質量を推計する時は、質量保存の法則に基づき、投入量から生産量と燃料として投入した化石燃料量(主に石炭製品、石油製品)を引いた値を用いた。燃料として投入した化石燃料量を引いたのは、大部分が燃焼され炭酸ガスとして大気中に放出される為、固形の廃棄物として最終処分にまわされないと考えたからである。また、統計表と比較する際は、廃棄物発生量と比較している。なぜならば、本研究では産業ごとに製品を統一化している。その為、再資源化されているものの元素組成は、統一された製品の元素組成とは幾分か異なってしまうからである。

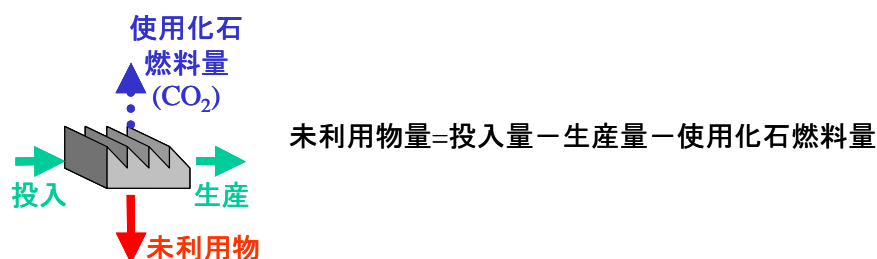


Figure 3 未利用物質の定義

『産業ネットワーク』とは、ある産業から排出された未利用物質をいずれかの産業で使用する製品として投入する新しい物質フローを示すもので、初めに推計した物質フローより、各産業の未利用物質と元素組成が類似している製品を選出、最終処分削減量が最大になることを条

件とし、未利用物質を選出された製品として利用する産業ネットワークを複数設計する数理モデルのことである (Figure 4)。

本研究では、この産業ネットワークを設計することにより、最終処分されている未利用物質の削減をはかる。

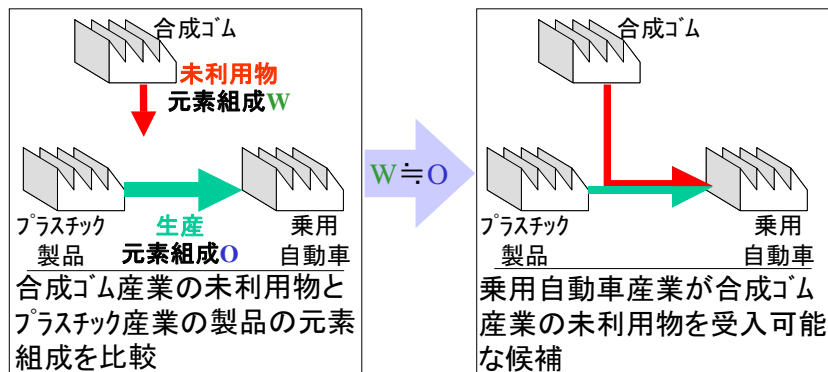


Figure 4 産業ネットワークの定義

## 2) 手法

### ■ 物質収支の推計

産業連関表では産業間の金額の流れのみが記載されている。それを重量に直すには、単位重量あたりの値段、すなわち、重量単価を調査・決定する必要がある。重量単価は様々な資料や情報に基づいて決定した。この重量単価と産業連関表より各産業の投入量と生産量を推計した。燃焼により大気中に放出される化石燃料量、排出される未利用物質量についても推計した。

ここでは、主に使用する統計データの産業連関表、産業廃棄物実態調査の説明と重量単価の設定方法、産業連関表からの物量推計方法、物量の分類分けについて記す。

### ■ 産業連関表について

県民もしくは国民の経済を構成する各産業部門は、相互に網の目のように結び付き合いながら、生産活動を行い、最終需要部門に対して必要な財貨・サービスの供給を行っている。

ある1つの産業部門は、他の産業部門から原材料や燃料等を購入(投入)し、これを加工(労働・資本等を投入)して別の財貨・サービスを生産する。そして、その財貨・サービスをさらに別の産業部門における生産の原材料として、あるいは家計部門等に最終需要として販売(産出)する。このような「購入-生産-販売」という関係が連鎖的につながり、最終的には、各産業部門から家計、政府、輸出などの最終需要部門に対して必要な財貨・サービス(県内や国内ではそれ以上加工されないもの)が供給されて、取引は終了する。

産業連関表は、このようにして、財貨・サービスが最終需要部門に至るまでに、各産業部門間でどのような投入・産出という取引過程を経て、生産・販売されたものであるかを、一定期間(通常一年間)にわたって記録し、その結果を Figure 5 のような行列(マトリックス)の形で一覧表に取りまとめたものである。

産業連関表の全体的な構成を Figure 5 でみると、表頭には、各財貨・サービスの買い手側の部門が掲げられ、大きく中間需要部門と最終需要部門から成っている。このうち、「中間需要部門」は、各財貨・サービスの生産部門であり、各部門は生産のために必要な原材料、

燃料等のいわゆる中間財の購入（買い手）部門であり、これらを加工（労働、資本等を投入）して生産活動を行っている。

また、「最終需要部門」は、具体的には消費、投資及び輸出であり、主として完成品として消費財、資本財等の買い手である。

一方、表側には、財貨・サービスの売り手側の部門が掲げられ、中間投入部門と粗付加価値部門から成っている。「中間投入部門」は中間財として各財貨・サービスの供給（売り手）部門であり、各部門は、当該部門の財貨・サービスを各需要部門に供給している。「粗付加価値部門」は、各財貨・サービスの生産のために必要な労働、資本などの要素費用その他である。

産業連関表では、最終需要部門及び粗付加価値部門（すなわち、図の右及び下の突出した部分）を「外生部門」exogenous sector というのに対し、中間需要部門及び中間投入部門（同図中央の方形部分）を「内生部門」endogenous sector という。これは、外生部門の数値が他の部門とは関係なく独立的に決定されるのに対して、内生部門間の取引は、外生部門の大小によって受動的に決定されるというメカニズムの存在が前提になるからである。

情報が特定の物質や個々の製品についてではないこと、5年ごとの統計であるため現状を直接反映しないことなどの問題点はあるが、全産業間の相互関係の把握に産業連関表を利用する。本研究では愛知県と全国の産業連関表を用いた。

		内生部門				外生部門			県(国)内生産額		
需要部門(買い手)	供給部門(売り手)	中間需要				最終需要					
		農林水産業	鉱業	製造業	計	家計外消費支出	消費	投資	在庫	移輸出	(控除)移輸入
				[生産される財貨・サービス]	A				B	-C	A+B-C
内生部門	農林水産業	↓列									
	鉱業										a
	製造業										
	中間投入	→行		生産物の販路構成(産出)							
	計 D			原材料及び粗付加価値の費用構成(投入)							
外生部門	粗付加価値										
	計 E										
	県(国)内生産額 D+E		b								

・行生産額aと列生産額bは一致する。  
 ・粗付加価値合計と最終需要と移輸入の合計は一致する(二面等価)。

Figure 5 産業連関表の構造

■ 産業廃棄物実態調査について

この調査は1年度間における地域内の産業廃棄物量の発生、処理量等の状況を調査し、現状把握と将来予測を行い、産業廃棄物処理計画の改定及び具体的施策の検討等、産業廃棄物の適正処理の推進に資することを目的に実施されている。

調査対象廃棄物は法令に定める産業廃棄物のうち、燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類、建設廃材、ばいじん等の産業廃棄物及び特別管理産業廃棄物の19種類である。なお、汚泥、廃油、廃プラスチック類、ガラスくず及び陶磁器くず、鉍さい、建設廃材については、その性状によりさらに細分化した。

産業廃棄物が比較的多量に発生する業種（「日本標準産業分類、総務庁」に基づいた業種分類）を排出事業者の調査対象業種とし、製造業22業種と電気・水道業、運輸・通信業、卸・小売業、サービス業、建設業、農業、漁業、廃車処理業を調査した。

調査は、郵送配布、郵送回収とした。ただし、農業、漁業、医療業から発生する産業廃棄物については、関係部局の資料をもとに資料調査を実施した。

回答を得た産業廃棄物の発生及び処理状況に関する内容と産業廃棄物の発生量を説明する指標（製造品出荷額等）を基に、産業廃棄物の総排出量等を推定した。廃棄物の発生及び処理・処分量の推定は原則として、業種別、種類別、階層別等の集計産業廃棄物量と、業種別、階層別等の集計活動量指標から活動量指標単位当たりの産業廃棄物量（排出原単位）を算出し、別調査で得られている業種全体の活動量指標と、この排出原単位を乗ずる方法で求めた。

■ 重量単価の設定

重量単価は統合小分類毎に設定した。『平成2年(1990年)産業連関表 一計数編(1)』の『第2部 部門別品目別国内生産額表』を参考に小分類毎に細品目の生産量によって加重平均を計算し、製品重量単価を決定した。例として、石炭産業の重量単価の計算を示す。

Table 3 石炭産業の重量単価の計算

統合品目及び細品目	単位	生産数量	生産額(百万円)
原料炭	トン	111,413	2,266
一般炭	トン	8,144,730	119,459
無煙炭	トン	6,748	63
亜炭	トン	14,618	107
合計	トン	8,277,509	121,895

(加重平均) =  $121,895 \times 10^6 \div 8,277,509 = 14,726$

したがって、15,000円/トン



また、『第2部 部門別品目別国内生産額表』において単位がトンやキログラムのような重量でなく、台、枚、本などの製品独自の単価である場合、パンフレットやホームページ等による調査や実物の重量測定などにより各単位当たりの重量を調べ、加重平均を行った。また、生産数量が明らかでないものについては、同様の調査、測定により販売価格に対する重量を利用した。この例として、時計産業の重量単価の計算を示す。(Table 4)

Table 4 時計産業の重量単価の計算

統合品目 及び細品目	単位	生産数量	生産額 (百万円)	一個当たりの 重量(トン)	生産数量 (トン)
ウォッチ	個	344,397,955	322,540	0.00007	24,108
機械時計	個	193,783	198	0.00007	14
電池式電気時計	個	86,875,552	86,977	0.00033	28,669
交流式電気時計	個	151,995	4,787	0.00033	50
合計			414,502		52,841

備考：ウォッチ一個当たりの重量70g(『L. L. Bean』測定による)、機械時計はこれに倣った。電池式電気時計一個当たりの重量330g(CASIO 壁掛け時計測定による)、交流式電池時計はこれに倣った。

(加重平均) =  $414,502 \times 10^6 \div 52,841 = 7,844,325$  したがって、7,800,000 円/トン

この作業をそれぞれの産業について行い、産業コード0111から4132で表される一次産業と二次産業の重量単価を作成した。

また、作成された重量単価の精度を向上させる手段として、重量単価を用いて算出した廃棄物量と『愛知県産業廃棄物実態調査』の平成元年度廃棄物量が近似するように、重量単価を調節した。調整の手段として、X産業の未利用物質量について検討する場合は、X産業への投入量が多い産業の重量単価を0.2倍から2.0倍まで変動させ、未利用物質量が産業廃棄物実態調査の廃棄物と一番近似する値を選択した。

例えば、食料品産業の廃棄物量を検討する場合について記す。初期設定の重量単価で作成した物質フローでは、食料品産業への投入量は穀類産業からが一番大きい。初期の穀類産業の重量単価は1トンあたり213,000円で、この時の食料品産業の未利用物質量は-1,038,677トンである。食料品産業の廃棄物発生量は実態調査によると376,268トンである。そこで穀類産業の重量単価を0.1倍から2.0倍の範囲で変動させ、食料品産業の未利用物質量を計算した。その結果、穀類産業の重量単価が初期設定の0.4倍の85,200円/トンの時、食料品産業の未利用物質量は234,640トンとなり、統計値に一番近似した。

