

鉄鋼生産技術の革新による高質リサイクルの 廃棄物産業連関分析

酒井 康夫¹・山本 祐吾²・吉田 登³・盛岡 通⁴・森口 祐一⁵・内藤 弘⁶

¹非会員 修(工) 松下電器産業(株) コーポレート情報システム社 (〒571-8501 門真市大字門真1006)

E-mail: sakai.yasuo@jp.panasonic.com

²正会員 博(工) 大阪大学大学院助手 工学研究科 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail: yugo@see.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 博(工) 和歌山大学助教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

E-mail: yoshida@sys.wakayama-u.ac.jp

⁴正会員 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail: tmorioka@see.eng.osaka-u.ac.jp

⁵正会員 工博 (独)国立環境研究所センター長 循環型社会・廃棄物研究センター

(〒305-8506 つくば市小野川16-2)

E-mail: moriguti@nies.go.jp

⁶正会員 アミタ(株)参与 経営企画室 (〒102-0075 千代田区3-28)

E-mail: hnaito@amita-net.co.jp

本研究では、鉄鋼産業が既存の生産インフラを活用し、リサイクル型の先導的な生産技術を導入することによって、高度な資源循環を形成しようとする取り組みに着目する。具体的には、廃棄物産業連関表を援用した勘定モデルを構築した上で、先導技術を核とした高質な鉄リサイクルシステムの廃棄物産業連関分析をおこない、技術変化による物質フローおよび環境負荷の変化を定量的に評価した。その結果、当該技術の適用がマクロに展開されたとき、従来に比して埋立処分量およびCO₂排出量ではそれぞれ約2.65%、0.41%の増加となる一方で、天然資源投入量が約9.2%削減され、資源生産性では約6.15%の向上が達成されることが明らかになった。

Key Words : advanced loop-closing technology, waste input-output analysis, Hyogo eco-town project, steel recycling, scrap melting process

1. はじめに

循環型社会形成推進基本法のもと、平成 15 年 3 月に循環型社会形成推進基本計画¹⁾が定められるなど、資源循環の形成を政策的に誘導しようとする国レベルでの取り組みが促進されている。この基本計画では、物質フローの入口・循環・出口の各断面において、それぞれ資源生産性・循環利用率・最終処分量の指標が設定され、その指標に沿ってマクロな物質フローを観察・計測し、適切に管理・制御していくための数値目標が掲げられている。

国内制度の面では、循環資源の主要 4 類型をカバーする形で資源有効利用促進法、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、建設リサイクル法、食品リサイクル法、自動車リサイクル法などの個別施策が整備され、循環型社会の構築に向けたマクロな政策目標を達成するための仕組みづくりが進められている。

一方、地域レベルで資源循環の形成を促進する動きとして、先導的なリサイクル技術・インフラ整備に対して支援をおこなうエコタウン事業が全国的に展開されている。この事業は、「個々の地域におけるこれまでの産業蓄積等を活かした環境産業の振興を通じた地域振興、及び地域の独自性を踏まえた廃棄物の発生抑制・リサイクルの推進を通じた資源循環型経済社会の構築」を目的とするものであり²⁾、平成 18 年 1 月現在、全国で 26 地域が承認を受けている。

これらの地域では、既存の産業インフラを活用しながら先導的なリサイクル技術を導入し、また他産業や他セクターとの連携を強めながら、高度な資源循環の形成を図っている。特に「ひょうごエコタウン」は、鉄鋼生産の革新技術によって循環資源を新規資源代替として利用し、水平的なリサイクルを実施するという、動脈と静脈が一体化した資源循環型の鉄鋼生産への転換が図られている事例である。

本研究では、鉄鋼産業が既存インフラを活用し、リサイクル型の先導的な生産技術を導入することによって、高度な資源循環（Advanced Loop-closing System）を形成しようとする取り組みに着目する。具体的には、鉄鋼生産の技術変化と、それに伴う物質フローや環境負荷の変化を分析する方法と手順を、廃棄物産業連関表（WIO: Waste Input-Output Table）を援用した勘定モデルとして構築することを目的とする。その上で、先導技術を核とした高質な鉄リサイクルシステムの廃棄物産業連関分析をおこない、技術変化による物質フローおよび環境負荷の変化を定量的に評価する。

