

産業廃棄物の再資源化・有効利用による 環境負荷量削減ポテンシャルの評価

天野 耕二¹・宮川 征樹²

¹正会員 立命館大学教授 理工学部 (〒525-8577 草津市野路東1-1-1)
E-mail: amano@se.ritsume.ac.jp

²防衛省 (〒162-8801 東京都新宿区市谷本村町5-1)

本研究では、日本国内で排出されている産業廃棄物についてマテリアルリサイクルを中心に再資源化・有効利用を推進することによって、どの程度の環境負荷(温室効果ガス(GHG)排出量・最終処分量)削減効果が見込めるのかというポテンシャル評価を試みた。GHG 削減ポテンシャルは、リサイクルに伴って排出される GHG から廃棄物としての処理・処分(焼却・埋立処分)を回避することによって削減される GHG および天然資源からの製品製造を回避することによって削減される GHG を差し引くことによって算出した。GHG 削減ポテンシャルは国内の総 GHG 排出量の 0.7%に相当する約 1,100 万 ton-CO₂ と推計され、最終処分量については国内の総最終処分量の約 13%に相当する約 440 万 ton の削減ポテンシャルが示唆された。

Key Words : GHGs emission, terminal waste disposal, resource recycling, physical distribution

1. はじめに

地球温暖化問題は、最も優先的に取り組むべき環境問題であるとされ、各省庁や各都道府県の環境政策指針に重点対策課題として組み込まれているが、地球温暖化対策とは別の環境施策の柱として循環型社会の構築も挙げられている。平成 15 年に閣議決定された循環型社会形成推進基本計画では、循環型社会の実現に向けた具体的数値目標が定められており、天然資源の消費抑制や廃棄物の発生抑制を表す指標および資源の循環を表す指標に加え、廃棄物の処理処分量の低減を表す指標にも数値目標が設定されている¹²⁾。

廃棄物削減に関する研究としては、いわゆる 3R (発生抑制・再使用・再資源化) に代表されるように、上流側対応と下流側対応の 2 方面から研究が進められている。上流側における研究としては、製造業をはじめとした企業によるリユース容易設計やリサイクル容易設計などの技術改善が試みられている。下流側における研究は、上流側における研究よりも研究対象領域が広く、リサイクルの必要性を概ね肯定している研究報告³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾が多く見られる。しかし、廃棄物の排出から最終処分または再資源化までの廃棄物フローを網羅的に把握した研究は少なく、リサイクルを可能な限り行った場合における環境負荷削減ポテンシャルを示した研究も見られないため、廃棄物の有効利用徹底が日本全体でどの程度の環境負荷削

減効果をもたらすのかという問いに対する回答は未だ明確にされていない。

本研究は、物質の流動および資源の循環に着目して、廃棄物の再資源化・有効利用徹底時における環境負荷削減ポテンシャルの定量評価を行うことを目的としている。従来、地球温暖化抑制と循環型社会の構築は各個別の問題として議論されることが多かったが、それぞれ共有する問題も持ち合わせており、これらを同時に考慮することで導かれる新たな視点もあると考える。特に循環型社会の構築に向けた環境対策として産業廃棄物のマテリアルリサイクルの推進に焦点を絞り、リサイクルの推進に伴って波及する、天然資源節約効果、天然資源利用回避による温室効果ガス (GHG) 削減効果、最終処分場からの GHG 排出回避効果について詳細な評価を行う。

2. 廃棄物の再資源化を考慮した日本国内の物質フローの把握

本研究では、循環型社会の構築に向けて廃棄物の資源化・有効利用を推進した場合における環境負荷 (GHG 排出量および最終処分量) の低減効果を分析するが、このような分析を行う前に、現状の廃棄物排出状況・再生利用状況・最終処分状況を捉え、整理しておく必要がある。そこでまず、廃棄物の処理フローを把握することに

よって、廃棄物排出・再生利用・最終処分等の量的関係を捉える。また、排出された廃棄物が資源化品として再び経済活動の上流側に投入されるフローを推計するとともに、天然資源や製品のフローを含めた全物質のフローも同時に推計することによって、再生資源フローおよび天然資源・製品フローの量的関係を把握する。

対象地域は日本全国の47都道府県であり、対象物質は「第7回全国貨物純流動調査（2000年調査）」⁷⁾（以下、物流センサス）に基づく79品目及び、産業廃棄物実態調査⁸⁾に基づく廃棄物18種類・再資源化品14品目である。対象フローは、資源・製品の投入産出、廃棄物排出、最終処分、再資源化品再投入の4段階である。一般に、上流（動脈）とは、ライフサイクルの前半部分である資源採取から素材加工、製造、流通、販売などを經由して消費されるまでの経済主体間の取引工程を指し、下流（静脈）とは、ライフサイクルの後半部分であるモノの廃棄・解体から廃棄物の処理・処分あるいは再生資源化されるまでの工程を指す。本研究では、物質フローのうち廃棄物排出・最終処分・再資源化品再投入の3つの段階をまとめて廃棄物フローと呼ぶこととする。

本研究における廃棄物排出量の定義は、「廃棄物処理工程に組み込まれた量」である。すなわち、廃棄物処理業者や市町村のクリーンセンターなどに搬入されたものは廃棄物として計上するが、廃棄物処理工程に投入されず産業間で取引されるものや産業系内で一時的に廃棄物として発生したとしても、中間処理等を行わず他者に有償で売却可能なものは廃棄物として計上していない（このような有償売却可能な廃棄物を以下「有価物」と記す）。このように廃棄物を定義することによって、産業系内で有効利用される有価物と廃棄物処理工程に投入される廃棄物を明確に区分する。また、廃棄物処理工程に投入される廃棄物の中には後に中間処理されて資源化されるものも含んでいることに留意する必要がある。

(1) 資源・製品の投入産出段階

資源・製品の投入産出段階における物質フローの推計においては、物流センサス（2000年調査）⁷⁾を基本データとして用いた推計手法⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾を適用した。調査年度が2000年以外のデータについては、物流量が経済データに比例して増減するという考えに基づき¹²⁾、「平成16（2004）年版県民経済計算年報」¹³⁾（以下県民経済統計）の「I. 総括表4 県内総支出（実質）」を用いて、都道府県ごとに、平成12年度と平成11年度の金額比を算出した年次変換係数を乗じることにより平成12年（2000年）値に変換した。

(2) 廃棄物排出段階および最終処分段階

廃棄物排出段階および最終処分段階における物質フローの推計の際に使用したデータは、産業廃棄物については都道府県ごとに集計された「産業廃棄物実態調査」⁸⁾の「種別・処理処分状況表」である。この表から、産業廃棄物排出量・最終処分量・再生利用量・減容化量などのデータを把握した。産業廃棄物実態調査結果を公表していない県では各都道府県の「廃棄物処理計画」¹⁴⁾等に記載されている利用可能なデータを用いた。農業廃棄物である動物の糞尿および動物の死体に関しては、産業廃棄物・処理状況調査報告書¹⁶⁾に記載されている値を用いた。都道府県別の農業廃棄物各種処理量は、全国ベースの最終処分率、再生利用率、減容化率を各都道府県の排出量に乘じることによって算出した。また、一般廃棄物については、「平成12年度一般廃棄物処理実態調査結果」¹⁵⁾から一般廃棄物排出量等のデータを把握した。

(3) 再資源化品再投入段階

産業廃棄物に関しては、全国47都道府県のうち20都道府県では、産業廃棄物実態調査報告書⁸⁾から18種類の廃棄物別・再生利用品の用途別再生利用状況（すなわち再資源化品再投入量）を把握することができる。これは表の形式で公表されており、行側に再生利用される廃棄物の種類（18種類別）が、列側に再生利用される再生利用品用途の種類（14種類別）が示されている。残りの27都道府県については、(2)で求めた産業廃棄物種類別再生利用量に、再生利用品用途別転換割合を乗じることによって再資源化品再投入量を推計した。再生利用品用途別転換割合は、データが得られた20都道府県の用途別再生利用状況の平均値を用いて、再生利用される廃棄物が当該用途に振り分けられる品目の重量割合とした。当該都道府県から排出された廃棄物から産出される再生資源は、すべて当該都道府県に投入されるものと仮定した。また、一般廃棄物に関しては、「平成12年度一般廃棄物処理実態調査結果」¹⁵⁾の、ごみ資源化の状況表を基に廃棄物種類別資源化量を把握し、それに各種容器包装協会発表値や各種資源化施設からの再資源化状況を考慮することで、再資源化品再投入量を推計した。

(4) 物質フローの推計結果

表-1に日本全国の資源・製品の投入段階における物質フローの推計結果（全国合計値）を示す。産業系内で有効利用される廃棄物である有価物や廃棄物処理フローに組み込まれ資源化される再投入品は全国合計で約3億トンと物質フロー全体の約9%を占めていた。表-2に産業廃棄物種別の排出量、再生利用量、減容化・自己保管量、最終処分量（直接最終処分量）の全国合計値、表-3

に産業廃棄物の用途別再生利用量、表-4 に一般廃棄物の排出内訳および再資源化物の用途別再生利用量を示す。なお、(2)で述べたように、産業廃棄物については都道府県ごとの産業廃棄物実態調査で公表されている「種類別・処理処分状況表」を基本に集計したが、データの未公開など欠損があった一部の県や廃棄物種については全国ベースの最終処分率、再生利用率、減容化率を各県各廃棄物種の排出量に乗じることにより推計したため、表-2 における再生利用量、減容化・自己保管量、最終処分量の合計と排出量には最大で 3%程度の誤差が、さらには表-2 と表-3 では産業廃棄物の再生利用量合計に 0.15%の誤差が生じている。なお、表-2 の「最終処分量」は直接最終処分量推計値であり、中間処理残渣等は「減容化・自己保管量」に含まれている。

産業廃棄物由来の再資源化品重量は、一般廃棄物の再資源化品重量の約 25 倍であった。これは、再資源化の際に必要な廃棄物の量を確保しやすいことや、廃棄物の品質が安定していることが要因として考えられる。再資源化品割合に着目すると、産業廃棄物は肥料・土壌改良剤、建設材料・骨材・路盤材、セメント原材料などへの再生用途が目立ち、一般廃棄物は、パルプ・紙原材料や鉄鋼原材料・ガラス原材料などへの再生用途が目立つことがわかった。この原因として、産業廃棄物は重量

の大きい農業系廃棄物や建設廃棄物が影響していると考えられ、一般廃棄物は容器包装廃棄物の分別収集や古紙の集団回収が影響していると考えられる。

3. 各種別廃棄物の再資源化・有効利用徹底による環境負荷低減効果の推計

産業廃棄物のうち減容化（焼却）・自己保管・最終（埋立）処分されている廃棄物を中心に、現状のリサイクルオプションを考慮しながら最大限に再資源化・有効利用（マテリアルリサイクルや熱回収など）を行った場合における環境負荷（GHG 排出量および最終処分量）の低減効果を分析する。対象とする産業廃棄物は、動植物性残渣、動物のふん尿、ガラス・陶磁器くず、紙くず、木くず、金属くず、鉱さい、ばいじん、廃プラスチックの 9 種類（表-2）であり、これら 9 種類の排出量合計は産業廃棄物排出量総計の 38%を占める。資源化品の再生用途は、肥料、燃料（発電）、ガラス原材料、紙・パルプ原材料、鉄鋼原材料、アルミ再生地金原材料、プラスチック原材料の 7 種類である。都道府県別に廃棄物の再資源化・有効利用に伴う環境負荷の収支を積み上げた上で全国合計値を求めた。ポテンシャル評価を試みる上で、

表-1 日本全国の資源・製品の投入段階における物質フローの推計結果（単位：トン）

バイオマス系	化石系	金属系	非金属鉱物系	製品・その他原料	有価物	再資源化品	合計
162,687,597	249,151,989	1,431,025	766,788,942	2,079,811,062	97,761,736	206,322,016	3,563,954,367

表-2 産業廃棄物種別の排出量、再生利用量、減容化・自己保管量、最終処分量（直接最終処分量）の全国合計値（単位：トン）

	排出量	再生利用量	減容化・自己保管量	直接最終処分量
動植物性残渣	4,227,187	1,612,341	2,548,642	188,126
動物のふん尿	90,496,427	85,826,713	3,513,282	1,156,432
ガラス陶磁器くず	4,433,400	2,132,699	246,348	2,084,861
紙くず	1,926,282	1,127,978	700,795	115,786
木くず	5,777,648	2,813,108	2,581,070	407,819
金属くず	7,323,645	6,619,945	144,080	741,701
鉱さい	21,636,022	19,031,658	627,211	2,312,955
ばいじん	10,993,915	8,589,790	475,574	2,010,080
廃プラスチック類	5,379,402	1,510,147	1,802,260	2,080,056
その他の産業廃棄物	247,965,361	68,901,624	158,700,033	20,594,190
産業廃棄物合計	400,159,289	198,166,003	171,339,295	31,692,006

表-3 産業廃棄物の用途別再生利用量（単位：トン）

合計	鉄鋼 原材料	非鉄金属・ 貴金属 原材料	燃料	肥料・ 土壌改良材	飼料	建設材料 再生骨材・ 路盤材	パルプ・ 紙原材料	ガラス 原材料	プラスチック 原材料	再生 タイヤ	セメント 原材料	再生油・ 再生溶剤	中和剤	その他
198,461,907	11,252,927	1,871,456	2,322,352	90,227,145	688,281	72,604,291	1,667,847	101,391	594,324	83,298	10,260,447	230,138	168,794	6,389,216

