

一橋大学 GCOE プログラム
「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」
大河内賞ケース研究プロジェクト

新日本製鐵
コークス炉原料化法による
廃プラスチック処理技術の開発と事業化

青島矢一
鈴木修

2013 年 8 月

CASE#13-03

本ケースは、一橋大学グローバル COE プログラム「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している。なお、本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

(プロジェクト活動の詳細については <http://hitotsubashiir.blogspot.jp/2012/08/gcoe.html> を参照のこと)

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

Tel:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

新日本製鐵株式会社¹: コークス炉原料化法による廃プラスチック処理技術の開発と事業化²

2013年8月

一橋大学イノベーション研究センター 青島矢一
関西学院大学 経営戦略研究科 鈴木修

¹ 現、新日鐵住金株式会社。以下の記述では、当時の社名である新日鐵を使用する。

² 本ケースの作成にあたって、以下の方々には、多大なるご協力をいただいた。この場を借りて深く御礼申し上げたい（以下のタイトル等は現職）。なおケースの内容に関する責任は全て筆者にある。

日本コークス工業株式会社

執行役員 北九州事業所 副所長 植松宏志氏

新日鐵住金エンジニアリング株式会社

技術本部 技術開発第二研究所 石炭技術開発室長（上級リーダー） 加藤健次氏

新日鐵住金株式会社

技術総括部 資源化推進室 上席主幹 畷取英宏氏

技術開発本部 プロセス研究所 制御研究開発部 上席主幹研究員 伊藤邦春氏

技術開発本部 技術開発企画部 技術企画室 森善一氏

1. はじめに

地球温暖化が国際的な問題となる中、日本経済団体連合会（以下、経団連）は、1997年6月17日に環境自主行動計画を発表した。その中で、エネルギー消費やCO₂排出量が特に大きな鉄鋼産業を束ねる日本鉄鋼連盟は、温暖化対策として、（1）生産工程における省エネの推進、（2）廃プラスチック（廃プラ）や未利用エネルギーの活用、（3）省エネを可能とする高級鋼材の供給、（4）国際技術協力による省エネへの貢献の4項目を目標とした。具体的には、粗鋼生産量1億トン为前提として、2010年度には、1990年比でエネルギー消費量を10%削減すること、さらに、廃プラ等のリサイクルで1.5%のエネルギーを削減することを目標として掲げた。1.5%の削減効果を得るには100万トンの廃プラ等の処理が必要となる計算となる³。

一方で、1997年の12月、第3回気候変動枠組条約締結国会議（COP3）で京都議定書が採択され、6種類の温室効果ガスに関して、2008年から2012年の間に1990年比で5%の削減を実現するという目標が明示され、日本には6%の削減義務が課された。

自主行動計画はその名の通り、業界の企業による自主的な取り組みであり、強制力はなかったものの、京都議定書の採択を受けて、計画実行はますます避けられないものとなった。特に、CO₂排出量の多い鉄鋼産業にとって、目標達成は喫緊の課題であった。こうした流れの中で開発、実用化されたのが、新日本製鐵（以下、新日鐵）による「コークス炉化学原料法による廃プラスチック技術」（以下、コークス炉法）である。

コークス炉化学原料法とは、その名が示すとおり、コークス炉を使用して廃プラを処理するプロセス技術である。このプロセスでは、ペレット状に減容された廃プラが石炭と一緒にコークス炉に投入される。そして、石炭とともにコークス炉で乾留された廃プラからは、コークスが生産されるとともに、副産物として炭化水素油やコークスガスといった化学原料が発生する。

既存のコークス炉を活用しているために、設備投資が抑えられるだけでなく、コークスの他に経済価値のある副産物まで生成する。さらにコークス炉法は、脱塩素という点でも卓越している。塩ビに含まれる塩素は、炉に腐食をもたらすため、廃プラ処理にとっては厄介な敵なのだが、コークス炉法では、一緒に投入する石炭から生成されるアンモニアが塩素と結合して塩化アンモニウムとなり無害化されてしまう。それゆえ、別途、脱塩素工程を用意する必要がない。まさに一石二鳥の技術である。これらの特質がコークス炉法に高い経済性をもたらしている。

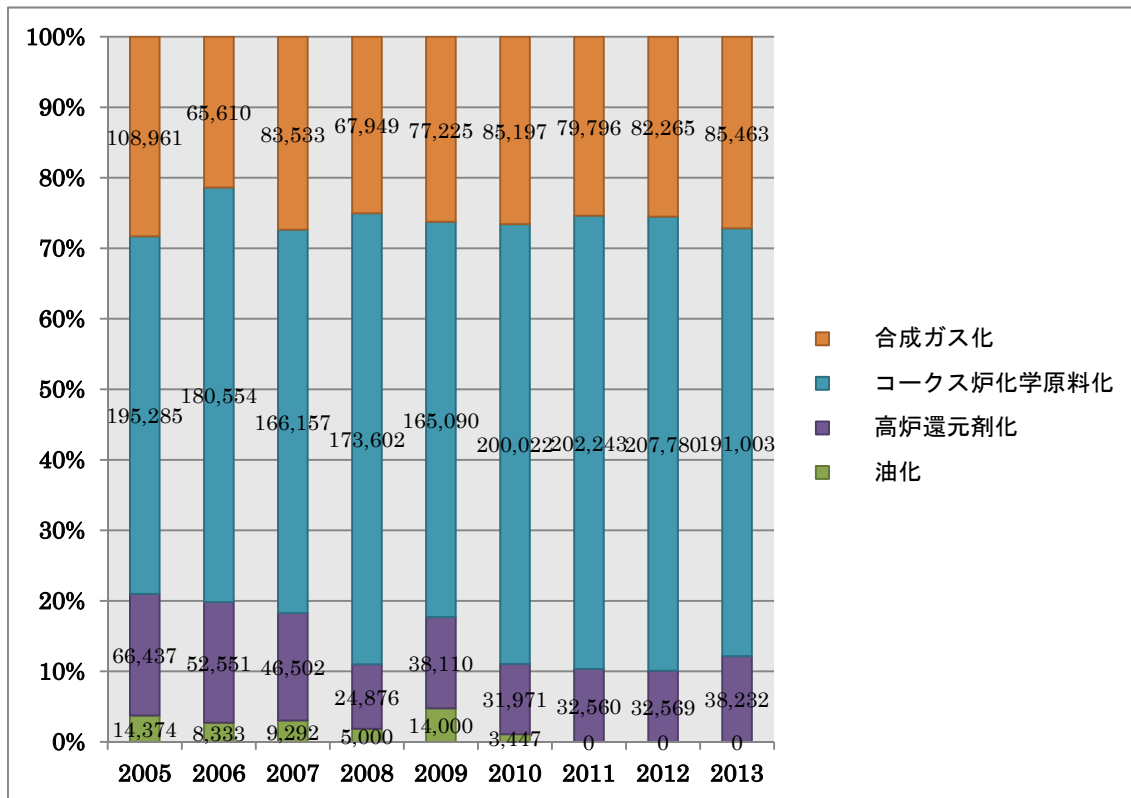
以下の図表1に示されるように、国内の廃プラ処理ではコークス炉法が常に高いシェアを維持している。2012年には、ケミカルリサイクルの65%、材料リサイクルを含めても30%以上のシェアを握っており、そのほとんどが新日鐵のコークス炉によるものである⁴。コーク

