資源・環境・リサイクル - 循環型社会をめざして -

Resources, Environment and Recycling

本 多 宗 高 HONDA Munetaka

[1]まえがき

人間をとりまく環境は、文明の進歩とともに変貌し、また悪化してきた。

特に産業革命以後、多種多様の産業活動と大量のエネルギー消費により、大気汚染や水質汚濁による環境問題が発生している。わが国でも高度成長期を境に多くの公害を経験し今日に至っている。

現在の地球は、世界的な人口の爆発と度を超えた自然開発、核物質などの脅威が加わって、温暖化、酸性雨などに代表される地球規模での環境破壊にまで拡大し、危機的な状況にある。

そこで、21世紀のできるだけ早い段階に物質重視の社会から脱却して、少ない資源消費で、豊かな 生活が送れる社会に転換してくことが必要である。

そのためには、これまでとは違った価値観に立脚した人々の生活スタイルと、生産システムが必要である。その変化は、リサイクルと廃棄物処理の方法に端的に見られる。

大量生産、大量消費、大量廃棄型の経済システムからの脱却を目ざし、「循環型社会システム」に向けて最大限の取り組みを行なうべきである。

「2]地球温暖化対策の推進に関する基本的方向

(1) 基本方針の策定の必要性と意義

地球温暖化問題とは、人の活動に伴って発生する温室効果ガスが大気中の温室効果ガスの濃度を増加させることである。地球全体として、地表及び大気の温度が追加的に上昇し、自然の生態系及び人類に悪影響を及ぼすものであり、その予想される影響の大きさや深刻さから見て、まさに人類の生存基盤に関わる極めて重要な環境問題の一つである。大気中の温室効果ガス濃度、その気候影響等の予測によれば、2100年には約2 ~3.5 の平均気温の上昇、約50cm以上の海面水位の上昇などの影響が予測され、植生、水資源、食糧生産、洪水・高潮、健康影響の分野で大きな影響が出てくるものとの予測がなされている。

国際社会においては、この地球温暖化問題に対処するため、「気候変動に関する国際連合枠組条約」が1992年5月に採択され、我が国も同年6月の環境と開発に関する国連会議において署名、1993年5月に受諾し、その条約は1994年3月に発行している。条約では、大気中の温室効果ガスの濃度を

安定化させることを究極的な目的とし、そのような水準は、生態系が気候変動に自然に適応し、食糧の生産が脅かされず、かつ、経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内に達成されるべきであるとしている。

1997年12月に京都で開催された条約の第3回締約国会議(СОРЗ)においては、長期的・持続 的な排出削減の第一歩として、先進国の温室効果ガス(二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、ハイ ドロフルオロカーボン(HFC) パーフルオロカーボン(PFС) 六ふっ化硫黄(SF6)の6 物質)の排出量について法的拘束力のある数値目標を盛り込んだ「京都議定書」が採択され、我が 国については、温室効果ガスの総排出量を「2008年から2012年の第一約束期間に1990年レベルから 6%削減」するとの目標が定められた。1998年11月に開催された第4回締約国会議(COP4) では「ブエノスアイレス行動計画」が策定され、第6回締約国会議(COP6)地球環境問題、と りわけ、地球温暖化問題は、大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会経済活動や生活様式の見直し を21世紀は持続可能な社会を目ざすものであり、その意味で京都議定書の採択は転換点となるもの である。温室効果ガスの排出量は、石油危機後の石油価格高騰期を除き増加基調にあり、また、多 くの先進国で温室効果ガスの削減目標を設定し、取組が始まった1990年以降においても、一部の国 を除き、その排出量は増加している。我が国においても、温室効果ガスの総排出量は「地球温暖化 防止計画」において二酸化炭素の排出量の安定化目標が示され、取組が開始された1990年以降も増 加傾向にある。ちなみに、1999年度の我が国の二酸化炭素の排出量は、1990年度比で9.8%以上の増 加となっている。エネルギー需要側からみた場合、部門別には、二酸化炭素排出量全体の約4割を 占める産業部門の排出量は微増で推移している。一方、運輸部門及び民生部門の排出量の伸びが著 しいことが分る。エネルギー効率が既に世界高水準にある我が国にとっては、温室効果ガスの総排 出量の削減を図ることは容易な課題ではないが、人類の将来のため、そして、地球温暖化問題の解 決に向け、一貫して増加基調にある温室効果ガスの排出量をまず減少基調に転換させ、その上で京 都議定書の目標達成、更なる長期的・継続的な排出削減を図っていかなければならない。

我が国は、過去2度の石油危機を通じて、産業部門を中心に相当の省エネルギー努力を積み重ねており、更なる対策に要する費用は相対的に高いものと予想される。こうした費用を負担しつつ、地球温暖化問題の解決を図っていくためには、我が国の経済活動が引き続き活力を維持しつつ、地球温暖化対策を自らの活動に組み込んでいくことが必要である。その際、地球温暖化対策を講ずる上で、対症療法的な対策だけでは不十分であり、都市・地域構造、交通・物流体系、エネルギー供給構造、生産構造からライフスタイルまでの広範な社会経済システムを、二酸化炭素、メタン、HFC等の温室効果ガスの排出量の削減等が図られるように転換していかなければならない。これは、社会を構成するすべての主体が取り組むことによって初めて実現される。その手法は、規制的なもの、市場メカニズムを活用するもの、国民のライフスタイルの変更につながる社会的な仕組みや社会資本を整備するもの、環境教育や情報開示の中で自らが努力するもの等多様で且つ広範なものとする必要がある。更には新ビジネス等を創出し、活力ある持続可能な社会経済の発展を目指していくことが望まれる。

また、地球規模の課題である地球温暖化への対応は、先進国のみならず、開発途上国の参加が不可欠であるが、これを促すためには、先進国が京都議定書上の目標を確実に達成する具体的道筋を明らかにしておくことが極めて重要である。

本基本方針は、「地球温暖化対策の推進に関する法律(平成10年法律第117号)」に基づき、地球温暖化対策の基本的な道筋を明らかにし、国、地方公共団体、事業者、国民の各主体の措置に関する基本的事項を定めることが好ましい。

(2) 地球温暖化対策の目指すべき方向

今後の地球温暖化対策に当たっては、まず、増加基調にある温室効果ガスの総排出量を早期に減少基調に転換し、その減少基調を京都議定書の目標達成、更なる長期的・持続的な排出削減へと導くことを目指すべきである。

ア 京都議定書の目標

我が国として温室効果ガスの総排出量を「2008年から2012年の第一約束期間に1990年レベルから 6%削除する」ことを内容とする京都議定書の採択に合意したことを踏まえ、そのために必要と考えられる地球温暖化防止のための取組を積極的に推進するためにはどうすべきか。対策が遅れれば遅れるほど、京都議定書の目標達成のために短期間で大幅な削減を達成しなければならなくなることから、今日の段階で実施可能な地球温暖化対策を直ちに実施し、早期に減少基調に転換した上で、京都議定書が求める目標の達成に努力することが必要。

京都メカニズム等合意に向けた国際交渉に積極的に参画する。また、我が国として京都議定書の締結に備えるため、国際的なルールを尊重し必要な措置について具体化を図る。

イ 温室効果ガスの更なる長期的・継続的な排出削減

京都議定書の目標の達成を図り、更なる長期的・継続的な排出削減へと導く。このためには、個々の対策を計画的に実施していくと同時に、21世紀の我が国の社会経済動向を踏まえ、各分野の政策全体の整合性を図りつつ、温室効果ガスの排出削減が組み込まれた社会の構築を目指す。

ウ 地球温暖化対策の策定・実施に当たっての指針となる事項 我が国における地球温暖化対策は、以下の事項を指針として策定・実施する。

エ 国内対策の着実な推進

京都議定書で定められた我が国の排出削除目標の達成に当たっては、予定される排出量取引等の活用は補足的なものとし、国内対策を基本とする必要がある。

オ 期待された温暖化防止会議が決裂

新聞が報ずる気候変動枠組み条約第6回締約会議(COP6)は、オランダのハグで平成12年11月25日開催された。その結果は、温室効果ガス削減しやすくする仕組みをめぐる各国の対立が解消せず、決裂が確定的となったと報じた。

来年5月に再開する形として、再度の交渉で合意を目指す方向のようである。

温室効果ガスの削減ルールが先送りされたことは、グロバールな視点から見て非常に残念なことである。従って国内対策見直も不可避と述べている点も十分理解できる。

その新聞の一端は次のようなものである。

交渉は23日にプロンク議長が示した最終調停案をもとに、24日深夜から25日朝まで続けられた。最終まで対立点として残ったのは、 二酸化炭素(CO₂)を呼吸する森林の働きをどこまで認めるか 先進国同士で排出枠をやり取りする排出量取引や先進国と途上国が共同で行う削除プロジェクト(C DM)をどの程度認めるか 森林の吸収機能や原子力発電をCDMとして認めるかどうか 削除目標が守れなかった場合に制裁を加えるかどうか、制裁を決定する委員会のメンバー構成 途上国への資金援助 - の5点。

13日から始まった交渉の"第一関門"とされた途上国問題は、日、米を中心とする先進国グループが10億ドル規模の援助を提案したことで解決のメドが立ったが、残りのテーマでは、交渉のカギを握る日、米、カナダなどの先進国グループと、欧州連合(EU)の主張は、最後まで平行線をたどった。連第5委員会で来月15日までに決定する。米国も分担率の引き下げを求めているが、米国はこれまで具体的な引き下げ率については示していない。

ただ国連も平和維持活動(PKO)経費の増大などで財政事情が悪化しており、最大の分担金拠出 国である日米両国の引き下げ要求に対しては調整の難航が予想されている。

とりわけ、日本にとって最大の課題だった「森林吸収量」は、日、米、カナダとEUが激しく対立。 米国は一部で歩み寄る姿勢も見せたが、日本は削減目標6%(1990年比)のうち3.7%の確保を目指し、 最後まで妥協しなかった。

政府は原発の増設や森林の吸収効果を当て込んで、6%削減を達成する対策を実施してきた。COP6の結果を受け目標達成を確実なものとする追加対策を打ち出す方針だった。しかし今回の決裂により対策ベースの決定は持ち越され、対策も後手に回ることになる。

さらに森林吸収効果について国際的に厳しく算定する方向が明らかになったことで、削減計画の前提の見直しも避けられない情勢だ。

京都議定書が発行するには、二酸化炭素の総排出量(90年)の55%を占める55カ国以上が批准する必要がある。議会の反発が強い米国を除く先進各国は、2002年までの批准を表明していたが見通しは厳しくなった。

政府首席代表の川口順子環境庁の話

「大変残念な結果になった。合意できそうな局面もあったが、最終的には複雑なパズルのような対立がとけなかった。」

[3]省エネルギー・CO2排出削減に向けた主な業種の取組

1.鉄鋼業

(1) 目標

エネルギー消費量を1990年比で2010年までに10%削減する。その取組として、廃プラスチックの 高炉等への利用が計画され、1.5%のエネルギー消費量をさらに削減する方向が打ち出されてい る。

(2) 取組の状況と今後の見通し

鉄鋼業では、排熱回収等の生産工程における省エネルギー設備の導入等の対策を実施しており、1990年からのトレンドとして、エネルギー消費量、CO2排出量は減少が数的に示されている。1995年から1997年にかけては粗鋼生産量が増加し、エネルギー消費量、CO2排出量は若干の増加傾向にあるが、これは、自動車業界の省エネ(低燃費)要請に応えるため、高張力鋼板等の高級品の比率が増加しているためで、その結果として原単位が悪化していることも影響していること

が明らかである。

今後の省エネルギー対策として、次世代製鉄技術については2010年までの実用化に向けて技術開発が進められており、エネルギー使用量が削減され、2010年の目標が達成されることが期待されるところである。

2. 化学産業

(1) 目標

エネルギー消費原単位を1990年度比で2010年度までに10%削減が目標。

(2) 取組の状況と今後の見直し

工程改善等を図ること等により、省エネルギーが進展し、1997年において、エネルギー原単位は1990年度比4%減となっている。なお、1997年度のエネルギー消費量及びCO2排出量は1990年度比、1996年度比いずれも増加しているが、これは、業界参加企業数が増加したことによるものと判断されている。

今後の対策として、プロセス合理化など抜本的な対策に取り組みがなされ、例えばガス拡散法電解プロセス技術開発などによって、平成11年度より実証試験を開始されており、今後、これらの技術開発成果が実用化されることにより、2010年時点でのエネルギー消費原単位の目標が達成されることが期待される。

