

ゼロエミッショ自動車への挑戦 *

八重樫 武久 **

A challenge towards the zero emission vehicle

Takehisa YAEGASHI

1. まえがき

地球温暖化の原因の一つとして CO₂ の増加が問われている。世界中のエネルギーの約半分を先進諸国が消費しており、そのエネルギーの大半は化石燃料の燃焼から生み出されている。また化石燃料をエネルギー源とする輸送機関の CO₂ 排出量がエネルギー消費全体の約 24% を占めており、より燃料消費の少ない自動車への期待が急速に高まってきている。自動車としての「環境保全」の観点からは、この CO₂ の削減を中心とした地球環境対策に加えて排出ガスによる大気汚染を防止する都市環境対策、資源の有効利用、この三つが最重要課題であり、電気自動車や燃料電池自動車など環境先進技術車が注目を集めている。しかしくら CO₂ 排出が少なく、クリーンでも走行性能や航続距離、燃料補給時間など車の基本性能の上で今の車に劣り、我慢を強いいるようでは、またその価格が今の車を大幅に上回るようでは、普及はおぼつかない。本稿では、この普及しうる環境先進技術車の観点から究極の目標である CO₂ 排出を含め、ゼロエミッション車への一歩として自動車を取り巻く環境問題の現状と環境先進技術車のコア技術としてクローズアップされているハイブリッド技術の現状と将来について述べる。

2. 自動車普及の条件

環境改善の効果を高めるには今のクルマの代替として、大量に普及しうるポテンシャルを有していることが必要条件である。そこで自動車普及の条件を、車の創成期における大量普及への過程から考察してみた。100年前、米国には約10万台の自動車が走っており、蒸気自動車、電

気

自動車、ガソリン自動車がはげしく競合していた。いずれも取り扱いに熟練を要する、燃料供給インフラが未成熟、車両価格が非常に高い等の課題をかかえており一般大衆の車というにはほど遠いものであった。やがて技術の進歩や燃料インフラの整備の進展等によりガソリン自動車がかかえていた課題はいずれも解決された。これとともに T型フォードに代表されるように、自動車製造の自動化とそれによる大量生産が車両の価格を下げ、現在の形態である内燃機関自動車がその主流の座を占めるようになった。この過去の歴史をもとに車の普及条件をまとめると図1のように整理することができる。

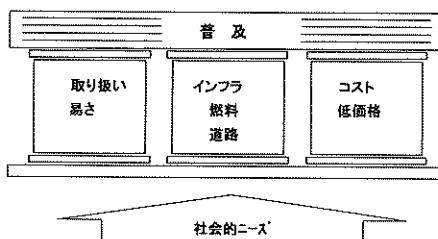


図1 自動車の普及条件

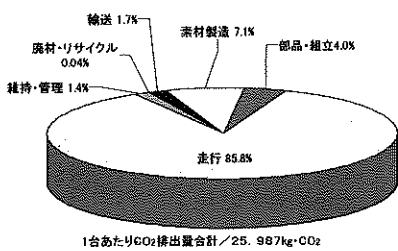
3. 自動車と環境問題

LCA（ライフサイクルアセスメント）は製品のライフサイクルでの影響を評価する手法で、環境負荷低減には製品のライフサイクル全体での低減に取り組むことが重要である。図2に自動車のライフサイクルでの CO₂ 排出量調査結果の一例を示す。

*平成13年11月1日 本会第107回例会において発表

**トヨタ自動車株式会社 パワートレーン企画室

平成13年9月14日受理

図2 自動車ライフサイクルでのCO₂排出量

自動車のライフサイクルでのエネルギー消費のうち 86% が使用中のエネルギー消費であり、この低減、すなわち燃費低減に取り組むことが効果的である。この使用過程での低減を含め、ライフサイクル全体での低減には製品開発の最上流である企画、設計段階でこれに配慮した開発を進める必要がある。

図3は01年6月に発売した新型ハイブリッド車「エスティマハイブリッド車」のLCA解析結果である。「プリウス」「エスティマハイブリッド」などハイブリッド車は、高圧バッテリーやモーターなど従来の車にはない電気駆動部品を搭載しており、製造段階での環境負荷物質の排出量、エネルギーの使用量が多いものの、走行段階での排出量や使用量が少ないため、ライフサイクル全体ではガソリン車を大きく下回り、クリーンな特性を持っている。

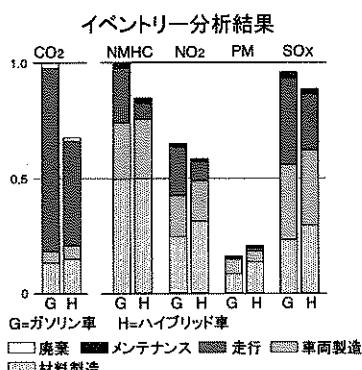


図3 エスティマHVライフサイクルエミッション

さらに将来の環境対応車を考えると、使用過程でのCO₂排出量とエネルギー消費量の低減として、走行中の燃料消費

効率だけではなく、燃料の採掘、精油、輸送過程から走行中のCO₂排出、エネルギー効率までのトータルとしてそのポテンシャルを評価することが重要である。

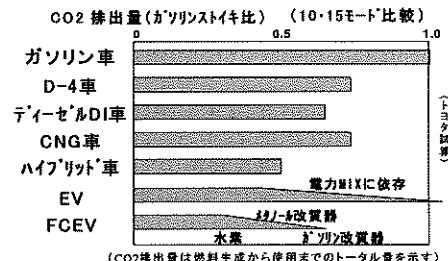
図4に動力源別のCO₂排出量比較を示す。図4 動力源別のCO₂排出量比較

図4に示すように走行中のCO₂排出量がゼロであり理想的な環境対応車と考えられている電気自動車がその発電過程でのCO₂排出と充電の効率を考慮に入れると、ガソリンハイブリッド車と同等もしくは石炭火力発電の比率が大きい地域では劣ってしまうとの結果であった。またまえがきに述べたように、いくらCO₂排出が少なく、クリーンで走行性能や航続距離、燃料補給時間など車の基本性能で今の車に劣り、またその価格が今の車を大幅に上回るようでは、その普及はおぼつかない。この観点から環境対応ポテンシャルが高く、従来車と同等以上の走行性能を持ち、かつ新たなインフラ整備の不要なハイブリッド車(HV)が有望と考えられている。次にハイブリッドパワートレンの特徴と量産型ハイブリッドシステムについて解説する。

4. HVシステムの概要

HVシステムとは、“作動原理の異なる2種以上の原動機を有するか、あるいはそれらを組み合わせて作動させるシステム”と定義できる。原動機としては、内燃機関と、エネルギー回生を利用できる原動機、すなわち電気モータ、油圧モータ、機械的フライホイールなどの組み合わせによるシステムが検討されてきた。近年、電気自動車の開発を背景として自動車用電気モータ、その制御技術、バッテリ連携の技術が飛躍的に進展し内燃機関と電気モータを使ったHVシステムが主流を占めるに至った。

4. 1 HVシステムの分類

電気モータを使ったHVシステムは、図5に示すように内燃機関からの動力を一旦すべて電気に変換し、電気モータで車両を駆動するシリーズHVと、内燃機関の動力 and/or 電気モータの動力で車両を駆動するパラレルHVに大別できる。

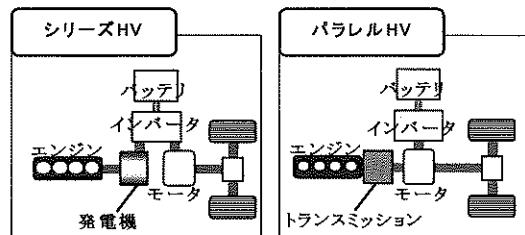


図5 ハイブリッドシステムの分類

シリーズHVは、バッテリ電力を主体に、内燃機関で駆動される発電機で発電した電力を加え電気モータで走行するもので、パラレルHVは主として内燃機関の動力により走行し、内燃機関の効率の悪い運転域を電気手段で補い、燃費を向上させようとするものであり、従来車の基本走行性能を確保できることから、将来ハイブリッド車の主流と考えられている。パラレル方式のなかにはエンジン動力を分けて（スプリット）機械的なエネルギーをそのまま電気に変換せずに output すると同時に一部は発電機により電気エネルギーに変換しモータで機械動力に変換するシリーズ的な動作をする方式（スプリット方式）もある。後述するトヨタのプリウスに採用されているのはこのスプリット方式である。

HVパワートレーンの基本的な特徴を下記に示す。

- ①複数の動力源を持つことから、エネルギー効率とクリーン排気の両立を図る使い分けができる。
- ②複数の動力源を持つことから、単一の動力源を持つ場合に比べて個々の動力源は相対的に小さい出力を分担すればよい。（エンジンの出力を抑えられるので実使用での熱効率を向上できる。）
- ③エネルギー蓄積体としての電池を持つことから車両の運動エネルギーを回収・再利用できる。
- ④エネルギー蓄積体としての電池を持つことから、エネルギー効率上有利なエンジン動作点を選べる機会が増える。

図6の概念図に示すように、ハイブリッド車の特徴は出し入れ可能なエネルギー貯蔵源（電池）をもち、これをエネルギーバッファとして車の走行駆動力と利用することにより、これまでの車では実現できなかった時間最適効率運転の概念を取り込んだことがある。次にハイブリッドによる燃費向上について概説する。

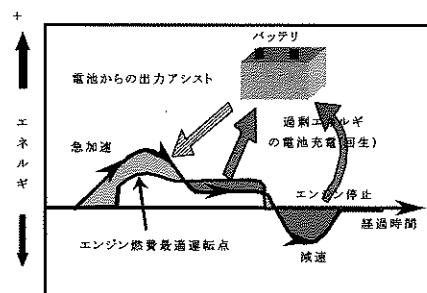


図6 ハイブリッド燃費向上の概念図

4-2. ハイブリッド技術による燃費効率向上

ガソリンエンジンの最高効率は33%程度であり、また30%以上の高い効率を示す領域は限られている。実際の走行では燃料エネルギーの約13%が走行に使われ程度で、残り87%は熱として大気に放散される（日本10・15モード走行）。

図7は都市内走行時のエンジン運転点とその時の熱効率を従来の車とプリウスハイブリッドで比較したものである。

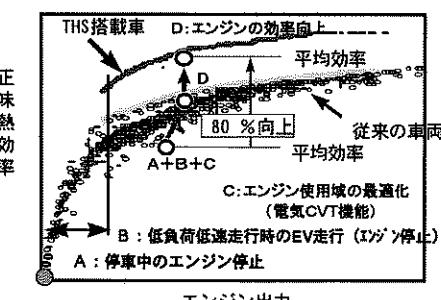


図7 エンジン使用域の最適化

ハイブリッドによる燃費向上は停車中のエンジン停止を含め効率の低い低速走行時でエンジンを停止させ電池のエネルギーによりモータで走行させる（A、B）、電気CVT

機能によりエンジン使用域を最適化する（C）、急加速では電池エネルギーを使うことを前提にエンジンの最高回転数を抑え損失の低減を図る、高膨張比エンジンなどこのハイブリッド車の使用域に特化した高効率エンジンを採用する（D）などにより走行効率の向上を果たしている。減速時のエネルギー回生もハイブリッドならではの効率向上手段である。このエネルギー回生により電池に貯えられたエネルギーは車両停止時、モータ走行、急加速時のパワーアシストとして再利用される。

図8に10・15モード、欧州ECEモード及び米国Cityモードでの効率向上の内訳を示す。

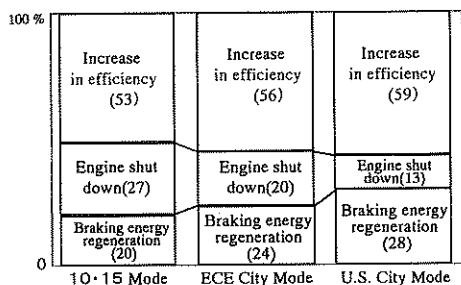


図8 燃費効率向上の内訳

日本の大都市のように信号停止や渋滞が多い場合には、10・15モードのように停車中のエンジン停止、低車速のモータ走行による効率向上の寄与率が大きくなる。ECEモードや米国Cityモードのように都市内で信号停止が多くかつ高速で走るモードでは減速時のエネルギー回生の寄与が大きく、一方停車の時間頻度は小さくなるためこの部分の寄与は小さくなる。これまで車を走らせるためのエネルギー効率について述べてきたが、実際の使用を考えると走行に使用するエネルギー以外に、ライト、ワイパー、パワーステアリング、デフロスター、エアコン、オーデオなど多くのエネルギーを消費しており、この全てをエンジンで発生するエネルギーでまかなっている。冷間時には冷却水、潤滑油、エンジン本体を暖め、車室内を暖めるのも燃料のエネルギーである。ハイブリッド車では、この車の使用で消費される全体のエネルギーの低減にも、エンジン停止中にはその前の減速で電池に回収してエネルギーで電動機を作動させるなど、前述のエネルギーバッファを生かした時間最適運転の考え方方が適用できる。

4-3. 量産型HVシステム

1997年末に発売されたプリウスを皮切りに、ホンダ・シティ、日産ティーノなどハイブリッド車が発売され、実用ハイブリッド車開発競争の幕を開けた。2000年5月には大幅に燃費、走行性能を向上させた新型プリウスが発売され、日本に加え、米国、欧州への導入拡大などグローバルマーケットへの展開が始まった。2001年6月にトヨタエスティマハイブリッド、8月にはトヨタクラウンマイルドハイブリッドが相次いで発売され、環境対応車としてのハイブリッド車への期待、認識度の高まりとともに、本格普及への拡大競争期に入ってきており、ここでは代表的な量産ハイブリッド車の特徴について解説する。

(1) プリウスハイブリッド (THS)

1997年に発売されたトヨタプリウスのHVパワートレーントヨタハイブリッドシステム (THS: Toyota Hybrid System) を紹介する。この方式はエンジン動力を動力分割機構により発電機と車軸に伝達するトルクに分割するスプリット方式である。

図9にTHSの概念図を示す。

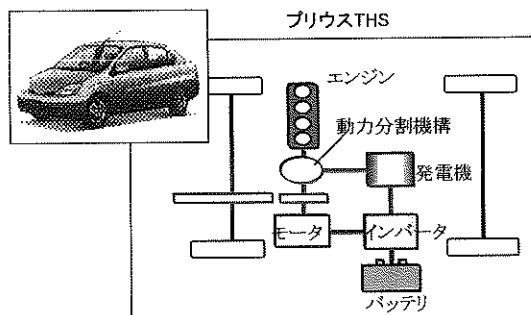


図9 プリウスTHS

エンジンとモーターの駆動力を新開発の動力分割機構を介して制御することにより、エンジンの最大効率を引き出すとともに、発電機とモーターで構成される電気式無段変速機能（電気式CVT）とモーターのパワーアシストによって、なめらかでレスポンスの良い加減速特性を実現している。特に、発進時は低速トルクの高いモーターの特性を活用することでスムーズな加速を実現し、アクセル全開の加速時は、エンジンの出力にバッテリーからの電力をモーターの

駆動力に加え、高い加速性能を確保している。この構成により、2000年に発売のプリウスでは、日本の10-15モード燃費で29km/lと従来車の倍の燃費と、超一低排出ガス車の認定を得ている。またアメリカ向けとしては2003年より加州で適用される電気自動車レベルの排気クリーン度、即ちほぼゼロエミッションレベルを求めるS-ULEVクラスを達成している。

(2) エスティマハイブリッド (THS-C)

本年6月、トヨタは7人乗りミニバン車エスティマにHVを搭載したエスティマハイブリッドを新発売した。車両重量が重く、最大乗員数の大きいミニバンの燃料消費は大きく、従来車の倍の燃費値10-15モードで18km/lを達成、走行距離あたりのCO₂排出量、即ち燃料消費量を大きく削減することができ、市場から高い評価を得ている。このエスティマHV車もプリウス同様、排気のクリーン度も超一低排出ガス車のレベルを達成している。

図10にTHS-Cシステムの概念図を示す。

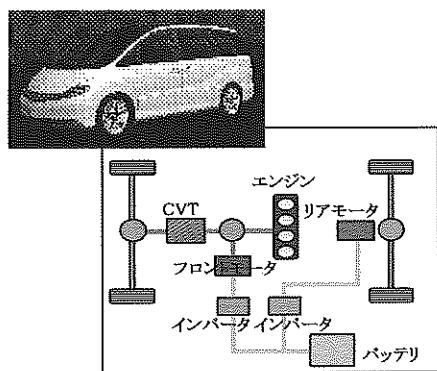


図10 エスティマハイブリッド (THS-C)

このエスティマHVではプリウスTHSの電気CVT方式とは異なり機械式CVTを採用、このハイブリッドもプリウス同様、高効率アトキンソンサイクルエンジンを採用、またエンジン効率の低い低車速ではエンジンを停止してモータで走行させるなど、エンジン燃費最適運転を行っている。さらに、このTHS-Cでは、リアに電気駆動のモータを搭載、これよりプロペラシャフトのない世界初の電気駆動式4WDを実現している。この電気式4WDにより、エネルギー回生効率を高め、燃費向上を果たすとともに新開発の電子

制御ブレーキ(ECB)との組み合わせでハイブリッドVSC(Vehicle Stability Control)を実現、雪道などの走行安定性向上を果たしている。

(3) クラウンマイルドHV (THS-M)

本年8月、エスティマHVに加え、トヨタはクラウンにハイブリッドシステムを搭載、発売を開始した。図11にシステム概念図を示す。

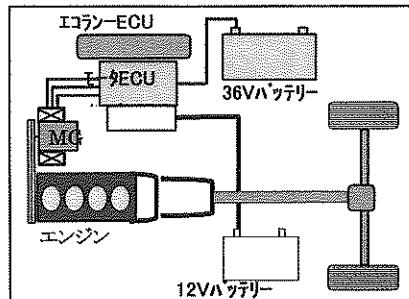


図11 クラウンマイルドハイブリッド (THS-M)

前述のプリウスTHS、エスティマTHS-Cではエンジン効率の低い、低中車速や減速時にはエンジンの運転を停止し、電気モータで走らせるなどハイブリッド化のフル機能を有するタイプであったが、このクラウンではマイルドとの名称にあるように、ハイブリッド化の基本機能である、停車中のエンジン停止に重点を置き、主に都市内の渋滞走行機会の多い、官公庁車や大企業の送迎車、タクシーでの燃費低減効果を狙い、走行中のエンジン停止機能は採用せず、電池、モータ出力を抑えたエンジンベルト駆動式のモーター/発電機を採用、従来トランスミッションを使用する汎用性の高い低成本なシステムとした。停車中のエンジン停止時にもハイブリッド用のモーター/発電機でエアコン駆動を行い冷房能力の低下を防いでいる。

これまで述べたトヨタの三種類のHV車以外にも、日産ティーノは機械式CVTを採用したフルハイブリッド方式を、またホンダインサイトは走行中のエンジン停止によるフル回生は行わず、車両軽量化との組み合わせで高い燃費向上率を目指すマイルドハイブリッドなど多様なハイブリッド車が市販されている。

4. 燃料電池ハイブリッド車 (FCHV)

燃料電池車は水素を燃料とし空気中の酸素と反応させ電気と水に変換する燃料電池スタックにより発電させその電気で走行する電気自動車である。メタノール、天然ガス、ガソリンを車載の改質装置で水素に変換し燃料電池スタックに供給する改質型燃料電池自動車と直接燃料として水素を供給する水素燃料電池自動車がある。この直接水素を燃料とする燃料電池自動車では走行中には水のみを排出するまさにゼロエミッション車である。供給する水素の製造段階でのエネルギーを作るための CO₂ を考慮しても最もゼロエミッションに近い車である。FCEV でも走行負荷や運転状態によって効率は変化する。それ故ハイブリッドシステムを取り入れることにより FCEV の効率を更に向上させることができる。また減速エネルギー回生も走行効率向上の手段であり、走行効率を高め、自動車の様々な走行条件での実用性を高めていくにはハイブリッド化 (FCHV) が不可欠と考えている。FCHV の普及には前述の自動車普及の条件を満たしていくことが必要条件であり、燃料インフラの整備、基本性能の確保、低コスト化などの課題を克服していくことが必要で、その普及は 2010 年以降との見方が強まっている。この FCHV 普及にも高効率、高性能、低コストな HV 基盤技術の活用が前提となることは論を待たないであろう。

5. あとがき

環境問題への対応を軸に、クルマ社会のパラダイムシフトが進行しようとしている。しかしそれの車は、高い環境性能対応能力を有することは当然のこととしても、過去の自動車普及の歴史から学ぶまでもなく、使い勝手、走行性能、給油の利便性で従来の車と同等か上回り、高いバリューフォーマンスを持つ商品が求められていくことは間違いないであろう。ハイブリッド車は内燃機関自動車から EV や FCHV への移行のつなぎであるとの声もあるが、このバリューフォーマンスの観点からみて、私は将来にわたってパワートレンとしてのコアテクノロジーの座を占めていくものと考えている。またこのハイブリッド技術は将来的には内燃機関ハイブリッドと燃料電池ハイブリッドへと分化していくものと予想している。図 12 は本年 6 月に

開催されたトヨタ環境フォーラムで発表した究極のエコカーへのアプローチシナリオである。

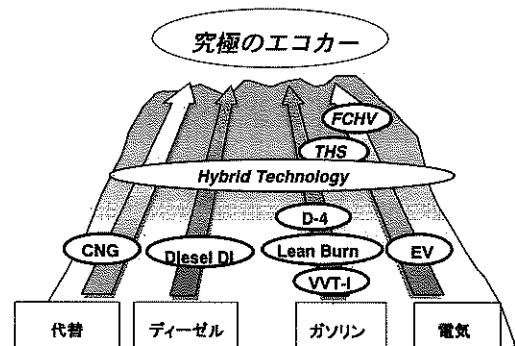


図 12 究極のエコカーへのアプローチ

これからもハイブリッド技術の発展を軸に、究極のゼロエミッションと Fun to Drive の高いレベルの両立をめざし技術チャレンジ続けられ、自動車の次の時代に向けた進化が加速していくものと期待している。

コークス炉化学原料化法によるプラスチックリサイクル*

鍼取 英宏**・近藤 博俊**
祖山 薫***・山口 剛史***Plastics recycling by the Coke-Oven
from waste plastics to chemical raw materialsHidehiro KUWATORI, Hirotoshi KONDO
Kaoru SOYAMA, Takeshi YAMAGUCHI

Based on the container and package recycling Law which is enforced completely in the April last year, Nippon Steel Corporation started the waste-plastic recycling by the method of converting the chemical materials with coke oven, aiming to establish a sustainable society based on total recovery and resource recycling. By utilizing the coke oven which is existing iron-manufacture process, the plastic waste can be recycled stably and continuously, and the recycling system which can contribute to a community is realized. With this paper, as the technical feature is introduced, it reports concerning the start-up circumstance of the apparatus equipment which from last year was worked at the Nagoya Works.