³ 「あふれ出る容器用廃プラスチック NKK先陣で高炉大手が再利用へ」『日経エコロジー』1999年10月8日、29-31ページ

⁴ 一部、新日鐵からライセンス供与を受けたJFEのプラントによる処理が含まれているが、それは8,000

クス炉化学原料法がなぜ新日鐵で開発されたのか。以下ではその経緯を記述する。

図表 1： 廃プラ処理（ケミカルリサイクル）技術の国内シェア



注：グラフ内数値の単位はトン、横軸は年度

出所：容器リサイクル包装協会データより筆者作成

2. 技術の概要

2.1 廃プラスチックリサイクル技術の種類

廃プラのリサイクルには、燃やして熱エネルギーとして回収する「サーマルリサイクル」、同じ製品もしくは別の製品の樹脂材料として再利用する「マテリアルリサイクル」、そして、熱分解もしくは化学分解によって他の原料に転換して再利用する「ケミカルリサイクル」の3つの方法がある。新日鐵のコークス炉法はケミカルリサイクルの1つの方法である。

図表 2 に示されるように、代表的なケミカルリサイクルの方法には、コークス炉化学原料化技術の他、高炉原料化技術（以下、高炉法）、油化技術（以下、油化法）、ガス化技術（以下、ガス化法）の4つがある。コークス炉法と高炉法の場合には、鉄鋼生産に使われる既

トン弱で、コークス炉法全体の4%程度に過ぎない。

存設備（前者は高炉、後者はコークス炉）を一部転用するが、油化法とガス化法の場合には、基本的に全て新規の設備投資が必要となる。

高炉法では、廃プラスチックを裁断して細かいペレットもしくは粉状に加工して、コークスや微粉炭の代わりに、高炉における還元剤として使用する。廃プラに含まれる塩素が高炉を痛める危険性があるため、前工程において塩化ビニルの選別や脱塩素設備を用意する必要があることが課題である。現在、JFEがこの技術を実用化しており、図表1に示されるようにケミカルリサイクル全体の10%程度が高炉法によって処理されている。

ガス化法では、酸素の量を制限して廃プラを加熱することによって合成ガスを発生させ、そのガスから様々な化学材料を回収する。ガス化法にいくつかの種類があるが、現在は、荏原製作所と宇部興産が開発した加圧二段式ガス化炉という方式を導入した昭和電工の川崎事業所が事業を行っている⁵。加圧二段ガス化プロセスは、600-700℃の低温ガス化炉と1300-1500℃の高温ガス化炉の2つを段階的に組み合わせたもので、投入された廃棄物はまず低温ガス化炉でガス化され、さらにそのガスが高温ガス化炉で改質される。精製される高濃度のガスからはアンモニアが製造されている。

油化法は、廃プラを無酸素の状態加熱して、分子切断で分解生成油を得る技術である。プラスチックを原料である石油に戻す技術といえる。その開発の歴史は1970年代初頭にまで遡り、90年代には複数の実証実験が行われ、1997年に新潟において始めて実用化された（梶、2004）。後述するように新日鐵も当初は油化法に注目して事業化を目指していた。しかし、油化法はリサイクルに必要なとされる多大なエネルギーや油化残渣の処理問題などから原理的に処理コストが高くなるため、図表1にみられるように、現在ではほとんど活用されていない。

図2：主要な廃プラスチック・ケミカルリサイクル技術

コークス炉科学原料化技術	廃プラをコークス炉で熱分解して、コークス、炭化水素油、コークス炉ガスを生成する
高炉原料化技術	廃プラを粉末化して、微粉炭と同じように高炉に投入し、還元剤として使用する
ガス化技術	酸素の量を制限して廃プラを加熱し、炭化水素、一酸化炭素、水素を含む合成ガスを生成する。合成ガスはアンモニア、メタノール、酢酸などの化学原料に利用される。
油化技術	廃プラを熔融して塩素を除去した後、400℃程度で触媒を用いて熱分解して、分解生成油を得る。

⁵ この技術はNEDOの委託研究として荏原製作所と宇部興産が1998年～2001年に開発・実証をおこなったもので、その後、両社の合弁会社であるイーユーピー社が事業化した。しかし2007年には荏原が出資を引き上げ、2008年にイーユーピー社は解散することになった（青島・大倉、2009）。

2.2 コークス炉化学原料化法

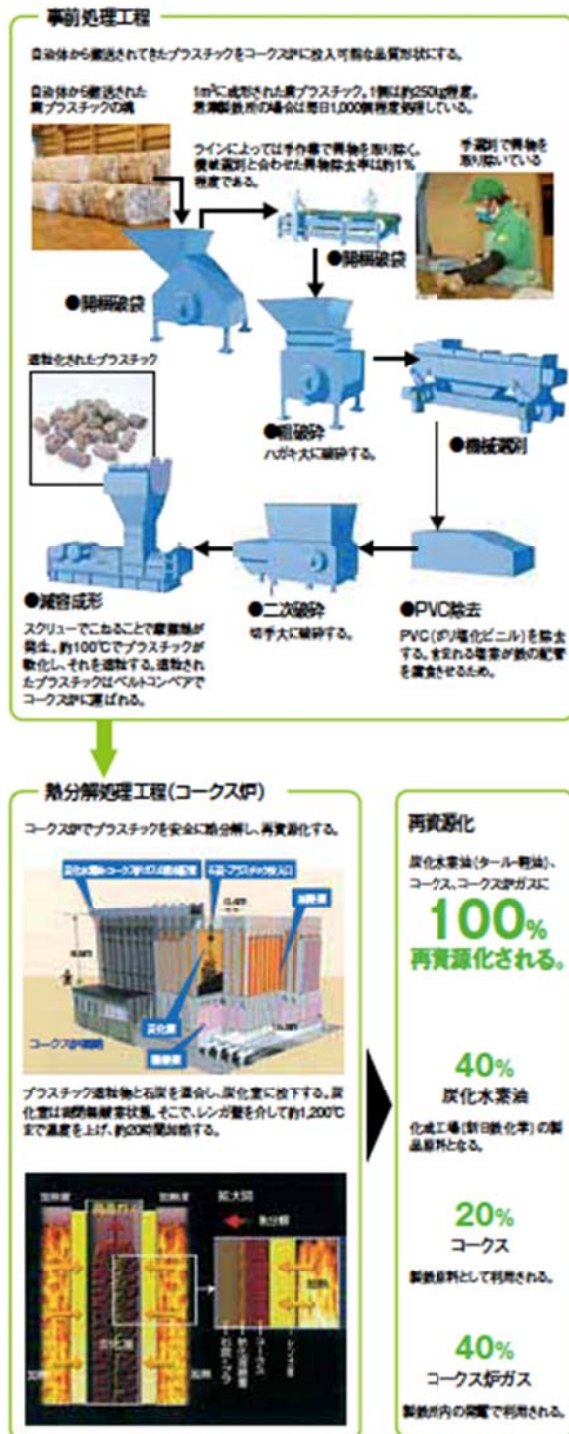
以上のケミカルリサイクル技術の中で、新日鐵が開発・事業化したコークス炉法は、鉄鋼プロセスのコークス炉を活用するところに特徴がある。通常コークス炉は、石炭を約 1,300°C の高温で蒸し焼き（乾留）にして、石炭が持つ硫黄分、コールタール、ピッチを除去して、高炉プロセスの燃料としてのコークスを生成する。コークス炉法では、コークスの原料として、一部、石炭の代わりに廃プラを投入する。石炭と廃プラは成分が似ているのでコークスの原料として廃プラを活用しようという発想である。

