

## 北九州市のエコタウン事業について<sup>1</sup>

古川義彦<sup>2</sup>

### Kitakyushu Eco-Town Project

Yoshihiko Furukawa

Environmental Industries Promotion Office, Environmental Bureau, Kitakyushu City

Kitakyushu City formulated the "Kitakyushu Eco-Town Plan" that is integrating environmental conservation and industrial promotion into a policy, especially focusing on cultivation of an eco-industry, in taking advantages of accumulated technology and human resources through its prolonged development as an industrial city. This paper describes some of the critical points of backgrounds, the status quo, achievements and issues, and prospects of the Eco-Town project in Kitakyushu City.

#### 1 はじめに

北九州市は、環境保全政策と産業振興政策を統合した独自の地域政策として「北九州エコタウンプラン」を策定し、1997年7月、国の第1号の地域承認を受け、今年で9年目を迎えている。

その中心となるのが市北西部に位置する響灘埋立地2,000haの一角に整備した、環境・リサイクル技術の実証研究の場である「実証研究エリア」及びリサイクル事業等の事業化を行う「総合環境コンビナート」で、現在では30を超える事業や研究施設が立地している。

これまでの事業効果は、総投資額で約500億円（民間投資約7割）、創出した雇用は1,000人を超え、平成10年度～平成15年度までの6年間で1,093億円の経済波及効果（付加価値誘発効果は561億円、雇用創出効果は6,470人）を生むなど、一定の成果を収めている。

また、2002年に策定した「北九州エコタウン事業第2期計画」では、対象事業をリサイクル事業に加え、リユースやリビルト事業に広げるとともに、対象エリアを市全域に拡大し、既存の産業インフラを活用した新たな事業展開等を図っている。

ここでは、リサイクル事業を中心とした響灘地区での事業展開から、事業分野としての広がり、地域空間的な広がり、更には、「環境首都創造」を目指した市民やNPO団体等様々な担い手としての広がりを見せつつある北九州エコタウン事業の現況を紹介する。

1.平成17年11月17日本会第115回例会において発表  
2.所属先 北九州市環境局環境産業政策室室長

平成17年8月31日受理

#### 2 エコタウン事業に取組んだ背景

##### (公害克服の歴史)

北九州市は、1963年に門司、小倉、若松、八幡、戸畠の5市が世界初の対等合併により発足した人口100万人あまりの街である。

地震が少なく、天然の良港である洞海湾を擁し、石炭資源にも恵まれているという立地条件から、1901年に官営八幡製鉄所が設立され、これを契機に鉄鋼、機械、セメント、化学工業など「モノづくりの街」として発展してきた。戦後の高度成長期には、4大工業地帯のひとつとして、我が国の経済を支えてきた。

市民は、林立する工場の煙突と立ち上る煙を「七色の煙」として誇りに思っていた。“煙もうもう天にみなぎる”といった表現が小中学校の校歌や旧八幡市歌にもうたわれた。まさに煙突と煙は、発展の象徴であった。

しかし、産業の発展は経済的豊かさをもたらした反面、1960年代に入り深刻な公害問題に直面することとなった。当時は、日本一の降下ばいじんを記録し、工場群に囲まれた洞海湾は大腸菌すら生息できない「死の海」と呼ばれるほどであった。

この公害問題に対し、地域の婦人会が最初に立ち上がり「青空がほしい」をスローガンに、企業及び行政に公害対策を求める運動を始め、これをきっかけに、民産学官の連携による公害克服への取り組みを始めた。そして現在では、「灰色の街」と呼ばれた街は、1987年には環境庁（当時）から「青空の街」に選定されるまでになり、洞海湾には100種類を超える魚介類が戻ってきた。

#### (技術・人材を活用した国際環境協力への取り組み)

この公害克服の過程で培った技術、経験を活かし、本市は、1980年代以降、開発途上国からの研修生の受け入れや専門家の派遣、国際会議の開催などの国際環境協力を積極的に推進している。

その中核となる機関が、1980年に設立された財団法人北九州国際技術協力協会（KITA）であり、2005年3月までに、143カ国、4052名の研修生を受け入れ、また、37カ国、200名以上の専門家を派遣している。その特色は、地元の200社を超える企業、研究機関などが実地研修を受け入れるといった全市的な協力体制を整備しているところにある。

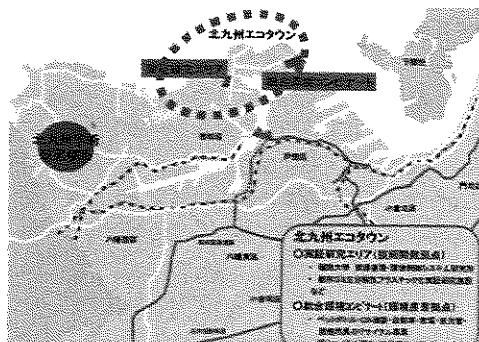
このような本市の取り組みは国際的にも評価を受けており、1990年に国連開発計画（UNEP）からグローバル500を、1992年にリオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する国際会議（地球サミット）」で国連地方自治体表彰を受賞した。更には、2002年ヨハネスブルグで開催された地球サミットで、本市の公害克服等の経験と取り組みをもとに都市環境の改善を図る「クリーンな環境のための北九州イニシアティブ」が都市環境保全のための戦略のひとつとして「世界実施文書」に明記された。

#### (技術・人材を活用した環境産業育成へ)

そして、1990年代からは「モノづくりの街」としての産業基盤や公害克服の過程で培われた人材・技術を活かし、「環境保全政策」と「産業振興政策」を融合させた新たな地域政策として、環境産業を基軸とした北九州エコタウン事業に取り組んでいる

本市が環境産業に積極的に取り組むこととなった発端は、浚渫土砂等の埋め立てで出来上がった2000ヘクタールもの広大な土地活用である。そこに裾野の広い産業群で育った人材、技術、ノウハウや、充実した産業インフラ、公害対策で培われた企業及び行政との連携など本市の特徴を重ね合わせた結果、たどり着いたひとつの解が環境産業であった。

#### 《北九州エコタウンの位置》

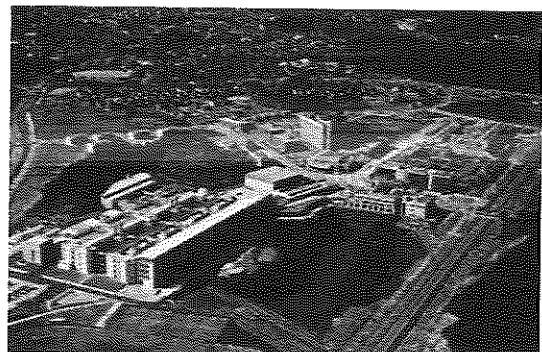


ものづくりの街として発展した本市だからこそ、使用済みとなったものを回収し、再び原料とする環境産業についても正面から向き合う必要があり、ものづくりで培った経験や技術力をもってすれば、環境産業も興すことができるとの考えによるものであった。

### 3 環境産業振興の基本戦略

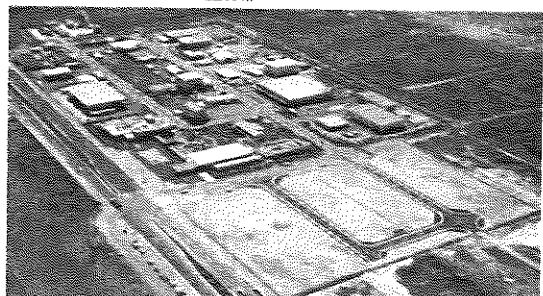
本市は、環境産業の振興に際し、「教育・基礎研究」、「技術開発・実証研究」、「事業化」の3点セットで事業を進めている。

#### 《北九州学術研究都市の全景》



「教育・基礎研究」の役割を担うのは、2001年4月に開設した北九州学術研究都市であり、その重点研究分野が「環境」と「情報」である。北九州市立大学国際環境工学部及び同大学院、九州工業大学大学院生命体工学研究科、福岡大学大学院工学研究科、早稲田大学大学院情報生産システム研究科等の国公私立の大学・研究機関が一つのキャンパスに集まり、产学連携による研究・教育が進められている。いわばエコタウンを支える知的基盤である。

#### 《実証研究エリアの全景》



2つ目の柱を担うのは、「実証研究エリア」である。実証研究エリアは、基礎研究から生まれた技術シーズを事業化に向けて育てる場である。ここでは企業、大学、行政が連携し、環境やリサイクルに関する様々な研究を行なっている。エリア内には、「北九州市エコタウンセ

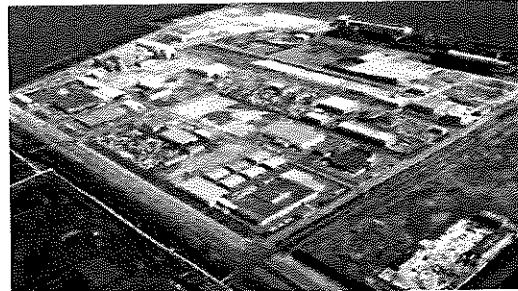
ンター及びその別館」もあり、エコタウンに立地する施設の見学対応、エコタウン事業や市内企業の環境事業に関する紹介・展示の他、環境学習や研究活動の支援等の役割を担っている。

3つ目の柱である「事業化」において中心的な役割を担っているのが「総合環境コンビナート」である。総合環境コンビナートは、各種リサイクル事業を集中的に展開し、かつ、各事業が相互に連携することで、ゼロエミッション型の環境産業団地を目指して整備したエリアである。

2005年4月、この団地のゴールキーパーとも言える複合中核施設（自動車のシュレッダーダスト及び当該団地などから発生する最終的にリサイクルできない廃棄物を溶融炉により減容化し、発生するエネルギーを回収して団地内の事業者に電気を供給する施設）が操業を開始したことにより、世界でも類を見ないゼロエミッション型の環境産業団地が完成した。

また、この団地に隣接したところには、北九州市内の中堅・中小企業を対象とした賃貸型の「響りサイクル団地」を整備し、市内中小企業などによる各種リサイクル事業が行なわれている。

#### 《総合環境コンビナートの全景》



このように、エコタウン事業開始当初から「基礎研究」「実証研究」「事業化」という3つの事業ステップを想定した基盤整備を行い、様々な事業を進めてきたが、今後更なる環境産業振興を図るには、この3つより強固な連携が益々重要となってくるものと考えている。

#### 4 エコタウン事業の現状

##### （事業集積）

以上のような事業計画の下、1997年7月のエコタウン事業開始以来約8年間の事業実績としては、30の実証研究及び21の事業化施設が稼動し、観察者等の累計も40万人を超えるなど、全国のエコタウンの中でも最も注目を集める地域の一つとなっている。

#### 《実証研究施設：2005年4月現在》

1	福岡大学資源循環・環境制御システム研究所
2	閉鎖型最終処分場実証研究施設
3	九州工業大学エコタウン実証研究施設
4	完全無放流型最終処分場実証施設
5	おから等の食品化技術の実証研究施設
6	飛灰の無害化処理に関する実証研究施設
7	廃棄物無害化処理システム実証研究施設
8	食品ごみのバイオマスプラスチック化実証研究施設
9	誘導加熱式乾留炉を用いたリサイクル技術実証施設
10	最終処分場の早期安定化技術実証研究施設
11	新日本製鐵㈱北九州環境技術センター
12	高感度光触媒型漆喰成形体実証研究
13	バイオマスプラスチック原料製造施設
14	食品残さによるバインダー材の開発
15	焼酎かすの高度リサイクル技術の開発
16	廃FRP漁船高度利用技術の開発
17	有害灰類の無害化・資源化技術の開発
18	廃プラスチックリサイクル技術実証研究施設
19	焼却灰の無害化リサイクル技術実証研究施設
20	焼却灰リサイクル技術実証研究施設
21	耐塩性遮水層の構築技術実証研究施設
22	最終処分場遮水診断・修復技術実証研究施設
23	溶融スラグ活用と処分場安定化実証研究施設
24	廃コンクリートリサイクル技術実証研究施設
25	再資源化建設資材実用化実証研究施設
26	廃棄物資源化実証研究
27	油汚染土壤浄化技術実証研究施設
28	最終処分場実証研究施設
29	ガラスカレットリサイクル技術実証研究施設
30	灰リサイクルシステム実証研究

\* 18~30までは既に研究終了

#### 《事業化施設：2005年4月現在》

総合環境コンビナートエリア（響灘地区）	
1	ペットボトルリサイクル事業
2	OA機器リサイクル事業
3	自動車リサイクル事業
4	家電リサイクル事業
5	蛍光管リサイクル事業
6	医療用具リサイクル事業
7	建設混合廃棄物リサイクル事業（1）
8	建設混合廃棄物リサイクル事業（2）
9	複合中核施設
響りサイクル団地（響灘地区）	
10	食用油リサイクル事業
11	洗浄液・有機溶剤、プラスチック油化リサイクル事業
12	古紙リサイクル事業
13	空き缶リサイクル事業
14	自動車リサイクル事業

実証研究エリア（響灘地区）	
15	おから・食品残さリサイクル事業
16	発泡スチロールリサイクル事業
その他響灘地区	
17	パチンコ台リサイクル事業
18	風力発電事業
19	プリンタートナーカートリッジリユース事業
20	廃木材・廃プラスチックリサイクル事業
21	飲料容器リサイクル事業

#### （エコタウンにおける相互連携）

また、このように一つエリア内に様々にリサイクル産業が集積することにより、事業間における相互連携が進められ、それが一つの集積メリットとなっている。

このような企業間のゼロエミッションを考える場合のアプローチとしては、初めから連携を意識して企業立地を進める方法と既存工場の存在を前提として可能な連携を模索する方法があるが、北九州エコタウンの場合はその中間と言える。すなわち、1997年の構想策定時には、地域のポテンシャルを踏まえながら、連携を意識した誘致企業を想定したもの、現実にはそれぞれが民間事業であることから、想定していた事業が断念したり、或いは想定外の業種が立地したりという自体が生じたため、当初の構想を基本としながらも現実的な対応をとってきたのである。

連携の例としては、「家電リサイクル事業から出てくる廃プラを油化リサイクル事業で活用」「建設廃材リサイクル事業の木チップを廃木材リサイクル事業（デッキ材製造）で活用」など様々であるが、事業者の立場からすると、エリア内で廃棄物や資源化物が相互利用できれば、輸送コストが軽減され、また、顔の見える近隣での取引のため安心感が高いというメリットや、従来廃棄物として費用をかけて処理されていたものが、若干の分別や加工により有価値化し、円滑に循環する例も出てきている。

また、前述の複合中核施設におけるリサイクル残渣の受入と電力供給も相互連携の例である。

## 5 新たなエコタウン事業の展開

### （エコ・コンビナート構想・・地域空間への広がり）

環境保全政策と産業政策を統合したエコタウン事業の精神を市内全域に拡げ、地域として「資源・エネルギー循環都市」を構築するための検討を進めている。

かつて4大工業地帯の一つと呼ばれた本市の鉄鋼・化学などの大規模かつ多種多様な素材型産業コンビナートには、世界最高水準のエネルギー利用・物質転換技術があり、エコタウン事業第2期計画においては、これらの

産業インフラを活用した新たなビジネス展開を掲げている。

市内に立地する企業では、これらの技術を活用し、省資源・省エネルギーに取り組み、大きな成果を挙げているが、企業単独の取り組みでは限界も見え始めている。

このため、2003年11月に学識経験者、市内民間企業15社、九州経済産業局、本市で構成する検討委員会を設置し、北九州エコ・コンビナート構想を取りまとめた。

今後は、エコ・コンビナート構想を実現するため、企業体の枠組みを越えて連携し、コンビナートとしてのポテンシャルを最大限発揮することで、省資源・省エネルギー、更には、産業圏と生活圏との連携も進め、都市レベルでの先進的な資源・エネルギー循環型都市の構築を目指すこととしている。

その第1歩として、2005年5月、北九州市内の企業等から出る副産物・廃棄物をコーディネーターを介して有効活用し、市全体で資源循環を図る「北九州資源循環ネットワーク」をスタートさせたところであるが、今後、響灘地区、洞海湾地区などにおいて産業から発生する廃熱などの未利用エネルギーを他産業や隣接する生活圏で利用することについて、より具体的な検討を行なうこととしている。

### （新たな環境産業の育成・・産業技術分野の広がり）

本市における環境産業としては、これまで、リサイクル事業中心の取り組みが行なわれてきた。新たな育成分野としてリユース等の分野において立地促進に努め、少しずつ進出企業も出てきているところであるが、循環型社会の構築のためには、ものづくりの上流（動脈産業）において、環境負荷の低い製品・技術を生み出す産業の創造・支援も重要である。

このため、2004年度、市内企業が取り組んでいる環境配慮型製品等を公募し、81製品をエコプロダクトとして選定し、冊子等の作成・配布を通して広く普及啓発を行うとともに、本市で開催した「エコテクノ2004」や東京で行なわれた「エコプロダクト2004」への出展等により販路拡大の支援を行ったところである。

2005年度は、これに環境負荷低減につながるサービスもその対象に加え、「北九州エコプレミアム産業創造事業」と銘打って実施している。これまでの取組みが「環境の産業化」であったとすれば、北九州市内企業における「産業の環境化」への取り組みの第1歩であると言える。

また、今後は、近接する北九州学術研究都市における新エネルギー・ナノテクノロジーなどの研究シーズを活

かした次世代型環境産業の創出やバイオマス産業創出などに更に積極的に取り組んでいきたいと考えている。

(人材育成の強化・・担い手の広がり)

本市では、エコタウン事業の推進に対し、施設を公開することにより住民理解の促進に取り組んできた。これは、施設を公開し、見てもらうことで不安感・不信感を払拭し、市民等の信頼を得ながら円滑に施設立地を行うことを目的としている。また、企業にとっては、見られることで緊張感を生み、より安全で安心できるリサイクル施設を目指し取り組むという効果を生んでいる。このような取り組みが、市民にも評価されており、エコタウン事業が「住民の誇り」、「北九州の顔」との意識が根付き始めている。

また、人材育成の面でも、環境ビジネス人材育成のための「環境クラスター大学（九州経済産業局）」、廃棄物・リサイクル行政に携わる全国自治体職員の育成のための「廃棄物・リサイクル専攻別研修（環境省）」が本市をフィールドに開催されている。なお、これらの研修では、北九州エコタウン事業を「リサイクル事業の実践の場」として活用し、リサイクル事業の現場に触れることによって高い効果を上げている。

更には、2004年度からはNPO法人が事業実施主体となり廃棄物分野の高度な専門技術者を少数精銳で養成する「九州環境技術創造道場」も開設し、門下生が九州ひいてはアジアの廃棄物問題の総合的な技術者、環境ビジネスのリーダーとして活躍することを期待している。

## 北九州エコタウン事業の拡がり＜総括図＞



## 6 今後の課題

これまで「北九州エコタウン事業」を推進してきて、見えてきた環境産業（リサイクル産業）の課題についてまとめてみる。

まず第1に、「入口・出口に関する課題」がある。原材料の調達を入口、製品の出荷を出口に例えたものである

が、言うまでもなく環境産業の原材料は廃棄物である。この集荷は非常に不確実であり、安定的に必要量が確保される保証がない。また、リサイクル費用負担のルールも不明確であり、結果としてリサイクル事業者にしわ寄せされているようである。そして、出口の部分では、リサイクル品の需要、価格、販路に多くの課題を残している。グリーン購入などの取り組みが進んできているもののまだまだ適正な市場競争に勝てるところまでは至っていないのが現状である。

第2に「産業としての見通しの不透明さ」である。現在は製品設計思想の移行期であり、リサイクルするときの解体方法がまだ確定したものになっていない。また、リサイクル技術が多様で革新が早く、事業化された技術がすぐに陳腐化する。したがって環境産業では、長期的経営戦略が立てにくい状況である。

第3に、「法整備の必要性」である。現在、容器包装リサイクル法の見直し論議もされているところであるが、一般的に言えば、法によって集荷システムやリサイクル方法、費用負担の考え方などが明確にされないと、事業を安定的に操業するところまで持っていくのが困難な産業である。

第4に「住民感情」の問題も重要である。廃棄物処理施設に対する住民のアレルギーは厳然と存在する。住民側から見ると、環境産業は「不安感」、「不信感」、「不快感」の対象であり、これらを払拭するためには、きちんと説明責任を果たすことが必要である。このためには、施設や事業の公開が重要であると考える。きちんと処理し、リサイクルしていることを実際に目で見てもらうことは、住民の安心感に繋がっている。

このように、環境産業（リサイクル産業）がビジネスとして成立するには社会システムも含め様々な課題を抱えており、行政が支援するべきところはきちんと支援していくかなければならない。しかしながら、ビジネスはやはり民間の感覚で行うべきであり、事業主体の民間と支援役の行政との明確な役割分担が不可欠である。

また、既述のようなリサイクル産業特有の課題とともに、あらゆる産業に共通する問題として厳しい企業間競争の中での事業運営であり、独自技術等に立脚する競争力を持ち、また、他の地域では真似できない地域のポテンシャルを生かしたリサイクル産業の育成、更には、動脈産業における環境負荷低減に向けた様々な技術開発及び環境配慮製品等の創出が、今後はより一層重要な要素となると考えている。

## 7 まとめ

ここまで、本市のエコタウン事業についてまとめてみた。

持続可能な社会の実現には、産業活動はもとより、自然・生態系に対する配慮や都市計画、さらには、地域活動や個人の生活様式など様々な面からのアプローチが必要である。

本市では昨年10月、世界の環境首都を目指したグランドデザインを多くの市民の参加のもと策定した。そこには、「共に生き、共に創る」「環境で経済を拓く」「都市の持続可能性を高める」の3つの柱と10の行動原則、アイデア段階の事項も含め250のプロジェクトを掲げている。

今後、市民、企業、行政などあらゆる主体が協力して環境首都を目指した取り組みを進めていきたい。

## 北九州市での PCB 处理事業について<sup>1</sup>

入江隆司<sup>2</sup>

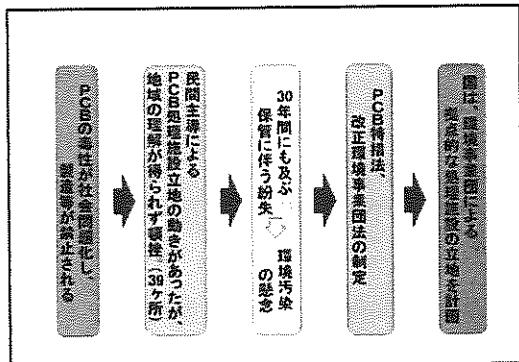
### About the PCB processing business in Kitakyushu City Takashi Irie

Environmental Economics Department, Environmental Bureau, Kitakyushu City

This paper presents risk communications between administrations and residents for construction of Japan's first regional PCB contaminated waste treatment facility as well as presents backgrounds of location decision of it. The compendium of the facility, which is reflected with premises of location decision and with contestations of residents, is introduced.