表-4 一般廃棄物の排出内訳および再資源化物の用途別再生利用量（単位：トン）

排出量	直接焼却量	最終処分量	資源化量 (集団回収量含む)	用途別再生利用量(再資源化品再投入量)							
				パルプ・紙 原材料	鉄鋼原材料	非鉄金属 貴金属原材料	ガラス 原材料	プラスチック 原材料	肥料・ 土壌改良材	燃料	その他
52,361,812	40,304,140	10,514,299	7,860,109	3,911,197	1,330,510	243,001	796,799	182,804	29,854	148,231	1,217,714

1) リサイクル施設の新規建設等に代表される資本財製造に伴う環境負荷は計上せず、運用時の環境負荷を計上する、2) 廃棄物の質は、資源化される廃棄物、焼却される廃棄物、最終処分される廃棄物において、すべて同質と見なす、3) 再資源化製品と回収エネルギーは、各々バージン素材および商用電力を代替するものとする（堆肥の肥効など一部では品質面を考慮）、4) リサイクル導入における経済性や技術水準は考慮しない、5) 一種類の廃棄物が複数の再資源化品として利用される場合、各再資源化品へのリサイクル率は、現状のリサイクル率が保持される、という5つの条件を設定し推計を試みた。条件3)については、廃棄物の再資源化・有効利用を現況より更に促進する結果新たに得られることが想定される資源とエネルギーを天然資源投入代替とし、現況の天然資源消費を最大限抑制することが環境負荷（GHG 排出量および最終処分量）を包括的な視点で最も低減させる重要な方向性であるという主旨で設定した。

再資源化に伴う環境負荷を可能な限り都道府県別に算定するため、電力使用に伴うCO₂排出原単位については都道府県別に考慮し、各都道府県において主として電力を供給する電力会社の2000年度におけるCO₂排出原単位¹⁷⁾を適用した。燃料使用に伴うCO₂排出原単位については、環境省によるGHG排出量算定¹⁸⁾に用いられている2000年度におけるエネルギー消費量あたりのCO₂排出原単位および燃料使用量あたりのCO₂排出原単位（表-5）を適用した。GHGとして推計対象とする物質は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)であり、GWP(Global Warming Potential)は、IPCC第2次評価報告書¹⁹⁾による値(CO₂:1, CH₄:21, N₂O:310)を適用した。

(1) 動植物性残渣の堆肥化

産業廃棄物として排出される「動植物性残渣」のうち、

表-5 燃料使用量あたりのCO₂排出原単位(排出係数)

燃料の種類	排出係数	単位
原料炭	2.64	kg-CO ₂ /kg
一般炭(国内炭)	1.9	kg-CO ₂ /kg
一般炭(輸入炭)	2.37	kg-CO ₂ /kg
石炭	2.4	kg-CO ₂ /kg
コークス	3.24	kg-CO ₂ /kg
灯油	2.51	kg-CO ₂ /L
軽油	2.64	kg-CO ₂ /L
A重油	2.77	kg-CO ₂ /L
B重油	2.9	kg-CO ₂ /L
C重油	2.96	kg-CO ₂ /L
石油コークス	3.3	kg-CO ₂ /kg
液化石油ガス(LPG)	3.02	kg-CO ₂ /kg
液化天然ガス(LNG)	2.79	kg-CO ₂ /kg
コークス炉ガス(COG)	0.854	kg-CO ₂ /m ³
高炉ガス(BFG)	0.355	kg-CO ₂ /m ³
転炉ガス(LDG)	0.937	kg-CO ₂ /m ³

減容化・自己保管量および最終処分量の合計値約270万トン（表-2）を食品系バイオマス利用可能量と仮定し、この全量を堆肥化することを検討する。廃棄物の堆肥化に伴って発生するGHG排出量および堆肥搬出輸送に伴うGHG排出量を積み上げるとともに、廃棄物としての処理・処分を回避したことによる焼却、焼却残渣搬出輸送、廃棄物埋立に伴って発生していたGHG排出量を差し引く。さらに、堆肥から得られる窒素成分を化学肥料生産から代替したことによる効果を差し引くことで、廃棄物の堆肥化によるGHGの収支を推計した。

ただし、堆肥化することによる堆肥化施設までの輸送に伴うCO₂排出と、従来どおり焼却または直接最終処分することによる各施設までの輸送に伴うCO₂排出は同等であると見なした。また、施肥に伴うN₂O発生量についても、代替する化学肥料中の窒素成分が堆肥と等しくなるように条件設定し、廃棄物から生産した堆肥の施肥によるN₂O発生量は化学肥料の施肥による発生量と同等と見なした。

a) 再資源化により得られる堆肥量

対象とする動植物性残渣の水分に関しては、ごみ焼却施設で採取された実測値（湿ベース）²⁰⁾を参照し、元素組成に関しては、横浜市（平成5～9年度平均値）²¹⁾および東京都（平成9年度値）²²⁾の元素組成分析値（乾ベース）を参照し、平均値を算出した結果、含水率は満足しているがCN比は142と低いため、添加剤を投入することを想定した。ここでは産業廃棄物として排出される「木くず」の有効利用用途拡大も考慮して木くずを添加剤として用いることとする。木くずの減容量・自己保管量および最終処分量の合計約300万トン（表-2）のうち、全国平均で約3割にあたる約88万トンを堆肥化に必要な添加剤に使用すると設定する。ただし、各都道府県の排出実態および再資源化実態に合わせて木くずの堆肥化使用割合は都道府県ごとに異なった設定を行っている。

発酵槽投入量に対する堆肥の収率（乾ベース）は、田中らの設定値（厨芥類0.25、添加物0.55）²³⁾を引用した。また、堆肥の含水率は40～50%が適当とされている²⁴⁾ため、その中間値45%を適用した。各都道府県の堆肥化量を積み上げた結果、全国合計で約91万トンの堆肥が生成されることがわかった。堆肥化のマテリアルフローを図-1に示す。

b) 堆肥化・搬出によるGHG排出

堆肥化過程では、好気性発酵により動植物性残渣から



図-1 堆肥化のマテリアルフロー

発生する直接的 CO₂排出および堆肥化施設における電力使用や重油使用に伴う間接的 CO₂排出がある。このうち、直接的 CO₂排出量は、植物（生物）由来の排出（カーボンニュートラル）であるため計上しない。一方、間接的 CO₂排出量は、化石燃料由来の排出であるため考慮する。堆肥化施設の設定は、一次発酵槽が横型式、二次発酵槽が床置き式、脱臭装置が土壌脱臭形式を想定している。なお、堆肥化は好氣的に行われるため、廃棄物含有中の炭素はほとんどが CO₂に変換されるが、一部 CH₄や N₂O も発生するため、この CH₄および N₂O 分に関しては GHG 排出量として計上した。電力および燃料消費量は、施設への廃棄物搬入量（動植物性残渣と木くずの合計量）に比例する（堆肥化量あたりの電力使用量は 80kWh/ton、重油使用量は 4 L/ton）²³⁾と仮定して算出した結果、全国合計で 151,805t-CO₂ の CO₂が排出されていると推計された。また、日本国内温室効果ガスインベントリ報告書²⁴⁾に基づいて堆肥化に伴う CH₄ および N₂O 排出量（CH₄の排出係数は 10 kg-CH₄/ton、N₂O の排出係数は 0.6 kg-N₂O/ton を適用）を CO₂換算した結果、CH₄で 105,443t-CO₂-eq、N₂O で 93,392t-CO₂-eq と推計された。

堆肥の農地への搬出過程については、輸送には可載量 4 トンのトラック、燃料には軽油が使用されるとし、燃費は 5km/L、農地への輸送に要する往復距離は 100km と設定した²⁶⁾。搬出車の軽油消費量に軽油の CO₂排出量原単位（表-5）を乗じて算出した結果、全国合計で 12,051t-CO₂ の CO₂が搬出過程で排出されると推計された。先に述べたように、堆肥の施肥に伴う N₂O 発生量については、窒素成分が堆肥と等しくなるように条件設定した化学肥料の施肥による N₂O 発生量と同等と見なすため計上しない。

c) 焼却回避によるGHG削減

ここでは、廃棄物（動植物性残渣および木くず）の堆肥化によって、焼却が回避されたことによる GHG 排出削減量を推計する。CO₂排出に関しては、ここでも廃棄物（生物）由来の CO₂排出量は除外し、電力および燃料使用に伴う CO₂排出量のみ計上する。焼却に伴う CH₄および N₂O は CO₂換算し計上する。使用する炉はストーカー炉とし、炉における検討対象ごみの燃焼は完全燃焼率 98.9%で焼却されるもの²⁷⁾とする。排ガス処理方式は電気式集塵、煤塵処理方式は乾式、燃焼ガス冷却装置はボイラ式を使用するものとする。

施設で使用される電力量は、ごみ処理に必要な電力量と灰処理に必要な電力量とに大別され、それぞれ発生ごみ重量と発生灰重量に比例すると仮定する。表-6 に焼却プロセスにおける設定条件を示す。焼却残渣量（焼却灰+集塵灰）を算出した上で、電力使用量および重油使用量に CO₂排出量原単位を乗じて、焼却を行わなかった

表-6 焼却プロセスにおける設定条件

項目	値	単位	参考文献
動植物性残渣中の灰分	4.6	%	水分・組成表から湿ベース灰分を算出
木くず中の灰分	4	%	66)
完全燃焼率	98.9	%	71)
全灰中の焼却灰割合	90	%	65)
全灰中の集塵灰割合	10	%	65)
焼却灰含水率	20	%	71)
集塵灰含水率	0.8	%	71)
消費電力1	110	kWh/t-ごみ	65)
消費電力2	950	kWh/t-灰	65)
重油使用量原単位	0.34	L/t-ごみ	71)
電力使用による CO ₂ 排出量原単位	5-1-2表(a)		
重油使用による CO ₂ 排出量原単位	2.96	kg-CO ₂ /L	5-1-2表(b)

ことによる CO₂排出削減量を推計した結果、全国合計で 220,769t-CO₂ の CO₂排出が削減されると推計された。CH₄排出量については、動植物性残渣および木くず各々の焼却量に対して、含水率を考慮しながら炭素含有率を乗じることで焼却物中の炭素量を推計し、これにメタン排出原単位（0.120 g-CH₄/kg-C）^{26), 27)}を乗じた後、CO₂換算を行った。N₂O 排出量についても同様に、焼却量に含水率を考慮しながら窒素含有率を乗じることで焼却物中の窒素量を推計し、これに N₂O 排出原単位（0.0233 g-N₂O/g-N）^{26), 27)}を乗じた後、CO₂換算を行った。その結果、CH₄で 1,633t-CO₂-eq、N₂O で 173,733t-CO₂-eq の CO₂等量が削減されると推計された。

d) 最終処分回避によるGHG削減

搬出される焼却残渣の構成比は、焼却灰 9 割、集塵灰 1 割であり、搬出車の軽油消費量に軽油の CO₂排出量原単位（表-5）を乗じて算出した結果、焼却残渣の搬出に関しては全国合計で 1,460t-CO₂ の排出が削減されると推計された。

さらに、堆肥化によって最終処分を回避したことによる GHG 排出削減量を推計する。まず、燃料使用等の最終処分場運用に伴う CO₂排出量については、東京都の海面埋立処分場における運用時の CO₂排出量²⁸⁾を参考に算出した埋立処分量 1 トンあたりの CO₂排出量原単位（0.0417t-CO₂/t-埋立処分量）を用いた。この CO₂排出原単位は、最終処分場で埋立に使用される重機使用に伴う CO₂排出量および浸出水処理に伴う CO₂排出量を考慮しているが、その大部分は浸出水処理に起因している。焼却残渣の処分量および廃棄物（動植物性残渣と木くず）の直接最終処分量（木くずの直接最終処分量は、添加剤としての投入量に表-2 の直接最終処分率（減容化量・自己保管量および最終処分量の合計あたりの最終処分量比率）を乗じた約 12 万トン）の合計値に埋立処分

量1トンあたりのCO₂排出量原単位を乗じて、最終処分を回避したことによるCO₂排出削減量を推計した結果、最終処分削減量は53万トン、CO₂排出削減量は21,962t-CO₂と推計された。また、埋立地から発生するCH₄の発生源は有機系廃棄物である動植物性残渣および木くずであり、焼却残渣からは発生しない。したがって、CH₄発生量は、動植物性残渣および木くずの直接最終処分量に、それぞれCH₄排出量原単位²⁹⁾(動植物性残渣：0.143t-CH₄/t動植物性残渣、木くず：0.138t-CH₄/t木くず)を乗じることで算出した。CH₄発生量をCO₂換算した結果、CH₄排出削減量は904,668t-CO₂-eqと推計された。

e) 化学肥料生産・輸送の回避によるGHG削減

廃棄物の堆肥化によって農地に還元される窒素等量分が化学肥料を代替するという設定に基づいて、削減される重量分の化学肥料生産・輸送に伴うCO₂排出量を推計し、これを化学肥料生産・輸送回避による削減効果として計上する。廃棄物の堆肥化によって生産される堆肥重量は約91万トンであり、含有窒素量は約2.6万トンである。ここで、窒素質肥料に着目すると、尿素と硫酸アンモニウムで日本の化学肥料供給量(窒素成分量ベース)の約8割³⁰⁾を占めていることから、堆肥に代替される化学肥料は尿素と硫酸アンモニウムに限定した。1997年度における尿素と硫酸アンモニウムの日本全体での窒素成分供給比率(54.4:45.6)³⁰⁾を用いて、堆肥の窒素成分を按分した結果、代替対象である化学肥料は、硫酸アンモニウムで約5.6万トン、尿素で約3.0万トン(いずれも全国合計値)と推計された。

