

資源・エネルギーと地球環境特別委員会報告

「資源・廃棄物問題について
— 資源確保と地球環境保全のための施策 —」

平成6年5月17日

日本学術会議

資源・エネルギーと地球環境特別委員会

この報告は、第15期日本学術会議資源・エネルギーと地球環境特別委員会の審議結果を取りまとめて発表するものである。

- 委員長 吉野 正敏（日本学術会議第4部会員、愛知大学文学部教授）
- 幹事 柏崎利之輔（日本学術会議第3部会員、早稲田大学政経学部教授）
原田 種臣（日本学術会議第5部会員、早稲田大学理工学部教授）
本間 慎（日本学術会議第6部会員、東京農工大学農学部教授）
- 委員 祖父江孝男（日本学術会議第1部会員、放送大学教養学部教授）
徳川 宗賢（日本学術会議第1部会員、学習院大学文学部教授）
佐藤 司（日本学術会議第2部会員、神奈川大学法学部教授）
山口 定（日本学術会議第2部会員、立命館大学教授）
五井 一雄（日本学術会議第3部会員、中央大学経済学部教授）
関口 忠（日本学術会議第4部会員、東京大学名誉教授）
藤江 邦男（日本学術会議第5部会員、新明和工業株式会社常任顧問）
松尾 稔（日本学術会議第5部会員、名古屋大学工学部教授）
平田 熙（日本学術会議第6部会員、東京農工大学農学部教授）
植村 恭夫（日本学術会議第7部会員、学校法人慶應義塾常任理事）
野島 庄七（日本学術会議第7部会員、帝京大学薬学部長）

報告「資源・廃棄物問題について」
—資源確保と地球環境保全のための施策—

1. 地下資源の供給確保

人類の歴史は地下資源の消費増大の歴史でもある。いま鉱石から生産された金属の量的変化を見ると、文明の初めから1750年までが2千5百万トン以下であったのに対し、1750年から1800年までの50年間では1千万トン、1850年までの次の50年間では1億トン、1900年までの次の50年間では9億トン、そして1950年までの次の50年間では40億トンというように増加の一途をたどり、さらに1980年代では10年間だけでも58億トンに達した。これは、まさに指数曲線的な増加である。

今日、先進工業国では、その高い生活水準を維持するために、地下資源の一人当たり消費量は極めて高い水準にある。また、開発途上国でも、経済発展の進行とともに、地下資源の一人当たり消費量が急速に増加している。しかも、世界人口は、開発途上国を中心として膨張し続けており、このままでは21世紀の半ばに、現在の2倍の百億人に達すると予測されている。こうして、人口の増加と一人当たり消費量の増加に照らして、世界の地下資源の需要量は今後も増加し続けるに違いない。

これに対して、地下資源の埋蔵量は、かつては無尽蔵に近いとみなされていたが、今日では推定可採年数（資源寿命）が意外に短いことが指摘されている。1991年における推定可採年数は、銅、ビスマス、タングステン、アンチモン、天然ガスなどについて、いずれも百年未満であり、また鉛、金、すず、銀、亜鉛、カドミウムおよび石油については、50年を切っている。そこで、もし事態がこのまま推移するならば、人類は21世紀に深刻な資源危機に直面することになる。

ところで、我が国はかつては必ずしも資源小国ではなかった。我が国の単位国土面積当たりの鉱物生産金額は、1967年において世界8位であった。しかし、我が国の経済規模が拡大するにつれて、原・材料とエネルギー資源の生産・消費が増大し、地下資源の国内供給が大幅に減少した。今日では一部の岩石資源を除く、ほとんどすべての地下資源について、その供給の海外依存度が極めて高くなって

いる。そこで、海外からの供給に支障が生じると、直ちに深刻な事態になることは必至である。

2. 廃棄物の処理

地下資源の生産・消費の拡大に伴って、固体・液体・気体状の廃棄物の排出量は増加する一方である。それらの排出量が、個々の地域における自然の浄化能力を一時的に超えることは、決してまれではない。また、有害な廃棄物が、当該地域の自然環境そのものを破壊し、地域住民の生存に永続的な悪影響を及ぼすという形で、各種の公害問題を引き起こしている。先進工業国では、この種の公害問題について若干の対応策が採られてきたが、必ずしも十分であったとはいえない。

その上、世界全体としての地下資源の消費量は、個々の地域での自然環境を破壊するとともに、地球規模での自然の自浄能力をも損なっている。したがって、地下資源の消費に伴う地球環境の悪化を防止することが、現在既に、緊急の課題になっている。しかしながら、この課題への対応が十分に効果的であるとはいえない。それどころか、今後、先進工業国での資源の大量消費に、開発途上国での人口増加と生活水準の向上による資源消費の増加が加わり、地球環境の悪化が一層深刻になるおそれがある。