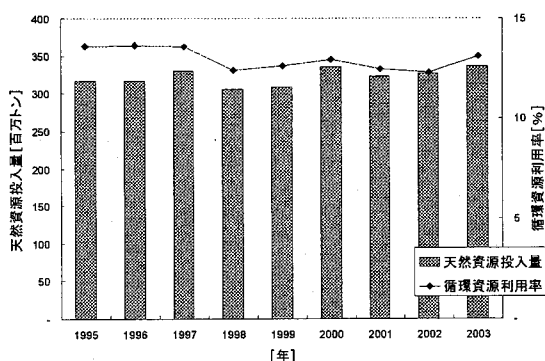


図1 鉄鋼産業における循環資源利用の現状

2. 先導的な鉄リサイクル技術による高度な資源循環形成の試み

(1) 鉄鋼産業における循環資源利用の現状と課題

「鉄鋼統計年報」³⁾ および「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報」⁴⁾ をもとに推計した、鉄鋼産業における循環資源利用の現状を図1に示す。ここでいう循環資源とは、鉄スクラップを指す。

鉄鋼産業での循環資源利用率 $[\text{循環資源利用量} / (\text{天然資源等投入量} + \text{循環資源利用量})]$ は13%前後を維持しながら推移しているものの、大きな向上は見られない。一般に鉄鋼生産において、銅や錫などのトランプエレメントが混入した鉄スクラップの利用は高級鋼の生産を阻害すること、その希釈のためには一定量の鉄鉄投入が不可欠となることなど、技術的な問題から鉄スクラップ利用の増加に限界があることが指摘されている⁵⁾。したがって、生産プロセスでの鉄スクラップ利用量をさらに拡大（鉄鉱石の投入量を削減）しつつ、高品位な鉄鋼製品を生産しうる技術の開発が、鉄鋼産業における循環資源利用率や資源生産性の更なる向上を目指す上で重要となる。同時に、化石資源など鉄以外の資源の投入削

減・代替も鍵となる。

(2) 先導技術を核とした高度な鉄リサイクルシステムの物質収支

素材型産業が集積する瀬戸内臨海部における「ひょうごエコタウン事業」では、鉄鋼生産におけるリサイクル型の先導技術として冷鉄源溶解法（SMP: Scrap Melting Process）が開発され、高度な資源循環の形成が展開されている。

冷鉄源溶解炉は、既存の転炉を活用し、スクラップなどの冷鉄源を製鉄原料として利用する製鉄法であり、冷鉄源溶解炉で産出される溶銑（銑鉄）を用いて生産される粗鋼は、熱延や冷延、電磁などの高級鋼板の製造に利用される⁶⁾。また、冷鉄源溶解炉では、炭素を多く含んだ廃タイヤチップが投入され、加炭剤として利用される微粉炭を一部代替している。つまり、電炉法で採られるようなスクラップのダウン型リサイクルではなく、スクラップを新規資源代替として利用し、高品位の鉄鋼製品の製造を可能とする、高炉代替の先導的な生産技術である点が特徴である。

