

7. リサイクルの現状と課題

7.1 非鉄製錬業における廃棄物処理・リサイクルの現状

非鉄製錬業は、これまで我が国の製造業や国民生活の維持・発展に不可欠の、銅・亜鉛・鉛に代表される非鉄金属を供給してきた。非鉄金属素材の主な原料は鉱石であるが、この間に培われた技術や設備を基に、枯渇性資源とされるこれらの循環を推進することが、「環境の世紀」における業界の社会的責務と考え、廃棄物や二次原料からの非鉄金属回収も積極的に進めている。最近では、第 部で述べたように、1,150 千トンを超える廃棄物や二次原料を処理しており、400 千トンに近い非鉄金属等を回収している。その中には、一般的には処理が困難とされるシュレッダー・ダストやばいじん、汚泥、電池類、蛍光灯などが多く含まれている。

元来、非鉄製錬技術は、様々な元素を含む鉱石から有用な金属を選別・回収する技術であり、対象とする金属は、上述のほかニッケル・アンチモン・カドミウム・砒素・水銀・貴金属など 30 種類に及ぶ。このため非鉄製錬業は、種々の金属を、含有量の少ない原料から回収する多くの経験をもっており、例えば、カスケード・リサイクルされついにはリサイクルできなくなった廃棄物から、あるいは自動車・家電品などのリサイクル工程や都市ごみ焼却などの廃棄物処理工程から排出される二次廃棄物からさえも、有用な金属を回収できる貴重な技術やノウハウを持っている。

最近では、これらの技術や既存の設備を活用して、廃棄物などから有用金属を回収する事業を行っており、例えば、製鋼電炉ダストから亜鉛を、使用済みの、自動車バッテリーから鉛を、家電品・エレクトロニクス部品部材から銅・貴金属を、電池からレアメタルを回収している。そして、有用金属のリサイクルにとどまらず、廃棄物の無害化や減容化、エネルギーの有効利用を同時に行い、高度経済社会を持続可能な姿に転換していく地球規模の取り組みに積極的に参画している。

非鉄製錬業は、長年に亘って地域に密着した鉱山業や製錬業を継続して来た結果、この間、厳しい公害問題にも直面したが、環境保全技術や設備の開発と導入に努め、この問題を克服してきた。現在では地域住民にも信頼され、廃棄物処理・リサイクル事業を円滑に運営している。

7.2 現状の非鉄製錬プロセス

非鉄金属素材の主たる原料である精鉱(鉱石を粉碎し、浮遊選鉱により非鉄金属を濃縮したもの)は、硫化物である。このため、非鉄金属製錬は、精鉱を酸化していき、過剰に酸化した分を還元して元に戻すというのが基本操作である。そして酸化反応であるために発熱を伴い、かつ高純度の素材を作るために最終の操作として電解精製を持っている。概括的なフローとして整理すると図 7-1 のごとくなる。

まず粉状の精鉱を炉に装入して酸化し、酸素が溶け込んだ又は酸化した目的金属を作り、そのあと還元して粗金属とし、これを電解精製して精製金属を得るとというのが非鉄金属製

錬の基本であるが、銅製錬のように二次酸化を行なうもの、亜鉛製錬のように還元だけで精製金属を得るものもある。不純物である鉄分や土石成分は、銅製錬では酸化工程で、鉛・亜鉛工程では還元工程でスラグとして(電気亜鉛製造工程では浸出残渣として)排出される。

リサイクル原料を装入することができる工程を二重枠で示すが、これらは、発熱反応又は加熱操作を伴うか、溶液による溶解操作を伴う工程である。酸化工程は、精鉱の処理を目的としているため、また浸出工程は酸での溶解を目的としているため、粉状又は粒状原料でなければ処理できない。二次酸化工程は、酸化のための送風をしながら、あるいは漏煙を防止するために発生ガスを吸引しながら原料を装入するため、リサイクル原料は、これらが飛散しないよう塊状でなければならない。また乾式酸化物還元工程は、非鉄金属原料と還元剤から成る充填層に送風して還元操作を行なうので、通風可能な充填層とするためには、塊状原料を装入しなければならない。