1. はじめに

鉄鋼業界は、地球温暖化防止対策の自主行動計画で、1990年を基準年として、2010年にはエネルギー消費量を10%削減することを目標としている。さらに、COP3対応の政府要請を受けて、1.5%のエネルギー削減の追加的取り組みを図ることとした。集荷システム等の条件整備を前提として廃プラスチックを100万トン／年利用し、自治体や産業系のごみ焼却処理等で排出されている二酸化炭素を削減するものである。これは、既存の鉄鋼製造プロセスを活用し、日常的に排出される廃プラスチックを再利用するもので、社会システムの一部を担なって行くものとの観点から、安全性、安定性を最優先要件とし開発を進めてきた。高炉還元法、及びコークス炉化学原料化法の2つの方法を利用対応プロセスとした。いずれの場合もリサイクルの質（ケミカルリサイクル）が高く、既存設備と運営ノウハウを活用した競争力の高い手法である。

2. 当社の取り組み

新日鐵は、基礎産業である本業の鉄鋼生産性を損なうことなく、資源循環・ごみ減量化、地球温暖化防止・二酸化炭素削減の2つの社会要請にこたえるため高炉及びコークスでの安定的な利用技術を確立することが重要と考え、研究開発を進めてきた。

又、容器包装リサイクル法の受け皿技術として当初の認定技術であった油化法についても、平成5、6年、中小企業事業団・桶川市との技術研究、平成8～11年、廃棄物研究財団・立川市との実証研究を経験した。これらを総合評価し、容器包装リサイクル法の完全施行に併せて、平成12年より名古屋、君津製鉄所の2箇所にコークス炉化学原料化法向けの再商品化工場を建設し、合計年間8万トンの容器包装プラスチックの受け入れを開始した。

3. コークス炉化学原料化の概要

コークス炉は高炉で鉄鉱石の還元剤として必要な圧塊強度の高い高品質のコークスを製造するための設備である。日本国内のコークス炉はそのほとんどが鉄鋼業向けで、年間に乾留される石炭の総量は約5800万トン／年である。

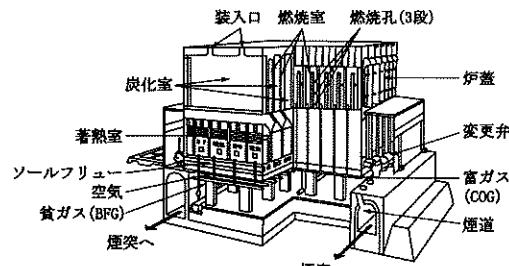


図1 コークス炉の構造

*平成13年11月1日 本会第107回例会において発表

**新日本製鐵株式会社本社技術総括部

***新日本製鐵株式会社名古屋製鐵所

平成13年8月27日受理

室炉式のコークス炉(図1参照)は密閉型で石炭は無酸素状態で高温乾留される。炭化室に装入された石炭は、約1200℃に保持された両側の煉瓦壁から十数時間をかけて間接加熱される(図2参照)。発生ガスやタール(油分)は主としてコークス層と炉壁空間を通って熱分解を受けながら炉頂空間に達し、ドライメイン(ガス集合ヘッダー)を経て、ガス精製設備に導かれる。一方、廃プラスチックは、破碎・選別・造粒工程を経て、石炭と混合され同時に処理される。汎用プラスチックの熱分解温度は、350～450℃と低いため石炭のガス化よりも先に熱分解が行われる。

コークス炉から発生したガスはガス精製工場に送られる。高温ガス(900℃)はコークス炉頂部の上昇管出口で安水フラッシングされ80℃以下に急冷される。さらにガス冷却器で35℃程度に冷却され凝縮した液分はデカンターで油水分離され、タールとして回収される。ガス状態のものは次の工程でナフタリン回収、脱硫工程を経て軽油分が回収され、常温でガス状のものは所内発電等のエネルギー源となる。

一般廃棄物系容器包装プラスチックは平均的には炭化水素油40%、ガス分40%、コークス分20%に分解され全量有効成分として利用される。

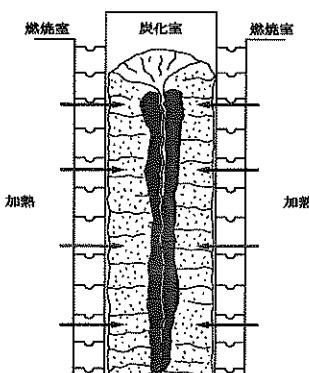


図2 乾留後の炭化室の状態

4. コークス炉向け粒状化処理

平成12年度から開始された容器包装リサイクル制度で収集される一般廃棄物系容器包装プラスチックのペール品質基準(目標)では容器包装プラスチックが90%以上と定められている。しかし、一般市民が分別し、自治体で粗選別を実施しても不定期に混入する金属類、無機系物質、ボンベ等危険物は避けられない。高炉、コークス炉の様に大規模な生産設備に操業障害が起こらないよう万全の異物、危険物除去設備が必要である。ペール状で受け入れた廃プラスチックは低速回転の粗破碎機で百数十mmのサイズに破袋、破碎される。混入した磁性金属は磁力選別機で、その他非磁性金属及び重量無機系物質は振動型の風力選別機で選別される。二次破碎機で20mm程度に破碎する。石炭と同様のハンドリング性を持たせるため数十mmのサイズの粒状物にする減容機を経て粒状化処理は終了する。(図4参照)新日鐵では名古屋、君津両製鉄所にプラスチックリサイクルの事前処理設備を建設し、平成12年秋から稼動を開始している。写真1に、プラスチックリサイクルの事前処理設備の全体を示す。平成13年度は、全国の自治体から、約8万トンの容器包装プラスチックの受注契約を結び、順調にリサイクルを実施している。

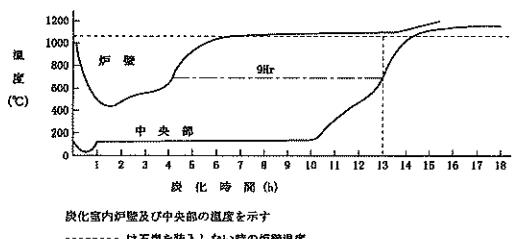


図3 コークス炉炭化室の温度推移

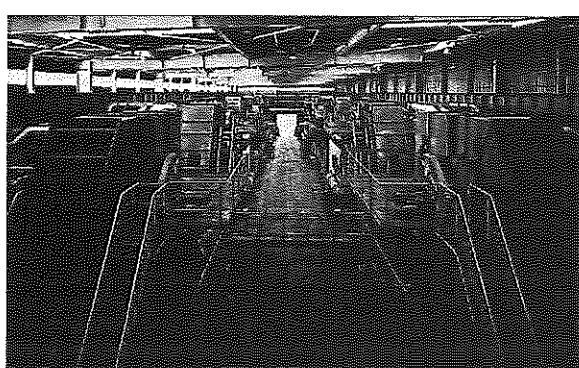


写真1 プラスチックリサイクルの事前処理設備の概観

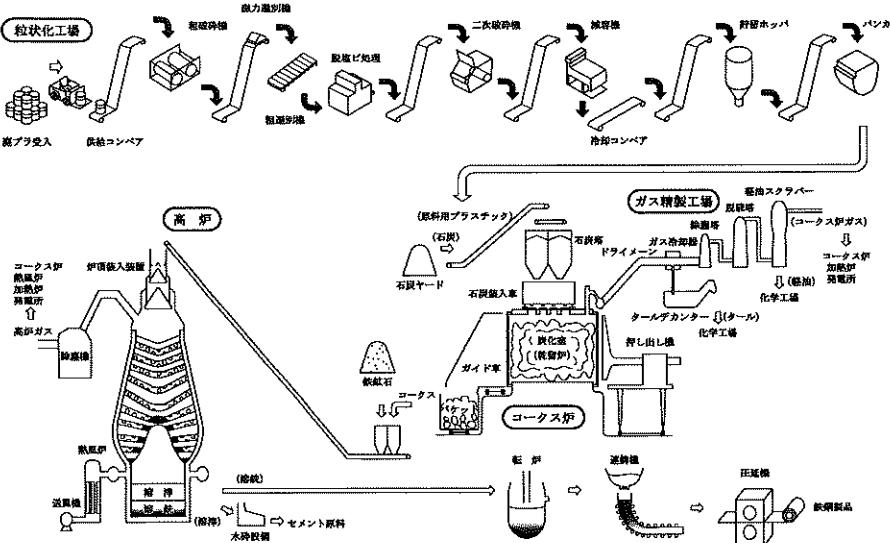


図4 コークス炉化学原料化法のリサイクルのフロー図

5. プラスチックリサイクルの実際

5.1 事前処理工程の立上げ実績

平成 12 年 10 月に竣工した名古屋製鉄所の立上げ状況を紹介する。

図5に分別基準適合品の引取り量実績推移を示す。一般的に、家庭からのプラスチック製容器包装ごみの排出量は年間約30kg／人と言われているが、名古屋市の報告によれば収集量実績は、年間約9kg／人相当となっている。表1に11月以降の収率実績(成形品歩留り)を示すが、90wt-%以上の高歩留りを安定的に継続している。

5.2 減容成形品の品質管理

既存の製鉄プロセスへの影響を最小限に押さえるため、安定した成形品を製造すべく品質管理項目を定め、入側条件の変動に合わせて適時調整を実施している。

減容成形機には2軸スクリュー式を採用しており、成形ノズルは ϕ 25mmとしている。表2に、主な品質管理項目と実績値を示す。コークス品質(強度)の低下を抑制するために、嵩密度・塊率を確保し、ハンドリング性の観点で長さを管理している。また、コークス炉での投入熱エネルギー量抑制の観点で残留水分等を管理している。

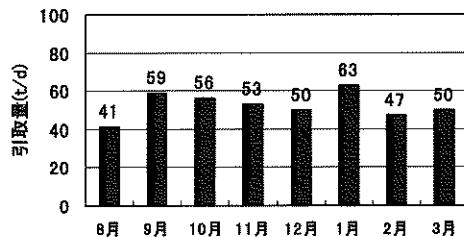


図5 引取り量の実績推移

表1 収率の実績推移

(2000年11月～2001年3月)					
	11月	12月	1月	2月	3月
収率(%)	91.6	95.1	92.6	94.4	95.0

表2 主な品質管理項目と実績

項目	
嵩密度	0.3 t/m ³
塊率	98 %
長さ	38 mm
残留水分	1.4 %

5.3 热分解工程でのプラスチック使用実績

事前処理工程で製造された減容成形品は、パイプコンベアにて石炭配合設備へと直送され、概ね 1 wt-% の配合比率に調整してコークス炉へ投入される。

コークス炉へ投入された減容成形品は、3 章で述べたように、炭化水素油 40 %、ガス分 40 %、コークス 20 % に熱分解され全量有効成分として利用される。回収された炭化水素油、ガスへの品質影響は、上述の成形品質により現状の 1wt-% の配合比率では、顕在化していない。

特に、製鉄プロセスへの影響が懸念されるのがコークス品質(強度等)であるが、図 6 にプラスチック添加有無によるコークス冷間強度(D I : Drum Index)の比較を示す。強度の絶対としては同一レベルで強度の低下は見られない。変動がやや増加しているが、入側条件変動(プラスチック組成等)による影響と推定される。

6. おわりに

高カロリーごみを減量化し、排出二酸化炭素を削減する。化学合成功物を元素単位に高温熱分解し、無害化する。既存プロセスで資源の循環利用を行い、競争力を維持する。日本が目指す循環型社会の方向性を示す最初の法律である容器包装リサイクル法と CO₂ 削減課題は一挙三得の効果を持ったコークス炉化学原料化法を誘導したと言える。この手法は、日本が目指す循環型社会の方向性を示す代表例と考えている。

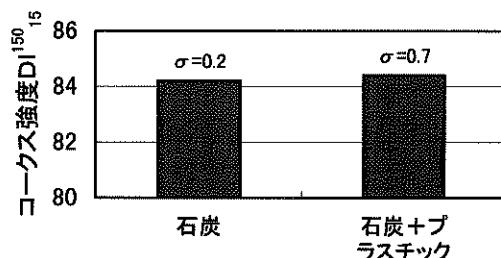


図 6 コークス冷間強度の影響

ごみ減量先進都市から環境先進都市へ*

神下 豊**

From a City Leading in Waste-Reduction to an Environmentally Advanced City

Yutaka Kamishita

○名古屋市が「ごみ減量先進都市」をめざした背景

名古屋市では平成11年2月、最終処分場として予定していた名古屋港西1区、いわゆる藤前干渉の埋立事業を中止するとともに、「ごみ非常事態宣言」を行うに至りました。快適で清潔な市民生活の確保と自然環境の保全、これらの両立をいかにして図るべきか、熟慮に熟慮を重ねた末の決断でした。

自然環境の保全を優先する一方で、快適な市民生活の確保のため、代替地となる新たな処分場確保の必要性もさることながら、増えつづけるごみ量に対する抜本的な対策が喫緊の重要課題として残ることとなりました。危機的な状況に直面した名古屋市のごみ処理体制の窮状を、市民と事業者のみなさまに対して率直に知らせるとともに、市民・事業者・行政がまさに絆ぐるみとなって、ごみ問題と真正面に向かい合い、これに取り組む覚悟と決意を共有することになりました。

そして、ごみ非常事態宣言からあと2年、20世紀のうちに20万トンのごみ減量を実現し、新しい世紀を「ごみ減量先進都市」として迎えるべく、新たな挑戦が始まりました。

○「ごみ非常事態宣言」後の名古屋市の取り組み

非常事態宣言以降、ごみ減量に向けて市民・事業者・行政が一体となった取り組みが始まりました。「チャレンジ100」による市民1人1日あたり100グラムのごみ減量の取り組みを始め、びん・缶の資源収集の全市拡大、指定袋制の導入を行うなど、様々な取り組みを重ねてきました。また、学識経験者からなる「ごみ減量先進都市なごや検討委員会」を設置し、ごみ減量目標達成のための緊急提言や、21世紀への提言をいただきました。さらに、ごみ減量市民大集会を開催するなど、ごみ減量に向けて市民意識の共有を図り、糸を深めました。その結果、平成10年度のごみ量102万トンから、平成11年度には92万トンにまで減量を達成することができました。

平成12年以降もさらに取り組みを進め、事業系ごみの全量有料化、ペットボトルのステーション収集、さらに、大都市としては初めてとなる、容器包装リサイクル法の施行による紙製・プラスチック製容器包装の資源収集を新たに実施することになりました。

特に、8月7日から始めた家庭ごみ指定袋制の本格実施と新資源収開始は、ごみの分別区分の変化のみにとどまらず、市民生活そのものに大きな変化をもたらすことになりました。市では実施に先駆けて、広報誌やメディアを利用した広報・啓発活動を行い、分別のためのパンフレットを作成して全世帯に配布し、あるいは町内会単位での説明会を連日開催するなど、事前の準備を整えました。しかしながら、開始当初は市民の間で混乱を来たし、まさに産みの苦しみを経験することになりました。それでも市民・事業者のみなさまの根強い辛抱とごみ減量目標達成への努力が実り、平成12年度にはごみ量が78万7千トンとなり、非常事態宣言時の目標であった、ごみ減量20万トンを達成することができました。

○ごみ減量から「環境先進都市」へ

名古屋市では市民のみなさまのご理解とご協力のもと、ごみ減量先進都市に向けて様々な困難、苦労を乗り越えて大きな成果を挙げることができました。その一方で、分別に伴う市民の負担増や資源化推進による自治体の負担増など、新たな課題も明らかになってきています。さらに、ごみ問題だけにとどまらず、限りある天然資源の枯渇や二酸化炭素排出増による地球温暖化など、まさに地球規模で考えなければならない諸問題が山積しているといえます。

名古屋市では、ごみ減量の次のステップとして、持続可能な資源循環型社会をめざし、新たな取り組みを進めることになりました。これまでのリサイクル中心の施策から、リデュース（発生抑制）重視の施策へと転換を図ることで天然資源の消費を抑制し、埋立量をさらに削減するなど環境負荷低減型のごみ処理システムを構築し、さらに、市民・事業者・行政による環境パートナーシップのもと、「環境先進都市」を実現することが次の課題であると考えています。

これまでの名古屋市の取り組みと、循環型社会に向けた次のステップを紹介させていただく資料として、名古屋ごみレポート『逆風を、追い風に変えた名古屋市民』を用意させていただきました。この冊子は、行政としての情報提供資料や施策提案のためだけのものではなく、市民の方々の意見を広く取り入れ、施策に反映させるためのものとなっています。ぜひご一読いただき、「環境先進都市」をめざす名古屋市に対してご意見・ご提案をいただけることを願っております。

* 平成13年11月1日 本会第107回例会において発表

**名古屋市環境局ごみ減量対策室

平成13年9月17日受理

Multi Gravity Separator を使用した微粒子の選別例*

光山 敦士**

Separation of fine principles by Multi Gravity Separator (MGS)

Atsushi Koyama

1. はじめに

MGS は British Technology Group に支持された Axia Mozely Limited によって開発された遠心力による比重選別機である。MGS は、重液や化学品を必要としない為、経済的に優れており、かつ他の選別機と同程度以上の選別能力を有している(図1)。