■ 産業連関表の変換

● 生産、投入の区別

基本的に産業連関表の行コードを投入、列コードを生産とした。ただし、行コードの9000番より大きいコード番号で表される粗付加価値部門には賃金・俸給、社会保険料(雇用主負担)等が記載されているこれらは全て物量に関わらない金銭のみの移動と考え物量計算では省いた。また、列コードの9000番より大きいコードでは、最終需要部門で、家計外消費支出、県内総固定資本形成(公的)、在庫純増、輸出、輸入等が記載されている。家計外消費支出(産業コード:9110)、家計消費支出(9121)、対家計民間非営利団体消費支出(9122)、一般政府消費支出(9130)をまとめて消費支出とした。県内総固定資本形成(公的)(9141)、県内総固定資本形成(民間)(9142)をまとめて固定資本とした。在庫純増(9150)は似た部類がない為、これのみで在庫とした。他に輸出(9211、9212)、移出(9220)も単独でそれぞれ輸出、移出とした。以上、消費支出、固定資本、在庫、輸出、移出は生産の一部とした。また、輸入(9411、9412)、移入(9460)もそれぞれ輸入、移入とし、これら2つは投入の一部とした。

$$\begin{aligned} (\text{生産}) &= (\text{9000番までの列コード}) + (\text{消費支出}) + (\text{固定資本}) + (\text{在庫}) + (\text{輸出}) + (\text{移出}) \\ (\text{投入}) &= (\text{9000番までの行コード}) + (\text{輸入}) + (\text{移入}) \end{aligned}$$

● 金額から物量への変換

『平成2年(1990年)あいちの産業連関表』の『取引基本表』には産業間の財貨・サービスの取引に伴う金額の流れが示されている。この金額と作成した製品の重量単価を利用し、以下のような計算式で投入量と生産量の計算を行った。

$$M_{X,Y} = C_{X,Y} \div U_X \times 10^6$$

$M_{X,Y}$  X産業からY産業への生産量(トン)

$C_{X,Y}$  X産業からY産業への生産金額(百万円)

$U_X$  X産業の重量単価(円/トン)

X 任意の産業行コード

Y 任意の産業列コード

また、各産業の製品について物質の元素組成を元に『元素組成データベース』を作成した。そのデータベースを基に各投入量、生産量の元素組成の計算も行った。

$$EM_{X,Y,\alpha} = M_{X,Y} \times E_{X,\alpha}$$

$EM_{X,Y,\alpha}$  X産業からY産業への生産量中の元素 $\alpha$ (トン)

$M_{X,Y}$  X産業からY産業への生産量(トン)

$E_{X,\alpha}$  X産業製品の元素 $\alpha$ の含有率(-)

$\alpha = 1$  炭素、 $\alpha = 2$  窒素、 $\alpha = 3$  酸素、 $\alpha = 4$  水素、 $\alpha = 5$  塩素、 $\alpha = 6$  硫黄、 $\alpha = 7$  鉄、  
 $\alpha = 8$  ケイ素、 $\alpha = 9$  カルシウム、 $\alpha = 10$  アルミニウム、 $\alpha = 11$  マグネシウム、 $\alpha = 12$

ナトリウム、 $\alpha = 13$  カリウム、 $\alpha = 14$  リン、 $\alpha = 15$  フッ素、 $\alpha = 16$  銅、 $\alpha = 17$  鉛、 $\alpha = 18$  亜鉛、 $\alpha = 19$  チタン、 $\alpha = 20$  バリウム、 $\alpha = 21$  アルゴン

このように計算した物量は、産業連関表の取引金額が負数であるとマイナスの量となってしまう。この場合、負数の物量はゼロとし移動物量なしとした。ただし、在庫純増(9150)に関しては、マイナスとなった移動物量は絶対値を利用した。

- 未利用物質量の計算

未利用物質量は物量が保存されるという考えに基づき、投入量から生産量を引いたものとする。ただし、石炭製品(2111)、石油製品(2121)の二産業の製品を燃料と仮定し、これらの産業からの投入量はすべて燃焼され二酸化炭素として放出されると仮定した。その為、未利用物質量(廃棄物量)は投入量から生産量、および燃料投入量を引いた量と仮定し、X産業の未利用物質量は以下の式で示される。

$$D_X = \sum_{i=1}^{ALL} M_{i,X} - \sum_{i=1}^{ALL} M_{X,i} - \sum_{c=1}^5 M_{c,X}$$

$D_X$  X産業から排出される未利用物質量 (トン)

$M_{i,X}$  i産業からX産業への生産量 (トン) = X産業への投入量

$M_{X,i}$  X産業からi産業への生産量 (トン) = X産業からの生産量

$M_{c,X}$  c産業からX産業への燃料生産量 (トン) = X産業の化石燃料量

X 任意の産業コード

c=1 石炭・亜炭、c=2 原油、c=3 天然ガス、c=4 石炭製品、c=5 石油製品

これらの燃料産業から化学製品(2011~2079)、石炭製品、石油製品への投入に関しては原材料と考え、燃料として燃焼されないとする。したがって、未利用物質量は純粋に投入量から生産量を引いたものとなる。

また、電力、都市ガス、熱供給業の燃料は石炭製品、石油製品からの投入に加え、石炭・亜炭(711)、原油(721)、天然ガス(731)からの投入も燃料になると仮定した。したがって、投入量から生産量とこれら五産業からの投入量を差し引いたものを未利用物質量とした。

酒類(1121)、その他の飲料(1129)は、はじめの定義である投入量から生産量、燃料量を引いた量からさらにビンの投入を行うその他のガラス製品(2519)からの投入量を引いた量を未利用物質量とした。

未利用物質に含有される元素量も同様の計算で求める。

- 二酸化炭素発生量の計算

二酸化炭素発生量を計算する時は、各産業で燃料と仮定した製品の炭素含有量に二酸化炭素/炭素比をかけた値とした。したがって、二酸化炭素発生量は以下の式で示される。

$$CO2_X = \sum_{c=1}^5 \{M_{c,X} \times CC_c \times (44/12)\}$$

$CO_{2,x}$  X産業の二酸化炭素発生量 (トン)

$M_{c,x}$  c産業からX産業への燃料生産量 (トン)

$CC_c$  c産業の製品の炭素含有率 (-)

$CC_1=0.831$ 、 $CC_2=0.84$ 、 $CC_3=0.86$ 、 $CC_4=0.84$ 、 $CC_5=0.831$

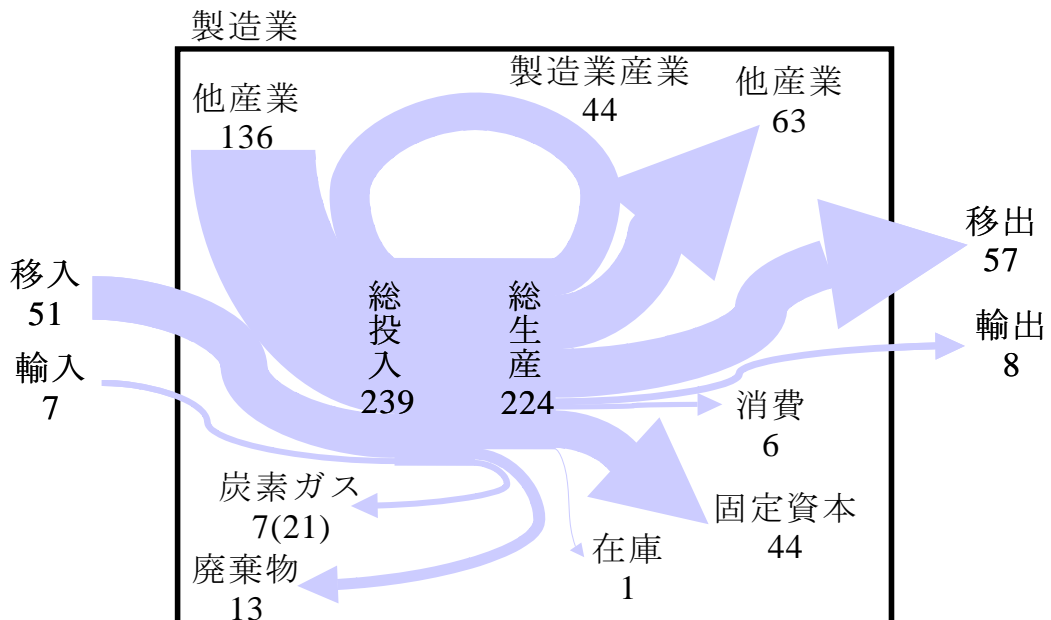
■ 物質フローの推計

物質フローの推計は、はじめの定義で使用した投入量、生産量、未利用物質量および燃料量の4つからなる。投入量は県内の各産業からの投入量と県外からの投入である移入量、輸入量の3つから構成される。また、生産量は県内の各産業への生産量と家庭や企業、政府による消費支出、固定資本、在庫および県外への生産である輸出量、移出量の6つから構成される。

炭酸ガス量は燃料に含有される炭素が全て燃焼し、炭酸ガスに変換されると考えて計算した。燃料となるのは、原則として石油製品、石炭製品の2産業の製品とした。

Table 5 物質フローの分類

投入	県内全産業からの投入、県外からの移入、国外からの輸入
生産	県内全産業への生産、県内の家庭や企業、政府による消費支出、固定資本、在庫、県外への移出、国外への輸出
化石燃料(炭酸ガス)	石油製品、石炭製品の2つの化石燃料製造業からの投入量。エネルギー生産産業では石炭・亜炭、原油、天然ガスも燃料とした。
未利用物質(廃棄物、最終処分量)	未利用物質量=投入量-生産量-化石燃料量



単位：10<sup>6</sup>t ※一部の食料品、飲料・飼料・たばこは除く。  
 ※炭素ガス量は使用した石油等の使用燃料量で、  
 ()内は炭素含有量より炭酸ガス量に換算したものの。

Figure 6 物質フロー 製造業の場合

### 3) 産業ネットワーク設計

- 産業ネットワークの選出

再資源化技術はいまだに様々な技術が開発され続けている。様々な再資源化技術が存在する為、全ての再資源化技術を把握することは困難である。本研究では、各産業から排出される未利用物質を再生資源としてどのような産業で利用できるかを簡易的に検索する必要がある。本研究の手法より、製品の情報が追えるのは、物量と移動先、移動元である。各産業から生産される製品は、画一化されて重量単価が設定されているので、その仮定製品に対して元素組成も推定できる。また、再資源化や再利用される前後の製品の元素組成は類似性があると考えられる。よって、元素組成の近似を持って産業ネットワークの選出を行う。

元素組成による選出が、どの程度信憑性があり、また、どのような再資源化、再利用が選出できるかを既知にする必要がある。化学繊維産業、水産食料品産業等いくつかの産業の未利用物質と各産業の製品の元素組成を比較し、その類似リストと既存の再資源化技術等と比較したところ、いくつかの類似項目と再資源化技術が一致した。

以上より、本研究では、元素による類似条件により、再資源化技術が存在する、もしくは、再利用可能であるとみなし、産業ネットワークの設計が可能であるとした。

- 元素組成による産業ネットワーク選出の特徴

元素組成の類似で検索可能な再資源化技術、再利用形態は限られている。検索可能な例として、食料品産業の廃棄物が有機質肥料として農業、林業で利用可能だと検索されたものがある。実際に食料品産業から排出されるスラッジや廃液等が肥料として再資源化可能である。

逆に検索不可能な例は、今までプラスチック製品であるプラスチック板を利用していた所が板ガラス・安全ガラス製品の板ガラスを利用するようになった場合である。元素組成の類似条件では、投入可能な未利用物質の条件として、プラスチック製品の元素組成と類似するものを選ぶ為、炭素を多く含む未利用物質が検索されやすい。しかし、そこへ廃棄された板ガラスの再利用と言うことでプラスチック板の代わりに利用すると仮定する。板ガラスはケイ素を多く含み、炭素をほとんど含有していない為、板ガラスもしくはそれに元素組成の類似した未利用物質は検索されない。

したがって、元素組成による未利用物質の再資源化、再利用の検索は既存の投入製品を投入する場合に限られる。

逆に検索されてもネットワークの設計が明らかに無理なものもある。例えば、畜産産業から排出される家畜ふん尿は炭素含有量が多い。その為、炭素含有量が同じく高い穀類へ再資源化できる、もしくは、穀類として再利用が可能であると検索される。穀類産業の場合、その生産先は精穀・製粉が多い。その為、家畜ふん尿の利用先として精穀・製粉へ産業ネットワークが組まれることになる。しかし、家畜ふん尿が穀類となりえることは無い為、精穀・製粉での利用は不可能である。