#### 1 背景

ポリ塩化ビフェニール（PCB）は、不燃性、絶縁性などの特性から、数十年間に渡って電気機器用の絶縁油、感圧複写紙、熱媒体等に使われてきた。しかしながら、昭和43年のカネミ油症事件を契機に、昭和47年にはPCBの生産が中止され、使用を終えたものは保管が義務付けられたが、その後紛失等の事例が相次ぎ、環境汚染が懸念されるようになって来た。さらに、全くPCBを使用していない北極圏に住む人々や動物からもPCBが検出されるなど、PCB汚染は、我が国のみならず、地球規模での問題であり、その適正処理は緊急かつ重大な課題であった。



#### 2 PCB 处理施設立地決定までの経緯

PCBの処理については、国はこれまで、高温焼却処理施設の設置を全国39ヶ所で検討してきたが、いずれも関係者の十分な理解が得られなかった。一方では、焼

1. 平成17年11月17日 本会第115回例会において発表

2. 所属先 北九州市環境局環境経済部主幹

平成17年8月31日受理

Vol. 52, No. 4 (2005)

却以外の化学処理法が開発・実用化され、平成11年以来、PCB保管事業者一部では自社処理が進められてきたが、中小企業を含む大部分の保管事業者のPCBを処理する体制が整っていなかった。(Fig.1)

このような状況の下、平成12年12月、国から北九州市に対して、環境事業団(現:日本環境安全事業株)、以下「JESCO」という)による広域的なPCB処理拠点施設の立地の検討要請があった。これを受けて北九州市は、PCB処理に係る安全性確保の方策、情報公開のあり方等について、「北九州市PCB処理安全性検討委員会」を設置して専門的な立場からの検討をお願いした。これと平行して、地域住民の理解を得るために、半年間で100回以上の住民説明会を行った。これら、専門家による検討、地域住民の意見集約、市議会での議論を経て、平成13年10月に立地受入の条件を国に提示して、北九州市でのPCB処理施設立地を受入れることとなった。

立地場所は、Fig.2に示すように、エコタウン事業が展開されている、本市北部の響灘東部地区である。ここは、工業専用地域で、住宅地域からは直線で約4km離れた位置にある。

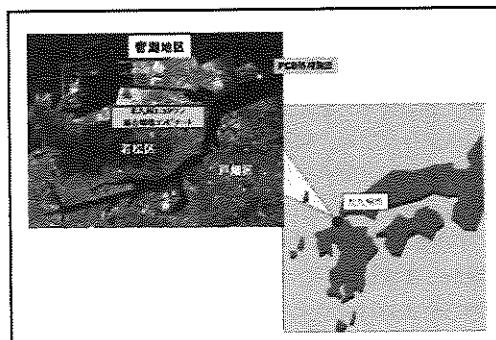


Fig.2 Location place of PCB treatment facilities

	①事業全体	②PCBのリスク	③処理関係	④情報公開	⑤収集・運搬	⑥処理コスト	委員会等への参加者数
第1ステップ (検討委員会、市民説明会等開催時) (H13.2~)	・何故、北九州市なのか? ・国や都道府県で処理すべきだ ・100%安全なの? ・この事業は誰が行うのか? ・製造者責任はないのか? ・他の4事業の進捗状況は? ・火災などの消防マニュアルはあるのか? ・広域処理の協議会は議論が進んでいるのか? ・国等の責任体制を明確にして欲しい(視察後) ・「百聞は一見にしかず」で参考になった ・このような施設であれば、安全性は確保されると想へ。	・貴賅力と同じか? ・PCBは体内に入るとどうなるのか? ・こぼれたら、付近住民への影響はないといいのか? ・どのように運ぶのか? ・焼却処理反対	・どのような処理を行なうのか? ・処理技術は確立してない。 ・JCG離界事故のようになりトラブル発生があるのではないか? ・住民の意見をよく聞け ・情報公開を徹底すべき	・事業に関する情報がない。 ・運搬中に事故が起きたら、どうするのか?			・市民説明会 約4,000人/109回 郵便等による 100件 ・意見交換会 約450人
第2ステップ (監視委員会第1回~第4回) (H14.2~)	・施設の安全設計について、外部意見を開いたのか? ・(?)県の処理順番は決まったのか? ・試運転開始は、何時からか? ・緊急時対応について万全か? ・前回の検査と合わせてPCB処理の全体像が理解できなかった。	・脱塩素化分離法等を採用している理由は? ・保管能力を超えて搬入されたものはどうするのか? ・処理物のリサイクルは? ・接着モニタリングはきちんとできるのか?(視察後) ・安全管理体制や作業工程等の安全性が確認できた。	・環境モニタリング計画について具体的に教えて欲しい。(視察後)	・収集・運搬ガイドラインは何時出るのか? ・輸送時にPCBを明記するのか? ・運行状況の確認にGPSを利用するのか? ・見学や検察は常時出来るのか?	・収集・運搬ガイドラインはいつからあるのか? ・運営者は決まりたのか? ・運営料金等が高額になるため、保管事業者が浮出を防ぎしないような措置を講ずるべき	・処理料金はいくらになるのか? ・前回の検査と合わせてPCB処理の全体像が理解できた。 ・なぜ焼却処理しないのか?	・監視委員会の傍聴者数 第1回 34(36) 第2回 35(35) 第3回 27(27) 第4回 汚染処理観察 第5回 20(20) 第6回 20(21) 第7回 前処理観察 第8回 33(38) ※( )は、応募者数
第3ステップ (監視委員会第5回~第8回) (H15.4~)	・施設工事の進捗は? ・施設の安全設計について、外部意見を開いたのか? ・(?)県の処理順番は決まったのか? ・試運転開始は、何時からか? ・緊急時対応について万全か? ・前回の検査と合わせてPCB処理の全体像が理解できなかった。	・環境モニタリング計画について具体的に教えて欲しい。(視察後)	・液処理の処理設備、作業環境等が実際でないことが確認できた。 ・前回の検査と合わせてPCB処理の全体像が理解できた。 ・なぜ焼却処理しないのか?	・収集・運搬ガイドラインはいつからあるのか? ・運営者は決まりたのか? ・従業員の教育は間に合うのか?			

\*第1ステップの意見は、市民説明会や意見交換会等で頂いたものから抜粋  
\*\*第2ステップ及び第3ステップの意見は、市民の代表である委員のものから抜粋

Table.1 Change in the citizens consideration

### 3 地域住民とのリスクコミュニケーション

地域住民の理解を得るために、「情報公開」と「説明責任」をキーワードに、次の3つの原則を掲げて、PCBの性質や処理技術、委員会での議論の内容等をできるだけ分りやすく説明することに心がけた。

- 科学的知見に基づく情報の提供
- 絶対安全（ゼロリスク）はない
- 安全性と経済効果を同じ土俵で考えない

このようなリスクコミュニケーションの実践により、立地決定前後からPCB処理施設が建設され、操業が開始された現在までに、次のステップで地域住民の意識変化が見られた。(Table.1) 第1ステップでは、立地決定前後の頃、PCBに対する誤った認識や過度の恐怖感、処理施設に関する情報不足、行政に対する漠然とした不信感等に起因する「とにかく反対」的な意見が多かった。第2ステップでは、立地決定後、市民の立場でPCB処理事業を計画段階から監視していく「北九州市PCB処理監視委員会」を設置し、市民の情報公開の窓口として、PCB処理の安全性等に関する情報公開を通じて、実務的な質問、意見が中心となってきていた。また、既存の民間処理施設を実際に見学することにより、「安心感」が大きく向上した。第3ステップでは、実際に施設が建設され

る頃になると、処理技術上の不安は少なくなり、運搬方法や処理コストなどに関する質問、意見が増え、操業が開始された現在では、施設の運転操作や作業者の安全性に関することなど、まさに、実態に即したものへと変化してきた。

このように、リスクコミュニケーションは、情報の共有を図りながら、理解を深めていく必要があり、一方的なものではなく、双方向でなければならない。その意味からも、我々行政もこのことを通じて、多くのことを学び、情報の共有と理解の深化に努力していくかなければならない。

### 4 北九州PCB廃棄物処理施設の概要

#### 4.1 施設概要

事業主体であるJESCO(当時は環境事業団)の委託を受けて、新日鐵・三井物産・日本曹達JVが建設した北九州PCB廃棄物処理施設は、全国で初めての広域的な施設である。このことから、施設の安全性及び信頼性を確保するために、次のような条件を盛り込み、施設建設を1期、2期と段階的に整備することとなった。

- 処理方式は化学処理方式とする
- 初期運転時には、確実にPCBが処理されたことを

確認した後に排気、排水及び残さを系外に排出すること（バッチ確認体制の確保）

- PCB の除去及び分解処理に係る施設全体が一體的なシステムであること

第1期処理施設では、まず、北九州市内で保管されている高圧トランス、高圧コンデンサ約2400台（PCB量で220トン）を約2年間で処理可能な規模のものとした。Table.2に施設の概要等を示す。

事業主体	日本環境安全事業株
施設立地場所	北九州市若松区響町1-62-24
処理対象物	岡山県以西17県のPCB廃棄物
施設の能力	第1期:0.5t/日(PCB油分解量)
処理方式 (第1期)	前処理方式：洗浄法と 真空加熱分離法の組み合わせ 液処理方式：化学処理法 (脱塩素化分解法) ※ 第2期は現在検討中
処理完了	平成27年3月(予定)

Table.2 Outline of the PCB treatment facility

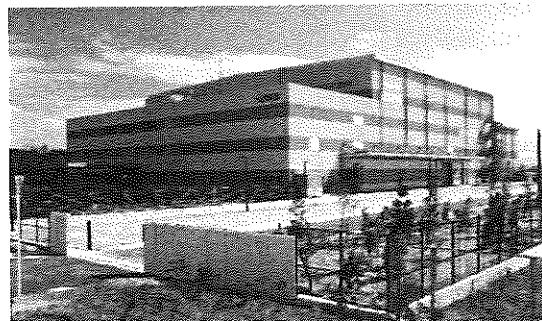


Photo.1 Facility's panorama

#### 4. 2 処理技術

本施設によるPCB廃棄物処理フローをFig.3に示す。この処理は、主にPCB汚染物の洗浄・分離とPCB分解という2つの技術の組み合わせである。

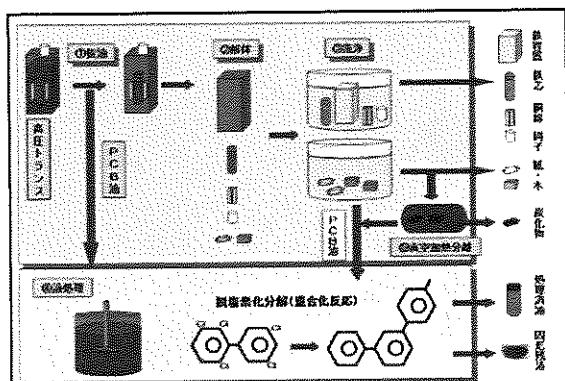


Fig.3 PCB waste treatment flow

#### 4. 2. 1 PCB汚染物の洗浄・分離技術

本技術は、トランスやコンデンサ等の容器や内部部材に付着したり、染み込んだりしたPCBを炭酸水素系溶剤により、洗浄除去することをメインプロセスとしたものである。なお、内部部材であるPCBが染み込んだ紙や木の中で、洗浄では、Table.3に示す卒業判定基準をクリアできないものについては、真空加熱分離処理を併用している。

廃棄物の種類	処理完了の基準
廃油 (処理済油・洗浄液)	PCB≤0.5ppm (=mg/kg)
PCB汚染物 ・廃プラスチック類 ・金属くず ・陶磁器くず	・洗浄液試験法 PCB≤0.5mg/kg ・拭取り試験法 PCB≤0.1μg/100cm <sup>2</sup> ・部材採取試験法 PCB≤0.01mg/kg

Table.3 Criteria of completing treatment of PCB

#### 4. 2. 2 PCBの分解技術

本技術は、ナトリウムとPCBの塩素との化学反応により、PCBから塩素を取り除き無害化する脱塩素化分解法である。ナトリウムは、金属ナトリウムを鉱物油に微粒子状に分散させて使用している。(SD法: Sodium Dispersion Process) SD法の特長は次のとおりである。

- 低温(160~170°C)、常圧の穏やかな化学反応であり、PCB分解に伴う排水や燃焼ガスが発生しない。
- 一定量毎に処理を行うバッチ処理方式により、反応終了時に、分析により無害化の確認ができる。
- 処理原理が単純で、SDを鉱物油中にてPCBと反応させ、塩素を食塩として取り除き、残りのビフェニルを重合して粉末化する。ビフェニル重合体は遠心分離で簡単に鉱物油と分離される。

#### 4. 3 施設の安全対策

施設の安全対策については、様々なリスクを想定し、それらに対する対策の効果を評価し、その結果を施設の設計・運転管理に反映させることにより、リスクの回避、低減を図ることを基本的考え方としている。

##### 4. 3. 1 安全設計の考え方

リスクマネジメントの考え方方に立ち、安全な処理プロセスとなるような「プロセス安全設計」を基本として、その操業を監視する「操業監視システム」、さらに、機器の誤動作やヒューマンエラーが事故に直結しないよ

うな「フェイルセーフ」機能（警報装置の多重化、インターロックシステム等）、万一トラブルが発生しても影響を最小限に抑える「セーフティネット」機能を加えたFig.4に示す多重の防護構造により、高い安全性を確保している。

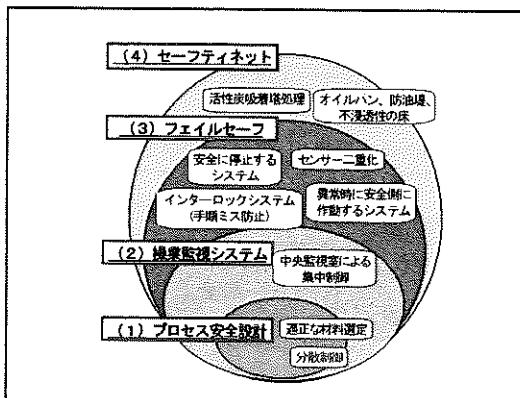


Fig.4 Example of multiple defense structure

#### 4. 3. 2 安全対策の具体例

安全対策のイメージを、PCB暴露の可能性がある解体分別室を例として、Fig.5に示す。

- (1) 漏洩対策としては、床面への PCB の漏洩を防止するため、トランク、コンデンサの取扱場所や機器類の下に油受けの皿（オイルパン）を設置。さらに、万が一 PCB が床面にこぼれた場合、他の区域に拡がらないように、各室の外周に防油堤を設置。また、室内の空気が外部へ流出しないよう、室内の圧力を外部より低く管理している。
- (2) 排気対策としては、排気中の PCB をオイルスクラバと活性炭処理の2段階で処理し、PCB濃度のオンラインモニタリングを行いながら、施設外へ排出。

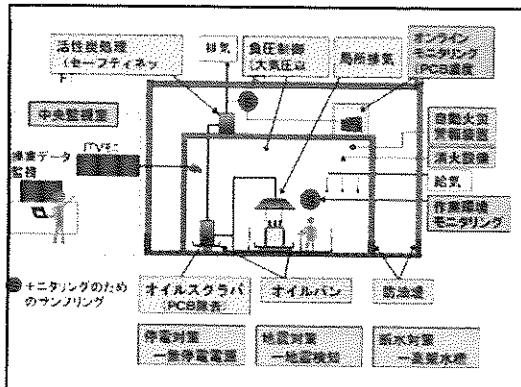


Fig.5 Measures for safety of PCB treatment facilities

#### 5 おわりに

PCB廃棄物の広域処理施設が北九州市において、昨年12月から運転をスタートした。これまでに、その立地経緯や地域住民とのリスクコミュニケーション、処理施設の概要について述べてきた。全国で始めての広域的なPCB処理事業ということもあり、その成否が注目されているところである。現在、JESCOは、第1期施設による着実な処理実績を積み、安全・安心な処理を進めることにより、地域住民の信頼確保に努めているところである。今後は、第1期施設での技術的検証を十分行いながら、次のステップである第2期施設の検討を進め、西日本全域でのPCB廃棄物の処理体制の早期実現に期待している。

#### 参考文献

- 1) 北九州市 PCB 処理安全性検討委員会報告書 2001
- 2) 垣迫裕俊、入江隆司、宮脇幹仁ほか：「PCB処理施設立地におけるリスクコミュニケーション、第15回廃棄物学会研究発表会、2004
- 3) 日本環境安全事業(株)ホームページ  
<http://www.jesconet.co.jp/>

## シャフト炉式ガス化溶融炉による廃棄物のサーマルリサイクル<sup>1</sup>

森 浩一郎<sup>2</sup>

Waste Thermal Recycling With Shaft-furnace type Gasification and Melting Process

Kohichiro MORI

Technical Department, KITAKYUSYU ECOENERGY CO.,LTD.

The Complex Core Facility, which adopted the shaft-furnace type gasification and melting technology, started up their commercial operation in April, 2005. This facility has properly treated waste residue after recycling at each business in the Eco-Town Project area, automobile shredder residue and so on. In addition, the slag and metal produced in the melting furnace can be reused effectively as resources. Furthermore, the energy produced by the combustion of waste can be used effectively and supplied to the facilities in the area. This paper introduces the outline of the Complex Core Facility and the operational circumstance.

### 1. はじめに

廃棄物のガス化溶融技術を活用した複合中核施設は、北九州エコタウン事業における「最終リサイクル施設」と「エネルギー供給センター」の機能を担い、サーマルリサイクルまで含めたゼロエミッション型総合環境コンビナートを具現化するための施設である<sup>1)</sup>。すなわち、本施設は、北九州エコタウン内に立地するリサイクル事業各社から発生する残渣、使用済自動車のシュレッダーダスト及びその他廃棄物を適正処理するとともに、排熱

を利用した発電やスラグ・メタルの再資源化によるリサイクルを行うことができる。

以下に、複合中核施設の概要やプロセスの特徴および施設稼動状況について紹介する。

### 2. 複合中核施設について

複合中核施設は2003年6月に建設着工され、2005年4月に営業運転を開始した。施設の外観をFig.1に示す。

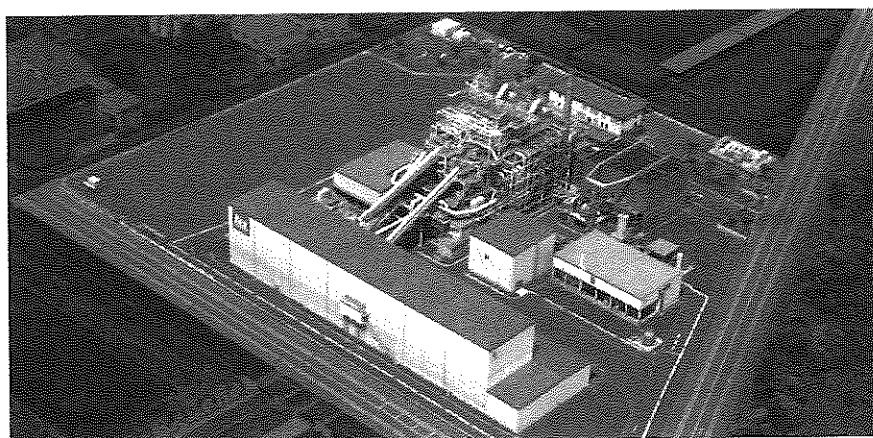


Fig.1. Over view of the Complex Core Facility.