ところで、我が国は廃棄物の再利用・最終処分について、十分な対策が採られてきたとはいえない。1990年度における我が国の産業廃棄物の排出量は3億9千5百万トンにも達したが、その資源化率は38%にとどまり、また同年度における都市ごみの排出量は5千万トン強であったが、その資源化率はわずかに3.4%に過ぎなかった。そこで、地下資源の消費水準が高く、海外依存度も高い我が国の場合、地下資源を含有する廃棄物の資源化率を高めるとともに、廃棄物の無害化及び最終処分技術の向上を図ることが、地下資源の供給確保と地球環境の保全の両面から、必要不可欠である。したがって、1991年に制定された「再生資源の利用の促進に関する法律」、同年に改正された「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」等の適切な運用も強く望まれる。

3. 施策

(1) 地下資源の可採年数を増やすため、我が国が講ずべき施策として、次の4

つが考えられる。

第1の施策は、新鉱体の発見のための技術開発である。新鉱体の発見のためには、開発途上国における探鉱事業に協力する一方、国内での資源探査にも一層力を注がなければならない。探査に必要な技術は近年著しく発展してきたが、いまだ十分とはいえない。そこで地下深部の構造をこれまで以上に把握できるような高精度探査・賦存量評価の技術を開発することが必要である。

第2の施策は、未利用資源の利用技術の確立である。一般に、ある鉱種の可採年数が少なくなっても、その鉱種の低品位鉱を直ちに開発の対象としにくい。また、組織が複雑で処理が困難である鉱石や、地下深部・深海底・極地等に存在する鉱床も、すぐには利用しにくい。そこで、これらの未利用資源の探鉱・選鉱・製錬技術を開発することが必要である。ただし、その際に付随的に生じる廃石の資源化あるいは処分技術を開発することも、併せて必要である。また、探鉱の際の自然環境保護対策や作業者の安全対策も万全でなければならない。

第3の施策は、代替材料の開発である。代替の例としては、電線の銅からアルミニウムへ、水道管の鉛からビニールへの転換が挙げられる。さらに最近では、単純金属材料から複合材料やセラミックスへの転換が多くの分野で進められている。可採年数の少ない資源について、さらに代替材料を開発することが必要である。

第4の施策は、廃棄物の資源化である。鉛の可採年数が大幅に伸びているのは、リサイクリングが進んだ結果である。これに対して亜鉛の可採年数があまり伸びないのは、めっき鋼板等のリサイクリングが困難なためである。そこで、リサイクリングの徹底化を進めるには、それを可能にする技術の開発が不可欠である。

(2) 廃棄物の資源化率を高めるとともに廃棄物の無害化を図るため、我が国が講ずべき施策として次の2つが考えられる。

第1の施策は、地下資源を含有する廃棄物のリサイクリングの徹底化である。そのためには、産業廃棄物・都市廃棄物のいずれについても、分別収集、選別回収を推進することが必要である。しかし、リサイクリングの徹底化のためには、天然資源から製品を作る場合よりも、低いエネルギーコストで再生品を作る技術を開発しなければならない。このことを可能にするには、製品を作る側でも、リ

サイクルしやすい製品を設計して、それに沿う材料を使用するようにしなければならない。

第2の施策は、長期的な処理計画の策定である。地球環境の保全の視点から地下資源を含む廃棄物のリサイクリングの問題に取り組むためには、人々の生活意識の転換のための環境教育、啓発活動の推進、公害防止事業や環境関連産業の育成など、幅広い視点にたって長期的な廃棄物処理計画を策定し、廃棄物の無害化を進めることが必要である。

報告「資源・廃棄物問題について
—資源確保と地球環境保全のための施策—」

1. まえがき

第15期、本委員会に課せられた任務は、「資源・エネルギーの開発と利用に伴う自然及び人間社会への影響を研究し、持続可能な発展のための諸方策と環境教育の在り方等について検討すること。」であった。この任務を遂行するため、1)委員会での討議、2)委員及び委員以外の専門家の意見のヒヤリング、3)公開シンポジウム「地球環境問題に対し日本の科学者はどう取り組むべきか」の主催、4)秋田市ごみ処理施設（御所野事業所・リサイクルセンター）と金属鉱業事業団の旧松尾鉱山坑水処理施設を対象とする現地検討会の実施、5)公開講演会「人口・食糧・エネルギーと地球環境」の共催、6)シンポジウム「21世紀の資源—展望と対策」の共催等を行ってきた。また「地球環境への提言—問題の解決に向けて」と題する図書（山海堂）の執筆にも、委員長をはじめ多くの委員が協力した。