MGS は選鉱及び選炭分野での実績があり、現在、処理量の異なる3タイプが製造されている(表1)。

表1 型式別 MGS の比較

型式	C-900	C-902	MeGaSep
寸法(梱包前) mm			
縦	1,634	4,242	9,600
幅	858	1,540	2,900
仰角最大時(10°)の高さ	1,445	2,160	3,962
重量(梱包前) kg			
全重量	350	3,050	14,000
処理量 mnt/h, solids			
重金属の場合	0.2	4.0	30.0
石炭の場合	0.6	8.0	50.0
使用電力 kW	1.0	3.3	30.0

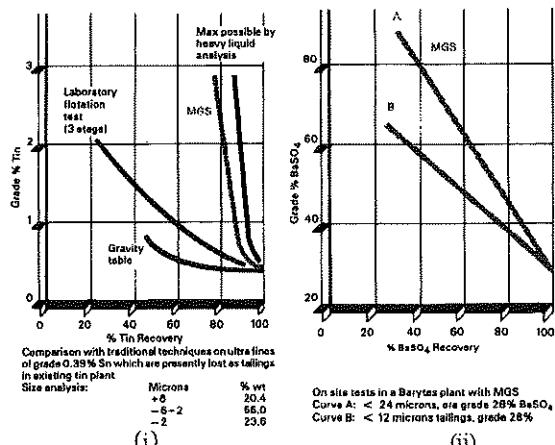


図1 MGS による微粒子選別能力

*平成13年11月1日本会第107回例会において発表

**三井松島産業株式会社燃料部新規事業開発グループ

平成13年9月17日受理

2. 原理

MGS は汎用の振動テーブルを丸めてドラムに押し込んだような構造をしている。ドラムを回転させることにより、微粒子に 6~20 G に等しい遠心力を与え、MGS 特有のスクリーパー機構により高比重物質をドラム上部に排出させる。

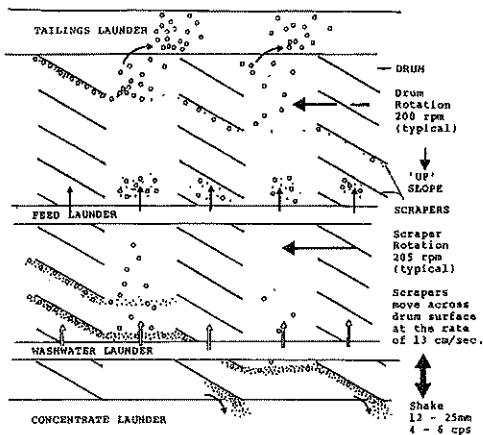


図2 MGS における選別作用(ドラム内平面図)

・工程(図2参照)

- スラリーはドラム内の中心付近に設置された FEED LAUNDER に連続供給される(固体濃度 3.0%~5.0%)。又洗浄水も同時にドラム内の外端に設置された WASHWATER LAUNDER に連続供給される。
- ドラムに投入された微粒子にはドラム回転により 6~20 G に等しい遠心力が掛けられる。又ドラムには軸方向に 4~6 回/秒の横揺れが掛けられ、微粒子を効率的に選別する。
- 投入されたスラリーは、遠心力により上層に比較的澄んだ水、中間層に低比重物質で形成される濁水、下層に高比重物質がドラムに押し付けられる格好になり、3層が形成される。

D. 高比重物質は絶えずドラム表面を横切って移動するスクリーパーにより、螺旋を描くようにドラム上部に掻き出される。スクリーパーはドラム回転より2.5%早く回転するようになっており、ドラムが40回転すれば、スクリーパーはドラムの表面を1回転した事になる。

3. 池島炭鉱での現場試験例

池島炭鉱では2001年初めからC902型MGSを導入し、微粉炭選別試験を行っている(写真1)。以下に導入当初に行われた試験結果の一部を示す。

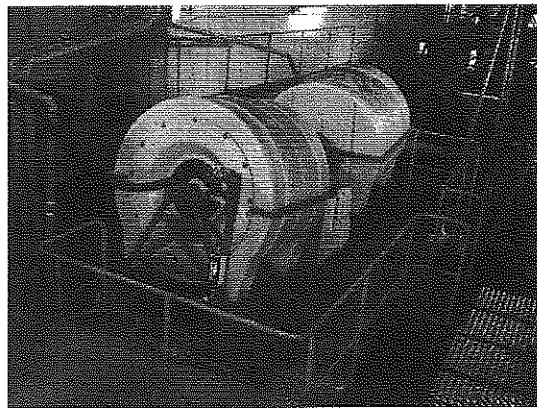


写真1 池島炭鉱に導入されたC902型MGS

各試験は機器設定及び給液の種類を一定とし、給液方法・給液量・洗浄水量をパラメータとして行われた。以下に主な試験条件を示す。

- ・給液： 浮選原炭スラリー
- ・給液方法 a：サイクロンU.FからMGS両ドラムへ
- ・給液方法 b：サイクロンU.FからMGS片ドラムへ
- ・給液方法 c：直接MGS両ドラムへ

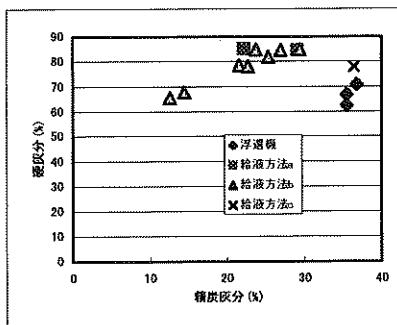


図3 精炭灰分と硬炭灰分の関係

図3は各給液方法及び浮遊選別機より得られた精炭灰

分と硬炭灰分の関係図である。この図からMGSは同炭鉱で使用されている浮遊選別機と同等以上の選別能力があると言える。又、MGSとサイクロンとの組み合わせにより灰分10%程度の精炭を生産する事ができており、試験条件の変化で更なる脱灰が可能であると思われる。

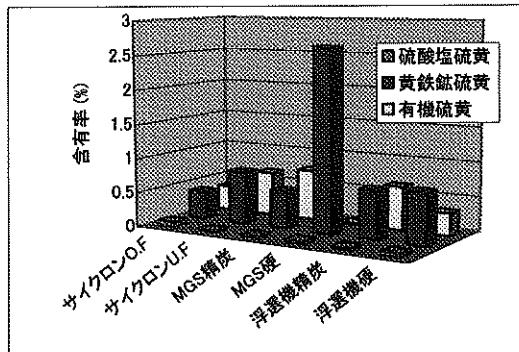


図4 硫黄含有率

図4は各選別機による精炭及び硬の硫黄含有率を示したものである。浮遊選別機とサイクロンによる精炭と硬の無機硫黄含有率は、ほぼ同等であるのに対し、MGS硬中の無機硫黄含有率が高いのが特徴的である。MGSは比重による選別法である為、無機硫黄を有効に除去できると考えられる。

4. おわりに

MGSは機器の設定条件及び給液の条件(固形濃度・粒度・量等)によって鉱物の回収率を最適化できるよう幅広い調節範囲を持っている。又、化学品等を使用しない為、これまで経済的に困難であった微粒子を選別対象にできると共に、環境にやさしい選別機であると言える。

今後は、さまざまな分野での現場試験を行い、更なる改良を加える事により、より効率的な選別能力を得る事ができると考える。近年、ヨーロッパでは鉱山分野だけでなく、環境やサイクル分野でも注目されており、我が国においてもそういった分野での適用が期待できる。

参考資料

- 1) 平成12年度石炭生産・利用技術振興費補助事業 成績報告書 石炭エネルギーセンター
- 2) J.W.G. TURNER and M.P.HALLEWELL: PROCESS IMPROVEMENTS FOR FINE CASSITERREITE RECOVERY AT WHALE JANE
- 3) Billy S.K.Chan, R.H.Mozley and G.J.C.Childs: THE MULTI-GRAVITY SEPARATOR-A MINE SCALE MACHINE

建設発生土を用いたソイルセメントコンクリートによる路面舗装*

大野正徳**

Pavement Construction Work of a Road Surface by Soil Cement Concrete that Used Construction Remainder Soil

Masanori OHNO

1. はじめに

建設発生土とは、土木工事等に伴い副次的に発生する土砂や泥土のことと、通称は建設残土と呼ばれている。

現在、建設工事現場からの搬出量は全国で約 4.4 億 m³（平成 7 年度）に達している。

一方、公共土木工事や埋め立て工事等における建設発生土（以下、発生土と略）の再利用率は約 3 割程度にとどまっている。この発生土は、都市の再開発や地下空間の利用の増加に伴い、年々増加する傾向にあるが、再利用されない発生土の処分地の確保は、都市化の進展に伴い受け入れ適地の減少、海面埋め立て工事等の減少などにより困難となりつつある。そのため、発生土の運搬距離はますます遠くなり、発生土の不法投棄の一因ともなつていて、建設工事の円滑な進展を阻害しかねない状況にある。

このため、建設省は平成 6 年に「建設発生土利用技術マニュアル」を作成して再利用率の向上を推進している。

現在、発生土の再利用等のために行われている土質安定処理工法の主なものには、以下のよう種類がある。

一つは、不良土の置換、粒度調整、含水比調整、転圧等による「物理的・機械的安定処理工法」である。今一つは、セメントや石灰・固化材（剤）等を添加・混合あるいは注入する「化学的安定処理工法」である。これらの安定処理工法の主な目的は、発生土を土質改良して、使用目的にあった土質とすることにより、「土の締固め」性能を向上することにある。

本研究は、新たに開発された「土木用特殊固化剤（以下、固化剤と略）」を用いて、「土の固化」を工事現場で行うことを目的に、高強度ソイルセメントコンクリートの開発並びに路面の試験施工を行った。また、固化剤を用いた安定処理土の締固め特性についても併せて報告する。

2. 実験の概要

2. 1 使用材料

使用した材料は、普通ポルトランドセメント、骨材として発生土および砂、砂利、礫を適宜使用した。固化剤は、A 社製の無機系化合物で赤紫色の液状のものである。

固化剤は必要量を計量し、練り混ぜ水に添加・攪拌して使用した。発生土は、建設工事現場で採取した土壤サンプルおよび工事現場の発生土で、自然含水状態のものを使用した。

2. 2 ソイルセメントコンクリートの室内実験方法

発生土は、土の種類・発生時の状態によって以下のよう区分した。

砂質土：山砂のように砂（礫）質に富んだ土壤（若干の細粒分も含む）の場合。

砂質土+シルト：砂（礫）質土であるが細粒分を 25～30 % 以上含み粘性に富んだ土壤の場合。

シルト：細粒分に富んだ粘性土、例えば関東ロームのような洪積粘性土や、沖積粘性土地盤の掘削土、浚渫底質土のように、それ自体が細粒分を多量に含んだ粘性土壤の場合。

なお、発生土中に障害となるような大きさの木片、コンクリート塊、粗礫などの雑物を含む場合は前処理としてフルイ等による分別、除去作業が必要となる。実験

*平成 13 年 11 月 1 日 本会第 107 回例会において発表

**名古屋市工業研究所資源環境部

平成 13 年 8 月 21 日受理

に用いたソイルセメントコンクリートの示方配合条件および圧縮強度試験の結果を表1、表2、表3、表4にそれぞれ示す。ソイルセメントコンクリートの練り混ぜは、

強制練りミキサーを使用した。圧縮強度の供試体寸法は $\phi 5 \times 10\text{cm}$ である。供試体は材齢1日で脱型し、以後試験日まで室内養生を行った。圧縮強度試験は、土質工学会基

表1 砂質土の示方配合条件および圧縮強度試験結果（材齢7日）

番号	W/C (%)	S/C	計量値 (kg/m^3)				圧縮強度 (N/mm^2)
			セメント	水	砂質土	固化剤	
1	175	6.2	200	350	1240	0.0	5.2
2	175	6.2	200	345	1240	4.0	5.5
3	173	6.2	201	341	1243	6.0	5.7
4	172	6.2	201	337	1247	8.0	5.8
5	165	6.2	204	326	1264	10.2	6.1
6	165	6.2	203	320	1265	16.2	5.7
7	162	6.2	203	315	1267	20.3	7.4
8	160	5.0	234	375	1162	0.0	5.2
9	154	5.0	238	361	1179	4.8	6.1
10	151	5.0	239	354	1187	7.2	6.8
11	144	5.0	243	341	1207	9.7	7.8
12	135	5.0	249	324	1234	12.4	8.1
13	128	5.0	253	304	1256	20.3	9.7
14	120	5.0	259	284	1282	25.9	10.1

表2 シルトの示方配合条件および圧縮強度試験結果（材齢28日）

番号	W/C (%)	S/C	計量値 (kg/m^3)				圧縮強度 (N/mm^2)
			セメント	水	シルト	砂	
1	251	1.5	300	753	450	0	0.4
2	194	1.5	361	699	434	108	1.1
3	160	1.5	409	655	368	245	2.1
4	127	1.5	472	598	319	389	4.1
5	108	1.5	517	556	233	543	6.1
6	165	1.0	434	716	434	0	1.1
7	130	1.0	510	663	408	102	3.0
8	118	1.0	541	639	325	216	5.0
9	92	1.0	602	554	298	364	7.8
10	79	1.0	679	539	204	476	9.5

表3 砂質土+シルト系の示方配合条件と圧縮強度試験結果（材齢28日）

番号	W/C (%)	S/C	計量値 (kg/m^3)						圧縮強度 (N/mm^2)
			セメント	水	砂+シルト	砂	礫	固化剤	
1	66	4.8	340	187	1648	—	—	38.0	21.4
2	85	8.1	218	153	865	728	182	31.6	17.9
3	85	8.1	218	153	865	182	728	31.6	22.6

表4 砂質系土壤の示方配合条件と圧縮強度試験結果（材齢28日）

番号	W/C (%)	S/C	計量値 (kg/m^3)						圧縮強度 (N/mm^2)
			セメント	水	砂質土	砂	礫	固化剤	
A	75	8.3	213	135	1067	355	356	23.6	27.9

準「土の一軸圧縮試験方法 (JIS.T.5111-1990)」に準拠して測定した。測定に用いた試験機はアムスラー型 5 t 万能試験機を使用した。砂質土を用いたソイルセメントコンクリートの圧縮強度試験結果を図 1 に、シルトを用いた場合の圧縮強度試験結果を図 2 にそれぞれ示す。予備実験による一軸圧縮強度試験の結果から、固化剤の添加量が増すにつれて圧縮強度も高くなる傾向を確認することが出来た。

3. 固化剤を用いた安定処理土の締固め特性

砂質土について、セメント+固化剤系によって安定処理した土の締固め試験を行った。試験方法は、JIS.A.1210「突固めによる土の締固め試験方法」に準拠した。突固め方法「E」、試料の準備方法「b」、乾燥法、非繰返し法で行った。安定処理土の配合条件を表 5 に、圧縮強度の試験結果を表 6 に、突固めによる土の締固め試験結果の一例を図 3 にそれぞれ示す。

表 5 安定処理土の示方配合条件

W/C (%)	計量値 (kg/m^3)			
	セメント	水	固化剤	砂質土
114.5	200	211	18	1067

表 6 安定処理土の一軸圧縮強度試験結果

試験材齢	圧縮強度 (N/mm^2)
3 日	3.3
7 日	5.2
28 日	6.1

一軸圧縮強度試験の結果および突固めによる土の締固め試験結果から、セメント+固化剤系による安定処理により、土の締固め特性が改良されたことを確認することが出来た。

4. ソイルセメントコンクリートを使用した路面の舗装工法

4. 1 道路の路盤工法あるいは簡易舗装工法¹⁾

ソイルセメントコンクリートを用いた路盤工法あるいは簡易舗装工法のデータを得るために、以下の施工試験を行った。材料の練り混ぜは、ミキシング転圧工法および路上混合方式によつた。二つの工法の施工手順を以下に示す。

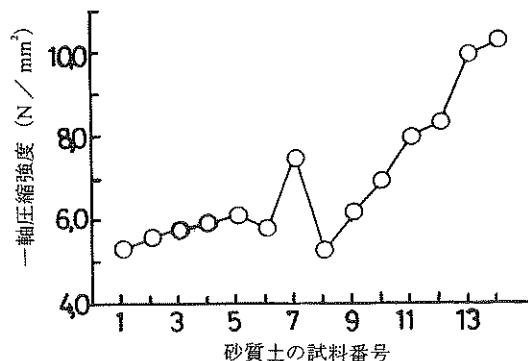


図 1 砂質土を用いたソイルセメントコンクリートの一軸圧縮強度試験結果

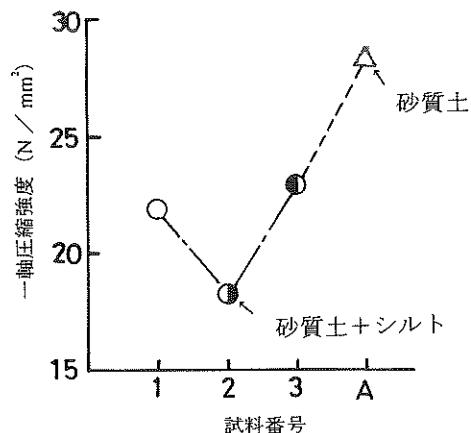


図 2 ソイルセメントコンクリートの一軸圧縮強度試験結果

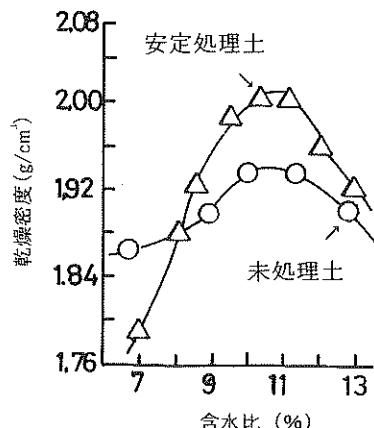


図 3 突固めによる土の締固め試験結果
(乾燥密度 - 含水比曲線)

1. ミキシング転圧工法（工区：NO 1, NO 6）
表土はぎー土寄せー運搬ーミキシングーまき出し・転圧
(専用ミキサー)

2. 路上混合工法（工区：NO 2～NO 5）
表土ならしー耕うんーセメント散布ー固化剤散布ー攪拌ー転圧
(水で希釈)

この工法の特徴は、現場の発生土を捨てずにそのまま利用することにある。施工の厚さは、路盤に含まれる礫の大きさなどから判断して10cmとした。なお、現場土壤中の自然含水比は5.3～11.7%の範囲内にあった。表7に配合条件およびCBRの経時変化の測定結果を示す。また、施工後7日目に行った道路の乾燥密度等の測定結果も併せて記載した。乾燥密度は、工区NO 1, NO 6の方がNO 2～NO 5区よりも若干小さい値となった。この原因の詳細については不明である。

なお、CBRは球体落下式試験方法で測定した。表中のCBRの値は「%」ではなく「mm」であり、値の大きい方が強度としては低い結果を表している。CBRの測定値の内、7日目と28日目の比較から、施工後約1週間で強度としては安定することが確認できた。また、施工後の強度としては、アスファルトと同程度の物性値を保持していることが判明した。なお、舗装工事を実施する場合でも、本工法で造成された路盤が、安定処理層としてそのまま利用することが出来るので、二段階施工方式がとれ、極めて効果的と思われる。

4. 2 路面の舗装工法

路面の表層舗装材料として、ソイルセメントコンクリートを用いた施工試験を行った。実験目的は、施工技術上の問題点の把握と施工システムを確立するためである。施工箇所は愛知県内にあるB社構内の未舗装区域である。施工手順は、工事現場の土壤を機械掘削し、発生土中の狭雑物をフルイにかけて除去したあと、舗装用材料として使用した。使用した現場土壤の成分は、シルトー粘

土質分60%前後、砂質分40%前後のサバ土系土壤である。表8に、使用したソイルセメントコンクリートの配合条件を示す。

表8 ソイルセメントコンクリートの示方配合

W/C (%)	計量値 (kg/m ³)			
	セメント	水	発生土	固化剤
178	120	200	1722	13.0

上記の配合条件で材料の練り混ぜを行った。ソイルセメントコンクリートのスランプは13～14cmであった。路面の施工厚さは、打設箇所により10～15cmの範囲で行った。今回のソイルセメントコンクリートの打設総面積は320m²であった。施工仕上がり面は、その後クラック等の発生もなく、良好な状態を保持していることを確認することが出来た。