化学肥料の生産に伴うCO₂排出量推計には、2000年の産業連関分析(3EID、生産者価格ベース)³²⁾によるCO₂排出量原単位(列部門名：化学肥料、(I-A)¹型、2,259 ton-C/百万円)および3EIDの付録である環境負荷原単位と品目別国内生産額との対応表(2000年単価換算、硫酸アンモニウム：10,511円/ton、尿素：40,700円/ton)³³⁾を用いた。推計の結果、堆肥代替される化学肥料の生産に伴うCO₂排出量は、全国合計で15,019t-CO₂と算出された。さらに、化学肥料の輸送に伴うCO₂排出量については、化学肥料に含まれる窒素量あたりのCO₂排出原単位0.06[t-CO₂/t-N]³⁴⁾を用いて推計した結果、1,554t-CO₂となった。

f) GHG排出量の収支(表-7)

動植物性残渣の堆肥化によってGHG排出量は約98万t-CO₂-eq削減され、最終処分量は約53万トン削減されるという結果が得られた。GHG排出面では、埋立地から発生するCH₄排出を回避したことによる削減量が最も大きく、次いで焼却施設における電力・重油使用を回避したことによるCO₂排出削減量が大きな影響を与えていた。

(2) 動物のふん尿の有効利用

家畜ふん尿(動物のふん尿)の減容化量とは、家畜ふん尿の乾燥処理または焼却処理によって減量される水分量を指すと考えられる。また、乾燥処理後および焼却処理後の家畜ふん尿は、堆肥として使用されることが多いことから³⁵⁾、最終処分量約120万トン(表-2)を畜産系バイオマス利用可能量と仮定し、この全量にバイオガスシステム(以下、BS)を導入(バイオガス発電を行うとともに、消化液を堆肥として利用)することを検討した。図-2にバイオガスシステムの基本的な処理フローを示す。

BSの導入によって発生する家畜ふん尿の堆積発酵、バイオガス発電プラント稼働、消化液搬出輸送、消化液散布、消化液の農地還元に伴うGHG排出量を積み上げるとともに、家畜ふん尿の廃棄物としての処理・処分を回避したことによる埋立処分、化学肥料生産・輸送、化学肥料の農地還元に伴って発生していたGHG排出量を差し引くことで、廃棄物の堆肥化によるGHGの収支を推計した。表-8にバイオガスシステム導入時における温室効果ガスインベントリ(単位：kg-CO₂-eq/t家畜ふん尿)を示す。さらに、バイオガス発電によるメタン

表-7 堆肥化によるGHG排出量の収支

		温室効果ガス 排出量
		t-CO ₂ -eq
堆肥化 ルート	収集	-
	堆肥化(CO ₂)	151,805
	堆肥化(CH ₄ , N ₂ O)	198,836
	堆肥搬出	12,051
	農地還元	-
処理・処分 ルート	焼却(CO ₂)	-220,769
	焼却(CH ₄ , N ₂ O)	-175,366
	灰搬出輸送	-1,460
	埋立	-926,629
バージン ルート	化学肥料 生産・輸送	-16,572
	合計	-978,105

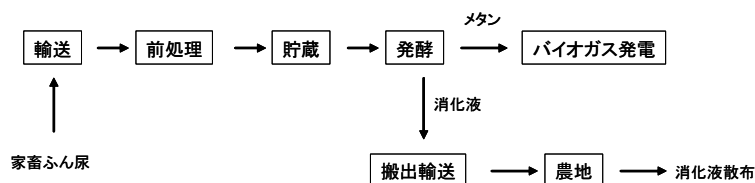


図-2 バイオガスシステムの基本的な処理フロー

の燃焼によって得られるエネルギーは、全て電力に変換されるものとし、その電力によりプラント内で使用される商用電力を代替し、余剰分は売電するものと設定した。ただし、BS 導入によるバイオガス発電施設までの家畜ふん尿の輸送に伴う CO₂排出量と廃棄物としての埋立地までの輸送に伴う CO₂排出量は同等と見なした。

a) BS 導入に伴う GHG 排出

堆積発酵過程は、ふん尿ストック時に GHG が発生する過程³⁹⁾であり、排出量は 35,319t-CO₂-eq と推計された。バイオガス発電プラント稼働過程は、プラントで使用される電力・重油・機器稼働に伴う GHG 排出が計上され、これら合計で 22,062t-CO₂-eq と推計された。また、バイオガス化では窒素分はほとんど残留する³⁷⁾ため、BS 導入時において発電プラントからは N₂O が発生しないものと設定している。消化液搬出輸送過程は消化液を農地へ搬出する過程であり、排出量は 717t-CO₂-eq と推計された。消化液散布過程は消化液を農地へ散布する機材の燃料燃焼に伴う GHG が計上され、排出量は 3,245t-CO₂-eq と推計された。

消化液の農地還元で発生する N₂O 量は消化液の窒素量に依存すると考えて、家畜ふん尿 1 トンあたりの窒素含有量原単位[kg-N/t-家畜ふん尿]を都道府県別・家畜種別に作成し、この原単位に家畜種別の畜産バイオマス利用量を乗じることで、家畜ふん尿中の窒素量（全家畜合計で約 9.1 千 t-N）を推計した。大気沈降に伴う N₂O 排出量の計算において、消化液から NH₃ や NO_x として揮発する割合は、0.2 [kg NH₃-N+NO_x-N/kg N]²⁹⁾（合成肥

料は 0.1）を用いた。ここでは、消化液の方が化学肥料より単位窒素量あたりの揮発量が大きいことを考慮している。推計の結果、消化液の農地還元に伴う N₂O 排出量は 52,915t-CO₂-eq であった。

b) 最終処分回避による GHG 削減

埋立回避による GHG 排出削減については、最終処分場運用に伴う CO₂ 排出原単位 (0.0417 t-CO₂/t-埋立処分量)²⁸⁾および埋立地からの CH₄発生原単位 (0.133 t-CH₄/t-埋立処分量)²⁹⁾を用いて推計した。対象となる家畜ふん尿最終処分(重)量は表-2 の最終処分量約 120 万トンであり、燃料使用等による CO₂排出削減量は 48,223t-CO₂、CH₄排出削減量は 3,229,913t-CO₂-eq となった。

c) 消化液利用により回避される化学肥料生産・輸送・農地還元に伴う GHG

消化液中の含有窒素量は a) で算出したように約 9.1 千 t-N であるが、化学肥料の肥効を 1 としたときの消化液の窒素肥効は 0.4 と報告されているため³⁸⁾、消化液利用が約 3.6 千 t-N の化学肥料を代替すると仮定した。推計の結果、消化液に代替される化学肥料の生産に伴う CO₂ 排出削減量は、2,114t-CO₂、また、化学肥料の輸送に伴う CO₂ 排出削減量は、219t-CO₂ と算出された。また、化学肥料の施肥による N₂O 排出量の推計については、窒素量約 3.6 千 t-N から N₂O として変換される量を推計した結果、N₂O 排出量は 19,390t-CO₂-eq と算出された。

d) バイオガス発電による GHG 削減

メタンの燃焼によって得られるエネルギーは全て電力に変換されるものとし、その電力によりプラント内で使用される商用電力を代替するものと設定し、控除される商用電力使用に伴う CO₂ 排出削減量を推計した。CO₂ 排出削減量は、前述の都道府県別家畜種別畜産バイオマス利用量に、家畜種ごとの含水率、バイオガス発生量等を考慮した計算式^{35), 39), 40)} (式(1)) により算出した。

$$Eq = \{Q_{ap} \times (1 - W_{ai}) \times R_i \times V_m \times Q_E \times R_E \div F_k \times F_c\} \quad (1)$$

表-8 バイオガスシステム導入時における温室効果ガスインベントリー（単位：kg-CO₂-eq/t-家畜ふん尿）

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	合計
搬入時燃料消費	1.0	0.0	0.0	1.0
固形分堆積発酵	0.0	1.9	28.7	30.5
施設商用電力	8.8	0.0	0.0	8.8
施設重油消費	10.3	0.0	0.0	10.3
作業用機械燃料消費	1.4	0.0	0.0	1.4
搬出時燃料消費	0.6	0.0	0.0	0.6
散布時燃料消費	2.8	0.0	0.0	2.8
散布後揮発	0.0	0.0	8.9	8.9
合計	24.9	1.9	37.6	64.4

表-9 バイオガス発電による商用電力代替に伴う CO₂削減量計算に用いた係数

	含水率	バイオガス発生量	メタン含有率	メタン発熱量	発電効率	換算係数	CO ₂ 排出係数
畜種	%	m ³ /kg	%	kJ/m ³	%	kJ/kwh	kg-CO ₂ /kwh
乳用牛	86	0.025	60	37,180	25	3600	都道府県別に設定 (5-1-2参照)
肉用牛	78	0.030					
豚	72	0.050					
採卵鶏	70	0.050					
肉用鶏	-	-					

E_q : 商用電力代替に伴う CO_2 排出削減量 $[\text{kg-CO}_2]$
 Q_{ap} : 家畜種別の畜産バイオマス利用可能量 $[\text{kg}]$
 W_{ai} : 家畜種 i の家畜ふん尿含水率
 R_i : 家畜種 i の単位ふん尿重量あたりのバイオガス発生量 $[\text{m}^3/\text{kg}]$
 V_m : バイオガス中のメタン含有率 = 0.6
 Q_E : 単位体積あたりのメタン発熱量 = $37,180 [\text{kJ}/\text{m}^3]$
 RE : 発電効率 = 0.25
 F_k : 熱量換算係数 = $3,600 [\text{kJ}/\text{kWh}]$
 F_c : 電力 CO_2 排出係数 $[\text{kg-CO}_2/\text{kWh}]$ (都道府県別)

計算に用いた係数の一覧を表-9 に示す。バイオガス発電により総計 $6,113\text{t-CO}_2$ の CO_2 が削減されると推計された。

e) GHG 排出量の収支 (表-10)

GHG は約 319 万 $\text{t-CO}_2\text{-eq}$ 削減され、最終処分量は約 116 万トン削減されるという結果が得られた。GHG 排出面では、埋立地から発生する CH_4 排出を回避したことによる削減量が圧倒的に大きな寄与を占めていた。消化液の農地還元(施肥)に伴う GHG 排出量が化学肥料のそれより 3 倍近く大きい理由としては、化学肥料は窒素肥効が高い分投入窒素量が少なく済むことが考えられる。また、バイオガス発電による発電分はプラント内で消費される電力とほぼ相殺されるため、発電による商用電力代替効果は限定的であるが、発電によって GWP の大きい CH_4 の排出を回避するため、 CH_4 回収・利用による GHG 削減のインパクトは大きいことがわかった。

現在、化学肥料による窒素投入量は約 60 万トン³⁵⁾であるが、本節で述べた消化液利用によって約 0.9 万トンの化学肥料が、さらに(1)で推計した食品系バイオマス(動植物性残渣)利用によって約 2.6 万トンの化学肥料が代替される。したがって、マクロ的には廃棄物バイオ

表-10 BS導入によるGHG排出量の収支

		温室効果ガス 排出量
		$\text{t-CO}_2\text{-eq}$
BS導入 ルート	収集	-
	堆積発酵	35,319
	プラント稼働	22,062
	搬出輸送	717
	消化液散布	3,245
	農地還元	52,915
最終処分 ルート	バイオガス発電	-6,113
	埋立地への輸送	-
バージン ルート	埋立	-3,278,136
	化学肥料の 生産・輸送	-2,333
	化学肥料の 農地還元	-19,390
合計		-3,191,715