3.紙パルプ産業

(1) 目標

エネルギー原単位を1990年比で2010年に10%削減が目標。

(2) 取組の状況と今後の見直し

これまで、ボイラーの自動燃焼制御装置等の省エネルギー設備の導入等を行い、1997年において、エネルギー原単位は1990年比6.4%減に改善した。2010年の目標達成に向かって着実にエネルギー原単位は改善の方向が示されている。

今後も省エネルギー型設備の導入、エネルギー変換効率の向上等を図るとされており、また、国内外の植林活動として、2010年までに所有又は管理する植林地の55万haへの拡大を目指すこととしている。

4.セメント産業

(1) 目標

1998年10月に自主行動計画を見直し、2010年度におけるエネルギー原単位を1990年度比3%程度低減させるという目標を新たに設定された。

(2) 取組の状況と今後の見直し

高効率化クーラー、仕上げミルの予備砕化等の省エネルギー型設備の導入により、1997年度において、エネルギー原単位は1990年度比約1%減となっている。これらの対策を今後も実施することにより、目標の達成を目指すとの方向性が示されている。

5.自動車製造業

(1) 目標

CO2排出量を1990年度比で2010年度に10%削減する目標。

(2) 取組の状況と今後の見直し

「4]一次エネルギーについて

1. 一次エネルギー供給状況

このような需要の動きに対して、97年度の一次エネルギー供給は、原油換算で6.04億klとなり、対前年度比 + 1.1% (96年度: +1.5%、95年度: +1.9%)となった。

(単位:原油投算百万k1) 90 91 92 93 95 96 97 年度 9 4 · HILLYS-526 531 541 548 577 588 597 604 (5.3)(1.0) (2.0)(1, 2) (5.4)(1.9)(1.5)(1.1)

表1 一次エネルギーの供給推移

(注) ()内は対前年度比増減(%) (出所)総合エネルギー紙計、エネルギーバランス表

2.エネルギー源別動向

エネルギー源別に見ると、石油が減少、水力、原子力が増加する結果となったことが明らかである。

			(単位:	原油換算百万kl)	100
年 度	90	9 5	96	9 7	97/90
一次供給計	5 2 6 (100. 0)	5 8 8 (1, 9) (100, 0)	5 9 7 (1.5) (100.0)	6 0 4 (1. 1) (100. 0)	14.9
石 油	3 0 7 (58.3)	3 2 8 (-1, 0) (55. 8)	3 2 9 (0. 4) (55. 2)	3 2 4 (-1.7) (53.6)	5. 6
石炭	8 7 (16. 6)	9 7 (2.8) (16.5)	9 8 (0.8) (16.4)	1 0 2 (4.1) (16.9)	16.8
天然がス	5 3 (10. 1)	6 4 (2.5) (10.8)	6 8 (7. 0) (11. 4)	7 O (2.5) (11.6)	31.0
原子力	4 9 (9. 4)	7 1 (8. 2)	7 4 (3.8)	7 8 (5. 6) (12. 9)	57.8
水力	(4. 2)	2 O (22. 6) (3. 5)	2 0 (-2.1)	2 3 (13.3) (3.8)	2.1
地熱	(0.1)	1 (56. 5) (0. 2)	1 (16.2) (0.2)	1 (2.4) (0.2)	135. 9
新耳等	(1.3)	7 (4. 2)	7 (1.5)	7 (2.0)	2.4

表2 一次エネルギー供給のエネルギー源別推移

(注)上段の ()は対前年度は増減(%)

97/90は90年度比増減(%) (出所)総合エネルギー統計、エネルギーバランス製

(1) 石油

石油(原油+NGL+石油製品)供給は、電気事業者、都市ガス、石油化学向けの減少により、対前年度比 1.7%となり、供給量は3.24億kl(原油換算)となった(原油+NGL:対前年度比+1.4%、石油製品:対前年度比 14.3%)。

この結果、一次エネルギー供給に占める石油の比率(石油依存度)は、53.6%(96年度:55.2%) と、前年度と比べて1.6ポイント低下した。

(2) 石炭

石炭供給(生産+輸入)は、主要需要先である電力向けが増加したこと等から、対前年度比+4.1%となり、一次エネルギー供給に占める石炭の比率は、対前年度比+0.5ポイント上昇し、16.9%となった。このうち、国内炭の生産は対前年度比 21.2%と減少したが、輸入炭は対前年度比+5.1%の増加となっている。

(3) 天然ガス / LNG

天然ガス / LNG供給は、LNG輸入が増加(対前年度比 + 2.4%)したことから、一次エネルギー供給は、 + 2.5%となり、一次エネルギー供給に占める天然ガス / LNGの比率は11.6%(96年度:11.4%)と、前年度と比べて + 0.2ポイント上昇した。これは、電力向け及び都市ガス向けの供給が前年度と比べると伸び率が縮小したものの、顕著な伸びを示したことによる(電力向け投入量:対前年度比 + 3.1%、都市ガス向け投入量: + 4.8%)。

(4) 水力

水力については、豊水により出水率が大幅に上昇(96年度:91.9% 97年度101.8%) したことから、97年度の一次エネルギー供給は、対前年度比+13.3%(97年度の水力発電所による発電電力量:931億kWh)となった。

この結果、一次エネルギー供給に占める水力の比率は、3.8%と前年度と比べると + 0.5ポイント上昇した。

(5) 原子力

原子力については、対前年度比 + 5.6%の3192億kWh (うち、電気事業用3185億kWh)となった (注:試運転電力量及び自家発電力量を含む)。これは、新たに2基の営業運転が開始されたこと、 定期検査期間の短縮、トラブルの減少と運転期間の伸長により設備利用率(発電電力量/認可出力+暦時間数)が上昇(96年度:80.8% 97年度:81.3%)したこと等によるものである。

この結果、一次エネルギー供給に占める原子力の比率は12.9% (前年度に比べ + 0.6ポイント上昇) となり、過去最高となった。また、総発電電力量(電気事業用)に占める比率も、96年度の34.0%から35.2%と + 1.2ポイント上昇した。

(6) 地熱・新エネルギー

地熱によるエネルギー供給は、新規に運転を開始した時点がなかったこともあり、原油換算で 118.6万klの対前年度比 + 2.4% (96年度: +16.2%、95年度: 56.5%) となり、過去 2 年と比較する と伸び率は鈍化した。

また、新エネルギーについては、原油換算689万kl、対前年度比 + 2.0%の増加となった。このうち、ごみ発電は、地方自治体により取り組みの活性化等を反映して対前年度比 + 18.5%と大幅に増加した。

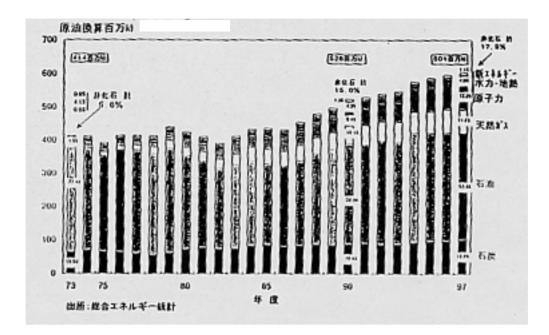


図1 一次エネルギー総供給の推移

[5] 重金属系廃棄物の資源化

金属は元素であり、金属資源の枯渇と環境汚染を防止する手段はリサイクルをおいてほかにない。現在、重金属含有産業廃棄物のごく一部が非鉄金属製錬所などで資源化されているに過ぎない。

天然の鉱石を対象として開発されてきた既存の金属製錬技術では、人工的に発生する多種類の金属を含む廃棄物からの資源化回収には十分に対応できない。既存の回収技術は、大量処理が容易な高温反応(炉)を用いた、金属製錬技術を応用したものが多い。このような既存の金属製錬プロセスは、少量多品種の重金属系廃棄物を処理するのには問題がある。今後、効率の良い分離製錬技術の開発が望まれている。

重金属系廃棄物の回収方式を分類すると次のように大別できる。

製造プロセス内部でのクローズド化

製造プロセスをクローズド化することにより、廃棄物を発生させないシステムである。

このシステムの事例はさほど多くない、めっき工事例は模範となるものである。ここでは廃水処理にクローズドシステムを採用し、水のリサイクルと同時にめっき廃水中に含まれている重金属まで回収資源化している。

専用の資源化工場で資源化する方式

クロム化合物メーカの日本電工では、陰イオン交換樹脂を詰めたカートリッジをレンタルし、六 価クロムで飽和した樹脂カートリッジを収集してクロムを回収しリサイクルしている。

無機薬品として回収する方式

ニッケルカドミウム電池の回収などで実績がある。

製錬所の製錬工程により金属として回収する方式

電炉製鋼の過程で大量に発生する製鋼煙灰から、鉛・亜鉛などの重金属の回収が行われている。

「6]クローズドシステムと資源化技術

〔1〕めっき工程におけるリサイクル

電気めっきには、銅・ニッケル・クロム・亜鉛など様々なものがあるが、これらのめっき工程で、 金属と水のリサイクルができるクローズドシステムが中村経営研究所によって開発され、東京都京浜 島のめっき工業団地で実施されている。

このクローズドシステムの原理は、あらゆる金属のめっき工程で採用可能である。

(1) イオン交換樹脂を用いたバッチ式多段向流水洗

ニッケルめっきは、1層の光沢ニッケル-クロムあるいは光沢ニッケル-金にように下地ニッケルと して広く実施されている。

ニッケルめっき液は通常50~60 に加熱されているので、絶えず水分が蒸発している。そのためバッチ式多段向流水洗とイオン交換樹脂の組合せで、くみ出し成分のすべてを回収することができる。 バッチ式多段向流水洗とイオン交換樹脂の組合せを図9に示す。

第1水洗槽から第4水洗槽まで、槽内の水は一度給水したら蒸発分を補給するだけで廃水は発生しない。第1水洗槽の水は、めっき槽からくみ出されるめっき液によって液量が増えるが、温度が高いめっき液は常に蒸発して液量が減少するので、その補給水として第1水洗槽の水を使用する。

第1水洗槽の水は、活性炭ろ過機で循環されているので、めっき槽へ浮遊物や不純物が戻ることが避けられる。第1水洗槽の水の減少分は、第2水洗槽の水を補給し、第2水洗槽の水の補給は第3水洗槽の水を補給する。第4水洗槽の水は、イオン交換樹脂を通して絶えず循環されているため純水に近い水質が保持されている。そのため、第3水洗槽に補給される水は純水といってよい。第4水洗槽の補給水は、水道水もしくはイオン交換水を使用する。このシステムによれば、めっき槽の蒸発量に見合った水を第4水洗槽に補給すればよいので、ニッケルめっき廃水は発生しないし、ニッケルを含む廃水処理汚泥も発生しない。イオン交換樹脂再生過程でわずかに発生するニッケル含有廃酸は、電解により金属ニッケルとして回収可能なので、水とニッケルを完全に外部に排出しないクローズドシステムにすることができる。

(2)イオン交換樹脂によるニッケルイオンの吸着と再生反応

吸着反応

 $2R-SO_3H + Ni^{2+} (R-SO_3)_2Ni + 2H^+$

再生(脱離)反応

 $(R-SO_3)_2Ni + 2HCI 2R-SO_3H + NiCl_2$

(注: <u>2R-SO₃Hは陽イオン交換樹脂</u>;回収した塩化ニッケルNiCl₂は、精製してニッケルめっき用薬品として再使用できる。)

(3)イオン交換樹脂によるクロム酸の回収

システムの原理

クロムめっき廃水・クロメート処理廃水など六価クロム(クロム酸イオン CrO_4^2 ・または重クロム酸イオン $Cr_2O_7^2$)を含む廃水から、小型可搬式の陰イオン交換樹脂筒を用いてクロム酸イオンを吸着除去し、クロム酸を飽和吸着したイオン交換樹脂筒は再生工場に集めて再生し、再生廃液中のクロム酸塩を再利用するシステムである。

この資源化回収システムによる廃水処理では、クロムを含む廃水処理汚泥が発生しないので、汚泥の処理が不必要であり、今まで汚泥として廃棄されていたクロムは資源として再利用される。資源の 枯渇や環境汚染という面から見て、この廃水処理プロセスは理想的なものといえる。