第15期に本委員会で検討した内容は、上記のようにかなり広範囲に及ぶが、既に公表されている内容との重複を極力避ける目的で、標題のもとに報告書を作成することとした。

2. 地下資源消費の歩みと供給の見通し

2.1 地下資源消費の歩み

考古学上、人類の最初の時代区分を石器時代と呼ぶように、人類は出発の段階から地下資源を利用してきた。そしてBC 5000年ぐらいから金の利用が、それに続いてBC 3000年頃から青銅器時代が、同2000年後半から鉄器時代が始まった。

ここで、今日まで鉱石から生産された金属量を見ると、1750年までが2500万トン以下、1750年から1800年までが1000万トン、1800年から1850年までが1億トン、1850年から1900年までが9億トン、1900年から1950年までが40億トン、そして1980

年代の10年間で58億トンに達する¹⁾。まさに指数曲線的に増大している。他の地下資源の消費についても、同様のことがいえる。

その結果、かつては無尽蔵に近いとみなされた地下資源も、20世紀半ば過ぎ頃からその有限性が指摘・警告されるようになった。それを代表するものがローマクラブの「成長の限界」²⁾である。

2.2 地下資源供給の見通し

主な金属資源の全世界埋蔵量及び生産量³⁾を表1に示す。鉱石埋蔵量を鉱石年間生産量（いずれも含有金属量）で割った値（ R/P ）は可採年数と呼ばれ、資源寿命を表す。表で金属名のみのももの生産量には、リサイクリングによる分も含まれるので、 R/P は実際の値よりも少なめになっている。鉛、亜鉛、銅、ニッケルについての実際の R/P は、それぞれ36年、43年、60年、138年となる。表に掲げていない資源のうち、主要エネルギー源である石油、天然ガス、石炭の可採年数⁴⁾は、順に45年、56年、219年である。

ただし、探査技術の進歩による確認埋蔵量の増加、人口増や生活水準向上による年間生産量の増大等、将来には多くの不確定要因があるので、 R/P は今後計算どおりに減少するとは限らない。したがって、これはあくまでも一つの目安である。そうはいても、 R/P が100年未満の資源が表において10種、エネルギー資源で2種に上ること、しかもその中に生活必需資源が多数含まれている事実は銘記されなければならない。

なお、上記とは別に、動的可採年数（消費量の伸びを考慮した R/P ）も資源寿命評価に用いられることがある。この場合、 R/P は全体的に表1よりも小さな値となる。

2.3 資源寿命維持のための施策

前節で述べたように、21世紀における資源供給の見通しは決して明るくない。このような危機を克服するために、講ずべき施策として次の4つが考えられる。

(1) 新鉱体発見のための技術開発

このことに成功すれば可採年数を増やすことが可能である。海外の低開発地域の探鉱事業に協力する傍ら、国内資源の探査にも一層力を注ぐ必要がある。

探査技術はエレクトロニクス、コンピュータ等の急速な進歩に支えられて近年著しく発展してきているが、深部地下構造は解明されずに残されている部分が多い。そのため、地下深部の構造をこれまで以上に正確に把握することのできる高精度探査技術、賦存量評価技術の開発が必要である。

(2) 低品位鉱及び未利用資源の採鉱・選鉱・製錬技術の確立

国内外を問わず、可採年数が少なくなっている鉱種の低品位鉱や、鉱石組織が複雑で処理が困難であったり、地下深部・深海底・極地等に存在するため未利用の資源の量は少ない。したがって、これらの低コスト利用技術が確立されれば、地下資源の可採年数をかなり大幅に伸ばすことができる。ただし、これらは原則として多量の不用鉱物を伴うので、廃石の資源化または処分技術の確立も併せて必要である。また、採鉱の際の自然環境保護対策や作業者の安全対策も万全でなければならない。

(3) 代替材料・代替エネルギー源の創出または活用のための研究開発

代替材料の好例として、電線の銅からアルミニウムへ、水道管の鉛からビニールへの転換が挙げられる。さらに最近では、単純金属材料から複合材料やセラミックスへの転換が多くの分野で進められている。可採年数の少ない資源の代替材料の開発は、真剣に取り組むべき課題である。石油の代わりに天然ガス、石炭、原子力、水力、地熱等の使用される率が増えたが、エネルギー総需要の伸びが大きいと、あと45年という石油の可採年数の維持が危ぶまれている。核融合の研究開発を別とすると、原子力利用は国民の合意が得られにくくなっている。したがって、エネルギーを長期にわたり安定的に確保するための研究を強力に推進することが必要である。

(4) 資源リサイクルの徹底

資源リサイクルは、産業が必要とする資源を鉱石のみに頼らず、廃棄物中の資源の活用によって賄うことであるから、当然、可採年数の増加につながる。蓄電池等に不可欠の鉛は、現在、可採年数が最も少ないものの一つで、前述のように36年しかない。しかし表1の数字は21年であった。つまり、21年が36年に伸びているのはリサイクルのお陰なのである。また、めっき鋼板等に必要亜鉛の実際の可採年数は43年でありやはり少ない。そして表1のそれは41年である。すなわち亜鉛の場合は、リサイクルの寄与は2年分に過ぎ