マス利用による窒素供給過剰が起こらないように見えるが、ミクロな地域レベルで窒素の需給バランスを検討すると窒素過剰が起こる可能性⁴¹⁾に留意する必要がある。

(3) ガラス原材料としてのマテリアルリサイクル

ガラス陶磁器くずの再生利用量約 210 万トン(表-2)のうち、ガラス原材料としてマテリアルリサイクルされる量は約 5%の 10 万トン程度であり、約 70%は建設材料としてリサイクルされている。これら「現状の再生利用量」に対するリサイクル用途別割合は、各都道府県公表の産業廃棄物実態調査における廃棄物用途別再生利用量の表から算出した廃棄物ごとの再資源用途転換率の全国平均値である。この「現状のガラス原材料としてのマテリアルリサイクル率 5%」を減容化・自己保管量および最終処分量の合計値約 230 万トン(表-2)に乗じた約 14 万トンをマテリアルリサイクル可能量と仮定し、この全量をガラスびん原材料としてマテリアルリサイクルすることを検討した。

a) リサイクル時の GHG 排出

リサイクルにおけるマテリアルフローを図-3 に示す。マテリアルロス(異物除去量)⁴²⁾は、7%(約 0.9 万トン)とした。マテリアルリサイクルすることによる再生資源化施設までの輸送に伴う環境負荷と、廃棄物処理による焼却施設までの輸送に伴う環境負荷は同等であると見なし、これら一次輸送に伴う環境負荷は互いに相殺されるものとした。同様に、マテリアルリサイクルルートにおけるカレット輸送に伴う環境負荷と、バージンルートにおける天然資源輸送に伴う環境負荷も互いに相殺されるものとした。ガラス陶磁器くずのマテリアルリサイクル処理における電力消費量原単位⁴³⁾および燃料消費量原単位⁴⁴⁾を表-11 に示す。ガラス陶磁器くずの手選別過程では、リサイクル処理投入ガラス量に歩留まりを乗じた値に選別時の電力使用量および電力使用に伴う GHG 排出原単位を乗じて GHG 排出量を算出した結果、11 t-CO_2 の CO_2 が排出されると推計された。同様に、色選別過程では 19t-CO_2 、カレット業者への輸送過程では 188t-CO_2 、カレットの破碎過程では電力使用および軽油使用に伴う CO_2 排出量合計として 609t-CO_2 、異物除去過程では 20t-CO_2 、製びん過程では $62,800\text{t-CO}_2$ と推計された。また、マテリアルリサイクル時に発生する異物に関して

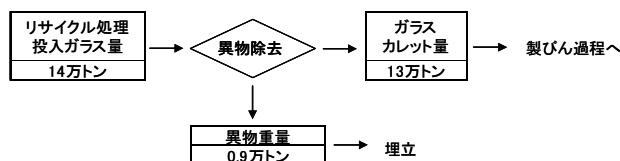


図-3 ガラス陶磁器くずのマテリアルリサイクルにおけるマテリアルフロー

表-11 ガラス陶磁器くずのマテリアルリサイクル処理における電力消費量原単位および燃料消費量原単位

		単位	使用エネルギー	備考
収集(一次輸送)	-	-	軽油	
手選別	0.21	kWh/t-glass scrap	電力	
色選別	0.37	kWh/t-glass scrap	電力	
二次輸送 (カレット業者へ)	1.32	kg-CO ₂ /t-glass scrap	軽油	
破碎	5.54	kWh/t-glass scrap	電力	
	0.85	L/t-glass scrap	軽油	
異物除去	0.29	kWh/t-glass scrap	電力	(バキューム)
	0.09	kWh/t-glass scrap	電力	(金属検出器)
	歩留まり	93.72	%	
製びん	143	kWh/t-glass scrap	電力	
	113	L/t-glass scrap	B重油	
	10.5	kg/t-glass scrap	LPG	
	6.3	kg/t-glass scrap	LNG	

は、全量埋立処分されるものと仮定した。異物発生量は全国合計で 8,917 トンと推計され、GHG 排出量は埋立地への輸送過程で 7t-CO₂ 排出される。

b) バージンルート回避による GHG 削減

ガラス 1 トンの生産に伴って消費されるケイ砂の量は 0.776 トン、石灰石 0.178 トンと報告されている⁴⁾。これより、マテリアルリサイクル導入時にガラスカレットを使用することによって削減される天然資源は、ケイ砂で約 10 万トン、石灰石で約 2.4 万トンと推計された。また、ケイ砂の採掘に伴う電力および軽油使用によって発生する CO₂ 排出量は 7.854[kg-CO₂/t-ケイ砂]⁴⁾、石灰石の採掘では 2.181[kg-CO₂/t-石灰石]⁴⁾と報告されているため、これらの値を用いて天然資源の採掘に伴う CO₂ 排出量を推計した結果、ケイ砂の採掘で 1,043t-CO₂、石灰石の採掘で 52t-CO₂ の GHG が排出されていることがわかった。

カレット利用によって原材料溶融温度が下がるため、「カレット使用比率を 1%増加させると、ガラスびん製造のためのエネルギー消費量は 0.25%節約できる」⁴⁾という仮定に基づいて、カレット 100%利用リサイクル製びん過程のエネルギー消費量はバージンルートによる製びん過程エネルギー消費量の 25%削減になることとし、バージンルートの製びん過程の CO₂ 排出量 81,244t-CO₂ を推計した。さらに、バージンルートからの製びん製造には石灰石とソーダー灰が使用されるため、これら原材料起源の CO₂ 排出についても削減効果の対象となる。バージンルートでガラスびん 1 トンを製造するためには、ソーダー灰 0.202 トン、石灰石は 0.178 トン必要であり、これら原材料起源の CO₂ 排出量はソーダー灰で 84.3[kg-CO₂/t-ガラスびん]、石灰石で 77[kg-CO₂/t-ガラスびん]⁴⁾である。以上より、原材料が起源の CO₂ 排出量は合計で 21,473t-CO₂ であった。

c) 廃棄物処理・処分ルート回避による GHG 削減

焼却施設で 0.028[t-不純物/t-ガラス陶磁器くず]⁴⁾の不純物が焼却され、焼却残渣および残りのガラス陶磁器く

ずは埋立地に輸送(二次輸送)される。不純物の組成は不明であるため、全産業廃棄物の燃え殻発生量を全産業廃棄物の焼却量で除した燃え殻発生率 0.0183[t-燃え殻/t-廃棄物]を用い、不純物の焼却残渣発生量を算出した。

また、焼却残渣およびガラス陶磁器くずの埋立地までの輸送に伴う CO₂ 排出量原単位は、0.83[kg-CO₂/t-ガラス陶磁器くず]⁴⁾を用いた。推計の結果、不純物発生量は全国合計で 3,982t、不純物焼却残渣発生量は 73t であり、焼却過程では 191t-CO₂ の CO₂ が排出されていると推計された。また、埋立地への輸送過程では 118t-CO₂ と推計された。埋立処分に伴う温室効果ガス排出については、ガラス陶磁器くずおよび焼却残渣の埋立が浸出水処理に与える影響が微小であることから計上しなかった。最終処分場運用に伴う CO₂ 排出原単位の内訳の大部分は、浸出水処理に関連するものとされている²⁹⁾。

d) GHG 排出量の収支(表-12)

ガラス陶磁器くずのマテリアルリサイクルによって GHG 排出量は約 4 万 t-CO₂-eq 削減され、最終処分量は約 13 万トン削減されるという結果が得られた。GHG 排出面では、ガラスカレットを製びん工程に使用したことによるエネルギー節約、および天然資源由来の原材料に含まれる炭素分の放出回避による削減効果が大いという結果が得られた。また、マテリアルリサイクル導入後における資源需給バランスの変化を考察すると、平成 17 年度では、バージン原料が 60 万トン、廃棄物由来のカレット 90 万トンと工場内で発生するカレット 47 万トンを合わせて 137 万トンとなっている。マテリアルリサイクルによる 13 万トンの再生カレットが投入されることにより、バージン原料投入は 47 万トンに減少する。

(4) 紙くずのマテリアルリサイクル

紙くずの再生利用量約 110 万トン(表-2)のうち、紙・パルプ原材料としてマテリアルリサイクルされる量は約 90%(3)と同様の各都道府県公表の産業廃棄物実

表-12 ガラス陶磁器くずのマテリアルリサイクルによる GHG 排出量の収支

		温室効果ガス 排出量
		t-CO ₂ -eq
マテリアル リサイクル ルート	一次輸送 (再資源化施設へ)	-
	手選別	11
	色選別	19
	二次輸送 (カレット業者へ)	188
	破碎	609
	異物除去	20
	カレット輸送	-
	製びん	62,800
	異物輸送 (埋立地へ)	7
バージン ルート	天然資源採掘	-1,059
	天然資源輸送	-
	製びん	-81,244
	原材料	-21,473
処理・処分 ルート	一次輸送 (焼却施設へ)	-
	不純物焼却	-191
	二次輸送 (埋立地へ)	-118
	合計	-40,431

態調査における廃棄物用途別再生利用量の表から算出した廃棄物ごとの再資源用途転換率の全国平均値)の100万トン程度である。ここでは、紙くずの減容化・自己保管量および最終処分量の合計値約82万トン(表-2)のうち、現状の紙・パルプ原材料としてのマテリアルリサイクル率90%を乗じた約72万トンをマテリアルリサイクル可能量と仮定し、この全量を紙・パルプ原材料としてマテリアルリサイクルすることを検討した。

a) リサイクル時の GHG 排出

紙くず回収における GHG 排出に関しては、廃棄物としての処理・処分ルートにおける一次輸送に伴う GHG 排出と同等と見なすため計上しない。紙くずから古紙パルプを生産する過程では、紙くず投入量から収率85%⁴⁹⁾(マテリアルロス、15%の約11万トン)で古紙パルプが生成され、生成パルプ1トンあたりの投入エネルギーは、蒸気消費量で2.65[t-蒸気/t-パルプ]、電力消費量で682[kWh/t-パルプ]⁴⁹⁾が必要とされている。ここで、蒸気生産に使用される燃料はC重油であり、蒸気1トンの生産に使用されるC重油は、69[kg-C重油/t-蒸気]⁴⁹⁾である。これをC重油の比重を考慮してリットル換算し、重油使用に伴うCO₂排出量原単位(2.96[kg-CO₂/L])⁴⁷⁾を乗じることで、蒸気使用に伴うパルプ1トンあたりのCO₂排出量(22.3[kg-CO₂/t-パルプ])を算出した。推計の結果、電力消費によるCO₂排出量が65,236t-CO₂、蒸気消費によるCO₂排出量は13,672t-CO₂であった。

b) バージンルート回避による GHG 削減

2000年における紙・パルプ製造における木材チップの供給状況は、輸入品：国産品=7：3⁴⁸⁾であり、この比率でバージンパルプが供給されるものと考え、輸入チップ生産・輸送に伴うGHG排出と国産チップの生産・輸送に伴うGHG排出を個別に計上した。

まず、輸入に関しては、「木材の伐採→木材輸送(製材工場まで)→チップング」に伴うGHG排出量原単位は、0.047[t-CO₂/t-チップ]⁴²⁾を用い(木材伐採地はアメリカおよびカナダとする)、チップの輸送に伴うGHG排出量原単位は、0.073[t-CO₂/t-チップ]⁴⁹⁾を用いた。マテリアルリサイクルによって紙くずから得られる古紙パルプと等量のバージンパルプを得るために必要なパルプ材は約116万トンであり、このうち7割の約81万トンが輸入チップで賄われる。したがって、「木材の伐採→木材輸送(製材工場まで)→チップング」に伴うGHG排出量は37,987t-CO₂、チップの輸送に伴うGHG排出量58,794t-CO₂と推計された。

次に、国産チップの「木材の伐採→木材輸送(製材工場まで)→チップング」に伴うGHG排出量の推計に関しては、2000年の産業連関分析(3EID、生産者価格ベース)³²⁾によるCO₂排出量原単位(列部門名：木材チップ、(I-(I-M)A)¹⁾型)および3EIDの付録である環境負荷原単位と品目別国内生産額との対応表(2000)³³⁾を用いた。なお、この対応表は、木材の基本単位が体積表示されているため、容積密度換算係数[0.5t/m³]⁴⁹⁾を用いて基本単位を重量に変換した。また、対応表には木材チップとして利用される針葉樹と広葉樹の生産数量が示されているため、国産チップを針葉樹と広葉樹の生産数量比で按分し、チップ製造に伴うそれぞれの樹木別生産額を算出した。この生産額にCO₂排出量原単位を乗じた結果、針葉樹・広葉樹の合計で8,361t-CO₂と推計された。

バージンパルプ製造過程では、木材チップ投入量からクラフトパルプ(KP)では収率48%で、メカニカルパルプ(MP)では収率95%で⁴⁵⁾バージンパルプが製造され、日本ではKPとMPの生産比は8：2⁵⁰⁾である。この比率を考慮しながら生成パルプ1トンあたりの投入エネルギーを算出すると、蒸気消費量で2.03[t-蒸気/t-パルプ]、キルン燃料で、36.1[L/t-パルプ]、電力消費量で644[kWh/t-パルプ]⁴⁹⁾であった。古紙パルプ生産の場合と同様に、蒸気およびキルン燃料はC重油換算し、バージンパルプ製造に伴うCO₂排出量を推計した結果、合計で481,291t-CO₂と算出された。しかし、KPによるバージンパルプ製造過程では、副産物である黒液を回収・エネルギー利用するため、黒液のエネルギー回収分は差し引く必要がある。黒液のエネルギー利用は電熱併給であるため、バージンパルプ製造における電力分および燃料