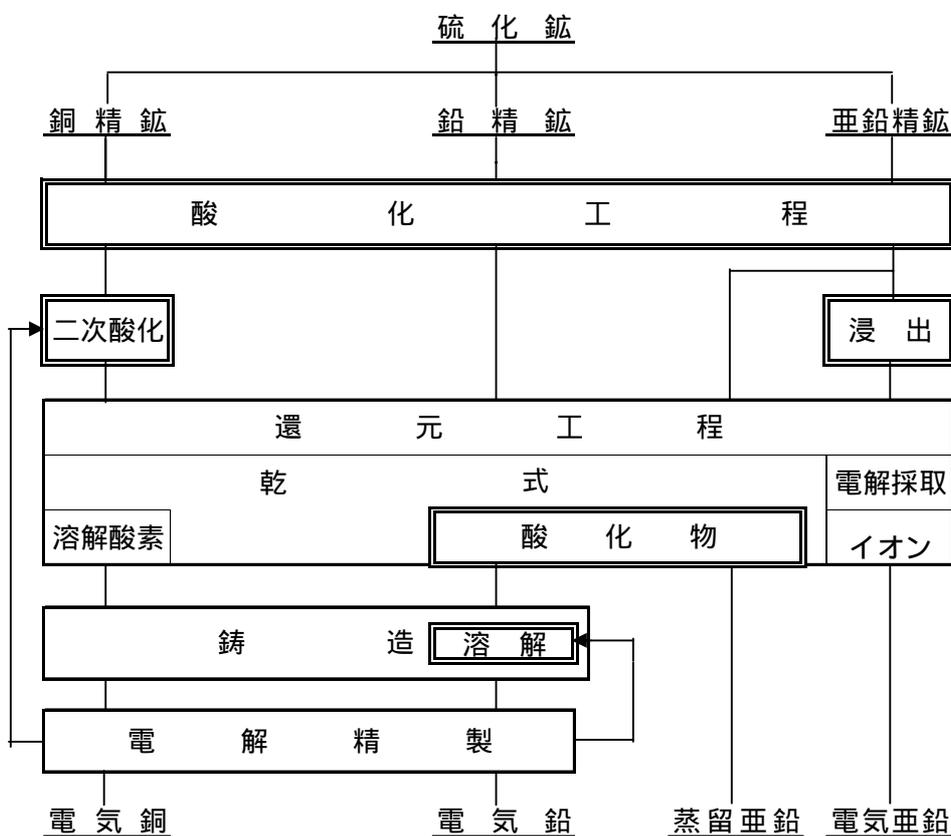


図 7-1 非鉄製錬プロセスの総括的フロー

非鉄金属製錬工程では、精鉱の酸化によって発生する二酸化硫黄から硫酸を製造するが、二酸化硫黄に炭化水素が混入すると産出する硫酸が着色するので、炭化水素源となるプラスチック類などの有機物の装入を制限したり、焼却などの前処理で除去したりする。また、塩素は製錬設備の腐食原因となったり、目的金属の塩化揮発を誘発するので、塩素含有物についても、同様の処置を取っている。さらに、目的金属分の低いものは残渣分が吸

収して持ち去る目的金属が多くなるので、装入できない。したがって、種々雑多の性状のものは装入できない。

7.3 現状のリサイクル適用技術の問題点

前述のように、何の前処理を経ることなく、鉱石を原料とするいわゆる「一次非鉄製錬プロセス」に装入することは不可能と考えられるが、第 部においてデータシートとして整理した以下の 14 のリサイクル適用技術の中には、一次非鉄製錬プロセスにリサイクル品を挿入している例があるので精査する。一次非鉄製錬プロセスは、小名浜の反射炉(No.1)、細倉・神岡の鉛溶鉱炉(No.5、No.6)の3例のみである。小名浜では硫酸ではなく石膏を製造しているので、有機物を含有するシュレッダーダストを代替燃料として処理しているが、回収する非鉄金属も銅に限られ、もちろん、有機物の完全燃焼、スラグの品質特性維持の観点から数量の制限を行なっている。鉛溶鉱炉では、粉状のリサイクル原料を塊状にして装入しており、形状が定まらない、また塩素・有機物を含む処分廃棄物は直接溶鉱炉に装入することはできない。やはりこれら一次非鉄製錬は、処分廃棄物のリサイクルには不向きとの結論になる。