1.平成17年11月17日 本会第115回例会において発表

2.所属先 北九州エコエナジー株式会社

平成17年8月31日受理

## 2.1 施設概要

Table1 に複合中核施設の設備概要を示す。本施設は、主に、廃棄物をガス化する廃棄物燃料製造設備と、そのガスを燃焼させた熱を利用してボイラーにて発生させた過熱蒸気により蒸気タービンを回す発電設備より構成される。

廃棄物燃料製造設備はシャフト炉式のガス化溶融炉を採用し、従来リサイクルが困難で埋立や単純焼却されてきた廃棄物をガス化溶融処理することにより、サーマルとマテリアルの複合リサイクルを行う。プラスチックなどの可燃分は熱分解・ガス化し発電設備の燃料ガスとして利用し、金属・灰分などの不燃分は高温溶融してスラグとメタルに資源化し、スラグは道路用骨材などの建設資材、メタルは非鉄精錬原料として有効利用する。

発電設備は産業廃棄物を処理する類似の廃棄物発電の中では最高レベルの発電効率で 14,000kW の発電出力を有する。この電力は北九州エコタウン受電協同組合経由で北九州エコタウン内の立地企業約 20 社に供給される。

また、本施設は、廃棄物をガス化し、得られたガスを燃料として利用して発電を行うことから「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」に基づく大臣認定(経済産業省、環境省)を受け、資源エネルギー庁の「新エネルギー事業者等支援対策事業」による補助対象事業として認可されている。

## 2.2 プロセスの特徴

本施設の設備フローを Fig.2 に示す。ガス化溶融炉本体は豊型シャフト炉であり、廃棄物を 1 つの炉の中で一括して処理し、その灰分を直接スラグとメタルに転換することができるところから、直接溶融炉と称している。廃棄物及び副資材のコークスと石灰石は、コンベアを介して炉の中央上部から装入する。そして廃棄物と副資材によって、炉内に充填層を形成する。一方、廃棄物やコークス中の炭素を燃焼させるために必要な空気や酸素は、常温で溶融炉下部の羽口から炉内へ供給するが、この羽口は下部と上部に多段化した多段送風方式である。

炉内は上部から乾燥・予熱帶(約 300°C)、熱分解・ガス化帶(約 300~1000°C)、燃焼帶(1000°C~)、溶融帶(1700~1800°C)に区分される。乾燥・予熱帶では廃棄物が熱せられ水分が蒸発する。こうして乾燥した廃棄物は次第に下降し、熱分解・ガス化帶へ移行して、廃棄物中の可燃分がガス化される。この熱分解ガス(CO, H<sub>2</sub> 等)は、炉上部から排出され、後段の燃焼室で完全燃焼される。その後、この約 900°C の排ガスの熱量は、ボイラーで高温高圧(約 400°C, 4MPa)の蒸気として回収し、タービンで発電してエネルギー回収される。また、ボイラーを出た排ガスはガス冷却塔で急冷し、バグフィルターや触媒反応塔の排ガス処理設備で処理した後、煙

Table 1. Outline of facility.

Processing capacity	320 t/d (160t/d × 2 furnaces)
Furnace type	Shaft furnace type gasification and melting furnace
Power generation facilities	Designed power capacity : 14,000kW Steam condition : 400°C, 4MPa
Waste to be treated	(1) Automobile shredding residue (2) Municipal solid waste, others

突より排出される。さらに、バグフィルターで捕集された集じん灰(溶融飛灰)は、液体キレート剤で無害化処理された後、最終処分場へ搬出される。

溶融炉でガス化されずに残った廃棄物中の炭素は燃焼帯で上部の羽口から供給される空気により燃焼し、乾燥や熱分解・ガス化の熱源となる。一方廃棄物中の灰分や不燃物はコークスとともに燃焼帯・溶融帯まで降下する。コークスは下部の羽口から供給される酸素富化した空気により燃焼して炉下部に高温のコークス充填層を形成する。これにより廃棄物中の灰分や不燃物が完全に溶融される。溶融物は投入された石灰石中の CaO によって塩基度と粘性を調整され、炉底に一定時間貯留された後、出湯口より炉外へ排出される。この溶融物は水碎設備に投入し急速に冷却することで、独立した粒状のスラグとメタルになる。そして、この粒状混合物は、磁力選別機により分離回収され、資源として有効利用される。

本プロセスでは従来の焼却炉のように廃棄物を直接燃やすのではなく、熱分解・ガス化してから燃焼させるため燃焼性に優れていることが大きな利点である。また、シャフト炉式のガス化溶融炉は、1 つの炉の中で連続的に昇温される過程で乾燥、熱分解・ガス化から溶融まで進行するため、熱効率が極めて高い。さらに、溶融炉内では 1,000°C 以上の高温領域でソリューションロス反応による高温ガス化がありガス化率が高いことが特徴である。このように、本プロセスではガス化溶融炉本体で廃棄物の可燃分のガス化とともに灰分の完全溶融を達成しているため、後段の燃焼室ではガス主体の燃焼制御に専念することが可能となり、ダイオキシン対策に有効とされる温度、滞留時間、攪拌混合が十分確保され、ダイオキシン類の発生が極めて低レベルに抑制されている<sup>2)</sup>。さらに本プロセスは使用済自動車のシレッダーダスト等に含まれる臭素系難燃剤等の分解に関してても有効であることが報告されている<sup>3)</sup>。

一方、本プロセスでは、コークスや石灰石を活用することで、幅広い廃棄物を環境に配慮しながら確実にリサイクルできる点で、他の処理方式と比べて優れた特徴を持っている。コークスは、その燃焼により溶融炉下部を均一かつ広範囲に高温状態に保持し、鉄分等の高融点物

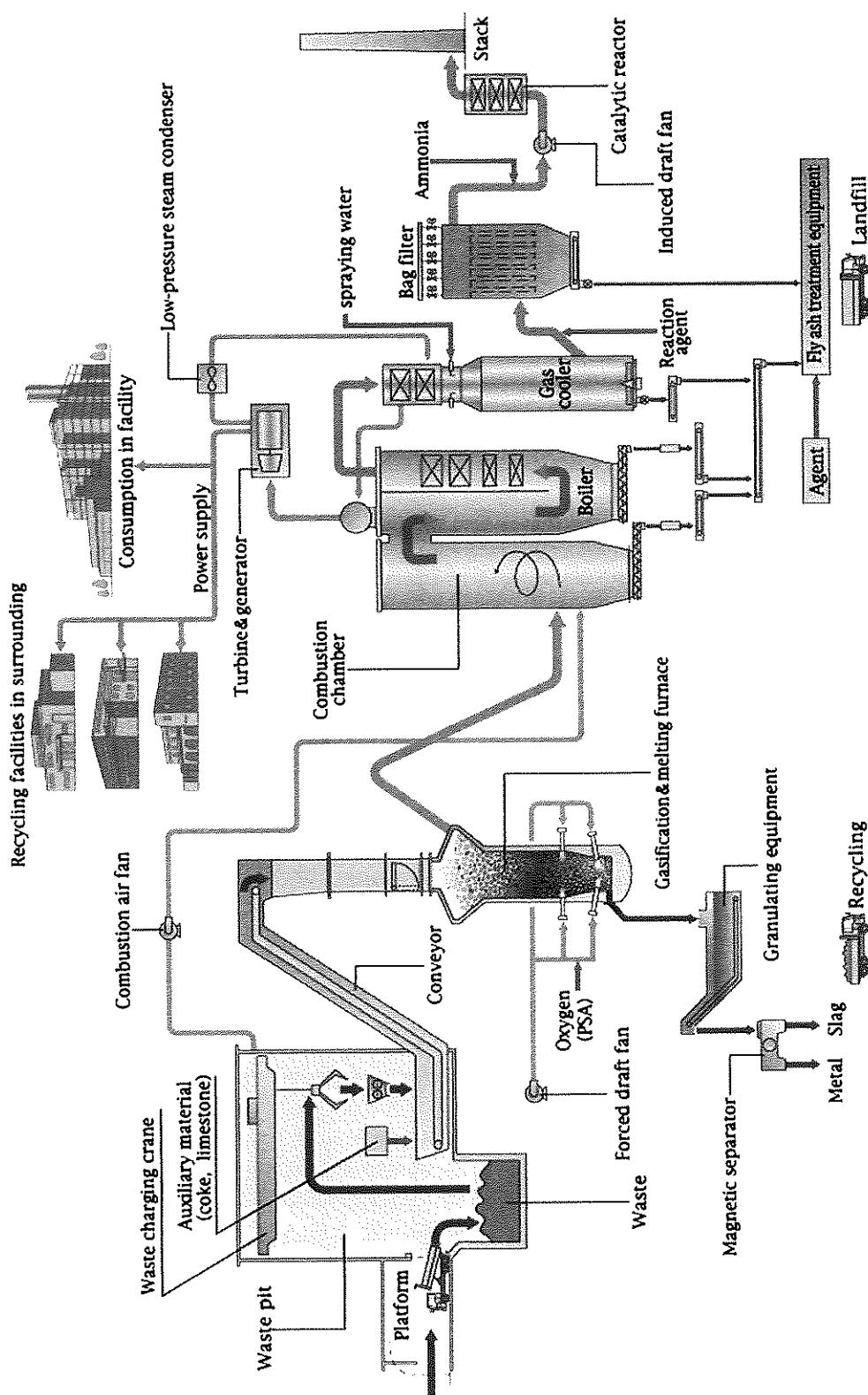


Fig.2. Process Flow of facility.

質も含む廃棄物を完全に溶融するとともに、炉内を高温還元雰囲気に保つ役割を果たす。高温還元雰囲気は Pb 等の低沸点重金属類の揮散を促進し、溶融飛灰中に濃縮するとともに、スラグ中への移行を抑制する効果がある<sup>4)</sup>。また、石灰石はスラグの塩基度 ( $= \text{CaO} / \text{SiO}_2$ ) を適正化することによって、溶融物の流動性を高め溶融物の安定出湯を確実にするとともに、溶融物を水碎処理した時にスラグとメタルを独立した粒として分離凝固させ、磁選効果を高める役割がある。さらに、中和反応により排ガス中の塩化水素等の酸性ガス成分を低減させる効果もある。このことはボイラー内での過熱器管の高温腐食性を緩和することになり、蒸気条件の高温・高圧化が図れ、高効率発電を実現できる。

### 3. 使用済自動車のシュレッダーダストの性状調査

本施設では使用済自動車の解体・破碎後に残る廃棄物であるシュレッダーダスト (ASR : Automobile shredder residue) の処理を中心に、北九州エコタウン内に立地するリサイクル事業各社から発生する廃棄物残渣や事業系一般廃棄物などを処理している。特に、このシュレッダーダストについては 2005 年 1 月より施行された自動車リサイクル法により適正処理が義務付けられた廃棄物であるが、都市ごみ (家庭系) とは性状が大きく異なることから、事前にその性状特性を調査した<sup>5)</sup>。

シュレッダーダストのサンプル写真を Fig.3 に示す。外観としては、切断されたシートのウレタンやゴム・プラスチック類及び銅線等の配線類が多くみられる。

シュレッダーダストのごみ質分析結果を Table 2 に示す。シュレッダーダストは、都市ごみと比較して高灰分かつ低水分で発熱量が高い。種類組成では、紙が少なく、プラスチック等の合成樹脂やゴム・皮革及び 5 mm 以下の雑物が多い。また、Cu 等の金属類も多く、埋立処分時に問題となる Pb や塩素の含有量も多い。



Fig.3. Appearance of automobile shredder residue.

Table 2. Properties of municipal solid waste(MSW) and automobile shredder residue(ASR).

	MSW (n=2)	ASR (n=6)
Main 3 components (wet%)		
Moisture	38.4	10.7
Combustible	49.8	51.1
Ash	11.8	38.2
Kind composition (dry%)		
Paper	40.8	2.9
Fiber	7.2	7.4
Plastic	19.1	50.4
Rubber, Leather	0.0	6.2
Wood, Straw	9.1	0.7
Rubbish	9.9	0.0
Metal	3.0	7.0
Glass, Ceramic	6.8	1.5
Miscellaneous	4.1	23.9
Lower calorific value (MJ/kg)	9.08	15.91
Cu (wet%)	0.02	1.65
Al (wet%)	0.38	0.36
Pb (wet%)	0.037	0.253
Cl (wet%)	0.63	2.08

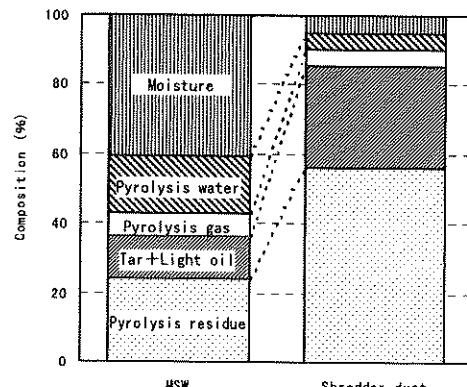


Fig.4. Composition of pyrolysis products.

このように、シュレッダーダストは都市ごみと比較して三成分や種類組成が大きく異なることから、直接溶融炉での熱分解・ガス化（乾留）特性が変化すると予想されるため、乾留実験を実施した。実験条件としては、アルゴン雰囲気下で室温から 1000°C まで昇温して行ったが、乾留過程で生成される乾留生成物の構成比率を都市ごみと比較して Fig.4 に示す。シュレッダーダストは持ち込み水分は少ないものの、乾留残渣及びタール+軽油の生成量が多いことが特徴である。本施設では、このようなシュレッダーダストの性状特性を溶融炉本体等の設備設計に反映させている。

#### 4. 稼動実績

##### 4.1 稼動状況

2004年11月上旬より熱間試運転を開始し、2005年3月に引渡性能試験を完了して、4月より営業運転に移行した。4~6月の営業運転においては所定の計画に従い徐々に処理量を増やし順調に運転を継続している(Fig.5)。尚、シュレッダーアストの処理割合は6月において約70%となっている。

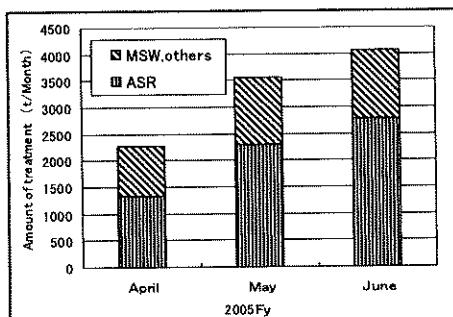


Fig.5. Amount of treatment.

##### 4.2 電力収支

電力収支の一例をTable3に示す。発電機定格14,000kWに対して、10954kW(314t/日×17,550kJ/kg)の運転(約80%負荷)となっている。

発電量の半分以上(7632kW)が余剰電力として得られ、エコタウンエリア内企業の電力需要の一部を賄っている。

Table 3. Electric Power Balance.

Waste throughput	(tons/day)	314.2
Waste calorific value	(kJ/kg)	17550
Electric power generation	(kW)	10954
Electric power consumption	(kW)	3322
Electric power surplus	(kW)	7632
Gross thermal efficiency	(%)	17.2

##### 4.3 溶融物性状

本施設では処理した廃棄物1t当たり約250kgの溶融物が産出される。スラグ・メタルの発生比率は、各々70%及び30%である。Table4に示すようにスラグの主成分はSiO<sub>2</sub>、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>である。また、炉内の高温還元雰囲気により、重金属類は炉外への揮発が促進されるため、スラグ中Pb含有量は約5ppmと低い。スラグの重金属類溶出試験結果は、Table5に示すようにすべて「一般廃棄物の溶融固化物に係わる目標基準」を満足している。スラグはコンクリート二次製品用骨材やアスファルト合材として利用するための品質評価を実施中である。また、Table6に示すようにメタルの主成分はFeとCuである。Cuの含有量は20%程度であり、メタルは非鉄精錬用原料として

利用されている。

Table 4. Chemical composition of slag.

Item	Slag
SiO <sub>2</sub> (%)	40
CaO (%)	34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	20
Cd (mg/kg)	0.05
Pb (mg/kg)	5.3
Cr <sup>6+</sup> (mg/kg)	<1
As (mg/kg)	<0.5
Hg (mg/kg)	<0.05
Se (mg/kg)	<0.2
F (mg/kg)	450
B (mg/kg)	624

Table 5. Leaching test results of slag.

Item	Slag	Standard
Cd (mg/l)	<0.001	≤0.01
Pb (mg/l)	0.002	≤0.01
Cr <sup>6+</sup> (mg/l)	<0.01	≤0.05
As (mg/l)	<0.005	≤0.01
Hg (mg/l)	<0.0005	≤0.0005
Se (mg/l)	<0.002	≤0.01
F (mg/l)	<0.1	≤0.8
B (mg/l)	0.13	≤1

Table 6. Chemical composition of metal.

Item	Metal
T-Fe (%)	60.6
Cu (%)	20.9
Si (%)	4.6

##### 4.4 ダイオキシン類測定結果

本施設では、燃焼室における燃焼管理を徹底すると共に、触媒反応塔を付設することにより、排ガス中のダイオキシン類規制値(0.1ng-TEQ/m<sup>3</sup>N)を確実にクリア出来るものとした。Table7に引渡性能試験で実施した排ガス中ダイオキシン類濃度(乾きガス、酸素12%換算値)の分析結果を示すが、各炉とも規制値を大きく下回る結果となった。

Table 7. Measurement result of Dioxins.

Item	No. 1 furnace	No. 2 furnace
Exhaust gas* (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	0.0065	0.012

\* Converted to dry gas O<sub>2</sub> 12% value

## 5. 今後の展望

廃棄物のガス化溶融技術を活用した複合中核施設の稼動開始により、北九州エコタウン事業における「エネルギー供給センター」と「最終リサイクル施設」の機能を具現化することができた。今後はさらに、各機能を活かした運転を行っていく予定である。

本施設の稼動実績から、産業廃棄物を処理する類似の廃棄物発電の中では最高レベルの発電効率が得られることがわかった。本プロセスは溶融炉内でガス化させることで、高カロリーのプラスチック類を高効率かつマイルドに処理できるという特長を活かし、今後は ASR を主体に、さらに廃プラスチック類との混合処理を進め、プラスチックのもつ高いカロリーを活かした積極的な電力回収を図っていく。

また、最終リサイクル施設の機能をさらに強化し、ゼロエミッションの実現についても積極的に進めていく予定である。ガス化溶融炉では、廃棄物は熱分解・ガス化帯においてガス化後発電設備に供給することでサーマルリサイクルされ、溶融物についてもスラグ・メタルとしてマテリアルリサイクルされている。しかしながら、唯一重金属類やアルカリ塩類が濃縮している溶融飛灰についてはリサイクルされず、無害化処理した後、保管もしくは最終処分されてきた。溶融飛灰を再資源化する施設は国内に偏在するものの、明確な技術基準や安全性の確認がなされておらず、特別管理一般廃棄物に当る溶融飛灰の広域移動に関する公的なルールもないため、未だリサイクルルートが確立できていないのが現状である。そこで、2003年7月に多方面からの要請を受け「早稲田大学溶融飛灰資源化研究会（代表：早稲田大学 永田勝也教授）」が設立された<sup>6)</sup>。この研究会は産官学が連携し、安全確実な技術基準と自治体間の移動ルールを確立することにより、全国規模のリサイクルルートの構築を目指している。複合中核施設にて発生する溶融飛灰においても、回収リサイクルを視野に入れた検討を進めており、これが実現できれば、北九州市響灘・洞海地区において完全な形でのゼロ・エミッション化が可能となる。

## Reference

- 1) H.Kakisako: Environmental Management, 40, No.4, pp.342-350(2004)
- 2) M.Osada, K.Murahashi and H.Shibaike: Proc.of ICIPEC, pp.101-107(2000)
- 3) S.Takahashi, S.Sakai, M.Osada, K.Takamiya and T.Miyazaki: Proc.of 15th Annual Conf.of Jpn.Soc.Waste Manage.Experts, pp.987-989(2004)
- 4) S.Osada, M.Osada, K.Kokado and M.Tokuda: J.Jpn.Soc.Waste Manage.Experts, 15, pp.353-362 (2004)
- 5) H.Shibaike, M.Osada, K.Takamiya and N.Naito: ISIJ Int., 40, pp.252-259
- 6) Waseda university fly ash recycling workshop 1st research report (2004)

家電リサイクルの LCA 評価<sup>1</sup>河村 豊<sup>2</sup>・鈴木春夫<sup>3</sup>

## LCA Evaluation of Waste Home Appliance Recycling

Yutaka Kawamura<sup>2</sup>, Haruo Suzuki<sup>3</sup>

2)Nishinihon Kaden Recycle Co. 3)Toshiba Plant System Co.

We constructed a recycling plant for waste home appliances and operated from April 2000. A life cycle assessment (LCA) to compare recycling scenarios was conducted using the data from the operation. The results of the assessment show that it was effective from not only the reduction in the amount of the final disposal but also the point of the reduction in the environmental loads. We evaluated the environmental load reduction effect in 2002. In this report, it evaluates by LCA again based on the data in 2004 that improves the recycling process based on the previous evaluation result, and it reports on the effect of the improvement.