5. まとめ

建設発生土の抑制ならびにリサイクルが要望されている昨今、公園の遊歩道や山間林道、駐車場等の舗装材料として、発生土が使用出来るならば有意義なことと思われる。今回の実験の範囲内において、ソイルセメントコンクリートの物性が、従来のアスファルト材料と同程度の強度が得られる事を確認することが出来た。今後さらに施工実験等を重ねて、データの収集に努めたいと考えている。

参考文献

- 永石義隆、宮崎毅、原口播郎：傾斜地農道に関する研究（第2報）、農林水産省四国農業試験場報告、pp.29～34(1994)
- 川村政史、河合糸滋、周建東、笠井芳夫：ソイルセメントコンクリートの調合と強度、日本建築学会大会学術講演概要集、pp.1231～1232(1993)

表7 路盤の配合条件および施工工事にともなう物性値

工区 NO	セメント (wt %)	固化剤 (wt %)	施工後の物性値			CBRの経時変化		
			含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	加工深さ (cm)	施工直後 (mm)	7日目 (mm)	28日目 (mm)
1	10	1.3	3.1	1.81	9.2	25.0	22.2	21.1
2	4	0.7	3.9	1.85	6.0	33.2	28.5	28.0
3	4	0.0	2.4	1.90	8.4	40.3	29.3	29.8
4	4	0.7	3.4	1.95	8.8	30.8	26.3	26.0
5	10	0.7	2.9	1.91	7.2	27.8	24.2	24.8
6	6	1.3	3.9	1.66	6.0	28.3	22.8	22.7

難処理有害物の非加熱・完全無害化、 (明日の命を支える使命としての技術)

○眞目 薫^{1*}、赤澤貴志^{2*}、松尾辰也^{3*}、齋藤文良^{4*}、加納純也^{4*}

Complete detoxification process of harmful compounds under nonheating mechanical condition [Technology for new generation]

○Kaoru Shimme^{1*}, Takashi Akazawa^{1*}, Tatsuya Matsuo^{1*},
Fumio Saito^{4*}, Junya Kano^{4*}

はじめに

現在の豊かさは、やはり大量生産・大量消費が産んだ賜物であり、それを可能にした人間の欲望と、技術のひたむきで強力な支えがあったからである。

現在では誰もが眉をひそめるフロンやP C Bでさえ、史上に登場した頃は世紀を代表する発明として迎えられ、実際に多くの産業に貢献を果した。しかし、ただただ前進し続けた私達の足元は、当時では思いもつかなかつた結末として、人間が創り出した自然界では分解不可能な有害物質で満ち満ちてしまった。

もともと自然界は、何一つ無駄なく大いなる循環のもと、綿々と膨大な生態系を築き上げてきた。ただ人間のみが「より豊かに」をめざして、その「環」を破壊し、地球に消えない「毒」を浸透させてしまった。

現在は、その修復と代替物質の機能向上のために、「技術」を要として、人間の意識や行政の対応、企業のリスクやメリットの狭間で、前進と後退の境を振り子のように振り動いている。

リサイクルとは何か。資源再生化の方向性を追って

リサイクルの真の意図は、無駄をなくすために単に形や用途を変えて再利用するだけではない。

日本ではモノの終着駅を「焼却」としてきた国の施策がある。従ってあらゆるモノには、焼却時に起こる反応が、安全か否かが基本的に問題視されねばならない。日本では一つの商品に、機能を優先させるために多くの異なる素材を組み合わせ、重金属を含む煩雑な添加物が

混入されている。現状では焼却場ばかりに有害物の課題が押しつけられるがちであるが、モノの製造段階、そして次のチャンスであるリサイクル時にこそ、終着駅を見据えた無害化がしっかりと図られ、いつどこでどんな形に変わろうと、どのように廃棄・焼却されようとも、分解を可能する技術がそこに介在されなければならない。リサイクルが単にモノの形を変えるだけでは、有害物がグループ市場を循環するだけで、さらに機能を取り戻すために添加物も混入されて、ますます危険度が増幅されてゆくにすぎない。

古紙のリサイクルに関してはインクの有害物をどう除去するかが問題とされるし、飛灰・焼却灰の溶融固化についても、有害物が水溶出しない分析法のみを是とする、エコセメント固化法、ガラス固化法においては、有害物が封じ込められているにすぎないため、有害物は単に形を変えてどこかに存続することになる。これらの現状は、他に技術や方法があったとしても、一つには、つい最近まで誰も問題視しなかった有害化学物質の危険性が急に言及されて、その対処に行政がそこまで早急にリスクコストをかけられないで、「焼却費」を基準とした従来の相場でしか、技術の評価と、ことの重大さを受け止められない状況によるものもある。

しかし分解されない残留性有害化学物質は、不触不見で気がつかないだけで、地球上のありとあらゆる生命を危険にさらし、さらにDNAに関与して、その子孫までを脅かす可能性を確実に秘めている。有史以来続いた食物連鎖体系において、空気や水は勿論、人が口にする食べ物に至るまで、私達の首元までその汚染度は迫っている。

リサイクルにおいて、もう一つ忘れてはならない基本として、さらに挙げておきたいのは、リサイクルすることによって、原料となる資源自体の軽減が図られなければならないことだ。紙にしても木材パルプの輸入の制限、

*平成13年11月1日 本会第107回例会において発表

**1 住友金属工業株式会社

**2 住友重機械工業株式会社

**3 株式会社ヤマサキ

**4 東北大学多元物質科学研究所

平成13年8月28日受理

さらには森林伐採の減少が果たされなければ、バージン商品より手間もコストもかかるリサイクル品が市場に受け入れられるはずがない。これは加工国として他国より抜群に多い比率で多くの輸入原料に頼ってきた日本の、これからの方針が問われる課題である。

難処理化合物の完全無害化に成功

我々の開発した無害化技術は、前記のような現実をふまえた上での研究開発である。従って、PCBやダイオキシン、農薬、またそれらによって汚染された土壌などの分解率も、環境基準を上回る、残留率ゼロを目指した。これは本技術の目標が難処理化合物の完全無害化だけが前提でなく、その後の資源再生に力を入れた結果である。従って、分析基準も行政指導内容も他技術と比較した場合も、評価は厳しく、市場評価としても「理想的な技術だが、完全無害化にかかるコストを、その分低減受注した方が得策だ」との指摘もある。第一「焼却」を前提とした日本のコスト試算では、いかに資源再生化が必要と称えても、現在は単なる付加価値としての対応しか見えてこない。しかし私達の開発では、完全無害化した処理後の粉末を水造粒(水和固化)して、安全な肥料等を添加し、生物に適用できる農業用土壌や魚礁材に再生できるというメリットがある。それも毒物の封じ込めではなく、完全に無害化するからこそその自信であり、自分たちの子孫が安心して口にする食物を育む、その基礎となる土壌へと変えることができる。

このメリット、「安心な」という言葉に変わるものはない、というのが私達の基本理念である。

M C 技術の概要

M C(メカノケミカル/M C)法の原理は、非加熱で、常圧下、クローズドシステムにおいて、有害塩素化合物

から塩素を安全な組成の物質に変える(化学反応)、完全無害化の技術である。また、分解中には排気・排液を発生させることもなく、現地(オンサイト処理)で操作できるので、汚染物を移動させる必要もない。さらに、機械力で反応させるので、分解中もCO₂(燃焼ガス)は発生しない。非常にクリーンで安全なため、住宅地周辺での設営も可能である。

具体的に言えば、M C反応とは非加熱の粉碎操作で、機械エネルギーにより原体の結合を切断し、構造を変化させて活性化させることによって、強制的に固相反応を促進させるものである。その原理を図1に示す。つまりダイオキシンを例にとると、M C装置(図2)にダイオキシンに汚染された、土壌、飛灰あるいは焼却灰をCaO等の無害化剤とともに直接挿入し、これを微粉碎する。この時の機械エネルギーによってダイオキシンを構成する炭素-塩素結合等を切断する。分子構造において塩素が最も結合エネルギーが低く、原体から一番最初に離れるため、活性状態における。この塩素は同時に添加されたCaOと結合(化学反応)し、CaOHClやCaCl₂となり、ダイオキシンは無害化される。

同様の原理で、PCB、PVC、農薬(錠剤、乳剤)等、従来、難処理といわれた物質が安全に、しかも低コスト(機械エネルギーのみ)。添加物もCaO等の安価な土壌成分)で完全に無害化できる。

実証実験

[ダイオキシンの無害化]

200Kg規模の実証試験装置に、ダイオキシン 7,500pg-TEQ/gを含む土壌をCaOを主成分とする無害化剤とともに挿入し、M C処理を行った。その結果、8時間で99.8%、20時間で100%(毒性等量 = 0 pg-TEQ/g)の完全無害化を達成した。(図3) この時、M C装置の回転数を増加させ

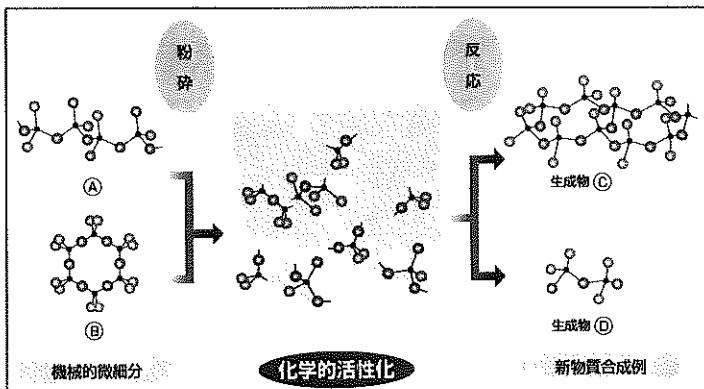


図1 メカノケミカル法による化学反応概要図

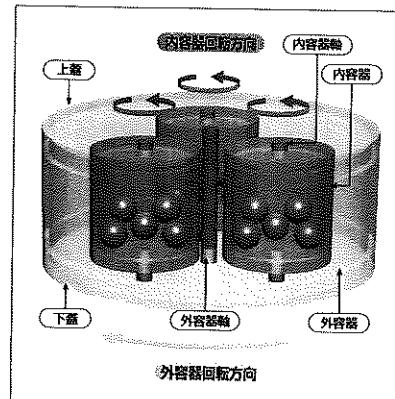


図2 M C装置の概要図

ると、処理時間の短縮ができる。

[P C B の無害化]

200g規模の基礎実験装置に、PCB60%を含むトランス油をCaOを主成分とする無害化剤、及び反応助剤とともに挿入し、MC処理を行った。その結果、2時間で、99.96%、8時間で、99.999%以上の無害化を達成した。(図4)

[P V C の脱塩素]

実証実験装置に、PVCをCaOを主成分とする脱塩素剤とともに挿入し、MC処理を行った。その結果、27時間で99.3%、52時間で99.9%以上の脱塩素ができた。

(図5)

[農薬の無害化]

実証実験装置に、エンドリン21%を含む乳剤をCaOを主成分とする無害化剤とともに挿入し、MC処理を行った。その結果、2時間で99.96%、4時間では99.999%の無害化を達成した。(図6)

[アスペストの無害化]

実証実験装置に、アスペスト纖維をCaOを主成分とす

る無害化剤とともに挿入し、MC処理を行った。その結果、4時間のMC処理で、Mg-Si-O系(クリクタイル)の有害な繊維は、 $1\mu\text{m}$ 以下の、Ca-Al系、Ca-Al系及びMg-Al-Si系の組成をもつ粒状となり、無害化できた。(写真1)

また、汚染物を無害化する場合、MC以外の他技術では、原体(対象物)と木片、石、汚染物(布、紙、ビニール、瓶、缶など)等を選別し、処理する必要があるが、MC技術では分解プロセスの粉碎機能をフルに發揮し、一括同時分解処理ができる。紫外線にあたりボロボロになり、砂や土が付着して洗浄ができない農業用シートもそのままMC装置にかけられるので、実に実用的だ。

さらに、MC処理中の処理物の温度は最大でも100°C程度なので、脱塩素反応以外の副次反応が極めて起こりにくく、高毒性化合物の生成が防止できることも、安心(メリット)といえる。

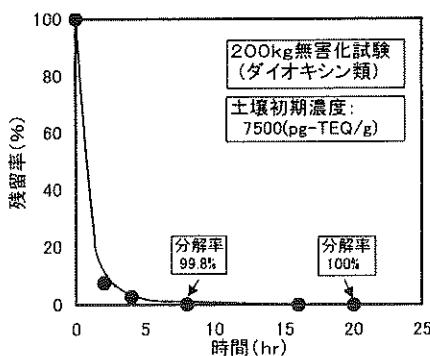


図3 ダイオキシン類による汚染土壤の無害化実証実験

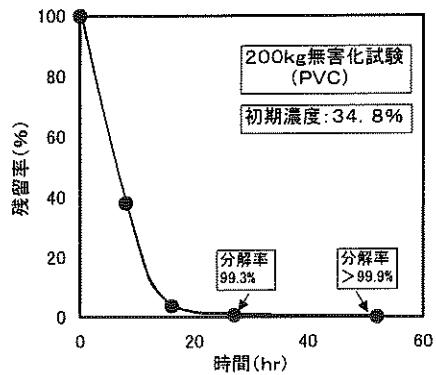


図5 PVCの脱塩素実証実験

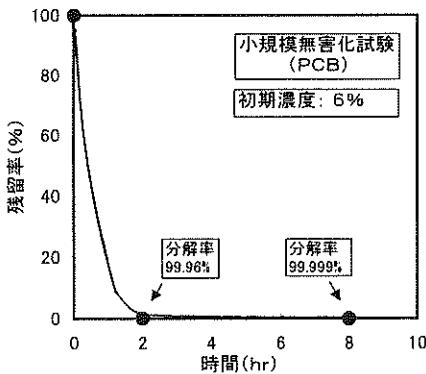


図4 PCBの無害化実証実験

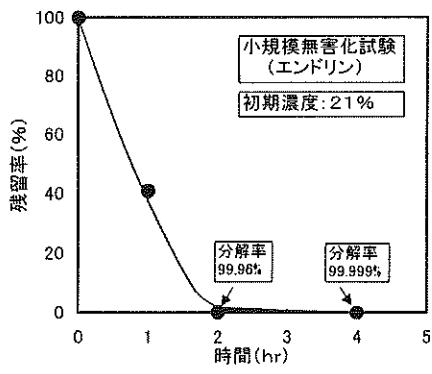


図6 エンドリンの無害化実証実験

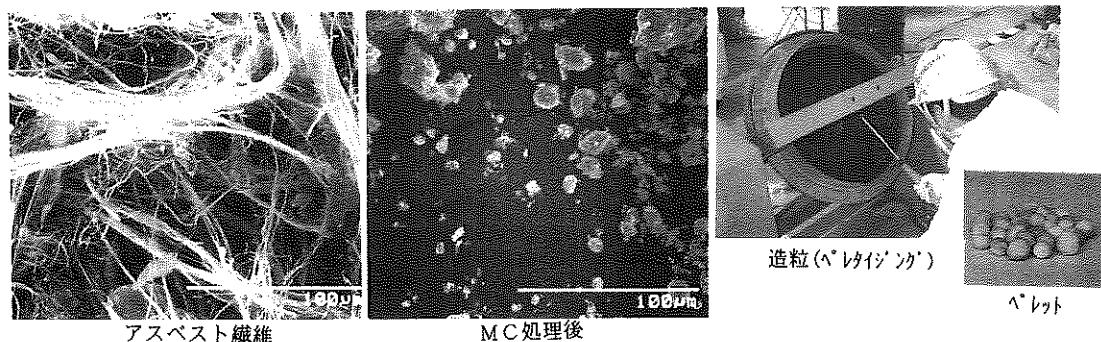


写真1 アスベストの無害化実証実験

MC処理後の再資源化

(完全ゼロエミッションを目指して)

上述のように、脱塩素反応等により無害化したあとの粉末は有効な素材として再生できる。例えば、DXNs汚染土壤をMC処理で完全無害化した後の粉末は、水を添加するだけで土壤成分が水和固化反応を呈し、化学結合する。すなわち、微細土壤組成粉末が化学的に再結合し、コンクリート強度に匹敵する高強度素材 [$1,000\text{kgf/cm}^2$ (100MN/m^2)以上] になり（図7）、コンクリートより養生期間も短い[約7日間]という特長が生まれる。また無害化剤として添加したCaOはSiO₂やAl₂O₃等と結合し、外部に溶出するアルカリ量が少なく [pH=8.5~9]（図7）、しかも焼成していないので、バクテリアが育成できる環境を呈し、植生や藻の育成に適した土壤に再生することができる。

さらに汚染土壤だけではなく、アスベストを分解して安全性のある素材に再生させたり（写真1）、高富栄養化や建設が問題視されているダムの浚渫土、赤土や火山灰等、超微粉粒子の土壤についても、これを、高強度・低アルカリ溶出素材として再生することができる。

浚渫土の場合には、微粉粒子を含むスラリーを高速乾燥し、微粉末状にしてMC処理を行い、処理後の粉末を作業環境の悪い山間の峡谷等から、パイプラインで気流輸送して、目的地で水和固化成型し、これを活用することができます。

一方、P C B、P V C、農薬、等は、MCでの脱塩素無害化後は、有機化合物と無機化合物に分離し、無機化合物は上述のように土壤として、あるいは高強度素材として活用し、有機化合物は塩素を含まない、炭化水素系の化合物として再生できる。これらの炭化水素系有機化合物は、燃料はもとより、リサイクル素材として有効に使いきれる。

このように、MC技術を活用すれば、有害物の残留率がゼロに極めて近いからこそ、廃棄物が生じず、真のゼ

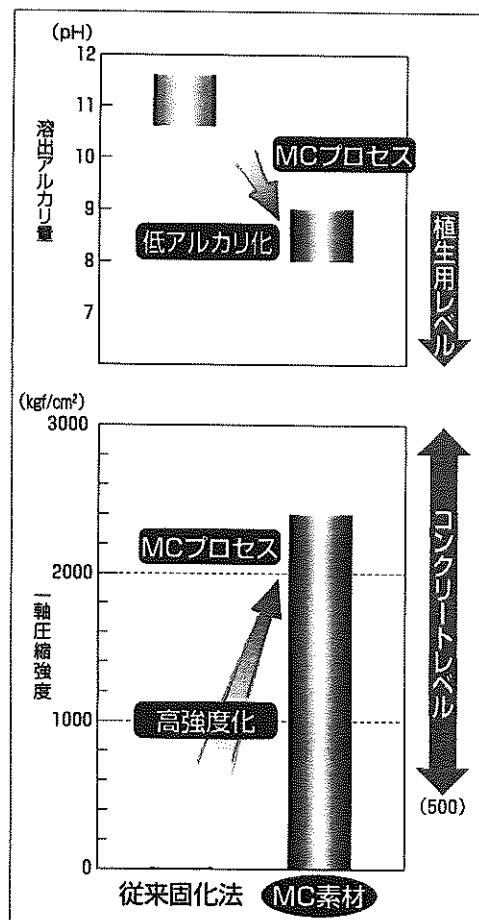


図7 MC処理後の再生土壤の強度と溶出アルカリ量

ロエミッション化が可能なのである。さらにM C技術は適用範囲が広く、各業界での適用検討が既に始められ、M Cの将来が期待されている。(図8)

まとめ

「After all tomorrow will be another day!」というるのは、マーガレット・ミッチェルの「風とともに去りぬ」のスカラレットオハラの、あまりにも有名な言葉だ。「明日は明日の風が吹くのだ」と言って、すべてを失った失望のどん底で、きっと顔を上げて彼女はこの言葉を口にする。戦争があり、時代が流れ、希望も、愛する人もすべてをなくしたとしても、もし人間がそこから立ち直れるとしたら、「そこに自分を育んでくれた大地があるから」と、この作品は訴え続けてきた。