処分廃棄物を一次非鉄製錬プロセスへ直接投入は困難であるから、有機物等の除去、非鉄金属の濃縮を事前に行う必要があるが、東邦亜鉛の小名浜の電熱炉(No.3)、野村興産イトムカ(No.7) 中外鉱業(No.8) 日本ピージーエム(No.9)は特殊なリサイクル品に限定特化したものであるため、処分廃棄物のリサイクルには適用できない。一方、小坂製錬の流動床炉(No.2)、苫小牧ケミカル(No.11)、日鉱敦賀リサイクル(No.13)は、端的に言えば、焼却による前処理設備である。日鉱環境(No.10)、日鉱三日市(No.12)、三池製錬のMF炉(No.4)、光和精鉱戸畑製造所(No.14)は、リサイクル品・廃棄物を原料とするいわゆる「二次非鉄製錬プロセス」であり、「一次製錬プロセス」の原料を産出しているため、処分廃棄物の、一次非鉄製錬プロセスへ装入するための前処理工程として活用できる可能性がある。前二者は焼却炉と溶融炉の併設または連結であるため、処分廃棄物を直接プロセスに挿入して、非鉄金属を濃縮し、「一次製錬プロセス」の原料を産出できるが、後二者につい

No.1 小名浜製錬の反射炉によるシュレッダーダスト処理

No.2 小坂製錬の流動床炉によるシュレッダーダスト処理

No.3 東邦亜鉛小名浜の電熱炉による製鋼ダスト処理

No.4 三池製錬のMF炉による製鋼ダスト処理

No.5 細倉製錬の鉛バッテリー処理

No.6 神岡鉱業鉛リサイクル工場の鉛バッテリー処理

No.7 野村興産イトムカの水銀含有廃棄物処理

No.8 中外鉱業の貴金属含有物処理

No.9 日本ピージーエムの廃触媒処理

No.10 日鉱環境の廃棄物処理

No.11 苫小牧ケミカルの廃棄物処理

No.12 日鉱三日市リサイクルのガス化溶融炉による廃棄物処理

No.13 日鉱敦賀リサイクルの廃棄物処理

No.14 光和精鉱戸畑製造所の廃棄物処理

ては溶融炉のみであり、有機物の混入を嫌うので、処分廃棄物を装入する前に除去する前処理工程が必要となる。しかしながら、日鉱三日市(No.12)、小坂製錬(No.2)は、流動床を用いており装入サイズ・重量に制限があるので、処分廃棄物のリサイクル適用技術としては、No.4 三池製錬のMF炉による製鋼ダスト処理、No.10 日鉱環境の廃棄物処理、No.14 光和精鉱戸畑製造所の廃棄物処理の3例が考えられる。

このような現状適用可能なリサイクル技術を用いて処分廃棄物のリサイクルプロセスを組立てると、図7-2に示す左側のフローとなる。このプロセスにおいては、可燃成分を焼却によって除去し、鉄・アルミ・土石成分等の不燃成分を全量高温に加熱して溶融処理などを行って非鉄金属濃縮物を回収し、不純物はスラグ等の副生物として排出する。発生するダストは溶融炉に繰り返す。

このため、投入資源量・設備費が多くなり、経済的価値が低いスラグが多量に発生する。このスラグは処分廃棄物の成分に影響され、現状で発生する種々のスラグの需要も十分ではないので、一層販路が制限されることになる。排ガスは中和洗浄するので中和残渣が発生するが、この残渣は溶融炉に繰り返すことになるので、溶融量を一層増やすことになる。また、可燃成分がありながら、そのエネルギーを十分活用しきれていない。

