

ネオジム磁石のリサイクル

～ 廃家電からレアアース資源をリサイクル～

平成27年6月17日

三菱マテリアル株式会社 環境リサイクル事業部

藤澤 龍太郎 新井 義明

本日の講演内容

- 1、会社概要
- 2、家電リサイクルにおけるネオジム磁石の回収
- 3、ネオジム磁石回収設備の開発
- 4、今後の展開

三菱マテリアルの主要 4 事業



セメント

- ・セメント
- ・骨材
- ・生コンクリート
- ・建材



非鉄金属

- ・銅（電気銅、銅加工品）
- ・金、銀、鉛、錫、硫酸

4 コア事業



加工

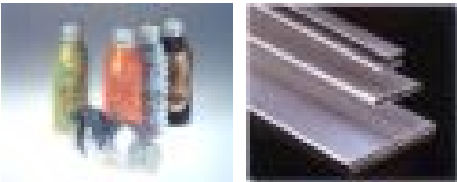
- ・超硬工具
- ・機能部品
- ・高性能材料



電子材料

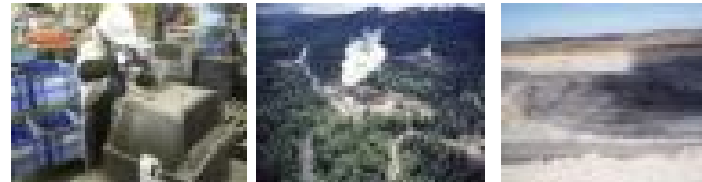
- ・機能材料
- ・電子デバイス製品
- ・多結晶シリコン
- ・化成品

アルミ



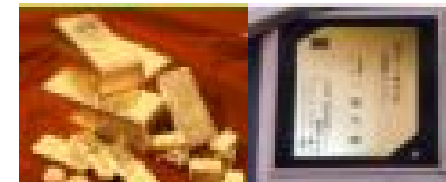
- ・アルミ缶
- ・アルミ圧延品・加工品

資源・エネルギー・リサイクル



- ・環境リサイクル事業
- ・原子力、燃料関連事業
- ・地熱・水力発電

貴金属



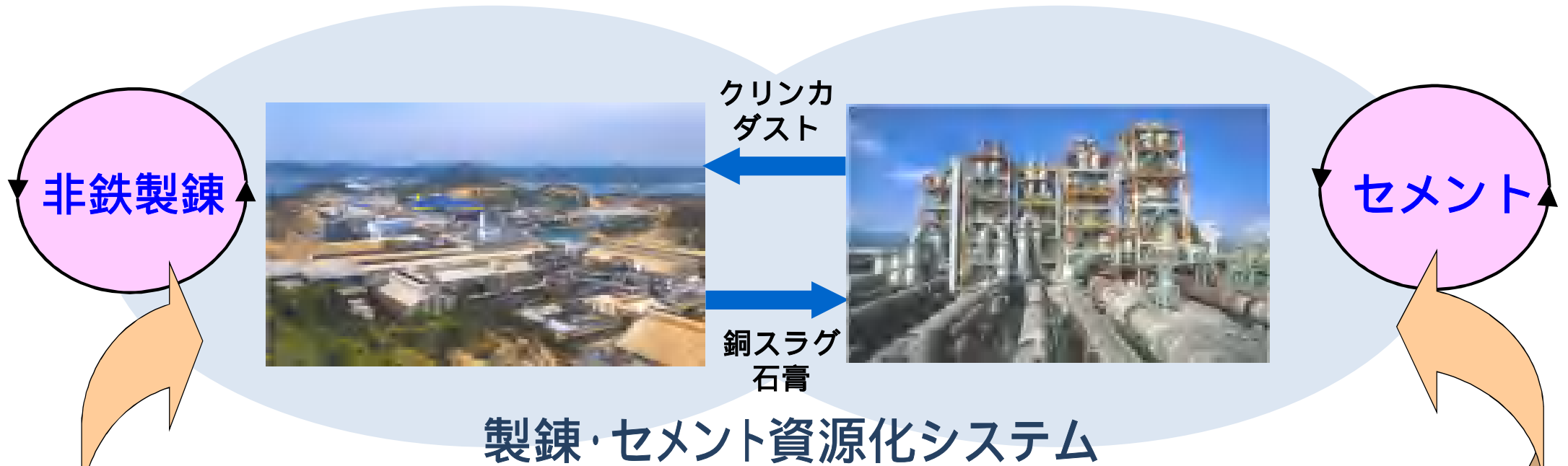
- ・金地金、純金積立
- ・宝飾品、金カード

その他



- ・エンジニアリング
- ・観光等

三菱マテリアルの環境リサイクル事業

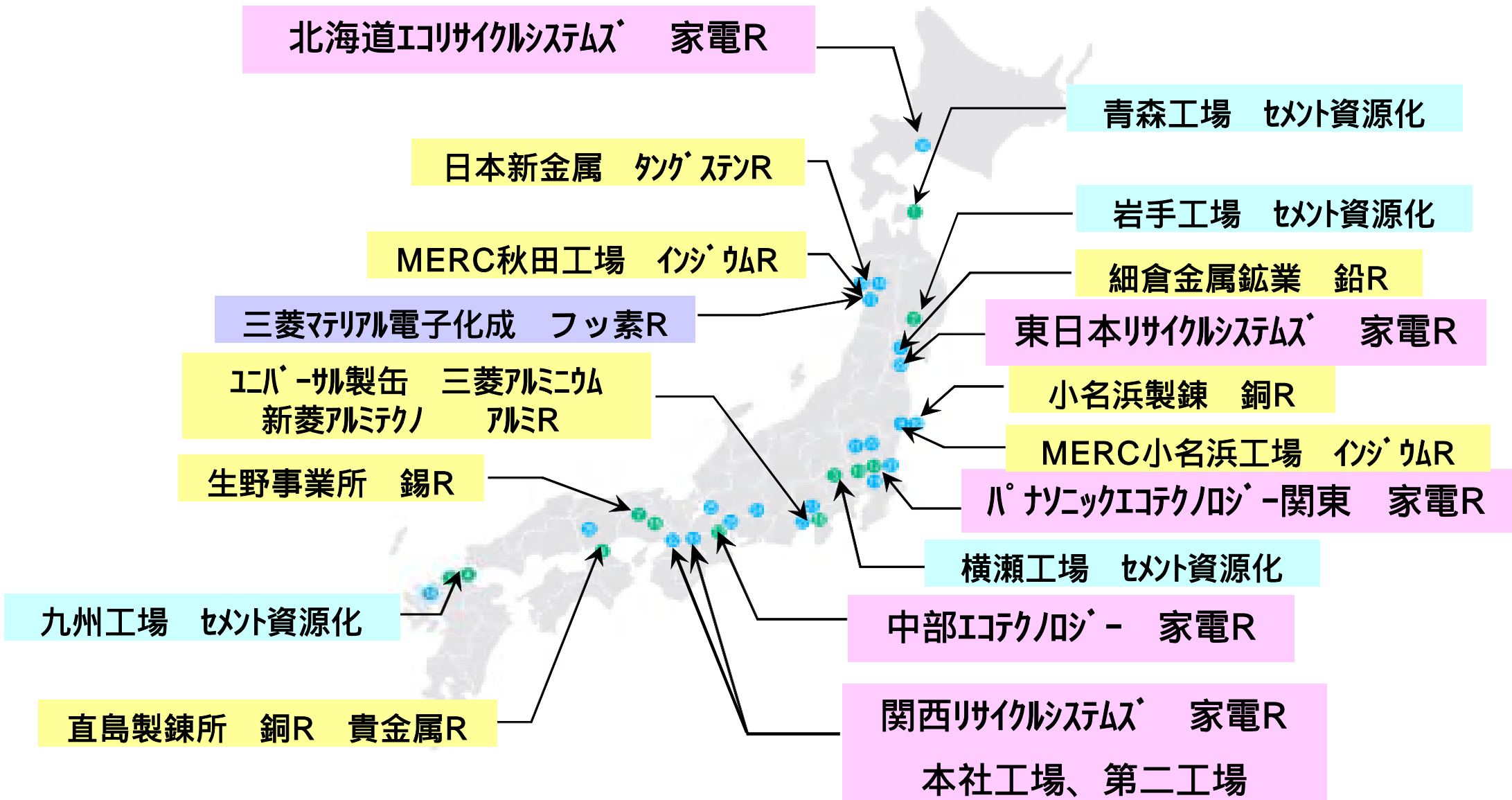


重金属含有廃棄物（ASR等）
金属回収（E-Waste）
高塩素系廃棄物の処理（飛灰）

大量の廃棄物処理（建設残土）
有機と無機の混合物（廃プラ製品）
臭気性廃棄物の処理（汚泥）

非鉄製錬所とセメント工場を保有する我が国唯一の企業
最終処分場を必要としない環境リサイクル事業の推進

三菱マテリアルの主要リサイクル拠点



三菱マテリアルにおける廃家電との係わり

- 1993年 NEDO事業 廃家電分析（研究所）
- 1995年 家電製品協会 一貫処理プラント実証試験
開発研究
- 1996年 設備製作
- 1997年 工場建設（当社、那珂町の敷地に建設）
- 1998年 実証試験（銅・アルミ分離工程
樹脂燃料化工程担当）
- 1998年 家電リサイクル法公布**
- 1999年～ Bグループと協業し、プラントを建設。3社3工場。
：枚方・シャープ、鶯谷・当社と各社、苫小牧・日立
- 2001年4月 家電リサイクル法施行と同時に操業開始