時や場所が変わっても、やはり人間がこれからも生き続けていくためには、かって私達が享受してきた、安全で安心な母の棲のような豊かな自然がそのよりどころとなることに全く変わりはない。これをなくして次代の私達にいったい何が残るだろう。

私達は明日の命を支える使命として、「M C技術」が、その着実な一步となることを願ってやまない。

追記

1. ダイオキシン含有土壤の無害化実証実験は、1999年度環境庁請負業務「土壤中ダイオキシン類浄化技術の実証調査」として、住友金属工業(株)が、住友重機械工業(株)、鹿島建設(株)、東北大学素材工学研究所の協力を得て行った。

2. PVCの脱塩素実証実験は、2000年度厚生科学研究費補助金厚生科学特別研究事業「軟質PVCの非加熱脱塩素・再資源化法の開発」として、東北大学素材工学研究所と住友金属工業(株)が、住友重機械工業(株)、(株)ヤマサキの協力を得て行った。

3. 200Kg実証実験設備は住友重機械工業(株)製のものを使用した。(写真2)

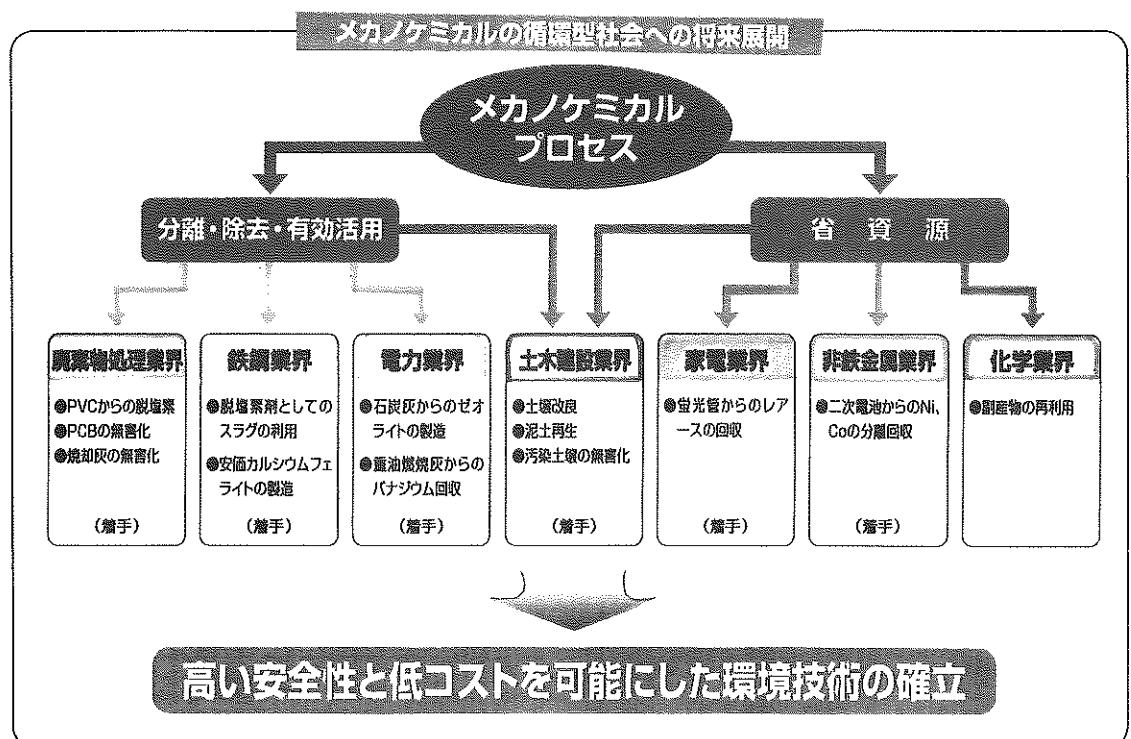


図8 メカノケミカルの循環型社会への将来展開

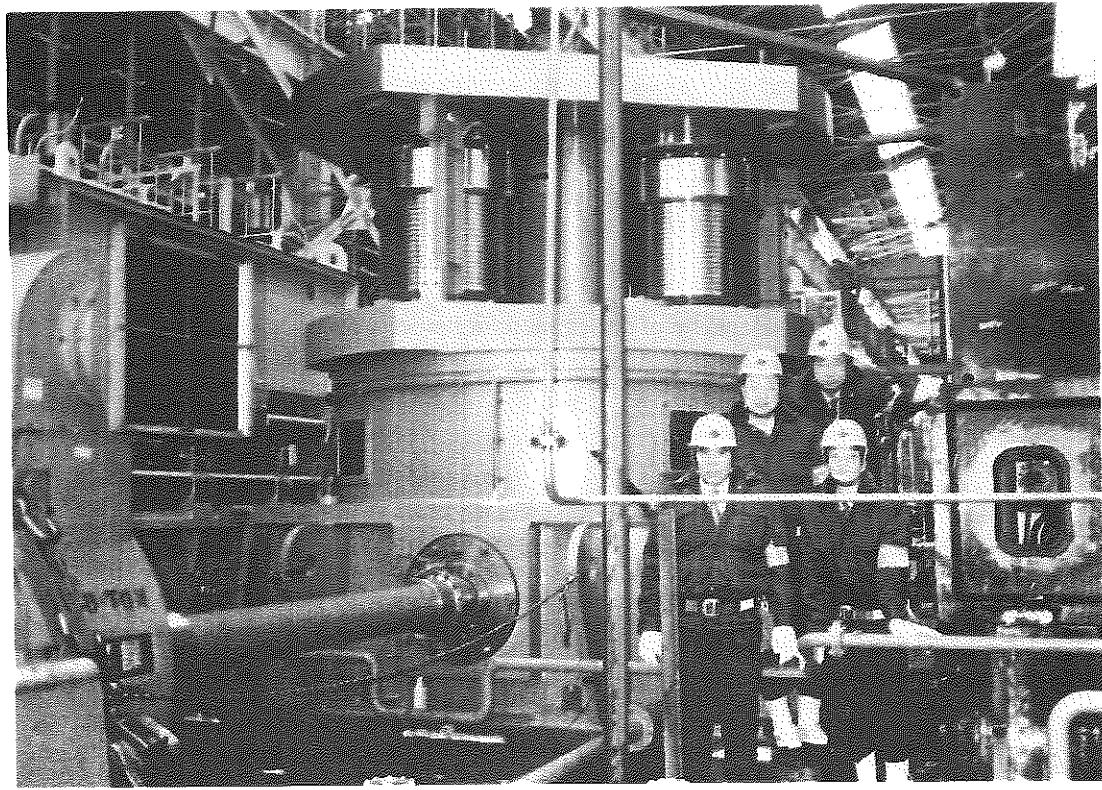


写真2 200Kg規模の実証試験設備

参考文献

- 1)眞目煎：「地球を守る環境技術100選(4-044)」、公害対策技術同友会(環境庁編集協力)編、pp.120-121(2000.6)
- 2)張其武、齋藤文良、眞目煎、増田誠一：粉体工学会誌、VOL. 36、No. 6、pp. 18-23(1999)
- 3)眞目煎、久保敏彦、加納純也、齋藤文良：第141回日本鉄鋼協会春期講演大会、p.199 (2000)
- 4)張其武、齋藤文良、M. Baron、畠田清隆、眞目煎：資源素材学会平成12年度春期大会講演集(II)素材編、p.209 (2000)
- 5)Shu Saeki, Junya Kano, Fumio Saito, Kaoru Shimme, Seiichi Masuda, Tsuyoshi Inoue : J. Mater. Cycles Waste manag., 3, pp. 20-23 (2001)

Al 基複合材料低品位スクラップの クローズド・リサイクル・プロセスの開発*

加藤 慎一**・本村 竜也***

佐野 浩行****・藤澤 敏治****

Development of closed recycling process for low grade scrap of Al-based composite materials

Shinichi KATO, Tatsuya MOTOMURA,
Hiroyuki SANO and Toshiharu FUJISAWA

Closed recycling process for low grade scrap of Al-based composite materials was developed. Flux treatment with water soluble halide is a key technique in this process. In the present work, flux treatment conditions were discussed from the viewpoint of separation and recovery of matrix, reinforce and flux materials. Optimum separation condition was obtained for the NaCl-KCl-KF flux treatment. Recovered aluminum alloy has enough quality for using various materials. Used flux is recyclable for the process by adding a small amount of KF.

1. はじめに

アルミニウム基複合材料は、軽量かつ熱伝導性、耐摩耗性に優れており、ブレーキやエンジン部品などに用いられている。今後もその優れた機械的特性のため、多方面での利用が見込まれ、製造工程での副生物や廃棄物が大量に発生することが予想される。高品位の廃棄物については溶湯に戻して再利用できるが、低品位のものは酸化物などの不純物が混入するためそのまま溶湯に戻すことができない。したがって、リサイクルするためには母材と強化材の分離回収技術が必要とされる。ところが、機能本位で作られた複合材料は、母材／強化材間の分離が困難であるという、リサイクル時の欠点を持ち合わせており、有効なりサイクル技術は確立されていない。

本研究では、代表的な粒子強化複合材料のひとつである、Al-SiC 系複合材料を、水溶性フランクスを用いることにより、母材である Al 合金と強化材である SiC 粒子を、再利用可能な状態で、分離・回収することを目的とした。また、この水溶性フランクス処理を要素技術とした、Fig.1 に示すアルミニウム基複合材料のクローズド・リサイクル・プロセスの開発を目指した。

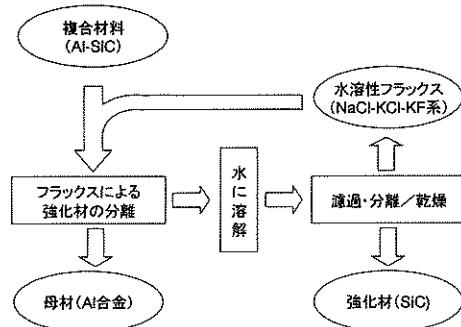


Fig.1 Proposed recycling process flow.

2. 実験方法

廃棄 Al-SiC 系複合材料として、マトリックスに Al-8.5%Si 合金、強化材の SiC 粒子を 20vol%含む、自動車用ディスクブレーキの製造工程で発生した切削屑を使用した。使用した水溶性フランクスと実験温度を Table 1 に示す。実験温度はフランクスの融点が 1023K 以下のものについては 1023K で行い、それ以上のものについてはフランクスの融点より 10K 高い温度を実験温度とした。

Al-SiC 系複合材料と同体積のフランクスを充填した黒鉛坩堝を、所定の温度に昇温した電気炉へセットし、フランクスの溶解後、複合材料の切削屑をフランクス中に投入

*平成 13 年 11 月 1 日 本会第 107 回例会にて発表

**名古屋大学大学院工学研究科材料機能工学専攻

***名古屋大学大学院工学研究科材料機能工学専攻
(現: 日鉱金属(株))

****名古屋大学難処理人工物研究センター
平成 13 年 8 月 27 日受理

した。攪拌・静置をそれぞれ3.6ks行った後、比重差を利用してAl合金とフラックスを分離させた。試料を坩堝から水冷銅モールドに流し込み、急冷した。その後、イオン交換水中にて水溶性のフラックスのみを溶解させ、Al合金を水溶液から回収し、ICP-AESにて組成分析を行った。次にフラックスの溶解した水溶液を濾過し、残渣と濾液に分離した。残渣については乾燥させ質量を測定した後、燃焼電量滴定法により炭素量を定量し、回収SiC量を算出した。また、X線回折分析およびSEM-EDSにより残渣に含まれるSiC以外の不純物を同定した。濾液については、蒸発乾固することによりフラックスを回収し、X線回折分析および陰イオン分析に供して、処理前後の組成を測定した。

Table 1 Fluxes used in this research and experimental temperature.

Flux	Experimental temperature, T / K
NaCl	1083
MgCl ₂	1023
CaCl ₂	1055
CaCl ₂ -32%NaCl	1023
CaCl ₂ -30.4%NaCl-5%KF	1023
CaCl ₂ -28.8%NaCl-10%KF	1023
NaCl-50%KCl	1023
NaCl-45%KCl-10%KF	1023

3. フラックス処理

Fig.2に各フラックスによるSiC回収率を示す。SiC回収率 R_{SiC} は式(1)により算出した。

$$\text{SiC回収率}, R_{\text{SiC}} / \% = \frac{\text{フラックスに移行した SiC 量}}{\text{試料に含まれていた SiC 量}} \times 100 \quad \cdots (1)$$

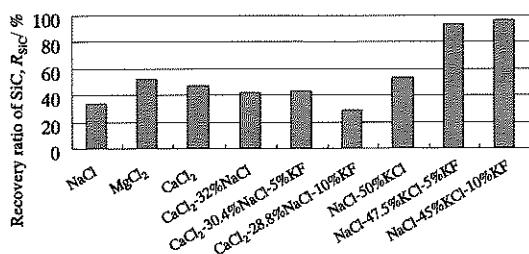


Fig.2 The recovery ratios of SiC by various flux treatments.

3.1 フッ化物を含有しないフラックスでの処理

フッ化物を含有しないフラックスで処理した場合、SiC

回収率はいずれのフラックスにおいても60%以下にとどまった。Al合金は表面に付着物のある小さな粒の状態(Fig.3-a)でしか回収できず、付着物はX線回折分析により、SiC及びAl₂O₃であることが判明した。このままではAl合金の再利用は難しいと考えられる。

3.2 フッ化物を含有するフラックスでの処理

Al合金を塊で回収し、SiC回収率を向上させるためには系の濡れ性を改善させる必要があると考えた。そこでフッ化物がAl合金とフラックスの界面張力を低下させるというデータ⁽¹⁾から、フッ化物をフラックスに添加して実験を行った。添加するフッ化物としては、フラックスの回収段階での水への溶解を考え、溶解度の大きいKFを選択した。

(I) CaCl₂-NaCl-KF系フラックス

CaCl₂-NaCl系のフラックスにKFを5mass%あるいは10mass%添加した結果、Al合金は3.1と同様に表面にSiC、Al₂O₃の付着した粒の状態でしか回収できず、SiC回収率の向上もなく、フッ化物の効果が認められなかった。回収したSiC粒子をX線回折分析に供したところCaF₂の存在を確認できたことから、この系のフラックス処理では、式(2)の反応が起こり、KF添加の効果が現れなかったものと考えられる。



(II) NaCl-KCl-KF系フラックス

次にNaCl-50%KCl系のフラックスにKFを5mass%あるいは10mass%添加して実験を行った。その結果、Al合金は、表面に付着物がない再利用可能な大きな塊の状態(Fig.3-b)で回収することができ、また内部にもSiC粒子は見られず(Fig.4-b)、Fig.2に示すようにSiC回収率も約100%に向上した。この系のフラックス処理では、SiC粒子がフラックス中へ完全に移行しAl粒同士が合体し、塊になったと考えられる。

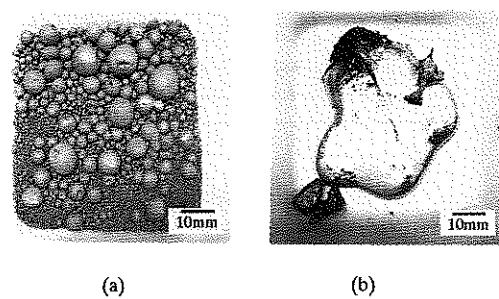


Fig.3 Photographs of recovered aluminum alloys
(a) by the NaCl-50%KCl flux treatment, and
(b) by the NaCl-45%KCl-10%KF flux treatment.

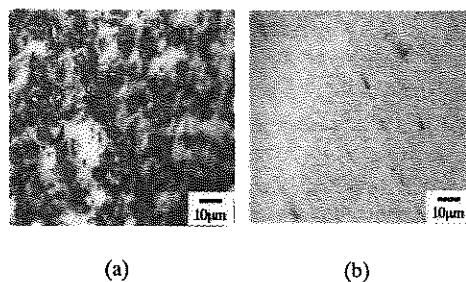


Fig.4 Microscopic photographs of cross section of sample (a) before and (b) after experiment.

回収したフラックスを陰イオン分析に供したところ、処理前に存在したフッ素が存在せず、処理中にフッ化物が消費されていることがわかった。

また、フラックス中の KF 含有量をより少なくしてみたところ、1mass%以上の KF を含めば再利用可能な大きな塊の状態(Fig.3-b)で回収することができたが、それ以下の KF 含有量では小さな粒状(Fig.3-a)でしか回収できなかった。

4. 回収 Al 合金

処理前の Al-SiC 系複合材料の母材である Al 合金と NaCl-45mass%KCl-10mass%KF フラックスにて処理後の回収 Al 合金の組成を Table 2 に示す。

フラックス処理前後における組成変化はほとんど認められなかった。また、フラックスの主成分である Na, K の混入も認められなかったので、フラックス処理により回収した Al 合金は様々な用途に再使用可能だと考えられる。

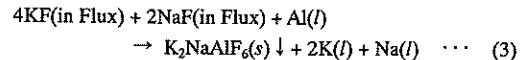
Table 2 Chemical composition of aluminum alloys before and after experiment.

	Content, C x / mass%	
	before	after
Si	10.3	10.4
Mg	0.32	0.26
Fe	0.40	0.42
Ti	0.11	0.09

5. 回収 SiC 粒子

5.1 回収 SiC 粒子の不純物の同定

フラックス処理により回収した SiC 粒子を X 線回折分析に供したところ、SiC とともに K_2NaAlF_6 が確認された。この K_2NaAlF_6 は式(3)の反応により生成したものと考えられる。



なお、式(3)中の NaF の生成については 6.1 で詳述する。

また、回収した SiC 粉末を SEM-EDS に供することにより、 Al_2O_3 の混入も確認されたが、これは Al 合金の表面酸化皮膜ならびにフラックス処理中の Al 合金の酸化によるものだと考えられる。

5.2 Al_2O_3 混入の制御

前処理による Al 合金の酸化膜の除去は困難である。また、フラックスの前処理や雰囲気制御によっても、 Al_2O_3 の生成を完全に抑制することはできなかった。そこで、SiC からの Al_2O_3 の分離を考え、浮遊選鉱の手法を試みたが、現在のところ分離には至っていない。

5.3 K_2NaAlF_6 混入の制御

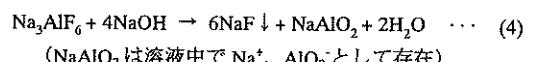
K_2NaAlF_6 の生成を抑制するためには、KF を含まないフラックスを用いて処理をすれば良いが、SiC 粒子の回収率は格段に落ちる。このため、 K_2NaAlF_6 の生成を完全に抑制することは不可能だと考えられる。そこで、 K_2NaAlF_6 と同様の性質を持つと考えられる Na_3AlF_6 がアルカリ水溶液に溶解する性質を持つことから、 K_2NaAlF_6 をアルカリ水溶液に溶解除去することを検討した。

回収した SiC 粒子を NaOH 水溶液で洗浄し、濾過残渣を SEM-EDS で分析すると Na, K, F は SiC 粒子中に存在せず、 K_2NaAlF_6 を SiC 粒子から分離できることが分かった。

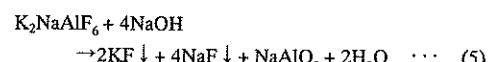
5.4 K_2NaAlF_6 からのフッ化物の回収

NaCl-KCl-KF 系 フラックスによる処理で生成する K_2NaAlF_6 からの、KF, NaF の回収を試みた。本研究により回収できる粉末中の K_2NaAlF_6 は微量であるため、よく似た性質を持つと予想される Na_3AlF_6 を用いて検討した。

前節より K_2NaAlF_6 は NaOH 水溶液に溶解する。同様に Na_3AlF_6 も NaOH 水溶液に溶解するが、過剰に NaOH 水溶液を加えると、式(4)の反応により、NaF の沈殿が生じることが分かった。



のことから回収した K_2NaAlF_6 では式(5)の反応が生じると考えられる。



以上のことより、回収した SiC 粒子中の K_2NaAlF_6 は NaOH 水溶液で処理することにより、KF, NaF として回収可能だと考えられる。

なお、今回の実験では添加するアルカリフッ化物を KF としたが、NaF 添加の場合も KF 添加の場合と同様の効果が得られることが確認されている。以上のことより、回収 SiC 中の K_2NaAlF_6 は KF, NaF の形でフラックス成分として回収可能だと考えられる。

6. フラックス組成の変化

回収したフラックスを調査し、再使用可能かどうか検討した。

6.1 フラックス成分

実験前後の NaCl-45mass%KCl-10mass%KF フラックスを X 線回折分析に供した結果を Fig.5 に示す。ここで実験前のフラックスとしては、フラックスの各成分を黒鉛坩堝へ入れ、1023K にて 1 時間保持した後、水冷銅モールドへ流し込み凝固させ、碎いて粉末にしたもの用いた。

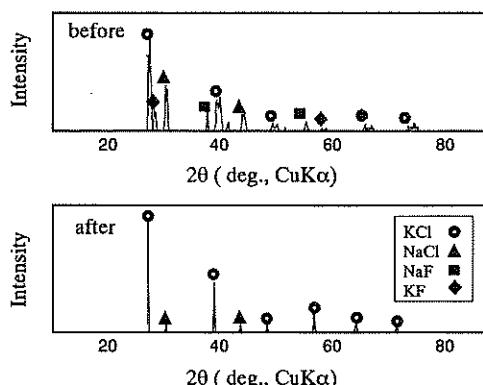
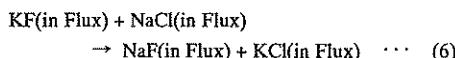


Fig.5 X-ray diffraction patterns of flux before and after experiment.