コークス炉法における廃プラ処理の具体的なプロセスは、大きく、事前処理工程と熱分解処理工程に分かれる（図表 3 参照）。

事前処理工程は、コークス炉に投入可能な状態にまで廃プラを処理、加工する工程である。まず、各自治体が収集してキューブ状の塊に包装された廃プラがプラントに搬送されてくる。搬送されてきた廃プラを、粗く破碎した後に、機械もしくは手作業で、金属やガラス片、土砂などの異物を除去する。続いて、異物が除去された廃プラは、さらに細かく破碎され、小さなペレット状に減容成型される。この減容成型プロセスでは、破碎された廃プラをスクリーンで連続的に捏ねることによって発生する摩擦熱を利用して、プラスチックを軟化させて、造粒している。こうしてペレット状に造粒された廃プラはベルトコンベアでコークス炉に運ばれる。ここまでの前処理工程である。

後工程である熱分解処理工程では、前処理工程から搬送されてきたペレット状の廃プラを石炭と一緒にコークス炉の中に投入する。後工程では既存のコークス炉を活用するために基本的に追加の設備投資は発生しない。コークス炉に投入された廃プラの 20% はコークスとなり、熱回収後に、高炉に投入され鉄鉱石の還元剤として利用される。40% はタールや軽質油といった炭化水素油となる。新日鐵では製鉄所内に化学プラントをもっており、そこで処理されて、プラスチック原料などの化学原料として商品化されている。残る 40% はコークス炉ガスとなる。このガスは製鉄所内の発電所の燃料として活用されている。例えば新日鐵の君津製鉄所には、東京電力との合弁会社である君津共同火力株式会社が保有する火力発電設備がある。この発電所の総出力は 127 万キロワットに及んでおり、製鉄所内で必要とされる電力量を超える分は東京電力に売電している。発生するコークス炉ガスはこの発電所に送られている。

図表 3：新日鐵のコークス炉法の全体プロセス



出所：NIPPON STEEL MONTHLY, 2008. 7, p3 による抜粋

2.3 コークス炉法の強みと弱み

ケミカルリサイクルの他の方式に比べたコークス炉法の強みの1つは初期投資が低く抑えられることである。図表2に示した4つの方式の中で、油化法とガス化法はともに廃

ラ処理のために全て新規に設備投資を行う必要がある。それに対してコークス炉法と高炉法は、後工程を製鉄プロセスと兼用しているため（前者はコークス炉、後者は高炉）、相対的に追加投資を抑えることが可能となる。

高炉法に対してコークス炉法は、塩素処理にかかる費用を軽減できるという強みがある。高炉にせよコークス炉にせよ、廃プラスチックに含まれる塩ビは天敵である。塩ビから発生する塩素が炉の腐食をもたらすからである。この塩素問題に対処する一般的な方法は、脱塩素設備を装備することである。廃プラ処理技術開発の歴史は、脱塩素技術の開発とともにあったといっても過言ではない。ところがコークス炉法を実現する過程で新日鐵の開発者たちは、コークス炉が塩素を許容できることに気づいた。コークス生成工程において石炭から発生するアンモニアが塩ビに起因する塩素と結合することによって塩化アンモニウムとなり無害化されてしまうからである。したがって、廃プラに含まれる塩ビの量を適切にコントロールできる限り、特段大がかりな塩ビ除去工程は必要なくなる。後述するように、新日鐵の開発者にとって、これはまさにコロンブスの卵的な発見であった。

さらに、コークス炉に投入された廃プラから生成されるコークス、コークス炉ガス、炭化水素油は全て製鉄所内で活用できるようになっている。それゆえ油化法が苦労したような、生成物の市場を探索する必要もない。資源を非常に効率よく活用できる仕組みが製鉄所という閉じた世界で確立しているわけである。

このようにコークス炉法では、設備の初期投資を低く抑えることができるとともに、生成物を無駄なく活用できるため、他の方法に対して高いコスト競争力を得ることができる。この高い経済性がコークス炉法の最大の強みであり、それゆえ、図表 1 で示したように、ケミカルリサイクルにおいて一貫して高いシェアを獲得してきたと考えられる。

一方、コークス炉法にも弱点はある。だからこそ他社はコークス炉法に積極的になれなかったのではないと思われる。第 1 に、石炭に比べて廃プラは容積が大きく、またコークスの生産比率が低いこと（石炭で 70%、廃プラでは 20%）から、廃プラを投入する分、コークスの生産性が低下するという問題がある。第 2 の問題は、石炭の代わりに廃プラを使うことによるコークスの品質の低下である。これら 2 つの問題はどちらもコークスを生産する部門からすれば重大な問題であるから、当然、コークス炉へと廃プラを投入することには抵抗がある。

既存設備であるコークス炉をうまく活用するからこそ経済性を高めることが可能になるのだが、同時に、既存設備を転用するがゆえに、既存事業への影響が避けられず、実用化への抵抗が生じやすくなる。既存設備を転用するという点では高炉法もコークス炉法と同じなのであるが、高炉法では、廃プラは飽くまでも還元剤としてのみ使われているのであって、廃プラが生産物である銑鉄の原料になるわけではない。それゆえ、直接的に銑鉄の品質に影響を与えるわけではない。一方、コークス炉の場合には、廃プラがコークス炉の生産物であるコークスの原料である。それゆえ、コークスの生産性や品質など、コークス生産という既存の事業活動への影響にことさら注意しなければならない。既存事業を担当

する人からすれば、簡単には受け入れられそうにない。このような潜在的な抵抗要因が想定される中で、新日鐵ではいかにして、コークス炉法の開発／実用化に成功したのだろうか。歴史的経緯を振り返りながらコークス炉法実用化の過程をみていこう。

3. 油化法の開発と実用化の断念

1980年代後半、廃プラスチックによる環境汚染問題が国際的に深刻化し、日本政府も様々な対策を迫られるようになっていた⁶。このような状況に対応して新日鐵では、1990年代初頭、省エネ対策や資源の有効活用のために、油化法、ガス化法、コークス炉法など、廃プラスチック処理に関する様々な技術検討を行っていた。これらの技術の中で最も早く実用化に向けて進んだのが油化法であった。油化法の実用化開発はエンジニアリング部門⁷主導で進められた。