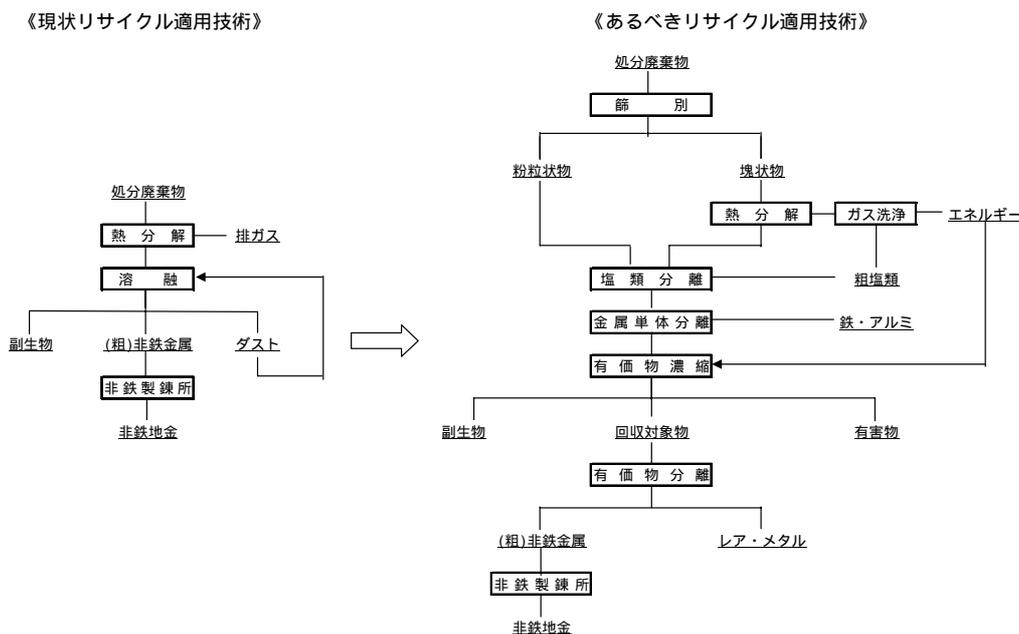


図7-2 新旧リサイクル適用技術による処分廃棄物のリサイクルフロー

7.4 処分廃棄物のあるべきリサイクルプロセス

非鉄製錬技術をキー・テクノロジーとする、処分廃棄物の、リサイクルプロセスは、「LCA的観点、安全性の観点及び経済性の観点から総合的に評価しながら、不要物を何らかの形で再使用し、再度処分する廃棄物を極小化すること」である。このため、

高温処理するための投入資源量を少なくして、
そのため、処分廃棄物に付随する有機物をエネルギーとして活用し、
金属成分等有価物を最大限に回収し、
土石成分等の不純物は土建用資材、あるいは機能材料として活用するとともに
有害物質あるいは二次廃棄物を安全に保管・処分する
ことをしなければならない。

このような課題を解決するためには、

高温処理する量を削減するために塩類は水洗除去し、
同様の目的及び回収物を多くするために、鉄、アルミを金属として単体分離し、
単体分離のための破碎の効率化のために、障害となるプラスチック等を熱分解除
去し、

熱分解工程への装入量を縮減するために、可燃成分が混入することが少ない粉粒成
物は篩別除去する。

そして、少ない資源投入量ですべての不燃物を高速で高温加熱して有価物を濃縮し、
濃縮物を、少ない資源投入量で効率的に、金属種ごとに分離する。

あわせて、副生物・有害物質への対応を図る

といった操作が必要となり、リサイクルプロセスとして組み立てると、図 7-2 に示す右側の
フローとなる。

掘起し事例で述べたように、すでに処分廃棄物を溶融し、スラグ、溶融メタル、飛灰と
して減容化しているところがある。上述のプロセスは、あるべきリサイクル適用技術によ
る処理では一連の流れを想定しているが、このようにすでに発生している減容化物を、た
とえばスラグ、溶融メタルは有価物濃縮工程へ、飛灰は塩類を多く含んでいるので塩類分
離工程へ装入することにより、リサイクルできるものとなっている。

7.5 技術開発課題

現状のリサイクル適用技術では、リサイクルのための資源投入量・設備費が多く、スラ
グの特性も販路を確保できるほど上質ではなく、排水処理も中和である。このため、ある
べきリサイクルプロセスを完成させるためには、現状のリサイクル適用技術を「あるべき
姿」までレベルアップする必要があり、そのためには、次のような技術開発が想定される。

解砕篩別技術(篩別工程)