実験前のフラックスでは、NaF, KF のピークが確認できるが、実験後のフラックスではこれらのピークがなくなっている。ここで、実験前のフラックスに NaF のピークが含まれているのは、フラックス中の NaCl, KCl が式(6)に示す F の交換反応を起こしたためと考えられる。



フラックス処理により、どの程度フッ化物が消費されたのか調べるために、処理前後のフラックス中フッ素濃度と、回収 SiC 粉末に含まれていたフッ素濃度を測定し、Fig.6 に示す。

処理前のフラックス中に存在していたフッ素が、処理後 (●)にはほとんど存在していないことが分かる。

フラックス中の NaF, KF が存在しなくなった事については、5.1 で述べたとおり、フラックス処理中にアルカリフッ化物が消費されてしまうためである。したがって、処理後のフラックスをリサイクルプロセスで再使用するためには、アルカリフッ化物を再添加する必要がある。5.4 において、回収された SiC 粒子 (■) から K_2NaAlF_6 を除去する際に、NaF, KF が回収できることが分かっている。そこで、リサイクルプロセスとしては、回収 SiC 粒子中の不純物である K_2NaAlF_6 から回収できる NaF, KF を、回収したフラックスに添加することが有望だと考えられる。

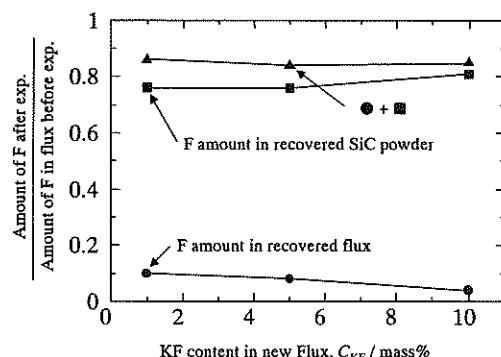


Fig.6 Behavior of fluorine.

6.2 アルカリフッ化物添加時期の影響

フラックスの成分として KF を一定量含まなくては、SiC 粒子の十分な分離除去ができない。しかも、フラックス処理中に、アルカリフッ化物は反応し、消費される。

これまでの方法では、アルカリフッ化物を含んだ溶融フラックス中に、廃棄複合材料を投入していた。そのため、フラックス浴に投入された複合材料の切削屑が、フラックス浴中のアルカリフッ化物と順次反応していったものと考えられる。つまり、KF を十分含んでいないフラックスの場合には、初期の段階でフッ化物が消費され、複合材料の投入終了までアルカリフッ化物による界面活性剤としての効果が継続しなかったものと考えられる。

そこで、最初に KF 無添加のフラックス中で複合材料を溶解させ、その後に KF を添加することにより、界面活性剤の効果を保つつつ、アルカリフッ化物の使用量を削減することを試みた。実験条件として、初期のフラックスとして NaCl-50mass%KCl を用い、複合材料溶解後、KF をフラックス全体の 0.25, 0.5, 1mass% となるようにそれぞれ添加して、その影響を調べた。

回収した Al 合金の形状を Fig.7 に示す。アルカリフッ化物を始めから配合した実験結果では、KF を 1mass% 以上含まないと、Al 合金を大きな塊でなく小さな粒状でしか回収

できず、SiC の回収率もあまりよくなかった。ところが今回の実験では、KF 添加量が 1mass% 以下の条件であっても、Al 合金を大きな塊で回収できた。したがって、アルカリフッ化物を複合材料の溶解後に投入することで、十分な分離・回収を達成するとともに、アルカリフッ化物の使用量を削減することができる。また、アルカリフッ化物の使用量を減らしたことにより、従来の方法ではできなかった K_2NaAlF_6 の生成の抑制も可能だと考えられる。

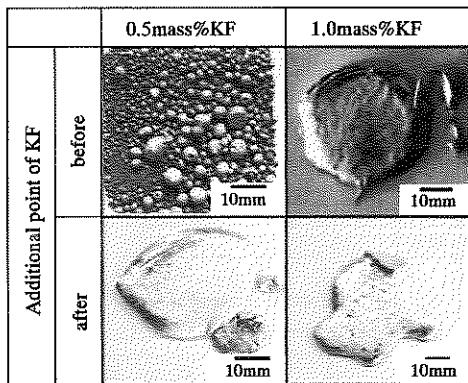


Fig.7 Appearance of recovered aluminum alloy.

6.3 フラックス量の影響

実操業を考えた場合、フラックスを溶融状態にするためのエネルギー、処理後のフラックス水溶液の水分を蒸発させて、固体でフラックスを回収するためのエネルギーが問題となる。このことを考えるとより少量のフラックスで処理できることが望まれる。そこで、処理に必要なフラックス量を検討した。実験条件として、フラックス量を複合材料に対する体積%で 70%, 50%, 30%とした。

70% と 50% の場合には、SiC 粒子はほぼ全てフラックス中へ移行したが、30% の時は Al 合金内部に少量の SiC 粒子が確認された。これにより、30% の場合にはフラックスの SiC 粒子の回収キャパシティーを超えたと考えられる。

また、フラックス量を減少させるにつれ、フラックスの流動性が落ちていった。これは、フラックス内部に取り込まれた SiC 粒子の量が増大したためと考えられる。

7. リサイクルプロセスフロー

これまでの知見をもとに描いた、実操業で想定されるリサイクルプロセスフローを Fig. 8 に示す。

- ① 電気炉で NaCl-KCl 系フラックスを溶融させ、そこへ Al-SiC 系複合材料の廃棄物を投入する。
- ② Al 合金はこの系のフラックス中で、小さな粒状で存在する。
- ③ 電気炉内へ、アルカリフッ化物を添加する。それにより、Al 合金粒表面の SiC 粒子がフラックス中へ移行し、Al 粒同士の合体がおこる。
- ④ この時点で、溶融 Al 合金と溶融フラックスは、上下に 2 相で存在する。
- ⑤ フラックス相には SiC, Al_2O_3 , K_2NaAlF_6 (NaF , KF と Al 合金の反応により生成) が存在する。
- ⑥ 上相のフラックス相を搔き出すとともに、電気炉下部より、溶融状態の Al 合金を流し出し、Al 合金インゴットとして回収する。
- ⑦ 搔き出したフラックスは水に溶解させる。
- ⑧ フラックス相に存在した SiC, Al_2O_3 , K_2NaAlF_6 は、水に不溶であるため、水溶液を濾過することにより、これらの物質と、フラックスの成分である $NaCl$ と KCl の溶解した水溶液に分離することができる。
- ⑨ 溶液を蒸発させ、 $NaCl$ と KCl を固体で回収する。
- ⑩ 固体のフラックスを再び電気炉に戻し、再利用する。
- ⑪ 残渣は $NaOH$ 溶液に浸し、残渣中の K_2NaAlF_6 を分解する。
- ⑫ $NaOH$ 溶液中で分解することにより、 K_2NaAlF_6 を NaF , KF として溶液中に沈殿させる。
- ⑬ $NaOH$ 溶液中に存在する SiC, Al_2O_3 , NaF , KF を、濾過することにより、溶液から取り出し、水へ浸す。
- ⑭ 水溶性の NaF , KF は水へ溶解するため、溶液を濾過することにより、残渣となる SiC, Al_2O_3 と NaF , KF の溶解した水溶液に分離する。
- ⑮ NaF , KF の水溶液を蒸発させ、固体の NaF , KF を回収し、 NaF , KF 添加の工程において、再利用する。

最後の残渣となる SiC と Al_2O_3 については今回の研究においては、両者の分離が困難であった。以上が、今回の研究で得られた結果をもとに想定したリサイクル・プロセスである。

参考文献

- [1] T.A.Utigard, K.Friesen, R.R.Roy, J.J.Lim, A.Silny, and C.Dupuis: JOM, 49, No.11, (1998).

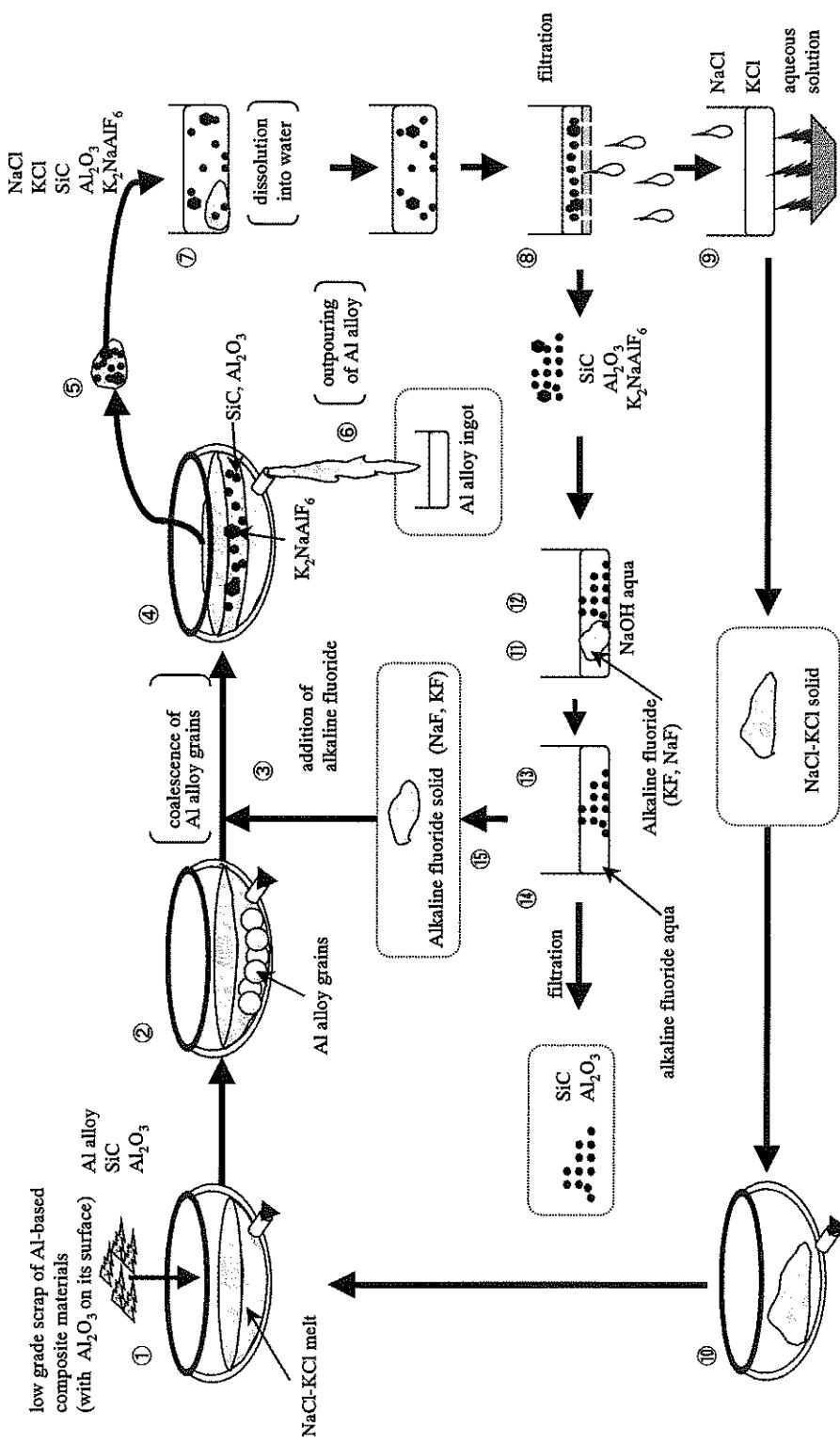


Fig. 8 Recycle process flow considering the present result.

使用済みパソコンのリサイクル*

樋口裕昭**

Recycling of Used Personal Computer

Hiroaki HIGUCHI

1.はじめに

今日、地球環境問題や廃棄物・リサイクル問題がほとんど毎日、新聞、テレビで取り上げられ、環境に対する国民的意識はひじょうな高まりを見せてている。これまでの日本の経済システムを省みると、大量消費、大量消費、大量廃棄型のシステムであったが、周囲の状況から政府においても環境経済ビジョンにおいて、リデュース(Reduce:廃棄物の抑制)、リユース(Reuse:再使用)、リサイクル(Recycle:再資源)の3Rの概念を明確にした。さらに「循環型経済社会構築推進法」、「資源有効利用促進法」、「家電リサイクル法」などのリサイクル関連法の整備を進め、循環型社会の構築を目指す取組を開始した。

最近では、大量生産の製品の代表的なもの一つとして、パーソナルコンピュータ(パソコン)があげられている。1995年のパソコンのオペレーションシステムである「Windows 95」の発表を契機にインターネット、電子メールの普及が急速に広がり、パソコンの利用が拡大し、その国内販売台数は1999年度でほぼ1,000万台、2000年度には1,210万台に到達する結果となった。パソコン国内販売台数の推移を図1にしめす。

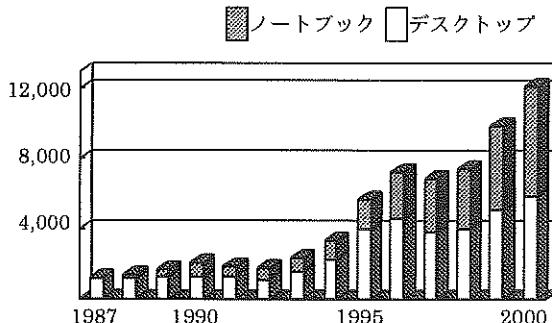


图1 国内販売台数推移

* 平成13年11月1日本会第107回例会において発表

**富士通株式会社 環境本部 環境技術推進センター

平成13年8月23日受理

このような状況のもとで、使用済みパソコンとして企業および家庭からの廃棄される量をアンケート調査などを基に予測したものが図2のようになる。調査の結果、企業から廃棄されるパソコンの使用年数は平均5~6年であり、家庭からは10年以上と推定されている。

1995年以降の販売台数の急増は、1998年から2000年にかけての廃棄量の急増につながり、その後パソコンの小型化、軽量化、企業および家庭からの廃棄されるまでの使用年数の分布などにより、2000年の年間約8万トンから2006年の年間約10万トンへと推移することが予想される。

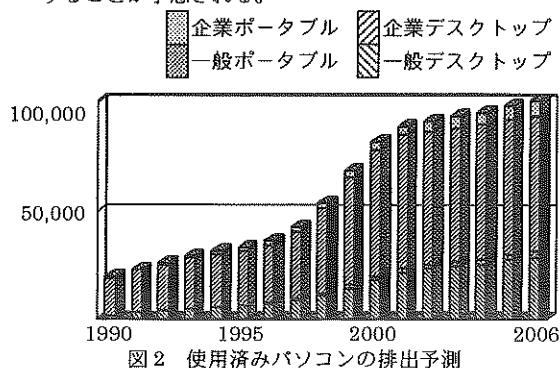


图2 使用済みパソコンの排出予測

このような状況で、前述の「資源有効利用促進法」(平成13年4月施行)において、パソコンは指定省資源製品(Reduce)，指定再利用促進製品(Reuse)，指定再資源化製品(Recycle)に指定され、環境対応設計、製造および使用済みパソコンの回収・リサイクルがメーカーに義務づけられた。

当社では、法律の制定を先取りし、製品の設計・開発の段階の対応から、企業から排出される使用済みパソコン・その他OA機器の廃棄・リサイクルまでの一貫した「富士通リサイクルシステム」を構築している。

設計・開発段階では製品環境アセスメントの実施、グリーン製品を開発に取り組み、廃棄段階では、全国をカバーする物流網の構築とともに5カ所のリサイクルセンターを1995年より設置し、稼働している。今後は「資源有効利用促進法」に基づき、家庭で使用さ

れたパソコンの回収・リサイクルおよび使用済みパソコンから取り出された部品のリユースを推進していく。

2. 富士通リサイクルシステム

当社では、「地球環境と人間活動の調和という人類共通の目的に向けて、当社の持てるテクノロジーと創造力を十分に発揮していく」という「富士通環境憲章」の基本理念のもと、地球環境保全を経営の重要な課題に位置づけている。さらに、製品については研究・開発段階から廃棄・リサイクルまで多面的かつ総合的に取り組む「富士通リサイクルシステム」を構築している。

狙いは「循環型経済社会」の考えに立った、環境を配慮した製品の設計・開発および廃棄物削減とその適正処理・資源の活用であり、このリサイクルシステムの構築で、開発からリサイクル・廃棄までの製品ライフに総合的な検討を加え、廃製品の効率的な収集と解体・分別によるリサイクルの向上をめざした。

1994 年度から「富士通リサイクルシステム」の構築に取り組み、1995 年 4 月に最初のリサイクルセンターを、1997 年 7 月第 5 番目のリサイクルセンターの設立して、全国をカバーするリサイクルシステムが完成した。

さらに、2000 年に策定された「環境行動計画」(第三期)の項目に掲げ、2002 年度末までに新規開発のすべての製品を、グリーン製品(環境配慮強化製品)として提供、社内で製造する製品の鉛はんだを 2002 年末までに全廃および回収した使用済み製品の資源再利用率を 2003 年度末までに 90% 達成などを目標とし、活動に取り組んでいる。

2.1 富士通リサイクルシステムの概要

このシステムは富士通製品の上流から下流までを統合的に管理し、富士通の設計・開発技術、物流システムと廃製品処理技術を活かし、環境配慮型製品の設計・開発、廃棄物の削減と適正処理を目的とするシステムである(図 3)。

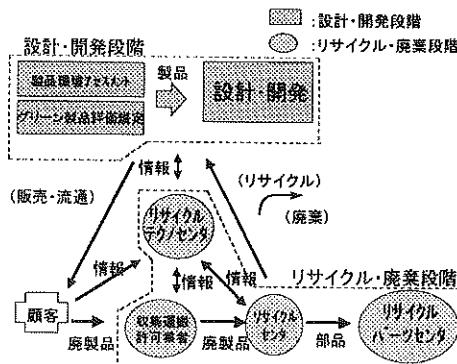


図 3 富士通リサイクルシステム

このシステムの流れについて述べる。

新しく設計・開発された製品は環境の対応についての評価をする製品環境アセスメントが実施され、その後流通経路を経て顧客や社内で使用される。使用後、企業から排出される使用済製品は廃棄物の収集運搬の許可を受けている物流業者により収集され、その後前述の物流業者によりリサイクルセンターに送られる。リサイクルセンターに集められた使用済み製品は、解体・分別された後、リサイクル、再利用、廃棄の処理がなされる。