- 2005年 P社との協業（Aグループ2社操業開始）

家電リサイクル法の概要

- 施行 2001年4月
- 対象機器 家庭用のエアコン、冷凍・冷蔵庫、洗濯機、衣類乾燥機、ブラウン管テレビ、薄型テレビ

《対象機器要件》

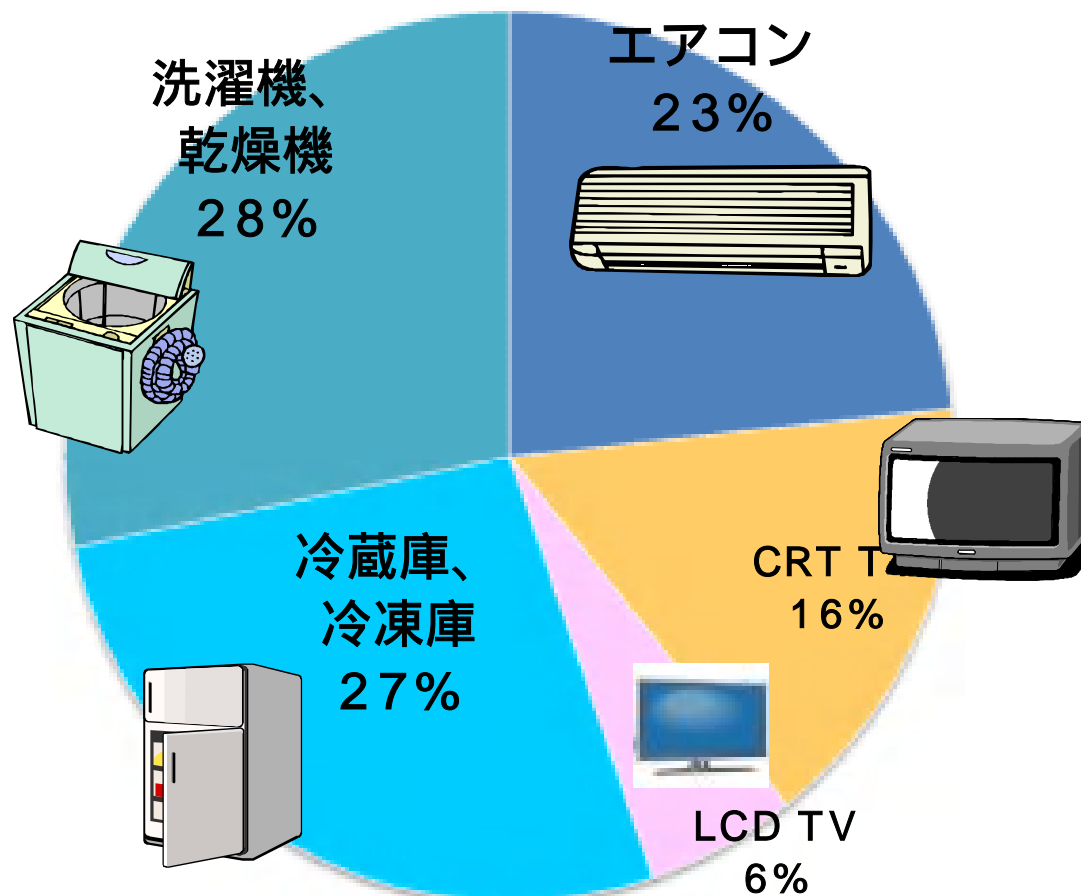
市町村などによる
リサイクルが困難

有用な資源を多く含み
リサイクルの必要性が高い

設計・部品などの選択が
リサイクルに重要な影響

小売業者の配達が一般的

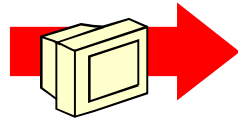
出典：経済産業省
News Release 平成22年6月1日より



2013年度 製品別回収割合

家電リサイクル法の仕組み

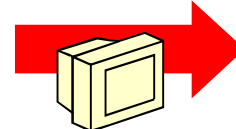
排出者



リサイクル料金

家電リサイクル券

小売業者

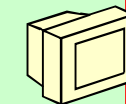


指定引取場所(SY)

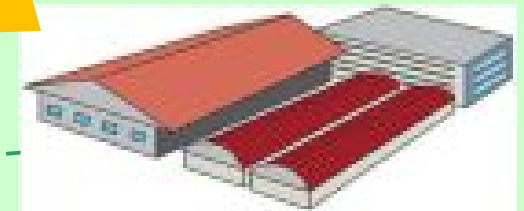
2014.7.1



指定引取場所
全国に363箇所
(H21.6.1共有化)



リサイクル工場



リサイクル工場
全国に49施設
(A-G:31、B-G:16、A・B共同:2)

製造業者等の責任範囲

管理会社

引取情報

引取情報

引渡し確認

対象品目

- エアコン
- 冷蔵庫・冷凍庫
- 洗濯機・衣類乾燥機
- ブラウン管テレビ
- 薄型テレビ

《対象機器要件》

市町村などによる
リサイクルが困難
有用な資源を多く含み
リサイクルの必要性が高い
設計・部品などの選択が
リサイクルに重要な影響
小売業者の配達が一般的

家電製品協会(AEHA)

Association for Electric Home Appliances

家電リサイクル券センター

RKC

三菱マテリアルの家電リサイクルネットワーク

関連リサイクル拠点所在地

- 家電リサイクルプラント
- 非鉄製錬所
- セメント工場
- 物流拠点

我々は、資源循環型社会の実現を目指し、家電リサイクル工場・非鉄製錬所・セメント工場の間で、再生資源の物流ネットワークを構築しています。

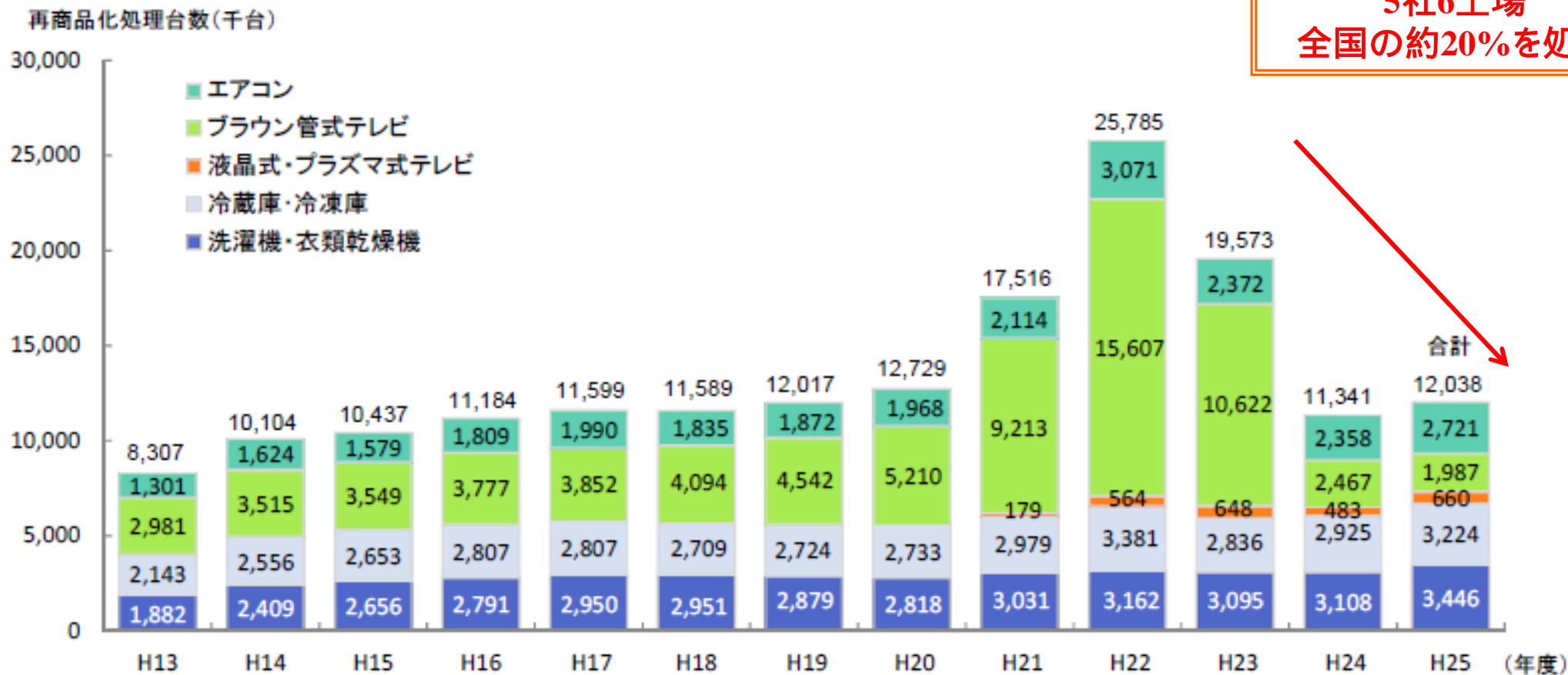


処理台数の推移

エコポイント、地上デジタル化によるTV買換需要がH22(2010)年度に集中
 H24(2012)年度以降は、CRTTV排出が減少、FPDテレビ排出が増加に転じる傾向
 「見えない流れ」への対応、小型家電への法規制によって、市場は緩やかに拡大