## 1. 緒言

使用済み家電製品を対象として、循環型の新しい社会システムの形成をめざす特定家庭用機器再商品化法（以下「家電リサイクル法」という。）が制定され、平成13年4月1日から完全施行された。本稿では、家電リサイクルの社会システムの構築と回収されるプラスチックを家電製品に再度戻すマテリアルリサイクルの取組みが、結果的には地球環境保護に役立つことの LCA (Life Cycle Assessment) 評価の結果を紹介する。

## 2. 家電リサイクルプラントの処理工程

西日本家電リサイクル（NKRC）の全体処理工程を Fig.1 に示す<sup>1)</sup>。手分解、機械破碎、分別を基本構成に、テレビはガラス、その他の品目は金属類並びにプラスチックを回収するように構成している。

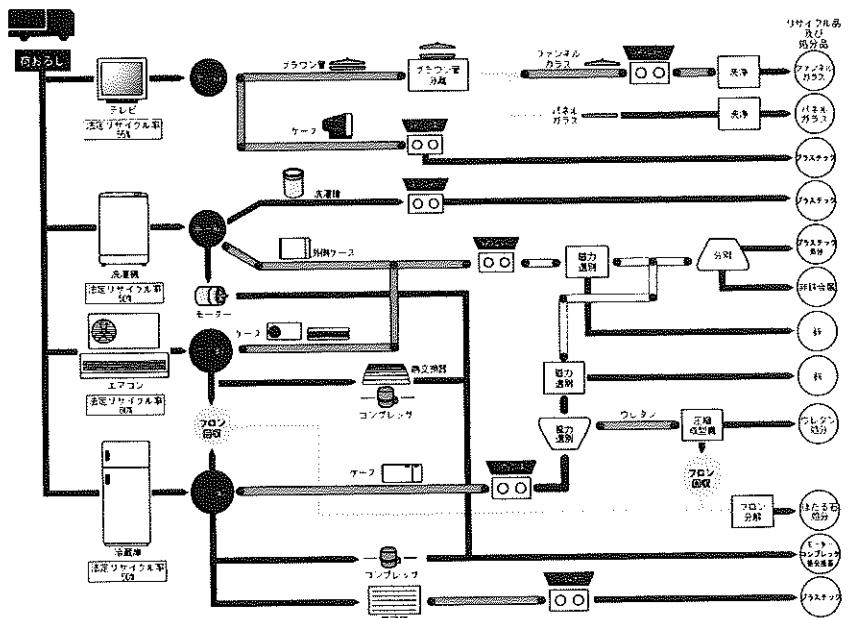


Fig.1 Waste Home Appliance Recycling Process of NKRC

1. 平成17年11月17日本会第115回例会において発表

2. 西日本家電リサイクル㈱、3. 東芝プラントシステム㈱

平成17年9月1日受理

して鉄と銅が混合された金属資源として再資源化している。洗濯槽の上部周辺部分には回転時の自動調節のため、バランサーとして塩の水溶液を保持した部品がある。この塩水を回収した後、洗濯槽プラスチックの種類別（現状では PP のみ）に粉碎・洗浄・

脱水を行い、プラスチック原料としてリサイクルしている。洗濯槽は家庭での長年の使用で洗濯槽裏面にカビなどの汚れが付着しており、プラスチック再生原料として用いる場合のペレット製造装置での目詰まり防止、再生プラスチックの品質不良防止のために粉碎時に洗浄も行う。

### 2.3 エアコン処理工程

エアコンは、冷媒フロンガスをコンプレッサから回収する。使われている冷媒フロンにも複数の種類があり、物性も異なるため、混合することを避け種類別の回収を行っている。冷媒フロンガス回収後、熱交換器、コンプレッサ、銅線、銅パイプなどを手分解で回収しリサイクルしている。これら以外は、洗濯機処理工程と共にしている破碎機へ送られ。破碎後、磁力選別機で鉄を回収し、残りは非鉄選別工程にコンペアにて搬送している。室内機カバー部のプラスチックは、紙・シール類が添付された状態で粉碎し、再資源化原料としてリサイクルしている。

### 2.4 冷蔵庫処理工程

冷蔵庫は、手分解で基板を外し、プラスチック製の内部棚板、及び野菜箱を回収している。これらの回収プラスチックは種類別に13mm程度に粉碎して、プラスチック再生業者にリサイクルしている。冷媒用フロンと冷凍機油を回収した後、コンプレッサや底板金属などを手分解で取り外し、破碎機に投入する。ウレタンからのフロン回収には種々の方法があるが、熱処理によるフロン追出しとウレタンの減容化を同時に行う装置を当社では適用しており、2軸のスクリューフィーダーと加熱器により構成されている。ウレタンは、加熱・減容工程中に、まずフロンが脱離・回収され、その後、約1/15に圧縮・減容化されて固形状で回収される。このフロンが脱離された後の固形物は、まだ高い熱エネルギーを有するものであり、セメント焼成キルンの助燃材などとして活用されている。(但し、家電リサイクル法では「サーマルリサイクル」は再商品化率には含まれない。)

## 3. 家電リサイクルプラントの環境負荷低減の試み

家電リサイクルが地球環境に与える影響を定量的に評価する手法としてLCAを採用し、2002年度1年間の実際のデータを収集して家電リサイクル工場の環境影響を算出した<sup>2)</sup>。その結果、家電リサイクル工場からは、年間3,205tonのCO<sub>2</sub>排出がある一方、リサイクル材を生産して市場に戻すことでバージン素材の生産が抑制され、間接的に19,859tonのCO<sub>2</sub>排出を削減していることが明らかになった。検討対象範囲をFig.2に示す。両者の増減を合算すると、西日本家電リサイクル㈱の家電リサイクル事業は年間16,654tonのCO<sub>2</sub>排出量削減に貢献していることが判った<sup>2)</sup>。

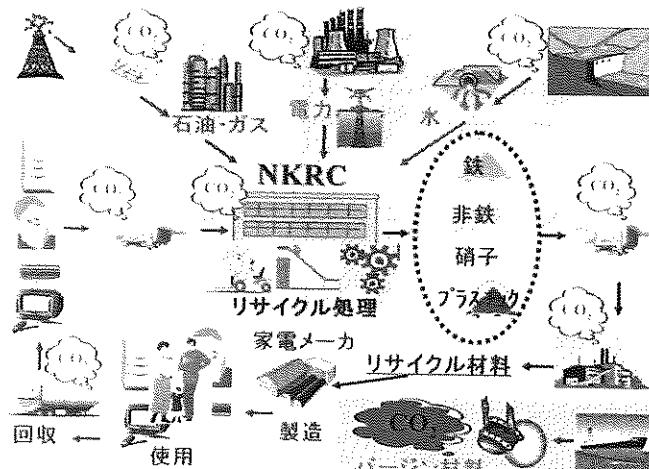


Fig.2 Environmental Benefit of Waste Home Appliance Recycling

同時に未だ削減効果が十分に発揮されていないリサイクル工程や改善の余地が明らかになった。そこでリサイクル工程の見直しによるリサイクル率の向上を図り、さらにリサイクルの質を向上させるアップグレードリサイクルを志向して設備導入を行った。本稿では、リサイクル工程の変更に伴う2004年度の改善効果についてCO<sub>2</sub>排出量の低減量を指標として紹介する。

### 3.1 洗濯機リサイクル工程の改善

2002年度リサイクルした約147千台の洗濯機は、年間2,216tonのCO<sub>2</sub>排出量削減に貢献していることが明らかになったが、洗濯槽の破碎物プラスチックの多くがダストとして埋立処分されていたことが判明した。そこで洗濯機を丸ごと破碎することを止め、手選別でプラスチックを回収した後に破碎する様に工程を改善して再生されるプラスチック材料を増やした。新たに加わった手選別工程の導入によって期待される効果と環境負荷の増加に関して評価を行った。

期待される効果としては、以下の3点が挙げられる。

1)手選別で多くのプラスチックが取り出されるため、破碎機に投入される洗濯機の質量が減り、破碎機の電力エネルギーが削減される。

2)手選別で取り出されたプラスチックが素材としてリサイクルされるため、バージン素材のプラスチックの生産が抑制される。

3)埋立処分される破碎プラスチック量が減る。

一方、新たな工程の導入によってCO<sub>2</sub>排出量増加ほかの環境負荷の増加が予想され、以下の増加要因が考えられる。

1)新たに追加した手選別工程で消費するエネルギーが増加する

2)取り出したプラスチックをマテリアルリサイクルするための破碎機・粉碎機・洗浄機のエネルギーが増加する。

3)取り出したプラスチックの不純物を取り除く洗浄水の使用量が増加する。

そこで、洗濯機リサイクル工程の2004年度の実データ調査結果に基づき、削減効果と環境負荷の増分を次の様に求めた。環境負荷の削減効果は、以下の3点である。

①洗濯機と一緒に破碎されていたモータ・洗濯槽が破碎される前に手解体で外されるため初段のプラスチック破碎機の電力が削減され、CO<sub>2</sub>: 34.4tonの低減につながる。

②エアコンと共用で使われている破碎機へ投入される本体の質量が減り、次段の破碎機の電力が削減され、CO<sub>2</sub>: 24.7tonの低減につながる。

③マテリアルリサイクルされるプラスチック量が増え、取り出されたプラスチックが以下の様に、再生材料としてして再利用される。

P S(ポリスチレン) : 17.4ton, P P(ポリプロピレン) : 659.2ton 従って、新たなバージン素材の生産が抑制され、CO<sub>2</sub> : 755.6ton の削減につながる。

一方、環境負荷の増加要因は以下の3点である。

- ①手選別工程の消費電力が年間 54,243kWh 増え CO<sub>2</sub> : 25.8ton が増加する。
- ②プラスチック粉碎機や洗浄機の消費電力が年間 13,436kWh 増え CO<sub>2</sub> : 6.4ton が増加する。
- ③プラスチック粉碎機や洗浄機の水使用量が年間 11,340m<sup>3</sup> 増え CO<sub>2</sub> : 4.6ton が増加する。

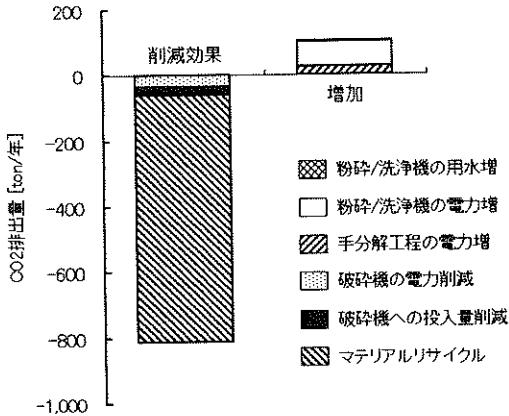


Fig.3 Reduction Effect of Washing Machine Recycling

以上の結果より Fig.3 に示す様に、洗濯機のリサイクル工程変更によって電力や用水使用量が増加して CO<sub>2</sub> 排出量が 105.7ton 増加するのに対し、破碎機の電力使用量の削減やプラスチックのマテリアルリサイクルによって 814.7ton の CO<sub>2</sub> が削減され、両者を合算した CO<sub>2</sub> の削減量は、709.0ton となる。この CO<sub>2</sub> の削減量 709.0ton は、2002 年度の洗濯機全体での CO<sub>2</sub> 排出削減量 2,217ton を、さらに 32% も向上させる大きな効果であることが判明した。

### 3.2 冷蔵庫リサイクル工程の改善

2002 年度リサイクルした約 211 千台の洗濯機は、年間 8,058ton の CO<sub>2</sub> 排出量を削減し、対象 4 製品の中でも最も大きく貢献していることが明らかになった。しかし、やはり破碎物プラスチックの多くがダストとして埋立処分されていたことが判明したため、最初に野菜箱・棚板を回収し、品目別に分別して専用の破碎機に掛け、再生されるプラスチック材料を増やした。新たなプラスチック回収によって期待される効果と環境負荷の増加に関する評価を行った。

期待される効果としては、取り出された野菜箱・棚板がプラスチックとしてリサイクルされるため、バージン素材の生産が抑制されることが挙げられる。一方、新たな回収工程の導入によってマテリアルリサイクルをするために使用する専用破碎機の破碎エネルギーが増えて、CO<sub>2</sub> 排出量增加ほかの環境負荷の増加が予想される。

冷蔵庫リサイクル工程の 2004 年度の実データ調査結果に基づき、期待される効果と環境負荷の増分を次の様に求めた。環境負荷の削減効果は、冷蔵庫の野菜箱・棚板のプラスチックを品目回収することで、埋立処分される破碎プラスチック量が減り、取出されたプラスチックが以下の様に、再生材料として再利用されることが挙げられる。

P S(ポリスチレン) : 125.4ton

P P(ポリプロピレン) : 158.5ton

A S(アクリロニトリル・ステレン樹脂) : 20.1ton

従って、新たなバージン素材 : 304.0ton の生産が抑制され、CO<sub>2</sub> : 356.0ton の削減につながる。一方、冷蔵庫のプラスチック粉碎機の消費電力が年間 21,168kWh 増え CO<sub>2</sub> : 10.1ton が増加する。

以上の結果より Fig.4 に示す様に、冷蔵庫のリサイクル工程変更によって電力が増加して CO<sub>2</sub> 排出量が 10.1ton 増加するのに對し、プラスチックのマテリアルリサイクルによって 356.0ton の CO<sub>2</sub> が削減され、両者を合算した CO<sub>2</sub> の削減量は、345.9ton となる。

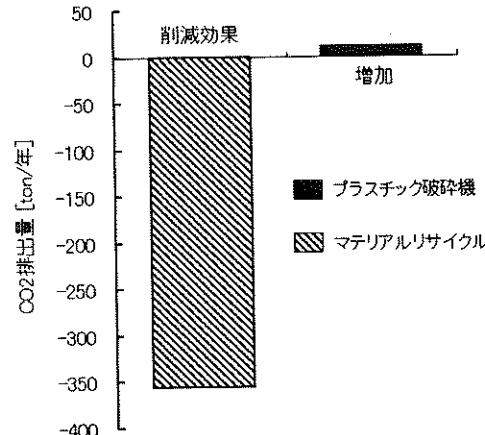


Fig.4 Reduction Effect of Refrigerator Recycling

### 3.3 プラスチックダストの選別リサイクル

破碎プラスチックとして埋立処分されていたプラスチックダストの総量は、2002 年度では年間 5,383ton にも及び、その削減が大きな課題であることが明らかになった。しかし、多種のプラスチックの混合物であるプラスチックダストをマテリアルリサイクルするためには多くのエネルギーを消費して木目細かい選別工程を経る必要があり、さらには CO<sub>2</sub> 排出量を増大させることになる。そこで埋立処分する分を最小限にし、他のプラスチックを回収して燃料としての再利用を検討した。具体的にはプラスチックダストの比重選別を行い、重い PVC 類だけを埋立処分にし、その他の軽いプラスチックを回収して他の工場の燃料として有効利用する。

新たに採用した比重選別工程によって期待される効果と環境負荷の増加に関して評価を行った。期待される効果としては、選別された軽いプラスチックを代替燃料として受け入れた当該工場の A 重油の使用量が削減され、資源枯渋が危惧される化石燃料の使用量の削減につながる。削減効果に関しては、代替燃料として利用されたプラスチックの総発熱量と同等の発熱量を持つ A 重油の原料である原油の採掘・輸送から精製して A 重油になるまでに要するエネルギーから削減量を求めることができる。

一方、新たな比重選別工程の導入によって比重選別機等を使用して燃料化するに伴うエネルギーが増えて、CO<sub>2</sub> 排出量增加ほかの環境負荷の増加が予想される。2004 年度の実データ調査に基づき、選別工程の追加による環境負荷の増分と、期待される効果を次の様に求めた。

環境負荷の削減効果は、比重選別することで、年間 5,057ton の破碎プラスチックの内、40%の重比重プラスチックだけが埋立処分され、残り 60%の軽比重プラスチック : 3,034ton が化石燃料の代替として有効活用されたことが挙げられる。この軽比重プラスチックが全て燃やされた場合、得られる熱量は 141,000GJ となり、同じ発熱量を得るために 8,600kL の A 重油が必要となるため、この容量の A 重油が削減できることになる。

従って、CO<sub>2</sub> : 164.2ton の削減につながる。

同時に回収された非鉄金属 : 100ton がマテリアルリサイクル材と

して再生され、以下の様に再生材料として再利用されるため、これも環境負荷の削減効果とることができる。

純銅 : 17ton

アルミニウム : 60ton

異物付き銅 : 23ton

これらの再生材料は、各々電気銅、アルミ再生地金、銅鉱石の新たな生産が抑制されるものとし、CO<sub>2</sub> : 72.1ton の削減につながるとした。一方、比重選別機等の消費電力が年間 79,115kWh 増えCO<sub>2</sub> : 37.6ton が増加する。

以上の結果より Fig.5 に示す様に、プラスチックダスト選別工程が追加されることで、消費電力が増加してCO<sub>2</sub>排出量が37.6ton 増加するのに対し、マテリアルリサイクルによって236.3ton のCO<sub>2</sub>が削減され、両者を合算したCO<sub>2</sub>の削減量は、198.7ton となる。

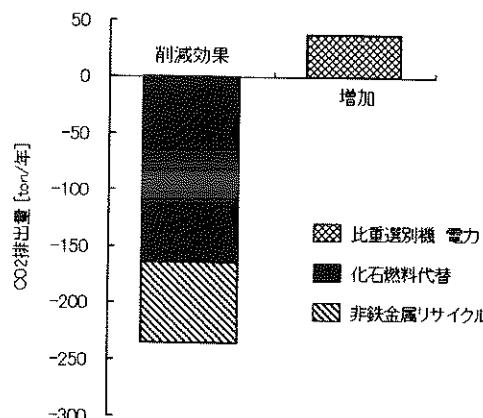


Fig.5 Reduction Effect of Plastic Recycling

#### 4. 結 言

以上の様に 2002 年度は LCA 手法を使って家電リサイクルが地球環境に与える影響を定量的に把握して、その問題点を明らかにした。

評価した結果から明らかになった問題点を詳細に解析することで、その原因と解決策を明確にして幾つかの工程改善のプランを立案した。

さらに各改善プランがどの程度の効果を及ぼすかを再び LCA 手法を使って事前評価を行い、最も効果が期待できる工程の改善プランを実行に移し、設備導入を行って家電リサイクル工程の改善を実施した。

2004 年度は、それらの工程改善の効果を 1 年間の実データに基づいて検証し、事前評価通りの効果が得られたことを確認した。

#### References

- 1) Y.Kawamura: *Plastic Recycle at Waste Home Appliance Recycle Plant*, 16th Green Chemistry Work Shop Abstract ,pp23 (2004)
- 2) N.Oyasato: *Environmental Benefit of Waste Home Appliance Recycling* , EcoDesign 2004 symposium ,pp278 -279

## 造粒乾燥方式による下水汚泥バイオマスのエネルギー利用技術の開発<sup>1</sup>

柴田 良樹<sup>2</sup>・水谷 日出雄<sup>2</sup>

A Study of energy utilization technology of sewage sludge biomass by dry-granulate method

Yoshiki SHIBATA<sup>2</sup>, Hideo MIZUTANI<sup>2</sup>

Kitakyushu Environmental Technology Center, Nippon Steel Corporation

With the spread of sewerage, biosolids (sewage sludge) have been ever increasing in volume. Today, nearly half of all biosolids are dumped into landfill. Now that such landfill have been filled almost to capacity, the issue of how to dispose of biosolids has become a major social problem.

The "Renewable Portfolio Standard (RPS)," which came into effect in April 2003, obligates electric utility companies and PPS (Power Producer and Supplier) to utilize new energies (solar, wind, geothermal, biomass). Sewage sludge are a kind of biomass. It has a calorific value and is carbon neutral. Characteristically, sewage sludge are more accumulative and more useful than other kinds of biomass. It is considered, therefore, that the social problems involved with them could be solved in one go by converting biosolids into fuel and utilizing them as an auxiliary fuel for coal-fired thermal power stations.

By applying its drying process that permits full utilization of the organic components of biosolids, Nippon Steel Corporation has developed and commercialized a new system that dries biosolids and converts them into a fuel in the form of pellets.

