

平成 20 年度財団法人 JKA 補助事業
新規資源循環社会システムの形成に関する調査研究

使用済製品からのネオジム磁石の 回収・リサイクルシステムに関する調査研究

報 告 書

平成21年3月

財団法人クリーン・ジャパン・センター



この事業は、競輪の補助金を受けて
実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



はじめに

ネオジム磁石は永久磁石のなかで最も強力な磁石であり、ハイブリッドカーや省エネ型家電製品のモータ、パソコン用ハードディスクなどに欠くことのできない先端部品である。

しかし、ネオジム磁石の主成分であるネオジム、ジスプロシウムを含む希土類鉱石の産出は特定の国に偏在し、特にジスプロシウムを含む希土類鉱石は中国に偏在している。また、ネオジム、ジスプロシウムの生産も中国が独占している。この結果、圧倒的な優位をもっている中国はネオジム、ジスプロシウムの輸出許可量を減らしてきているなど我が国の資源確保に不安が生じている。

さらに、近年、ネオジム、ジスプロシウムの需要が急激に増加しているために、ネオジム、ジスプロシウムを含む希土類鉱石から得られる様々な希土類金属の需給にアンバランスが生じ、ネオジム、ジスプロシウムを必要量生産すると他の希土類金属の生産が過剰になることも懸念されている。

これらの対応策として、パーソナルコンピュータ、家電製品、携帯電話・PHS、自動車、MRIなど使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品を対象として、使用済製品からネオジム磁石を取り出し、日本国内でそれを再生してネオジム、ジスプロシウムを生産すること(=レアメタル都市鉱山の発掘)は極めて有望かつ重要事項と考え、使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステムに関する調査研究を実施した。

平成 21 年 3 月

財団法人クリーン・ジャパン・センター

委員名簿

(敬称省略、順不同)

(委員長)

小林 幹男 独立行政法人産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 副研究部門長

(委員)

田中 幹也 独立行政法人産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 金属リサイクル研究グループ グループ長

増井 慶次郎 独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 エコ設計生産研究グループ 主任研究員

渡辺 寧 独立行政法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 鉱物資源研究グループ グループ長

塩ノ谷 淳一 有限責任中間法人パソコン3R 推進センター 事務局次長

瀬山 康昭 財団法人家電製品協会 環境部 次長

堀田 武彦 社団法人電気通信事業者協会 業務部長

馬場 研二 株式会社日立製作所 地球環境戦略室 シニアプロジェクトマネジャー

大沼 満 株式会社テルム 取締役 環境マネジメント事業部長

青木 努 豊田通商株式会社 非鉄金属部 主事

長谷川 寛 昭和電工株式会社 レアアース事業部 生産・技術統括部 技術グループリーダー

(オブザーバー)

正影 夏紀 経済産業省 産業技術環境局 リサイクル推進課 課長補佐

高橋 圭多 経済産業省 産業技術環境局 リサイクル推進課 調査二係長

山田 淳太郎 経済産業省 産業技術環境局 リサイクル推進課 技術係

佐々木 忠則 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課 課長補佐

伊藤 順之 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課 砕石・非鉄金属二係長

(事務局)

名木 稔 財団法人クリーン・ジャパン・センター 企画調査部長

和田 英樹 株式会社サステイナブルシステムデザイン研究所

目 次

第 1 章 調査研究の目的・内容	1
1.1 調査研究の背景と目的.....	1
1.2 調査研究内容.....	2
1.3 調査研究の進め方.....	3
1.4 調査報告書の構成.....	3
1.5 用語の整理.....	4
第 2 章 調査研究のあらまし	5
第 3 章 ネオジム磁石を使用している製品	7
3.1 ネオジム磁石を使用している製品.....	7
3.2 国内で生産されたネオジム磁石の用途別需要量.....	9
3.3 ネオジム磁石の生産量推移.....	10
第 4 章 各製品におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題	12
4.1 パーソナルコンピュータ(ハードディスク)におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題.....	12
4.2 家電製品におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題.....	19
4.3 携帯電話・PHSにおけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題.....	28
4.4 ハイブリッド型自動車におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題.....	32
4.5 MRIにおけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題.....	35
4.6 使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品からのネオジム磁石の回収見込み量.....	38
4.7 回収システムが整備されていないその他の製品におけるネオジム磁石の使用状況、解体・分離・選別の課題.....	41
第 5 章 ネオジム磁石の再生プロセスの現状、課題	42
5.1 再生プロセス.....	42
5.2 使用済製品から取り出したネオジム磁石の再生の可能性と課題.....	44
第 6 章 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築に向けて	46
6.1 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築の必要性.....	46
6.2 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築の可能性と課題.....	47
6.3 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築に向けて.....	50
(資料編)	
第 7 章 ネオジム磁石についての基礎情報	55
7.1 ネオジム磁石とは.....	55
7.2 ネオジム磁石の製造方法.....	57
7.3 希土類磁石の主な応用.....	60

7.4	ネオジム磁石の用途別ジスプロシウム含有率	62
7.5	ネオジム磁石関連の企業動向	62
7.6	磁石の消磁技術	63
7.7	携帯電話分解写真(第3世代携帯).....	64
第8章	希土類の資源動向	67
8.1	希土類の供給	67
8.2	希土類需要状況.....	69
8.3	希土類需給バランス.....	69

第1章 調査研究の目的・内容

1.1 調査研究の背景と目的

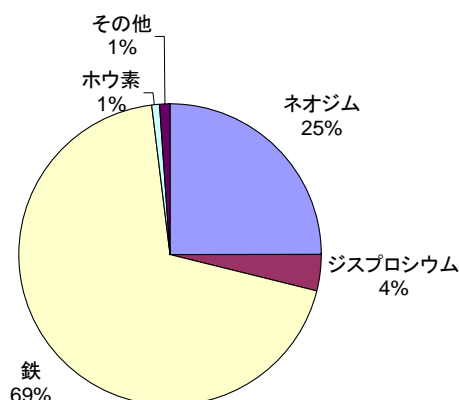
レアメタルは製品中の含有量が少量であることが多いものの、重要な機能を担う部品に様々な特性を与える成分として欠くことができない資源であり、わが国の製品・産業競争力を支える重要な資源である。しかし、その産出が特定の国に偏在しているために、戦略的な対応が求められる資源であり、わが国の資源戦略上、重要な課題となっている。

従来、レアメタルのリサイクルは、製品中の含有量が少量であることが多い故にその製造工程で発生する工程くず(自家発生くず)を対象としていることが多く、使用済製品中のレアメタルのリサイクルは、資源価格の高い貴金属(金、銀、白金など)、あるいはリサイクルが法律で定められている小型二次電池中のレアメタル(ニッケル、カドミウム、コバルトなど)を対象として行われているにすぎないので、現在、特に、レアアース(ネオジム、ジスプロシウムなど)、タングステン、インジウムについての対応の強化が必要と考えられている。

このような状況を踏まえ、レアメタルを使用している製品(部品)の中から、以下の視点によりネオジム磁石¹を選定し、それを部品として使用している使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステムについて調査研究する。

<視点>

- 市場原理・法制度に基づく体系的な回収・リサイクルシステムが確立していないこと
- 当該レアメタルが競争力の高い製品を生み出していること
- 当該レアメタル製品(部品)が様々な分野で使用されていること
- 製品(部品)中のレアメタル含有量が多く、回収・リサイクル事業の経済性が高いと想定されること
- 工程くずのリサイクルシステムは確立されており、使用済製品から磁石のみを解体・分離・選別できれば、工程くずリサイクルシステムを適用することが可能であること
- 国などによる類似調査研究がないこと



(出典) 美濃輪武久「希土類磁石とその資源問題」
金属 Vol.77 (2007) No.6, アグネ技術センター

図 1.1 ネオジム磁石の組成例

¹ ネオジム磁石の概要については第3章を参照。また、組成、製造方法、用途等の詳細については第7章(資料)を参照。

ネオジム磁石は永久磁石の中で最も強力な磁石であり、パーソナルコンピュータ用ハードディスクやハイブリッド型自動車用モータなどに欠くことのできない先端的な部品である。

しかし、産業技術総合研究所・渡辺委員によると、ネオジムは 2013 年には需要量の約 90%、ジスプロシウムは約 70%しか供給されないと試算されている²。ネオジム、ジスプロシウムは多種類の希土類元素を含む希土類鉱石を精製することによって得られ、ネオジム、ジスプロシウムの生産量を増大させると他の希土類の供給を同時に増大させて供給過剰を招いてしまうので、ネオジム、ジスプロシウムの生産量を大幅に増大させることは困難であるとのことである。また、希土類の産出は特定の国、特にジスプロシウムは中国に偏在しており、さらに中国は希土類の輸出を許可制として、輸出許可量を減らしてきているなど資源確保に不安が生じている。このようにネオジム、ジスプロシウムは戦略的な対応が求められる資源であり、わが国の資源戦略上、重要な課題となっている。

一方、ネオジム磁石の成分は図 1.1 に示したとおり、レアアースのネオジム(約 25%)、ジスプロシウム(数%)を多量に含有しているため、たとえば既存のパーソナルコンピュータの再資源化施設などにおいてネオジム磁石を分離・選別すれば、比較的経済的にこれらを再資源化できると考えられる。

さらに、ネオジム磁石の製造工程で発生する工程くず(研磨粉末、固形くず)のリサイクルはすでに実施されているので、使用済製品からネオジム磁石を分離・選別すれば、既存の工程くずの再生技術や再生プロセスを活用してリサイクルできる可能性は高い。

以上のことから、使用済製品からネオジム磁石を分離・選別し、その主成分であるネオジム、ジスプロシウムを日本国内で再生する回収・リサイクルシステムを日本国内に整備することは極めて重要と考え、その課題、対応策を検討した。

1.2 調査研究内容

(1) ネオジム磁石を使用している製品および利用実態

ネオジム磁石がどのような製品(部品)に使用されているのか調査し、その上で製品毎に利用方法、構造(組み込まれ方)、使用個数、使用重量などについて調査する。対象製品はパーソナルコンピュータ(ハードディスク)、家電製品、ハイブリッド型自動車、携帯電話(バイブレータなど)、MRI、産業機械用モータなどとする。

(2) ネオジム磁石の回収・リサイクルシステムのあり方

製品固有の使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品および整備されていない製品について、それぞれの回収・リサイクルシステムの課題と対応の方向を検討する。

① 製品固有の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品

個別リサイクル法の対象製品となっている製品、または使用済製品の回収・リサイクルシステムを特定できる製品を対象として、ネオジム磁石の取り外し方法、取り外したネオジム磁石の引き取りルート、費用、売却価格、再生工程などについて調査し、使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築に当たっての課題、今後の方向性を検討する。

対象製品は、

² ただし、平成 20 年後半の世界的な経済の混乱の影響を考慮していない試算である。

- パーソナルコンピュータ用ハードディスク
- 家電製品(エアコン、電気洗濯機)
- 携帯電話・PHS
- ハイブリッド型自動車
- MRI

とする。

② 製品固有の使用済製品の回収・リサイクルシステムが整備されていない製品

産業用モータなどネオジム磁石を使用している製品のうち、現在、製品固有の使用済製品の回収・リサイクルシステムが整備されていない製品に関しては、代表的な製品名、使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築に当たっての課題、今後の方向性を検討する。

(3) ネオジム磁石のリサイクルに関する基礎情報の収集

用途別生産量、種類、組成、物理的性質、製造工程、ネオジム磁石の再生プロセス(または技術)など、ネオジム磁石のリサイクルに関する基礎情報を収集、整理する。

1.3 調査研究の進め方

本調査研究は、財団法人クリーン・ジャパン・センター主催の委員会を開催し、調査方法、結果の取りまとめ方法などについて助言・指導を受けるとともに、課題、今後の取り組みの方向性を検討し、取りまとめた。

1.4 調査報告書の構成

第1章には本調査の背景と目的などを記述した。

第2章には本調査の調査結果のあらましを箇条書きで整理した。

第3章から第6章までは本編であり、第3章にはネオジム磁石を使用している製品について整理し、ネオジム磁石の生産量、需要量を整理した。

第4章には使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品について、その回収・リサイクルシステムを説明するとともに、その過程におけるネオジム磁石の分離・選別の可能性および課題について整理した。

第5章にはネオジム磁石の工程くずの再生プロセスの現状と、それを利用して使用済製品から分離・選別したネオジム磁石からネオジム、ジスプロシウムを再生(分離・精製)するに当たっての課題を整理した。

第6章には第3章から第5章を受けて、使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステムのあり方をまとめた。

第7章および第8章は添付資料であり、第7章にはネオジム磁石についての基礎情報を、第8章には希土類の資源動向を整理した。

1.5 用語の整理

本報告書においては、図 1.2 に示すように、使用済製品を市中から回収してくることを「回収」と呼ぶこととする。一般に、回収された使用済製品は、まず手解体などにより部品ごとに仕分けされるとともに破砕処理などが施されて素材別に分離・選別される。その後、素材ごとにそれぞれ専門の再生事業者へ引き渡されて原材料として利用できる状態まで処理される。この前段の工程を「解体・分離・選別」と呼び、後段の工程を「再生」と呼ぶこととする。

例えば、「家電リサイクルプラント／家電再商品化施設」「パソコン再資源化センター」「自動車解体施設」「自動車破砕施設」と一般に呼ばれている施設は本報告書では「解体・分離・選別」工程であり、これらの施設で得られたネオジム磁石をネオジム(金属)、ジスプロシウム(金属)やネオジム磁石合金へ再生する一連の処理は「再生」である。

そして、「回収」、「解体・分離・選別」、「再生」の全体を「回収・リサイクル」と総称することとする。

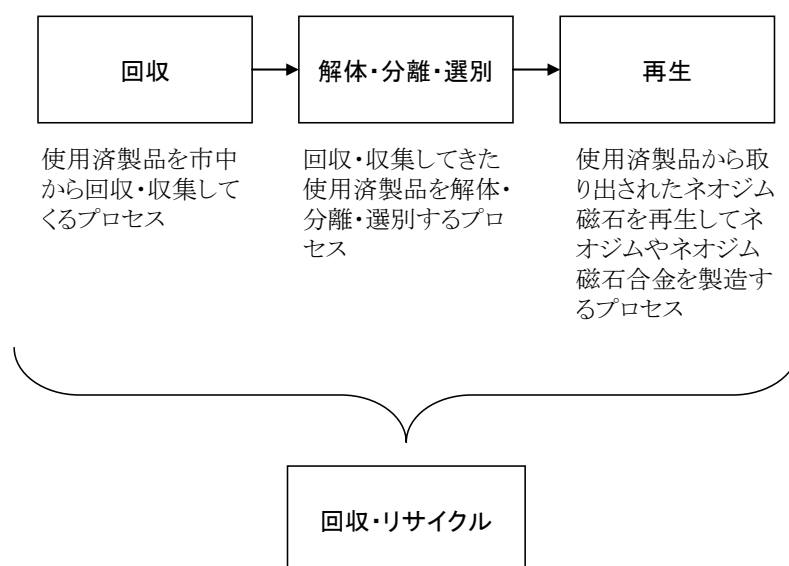


図 1.2 使用済製品の流れに関する用語の整理

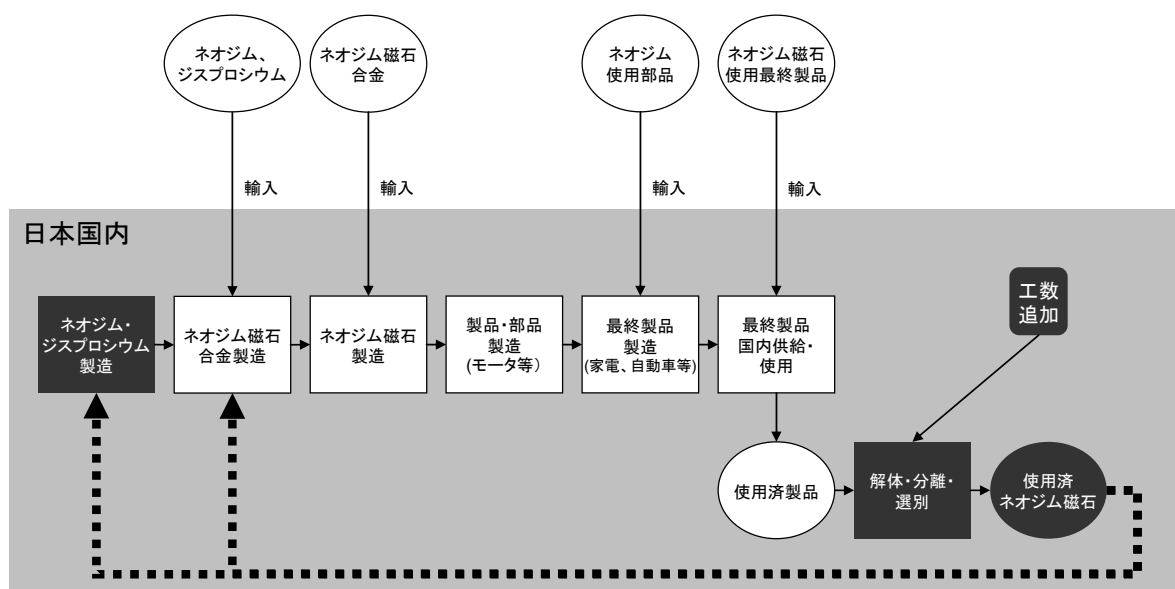
第2章 調査研究のあらまし

1. 永久磁石の中で最も強力なネオジム磁石を使用することで、モータなどの効率を改善し、モータなど使用製品の小型化、省エネ化、高性能化を実現できる。環境問題の重要性の高まり、製品の小型化などのニーズを背景として、ネオジム磁石を使用する製品は今後とも増加し、ネオジム磁石の需要も増大すると考えられる。
2. しかし、産業技術総合研究所・渡辺委員の検討によると、ネオジム、ジスプロシウム生産量はこれらを含む希土類の全体需要に制約を受けてネオジム、ジスプロシウムのみを増産することができないなどの理由により、2013年には需要量の約70～90%しか供給されないと試算されている(現下の世界的な経済の混乱の影響は考慮していない)。また、ネオジム磁石の原料であるネオジム、特にジスプロシウムを含む希土類鉱石の産出は中国に偏在し、その供給は特定の国家の政策に左右されやすい懸念を抱えている。これらの対応策として、使用済製品からネオジム磁石を取り出し、ネオジム磁石からネオジム、ジスプロシウムを再生する回収・リサイクルシステムを資源戦略として日本国内に確立することは極めて重要と考えられる。
3. ネオジム磁石の製造工程で発生する工程くずのリサイクルはすでに実施されている。しかし、日本国内に希土類金属精製施設などネオジム磁石再生のための施設が存在しているにもかかわらず、再生に伴い発生する廃酸、残渣などの国内での処理費が高いなど処理コストの理由により、工程くずは一社³を除いて中国に輸出され、再生されている。したがって、ネオジム磁石を日本国内で再生するためには経済性の課題を解決する必要がある。
4. 一方、使用済製品に含まれるネオジム磁石は現在、回収・リサイクルされておらず、鉄スクラップの中に混在して流通していると推察される。しかし、ネオジム磁石が使用されている製品の多くは、パーソナルコンピュータ、エアコンなど、すでにリサイクル法などによって回収体制が整備されている。さらに、回収された使用済製品の解体・分離・選別施設においては、ネオジム磁石を使用している部品レベルまで分離・選別されている。安全面で要求される消磁などの課題はあるものの、ここで若干の作業を追加すれば、ネオジム磁石のみを取り出すことは可能と考えられる。
5. しかし、現在のところ家電リサイクルプラント、パソコン再資源化センターなど使用済製品の解体・分離・選別施設においては、使用済製品からネオジム磁石を分離・選別しても、十分な価格で売却できないなど経済的な理由により、ネオジム磁石は分離・選別されていない。したがって、使用済製品からのネオジム磁石の分離・選別を推進するためには経済性の課題を解決する必要がある。

³ この一社は、国内で再生して欲しいという顧客ニーズに対応し、また将来のビジネス展開の可能性を考慮して、国内で再生しているが、経済的な課題は抱えているとのこと。

6. また、ネオジム磁石を使用済製品から取り出す際、エアコンやハイブリッド型自動車のように、ネオジム磁石がモータに埋め込まれている場合やMRIのように大きなネオジム磁石が使用されている場合には、ネオジム磁石を取り出すためならびに作業安全のために解体・分離・選別段階で消磁を行う必要があり、効率的な消磁技術の開発が必要など新たな技術開発課題もある。
7. 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステムの構築の推進に向けて

- 使用済製品からネオジム磁石を分離・選別し、それを日本国内で再生してネオジム、ジスプロシウムを生産することはこれらの供給リスクを緩和することとなり、わが国の資源戦略として重要なので、当面の経済性にとらわれず中長期的な観点からの推進が必要である。
- 既存の使用済製品の回収・リサイクル関係者に加え、ネオジム、ジスプロシウム再生技術・施設を保有する合金製造事業者、磁石製造事業者が参加し具体的な回収・リサイクルシステムづくりを進める必要がある。
- 使用済製品の解体・分離・選別工程におけるネオジム磁石の消磁は、作業安全の確保、作業効率の向上の観点から必要であり、効率的な消磁技術の開発が必要である。また、日本国内におけるネオジム磁石再生の経済性の確保のために、多量の廃酸、水酸化鉄などを発生させない再生技術の開発が必要である。
- 使用済製品からネオジム磁石を分離・選別し、それを再生してネオジム、ジスプロシウムを生産するシステムは、現在のところ経済性の課題を抱えているので、その実現に向け、国は、回収・リサイクルシステムの構築、技術開発に関して積極的に関与していく必要がある。



(注) 黒い部分はネオジム磁石回収・リサイクルのための変更点を示す。

図 2.1 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム

第3章 ネオジム磁石⁴を使用している製品

3.1 ネオジム磁石を使用している製品

(1) 希土類磁石の応用の変遷⁵

ネオジム磁石を含む希土類磁石の応用の歴史は

- 1970年～1980年代中頃
- 1980年代中頃～1990年代中頃
- 1990年代以降

の3期に分けて考えることができる。

① 1970年～1980年代中頃

携帯用テープレコーダなどの小型化、省電力化のニーズに合わせて、音響機器のヘッドホン、小型スピーカ、小型モータに希土類磁石が使用された。電気製品の小型化はわが国産業の得意とするところであり、この動向は現在でもビデオカメラ・デジタルカメラなどのモータ、アクチュエータ⁶などに引き継がれ、希土類磁石の主要な用途となっている。

この時代の希土類磁石は主にSm-Co系磁石である。

② 1980年代中頃～1990年代中頃

コンピュータの発達に伴って、コンピュータ関連機器の駆動装置に希土類磁石が使用されるようになる。大型コンピュータ用のハードディスクの磁気ヘッド駆動用などに希土類磁石が採用されるようになり、その後、パーソナルコンピュータの普及に伴って、ステッピングモータ、ボイスコイルモータ(VCM)などの需要が拡大した。

1983年に発明されたネオジム磁石は、Sm-Co系磁石よりも強力であり、Sm-Co系磁石に替わって、ハードディスクの機能向上に寄与した。

また、この時期、ネオジム磁石を使用した断層撮影装置(MRI)の開発が進められた。

この時代のネオジム磁石の用途シェアはVCMが過半を占め57%、MRIが16%となっている。

③ 1990年代以降

ネオジム磁石は熱減磁特性が悪いという欠点を持っていたが、これが改善されることによって、中型・大型モータへの応用が進んだ。環境への関心への高まりを受けて、高温対応が必要な自動車駆動用、家電製品用のDCブラシレスモータ、工作機械用ACサーボモータへの応用開発が進められ、現在普及段階にある。

このように高性能で経済的なネオジム磁石は小型駆動装置、MRI、高性能中型・大型モータなどに広く採用されるようになってきており、環境問題への対応ニーズ、製品の小型化・高度化のニーズの高まりを受けて、今後とも需要は増大していくものと考えられる。

⁴ 組成、製造方法、用途等の詳細について第7章(資料)を参照。

⁵ 出典:俵好夫ら:希土類永久磁石、森北出版、1999

⁶ アクチュエータ:アクチュエータはものを動かしたり、制御したりする機械的あるいは油空圧的装置のことで、利用する作動原理(入力するエネルギー)によりさまざまなものが開発され利用されている。一般には伸縮や屈伸といった単純な運動をするものに限られ、電動機(モーター)やエンジンのような動力を持続的に発生させるものを指してアクチュエータとは呼ばない。(ウィキペディア)

(2) ネオジム磁石を使用している製品

ネオジム磁石は永久磁石の中で最も強力であるという特徴を持っており、製品の小型化、省エネ化、高精度化を実現できる。小型化、省エネ化が求められる製品において、ネオジム磁石はそれまでの磁石を代替する形で使用されるようになってきている(表 3.1)。

小型化、省エネ化、高性能化は今後とも社会ニーズとして重視され、また、ネオジム磁石の高度化もわが国が得意とする重要分野である。今後ともネオジム磁石の需要は増大していくものと考えられる。