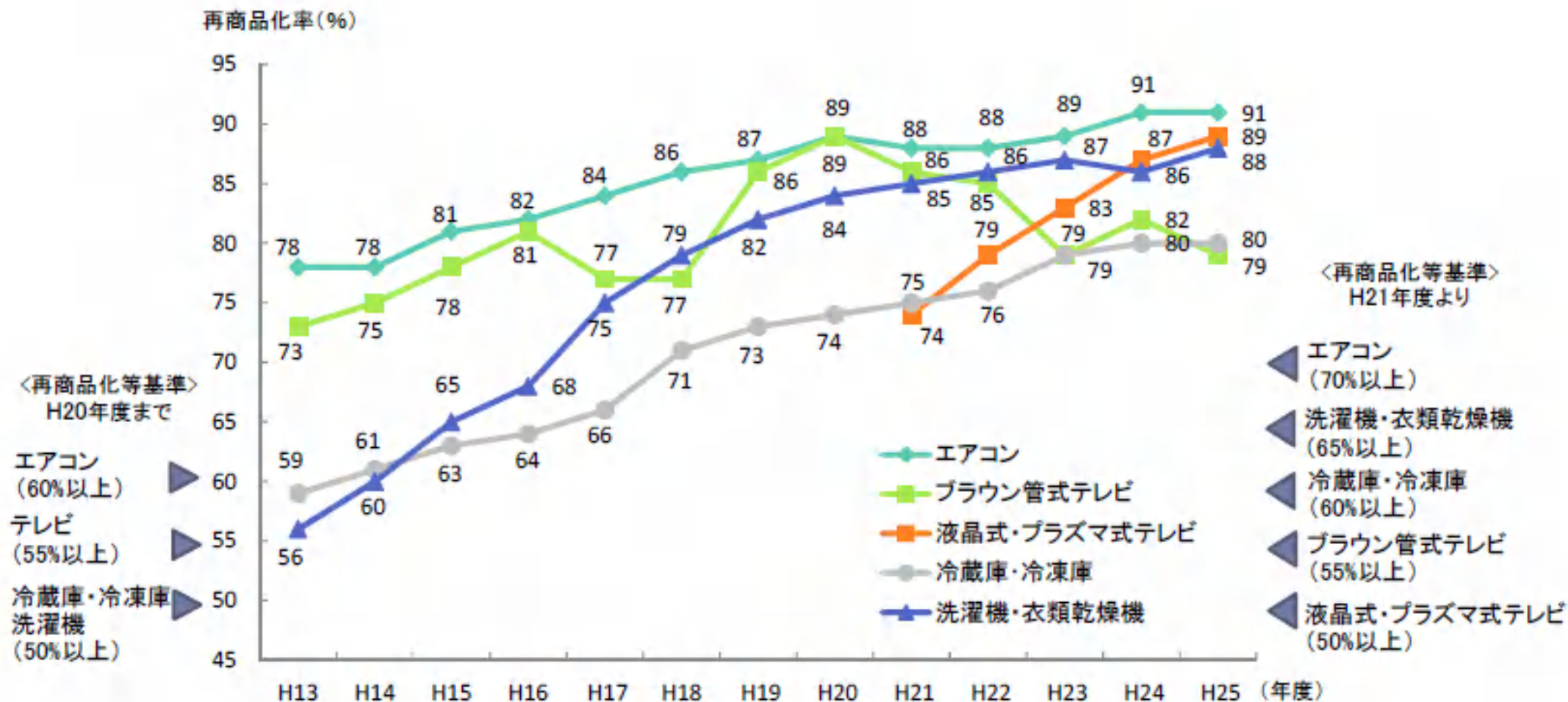
図表Ⅱ-2 再商品化処理台数の推移

三菱マテリアル関連の
 5社6工場
 全国の約20%を処理



出典：家電製品協会 平成25年度家電リサイクル年次報告書より

再商品化率の推移（品目別）



H17～25年度でブラウン管式テレビの再商品化率が減少傾向にあるのは、一部のブラウン管ガラスが逆有償となったため。

出典：家電製品協会 平成25年度家電リサイクル年次報告書より

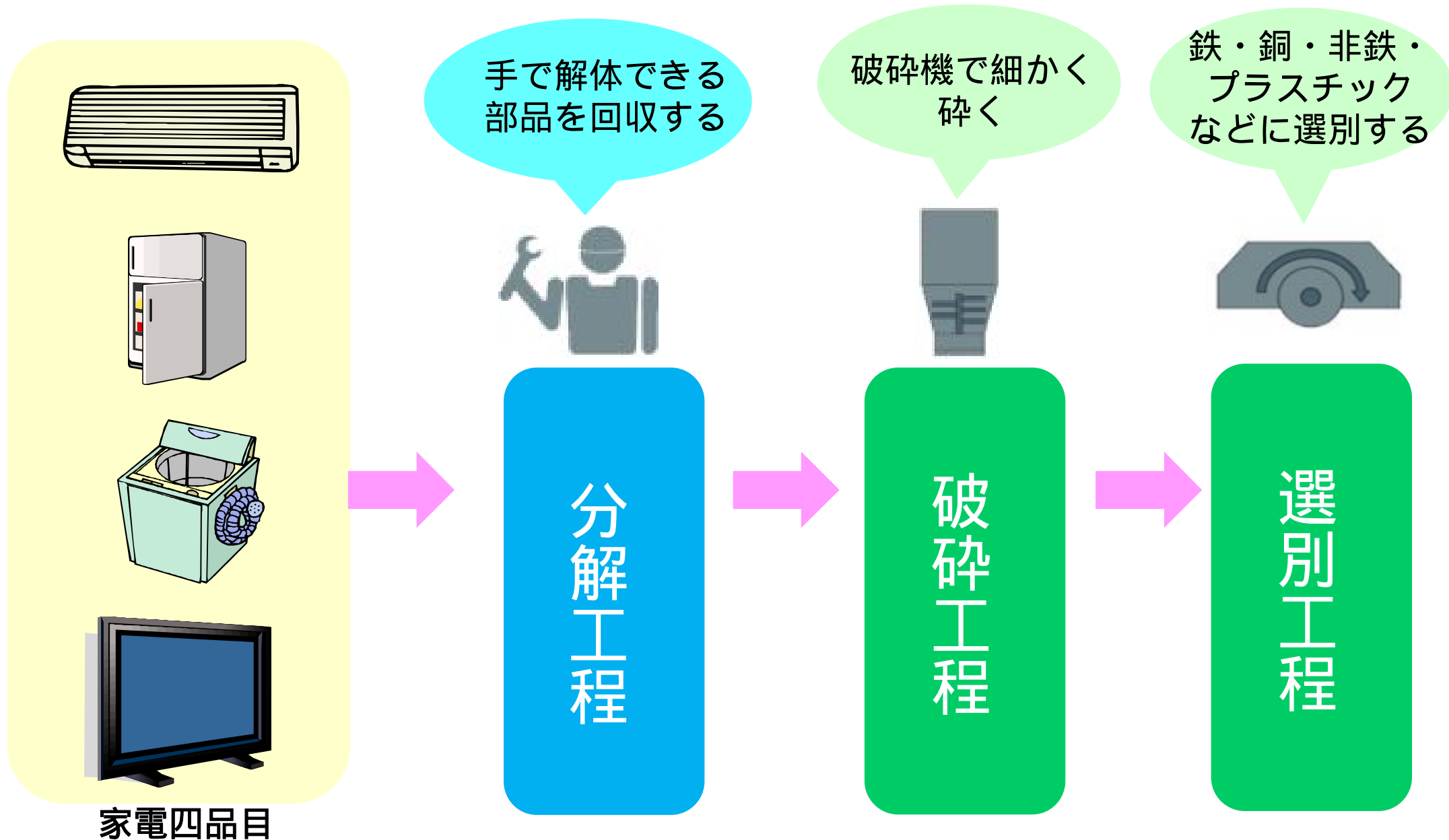
リサイクル率とリサイクル料金

法律で規定

各メーカーが設定

品目	リサイクル率	リサイクル料金(例)
エアコン	60% 70% (H21年度見直し時)	2,625円 2,100円(H23/4/1) 1,620円(H26/4/1) 1,404円(H27/4/1)
テレビ (ブラウン管式)	55% 55% (H21年度見直し時)	15型以下 1,836円 16型以上 2,916円
テレビ (液晶式・プラズマ式)	50% (H21年度見直し時)	15V型以下 1,836円 16V型以上 2,916円
冷蔵庫・冷凍庫	50% 60% (H21年度見直し時)	170L以下 3,672円 171L以上 4,644円
洗濯機・衣類乾燥機	50% 65% (H21年度見直し時)	2,592円 2,484円