ない。これは、めっき鋼板等のリサイクリングが困難なためである。したがってリサイクリングの徹底のためには、それを可能にする技術開発も不可欠である。

3. 社会システムにおける資源の供給と廃棄物の排出

3.1 探査活動

社会システムにおける資源の供給と廃棄物の排出や資源リサイクリングの役割を明確にするため、図1⁵⁾を基に考察を進めてみよう。

探査活動の結果、地下資源の存在個所と鉱量が確認される。確認された資源は、資源・素材産業、各種製造業の生産工程を経て、人々の消費活動の対象となる各種製品に仕上げられる。

探査技術は地質調査、物理探査、地化学探査、リモートセンシング、ボーリング等からなる。また探査活動は、宇宙、空中、地上、坑内、海洋等至る所で実施されている。

3.2 採鉱工程と廃石等の排出

採鉱工程を経て自然状態の資源は地殻から分離され、地表に集積される。採鉱方式は露天採掘と坑内採掘に大別され、後者は中段採掘、シュリンケージ法、充填採掘、ケービング法、残柱式採掘、その他の方法からなる。また深海底採鉱も試験段階に入っている。採鉱方式は鉱床の種類・品位・作業の安全性や能率等を考慮して選択される。

採鉱工程の産物は粗鉱（採掘されたままで品位や粒径が整えられていない鉱石）であるが、廃棄物として廃石、表土、坑水等が排出する。

坑内採掘跡に対しては多くの場合廃石の充填がなされる。これは、不用岩石を坑内にリサイクルし環境を保全することと、地盤沈下を防止することにつながる。露天採掘跡に対しては、覆土・植栽等が法令で義務づけられている。

坑水中には有害物質が溶存していることがある。しばしば見られる例は、鉄が上限値10ppmを上回り、pHが許容値 5.8～8.6を下回る場合である。このようなときは、4章の松尾鉱山の例で見られるように坑水の中和処理を行い、同時に鉄イ

オンを水酸化鉄沈殿として分離する。酸性源の硫酸イオンも石膏として沈殿分離する。

3.3 選鉱工程と廃石等の排出

この工程を経て粗鉱の品位と粒径は次工程に供給するのに適した状態に調整される。この産物を精鉱と呼ぶ。

選鉱工程は準備作業・選別・付帯作業の3段階からなる。準備作業は粉碎と整粒であり、選別には手選、重液選別、比重選別、磁力選別、静電選別、浮遊選別、色彩選別、放射能選別、その他の方式がある。付帯作業の主体は精鉱の脱水と廃石・廃水の処理である。選鉱工程からは大量の廃石が排出する。このうち塊ないし粒状のものの一部は骨材として、砂状粒子は坑内充填材としてそれぞれ利用される。しかし粒径0.05mm程度以下の微粒廃石は充填に不向きのため、やむなく堆積場に投棄されている。これを窯業原料等に利用する試みは過去にしばしばなされたが、純度・輸送費等に問題があり、長続きする例はほとんど見られない。清澄化された廃水は工程内で再使用され、余分なものは河川に放流される。

3.4 製錬・精製工程と鉱さい・排煙脱硫石膏等の排出

金属鉱物の精鉱については、この工程で金属の抽出と精製が行われる。製錬の中間段階で発生する金属を含むスラグ・ばいじん・廃水は、必要な処理を受けて工程内の適切な個所に送り返される。

製錬工程からは鉱さいの一種であるスラグが大量に排出するが、鉄鋼業全体の6割を占める高炉スラグはほぼ全量が、非鉄製錬業のスラグはその8割が再利用されている⁶⁾。スラグの主な用途は、道路用の路盤材・骨材とセメント原料である。

非金属鉱物の精鉱の大部分ははこの工程を経ずに製造工程へ送られる。

原油・天然ガスはこの工程で精製される。

原油・天然ガス精製工場、非鉄製錬所、製鉄所コークス炉等の脱硫処理で生成した石膏は、建材やセメントの副原料等に全面的に活用されている。

3.5 製造工程と産業廃棄物の排出

金属や鉱物を原・材料として、各種の製品を製造する工程である。これを担当する業種は、化学工業、自動車製造業、電機製造業、家電製造業、乾電池製造業、プラスチック工業、その他各種製造業、電気事業、建設業等である。