### 1. 緒 言

下水道普及率の増加とともに下水汚泥の発生量も増加の一途を辿っている中で、有効利用は進んでいるものの約半分は埋立処分されている。最終処分場が逼迫している昨今、下水汚泥の処分が大きな社会問題となっている。

一方、新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS法)の施行や京都議定書の発効など地球温暖化防止に向けた取組みの一環として、化石燃料に替わる風力や太陽光、バイオマスといった自然エネルギーの有効利用が進められている。

ここで、下水汚泥はバイオマスのひとつであり、発熱量を有するとともにカーボンニュートラルである。さらに、下水汚泥は他のバイオマスに比べて集積性が高く、利用性が高いという特徴を持つ。このような下水汚泥を燃料化加工し、石炭火力発電所に石炭代替燃料として適用することで両者の抱える社会的課題を同時に解決することが可能と考えられる。

本研究は、日本下水道事業団との共同研究により、火力発電所での石炭代替燃料化に向け造粒乾燥システムによる下水汚泥燃料価値向上と、自社電力設備の活用による燃料評価を行う「バイオマス燃料加工技術（供給側）

+燃焼実験（利用側）」の一貫体制において課題解決に取り組んでいるものである。

- 1) 取扱い安全性、貯蔵安定性の評価
- 2) 基礎燃焼特性の把握
- 3) 火力発電所およびごみ溶融炉における最適な混焼比率の設定
- 4) 燃料の価値の向上
- 5) 設計指針の検討と試設計の実施
- 6) 経済性および環境負荷に対するバイオマス利用効果の算定

### 2. 造粒乾燥システムの概要

#### 2-1 システム概要

本システムは下水汚泥を始めとする各種有機性脱水汚泥を、均一な粒径の乾燥ペレットに加工する装置である。Fig.1に概略フローを示す。

まず、脱水汚泥（含水 65~85%）を二軸ミキサー内で循環乾燥汚泥と混練、乾燥汚泥を核として造粒させる。造粒汚泥は続く乾燥ドラム（回転数約 10rpm）内で約 450°C の熱風により乾燥され、バグフィルタでガスと分離されて振動篩に運ばれる。乾燥造粒汚泥はここで二段のスクリーンにより分級され、所定の粒径だけが製品ペレットとして排出され、粉碎機を通過した粗粒と細粒は二軸ミキサーへ循環される。乾燥ガスは熱交換器で加熱されて循環する。蒸発水分によりガス中の酸素濃度は 8%

1.平成 17 年 11 月 17 日 本会第 115 回例会において発表

2.新日本製鐵株式會社 北九州環境技術センター

平成 17 年 8 月 31 日受理

以下に保たれており、この水分量が一定に維持されるよう、常にガスの一部がコンデンサに引き抜かれる。コンデンサで水分を凝縮した後のガスは燃焼炉に送られて燃焼脱臭される。各工程で発生した粉塵は負圧の粉塵ラインで集められ、バグフィルタで分離されて、粉塵は二軸ミキサーに送られ、ガスは燃焼空気として使用される。

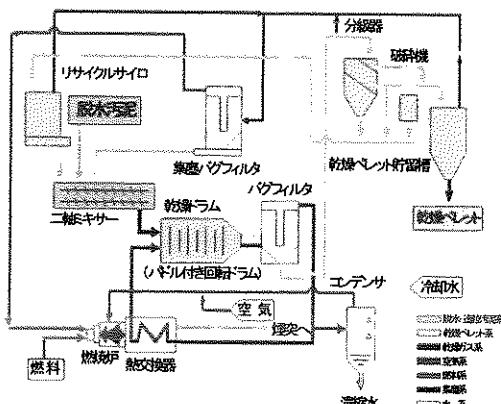


Fig.1 Process Flow

## 2-2 乾燥ペレットの特徴

- 1) 硬く均一な粒径であり、ハンドリング性が良い。
- 2) 低い含水率（8%）により臭気が少なく、長時間貯留しても変質せず貯留性に優れる。
- 3) 下水汚泥に含まれる有機成分が損なわれることなく、生成品のカロリーは石炭の約 1/2～2/3（3,500～4,500kcal/kg）と高い。

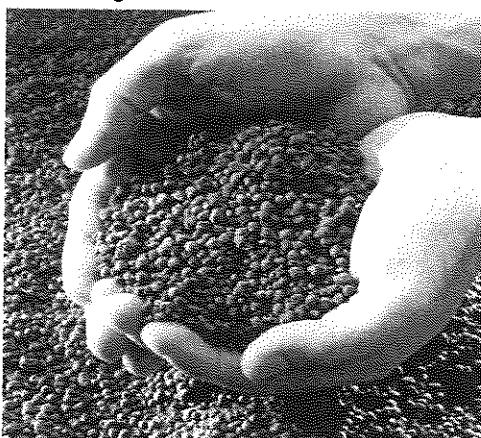


Fig.2 Appearance of Dry Pellet

## 3. 実験方法

本研究では、以下（Fig.3）に示す手順を設定し実施している。なお現在は、造粒乾燥システムの実証機は北九州市北湊浄化センター内の敷地に設置しており、そこで

生成した乾燥ペレットを、弊社八幡製鉄所内IPP設備にて石炭との混焼実験を実施しデータを取得中である。

以下、これまでに得られた成果について述べる。

ラボ試験：  
・貯蔵安全性試験  
・小型燃焼炉

- ・下水汚泥ペレットの貯蔵安全性評価。自己発熱性、発熱温度、発酵の有無等を評価する。
- ・下水汚泥ペレットの燃料としての適合性評価。粉碎性、石炭との燃焼火炎温度の違い、NOx 転換率の評価を行う。

パイロット燃焼試験：豊型燃焼炉

実炉並みのバーナでの燃焼試験を実施し、石炭火力への使用可否を判断。ミルでの粉碎性試験等、実機に近い常態で評価

短期実缶試験：発電用微粉炭炊きボイラ

実機にて短期試験（1日）を実施。  
運用可否を評価

実缶試験：発電用微粉炭炊きボイラ

実機にて連続試験（5日×4～5回）を実施し、実運用における燃料適合性の評価。事業化へ向けてのデータ採取

Fig.3 Procedure diagram of Study

### 3-1 貯蔵安全性確認試験

#### 3-1-1 自己発熱性試験

自己発熱性試験では、高温環境に晒された試験供試体に自然発火現象が起きやすいかどうかを評価する。

自己発熱性の測定は「炭化物自己発熱特性評価試験マニュアル（日本下水道事業団）」に準じて行った。

約 140 度に保った恒温槽内に 100mm 箍を設置し、そこへ乾燥ペレットを充填し中心部の温度変化を測定した。

試料には未消化脱水汚泥から生成した乾燥ペレットを用いた。

#### 3-1-2 発火点測定試験

発火点測定試験では、貯蔵の状態で発火現象が発生する温度を評価する。

発火点測定についても「炭化物自己発熱特性評価試験マニュアル（日本下水道事業団）」に準じて行った。なお、発火点測定については JIS K1474 4.8 「粒状活性炭の試験方法（発火点）」でも設定されているが、JIS K1474 4.8 とは異なる加熱方法（電気加熱炉）を採用することで昇温の再現性と温度制御の向上を図っている。

試料には未消化脱水汚泥から生成した乾燥ペレットを用い、温度上昇速度 10°C/min、空気流量 500mL/min の条件で行った。

### 3-1-3 発酵性試験

廃棄物を元とする燃料の貯蔵においては、発酵による温度上昇や発生ガスに十分留意する必要がある。

発酵性試験では、試験供試体に含まれる水分の違いにより、発酵の有無、温度変化、発生ガス成分を評価する。

水分量を調整した乾燥ペレットを密閉容器に充填し、内部温度変化、発生ガス成分を測定した。

試料には自己発熱性試験や発火温度測定に用いたペレットと同じものを用い、含水率を 0%, 5%, 10%, 20% の 4 段階の試験を行った。

### 3-2 小型炉による基本特性確認試験

#### 3-2-1 電気管状炉による揮発分量および燃焼速度試験

基礎燃焼特性を把握することは実際の燃焼炉での燃焼挙動を解する上で重要なファクターである。そこで下水汚泥乾燥ペレットの燃料としての基本特性（揮発分量および燃焼速度）を測定し、石炭との比較により評価した。

一定温度（800~1,500°C）に保持された小型電気管状炉（Fig.4）の上部より微粉状に加工した石炭もしくは乾燥ペレットを 5g/hr の速度で供給し、下部で捕集する。その際の供給前試料および下部捕集試料の元素分析値より各試料の急速昇温揮発分量および燃焼速度を測定した。

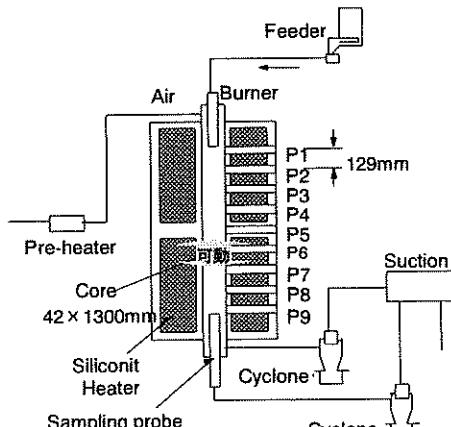


Fig.4 Electric Drop Tube

試料は石炭（中国炭）と造粒乾燥ペレットの2種類（それぞれ単体）とし、炉内滞留時間を一定に保ちつつ測定した。試験条件を Table.1 に示す。

Table.1 Condition of Drop Tube Test

Test	No.	Coal Type	Sludge type	Mixed ratio	O2	Furnace Temp. (deg.)	Gas flow rate (L/min)
Volatile Material release test	Run-1~4	China	ND	0%	0%	800~1500	6
	Run-5~8	-		100%			
	Run-9~12	D		100%			
Combustion speed test	Run-13~15	China	ND	0%	4%	1000~1400	12
	Run-16~18			7%	7%		
	Run-19~21			100%	4%		
	Run-22~24		D	7%	7%		
	Run-25~27			100%	4%		
	Run-28~30			7%	7%		

D:Digestion, ND:Non-Digestion

### 3-2-2 小型乱流炉による石炭-汚泥混焼実験

石炭との混焼時における排ガスへの影響（NOx発生量）や灰（未燃率）、燃焼への影響（炉内温度分布）を調べるために、小型乱流炉における燃焼試験を行った。

小型乱流炉の概略図を Fig.5 に示す。微粉加工した試料は 6kg/hr の供給速度で 1 次搬送空気 ( $6\text{m}^3/\text{N}/\text{hr}$ ) によりシングルバーナーに供給される。2 段燃焼用空気 (OFA : Over Fire Air) は 350°C に予熱後、炉内に吹き込んだ。1 次搬送空気を一定に保持し、2 次空気量および 2 段燃焼空気量を変化させつつ、発生 NOx 量や未燃率の測定を行った。

Diameter : 300mm  
Length : 2800mm  
First Air : 6m<sup>3</sup>/N/hr  
Second Air : 30~40m<sup>3</sup>/N/hr  
OFA\* : 12~22m<sup>3</sup>/N/hr  
Air pre-heat Temp. : 350 deg.  
Sample Feed speed : 6~7kg/hr  
\*Over Fire Air

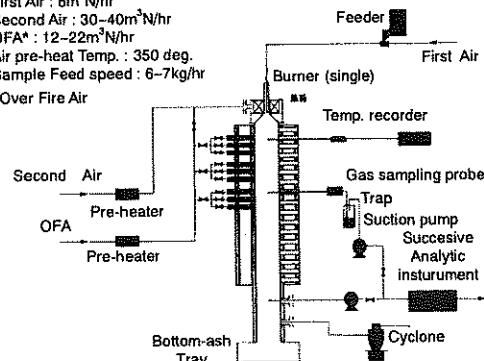


Fig.5 Small scale Furnace (single-burner)

試験には特性の異なる 2 種類の石炭を用い、OFA ファクター\*を変えながら混焼率 0~10% の挙動を確認した。試験条件を Table.2 に示す。

Table.2 Condition of Single-burner test

No.	Coal Type	Sludge type	Mixed ratio	OFA factor
Run-1	China	digestion	0%	5 level
Run-2			5%	
Run-3			10%	
Run-4			0%	
Run-5			5%	
Run-6			10%	

\*OFA factor : 炉内還元域の多少を表す指標。

### 3-3 パイロット試験

実缶試験の予備試験として、実規模レベルでのパイロット試験を実施し、粉碎性および燃焼性を評価した。

#### 3-3-1 粉碎性評価

実機での石炭混焼では、汚泥ペレットを微粉炭機の直前に投入し微粉炭機内で石炭と混合することを考えている。このような投入方法において、汚泥に多く含まれる有機物が原因となり微粉炭機内への付着等が発生することが危惧された。そこで、石炭-汚泥ペレットの混合破碎における破碎性能への影響を評価した。

試験方法は、定量供給フィーダにて石炭バンカに貯蔵した原料（石炭50kg、ペレット3.19kg）を計量し、MPS-22ミルで所定の粒度まで粉碎し、微粉炭ビンに貯蔵した。

試験には消化汚泥を造粒乾燥したペレットを用いた。混合率は燃焼試験に合わせ6%混合とした。なお、粉碎粒度は、200メッシュ（ $75\mu\text{m}$ ）通過重量70wt%になるように、回転分級機の回転数を調整して調整した。

#### 3-3-2 堅型微粉炭炉による汚泥混焼実験

本試験では実缶（新日鐵八幡IPP）での燃焼の前に、実缶と同タイプのバーナを有する大型燃焼設備（燃焼能力3ton/hr : Fig.6）を用い、石炭と乾燥ペレットの混焼実験を実施し、実機レベルでの燃焼性、排ガス、燃焼灰について評価した。

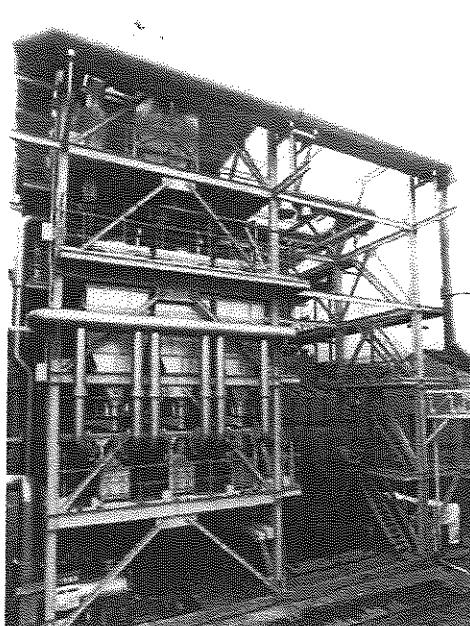


Fig.6 Pilot plant

燃焼特性及び環境特性を計測評価し、実缶試験に向けての問題点の有無を把握する。

試験には、消化下水汚泥の造粒乾燥ペレットを用いた。

なお、混焼率は石炭94%、乾燥ペレット6%（重量基準）とし、微粉炭機にて石炭と混合し、同一バーナに吹き込み混焼した。燃焼試験条件をTable.3に示す。

Table.3 Condition of Pilot plant

Test No.		Run1	Run2	Run3	Run4	参考: 石炭実績値
条件	高空気比	ベース	低空気比	Run1再現		
バーナ空気比	-	0.85	0.8	0.75	0.85	0.7~0.9
回流空気 1次空気 温度	℃	71	70	70	70	(65~75)
2.3次空気 温度	℃	330	340	340	340	(320~350)
火炎挾知	-	○	○	○	○	(○)
O <sub>2</sub> (Dry)	%	2.8	2.8	2.8	2.8	(2.8)
NO <sub>x</sub> (6%O <sub>2</sub> )	ppm	70	78	87	80	(75~100)
CO	ppm	7	Tr	Tr	Tr	(0~50)
SO <sub>x</sub>	ppm	450	450	465	450	(370~470)
ガス温度	火炉出口 ℃	1,000	1,065	1,084	1,076	(1000~1150)
	1次G/C出口 ℃	748	815	836	836	(750~950)
	2次G/C出口 ℃	194	220	232	235	(180~250)
	EF出口 ℃	158	165	190	200	(140~200)
未燃分(フライアッシュ)	%	5.35	3.37	2.99	4.28	(3~6)

## 4. 実験結果および考察

### 4-1 貯蔵安全性試験

#### 4-1-1 自己発熱性試験

自己発熱性試験の結果をFig.7に示す。恒温槽内を140°Cに保持すると乾燥ペレットの温度は次第に上昇し、一旦は140°Cを超えて148°Cまで上昇した。しかし、その後は徐々に温度が下降し、22時間後には145°C程度となつた。

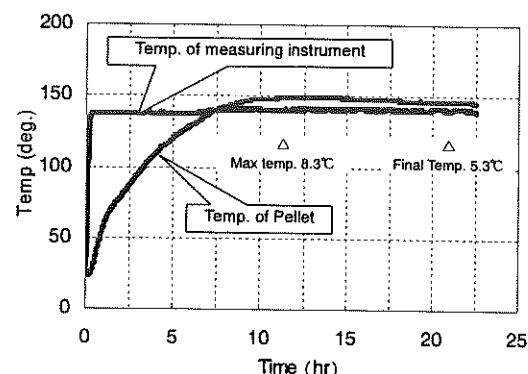


Fig.7 Property of Self-exothermic

#### 4-1-2 発火点測定試験

発火点試験の結果をFig.8に示す。発火点の読み取りは昇温された試料温度の延長線と発火による急激な温度上昇線との交点である。交点を調べた結果、発火点は428°Cであることがわかった。石炭の発火点が300°C前後であることから、自然発火の危険性は石炭よりも低いことが示された。

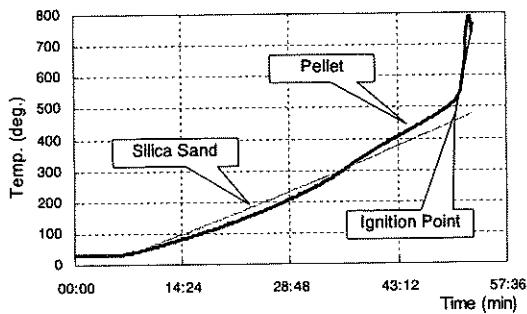


Fig.8 Ignition Point test

#### 4-1-3 発酵試験

温度変化については、いずれも5日間程度で40°C付近まで上昇するものの、それ以降温度上昇はみられなかつた。また、発生ガスの成分は、N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>が検出されたのみであり、メタン等燃焼性ガスの発生は全くみられなかつた。

#### 4-2 小型炉による基本特性確認試験

##### 4-2-1 管状炉による揮発分量および燃焼速度試験

揮発分放出試験結果をFig.8、燃焼速度試験結果をFig.9に示す。乾燥ペレットは石炭に比べ揮発分放出量が極めて多い。これは燃焼初期すなわち揮発化段階において8割以上がガス化し、残りがチャー燃焼していることが推測された。また燃焼速度試験では、同じ滞留時間で未燃率が小さいことから、乾燥ペレットは石炭よりも燃焼速度が速く、燃焼性の高い材料であることが推測された。

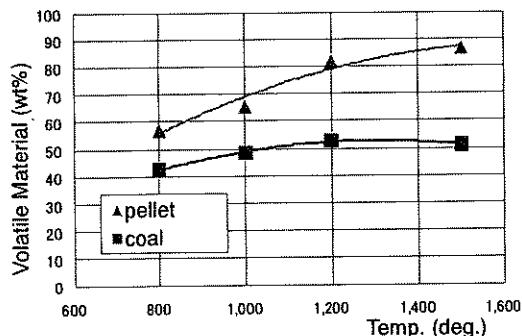


Fig.9 Comparison with Volatile Material

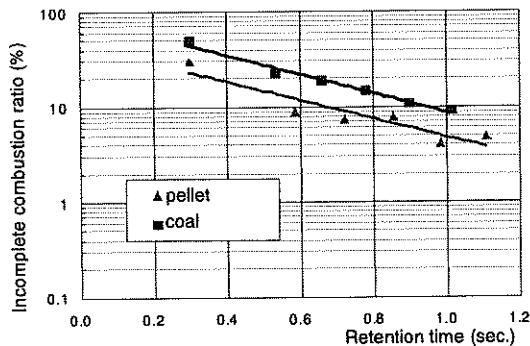


Fig.10 Combustion speed test

##### 4-2-2 小型乱流炉による石炭-汚泥混焼実験

Nox発生量と未燃率について石炭と比較した結果をFig.11、Fig.12に示す。汚泥は石炭よりも多く窒素(N)を含むことから、混焼によりNoxが増えることが予想されたが、混焼率10%のケースでも石炭専焼時との差異は非常に小さな結果となった。これは、初期の揮発化燃焼時に放出される窒素が石炭燃焼よりも乾燥汚泥の方が早いために、N<sub>2</sub>として燃焼ガスに排出されているものではと推測される。なお、混焼率5%では未燃率に大きな差異は認められないものの、混焼率10%の場合には未燃率が上昇する傾向が見られたことから、未燃率抑制を考慮する場合には混焼率を10%以下に抑える必要性が示唆された。

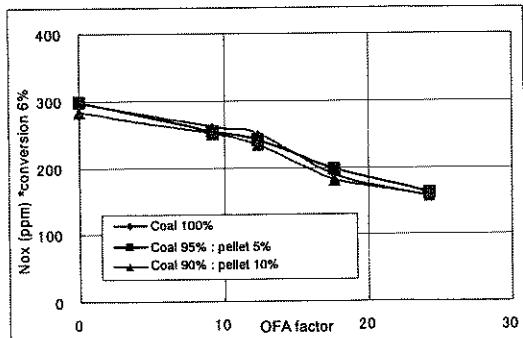


Fig.11 Generation of Nox by mixed combustion

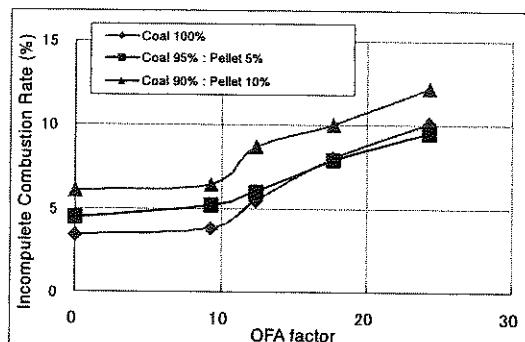


Fig.12 ICR by mixed combustion

#### 4-3 バイロット試験

##### 4-3-1 粉碎性試験

混碎により若干の動力増加が見られたもののミル安定運転が維持できることを確認した。これは、汚泥ペレットの HGI 指数が石炭の 49 と比較して 31 と低く、粉碎しにくい（硬い）のであるが、6%混合での HGI 測定値は 49 を示したことから、混炭燃料と石炭単味の動力差は誤差範囲であるといえる。破碎試験後、ミル内部を開放点検した結果、ミル内部残留粒子（石炭、汚泥ペレット）は少なく、通常の石炭粉碎時との変化は見られなかった（Fig.13）。

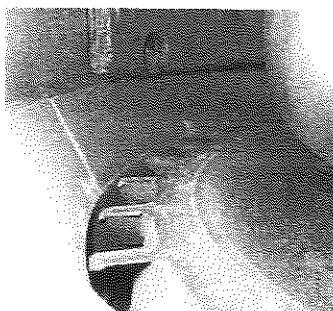


Fig.13 Inside of Mill

##### 4-3-2 壓型微粉炭炉による石炭・汚泥混焼実験

###### (1) 燃焼性（着火性）

火炎温度（赤外線放射温度計CHINO IR-AH）による火炎表面温度計測を実施した結果、ピーク温度は、1500°C であり、石炭単味での試験参考値1520°Cと比較しても同等であった。