現地調査の事例では処分廃棄物の掘削は比較的簡単であったが、焼却灰等が固化し掘削
困難との事例報告もある。過去には再資源化を目的とした掘削の例はなく、非鉄製錬業
もこの分野の経験は少ないが、処分場で充填・圧密された廃棄物を、種々の気流、水流、
振動の場で効率的にし、かつ粒度別、成分別に選別する圧密材解砕分別技術の開発を行
なう。また、後段で操業トラブルを起こしやすいビニール袋等を簡便かつ効率的に除去
できる技術を開発する。

塩類回収技術(塩類分離工程)

排水中のアルカリ(土類)金属の塩類は問題であるといわれながら、その除去・回収の技術は確立されていない。非鉄金属業界でも技術開発に挑戦したが、回収塩類の必要品質の確保、効率的回収等多くの課題が残っており、実証化レベルには至っていない。このため、掘削時の排水・ガス洗浄水、廃棄物の水洗、熱分解の排ガス洗浄によって洗浄水に溶出した塩類を、濃縮し、回収する技術を開発する。また、分離後液の中には微量の重金属が含まれるが、従来技術でこの微量金属を除去するためには多量の中和滓が発生し、その処理のためには多大の資源を必要とするので、中和滓の発生しない非中和型金属回収技術を開発する。

金属単体分離技術(金属単体分離工程)

廃棄物の破砕の程度を向上させればものの結合を剥離できることは公知であるが、良好な剥離状態が確保できるまでは破砕できていないか、もしくは破砕できて投入エネルギーが大きく現実的でないというのが現状の技術レベルである。

このため、効率的な物理的抽出を行なうために、有機物 無機物(特に金属)、金属 異種金属の結合を剥離する省エネルギー型の破砕技術を開発する。破砕後効率的に単体金属、土石成分、プラスチックなどの単体に選別する技術開発を行なう。破砕効率の向上のために有機物を熱分解・固化する技術も検討する。

有価物濃縮技術(有価物濃縮工程)

現状のリサイクル適用技術は溶解速度が遅く、溶解効率が低いために、投入資源の増大と設備の増大を招いている。また、非鉄金属や有害元素がスラグへ混入することがあるため、販路が制限されることがある。さらには、将来の円滑な再利用を確保するためには、土壤汚染対策法の含有量基準を満たすことも視野に入れておかなければならない。

このため、アルミナ、シリカ、カルシア等の土石成分と、銅、鉛、亜鉛、レアメタルなどの非鉄金属を分離するために、これらそれぞれと第三成分との反応エネルギー差を活用した、資源投入量の少ない高速反応の濃縮技術を開発する。高温反応のための熱源は、処分廃棄物中の可燃分を効率的に活用する。

また、処分場が非鉄金属リサイクル工場から離れている場合の in-situ の濃縮技術として、湿式の濃縮・分離技術を開発する。

副生品素材化技術

現状の非鉄製錬スラグの定常的な主たる用途は、セメント原料とサンドブラストの研磨剤である。そして、数年に一度の港湾埋立てに土砂代替として販売し、在庫調整している。土建用資材としての骨材の用途は大きいですが、要求特性を完全には満たせていないのが現状である。スラグの特性はその扱う原料に左右されるので、スラグごとの特性把握・改善が必要であり、また将来は、再生資源の用途を骨材に求めることが多いので、円滑な再利用を行なうためには、骨材以外の用途開発も必要である。

このため、土石成分は主として酸化物であると推定される。これの化学特性(例：不

純物含有量)、物理特性(例：結晶化度、圧縮強度)、形状特性(例：粒サイズ)を改善し、酸化物素材あるいは他の素材として利用するための技術を開発する。

有価物分離技術

現状のリサイクル適用技術も将来の適用技術も、廃棄物から一次製錬へ挿入するための原料を生産するプロセスと位置づけられる。このため で述べたように目的金属のすべてを一つの相へ濃縮し、その後目的金属ごとの原料に分離される。この原料中の当該目的非鉄金属の含有率、他の共存元素の含有率が、一次製錬の要求に合致したものでなければならず、且つ高い回収率で、少ない資源投入量でこれを達成されなければならないが、現状では、分離効率が悪かったり、組成が不十分であったり、有価物のスラグへのロスが多かったり、もしくはそれを達成しようとするれば資源投入量が過大となる状況である。