1990年度における日本の産業廃棄物排出量と再生利用率⁷⁾を表2に示す。表に見られるように、総排出量は約3億9500万tである。産業廃棄物排出量を種類別に見ると、汚泥が最も多く、約1億7100万t(全体の43%)である。次いで動物のふん尿の約7700万t(20%)、建設廃材の約5500万t(14%)となっており、この3種目で全排出量の77%を占めている。

総排出量約3億9500万tのうち、中間処理されたものは約2億4700万t(全体の63%)である。また、廃棄物全体の38%に当たる約1億5100万tが再生利用され、23%に当たる約8900万tが最終処分された。

産業廃棄物の種類別に見て再生利用率が高いのは、金属くず(91%)、動物のふん尿(86%)、動植物性残渣(74%)、鉱さい(68%)等であり、逆に再生利用率が低いものはゴムくず(2%)、汚泥(6%)、廃アルカリ(10%)、廃プラスチック類(20%)等である。

3.6 消費活動と都市廃棄物の排出

人々の消費活動の結果、その老廃物として都市廃棄物が排出する。都市廃棄物は、法律では一般廃棄物と命名されている。一般廃棄物のごみとし尿に大別される。

ごみの大部分は都市町村が計画収集したのち中間処理を施し、資源化できるものの選別回収、可燃ごみの焼却、焼却不適ごみの減容等を行い、不用物は最終処分場に埋め立てる。1990年度、日本でのごみの総排出量は5044万tであった⁸⁾。そのうち都市町村が収集・処理した普通ごみは4079万t、粗大ごみは170万tである。資源化された量は168万tで、資源化率は3.4%にすぎない。この数字を大きく伸ばす施策が是非とも必要である。なお、都市町村が最終処分場に埋め立てた量は1681万tである。また、日本人1人1日当たりのごみ排出量は1120gである。

3.7 リサイクル活動と工程

リサイクル活動と工程は、資源を含有する廃棄物の収集、粉碎と整粒、選

別、脱水と乾燥、焼却、熱分解、集じん、成形、廃水処理、その他必要な処理からなる。

リサイクリングを促進させるために技術面で必要な事柄は、天然資源から製品を作る場合よりも、低いエネルギーコストで再生品が作れる技術を開発することである。これはいうはやすく実現には多くの困難を伴う場合が少なくない。そのためには、製品を作る側も、リサイクリングしやすい製品を設計し、それに沿う材料を使うよう真剣に努力することが必要である。

3.8 地球環境保全に対するリサイクリングの寄与率

地球環境保全に対するリサイクリングの寄与率計算例の一つ⁹⁾を示すと次のようである。すなわち、アルミニウム、鉄、紙、ガラスのリサイクリングは、エネルギー使用をそれぞれ90～97%、47～74%、23～74%、4～32%節減する。また大気汚染をそれぞれ95%、85%、74%、20%低減する。水質汚濁に関しては、アルミニウム、鉄、紙のリサイクリングは、汚濁をそれぞれ97%、76%、35%低減する。

4. 資源・廃棄物問題解決への取り組みの事例

4.1 旧松尾鉱山における坑水処理事業と資源化への取り組み

この鉱山は岩手県八幡平の中腹に位置し、かつて東洋一の規模を誇る硫黄鉱山であった。1965年以降、海外から大量に輸入されるようになった低価格硫黄に押されて経営は危機を迎え、71年、鉱石を残したまま閉山のやむなきにいたった。硫黄鉱に随伴する硫化鉄鉱 (FeS_2) は極めて酸化しやすい特性をもつ。そこで閉山後強酸性の含鉄坑水が大量に流出し、これが北上川を赤茶けた状態にしてしまい、大きな社会問題となった。会社は解散してしまったので、国や県が費用を投じて坑水の中和処理に取り組み、ようやく川はよみがえったのである。

図2に示す坑水処理施設は、その後更に改良された方式（バクテリア酸化—炭酸カルシウム中和法）に基づき建設されたもので、81年11月末に完成した。施設の維持管理は、岩手県の委託を受けて特殊法人金属鉱業事業団が行っている。1992年の実績¹⁰⁾では、原水の水量17.6 m³/分、pH 2.2、鉄含有量304 mg/l、ひ素含有量 1.7 mg/lで、処理後の水のpH 4.1、鉄含有量2.0 mg/l、ひ素含有量0.0

1 mg/lとなっている。pH 4.1の水は、河川と合流して水質基準値の5.8以上となる。

図3は坑水処理の最終段階に設置されている固液分離槽の上部を示す写真で、槽の上澄水が河川に向けて放流される。固液分離槽の底から排出する中和沈殿物（略して中和殿物と呼ばれる）は、目下、貯泥ダムに堆積されている。資源活用と環境保全の目的で、金属鉱業事業団は中和殿物の利用技術の研究を長年行っている¹¹⁾。その主な内容は、中和殿物からフェライト ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)とヘマタイト (Fe_2O_3)を製造し、併せて石膏を分離回収しようというものである。研究成果が早く実用段階に入ることを期待したい。