分を共に代替する。黒液のエネルギー供給量は、蒸気供給量で 3.49[t-蒸気/t-パルプ]、電力供給量で 688[kWh/t-パルプ]⁴⁵⁾であり、バージンパルプ製造過程で余剰となるエネルギーは、後工程の各種紙製造エネルギーへ投入されるが、本研究ではシステム境界をパルプ製造までとしているため、余剰エネルギーは天然資源換算し削減される CO₂排出量として計上する。推計の結果、黒液利用によって、615,866t-CO₂ が削減されていると算出された。

c) 廃棄物処理・処分ルート回避による GHG 削減

紙くずは焼却処理されるものと直接最終処分されるものがある。焼却処理ルートにおける紙くずの一次輸送とは焼却施設までの輸送を指し、最終処分ルートにおける一次輸送とは最終処分場までの輸送を指すが、これらの輸送に伴う CO₂排出はリサイクル時の輸送と同等とみなし計上しない。焼却処理ルートでは、紙くずは焼却施設で全量焼却され、焼却残渣は埋立地に輸送（二次輸送）される。紙は再生可能資源である木材から生産されるため、紙くず中の炭素から発生する CO₂排出量は、カーボンニュートラルの考え方によって計上しない。したがって、CO₂排出に関しては、焼却における電力・燃料消費に伴う CO₂排出量のみを考慮し、焼却に伴って発生する CH₄ および N₂O に関しては全量考慮する。焼却量、焼却残渣発生量、焼却による GHG 排出量の推計に関しては (1)c) で述べた手順と同様であり、紙くず焼却量は全国合計で約 62 万トン、焼却残渣発生量は約 5.4 万トンであった。また、焼却過程における CO₂排出量は 46,364t-CO₂、CH₄ 排出量は CO₂換算で 603t-CO₂-eq、N₂O 排出量は CO₂換算で 10,582t-CO₂-eq と推計された。さらに、紙くず焼却残渣の埋立地までの輸送に伴う CO₂ 排出量原単位 (0.92 [kg-CO₂/t-焼却残渣]⁴⁶⁾) を用いて、埋立地への輸送過程で排出される CO₂ 量を推計した結果 50t-CO₂ であった。加えて、埋立地における重機使用および浸出水処理に伴う CO₂排出量は、紙くず最終処分量および紙くず焼却残渣発生量の合計値に埋立処分量 1 トンあたりの CO₂ 排出量原単位 (0.0417 t-CO₂/t-埋立処分量)²⁹⁾ を乗じて推計した結果 6,510t-CO₂、埋立地からの CH₄排出量は、紙くず最終処分量に紙くずの CH₄ 排出量原単位²⁹⁾ (0.138t-CH₄/t-紙くず) を乗じることで推計した結果、CO₂換算で 295,868t-CO₂-eq と推計された。

d) GHG 排出量の収支 (表-13)

紙くずのマテリアルリサイクルによって、GHG 排出量は約 25 万 t-CO₂-eq 削減され、最終処分量は約 16 万トン削減されるという結果が得られた。廃棄物としての処理・処分ルートを考慮しない場合、バージンパルプ生産における黒液回収の効果によって、古紙パルプの利用は GHG 排出面において不利になるが、処理処分ルートまで含めて評価した場合に有利となる。特に、有機性廃棄

表-13 紙くずのマテリアルリサイクルによる GHG 排出量の収支

		温室効果ガス 排出量
		t-CO ₂ -eq
マテリアル リサイクル ルート	紙くず回収	-
	古紙パルプ製造	78,907
バージン ルート	木材伐採 ～チップ輸送(輸入)	-96,781
	木材伐採 ～チップ輸送(国産)	-8,361
	バージンパルプ製造	-481,291
	黒液	615,866
処理・処 分 ルート	一次輸送 (焼却施設または 埋立地への輸送)	-
	焼却(CO ₂)	-46,364
	焼却(CH ₄ , N ₂ O)	-11,184
	二次輸送 (焼却残渣の 埋立地への輸送)	-50
	埋立	-302,378
合計		-251,636

物の埋立回避による CO₂削減効果が大きく寄与している。また、3EID³²⁾によると、紙・パルプ部門からの CO₂排出量は約 1,800 万 t-CO₂であるため、紙くずのマテリアルリサイクルによる GHG 削減効果は 1%強程度である。一方、マテリアルリサイクル導入後の古紙利用率を試算すると、2000 年ベースで導入前 57%から導入後 59%と 2%増にしかない。これは、産業廃棄物としての紙の排出が少ないためと考えられる。紙ごみに関しては、一般廃棄物からの資源化量の方が産業廃棄物の資源化量の 2 倍以上であることから、紙ごみの有効利用ポテンシャルは一般廃棄物の方が大きいと考えられる。

(5) 木くずのパルプ材としての利用

木くずの再生利用量約 280 万トン (表-2) のうち、紙・パルプ原材料としてマテリアルリサイクルされる量は約 25% ((3) と同様の各都道府県公表の産業廃棄物実態調査における廃棄物用途別再生利用量の表から算出した廃棄物ごとの再資源用途転換率の全国平均値) の 70 万トン程度である。ここでは、木くずの減容化・自己保管量および最終処分量の合計値約 300 万トン (表-2) のうち、現状の紙・パルプ原材料としてのリサイクル率 25% を乗じた約 74 万トン をリサイクル可能量と仮定し、この全量を紙・パルプ原材料としてリサイクルすることを検討した。なお、(1) の動植物性残渣堆肥化シナリオで設定した「堆肥化に必要な添加剤としての木くずは約 90 万トンであり、ここで検討する紙・パルプ原材料としてリサイクル対象とする木くずとは競合していない。

表-14 木くずのパルプ材としてのリサイクルによる GHG 排出量の収支

		温室効果 ガス排出量
		t-CO ₂ -eq
リサイクル ルート	木くず回収	-
	廃木材パルプ製造	-
バージン ルート	木材伐採 ～チップ輸送(輸入)	-61,993
	木材伐採 ～チップ輸送(国産)	-5,355
	バージンパルプ製造	-
	黒液	-
処理・処分 ルート	一次輸送 (焼却施設または 埋立地への輸送)	-
	焼却(CO ₂)	-44,385
	焼却(CH ₄ N ₂ O)	-26,676
	二次輸送 (焼却残渣の 埋立地への輸送)	-37
	埋立	-298,929
	合計	-437,375

a) リサイクル時の GHG 排出

木くず回収における CO₂ 排出量に関しては、(4)と同様に、廃棄物としての処理・処分ルートにおける一次輸送に伴う CO₂ 排出と同等と見なすため計上しない。また、木くずからパルプを生産する過程の CO₂ 排出についても、木材からバージンパルプを生産する過程で生じる CO₂ 排出と同等であるため計上しない。

b) バージンルート回避による GHG 削減

推計手法は、(4)b)と同様である。輸入チップ利用に伴う CO₂ 排出量は、「木材伐採～チップ輸送」工程の合計で 61,993t-CO₂、国産チップの同工程で 5,355t-CO₂ と推計された。また、黒液については、リサイクルルートにおいても同量発生するため、黒液から得られるエネルギーは互いに相殺される。

c) 廃棄物処理・処分ルート回避による GHG 削減

木くずは焼却処理されるものと直接最終処分されるものがある。焼却処理ルートにおける木くずの一次輸送とは焼却施設までの輸送を指し、最終処分ルートにおける一次輸送とは最終処分場までの輸送を指すが、これらの輸送に伴う CO₂ 排出は、(4)と同様に計上しない。(4)c)と同様に推計した結果、木くず焼却量は全国合計で約 64 万トン、焼却残渣発生量は約 4 万トンであった。また、(1)c)で設定した焼却方法に準じて計算すると、焼却過程における CO₂ 排出量は 44,385t-CO₂、CH₄ 排出量は CO₂ 換算で 485t-CO₂-eq、N₂O 排出量は CO₂ 換算で 26,192t-CO₂-eq と推計された。さらに、埋立地への輸送過程で排出される CO₂ 量を推計した結果 37t-CO₂ であった。加えて、埋立地における重機使用および浸出水処理に伴う

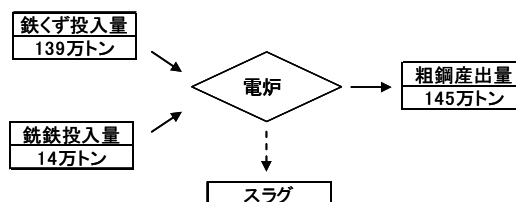


図-4 鉄原料としてのマテリアルリサイクルにおけるマテリアルフロー

CO₂は、5,871t-CO₂、最終処分場における CH₄ 排出量は、CO₂ 換算で 293,058t-CO₂-eq と推計された。

d) GHG 排出量の収支 (表-14)

木くずのマテリアルリサイクルによって、GHG 排出量は約 44 万 t-CO₂-eq 削減され、最終処分量は約 14 万トン削減されるという結果が得られた。特に、有機性廃棄物の埋立回避による CH₄ 削減効果および木材輸入回避による CO₂ 削減効果が大きく寄与している。3EID³²⁾によると 2000 年の紙・パルプ業からの GHG 排出量は約 1800 万 t-CO₂-eq であることから、木くずのマテリアルリサイクルおよび(4)で推計した紙くずのマテリアルリサイクルによる合計の GHG 削減効果は4%程度となる。

(6) 鉄原料としてのマテリアルリサイクル

金属くずの再生利用量約 660 万トンのうち鉄原材料としてマテリアルリサイクルされる量は 80%の約 530 万トン、鋳さいの再生利用量約 1,900 万トンのうち鉄原材料としてマテリアルリサイクルされる量は 15%の約 300 万トン、ばいじんの再生利用量約 860 万トンのうち鉄原材料としてマテリアルリサイクルされる量は 10%の 90 万トン程度である (いずれも(3)と同様の各都道府県公表の産業廃棄物実態調査における廃棄物用途別再生利用量の表から算出した廃棄物ごとの再資源用途転換率の全国平均値)。ここでは、金属くず・鋳さい・ばいじんの減容化・自己保管量および最終処分量の合計値約 630 万トン(表-2 参照、金属くず約 89 万トン、鋳さい約 294 万トン、ばいじん約 249 万トン)のうち、現状の鉄原材料としてのマテリアルリサイクル率(金属くず: 80%、鋳さい: 15%、ばいじん: 10%)を乗じた合計約 140 万トンをマテリアルリサイクル可能量と仮定し、この全量を鉄原材料としてマテリアルリサイクルすることを検討した。

a) リサイクル時の GHG 排出

リサイクルにおけるマテリアルフローを図-4 に示す。マテリアルロス(約 0.7%⁴²⁾ (1 万トン)とした。スチール缶のリサイクルに要する電力・燃料消費量⁴³⁾を参考に、マテリアルリサイクル処理における電力消費量原単位および燃料消費量原単位を設定した(表-15)。マテ

リアルリサイクルルートにおける一次輸送に関しては、最終処分ルートにおける一次輸送に伴う CO₂排出と同等と見なすため、これらは互いに相殺される。同様に、資源化された鉄くずのメーカーまでの輸送に伴う CO₂排出は、天然資源の国内輸送に伴う CO₂排出で互いに相殺される。ただし、再資源化された鉄くずが転炉（バージンルート）に投入される際は、一次輸送および三次輸送由来の CO₂排出まで遡及した鉄くず利用に伴う GHG 排出原単位を用いる。再資源化処理過程で排出される GHG は合計で 45,136t-CO₂ と推計された。

マテリアルリサイクルルートの粗鋼製造方法では、主に電炉法（電炉→粗鋼）が用いられ、投入鉄くず約 139 万トンおよび銑鉄 14 万トンから粗鋼約 145 万トンが製造される（図-4）。燃料消費、電力消費それぞれに伴う CO₂排出原単位⁵¹⁾に基づき推計した結果、燃料消費による CO₂排出量は 22,669t-CO₂、電力消費で 231,717t-CO₂ と算出された。また、電炉では一部銑鉄が投入されるため、バージンルートによる銑鉄製造までの GHG を計上した結果、銑鉄利用に伴う GHG 排出量は 154,166t-CO₂ と算出された。

b) バージンルート回避による GHG 削減

粗鋼 1 トンの生産に伴って消費される鉄鉱石の量は 1.53 トン、原料炭の量は 0.614 トンと報告⁵¹⁾されており、鉄くずを使用することによって削減される天然資源消費は、鉄鉱石で約 220 万トン、原料炭で約 90 万トンと推計された。また、鉄鉱石の採掘に伴う電力および重油使用によって発生する CO₂排出量は 57.8[kg-CO₂/t-鉄鉱石]（輸入相手国平均値）⁴²⁾、原料炭の採掘では 78.8[kg-CO₂/t-原料炭]（輸入相手国平均値）⁴³⁾と報告されているため、これらの値を用いて天然資源の採掘に伴う CO₂排出量を推計した結果、鉄鉱石の採掘で 128,133t-CO₂、原料炭の採掘で 70,063t-CO₂ が排出されていることがわかった。

バージン資源の粗鋼製造方法は、主に粗鋼一貫法（コークス炉→高炉→転炉→粗鋼）が用いられている。投入原料炭約 90 万トンからコークス約 61 万トンが製造されるが、その際主に石炭の燃焼で CO₂が排出される。副生

ガスとして排出される炭素分を差し引くと⁵²⁾、コークス 1 トンあたり 1.02[t-CO₂/t-コークス]⁵¹⁾の CO₂排出があり、石炭由来の CO₂排出量の総和は 627,157t-CO₂であった。また、軽油使用量は 4.3[L/kg-コークス]⁵¹⁾であり CO₂排出量は 7,028t-CO₂、さらに後工程の高炉で発生する高炉ガス(BFG)もこのコークス炉で利用される。コークス 1 トンあたりの BFG 利用量は 0.58 [m³/t-コークス]⁵¹⁾であり、これに CO₂排出原単位およびコークス重量を乗じると、BFG 由来の CO₂排出量は 127,158t-CO₂と算出された。コークス炉において使用される電力については、原単位 0.038[kWh/t-コークス]⁵¹⁾にコークス産出重量および電力消費に伴う CO₂排出係数を乗じて推計した結果、電力由来の CO₂排出量は 35,280t-CO₂となった。