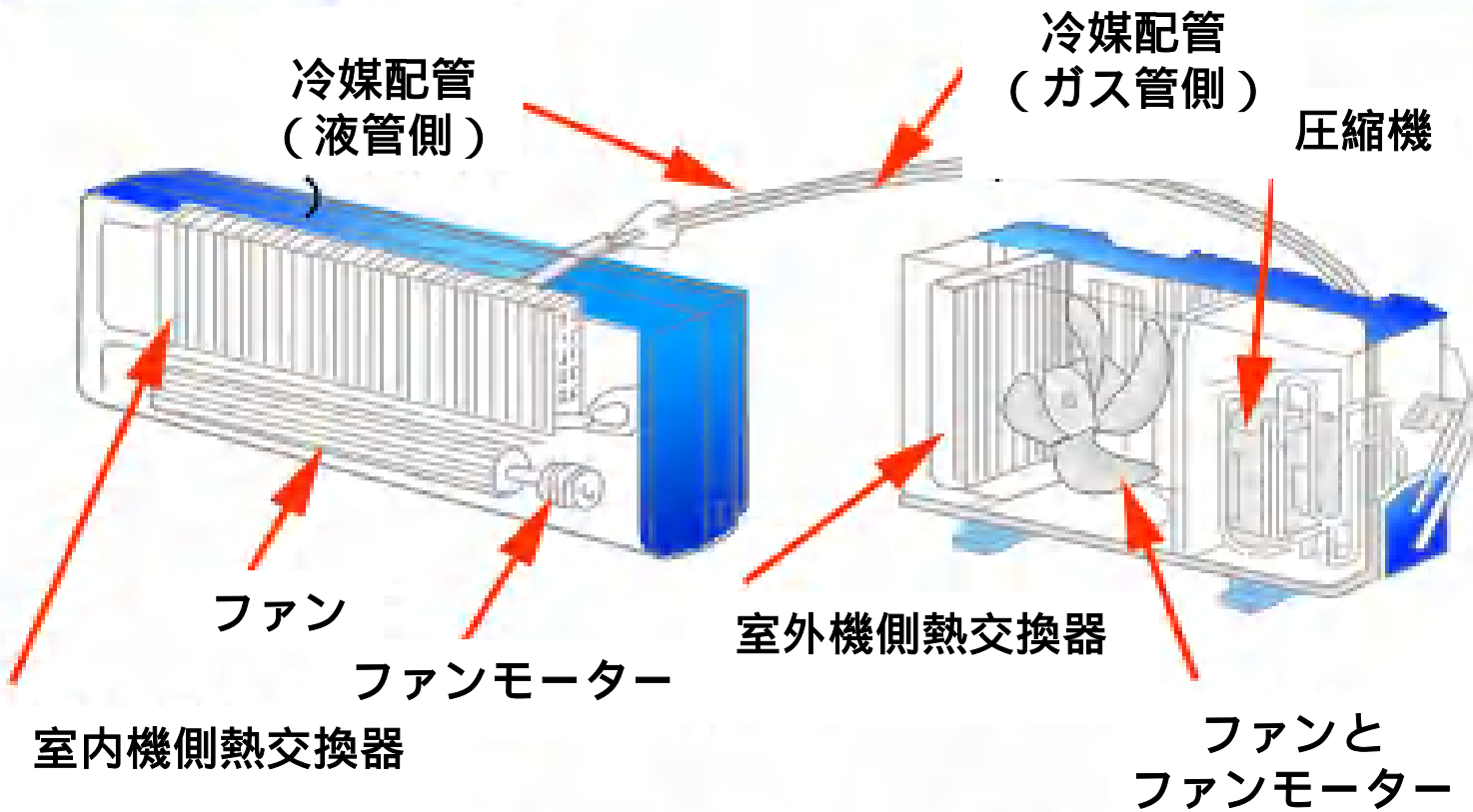
家電工場での処理工程（概略フロー）



エアコンのリサイクル

室内ユニット

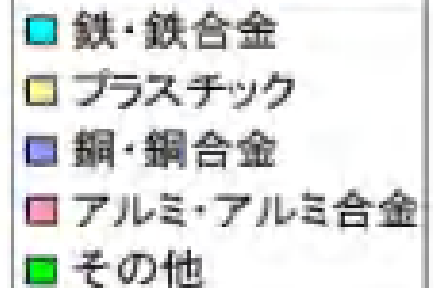
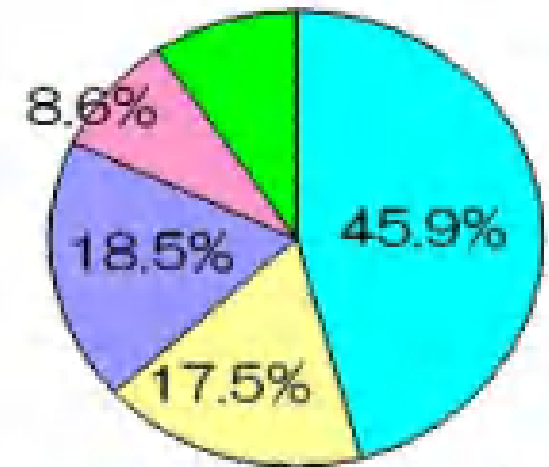
室外ユニット



手解体回収品

- ・モーター
- ・コンプレッサー
- ・冷媒フロン

筐体・その他 破砕機



注：エアコンの熱交換器は外側がアルミニウム、中が銅管が入っている部品のことを言います。

エアコンのリサイクル（回収部品等）

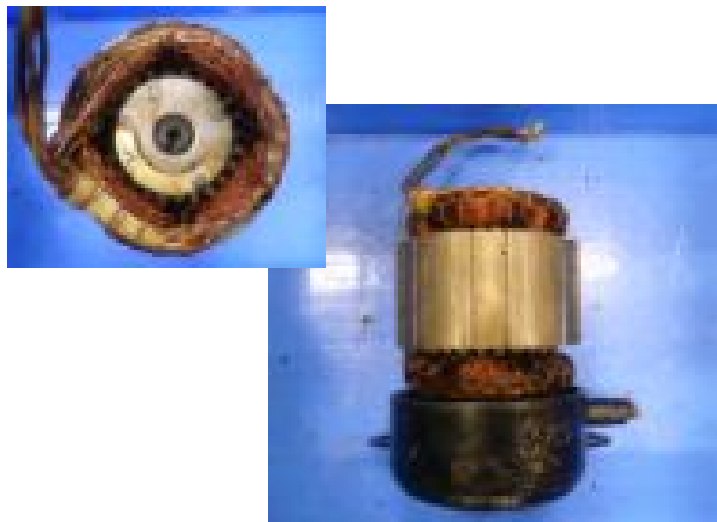


エアコンにおけるネオジム磁石の使用状況

室外機に搭載されている
コンプレッサ



コンプレッサ内部



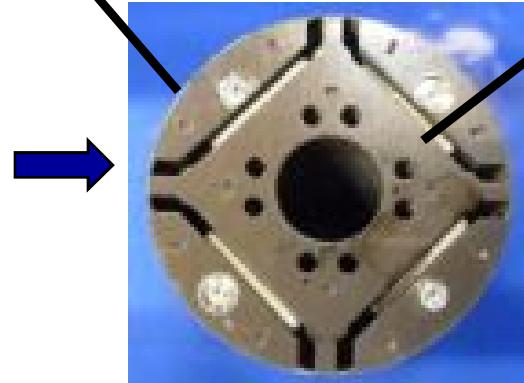
ステータ ロータ



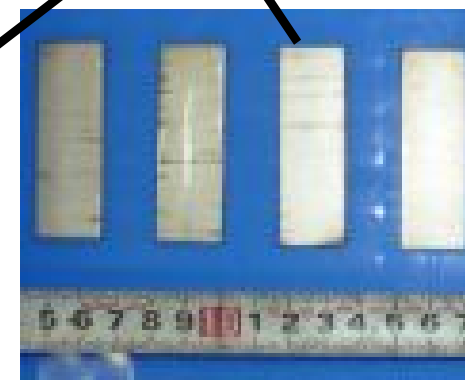
ロータ



珪素鋼板



ネオジム磁石



モータのロータ部にネオジム磁石が埋め込まれている

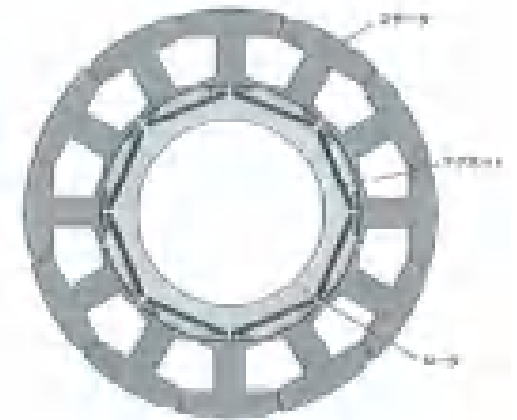
洗濯機におけるネオジム磁石の使用状況

洗濯機・乾燥機

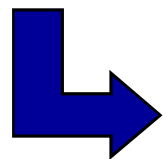
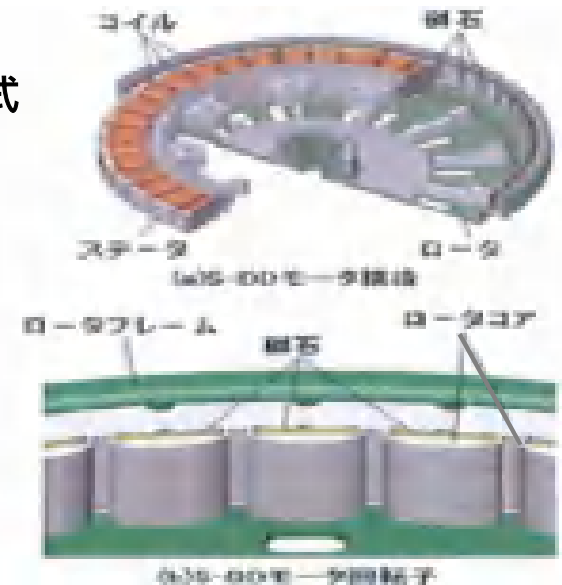