よって、元素組成が類似しても不可逆反応を逆行しようとするネットワークも選出してしまう。この対処法としては、経験則に基づく判断や、場合によっては、エントロピー計算などが必要となるだろう。

●波及効果の考慮

新しく X 産業の未利用物質を Y 産業に利用させる物質フローをつくることを、ここでは産業ネットワーク設計と言う。産業ネットワークを設計する場合、再利用したい未利用物質と組成が似ている製品を生産している産業を検索する。仮に X 産業の未利用物質から再資源化・再利用により Z 産業の製品が作成可能だと検索されたとする。Z 産業の産出先である Y 産業に X 産業の未利用物質は利用できると考え、X 産業から Y 産業へ産業ネットワークを設計する。産業ネットワークを設計した時にどれだけの未利用物質の削減が可能かを計算する。まず、Y 産業で利用できる X 産業の未利用物質量を起点削減量とする。X 産業の未利用物質を利用したために Z 産業の生産量が減少し、未利用物質量も減少する。これを一次波及による Z 産業の未利用物質の減少量と考え、一次削減量とした。Z 産業へ産出している全ての産業の未利用物質量も減少する。これは二次波及による未利用物質の削減量なので二次削減量とした。同様に任意の n 次波及まで考えることは可能である。

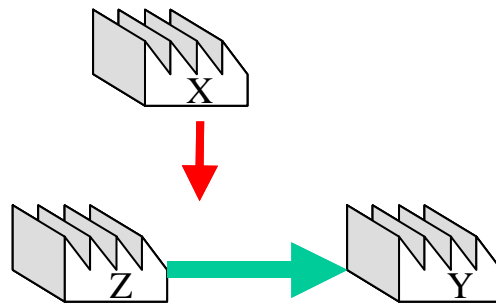


Figure7-1 波及構造 初期状態

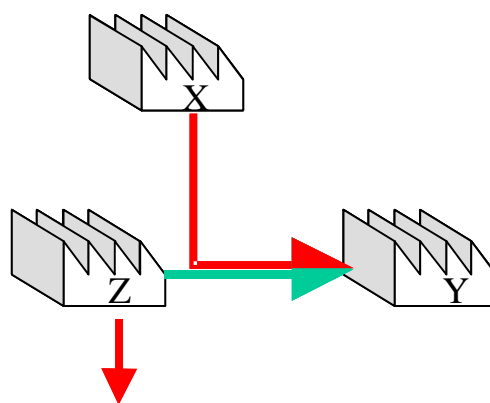


Figure7-2 波及構造 起点削減

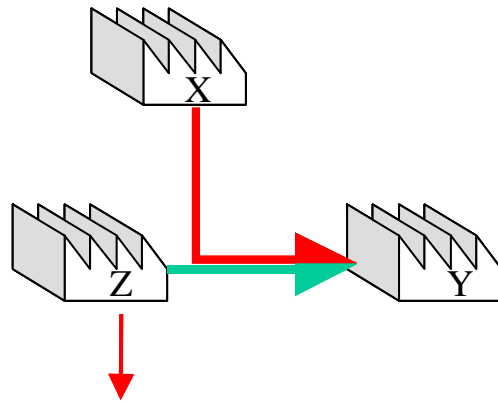


Figure7-3 波及構造 一次波及による削減

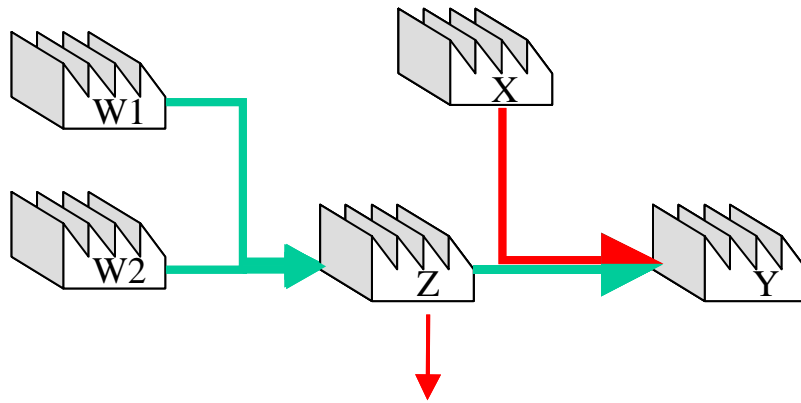


Figure7-4 波及構造 Z産業への投入

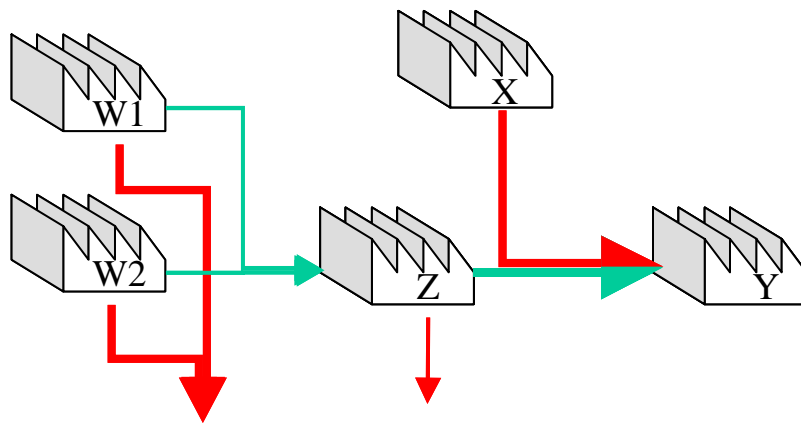


Figure7-5 波及構造 Z産業への生産縮小

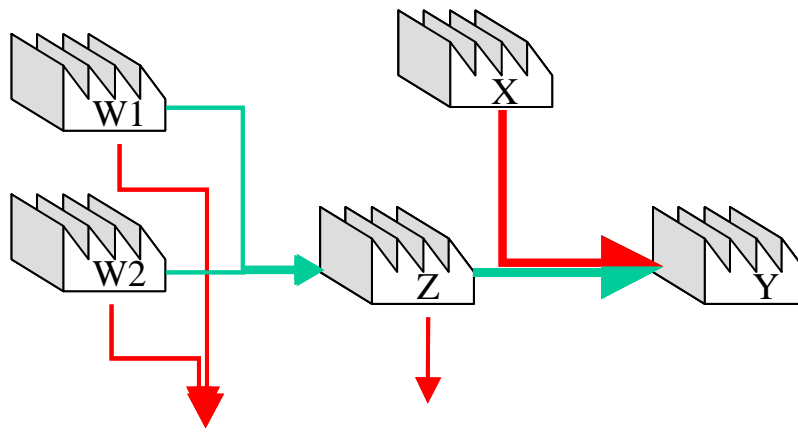


Figure7-6 波及構造 二次波及による削減

- 削減量の計算手法

X産業の未利用物質の組成がZ産業の生産物の組成と類似し、Y産業へ利用されるネットワークが設計できると仮定する。以下に記す記号を用いて、各削減率、削減量、生産量等の式を示す。

$D_A$  ある産業(A)の未利用物質質量 (トン)

$M_{B,C}$  ある産業(B)からどこかの産業(C)への生産量 (トン)

$R_{n-1}$  n番目の産業ネットワークの削減率 (-)

- 起点削減量

まず、起点となる削減量はX産業の未利用物質で、Y産業で利用される量となる。X産業の未利用物質の削減量( $\Delta D_X$ )はY産業が利用するZ産業製品の投入量内に収まる。同時に、X産業の未利用物質より利用する量を得る為、X産業の未利用物質質量を超えることはない。これらは、 $\Delta D_X$ の制約条件となり、以下のような式で示せる。

$$0 \leq \Delta D_X \leq M_{Z,Y} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$0 \leq \Delta D_X \leq D_X \quad \dots \textcircled{2}$$

また、X産業の未利用物質からZ産業製品の必須元素を確保する必要があるので、未利用物質削減量は以下のような式で得られる。

$$\Delta D_X \leq M_{Z,Y} \times R_0 \quad \dots \textcircled{3}$$

$$R_0 = \text{MIN}[R_C, R_N, \dots] \quad \dots \textcircled{4}$$

$$R_C = D_{X,C} / EM_{Z,Y,C} \quad R_N \text{や他元素も同様}$$

X産業の未利用物質削減によりZ産業のバージン原材料利用の削減にもつながる。 $\textcircled{3}$ 式が等式の時、起点未利用物質削減量は最大になる。本研究では、起点削減量を $\textcircled{3}$ 式が等式となる最大値を用いた。



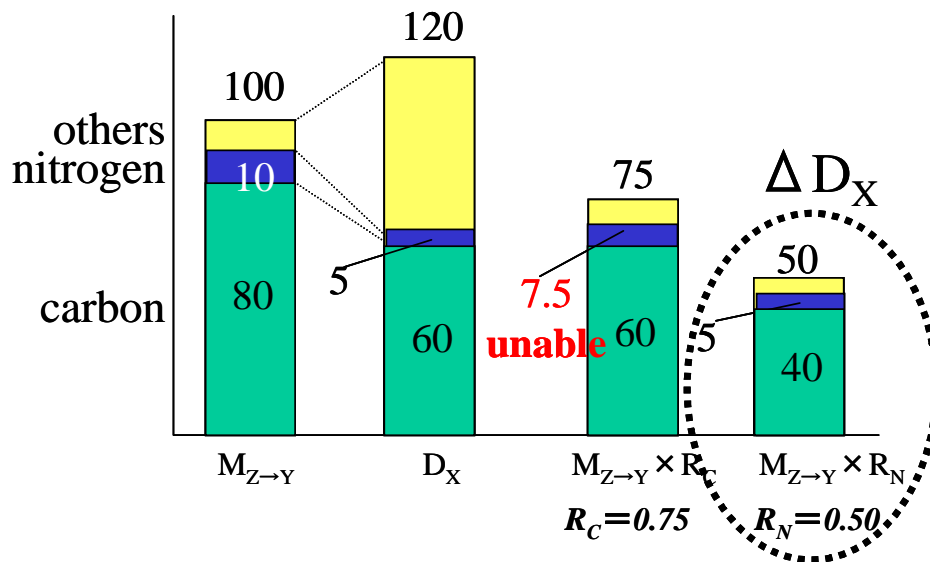
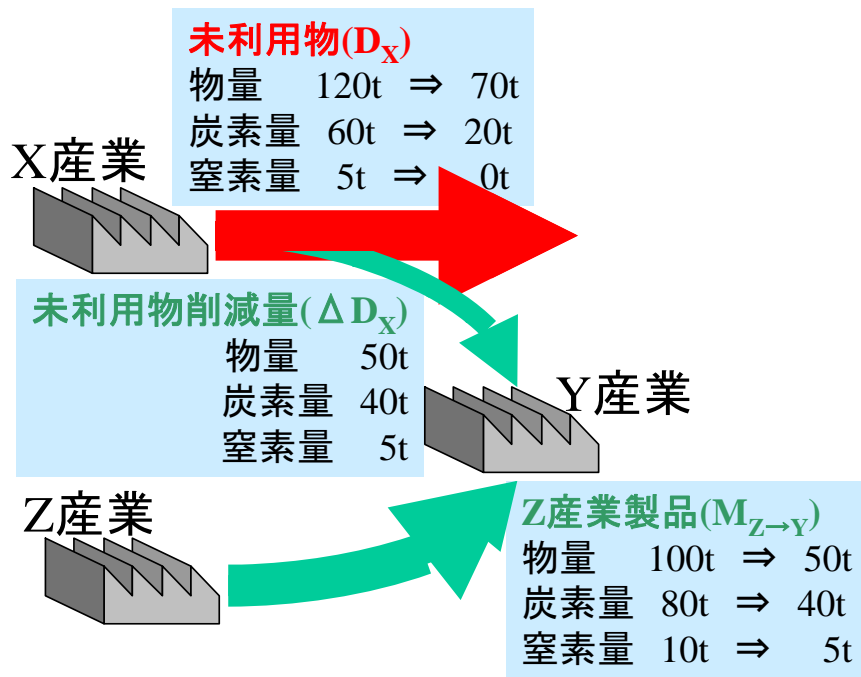