コークス炉で製造されたコークスは、鉄鉱石と共に高炉へ投入され銑鉄が製造される。投入されるコークス約 61 万トンおよび鉄鉱石約 220 万トンから銑鉄約 149 万トンが製造される。コークス等の原料消費、燃料消費、副生ガス利用、電力消費それぞれに伴う CO₂排出原単位⁵¹⁾に基づいて推計した結果、コークス等の原料消費に伴う CO₂排出量は 678,499t-CO₂、燃料消費に伴う CO₂排出量は 44,590t-CO₂、副生ガス利用で 35,671t-CO₂、電力消費で 142,982t-CO₂と算出された。

高炉で製造された銑鉄は、鉄くずと共に転炉へ投入され粗鋼が製造される。投入される銑鉄約 149 万トンおよび鉄くず約 15 万トンから粗鋼約 145 万トンが製造される。燃料消費、副生ガス利用、電力消費それぞれに伴う CO₂排出原単位⁵¹⁾に基づいて推計した結果、燃料消費に伴う CO₂排出量は 4,387t-CO₂、副生ガス利用に伴う CO₂排出量は 5,766t-CO₂、電力消費で 110,563t-CO₂と算出された。さらに、マテリアルリサイクルルートで推計した鉄くずの利用に伴う GHG 排出量 0.075[t-CO₂/t-鉄くず]を計上すると 10,964t-CO₂と推計された。

c) 廃棄物処理・処分ルート回避による GHG 削減

処理・処分ルートにおける鉄くずの一次輸送に伴う CO₂排出は、a)で述べたように計上しない。その後、焼却施設で 0.029[t-不純物/t-鉄くず]⁴²⁾の不純物が焼却され、焼却残渣および残りの鉄くずは埋立地に輸送（二次輸送）される。不純物の組成は不明であるため、全産業廃棄物の燃え殻発生量を全産業廃棄物の焼却量で除した燃え殻発生率 0.0183[t-燃え殻/t-廃棄物]を用い、不純物の焼却残渣発生量を算出した。また、焼却残渣および鉄くずの埋立地までの輸送に伴う CO₂排出量原単位は、0.82[kg-CO₂/t-鉄くず]⁴²⁾を用いた。推計の結果、不純物発生量は全国合計で 40,523 トン、不純物焼却残渣発生量は 742 トンであった。ここで、(1)c)で設定した焼却方法に準じて計算すると、焼却過程では 2,164t-CO₂と推計された。また、埋立地への輸送過程では 1,105t-CO₂と推

表-15 鉄原料としてのマテリアルリサイクル処理各工程における燃料・電力消費原単位

		値	単位	使用エネルギー
マテリアルリサイクルルート 再資源化処理工程	収集※（一次輸送）	37.27	kg-CO ₂ /t-scrap	軽油
	手選別	0.21	kWh/t-scrap	電力
	磁選別	0.28	kWh/t-scrap	電力
	プレス	14.04	kWh/t-scrap	電力
	二次輸送（問屋へ）	1.68	kg-CO ₂ /t-scrap	軽油
	破碎	60.00	kWh/t-scrap	電力
	磁選別	0.28	kWh/t-scrap	電力
	三次輸送※（メーカーへ）	7.23	kg-CO ₂ /t-scrap	軽油

表-16 鉄くずのマテリアルリサイクルによる GHG 排出量の収支

		温室効果 ガス排出量
		t-CO ₂ -eq
マテリアル リサイクル ルート	鉄くず回収(※)	-
	再資源化処理	45,136
	三次輸送(※)	-
	(メーカーへの輸送)	
	電炉	408,552
バージン ルート	天然資源採掘・輸送 (鉄鉱石・原料炭)	-198,197
	コークス炉	-796,623
	高炉	-901,742
	転炉	-131,680
処理・処分 ルート	一次輸送 (焼却施設への輸送)	-
	不純物焼却	-2,164
	二次輸送 (埋立地へ)	-1,105
	合計	-1,577,822

注：鉄くずの転炉投入の際は※も考慮した原単位を使用している

計された。埋立処分に伴う温室効果ガス排出については、(3)c)と同様に、鉄くずおよび焼却残渣の埋立が浸出水処理に与える影響が微小であることから計上しなかった。

d) GHG 排出量の収支 (表-16)

鉄くずのマテリアルリサイクルによって、GHG 排出量は約 158 万 t-CO₂-eq 削減され、最終処分量は約 135 万トン削減されるという結果が得られた。GHG の側面から考察すると、粗鋼の製造段階における削減量が非常に大きい。これは、鉄スクラップを用いて粗鋼を製造する方法と天然資源を用いて製造する方法で GHG 排出量が異なるためである。また、3EID³²⁾によると 2000 年の鉄鋼業からの GHG 排出量は約 1.6 億 t-CO₂-eq であることから、鉄くずのマテリアルリサイクルによる GHG 削減効果は 1%程度である。また、現在の粗鋼生産量は転炉鋼が約 7,000 万トン、電炉鋼が約 3,000 万トンということを考慮すると、最終処分物からのマテリアルリサイクルによる粗鋼生産量 145 万トンが、粗鋼の需給バランスに与える影響は比較的小さいと考えられる。

(7) アルミニウム原料としてのマテリアルリサイクル

金属くずの再生利用量約 660 万トンのうち非鉄金属原材料としてマテリアルリサイクルされる量は 7%の約 46 万トン、鋳さいの再生利用量約 1,900 万トンのうち非鉄金属原材料としてマテリアルリサイクルされる量は 2%の約 38 万トン、ばいじんの再生利用量約 860 万トンのうち非鉄金属原材料としてマテリアルリサイクルされる量は 9%の 77 万トン程度である (いずれも(3)と同様の各都道府県公表の産業廃棄物実態調査における廃棄物用

表-17 非鉄金属のマテリアルリサイクル処理各工程における燃料・電力消費原単位

		値	単位	使用 エネルギー
マテリアル リサイクル ルート	収集 (一次輸送)	110.2	kg-CO ₂ /t-scrap	軽油
	手選別	0.21	kWh/t-scrap	電力
	磁選別	0.28	kWh/t-scrap	電力
	プレス	38.57	kWh/t-scrap	電力
	二次輸送 (問屋へ)	1.29	kg-CO ₂ /t-scrap	軽油
再資源化 処理工程	破碎・磁選別	28.50	kWh/t-scrap	電力
	三次輸送 (メーカーへ)	13.27	kg-CO ₂ /t-scrap	軽油
	歩留まり		99	%
再生地金 製造		90	kwh/t-scrap	電力
		10	kg/t-scrap	LPG
		80	L/t-scrap	A重油
	歩留まり		88	%

途別再生利用量の表から算出した廃棄物ごとの再資源用途転換率の全国平均値)。ここでは、金属くず・鋳さい・ばいじんの減容化・自己保管量および最終処分量の合計値約 630 万トン (表-2 参照、金属くず約 89 万トン、鋳さい約 294 万トン、ばいじん約 249 万トン) のうち、現状の非鉄金属原材料としてのマテリアルリサイクル率 (金属くず：7%、鋳さい：2%、ばいじん：9%) を乗じた約 33 万トンを非鉄金属マテリアルリサイクル可能量と仮定し、これにアルミニウム構成比率 65%³³⁾を乗じた 21 万トンをアルミ原材料としてマテリアルリサイクルすることを検討した。

a) リサイクル時の GHG 排出量の推計

リサイクルにおけるマテリアルフローを図-5 に示す。マテリアルロスは、約 1%⁴²⁾ (0.2 万トン) とした。マテリアルリサイクルルートにおける一次輸送に伴う CO₂ 排出に関しては、廃棄物としての処理・処分ルートにおける一次輸送に伴う CO₂ 排出と同等と見なすため、これらは互いに相殺される。同様に、資源化されたアルミ原材料のメーカーまでの輸送に伴う CO₂ 排出は、アルミ新地金の国内輸送に伴う CO₂ 排出で互いに相殺される。アルミ缶のリサイクルに要する電力・燃料消費量^{43), 54)}を非鉄金属くず中のアルミニウムの再資源化処理工程における代表値 (表-17) として適用した上で、再資源化処理過程で排出される GHG は合計で 6,978t-CO₂、再生地金製造過程で 63,424t-CO₂ と推計された。また、マテリアルリサイクル時に発生する異物に関しては、再資源化処理工程で発生した異物のみ考慮し、再生地金製造段階で発生した異物は考慮しない。再資源化処理工程で発生した異物は全量埋立処理されるものと仮定した。異物発生量は全国合計で 2,143 トンと推計され、GHG 排出量は埋立地への輸送過程で 2t-CO₂ と推計された。

b) バージンルート回避による GHG 削減

アルミ新地金 1 トンの生産に伴って消費されるボーキ

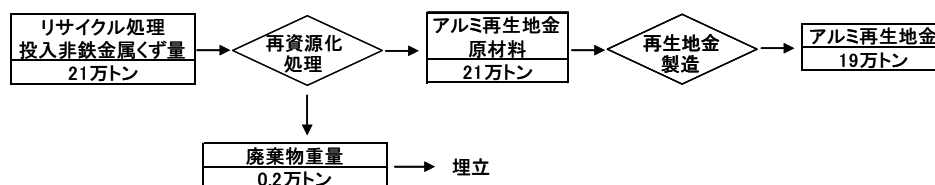


図-5 非鉄金属くずのマテリアルリサイクルルートにおけるマテリアルフロー

サイトの量は 4.162 トンと報告⁴²⁾されている。したがって、マテリアルリサイクル導入時にアルミ再生地金を使用することによって削減されるボーキサイトは、約 79 万トンと推計された。また、ボーキサイト採掘に伴う電力および燃料使用によって発生する CO₂ 排出量は 3.09[kg-CO₂/tボーキサイト]⁵⁰⁾（オーストラリアにおける採掘）と報告されているため、この値を用いてボーキサイトの採掘に伴う CO₂ 排出量を推計した結果、2,428t-CO₂となった。

アルミ新地金製造に伴う電力および燃料使用によって発生する CO₂ 排出原単位は 6.47[t-CO₂/t新地金]^{42), 46)}と報告されている。この値は、新地金製造各国の電源構成を考慮・加重平均した原単位であり、この値を用いてアルミ新地金製造に伴う CO₂ 排出量を推計した結果、1,221,270t-CO₂と算出された。

アルミ新地金の輸送に伴う CO₂ 排出は、海外輸送過程のみ計上し、国内輸送分に関してはマテリアルリサイクルルートにおけるアルミ再生地金の輸送に伴う CO₂ 排出で互いに相殺されるものとする。アルミ新地金の海外輸送におけるエネルギー消費量は 408[Mcal/t]⁴⁶⁾と報告されており、船舶輸送における燃料は C 重油とすると CO₂ 排出原単位は 122[kg-CO₂/t]と算出された。したがって、アルミ新地金の海外輸送過程で生じる CO₂ 排出量は 23,090t-CO₂と推計された。

c) 廃棄物処理・処分ルート回避による GHG 削減

処理・処分ルートにおける非鉄金属くずの一次輸送とは焼却施設までの輸送を意味するが、この輸送に伴う CO₂ 排出は、a) で述べたように計上しない。その後、焼却施設で 0.026[t-不純物/t-非鉄金属くず]⁴²⁾の不純物が焼却され、焼却残渣および残りの非鉄金属くずは埋立地に輸送（二次輸送）される。不純物の組成は不明であるため、全産業廃棄物の燃え殻発生量を全産業廃棄物の焼却量で除した燃え殻発生率 0.0183[t-燃え殻/t-廃棄物]を用い、不純物の焼却残渣発生量を算出した。また、焼却残渣および非鉄金属くずの埋立地までの輸送に伴う CO₂ 排出量原単位は、0.89[kg-CO₂/t-非鉄金属くず]⁴²⁾を用いた。推計の結果、不純物発生量は全国合計で 5,647 トン、不純物焼却残渣発生量は 103 トンであった。ここで、(1)c) で設定した焼却方法に準じて計算すると、焼却過

表-18 アルミニウム原料としてのマテリアルリサイクルによる GHG 排出量の収支

		温室効果ガス 排出量 t-CO ₂ -eq
マテリアル リサイクル ルート	一次輸送 (再資源化施設へ)	-
	再資源化処理過程	6,978
	三次輸送 (メーカーへ)	-
	再生地金製造過程	63,424
	廃棄物輸送 (埋立地へ)	2
バージン ルート	天然資源採掘	-2,428
	アルミ新地金製造	-1,221,270
	アルミ新地金輸送	-23,090
処理・処分 ルート	一次輸送 (焼却施設へ)	-
	不純物焼却	-335
	二次輸送 (埋立地へ)	-188
	合計	-1,176,907