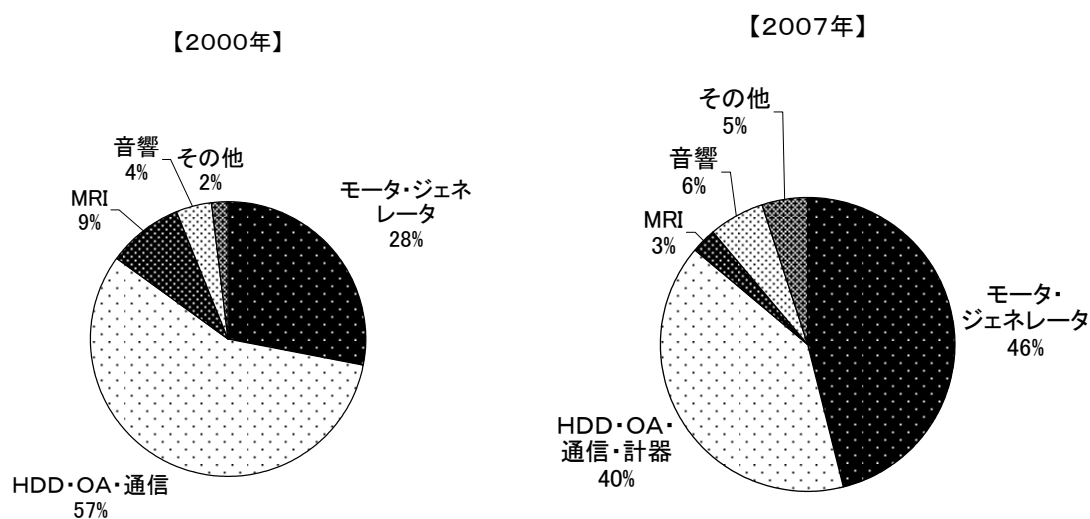
表 3.1 ネオジム磁石が使用されている主な製品

製品名称	ネオジム磁石の機能、使用場所等
VCM (Voice Coil Motor)	パーソナルコンピュータ用のハードディスクの磁気ヘッドを駆動するためのモータに使用されている。小型で高精度な動きをネオジム磁石によって実現している。
家電製品	エアコン、冷蔵庫のコンプレッサや洗濯機のモータの省エネ性能向上のために、ネオジム磁石の使用が拡大している。
音響製品	小型スピーカ、イヤホンなどの高性能化要求に対応して、早くから希土類磁石が使用され、ネオジム磁石は高級品に使用されている。
ハイブリッド自動車	駆動用モータ、発電機などにネオジム磁石が使用されている。また、普通自動車用も含めさまざまな自動車部品にネオジム磁石が使用されている。例えば、各種ポンプ、ABS センサ、パワーステアリングなどに使用されている。
携帯電話・PHS	携帯電話・PHS用のバイブレータ用振動モータ、小型スピーカなどに使用されている
MRI (Magnetic Resonance Imaging system) (磁気共鳴画像装置)	従来、MRIには超伝導コイルが使用されていたが、電力消費が大きく、冷却装置を必要とするという課題があった。また人体を収納する部分を開放できないという課題もあった。この課題を解決して省エネ性能、省スペース性能を向上するために、超伝導コイルをネオジム磁石に替えたオープン型MRIが開発され普及している。
FA (Factory Automation) モータ	高速で正確な正逆回転機能を求められる製造機器用制動器にネオジム磁石が使用されている。
光ディスク装置	ピックアップユニットのレンズの焦点を合わせるための駆動部にネオジム磁石が使用されるようになり、装置の小型化、高速化が進んだ。
風力発電	風力発電の発電機の高性能化のためにネオジム磁石が使用されはじめています。

3.2 国内で生産されたネオジム磁石の用途別需要量

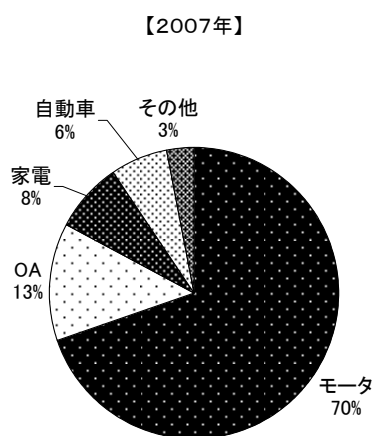
日本で生産されたネオジム磁石(焼結)の需要構成を図 3.1 に見ることができる。2000年にはHDD・OA・通信向け⁷が全体の6割を占めていたが、2007年にはモータ・ジェネレータが全体の46%を占め、HDD・OA・通信を抜いて最大の需要先となっている。

なお、図 3.2 はネオジムボンド磁石の需要構成である。焼結磁石とは異なる需要分野で整理されているが、2007年において焼結磁石と同様にモータ向けが最大となっており、また、ネオジムボンド磁石の生産量はネオジム焼結磁石の約10分の1であることから、図 3.1 に示した焼結磁石の需要構成でネオジム磁石全体の需要構成を知ることができると考えてよい。



(出典) 石垣尚幸ら「永久磁石の発展とその市場動向」まぐね Vol.3, No.11

図 3.1 ネオジム焼結磁石の用途別需要量(左2000年、右2007年)



(出典) 石垣尚幸ら「永久磁石の発展とその市場動向」まぐね Vol.3, No.11

図 3.2 ネオジムボンド磁石の用途別需要量(2007年)

⁷ 主としてパソコン用ハードディスクのボイスコイルモータ(VCM)。HDD: ハードディスクドライブ、OA: オフィスオートメーション

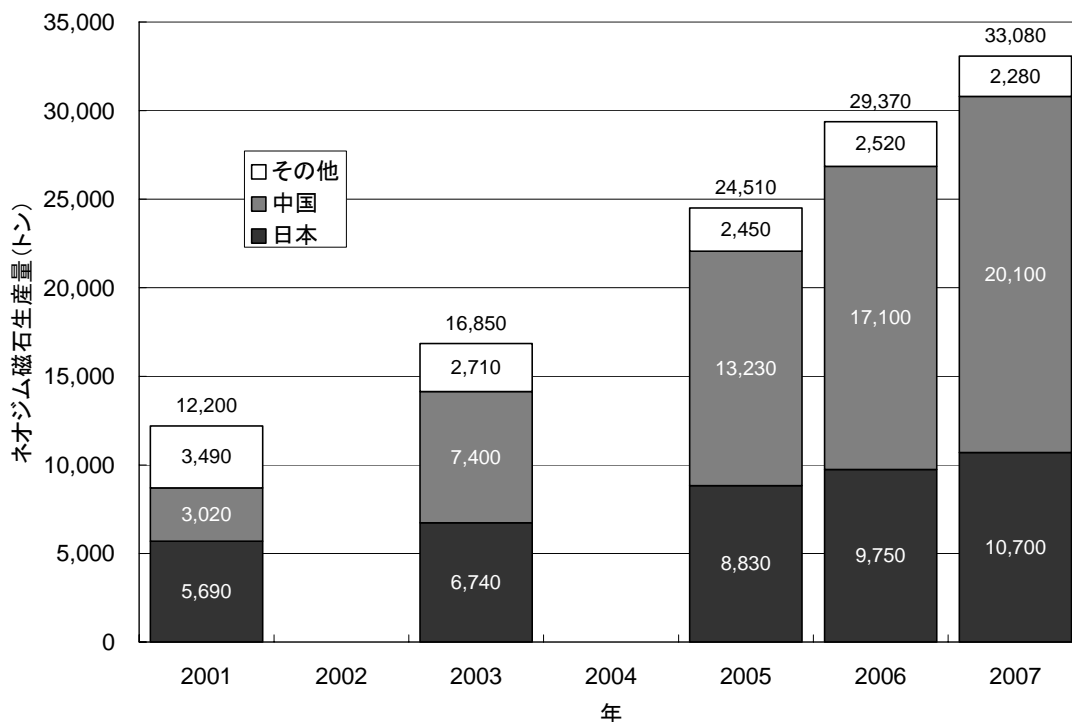
3.3 ネオジム磁石の生産量推移

(1) ネオジム磁石の生産量

図 3.3 に見られるように、ネオジム磁石の全世界での生産量は2007年で33,080トンであり、急増している。2007年における日本の生産量は10,700トンであり、全世界の32%を占めている。

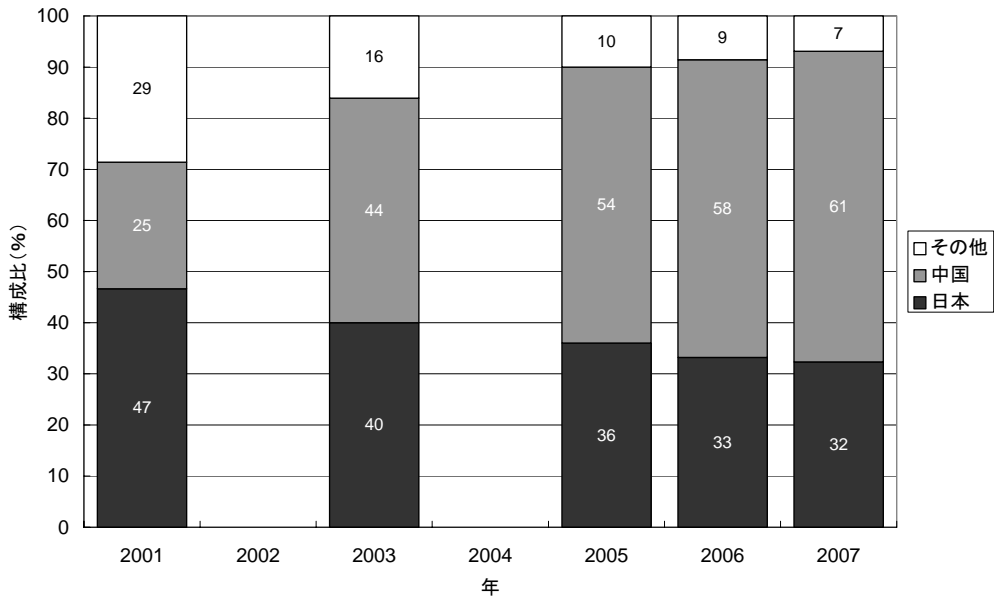
日本のネオジム磁石生産量は毎年増加傾向しているものの、中国の生産量の拡大が著しく、かつて世界の生産量の半分を占めていた日本の生産量は、現在、中国の約1/2となっている。(図 3.4)。

ただし、中国で生産されるネオジム磁石のうちの一部は日本に輸出されたり、部品に組み込まれて日本に輸出されているものもある。



(出典) 石垣尚幸ら「永久磁石の発展とその市場動向」まぐね Vol.3, No.11

図 3.3 世界のネオジム磁石生産量の国別推移(焼結磁石とボンド磁石の合計)

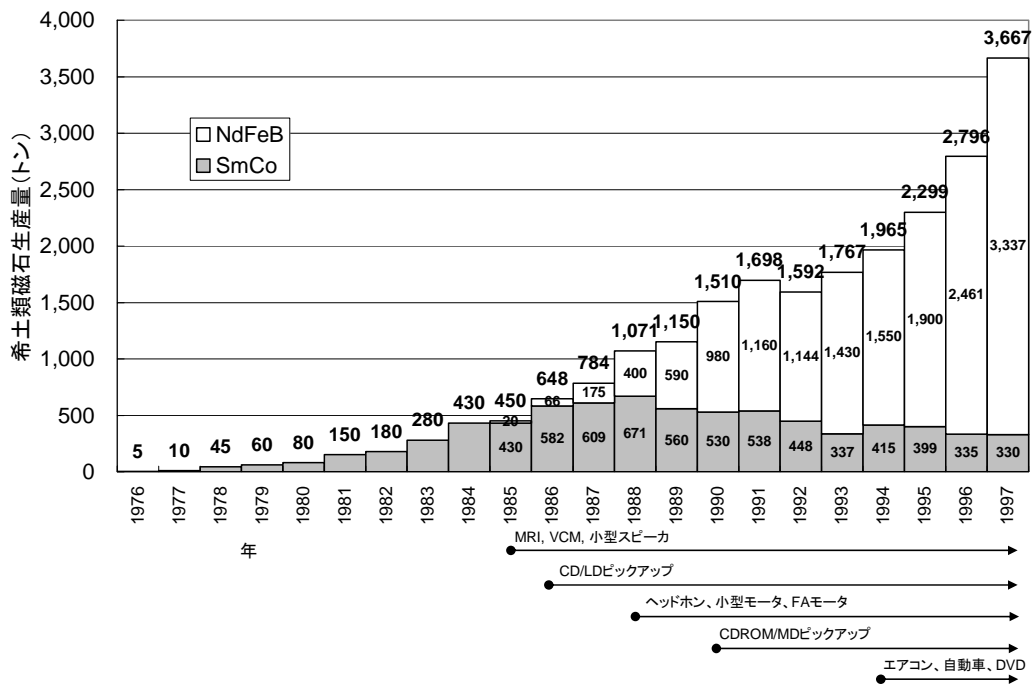


(出典) 石垣尚幸ら「永久磁石の発展とその市場動向」まぐね Vol.3, No.11

図 3.4 世界のネオジウム磁石生産量の国別構成比の推移(焼結磁石とボンド磁石の合計)

(2) 希土類磁石におけるネオジウム磁石のシェア

図 3.5 はネオジウム磁石(NdFeB)とサマリウムコバルト磁石(SmCo)磁石の 1997 年までの国内生産量推移である。ネオジウム磁石は 1985 年から本格的に生産が開始され、サマリウムコバルト磁石を置換しながら急増した。現在では生産される希土類磁石のほとんどがネオジウム磁石となっている。



(出典) 石垣尚幸ら「永久磁石の発展とその市場動向」まぐね Vol.3, No.11

図 3.5 希土類磁石の種類別生産量推移(日本)

第4章 各製品におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題

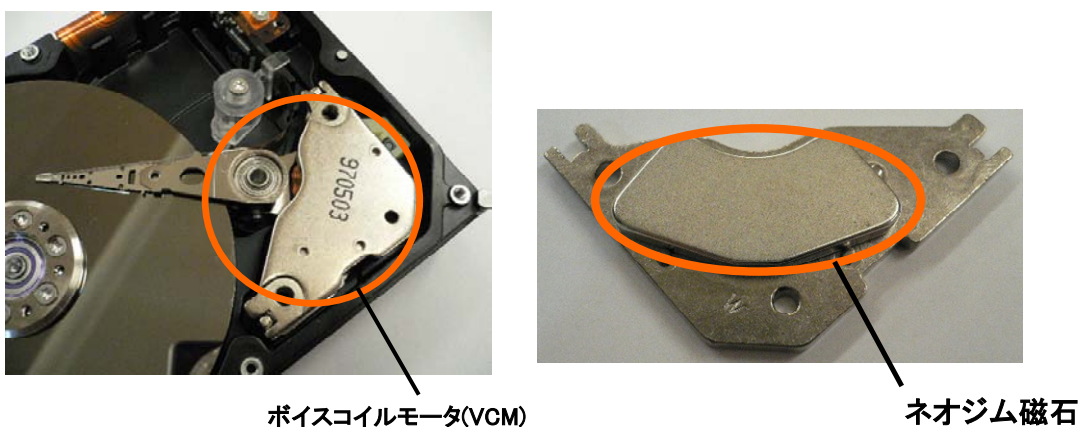
製品固有の使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品におけるネオジム磁石の使用状況とそれらの使用済製品からネオジム磁石を取り出すための解体・分離・選別における課題を 4.1 から 4.5 に整理した。その上でこれらの製品から回収されるネオジム磁石の見込み量を 4.6 に試算した。また、4.7 に製品固有の回収・リサイクルシステムが整備されていないその他の製品におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題を整理した。

4.1 パーソナルコンピュータ(ハードディスク)におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題

(1) パーソナルコンピュータ(ハードディスク)におけるネオジム磁石の使用状況

ハードディスクドライブのヘッドを駆動させる装置であるボイスコイルモータにはヘッドを駆動させる可動コイルを動かすためにネオジム磁石が使用されている。ハードディスクドライブの高速化・小型化の実現のためには、ヘッドの駆動の応答性を高める必要があり、強力な小型磁石が必要となった。そのためパーソナルコンピュータなどに使用されるハードディスクドライブには、ネオジム磁石が早くから使用されてきた。

ハードディスクのボイスコイルモータは、通常、ネオジム磁石二個が、二枚の鉄板にそれぞれ接着剤で止められた部品および読み書きヘッドと一体化された可動コイルで構成されている。ネオジム磁石を搭載した二枚の鉄板はねじで筐体に止められており、ハードディスクのカバーを取り除き、このねじを外すことにより取り出しが可能である(図 4.1)。ボイスコイルモータに使用されているネオジム磁石一個あたりの重量は、サーバ向けハードディスク用で約13グラム、3.5インチハードディスク用では約5グラム、2.5インチハードディスク用では約1グラムである。⁸なお、ハードディスクに使用されているネオジム磁石にはニッケル薄層めっきが施されている。



(出典) 調査の一環として事務局で分解。試料提供: 塩ノ谷委員。

図 4.1 ハードディスクの構造

⁸ (出典) 石垣尚幸ら「永久磁石の発展とその市場動向」まぐね Vol.3, No.11

(2) パーソナルコンピュータ(ハードディスク)の回収・リサイクルシステムの概要

① 回収システム

2001年4月から使用済パソコンが「資源の有効な利用の促進に関する法律」の指定再資源化製品に指定されたことにより、製造事業者などに使用済パソコンの回収・リサイクルが義務付けられた。2001年4月に事業系使用済パソコンの回収が開始され、2003年10月には家庭系使用済パソコンの回収が開始された。

② 回収実績

2007年度に回収されたパソコンは家庭から排出されたもの、事業所から排出されたものの合計で3,801トン、500千台である(表 4.1)。

表 4.1 パソコン回収および再資源化実績(2007年度)

種 類		重量(トン)	台数(千台)
家庭	デスクトップ型	1,391	123
	ノートブック型	222	62
	小計	1,613	185
事業所	デスクトップ型	1,763	179
	ノートブック型	425	136
	小計	2,188	315
全体	デスクトップ型	3,154	302
	ノートブック型	647	198
	合計	3,801	500

(出典) パソコン3R推進センター

③ 解体・分離・選別フロー

回収されたパソコンは解体・分離・選別事業者によってリサイクルされる。解体・分離・選別事業者には手解体で各種資源に分離・選別する作業を主体とする事業者と、シュレッダーによる破碎後に資源毎に機械選別する作業を主体とする事業者に大別される。また、手解体事業者で解体後に資源単体として選別できなかったもの(例えば、ユニット類など)は、最終的にはシュレッダー事業者に引き渡され、機械破碎後に鉄、非鉄金属などが選別される(図 4.2)。

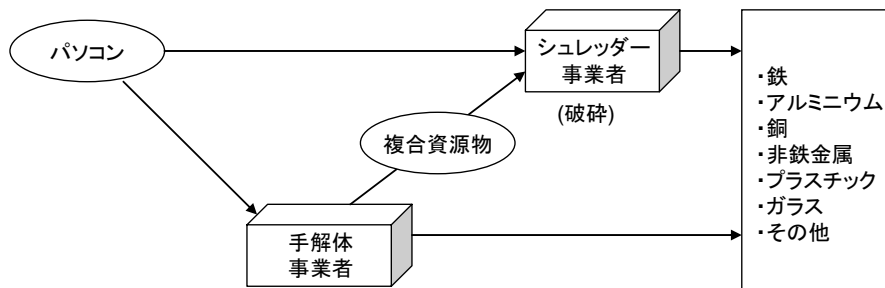


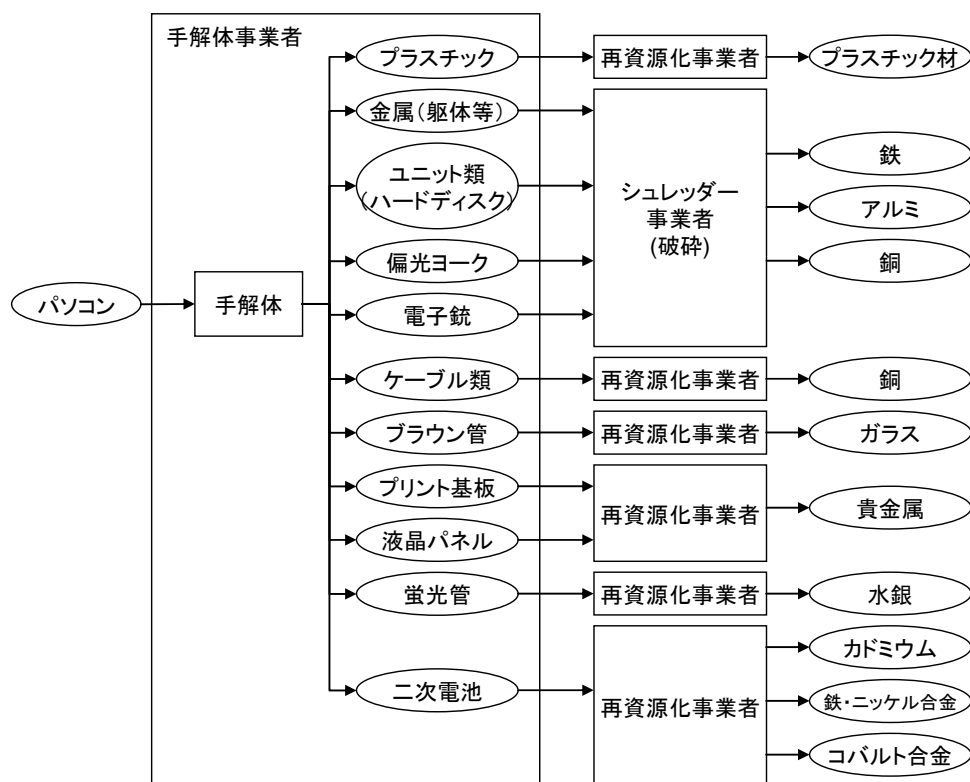
図 4.2 使用済パソコンのフロー概要

a. 手解体事業者の解体・分離・選別フロー

手解体事業者では、一次処理としてパソコンを各部品の構造、構成材料などに応じて手解体を行う。手解体された各部品などは仕分けされ、そのまま再資源化が可能なものは再資源化事業者に引き渡され、また、さらに破碎・選別が必要な場合は、シュレッダー事業者に引き渡される。

ハードディスクドライブは多くの場合、複合資源物であるユニット類として分離・選別され、フロッピーディスクドライブ、キーボード、マウスなどと共に、シュレッダー事業者に引き渡される(図 4.3)。

なお、ハードディスクをさらに手解体し、部品レベルまで分離・選別し再資源化水準を上げている事業者もいる(図 4.6)。



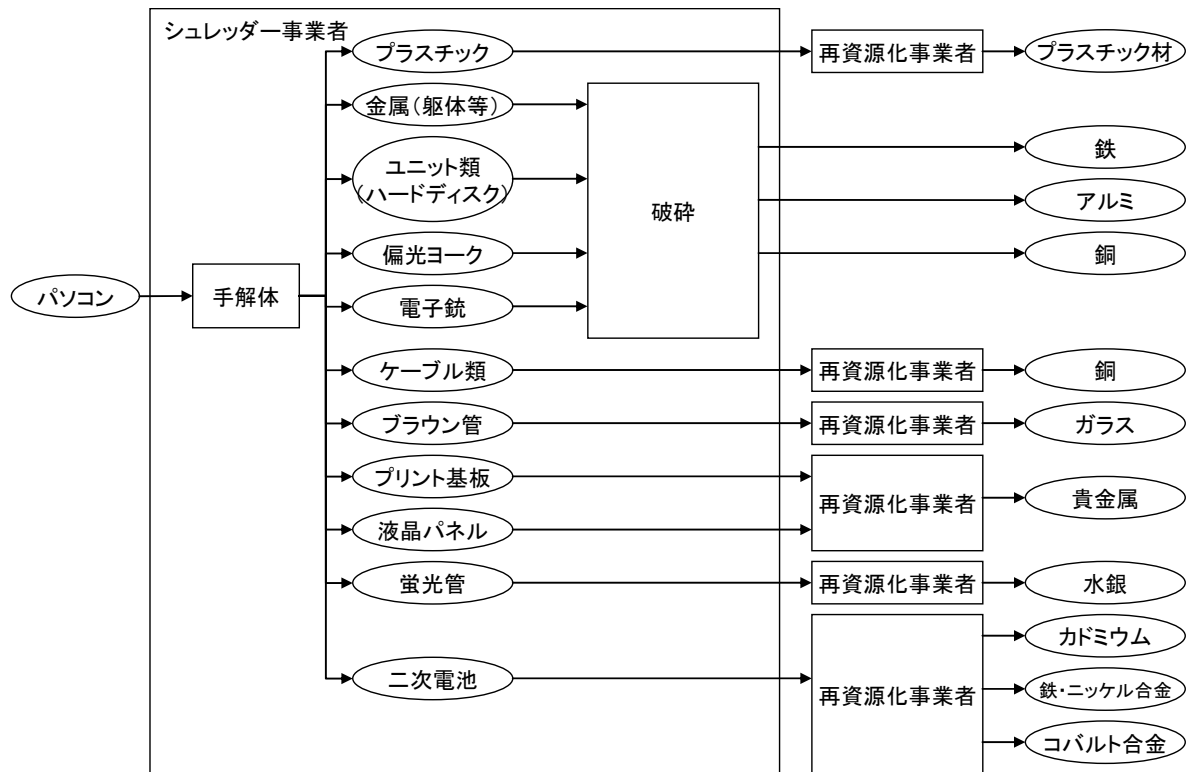
(出典) 塩ノ谷委員提供資料による。

図 4.3 手解体事業者におけるパソコンの解体・分離・選別フロー

b. シュレッダー事業者の解体・分離・選別フロー

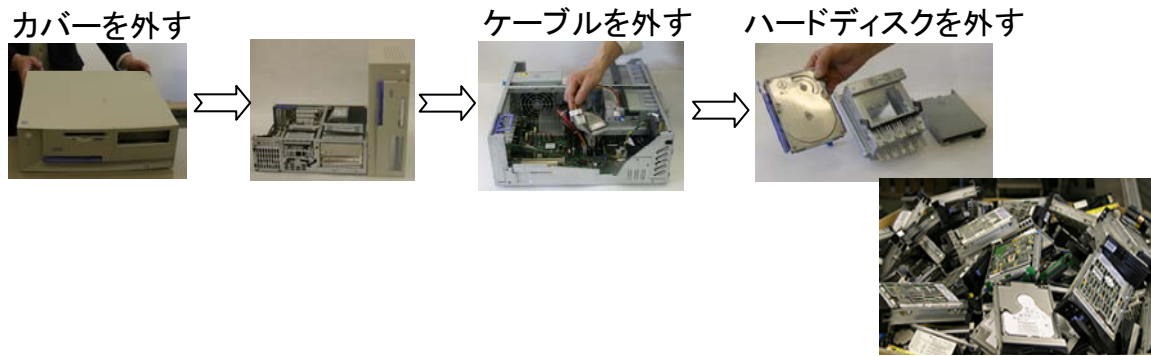
シュレッダー事業者は手解体でプラスチックなど一部の部品を取り外した後、金属(躯体など)、ユニット類、プラスチック複合材などをシュレッダーで破碎し、機械選別によって、鉄、アルミニウム、プラスチックなどの資源を回収する(図 4.4)。