[7]なぜ今リサイクルなのか

廃棄物の処理を自然科学的に見れば、リサイクルに向かわざるを得ない必然性があるにもかかわらず、まだ製造業の多くは廃棄物のリサイクルには非協力的な面もある。筆者は、廃棄物の資源化リサイクルを提唱してきたが、やっと曲がりなりにもリサイクル法が法制化の運びになったことは非常に喜ばしいことである。しかし、リサイクルが効を奏するためには、生産と流通にかかわる業者と消費者の意識がどこまでリサイクルを真剣に考えてくれるかにかかっている。

1 物質不滅の法則とリサイクル

廃棄物といえどもある化学組成を持った物質であり、廃棄物という特殊な何かが存在しているわけではない。物質は元素から構成されており、増えも減りもしない。元素は不滅であり、廃棄物も不滅の元素からできているので、元素のレベルで考えれば廃棄物も不滅であり、不滅の元素を処理することはできす、究極の廃棄物処理はリサイクル以外になく、生態系はリサイクル構造になっている。

石油を燃やすと石油という物質は消滅してしまうが、石油を構成していた元素である炭素と水素は不滅であり、石油という物質が空気中の酸素と化合して目に見えない気体の炭酸ガス(二酸化炭素: CO₂)と水に変化するので、消滅してしまったように感ずるだけである。「物質不滅の法則」というのは、物質が不滅の元素からできているので当然の帰結といえる。

2 生態系はすべてリサイクル

(1)生命の源は太陽

葉緑素を持つ普通の植物は、葉から吸収した二酸化炭素と根から吸い上げた水を原料にして、太陽 エネルギーを使ってブドウ糖を合成し、酸素を放出している。

これが炭酸同化作用とか光合成とか呼ばれている生化学反応である。

6CO2 +6H2O C6H12O6 +6O2

植物は、自ら合成したブドウ糖を原料にしてセルロースを作り、これを素材にして個体を成長させ 生命を維持し、増殖を続けていく。また、窒素化合物・リン酸塩などを原料にして、タンパク質をは じめ、様々な有機物を合成する。有機物の特殊な反応や存在状態が生命の本質であり、地球上では有 機物の存在なくして生命の存在はあり得ないのである。 人類は、植物が生産した有機物を食糧としたり、植物からセルロースを分解して紙を製造したり衣服などを製造したりしている。水や二酸化炭素のように小さな分子の無機物からセルロースのような大きな分子の有機物が合成され、その有機物の中には、太陽エネルギーが化学エネルギーに転換されて蓄えられている。紙に火を着けると、めらめらと燃えて熱と光が出てくる。この熱と光は元をただせば、セルロース中に蓄えられた太陽エネルギーということができる。

広大な地表を覆う森林、草原の草や農作物、水に浮遊する膨大な量の緑藻・藍藻類、わずかな光を捕らえて生育するシダやコケ、これらの生物が有機物生産の担い手である。ここで生産された有機物は、人間を含めて多くの動物たちの食物となり、あるいは枯れて分解者のえさとなり、また人間が資源として大量に採取する。

動物や菌類は、葉緑素がないので太陽エネルギーを固定できない。そのため緑色植物を直接食ったり、肉食生物のように他の動物を食うことにより、間接的に緑色植物を摂取して、体内で分解と合成を行って血や肉とし、あるいはエネルギーとして生命を維持し、子孫を残している。

自然界における有機物の分解というのは、野火や山火事のような特殊な例を除けば、動物や菌類の生活そのものであるといってもよい。もちろん動物や菌類も成長や増殖をするが、それは単に植物の有機物が転化したものであって、転化のためのエネルギーもやはり植物が合成した有機物を分解して得ているのである。太陽エネルギーが化学エネルギーとして固定されている有機物は、その分子が再び小さい無機分子に戻る過程で蓄えられていたエネルギーが放出される。すべての生物は、体内でこの分解反応を行うことによって生存に必要なエネルギーを得ている。つまり、光合成は生物の生命維持に必要なエネルギーを供給する根源を成しているといえる。イオウ酸化細菌や鉄バクテリアなど特殊な生物を除いて、通常のあらゆる生物は太陽エネルギーで生きているのである。

光合成の持つもう一つの重要な作用として、二酸化炭素を吸収して酸素を放出するというガス交換作用がある。これによって地球上に酸素が供給され、二酸化炭素の増加が防がれているのである。植物による光合成というのは、生物圏へのエネルギーの取入れ口になっていると同時に、空気清浄機の役割も担っている。このように植物が生産した有機物によって、地球上の生命のすべてが維持されているのである。人間の食糧も8割までが植物性のものであるし、動物性食品もその根源をたどればえさとなった植物が転化したものえある。

(2)生態系における有機物の循環

植物は、光合成によって生産した炭水化物と硝酸塩・リン酸塩・ミネラルなどを原料にして、タンパク質や油脂など種々の有機物を生産する。植物が生産し蓄積した有機物は、光合成ができないよう生物により分解されていく。この分解に関与する生物には、動物のほかに葉緑素を持たない植物といわれている真菌類・バクテリアなどがある。

人間は、植物・獣・魚介類・虫などを食べているが、肉食獣は草食獣を捕らえて食う。動物を食うということは、動物が生産した二次生産物であるタンパク質などを食うことであり、エネルギー的に見れば緑色植物が生産した有機物を間接的に食っているに過ぎない。

(3)生態系の成り立ち

植物は、栄養のない無機物から栄養のある有機物を光合成によって合成することができるので、植

物のことを独立栄養生物または生産者という。

独立栄養生物が作った複雑な有機物を分解・消化あるいは再構成し直したりして利用する生物で、独立栄養生物が作った栄養素を摂取することによって生きており、独立栄養生物がいなければ生きることのできない生物の仲間を従属栄養生物または消費者という。人間を含めて動物や真菌類・バクテリアなどがこれに該当する。このように生態系は、独立栄養生物と従属栄養生物という二つの異なった生物から構成されている。これらの生物の生育環境は、互いに重なり合った層を形成している。太陽エネルギーの利用できる上層で最大の独立栄養代謝が生じ、最も激しい従属栄養活動は、有機物が土壌や沈殿物中にたい積した所で行われている。

次の五つの要素で生態系は遅滞なく円滑にその機能を発揮している。

太陽エネルギー(エネルギー源)ほとんどの生物は太陽エネルギーをエネルギー源として生きている。

無機物(非生物的物質)二酸化炭素・水・窒素・リン酸塩・ミネラル類(カルシウム・鉄・銅・亜鉛など)など生態系に不可欠の基本的な無機物である。

生産者(独立栄養生物)緑色植物・緑藻・藍藻などである。

消費者(従属栄養生物)他の生物を食う生物である。

- (a) 植物食性動物 バッタ・ウサギ・シマウマ・動物プランクトンなどである。
- (b) 肉食性生物 カエル・ヘビ・ライオン・タカ・マグロ・ワシなどで、食物連鎖の上位にいる。
- (c)掃除屋生物 タマオシコガネ(フンコロガシ)・ミミズ・ゴカイ・ハエなどで、人間がごみと決め付けているふんや腐敗した有機物などを食う動物である。

分解者(従属栄養生物)腐敗物中のバクテリアや真菌類を主とする生物で、かなり分解の進ん だ有機物を更に単純な無機物にまで分解し、植物が利用できるようにする。

好むと好まざるにかかわらず、共存させられている生物共同体が生態系である。この集団の中では、 生産者である緑色植物や消費者である動物たちが出す排せつ物や死体などを、再び緑色植物が利用で きる形に分解する多数の小動物・カビ・バクテリアのような無数の微生物群が生存している。

この生産・消費・分解という三つの柱に機能的にまとめることのできる生態系は、生命が地球上に発生して以来、個体や種族の発生と消滅に関係なしに存続し続けてきた。そしていまだかつて一度も破たんすることなく、地球の系内で物質循環を繰り返して安定な平衡関係を保持し続けている。

すべての生命体は、自然界における生態系の枠を外れてはひとときたりとも生きていくことはできない。特に人間は、生物共同体の中で大型消費者として強力で最も高次の立場にあるが、これとてもこの複雑な生態系を離れて生存することは現在のところ不可能である。

[8]一般廃棄物の現状

一般廃棄物は、ごみ量の増加と処理の困難な有害物質が含まれているなど、量と質の両面から大きな問題を抱えている。

1 ごみの収集

家庭から排出された一般廃棄物は、市町村によって収集されている。粗大ごみ以外は分別しないで 一括収集している大都市から、燃えるごみ・燃えないごみ(燃やせないごみとしてプラスチック類を 含めている所もある)・資源ごみ(空きびん・空き缶・古紙・ぼろ・金属くず等)・有害ごみ(乾電 池・体温計・蛍光灯等)など多種類に分別して収集している市町村まで、地域によってごみの収集方 法はまちまちであり大きな問題とされている。

2 ごみ量の増大

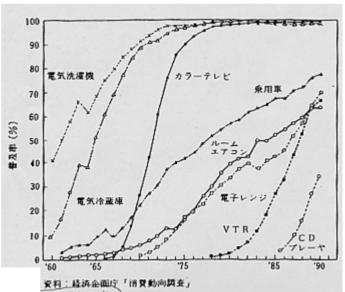
1985年ごろから全国のごみ排出量は増加傾向が見られ、1989年度ではついに 5 千万tと過去最高を記録している。ごみ増加の原因として、OA化に伴うオフィスなどからの事業系廃棄物の増加、家電製品等粗大ごみの増加、使い捨て食品容器の普及によるプラスチックごみの増加、過剰包装等が挙げられる。

廃棄物のもとになる素材でも粗鋼やセメントは、その生産量が膨大であるが、ほぼ横ばい状態にある。使い捨て製品の原料となるプラスチックや紙の生産量は年々増加傾向にある。飲料容器のガラスびんとペットボトルの生産量の推移を図2に示す。これも増加傾向が顕著である。主要家電製品と自動車の国内普及率の推移を図3に示す。自動車以外の耐久消費財は、いずれ粗大ごみとして排出される運命にある。

図2 ガラスびん、ペットボトル生産量



図2 ガラスびん、ペットボトル生産量



3 適正処理困難な廃棄物

(1)自然界で分解しない人造物質

産業革命以降、人類は石炭や石油を原料にして、それまで地球上に存在しなかった人造物質を次々と合成し、生活を便利にする反面、数多くの災禍をもたらしてきた。プラスチックのような人造物質は、自然界に存在しない有機物であるため、それを分解できる酵素を保有した分解者が自然界にはい

ない。そのため、生態系内では分解できず、廃棄物埋立地に埋めても腐らずいつまでも地盤が安定しないという問題を引き起こす。これらの合成物質は、カネミ油症事件(有機塩素化合物であるPCBによる中毒)を引き起こしたり、環境中に蓄積し、食物連鎖による生物濃縮により野生生物にも悪影響を及ぼしている。人間が合成した物質は、人間が人工的に処理するかリサイクルする以外に自然界の力で処理してくれないものばかりである。

(2)焼却処理における問題

焼却処理とは、可燃性有機物を酸化分解して、二酸化炭素・水蒸気・窒素などの気体に変化させ、 大気中に拡散廃棄する方法である。焼却処理は、ごみの減量化ができる・病原菌なども分解してしま うので衛生的である・分解速度が速いので大量のごみを処理するのに好都合である・熱エネルギーの 利用ができるなど優れている面も多々あるが、水銀・ダイオキシン・塩化水素などの有害物質を含む 廃ガスの処理などで問題点も多い。また、燃焼廃ガス中の二酸化炭素による地球温暖化も国際的な環 境問題となっており、ごみの焼却処理も早晩この対応を迫られることになる。生物が作った有機物は 焼却により、無害な二酸化炭素・水・窒素などに分解して安全に処理することができるが、都市ごみ には不燃性の無機物も含まれているため2割程度の焼却灰が生ずる。

水銀電池のように焼却により水銀蒸気が大気中へ拡散してしまうもの、カドミウム・鉛・亜鉛・銅などを含む顔料で着色されているプラスチック類、カドミウム・鉛・亜鉛などの安定剤を含む塩化ビニル樹脂、ニッケルカドミウム電池、鉛やカドミウムを含むインキで印刷された紙、鉛やカドミウムを含む塗料で塗装された製品などを焼却すると重金属酸化物が生成する。これが燃焼廃ガス中の塩化水素やごみ中の食塩などに反応して比較的低沸点の金属塩化物となって気化する。集じん機や湿式の廃ガス処理施設を設置していない焼却炉からは、これら有害重金属が粉じんとなって排出されてしまう。また、湿式の廃ガス処理施設を設置している清掃工場では、洗煙廃水中に含まれてくる水銀・鉛・カドミウムなどの有害重金属の処理をするために多大な経費を費やしている。また、焼却灰・集じん灰・廃水処理汚泥などの中には、これらの重金属が含まれてくる。