程では 335t-CO₂の CO₂が排出されていると推計された。また、埋立地への輸送過程では 188t-CO₂と推計された。埋立処分に伴う温室効果ガス排出については、(3)c)と同様に、非鉄金属くずおよび焼却残渣の埋立が浸出水処理に与える影響が微小であることから計上しなかった。

d) GHG 排出量の収支（表-8）

非鉄金属くず中のアルミニウムのマテリアルリサイクルによって GHG 排出量は約 118 万 t-CO₂-eq 削減され、最終処分量は約 21 万トン削減されるという結果が得られた。GHG 排出面では、アルミニウム新地金製造を回避したことによる削減効果が非常に大きい。アルミニウムのリサイクルは、鉄や他の素材と比較すると、最終処分回避量あたりの GHG 排出削減量が多いという特徴を持っている。マテリアルリサイクル導入後のアルミ地金供給については、アルミ生産量が変わらないとした場合、新地金供給が 2000 年比で 10%弱減少し再生地金が 20%弱増加する。しかし、実際には近年アルミ需要量が増加しており、新地金および再生地金ともに需要が増加しているため、リサイクルを推進しても、それ以上の天然資源消費増加が予想される。

(8) 廃プラスチックのプラスチック原材料としてのマテリアルリサイクル

廃プラスチックの再生利用量約 150 万トン（表-2）のうち、プラスチック原材料としてマテリアルリサイクルされる量は 38%（③）と同様の各都道府県公表の産業廃棄物実態調査における廃棄物用途別再生利用量の表から算出した廃棄物ごとの再資源用途転換率の全国平均値）の 59 万トン程度であり、残りは主に燃料として利用されている。ここでは、廃プラスチックの減容化・自己保管量および最終処分量の合計値約 390 万トン（表-2）のうち、現状のプラスチック原材料としてのマテリアルリサイクル率 38%を乗じた約 146 万トンのマテリアルリサイクル可能量と仮定し、この全量をプラスチック原材料（ペレット等の再生樹脂）としてマテリアルリサイクルすることを検討した。

廃プラスチックのマテリアルリサイクルは、樹脂別に再資源化処理方法が異なるため、廃プラスチックを 5 種類の樹脂に分類して、それぞれの樹脂の再資源化処理に伴う環境負荷を積み上げた。5 種類の樹脂とは、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、塩化ビニル（PVC）、ポリスチレン（PS）、その他ポリエチレンテレフタレート等（PET）である。廃プラスチックのマテリアルリサイクルを考慮する際、廃棄物中の 5 種類の樹脂の構成比を把握する必要があるが、ここではプラスチック処理促進協会発表の廃プラ樹脂別割合（PE: 31%、PP: 20%、PVC: 12%、PS: 17%、PET 他: 20%）⁵⁹⁾を用いた。この値は、一般廃棄物も含めた廃プラスチック総排出量を樹脂別生産量で按分して推計したものである。

a) リサイクル時の GHG 排出

（社）プラスチック処理促進協会の各種報告書^{57), 58)}を参考に、マテリアルリサイクル処理における電力消費量原単位および燃料消費量原単位を設定した（表-19）。リサイクル時のマテリアルロス率は、5 種類の樹脂（PE、PP、PVC、PS、PET 他）別の歩留まり推計⁵⁷⁾を加重平均した結果 4.5%となった。マテリアルリサイクルルートにおける一次輸送に伴う CO₂排出に関しては、これまで

と同様に考え、廃棄物としての処理・処分ルートにおける一次輸送に伴う CO₂排出と同等と見なすため、これらは互いに相殺される。同様に、資源化されたプラスチック樹脂のメーカーまでの輸送に伴う CO₂排出は、バージン樹脂の国内輸送に伴う CO₂排出で互いに相殺される。電力消費量原単位および燃料消費量原単位^{57), 58)}に基づいて、再資源化処理過程で排出される GHG は合計で 323,974t-CO₂と推計された。また、マテリアルリサイクル時に発生する異物に関しては、焼却処理または埋立処理されるものとした。焼却率は 46%、埋立率は 54%であり、これらは 2 で推計した廃プラスチック類の減容化量および最終処分量の重量比から算出している。廃プラスチックの埋立地への輸送条件および廃プラスチック焼却残渣の輸送条件^{57), 58)}および樹脂別の廃プラスチック焼却に伴う CO₂排出原単位^{43), 57)}に基づいて推計した結果、異物輸送過程で 2,722t-CO₂、異物焼却過程で 75,798t-CO₂と推計された。これらの原単位では、プラスチックから発生する CO₂排出および焼却に必要な燃料の燃焼に伴う CO₂排出が考慮されている。

b) バージンルート回避による GHG 削減

前述の通り、天然資源の輸送に伴う CO₂排出は、海外輸送過程のみ計上し、国内輸送分に関してはマテリアルリサイクルルートにおける再生樹脂の輸送に伴う CO₂排出で互いに相殺されるものとする。原油等の天然資源の採掘・天然資源の輸入・樹脂製造までに排出される CO₂排出原単位⁵⁹⁾および再生樹脂によって代替されるバージン樹脂の量に基づいて推計した結果、バージンルートでは合計で 1,890,653t-CO₂の CO₂が排出される。

c) 廃棄物処理・処分ルート回避による GHG 削減

処理・処分ルートにおける廃プラスチックの一次輸送に伴う CO₂排出は計上しない。したがって、処理・処分ルートでは、焼却に伴う CO₂排出および焼却残渣の輸送（二次輸送）に伴う CO₂排出のみを計上する。ただし、従来サーマルリサイクルされていた廃プラスチックもマテリアルリサイクルへ転換すると設定しているため、熱回収による GHG 削減効果は差し引くものとする。焼却

表-19 廃プラスチックのマテリアルリサイクル処理における電力・燃料消費量原単位

再資源化プラスチック種	処理工程	消費エネルギー	単位	(文献)
PE	再資源化処理	電力	150 kWh/ton-plastic scrap	57)
PP	再資源化処理	電力	89 kWh/ton-plastic scrap	57)
PVC(農業用ビニル)	再資源化処理	電力	430 kWh/ton-plastic scrap	57)
PVC(電線ダクト)	再資源化処理	電力	90 kWh/ton-plastic scrap	57)
PS	分別・ベアリング	電力	208 kWh/ton-plastic scrap	58)
	粉碎	電力	68 kWh/ton-plastic scrap	58)
	ペレタイズ	電力	347 kWh/ton-plastic scrap	58)
PET	分別・ベアリング	電力	46 kWh/ton-plastic scrap	58)
	選別・洗浄	電力	631 kWh/ton-plastic scrap	58)
		重油	890 kcal/ton-plastic scrap	58)
	ペレタイズ	電力	591 kWh/ton-plastic scrap	58)
	結晶化	電力	226 kWh/ton-plastic scrap	58)

条件および焼却灰輸送条件は(1)c)と同等とし、焼却率46%、埋立率54%、樹脂別のCO₂排出原単位⁴⁾⁵⁾、焼却残渣輸送条件⁵⁾⁶⁾に基づいて推計した結果、焼却で1,867,010t-CO₂、焼却残渣輸送で138t-CO₂と推計された。埋立処分に伴う温室効果ガス排出については、(3)c)と同様に、廃プラスチックおよび焼却残渣の埋立が浸出水処理に与える影響が微小であることから計上しなかった。

サーマルリサイクル効果がなくなることによるCO₂排出増加量は、サーマルリサイクルによって発電されていた電力を商用電力に代替することで増加するCO₂量として捉える。増加するCO₂排出量を推計する際の諸条件として、廃プラスチックのうち現状でサーマルリサイクルされている割合は80.7%であり⁵⁾、発電効率は10%としている。また、焼却量あたりのサーマル発電量を商用電力に代替した場合のCO₂排出原単位について、樹脂毎に異なる排出原単位⁴⁾⁵⁾を用いて計算した結果、サーマルリサイクル効果消失によるCO₂排出量は201,462t-CO₂と推計された。

d) GHG 排出量の収支 (表-20)

廃プラスチックのマテリアルリサイクルによってGHG排出量は約340万t-CO₂-eq削減され、最終処分量は約75万トン削減されるという結果が得られた。GHG排出面では、廃プラスチックの焼却を回避したことによる削減効果およびバージン樹脂の生産を回避したことによる削減効果が大きい。一方、再生資源化処理に伴うGHG排出量は相対的に小さく推計されているが、これは本研究が、全ての廃プラスチックがマテリアルリサイクルされても現在の処理水準のまま移行する(単位処理廃棄物あたりの処理負荷は一定)と設定していることが一因として挙げられる。従来再生処理が困難であった廃プラスチックをマテリアルリサイクルするには、現在の電力・燃料消費量以上のエネルギーが必要になると考えられるため、本研究の再資源化処理におけるGHG排出量は過小評価されている可能性が残っている。また、マテリアルリサイクル導入後の資源需給バランスの変化については、2000年度では、バージン樹脂が1,474万トン、再生樹脂が128万トンであり、これにマテリアルリサイクルによる146万トンの再生樹脂が投入されることによって、バージン原料は1,328万トンの投入という状況に変化する。

4. まとめと考察

図-6に廃棄物種類別工程別のGHG排出量収支を示す。縦軸に排出量をとっているため、負値は削減量を表す。全ての廃棄物において、再資源化・有効利用徹底による

表-20 廃プラスチックのマテリアルリサイクルによるGHG排出量の収支

		温室効果ガス 排出量
		t-CO ₂ -eq
マテリアル リサイクル ルート	一次輸送 (再資源化施設へ)	-
	PE	26,811
	PP	10,195
	PVC	23,435
	PS	60,385
	PET	203,147
	再生樹脂輸送	-
	異物輸送	2,772
	異物焼却	75,798
バージン ルート	PE	-550,608
	PP	-405,847
	PVC	-209,939
	PS	-437,489
	PET	-286,770
処理・処分 ルート	一次輸送	-
	焼却	-1,867,010
	二次輸送	-138
	サーマルリサイクル	201,462
合計		-3,355,257

GHG削減効果が認められ、さらに廃棄物の種類によってGHG削減量の大きい工程が異なっていることもわかる。バイオマス系廃棄物は処理処分回避によるGHG削減効果が大きく、鉱物系廃棄物はバージン資源製造回避によるGHG削減効果が大きい。特に、アルミニウムのリサイクルは、バージンルート由来のアルミニウム新地金製造工程において消費される莫大な電力使用を回避するため、大きなGHG削減効果がみられた。また、紙くずは古紙パルプとしてのマテリアルリサイクルを評価したが、古紙パルプからは回収されないソーバーンパルプ特有の黒液による効果(カーボンニュートラルなバイオマスエネルギー活用)により、バージン資源製造に伴うGHG削減量が排出として計上されている。この問題については、廃プラスチック処理とあわせてマテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの競合問題⁴⁾⁵⁾として未だ多くの議論がなされている。

図-7に廃棄物種類別の正味のGHG削減量および最終処分削減量を示す。本研究では、現在最終処分されている廃棄物および焼却処分されている廃棄物を有効利用可能ポテンシャルとして捉えているため、これらの賦存量が大きい畜産廃棄物・鉄くず・廃プラスチックにおいて大きな削減効果が示されている。バイオマス系廃棄物のリサイクルによるGHG削減については、厨芥類の堆肥化やバイオガス発電(メタン発酵+燃料電池またはガスイエンジン)のライフサイクル分析⁶⁾が報告されており、堆肥化よりもバイオガス発電の方が2倍程度GHG削減効果が大きいという推計結果が得られている。本研究に

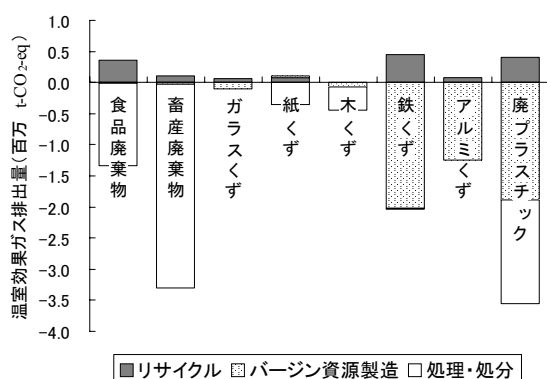


図-6 廃棄物種類別工程別の GHG 排出量の収支

においては、動植物性残渣の堆肥化よりも動物ふん尿のバイオマスガス発電の方が 3 倍程度 GHG 削減効果が大いという推計結果となっているが、特に動物ふん尿の直接埋立回避による CH_4 発生抑制分の大きさが GHG 削減ポテンシャル推計に影響を与えていることに留意する必要がある。

図-8 に、本研究で対象としたすべての廃棄物の再資源化・有効利用徹底による GHG 削減量を、国内海外別および排出部門別に示す。ここで、廃棄物部門における GHG 削減量とは、廃棄物の処理・処分を回避することによる削減量を表し、その他部門とはバージン資源の消費を回避することによる削減量からリサイクルによる排出量を差し引いたものである。GHG 総削減量は、約 1,100 万 $\text{t-CO}_2\text{-eq}$ と推計され、そのうち約 920 万 $\text{t-CO}_2\text{-eq}$ が国内における削減量であり、約 150 万 $\text{t-CO}_2\text{-eq}$ が海外採掘・製造、約 30 万 $\text{t-CO}_2\text{-eq}$ が国際（海外）輸送における削減量である。