Figure 8 起点削減量の計算

- 一次削減量

X産業の未利用物質がY産業で利用されることにより、Z産業からY産業への生産量が減少する。

$$\Delta M_{Z,Y} = M_{Z,Y} \times R_0 \quad \dots \textcircled{5}$$

Z産業の生産量の減少率(R<sub>1</sub>)は以下の式で表せる。

$$R_1 = \frac{\Delta M_{Z,Y}}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} = \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \quad \dots \textcircled{6}$$

Z産業の生産量の減少に伴い未利用物質も減少する。これが一次波及による削減

量、一次削減量となる。削減後の生産量、削減量、廃棄物量はそれぞれ以下のように示される。

$$\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}' = \sum_{i=1}^{ALL} \{M_{Z,i} \times (1 - R_1)\} = \sum_{i=1}^{ALL} \left\{ M_{Z,i} \times \left( 1 - \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \right) \right\} = \sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i} - M_{Z,Y} \times R_0 \quad \dots \textcircled{7}$$

$$\Delta D_Z = D_Z \times R_1 = D_Z \times \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \quad \dots \textcircled{8}$$

$$D_Z' = D_Z - \Delta D_Z = D_Z - D_Z \times R_1 = D_Z \times \left( 1 - \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \right) \quad \dots \textcircled{9}$$

- 二次削減量

Z産業の生産が減少することにより、Z産業への投入量も減少する。各産業(j)のZ産業への生産量の減少は以下の式で表せる。

$$R_2 = \frac{\Delta M_{j,Z}}{\sum_{k=1}^{ALL} M_{j,k}} = \frac{M_{j,Z} \times R_1}{\sum_{k=1}^{ALL} M_{j,k}} = \frac{M_{j,Z}}{\sum_{k=1}^{ALL} M_{j,k}} \times \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \quad \dots \textcircled{10}$$

各産業のZ産業への生産量が減少することにより、各産業の未利用物質量も減少する。これが二次波及における削減量、二次削減量となる。削減後の生産量、削減量、廃棄物量はそれぞれ以下のように示される。

$$\sum_{k=1}^{ALL} M_{j,k}' = \sum_{k=1}^{ALL} \{M_{j,k} \times (1 - R_2)\} = \sum_{k=1}^{ALL} M_{j,k} - M_{j,Z} \times \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \quad \dots \textcircled{11}$$

$$\Delta D_j = D_j \times R_2 = D_j \times \frac{M_{j,Z}}{\sum_{k=1}^{ALL} M_{j,k}} \times \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \quad \dots \textcircled{12}$$

$$D_j' = D_j - \Delta D_j = D_j \times \left( 1 - \frac{M_{j,Z}}{\sum_{k=1}^{ALL} M_{j,k}} \times \frac{M_{Z,Y} \times R_0}{\sum_{i=1}^{ALL} M_{Z,i}} \right) \quad \dots \textcircled{13}$$

#### 4) システム

上記理論をもとに、これらの計算をコンピュータ上で簡単に評価できるシステムを構築した。プログラムは、再資源化技術データベースシステム同様、サーバーサイド Java 技術を用い、インターネット上でクライアントが、アクセスして操作できるものとした。上記理論では、二次削減量まで述べているが、プログラム上では、一次削減まで表示・計算となっている。理由は、二次削減ではあまりにも計算量が増えるため、インターネット上でやるにはレスポンスタイム、サーバー負荷の面で実装上無理があるためである。

## 5) 実行画面

本システムは、すべてインターネット上でのクライアントとの対話操作のもと動作する。

### ■ 重量単価検証

このシステム上で、金額ベースの産業連関表を物量ベースに変えるための重量単価は独自調査によるデータをもとに、初期値が与えられているが、これらを自ら検証したい値に変更して、検証結果を見ることができる。このため、年々、若干変わる重量単価を手動で修正し、計算に反映できるようになっている。

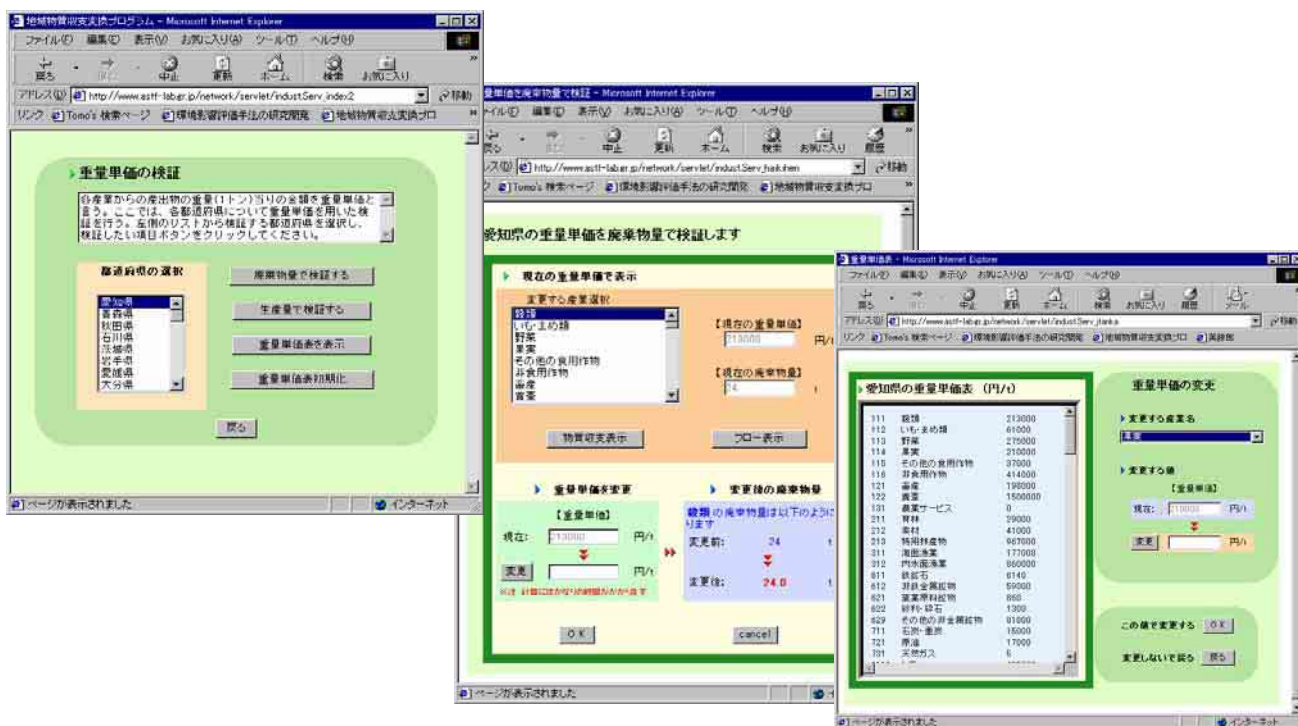


Figure 9 重量単価検証画面

### ■ 物質の投入・産出解析

各産業の物質フローを表示した。画面中央のリストから産業を選び、『物質フロー表示』ボタンをクリックすると、その産業のフローが投入部門と産出部門の上位10位まで表示されるようになっている。また、見た目にもわかりやすくするために、矢印の大きさでも量が判断できるようになっている。(Figure 10)

### ■ 物質フロー表示

ある産業の物質の流れと重量を図示している。産業内での物質の投入量、産出量を中心に、廃棄物量や同一産業間での移動量など、一目で確認できる。(Figure 11)



Figure 10 物質の投入・産出図

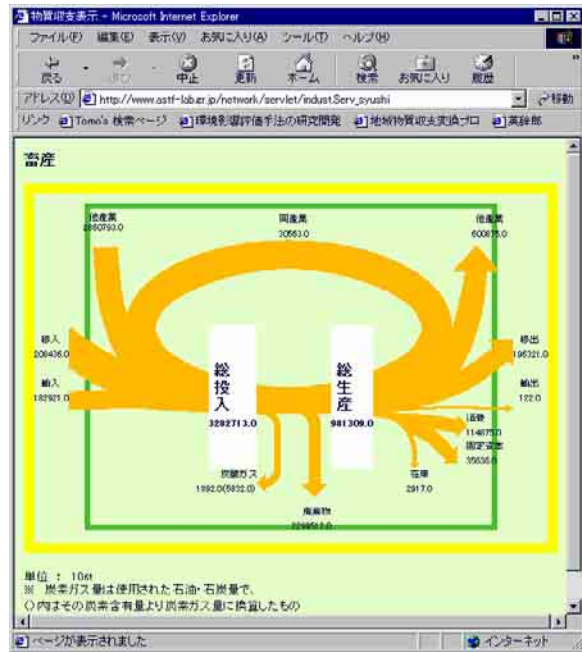


Figure 11 物質フロー表示

## ■ 削減量計算

前述した削減量計算法を用い、これらをコンピュータ上で実現した。

まず、『計算開始』ボタンをクリックすると、削減方法の詳細設定画面になる。ここで、各産業の生産量の保持率や、類似条件、着目したい元素を入力し、『次へ』ボタンをクリックすると、計算が開始される。計算が終了すると、インターネットブラウザ上に上記条件での起点削減量と一次削減量が数値とグラフで多いものから上位 20 位まで表示される (Figure 12)。



Figure 12 削減量計算実行画面

#### 2-2-4 再資源化技術検索エキスパートシステム

少数の入力語句より様々な付加情報を検索することができる、独自の曖昧検索システムを持つエキスパートシステムである。これにより、ある事業所や自治体、企業の廃棄物処理担当者が、自社から排出される廃棄物の処理を考える際、どういった処理技術があるのか、また、どこで再資源化することができるのかをこれらのシステムを使って簡単に検索できるようになる。

このシステムの検索部分は SQL による部分パターンマッチングを使い、入力された単語と同じデータをデータベースより検索を行う。検索項目には、『企業検索』や『No.による検索』、『全文検索』とあり、目的に応じてユーザーが使い分けすることができる。

##### 【SQL 言語 記述例】

>SELECT “結果項目” FROM “テーブル名” WHERE “検索される項目” LIKE “検索語句”;

##### 1) 仕組み

エキスパート検索 (Figure 13) は、まず入力された語句を正規化するために、類義語データベースにアクセスし (①)、そこで、単語を正規化、同時に類義語もチェックする (②)。正規化された語句と類義語すべてについて、技術データベース全文検索を行い、検索結果について、重み付けを行う (③)。そして重み付けの点数順にリスト表示する (④)。