また、目視による火炎状態から燃焼安定性の評価も試みた結果、石炭専焼時との相違は認められなかった。

###### (2) 排ガス性状

NOxについては、石炭燃焼時のNOx発生濃度が83ppmに対し、乾燥ペレット混焼では78ppmとなり5ppmのNOx発生量減少がみられた。燃料中窒素分が増加したにもか

かわらずNOxの増加には繋がっていない。実機と同様に空気比0.8のとき発生量が最小となっており、石炭専焼時の燃焼条件で最適な燃焼状態が得られることが確認できたことで、実機適応時についても特に燃焼調整等を必要とせず混焼が可能であることが示唆された。

SOxについては、ベース条件で450ppmとなり、若干の増加傾向が見られた。石炭でのSOx濃度が平均で420ppmであったので、30ppmの増加になった。これは乾燥下水汚泥6%混合により、燃料中S分の増加となることが原因と考える。しかし実際の混焼率は本試験の1/2～1/3程度であることから実機脱硫装置入口におけるSOx濃度は微量増加となり脱硫装置への影響は微小と考える。

###### (3) 灰分析

灰中未燃分については空気比を下げた方が低くなつたが、これは空気比の低減による火炎温度上昇による効果と考えられる。全体的には全ケースに於いて問題になる数値にはなっていない。

## 5. 結 言

造粒乾燥した下水汚泥ペレットの石炭代替燃料としての確認試験等を通して得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 造粒乾燥ペレットは貯留に対し石炭と同等の取扱いが可能である。
- 2) 造粒乾燥ペレットは、石炭に比べ揮発分が多く燃焼速度が速いことから燃焼し易いバイオマスである。
- 3) 造粒乾燥ペレットを 10%程度混焼しても NOx 発生量に影響を与えない。しかし、未燃率増加を抑制するためには汚泥混焼率は 10%以下とすることが望ましい。
- 4) 実規模に近いバイロット試験において、造粒乾燥ペレットを石炭に 6%混合した場合でも、破碎性および燃焼性に問題は見られなかった。

今後は、実際の発電用燃焼炉（発電ボイラー）を利用した燃焼実験により、燃料化技術確立に向けた課題解決に取り組んでゆく所存である。

## References

- 1) 日本下水道事業団：炭化物自己発熱特性評価試験マニュアル(2003)

## 循環（3R）社会における生分解性プラスチックの役割<sup>1</sup>

白井義人<sup>2</sup>・原口貴成<sup>2</sup>  
西田治男<sup>3</sup>

Role of Biodegradable Plastics in Recycling (3R) Society

Yoshihito Shirai<sup>2</sup>, Takaaki Haraguchi<sup>2</sup>, Haruo Nishida<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology,  
Hibikino 2-4, Wakamatsu-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 808-0196

<sup>3</sup>Center of Advanced Technology, Kinki University, Kayanomori 11-6, Iizuka-shi, Fukuoka 820-8555

For the creation of any recycling (3R) society, role of biodegradable plastics, especially poly-L-lactate, is discussed. Poly-L-lactate can be easily decomposed into L-lactic acid or LL-lactide which are raw materials for the production of poly-L-lactate. LL-lactide is obtained by pyrolysis catalyzed by CaO or MgO at temperature between 250 C and 320 C with a minor racemized reaction. Therefore, Poly-L-lactate can be produced from recycled products made of poly-L-lactate, called chemical recycling. Because of much difference of the temperature for pyrolysis of poly-L-lactate from those of other petrochemical plastics, any perfect separation of the plastics is not always required. It is confirmed that much less energy is required to produce poly-L-lactate through chemical recycling after considered by the life cycle assessment (LCA) methods for event carpets systems.

### 1. はじめに

20世紀は化石資源の大量消費と大量廃棄からなる一方通行の社会であった。21世紀に入り、化石資源の消費を抑制するため、資源とエネルギーのカスケード利用による循環社会の実現が求められるようになった。しかし、たとえば、プラスチックのリサイクルは困難であると指摘されることがしばしばある。それは、プラスチックは高分子物質であり、リサイクルのため、再度溶融されて繰り返し利用されることで、分子量が低下し、品質が低下するからである。あるいは、リサイクルに伴い、輸送や貯蔵に大量生産・大量廃棄システム以上にエネルギー消費や温暖化ガスの放出につながるからである。単純に「リサイクル=善」と言えないことがしばしば指摘される。

一方、環境で分解することから注目してきた生分解性プラスチックは、価格の高さ、既存プラスチックと比較して品質も劣ること、分解するという特性が用途して求められる例が思ったほど多くなかったことから、予想されていたほどの普及には至っていない。特に、乳

酸のポリエステルであるポリ乳酸は、性質がポリスチレンに近いことから、汎用プラスチックとしての利用が期待されたが、熱に弱く、アルカリ水溶液やアルコールで分解されてしまう等の性質から期待に十分答えていないとは言えない。

一方、ポリ乳酸は化学的に容易に分解されることから、ポリ乳酸製品を分解して、乳酸をつくったり、ポリ乳酸の直接の原料であるラクチド（乳酸の脱水2量体）を得ることは比較的簡単である。ポリ乳酸の原料には高い光学純度が求められるため、原料乳酸の製造には発酵、精製等多くのプロセスが必要である。しかし、ポリ乳酸製品は、ある意味では、光学純度の高い乳酸の塊であるので、これが分解できれば光学純度の高い乳酸が容易に得られる。したがって、回収や貯蔵が容易な製品をポリ乳酸でつくることができれば、使用済みのポリ乳酸製品は廃棄する代わりに分解工場に運び、ここで再度ポリ乳酸の原料に戻すことで、品質的にも価格的にも妥当なポリ乳酸供給することが可能になる。

ここでは、ポリ乳酸を例に取り、生分解性プラスチックを、単に自然に分解するプラスチックではなく、品質的に全く低下することなく、リサイクル利用を可能にするプラスチックと捉えなおすことにより、来るべき循環社会的一面について考えてみたい。具体的には、筆者らのポリ乳酸の熱分解に関する既往の成果を簡単にまとめると同時に、ポリ乳酸を展示会用のカーペットに利用し

1.平成17年11月17日 本会第115回例会において発表

2.九州工業大学大学院生命体工学研究科生体機能専攻

3.近畿大学分子工学研究所

平成17年8月31日受理

て LCA (ライフサイクルアセスメント) の手法で評価した結果について報告する。

## 2. 実験材料および実験方法

### 2.1 ポリ乳酸について

ポリ乳酸は生分解性プラスチックとしてよく知られており、その性質は熱可塑性で PET やポリスチレンと比較的類似している<sup>1)</sup>。ポリ乳酸の原料の高い光学純度の乳酸は、一般に、デンプンを加水分解して得られるブドウ糖から発酵によって生産される<sup>2, 3)</sup>。乳酸が生産された後は、精製後、重合されてポリ乳酸となる。この際、しばしば、乳酸の 2 量体であるラクチドの開環重合によりポリ乳酸が合成される。需要が小さいこともあるが、現在、ポリ乳酸の価格は kgあたり 400 円から 600 円である。現状のポリ乳酸はゆっくり生分解し、加水分解を受け易いポリスチレンといったところがあるので、恐らく、500 円/kg は高すぎると思われる。そこで、我が国でもポリ乳酸の生産コストを下げる努力が始まったところである。

一方、乳酸のエステル化合物であるポリ乳酸のような縮合型のプラスチックにはナイロンのように容易にモノマーに分解されるものが多い。ポリ乳酸はいかに大量生産しても基本的に発酵・精製・重合というプロセスが必要であり、たとえば、ポリ乳酸を含む製品から高い純度と回収率できれば、原料である乳酸やラクチドラクチドは発酵生産するよりも資源、エネルギー、コストのすべてが削減できる可能性がある（図 1 参照）。この場合、1) ポリ乳酸製品に他の成分が混入した場合の分別の容

易さ、2) ポリ乳酸そのものを分解して乳酸やラクチドが得られる容易さ、3) ポリ乳酸製品回収後の輸送、貯蔵等のロジスティックがしっかりと組織されていること、が必要である。

1, 3 についてはすでに回収ルートが確立しているが、現状では単に焼却処理されているような製品にポリ乳酸が利用されることが望ましい。一方、2 については、小さな規模であっても効率的にポリ乳酸が分解される方法が望ましい。特に、ポリ乳酸の分解のために溶媒を利用しない熱分解法は、自動化が可能であり、小規模でのポリ乳酸の循環利用（ケミカルリサイクル）が可能になる。

### 2.2 ポリ乳酸の熱分解

ポリ乳酸は熱分解によって、モノマーのラクチドへ変換することが可能である。この場合、ポリ乳酸製品を粉碎して熱分解装置に投入するという単純なプロセスだけでポリ乳酸の前駆体であるラクチドを得ることができる。しかし、その際、ポリ乳酸製品はプラスチック廃棄物として、他のプラスチックと混ざっている場合が多い。ポリ乳酸を含むプラスチック廃棄物から、選択的に高収率で高純度のラクチドを取り出せねばならない。

そのため、ポリ乳酸自身の熱分解特性を検討した。まず、ポリ乳酸を所定の量でクロロホルムに溶かして、酸化マグネシウム等、所定量の金属化合物を加えた。電磁搅拌機で 1 時間激しく搅拌した後、フラートシャーレに注いで、溶媒をゆっくり蒸発させ、キャスティングフィルムを作った。

さまざまな金属化合物を含むポリ乳酸フィルムを用いて、熱分解実験と分解生成物分析を行った。TGA/DTA 分析は窒素雰囲気でそれぞれ 1, 3, 5, 7, 9 K/min の昇温速度で行った。熱分解データはデータ処理システムで収集し、データ処理ソフトで解析した。Py-GC/MS 分析はヘリウムガス雰囲気で行った。熱分解炉は昇温速度 10 °C/min で加熱し、サンプルを分解させた。分解性生物は GC/MS に導入して、所定の分析プログラムで分析した。

分子量測定には TOSOH HLC-8200 GPC 測定装置を用いた。熱分解実験にセイコウインスツルメンツ株式会社製の SEIKO EX STRA 6000 TGA/DTA 6200 分析システムを用いた。熱分解生成物の分析は島津製の GC-9A ガスクロマトグラフと Varian 製の INNOVA 400 NMR スペクトメータを使った。熱分解 GC/MS 実験はフランテリア・ラボ製の PY-2020D 分解炉と島津製の GCMS-QP5050 ガスクロマトグラフ/マススペクトメータを用いて行った。

汎用ケミカルリサイクル用装置としてベント付エクストルーダーを想定し、これを用いたポリ乳酸とポリエチ

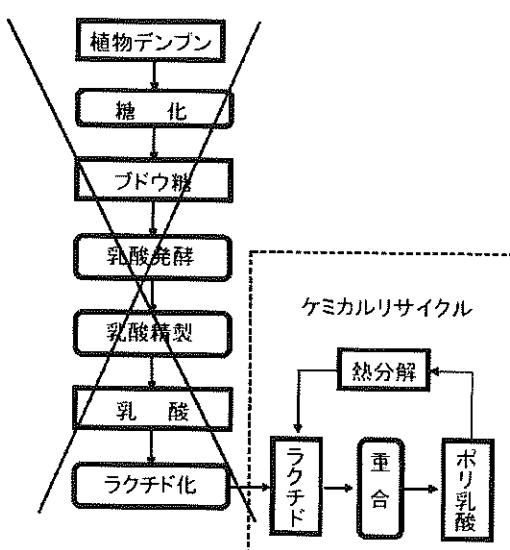


Fig. 1 Poly-lactate Production and Chemically Recycling

レンの混合物からのL,L-ラクチド回収の実証試験を実施した(図2参照)



Fig. 2 Experimental Extruder

### 2.3 LCAによるポリ乳酸製展示会用カーペットの環境

LCAとは一言で表すと「製品やサービスの一生を通じての環境影響を評価する手法」である。また、ISO(国際標準化機構)において、環境マネジメント規格ISO14040シリーズにより標準化されており、国際的な環境評価手法であるといえる。LCAでは「インベントリ分析」と「環境影響評価」の結果や評価に基づいて環境改善に向けた意志決定を支援する科学的・客観的根拠を与えることになる<sup>4)</sup>

#### ポリ乳酸製カーペット(ケミカルリサイクル)

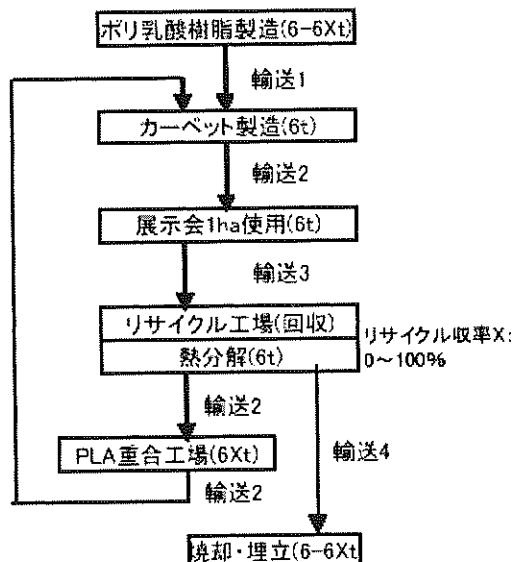


Fig. 3 Poly-lactate Carpet for Exhibition and Chemically Recycling

ここでは、ポリ乳酸製品として展示場用カーペットを選んだ。このカーペットを展示場において10000m<sup>2</sup>使用した後、ケミカルリサイクルする(リサイクル率0~100%)という社会システムを設定し、LCAを行った(図3参照)。さらに、比較のためにPP製カーペットの使い捨てシステムとナイロン製カーペットの洗浄リユースシステム(リユース25回)についても同様にLCAを行った。

さらに、カーペットの表面と本体を分離できるようにし、本体部分はリユースし、表面のみをケミカルリサイクルさせるシステムも評価した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 ポリ乳酸の熱分解

ポリ乳酸の熱分解は、共存する金属化合物により大きな影響を受ける。一般的には、その生成物として、ラクチド以外にも各種の環状オリゴマー、リニアオリゴマー、乳酸エステル類、及びアルデヒド、アクリル酸などが含まれる。ポリ乳酸の熱分解を制御し、選択的にラクチドを得るには、各種の金属触媒の効果と適当な熱分解条件を検討することが必要である。

スズ化合物は重合触媒としてポリ乳酸に含まれることが多い<sup>5)</sup>。スズ化合物はポリ乳酸の熱分解に対して、分解温度を下げたり、分解反応活性化エネルギーを低下させる。また、工業的に高光学純度のラクチドを得るために、スズ系触媒を用いて分子量1万弱程度の乳酸オリゴマーの低温熱分解が主流である<sup>6)</sup>。しかしながら、スズの毒性に関する危惧は完全にないとは言えない。

アルカリ金属とアルカリ土類金属は環境にやさしい金属化合物である。そのような金属イオン末端を有するポリ乳酸(PLLA-Na, PLLA-K, PLLA-Ca, PLLA-Mg)の熱分解挙動を調べた。その結果、アルカリ土類金属はポリ乳酸の熱分解温度と活性化エネルギーを下げることが確認された(表1)。さらに、アルカリ土類金属イオン末端を有するポリ乳酸の熱分解生成物のなかに、ラクチド以外の成分が抑えられて、選択的にラクチドを生成することがわかった<sup>7, 8)</sup>。

さらに、カルシウムとマグネシウム化合物では、ポリ

Table 1 Kinetic Parameter of Poly-lactate Pyrolysis

	分解温度範囲 (°C)	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	A (s <sup>-1</sup> )	n
PLLA-H	280~370	—	w = 0.5~0.1 176	ランダム
PLLA-Ca	220~360	—	w = 1~0.4 98	1
PLLA-Na	250~370	—	w = 1~0.4 172	ランダム

E<sub>a</sub>: 活性化エネルギー、A: 懸念因子、n: 指数次数、w: ポリ乳酸の残存量

乳酸の熱分解に及ぼす効果が違うことがわかった。アルカリ性が強いカルシウムやマグネシウム化合物はより低温側で熱分解が進む。これらの化合物を加えたポリ乳酸の熱分解温度は純ポリ乳酸よりも下がって、効率的に熱分解する可能性を示した。ポリエチレン、ポリスチレンのような汎用プラスチックの熱分解温度は350°Cを超える。そのため、これらがポリ乳酸と混ざっていたとしてもポリ乳酸だけが選択的にラクチドとして回収できるのである。



Fig. 4 Lactide Production by Pyrolysis of Poly-lactate

実験用エクストルーダでポリ乳酸を熱分解し、ラクチド蒸気を回収している様子を図4に示す。図からわかるように、容易にポリ乳酸の原料になるラクチドが回収できる。

さらに、アルカリ土類金属イオン末端を有するポリ乳酸と同様に、アルカリ土類化合物を添加したポリ乳酸の熱分解生成物には、ラクチド以外の成分ほとんどなく、選択的にラクチドを生成した<sup>9)</sup>。しかし、いくら選択的にラクチドが生成しても320°Cを超える温度下での熱分解ではラセミ化が進み、高い光学純度のラクチド得られない可能性がある。さらに、カルシウム、マグネシウムはラセミ化剤としての特許が申請されていた<sup>10)</sup>。そこで、PLLA-Caの熱分解について鋭意検討したところ、250~320°Cの温度範囲での熱分解生成物中のmeso体の含有率は、低い値を維持していることを見出した(図5)。酸化マグネシウムを添加したポリ乳酸も同様に、同程度の分解量で比較した場合、ラセミ化が抑えられて、mesoラクチドの量が低い値を維持した(図6)<sup>9), 11)</sup>。

最近、ポリ乳酸がパソコンの筐体等、家電製品に採用される例がしばしば見られる。また、最近、リースや中古パソコンも広く流通するようになってきており、パソコンの循環利用を容易にするものと期待できる。しかし、

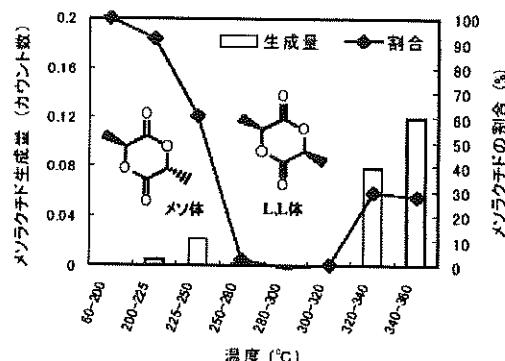


Fig. 5 Racemization and Temperature in Pyrolysis of Poly-lactate Using CaO

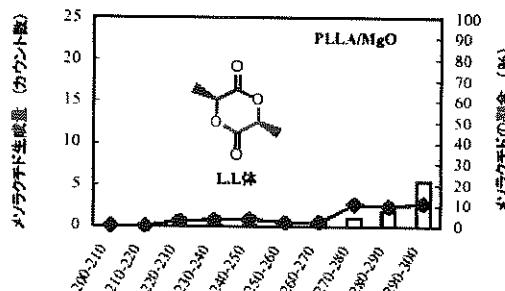


Fig. 6 Racemization and Temperature in Pyrolysis of Poly-lactate Using MgO

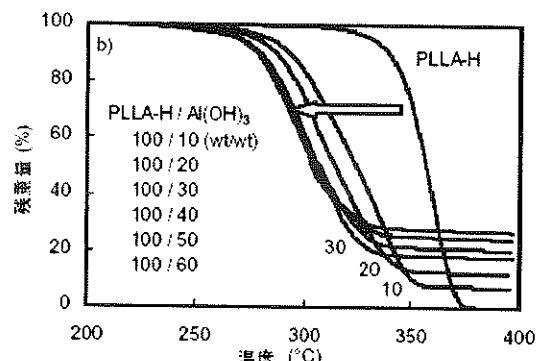


Fig. 7 Pyrolysis Temperature and  $\text{Al}(\text{OH})_3$  as Catalyst

パソコンのような家電製品の場合、筐体の難燃化は必須である。筆者らは難燃化剤として広く使用されている水酸化アルミニウムに注目した。通常、水酸化アルミニウムを難燃剤として利用する場合、筐体に対して数十%も添加される。熱分解実験結果を図7に示したが<sup>12)</sup>、30%以上水酸化アルミニウムを添加した場合、顕著に熱分解温度を低下させ、熱分解温度帯をラセミ化を抑制できる250~300°Cの範囲に収束させることができた。また、LL-ラクチドを効率的に発生できることも確認し、水酸化アルミニウムは難燃化剤ばかりでなく、ラセミ化を抑制できるポリ乳酸のラクチドへの熱分解触媒としても機能することがわかった。

### 3.2 ポリ乳酸製カーペットのケミカルリサイクル

展示会のカーペットは、多くの場合、わずか数日のイベント期間後には焼却処分されてしまう。ポリ乳酸製品のケミカルリサイクル事業を実現する場合、回収の容易さ、輸送ルートが既存であることが重要である。この点、展示会のカーペットはすべて回収することは容易であるし、焼却場に運送するかわりに、同じ程度の距離に熱分解施設があれば、いかに運び、いかに貯蔵するかの問題も解決できる。ここでは、展示会用カーペットをポリ乳酸でつくり、使用後ケミカルリサイクルさせるシステムをライフサイクルアセスメント(LCA)の手法で評価した。詳細は原口の修士論文<sup>13)</sup>に示されている。参考にナイロン製の洗浄リユースカーペットのLCAも示す。