(3)有機塩素系プラスチックの問題点

ごみの中には塩化ビニル樹脂・ポリ塩化ビニリデン・塩素化ポリエチレン・有機塩素系顔料・有機 塩素系染料・有機ハロゲン系難燃剤などの有機ハロゲン化合物が多様な形状で含まれている。1990年 におけるプラスチックの生産量を図4に示す。これによると塩化ビニル樹脂の生産量は205万t(熱可

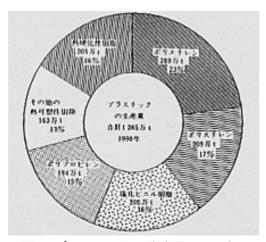


図4 プラスチックの生産量(1990年)

塑性樹脂総生産量の19%)であり、プラスチック類の中でも第3位の生産量を占めている。このように大量に生産されている有機塩素系プラスチックは、いずれも廃棄物となってごみの焼却炉や埋立地へと搬入される。

旧式の焼却炉でプラスチック類を燃やすと、不完全燃焼により黒煙が出たり、火格子が目詰まりしたり、高温になり過ぎて炉内の耐火れんが溶けたりする。この問題は、最新鋭の焼却炉に替えれば解決するが、塩化ビニル樹脂やポリ塩化ビニリデンのような塩素を含むプラスチック類を焼却することにより、大気汚染物質である塩化水素(塩酸)が燃焼廃ガス中に含まれてくる問題は解決がついていない。発電を行っているごみ焼却炉では、塩化水素による腐食を防止するため、低い蒸気圧力で発電するためエネルギー効率が悪く、ごみが保有しているエネルギーの15%程度が電力に変換されているに過ぎない。また、塩化水素は他の装置を腐食するので、ごみ焼却施設ではやっかい物扱いされている。

大気汚染防止法によって塩化水素の排出は規制されているので、塩化ビニル樹脂やポリ塩化ビニリデンのような塩素を含む有機塩素系プラスチック類の焼却により発生する塩化水素(塩酸)は、それを除去するための廃ガス処理施設が必要になる。塩化水素の除去には、カセイソーダの水溶液を使った湿式の中和処理装置と消石灰などの固体アルカリによる乾式の中和除去装置とがあるが、乾式法の除去効率は低いのでかなりの量の塩化水素が煙突から排出の現状である。

人口30万人を数える広域地区では、処理能力日量300tのごみ焼却炉が必要である。焼却炉の建設費は、ガス処理施設やエネルギー回収施設まで含めると1t当たり4000万円~4500万円程度かかるので、300t/日のごみ焼却炉は120億円~135億円かかる。このほかに、塩化水素を除去するためのカセイソーダの費用が1日25万円かかる。このように塩化ビニルなどが都市ごみ処理にいかに大きな負担を与えているかがわかる。この費用はすべて税金によりまかなわれているのである。

大型の焼却炉には、ばいじんを除去するための電気集じん機が付設されているが、この電気集じん機内部で、人類が作り出した史上最強の猛毒物質といわれているダイオキシンが生成することが判明し問題になっている。ダイオキシンは、集じん灰中に含まれている塩化第二銅などが触媒となって、塩化水素と有機物とのオキシクロリネーションによって生成するものと推測されている。

[9]リサイクルとは何か

資源の枯渇と環境汚染

有害重金属による環境汚染が懸念されている一方で、金属資源の枯渇が憂慮されている。不滅の金属元素が枯渇することは原理的にあり得ない。ロケットにでも積んで宇宙へ飛ばしてしまえば、その分だけは地球上から減少するが、地球上で使ったものは地球上のどこかに残っている。金属資源の枯渇というのは、回収もせずに環境中に使い捨ててしまい、事実上回収不能となるために起きる見掛け上での現象に過ぎない。もし、本当に有害元素が枯渇するという事態に直面にした時点では、有害元素による環境汚染はその極致に到達していることになる。このことからしても、特に、海外の資源に依存し、環境汚染性の高い有害重金属などを含む電池のような金属製品はリサイクルする必要がある。ごみの中に混入した水銀電池は、都市ごみ焼却炉で焼却されると、水銀が大気中に拡散し、潜在的な大気汚染になってしまう。重金属を含む廃棄物の大半は、ごみ埋立地に捨てられ、ごみ埋立地は潜在

的な土壌汚染地帯になる。このことから、究極の廃棄物処理はリサイクル以外にないことがわかる。 [10] 資源化・リサイクルシステムの現状

資源化・リサイクルのシステムを分類すると、 プレリサイクル・ 再利用・ 有効利用・ 資源 として回収・ エネルギーとして回収などに大別できる。

1 プレリサイクル

ごみとして捨てないで、何回も繰返し使用し、廃棄物を発生させない方法である。カナダでは、ジュースの自動量り売り装置がスーパーマーケットに設置されており、消費者は空きびんを持って買物に行く。同様にスウェーデンでは牛乳の自動量り売り装置がある。ヨーロッパでは量り売りのワインがあり、中国では食用油すら量り売りである。このような生活様式を選択すれば、ごみとして捨てられる廃容器の量は確実に減少する。日本にも量り売り時代があったが、人手不足などの理由で消滅した。自動量り売りシステムが日本にはないので、個人がプレリサイクルを望んでもできない状態になっている。各種容器の総エネルギー消費量をまとめたものを表3・1に示す。これによると洗浄して何回も使用するリターナブルビールびんが最もエネルギー消費率が低いといえるが、最近の知見ではペットボトルの再使用が最もエネルギー消費率が低くなる。

使い捨ての乾電池に対して、充電式の電池を繰返し充電して使う方式もプレリサイクルといってよい。 資源的に見ても、エネルギー的に見ても環境保全面から最も好ましいシステムでありながら、日本 の消費者はこのような生活様式を選択できない状態に置かれている。各地で開催されるバザーや不要 品交換市などで、古着その他ごみとして捨てられてしまう前に、必要な人に安価あるいは無料で使っ てもらう方式がある。これもプレリサイクルの一種といえる。

(単位:kcal=原料エネルギー量を含む) **プラスチックボトル** # 7 2 5 6 × 20 * 5 8 0 M A PET PVC 1ナーナアル ワンウェイ 19-+74 46192 2-2721 パイノナル ビュアバックサ ブリックサ . Y-1 滑波放料 ジュース ngen $Y - \mu$ ジュース 320 2-2 內在量 (m/) 1 000 633 500 200 1 000 500 250 1 000 200 (CARTON) (CARTON) $\binom{\lambda + 1}{-k} 26.8$ 仕 様 本 体 35.7 34.1 605 230 348 (AL)19.4 (g) ±7: ++>7 (g) (LPE) 5.1 (LPE) 13.0 (LPE) 3.0 (LPE) 2.7 (LPE) 3.0 (AL) 8.8 (AL) 6.15 (AL) 3.6 (AL) 3.6 (LPE) 3.4 (LPE) 1.7 工 原 製 混 工 CE 1 066.36 592.18 1 821.05 692.30 1 155.36 1 139.25 1 209.98 234.50 637.87 341.95 72.17 エネルギー | ムた、キャップ 126,20 322.79 44.46 44.46 548.86 383.58 224.52 412.52 41.26 1 192.56 914.97 1 865.10 764.47 1 199.82 1 658.11 1 593.56 459.03 1 050.39 353.21 4 付属取断エネルギー 63.20 49.66 65.35 57.34 78.70 33.36 52.96 40.19 10.04 # 事務加工エネルギー 345.95 158.06 248.09 150.22 215 56 54.69 15.42 運動用包装エネルギー 16.42 6.09 49.79 24.90 17.77 18.61 8.75 再使用因数 (面) 12.5 1 3 1 12.5 . 1 1 1 1回当たりの状态エネルギー 1 618.13 1 155.78 255.49 996,80 136.89 2 002.16 1 866.55 649.38 | 1 163.28 417.42 地びんエネルギー 12.90 18.94 運賃エネルギー(文で人工場まで) 22.23 14.02 44.05 20.65 27.54 24,75 11.54 10.09 3.52 1.76 4.58 えてんエネルギー(1)(加急、表別) 9.35 18.94 18.94 9.47 1.76 元てんニネルギー(日)(加井、冷却) 113.20 56.60 商品報道ニネルギー(スーパーまで) 122.19 72.18 85.66 25.81 15.95 97.78 49.47 31.71 56.61 19.58 家庭貯蔵ニキルギー 461.28 284.52 181.83 494.48 227.41 90.57 294.29 54,60 びん国収ニネルギー 72.18 31.71 外長ニネルギー(1)(数ポール剤) 447.20 307.33 174.49 721.22 102.37 206.13 外後ニルルギー(目)(プラステッククレート) 76.53 40.59 29.05 17.50 20 94 2 230 40 1 534 28 994.62 | 1 581.16 469.21 3 345 17 2 346 91 890.12 | 1 644.52 567 46 Burmer (m/ 5 c 9 kcal) 2.230 3.069 1.571 3.162 2.346 3.348 2.560 1.644 2.837 4.494 受料:昭和 35 年度通商産業省総合調差研究委託の「新規業材の導入に伴う省ニネルギー効果の分析について」(社)化学能與研究所(56.3)

表3 各種容器の総エネルギー消費量

2 資源として回収する方法

廃棄物を原料・資源として回収する方法である。このシステムには、いくつかのレベルがある。

廃棄物をそのままの状態あるいは少し手を加えて利用する方法

例えば、残飯をそのままの状態で豚の飼料にするような場合で、食糧自給率の低下している日本では、資源化方式としては最も望ましい方法であり、もっと促進されなければならないシステムであるが、所得水準の上昇とともにごく一部の地域で行われている程度で消滅しつつあるシステムとなっている。

製品の廃棄物を再度その製品の原料に再生する方法

びんガラスのくず (カレット)を溶融して、再度、びんに再生したり、アルミニウム缶を溶融 して再度アルミニウム缶にまで再生したり、古紙から紙を製造する方法などが一部で実施されて いる。

廃アルミニウム缶から再生地金1tを生産するのに必要なエネルギーは、新地金を製造するエネルギーのたった3%あれば足りる。このことからアルミニウム缶を回収して、再生地金にすると97%のエネルギー節約になるのである。しかし、散在している空き缶を収集する費用がかさみ、デポジット制を施行しない限り、これ以上資源化率の向上は望めない。

原料として回収する方法

スチール製空き缶を電気炉で溶融し、スチール缶に戻すのではなく、建築用鉄筋などを製造するというような、他の製品の原料として使う方式である。

産業廃棄物である汚泥から重金属を回収するシステムもこの分類に入る。

3 エネルギーとして回収する方法

この方法が採用できる例としては、有機物あるいは活性炭にような炭素源に限られている。

焼却によるエネルギー回収

ごみを焼却炉で焼却する過程で発生する排熱をボイラーで回収し、発電や冷暖房を行う方式である。

油化・ガス化によるエネルギー回収

ごみを熱分解して可燃性ガスや油として回収し、このガスや油を通常のボイラー等エネルギー施設の燃料として使う方式であるが、廃プラスチック類で一部実施されている程度で都市ごみで実施されている例はない。

メタン化によるエネルギー回収

高水分で腐敗性の家畜ふん尿・し尿・有機性汚泥などを嫌気性発酵させてメタンを発生させ、 畜舎の暖房に使用したり、ガスエンジンを用いて発電したりする方法である。

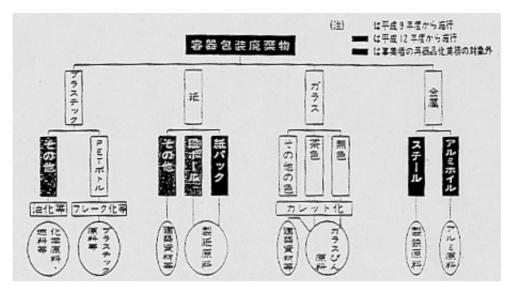


図5 収集される容器包装廃棄物と再商品化への流れ(通産省資料)