国内における GHG 削減量は 90 年比で総 GHG 排出量の 0.7% に相当し、産業廃棄物の再資源化・有効利用徹底が最終処分場逼迫問題のみならず国全体の GHG 削減施策の一部として重要視されるべき方向性を示している。また、リサイクルによる天然資源投入抑制に起因する国際輸送における GHG 削減量は、日本が関わる国際輸送全体の 0.24% に相当するが、外洋輸送船舶の燃費向上技術の発展など廃棄物処理部門以外の天然資源投入段階や製品輸出段階を含む包括的な運輸部門 GHG 削減への取り組みが求められると言えよう。また、廃棄物部門における GHG 削減量は約 670 万 $\text{t-CO}_2\text{-eq}$ と推計され、これは 2000 年の国内廃棄物部門における GHG 排出量の 15% に相当する。さらに、最終処分量は約 440 万トン削減されると推計され、これは 2000 年の最終処分量合計の約 13% に相当する。これら廃棄物部門としての環境負荷削減ポテンシャルについては、循環型社会の実現に向けて政策的に掲げられている各種数値目標（2000 年から 2010 年にかけて最終処分量 50% 削減）¹⁾²⁾ において顕著

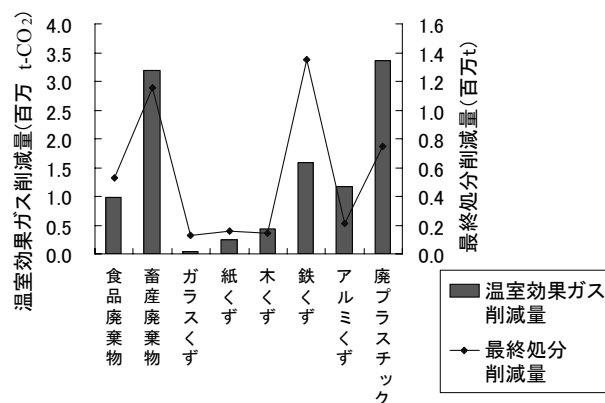


図-7 廃棄物種類別 GHG 削減量・最終処分削減量

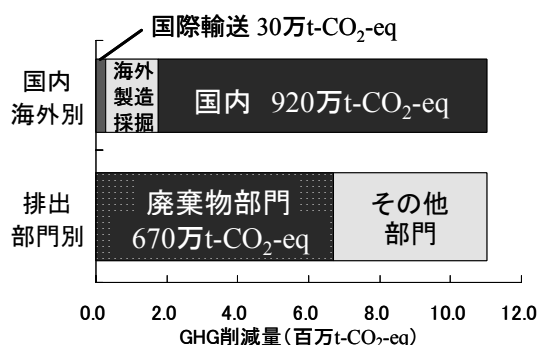


図-8 GHG 削減量の排出部門別内訳

な割合を占めていると言える。

5. 結語

本研究では、地球温暖化問題および循環型社会の構築課題といった従来個別の枠組みで議論されてきた問題体系について、一連の物質フローを通じた物質流動・資源循環システムにおける共通課題として捉えなおすことにより、廃棄物の再資源化・有効利用推進が地球温暖化抑制および循環型社会の構築といった各政策課題に相互に及ぼす影響を示すとともに、再生資源利用推進施策導入時における包括的な環境負荷削減ポテンシャルを定量的に評価する方向性を示した。産業廃棄物のリサイクルが最終処分量抑制および国内外における GHG 削減、さらには資源需給バランスや国際貨物輸送部門へ波及する影響を定量的に示せたことにより、生産や物流に伴う地球温暖化問題および循環型社会の構築課題を同時に考慮した包括的な政策を新たに展開する端緒が得られたものと考えられる。

一方で、環境負荷の積み上げに用いた各種原単位や産業連関表などポテンシャル評価の根拠となる基礎データについては、可能な限り引用元の統一を図ることや感度

解析を行うことにより、評価手法としての妥当性を明確にすることが課題として挙げられる。また、本研究で検討対象外とした建設廃棄物、汚泥廃棄物、燃殻を含めたより広範囲な評価を行うことに加えて、資源リサイクルとそれに伴う静脈物流拡大による環境負荷増大に関する詳細な分析を行うことも求められよう。

参考文献

- 1) 森口祐一：循環型社会形成のための物質フロー指標と数値目標，廃棄物学会誌，Vol.14，No.5，pp.242-251，2003.
- 2) 環境省総合環境政策局：環境統計集（平成18年度版），2006.
- 3) 阿部宏史：地域産業連関モデルによる産業廃棄物排出構造の分析，環境情報科学論文集，Vol.18，pp.477-482，2004.
- 4) 後藤尚弘，藤江幸一：ゼロエミッションと地域物質フローの解析，安全工学，Vol.39，No.5，pp.298-303，2000.
- 5) 藤江幸一，後藤尚弘，宮田譲，迫田章義，花木啓祐，原科幸彦，森俊介，柳憲一郎，池田伸，羽野忠，吉田弘之：ゼロエミッションを目指した地域物質循環ネットワークの構築とシナリオ策定手法，環境科学会誌，Vol.14，No.4，pp.391-401，2001.
- 6) (社)環境情報科学センター：製品等による環境負荷評価手法等検討調査報告書，1998.
- 7) 国土交通省：第7回全国貨物純流動調査（物流センサス）2000年調査，2002.
- 8) 各都道府県産業廃棄物実態調査報告書，1996-2005.
- 9) 守田優，田淵勲，佐藤祐介：東京における物質代謝のフローについて，環境システム研究，Vol.26，pp.377-382，1998.
- 10) 守田優，大川将也，新行内彰夫：物流データによる東京の物質収支に関する研究，環境システム研究，Vol.25，pp.403-408，1997.
- 11) 天野耕二，戸辺勝俊，長谷川聖洋：日本全国の都道府県における物質循環評価手法に関する研究，環境システム研究，Vol.29，pp.215-223，2001.
- 12) 吉田登，若林俊輔，金子泰純，日下正基：全国の工業集積地におけるエネルギー消費及び可燃性廃棄物排出から見た環境効率の分析，環境システム研究論文集，Vol.32，pp.75-82，2004.
- 13) 内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部編：県民経済計算年報 平成16年版，2004.
- 14) 各都道府県産業廃棄物処理計画.
- 15) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：一般廃棄物処理実態調査結果（平成12年度実績），2002.
- 16) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：産業廃棄物排出・処理状況調査報告（平成12年度実績），2002.
- 17) 環境省地球環境局：地球温暖化対策地域推進計画ガイドライン参考資料，2003.
- 18) 環境省地球環境局：温室効果ガス排出量算定に関する検討結果，2004.
- 19) IPCC：Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook，Vol.2，1996.
- 20) (社)全国都市清掃会議，(財)廃棄物研究財団：ごみ処理施設の計画・設計要領，p.136，1999.
- 21) 東京都清掃局（現在は東京都環境局）：平成9年度ごみ性状調査，東京都清掃研究所年次報告，1997.
- 22) (社)全国都市清掃会議，(財)廃棄物研究財団：ごみ処理施設の計画・設計要領，p.141，1999.
- 23) 田中信寿，松藤敏彦：都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究，北海道大学大学院工学研究科，1998.
- 24) (社)全国都市清掃会議：ごみ処理施設構造指針解説，p.506，p.537，1990.
- 25) (独)国立環境研究所 地球環境研究センター：日本国温室効果ガスインベントリ報告書，2006.
- 26) 村田真樹：食品残渣の循環処理過程におけるライフサイクルアセスメント，京都学大学院工学研究科修士論文，1999.
- 27) 安田憲二：廃棄物焼却に伴う温室効果ガスの排出状況，廃棄物学会誌，Vol.8，No.6，pp.432-437，1997.
- 28) 木原勇信，井上隆，間宮尚，小林謙介，折笠聡，長谷川善明：生活系一般廃棄物処理に係る環境負荷の把握—その2 東京23区の最終処分場の建設と運用に係る環境負荷—，第18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，Vol.18th，pp.325-328，2002.
- 29) 環境省，経済産業省：算定・報告・公表制度における算出方法・排出係数一覧，<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf>，2006.
- 30) FAO：FAO yearbook.Fertilizer，Vol.49，1999.
- 31) 小林久：施肥に関連する流出負荷低減策のライフサイクル分析—環境保全型農業に対するライフサイクルアセスメント（LCA）適用の試み—，環境情報科学，Vol.31，No.1，pp.77-85，2002.
- 32) 南齋規介，森口祐一，東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)，(独)国立環境研究所 地球環境研究センター，2006.
- 33) 南齋規介，森口祐一：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)—LCAのインベントリデータとして—付録「環境負荷原単位と品目別国内生産額との対応表（2000）」(独)国立環境研究所 地球環境研究センター，2006.
- 34) 小林久：窒素投入に関するエネルギー消費・CO₂排出のライフサイクル分析，農業土木学会論文集，No.194，pp.51-57，1998.
- 35) 原田靖生：家畜ふん尿の特性と処理利用の基礎知識，平成9

- 年度中央畜産技術研修会 畜産環境保全 (I) 農林水産省畜産局, pp.53-72, 1997.
- 36) 日向貴久: 酪農経営のふん尿処理を対象としたLCA-バイオガスシステムの温暖化ガスインベントリ分析と比較一, 日本農業経済学会論文集, pp.337-341, 2004.
- 37) 稲葉陸太, 古市徹: 地域循環システムの環境負荷比較における再生品需給バランス考慮の重要性, 日本LCA学会誌, Vol.2, No.4, pp.326-340, 2006.
- 38) (独)寒地土木研究所: 共同利用型バイオガスプラントの利用技術, 寒地土木研究所月報, No.639, pp.51-59, 2006.
- 39) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構: バイオマスエネルギーの算出方法, <http://app1.infoc.nedo.go.jp/kinds2/ens1.pdf>, 2006.
- 40) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構: 新エネルギーガイドブック, 2006.
- 41) 荒巻俊也, 鈴木英司, 花木啓祐: 有機性廃棄物の有効利用に向けたコンポスト製品の需要供給バランスの解析～愛知県を対象として～, 環境科学会誌, Vol.14, No.4, pp.367-371, 2001.
- 42) 包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会: 容器包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析, 野村総合研究所, 1995.
- 43) (社)産業環境管理協会: JLCA-LCAデータベース 2004年度 2版, 2006.
- 44) Forbes R. McDougall, Peter R. White, Marina Franke, Peter Hindle 著 松藤敏彦 訳: 持続可能な廃棄物処理のためにー総合的アプローチとLCAの考え方ー, 技報堂出版, 2004.
- 45) 藤野純一, 進藤晋一, 山地憲治, 山本博巳: マテリアルリサイクルカーマールリサイクルカー紙のリサイクルのエネルギー評価一, エネルギー・資源, Vol.20, No.1, pp.100-102, 1999.
- 46) (社)化学経済研究所: 基礎素材のエネルギー解析調査報告書, 1993.
- 47) 温室効果ガス排出量算定方法検討会: 温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果, 2000.
- 48) 経済産業省: 紙・パルプ統計月報, 2006.
- 49) 林業試験場: 木材工業ハンドブック改訂3版, 丸善, 1982.
- 50) 杉山大志: 電力中央研究所報告 地球環境と電力化, (財)電力中央研究所, 2000.
- 51) 成田暢彦, 稲葉敦: 統計データにもとづく鉄鋼製品のライフサイクルインベントリ分析, 日本エネルギー学会誌, Vol.77, No.12, pp.1148-1161, 1998.
- 52) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構, (社)産業環境管理協会: エネルギー使用合理化手法国際調査, p.115, 1995.
- 53) (株)三菱総合研究所: 地域物質フロー解析等調査報告書, p.129, 2000.
- 54) 坂村博康, 田中浩二, 森下研, 安井至: 日本におけるアルミニウム缶のLCI分析, 第3回エコバランス国際会議講演集, pp.421-424, 1998.
- 55) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構, (社)産業環境管理協会: エネルギー使用合理化手法国際調査, p.49, 1996.
- 56) (社)プラスチック処理促進協会: プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況2000, 2002.
- 57) (社)プラスチック処理促進協会: プラスチック廃棄物の処理・処分に関するLCA調査研究報告書, 2001.
- 58) (社)プラスチック処理促進協会: プラスチック一般廃棄物を対象とするLCA的考察<LCA手法の適用検討>, 1995.
- 59) (社)プラスチック処理促進協会: 石油化学製品のLCIデータ調査報告書, 1999.
- 60) 酒井伸一, 平井康宏, 吉川克彦, 出口晋吾: バイオ資源・廃棄物の賦存量分布と温室効果ガスの視点からみた厨芥利用システム解析, 廃棄物学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.173-187, 2005.

(2007. 4. 2 受付)

POTENTIAL EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOAD REDUCTION BY UTILIZING RESOURCE RECYCLING OF INDUSTRIAL WASTE IN JAPAN

Koji AMANO and Masaki MIYAKAWA

We investigated the potential evaluation of environmental load (greenhouse gas emission (GHGs) and terminal waste disposal) reduction by utilizing resource recycling of industrial waste in Japan. GHGs reduction potential was estimated by deducting GHGs emitted in waste disposal and virgin material production from GHGs emitted in resource recycling. Nearly 11 million ton-CO₂ which is equivalent to 0.7% of gross GHGs emission in Japan was obtained as GHGs reduction potential in the year of 2000. On the other hand, terminal waste disposal reduction potential was found to be nearly 4.4 million ton which is equivalent to 13% of gross terminal waste disposal in Japan.