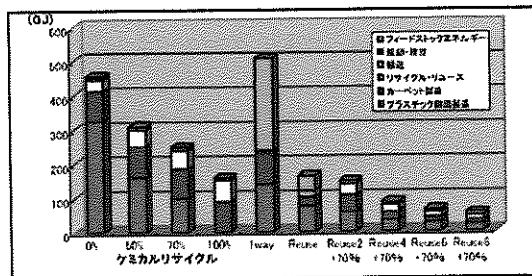


Fig. 8 Total Energy in Chemically Recycling of Carpet for Exhibition

使用エネルギーの評価を図8に示す。使い捨てシステムとの比較では、リサイクル率が高くなるほど、システム全体の使用エネルギーが大きく減少することがわかり、本システムは環境負荷の面から優れていると言える。一方、リユースシステムとの比較では、高いリサイクル率が実現できれば、リユースシステムと同等の環境評価が得られるが、さもなければ環境負荷の面では劣ってしまう結果が得られた。リユースの場合、カーペット製造や樹脂の製造に要するエネルギーがきわめて小さく、環境面で優れたシステムであることは明らかである。ただし、洗浄の手間、コスト等についてはここでは評価されていない。

さらに、表面の素材のみをケミカルリサイクルし、さらに本体のポリ乳酸部分はリユースを繰り返す系の場合、カーペット本体を4回以上リユースできればリユース洗浄システムと比較しても十分にエネルギーの削減につながることがわかった。

### 4. おわりに

ポリ乳酸のケミカルリサイクルシステムを実現させるためには克服すべき問題がまだいくらかある。そもそも、プラスチックは他プラスチックや可塑剤、添加剤、塗装

用色素等、様々な成分が含まれる。このような場合、それらの成分が250°C～300°Cの温度帯で同時にガス化し、さらにラクチドと化学反応を起こせば、ラクチドの回収率は低下する。まず、ポリ乳酸に添加される可能性のある成分で、このような影響を及ぼす可能性のある成分を明らかにする必要がある。これらが明らかになれば、それらが含まれている場合の対策（添加を避けることも含め）を立てることができる。

また、ケミカルリサイクルを伴うポリ乳酸のリサイクルシステムを社会的に構築するためには、展示会用カーペットの例でも示したように、回収が容易で必ず循環する用途が必要である。また、言うまでもなく、このような用途にポリ乳酸が適用できることが必要である。ポリ乳酸の特徴は硬く、透明であることである。また、熱やアルカリに弱い。こういった点を考慮すると、パソコンのような家電品、それを運搬する包装材や包装補助材、衝撃緩衝材等は利用の可能性があろう。また、透明であることから切符のコーティング材や回収システムを完備させた上で使い捨てカップの代用等も考えられる。このような循環システムを社会的に構築することも課題であろう。

しかし、いずれにせよ、現在の価格（500円/kg程度）ではポリ乳酸の利用はかなり難しい。もちろん、ケミカルリサイクルが可能になれば価格低下は可能であろうと思われるが、いきなり、ケミカルリサイクル社会システムができるわけでもなく、当面の高コスト負担の引き受けをいかに考えるか。仮に引き受け手があったとして、それをいかにスムーズにポリ乳酸の価格低下と社会システムの普及につなげていくかが最も重要な克服すべき課題であると筆者らは思う。

### 謝 辞

本研究は平成16年度バイオマス生活創造構想事業に係る技術開発および平成15年度、16年度北九州市環境未来技術開発助成事業の支援を受けて実施されました。

### References

- 1) J. Lunt, Polym. Degrad. Stab., 59, 145 (1998).
- 2) 小原, 土井, 大塚, 奥山, 岡田, 生物工学会誌, 79, 142 (2001).
- 3) P. R. Gruber, Proceedings IUPAC Polymer Conference 2002 in Kyoto, 629 (2002).
- 4) 環境情報科学センター編: ライフサイクルアセスメントの実践—環境負荷低減を目指して— 化学工学日報社(1996).

- 5) D. R. Witzke, R. Narayan, and J. J. Kolstad ,  
*Macromolecules*, 30, 7075 (1997).
- 6) 野田, 島津評論, 56, 83 (1999).
- 7) Y. Fan, H. Nishida, S. Hoshihara, Y. Shirai, Y. Tokiwa,  
and T. Endo. *Polym. Degrad. Stab.*, 79, 547-562 (2003).
- 8) Y. Fan, H. Nishida, Y. Shirai, and T. Endo. *Polym. Degrad.  
Stab.*, 45, 1197-1205 (2004).
- 9) 樊, 西田, 白井, 遠藤, 高分子学会予稿集, 51[14], 3841  
(2002).
- 10) 東洋紡, 特開平11-35663.
- 11) Y. Fan, H. Nishida, Y. Shirai, and T. Endo, *Proceedings  
IUPAC Polymer Conference 2002 in Kyoto*, 668 (2002).
- 12) H. Nishida, Y. Fan, T. Mori, N. Ooyagi, Y. Shirai, T.  
Endo, *Ind. Eng. Chem. Res., ASAP* ie049208+ (2005).
- 13) 原口貴成、九州工業大学大学院生命体工学研究科修  
士論文(2005).

## IT 技術を用いた 計算機・人間協調型防犯防災用警備ロボットの開発<sup>1</sup>

古谷忠義<sup>2</sup>、添田 満<sup>2</sup>、高木陽一<sup>3</sup>、檜山康明<sup>3</sup>

Development of Mobile Robots for Security Patrolling with Cooperative Control  
between Computer and Operator by Information Technology

Tadayoshi FURUYA<sup>2</sup>, Mitsuru SOEDA<sup>2</sup>, Youichi TAKAGI<sup>3</sup>, Yasuaki HIYAMA<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Kitakyushu College of Technology      <sup>3</sup>tmsuk co. LTD.

The practical robots for security patrolling in buildings were developed under the sponsorship of New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). The project was organized to install many functions and autonomous actions, where the robots can patrol automatically along the designated paths even using the elevators. The functions developed here are path planning, exchanging the batteries, finding the landmarks for autonomous movements and pressing buttons of elevators, and mode changes between operator's manipulations and computers. Many kinds of sensors including omnidirectional sensors are attached in this robot. The produced trial robot shows the possibilities of practical employment in the security patrolling.

### 1. はじめに

防犯防災のための人間による巡回監視は3Kの仕事とみなされ、費用や安全性の点でロボットにやらせたいという要望は大きい。しかし、人間の持つ適応的融通性、高度な判断などをロボットに置き換えるには多くの問題が存在している。また決まった経路を移動するとしても想像外のことが突然に起こり、人間の判断が必要なことも起こる可能性がある。そこで自律的に巡回できる機能と異常事態に対処するオペレータの判断が取り組める機能をあわせて持つロボットの開発が望まれる。

本研究はこのような観点から開発された計算機・人間協調型防犯防災用警備ロボットであり、新エネルギー・産業技術総合開発機構の平成13年度即効型地域新生コンソーシアム研究開発事業で行われたプロジェクト研究である。本報告はその概要をまとめたものである。

### 2. ロボットの構成

ロボットは移動、環境認識、作業、判断等を自律的に行える必要がある。そのため多くの機能が必要であり、その集大成されたものがロボットの能力を決定している。既存の知識を活用しながら目的に合致するロボットを作成することが重要となる。本研究で構成されたロボットは以下の点を目標として製作された。

- ① ランドマークの存在する経路を自律的に巡回する。
- ② エレベーターに乗って移動できる。
- ③ ロボット自ら消耗したバッテリーの交換ができる。
- ④ オペレーターが介入して移動、作業ができる。
- ⑤ 全方位 CCD センサーで画像を取得して記録、監視。
- ⑥ 防犯の連絡、初期消火ができる。
- ⑦ 無線（携帯電話、移動体通信）でオペレーターとの間で異常信号・周辺画像の転送が可能であり、遠隔制御機能を持つ。

⑧ ほぼ人間と同じサイズのロボットに多くの機能を持たせ、夜間も警備員のように巡回する。

以上のように出来るだけ人間が行う場合に近い形態で巡回し、防犯・防災できるロボットが目標である。オペレーターも常時ロボットの操作をするのではなく、数台のロボットをまとめてオペレーター・センターから監視し、必要な場合のみ遠隔操作するように設計されている。このため出来るだけ自律動作を増やし人間の介在を最小限にすることを考案されている。

一般的にロボットの構成を図にすると Fig.1 のように考えることができる。

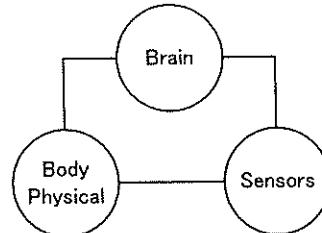


Fig.1 Robot Components

このようにハード面とソフト面の両方からロボットを構成していくかなくてはならない。ハード面から視覚センサーの選択、ソフト面から画像解析・認識ソフトの作成を行うことによって人間の眼にあたるものを作ることができ。人間にとってはいとも簡単にできることも動作を分割し、それぞれを作成していくと想像を絶するほど複雑になる。しかも処理スピードは人間に比べるとはるかに遅いことが普通である。ことに環境の認識は人間なら瞬時に何があるか、どう動けばよいかがわかるのにロボットなら平気で1時間くらい費さないとできないというようなことも起こる。照明による差異、角度、認識しなくてはならないものの数など認識が遅くなる原因はいくらでも存在する。したがって目標を良く考え、機能を絞り込んでいかなくてはならない。ロボットはこの Fig.1

1. 平成 17 年 11 月 17 日 本会 115 回例会において発表  
2. 北九州工業高等専門学校電子制御工学科  
3. 株式会社テムザック  
4. 平成 17 年 7 月 27 日受付

の三つの要素の出来不出来がロボット全体の能力となるのでそれについてよく検討しなければならない。次に計算機・人間協調型警備ロボットのために開発された主な要素技術を説明する。

### 3. 警備ロボットの特徴

#### 3-1 バッテリー交換

ロボットのアクチュエータに対する電力供給システムは、これまでロボット本体を停止し、長時間をかけて、バッテリーの充電を行っていたため実働時間が拘束されていた。効率的な連続可動を行うため、電力供給の為のバッテリー交換ステーションを開発した。ここでは接近したロボットを自動的に誘導固定する装置化を行い、消耗したバッテリーを取り外しかつ充電済みのバッテリーと交換する事により、ほぼ無停止での連続自動巡回警備が実現した。

ロボットが、バッテリーの消耗に伴い、バッテリー交換の為にバッテリー交換ステーションに戻って来た時、ステーション側からのセンサー信号を、ロボットの側面にあるセンサーが受信すると、定位置に停止し、バッテリーの交換姿勢をとる為、90度旋回の後、停止する。ロボットが定位置にて旋回終了すると、ロボット側からのセンサー信号をバッテリー交換ステーションのセンサーが受信し、バッテリー交換ステーションの動作が開始する。

初めに、ロボット取り込み機のロボット捕獲機構が、ロボットを捕獲し、ロボット取り込み機のロボット取り込み機構で、ロボットを取り込む。この際、バッテリー交換ステーションのフローティング機構により、ロボットの位置が所定の位置より若干ずれていても、補正し、ロボット固定機構でロボットを定位置に固定させる。

次に、バッテリー装填機構により、ロボットから消耗したバッテリーを引き抜くが、その際、バッテリーケースにロックが掛かっている為、バッテリーケース・ロック・アンロック機構で、バッテリーケース開閉レバーを解除方向へ回転させると同時に、ロッカーの爪でバッテリーケース開閉レバーを引っ掛けバッテリー装填機構でバッテリーを引き抜く。取り出されたバッテリーはバッテリーケース送り機構にて、次位置に移動し、充電される。次に、充電されたバッテリーをバッテリー装填機構により、ロボット側に押し出す。ロボットに充電されたバッテリーを装填完了した後、バッテリーケース・ロック・アンロック機構により、バッテリーケース開閉レバーを固定方向へ回転させロックさせる。バッテリーの交換が、完了するとバッテリー装填機構は定位置に戻り、ロボットを固定しているロボット捕獲機構は解除され、ロボット取り込み機は、定位置へ移動し待機状態となり、一連の動作は終了する。交換された古いバッテリーは時間をかけて充電される。以上の動作は自動的に行われる所以無人での連続警備が可能となっている。

#### 3-2 ロボットマニピュレータの制御

防犯・防災用警備ロボットが建物内の全ての階を移動するためには、エレベータの利用が必要不可欠である。ロボットがエレベータを使用するためには、まず、建物にロボットを認識するセンサを据付けることが考えられる。しかしながら、この方法では個々の建物に新たな設備の設置が必要であり、このことは警備ロボット導入時に問題となる。マニピュレータを搭載した警備ロボット

自身が自律的にエレベータ内外のボタンスイッチを押すことができれば、建物内の改装等を行わずに警備ロボットの導入が可能である。そこで、警備ロボットに装着されたマニピュレータ手先の位置および姿勢の制御法の開発を本テーマの目的とした。

リンク機構の先に取り付けられた先端の姿勢角と位置を制御することはリンク機構のそれぞれの位置と角度を



Fig.2 Pushing button for elevator

制御しなければならない。想定する動作は Fig.2 に示すようなエレベータのボタンを押す作業である。このためマニピュレータ手先の位置および姿勢を制御する実用的な制御アルゴリズムを開発した。開発期間・コストおよび機構重量の関係から、実機マニピュレータの関節アクチュエータはパルスモーターが採用されている。パルスモーター駆動のマニピュレータに対して、手先の目標軌道を設定し、オンラインでフィードバック制御系を構成した場合、動作時間が長くなり、かつ振動的となる。そこで、最終目標手先位置および姿勢を実現する関節角度を求める 2 種類の効率的制御アルゴリズムを開発した。これらの制御アルゴリズムは、マニピュレータの手先速度と関節速度との運動学関係式に基づき導出した。1 つは、運動学関係式のオイラー近似による数値解法により関節角度を求める方法である。もう一方は、マニピュレータモデルに対して離散時間分解速度制御系を構成し、定常状態の角度を算出する方法である。開発した 2 つの制御アルゴリズムは、マニピュレータ手先が目標位置および姿勢を実現する関節角度を短時間で出力するものである。したがって、関節アクチュエータであるパルスモーターへの指令値は 1 回だけであり、開発制御法は実用的かつ効率的なものである。

#### 3-3 人間と計算機の協調による遠隔操作

警備ロボットに用いられる巡回型移動ロボットは、人間の遠隔操作により移動するタイプとロボットに搭載されている計算機の操作により自律移動するタイプが考えられる。前者のタイプは人間が直接操作するため操作者にとってわかりやすく、人間が状況を判断し環境や作業状況の変化に柔軟に対応することができるが、長時間の

操作における疲労や操作に熟練を必要とするなどの操作性の問題がある。後者の計算機による自律移動型ロボットは、あらかじめ正しい作業情報や環境情報が与えられれば正確に動作しそれらの問題を改善できる。しかし、取り付けられているセンサーで検知できないような障害物がある場合や、作業情報に誤りがある場合、作業状況・環境が変化した場合などは、自律操作が計画されたものとは異なる動きをしたり作業を継続できなくなったりするなど、ロボットの動作に支障をきたしてしまう。

そこでロボットに搭載されている計算機による自律操作と人間の遠隔操作とを融合し、計算機と人間が協調して移動ロボット操作を行うことができる制御技術を開発し、計算機・人間協調型遠隔操作システムを構築する。

計算機・人間協調型遠隔操作システムの概要を Fig.3 に示す。通常は、計算機があらかじめ与えられた作業計画に基づき自律操作を行い、ロボットは自律移動する。

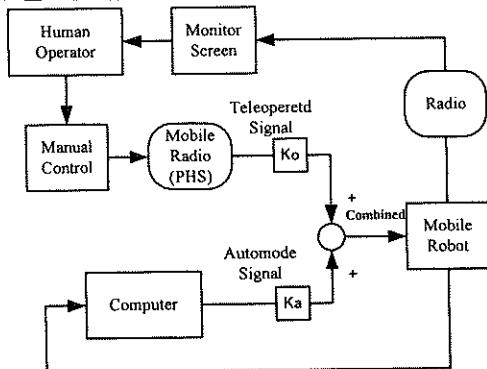


Fig.3 System configuration

人間（オペレータ）はロボットに搭載したカメラから無線により送られてくるモニタ画像を見て、ロボットの移動状況、移動環境などの監視を行う。自律操作で対応できない状況や環境の変化、計画の変更などが生じた場合、状況に応じてオペレータは操作端（ジョイスティック）を操作することにより計算機の操作に介入し修正操作を加える。オペレータの操作指令は移動体通信網（PHS）によりロボットに送られる。本システムでは、計算機の自律操作指令とオペレータの操作指令を速度指令として与え、これらの指令を操作分担調整ゲイン  $K_a, K_o$  を介して融合し、実際の操作指令としてロボットの速度制御系に送る。この指令に基づきロボットは制御されるため、ロボットは人間と計算機の両方の操作を反映した形での移動動作を行う。

この様子を詳しく研究するために Fig.4 に示す 2 輪小型ロボットで自律・遠隔操作を検討した。

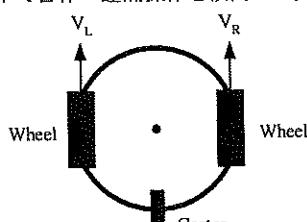


Fig.4 Two wheel robot

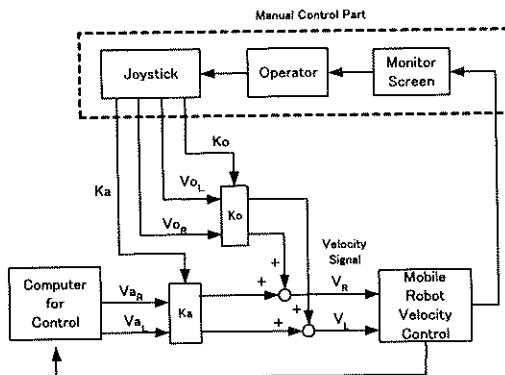


Fig.5 Cooperative control

Fig.5 が人間・計算機協調型のブロック線図である。まず、通常の場合は計算機が作業計画に基づき自律操作を行う。この場合、自律操作信号  $V_a$  は速度指令の形でロボットの速度制御系に送られロボットは自律移動を行う。

人間オペレータはモニタ画面を見ながら、環境の変化やロボットの移動状況を監視し、自律操作では対応できない状況の変化が生じたときなど、必要に応じて計算機操作に介入し、自律操作に制動をかけ、様子を見ながら状況を判断し、計算機の操作の修正を行う。そのために、オペレータの指令  $V_o$  は計算機から与えられる指令と同じ速度指令とし、それぞれ左右車輪の速度指令  $V_{oL}, V_{oR}$  を与える。本システムでは、計算機とオペレータから与えられるそれぞれの操作指令をゲイン  $K_a, K_o$  を介して加算する。実際にロボットに送られる速度指令は次式で表される。

$$V = K_o \cdot V_o + K_a \cdot V_a$$

ゲイン  $K_a, K_o$  は人間と計算機の操作の度合い（操作分担割合）を調整するゲインであり、Fig.6 に示すようにオペレータがジョイスティック操作時に同時に調整できるようになっている。オペレータはこのゲインを調整することにより、自律操作に制動をかけることや、自律操作と人間の操作を無段階でスムーズに切り替えることが可能となる。

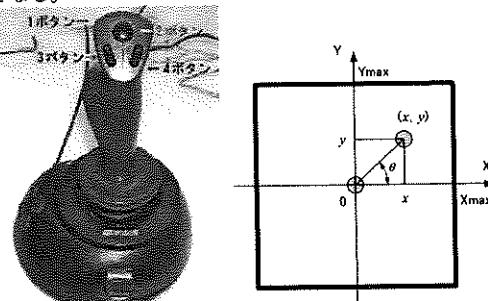


Fig.6 Joystick for teleoperation

### 3-4 環境認識機能

ロボットから見たエレベーターボタンの 3 次元位置計測とロボットが目的階に到着したかどうかの判断をする機能のためにニューラルネットワークを用いた文字認識を用いた。これらの機能を実現するためにまず問題となるのは本ロボットが採用しているレーザセンサを用いたナ

ビゲーションシステムによるロボットの位置と方向は、指定した位置と方向から数 cm および度数ずれる可能性があるため、ロボットのボディ中央部に設置したカメラからの画像は一定ではないということである。すなわち撮影画像は一般にはエレベータボタンが配置された壁の表面にある特徴パターンの射影変換パターンから構成される。そこでこの問題に対処するため開発者の技術シーズである不变パターン認識(視点に依存しないパターン認識)<sup>3)</sup>を行う多層競合ニューラルネットを応用した。