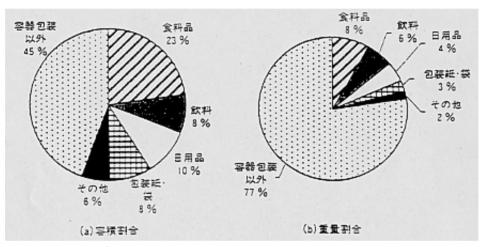


図6 都市ごみの中の容器包装廃棄物の割合(用途別)(1997年厚生省調べ)

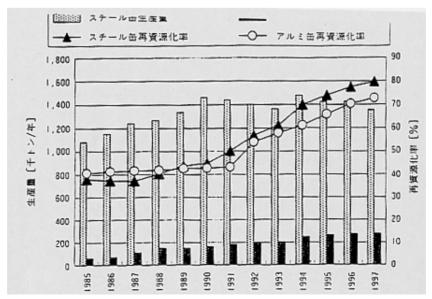


図7 スチール缶、アルミ缶の生産量と再資源化率 (あき缶リサイクル協会、アルミ缶リサイクル協会資料より作成)

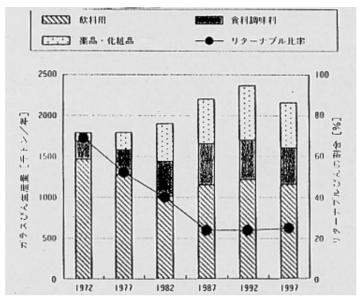


図8 ガラスびん生産量とリターナブルびんの割合 (日本ガラスびん協会資料より作成)

[11] リサイクルにはこんな技術が

廃棄物をリサイクルするための特定の技術というものはない。通常の工業で利用されている技術や 装置が、廃棄物リサイクル技術に応用されているのでる。本章では、単位操作と呼ばれている工業で 一般に用いられている技術でリサイクルに多用されている技術について解説する。

破砕操作

1 破砕機

廃棄物をリサイクルするためには、廃棄物を前利用する必要がある。固体廃棄物は、次のような目的のために前段操作として破砕操作がしばしば活用されている。

廃棄物の大きさの減少と均一化

運搬効率を高めるための減容化

選別操作などの効率の向上

破砕機は、圧縮・衝撃・摩擦・せん断(剪断)などの力を単独もしくは複合して利用している。図 10にその分類を示した。被処理物の多様な性状のすべてに対応できるような万

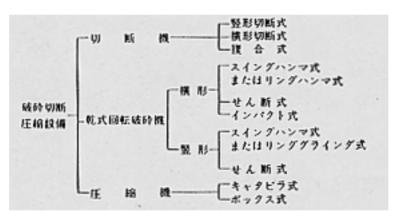


図10 破砕・切断・圧縮装置の分類

能破砕機は存在しない。被処理物の物性・組成および破砕の目的によって効率の良い破砕機を選定する必要がある。例えば、硬くもろいものには圧縮力・衝撃力を利用した破砕機、軟らかく繊維状・シート状のものには摩擦力・せん断力を利用した破砕機が有効である。表4に破砕機の特性を示したが、各機種ともに被処理物によって大幅に処理能力が変動する。理想的な破砕機を間違いなく選定するためには、被処理物を実際に破砕して確認することが望ましい。

2 破砕機の種類と構造

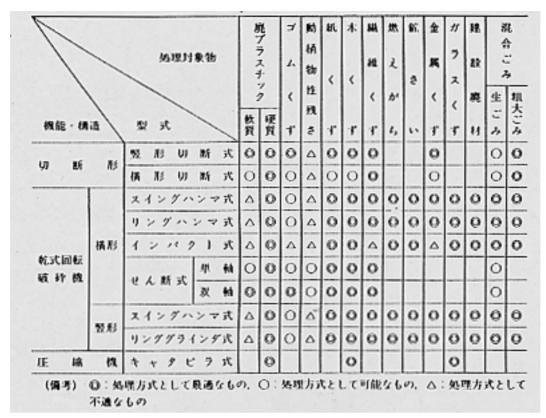


表 4 破砕装置の特性

(1)堅型切断機(刃型切断機)

図11に示す本方式は、被処理物をダンピングホッパに投入し、プッシャにより下固定式刃上に押し出し、押えブロックによって圧縮・固定したうえ、下降する上移動刃によって縦・横方向を同時に切断する。各装置は油圧により駆動されている。ギロチン式とも呼ばれている。ダンピングホッパ側面にスイング式圧縮装置を設けて予備圧縮する型式のものもある。

ローラ式

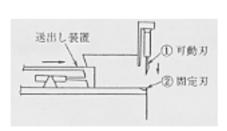


図11 刃型切断式(ギロチン式)

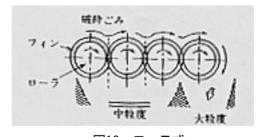


図12 ローラ式

図12に示す本方式は、多数のフィンを持つローラを並行に互いにフィンが交差するように配置することにより「ふるい」機能を持たせている。被処理物は、各ローラの回転力によって移送・かくはん・ほぐし効果が与えられて小粒度のものはフィン部から落下、大粒度のものはそのまま排出される。

(2)比重差型

比重差選別は、被処理物の比重の差と空気力または流水力などの他の力に対する抵抗力の差を組み合わせて利用しているもので、風力と機械力の複合方式はプラスチック・紙などの分離に多く使用されている。

風力式

図13に示す本方式は、被処理物の空気流に対する抵抗力の差を利用して、軽量物と重量物に分離する。空気流の流れる方向により堅型と横型がある。

堅型は、じくざぐ形の風箱の下部から空気を吹き上げ、そこへ下向きに被処理物を供給すると 重量物は直下へ軽量物は上部へ運ばれる。

横型は、水平方向に吹き込まれている空気流中に被処理物を落下させ、被処理物の形状や比重の差からくる飛距離の差により分離する。

機械式

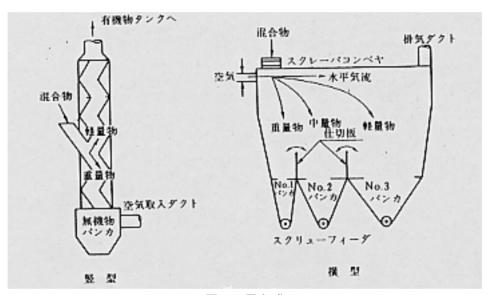


図13 風力式

図 に示す本方式は、弾性のあるスパイクまたはブラシを付したドラムを回転させて、自重で自由落下しようとする被処理物の落下を妨げ、比重差と反発力の差を利用して選別するものである。

(2)横型切断機(往復カッタ型)

図14に示す本方式は、数個の固定切断ビームと移動ビームをV字形に対向してかみ合うように配置し、下端を連結して移動ビームをスイングさせて、V字形開口部に投入した被処理物を圧縮力・切断力によって破砕する。

(3)複合切断機

図15に示す本方式は、堅型・横型切断機を組み合わせて一次破砕・二次破砕を行う方式である。

(4) 横型スイングハンマ式及びリングラインダ式

図16に示す本方式は、固定のケーシングと2~4個を1組とするスイングハンマとピンで外周に取り付けたロータによって構成される。スイングハンマは、無負荷の場合には回転による遠心力で外周に開いてるが、負荷がかかり被破砕物が当たったときに衝撃力を与えると同時に回転方向と逆の方向に倒れ、本体にかかるエネルギーを吸収している。

破砕力は、スイングハンマによるものが主であるが、ケージングにグレートバーならびにカッター バーと固定刃状のものを設け、破砕粒度の調整を兼ねてせん断

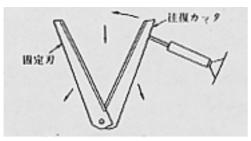


図14 横型切断式(往復カッタ式)

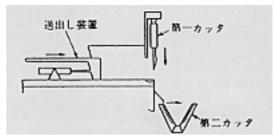


図15 複合切断式

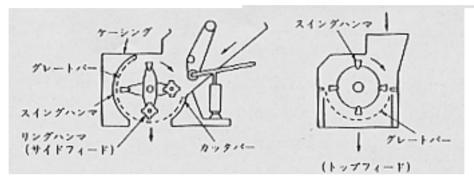


図16 横型スイングハンマ式、リングハンマ式

3 選別機の種類と構造

(1)機械式

機械式選別機は、一定の大きさの開孔または間げきを持つ「ふるい」を利用して、被破砕物が通過するか否かにより大小をふるい分ける装置である。廃棄物処理の分野では、混合物の形状の差や被破砕物の大小の差を利用して異物の除去および成分別の粗選別に利用されている。

振動式

図17に示す本方式は、網またはバーを張ったふるいを振動させて被処理物にかくはんとほぐし効果を与えながらふるい上を移動し選別するもので、普通、単段もしくは複数段のふるいを持つ。また、下部から空気を吹き上げ、風力による選別機能を持たせた機種もある。

回転式

図18に示す本方式は、トロンメルの通称で呼ばれている回転する円筒状もしくは円すい状穴あきドラムの内部に被処理物を供給し、回転力により移動・かくはん・ほぐし効果を与えている。ドラムにある開孔または間げきは、入口側は小さく順次大きくなっており、被処理物は、大粒度のものはそのままドラム出口から排出され、細粒度のものは供給口側、中粒度のものは排出口側の開孔部からドラム下に落下する。

ローラ式

図12に示す本方式は、多数のフィンを持つローラを並行に互いにフィンが交差するように配置することにより「ふるい」機能を持たせている。被処理物は、各ローラの回転力によって移送・かくはん・ほぐし効果が与えられて小粒度のものはフィン部から落下、大粒度のものはそのまま排出される。

4 選別操作

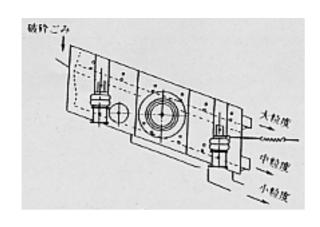




図17 振動式

図18 回転式

廃棄物をリサイクルするためには、混入している資源化阻害物質を粉砕処理の後に分離を行なう必要がある。その操作は次のような目的で行なう。

- (1)有価物の回収と不純物の除去
- (2)エネルギー回収などの効率を高める

エネルギー化するためには、エネルギー化不適物を除いて分離効率の向上を図ることが重要なポイントとなる。

選別分離には、通常既存の技術適用ということで機械力、磁力、空気力、静電的作用などを利用して行なう。

その選別分離の分類は表5のようになる。

資源リサイクル研究の実例 その1

表 5 選別機の分類

	型式	原理	使用目的
機械式	振動式, ローラ式, 回転式	粒土	破砕物の粒度別分離および整粒
14 16 14 -1	風力式	形状	重・中・軽量または重・軽量別分離
比重差式	機械式、複合式	または 北	寸法の大小と重・軽量別分離
磁気式			鉄類の分離
うず電流式	リニアモー夕式, 永久磁石式, 回 転磁石式	うず電流	アルミニウムの分離

廃光管からのレアアースの再資源化とその有効利用

1 はじめに

レアアースは原子番号57番のランタンから71番のルテニウムまでの15元素にスカンジウムとイット リウムを加えた17元素群に対する総称である。現在レアアースは先端産業分野を支えている元素群の 一つであり、蛍光材料、触媒、光学ガラス、セラミックス、磁石などの機能性材料に広く使用されて いる。しかし、わが国はレアアース資源に乏しく、すべて中国、インドからの輸入に頼っている¹'。 また環境問題に配慮した廃棄物資源のリサイクリングが我が国の重要な課題である。

一方、蛍光材料としてカラーテレビ、蛍光ランプなどの蛍光体があり、高い演色性を備えた三波長型蛍光ランプには年間約200tのレアアースが使用されている。一部の自治体から排出される蛍光管を使用している企業もあるが、水銀回収かガラスの再資源化が対象であって、レアアースの回収は行われていない²)。

ここで蛍光ランプから稀少資源であるレアアースの分離回収について検討したのでその結果について報告する。

2 実験方法

2・1 試料及び試薬

浸出実験と回収実験には廃蛍光ランプから補集した蛍光体を、レアアースの相互分離条件の決定には試案より合成した標準試料を、レアアースの蛍光体の再合成実験には赤色、青色、緑色の各レアアース市販品を混合した試料をそれぞれ使用した。