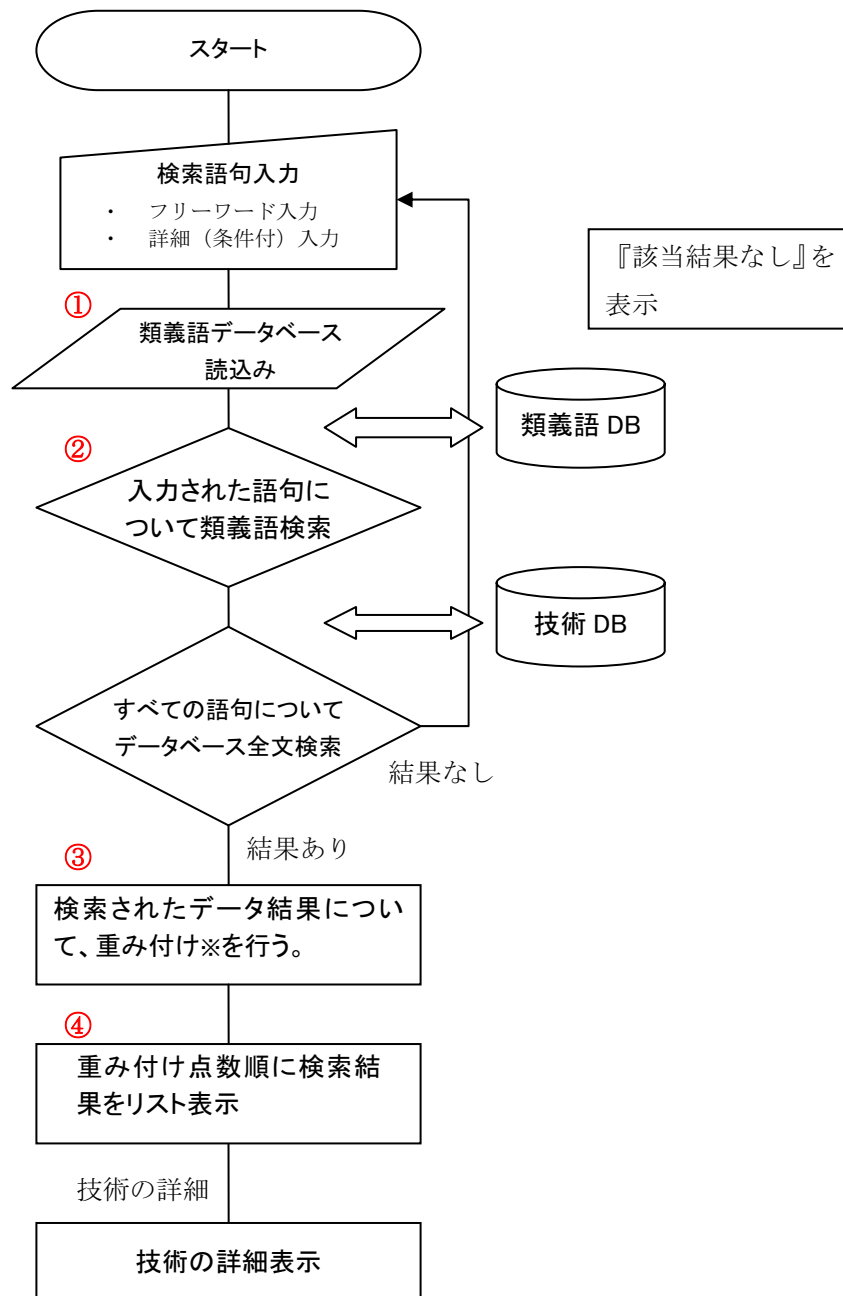


Figure 13 再資源化技術検索システムの流れ

## 2) エキスパートシステム

本研究におけるエキスパートシステムとは、知識を利用する問題解決支援システムである知識ベース・システムである。基本構成として (Figure 14)、知識ベースと呼ばれる、いわゆる“ルール”と、それを制御する推論機構をもつプログラムである。そして、それぞれに対し、様々な専門知識の詰まったデータベースが存在している。エキスパートシステムとは、本来、「問題領域のエキスパートの知識を用いて推論を行い、十分に複雑な問題を、エキスパートと同等のレベルで解決することのできる、知的プログラム」を言い、本研究では、技術や廃棄物の検索の際の一部のシステムとして利用している。具体的には、ある廃棄物の再資源化技術を知りたいユーザーが廃棄物情報を入力した際、知識ベースにおいて、その語句に関する様々な関連専門語句を検索し、その語句に関する技術データを推論機構の中で検索す

る。通常、専門家であれば、ある語句に対し、自分の頭の中にある経験や研究の中で培った情報をもとに考え、思いついた情報を基に辞書などで検索する、という行動に出るのだが、本システムでは、そういった一連の専門家の思考を、コンピュータ上で実現するよう工夫されている。そのため、従来存在する類似するデータベースのように、入力された単語を含むデータのみ検索されるものとは違い、その入力語句に類似するデータすべてを含む検索結果を導き出すことができるのである（曖昧検索）。さらに本エキスパートシステムでは、検出された検索結果に、重要な項目ごとに付けてある独自のポイント制により、適合する確立が高いほど、検索結果リストの上位に表示される“ヒット率”を計算しており、ユーザーが専門知識を持ち合わせていなくとも、その廃棄物処理に必要な技術の適合率順に表示されるようになっている。

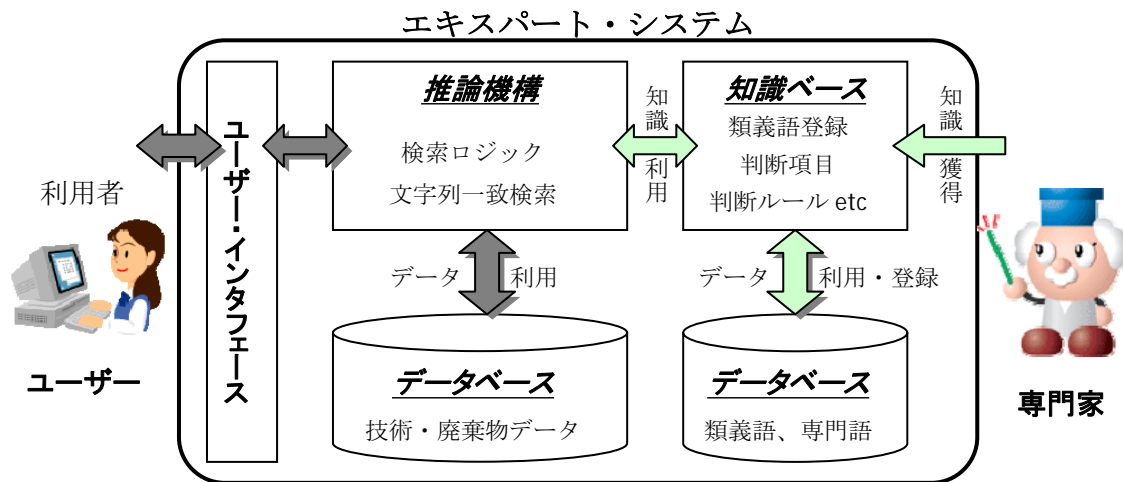


Figure 14 エキスパートシステムの仕組み

#### ■分類対応データベース

産業連関表の小分類と中分類を対応付けたデータベース。システム中で分類変換の際、ここにアクセスして項目を取得している。仮に項目が変わったとしても、このデータベースを書き換えるだけで対応できるため、システム変更の必要がない。

#### ■類義語データベース

入力されたデータに対して、その語句の類義語をこのデータベースより探しだし、曖昧検索を実行する際の検索語句とする。一般的に検索システムで入力された語句は、その語句でデータベースに対しマッチング作業が行われるが、本システムでは、より広い検索結果を得、データヒットの可能性を広げるためにも入力された語句の類義語をこのデータベースより検索し、ヒットした結果を含めた語句で全文検索を行う。

#### ■検索語句入力画面

廃棄物に関する語句をフリーワードで一語入力してもらうか、廃棄物の詳細項目 (Table 6) に関して、利用者に入力を求める (Figure 15)。

Table 6 廃棄物検索 入力詳細項目

未利用物質の種類	廃棄物分類による種類
未利用物質名	廃棄物名
未利用物質の状態	状態
未利用物質成分	成分
排出側業種	産業連関表・中分類
排出側業種詳細	産業連関表・小分類

■ 検索結果

エキスパート検索後、ヒットしたデータは、適合率、データ No.、未利用物質の種類、未利用物質名、排出業種の各項目データだけを表示する一覧表示で示される。さらに、詳しく見たいデータは、一覧の中の、『No.』をクリックすることにより、詳細データを見ることができるようになっている (Figure 16)。

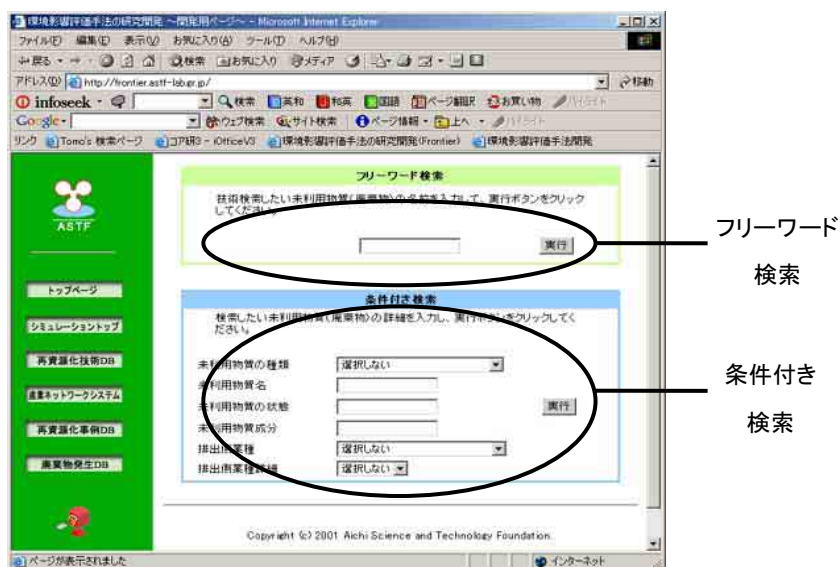


Figure 15 検索画面



Figure 16 検索結果画面 (リスト表示 : 左、詳細表示 : 右)



### 2-3 考察及びフェーズⅠのまとめ

フェーズⅠでは、環境影響評価を行うための個々のツールを開発することを念頭に置き、研究開発を進めた。この中で、産業ネットワークシステムと再資源化技術データベースは、第五WGの中でも中核となる技術で、これらの開発は予定通り進み成果をあげた。

今後、フェーズⅡでは、具体的に事業化を目指し、システムの完成度を高め、また特許申請にも力を入れていく。

## 3 フェーズⅡの成果

### 3-1 目的及び目標

フェーズⅠで構築した個々のサブシステムを、実用化に向け統合していくにあたり、事業化に向けたシステムの安定性、保守性、利便性、向上を目的として、システムの再構築をメインに行い、と同時に新機能の追加やインターフェースの向上、フェーズⅢへの展開を行う。

### 3-2 方法及び結果

#### 3-2-1 再資源化技術データベース改良

データ項目の追加と検索部分の効率化のためのアルゴリズムの変更、インターフェースの変更、データ構造の変更を行った。また、技術データも大幅に増やした。

##### 1) データ項目

従来、再資源化技術データベースのデータ項目は38項目（Table 1）であったが、技術情報の精度を増すためにも、概要、プラントの規模やコスト、忌避成分、処理原単位など新たに30項目追加（Table 7）し、合計68項目とした。これにより、これまで文章中心のデータベースであったものが、シミュレーションで使いやすい形に細分化され、利便性も増した。

Table 7 データベース追加項目

技術の概要	投入物
部署	生成物
住所(郵便番号)	歩留り
住所	消費電力原単位
企業URL	消費重油原単位
プラントの規模	消費軽油原単位
プラントの初期コスト	消費天然ガス原単位
プラントのランニングコスト	消費水原単位
プラントの稼動状況	廃棄物発生原単位
忌避成分	CO2発生原単位
排出物	廃水発生原単位
排出物発生量	生成電力原単位
備考	生成蒸気原単位
登録日付	生成温水原単位
登録者(入力者)	生成ガス原単位H2

公開or非公開	生成ガス原単位CO
原単位データの有無	生成ガス原単位CH4
原単位ベース(inputベースか、outputベースか)	

## 2) 検索アルゴリズムと表示

画面表示は、項目が増えたこともあり、表示方法を変更した (Figure 16)。

検索部分は、これまで全項目全文に対して1単語部分一致での検索のみであったが、新項目もデータ量も増え、より適切な検索結果を引き出すためにも、ANDやORなどの排他検索や、エキスパートシステムでも用いた類義語検索、重み付けなどを導入する案を検討。そのうち、利便性、稼働性、メンテナンス性を考え、AND検索と類義語検索を採用、アルゴリズムに加えた。その結果、これまでの全項目全文検索と比べ、より短い検索時間で、利用者の意図するデータの検索が可能となった。さらに、メンテナンス向上や今後の引継のためにも、プログラムの修正を容易にするため、構造の単純化と重複コードの削除、初期化データファイル読み込み、データ更新簡易プログラムの作成も行った。