各段階でのリサイクルに関する情報も総合的に管理されている。

a) 設計・開発(製品環境アセスメント)

環境汚染の未然防止や環境負荷の低減をめざした「地球環境に優しい商品づくり」を実践するため、製品の設計・開発段階または試作製品製造段階において、社内規格『製品環境アセスメント規定』に基づき、製品の環境に対する配慮を事前評価している。

製品環境アセスメント規定では以下の 9 つの大項目について評価を行うことを規定している。

- (1)環境関連法律の遵守
- (2)環境保全性
- (3)省資源化
- (4)省エネルギー
- (5)再資源化
- (6)処理・処分の容易性
- (7)収集と運搬の容易性
- (8)情報の開示
- (9)包装

これら 9 つの大項目のおおのに評価項目が規定され、合計 45 の小項目について事前評価を行っている。

45 項目での評価内容としては、①規制物質の使用状況、②ニカド電池のリサイクルマーク表示および取り外しの容易性、③部品の再使用、④再生容易なプラスチックの使用、⑤再生紙の使用、⑥包装材料、等がある。リサイクルに着目すると、①複合部品の削減、②分離・分解の容易性、③プラスチック部品の材料表示、などがあげられる。

これら 45 項目は、そのおおのについて、重要度を考慮し、さらに 5 段階の評価判断基準を設定し、最終的に重要項目の対応レベルおよび総合評価点で合否の判定をしている。不合格レベルの項目の有無および総合評価点で不合格と判定された製品は、再設計が義務付けられている。

環境製品アセスメントの実施とともに、1998年10月から、より環境対応を更に推進した製品をグリーン製品として位置付け、市場への投入を開始し、前述のように将来はすべての新製品をグリーン製品化し、市場に提供する。グリーン製品としての基準は環境製品アセスメントの総合評価でかなり高いものが要求されている。また、追加基準として省資源化対策、有害物質の使用、リサイクル設計対応等の計27項目を全製品対象の基準およびパソコン特有の14項目をすべて満足することが必須となっている。

b) 回収システム

廃棄物を輸送するためには行政機関より該当廃棄物を輸送する許可を取得した業者のみが行うことが出来る。本システムにおいては、リサイクルセンターの近隣の輸送許可を取得している物流業者と提携し、顧客の使用済み製品の輸送をしている。

c) リサイクルセンター

リサイクルセンターは、物流業者により送られてきた廃製品を回収し、それらを解体・分別し、処理を行うことを目的としており、全国に次の5つのリサイクルセンターを設置している。

- (1) 北日本リサイクルセンター：宮城県仙台市
- (2) 首都圏リサイクルセンター：神奈川県相模原市
- (3) 中部リサイクルセンター：岐阜県海津郡
- (4) 西日本リサイクルセンター：兵庫県加古川市
- (5) 九州リサイクルセンター：佐賀県鳥栖市



図4 リサイクルセンター

リサイクルセンターに回収される製品は数年前に長い期間にわたり出荷された形もサイズも異なったものであり、同じものを一度に多量に製造することと違い、自動作業ラインの設置は難しく、経済的にもメリットはあまり考えられない。従って、リサイクルセンターではリサイクル率を高め、できる限り廃棄物を少なくするため、原則として、手作業による分別・解体を行

っている。

リサイクルセンターの役割は次のとおりである。

- (1) 物流業者からの廃製品を収集。
- (2) リサイクルテクノセンターで検証した解体・分別手法を参考に、各廃製品を有価物、廃棄物、再使用品に分類。
- (3) 有価物、廃棄物を処理業者に処理を依頼。
- (4) リサイクルテクノセンターへのリサイクル情報提供。

d) リサイクルバーツセンター

リサイクルセンターの中に設置し、廃製品から取り出された再使用可能な部品の有効利用を図ることを目的としている。

リサイクルバーツセンターの役割は次のとおりである。

- (1) 再使用可能製品・部品の取出しと保管。
- (2) 再使用可能製品・部品の利用部門への送付。
- (3) 取り出し、保管した再使用可能製品・部品情報をリサイクルテクノセンターへの提供。

e) リサイクルテクノセンター

富士通リサイクルシステムがスムーズに稼働するよう管理する部門であり、リサイクル情報の管理やリサイクルに関する技術を開発している。

リサイクルテクノセンターの役割は次のとおりである。

- (1) 富士通リサイクルシステムの管理
各物流業者、収集ターミナルおよびリサイクルセンターからの処理情報や運用状況を把握し、リサイクルシステムを管理する。
- (2) リサイクル情報(技術)の管理・提供
廃製品の再使用・利用・再生・解体手法等のリサイクル技術の開発やその検証を行い、各リサイクルセンターへ情報(技術)を提供する。
- (3) 将来を睨んだ環境技術の開発
 - 1) 製品の環境負荷評価
環境負荷評価基準となるLCA(ライフサイクルアセスメント)評価技術の調査・開発。
 - 2) 環境配慮型製品・グリーン製品の開発支援
 - 3) 廃プラスチック再利用技術の開発
廃製品で使用されているプラスチックの再生部品の材料とする技術の確立。
- (4) リサイクルバーツ情報の管理・提供

2.2 リサイクル状況

a) 使用済みパソコンの処理

デスクトップ本体の解体手順を図5に示す。

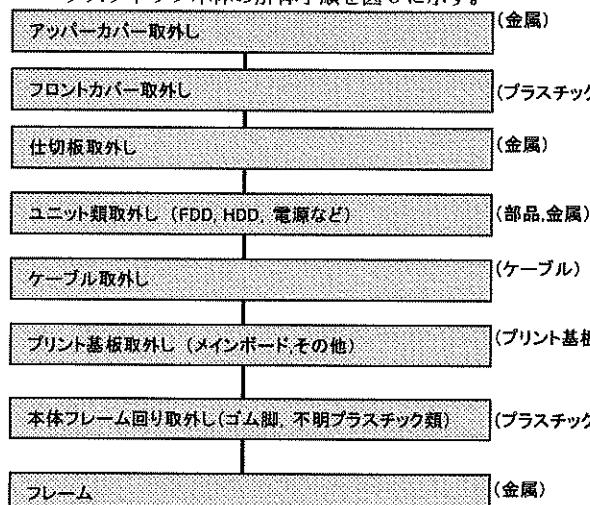


図5 パソコンの解体手順

解体・分別はすべて手作業で行い、資源の有効利用の観点から、可能な限り原材料としての回収・再資源化と部品の再使用による廃棄物処分量の削減を図っている。作業は解体手順の標準化を図り、一台あたりの解体時間を約15分に短縮している。

解体したものは、金属・プリント板・プラスチック・CRT・ケーブル・電源部品など細かく分類し、それぞれの専門処理業者に再資源化を委託している。また、部品類は保守・修理用リユース部品として再利用している。解体部材の流れを図6に示す。

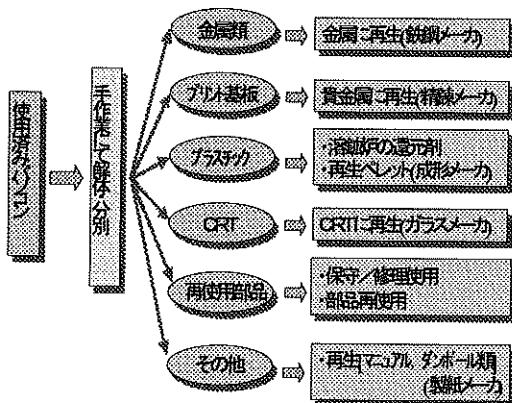


図6 解体部材の流れ

b) リユース

環境負荷の低減の観点から、リサイクルの最適手法は製品・部品の再使用(リユース)である。パソコンの製品寿命は、そのテクノロジー、ソフトウェアの進歩の速度から非常に短くなってしまっており、製造を終息した製品が市場で使用され、そのため必要な保守・修理部品が枯渇するケースが発生している。この状況への対応のため、部品のリユースシステムを構築・運用している。

保守部門からの部品要求をWeb上に公開し、リサイクルセンターでの解体・分別時に優先的に要求部品を収集するシステムである。部品は機能・信頼性試験を実施し、再使用する。今後は社内での再使用のみではなく、中古部品市場の育成・拡大を目指していきたい。

c) マテリアルリサイクル

金属類に原材料へのリサイクルが生成処理業者によって、広く行われている。しかし、パソコンには、多くのプラスチックが使用されており、製品識別表示ラベルの貼り付け、インサートねじによる締結構造になっており、マテリアルリサイクルを困難にしている。大部分のプラスチックは粉碎し、溶鉱炉での還元剤として利用しているが、マテリアルリサイクルの実現に向け、ラベルやインサートねじの除去、再生プラスチックの品質評価などに取り組んでいる。

d) リサイクル実績

システム構築前は回収した廃製品の殆どを処理業者に廃棄処分を委託していた。富士通リサイクルシステムを構築し、最初のリサイクルセンターが1995年に業務を開始してから初年度は45%、2年度は50%、5カ所のセンターの構築を完了した1997年度は86%の使用済み製品の全体回収量に対してのリサイクル率を達成し、1999年度には第二次行動計画の目標90%を達成した。リサイクルセンターでの回収量とリサイクル率を図7にしめす。

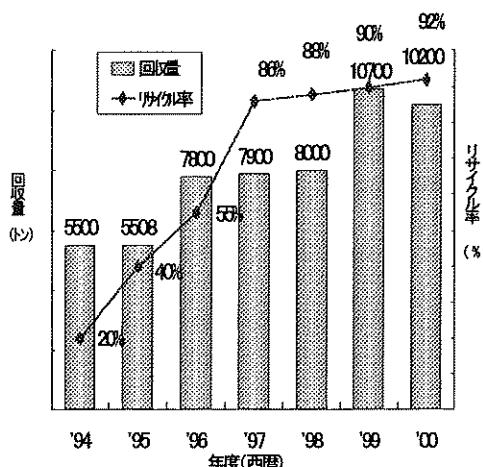


図7 回収量とリサイクル率の推移

パソコン単体のリサイクル率については今まで管理されていないが、デスクトップパソコンでは95%以上の再資源化を達成している。

3. 新法対応の取り組み

今までの「富士通リサイクルシステム」で取り組んでいたパソコンは企業で使用済みとなったものである。「資源有効利用促進法」の制定により、一般家庭から排出される使用済みパソコンの回収・リサイクルも義務づけられた。パソコンの設計においては、企業向け、一般家庭向けと使用者によりその内容を原則的には変えてはいない。従って、使用済み製品が回収され、リサイクルを実施する段階での対応も区別して実施する必要は無い。問題としては、回収があげられる。企業から排出される使用済み製品は、一度に大量に排出されることが多い。また、企業の所在地も比較的都市にあることが多く、専用の物流手段を用意し、または数カ所からの回収を容易に行うことが出来る。一方一般家庭から排出される使用済み製品はそのほとんどが1台または1セットであり、また限られた地域からまとまった数が排出されることはない。一般家庭を対象にした回収システムを既存のインフラを活用し、出来るだけコストの安いシステムを構築する必要がある。図8に回収システム案を示す。

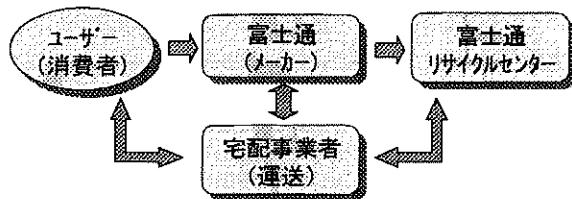


図8 家庭系パソコンの回収システム(案)

4. むすび

資源有効利用促進法を遵守し、使用済みパソコンのリサイクルを促進するため、更なる体制の強化、リユースの拡大、回収量の拡大が課題である。その解決のため、ドキュメントの整備、技術開発の強化、リユース部品情報の充実、顧客の理解と協力依頼などが必要である。

今後ともグループを挙げて使用済みパソコンの回収・リサイクルを通して、資源の再利用、埋め立てゼロを目指すとともに、関連各位との連携を深め、「資源循環型社会」の実現に取り組んで行きたい。

人と地球を考えたものづくり*

石田秀輝**

People and the Earth Conscious Materials and Manufacturing

E. H. Ishida

1.はじめに

2001年は21世紀の初年度という歴史的な年であるとともに、我々人間が一つの種としてこれからどうやってこの地球で生きて行くのかを真剣に考えなければならぬ極めて重要な世紀の初年度であると思っている。

アメリカは、二酸化炭素の削減目標を定めた京都議定書に異論を唱え、EU連合と真っ向から対立し始めた（少なくとも、この原稿を書いている6月中旬時点では）。蚊帳の外（？）に描かれた日本はウロウロするばかりで、先進国、途上国双方からの板挟み状態にある。なにやら焦臭い雰囲気が漂ってきた。しかしながら、よくよく考えれば、アメリカとEU連合は、200を遙かに越える地球上の国々の中で鎖国が出来る極めて希な国であることでも事実である。穿った見方をすれば、環境の世紀の勝ち組として、どちらが世界を主導するのかという綱引きを展開しているように見えてならない。

一人の「生活者」として、地球環境が身近な問題として大きなウェートを占めてきた。一方、「ものつくりを進める技術屋（工学者）」としてその価値を常に問う続ける必要も痛感している。資源も食糧も自給できない、鎖国の出来ないモンスーン地帯に存在するアジア唯一の先進国日本、その責任として、我々は何に原点を置いてものつくりを進めることができるのだろうか？ ここでは、そんなことを考えてみたい。

2. 第3次産業革命を起こさなくては…①-⑥

現在、我々が直面している環境問題、それは種の存続の危機とも言える。我々は、過去に2度その危機に直面し、欲望と技術革新によって共に切り抜けてきた。

第1次産業革命、定住と食料の革命、そのDriving Forceは自然の驚異に対する生への欲望だった。1万4500年前、ウルム氷期が終わり後氷期と言われる温暖な気候へ移行が始まり、50年間で7℃と言う異常な温暖化が起こった。このような変化に、自然生態系はついて行けず、氷河期栄えた針葉樹林は一瞬のうちに無くなってしまった。かといってこのような変化に、自然生態系はついて行け

けず、氷河期栄えた針葉樹林は一瞬のうちに無くなってしまった。かといって温暖な気候に適した落葉広葉樹の生態系は安定せず、森は荒涼として大半のマンモスは絶滅し、我々の祖先は絶滅の危機に瀕した（Fig.1）。DNAの研究では少なく見積もって40人、多くとも1万人程度の個体数に激減したそうである。何とか生き延びた我々の先達は、その後、ドングリ等の木の実が沢山のなる落葉広葉樹の森が広がると、森の恵み（土、水、火）から土器をつくり定住革命を始めた。土器は異なる種類の食材を煮て一緒に食べることを可能にし、煮ることで、普通には食べられないものを食べられるようにした、「食料革命」である。そしてこの気候変動がさらに農業革命を起こすことになる。

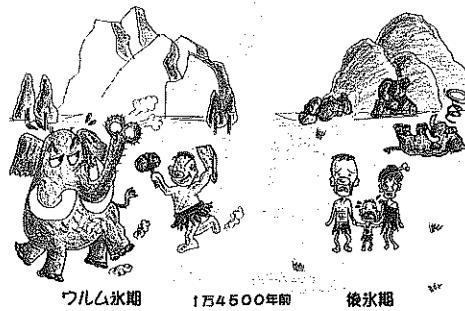


Fig.1 人類存続の危機から回生した第1次産業革命

第2次産業革命、エネルギー革命、そのDriving Forceは人間の欲望の解放だったのではないだろうか。18C半ば、イギリスを中心にして起こった産業革命は、資本・技術・労働力・資源と言う条件が満足された瞬間に始まった。公害の原点ともなったブラックカントリー等、多くの問題を含みながらも、それは20世紀の人類の繁栄を築く土台となったことは事実である。

そして今、その結果として、人類の存続を左右する時代に突入した。いつまで我々がこの地球の上に「種」として存在できるのかという命題こそが環境問題であり、これにどう立ち向かうのかを早急に決めなくてはならない。第1次、第2次産業革命は共に人類の危機からの回生であった。第1次では、強烈な気候変動から人類存続

*平成13年11月1日 本会第107回例会において発表

**株式会社 INAX 技術統括部 基礎研究所

平成13年8月23日受理

の危機に陥り、第2次ではヨーロッパの森林資源＝エネルギー資源の枯渇からの技術革新が危機を救った。今始めなければならない第3次産業革命、環境革命は、今まで危機を乗り越えてきた源であった欲望を逆にコントロールしなければならないという、人類史上はじめての試練とも言える。「技術革新」と「人の心」の融合という、従来とは全く異なるアプローチ、新しい工学を生み出せるかどうかに掛かっているのではないかろうか。

3. 人と地球を考えた新しいものづくり

1992年、MITのMeadowsらは、環境に対して大きな政策の変更がなければ、2015年頃に経済はさまざまな限界のために成長を中止し、逆戻りすることを示した(Beyond the Limits)⁷⁾。すなわち、消費が成長のエンジンであり、我々は成長の限界に向かって幾何級数的な勢いで全力で向かっていることを示したのである。限界を超えれば、その後に迎えるものは衰退しかない。社会構造の崩壊である。2015年頃に限界を迎えるかどうかについては、異論を唱える意見も多いが、成長の限界に向かって全速で進んでいることにはどうも間違いないらしい。

これを避けるための、唯一の方法が循環型社会の創出と言われている(Fig.2)。図に表すと極めてシンプルであるが、故に多くの誤解があるのも事実である。

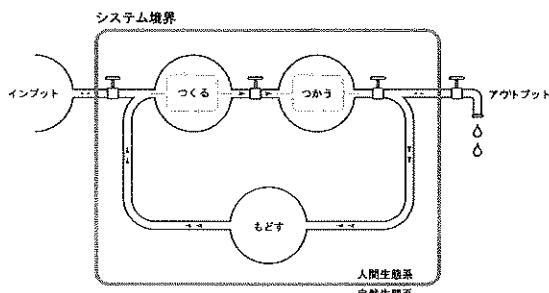


Fig.2 不可避の循環型社会 インプットを1/20にできるか？

我々は文明を持ったとき(14,500年前?)から自然生態系との間に境界を造ってしまった。ものつくりという範囲で考えるなら、我々が生きて行くためには、どんな言い訳をしようとも必ず自然生態系から資源やエネルギーを人間生態系に持ち込み、人にとって快適性があったり利便性があるものに変換し、不要になったら自然生態系へ廃棄物や排気ガスなどとして放出してきた。これを止めて、一度取り込んだものを何度も循環させようと言うのが循環型社会である。この循環を満足させるためには、まずインプットを如何に絞り込めるかが重要となる。インプットが小さくなるからアウトプットも小さくなる、それでも必ず発生するアウトプットだけを用いて

例えば新しい材料を合成する。これが循環型社会創出の基本原理だと理解している。

では、インプットをどこまで絞り込めば成長の限界を先へ延ばすことが出来るのだろうか? シュミット・ブレークは世界中の物質の流れを50%縮小することが必要であり、そのために50年という期間を設定するなら先進国はファクター10の脱物質化(物質の流れを1/10にする)が必要であるとしている⁸⁾。実際のところ、産業経済活動の地球に与える影響を半減するにはファクター20程度が必要とされているのも事実である⁹⁾。

脱物質化の責を從来の社会通念の延長である「つくる」部分だけが負うのであれば1/20の脱物質化は飛び越えることの出来ない極めて高いハードルとなってしまう可能性がある。しかしながら、技術革新により「つくる」部分で1/3の脱物質化を達成し、これに続く「つかう」部分で新しいサービスや機能付加で1/3を、さらに「もどす」で1/3を達成できるなら $[1/3]^3=1/27$ も夢ではない。これは、「つくる」「つかう」「もどす」が一つとなつた新しいものづくりの文化である。「つかう」「もどす」を考えたものづくり、ものの流れを割らねばならない。このような、新しい文化は新しい商流も生み出すかも知れない。たとえば、「もどす」までが一つの流れになるのであれば、生活者はモノを購入するのではなく、従来考えられなかった耐久消費財でありリースという形態を取り得るのである。