レアアースの相互分離に使用したイオン交換樹脂はキレート系樹脂二種類を選択使用した。

2・2 レアアースの相互分離

キレート樹脂を固定相に充填して溶出液のpHと溶出速度を変化させて最適条件を決定した。最適条件はフラクションコレクターで分取した溶出液のレアアース濃度を測定して得られたクロマトグラフィーの分離度Rsで評価した。分離度Rsは保持時間の差の2倍をピーク幅の和で除した値である。

2 · 3 回収実験

図19に示したレアアースの分離回収フローに従って、回収実験を行った。回収された各レアアース 酸化物を蛍光 X 線回折法で分析し、不純物濃度、回収率及び結晶構造を調べた。

2・4 レアアース蛍光体の再合成

図20に示したフローに従ってレアアース蛍光体を合成した。合成した蛍光体については不純物濃度、

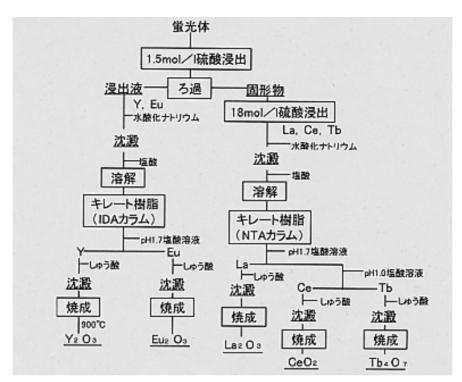


図19 レアアースの分離回収フロー

粒度分布、結晶構造等を調べて反応条件、焼成温度、焼成雰囲気などの最適条件を検討した。

3 レアアースの分離回収

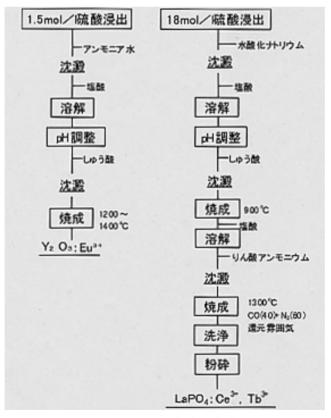


図20 レアアース蛍光体の合成フロー

3・1 蛍光体の組成

使用済み高演色蛍光ランプから回収した蛍光体の分析値を表 1 に示した。蛍光体はレアアースの他にバリウム、カルシウム、ストロンチウムなどのアルカリ土類金属、アルミニウム、りん及び塩素などが含まれている。また、イットリウムは酸化物、ランタン、セリウム、テルビウムはりん酸化物、ユーロビウムは一部のりん化合物と酸化物の形態で存在していることがわかった。

3 · 2 硫酸浸出

図21に、Y、Leの各酸及び20mol/l水酸化ナトリウム溶液による浸出率を示す。

		(%
元 素		含有量
酸素	(0)	3 2
ナトリウム	(Na)	0.1
マグネシウム	(Mg)	0.2
アルミニウム	(AJ)	0.3
けい素	(Si)	0.1
りん	(P)	5. 4
カルシウム	(Ca)	3. 0
塩 素	(CI)	1. 0
ストロンチウム	(Sr)	7. 0
バリウム	(Ba)	1. 1
イットリウム	(Y)	3 1
テルビウム	(Tb)	2. 5
ランタン	(La)	11
セリウム	(Cc)	4. 1
ユーロピウム	(Eu)	1.6

表 6 廃蛍光体の化学組成

Yは各浸出液とも90%以上の浸出率が得られた。Laの浸出挙動は先のyとは明らかに異なっている。 120 で5時間浸出した場合、Laの浸出率は硫酸90%、水酸化ナトリウム溶液で50%硝酸で1.5%、塩

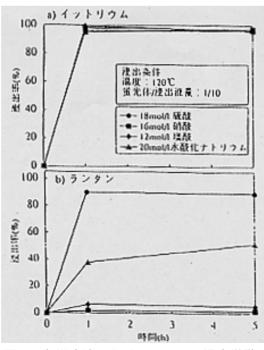


図21 各浸出液におけるY、Laの浸出挙動

酸で5%であった。なお、Euはyと同様の、Ca、TbはLaと同様の挙動を示した。硝酸、塩酸浸出残さ形態を調べた結果浸出率の低い元素はりん酸化合物のままであった。酸化物で存在しているレアアースは酸に溶解され易いため浸出率が高く、りん酸化合物で存在しているレアアースは熱分解、酸分解を経て溶解されやすい形態となるため浸出率が低いと考えられる。硫酸浸出法は不純物であるカルシウム、バリウムなどのアルカリ土類元素が硫酸塩沈澱として固体側に残るため、レアアースの分類精製には有効である。

各レアアース成分の浸出率に対する濃度依存性について調べた結果を図22に示す。

レアアース 5 元素を同時に浸出するためには、18 mol / 1 硫酸と120 の浸出温度が必要である。しかし、1.5 mol / 1 の硫酸濃度において、酸化物形態をとる Y、Eu の浸出率は90% 以上に対して、りん酸化

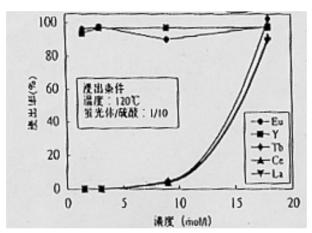


図22 硫酸濃度と浸出率の関係

合物形態であるLa、Ce、Tbはほとんど浸出されないことが分った。このような結果から分離に最適な 浸出条件を選択する場合 2 つのグループに分ける必要があることが分った。

1.5mol/lの硫酸を用いたときの浸出ときの浸出温度の影響を図23に示す。

浸出温度20 の場合、Y、Euの浸出率は40~50%、La、Ce、Tbは1%以下あり浸出温度70 の場合、Y、Euの浸出率は90%以上でLa、Ce、Tbは1%以下であった。表7には分離するための最適条

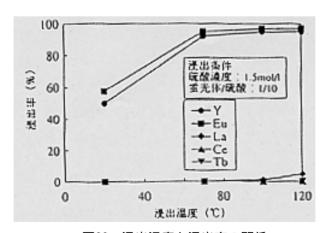


図23 浸出温度と浸出率の関係

件と各元素の浸出率を示した。

3・3 シレート樹脂による分離

		第1段目浸出	第2段目浸出
浸出率 (%)	Y	9 2	1
	Eu	9 5	4
	La	0	7 0
	Ce	0	8.0
	Tb	0	9 0
条件	浸出液	1.5mol/l 硫酸	18mol/l 硫酸
	浸出温度	70℃	120℃
	固被比条件	10倍	10倍

表 7 硫酸浸出率

3 · 3 · 1 IDA樹脂による Y / Euの分離

通常のイオン交換法は固定相に陽イオン交換樹脂、移動相にEDTA、HEDTAなどのキレート試薬を用いている。しかしこの方法ではキレート試薬の水に対する溶解度が低いため高濃度化は図れない。溶出後のレアアースはキレートを形成するため後処理が煩雑である等の欠点があることが知られている。

本実験では固定相にキレート樹脂、移動相には塩酸溶液を用いて相互分離を試みた。この方法は通常法の欠を補い高濃度化、処理後の簡略化が期待できる⁴)。 Y / Euの分離にはIDA樹脂、La / Ce / Tb の分離にはNTAの樹脂が適していた。分離度のRsと溶出液pH、溶出速度の関係を図24に示した。溶出液のpHが高くなるほど分離度も高くなっているがpH1.8以上の場合にはEuのテーリングが起こるため分離度が低下した。溶出速度の場合、遅いほど分離度が高くなっている。

金属イオンがカラム内に留まる時間が長いほど、溶離反応が平衡になり、クロマトグラムのピーク がシャープになるため分離度が向上したと考えられる。

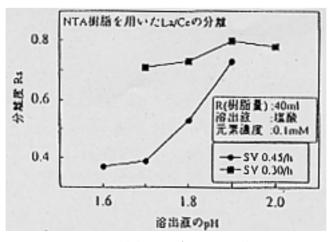


図24 分離度に及ぼすpHの影響

溶出液のpHは1.7、溶出速度はsv0.3 / hとした時の分離度は1.0であり、良好な分離結果を得られた。最適条件下でのクトマトグムを図25に示した。横軸は溶出液量、縦軸は各フラクション中のレアアース濃度である。 2 つのピークの重なりは全体量の 1 %以下となり、完全分離できた。 $8 \sim 15$ ml / ml-R (R = 50ml) のフラクションに吸着させた Y の99%が回収されており、その中のEuは0.1%であった。

3・3・2 NTA樹脂によるLa、Ce及びTbの分離

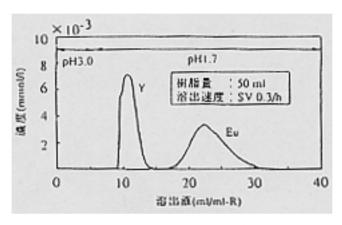


図25 YとEuのクロマトグラム

分離度のRsと溶出液のpH、溶出速度の関係を図26に示した。

溶出速度SV0.30 / hの場合、分離度が一番高NpHは1.9であるが、pH1.7から2.0の範囲ではそれほど影響はなN0. 一方、溶出速度SV0.45の分離度は低NpHの場合に極端に低下してN0. 分離速度を重視

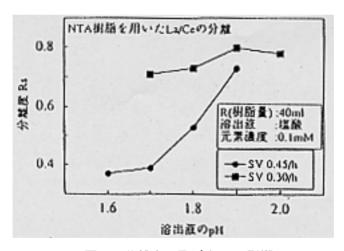


図26 分離度に及ぼすpHの影響

すると最適条件はpH1.9、溶出速度SV0.30 / hであるが、レアアースの加水分解による沈澱生成を考慮してpHは1.7とした。この条件のクロマトグラムを図27に示した。

LaとCeの重なりは全体量の30%となり完全分離できなかった。TbはpH1.0の溶出液で完全に溶離された。 $7 \sim 11 \text{ml-R}$ (R = 40 ml) のフラクションに吸着されたLaは99%の実収率を示しているが、

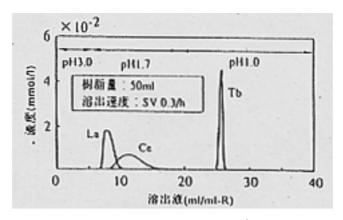


図27 La、Ce、Tbのクロマトグラム

その中にはCeが30%以上も含まれていることが分った。逆にCeが99%が回収されているフラクションにはLaが40%含まれている。

4 回収実験

4・1 浸出及びカラム分離

1.5mol / l硫酸500mlに廃蛍光体50gを加えて第1段目浸出、漏過残査約25gに18mol / l硫酸250mlを加えて第2段目の浸出を行った。

第1段目浸出ではY、Euがそれぞれ99.96%回収されており、他のレアアースはほとんど浸出されていなかった。第2段目の浸出ではLa、Ce、Tbがそれぞれ70、80、90%の回収に止まり、さらに残りのY、Euもそれぞれ1.4%含まれていた。処理が多くなると、120 1時間の条件では完全に分解されず、浸出率が低下したと考えられる。それぞれの浸出液に水酸化ナトリウム溶液を加えてレアアースの水酸化物沈澱を生成させ、さらに沈澱を塩酸溶液で再溶解する。不純物であるバリウム、ストロンチウム、カルシウム及びけい酸塩として沈澱分離される。一方強アルカリで溶解するアルミニウム、水酸化物沈澱を生成しないりん、塩素及びナトリウムはレアアース水酸化物沈澱と固液分離される。

ここまでの工程で蛍光体に含まれているレアアース以外の元素はほとんど除去される。

YとEuの分離は回収率と純度を上げるために、溶出速度をできるだけ速める工夫を行った。蛍光体のYとEuのモル比率が30倍であるが、重なりもほとんどなく、ほぼ完全に分離した。

4・2 回収されたレアアース

各レアアースの純度が95%以上になるようにクロマトグラムのフラクションを設定して高純度溶液を回収した。その溶液に少量のアンモニア溶液を加えてpH2.0~2.2に調整した後、しゅう酸を100g/1の割合で添加した。生成されたレアアースしゅう酸塩を漏過し、白金ルツボに入れ900 で焼成してレアアース酸化物を精製した。そして得られたレアアース酸化物の分析値を表8に示した。すべてのレアアース酸化物に白金が不純物として含まれるが、焼成時に用いたルツボから混入したものである。