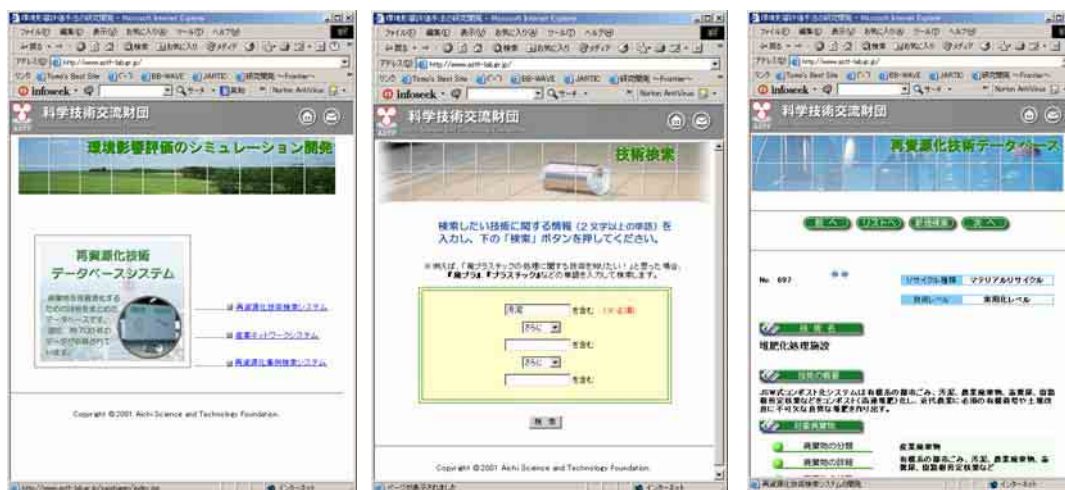


Figure 16 新・再資源化技術データベース実行画面

<http://www.astf.or.jp/kesshyu/>

## 3) データ収集

これまで、200件強であった再資源化技術データを1000件まで増やした。これは、昨年度構築済みのWeb検索システムを用い、新たにインターネット上から最新データの500件を追加、また論文や報告書等からも、追加で500件ほど収集をしたもので、うち若干データが重複したものや古いデータを削除してある。また、新規データ項目に“概要”を加え、データ収集の際には、概要を必ず入力するようにしたため、どのような技術か容易に推測できるようになった。

### 3-2-2 物質・エネルギー収支推計システム

#### 1) 目的

第1WGから第3WGまでの要素技術が地域に導入された際、どの程度の効果が見込めるかについて定量的に示す「物質・エネルギー収支推計システム」の開発を目指している。

具体的に、本システムは地域の民生部門からの廃棄物全体を対象に、エネルギー消費量、廃棄物排出量、CO<sub>2</sub>排出量を評価指標とした地域LCA的計算を行うもので、廃棄物の処理フローをベースに、地域情報や様々な処理原単位を利用し、その廃棄物の処理エネルギーや生成エネルギー、廃棄物量などを推計するシステムである。これは、絶対量を計算で求めるのではなく、変化量を示すもので、既存技術の比較や新技術導入の際の指標となり、都市開発や地域ゴミ分別導入案、地域における技術導入効果など、地方自治体での活用を目指したシステムである。

## 2) システムの概要

開発した「物質・エネルギー収支推計システム」は、個別処理フロー解析ならびに地域全体解析の2種類の解析を可能とする。

個別処理フロー解析では、コンピュータ上で工場などの個々のモジュールを組み合わせ、廃棄物の処理フローを作成、処理廃棄物量を入力することにより、エネルギー消費量、廃棄物排出量、CO<sub>2</sub>排出量などを計算・表示する。本解析を利用すれば、上記評価指標の簡易計算が可能となり、基準となる処理システムに対して、例えばガス化炉やメタン発酵技術を導入した場合、マテリアルリサイクルをした場合などの様々なシナリオについて、基準システムからの変化量により、その技術の優劣を比較検討できる。さらに、地域全体解析では、さまざまな廃棄物の個別処理フローを組み合わせ、地域全体の廃棄物処理へと拡張することにより、現状の把握、改善シナリオの提案などを可能とする。

### ■個別処理フロー解析

個別処理フロー解析の例として、ペットボトルのフロー計算の実行画面を図に示す

(Figure17)。本例は、民生から排出されたペットボトルゴミの50%に対してPETボトルの再製品化を行い、残り50%を結集事業で開発した新要素技術であるガス化炉に供給、熔融炭酸塩燃料電池(MCFC)を用いてエネルギー回収するというシナリオである。実行画面中の名称の付いた四角い箱(以降、モジュール)は、処理技術(工場)を表しており、それぞれ特有のプロパティ項目(原単位)を持っている(Figure18)。また矢印は物質の流れを示すもので、矢印上の番号は、計算順序を表している。

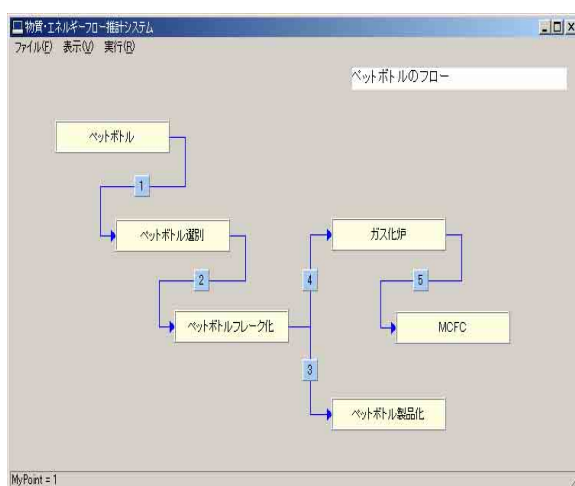


Figure 17 ペットボトル処理フロー

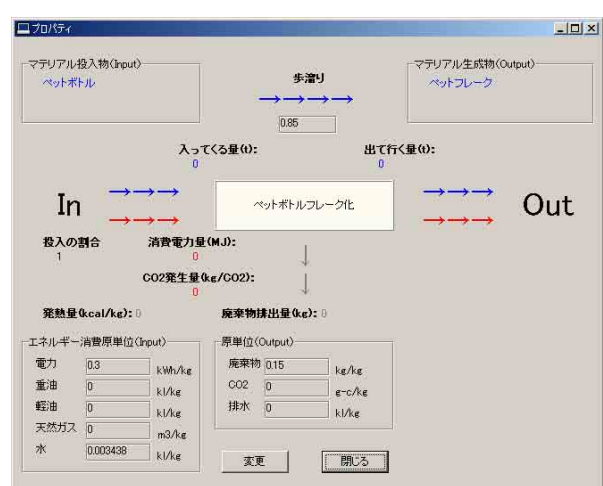


Figure 18 プロパティ項目(原単位)

上記の処理フローと原単位から、このフローにおける総エネルギー消費量、廃棄物量、CO<sub>2</sub>排出量、MCFCにおけるエネルギー回収量などを求めることができる。

さらに、他のシナリオに関する検討は、本フロー中のモジュールを、別のモジュールに置

き換えることにより可能となる。

### ■地域全体解析

2) システムの概要でも述べたように、本システムでは個別処理フロー解析を組み合わせることによって、地域内全体の物質・エネルギー収支の計算も可能となっている。具体的に検討する処理フローとしては、可燃ゴミ、不燃ゴミ、アルミ缶、スチール缶、びん、廃プラスチック、紙類、厨芥類などである。本研究では個々の廃棄物の LCA 的評価を最終目的としているのではなく、各廃棄物のマテリアル・エネルギー収支計算を踏まえた上で、都市全体としてどのようなマテリアル・エネルギー利用が良いかをシミュレーション評価する点にあり、地域全体の解析は必須である。

### 3) ケーススタディ

本研究において開発した推計システムを用いた個別処理フロー解析、地域全体解析についてのケーススタディを以下に示す。なお、紙面の都合上、地域全体解析については省略する。

#### ■個別処理フローにおける想定ケース

##### 【ケース 1】

本地域結集事業で開発を行っている廃棄物のガス化+MCFC によるエネルギー回収技術の効果を評価するために焼却発電との比較を行う。Figure19 上は、民生部門から排出される PET ボトルゴミをゴミ焼却発電で利用した場合、Figure19 下は、ガス化+MCFC を利用した場合である。

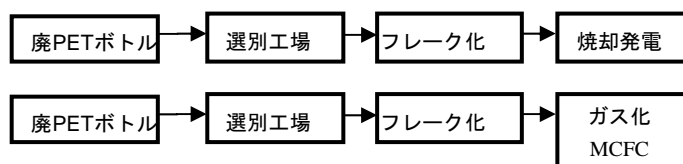


Figure 19 ケース 1 フロー図

##### 【ケース 2】

廃 PET ボトルの処理フローにおいてケース 1 を拡張し、サーマルリサイクルとしてケース 1 のガス化+MCFC、焼却発電、ケミカルリサイクルとしてポリエステル原料化による PET to PET サイクル、マテリアルリサイクルとして PET ボトルの繊維化を想定した。最終有価物を PET ボトル、PET 繊維、電力、熱としてバスケット法により評価を行った。



Figure 20 ケース 2 フロー図

【ケース 3】

地域全体（既存の名古屋市全体の民生廃棄物）の処理フローにおける、エネルギー量、最終処分量、環境負荷を計算し、新たにメタン発酵技術やガス化技術を導入した際の比較評価を行った。

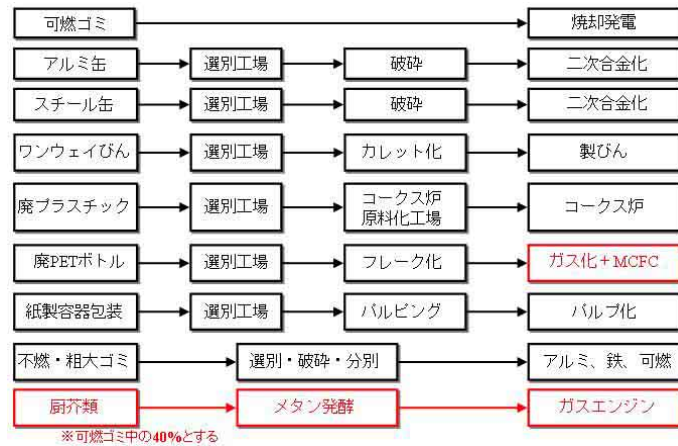


Figure 21 名古屋市の仮想ゴミ区分導入の廃棄物処理方法

ここで、ガス化+MCFC は結集事業による実証試験装置化に関しては独自調査データを使用し、他のデータについては参考文献からのデータを利用した。

■計算条件

計算にあたっての代表的な計算条件を下記に記す。

- ・ 工場の処理能力や処理規模は考慮しない
- ・ 固体廃棄物の最終処理に関するエネルギーは考慮しない
- ・ 各過程間の輸送エネルギーは考慮しない
- ・ ガス化炉の冷ガス効率は、75%
- ・ ガス化ガスの組成は $H_2 : CO = 1 : 4$
- ・ MCFC の燃料利用率は 80%
- ・ MCFC の発電効率：50.8%-LHV（受電端）
- ・ 焼却発電の発電効率：20%-LHV（発電端）
- ・ 焼却発電の所内率：4%、送電ロス：5%

4) 結果と考察

■ケース 1

焼却発電とガス化+MCFCの両サーマルリサイクルによるCO<sub>2</sub>排出量の比較をFigure22 に、廃棄物排出量の比較をFigure23 に示す。両図より、廃棄物排出量、CO<sub>2</sub>排出量いずれもガス化処理の方が焼却発電より小さくなっており、環境負荷の観点からガス化処理の方が優位であることが分かる。また、廃棄物発生量に関しては、PETボトルの選別やフレーク化の際に出てくるPETボトルくずなどがごみ排出の 80%以上を占めており、焼却やガス化などのリサイクルプロセスによる排出量は相対的に小さい。それに対して、CO<sub>2</sub>排出は全排出量の 90%以上をリサイクルプロセスが占めており、廃棄物排出量とCO<sub>2</sub>排出量では逆の傾向を示している。

次に各処理におけるエネルギー発生量をFigure24 に示す。ガス化処理を行った場合のエネルギー発生量は 10.5MJ/kgであり、焼却発電に比べて 1.3 倍で、エネルギー発生量の観点からもガス化処理の方が焼却発電より優れている。さらに、エネルギー発生量に占める電力の割合がガス化処理では、65%以上を占めており質的にも高いエネルギーが得られている。こ

これはガス化炉の場合、MCFCの高い発電効率（50.8%）に起因している。一方で、エネルギー回収量が多い割にFigure22のようにCO<sub>2</sub>発生量が少ないのは、MCFC内でCO<sub>2</sub>が消費されるため、最終的にCO<sub>2</sub>として排出されるのが、装置の予熱用などとして用いられるガス化炉ガス中のCOの一部の燃焼のみによるためである。