4.2 都市ごみ処理への取り組み

(1) 秋田市リサイクルセンターでの缶類・びん類等の回収

財団法人クリーン・ジャパン・センターのモデル都市に指定された秋田市は、1981年にリサイクルセンターを発足させ、スチール缶、アルミ缶、ガラスびん、カレット（くずガラス）、乾電池等のきめ細かな選別回収を行っている。

缶類・びん類等は、市内各所の回収地点で色分けしたコンテナを用い、月2回回収される。センターに搬入された缶類は、磁選機によりスチール缶とアルミ缶に選別される。その後それぞれは、運搬しやすいようプレスで圧縮成形された後出荷される。出荷前のスチール缶を図4に示す。びん類は図5に示すように、色と形体別に人手でグループ分けしてから出荷される。カレットも人力により透明、緑色、褐色の3種にきちんと選別の後出荷されている。

(2) 都市ごみ処理についての海外での優れた提案

図6はドイツのアーヘン工科大学で、都市ごみ中の有価物の完全回収を目的に開発されたプロセスの系統図である¹²⁾。

有価物の少ない細粒が最初のふるい分けで分離される。この粒群は有機物を含有するので、磁力選別で鉄と分離後、堆肥として利用できる。

粗粒は100mm以下に粉碎後、風力選別、向流式選別等により紙、繊維、プラスチック、有機物等を分離後、重産物を磁力選別して鉄を回収する。非着磁産物は2段の重液選別により非鉄金属、陶磁器及び石、ガラスの3者に分離する。ガラスはその後色彩選別により無色と有色ガラスに分離する。紙・繊維・プラスチック（密度小）の混合物から紙を分離し、再生紙原料に利用できることも

付言されている。

色彩選別機を用いて無色と有色ガラスに分離したり、紙を再生紙原料とすることに配慮するなど、アーヘン工大法は従来よりも徹底した都市ごみ処理プロセスといえる。図6で非鉄金属と記されているものは、重液選別で最も重い産物となる銅、鉛、亜鉛等であろう。そうだとするとアルミニウムはどこから出るのだろうか。比重から考えれば陶磁器、石と一緒に、ガラスと一緒に出てくるはずである。したがって、本法を日本に適用する際には、アルミニウムとこれら非金属との分離が可能な渦電流選別機を処理系統に組み込むことが望ましい。

図7は米国鉱山局の研究所が提案している都市ごみの処理系統図¹³⁾で、図6と同様都市ごみ中の有価物の完全回収を目的にしている。破碎機、各種分粒装置（空気分級機・サイクロン・トロンメル・アスピレーター）、そして各種選別機（磁選機・ミネラルジグ・ガラス選別機・静電選別機）を駆使して分離回収の徹底を図っている。なお、ここでのガラス選別機は浮遊選別機のことである。

4.3 廃車の資源化率向上への取り組み

オランダのデルフト工科大学で研究された方法¹⁴⁾は、特に注目すべきものといえる。この方法は、1)破碎・磁力選別・ふるい分け工程、2)+100mm及び16~100mm粒群処理工程、3)4~16mm及び-4mm粒群処理工程からなる。

破碎・磁力選別・ふるい分け工程：この工程を図8に示す。廃車は最初にシュレッダーで破碎される。破碎により金属と非金属はそれぞれ単体に分離され、そして磁性粒子は磁選機で回収される。残りの粒子は、-4mm、4~16mm、16~100mm、+100mmの4粒群にふるい分けられる。

+100mm及び16~100mm粒群処理工程：この工程を図9に示す。+100mmは手選もしくは16~100mmと同一の方法で選別できる。金属類を約55%含有する16~100mmは、上昇流分離機(RCS)で予選される。RCSでは発泡プラスチックほか非常に軽い物質が除去される。RCSの重産物は重液選別(HMS)される。この選別は、図9に示すように2段に分けてなされる。1段目では、粒子は比重2.4の重液に供給されるが、そこではゴム、プラスチックなどが浮上する。沈下物は次いで比重3.3の

重液に供給され、そこではアルミニウム、ガラス、石材、銅線、単体分離不十分な粒子等が浮上し、銅、亜鉛、鉛、ステンレス鋼等が沈下する。

アルミニウム、ガラス、石材、銅線の混合物からは、渦電流法によりアルミニウムが回収される。この技術によれば、純度98%のアルミニウムが回収できるという。2段目重液選別の沈下物からは、選択還元または手選により鉛と亜鉛が回収できる。