1990年には中小企業事業団が受託した廃プラスチック油化ラボテストに参加し、1992年には埼玉県桶川市に年産400tの処理能力をもつ実証設備を建設した。並行して1993年には、兵庫県相生市で、クリーンジャパンセンター向けに年産5,000tの実証設備の建設も行った。

その後、1995年に容器包装リサイクル法（以下、容リ法）が成立し、油化法が、廃プラの再商品化手法として認定されることになった。これを受けて新日鐵は、厚生省の補助を受けて立川市から廃プラ処理施設を受託した廃棄物研究財団向けに、クボタと共同で東京都立川市に実証プラントを建設し、1997年に予定されていた容リ法の本格施行に向けて、油化設備の受注活動に力を入れ始めた^{8 9}。この実証プラント建設で新日鐵は、前処理工程から油化設備の原料混合槽までを担当した。熱分解槽や生成油の貯槽などの後工程はクボタが担当した¹⁰。しかし立川市の実証プラントでは実証試験終了直後の1996年12月に火災が発生した。熱分解槽の下にあるスラッジポッド（残渣の排出受）から熔融されたプラスチックが漏れたことが原因であった（岩倉、2004）。その結果、油化設備本体の2/3が被災し、その復旧、改良に1年近くの期間を要することになった¹¹。同時期に新潟市では他社による油化プラントの実証実験が行われていたが、そちらも1997年4月に火災を起こしており、油化法を実用化することの難しさが浮き彫りになった。

⁶ 「通産省、プラ汚染対策で欧米調査団派遣へ」『化学工業日報』1989年3月10日1面、「官民一体で廃プラ対策システム」『化学工業日報』1991年1月3日10面

⁷ 現、新日鐵住金エンジニアリング株式会社

⁸ 「新日鐵、受注活動に力注ぐ、廃プラ油化装置」『化学工業日報』1996年8月22日10面。

⁹ その他の主な施設としては、歴世礦油株式会社が事業主体となり、(社)プラスチック処理促進協会、千代田化工建設株式会社、シナネン株式会社等が協力して実施した新潟プラスチック油化センターがある。

¹⁰ 「廃棄物研究財団 東京・立川で廃プラ油化実証試験を再開 残さ処理に安全策」『日刊工業新聞』1998年4月14日21面

¹¹ 「立川市の廃プラ油化設備、6月からフル稼働入り、曲折経て実用段階へ」『化学工業日報』1998年4月14日3面

火災の影響で、実証設備の運転開始は遅れたが、1998年4月、16時間/日に生産量を調整して運転が再開された。これを受けて営業活動も始まった¹²。価格は30トン/日の設備で40億円を想定して、2000年に容り法が完全施行されることへの有効な対応策の1つとして魅力をうったえた。

しかしながら立川市での実証試験の最終的な結果として、処理単価が想定よりも高くつくことが判明した。2万t/年の処理能力を持つ実用機による廃プラ処理コストは、用役・メンテナンス費などの変動費で4万1000円/トン、金利3%で10年間での減価償却費が3万2000円/トン、人件費が9000円/トンで、合計8万2000円/トンになるという試算であった¹³。さらに、設備を保持するために分別を徹底すると、10万円/トンくらいは必要となる。2000年度の廃プラ再商品化委託料金は、材料リサイクルで10万5,000円/トンであり、材料リサイクルが優先される状況を考えると¹⁴、このコストでは採算が合わないことが考えられた。

しかし新日鐵は廃プラ処理を諦めるわけにはいかなかった。1997年には冒頭に述べた経団連の自主行動計画が出され、その中で鉄鋼連盟は温暖化対策の4つの目標かかげた。90年比で2010年度には10%のエネルギー消費量を削減するとともに、追加の1.5%分を100万トンの廃プラ処理で実現することが明記されていた。

日本の鉄鋼業を主導する新日鐵が、鉄鋼連盟として掲げた目標実現に向けた活動を放棄することはできない。そこで新日鐵は、急遽、油化法からコークス炉法への転換を決めた。立川市の実証プラントにおいて新日鐵が受け持っていた前処理工程はコークス炉法にも転用することができる。コークス炉法の研究開発自体は1990年初頭から行われてきた。油化法における前処理工程のノウハウとコークス炉法の研究成果を組み合わせることによって、2000年の容り法の本格施行になんとか間に合わせようとしたわけである。しかし容り法の本格施行までには、あと2年しかない。その間に、技術を確立して、実用化し、さらに容り法におけるリサイクル技術として認定まで受けなければならない。

確かにコークス炉法の研究開発は続けていたものの、塩素を含まない産廃を対象としており、一般廃棄物を想定した研究はほとんど行われていなかった。一般廃棄物を対象とするとなると、塩ビから出る塩素問題を解決しなければいけない。こうした不安がある中で、新日鐵はコークス炉法に大きく舵を切って開発に取り組むことになった。

4. コークス炉法への転換と容り法への対応

12 「新日本製鐵、廃プラ油化設備を本格営業」『日刊工業新聞』1998年4月8日16面

13 「立川市で実証の廃プラ油化実証設備、建設コスト5.5億円。前処理工程に投資かさむ」『日刊工業新聞』1999年6月4日14面

14 容り法ではケミカルリサイクルよりマテリアルリサイクルが優先されているので、まずマテリアルリサイクルが落札をして、その後にケミカルリサイクルが落札をするという順序になり、ケミカルリサイクルの方が委託料金が低くなる。図表5参照。

4.1 初期のコークス炉法の研究開発

上述のとおり、新日鐵における廃プラ処理の実用化開発は、油化法を中心に進んだが、基礎的な研究としては、その他の方法も検討されてきた。例えば、90年頃の初期段階では、鉄鉱石の焼結工程や高炉に廃プラを入れることも考えられていた。しかし、塩素が引き起こす問題や、コスト上の制約から、富津の研究所内では、研究としてはコークス炉を活用する方向に的を絞ることになった。当時からコークス炉法の開発において中心的な役割を果たしてきた加藤健次はその経緯を次のように述べている。

(研究所では)例えば、コークス炉でやってもいいし、高炉にいれてもいいし、・・・焼結工場でやってもいいじゃないかと。・・・でも焼結ってそのままエアを吸いながら鉄鉱石を焼いていくんですよ。塩素が入ったら完全にダメですよ、ダイオキシンができますから。高炉というのは、処理が非常に大変で、細かくするには電力、動力を使うんですよ。そういうエネルギー性からするとコークス炉が一番やりやすいのは事実なので、研究所で決断をして・・・¹⁵。

しかし、コークス炉法の研究開発は、ポリエチレンの電線被覆材のような、塩素を含まない産業系の廃プラだけを対象としていた。開発者たちは、容器包装プラスチックのような塩素を含むプラスチックの利用にはあくまでも慎重であった。塩素によるコークス炉へのダメージが心配されたからである。