モータのロータ部に
ネオジム磁石が埋め込まれている

モータ例 1 インナーロータ式



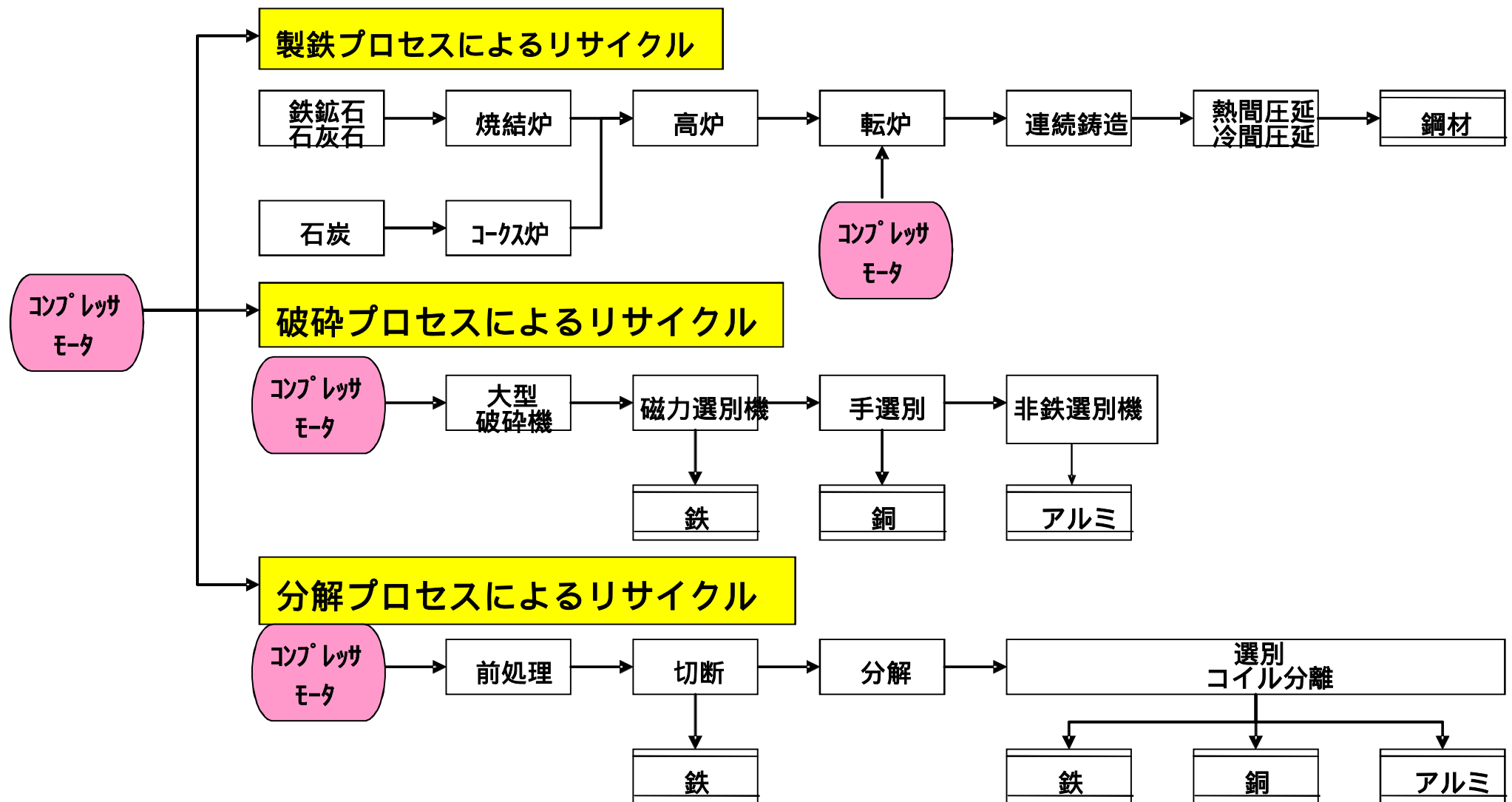
モータ例 2 アウターロータ式



ドラム式洗濯機の
モータ部



コンプレッサ・モータの現状のリサイクルフロー



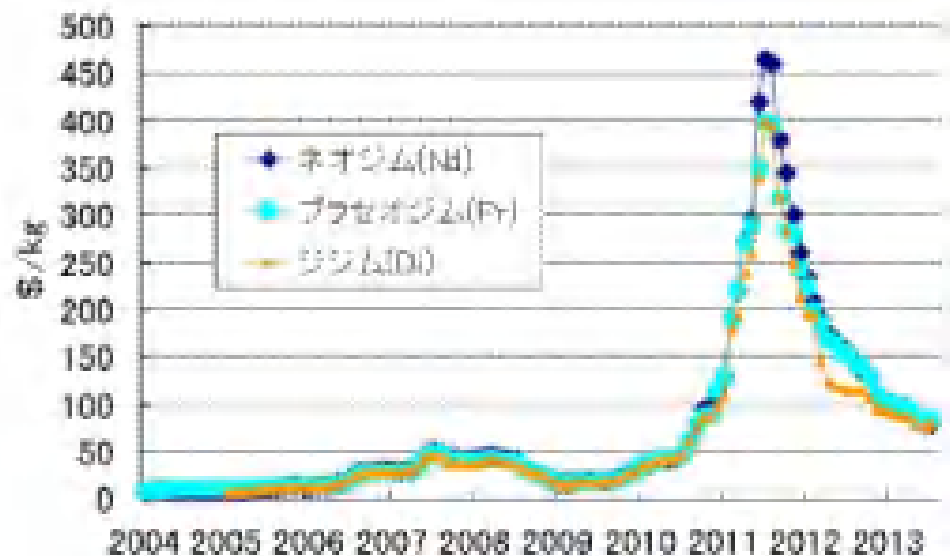
エアコン・洗濯機から回収されたコンプレッサ・モータは、非鉄を回収または再利用しているものの、モータに使用されているネオジム磁石は、磁石としてリサイクルされておらず、鉄系の再生原料の一部になっている

ネオジム磁石（希土類）の普及

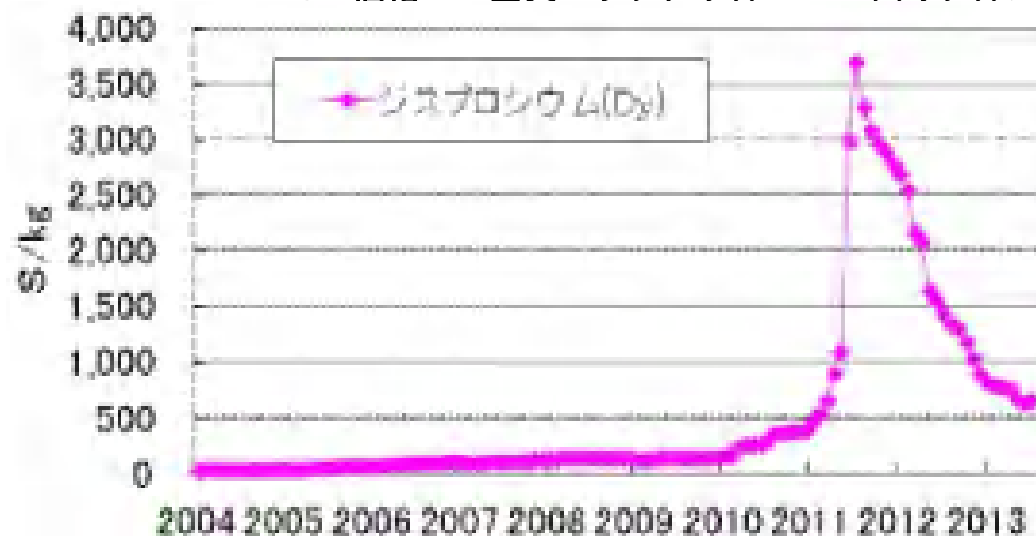
- 1979年 「エネルギー使用に関する法律」（以下、省エネ法）
- 1982年 ネオジム磁石発明
- 1998年 省エネ法の大規模改正
京都議定書COP3を受け、「トップランナー基準」
家電製品の省エネ促進
特に、エアコン、冷蔵庫での消費効率改善が顕著

機器名	エネルギー消費効率改善 (実績)	エネルギー消費効率改善 (当初見込み)
エアコン	67.8% (1997 2004年度)	66.1%
冷蔵庫	55.2% (1997 2004年度)	30.5%

レアアースの価値の高騰とその後の推移



CIF価格 出典：レアメタルニュース（アルム社）



- ・ネオジウム磁石原料であるレアアースの生産は9割以上が中国
- ・資源保護、環境保護等の理由により、生産量・輸出量を大幅に抑制
- ・レアアース価格が高騰（需要および供給不安による価格の高騰） 2005年に比べて5～10倍??
- ・日本や中国の磁石需要が低迷することは考えにくく、価格に関しても高値が予想される



ネオジウム磁石のリサイクルシステムの構築

- ・資源問題や環境問題に対応し循環型社会の形成を推進するため、使用済み家電製品からのネオジウム磁石のリサイクルは重要
- ・リサイクルがレアアースの安定供給の有効な手段の一つとなり、またリサイクルシステムを有することが資源生産国の貿易政策や供給調整に対する牽制になる
- ・天然資源使用量を削減することで、地球に与える環境負荷を低減できる

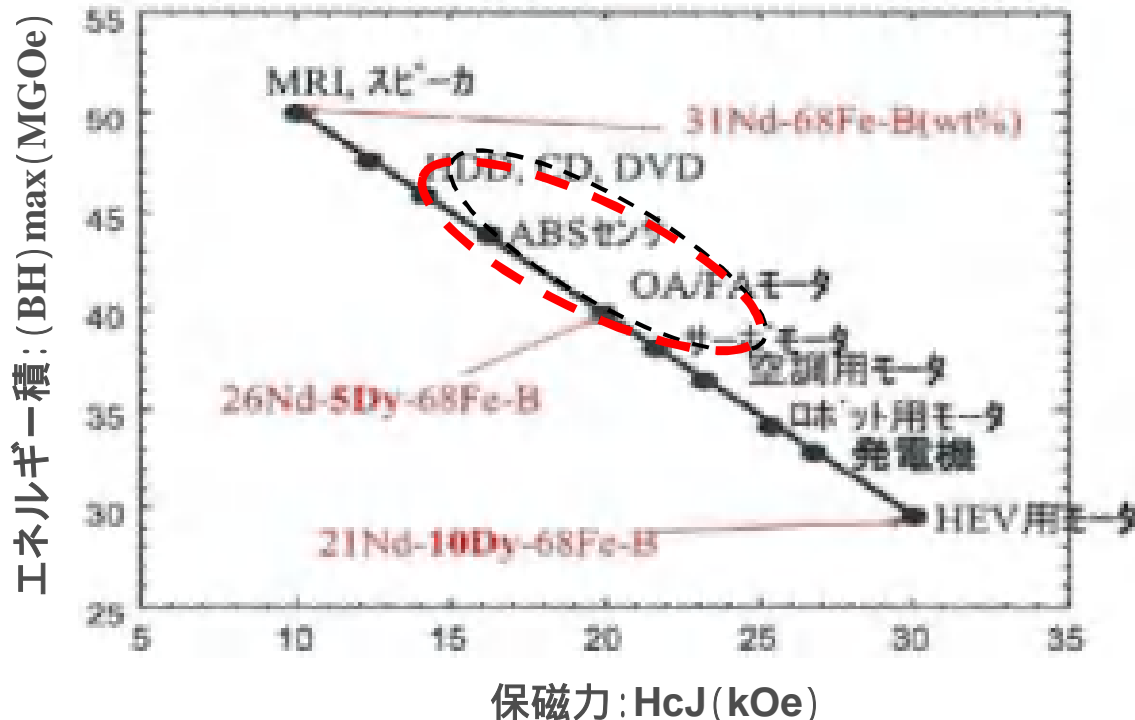
参考2015.6) Nd : 93 \$ /kg、 Dy : 530 \$ /kg

家電製品におけるネオジム磁石の組成

	定量分析値 (wt%)							
	Fe	B	Co	Cu	Nd	Pr	Dy	Tb
平均値	66	1	2	0	23	3	5	0
最大値	67.1	1.14	4.83	0.22	27.0	6.07	7.56	1.65
最小値	62.6	0.90	0.54	0.00	18.1	0.10	2.85	0.00

下記4元素がレアアース (RE)

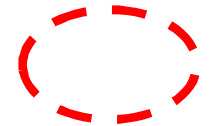
Nd : ネオジム
Pr : プラセオジム
Dy : ジスプロシウム
Tb : テルビウム



Fe : 68 wt% (一部コバルトで置換)
B : 1 wt%
RE : 31 wt%
(うち、Nd+Pr : 26 wt% Dy : 5 wt%)