では、このような循環文化の創出が直面している危機を救うのであろうか? 筆者はこれだけでは不十分と考えている。このような地球への負荷を軽減することのみが「新しいものづくり」と定義できるなら(むろんこれだけでも極めて困難を要する挑戦になるが)、ものをつくれないのが地球への負荷を低減させる最良の道、という結論も選択肢の中にはあるはずである。むろん極論であり、この選択は産業構造の崩壊を異なる切り口から促進することにもなりかねないが、議論する価値はある。何故、我々はものをつくるなければならないか?それを欲するものがあるからである。人は、一度得た快適性や利便性を容易に放棄できない性質を持っている。それを筆者は「生活価値の不可逆性」と呼んでいる。物欲だけではなく精神欲も含めてである。江戸時代が、現在より循環型社会に近かったとしても、我々はその時代と同じ境遇に戻ることは出来ないのである。行き着くところまで行ったら戻らなければならない、しかし、生活価値の不可逆性を肯定するなら、もどるためにには、大きな苦痛や忍耐が必要となってくる。江戸時代を学ぶことは出来ても、戻ることは容易ではない。

このような、欲望の構造はどうやら遺伝子に刷り込まれているようである。最近のDNA分析結果から、旧人

と呼ばれたネアンデルタール人は 20 万年ほど前に発生したと考えられる我々の先祖である現代型新人とは全く別物だと言うことが判ってきた。ネアンデルタール人は有能な狩人であり、重要なことは必要以上に動物を殺していない、生きて行くのに必要な狩りしか行っていたらしい。ところが、現代型新人が登場してから、それ以前にはほとんど起らなかった大量の動物の絶滅が世界各地で起こった。例えば、1 万 1500 年前、人類はたった 1000 年ほどでアラスカから南米の先端まで到達したが、その間に北米では 73%、南米では 80% の大型草食動物が消滅した。食べもしないのに、何百頭というマンモスを崖から突き落としたと考えられる場所さえ見つかっているらしい(Fig.3)。どうやら、我々、現代新人の DNA には欲望の遺伝子が刷り込まれているようである。この遺伝子があるから文明は発達し、一方で、現在の抜き差しならない状況を創り上げた²⁾。

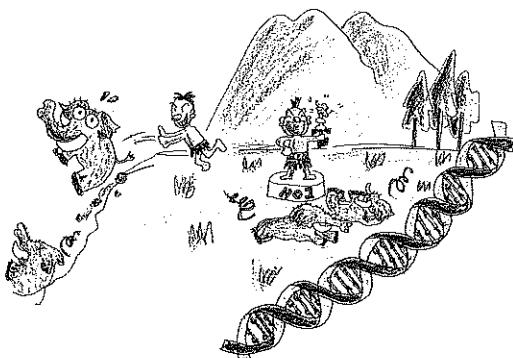


Fig.3 欲望の遺伝子を持つ現代人型新人

では、今我々の手で興さねばならない第 3 次産業革命、「技術と心の融合による新しいものづくり」とはいったい何であろうか？それは、生活価値の不可逆性を肯定した循環型社会の構築、すなわち「人と地球を考えたものづくり」である。概念的には、Fig.4 のように考えている。我々が（企業活動も含めて）ものをつくると言うことは、必ず地球に負荷を掛ける事になる、その結果、人にとって（快適性があるとか利便性がある等）の新しい価値を生み出しているのである。

人と地球を考えたものづくり＝新しい価値(P)/地球への負荷(I+O)

したがって、概念的には、この値が 1 以上、出来れば 5 とか 10 とか 100 になるようなものづくりが不可避であり、それに向かった新しい技術と心の融合を進めなければならぬのでは無からうか 10)-12)。

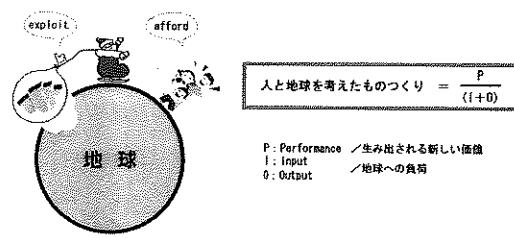


Fig.4 人と地球を考えた新しいものづくり

18C 半ばから始まった第 2 次産業革命以降、我々は新しいものの価値を地球への負荷の結果として享受してきた。1879 年 10 月 21 日、エジソンは木綿糸をフィラメントにして 40 時間の白熱灯の点灯に成功した。従来のランプよりも安全で、何倍もの光を放つ電灯の発明は、地球への負荷に較べて桁違いに大きな価値を生み出したに違いない。しかし今、我々は毎年のようにコンピュータを買い換えさせられ、修理するより買い換えた方が安いという文化を創り、時間を金（エネルギー）で買いつつ、一方で疲れ切った心を引きずっているように思えてならない。エジソンの時代には考えもつかなかった大量のエネルギーを投入しながら、一方で「うきうきするような楽しい快適性」を生み出せないばかりか、逆に開発する技術者とそれを使う生活者の距離はますます遠くなっているのではなかろうか？(Fig.5) 漱石は「現代日本の開花」の中で「西洋の開花は内発的であり、日本の現代の開花は外発的である」と述べている。確かに、我々は昔から先進国に習い、それを追い越すことを絶対目標としてきた。そして、今、目標を達成した途端にどこへ向かって良いのか判らなくなったりとも知れない。鎖国の出来ない日本はものづくりを捨てることは出来ない。だからこそ日本発の新しい価値を持ったものづくりを進める必要がある。「醜いアヒルの子」（アンデルセン童話）と卑下する必要は全くない。我々こそが世界を代表する白鳥なのだと信じて「人と地球を考えたものづくり」を進めるべきである。

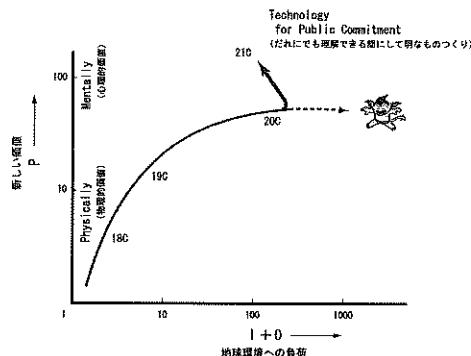


Fig.5 従来の延長では成り立たない新しいものづくり

4. 自然のすごさを賢く使う

地球への負荷を下げながら新しい価値を生み出すものづくり、「人と地球を考えたものづくり」ははたして実際に可能なのだろうか？ここでは、我々が開発したいいくつかの材料を参考に議論したい。

4-1 土を固める¹³⁾

日本は、先進国としては唯一モンスーン地帯に位置している。モンスーン地帯の特長は高温多湿、そのため、日本では昔から高床式で風通しの良い、紙と木と土の住居が構成された。50年ほど前、欧米型の密閉住宅が入ってきた。これは、アパートメントという概念を持ち込むには適していたが、当然暮らしにくく、快適に暮らすためのいろいろな道具が導入された。そして、1973年のオイルショックを境に国策としてエネルギー消費削減のために高気密高断熱住宅の普及が図られた。高気密高断熱住宅は基本的に欧米型の住宅であり、温度制御に関しては効果があるが湿度の制御は容易ではない。各部屋の容積も欧米に較べて小さく室内気候はかえって悪くなる。気持ちよく暮らるためにエアコンに始まり、加湿器、除湿器、空気清浄機……いろいろな機械が家中に氾濫し、結果的に現在の家庭でのエネルギー使用量は1973年比217%（産業部門105%）と猛烈な勢いで伸びている。結果として気持ちよく暮らせているかと言えば、シックハウス症候群などのアレルギー疾患は増加を続けているのが現状である。

もう一度原点に返り、エネルギーを使わず床や壁や天井が室内気候を自動検知し、自動制御する。そんな材料を可能な限りエネルギーと資源を使わず合成する事が出来れば極めてレベルの高い「人と地球を考えたものづくり」になるはずである。こうして生まれたのが土の水熱固化体である。

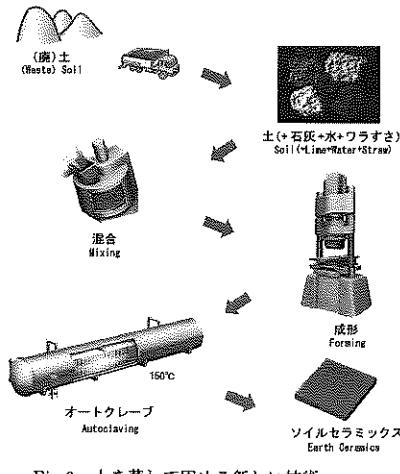


Fig.6 土を蒸して固める新しい技術

土には、初成時に数nmの湿度をコントロールするのに最適な気孔（土の最も小さな凝集構造）を持っており、この気孔構造を破壊することなく固化できる技術として、新しい水熱固化技術を開発した。土に少量の石灰を添加し、混合後加圧整形する。この成形体を150°C程度の飽和蒸気圧下で数時間養生することにより曲げ強度15-20Mpa程度に固化できる(Fig.6)。水熱固化技術はケイ酸カルシウム水和物(calcium silicate hydrates)建材を中心に100年以上の歴史を持っているが、土のようなアルミニウム成分を多量に含む系に関してはほとんど検討されることはなかった。水熱処理によりハイドロガーネット($\text{Ca}_x\text{Al}_{3-x}\text{H}_2\text{x}$ ($x=0-3$) C:CaO, A:Al₂O₃, S:SiO₂, H:H₂O)が生成し強度発現を妨げるからである。今回の発見は、加圧成形にある。予め加圧することにより土の粒子間距離を近づけておくことでハイドロガーネットを強度発現材料として利用することが出来ることがわかった(Fig.7)^{14),15)}。さらにこの技術を進化させ SST(Soft Solidification Technology)技術¹⁶⁾として現在研究が精力的に進められている。ともあれ、150°C程度の処理であるからエネルギー消費は従来のセラミックスに較べ1/5-1/6に抑えられる。また、この材料をリフォームにより集合住宅室内のリビング床に実施行した例では、材料の室内気候制御性能により、主にはエアコンをほとんど利用する必要が無くなり、施行前後で年間平均生活エネルギーを約20%削減出来た結果も出ている(Fig.8)。

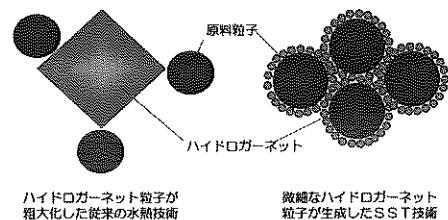


Fig.7 ハイドロガーネットを強度発現に使う SST 技術

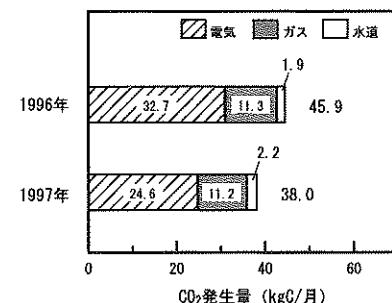


Fig.8 「つかう」時を考えた土の水熱固化の使用により生活エネルギーは17%小さくなった

「つくる」ときのエネルギーと資源の消費を抑え、気持ちよく暮らせて「つかう」ときのエネルギーを下げ、土として「もどす」ことが出来る材料、環境の話しさはネガティブな印象を受けることが多いが、人と地球を考えた新しい切り口と考えればまだ多くの材料が生み出されるように感じている。この土の水熱固化体は「ソイルセラミックス」として商品化されているが、これに続く材料として「エコカラット」など多くの機能性建材が開発されはじめた。

4-2 かたつむりを科学する

「かたつむり」の殻はいつもピカピカ光っている。薄汚れた、煤けたかたつむりは見たことがない。どうして、あんなにつやつやしているのだろうか？風呂上がりでもあるまいし……その表面は実に見事である。鱗片状のアラゴナイトが美しい幾何学模様を生み出している(Fig.9)。

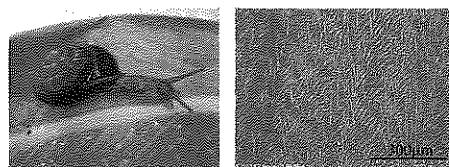


Fig.9 「かたつむり」の殻表面（規則的なアラゴナイトの配列）

分析が充分に進んでいるわけではないが、表面は平均的には親油・疎水性を示すものの、その接触角のばらつきは他材料に較べて大きく(Fig.10)、表面の部分によってかなり性質の違うことが考えられる。AFM からも興味ある結果が出つつあり、種々の異なる汚れに対して異なる表面の性能が対応しているらしい。

こんなメカニズムが解明できれば、「つかう」部分で従来に無い新しい材料価値を生み出すことが出来る。例えば、洋式トイレ、4人家族で1年間に必要な洗浄水は節水も進み現在約29,000L(従来の49%)程度になってきた。ところが、掃除のために弱酸性洗剤を約5.4kg使用し、これを希釈放流するためには、さらに約16,000L

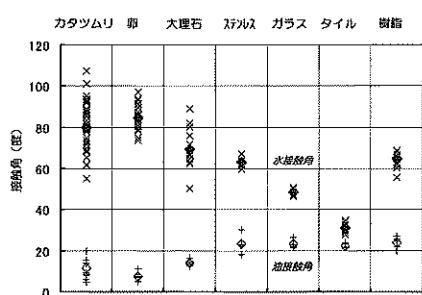


Fig.10 各種材料の水、油接触角

の水が必要となる。最近の家庭ではあまり使われなくなつたが、塩酸系の洗剤を使うとなると約80,000Lの希釈水が必要になる。洗浄という本来目的以外にも大きなエネルギー負荷を発生させていることになる。トイレに汚れがつきにくく、取れやすくなれば、ゴシゴシの重労働から解放されるだけでなく、地球への負荷も大きく下げることが出来ることになる。かたつむりのように、万能のものは出来ないが、汚れを評価できれば「擬かたつむり」くらいは出来るかも知れない。研究の結果、トイレの汚れは2つのメカニズムによって発生することがわかった。一つはバクテリア起源、バクテリアはトイレを使用しない夜の間に繁殖し(大腸菌では10⁸倍程度まで増殖する)、その間に尿素をアンモニアに変える。無臭の尿が、あのアンモニア臭を発生するようになる。これによりpHが上がり、尿中のカルシウムイオンが難溶性のカルシウム塩(リン酸カルシウムなど)として析出し、多孔質の尿石を形成する。これがバクテリアの温床となりさらに増殖するという悪循環が生まれることにより頑固な尿石汚れが広がることになる。他の一つは洗浄水起源の水アカである。乾湿が繰り返される部分では、水道水中に含まれるケイ酸が材料表面の水酸基と脱水縮合して固着し、これが積層することにより、頑固な水アカ汚れとなる¹⁷⁾。

このような、汚れメカニズムがわかれれば「擬かたつむり」をつくることも可能になる。バクテリア起源の汚れには、材料の抗菌化処理を行った。材料表面に微量の銀を分散させる。銀のオリゴジナミー効果により銀イオンが水分子に作用して細菌の代謝を制御し増殖を抑えることが出来る^{18),19)}。銀が食器に好んで使われる原因是、安全な抗菌メカニズムのためである。洗浄水起源の汚れには、材料表面の水酸基キャッピングによる不活性化技術を開発した。キャッピング処理により、水アカは顯著に制御可能となる(Fig.11)。

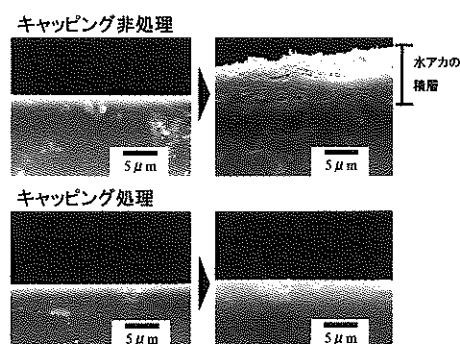


Fig.11 セラミックス釉表面キャッピング処理による水アカ発生効果(衛生陶器による5年間促進実験)

このような「擬かたつむり」法が糸口となり、多くの防汚技術に展開されはじめた。セラミックスの親水、親油性界面制御技術の開発による油汚れのつきにくく取れやすいキッチンシンク、都市汚れのつきにくく取れやすい外壁建材……多くのものが、新しい素材価値を付加して再登場はじめた。「つかう」部分での新しい価値創造である。

5. 楽しく宝の山を歩きたい

地球環境問題、とても重い問題ではあるが、避けて通ることも出来ない。どうせ避けられないなら、「人と地球を考えたものづくり」を従来の材料開発の延長ではない新しい切り口として楽しく創り上げてみたいと思っている。そのためには、「素材」や「機能」の新しい価値が誰にでもわかりやすい、簡にして明と言えただけでなく、ものの形にも大いにこだわるべきと思う。言を重ねる必要のない一目見てエコノミーでありエコロジーであると理解できるエコデザイン、例えば、トイレにはアナが一つあれば基本機能としては充分なはず、ここからスタートしたら何が見えてくるのだろうか？車の要らない街つくりから生まれた車「スマート」（ベンツ）、デザインの新しい切り口が少しづつ見え始めたように思っている。

誰にでもわかる、楽しい文化として、新しい「素材」「機能」そして「デザイン」が一つになったとき、欲望のDNAを満足させながら地球への負荷を最小にする新しい暮らし方が生まれるのではないだろうか。

残された時間はあまり無いけれど、多くの方と一緒にになって、出来るだけ早くそんな文化を創ってみたいと心から思っている。

（本報告は「地球環境とものづくり」（セラミックデータブック2001、（株）テクノプラザ）に加筆したものである。）

参考文献

- 1) 人間活動と環境変化：吉越昭久、2000、古今書院
- 2) 環境と文明の世界史：石弘之・安田嘉憲・湯浅赳男、2001、洋泉社
- 3) 環境と生命の倫理：河野 勝彦、2000、文理閣
- 4) 古代史の論点（1）環境と食料生産：佐原真・都出比呂志、2000、小学館
- 5) 環境と歴史：石弘之・樺山紘一・安田喜憲・義江彰夫、1999、サイエンス社
- 6) 地球環境政策：E.U. ワイツゼッカー、宮本憲一他監訳、1994、有斐閣

- 7) Beyond the Limits: D.H.Meadows et al., 1992, Chelsea Green Publishing Co.
- 8) ファクタ-10 : F.シムミット・ブレーク、佐々木建訳、1997、Springer
- 9) エコデザイン：山本良一、1999、ダイアモンド社
- 10) 石田秀輝：リサイクルからリーサーキュレーションへ、資源と素材、114, 491-96 (1998)
- 11) E.H.Ishida: Environmentally Friendly Manufacturing, Processing and Materials, Trans. of MRS Japan, 24 [3], 395-99 (1999)
- 12) 石田秀輝：新しい材料価値の創造、ウェイストリソース、40, 3-8 (2000)
- 13) 石田秀輝：土と暮らす、バウンダリー、15[5], 2-11 (1999)
- 14) Maenami, O.Watanabe, E.H.Ishida and T. Mitsuda: Hydrothermal Solidification of Kaolinite-Quartz-Lime Mixture, J.Am.Ceram.Soc., 83[7], 1739-44 (2000)
- 15) Watanabe, K.Kitamura and E.H.Ishida: Hydrothermal Reaction of Silica Sand Complex with Lime, J.Am.Ceram.Soc., - in press
- 16) 石田秀輝・前浪洋輝・進博人：人と地球を考えたものづくりから生まれた新しい材料合成技術 SST、機能材料、21 [6], 42-51 (2001)
- 17) 西川武・石黒文康・天野良三：水アカによる陶器汚れのメカニズム、Zairyō-to-Kankyo, 48, 528-30 (1999)
- 18) 今井茂雄・石田秀輝：抗菌性セラミックスによる汚れ制御、材料マニュアル'97 新素材マニュアル、テクノプラザ、23-27 (1997)
- 19) 守山嘉人・山本剛之・今井茂雄・石田秀輝：銀含有釉薬面を持つセラミックスの抗尿石汚れ性能、J.Ceram. Soc. Japan, 106 [3], 303-7 (1998)