また、90年代中盤以降の環境気運が急速に高まる時期以前のコークス炉法の研究開発は、環境対策を目的にしていたというよりは、むしろ、石炭に代わる安価な炭素原料を探索する一環として行われていたという側面が強い。前述の加藤は以下のように述べている。

(その当時は)社会貢献とかいうよりも、むしろ、エンジ(油化法を進めたエンジニアリング部門)はハードを売りたい、われわれは石炭とかオイルとか使っているものを、それぞれ安いカーボン源で代替したいと、そういう思いで研究をやっていたんですね。

こうした状況を大きく変えたのが、自主行動計画に基づくエネルギー削減目標の設定と、京都議定書における温室効果ガス削減義務であった。自主行動計画では、廃プラ等の処理によって、90年比で2010年度に1.5%のエネルギー消費量の削減効果を実現することになっていた。それは廃プラを100万トン処理することを意味する。非塩素系の産業系の廃プラでは、収集ルートが整備されていなかったこともあり、100万トンなどとても達成できな

¹⁵ 筆者による加藤氏に対するインタビュー。2012年6月19日。新日鐵君津製鐵所にて。

いことは自明であった。一方、一般廃棄物に関しては、容り法の制定で、自治体を通じた収集ルートが今後急速に確立することが予測された。家庭から排出される容器包装類なら大量に確保することができそうだ。そこで産廃ではなく、塩素を含む一般廃棄物の利用技術の開発にチャレンジしようということになった。しかしそのためには塩素の問題をなんとかしなければいけなかった。

既述の通り、油化法による立川市の実証プラントは1996年12月に火災を起こし、その復旧と改良に苦勞していた。また油化法では、残渣処理とエネルギーコストの高さから採算ベースにのせるのが難しそうであることが判明しつつあった。こうした中で、油化法の実用化で培った前処理工程の技術とコークス炉による熱分解工程を合わせて、塩素の問題にあらためてチャレンジしようということで、急遽、本社の研究部門、知財部門、設備技術部門、エンジニアリング部門に、新日鐵化学のメンバーも含む、幅広い人材から構成される部門横断的なプロジェクトチームが結成された。

1回目の検討会は1998年5月7日に開催された。そしてこの1回目の会合において、新日鐵化学のメンバーの発言をきっかけとして、塩素の問題を解決する基本的なアイデアが生まれた。製銑部門に所属してこのプロジェクトを率いた植松宏志はその時のことを次のように振り返っている。

新日化（新日鐵化学）戸畑の中垣さんの参加を得たのは幸運だった。塩素問題を議論していた時、タール中塩化アンモニウムの存在に関する中垣さんの発言に全貌を見通した思いがした・・・塩素を中和無害化する「脱塩素無害化プロセス」の可能性を直感した¹⁶。

塩素が入った時にどこに問題がでるのかと・・・、最終的には塩化アンモニウムという形で後ろの方に存在すると、そういうことかなと。アンモニアと塩素というのはくつつくんだと。一方で、アンモニアは石炭からいっぱい出てきますから、そういうことで基本的には中和されるんだと。¹⁷

廃プラの塩素は一緒に投入される石炭から生じるアンモニアと結合して塩化アンモニウムとなり無害となる。だから量のバランスさえとれていれば、基本的に心配するような塩素問題は発生しない。これが基本的なアイデアであった。まさにコロンブスの卵的な発見である。もちろん、このアイデアが本当に正しいのか、塩素はバランスしていても他に問題は起きないのか、といった点はきちんと検証しなければいけない。プロジェクトチームは、異例のスピードで、ラボベースで実験から実機による実験へと実用化に向けたプロセ

¹⁶ 植松宏志「コークス化学原料化法事始」新日鐵資料

¹⁷ 筆者による植松氏へのインタビューより。2012年6月19日。新日鐵君津製鐵所にて。

スを進めていった。

1 回目の検討会で基本的なアイデアが確認されると、ラボ試験を繰り返すとともに、2 週間に 1 回という頻度で検討会が開催された。そして、3 ヶ月後の 8 月 6 日には、「コークス炉における含塩素プラ処理-脱塩素無害化処理プロセスの可能性」と題して、塩素無害化に関する技術アイデアを役員クラスの技術運営会議で報告をした。そして実機試験の承認を得ることに成功した。

実機による大規模試験は 1998 年の年末から 1999 年の 3 月にわたって、君津製鉄所内で行われた。その間、プロジェクトのメンバーは、月 1 回のペースで会議を行い、密な情報交換を行った。実機による実証試験が終わった 1999 年 3 月に、社内的には技術がほぼ完成した。後は、実機化をはかることと、国の認定をとることだった。2000 年の容リ法の完全施行を目の前にして、厳しいスケジュールではあるものの、容リ法の技術としての認定を受けることができなければ、事業化することはできない。認定を受けるためにぎりぎりの日程で、国サイドとの頻繁なやりとりが行われた。

その結果、1999 年の 5 月、新日鐵のコークス炉法は、容リ法におけるプラスチック再利用技術としての認定を受けることに成功した。プロジェクトがスタートしてたった 1 年で技術を確立し、実機化を行い、さらに認定まで取得することができた。異例のスピードであった。

様々ある廃プラ処理技術の中で、最後に認定されたのが新日鐵のコークス炉法である。2000 年の容リ法の完全施行に向けて、まさに滑り込みセーフであった。植松は次のように回想している。

容リ法の認定を受けたのが平成 11 年です。それから設備建設にもゴーをかけて、平成 12 年の夏にはもう出来上がったと。凄いピッチで。我々のいつもの新日鐵では考えられないと、みんないってますよ。特に意思決定の速さというのは、他にはない例ですね。我々もびっくりしましたが¹⁸。

実機で試験できるだけの十分な量の廃プラを確保できたことが、このような早い開発を可能にした 1 つの要因であった。実機での検証では 3,000 トンの廃プラが利用された。これだけの廃プラを集めることができたのは、立川での実証プラントが、火災によるトラブルで停止したことが関係している。災い転じて福となすである。

立川市の実証試験では、油化設備の稼働実験だけでなく、家庭からゴミを集めて油化設備に投入するまでの工程の実証も兼ねていたので、火災で油化設備は止まっても、廃プラは継続的に家庭から集められており、減容・造粒を行う前処理工程も稼働していた。それをコークス炉法の実証試験用に活用したのである。植松はこのあたりの経緯を以下の

¹⁸ 前掲、植松氏へのインタビューより。

ように説明している。

なんで 3000 トンもの廃プラが集まったかというところ、・・・立川の実証プラントでは、自治体から一般廃プラを集めて、油化設備で実証試験をするというプロジェクトだったんです。ところが火災でぼしゃったものだから、行き場のない「タマ」が溜まっていたんですね・・・我々からすればラッキーだったのか、たまたま大規模試験をするのに十分な量があったということなんですね¹⁹。