このため、有価物濃縮物を銅・貴金属等、鉛・亜鉛等、レアメタル等をそれぞれ別の相に分ける技術を開発する。

また、濃縮工程において硫化剤として硫化鉄鉱を使うことがあるが、これは新たなる資源の投入であると同時に、用途が不安定なスラグの発生量も増大させている。

そこで、分離工程ではじき出される廃棄物中の硫黄分を回収し、有価物濃縮のための硫化剤として利用する技術を開発する。

レア・メタル回収技術

国内で消費されるレア・メタルの量とその評価金額は相当な大きいが、廃棄物となった後は廃棄物中の含有率が極めて低いために、現状では全くといっていいほど回収されていない。

そこで、 で濃縮したものを、さらに で高濃度に濃縮分離し、そこからレア・メタルを回収するための技術を開発する。

有害物管理技術

処分廃棄物には微量なものまで含めて種々の有害物が含まれていると推定されるが、有害物を含有する廃棄物を最終処分する場合や廃棄物処理時に発生する副産物を再利用する場合には、環境保全上支障のないように、各国がそれぞれに判定基準を設けている。そして、今後も有害物の処理に関する科学的な公開の議論を通して広範な分野にわたる合理的な認識・理解の下に新たな判定基準が設定されるものと考えられる。そこで、過去には考慮する必要のなかった有害物や新たな判定基準に対応するために、そして除去した有害物を固定・保管する必要も出てくることから、副産品・再生品の利用に支障のない程度まで有害物を除去・固定・保管する技術を開発する。

7.6 技術開発の方向と体制

非鉄製錬技術は、良質の硫化鉄を高速且つ高効率で抽出することを目的として、特化したプロセスの自動化、プロセス管理方式に技術開発を集中してきた。このため、単位工程

を構成する反応に関する視点が縮小し、プロセス改善の過程で得られた知見を逸失していることが多い。また、プロセスは酸化ポテンシャルの差を使った抽出にほぼ限られていた。

リサイクルの対象とする処分廃棄物は、天然由来の資源と異なる、大気下での安定性・元素の組み合わせ・複雑な組織等を持つ。このため、少ない手間とエネルギーで有価物等を取り出せる物理的選別法の適用を検討するとともに、酸化以外のポテンシャル差の応用、廃棄物の処理媒体としての活用、硫化鉱には含まれることが少ないハロゲン・アルカリ元素や有害元素の取り扱い技術を開発していく必要がある。そして地域ごとの産業構造の違い、地域環境等を考慮した自律分散型の廃棄物資源化・リサイクルプロセスの開発も意味があろう。

近年、物理選別・製錬関係の技術者、研究者が急速に少なくなっているため、要素研究や実証プラントの設計、建設、運転を通して、これらの技術の継承・発展と若手の育成を図る必要がある。積極的に若手技術者、研究者を登用し、そして相互の交流を図る必要がある。また、物理選別・製錬関係に関連する参考書等もなく、これらに関するデータがありながら散逸している可能性があるため、ある程度の専門家がまだいる今のうちに、技術の基本とその環境・リサイクル等への応用を便覧、ハンドブック等として体系化し、刊行し、これらの技術の発展・継承の便宜を図らなければならない。

非鉄製錬業界は、従来から廃棄物処理・リサイクル事業を行っており、廃棄物の物理的選別、組成の調整、可燃物の熱源・化学物質としての利用および金属成分の回収という技術において十分に高いポテンシャルを有しているが、リサイクル対象とする処分廃棄物は、従来のものに比べて非常に低劣であるため、非鉄製錬技術がプロセスとして成立するためには、前処理、一部の共存物の分離・無害化処理、金属成分の選別・濃縮、プロセス排出物の工業製品化を可能にする改質技術など、従来の対応を超える技術を開発してプロセスを強化する必要がある。このため、非鉄製錬業界のこれまでの経験と技術の蓄積を基に、大学、研究機関と連携して、新しい資源循環技術の体系を作る必要がある。また、リサイクル事業は市場の未発達があり、市場の把握、長期的な見通しの策定が難しいために、新規性や先導性に偏ることのない国の支援が不可欠である。