4~16mm及び-4mm粒群処理工程：この工程を図10に示す。15~20%の金属類を含む4~16mmは、手選するには粒径が小さ過ぎる。金属含有率が低く、減径のため沈降速度が小さくなったこの粒群は、重液選別法には経済的に不向きである。そこでそれに代わる方法として、図10の方法が考案された。すなわち、この粒群はジグ選別によりうまく分離できることが証明された。1段目のジグで、ゴムとプラスチックは軽産物として除去できる。ここでの重産物は2段目のジグに送られ、そこでガラス、石材、アルミニウムは他の金属類と分離される。アルミニウム、ガラス、石材の混合物は、前記と同様、渦電流法を用いて分離できる。2段目ジグの重産物からは、選択還元により鉛と亜鉛が回収される。

-4mm粒群は今のところ廃棄されている。しかし、揺動テーブルまたは他の機械的分離法によるこの粒群の選別について、目下研究が進行中である。

我が国でも、廃車の破碎産物の処理に適したジグを考案し、それを用いて軽産物（ゴム、プラスチック類）と重産物（非鉄金属類）を効果的に分離している例が見られる¹⁵⁾。このような技術の一層の発展と普及を期待したい。

5. むすび

報告「資源・廃棄物問題について－資源確保と地球環境保全のための施策－」の内容を説明・補足する目的で、別添資料第1章には第15期における本委員会の活動のあらまし、第2章には地下資源消費の歩みと供給の見通し（地下資源消費の歩み、地下資源供給の見通し、資源寿命維持のための方策）、第3章には社会システムにおける資源の供給と廃棄物の排出（探査活動、採鉱工程と廃石等の排出、選鉱工程と廃石等の排出、製錬・精製工程と鉱さい・排煙脱硫石膏等の排出、製造工程と産業廃棄物の排出、消費活動と都市廃棄物の排出、リサイクリング

活動と工程、地球環境保全に対するリサイクルの寄与率)、第4章には資源・廃棄物問題解決への取り組みの事例(旧松尾鉱山における坑水処理事業と資源化への取り組み、都市ごみ処理への取り組み、廃車の資源化率向上への取り組み)等についての調査研究結果を記述した。

参考文献

- 1) H. Spoel: Journal of Metals, Vol. 42, NO. 4, pp. 38 ~ 41(1990)
- 2) D. H. Meadows et al: 成長の限界、ダイヤモンド社(1972)
- 3) 資源エネルギー庁長官官房鉱業課: 鉱業便覧、通商産業調査会(1993)
- 4) 奥村暁: 第3回石炭利用技術会議講演集、石炭利用総合センター、pp. 1~2 (1993)
- 5) D. B. Brooks: Conservation of Minerals and of the Environment, In G. J. S. Govett & M. H. Govett(Ed.), World Mineral Supplies, Elsevier(1976)
- 6) 産業構造審議会廃棄物処理・再資源化部会: 今後の廃棄物処理・再資源化対策のあり方 (1990)
- 7) 厚生省生活衛生局水道環境部産業廃棄物対策室資料: 産業廃棄物の排出及び処理状況について(1993)
- 8) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課資料: 日本の廃棄物処理(1992)
- 9) R. C. Letcher & M. T. Sheil: Source Separation and Citizen Recycling, In W. D. Robinson(Ed.), The Solid Waste Handbook, John Wiley & Sons, Inc. (1986)
- 10) 金属鉱業事業団松尾管理事務所: 旧松尾鉱山新中和処理施設坑廃水処理資料 (1993)
- 11) 金属鉱業事業団: 坑水中の金属回収技術開発実証試験、第1報(1984)~第7報 (1990)
- 12) H. Hoberg: Proceedings of 18th International Mineral Processing Congress, Vol. 1, pp. 27 ~ 37(1993)
- 13) M. H. Stanczyk & R. S. DeCesare: Resource Recovery from Municipal Solid Waste, Bulletin 683, U. S. Bureau of Mines(1985)
- 14) H. J. Witteveen & W. L. Dalmijn: Proceedings of 17th International Mineral Processing Congress, Vol. 7, pp. 99 ~ 107(1991)

- 15) 森祐行:日本学術会議資源開発工学研究連絡委員会シンポジウム資料「分離技術の最近の進歩とその資源リサイクルへの応用」、pp. 9～14 (1992)

表1 主な金属資源の全世界埋蔵量および年間生産量（1991年）

金属資源	埋蔵量 (R)	年間生産量 (P)	R/P
鉛	120,000 千t	5,586 千t	21年
金	49,400 t	2,060 t	24
す ず	6,000 千t	223.2 千t	27
銀	420,000 t	14,200 t	30
亜鉛	295,000 千t	7,187.5 千t	41
カドミウム	970 千t	20,989 t	46
銅	574,000 千t	10,605.9 千t	54
ビスマス	250,000 t	3,200 t	78
タングステン	3,438 万分千t	44,008 万分t	78
アンチモン	4,695 千t	52,537 t	89
モリブデン	11,810 万分千t	99,100 万分t	119
ニッケル	111,586 千t	891.1 千t	125
マンガン	3,538 百万t	23,872 精鉱千t	148
コバルト	8,340 千t	38,512 t	217
ボーキサイト	24,500 百万t	110,650.5 千t	221
鉄	229,000 百万t	906 百万t	253