この先導技術を核とした高度な鉄リサイクルシステムの基本的な物質収支は、筆者らによる先行研究^{7) 8)} に

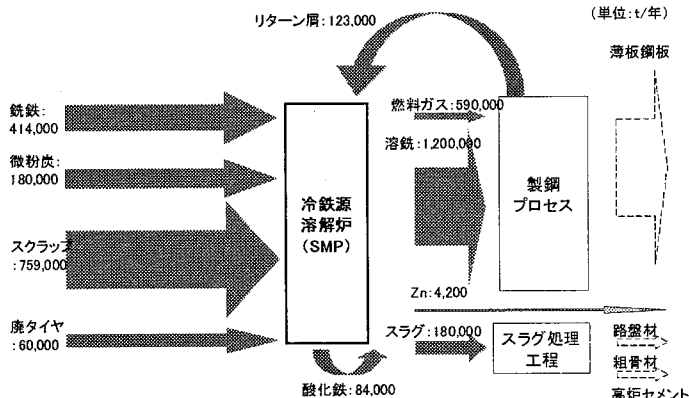


図2 先導技術（SMP）を核とした高度リサイクルシステムの物質収支

表1 銑鉄1トンの生産に伴う投入産出（SMP）

動脈部門からの投入	銑鉄	3.45E+01 t
	微粉炭	1.50E+01 t
	電力（酸素製造）	4.58E+01 kWh
静脈部門からの投入	スクラップ	6.33E+01 t
	廃タイヤ	5.00E+02 t
	リターン屑	1.03E+01 t
動脈部門への産出	溶銑	1.00E+00 t
	燃料ガス	4.92E+01 t
	亜鉛原料	3.50E+03 t
	スラグ	1.50E+01 t
静脈部門への産出	レンガ	3.33E+05 t

		動脈部門(Industry)					静脈部門(waste treatment)				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		製品(Product)	部品(part)	材料(material)	エネルギー(Energy)	資源(mining)	分別・焼却 (separation & burning)	焼却 (incineration)	埋立 (landfill)	最終需要 (final demand)	生産額 (output treatment)
商品 (goods)	動脈部門 (Industry)	1	製品(Product)								
	2	部品(part)	X21								
	3	材料(material)		X32							
	4	エネルギー(Energy)	X41	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48	
	5	資源(mining)			X53	X54					
廃棄物 (waste)	廃棄物 粗排出 (waste discharge)	A	廃容器 (waste containers)	Wa1	(-)Wa2						
	B	廃家電 (discarded electrical appliances)		Wa2	(-)Wa3						
	C	鉄スクラップ (metal scraps)			(-)Wd3						
	D	スラット (slat)									
	E	スラック (sludge)			Wa3	Wa4	Wa5				
	F	灰 (ash)				Wa4					
		埋立容積 (landfill volume)									
		C	二酸化炭素排出量	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
		V	経済効果	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
		L	雇用誘発	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8

図3 廃棄物産業連関表の基本構造

において明らかにされている(図2)。本研究では、追加的な調査・推計により、物質収支を補完・修正し、資源・エネルギーの投入産出構造を明らかにした(表1)。

冷鉄源溶解炉による銑鉄生産量は年間約120万トン(全国生産量の約1.5%)であるが、以降では将来的にこうした先導技術が普及し、資源循環型の鉄鋼生産への転換が図られる社会を想定する。その上で、生産技術の革新がもたらす影響を分析する枠組みを構築し、先に示した物質収支に基づいて物質フローや環境負荷の変化を予測・評価する。

3. 廃棄物産業連関分析モデルの構築

(1) 廃棄物産業連関表の構造と分析手順

廃棄物産業連関表(WI-O表)は中村らによって開発された勘定モデルであり、社会経済活動の貨幣フローを記述した産業連関表を拡張し、廃棄物の発生や処理・再資源化部門を付加したものである。WI-O表やそれを用いた分析手法については、文献9)、10)などに詳しい。ここでは、その基本的な構造と分析手順のみを記す。

図3にWI-O表の基本構造を示す。WI-O表は、従来の産業連関表と同じく動脈経済のやり取りを示す「動脈部門」、廃棄物処理部門を示す「静脈部門」、さらに廃棄物の部門間のやり取りを示す「廃棄物粗排出」と「廃棄物粗投入」で構成される。廃棄物粗排出は各部門から排出される廃棄物量を、廃棄物粗投入は各部門に投入される廃棄物(循環資源)量を表している。

WI-O表において、投入係数表を用いた生産と廃棄物処理の需給均等式は、次式のように表される。

$$\begin{bmatrix} A_0 & A_z \\ S'G_0 & S'G_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_f \\ S'W_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 A_0 : 動脈部門の投入係数行列、 A_z : 動脈部門からの廃棄物部門への投入係数行列、 G_0 : 動脈部門からの廃棄物発生行列、 G_z : 廃棄物処理部門からの廃棄物発生係数行列、 X : 動脈部門の生産額ベクトル、 Z : 廃棄物処理量ベクトル、 X_f : 最終需要ベクトル、 S : 廃棄物を廃棄物処理に対応させる配分行列、 W_f : 最終需要部門からの廃棄物発生係数行列、としている。