ネオジム磁石を含むハードディスクは、ユニット類として破碎され、鉄・アルミニウムなどに分けられる。ネオジム磁石などの磁石類は破碎器内の壁に付着するなどシュレッダー処理の障害となっている。磁石の多くは、鉄に付着し、最終的には鉄として製鋼原料に混入する。



(出典) 塩ノ谷委員提供資料による。

図 4.4 シュレッダー事業者におけるパソコンの解体・分離・選別フロー



(出典) 大沼委員提供資料

図 4.5 ハードディスクの分離・選別例



(出典) 大沼委員提供資料

図 4.6 ハードディスク解体事例



(出典) 大沼委員提供資料

図 4.7 解体されたハードディスクと磁石の形状

(3) ネオジム磁石の分離・選別の可能性と課題

① 分離・選別の可能性

パソコンの手解体工程での若干の作業追加によりネオジム磁石の取り出しは可能

現在、回収された使用済パソコンは、①手解体事業者による手解体または②シュレッダー事業者による破碎・選別のいずれかで解体・分離・選別されている。

①手解体事業者においては、ハードディスクの取り出しを含め、パソコンを非常に細かく解体しており、この際、若干の作業を追加することによってハードディスクを解体し、中からネオジム磁石だけを取り出すことは容易である(図 4.6、図 4.7)。

なお、未解体のハードディスクを解体し、ネオジム磁石を取り出すのに要する時間はおよそ 2～5分／台程度である。ハードディスクに使用されているネオジム磁石は小型(3.5 インチで約 5 グラム×2 個)なので、ネオジム磁石をはさんでいる鉄板から、オジム磁石を引き剥がして取り出すこととなる。

② 課題

a. 分離・選別

シュレッダー事業者におけるハードディスクの分離・選別および手解体作業の追加

シュレッダー処理ルートでは、現在、ハードディスクはユニット類として機械破砕されている。ネオジム磁石は、破砕物から磁力選別された鉄に付着している。この段階でネオジム磁石のみを取り出すことは実作業としては困難なので、機械破砕前にハードディスクを手解体してネオジム磁石取り出すことが必要となる。

b. 経済性

解体・分離・選別事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す仕組みの形成

ハードディスクからネオジム磁石を取り出すために必要なコスト(追加工数)と取り出されたネオジム磁石の売却価格を比較するなど、経済性についての評価が必要である。その上で、解体・分離・選別事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す経済的インセンティブを包含する仕組みを形成することが必要である。

c. 引き取りルート

ハードディスクから取り出したネオジム磁石の引き取りルートの確立

現在、ハードディスクに使用されているネオジム磁石のリサイクルは行われていない。しかし、ネオジム磁石のみを取り出すことができればリサイクルは可能であると考えられ、取り出したネオジム磁石の引き取りルートを確立することが必要である。

d. 安全確保

解体・分離・選別における消磁

ハードディスクから回収されるネオジム磁石一つ一つは小さいが強力な磁石であるため取り扱いの際、安全に留意が必要である。また、それが大量に集積すると強い磁力を発揮し、搬送作業の安全を損なう恐れがある。解体・分離・選別段階において消磁を行うことが望ましい。

e. 不純物の混入

ネオジム磁石の表面ニッケルめっきなど不純物の混入

ハードディスクに使用されているネオジム磁石にはニッケルめっきが施されている。ニッケルめっきは再生過程において大きな問題とはならないというレアアース関係者の意見もあるが、ニッケルめっきを施されたネオジム磁石が大量に再生されるケースについては未確認であり、ニッケル成分など不純物の影響を調査する必要がある。

4.2 家電製品におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題

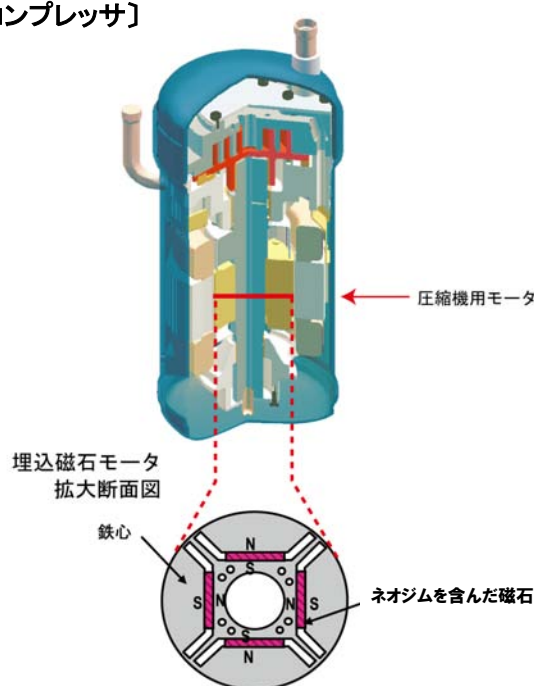
(1) 家電製品におけるネオジム磁石の使用状況

① エアコン

エアコンのコンプレッサには圧縮機用モータが組み込まれている。近年エアコンの省エネ特性が注目を集めており、圧縮機用モータの効率向上がテーマとなっている。この解決策として、ネオジム磁石の使用が進んできている。

ネオジム磁石を使用した圧縮機用モータの構造は後述のハイブリッド型自動車用モータと同様に、ロータ部にネオジム磁石が組み込まれている。

【エアコンコンプレッサ】



(出典) 家電製品協会〔瀬山委員提供資料〕
(注) 図中呼称ネオジウムをネオジムに変更した。

図 4.8 エアコンコンプレッサの構造とネオジム磁石の使用位置

1995 年を皮切りに現在では 10 社がネオジム磁石を使用したモータを搭載したコンプレッサをエアコンに採用しており、2007 年度では総出荷台数 740 万台のうちの 6 割に相当する 450 万台にネオジム磁石が使用されている。ちなみに 2004 年度におけるネオジム磁石使用モータ搭載のエアコン出荷台数は総出荷 700 万台に対して 320 万台、搭載率は 45% であり、搭載率は増加してきている。

表 4.2 エアコンの出荷台数とネオジム磁石使用モータ搭載エアコンの出荷台数

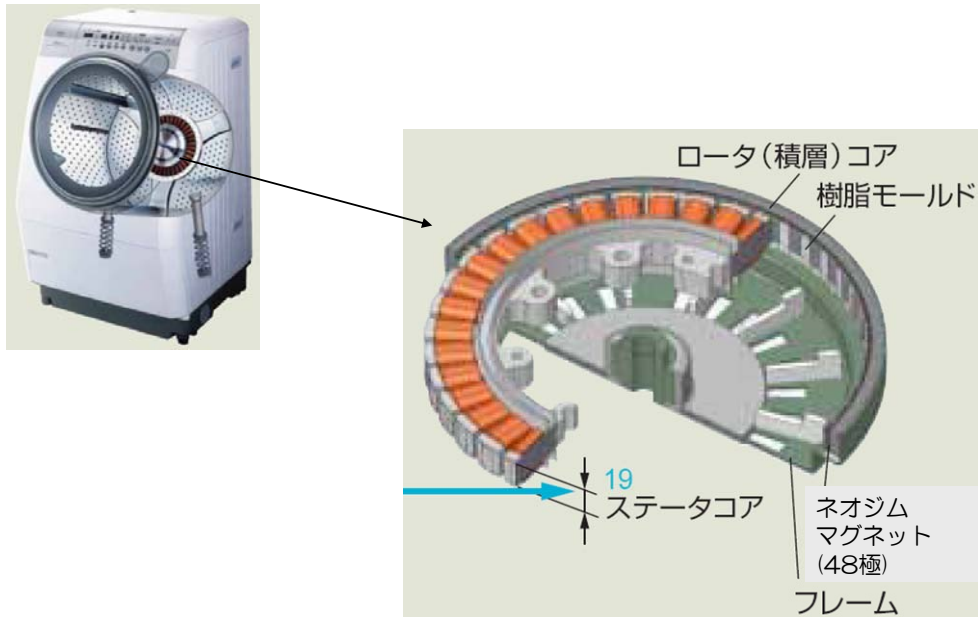
項目	2004 年度	2007 年度
総出荷台数	700 万台	740 万台
ネオジム磁石使用モータを搭載したエアコンの出荷台数	320 万台	450 万台
当該製品比率	約 45%	約 60%

(出典) (社)日本冷凍空調工業会調べ(瀬山委員提供資料)

② 洗濯機

洗濯機もエアコンと同様に省エネ性能向上が求められ、特に乾燥機能が付加されたドラム式の洗濯機においてその要請が高まり、モータにネオジウム磁石が採用され始めた。洗濯機内装底部にモータが取り付けられており、円盤状のモータの周縁部に磁石が複数付けられている。

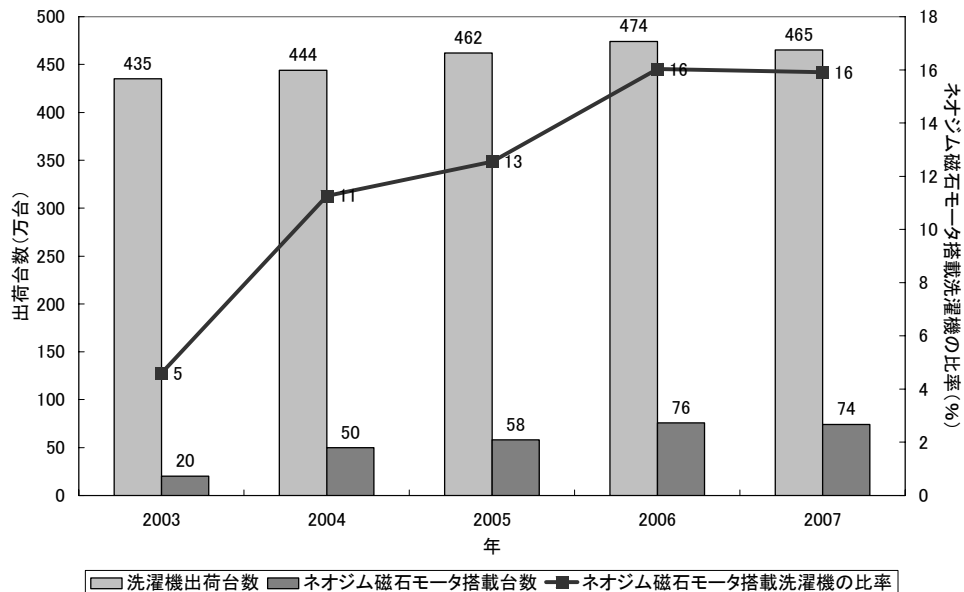
ネオジウム磁石搭載モータは 2003 年ごろから採用されはじめ、2007 年現在で全体の 16%を占めるに至っている。



(出典) 東芝レビュー60 巻 5 号(2005 年5月号)

(注) 図中呼称ネオジウムをネオジウムに変更した。

図 4.9 洗濯機におけるネオジウム磁石の使用位置



(出典) (社)日本電機工業会調べ (瀬山委員提供資料)

図 4.10 洗濯機の国内供給量とネオジウム磁石搭載型の国内供給量

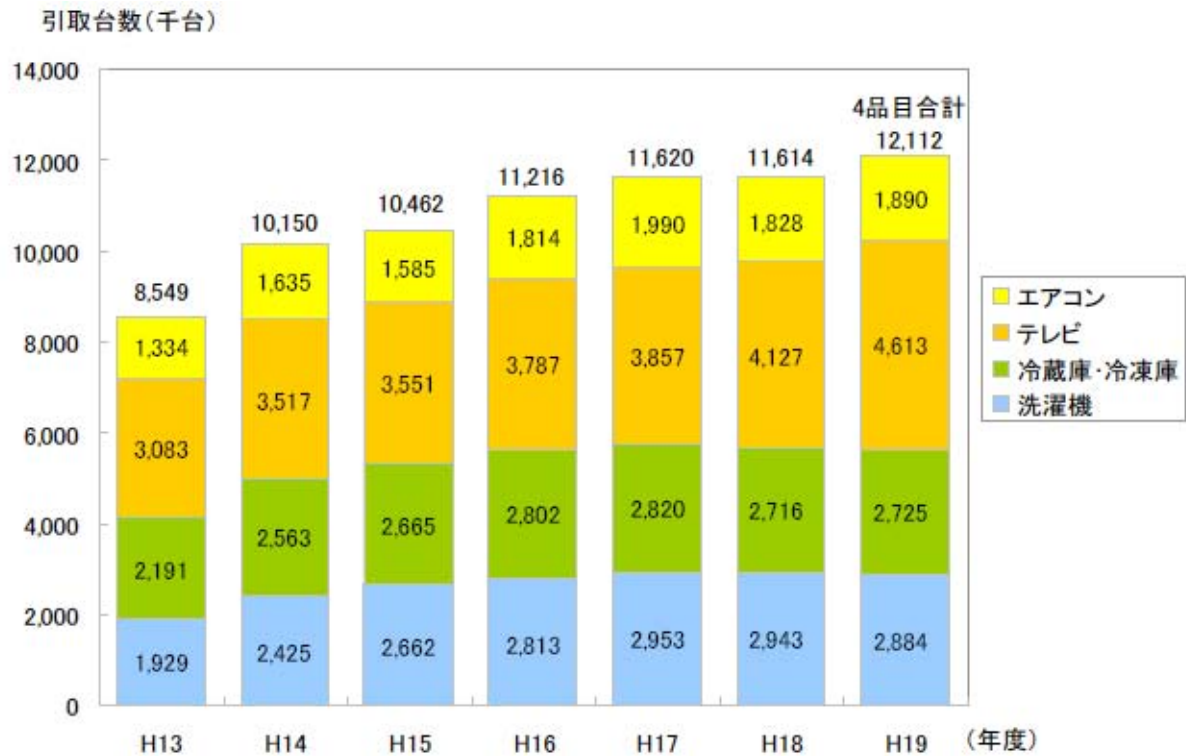
(2) 家電製品の回収・リサイクルシステムの概要

① 回収システム

エアコン、電気洗濯機などの特定家電は家電リサイクル法の下、全国 48 箇所のリサイクルプラントにおいて手解体などが行われ、エアコンで 60%以上の再商品化、洗濯機で 50%以上の再商品化が義務付けられている。リサイクル料金は廃棄時に使用者が支払う仕組みとなっている。

② 回収実績

2007 年度における家電四品目の引き取り実績は図 4.11 に示すように 12 百万台であり、うちエアコン、洗濯機の引き取り実績は、それぞれ 1,890 千台、2,884 千台である。



(出典) (財)家電製品協会

図 4.11 指定引取場所における家電四品目の引き取り実績

③ 解体・分離・選別フロー

家電リサイクルプラントでは、手解体、破碎、機械選別によって有用な資源が回収される。ネオジム磁石が使用されているエアコンのコンプレッサ、洗濯機のモータは手解体段階で分離・選別される（図 4.12）。取り出されたコンプレッサ、モータは切断後に専門取り扱い事業者に売却される。専門取り扱い事業者は一部中国に輸出している。中国では分解後に磁石を取り出し、磁石素材としてリサイクルしている例もある⁹。

なお、銅回収目的でコンプレッサをロータとステータに国内で分離している事業者もいる。

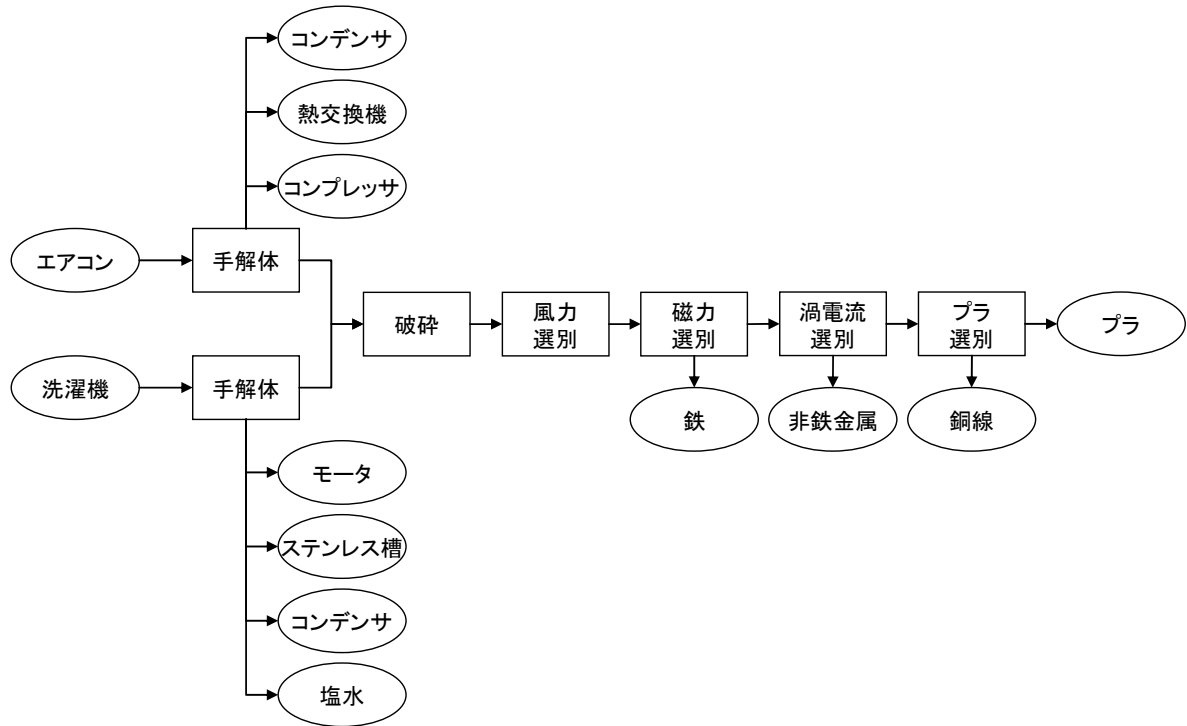


図 4.12 家電リサイクルプラントにおける家電製品の一般的な解体・分離・選別フロー

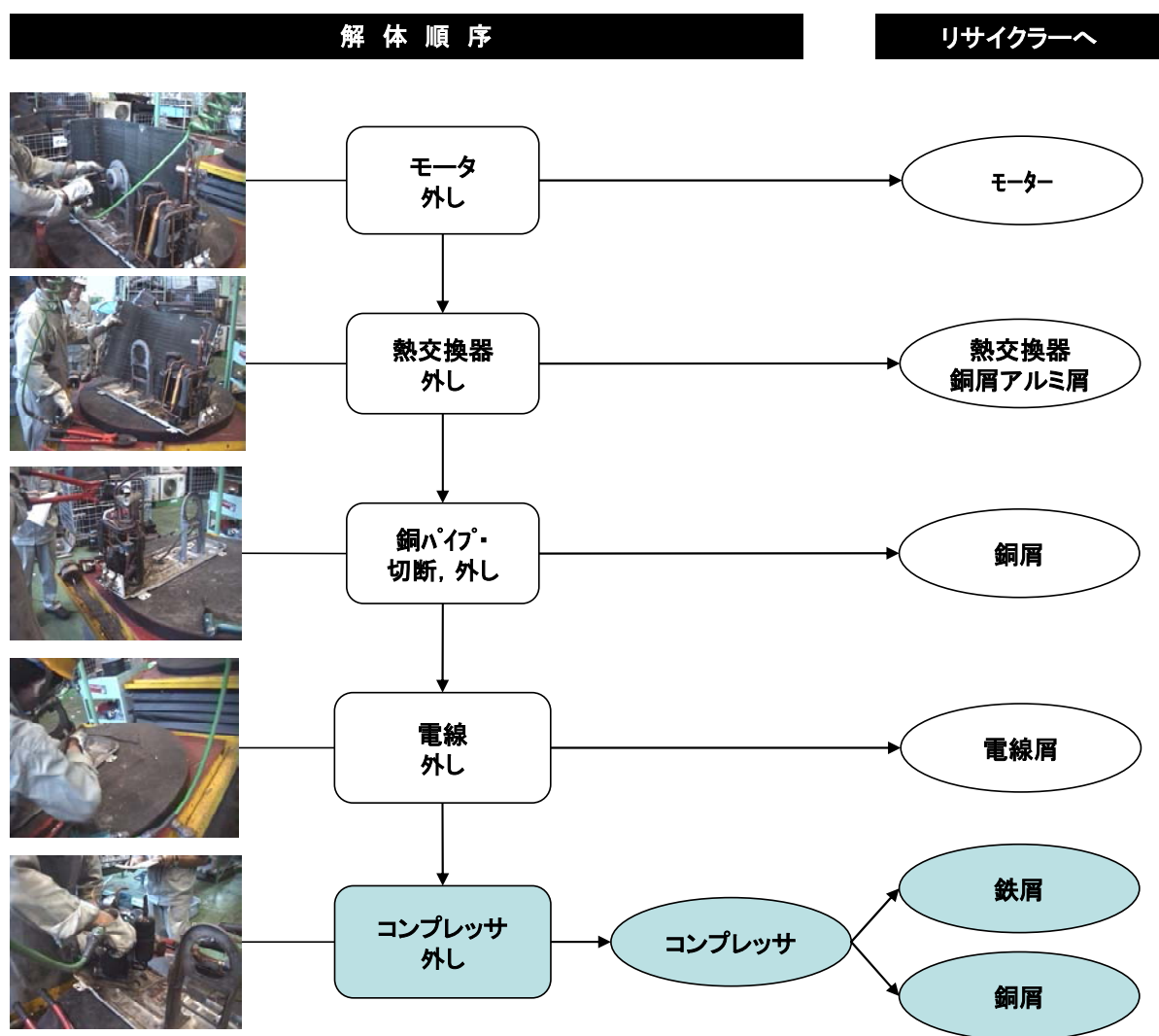
⁹ 出典：神鋼リサーチ(株)：希少性資源の3Rシステム化に資する技術動向調査報告書、平成 18 年 3 月、平成 17 年度経済産業省委託

④ 解体の実際

a. エアコン

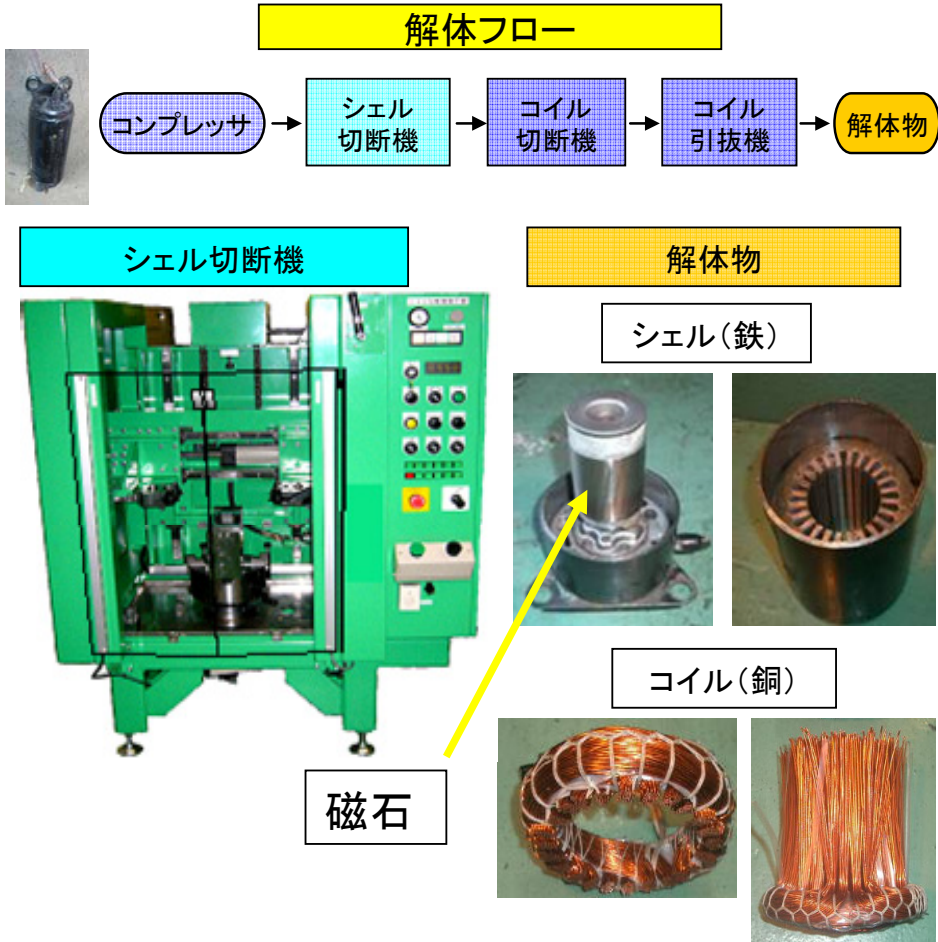
図 4.13 はエアコン解体の実際(例)である。まずモータを取り外し、次に熱交換器、銅パイプ、電線の順に取り外し、最後にコンプレッサをはずす。取り外されたコンプレッサはシェル切断機で切断され、ロータとステータに分けられる。ステータ部のコイルは銅として再生されるが、ネオジウム磁石も含むそれ以外の部分は鉄くずとして再生される。コンプレッサを効率的に解体するための切断機も開発されている(図 4.14、図 4.15)。

分離されたコンプレッサからネオジウム磁石のみを取り出すためには、若干の作業を追加することにより可能であると考えられるが、現在はネオジウム磁石の売却ルートが存在しておらず、売却価格も不明であり、ネオジウム磁石は取り出されていない。