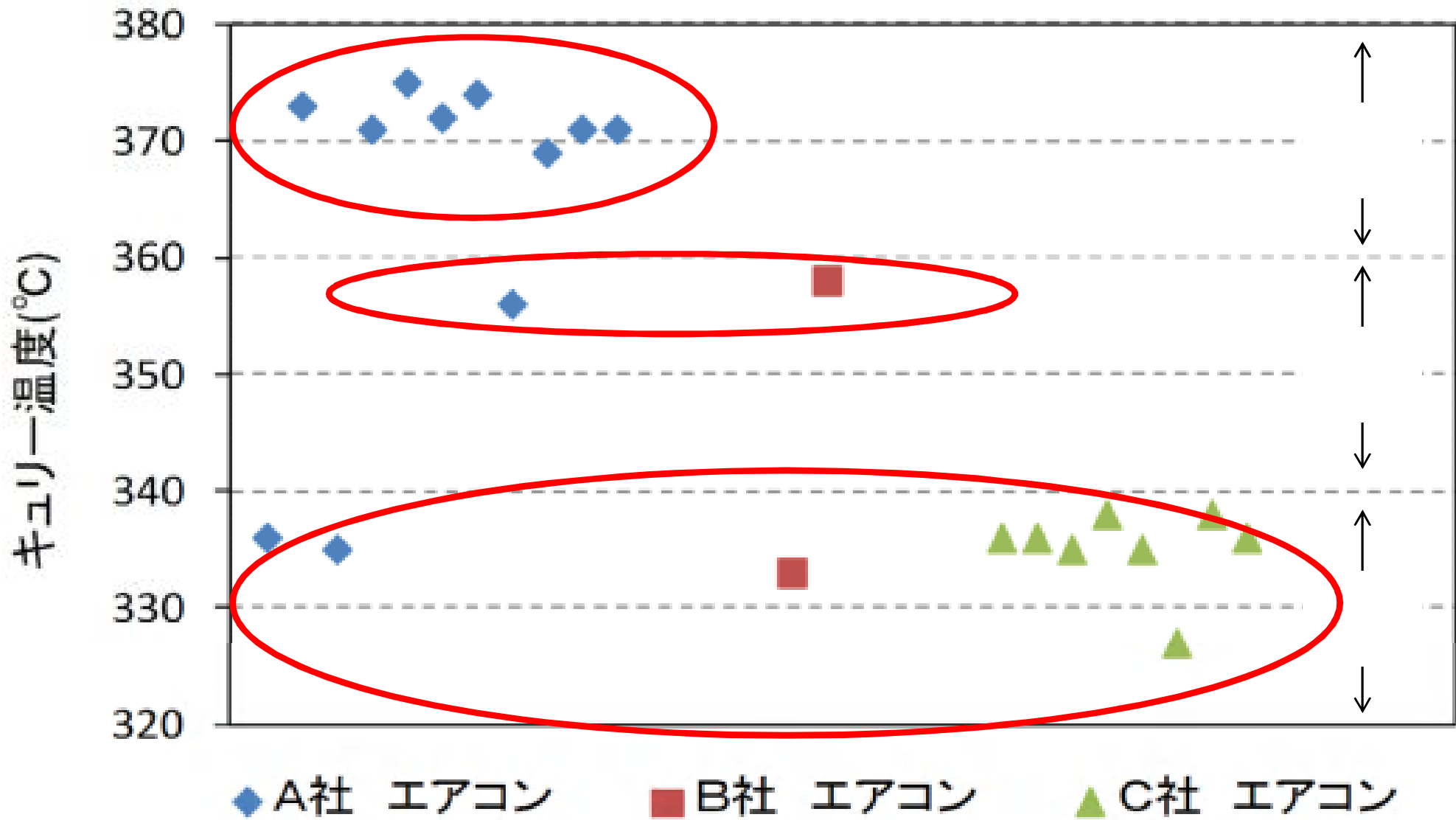
左図中 点線範囲に該当



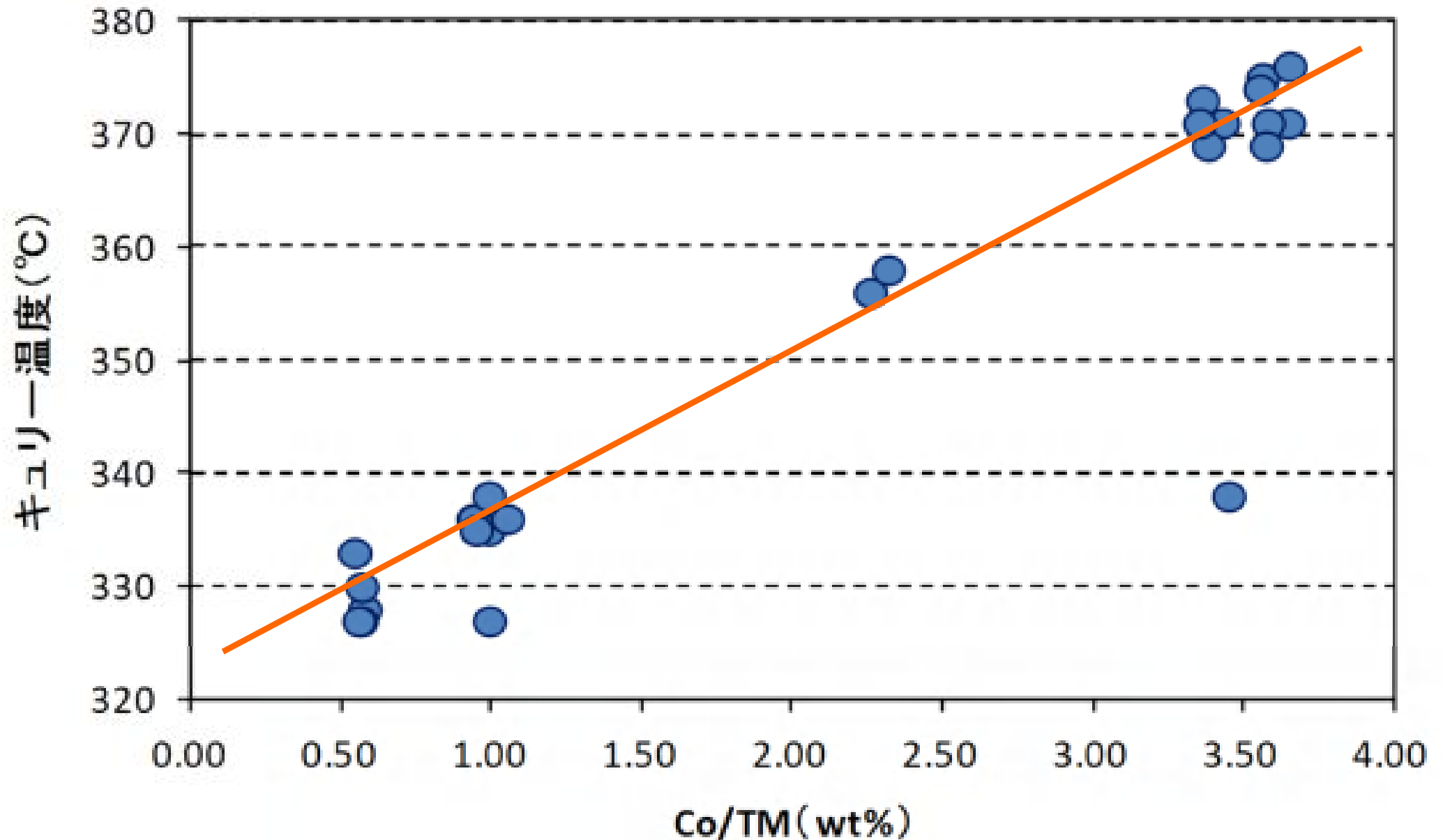
出典 : 佐川真人氏 日本ボンド磁性材料協会
「30周年記念シンポジウム」講演資料

耐熱温度 100 150 200

家電製品におけるネオジム磁石のキュリー温度



ネオジム磁石のキュリー温度とCo添加量



ネオジム磁石回収システムの開発

2010年9月～
2012年2月

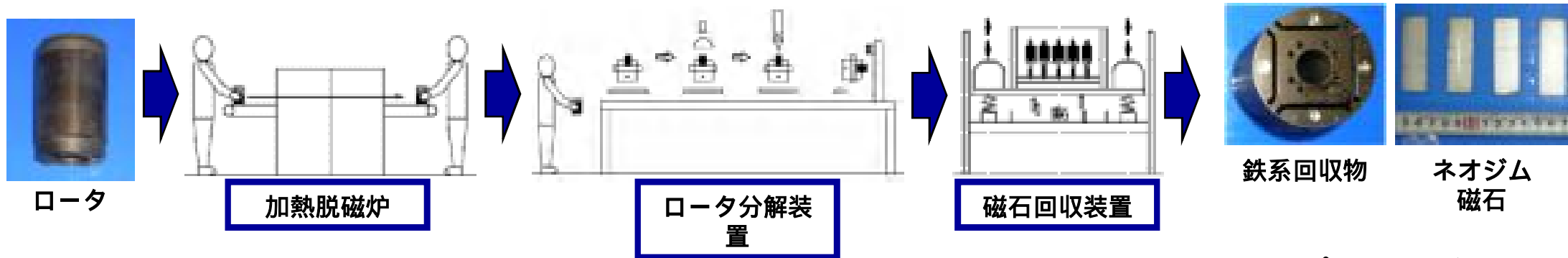
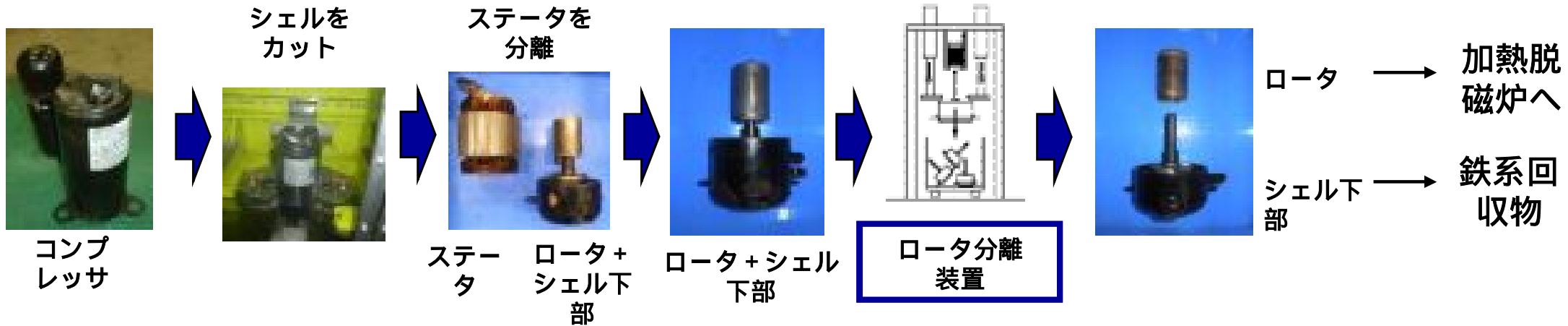
NEDO補助事業
装置の開発・設計・実証