この式(1)を X と Z について解くと、次式を求めることができる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A_0 & -A_z \\ S'G_0 & I - S'G_z \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_f \\ S'W_f \end{bmatrix} \quad \text{式(2)}$$

式(2)の右辺は、WI-O表における単位行列から投入係数行列を差し引いたものの逆行列となっている。この式(2)は廃棄物産業連関分析の基礎モデルであり、諸々の分析条件や目的に応じて計算することで、各種の波及効果を算定できる仕組みとなっている。

(2) 技術係数変化を記述した廃棄物産業連関表への拡張

廃棄物産業連関表の基本モデルには、中村らによって開発され、公開されている廃棄物産業連関表1995年版(WIO95_031, 動脈80部門, 静脈14部門)¹⁾を用いる。

本研究では、動脈の鉄鋼産業における生産技術の変化を扱うため、以下の手順で廃棄物産業連関表の銑鉄部門の拡張をおこなった。

- ① 既存の生産技術と先導技術別に投入係数を算定する。
- ② 従来の銑鉄生産部門の1割が冷鉄源溶解炉に置き換わると仮定して、各技術による銑鉄生産量を掛け合わせる。
- ③ 一つの列部門(銑鉄部門)として統合し、WI-O表

表2 シナリオ③における鉄鉄1トンの生産に伴う主要物質の投入産出

廃自動車リサイクル部門			冷鉄源溶解炉(SMP)部門		
投入/産出物		シナリオ(3)	投入/産出物		シナリオ(3)
静脈部門からの投入	Aプレス(t)	5.00E-02	動脈部門からの投入	鉄鉄(t)	3.09E-01
静脈部門への産出	シュレッダー鉄(t)	3.57E-02	動脈部門からの投入	微粉炭(t)	1.40E-01
	造粒塵ブラ(t)	9.53E-03	動脈部門からの投入	電力(百万kWh)	4.58E-05
	塩ビ含有樹脂(t)	5.33E-04	静脈部門からの投入	スクラップ(t)	6.33E-01
	ガラス類(t)	2.98E-03	静脈部門からの投入	廃タイヤ(t)	5.00E-02
	シュレッダーAl(t)	5.92E-04	静脈部門からの投入	リターシ屑(t)	1.03E-01
	銅・ミックスメタル(t)	5.92E-04	→ (廃自動車Rからの投入)		
			動脈部門への産出	溶鉄(t)	1.00E+00
			動脈部門への産出	燃料ガス(t)	4.92E-01
			動脈部門への産出	亜鉛原料(t)	3.50E-03
			静脈部門への産出	スラグ(t)	1.50E-01
			静脈部門への産出	レンガ(t)	3.33E-05

上に表現する。

ここで、本分析ではマクロ全体で利用可能な鉄スクラップ量に制限を設け、電炉など既存部門と冷鉄源溶解炉部門との間では、高質リサイクル型の鉄鋼生産をおこなう冷鉄源溶解炉部門に対して鉄スクラップを優先的に配分させている。そのため「粗鋼(電気炉)」部門に投入可能なスクラップ量が減少するが、当該部門の生産額は一定としている。すなわち、電炉への鉄スクラップ供給量の減少に対して、補完的な資源投入(鉄鉄)をおこなう形である。また、冷鉄源溶解炉から排出されるスラグの成分調整のために冷鉄源溶解炉に投入される副原料(CaOやMgO他)など、表1に示す投入産出物以外の投入係数は、従来の鉄鉄部門と同じであると仮定した。

4. 廃棄物産業連関分析による高度な鉄リサイクルの環境保全効果の評価

(1) 比較・評価する技術システムの代替案

以下の3つの技術社会システムに関する代替シナリオを作成し、高度な鉄リサイクル技術の物質フローを核とした循環形成の環境保全効果を評価した。

① 電炉によるカスケード型の鉄リサイクル

電炉で鉄スクラップを棒鋼、型鋼に転換するカスケード型のリサイクル。鉄スクラップの約3分の2が電炉で消費されており、「現状シナリオ」と位置づけられる。

② 冷鉄源溶解炉による高質な鉄リサイクル

冷鉄源溶解炉で鉄スクラップなどの冷鉄源が原料としてリサイクルされ、高級鋼板の素材として利用される溶鉄が産出される。また、廃タイヤが石炭代替材として投入され、発生するガスは製鋼プロセスの燃料として利用される。