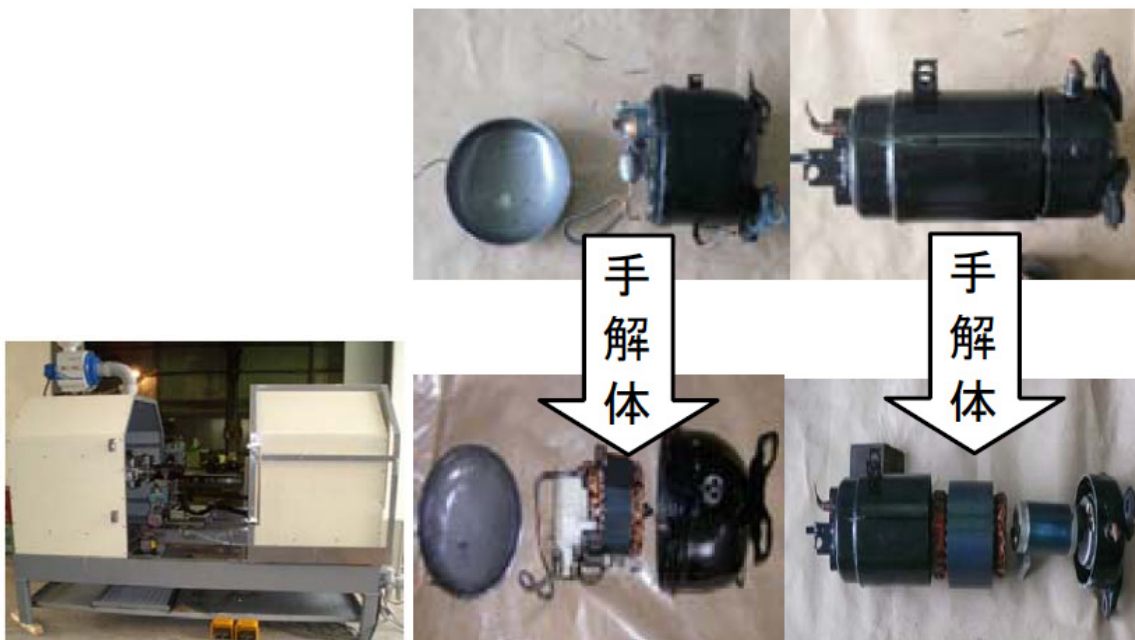
(出典) 大沼委員提供資料

図 4.13 エアコン手解体の実際(例)



(出典) 大沼委員提供資料

図 4.14 解体されたエアコンコンプレッサにおけるネオジム磁石



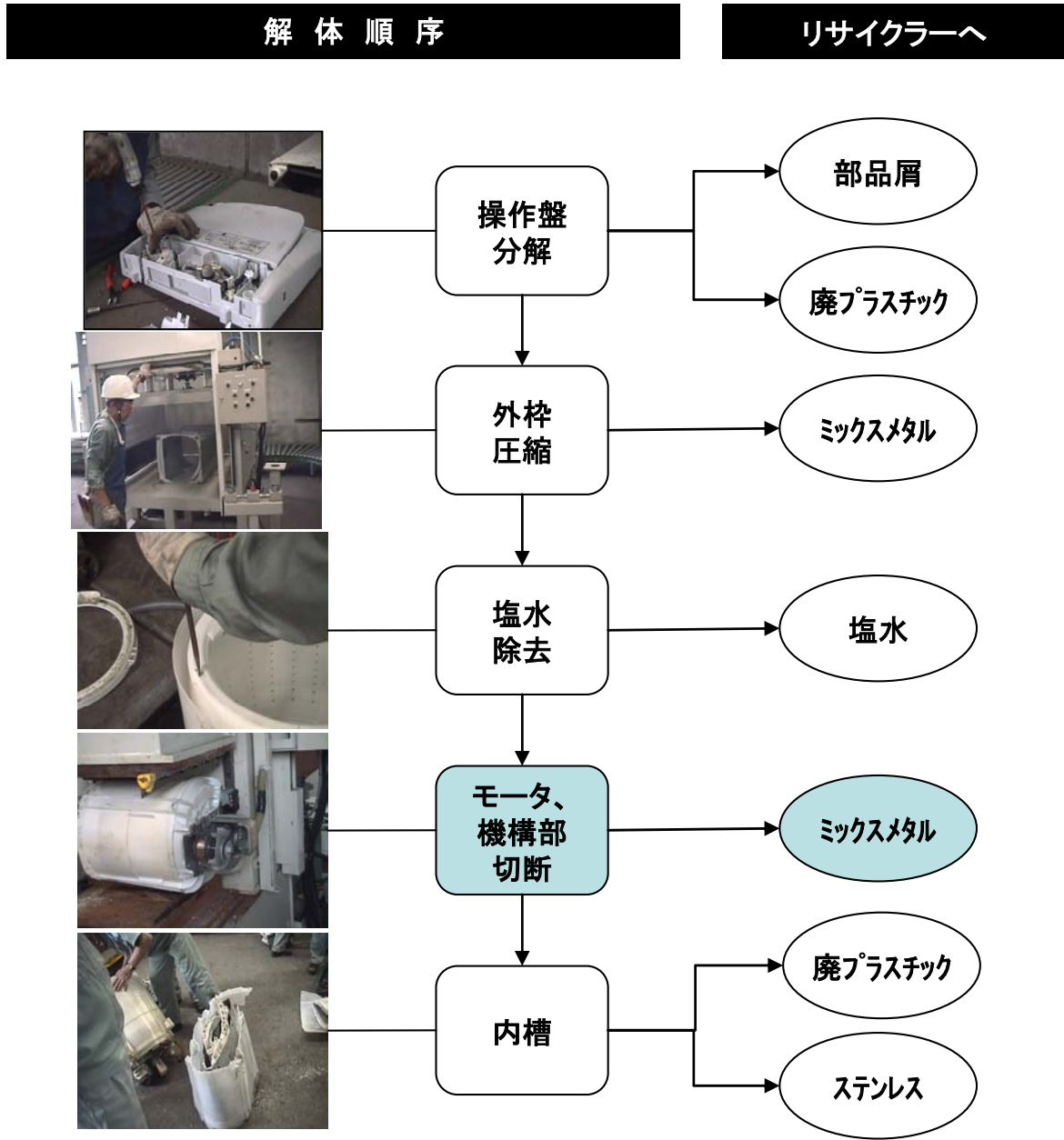
(出典) (財)家電製品協会「家電リサイクル年次報告書 平成18年度版」

図 4.15 コンプレッサ切断機と解体の例

b. 洗濯機

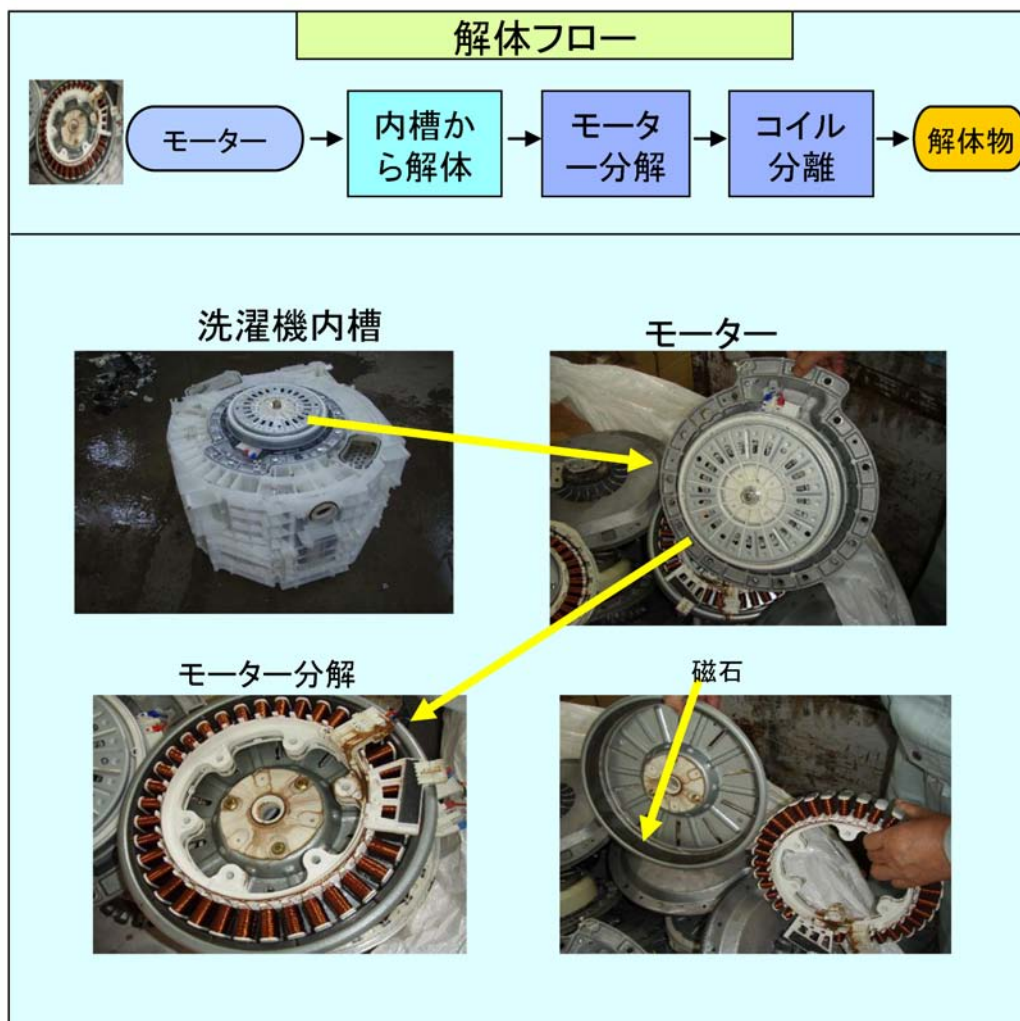
図 4.16 は洗濯機の手解体の実際(例)である。操作盤、外枠破壊、塩水の除去を経て、モータ・機構部が取り出される。モータは鉄と銅の混ざった鉄くずとして売却されている。

現在、ネオジム磁石は取り出されていないが、エアコンと同様に、若干の作業を追加することにより、ネオジム磁石を取り出すことは可能である。エアコンと異なり、ネオジム磁石がロータの内部に埋め込まれていないので、ネオジム磁石の取り出しは比較的容易であると考えられる(図 4.17)。



(出典) 大沼委員提供資料

図 4.16 洗濯機手解体の実際(例)



(出典) 大沼委員提供資料

図 4.17 解体された洗濯機におけるネオジム磁石

(3) ネオジム磁石の分離・選別の可能性と課題

① 分離・選別の可能性

エアコン、洗濯機の手解体工程での若干の作業追加によりネオジム磁石の取り出しは可能

現在、家電リサイクル法の下で、使用済エアコン、洗濯機は全国の家電リサイクルプラントで解体・分離・選別されている。エアコンのコンプレッサは手解体工程で分離・選別されており、また、洗濯機のモーターも金属回収目的で手解体作業により分離・選別されることが一般的である。中にはコンプレッサやモーターをロータとステータに分離し、銅製のコイルを取り出すことを行っている事業者もいる。

すでに行われているコンプレッサ、モーターの分離・選別作業に若干の作業を追加することにより、ロータからネオジム磁石を取り出すことは可能である。

② 課題

a. 分離・選別

エアコンのコンプレッサ、洗濯機のモータからネオジム磁石を取り出すための消磁

エアコンのコンプレッサ、洗濯機のモータはロータとステータに分割することは可能であり、また一部の家電リサイクルプラントではすでにステータに使用されている銅の回収を目的として実施されている。ロータにしっかりと組み込まれたネオジム磁石を取り出すためには、治具や取り出し方法を開発する必要があり、消磁が前提となる。また、ネオジム磁石の取り出しを容易とする設計も重要である。ロータを外部から加熱し消磁を行う方法は熱効率が悪いので、効率的な消磁方法を新たに検討する必要がある。

ネオジム磁石使用モータの表示

エアコン、洗濯機におけるネオジム磁石の使用の有無は概観からは判断できない。ネオジム磁石使用を製品に表示することが必要である。

b. 経済性

解体・分離・選別事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す仕組みの形成

エアコン、洗濯機からネオジム磁石を取り出すために必要なコスト(追加工数)と取り出されたネオジム磁石の売却価格を比較するなど、経済性についての評価が必要である。その上で、解体・分離・選別事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す経済的インセンティブを包含する仕組みを形成することが必要である。

c. 引き取りルート

家電製品から取り出したネオジム磁石の引き取りルートの確立

現在、家電製品に使用されているネオジム磁石のリサイクルは行われていない。しかし、ネオジム磁石のみを取り出すことができればリサイクルは可能であると考えられ、取り出したネオジム磁石の引き取りルートを確立することが必要である。家電製品のリサイクル工場は全国 48 箇所に集約されており、引き取りルートの整備は比較的容易であると考えられる。

d. 安全確保

解体・分離・選別における消磁

家電製品に使用されているネオジム磁石はパソコン用ハードディスクに使用されているものよりも大きく強い磁力を発揮するので、作業・搬送時の安全を損なう恐れがある。コンプレッサやモータのロータから取り出す前段階で消磁を行う必要がある。

e. 不純物の混入

不純物の混入の防止

家電製品への汚れの付着、手解体工程での異物の混入、ネオジム磁石以外の磁石の混入など、ネオジム磁石に異物が混入する可能性がある。効率的にネオジム磁石を再生するためには、異物の混入極力防止の工夫が必要となる。

4.3 携帯電話・PHSにおけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題

(1) 携帯電話・PHSにおけるネオジム磁石の使用状況

携帯電話・PHSにおいてネオジム磁石は、バイブレータ、スピーカ、レシーバなど、小型部品に使用されている。部品一つに0.5グラムから1グラム程度のネオジム磁石が使用されており、携帯電話1台当たり2個程度使用されていると考え、1台当たり1グラムから2グラムのネオジム磁石が使用されている。

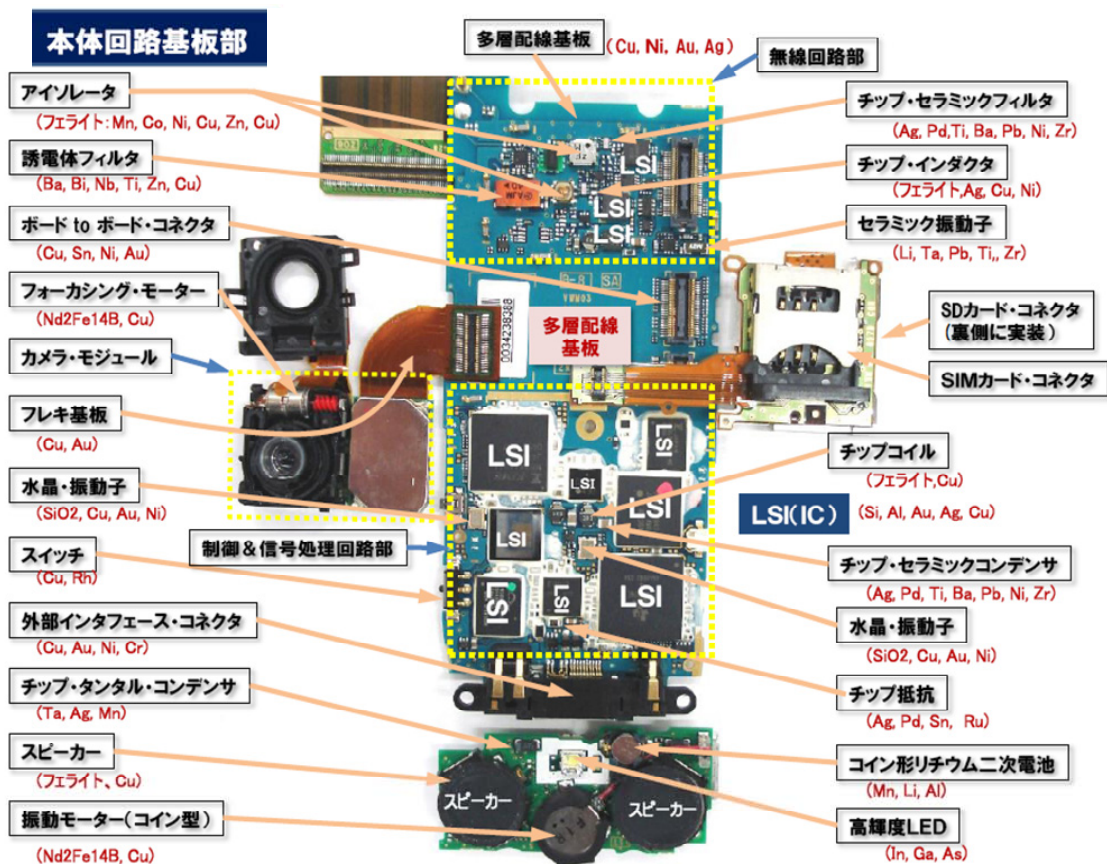


図 4.18 携帯電話本体の構造と主な使用元素(例)

(2) 携帯電話・PHSの回収・リサイクルシステムの概要

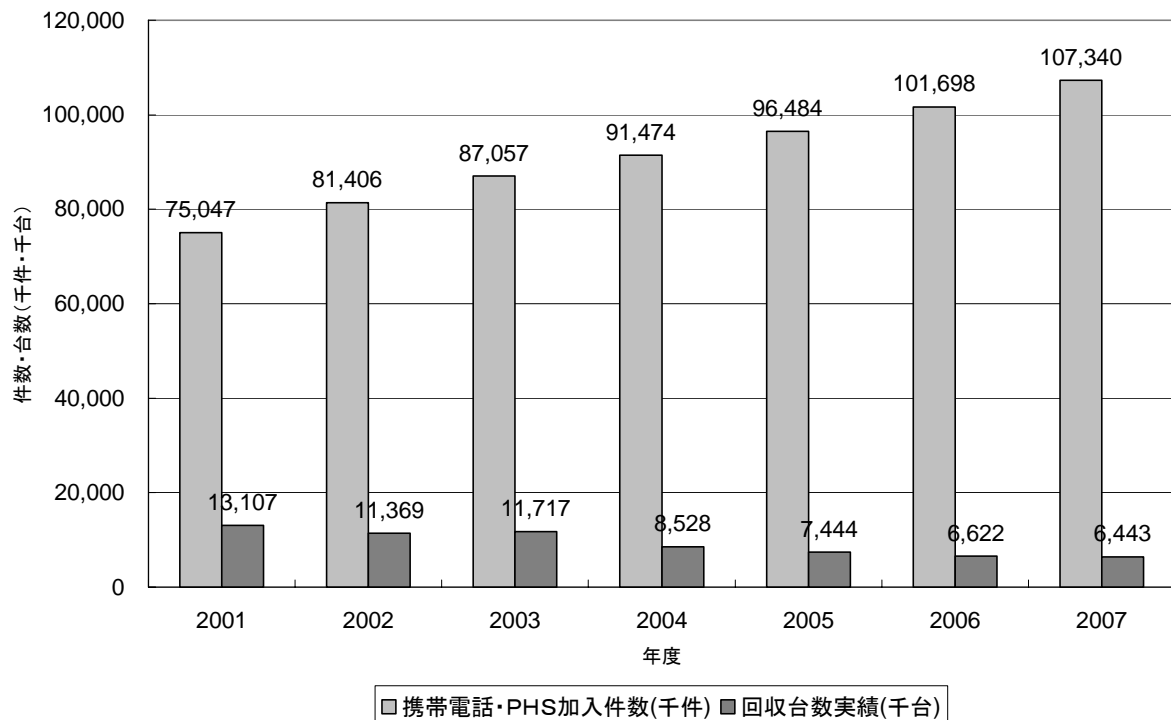
① 回収システム

2001年4月からモバイル・リサイクル・ネットワーク(MRN)が活動を開始し、通信事業者、メーカーの区別なく、携帯電話・PHS本体、電池、充電器の無償回収が始まった。回収拠点は全国の専売店、その他ショップ10400店(2008年3月末現在)で、ほとんどすべての専売店をカバーしている。

② 回収実績

モバイル・リサイクル・ネットワークによる回収実績は2007年度で6443千台となっており、年々減少傾向にある(図 4.19)。また、携帯電話・PHSの加入件数と比較しても回収率は低い。携帯電話・PH

Sは保管しやすいので買い換え後も排出されることが少ない、また、携帯電話・PHSの高度化に伴って、買い換え後もデジタルカメラなどとして利用されるなどが原因であると考えられている。



(出典) (社)電気通信事業者協会資料

図 4.19 携帯電話・PHSの加入件数とモバイル・リサイクル・ネットワークによる回収実績の推移

③ 解体・分離・選別フロー

回収された携帯電話・PHS本体は部品の特性に従って手解体され、それぞれの再資源化事業者に引き渡され、熱利用も含めてほぼ 100%リサイクルが行われているが、ネオジム磁石を使用した部品のみの分離・選別は行われていない(図 4.20、図 4.21)。

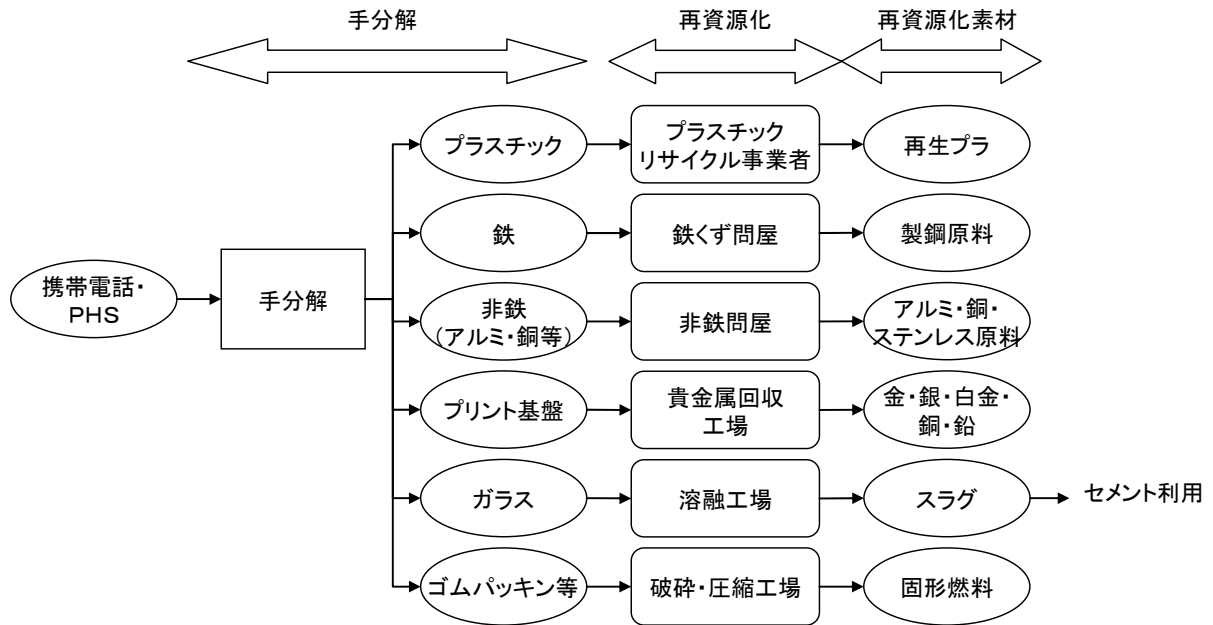


図 4.20 携帯電話・PHSの解体・分離・選別フロー(例)



(出典) 堀田委員提供資料

図 4.21 携帯電話手分解等の事例

(3) ネオジム磁石の分離・選別の可能性と課題

① 分離・選別の可能性

携帯電話・PHSの手解体工程での若干の作業追加によりネオジム磁石の取り出しは可能

回収された使用済携帯電話・PHSは人手によってすでに部品ごとに分離・選別されており、ここで若干の作業を追加することによってネオジム磁石を取り出すことは可能であると考えられる。

② 課題

a. 分離・選別

小型部品からネオジム磁石を取り出す作業の効率化

ネオジム磁石が使用されている部品はバイブレータなど小型であり、また、使用量も他の製品と比較すると少ない。また、バイブレータなどの付属品(ネオジム磁石以外)の除去も課題となる。

b. 経済性

少量のネオジム磁石のリサイクルの経済性の検討と分離・選別の意欲を生み出す仕組みの形成

携帯電話・PHSに使用されている部品は小さく、また、ネオジム磁石の使用量も他の製品と比較すると少ない。携帯電話・PHSからネオジム磁石を取り出してリサイクルすることの費用対効果について評価する必要がある。その上で、解体・分離・選別事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す経済的インセンティブを包含する仕組みを形成することが必要である。

c. 引き取りルート

携帯電話・PHSから取り出されたネオジム磁石の引き取りルートの確立

現在携帯電話・PHSに使用されているネオジム磁石のリサイクルは行われていない。しかし、ネオジム磁石のみを取り出し、付属品などを除去できれば、リサイクルは可能であると考えられるが、その前提として取り出したネオジム磁石の引き取りルートを確立することが必要である。

d. 安全確保

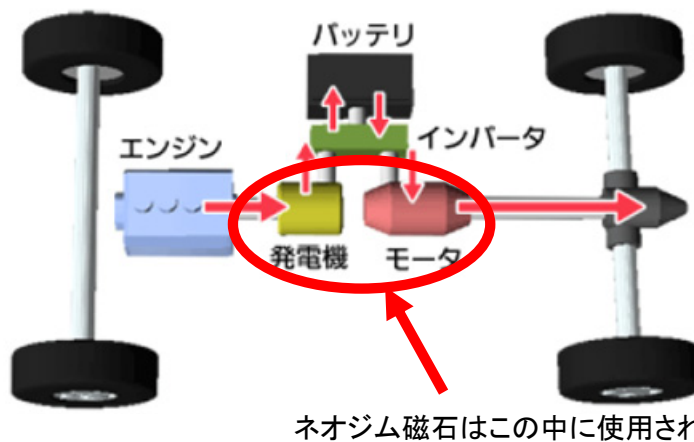
解体・分離・選別における消磁

小さな部品でも大量に集まると強い磁力を発揮するので、他の製品と同様に解体・分離・選別段階での消磁が必要となる。

4.4 ハイブリッド型自動車におけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題

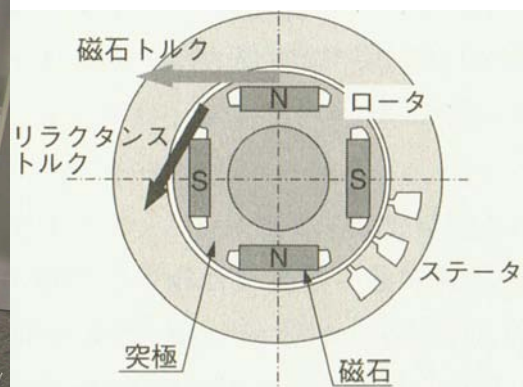
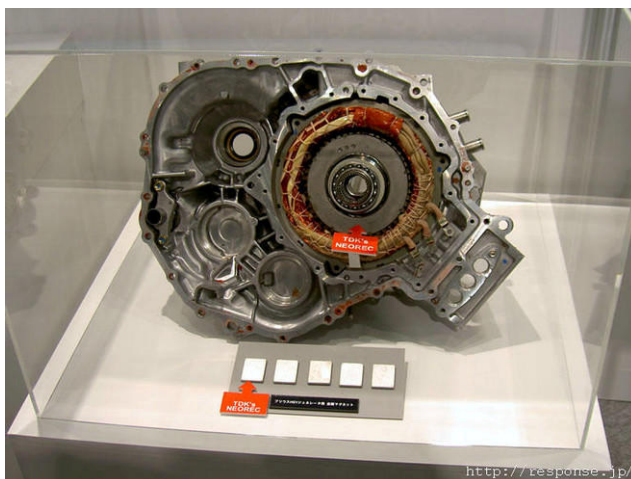
(1) ハイブリッド型自動車におけるネオジム磁石の使用状況