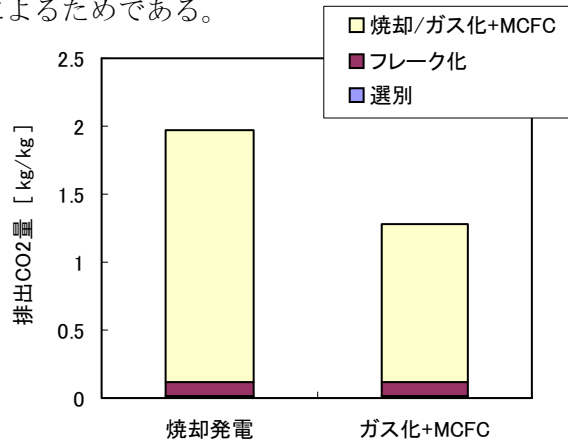


Figure 22 CO<sub>2</sub>排出量の比較

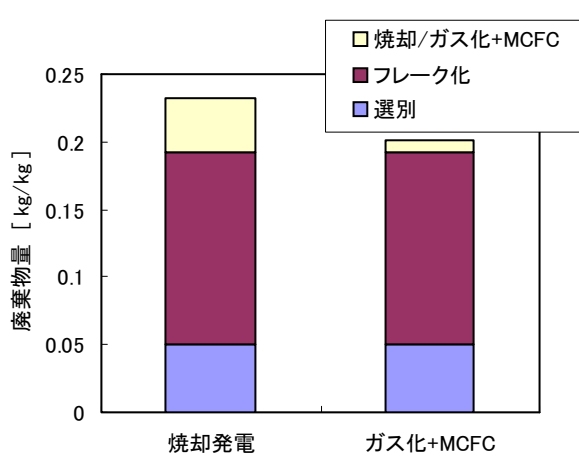


Figure 23 廃棄物排出量の比較

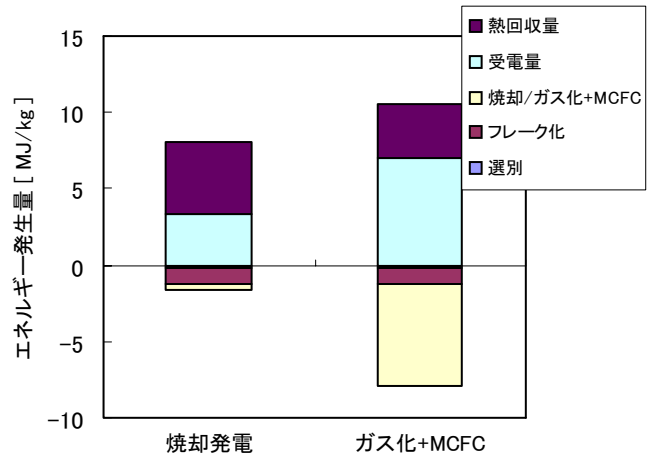


Figure 24 エネルギー発生量の比較

しかし、ガス化+MCFCにも問題点はある。Figure24に示される通りエネルギー消費量（図のマイナスの部分）が大きく、これにより、エネルギー回収量が大きいというメリットが半減している。この原因としては、冷ガス効率を向上させるためにガス化炉の予熱に投入されるメタンの消費量が0.18 Nm<sup>3</sup>/kgと非常に多いことに起因している。この点に関しては、今回データを採取した結集事業のガス化炉は小型の試験装置であるため、装置からの熱損失が実機に比べ大きくなっていると予想されるが、ガス化炉の実用化に向けての技術的課題とも言える。

## ■ケース 2

廃PETボトル処理について、バスケット法に基づいてリサイクル方法の優劣をエネルギーの観点から比較したものがFigure25である。エネルギー消費量の観点からは従来から言われているようにマテリアルリサイクルが最も優れている。一方、サーマルリサイクルの焼却発電とガス化ではケース1ほどの大きな差異が見られなくなっている。これは、マテリアルリサイクルとケミカルリサイクルで消費されるエネルギーが全体の90%以上を占めるためである。次に、CO<sub>2</sub>排出量の比較をFigure26に示す。CO<sub>2</sub>排出に対してはサーマルリサイクル部分の影響が大きいですが、系統・ボイラーから電力・熱回収するのに比べて焼却発電、ガス化

を行う方がCO<sub>2</sub> 排出量が大きくなっており、リサイクルをすることによって環境負荷が増加するという結果となった。

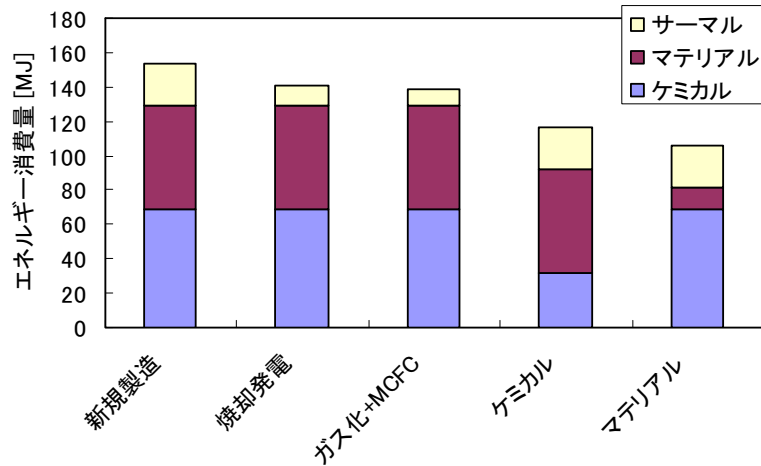


Figure 25 エネルギー消費量の比較

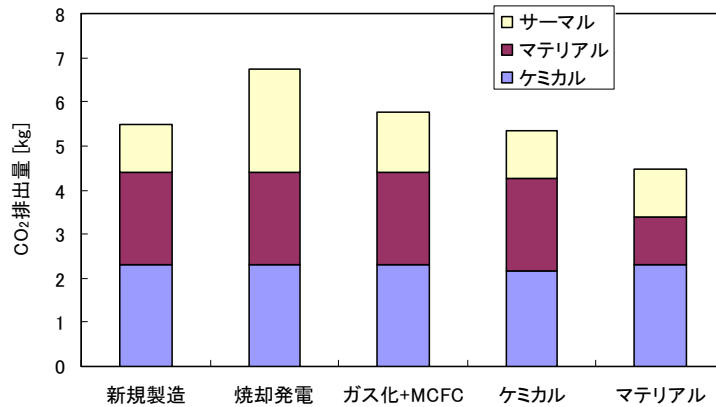


Figure 26 CO<sub>2</sub>排出量の比較

### ■ケース 3

地域全体解析の例として、愛知県名古屋市を例として、既存名古屋市のゴミ区分での民生廃棄物フローと可燃ゴミに厨芥類分別を新しく導入し（今回の計算では、可燃ゴミの40%が厨芥類と設定）、廃ペットボトルをガス化+MCFCにてエネルギー回収した場合の導入効果を比較した。結果、既存都市と比べ仮想都市は、消費エネルギー量は0.02%の削減、廃棄物量に関しては4.4%削減、CO<sub>2</sub>排出量は2%削減、生成エネルギー量は、1.13%増加とまずまずの成果が得られることがわかった。このことから、名古屋市の最終処分量低減を目指すのであれば、厨芥類導入が効果があることがわかる。ただ、今回の計算では、廃棄物輸送や経済性の検討はしていないため、これらを計算に考慮した場合、結果が左右することも考えられる。

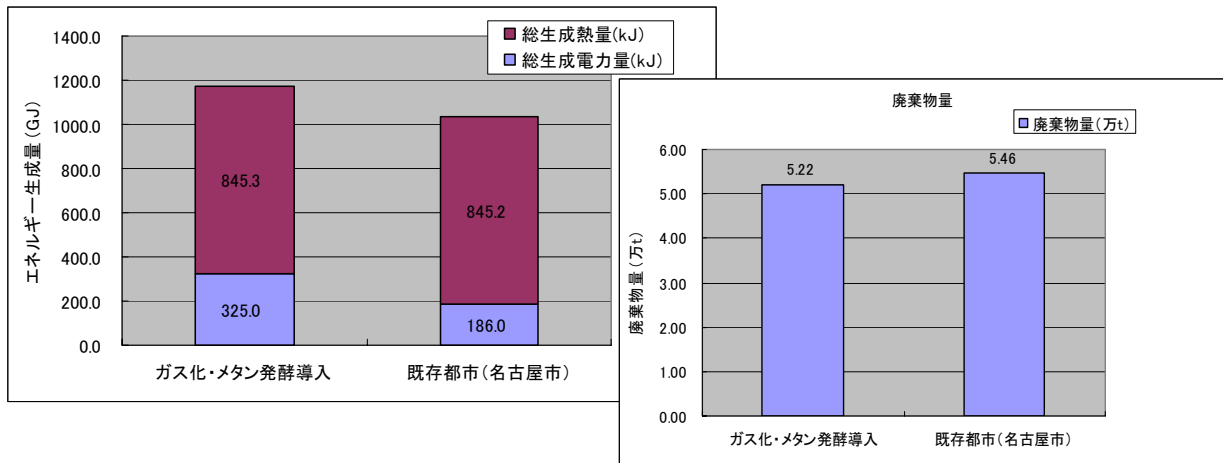


Figure 27 地域全体フローによる既存都市と仮想都市の比較結果

### 5) 結論

開発したシステムを用いて、様々な廃棄物フローの検証を行った。本検証に際し、文献や報告書のデータのみならず、ガス化炉、MCFC、PET のポリエステル原料化などについて独自調査による実機ベースでのデータも計算に用いることにより、より現実に近いフロー計算を可能にした。

また、厨芥類処理のためのメタン発酵技術や廃プラスチックのガス化処理データ（第1WG）を使って、地域全体での分別回収変更によるエネルギー・廃棄物削減の効果なども定量的に評価できた。

今後の課題としては、経済性（コスト）の導入、GISを用いた輸送計算、廃棄物副産物等の考慮などがあげられる。

### 3-2-3 廃棄物GISと産業ネットワークシステム改良

フェーズIで構築した産業ネットワークシステムは、H2年度の愛知県産業連関表データにおいて、物質のフローと収支、一次削減量の計算が可能になっているが、H7年度版の産業連関表データが公開されたため、最新版データに対応すべくデータの更新をおこなった。また、他県の産業連関表データに対応することも含め、初期設定ファイルによりシステムの初期化が可能なインターフェースにした。

さらに、統計データとの比較、GISマップデータ表示を実装し、様々なデータでの検証を可能にした。

#### 1) H7年度産業連関表での表示

これまでH2年度の産業連関表を基に計算を行ってきたが、最新データであるH7年度版のデータで検証ができるよう、初期データを作り替えた。また、移植性を考え、初期化ファイルから初期データを読み込み動作するようシステムを再構築し、ユーザーインターフェースの変更も行った（Figure 28）。現在、H7年度版の産業連関表データによりシステム稼働中である。



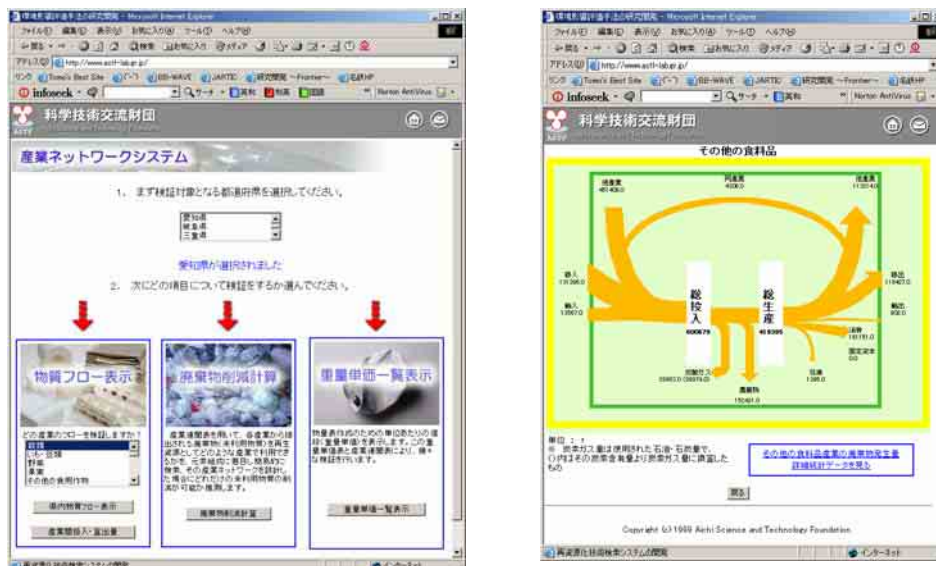


Figure 28 産業ネットワークシステム 改良後

## 2) 他県データでの計算

本システムを他県で応用するため、他県の産業連関表と現行システムの互換性について調べた。結果、東海3県においては、ほぼ同一のフォーマットで産業連関表が作成されているため移植は容易であるが、その他の県においては、分類項目も分類番号も違うため、容易ではないことが判明。そのため、現状では東海3県のデータについてのみ、検証を行うことができるシステムとする。