③ 廃自動車リサイクルとの連携による鉄リサイクル

さらに廃自動車リサイクルと連携し、廃自動車の解体で生じるAプレスを冷鉄源溶解炉に投入する。WI-O表(1995年版)では、全鉄屑量の約8割が「粗鋼(電気

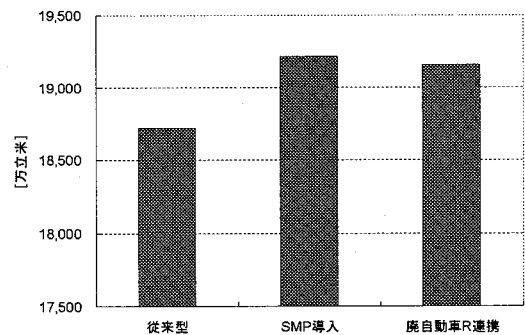


図4 高度循環形成による埋立誘発効果の算定結果

炉)」部門に再投入されていることから、従来Aプレスは「破碎・自動車」部門で金属回収され、電炉を中心にリサイクルされていたと見なすことができる。

また、Aプレスの選別により生じるASRも、石炭と同等レベルにまで質を高められて(炭材化)再利用され、溶鉄1t生産あたりの微粉炭投入量が0.01t減少する(表2)。なお、従来のWI-O表の「破碎・自動車」部門では、廃自動車は全量が破碎され、その過程で約20%(重量比)の有用品が回収、約40%が金属回収され¹²⁾、残りの破碎ダストは埋立処分される設定となっている。

(2) 分析結果

① 埋立誘発量

鉄鉄部門における高度循環形成(リサイクル型生産技術(SMP)導入、廃自動車リサイクルとの連携)による埋立誘発効果の算定結果を図4に示す。冷鉄源溶解炉導入により鉄鉱石生産部門の埋立処分量が減るものの、埋立処分量はマクロ経済全体で約497万立米(2.65%)増加する。しかし、廃自動車リサイクルとの連携によってASR等の埋立が回避され、そこから約63万立米が削減される。ただし、これまでダウン型リサイクルされていた循環資源を、動脈生産側において水平型でリサイ