トヨタ自動車が 1997 年にプリウスを発売したことを皮切りに、各社でハイブリッド型自動車の開発が進められている。ハイブリッド型自動車はエンジンとモータの両方を搭載した自動車であり、エンジンで走行時に発電し、その電力を使用または併用して走行する仕組みであるが、その駆動方法には3種類ある。モータ、発電機にネオジム磁石が使用されている。モータ、発電機は回転するロータとコイルからなるステータで構成され、ネオジム磁石が使われているのはロータ側である。ネオジム磁石は高速度回転に耐えられるようロータ内部に埋め込まれている。



(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ
(<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey01/index.html>)

図 4.22 ハイブリッド車の駆動構成(例)



(出典) 左: ㈱IRI コマース&テクノロジー提供ホームページ
(http://response.jp/issue/2005/1011/article75114_1.images/95922.html)
右: 堀 洋一編、「自動車用モータ技術」、2003年、日刊工業新聞社

図 4.23 ハイブリッド車用モータの構造(例)

(2) 使用済自動車の回収・リサイクルシステムの概要

自動車リサイクル法の下で運営されている使用済自動車の回収・リサイクルシステムのうち解体・分離・選別工程について記述する。

使用済自動車の解体・分離・選別を行う事業者は、解体事業者とシュレッダー事業者に二分できる。解体事業者は中古部品として販売可能な部品、金属原料として再資源化可能な部品を人手やニブラなどによって分離・選別する。部品を抜き出された自動車ガラはシュレッダー事業者に売却され、シュレッダー（機械破砕）、磁力選別などが施されて鉄スクラップが回収される。残りのいわゆるシュレッダーダストについては熱利用などが進んでいる。

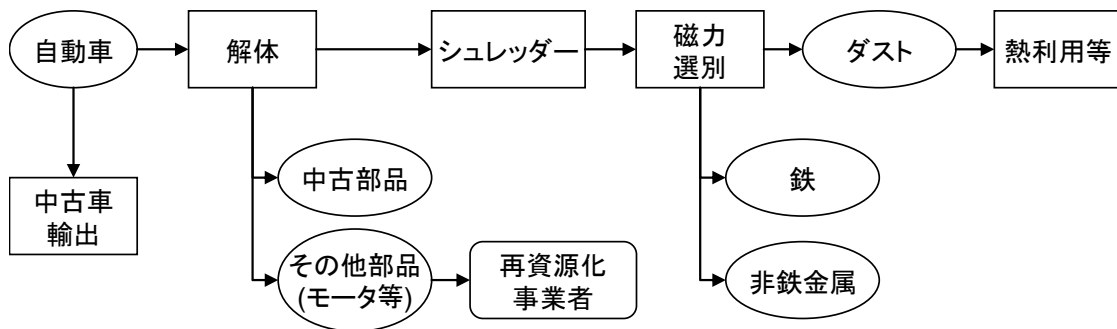


図 4.24 自動車の回収・リサイクルフロー

(3) ネオジム磁石の分離・選別の可能性と課題

① 分離・選別の可能性

モータ、発電機の解体工程での若干の作業追加によりネオジム磁石の取り出しは可能

現在、使用済自動車は解体工程において中古部品、資源として再生用の金属部品が取り外されている。この解体工程ではエンジンなどは資源として再生される金属部品として分離・選別されている。この段階でハイブリッド型自動車のモータ、発電機からネオジム磁石を取り出すことは、若干の作業を追加すれば可能である。

② 課題

a. 分離・選別

ネオジム磁石を取り出し易くするための設計

ハイブリッド型自動車のモータ、発電機に使用されているネオジム磁石はモータなどの中に組み込まれており、ネオジム磁石を取り出すことに手間を要する。ネオジム磁石の取り出しを容易とする設計が重要である。

b. 経済性

解体事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す仕組みの形成

使用済自動車の解体、部品の取り出しは解体事業者によって行われている。自動車解体事業者において、特定の部品を取り出すか否かの判断は、取り出すことによりどれだけの経済価値が生み出さ

れるかのみによって決定される。解体事業者においてネオジム磁石が取り出されるためには、取り出されたネオジム磁石が解体の手間に見合う価格で売却できる必要がある。解体事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す経済的インセンティブを包含する仕組みの形成が必要である。

なお、ハイブリッド車にはエンジン以外に駆動関連部品が多く、従来の自動車よりも解体時間を余計に要する。通常の自動車ではエンジン周りの部品を解体するのに必要な時間は1分程度であるが、ハイブリッド車では4分以上を要するという実験も行われている。

ネオジム磁石がモータに使用されているハイブリッド型自動車が大量に廃棄されるのは数年先

ハイブリッド車の先駆けであるプリウスが発売されたのは約10年前の1997年であり、その後、販売台数が増加したことを考慮すると、使用済ハイブリッド自動車が増加するのは数年先と考えられる。現在廃棄されているハイブリッド車は水害車や事故車などである。

数年後には大量にハイブリッド車が廃棄されると予想されるので、数年後を見据えた仕組みづくりが課題である。

c. 引き取りルート

回収したネオジム磁石の引き取りルートの確立

自動車解体事業者は全国に分布しており、自動車メーカーと連携はしているものの、それぞれ独立した民間企業である。解体事業者と自動車メーカーが連携し、ネオジム磁石の引き取りルートを確立することが必要である。

d. 安全確保

解体工程における消磁

ハイブリッド車1台には1キログラムから2キログラムと比較的多量のネオジム磁石使用されており、解体作業、輸送作業における安全確保が重要となる。解体工程で消磁を行うことが望ましい。

e. 不純物の混入

不純物の混入の防止

油汚れの付着、解体工程での異物の混入など、ネオジム磁石に異物が混入する可能性がある。効率的にネオジム磁石を再生するために作業上の工夫が必要となる。

4.5 MRIにおけるネオジム磁石の使用状況と解体・分離・選別の課題

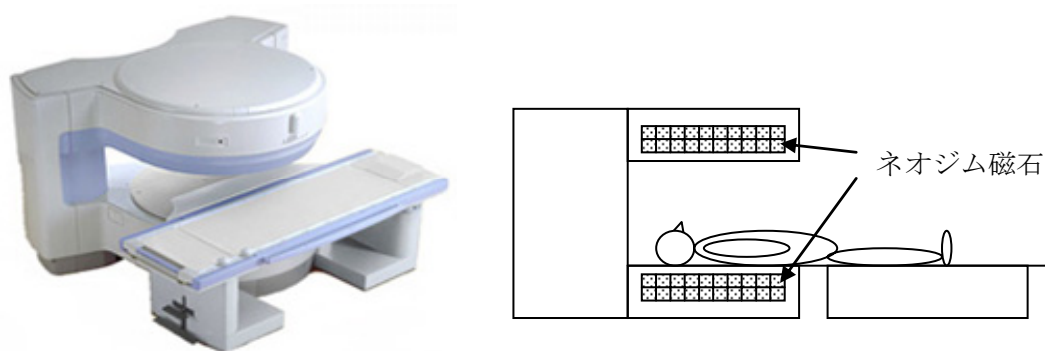
(1) MRIにおけるネオジム磁石の使用状況

MRIは強力な磁場の中で発生する人体の水素原子の核磁気共鳴信号の空間分布を用いて、人体の断層画像を得る医療用技術である。人体を収容する広い空間に強い均一磁場を供給するため、大型の磁場発生装置が必要となり、超伝導磁石またはネオジム磁石が使用されている。

従来、超伝導磁石が使用されていることが多かったが、永久磁石であるネオジム磁石を採用することによってMRIを開放型にできるということ、消費電力を大幅に下げられるということなどから、ネオジム磁石を使用したMRIが主流となってきている。

ネオジム磁石を使用したMRIでは、大量のネオジム磁石(1～3 トン/台)が使用される。このような大きさの一体型磁石を製造することは不可能なので、100mm 角程度の大きさの磁石を多数配置することによって必要な磁力を得ている。

その概観と構造は下図のとおりである。



(出典) 馬場委員提供資料

図 4.25 ネオジム磁石使用MRIの外観と構造

(2) MRIの回収・リサイクルシステムの概要

使用済MRIは現在、製造販売者に引き取られた後、解体・分離・選別事業者引き渡されて解体され、金属などが回収されている。解体の際、使用済MRIはネオジム磁石が入った上部と下部に分離されるので、若干の作業を追加することにより、ロータからネオジム磁石を取り出すことは可能である(図 4.26)。

MRIは廃棄台数こそ少ないが、一台当たりのネオジム磁石の使用量が多いので効率的にネオジム、ジスプロシウムを回収・リサイクルできる可能性が高い。

なお、一部のMRI製造者は、解体した使用済MRIのネオジム磁石が組み込まれた部分を熱処理により消磁してネオジム磁石のみを取り出し、再びMRI用磁石としてリユースすることを実験的に試みている。



(出典) 大沼委員提供資料

図 4.26 MRI解体の様子(テルム社)

(3) ネオジム磁石の分離・選別の可能性と課題

① 分離・選別の可能性

MRI解体工程での若干の作業追加によりネオジム磁石の取り出しは可能

現在、MRIは解体・分離・選別事業者において手解体されて金属資源として再資源化されているが、ネオジム磁石は分離・選別されていない。解体段階で若干の作業を追加することによって、使用済MRIからネオジム磁石を取り出すことは容易であると考えられる。

② 課題

a. 分離・選別

分離・選別のための消磁

MRIに使用されているネオジム磁石は 100mm 角と大きく、分離・選別作業の安全確保のために消磁が必須であり、現在実施されている加熱に代わる効率的な消磁技術の確立が必要である。

b. 経済性

解体・分離・選別事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す仕組みの形成

MRI一台には 1～2 トンと大量のネオジム磁石が使用されており、ネオジム磁石の回収・リサイクルの経済性は低くないと考えられるが、ネオジム磁石を取り出すためのコスト(追加工数)と取り出されたネオジム磁石の売却価格を比較するなど、経済性についての評価が必要である。その上で、解体・分離・選別事業者のネオジム磁石の分離・選別の意欲を生み出す経済的インセンティブを包含する仕

組みを形成することが必要である。

c. 引き取りルート

MRIから回収されたネオジム磁石の引き取りルートの確立

MRIは本報告書で検討した他の製品と異なり、リサイクル法などによって回収ルートが規定されているわけではなく、製造販売者が引き取り、その後、その地域の解体・分離・選別事業者によって解体、再資源化されていると考えられる。また、MRIは廃棄頻度も少ない反面、1台あたりに多くのネオジム磁石が使用されているという特徴を有する。これらの特徴に配慮した引き取りルートの形成が必要である。

d. 安全確保

ネオジム磁石の解体・分離・選別作業における安全の確保

MRIに使用されているネオジム磁石は100mm角と大きく、極めて強い磁力を有数するので、解体、ネオジム磁石の取り出し、搬送の際には、安全の確保のため事前に消磁が必要である。現在の外部からの加熱に代わる効率的な消磁技術の確立が必要である。

e. 不純物の混入

付着物の混入の防止

ネオジム磁石は100mm角と大きく、不純物の混入は少ないと考えられるが、付着物を確実に除去する必要がある。

4.6 使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品からのネオジム磁石の回収見込み量

使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに整備されている製品の 2015 年の回収見込み量を推定し、それに含まれるネオジム磁石の重量をネオジム磁石の回収見込量と定義し試算した。

(1) ネオジム磁石の使用量

関係者へのヒアリング、文献調査などをまとめると、ネオジム磁石使用製品1台あたりのネオジム磁石使用量は表 4.3 のとおりとなる。

表 4.3 各製品におけるネオジム磁石の使用量(目安)

製 品		使 用 量	出 典
ハードディスク		10 g/台	事務局の実測(3.5 インチハードディスク)、塩ノ谷委員からのヒアリング。5グラム/個×2個/台
家電製品	エアコン	100 ～250 g/台	大沼委員からのヒアリング
	洗濯機	100 ～200 g/台	大沼委員からのヒアリング
ハイブリッド型自動車 (駆動用モータおよび発電機)		1 ～2kg/台	神鋼リサーチ(株):希少性資源の3Rシステム化に資する技術動向調査報告書、平成18年3月、平成17年度経済産業省委託調査
携帯・PHS		1～2 g/台	堀田委員からのヒアリング
MRI		1.5 t/台	馬場委員からのヒアリング

(2) 回収見込み量の試算の前提条件

前提条件などを表 4.4 に示す。以下、前提条件に関する補足事項を記述する。

① ハードディスク

パソコンは後述の携帯電話・PHSと同様に退蔵されやすい製品であるが、パソコン3Rセンターが発表している2007年度のパソコン回収台数が今後ともこのまま推移すると仮定して回収量を見積もった。なお、今後、退蔵品が排出され回収量が仮に10倍となった場合の推定値も参考として掲載した。

② 家電製品

家電製品は新製品の発表による製品の陳腐化、老朽化などによって、長く見て10年程度で買い替えされる。そこで、仮に2015年の10年前、すなわち2005年前後の製品供給量が10年後にすべて廃棄されると仮定して推計を行った。

③ ハイブリッド型自動車

自動車も家電製品と同様に、平均使用年数による推定が可能な製品である。仮にハイブリッド車の平均使用年数を15年ととらえ、2000年に国内供給されたハイブリッド型自動車が、2015年に廃棄されるとした。また、ハイブリッド型自動車は現在普及途上の製品なので、2015年以降に廃棄台数は急増すると考えられるので、ハイブリッド型自動車については2020年の廃棄台数も合わせて算出した。なお、2000年の5年後、2005年のハイブリッド車の国内供給量は2000年の5倍である。ただし、ここ

で考慮しているのは、ハイブリッド車に使用されているネオジム磁石の中でも比較的回収しやすいと考えられるモータ、発電機に使用されている磁石のみである。

④ 携帯電話・PHS

パソコンと同様に退蔵されやすい製品であり、パソコンと同様に考えた。現在モバイル・リサイクル・ネットワークによって回収されている携帯電話などの台数は年間約 640 万台であり、加入件数からみて低い数値であるが、これがそのまま推移するとひとまず仮定して携帯電話などの回収量を見積もった。なお、今後、回収量増加対策が功を奏し、回収量が仮に 10 倍となった場合も措置し参考として掲載した。

⑤ MRI

「精密小型モータ市場実態調査」(2008 年、富士経済)によるとMRIの普及台数は約 5,800 台であり、そのうちネオジム磁石を使用しているものは約 1,800 台であるという。MRIの平均使用年数を 10～15 年と設定して、毎年 120～180 台が廃棄されると推定した。

表 4.4 ネオジム磁石回収見込み量の試算の前提条件¹⁰と試算結果

製 品	2015 年の 回収台数 (推定)	ネオジム磁石の 使用量	回収された使用 済製品中のネ オジム磁石量	想定した 平均 使用年数	2015 年に廃棄されるとした 製品の製造年と出典	
ハードディスク	50 万台	10 g/台	5 トン	—	2007 年度におけるパソコン 3R センターによって回収されたパソコンは約 50 万台。この回収量がこのまま続くと考えた。	
家電製品	エアコン	320 万台 ¹¹	100～250 g/台	320～800 トン	10 年程度	2004 年度(2005 年が不明なので、2004 年で援用) (社)日本冷凍空調工業会
	洗濯機	58 万台 ¹²	100～200 g/台	60～120 トン	10 年程度	2005 年 (社)日本電機工業会
ハイブリッド車 (駆動用モータ および発電機)	5 万台 (ただし、 2020 年 には 20 万台)	1～2 kg/台	50 トン (ただし、2020 年 には 200 トン)	15 年程度	2000 年 (財)日本自動車研究所	
携帯電話・PHS	640 万台	1～2 g/台	6～12 トン	—	現在のモバイル・リサイクル・ネットワークによる回収台数は年間約 640 万台。この回収量がこのまま続くと考えた。	
MRI	120～ 180 台	1.5 t/台	180～270 トン	10～15 年 程度	精密小型モータ市場実態調査 2008(富士経済)によると現在の国内設置台数は 5800 台で、そのうち 1800 台がネオジム磁石を利用したMRIであるという。	

¹⁰ 家電製品の冷蔵庫のコンプレッサにもネオジム磁石が使用されたものがあるが、その生産量は不詳でありここでは考慮しなかった。

¹¹ 2004 年度に出荷されたエアコンは 700 万台であり、そのうちの約 45%、320 万台にネオジム磁石が使用されている(日本冷凍空調工業会調べ)。

¹² 2005 年に出荷された洗濯機は 462 万台であり、そのうちの約 13%、58 万台にネオジム磁石が使用されている(日本機械工業会調べ)。

(3) ネオジム磁石回収見込み量の試算結果

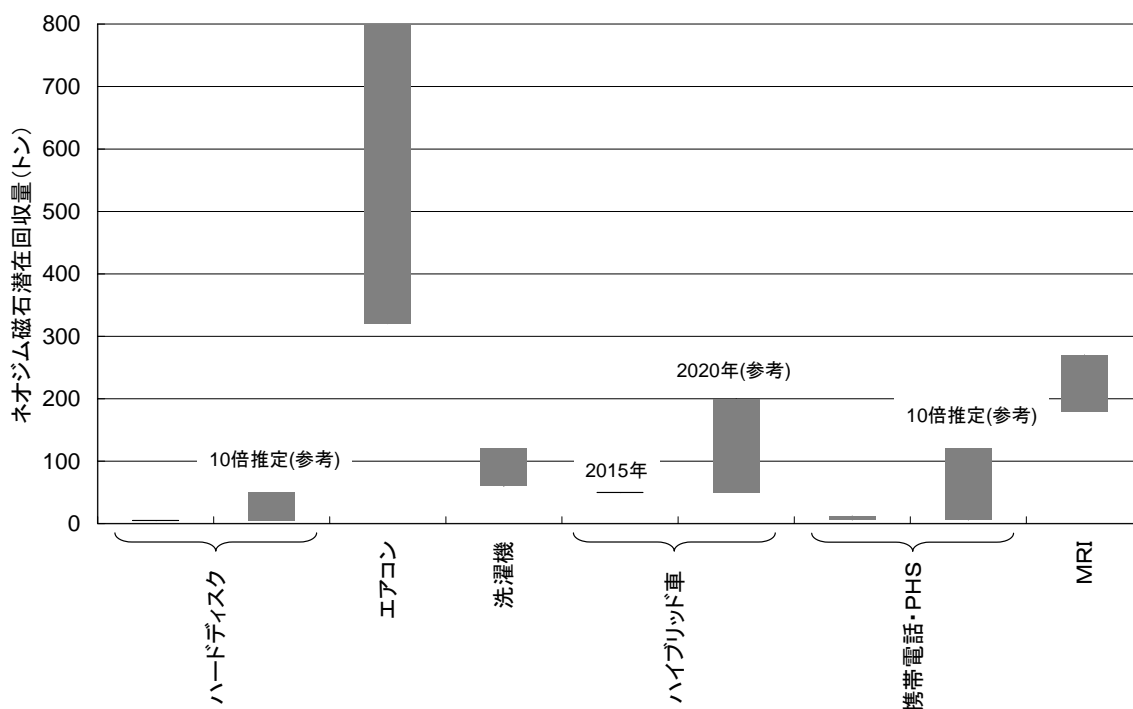
回収見込み量の試算結果を図 4.27 に示した。ハードディスク、携帯電話・PHSからのネオジム磁石の回収量可能量はいずれも少ない。これは、出荷量などに比較して回収量の少ないことが一要因となっているので、仮に 10 倍回収された過程した場合の回収量も試算し掲載した。

回収見込み量の多い製品は、エアコン、洗濯機などの家電製品、MRIである。特にエアコンは、近年、高い省エネ性能が求められてネオジム磁石を使用したエアコンが普及していること、また一台あたりの使用量も比較的多いことなどから有力なネオジム、ジスプロシウム供給資源と考えられる。

なお、ハイブリッド型自動車は、2015 年の回収量は低いが 2020 年には増加している。ハイブリッド型自動車は現在急速に普及している段階であり、将来的にはさらに回収量が増加すると推察される。

合計するとおよそ千トン程度のネオジム磁石の回収が、すでに使用済製品の回収・リサイクルシステムが整備されている製品から期待できる。

なお、独立行政法人物質・材料研究機構・原田幸明氏の研究成果によれば、世界における希土類の年間消費量が約 12 万トンであるのに対して、わが国には「都市鉱山」としてすでに 30 万トンの希土類がストックされているという。



(注1) ハイブリッド型自動車は 2020 年以降さらにネオジム磁石の排出量は急増すると考えられる。

(注2) 数値はおおよその値なのでオーダーだけを参照されたい。

図 4.27 2015 年における使用済製品からのネオジム磁石の回収見込み量の試算結果

4.7 回収システムが整備されていないその他の製品におけるネオジム磁石の使用状況、解体・分離・選別の課題

強力な磁力を持つネオジム磁石の特性により、リサイクル法や自主的な取り組みによって製品固有の使用済製品の回収・リサイクルシステムがすでに存在している製品以外にも、ネオジム磁石は使用されている。産業用モータや風力発電用の発電機、光ディスク装置、音響製品、その他民生用小型電子・電気製品などである。これらのうち、産業用製品は廃棄後、専門の解体・分離・選別事業者に取り取られ、家電製品などと同様に金属類は回収されるもののネオジム磁石は回収されていないと考えられる。また、民生用小型電子・電気製品は、市町村の粗大ごみ破碎処理施設で破碎され、鉄くずとして再生されているが、ネオジム磁石は回収されない。

これらの製品に関しては、使用済製品の回収・システムが存在しないものはまずそれを整備しなければならない。次に、すでに使用済製品の回収・リサイクルシステムが整備されている製品と同様に、ネオジム磁石を取り出すためのインセンティブを包含する仕組みの整備が必要となる。

なお、小型電子・電子機器については、すでに国によってレアメタルのリサイクルを目的とした回収・リサイクルシステムの整備の議論、回収モデル実験などが開始されている。

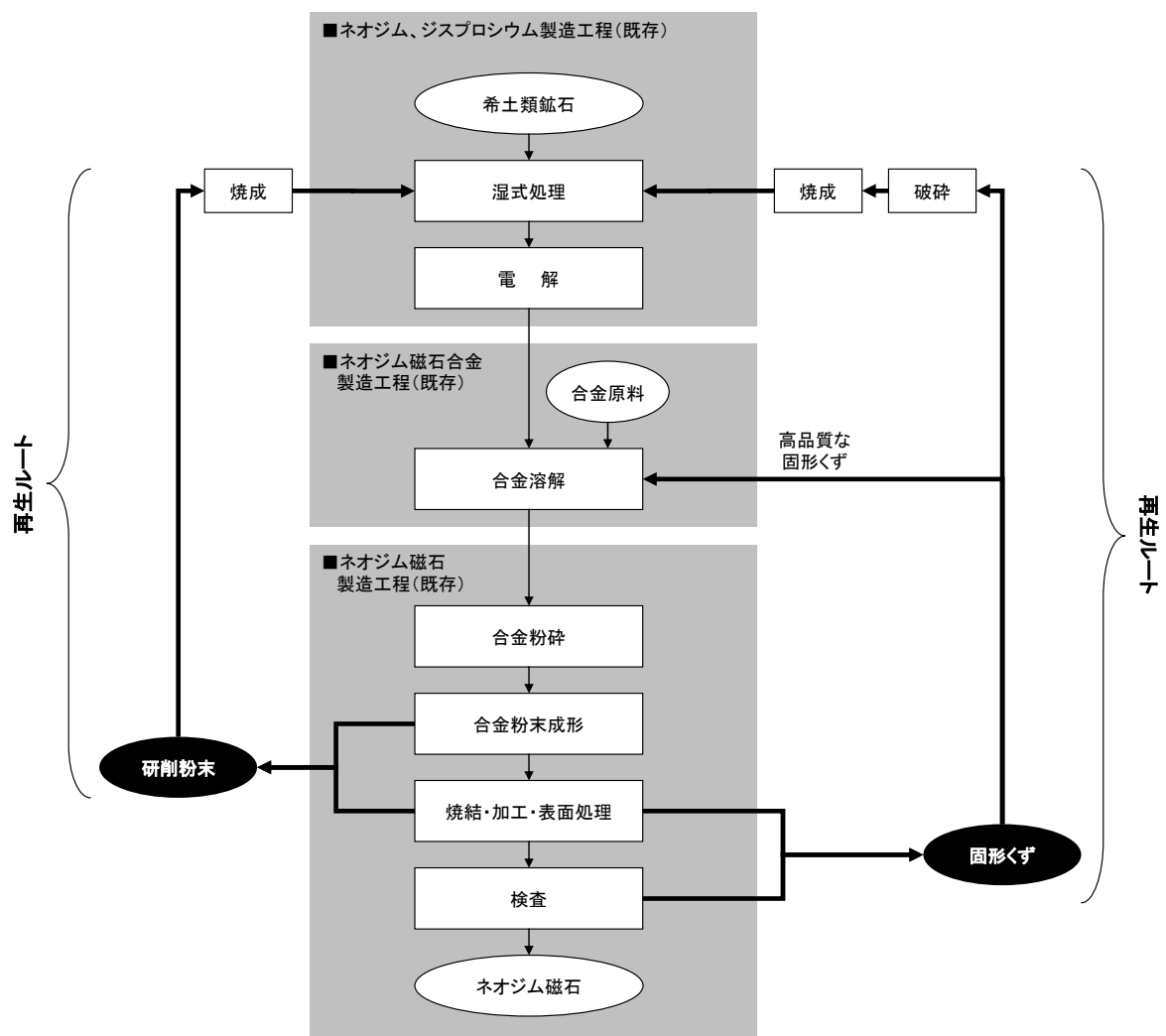
第5章 ネオジム磁石の再生プロセスの現状、課題

現在、ネオジム磁石のリサイクルは、磁石製造工程から発生す工程くずが対象となっている。ここではまずその再生プロセスについて説明し、それを基にして使用済製品から分離・選別されたネオジム磁石の再生の課題についてまとめる。