Y₂O₃は約99.9%の純度のものが得られた。

また、 Eu_2O_3 はカラム分離において少量のYが重なっていたため、純度は99%であった。La、Ceはピークが重なりあっているため相互に依存して純度は96%、98%になった。 Tb_2O_3 は第 2 段浸出液中

に含まれていたY、Euとの分離が完全でないため、純度が92%まで下がっている。

回収率はY50、Eu50、La30、Ce30、Tb90%であった。しかし、重なりの部分の繰り返しのカラム 分離により純度、回収率とも改善できる。

5 蛍光体の再合成

表8 回収されたレアアース酸化物の分析結果

					(%)
	Y2O3	Eu ₂ O ₃	La ₂ O ₃	CeO ₂	Tb ₄ O ₇
Y2O3		0.70	0.046	0.015	4.0
Eu ₂ O ₃	n.d.		n.d	n.d	2.9
La ₂ O ₃	n.d	n.d	1	12	n.d
CeO ₂	n.d	n.d	2.0		n.d
Tb ₄ O ₇	n.d	n.d	n.d	n.d	
NazO	n.d	n.d	n.d	n.d	0.30
SiO ₂	n.d	n.d	0.025	n.d	0.58
SO ₃	n.d	n.d	0.053	0.085	0.069
K ₂ O	n.d	n.d	tr	tr	n.d
CaO	0.093	0 083	0.33	0.14	0.16
Cr2O3	0.028	- 11	n.d	n.d	n.d
Fe ₂ O ₃	tr	n.d	n.d	n.d	n.d
CuO	tr	0.23	0.016	n.d	n.d
SrO	n.d	n.d	0.056	n.d	n.d
Pt	0.052	0.55	1.5	0.45	0.20
Ment	99.8	98.3	96.0	87.3	91.8

tr:0.01%以下 nd:検出されず

5 · 1 Y₂O₃: Eu³⁺の合成

図2のレアアース蛍光体の合成フローに従って1.5mol / l硫酸浸出液から赤色蛍光体を合成した。1.5mol / l硫酸浸出液はy、Euのレアアース以外にカルシウム、りん及び硫酸が含まれている。アンモニア水を加えてレアアース水酸化物の沈澱を生成して再溶解し、さらにしゅう酸を加えてレアアースしゅう酸を生成する。この操作によりレアアースだけを分離することができる。Y、Euのしゅう酸塩は液相からの共沈生成物であるため均一に分布している。共沈法は固想反応よりも効率の高い蛍光体が得られるとの報告がある50。得られたレアアースしゅう酸塩から結晶性が良く、5~10fm程度の粒径まで成長した粒子を合成するための焼成条件を検討した。そして、焼成温度と結晶粒径との関係を図28に示した。焼成温度を上げることにより平均粒子径が大きくなることが分った。1200 以上では粒子同士の焼結が進みより平均粒子径を大きくしたものと推測される。

__また、蛍光強度については焼成温度による強度の差はほとんどなく、また Eu_2O_3 の含有量による強度の差もほとんどなかった。焼成温度1200 で合成した $Y_2O_3:Eu^3$ と赤色蛍光体市販品については

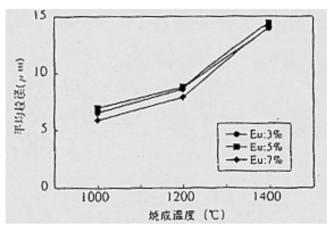


図28 焼成温度と粒径の関係

X線回折分析、粒度分布、蛍光スペクトル及び定量分析を行った。X線回折パターン、蛍光スペクトルと定量分析結果等の関係について図29、30及び

表 9 に示す。これらの図に示すとおり結晶構造、蛍光特色はほとんど同等であった。合成蛍光体のTb、 La、Ceは市販の蛍光体よりも多く含まれていたが、純度は99.9%に近い値である。

5 · 2 LaPO4: Ce³⁺、Tb³⁺の合成

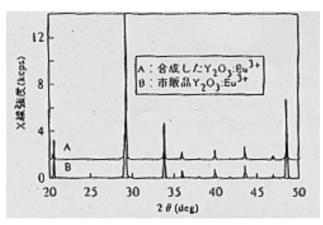


図29 Y₂O₃: Eu³⁺の X 線回折パターン

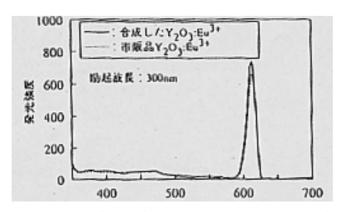


図30 Y₂O₃: Eu³⁺の蛍光スペクトルVoi.45,No.4 (98-冬)

	合成した蛍光体	市販品蛍光体
Al	0.010	0.005
Sc	0.003	0.003
As	0.006	0.006
Sr	0.010	0.003
La	0.100	0.014
Ce	0.008	0.006
Ть	0.015	. 0.006
純 度	99.85	99.96

表 9 合成したレアアース蛍光体の分析結果

図 2 のレアアース蛍光体の合成フローに従って19mol/l硫酸浸出液から緑色蛍光体を合成した。 18mol/lの硫酸浸出液の組成はレアアース以外にマグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウム及び多量の硫酸が含まれている。水酸化ナトリウム溶液を加えてレアアース水酸化物の沈澱を生成して再溶解、さらにしゅう酸を加えて、レアアースしゅう酸塩を生成する。このようにしてレアアース以外の不純物を除去した。レアアースしゅう酸塩を酸に溶解し70 まで加熱してりん酸アンモニウム溶液を加えて、レアアースりん酸塩を作成した。 $LaPO_4:Ce^{3+}$ 、 Tb^{3+} の付活剤Ceは、 Ce^{3-} 、 Ce^{4-} の形態を有するため Ce^{3-} に統一する必要があるので、 $CO+N_2$ ガス還元雰囲気、 N_2 ガス不活性雰囲気、空気酸化雰囲気の焼成を試みた。図31に示すX線回折分析結果から N_2 と空気の場合に CeO_2 と Tb_4 O $_7$ の存在が確認された。 Tb_4O_7 は暗茶色であるため、焼成後に薄い茶色に呈色されてたが希塩酸の洗浄作用によって白色蛍光体が得られた。

LaPO4: Ce³⁺、Tb³⁺の回折強度(結晶性)はCO+N2ガス N2ガス>空気の順であった。酸化雰囲気で焼成した場合にりん酸塩の一部がCeO2、La2O3、Tb4O7の酸化物になるためと考えられる。還元

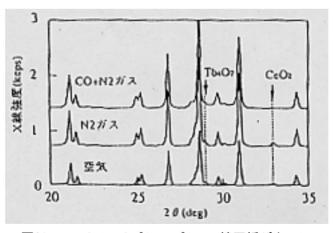


図31 LaPO4:Ce³+、Tb³+のX線回折パターン

雰囲気で得られたLaPO4: Ce³⁺、Tb³⁺と緑色蛍光体市販品についてはX線回折分析及び定量分析を行った。結晶構造はほとんど同等であったが、合成蛍光体は不純物としてカルシウム、ストロンチウム、Y、Euのレアアースが多く含まれており、純度は95%以下であった。紫外線照射による緑色発光の呈色も輝度、色彩が劣っているのがわかる。今後不純物除去、結星粒子の粒径制御などの研究が必要で

あろうと判断している。

6 結 論

廃蛍光ランプからレアアースを分離回収する研究を行ない、高純度レアアース酸化物を得ることができた。さらに硫酸浸出液から Y_2O_3 : Eu^{3+} と $LaPO_4$: Ce^{3+} 、 Tb^{3+} のレアアース蛍光体を再生することができた。今後はこの基礎研究結果をベースとして、実際に排出される廃蛍光体の物理選別及び再合成したレアアース蛍光体の実用化などについて検討し、ガラスカレットの利用、水銀回収と組合わせた廃蛍光ランプのトータルリサイクルシステムとしての技術的な検討を行なう予定である。

参考文献

- 1) 大野良治; 工業レアメタル No.113、P44~50
- 2) 社団法人照明学会;環境保全と照明システム(1997)
- 3)嶋影和宣 他;資源と資材 112 P953~958 (1996)
- 4) 金里雅敏 他;表面 Vol.29.P41~47(1990)
- 5)小票康生;工業材料 Vol.40.P37~45(1992)

(注)(資源処理学会誌による)

資源リサイクル研究の実例 その2

鶏羽毛の処理技術に関する研究 - 産廃物の有効利用への着目 -

1.まえおき

世界の人口が増加するに伴い、食糧、衣類、燃料その他の生活必需品の需要が増大するのは当然である。特に食糧は人間が生きていくために欠くことのできないものである。近年人口増加のスピードは、食糧の大幅な増加を要求するようになってきた。

このように21世紀における食糧危機が叫ばれている中、動物性タンパク質供給源としての鶏肉は、その生産性から見ても最も将来性のある食糧源の一つであると見なすことができよう。現在、先進国での鶏肉消費量の90%以上がタイ、ベトナム、メキシコ等に依存しているが、大量の羽毛が廃棄物としてそれらの国に残されている。わが国においても全国60ケ所以上あるブロイラー工場から毎日、60t以上の羽毛が廃棄物として産出されており、その容積を考えると早急な対策が必要である。本研究では、廃棄物である鶏羽毛から「ケラチンタンパク質」を抽出して有効利用するプロセスについて、地球環境改善への寄与という観点から考察を試みたものである。

2. 本研究の目的と意義

鶏肉は21世紀の動物性タンパク質源として最も安定供給が期待されている食糧源の一つと考えることができる。いわゆるブロイラー工場は、飼料から廃棄物まで完全に管理された状態にあり、現在はほぼ60日サイクルで工場経営されている。したがって、供給量は安定性が保証されており、品質も管理されている。

このように大量に排出されている羽毛も、生産サイクルの短縮化によりますますその量を増すことになり、現在フェザーミルとしてリサイクルされている量にも限界がある。またこのフェザーミルは飼料として吸収性が悪いので、使用したくないリサイクル法と考えられている。

廃棄物である羽毛は容積が大きいため、処理する場合にもできるだけ排出源に近いところでの処理 が必要である。

このことは21世紀に向っての重要な課題の一つと考えられる。タンパク質源である鶏肉を十分に確保しつつ、廃棄物である羽毛を有効に利用する方法を確率することは、極めて意義が深いものと思われる。(図32)

図32 研究の意義と目的及び原料としての安定性

3. タンパク質の抽出プロセス

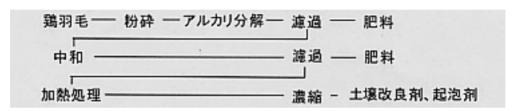
鶏羽毛からケラチンタンパク質を抽出するための諸実験を行なった。

先ず羽毛試料を粉砕し、アルカリ分解する。

そのアルカリ試薬として消石灰($Ca(OH)_2$)を用いる。効率よく分解するためには分解液を熱水として加温する必要がある。その温度を $60\sim80$ の範囲に設定し完全分解に至る所定時間を $2\sim3$ 時間と決めることができた。

それを濾過すると分解残査が残るが、この残査はいずれも高栄養の有機肥料として活用できることも分かった。最終産物は、抽出液であるケラチンタンパク質であり、種々の用途が考えられるが、土壌改良剤としても有効である。またこのケラチンタンパク質は安定した起泡剤を有するので、環境にやさしい起泡剤原料としても利用できる。なお、最終産物は乾燥工程に組み込めば、個体としても製品化できる。

そこで、そのタンパク質の抽出プロセスについて説明する。その概要は33図に示す。

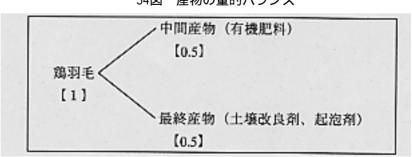


33図 ケラチンタンパク質抽出のプロセス

33図から明らかなように、まず羽毛原料を粉砕する。この粉砕は通常の粉砕物と異なるので、粉砕機並びに粉砕方法に一工夫が必要であることを粉砕実験によって確かめた。また粉砕物が 100μ 以下、理想的には平均粒 $620 \sim 30 \mu$ にすること望ましいことがアルカリ分解工程で明らかとなった。本抽出過程では分解残査が残るので固液分離を行うために漏過を行なうことが必要である。

中間産物である漏過残査は有機肥料として非常に有効であることが植物に対する施肥実験から明らかになった。次に漏液を中和するとさらに反応によって沈殿物が生成されるので再度漏過を行ないその残査も肥料として供給できる。