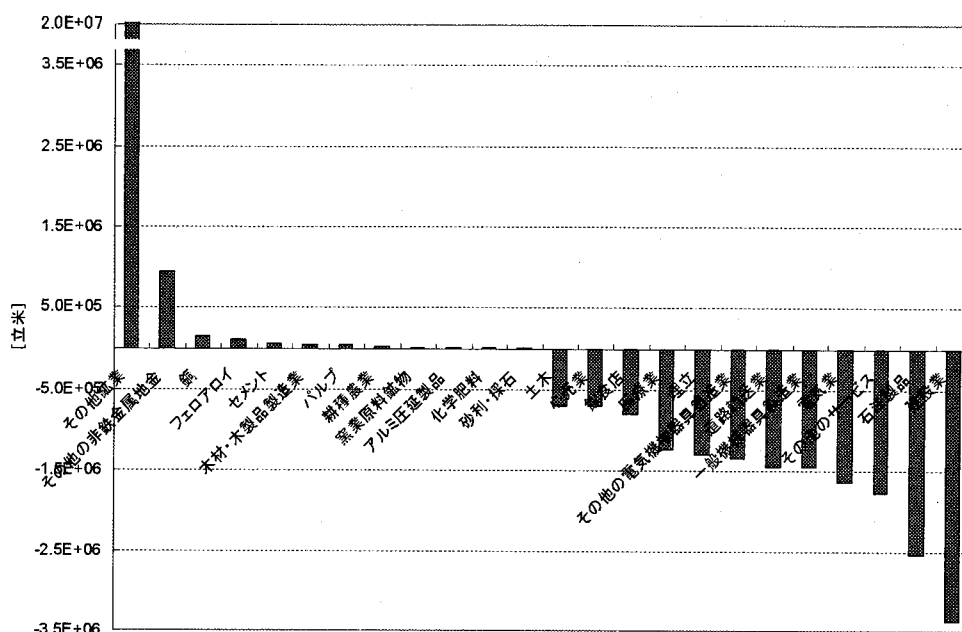


図5 埋立誘発に寄与した主な産業部門における誘発削減量（SMP 導入シナリオ）

クルすることによる埋立削減の長期効果や、新規の天然資源投入量を代替する効果は、ここでは表現されていない。なお、冷鉄源溶解炉から発生するスラグは再資源化率 79%¹⁹⁾として、WIO 上では「セメント」や「その他窯業・土石製品」，「土木」部門へ再投入させる構造としている。

図5は、埋立誘発に寄与した主な産業部門における誘発削減量を示している。動脈部門でのリサイクル型鉄鋼生産技術が鉄スクラップによる原料代替を可能としたことで、「その他鉱業」部門が埋立処分量の削減に大きく寄与する結果となった。また、鋼材や非鉄金属など、製品連鎖上の関連する部門での削減も見取れる。一方、「建設業」や「石油製品」，「電気業」，「道路輸送業」，「機械器具製造業」などにおいて、埋立処分量が

誘発されることが分かる。

② CO₂誘発量

鉄鋼部門における高度循環形成による CO₂ 誘発効果の算定結果を図6に示す。冷鉄源溶解炉の導入により、CO₂排出量が約 125 万 t-C (0.41%) 増加する。これは、還元剤として投入される石炭や廃タイヤ量の増加に起因すると考えられる。しかし、廃自動車リサイクルとの連携では、追加的な誘発量を増加させることなく、回収される循環資源の活用を進めることができる。

CO₂ 誘発に寄与した主な産業部門における誘発削減量は、埋立誘発量と同様、冷鉄源溶解炉が鉄スクラップによる原料代替を可能としたことで、「その他鉱業」部門が CO₂ 排出量の削減に大きく寄与する結果となった。また、鉄鉄や非鉄金属など、鉄鋼産業と結びつきが強い

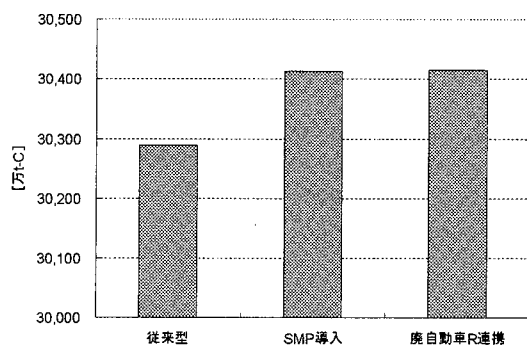


図6 高度循環形成による CO₂誘発効果の算定結果

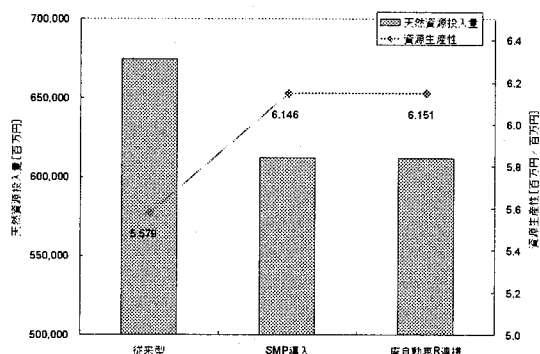


図7 高度循環形成による資源生産性の変化

製品連鎖上の部門での削減も見て取れた。一方、「電気業」や「建設業」,「石油製品」,「一般機械製造業」などの部門において、CO₂が誘発される構造が明らかになった。

③ 資源生産性

冷鉄源溶解炉では、鉄スクラップが天然資源を代替する製鉄原料として利用され、高品位の鉄鋼製品の製造を可能とする点に最大の特徴がある。そこで、まず鉄鋼関連部門として鉄鉄・フェロアロイ・粗鋼(転炉)・粗鋼(電炉)を取り上げ、各部門での天然資源投入量(鉄鉱石や化石資源など)を金額ベースで把握した。次に、この天然資源投入量(金額ベース)を分母にとり、生産額/鉄鉱石等天然資源投入金額で表される鉄鋼関連部門の資源生産性を算定した。その結果を図7に示す。