5. 全国の製鉄所への展開

実機化は名古屋製鉄所と君津製鉄所から始まった。2000年10月24日に名古屋製鉄所で、翌月の11月17日には君津製鉄所で竣工式がとりおこなわれ、ともに2ラインでの営業運転を開始した。君津製鉄所ではその後、2004年4月に3つめのCラインが立ち上がり、3ライン体制で運転を行っている。名古屋製鉄所と君津製鉄所での立ち上げに成功した後、他の製鉄所からの導入要請が次々と舞い込み、図表4に示すように、八幡製鉄所、室蘭製鉄所、大分製鉄所へと廃プラ処理ラインが展開された。当時の様子を立ち上げに関わった鍛取英宏は次のようにふりかえっている。

最初は君津、名古屋を立ち上げたんですけど、その後に八幡、室蘭。これは是非うちのところにと。・・・八幡と大分ってもう隣同士でしょう。九州地区の自治体からのプラスチック量がまだそんなに出ていないので、いっぺんに2つは無理だと。順番だという感じで。

各製鉄所から廃プラ処理施設は大いに歓迎された。しかし、既述のように、コークス炉に廃プラを投入することには、製鉄所からすれば不安材料にもなる。廃プラを投入すればするほどコークスの生産性は低下する危険性がある。コークスへの品質低下も懸念される。また廃プラを投入する分、価格の高い強粘結炭で補填しなければいけないという問題もある。だから、コークスを生産する製鉄所がなぜ積極的に廃プラ処理施設の導入を要請したのかは、一見不思議でもある。

その理由の1つは製鉄所での生産量と関係していると思われる。製鉄所からすれば鉄の生産量が落ち込んでいるときには、コークス炉に余裕ができる。また、鉄の生産量の落ち込みを他の事業で補填したいと考えるのは自然なことだろう。

実際、図表5に示されるように、名古屋製鉄所と君津製鉄所への実機展開が具体的に進められていた1998-1999年は、新日鐵の粗鋼生産量が、30年来で最低の水準にまで落ち込

¹⁹ 前掲、筆者による植松氏へのインタビューより。

んでいた時期である。廃プラ処理の収入である処理費は、製鉄工程の原価に反映されるので、製鉄所としては原価低減と同じ効果が見込める。生産量が落ち込み、コークス炉が空いているのなら、その分を廃プラ処理に活用した方がいい。逆に鉄の生産量が増えてコークス炉がなければ、本業を犠牲にしてまで、あえて廃プラ処理を行うメリットはない。廃プラを処理するために、高いコークスを外部から購入するようでは、本末転倒となる。

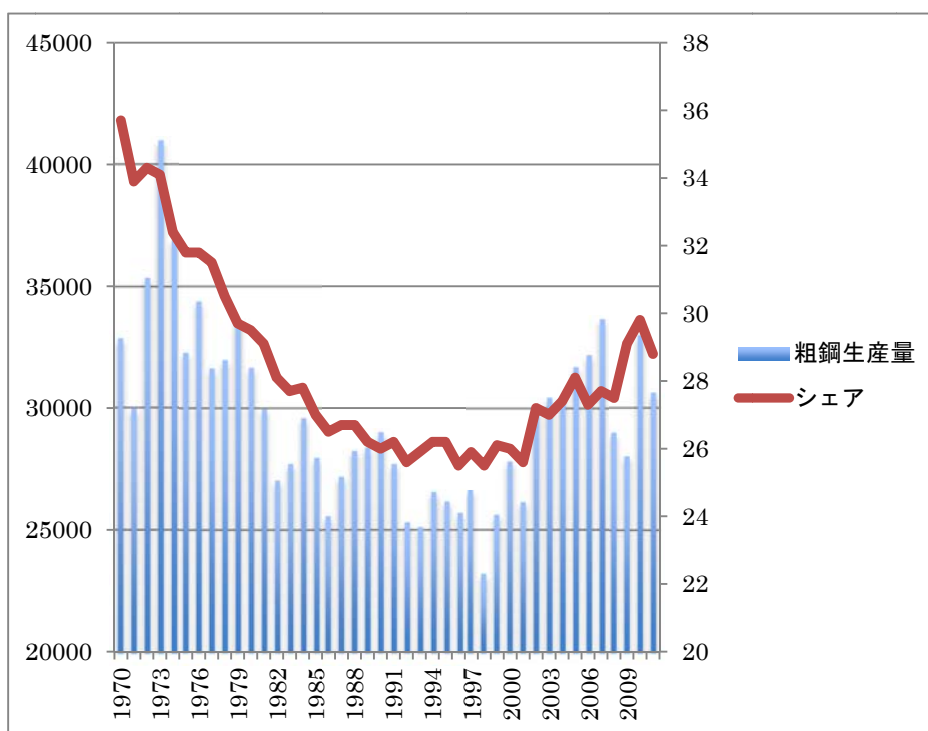
もちろん、一旦廃プラ施設が設置されてしまえば、減価償却しなければならないので、稼働させる必要がでてくるが、特に初期の導入段階では、各製鉄所における鉄の生産水準が、廃プラ施設の導入インセンティブと関わっていたと考えられる。その意味で、廃プラ処理事業という観点からだけするなら、製鉄の不況は、むしろ追い風だったといえるかもしれない。

図表 4：廃プラ処理設備の全国展開

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
名古屋製鉄所	1号ライン		建設	10/24 竣工式・営業運転							
	2号ライン		建設	10/24 竣工式・営業運転							
君津製鉄所	Aライン		建設	11/17 竣工式・営業運転							
	Bライン		建設	11/17 竣工式・営業運転							
	Cライン					建設	4/14 竣工式・営業運転				
八幡製鉄所	1号ライン			建設	5/13 竣工式・営業運転						
	2号ライン						建設	5/11 竣工式・営業運転			
室蘭製鉄所	1号ライン			建設	6/11 竣工式・営業運転						
大分製鉄所	1号ライン						建設	6/13 竣工式・営業運転			
	2号ライン							建設	4/1 竣工式・営業運転		

出所：新日鐵社内資料より筆者が作成

図表 5：新日鐵の粗鋼生産量と国内シェアの推移



(左軸：千トン、右軸：%、横軸：年度)

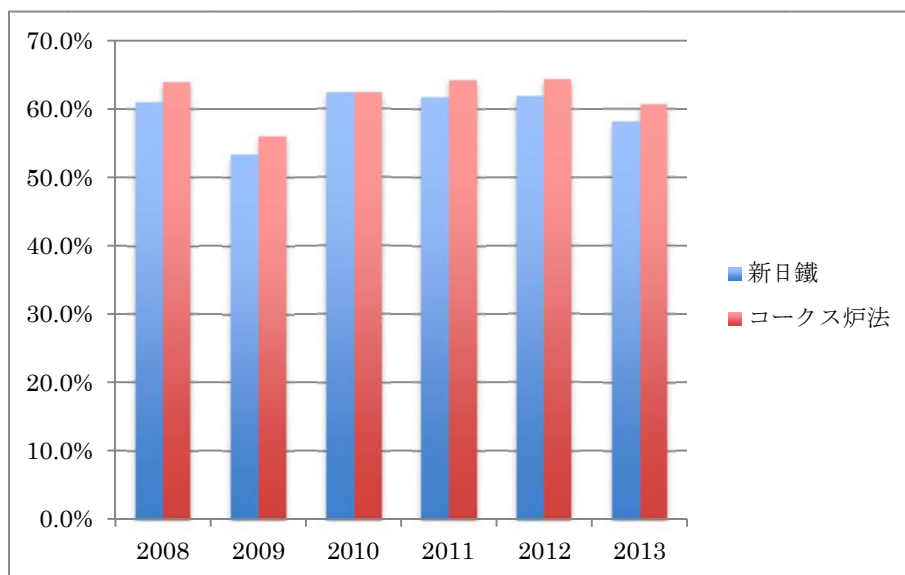
出所：http://www.nssmc.com/ir/pdf/nscguide2012_j_51.pdf