5.1 再生プロセス

(1) 工程くずの再生プロセス

磁石製造工程では、注文に応じて磁石の成形を行うときに生じる①研削粉末(投入原材料の約 20～30%)および不良品などの②固形くず(投入原材料の約 5%)が発生する。①研削粉末は焼成後、ネオジム、ジスプロシウム製造工程に投入される。一方、固形くずのうち高品質なものはネオジム磁石合金溶解工程に投入されるが、多くは破碎、焼成後に研削粉末と同様にネオジム、ジスプロシウム製造工程に投入される(図 5.1)。



(出典) 馬場委員、長谷川委員提供資料をベースに作成した。

図 5.1 磁石製造工程で発生した工程くずの再生フロー

① ネオジム、ジスプロシウム製造工程の概要

ネオジム磁石の研削粉末や多くの固形くずは、焼成後に希土類鉱石のネオジム、ジスプロシウム製造工程に投入され再生される。ネオジム、ジスプロシウム製造工程は①酸溶解工程、②精製工程、③電解工程からなる(図 5.2)。

①酸溶解工程は焼成されたネオジム磁石研削粉末、固形くず(ネオジム、ジスプロシウム酸化物)を酸で溶解する工程である。②精製工程はネオジム、ジスプロシウムなどを含む酸溶液からネオジム、ジスプロシウム酸化物を溶媒抽出し、その後さらに焼成して、高純度のネオジム、ジスプロシウム酸化物を得るための工程である。③電解工程はネオジム、ジスプロシウム酸化物を還元して、ネオジム、ジスプロシウム金属を取り出す工程である。

国内で回収されたネオジム磁石の研削粉末や固形くずは、主に現在中国に輸出され再生されている(一社は国内で実施¹³)。その理由は日本と中国の中国コスト差である。①酸溶解工程、②精製工程からは酸化鉄、水酸化鉄、ホウ素などが排出され、その処理コストがわが国の価格競争力を下げている一因といわれている。③電解工程も主に中国で行われている。

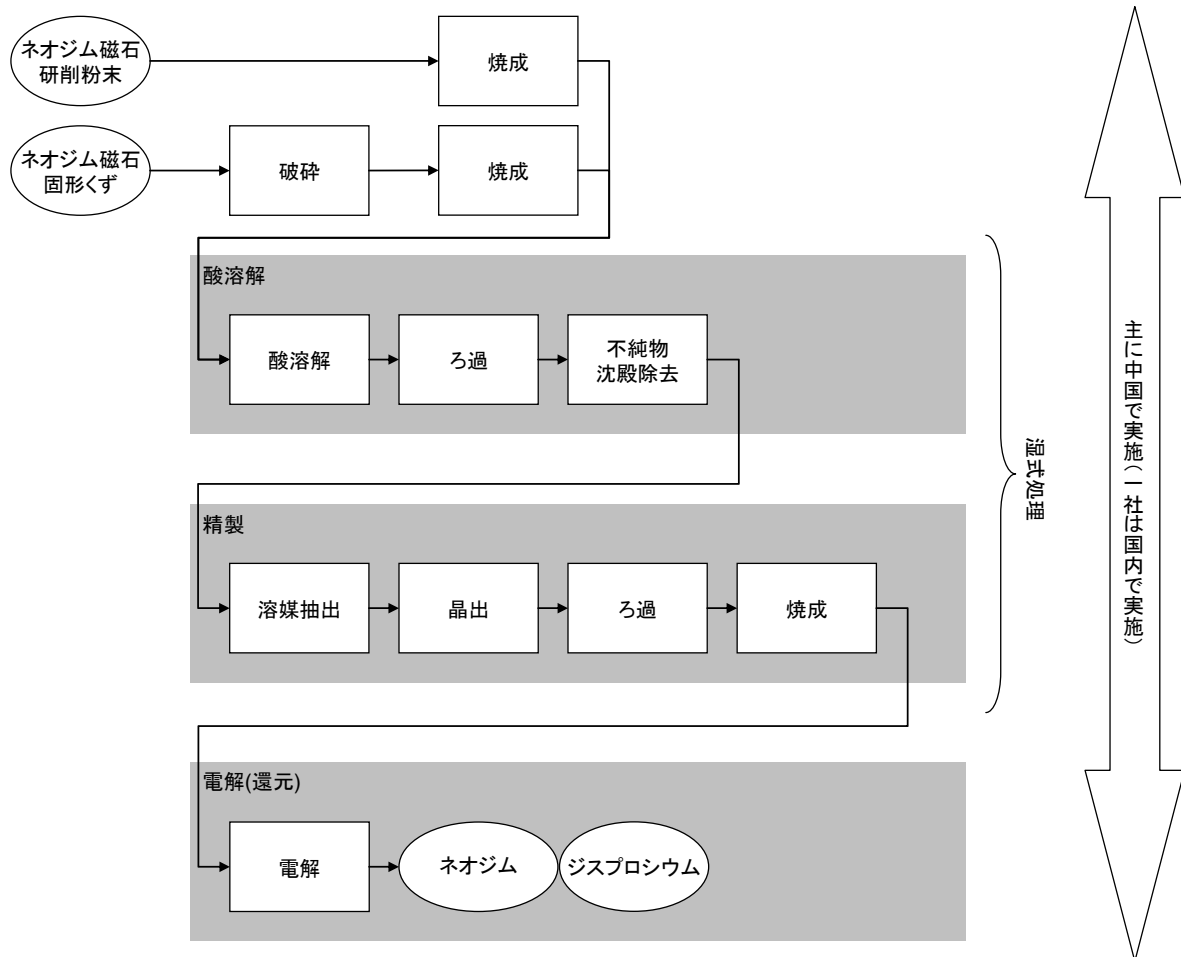


図 5.2 ネオジム磁石研削粉末、固形くずの再生フロー

¹³ この一社は、国内で再生して欲しいという顧客ニーズに対応し、また将来のビジネス展開の可能性を考慮して、国内で再生しているが、経済的な課題は抱えているとのこと。

② 固形くずの再生プロセス

固形くずのうち品質の良いものは、合金製造工程における合金熔融工程に戻すことが可能であり、わが国においても一部実施されている。それ以外のものは、中国に輸出され、破砕された後、研削粉末と同様に焼成されてから湿式処理に戻され再生される(研削粉末と同様に一社は国内で実施)。

5.2 使用済製品から取り出したネオジム磁石の再生の可能性と課題

(1) 可能性

① 使用済製品から分離・選別したネオジム磁石の再生に関する技術的可能性

ネオジム磁石製造の際に発生する工程くずのネオジム、ジスプロシウムへの再生は、その多くは現在、中国で実施されているものの、一社は国内で実施している。この一社以外にも、現在休止中であるが、希土類鉱石からネオジム、ジスプロシウムを再生できる施設が日本国内に複数存在している。

また、ネオジム磁石合金メーカーの専門家の多くは、この技術を使用済製品から分離・選別したネオジム磁石に適用することが可能であると考えている。使用済製品から分離・選別されたネオジム磁石の多くは、湿式処理工程に投入される。湿式処理工程では前処理として焼成を行い、ネオジム、ジスプロシウムを酸化させ優先的に酸溶解させるので、ネオジム磁石表面に施されているニッケルめっきやネオジム磁石に少量含まれている Al、Cu、Co、C、O などは許容されると考えられている。

② 使用済製品から分離・選別したネオジム磁石の価格

調査の一環として 2009 年 2 月に行った関係者への取材によると、過去の価格高騰時ならば、合金溶解工程へ投入できる高品位のネオジム磁石くずは 300～400 円/kg 程度で購入可能であり、湿式処理工程に投入する品位の低いネオジム磁石くずならば 100～200 円/kg 程度で購入できるとのことである。使用済製品から分離・選別されたネオジム磁石の購入価格は、これから輸送コストや使用済製品であることによるディスカウントなどを差し引く必要があり、資源価格が下落している現在ではほとんど値が付かないと推察される。

(2) 使用済製品から分離・選別したネオジム磁石の再生の課題

経済性の課題

現在、ネオジム磁石製造の際に発生する工程くず(研削粉末、固形くず)のリサイクルは、再生コストの観点から主に中国に輸出し、そこで行われており、ネオジム磁石の再生可能施設を保有しているネオジム磁石合金製造企業のうち日本国内でリサイクルしているのは一社に過ぎない。使用済製品から分離・選別したネオジム磁石を国内で再生する回収・リサイクルシステムを日本国内に構築するためには、当面の経済性にとらわれない中長期的な観点からの回収・リサイクルシステムの仕組みづくりを進めるとともに、日本国内で再生できるコスト競争力を有する再生技術の開発が必要となる。

国内の再生施設の整備

分離・選別したネオジム磁石の回収・リサイクルを日本国内で実施し、国内資源として確保していく

ためには、日本国内にネオジム磁石の再生施設を整備していくことが必要となる。

国内のネオジム磁石合金メーカー(昭和電工(株)、信越化学工業(株)、(株)三徳など)は、ネオジム磁石の再生可能施設をすでに保有しており、現在、一社はネオジム磁石の工程くずの再生を日本国内で行っているが、他社は休止中と推察されるので、これらの施設を稼働させる方策の検討が必要である。

再生阻害要因に関する技術的検討

ネオジム磁石の再生は、希土類鉱石からネオジム、ジスプロシウムを製造するのと同じプロセスを経るので、若干の異物の混入は許容されるとネオジム磁石合金メーカーの多くの専門家は考えているが、その許容限界、課題となる物質などの特定、除去技術などは実証されていないので、技術的な検討が必要である。

安全性・作業性確保のための消磁技術の開発

再生施設における安全性・作業性の確保のために、搬入されるネオジム磁石は消磁されている必要があり、事前に使用済製品の解体・分離・選別工程において消磁が必要である。解体・分離・選別工程における効率的に消磁技術の開発が必要である。

第6章 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築に向けて

6.1 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築の必要性

ネオジム磁石は、永久磁石の中で最も強力な磁石である。この強力な磁力を活かして、自動車やエアコン、洗濯機など比較的大きな動力を必要とするモータの効率化を進めるために普及してきている。また、製品の小型化、高速化のためにも応用されており、パーソナルコンピュータのハードディスクや携帯電話のバイブレータなどに使用されている。効率化、小型化は、環境問題への関心の高まり、小型化ニーズの強まりを受けて今後更に進められると考えられ、ネオジム磁石の需要は拡大していくと考えられる。

ネオジム磁石の原料供給に目を向けると、原料をほぼ 100% 中国に依存しており、中国の資源保全政策により輸出規制が設けられているなど供給不安を抱えている資源である。現在、実施されているネオジム磁石の工程くずのリサイクルもコストが安いという理由で、主として中国に輸出されそこで行われており、再生資源を含めネオジム、ジスプロシウム供給に関してはその多くを中国に依存している。また、ネオジム、ジスプロシウムは多様な希土類を含む希土類鉱石から生産され、ネオジム、ジスプロシウムの需要に応じてこれらの生産を拡大すると他の希土類の供給過剰を招くことになるので、ネオジム、ジスプロシウムの需要量に応じた希土類鉱石から供給は困難であるとの予想もある。このように今後とも拡大するネオジム磁石の需要の一方、その原料であるネオジム、ジスプロシウムの確保に不安を抱えているという状況にあり、産業技術総合研究所・渡辺委員によると、2013 年にはネオジム、ジスプロシウムの供給が需要に追いつかなくなり、特にジスプロシウムの供給は需要の約 70% しかカバーできないと予測されている。

以上のように、ネオジム、ジスプロシウムの供給がわが国の製品・産業競争力の維持・拡大に対する律速となる可能性が高いという強い懸念がある。

現在、わが国で生産されているネオジム磁石はおよそ年間 10,000 トンであるのに対して、リサイクル法などにより回収・リサイクルされた使用済製品に含まれるネオジム磁石の数量は、供給と廃棄とのタイムラグなどにより 2015 年でその一割、およそ 1,000 トンであるが、ネオジム磁石使用製品の増加に伴い市中にストックされるネオジム磁石の増加ならびにネオジム磁石使用製品の回収・リサイクル量の増加に伴い使用済製品に含まれるネオジム磁石の量は大幅に増加していくと予想される。

使用済製品を新たなネオジム、ジスプロシウム供給源と位置づけ、ネオジム磁石の回収・リサイクルシステムを構築することによってネオジム、ジスプロシウム供給体制を補完することにより、供給規制や価格上昇へのヘッジとなり供給不安の緩和に役立つと考えられる。以上のように、

使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステムを日本国内に構築することは、ネオジム、ジスプロシウムの供給不安を緩和し、ひいてはわが国の製品・産業競争力の維持・拡大を阻害する要因の排除に寄与する。

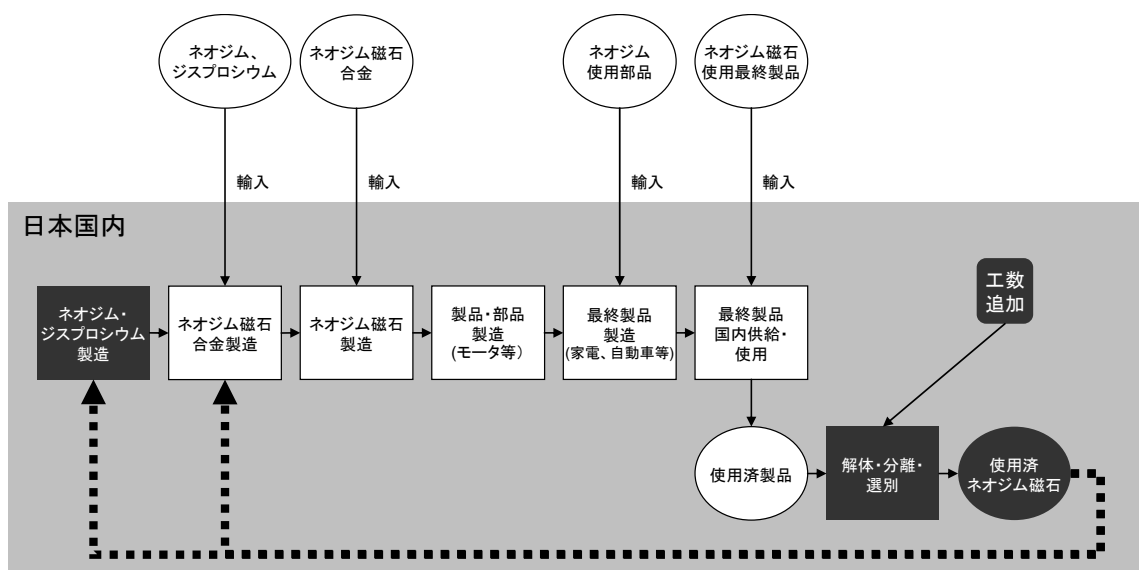
6.2 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築の可能性と課題

(1) 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルの可能性

ネオジム磁石が使用されている主な製品は、パーソナルコンピュータ用ハードディスク、エアコン、洗濯機、携帯電話、ハイブリッド型自動車、MRIなどである。ここに例示した製品は、リサイクル法または自主的な取組などによって使用済製品の回収システムがすでに整備されている。回収された使用済製品は、構造や構成材料などに応じて解体され、その後、各材料の分離・選別が行われている。パーソナルコンピュータからはハードディスクが取り出され、エアコンからはコンプレッサが取り外されているなど、ネオジム磁石が使用されている部品は現在、すでに解体工程において分離・選別されている。ネオジム磁石が使用されている部品をさらに解体して、ネオジム磁石のみを取り出すことは、これに若干の作業を追加すれば可能である。

また、ネオジム磁石製造の際に発生する工程くずのネオジム、ジスプロシウムへの再生は、その多くは中国で実施されているものの、一社は国内で実施している。この一社以外にも、現在休止中であるが、工程くずからネオジム、ジスプロシウムを再生できる施設が日本国内にすでに複数存在している。さらに、使用済製品から取り出されたネオジム磁石に関しては、多くのネオジム磁石合金メーカーの専門家は、これらの施設を使用して再生することが可能であると考えている。しかし、現在のところ中国で再生するほうがコスト的に有利なために、日本国内で再生する場合には経済性の確保が課題となる。したがって、使用済製品の解体・分離・選別事業者およびネオジム磁石の再生事業者へ経済的インセンティブを包含する社会システムの形成ならびに再生コストを下げるための技術開発が必要ではあるが、

使用済製品からネオジム磁石を取り出し、日本国内でネオジム、ジスプロシウムへ再生することは、基本的には可能であると考えられる(図 6.1)。



(注)黒い部分はネオジム磁石回収・リサイクルのための変更点を示す。

図 6.1 使用済製品から分離・選別されたネオジム磁石の回収・リサイクルシステム

(比較)

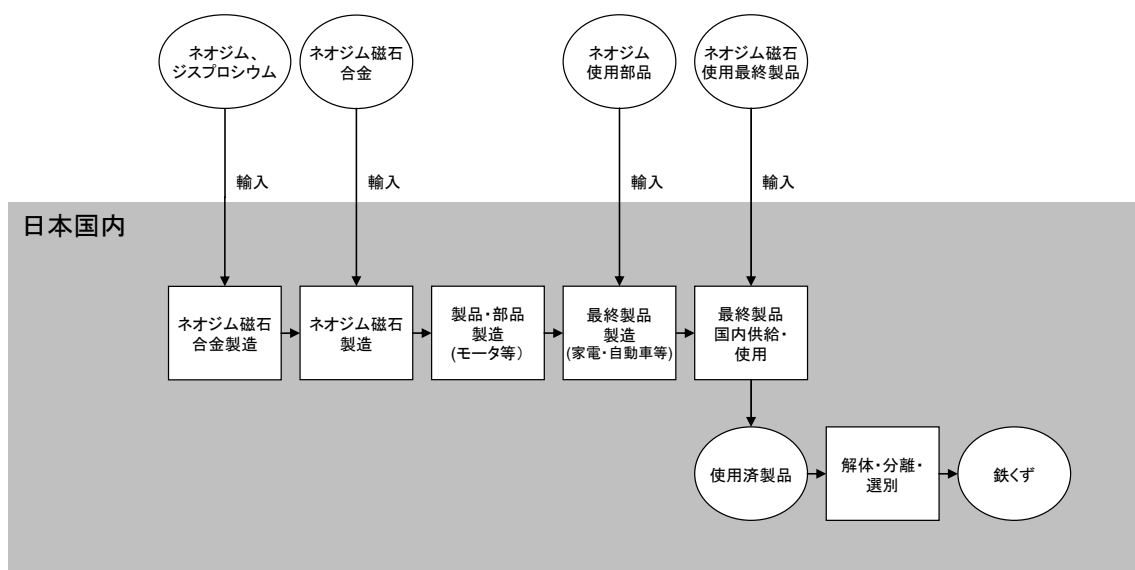


図 6.2 使用済製品中のネオジム磁石の現在の流れ

(2) 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルの課題

① 経済性の課題

現在、本調査で対象とした使用済製品の解体・分離・選別工程においては、ネオジム磁石を含む部品レベルまで解体・分離・選別されている。しかし、ネオジム磁石は取り出されていない。仮にネオジム磁石を取り出しても、回収ルートが存在しておらず、売却できないからである。すなわち、現段階では、使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルは経済的に成立していない。

ネオジム磁石を含む部品からネオジム磁石を取り出すためには作業を追加する必要があり、その分の追加費用が発生する。この追加費用と取り出したネオジム磁石の売却単価の見合いで、ネオジム磁石を取り出すか否かの判断が決まるが、現在のネオジム、ジスプロシウムの価格では、取り出したネオジム磁石の売却予想価格は低く、追加費用を上回る価格で売却することは難しいと考えられている。したがって、使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステムを構築するためには、当面の経済性にとらわれない資源戦略としての対応が必要である。ネオジム、ジスプロシウムは鉄や銅などのベースメタルと比較すると使用量は極めて少ないものの、それらを欠くとネオジム磁石を使用した競争力のある製品(例:ハイブリッド型自動車)が製造できないという特質を持っており、この点を考慮した資源戦略としての対応が必要となる。

② 解体・分離・選別工程の課題

a. 取り出し方法の検討、整理

ネオジム磁石は多様な製品に使用されている。解体・分離・選別工程でネオジム磁石を取り出す際、

その取り出し方法、追加工数は製品によって大きく異なる。例えば、ハードディスクのように比較的簡単にネオジム磁石を取り出すことができてもハードディスク一台当たりのネオジム磁石の量が少ないもの、エアコンや自動車などネオジム磁石の使用量は比較的多いもののモータの中にネオジム磁石が組み込まれているものなどその形態はさまざまである。使用済製品からネオジム磁石を効率的に取り出す方法を製品ごとに検討・整理する必要がある。

b. 効率的な消磁技術の開発

解体・分離・選別工程で重要となるのは効率的な消磁技術である。エアコンや自動車のようにモータ内部にネオジム磁石が組み込まれている場合、消磁を行わない限りネオジム磁石を取り出すことは困難である。また、MRIでは磁石のサイズが大きいため、作業者の安全の確保のために消磁が必須であり、その他の製品においても取り出し作業の安全確保のためには消磁が必要と考えられている。また、回収したネオジム磁石の搬送や再生段階における安全確保のためにも消磁は必要である。

しかし、現在採用されている消磁方法はネオジム磁石が組み込まれている部品（モータなど）を外から加熱して磁石をキュリー温度以上とするものであり、エネルギー的にみて非効率である。より効率的な消磁方法の開発が必要である。

③ 再生工程の課題

a. 再生コストの低減

現在のネオジム磁石の再生プロセスでは、多量の廃酸、酸化鉄、水酸化鉄、ホウ素など廃棄物が発生する。これら廃棄物の処理費など環境コストが日本国内で再生を行う場合の処理コストを上昇させている。多量の廃棄物を発生させない再生技術などの技術開発が必要である。

b. 使用済製品から回収したネオジム磁石の再生の実証

すでに述べたとおり、ネオジム磁石製造で発生する工程くずを対象とした再生プロセスを活用して使用済製品から分離・選別したネオジム磁石を再生することは基本的には可能である。

しかし、現在、使用済製品からのネオジム磁石を再生している実績がないので、実績を重ね、知見・ノウハウを蓄積していく必要がある。例えば、ネオジム磁石によってはニッケルめっきやアルミめっきが施されていたり、若干の残さが付着していたりするケースも想定される。また、ネオジム磁石の用途によってはアルミなどの添加剤が使用されている。これらの再生工程での管理、除去技術などについて検討が必要と考えられる。

c. 国内の再生施設の整備

現在、ネオジム磁石の工程くずの再生はコストの観点から主に中国で行われおり、国内でリサイクルしているのは一社に過ぎない。現在休止中の国内のネオジム磁石の再生可能施設を稼働させ、使用済製品から回収したネオジム磁石の再生できるよう整備することが必要である。

④ 環境配慮設計

エアコン、洗濯機などについては現在ネオジム磁石を使用しているものと使用していないものが混在しており、外観からはネオジム磁石を使用しているかどうか判別できない。識別マークなどが必要となる。また、ネオジム磁石の取り出しを容易とするような環境配慮設計も重要である。

⑤ 現在、回収・リサイクルシステムが整備されていない製品または回収が進んでいない製品からの
ネオジム磁石の回収の課題

産業用モータや風力発電用発電機など産業用機器ならびにDVDレコーダ民生用の小型電子・電気製品など、現在、回収・リサイクルシステムが整備されていない製品の回収・リサイクルシステムを整備し、ネオジム磁石を分離・選別することも重要である。また、携帯電話など家庭内に退蔵されているなどの理由により使用済製品の回収量が少ない製品の回収の促進も重要である。

なお、民生用の小型電子・電気機器については国により回収・リサイクルの検討、回収実験が進められているが、産業用機器については未着手であり、今後、検討が必要と考えられる。

6.3 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築に向けて

(1) 資源戦略としての使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルの推進

ネオジム磁石はわが国の製品・産業競争力を支えるハイテク製品、省エネ製品に欠くことのできない重要な部品である。しかし、その原料であるネオジム、ジスプロシウムは、これらを含む希土類鉱石の産出ならびに生産が中国に偏在し、中国の資源保全政策により輸出規制が設けられているなど供給不安を抱えている資源である。また、独立行政法人産業技術総合研究所・渡辺委員によれば、2013年にもネオジム、ジスプロシウム供給が需要に追いつかない事態が発生するという試算も行われている。

使用済製品からネオジム磁石を分離・選別し、それを日本国内で再生してネオジム、ジスプロシウムを調達することは供給リスクを緩和することとなりわが国の資源戦略として重要なので、当面の経済性にとらわれない中長期的な観点からの推進が必要である。

(2) 関係者による使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルシステム構築の推進

本調査研究で対象とした製品は、使用済みとなった後、各リサイクル法の下で整備されたシステムまたは自主的な仕組みにより回収・リサイクルされている。

使用済製品の回収・リサイクル関係者に加え、ネオジム、ジスプロシウム再生技術・施設を保有する合金製造事業者、磁石製造事業者が参加し具体的なシステムづくりを進める必要がある。