技術開発課題としては、「7.4 技術開発課題」で述べた 8 項目と上述の技術の体系化である。この 9 項目は、開発フェーズとして、

- フェーズ 1 : 基盤技術整備 (技術開発を円滑に推進するために基盤として必要なものを整備する)
- フェーズ 2 : 補完・周辺技術整備 (システムの技術レベルを向上させるために、現状技術では不完全である部分を補い、周辺技術を整備する)
- フェーズ 3 : 技術の深化 (本質的な技術のレベルアップ)
- フェーズ 4 : 技術の拡大 (高度なレベルの技術範囲を広げる)

の 4 段階に分類できるが、8 項目の各技術開発課題は、ある特定のフェーズに割り当てられるものではなく、図 7-3 に示すように、その内容によって複数のフェーズにまたがるも

のと思われる。

開発期間は図 7-3 に示すように、基盤技術整備は、大学、公的研究機関中心で 3,4 年必要であり、補完・周辺整備技術は、大学、公的研究機関の支援によるシーズ応用研究を経て、産業界中心に行なう実用化研究に入ることになるので 3 ないし 7 年の年月が必要と思

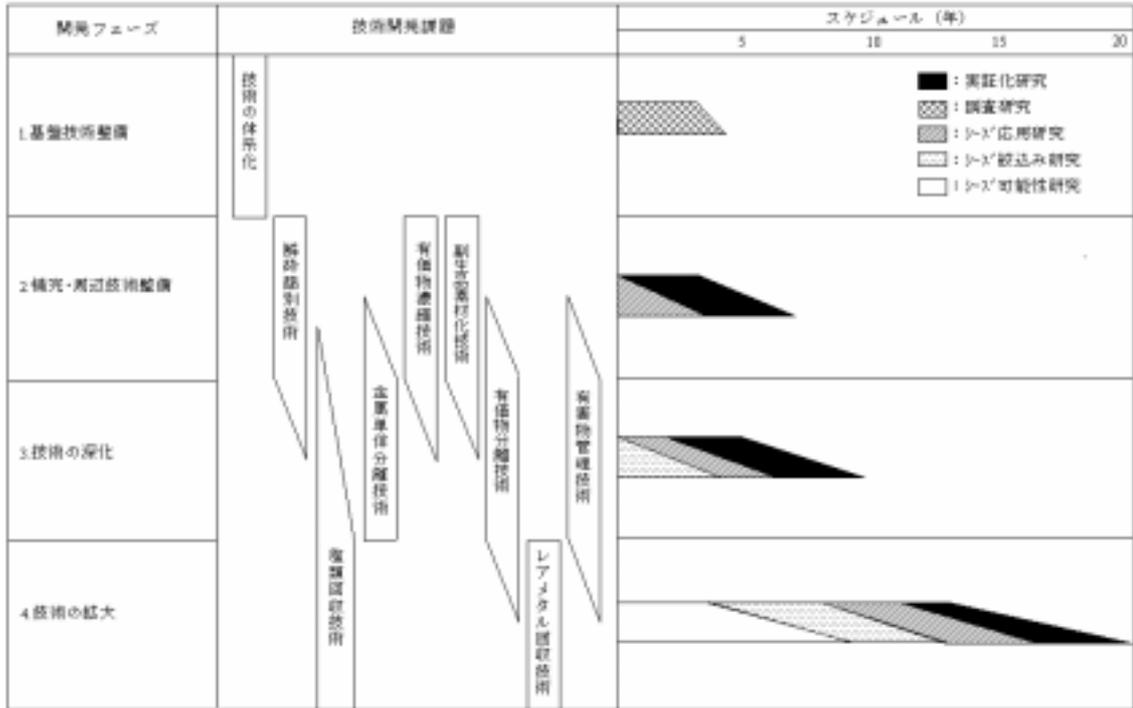


図 7.3 技術開発フェーズヒエラルキー

われる。技術深化は大学、公的研究機関が中心に行なうシーズ絞込み研究、シーズ応用研究を経て実用化研究を行なうことになるので、10 年近い歳月が、技術の拡大については、大学、公的研究機関が行なうシーズの応用可能性の研究から始まるので、20 年近い期間が必要と推定される。

これらのフェーズ割り、期間の割当ては、将来にわたっても現時点で固定されるものではなく、事態の進展・社会情勢の変化に応じて、ローリングプランとして逐次見直しながら、直近 5 年程度を視野に実行に移していくべきものとする。