6. 環境対策と事業性の両立

以下の図表 6 に示されるように、廃プラスチックのケミカルリサイクル国内市場において、新日鐵は 60%程度のシェアを獲得している。これは、上記で述べたきたコークス炉法の経済性の高さに加えて、全国の製鉄所への素早い展開によって大量の廃プラ処理能力を他社に先駆けて確立したことによると考えられる。

もちろん、廃プラ処理は単なる営利事業とは異なる。そもそも、温室効果ガス削減という世界的な動きに対する鉄鋼業界の対応として始まったものである。しかし、社会的責任を果たすための活動であるといっても、それが営利企業の活動である限り、赤字を垂れ流してまで、継続できるものではない。環境対策もそれが持続性をもつためには、経済性と両立が必要となる。容器包装リサイクル法の制定は、廃プラ処理の経済性を成り立たせるための政策サイドの貢献であった。そして、コークス炉法の実用化は企業サイドからの貢献であったといえる。

図表 6：ケミカルリサイクル市場における新日鐵のシェア



注：コークス炉法には新日鐵のライセンスを受けた JFE による処理量が含まれている。横軸は年度。

出所：容器方法リサイクル協会

廃プラ処理事業によって新日鐵がこれまで得てきた利益や損失に関するデータは公開されていないので定かではないが、事業の売上に相当する処理収入の推移は把握できる。それを示したものが図表 7 である。コークス炉法の中で 95% は新日鐵による処理なので、図表 7 のコークス炉のデータの 95% 程度を想定すればよい。このデータによれば、2005 年時点では 130 億円くらいの処理委託料を収入として得ていたことがわかる。2013 年度までの処理委託収入の合計は 865 億円となっている。図表 4 に示されるように 2005 年以前にも廃プラ処理は行われていたので、これまでの委託料収入は優に 1,000 億円を超えているはずである。

一方、新聞報道によれば、2000 年に竣工した名古屋製鐵所と君津製鐵所における初期投資はそれぞれ 45 億円であった²⁰。続く、2002 年竣工の八幡製鐵所 1 号ラインと室蘭製鐵所の 1 号ラインの投資額がそれぞれ 20 億円²¹、また、君津製鐵所で 2004 年に追加された C ラインの投資額も 20 億円²²、さらに、2005 年から運転を始めた大分製鐵所 1 号ラインと八幡製鐵所 2 号ラインへの投資額もそれぞれ 20 億円程度となっている。大分 2 号ラインの投資額に関しては情報がないものの、それ以前の 1 ラインあたりの投資額が 20 億円となっているため、同じく 20 億円程度と想定される。これらの情報を総合すると、全体の投資額

²⁰ 「新日鐵、課題は稼働率、廃プラ再資源化施設稼働-コークス炉で完全リサイクル」『日経産業新聞』2000 年 11 月 21 日、10 面

²¹ 「新日鐵、40 億円を投資、廃プラ再資源化、八幡と室蘭でも」『日経産業新聞』2001 年 11 月 21 日、14 面

²² 「新日鐵君津製鐵所、廃プラ処理能力 5 割増、20 億円投じ新ライン」『日経産業新聞』2004 年 1 月 22 日、10 面

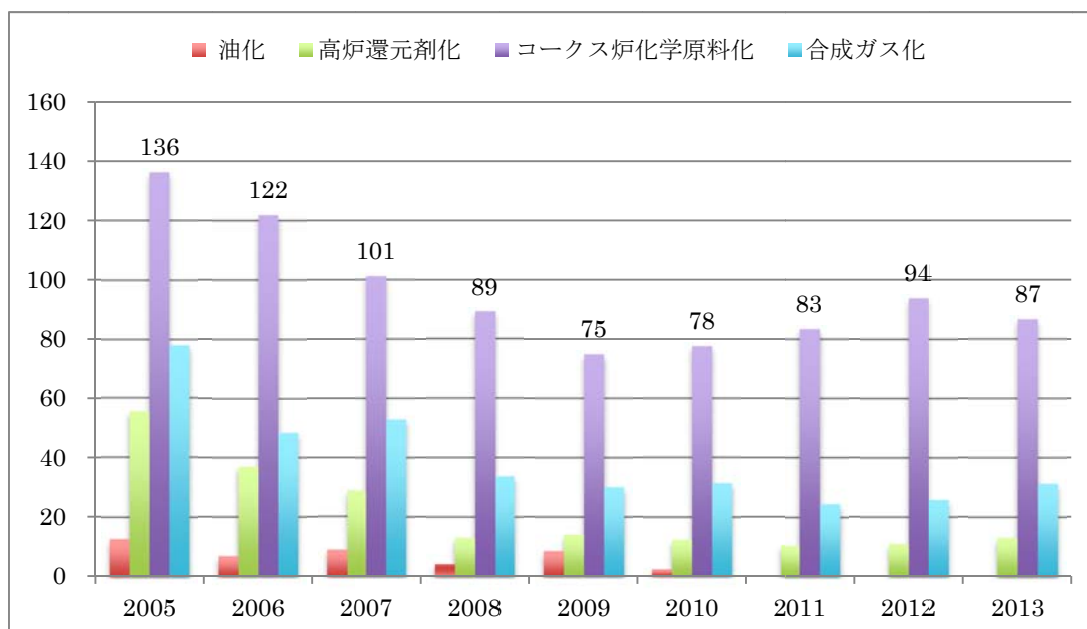
は 210 億円程度と考えられる。前工程を中心に人件費を含めたランニングコストはかかるものの、上記の投資額と委託料収入からすれば、少なくともこれまでは、事業としても十分に採算がとれていたのではないと思われる。

しかし、図表 7 が示すように、委託収入は年々低下しており、事業環境は悪化しているように見える。図表 8 に示されるように、2005 年にはトンあたり 7 万円程度であった委託料が、近年は 4 万円程度にまで低下している。こうした委託料の低下によって 2011 年からは油化法による廃プラの引き受けはついにゼロとなった。もう 1 つの問題は、マテリアルリサイクルが優先されている現在の制度に起因する。プラスチックリサイクルでは、マテリアルリサイクルが優先的に落札する。それゆえ、処理費用の高い案件はマテリアルリサイクルに回される。その残りの案件を、ケミカルリサイクル業者が取り合う形になる。それゆえマテリアルリサイクルに比べて、どうしても処理委託量が低く抑えられてしまう。図表 8 からわかるように、現状でもマテリアルリサイクルの半分程度の委託料となっている。