天然資源投入量は、冷鉄源溶解炉技術の導入によって約9.2%、さらに廃自動車リサイクル連携を加えると約9.3%の削減が達成される。その結果として、資源生産性において約6.15%の向上が図られることになる。

5. おわりに

本研究では、鉄鋼生産技術の革新とそれに伴う物質フローおよび環境負荷の変化を分析するフレームを構築し、先導技術を核とした高質な鉄リサイクルシステムの廃棄物産業連関分析をおこなった。本研究から得られた主要な結果をまとめると、以下の通りである。

- ① 廃棄物産業連関表を援用して、技術-物質フロー連結の評価フレームを構築した。具体的には、既存生産技術と先導技術ごとに投入係数を算定し、それぞれの経済活動量を与えた後に、一つの産業部門として統合することで、先導型技術と既存技術が共存する産業活動の展開を記述可能とした。
- ② 動脈部門での革新技術(鉄スクラップから薄鋼板などを製造する、高炉代替の鉄鋼生産技術)と、それに投入する副産物資源回収の技術変化について、物質フロー分析を実施した。その結果、冷鉄源溶解炉導入によって埋立処分量は約2.65%、CO₂排出量が約0.41%増加する一方で、天然資源投入量は約9.2%削減されることが定量的に明らかになった。
- ③ 同時に、埋立誘発では、天然資源原料や製品連鎖上の関連する部門で削減がもたらされ、CO₂誘発では、動脈部門に派生する製品連鎖や資源回収の静脈部門からもたらされる構造を明らかにした。
- ④ 特に、動脈部門でのリサイクル型鉄鋼生産技術が鉄スクラップによる原料代替を可能としたことで、

経済活動への資源投入が抑制され、資源生産性の向上に寄与することが定量評価された。

また、冷鉄源溶解炉による鉄鉄生産のシェアを10%と設定し、WI-O表を援用した物質フロー分析を進める過程では、先導技術がマクロに広く展開されるにつれて、鉄スクラップや廃タイヤなど循環資源の取り合いが産業部門間で生じる状況が確認された。そのため、本研究ではマクロ全体で利用可能な鉄スクラップ量に制限を設け、高質リサイクル型の鉄鋼生産をおこなう冷鉄源溶解炉部門に対して鉄スクラップを優先的に配分させる一方で、電炉部門へのスクラップ供給量の減少に対して補完的に天然資源を投入する形で分析した。しかし、こうした循環資源の取り合いが生じない状況が、将来シナリオとして想定あるいは成立し得るかどうかに関しては、次のように解釈することができる。

高炉による鉄鉄生産の1割が冷鉄源溶解炉に置き換わることで、追加的に約315万tの鉄スクラップが必要となる。これに対して、建設投資の減少などを反映して、1995年(分析に使用したWI-O表の年次に同じ)に比して2004年の電炉生産は9割強程度にまで減少しており、この電炉減産によって余剰になる鉄スクラップは260万tほどと推計される。現在、中国など海外需要の増大に伴って鉄スクラップの輸出量は増大傾向にあり、2004年の輸出量は1997年に比べて約3倍にまで伸びている。しかし、冷鉄源溶解炉により鉄スクラップは高級鋼板を製造する鉄鉱石の代替となりうるため、市場的にも取引可能であり、その余剰分の一部が冷鉄源溶解炉に投入されるという将来シナリオは、十分に成立可能であると考えられる。一方、鉄鋼蓄積量の増加が年2~3%で推移していること¹⁴⁾、今後建設物の更新期を迎えることなどから、市中スクラップ鉄の発生量や回収量の増加が見込まれる。また、廃タイヤについても、その約25%が焼成用などとしてセメント産業で再利用されている¹⁵⁾が、現在セメントは減産傾向にある。こうした状況を鑑みても、循環資源の需給バランスを歪めることなく、冷鉄源溶解炉の社会展開を図ることは実現可能であると考えられる。