また、現在、リサイクル法による回収・リサイクルシステムが存在していない製品についてもネオジム磁石の回収・リサイクルについて検討する必要がある。特に、行政による検討が着手されていない産業用の各種モータなどについては実態調査を行う必要があると考えられる。

(3) 使用済製品からのネオジム磁石の回収・リサイクルに関する技術開発

使用済製品の解体・分離・選別工程におけるネオジム磁石の消磁は、作業安全の確保、作業効率の向上の観点から必要であるが、現在のところ効率的な消磁技術がないので技術開発が必要である。また、日本国内におけるネオジム磁石再生のコスト低減のために、多量の廃酸、酸化鉄、水酸化鉄などを発生させない再生技術などの技術開発が必要である。

(4) 国の関与

使用済製品からネオジム磁石を分離選別し、ネオジム磁石からネオジム、ジスプロシウムを再生することは、現時点では経済性の課題を抱えているので、その実現に向け、国は回収・リサイクルシステムの構築ならびに技術開発に関して積極的に関与していく必要がある。

資料編

第7章 ネオジム磁石についての基礎情報

7.1 ネオジム磁石とは¹⁴

(1) ネオジムの基礎データ

ネオジム Neodymium は原子番号 60 の元素であり、元素記号は Nd、原子量は 144 である。希土類元素(レアアース:RE)の一つであり、軽希土類、重希土類、その他に 3 分類されるレアアースのうち、軽希土類元素に分類される。

(2) 永久磁石の種類とネオジム磁石

永久磁石には製造方法によってボンド磁石、焼結磁石、鋳造磁石に分類され、さらに使用材料によってフェライト磁石、希土類磁石、アルニコ磁石に区分される。

希土類磁石には SmCo、NdFeB、SmFeN などがあるが、現在ではネオジム磁石 NdFeB が 95% 以上を占めている。ネオジム磁石は希土類磁石の中でもっとも強力であり、物理的にも破壊に対して強い、Sm や Co に比べてネオジムが安いなどの理由から主流となった。

なお、ジスプロシウムが添加されていないネオジム磁石の磁力を消失するキュリー温度は約 310°C であり、温度上昇による減磁を解消することが開発課題となっている。この点は SmCo 磁石の特性が優れているが、先の理由によりネオジム磁石が主流となっている。

表 7.1 永久磁石の種類

大分類	中分類	細分類
ボンド磁石	フェライトボンド磁石	■ リジッドフェライト ■ フレキシブルフェライト
	希土類ボンド磁石	■ SmCo ボンド磁石 ■ NdFeB ボンド磁石 ■ SmFeN ボンド磁石
	アルニコボンド磁石	
焼結磁石	フェライト焼結磁石	
	希土類焼結磁石	■ SmCo 焼結磁石 ■ NdFeB 焼結磁石
	アルニコ焼結磁石	
鋳造磁石	アルニコ鋳造磁石	
	FeCrCo 鋳造磁石	

¹⁴ 参考文献:佐川真人ら編:永久磁石、アグネ技術センター、2007

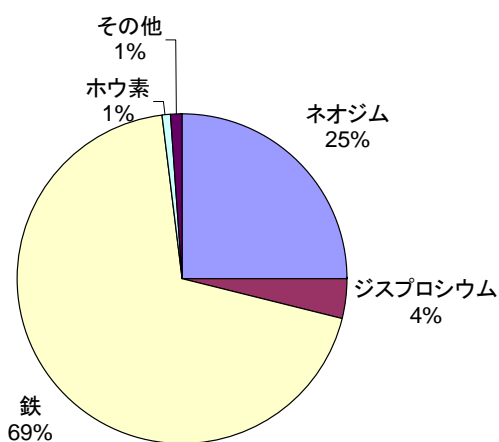
(3) ネオジム磁石の組成

ネオジム磁石の発明者はネオジム、鉄、ボロンの比率が $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ においてもっとも磁石特性が高いことを見出した。さらにネオジムの一部をジスプロシウムで置換することによって、温度変化の影響が少なくなり、磁力が維持されることが分かっている。すなわちネオジム磁石の化学式は



と表すことができる。なお、アルミニウム、コバルトなどを少量添加するものもある。

ネオジム磁石の組成例を図 7.1 に示した。鉄の比率が最も高いが、ネオジムも 25% 含有されている。ジスプロシウムの含有率は磁石によって異なるが、図 7.1 の例では 4% である。なお、各製品向けのネオジム磁石におけるジスプロシウムの含有率については表 7.3 を参照のこと。



(出典) 美濃輪武久「希土類磁石とその資源問題」、
金属 Vol.77 (2007) No.6, アグネ技術センター

図 7.1 ネオジム磁石の組成例

(4) ネオジム磁石の開発

ネオジム焼結磁石は 1983 年に当時の住友特殊金属に所属していた佐川真人によって発明された。

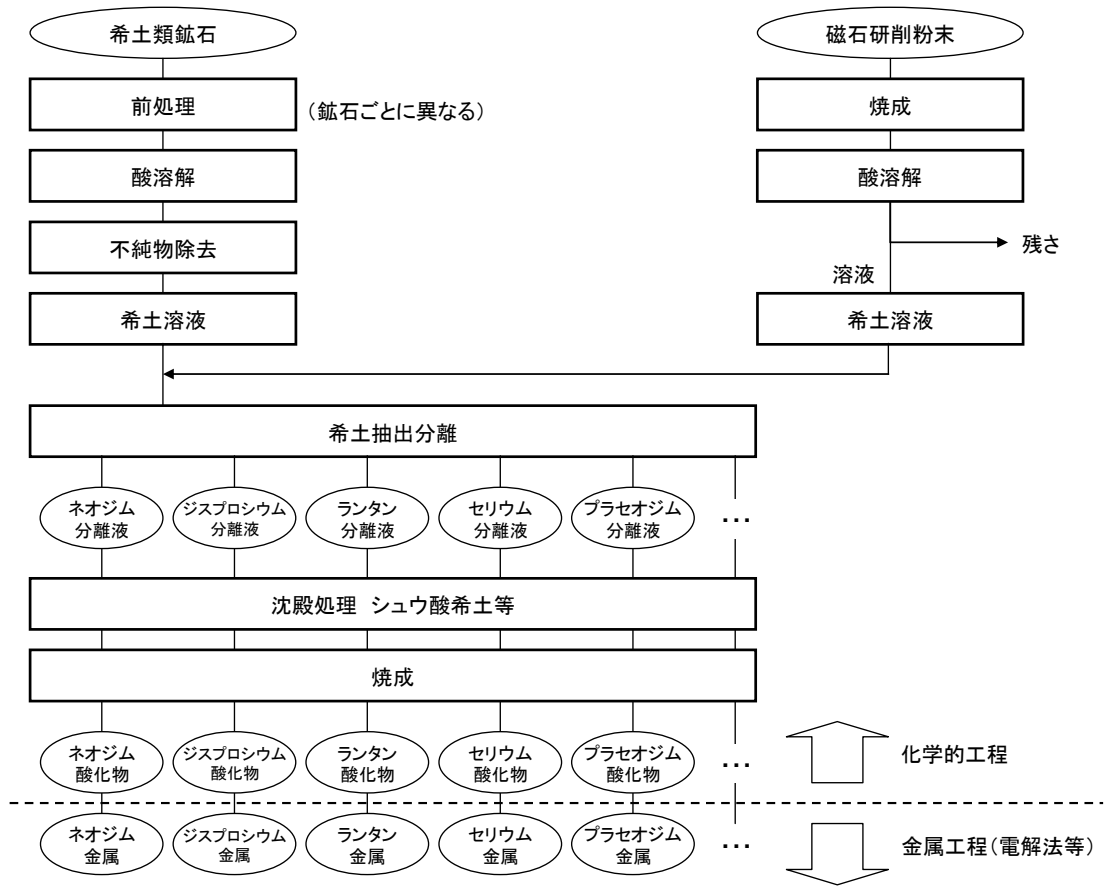
7.2 ネオジム磁石の製造方法

(1) 希土類鉱石の精製方法

希土類鉱石を精製してネオジム、ジスプロシウムを製造するプロセスを図 7.2 に示した。図 5.2 に示したネオジム磁石研削粉末の再生フローとほぼ同様である。なお、永久磁石に使用されるネオジム、ジスプロシウムの他に、他の希土類も得られることが分かる。

< 鉱石から希土類が得られるまでの基本フロー >

< 磁石研削粉末のフロー >



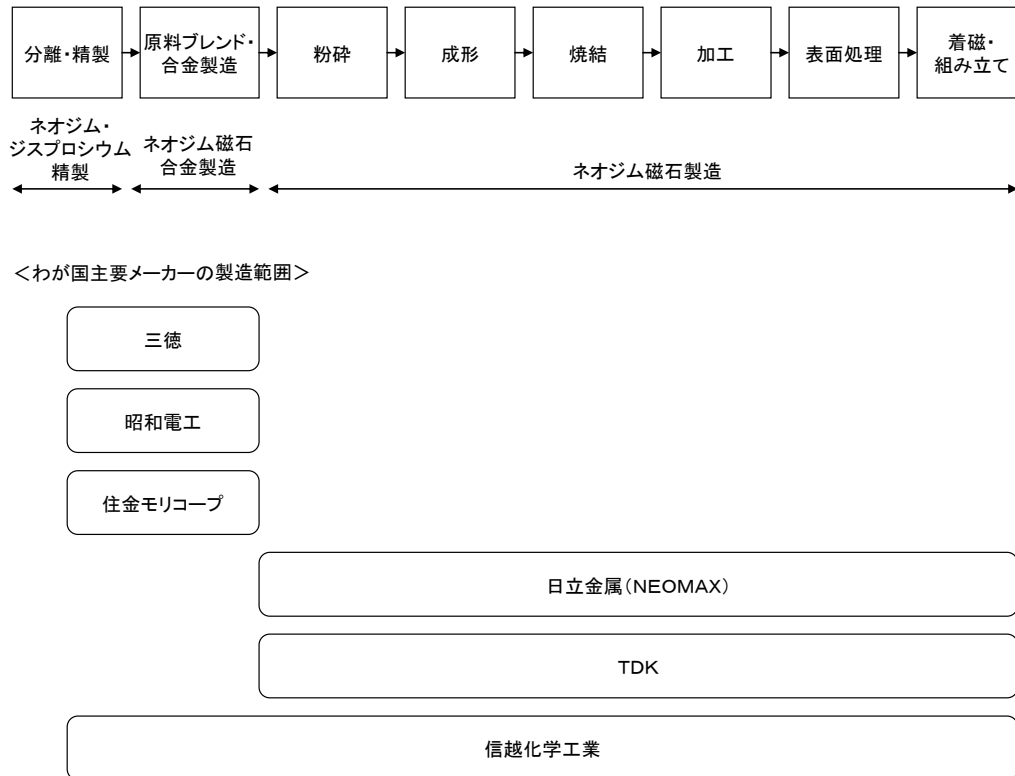
(出典) 長谷川委員提供資料による

図 7.2 希土類鉱石の分離・精製プロセス

(2) ネオジム磁石製造方法

① 製造方法の全体

精製されたネオジム、ジスプロシウムを使用して永久磁石を製造するフローを図 7.3 に示した。また、同図にはわが国の主要メーカーの製造範囲も合わせて示した。



(資料) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構:平成 17 年度「各種レアメタルに関するリスク評価及び重要元素に関する需給の現状と課題」を参考として作成した。

図 7.3 磁石製造プロセスとわが国主要メーカーの製造範囲

② 各工程の説明

a. 分離・精製

鉱石からレアアース酸化物を抽出し、電気分解などによって金属ネオジム、ジスプロシウムを得る。

b. 原料ブレンド・インゴット製造

鉄、ネオジム、ジスプロシウム、フェロボロンなどをブレンドして成分調整した後、真空溶解炉などで溶解し、求める成分を持ったインゴットを製造する。なお、溶解したものを固める際にストリップキャストイングという急速冷却法を採用して結晶構造を調整することが必要不可欠なプロセスとなっている。

c. 粉砕

インゴットを特殊な方法で粉砕し、微粉状態とする。

d. 成形

金型に入れて成形するが、その際磁場中成形という特殊な方法で成形を行うことにより、高性能な

磁石ができる。

e. 焼結

成形された圧粉体を焼き固める。温度は 1100℃程度でアルゴンガス中、または真空中で行われる。

f. 加工

注文に応じた形状に加工する。

g. 表面処理

腐食防止のためにニッケルめっきやアルミオンプレATINGなどが行われる。

表面処理の種類は製品によって異なる(表 7.2 参照)。

表 7.2 表面処理の種類

表面処理		標準膜厚 [μm]	用途	耐食性		接着 耐久性	絶縁 性	寸法 精度	耐熱性 (≥300℃)
				耐湿 潤性	耐塩 水性				
アルミ	エコアルミコーティング	5～20	センサ、スピーカ、光ピックアップ [*] 、アクチュエータ、電装モータ (EPS, HEV, エアコンプレッサモータ他)	○	○	◎		○	○
	ピュアルミコーティング		家電用コンプレッサモータ、全閉型モータ	○		◎		○	○
ニッケルコーティング		10～20	VCM, センサ、スピーカ、ウィグラ、アンジュレータ、各種モータ	◎	○	○		(○)	○
銅コーティング		10～20	スピーカ、電装モータ、各種モータ	◎		○		(○)	○
窒化チタン (TiN) コーティング		5～7	アンジュレータ、ウィグラ	○				○	○
無機系薄膜	Vコート	<2	家電用コンプレッサモータ、2輪モータ、低腐食環境用途	(○)				◎ (薄膜)	○
	M処理	<1	家電用コンプレッサモータ、2輪モータ、低腐食環境用途	(○)				◎ (薄膜)	○
GPコート (無機複合コート)		≤10	塩害環境用途、電装モータ、風力発電機等	○	◎	○		○	○
電着塗装		10～30	電装モータ (EPS, HEV)、各種モータ	○	○	○	◎	(○)	
樹脂真空蒸着		5～15	絶縁用途、CDピックアップ	○	○		◎	○	

(Vコート：ケイ酸塩系薄膜， M処理：酸化物系表面改質処理， GPコート：高耐食性無機塗装)

(出典) 佐川真人ら編：永久磁石、アグネ技術センター、2007

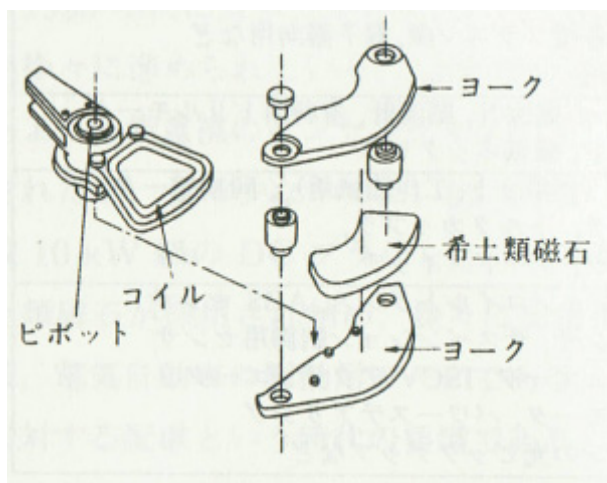
7.3 希土類磁石の主な応用¹⁵

(1) ボイスコイルモータ(VCM)

ハードディスクドライブのヘッド駆動装置をボイスコイルモータ(Voice Coil Motor)と呼ぶ。その名前の由来は当初の設計が中央に円柱状の鉄心を配置し、それを囲むコイルが前後に動く直進形のものでボイスコイルスピーカに類似していたことによる(その後、スウィングアクチュエータというヘッドが左右に振られるものになった)。

ハードディスクのアクセス時間の短縮ニーズを受けて、使用される磁石の磁束密度の向上が常に求められており、その時期最高特性の磁石が使用され、現在はネオジム磁石が主流である。

ハードディスク中にほこりがあるとヘッドクラッシュの恐れがあるため、ネオジム磁石にも厳しいクリーン度が要求される。ネオジム磁石由来のほこりは磁石製造工程において外部から付着するものと、磁石そのものから発生するものがあり、磁石そのものからの発生を抑えるためにニッケル薄層めっきのピンホールの減少に注意が払われている。



(出典) 俵好夫ら: 希土類永久磁石、森北出版、1999

図 7.4 ボイスコイルモータの部品構成

(2) MRI

MRI(Magnetic Resonance Imaging)は、均一磁場中に置かれた人体の水素原子の核磁気共鳴(NMR(Nuclear Magnetic Resonance))信号の空間分布を用いて、人体の断層画像を得る医療用技術である。

人体を収容する広い空間に強い均一磁場を形成するために大型の磁場発生装置が必要となり、超伝導磁石または永久磁石であるネオジム磁石が使用される。

永久磁石型MRIでは人体が置かれる空間の上下に大きな永久磁石が設置される。実際には10センチメートル角程度の磁石を敷き詰めて大きな永久磁石の機能を作り出す。

ネオジム磁石の使用によって、超伝導磁石よりも維持管理が容易となり、ランニングコストが安くなる、人体を囲わなくても済む構造が採用できる(患者にとって閉塞感がない)などの改善が図られた。

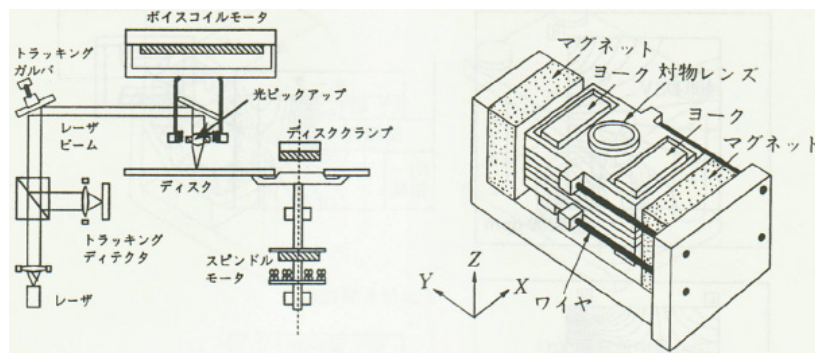
¹⁵ 出典: 俵好夫ら: 希土類永久磁石、森北出版、1999

(3) 光ピックアップ

光ピックアップは、CD、MD、DVD などの光ディスクの信号読み出しヘッドのことをいう。光ピックアップは回転するディスクの揺れに追従して、光の焦点をディスク表面に維持するものである。自ら可動するものであり、大きさは極めて小さく 1 グラム以下の磁石が使用される。磁石による磁場の中でレンズに組みつけられたコイルに電流を流し、受ける力により、レンズ位置を調整するものである。

ディスクに要求される回転数が年々上がってきており、それにしただがってレンズ焦点の追従にも高速化が要求されていることから、ネオジウム磁石が使用されるようになってきている。

なお、光ピックアップ以外にもディスクを回すスピンドルモータ(DCブラシレスモータ)に希土類磁石が使用されている。ボイスコイルモータにはフェライト磁石が使用される。



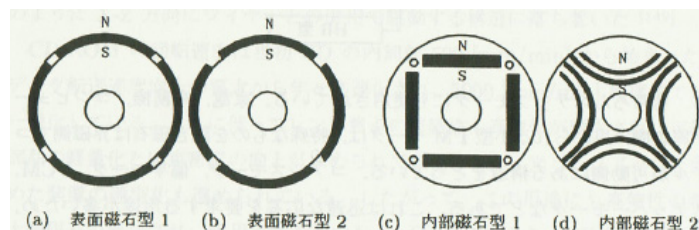
(出典) 俵好夫ら: 希土類永久磁石、森北出版、1999

図 7.5 光ピックアップの部品構成

(4) 中型・大型モータ

VCM など小型モータでは、迅速な応答を実現するために回転子の慣性を小さくすることが求められる、可動側にコイルが配置されており磁石は固定されていることが多いが、中型・大型モータに求められるのは大出力であり、磁石は回転子に配置される。

電気自動車、ハイブリッド型自動車用などに使用されるDCブラシレスモータ、工作機械などに使用されるACサーボモータなどに希土類磁石が使用されている。ロータの表面に磁石が組み込まれるものを表面磁石型モータ(SPM : Surface Permanent Magnet)と呼び、鉄ヨークの内部に磁石が埋め込まれたものを内部磁石型(IPM : Interior Permanent Magnet)と呼ぶ。SPM型は制御が容易でありACサーボモータに適しており、自動車用DCブラシレスモータには高回転時の磁石剥離の心配がないIPM型が使用される。自動車用のように大出力が必要とされ高温環境で使用されるものについては、温度上昇による減磁への対応が課題である。



(出典) 俵好夫ら: 希土類永久磁石、森北出版、1999

図 7.6 中型・大型モータの磁石配置

7.4 ネオジム磁石の用途別ジスプロシウム含有率

ネオジム磁石の熱減磁特性を改善するためにジスプロシウムが添加されることが多い。その含有量はネオジム磁石を使用される部品がさらされる高温環境によって決められる。自動車用のように高速回転し、高温になるものでは添加率は高く、MRIのように動かないものでは低い。

表 7.3 各製品に使用されるネオジム磁石のジスプロシウム含有率

製 品		ジスプロシウム含有率
自動車用	電気自動車用	7-8%
	パワーステアリング	5%
	その他	4-5%
VCM		1-1.5%
MRI		0%
FA		3-5%
音響		0%
家電製品		3%
光ピックアップ		0%

(出典) 神鋼リサーチ(株): 希少性資源の3Rシステム化に資する技術動向調査、平成 18 年 3 月、平成 17 年度経済産業省委託調査

7.5 ネオジム磁石関連の企業動向

ネオジム磁石製造の大手は日立金属 (NEOMAX)、信越化学工業、TDK である。ハイブリッド自動車の生産拡大に呼応して、ネオジム磁石供給シェアを競っている。また、この三社をはじめ表 7.4 の各社で特殊な希土類磁石の開発が進められており、それぞれの用途で採用されてきている。

表 7.4 希土類磁石関連の企業動向

企業名	特徴、生産動向など
NEOMAX (現在、日立金属)	<ul style="list-style-type: none"> ■ ネオジム磁石の特許を有し、国内ではシェア5割超であり、世界でもトップシェアである。 ■ 自動車向け製品供給を強化しており、国内自動車関連シェアの8割を占めている。 ■ 旧社名を住友特殊金属といい、2003年に日立金属と合併した。
信越化学工業	<ul style="list-style-type: none"> ■ 全種類の希土類金属を原料から磁石まで一貫生産している、世界唯一の会社である。
TDK	<ul style="list-style-type: none"> ■ 粉体制御技術を駆使して独自の磁石開発に取り組む。
NECトーキン	<ul style="list-style-type: none"> ■ 磁性材料の総合メーカーとして多様な磁石を生産している。
愛知製鋼	<ul style="list-style-type: none"> ■ 当方性ボンド磁石よりも性能の優れた異方性ボンド磁石の製造方法(d-HDDR法)を開発した。 ■ トヨタグループの素材メーカーである。
ダイドー電子	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nd-Fe-Bラジアル異方性リング磁石を開発し、量産化を進めている。
東芝マテリアル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高温対応の希土類コバルト磁石を生産している。

(出典) 「希土類磁石の市場」、「工業材料」(日刊工業新聞社)、2006年12月号
(シーエムシーリサーチ情報ファイルホームページより
<http://www.cmcre.com/jyouhoufile/kz200612.htm>)

7.6 磁石の消磁技術

(1) 消磁技術の種類

消磁(Neutralization)とは外部磁場がないとき磁束密度をゼロの状態にすることを言う。脱磁ともいう。関連語として減磁(demagnetization)があり、これは消磁の操作工程をさす。

一般に、消磁方法には直流消磁、交流減衰波消磁、キュリー温度以上での熱消磁などがある¹⁶。これらはフェライト磁石など磁力が弱い磁石では有効であるが、熱消磁を除いて、ネオジム磁石の消磁に適用する場合には大きなエネルギーを必要とし現実的ではない。ネオジム磁石を対象とした消磁方法または減磁方法としては、着磁した磁力線の方向と逆方向に「着磁」する方法、すなわち「逆着磁」という方法に可能性がある。