このように制度設計の不確実性もあり、環境対策と営利企業としての経済性を両立させることは容易ではない。それでも、既存の経営資源を巧みに多重利用できれば、両立は不可能なことではない。

新日鐵のコークス炉法による廃プラ処理技術の事例はそのことをあらためて教えてくれる。

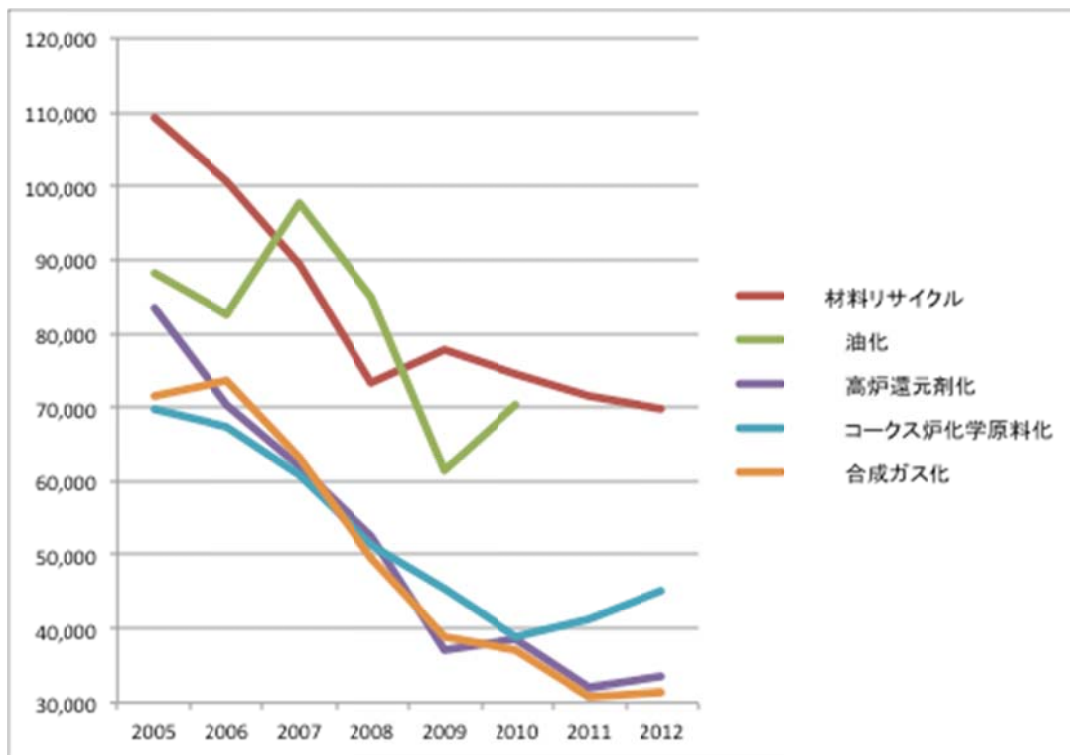
図表 7：ケミカルリサイクルの委託処理金額（単位：億円）



注：横軸は年度

出所：容器包装リサイクル協会データより筆者作成

図表 8：入札価格の推移（単位：万円／トン）



注：横軸は年度

出所：容器包装リサイクル協会データ

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2013

(MOT プログラムケース、大河内賞ケースのみ抜粋)

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たな課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	尹諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A):事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B):事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 呉淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鋳造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鋳造システムの開発」	2009 年 7 月
CASE#10-01	工藤悟志 清水洋	「東芝： 0.6 μm 帯可視光半導体レーザの開発」	2010 年 1 月
CASE#10-02	山口裕之	「東レ： 非感光ポリイミド法に基づくカラーフィルターの事業化と事業転換」	2010 年 3 月
CASE#10-03	三木朋乃 積田淳史 青島矢一	「NHK 放送技術研究所・NHK エンジニアリングサービス・日本ビクター株式会社： 話速変換技術を搭載したラジオ・テレビの開発」	2010 年 4 月
CASE#10-04	青島矢一 高永才 久保田達也	「日本電気： 最先端 LSI 量産を可能にした ArF レジスト材料の開発」	2010 年 5 月
CASE#10-05	青島矢一 大久保いづみ	「新日本製鐵： コークス炉炭化室診断・補修技術」	2010 年 7 月
CASE#10-06	久保田達也 青島矢一	「横河電機： 高速共焦点顕微鏡の開発と事業化プロセス」	2010 年 7 月
CASE#10-07	工藤秀雄 延岡健太郎	「パナソニック： IH 調理器の開発」	2010 年 7 月
CASE#10-08	今井裕介 岩崎慶 幸務正 鈴木裕一郎 山田将知	「株式会社高井製作所の組織改革」	2010 年 7 月
CASE#10-09	工藤悟志 清水洋	「ソニー： MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化」	2010 年 8 月
CASE#10-10	積田淳史 藤原雅俊	「中田製作所： 高機能造管成形機の開発と実用化」	2010 年 9 月
CASE#11-01	伊藤誠悟	「株式会社デンソー： 自動車用発電機：Ⅲ型オルタネータの開発・事業化」	2011 年 4 月
CASE#11-03	小室匡史 江藤学	「三菱電機株式会社： 人工網膜チップの開発と事業化」	2011 年 9 月

CASE#11-04	伊藤誠悟	「株式会社デンソー： 電子制御式ガソリン噴射装置(EFI)の開発・事業化」	2011年9月
CASE#12-01	奥村祐一郎 江藤学	「セイコーエプソン株式会社：3LCD プロジェクタ開発と事業化」	2012年1月
CASE#12-04	崔 裕真	「島精機製作所：ニット製品の最先端生産方式開発の技術経営史 手袋編機用半自動装置(1960年)からMACH2シリーズまで(2010年)」	2012年7月
CASE#12-05	高 永才 三木朋乃	「JX 日鉱日石エネルギー株式会社： サルファーフリー燃料の開発と事業化」	2012年7月
CASE#12-10	伊藤誠悟	「株式会社デンソー・トヨタ紡織株式会社： 成形体オイルフィルタの開発・事業化」	2012年10月
CASE#12-11	中馬宏之	「世界の半導体微細計測を支える測長用 SEM(走査電子顕微鏡)： “日立”を体現する独自性と普遍」	2012年10月
CASE#12-12	藤原雅俊	「新東工業株式会社：エアレーション造型法の開発と実用化」	2012年11月
CASE#13-02	久保田達也 青島矢一 高永才	「富士通株式会社：最先端LSIを実現したArFエキシマレーザーリソ グラフィ用新規レジスト材料の開発と実用化」	2013年5月
CASE#13-03	青島矢一 鈴木修	「新日本製鐵株式会社：コークス炉原料化法による廃プラスチック処 理技術の開発と事業化」	2013年8月