2012年3月～
2013年11月

経産省の補助事業
エアコンから回収した磁石から
再生磁石製造までの実証事業（5社連携）
（家電リサイクルプラント
：パナソニックエコテクノロジー関東株式会社
中部エコテクノロジー株式会社
三菱マテリアル
磁石合金メーカー：三徳
磁石メーカー：TDK）

ネオジム磁石回収プロセスフロー（エアコン）

エアコンのコンプレッサからネオジム磁石回収手順



コンプレッサ1台から
約90gの
ネオジム磁石を回収

開発したネオジム磁石回収設備

ロータ分離方法
油圧引抜方法

シェル下部 + ロータを
油圧で引き抜くことで
ロータとシェル下部を分離

脱磁方法
熱脱磁方法

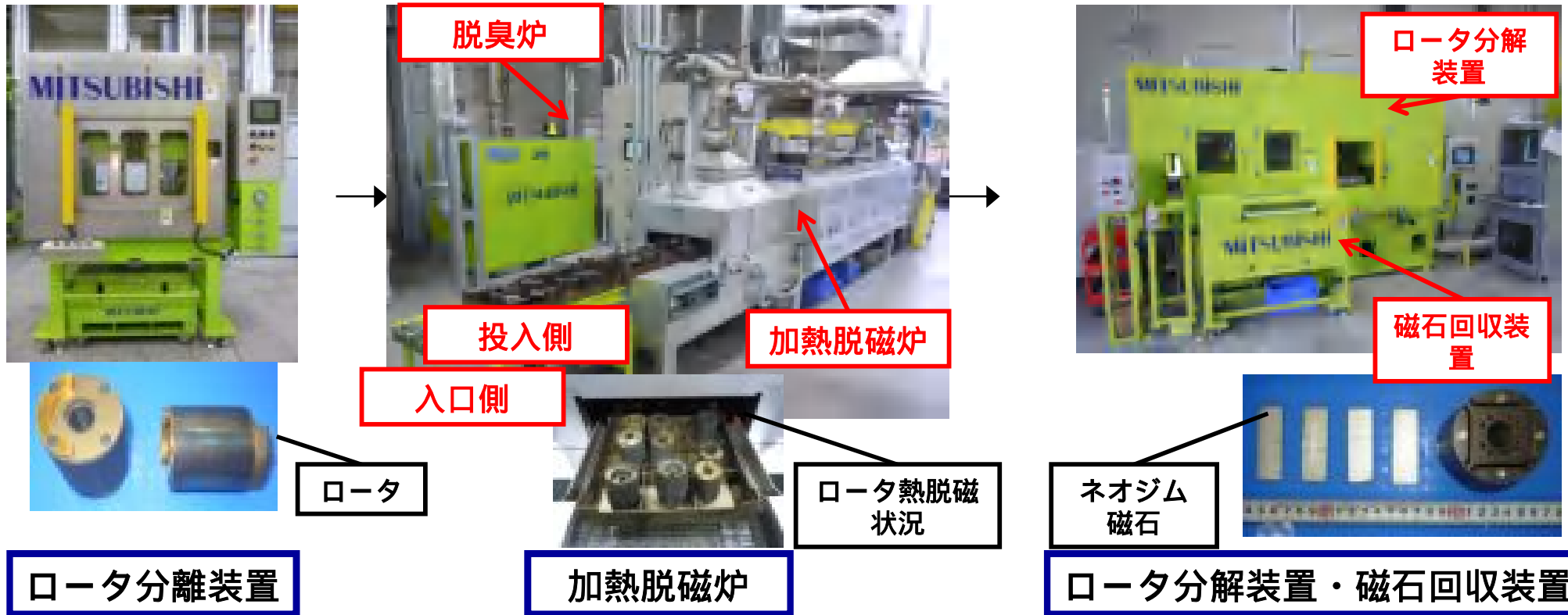
キュリー温度以上に加熱
熱脱磁条件: 400 以上(大気雰囲気)
脱臭炉による排ガスの無害化

ロータ分解方法
ピン切削方法

画像処理でピン位置検出
ピンの先端をドリルで切削
押え板の取外し

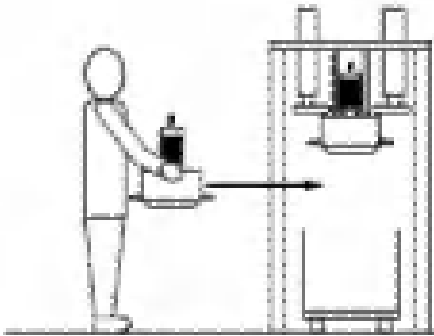
磁石回収方法
振動回収方法

振動により珪素鋼
板と磁石を分離し
て回収

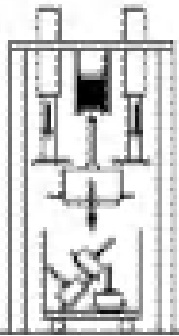


エアコンにおけるロータ分離方法（油圧引抜方法）

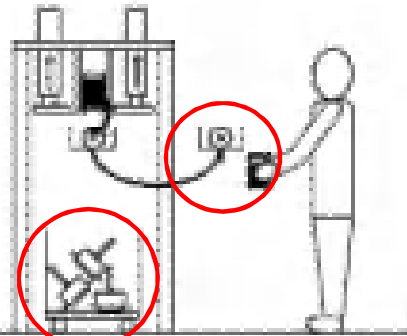
シェル下部 + ロータをセット



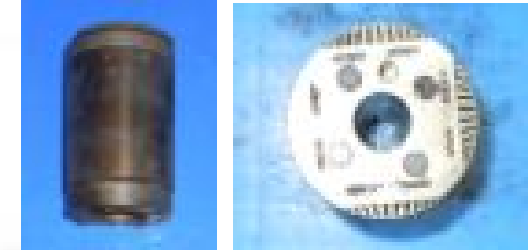
シェル下部とロータを分離



シェル下部とロータの回収

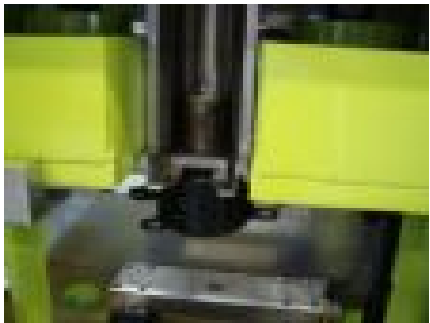


ロータの回収



シェル下部
の回収

- ・シェル下部 + ロータを
ロータ分離装置にセット
- ・ロータ下部を固定



- ・シェル下部を
油圧シリンダに
て押下げて
引き抜く方式
ロータを分離

- ・分離後のシェル下部と
ロータを回収
- ・シェル下部の回収
鉄として再資源化
- ・ロータの回収
回収したロータは
加熱脱磁炉にて
熱脱磁処理



ロータ分離装置

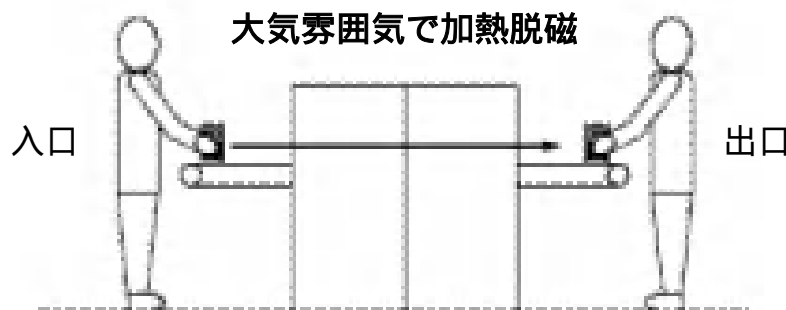
エアコンにおける加熱脱磁方法（熱脱磁方法）

磁石はキュリー温度で磁性を消失：家電製品に使用されているネオジム磁石のキュリー温度は330 ~ 370 程度

加熱脱磁条件：400 に加熱できれば良い（大気雰囲気）

脱臭炉による排ガスの無害化

脱磁前の
ロータ表面の
磁束密度
0.25T
(2500G)

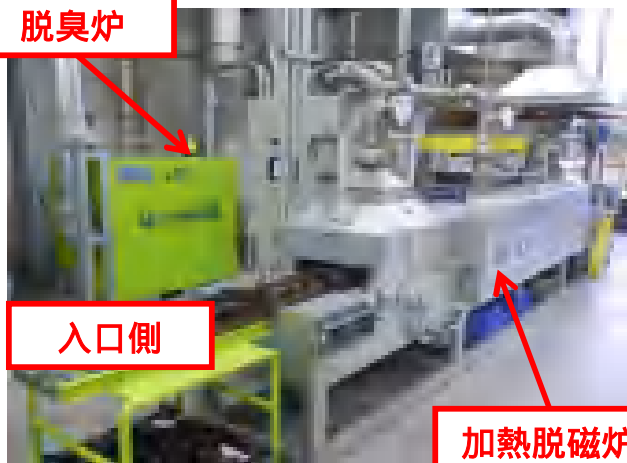


ベルトコンベヤタイプ加熱脱磁炉



脱磁後の
ロータ表面の
磁束密度
1mT
(10G)以下

脱臭炉



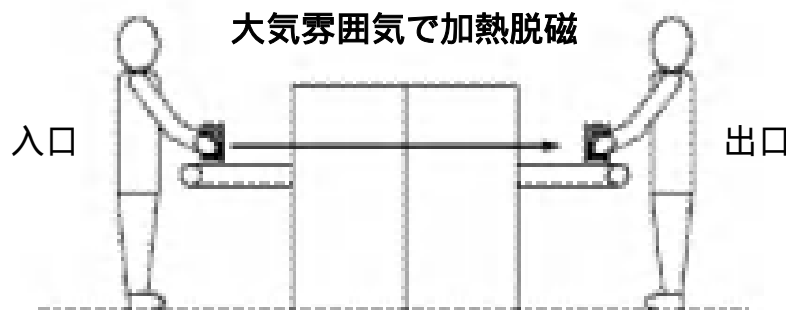
エアコンにおける加熱脱磁方法（熱脱磁方法）

磁石はキュリー温度で磁性を消失：家電製品に使用されているネオジム磁石のキュリー温度は330 ~ 370 程度

加熱脱磁条件：400 に加熱できれば良い（大気雰囲気）

脱臭炉による排ガスの無害化

脱磁前の
ロータ表面の
磁束密度
0.25T
(2500G)