この抽出反応プロセスでのマテリアルバランスは原料の鶏羽量100に対して中間産物の有機肥料への適用がん考えられるものは50%、最終産物のケラチンタンパク質が50%という比率になることが明らかとなった。この結果は34図に示した通りである。



34図 産物の量的バランス

4.環境改善への寄与とその利用

鶏羽毛は廃棄物として環境上の負担が大きくなりつつある。そこでこのような社会的な背景を考慮しながら完全有効利の技術的プロセスを開発することは環境改善へ大きく寄与することになる。

従来より動物性タンパク質は起泡剤として存在するが、それらの多くは悪臭や放置すると安定性・ 持続性に欠点があるという問題があったし。そこでまずはじめに起泡剤としての界面活性作用の有用 性に着目したものである。

得られた羽毛ケラチンタンパク質面活性作用は極めて優れており、さらに無臭の上、その特性持続安定性の面からも有用な資源ということができる。起泡条件を種々の巾で制御できるので、その条件を選択すれば平均粒径が100ミクロン程度の寿命の長い強固な起泡の集合体を容易に生成することができる。

その特性利用の一方法として、セラミックス原料に混合させて固化又は焼成によって気泡が均一分布の状態で内在している製品の製造が可能となった。

このように製品中の起泡は、起立起こ泡として存在するため、優れた遮水性・遮音性・断熱性・軽量化を示すことになる。さらにまた原材料の通常使用に比して削減量の大きいことが分る。

ケラチンタンパク質のもう一方の利用の道として、土壌改良効果をあげることができる。植物に対して直接作用し、若葉の生育制度を増進するといった肥料効果もあるが、さらにより顕著な結果として、タンパク質の金属キレート化作用による土壌改良材効果をあげることができる。

ここで土壌中に含有している金属成分に対するケラチンタンパク質への吸着特性について実験結果 を紹介する。

ケラチンタンパク質に対する吸着性によってFeイオンでは 1/2 以下、Cuイオンで 1/8 以下、Znイオンでは 1/10以下となることが明らかとなった。このように土壌に対して金属イオンの無割化に大きな働きをすることとなる。その実験による土壌への金属イオンの吸着量の測定結果は35図に示す。

	【ミリ)	当量/ 100g	3]
	Fe	Cu	Zn
タンパク質溶液添加〔1〕	3.5	3.0	1.6
タンパク質溶剤添加〔2〕	1.2	0.9	0.3
タンパク質無添加	7.2	23.5	11.4

35図 抽出タンパク質溶液のキレート特性

現在、廃棄物として鶏羽毛を多量に排出する国の多くは、依然として農業依存率の高い発展途上国である。このような見地から、現地で容易に処理ができる技術プロセスが開発されれば、それらの国の農産物生産の生産性向上、環境対策などへの寄与も分に期待できる。さらにグロバールな視点で考えれば食糧危機回避とか、発展途上国地域での大きな課題である砂漠化の防止にも対処できるものと考えられる。

これらの拡張されたテーマはODAプロジェクトとしても興味のもたれるところである。今後は、抽出プロセスの高効率化、産物の用途開発をさらに進めて行きたいと考えている。

5. 起泡剤としての特性

具体的に起泡剤としての性能と土壌改良剤としての性能について2、3の実験を行ないその特性確 認を行なった。

(1)ケラチンタンパク質の起泡剤

タンパク質の水溶性に圧縮空気を送り込み流量を調節しながら発泡部を通過させると、微細気泡か ら成る空隙率が95%以上で、起泡径は50~200ミクロンとなっている。このフォームは非常に安定して おり、水分の蒸発がない場合には、一週間以上もその形状を保持する性質を有することが明らかとな った。またこのフォームは無色で無臭である。(36図)

生成したフォームの特徴ある活用を考える場合、他の素材の組合せ、例えば生コンクリートやセラ ミックス材料と混合することにより、その系の中で起泡素材を容易に生成させることができる。

生成した発泡素材は空隙率を高めるためその材料本体の軽量化は容易にできる。しかも材料本体中 の気泡は独立気泡として存在するため、断熱性、遮水性、防音性などの性質を持つことになる。また、 気泡膜はタンパク質でできているため、基質への親和力が強く、腐食性などの化学的な作用弊害が全 くないことも極めて重要な特徴である。

ケラチンタンパク質 水溶液し ↓ 圧縮空気 【フォーム】 空隙率: 0.95以上 気泡径:50~200 安定性:一週間以上(飽和蒸気圧下)

形 態:無色~白黄色 無臭

【発泡素材の特色】 高空隙率→軽量化

36図 気泡の生成方法とその特徴

(2)土壌改良性能

本ケラチンタンパク質による金属キレート効果は顕著に見られる。例えば、土壌への金属イオンの 吸着量を、タンパク質溶液が存在する場合と存在しない場合について実験によって比較検討を行なっ た。

独立気泡→断熱性、遮水性、防音性、耐震性 タンパク質気泡膜→強親和力(対基質)無腐食性

土壌中に含有する金属イオンの吸着量をタンパク質溶液添加〔1〕、タンパク質溶剤添加〔2〕、さ らにブランクとして無添加における含有量との比較実験結果を、金属イオンの吸着量〔ミリ当量 / 100 g〕で表示して第35図に示した。

この結果から明らかなように、鉄イオンは 1/2 ~ 1/6 の巾の吸着量、銅イオンは 1/8 ~ 1/24の

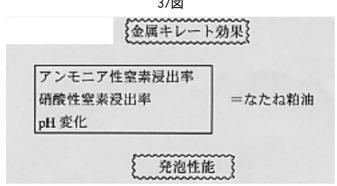
巾の吸着量、さらに亜鉛イオンでは $1/10 \sim 1/38$ の巾の吸着量を示した。このことは土壌改良性能と しての、金属キレート作用効果が極めて顕著であると理解できる。

特にタンパク質溶剤〔2〕の試料は羽毛原料の粉砕を特殊な粉砕によって粉砕産物のフレーク状の 粒子形状を30ミクロン以下にして化学分解したものである。

以上述べた土壌改良効果は、汚染土壌の改良はもちろんのこと、土壌活性への効果大なるものと期 待できる。

次に十壌中でのタンパク質溶液の無機化学特性を調べた結果、アンモニア性窒素の浸出率、硝酸性 窒素の浸出率及びそれらの環境下におけるpH値の変化状態は"なたね油粕"肥料として類似している ことが実験結果によって確認された(37図)。

羽毛のアルカリ分解プロセスより得られる残査漏過ケーキ中の有機質肥料としてN、P、Kの成分



37図

は次の1表に示す通りである。

この田では商品化されている、なたね油粕の肥料成分の比較して表示してある。

肥料三要素成分	T-N	T-P	T-K
羽毛の分解残査	5.7 %	8000ppm	16000ppm
なたね油粕	5.3 %	2.2%	1.0%

1表

6. 気泡添加の効果と主な用途

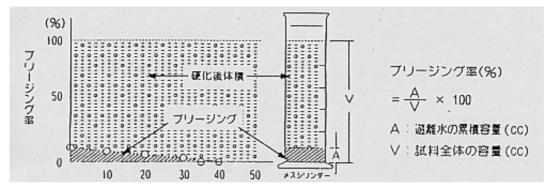
本気泡の特性を生かした用途を求めるために2~3の実験を行ないその適用性の検討を行った。 その適用性の特性として次の項を考えることができる。

- a)充填特性、空洞填性
- b)断熱性、軽量化
- c) 断熱パルプ、プレート、パイプ耐火及び防火性など

先ず気泡添加の効果が期待されるものとして軽量コンクリートなどが考えられる。

実験用コンクリートパネルの軽量化に用いられた気泡は、シェビングクリーム状で優れた安定性を 示した。気泡を多く含むモルタルはその界面効果でブリージングなどの材料分離がなく、軽量化、安 定化に寄与することが分った。

その実験による基礎的データ、気泡含有率とブリージング率及び硬化後の体積の関係図を38図に示した。



38図 気泡添加の効果と主な用途と適用性

このデータから明らかなように気泡モルタル特徴の1例とプレフォーム方式の適用ということで言及したものである。

この結果硬化体の特性として

- d)比重の調整が或る幅で自由である絶乾、焼成状態で0.5まで可か
- e)流動性が良い
- f)断熱性が大きい
- g)圧縮強度の範囲は任意にコントロールできる
- h) 有効利用についてはより精度の高い実験確認を行なうことが必要

7.羽毛アルカリ分解過程の物質収支

羽毛の化学分解処理工程を工学的なフローとして第8図に起泡剤製造フローチャートとして示した。 このフローチャートでは羽毛処理量1000kg / 日のアルカリ分解に必要な薬品類の量など工程の各単位ごとの収支バランスを定量的に表示した"バランスシート"である。

この量の収支は工業的な処理工程として十分に成立つ一単位として示したもので本成果の意義深さをものがたっている。

39図のフローに従って、原価試算の調査結果を表7に示す。

原価試算の基礎は使用薬品(消耗品)人件費、動力等をエネルギー費、さらに必要設備の減価償却 (償却期間5ヶ年)ケラチンタンパク質の通常の評価価格(安全サイドで見積る)等から利益を試算 したものである。

この企業化が、研究の意義と目的に合致した方向で達成されるよう研究を継続する考えである。

8. 本研究のまとめ

39図 起泡剤製造フローチャート 原料

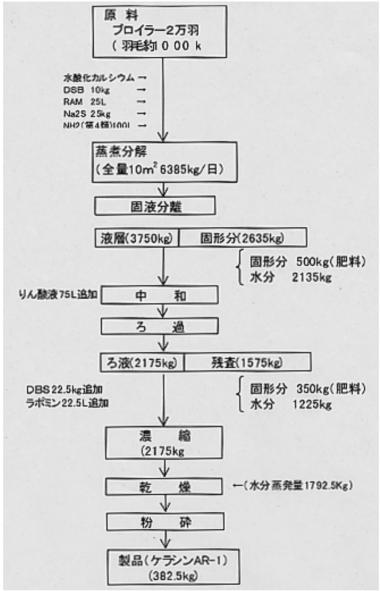


表 2 原価調査

項目	金	額	備	*
1. 消 耗 品(薬品類)	150,00	00円/日		
2. 人 件 費(3名)	100,00	00円/日		
3. 動力光熱費(1式)	110,00	00円/日		
電力 37kw		13000		
重油 150ℓ		34000		
活性炭 100kg		40000		
経費 1式		20000		
		107000		
4. 原価債却(5年:1億5千万円)	120,00	00円/日		
습 計	480,00	00円/日		
ケラチン 定価				
単価2000円/kg×0.4トン/日	800,00	00円/日		
利 益	320,00	00円/日		
	8,000,00	00円/月		
	96,000,00	00円/年		

- 1)廃棄物である鶏羽毛の有効利用についての実験結果及び提案を行なった。
- 2) ケラチンタンパク質抽出プロセスからの中間産物は有機肥料、最終産物は起泡剤ならびに土壌改良剤となる。
- 3) 気泡によって、生成したフォームは空隙率が大きく、無臭で安定性が高く素材中の気泡は独立気泡である。
- 4) 硬化体は断熱性、軽量性、防音性などの特性をもつ。
- 5)土壌改良剤としては、金属キレート効果が大きく、添加後の空化率やpHの経時変化なとば商品化されているなたね油粕と類似の性質を示す。
- 6) 食糧危機への配慮、砂漠化への対応などのグローバルな視点への貢献とその可能性を示すものである。
- 7)鶏肉の産地を考慮すればODAプロジェクトとしても大変興味がもたれる。

本研究は平成11年度11月17日付独創的研究企画として財団法人富山技術開発財団と委託契約を結び研究費助成を受けた。

[12] おわりに

資源循環型社会を目指すには

21世紀のできるだけ早い段階で物質重視の社会から脱却して、少ない資源消費で豊かな生活を送る 社会に転換していくことが必要である。

そのためにはこれまでとは違った価値観に立脚した人々の生活スタイルと生産システムが必要である。その変化はリサイクルとゴミ処理に端的に見ることができる。

地球の環境、地域の環境を守り、地球上のすべての人々が持続的に発展していくためには、現在の 廃棄物処理を根本的に考え直すことが極めて重要である。

そのためには社会の生産・消費・廃棄の仕組みや人々の生活スタイルを根本的に変更することが必要であると考える。

これらのことが世界の人々によって世界的に合意・認識される日が1日も早くくることを望みたい。