ただし、本研究で構築したモデルは国内での技術代替を対象としており、鉄スクラップを中国等へ輸出するなどの国際的な資源循環は扱っていない。今後、中国を含めた東アジア圏での資源循環形成が不可欠になるとするならば、循環資源・廃棄物の国際流通と再資源化の技術および社会システムのデザインも視野に入れ、それに援用可能な資源循環形成スキームを構築することが課題となる。

謝辞：本研究は、地球環境研究総合推進費（課題番号 H-9「物質フローモデルに基づく持続可能な生産・消費の達成度評価手法に関する研究」）の支援を受けて実施された。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省編：「循環型社会白書（平成15年版）」，ぎょうせい，2003年
- 2) 経済産業省・環境省：地域におけるゼロ・エミッション構想推進のためのエコタウンプラン（環境と調和したまちづくり計画）策定要領及び承認基準等について，2004年 [入手先] 経済産業省ホームページ<http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/3r_policy/policy/pdf/ecotown_outline.pdf>（2006年3月23日参照）
- 3) 通商産業大臣官房調査統計部編：「鉄鋼統計年報」（1995～2002年版），通商産業調査会出版部
- 4) 経済産業省経済産業政策局調査統計部編：「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報」（2003～2004年版），経済産業統計協会
- 5) 例えば，井上忠信・長井寿：リサイクル鉄を用いた材料開発，材料，Vol.52，No.7，pp.1107-1115，2003年
- 6) Nippon Steel Monthly，Vol.136，pp.3-6，2004年 [入手先] 新日本製鐵株式会社ホームページ<<http://www0.nsc.co.jp/monthly/index.html>>（2006年3月23日参照）
- 7) 大野喜智・岡野雅通・恒見清孝・盛岡通：鉄鋼技術・インフラを活用した高度循環システムの資源生産性による評価，環境情報科学論文集18，pp.459-464，環境情報科学センター，2004年
- 8) Morioka, T., Tsunemi, K., Yamamoto, Y., Yabar, H. and Yoshida, N.: Eco-efficiency of Advanced Loop-Closing Systems for Vehicles and Household Appliances in Hyogo Eco-town, *Journal of Industrial Ecology*, Vol.9, Issue-4, pp.205-221, MIT Press, 2005.
- 9) 中村慎一郎編著：「廃棄物経済学を目指して」，早稲田大学出版部，2002年
- 10) Nakamura, S., Kondo, Y.: Input-Output Analysis of Waste Management, *Journal of Industrial Ecology*, Vol.6, No.1, pp.39-64, MIT Press, 2002.
- 11) 廃棄物産業連関表1995年版（WIO95_031），[入手先] 早稲田大学政治経済学術院・中村慎一郎研究室ホームページ<http://www.f.waseda.jp/nakashin/wio_j.htm>（2005年1月12日参照）
- 12) 中村慎一郎：廃棄物産業連関表：全国表の推定について，早稲田大学現代政治経済研究所，WP9903，pp.14-15，1999年
- 13) 前掲書8)
- 14) 日本鉄リサイクル工業会ホームページ，<http://www.jisri.or.jp/recycle/recycle01_01.html>（2006年7月6日参照）
- 15) 環境省総合環境政策局編：「環境統計集（平成17年版）」，ぎょうせい，2005年

WASTE INPUT-OUTPUT ANALYSIS OF ADVANCED LOOP-CLOSING SYSTEM BY INNOVATIVE PRODUCTION TECHNOLOGY IN STEEL INDUSTRY

Yasuo SAKAI, Yugo YAMAMOTO, Noboru YOSHIDA, Tohru MORIOKA,
Yuichi MORIGUCHI and Hiroshi NAITO

In Hyogo Eco-town, environmental efforts to establish an advanced loop-closing system in the steel industry are promoted by utilizing the established infrastructure for manufacturing and introducing the recycling-oriented innovative production technology. In this paper, Waste Input-Output (WI-O) model were developed to evaluate the material flow and environmental loads due to the technological changes. The results of analysis by WI-O model showed that an advanced loop-closing system reduced the amount of natural resource input by 9.2% and improved the resource productivity by 6.15% compared with the conventional recycling system.