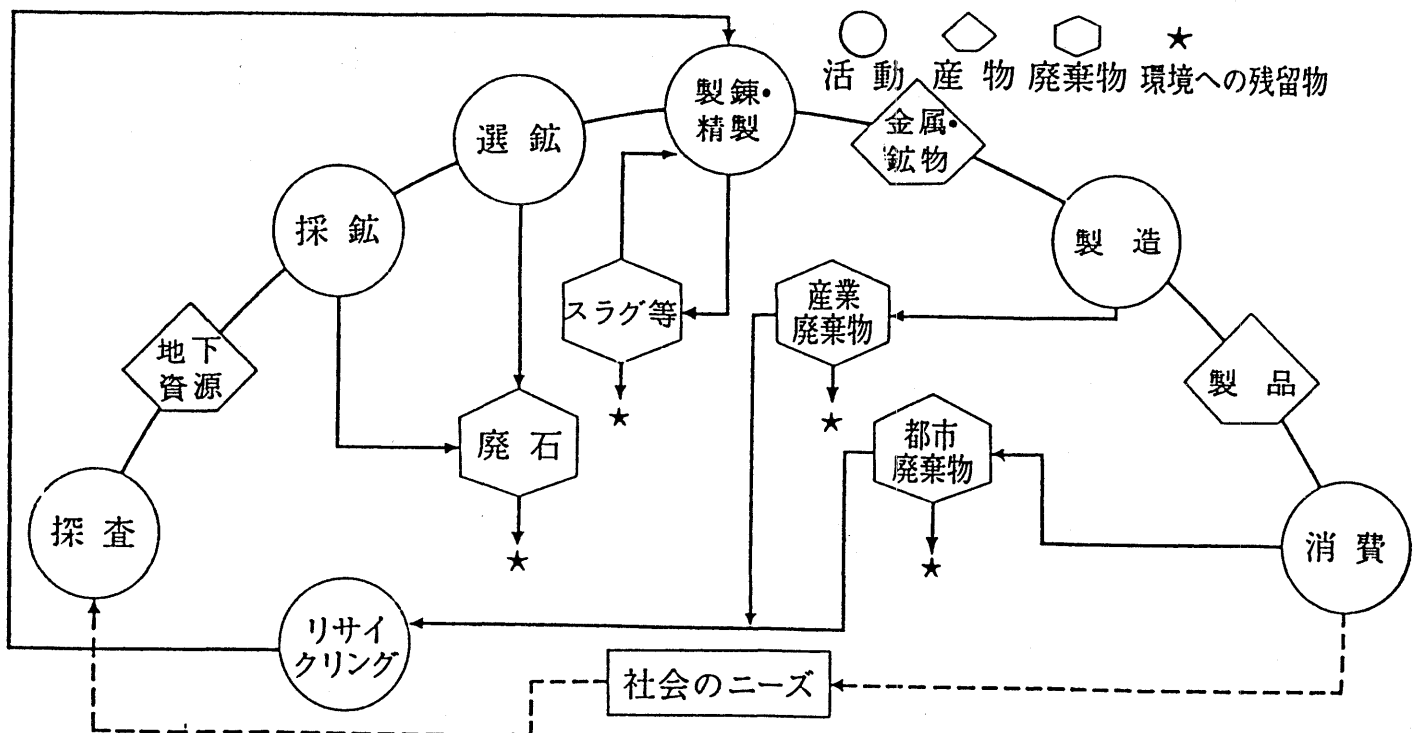


図1 社会システムにおける物の流れ

表2 日本の産業廃棄物排出量と再生利用率(1990年度)

産業廃棄物の種別	排出量	再生利用率
燃 え が ら	2,678 千t	47 %
汚 で い	171,450	6
廃	3,471	51
廃	2,674	30
廃 ア ル カ リ	1,547	10
廃 プ ラ ス チ ッ ク 類	4,334	20
紙 く ず	1,193	52
木 く ず	6,573	47
織 維 く ず	99	57
動 植 物 性 残 渣	3,543	74
ゴ ム く ず	94	2
金 属 く ず	8,533	91
ガ ラ ス く ず ・ 陶 磁 器 く ず	5,295	25
鉍 さ い	42,507	68
建 設 廃 材	54,798	38
家 畜 ふ ん 尿	77,208	86
家 畜 の 死 体	28	57
ば い じ ん 他	7,491	52
そ の 他	1,218	1
合 計	394,736	38