一方、より簡単、高速かつ安価な画像計測システムを実現するため、1台の CCD カメラと 1 枚の人工ランドマークを用いる手法を新しく開発することを試みた。このランドマークは約 100mm × 100mm の正方形の四隅に白と黒で構成される放射状の形状をもつ特徴パターンを配置したものである。これらの特徴パターンをニューラルネットに認識させ、その画像上の位置から壁とロボットの位置関係を計算するものである。この手法には次のような長所がある。すなわちまず従来、3 次元位置を計測する画像処理手法としてはステレオ法が広く知られているが、この手法では複数のカメラをロボットに取り付ける必要があるため、システムが複雑になる、ロボット全体が大きくなる、計算量が増えるなどの欠点があり、通常のエレベータの乗降を行う本ロボットにはあまり適していないと考えられる。また、人工ランドマークではなく、エレベータボタンそのものを認識させることも考えられるが、その場合、押すべきエレベータボタンに応じたパラメータ値の微調整が必要になる、エレベータボタンの数が多いとそれらが 1 つの画像に入らなくなる、などの困難が生じる。

警備ロボットがエレベータを使用するためのボタンは、エレベータ前の上階行きボタンと下階行きボタン、およびエレベータ内の行き先階ボタンである。これらのボタンのある壁にはあらかじめ人工ランドマークを貼り付けておく。この人工ランドマークは放射状の形状をした特徴パターン 4 つを 100mm × 100mm の正方形の四隅に配置したものである。

さて、警備ロボットがエレベータを用いて別の階に移動するときにはまず、エレベータの前に停止した後、次の一連の動作を処理する。まず、エレベータの前の人工ランドマークの前で停止し、上階行き（または下階行きボタン）の位置を計測する。ボタンを押してエレベータに乗り、目的階のボタンの位置を計測する。目的階のボタンを押すと目的階のボタンが点灯するのを確認する。目的階に着くとボタンが消灯するのでそれを確認する。エレベータを降りる。

ここでこの警備ロボットの主な情報処理（自律移動、ボタン押し動作など）はひとつのパソコンで行うが、処理すべき情報量が多い画像処理は別のパソコンが必要である。

### 3-5 全方位カメラと記録

巡回中におきたことを記録するために全方位カメラと記録系が付属している。全方位ミラーからの画像は、CCD カメラにより動画として撮影され NTSC 形式のビデオ信号として出力される。NTSC 信号は MPEG2 エンコーダにより 720 × 480 の画素解像度を持つ毎秒 30 フレームのフルカラー動画像の MPEG2 ストリームに変換される。その後、キャプチャ制御システムを経てハードディスクドライブに記録される。

画像は 30 分毎に分割されたファイルとしてハードディスクドライブに記録される。コントロールプログラムはハードディスクの残容量を常時監視し残容量が予め設定された容量より減少した場合は最も古い記録を消去することにより新たな画像の記録場所を確保する。このように制御することによりサブシステムに記録される画像は、ハードディスクの容量により決定される時間長さの最新の周囲画像データとなる。

MPEG2 ストリームに変換することにより元の画像は高度にデータ圧縮され、約 3Mbit/sec となる。すなわち、1 時間当たりの格納データ容量は 1.35Gbyte であり、24 時間あたりで 32.4Gbyte となる。

したがって 40GB のハードディスクドライブにより 24 時間の画像格納が可能となる。

### 4.まとめ

以上述べたようにロボット製作は多くの要素技術の集成であり、ある目標を満足するロボットに必要な技術を開発しながら進めなくてはならない。開発期間が短かったので改善しなくてはならない問題も存在する。とくに将来の問題として環境認識のすべてを視覚センサーで行うことのできる認識技術の高速化や複数の位置センサー・ジャイロ等から正確に移動やボタン押しができるロボットの開発が重要である。またリンク機構の制御も視覚センサーや他の情報からフィードバック動作を含む高度な制御の応用が必要である。

完成されたロボットの概要は以下のとおりである。

主な仕様：

身長：約 185cm、直径：65cm、移動：4 輪走行・最高 3km/h

主な機能：自律警備巡回機能、非常時の警備センター通報機能、遠隔操作・協調制御機能、エレベータ自律乗降機能、初期消火機能、バッテリー自動交換機能等。

- ・ 通常の自立モード巡回とセンターからの遠隔操作モードが可能。
- ・ 双腕による軽作業が可能。
- ・ 消火器を搭載し、遠隔操作での初期消火が可能。
- ・ 自動電池交換ステーションとの併用で長時間連続使用が可能。
- ・ エレベータボタンの認識と押し操作を行い、エレベータの自律乗降が可能。

### References

- 1) Report on 2001 Project of NEDO, (2002)
- 2) M. Soeda, T. Furuya: Adaptive master-slave arm control with computer auxiliary operation by RBFN, Proceedings of the 7th IEEE International Conference on MMAR, pp.437-442 (2001)
- 3) T. Nishida, S. Kurogi: Journals of Japanese Neural Network Society, Vol.7, No. 4, pp. 106-11 (2000)
- 4) S. Kurogi et al: A Method to Measure 3D Positions of Elevator Buttons from a Mobile Robot Using a 2D Artificial Landmark, a Laser Navigation System and a Competitive Neural Net, Proc. of ICONIP2002, pp. 2122-2126, (2002).

## 環境を守るために

自分でできること、仲間でできること、公でしかできないこと<sup>1</sup>

森 祐 行<sup>2</sup>

For Environmental Protection  
- Personal Actions, Group Activities, Public Acts -

Sukeyuki MORI

Professor Emeritus, Kyushu University

Let's consider what we should take action personally, in groups and with legal proceedings for protection of the environment in our country.

### 1. はじめに

今を去ること 47 年、昭和 33 年(1958 年)、わが国の映画史上最高の観客動員数を記録した年、北九州の一角、東洋最大の八幡製鉄所を舞台に、映画「この天の虹」が制作された。監督は巨匠・木下恵介、主演は松竹の看板スター・久我美子、ストーリーは製鉄所に勤める若い男女の恋愛関係を、木下恵介監督得意のホームドラマに仕立てたものであるが、何といっても圧巻なのは、林立する煙突からもうもうと立ち上る七色の煙である。その煙は、天に懸かる「七色の虹」の如く、経済成長の活力の象徴であった<sup>①</sup>。

黒船によって開国を迫られたわが国は、西欧列強の植民地にならないため、中央集権国家をつくり、富国強兵の道を推し進めた。その行き着いた先が太平洋戦争であり、敗戦であった。敗戦後、人々は経済復興に情熱を傾けた。廃墟の中から経済復興は見事に果たされた。そして今度は、経済戦争へと突入した<sup>②</sup>。映画「この天の虹」に描かれた情景は将に、経済戦争の輝かしい勝利への道を示しているように見える。

しかし、経済戦争の大いなる成果の反面、自然環境の破壊も生じてきた。「この天の虹」の映画から 10 年後、昭和 43 年(1968 年)、大気汚染防止法が制定され、それ以後、多くの環境に関する法令が制定された<sup>③</sup>。環境に関する人々の意識も変わってきた。今ここで、環境の何を、どの範囲で、どのようにして守ることができるのか、環境保護運動に関する考え方を整理してみる。

1.平成 17 年 11 月 17 日 本会第 115 回例会において発表

2 九州大学名誉教授

平成 17 年 8 月 30 日受理

### 2. 環境の何を守るのか

環境保護運動と一口に言っても漠然としているので、環境の“何”を守ろうとしているのか考える時に、図 1 のように表現すれば分り易い。図には、下から、固体、液体、気体、つまり、土と水と空気を示している。固体(土)は常に一番下にある。その上にある液体(水)は固体(土)に支えられて存在している。一番上にある気体(空気)は固体(土)や液体(水)とは独立して存在している。図で各々の長方形の横の長さが違うのは各々の移動範囲が異なることを表現している。つまり、固体(土)より液体(水)が、液体(水)よりも気体(空気)の方が広い範囲に拡がることを示している。

具体的な例として筑紫野市の産業廃棄物処分場問題<sup>④</sup>に当てはめると、処分場内に埋め立てられている固形廃棄物や処分場内の土壤が図の固体(土)に対応する。図の液体(水)は処分場に降った雨が体積物を浸透して出てくる地下水に対応する。気体は処分場で発生している硫化水素ガスに対応する。

一般的な環境汚染の例として、固体(土)は土壤汚染問題、液体(水)は水質汚染問題、気体(空気)は大気汚染問題として現れる。汚染の拡がりも土壤は限定的であるが、気体は酸性雨のように広域的となる。

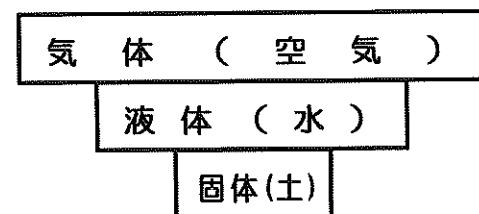


図1. 環境の何を守るのか

### 3. どの範囲の環境を守るのか

環境保護運動において“どの範囲”の環境を守ろうとするのか考える時に、図2のように表現すれば分り易い。図には3個の楕円が描かれているが、最中央の円は個人の力だけで出来る環境運動の範囲を表しており、個人の自宅の庭までの範囲に關係する環境問題を示している。次の2番目の円は地域に關係する環境問題であり、最外側の円で表している広域は広い地域に關係する環境問題を示している。地域と広域の間に明確な區別はないが、広域では地球規模での環境問題までも含むことになる。

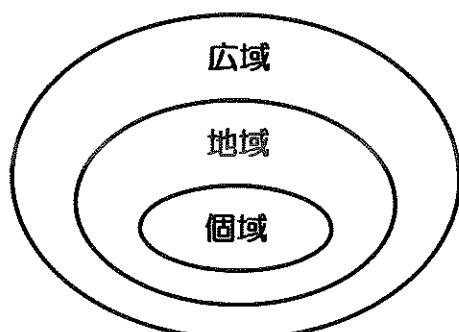


図2. のど範囲の環境を守るのか

### 4. どのようにして環境を守るのか

環境を守る方法は図3の三角形で表現すれば分りやすい。図の最下段の「自分」は自分一人でできることを示す。中段の「仲間」は仲間が集まって力を合わせてできることを、最上段の「公」は法律に基づいた行政の力を使わなければできないことを示している。図において「自分」の上に「仲間」を、その上に「公」を位置づけているのは、それぞれの影響力の順位を示している。つまり、自分一人（個人）の影響力より仲間（集団）の影響力が強く、公（国家）の影響力がそれより強いことを示す。しかし、影響を及ぼす活動の種類と数は公（国家）が最も少なく自分（個人）が最も多いことを示す。

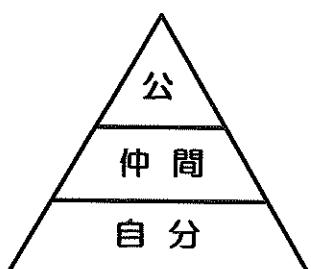


図3. どのようにして環境を守るのか

### 5. 自分でできること

環境を守るために自分一人でできることの一例として、環境フォーラム<sup>3</sup>で「身近な環境改善は“自他共の喜び”」と題して報告された太宰府市の主婦の生活を紹介する。福岡市の大渴水をきっかけに環境への意識を強く持ったM. Hさん。食器洗いや風呂での節水、電気、ガスの節約は勿論、牛乳パックのリサイクル、生ごみを堆肥にした菜園など、身近な場所から環境改善を重ねた。最近は福岡県環境部環境政策課が所管し、福岡県地球温暖化防止活動推進センターが発行する「福岡県環境家計簿」<sup>4</sup>を付け始めた。その活動によって、地球温暖化の原因となる炭酸ガスの発生を抑制し、家計も助ける「エコライフ」に満足し、隣近所に野菜を分けることによって友好が深まり、環境改善の実践が“自他共の喜び”となっている。

### 6. 仲間でできること

環境を守るために仲間でできる活動として、環境フォーラム<sup>5</sup>における太宰府市の男性T. Oさんの報告「数々の失敗越え花いっぱいの遊歩道へ」を紹介する。太宰府市のシルバーハウスセンターの仲間で結成された「常楽友の会」で2001年5月3日に「人の心を和ませ、友好の輪を広げられる地域貢献を」と語り合い、最初に手がけた活動は太宰府市役所裏の遊歩道の整備で、春の桜と並ぶ秋のコスモスを、と活動を始めたが、雑草の刈り取り、土の掘り起こし、散水など、問題が続出し、難行苦行の連続であった。しかし、必死の努力が実を結び、今では「コスモスロード」と呼ばれまでになった。

行政の働きかけがきっかけではあるが、仲間でできる活動事例が「山口川の美化運動を通して得たもの」と題して環境フォーラム<sup>6</sup>で筑紫野市の女性M. Iさんから次のように報告された。平成14年8月、「山口自然を守る会」に集まった48人は「筑紫野市地域づくり助成事業」を活用する形で川の水質調査や廃油石鹼づくりを始めた。その活動が「広報つくしの」で紹介されたことから、小学校のゲストティーチャーとして招かれるなど、地域の人々の環境に対する意識の高まりに貢献している。

仲間で始めた活動に公的な活動資金が加わることで、活動がより大きく広がっている例として、環境フォーラム<sup>7</sup>では「古紙回収から世界の環境に目を開く」と題する報告がなされた。筑紫野市の男性Y. Hさんが古紙回収のボランティアを始めて四半世紀。約10年前、古紙1トンのリサイクルが太さ14cm、高さ8mの樹木を20本も守るという話を聞いたことから本格的活動に。市からの奨励金の交付も始まり、収益金は福祉施設や難民救済への寄付、災害見舞金などに生かされている。

## 7. 公でしかできないこと

環境フォーラム<sup>3)</sup>で「母の声からダイオキシン対策費が百倍に」と題して報告された一人の母親の行動を紹介する。平成9年12月、ある新聞記事を目にした筑紫野市の母親、K. Yさんは強いショックを受けた。母体に蓄積されたダイオキシンが母乳を通して許容量の14倍もの濃度で乳児に摂取されるという内容。翌年1月、仲間が10人集まり、「ダイオキシンから生命を守る母の会」を結成した。専門の先生を直接訪問し、先生のお話を参考にして学習会を開催し、必要な調査を独自で行う一方、署名活動や国會議員を通じた政府への陳情を行った。国会では31万人の署名を取り上げた国会質問が行われ、ダイオキシン対策費が当初の100倍に増額され、1000億円の予算が計上されることになった。ここに示された活動事例は、立法機関である議会と「法」に従って力を發揮する行政の力によってしか環境を守ることができないことを示している。

## 8. 環境法令の成立過程

政府は国会で制定した法令に従って行政権を行使することになる。では、環境を守るためにどのような法令が制定されたのか。主要な環境法令の成立過程を表1に示す。表において、法令が制定された年に注目すると、大気汚染防止法の昭和43年から自然環境保全法の昭和47年までの4年間の間に8本の法令が制定されている。これらの法令の制定に関わった国会審議は「公害国会」と呼ぶことができるであろう。これら8本の名称を眺めると、大気汚染防止法、騒音規制法、廃棄物処理法、海洋汚染防止法、水質汚濁防止法、農地土壤汚染防止法、悪臭防止法と気体、液体、固体に関する個別の公害防止法が規定され、そのまとめとして自然環境保全法が制定されている。

自然環境保全法の制定(1972年)から19年後の平成3年(1991年)、リサイクル法(資源の有効な利用の促進に関する法律)が制定され、平成14年の自然再生推進法に至るまで多くの環境法令が制定された。この間の国会審議は「環境国会」と呼ぶことができる。環境国会のまとめとして自然再生推進法が制定されたが、公害国会が自然環境を「保全」するのに対し、環境国会では「再生」する、と一步進んだ概念になっている。

表1. 環境法令の成立過程

(環境省ホームページ<sup>3)</sup>より抜粋)

1. 地盤沈下: 工業用水法  
(地下水資源保全・地盤沈下防止)

昭和31年6月11日法律第146号

【最終改正】平成12年5月31日法律第91号

### 2. 大気保全: 大気汚染防止法

昭和43年6月10日法律第97号

【最終改正】平成15年6月18日法律第92号

### 3. 騒音: 騒音規正法

昭和43年6月10日法律第98号

【最終改正】平成15年6月18日法律第92号

### 4. 廃棄物: 廃棄物の処理及び清掃に関する法律

昭和45年12月25日法律第137号

【最終改正】平成15年6月18日法律第93号

### 5. 水質保全: 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律

昭和45年12月25日法律第136号

【最終改正】平成15年7月16日法律第119号

### 6. 水質保全: 水質汚濁防止法

昭和45年12月25日法律第138号

【最終改正】平成15年6月18日法律第92号

### 7. 土壤: 農用地の土壤の汚染防止等に関する法律

昭和45年12月25日法律第139号

【最終改正】平成11年12月22日法律第160号

### 8. 悪臭: 悪臭防止法

昭和46年6月1日法律第91号

【最終改正】平成12年5月17日法律第65号

### 9. 基本: 自然環境保全法

昭和47年6月22日法律第85号

【最終改正】平成14年7月12日法律第88号

### 10. 振動: 振動規正法

昭和51年6月10日法律第64号

【最終改正】平成15年6月18日法律第92号

### 11. リサイクル: 資源の有効な利用の促進に関する法律

平成3年4月26日法律第48号

【最終改正】平成14年2月8日法律第1号

### 12. 基本: 環境基本法

平成5年11月19日法律第91号

【最終改正】平成14年7月12日法律第88号

### 13. 基本: 環境影響評価法

平成9年6月13日法律第81号

【最終改正】平成12年5月19日法律第73号

### 14. 基本: 循環型社会形成推進基本法

平成12年6月2日法律第110号

### 15. 土壤: 土壤汚染対策法

平成14年5月29日法律第53号

### 16. 基本: 自然再生推進法

平成14年12月11日法律第148号

## 9. リサイクル関係法令 の成立過程と枠組み

表2「リサイクル関係法令の成立過程」に示すように、平成3年(1991年)から平成14年(1992年)までの間に、包装容器、家電製品、建設資材、食品そして自動車と各製品のリサイクルに関する法令が相次いで制定された。表2の中の括弧書きは法令の略称である。

リサイクル関係法令の枠組みを図4に示す。図では法令の略称を用いている。図において、まず注目すべきことは「排出者責任」である。従来は廃棄物を受け取った処理業者が処理の責任を持っていたのであるが、今後は廃棄物を出した側が最後まで責任を持つことを意味している。次いで注目すべきことは「拡大生産者責任」である。製品の安全性等に関して製品を生産した側の責任が大きくなっている。最後に注目すべきことは「グリーン購入法」である。現在の日本の社会におけるリサイクル品は生産原価が高くなり商品市場における競争力が低い。そこで、各製品のリサイクルを促進するために、国等の公共団体がリサイクル品を積極的に購入することを勧めているのがこの法令である。

表2. リサイクル関係法令の成立過程

- (環境省ホームページ<sup>3)</sup>より抜粋)
1. 廃棄物：廃棄物の処理及び清掃に関する法律  
(廃棄物処理法) (廃掃法)  
昭和45年12月25日法律第137号  
【最終改正】平成15年6月18日法律第93号
  2. リサイクル：資源の有効な利用の促進に関する法律  
(資源有効利用促進法)  
平成3年4月26日法律第48号  
【最終改正】平成14年2月8日法律第1号
  3. 基本：環境基本法  
平成5年11月19日法律第91号  
【最終改正】平成14年7月12日法律第88号
  4. リサイクル：容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律  
(容器包装リサイクル法) (容リ法)  
平成7年6月16日法律第112号  
【最終改正】平成15年6月18日法律第93号
  5. リサイクル：特定家庭用機器再商品化法  
(家電リサイクル法)  
平成10年6月5日法律第97号  
【最終改正】平成15年6月18日法律第93号
  6. リサイクル：国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律

## (グリーン購入法)

平成12年5月31日法律第100号

【最終改正】平成15年7月16日法律第119号

## 7. リサイクル：建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律 (建設資材リサイクル法)

平成12年5月31日法律第104号

【最終改正】平成15年6月18日法律第96号

## 8. 基本：循環型社会形成推進基本法

平成12年6月2日法律第110号

## 9. リサイクル：食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律 (食品リサイクル法)

平成12年6月7日法律第116号

【最終改正】平成15年6月18日法律第93号

## 10. リサイクル：使用済自動車の再資源化等に関する法律 (自動車リサイクル法)

平成14年7月12日法律第87号

【最終改正】平成15年6月18日法律第93号

## 10. さ い ご に

「環境の何」を「どの範囲」で「どのようにして」守るのかを整理してみた。「環境の何」では環境を固体(土)、液体(水)、気体(空気)に分類し、「どの範囲」では環境を個域、地域、広域に分けた。「どのようにして」では自分一人だけでできること、仲間でできること、公でしかできないことに分け、それぞれの事例を紹介した。

公の力は法令によって規定されるので環境法令の成立過程とリサイクル関係法令の枠組みを示した。法令は国会で制定されるが、環境に関する法令は国民の多くの犠牲が明らかになった後に制定されている。昭和40年代の公害国会、平成の環境国会を顧みる時、その感を深くする。頗る予防法学という言葉が一般化されんことを。

## References

- 1) インターネット検索システム「Google」にて検索
- 2) 森祐行：日本における選炭技術の変遷とその後の開、資源処理技術、45巻、2号、74-86頁、1998年6月
- 3) 環境省ホームページhttp://www.env.go.jp/hourei/
- 4) 朝日新聞(福岡版)2005年6月25日(朝刊)31面：「県、産業の許可取り消し・筑紫野市民ら評議の声」
- 5) 環境フォーラム「環境を守るために」：筑紫野市文化会館にて、2004年5月2日、たんぽぽ21(福岡県太宰府市三条2-31-10)主催
- 6) 福岡県環境家計簿(県民編)：福岡県地球温暖化防止活動推進センター(福岡市東区松香台1-10-1)