## 3) 統計データ「産業廃棄物実態調査報告書」との比較表示

これまで物質フロー解析は、産業連関表を基にした推計結果を表示していたが、推計値の妥当性評価をユーザーに示していなかった。そこで愛知県の実態調査のデータと比較し、計算結果が妥当であると示す。

廃棄物実態調査にあるデータのうち検証に必要なデータをピックアップし、電子データ化。そのデータをExcelに取り込みグラフ化、画像形式であるJPEG形式に書き出し、インターネット上で見れるようHTML言語にて表示用ページを作成した (Figure 29)。

実態調査データは、「業種別種類別の排出状況に関する統計表」の廃棄物発生量、有価物量、排出量、再利用量、資源化量、最終処分量を用いている。

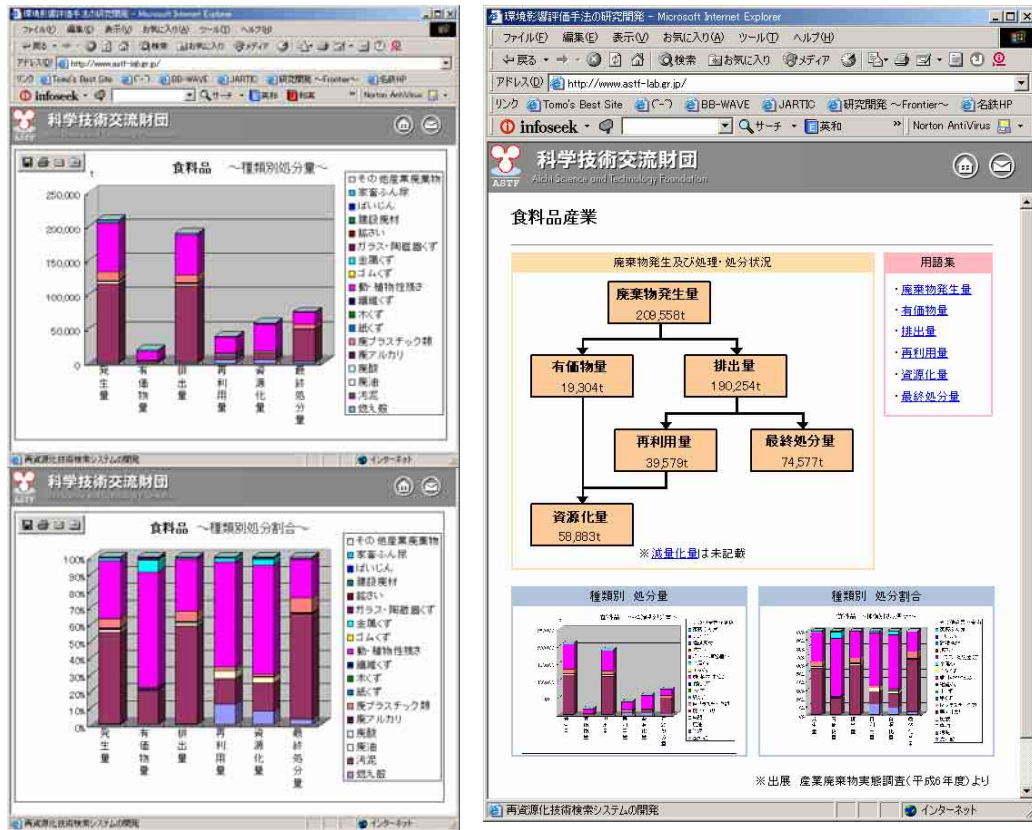


Figure 29 廃棄物実態調査データのグラフ化

4) 廃棄物 GIS 表示とそのリンク

地域内の廃棄物発生状況の現状を把握するため、産業廃棄物の発生場所を地図データ上で可視化した。今回の例は、対象地域を愛知県、対象産業に食品産業にておこなった。

データは、1996-1997 年版全国工場通覧(1996)より対象地域における事業所名、あいちの工業—工業統計調査結果報告書—(1998)より従業員規模ごとの出荷額、生産額、平成 7 年度愛知県産業廃棄物実態調査報告書(1996)より廃棄物量、廃棄物分類別量を用い、各事業所の廃棄物発生量を表にまとめた。さらにこのデータを産業別に分類し、廃棄物分布データとした (Table 8)。

Table 8 廃棄物分布データ (一部)

事業所名	住所	...	生産額[万円]	廃棄物量[t]	燃え殻[t]	...	廃プラスチック[t]	動・植物性残さ[t]
大島食品工業(株)守山工場	名古屋市守山区小幡南2-2	...	23,700	32	0	...	2	11
大平産業(株)	名古屋市熱田区大宝1-11-1	...	50,800	69	0	...	4	24
大洋食品工業(株)	名古屋市港区当知2-1106	...	78,200	107	1	...	6	37
中新製菓(株)	名古屋市西区あし原町106	...	50,800	69	0	...	4	24
中日本氷糖(株)本社工場	名古屋市中川区玉川町1-1	...	23,700	32	0	...	2	11

作成した廃棄物分布データは、Alps 社製 GIS アプリケーション「MapInfo」を用い、各事業所を地図上にプロット、これら事業所を自治体別にグループ化し、廃棄物量を自治体別で積算、地図上にグラフで表示した (Figure 30)。

一例として「その他の食料品」産業に着目し検証を行った。

その他の食料品産業において、廃棄物発生量の多い自治体として、一宮市、名古屋市 中川区、東区、豊山町、岡崎市などが分かる。これらの自治体には従業員数 200 名以上の比較的大きな事業所があり、岩田食品(株)(惣菜)や(有)麩秋商店(麩)、(株)福餅(餅)などがその例である。(カッコ内は製造品)

つまりこの結果から、事業所数や規模が、自治体から発生する廃棄物量に大きく起因していると言える。

今回使用したデータでは、従業員数が 19 名以下の事業所はカウントされていない。

それは全国工場通覧には、従業員数 20 名以上の事業所名等が記載されているためである。しかし、あいちの工業統計には、県下市区町村に 19 名以下の事業所数や生産額について記載されていたため、これら事業所は市区町村の中心(市役所や町役場など)に置くとして仮定し、生産額により廃棄物量を按分している。

また、今回は産業廃棄物のみを対象としたが、今後は一般廃棄物も考慮できる形にし、最終的にはユーザーが web 上で必要とする地図情報を自由に取得できる Web-GIS システムに発展させたい。

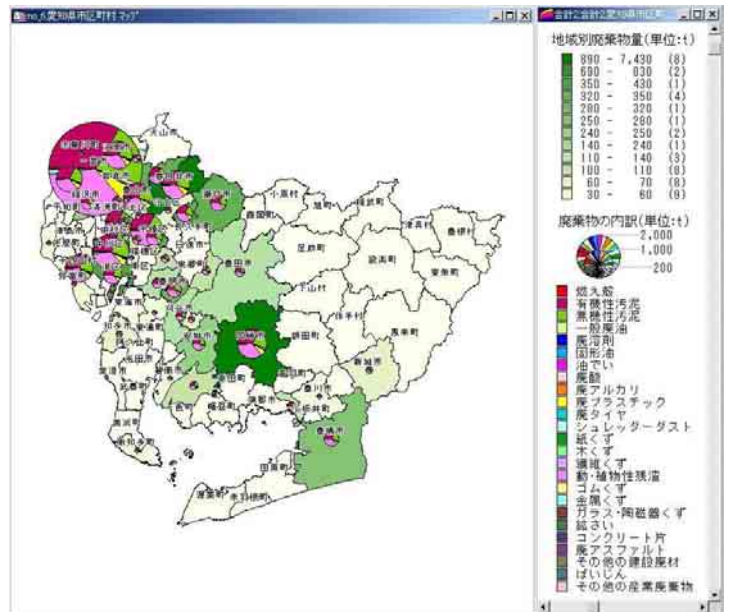


Figure 30 その他食料品産業の GIS マップ

### 3-3 考察及びフェーズⅡのまとめ

フェーズⅠでは、基盤的な研究及びシステムの構築を行ってきたが、フェーズⅡでは、それらの拡張、見直し、可視化を中心として行ってきた。また、第1WG から第3WG の技術が確立されてきたこともあり、それらの新技術の評価を行い、地域への効果を検証する推計システムの開発し、ケーススタディを行った。

## 4 成果の達成度

当初の目標であった物質フロー解析、及びエネルギー収支解析、データベースの構築は、基本的な機能はすべて達成できた。物質フローに関しては、産業ネットワークシステムにおいて、愛知県物質フロー可視化や削減量計算を実現し、エネルギー収支解析では、物質・エネルギー収支推計システムにおいて、他 WG の技術評価や地域全体での物質・エネルギー評価も行えた。また、データベースに関しても、リサイクル技術や事例に関する情報を集め、これまで散在していたデータを一つのデータベースとして一般公開することができた。ただ、コンピュータの性能や技術的な問題もあり、完全な統合ソフトパッケージ化はできなかったのは残念だが、こちらはフェーズⅢへの課題としたい。

## 5 今後の課題

フェーズⅢへの展開としては、愛知県エコタウンのソフトウェア事業への展開と、環境教育用アプリケーションへの展開を図る。

フェーズⅢでの課題は、データベース更新のための仕組みを考え、自己増殖型のデータベースシステムにしていくことと、構築したシステムをベースとして、工業団地における物質循環ネットワークや既存都市・地域における物質循環等を検証していくことがあげられる。また、循環型低環境負荷都市の設計等で利用できるシステムに応用する。

## 6 参考文献

- [1] 「あいちの産業連関表」, 愛知県企画部統計課, (1995), 愛知県統計協会
- [2] 「あいちの産業連関表」, 愛知県企画部統計課, (2000), 愛知県統計協会
- [3] 愛知県産業廃棄物実態調査報告書, 愛知県環境部編, (1995), 愛知県環境部
- [4] 1996-1997年版全国工場通覧, 通商産業省編, (1996), 日刊工業新聞社
- [5] あいちの工業統計-工業統計調査結果報告書一, (1998), 愛知県統計協会
- [6] 平成7年度愛知県産業廃棄物実態調査報告書, (1996), 愛知県環境部
- [7] 平成2年産業連関表, (1994), 総務庁
- [8] 元田、大山;廃棄物処理・リサイクルの実務計算, (1999), オーム社
- [9] 原田洋子;Java サーバサイドプログラミング, (2001), 技術評論社
- [10] 小野哲;Oracle8 データベース構築実践ガイド, (1998), 技術評論社
- [11] 上野晴樹;知識工学入門, (1989), オーム社
- [12] 上野晴樹;エキスパートシステム, (1986), オーム社
- [13] 薦田、大川、安信;エキスパートシステムの設計と開発, (1997), 昭晃堂
- [14] 今中勲;ライフサイクルインベントリー分析の手引き, 環境情報科学センター編, (1998), 化学工業日報社
- [15] 廃プラスチック処理・処分システムのエコ効率分析, (2003), 社団法人プラスチック処理促進協会
- [16] 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発調査報告書, (2003), 社団法人産業環境管理協会
- [17] 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2002, (2002), 日本工業出版
- [18] 地域冷暖房技術手引書<改訂新版>, (2002), 日本地域冷暖房協会
- [19] 石川雅紀, 赤井誠;企業のための LCA ガイドブック, (2001), 日刊工業新聞社
- [20] 後藤尚弘、内藤ゆかり他;地域ゼロエミッションを目指した愛知県物質フローの解析, 環境科学会誌, 14(2), P211-220
- [21] 飯田, 窪田他;都市廃棄物におけるマテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの比較検討, 第19回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, (2003), P209-214.
- [22] 廃棄物高温ガス化技術を活用した分散型循環システムが地域に受け入れられるためのアセスメント検討報告書, (2001), 財団法人科学技術交流財団, P95