(2) ネオジム磁石消磁技術開発の可能性と課題

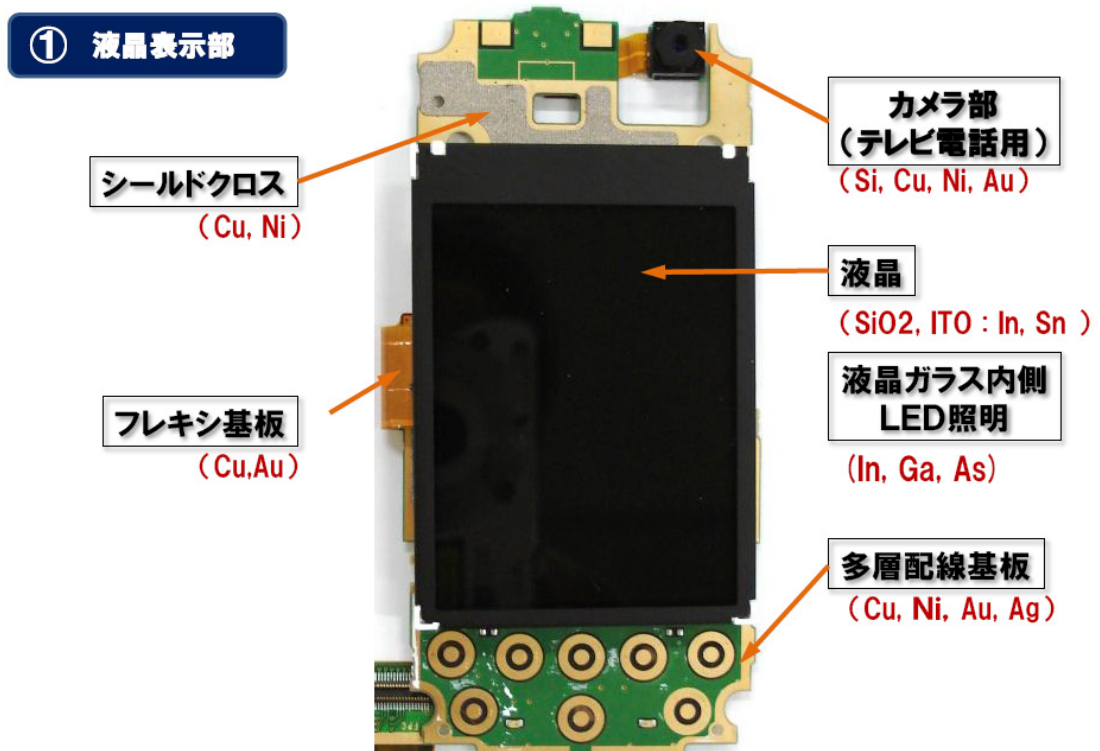
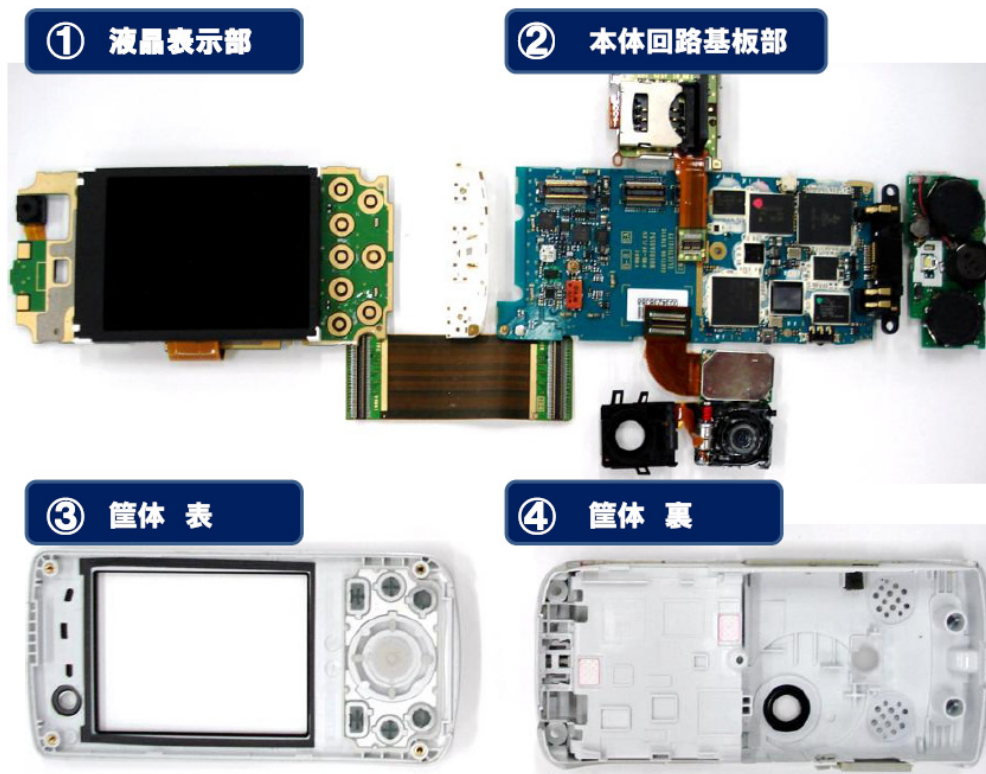
ネオジム磁石を逆着磁することによって、消磁できないまでも大幅に減磁できる可能性がある。このとき必要な機器は着磁用の機器と同じであり、電源装置と着磁ヨークから構成される。着磁ヨークとは様々な形態や配置の磁石を一度に着磁するために、磁界の方向、位置を制御する機器であり、着磁対象機器ごとに設計、製造される。ちなみに大型エアコン用の着磁機一式でおおよそ700～800万円程度である。

ただし、使用済製品に組み込まれたネオジム磁石を消磁するためには開発課題もある。廃棄される使用済製品には多種多様な製品が混在しており、使用されているネオジム磁石の配置、大きさも多様である。すでに述べたように着磁ヨークは磁界の方向、位置を制御する機器であり、着磁対象ごとに設計、製造されるものであり、基本的には多種多様な配置、大きさの磁石を対象とすることは容易ではない。また、磁石の大きさに合わせて掛ける磁力の大きさも制御する必要がある。ここに、使用済製品からのネオジム磁石の消磁技術の開発課題がある。多種多様な配置、大きさのネオジム磁石を対象としてどのような着磁ヨークとするか、どの程度の強さの磁力を掛けるかを検討する必要がある。

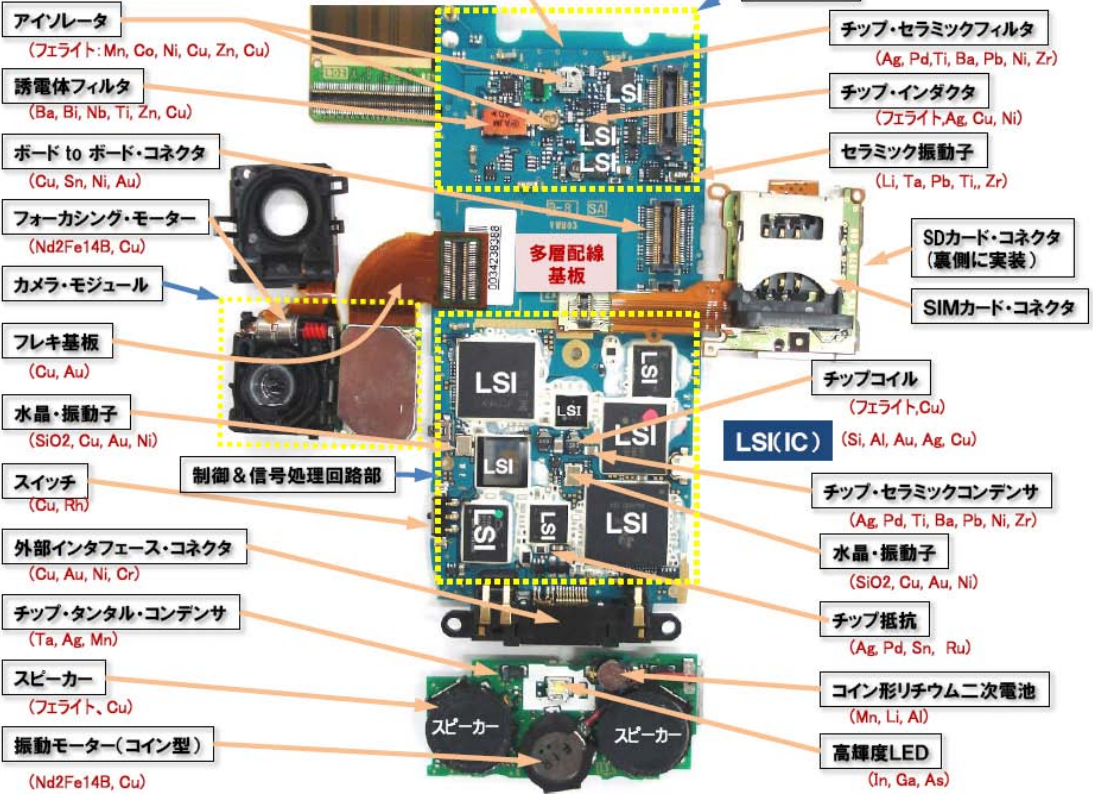
例えば、ボイスコイルモータに使用されている比較的小さなネオジム磁石用消磁器、エアコンの大きさに合わせて磁界の強さを可変とできるエアコン用消磁器、磁石の配置がモータと異なる洗濯機用消磁器など、対象製品をいくつかに分けて、それぞれに適した複数タイプの消磁器を開発することが必要となる。

¹⁶ 佐川真人ら：永久磁石、アグネ技術センター、2007

7.7 携帯電話分解写真(第3世代携帯)

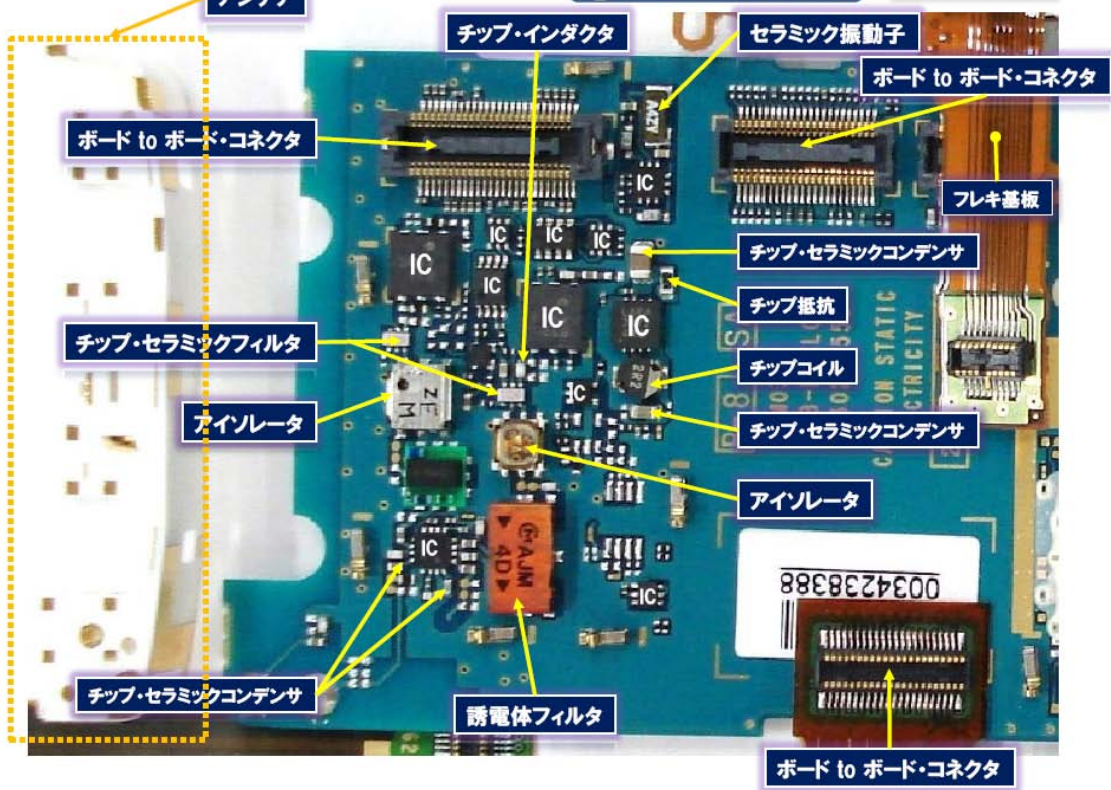


② 本体回路基板部



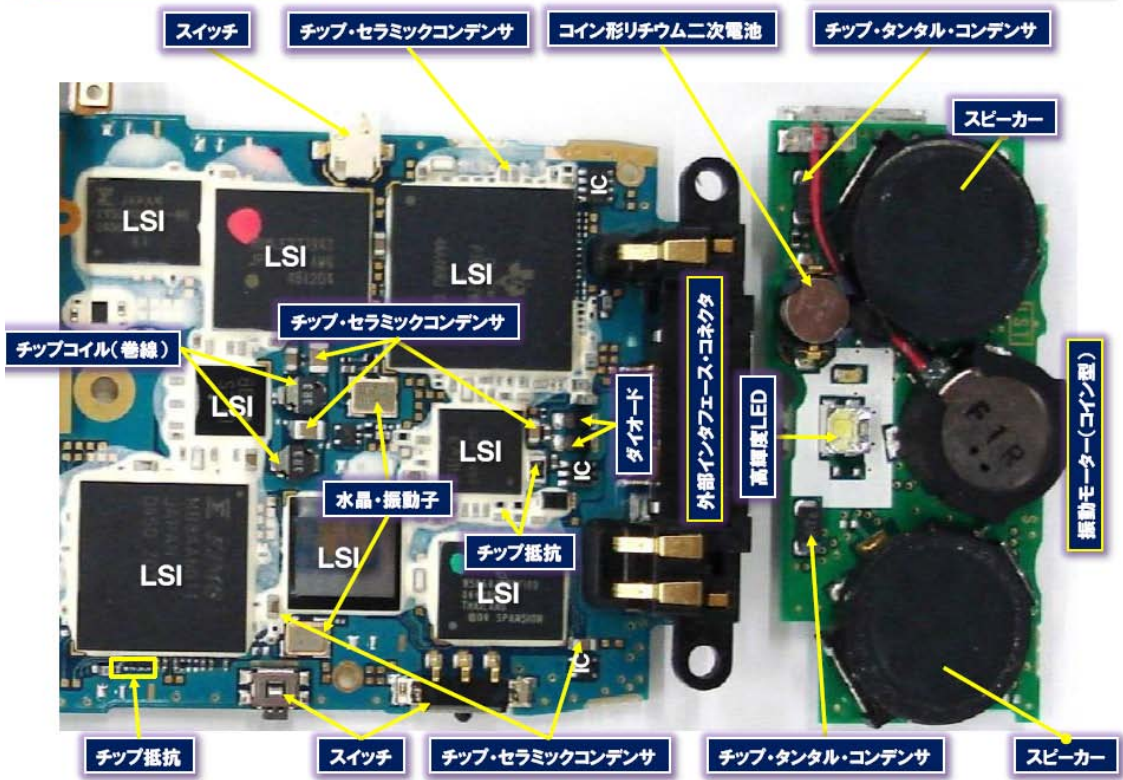
② 本体回路基板部

無線回路部



② 本体回路基板部

制御 & 信号処理回路部



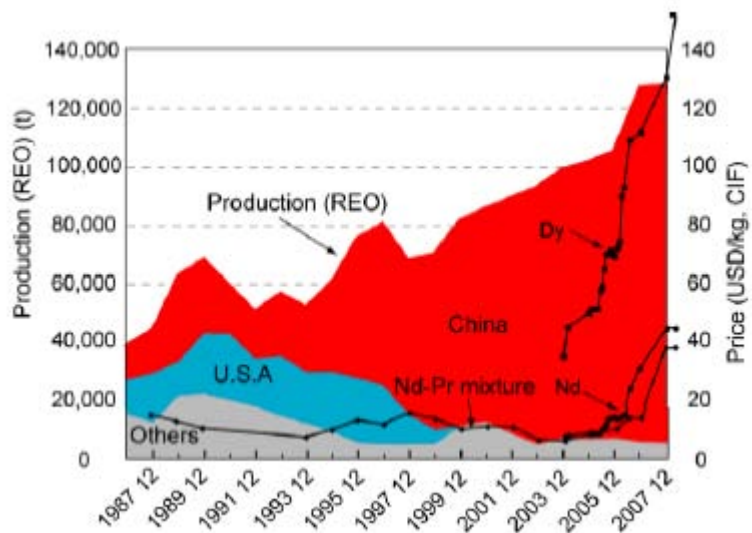
第8章 希土類の資源動向

使用済製品からのネオジムの回収・リサイクルを考えるそもそもの動機はその資源制約、国際貿易上のリスクの軽減である。ここではネオジムを含む希土類の世界需要動向と資源埋蔵量、国別偏在性を検討することにより、資源制約について説明する。

8.1 希土類の供給

(1) 現在における希土類供給量と供給国

図 8.1 に示すように2007年現在全世界で約 13 万トン(酸化物換算)の希土類が生産されている。そのほとんどは中国において生産されている。

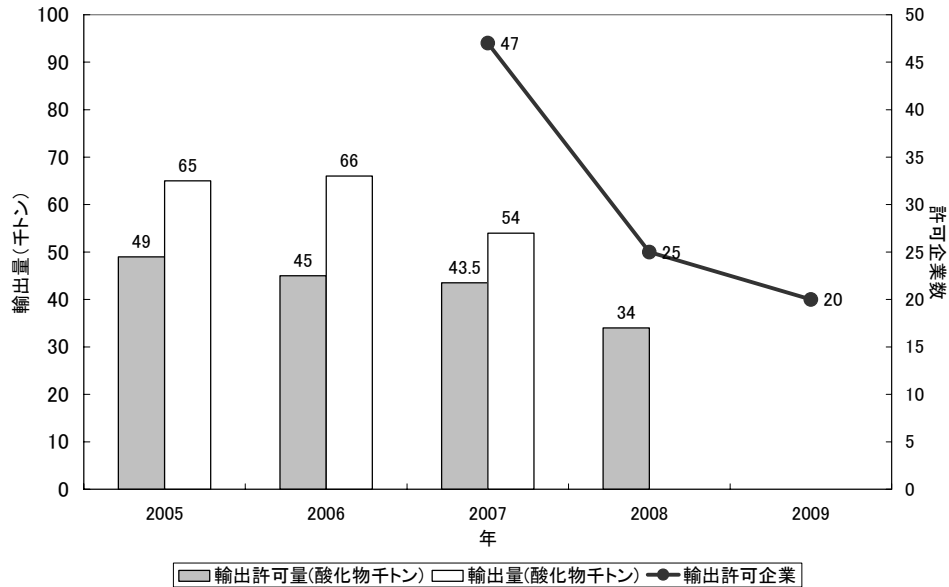


(出典) 渡辺委員提供資料による

図 8.1 世界における希土類の生産量と産出国

(2) 中国における輸出規制

中国は自国の資源政策の一つとして希土類の輸出規制を開始している。輸出許可量、輸出可能企業数共に年々減少しており、今後の希土類の価格形成に強い影響を与えることが懸念されている。



(出典) 渡辺委員、長谷川委員提供資料による

図 8.2 中国における希土類の輸出量と輸出許可量(量は酸化物換算)

(3) 中国以外の希土類の供給可能性

現在、希土類はほとんど中国から供給されているが、その供給量は政策的に抑えられつつある。一方、中国以外に希土類の調達先を求めることについては、現在のところ、中国に匹敵する規模の鉱山は他国では開発されていない。

米国、オーストラリアなどでは鉱山を開発中であるが、その他の国を合算しても全体で 69 千トンの供給能力しか持たず、現在における全世界の供給量の約半分程度に過ぎない。

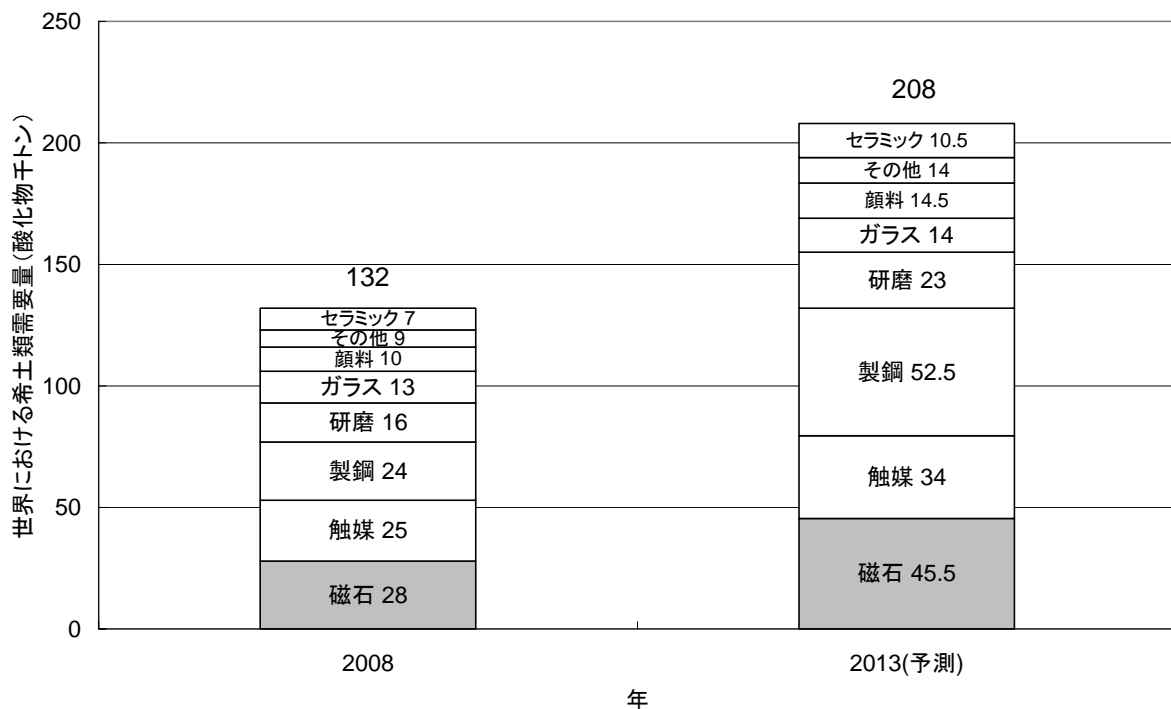
表 8.1 開発中の主要希土類鉱山年間生産予定量

区分	国	鉱床名など	生産量 (酸化物千トン)	オープン 予定年
中国		Bayan Obo	55	既存
		Maonuiping 他	24	既存
		江西省など	32	既存
		小計	111	—
中国以外	ベトナム	Dong Pao	6	2011
	ロシア	Lovozero	3	既存
	米国	Mt. Pass	10	2012
	オーストラリア	Mt. Weld	21	2011
	インド	Chavara ほか	7	2011
	オーストラリア	Nolans	20	2011
	カナダ	Thor Lake	1	2012
	カナダ	Hoidas Lake	1	2012
		小計	69	—
合計			180	—

(出典) 渡辺委員提供資料による

8.2 希土類需要状況

希土類の需要は 2008 年において全世界合計で 132 千トンであり、すべての需要分野で需要増が見込まれて、2013 年には 208 千トンへと増加すると考えられている。例えば、磁石については、ハイブリッド型自動車モータ向けネオジム磁石の需要などにより増加が見込まれる。



(出典) Kingsnorth (2008)

図 8.3 2008 年と 2013 年における需要分野別希土類需要量

8.3 希土類需給バランス

(1) 希土類埋蔵量

希土類鉱山の鉱量と希土類含有量を考慮して全世界における希土類の埋蔵量を算出すると 27 百万トンとなる。ネオジムは 4 百万トンの埋蔵量がある。

これは 2008 年の希土類の需要量の 204 年分、ネオジムの需要量の 30 年分である。実際には需要は増大傾向にあるので、枯渇するまでの年数はもっと短い。

(2) 希土類需給バランス

ここまで見たように希土類の供給については中国が支配的であり、輸出量を戦略的に規制してきている。中国以外でも希土類鉱山が開発されてきているが、中国の供給量には及ばない。今後とも中国が希土類供給においてはイニシアティブを握り続けると考えられる。

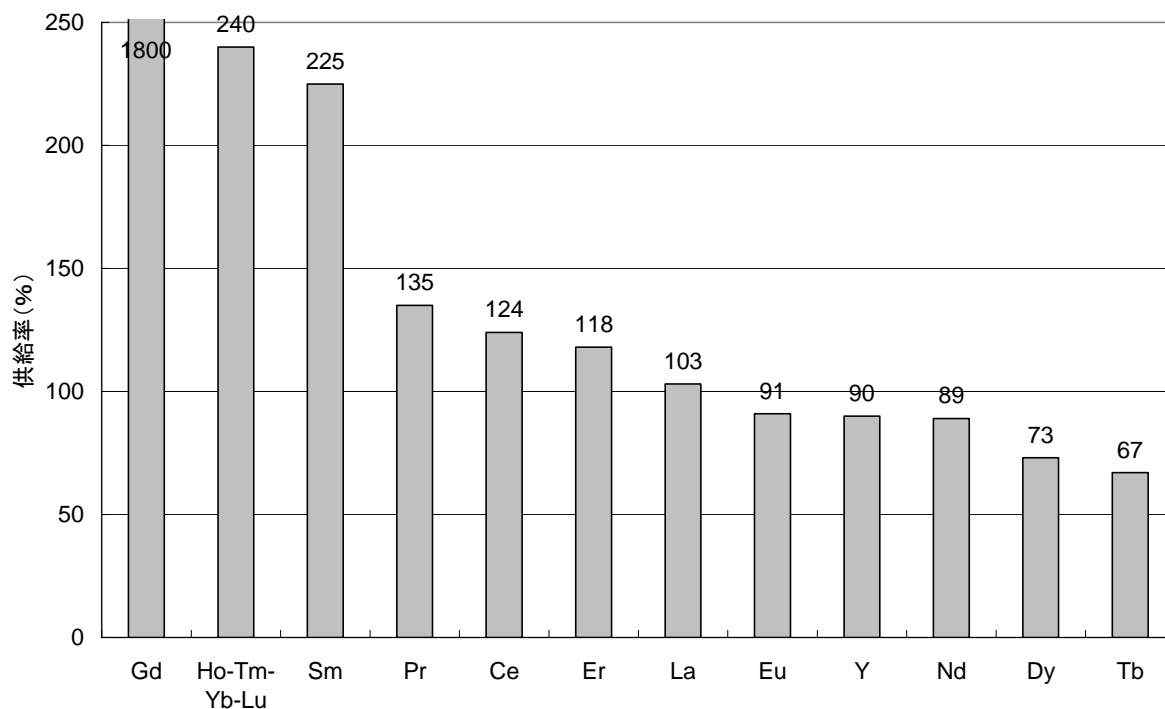
(3) 希土類種類別の需給バランス

ここまでは希土類全体で見てきたが、希土類の種類別に 2013 年の需給バランスを見ると図 8.4 の

ようになる。元素によって供給率が異なるが、これは希土類鉱石が多様な希土類元素の集合体であり、元素によって鉱石中の含有率が異なることにより生じている。

磁石製造に重要なネオジムとジスプロシウムは共に供給率が低く、ネオジムで 89%、ジスプロシウムで 73%の供給率である。これはそれぞれ 11%、27%の供給不足が生じることを意味している。

しかしながら、供給不足となるネオジム、ジスプロシウムの需要に合わせて希土類鉱石を生産することは容易ではない。ネオジム、ジスプロシウムの需要に合わせた希土類生産は、同時に産するPr、Ce、Er、La、Eu、Yなどの供給過剰を招くからである。



(出典) Kingsnorth (2008)

図 8.4 希土類種類別の供給率 (%) (2013 年の予測)

—無断転載禁止—

使用済製品からのネオジム磁石の
回収・リサイクルシステムに関する調査研究
報告書

平成21年3月

発行者 財団法人クリーン・ジャパン・センター
東京都港区赤坂一丁目9番20号
(第16興和ビル北館6階)
TEL 03-6229-1031
URL <http://www.cjc.or.jp>