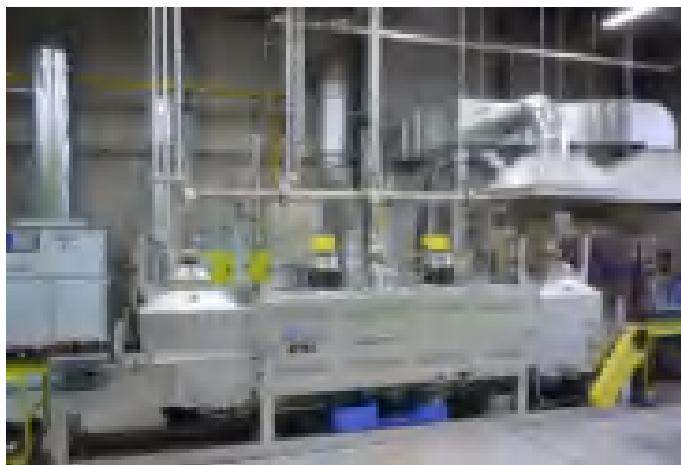
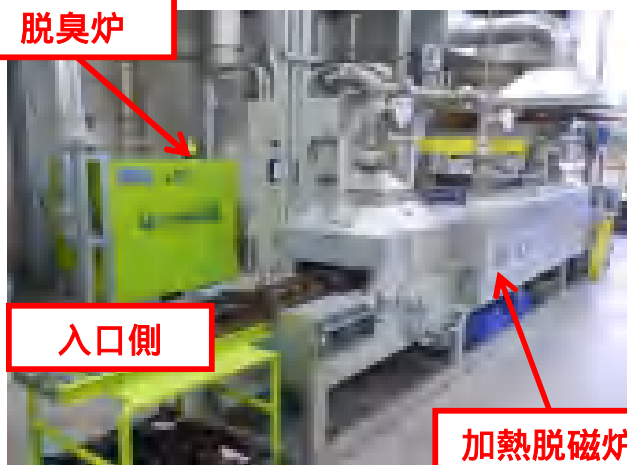


ベルトコンベヤタイプ加熱脱磁炉



脱磁後の
ロータ表面の
磁束密度
1mT
(10G)以下

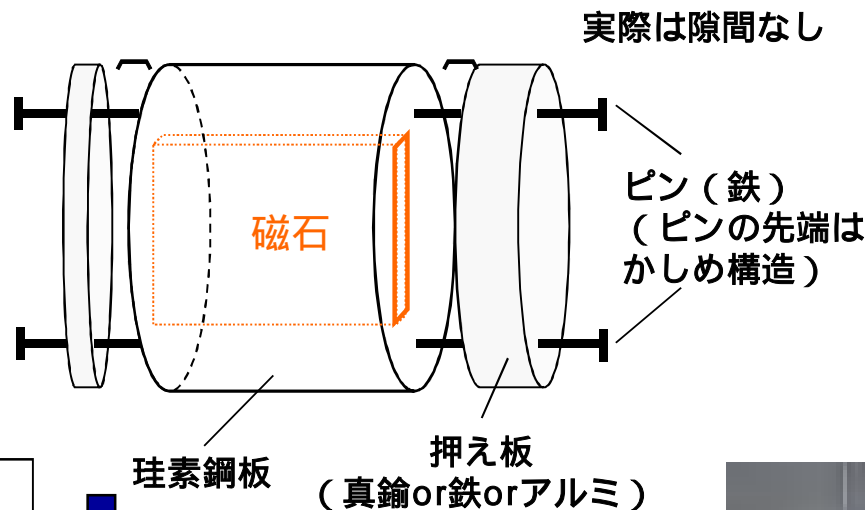
脱臭炉



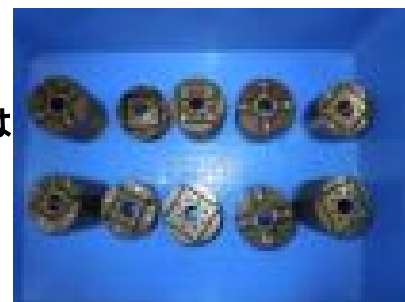
エアコンにおけるロータ分解方法および磁石回収方法



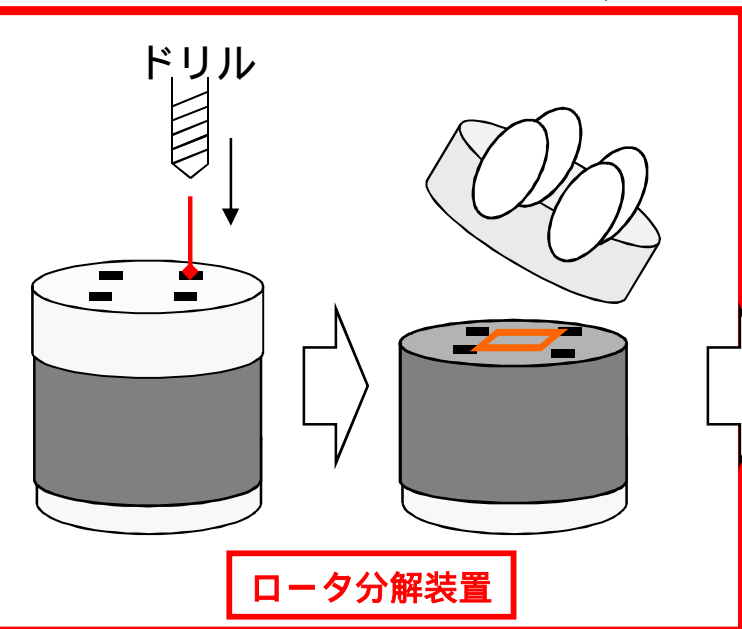
珪素鋼板の溝に板状の磁石が埋め込まれている



回収された珪素鋼板

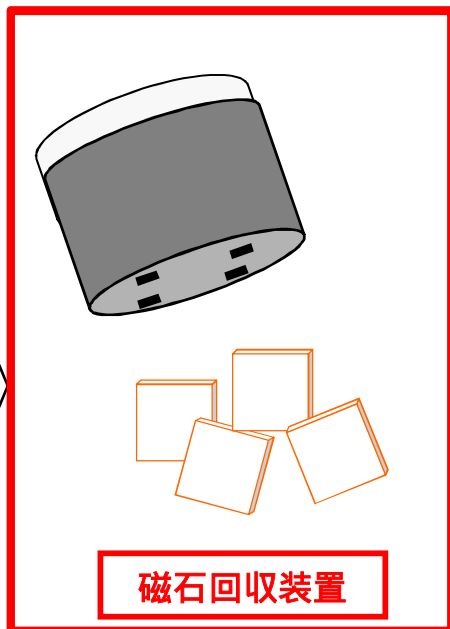


回収されたネオジム磁石



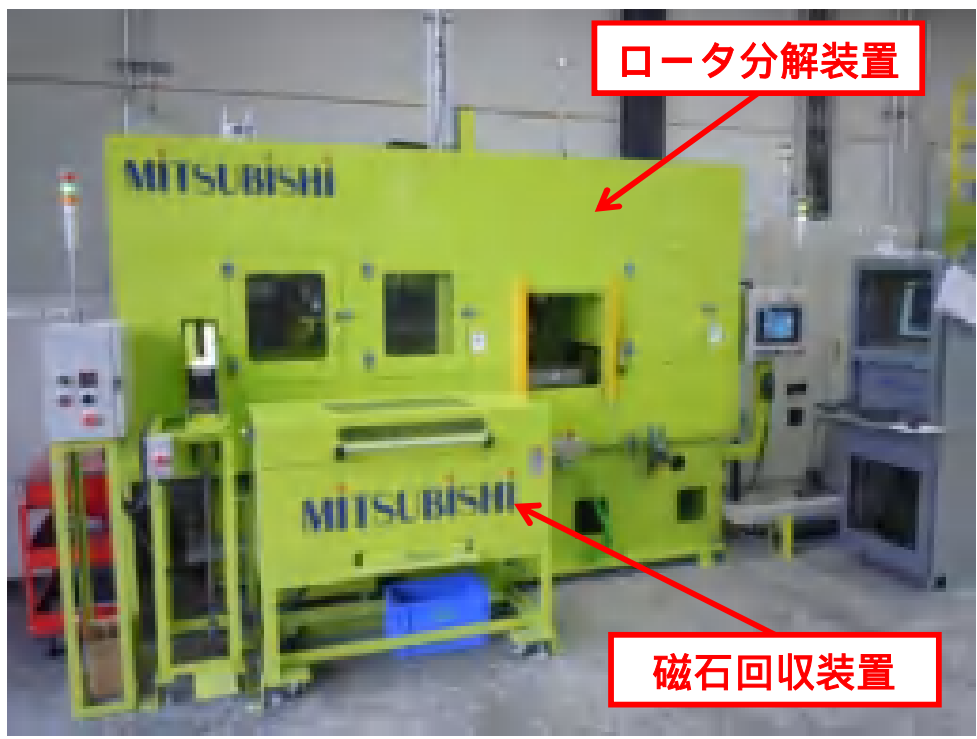
ロータ分解装置

ドリルによるピン切削方法
ピンの先端をドリルで切削、押え板を取外して回収
画像処理技術を導入（ピン位置検出）



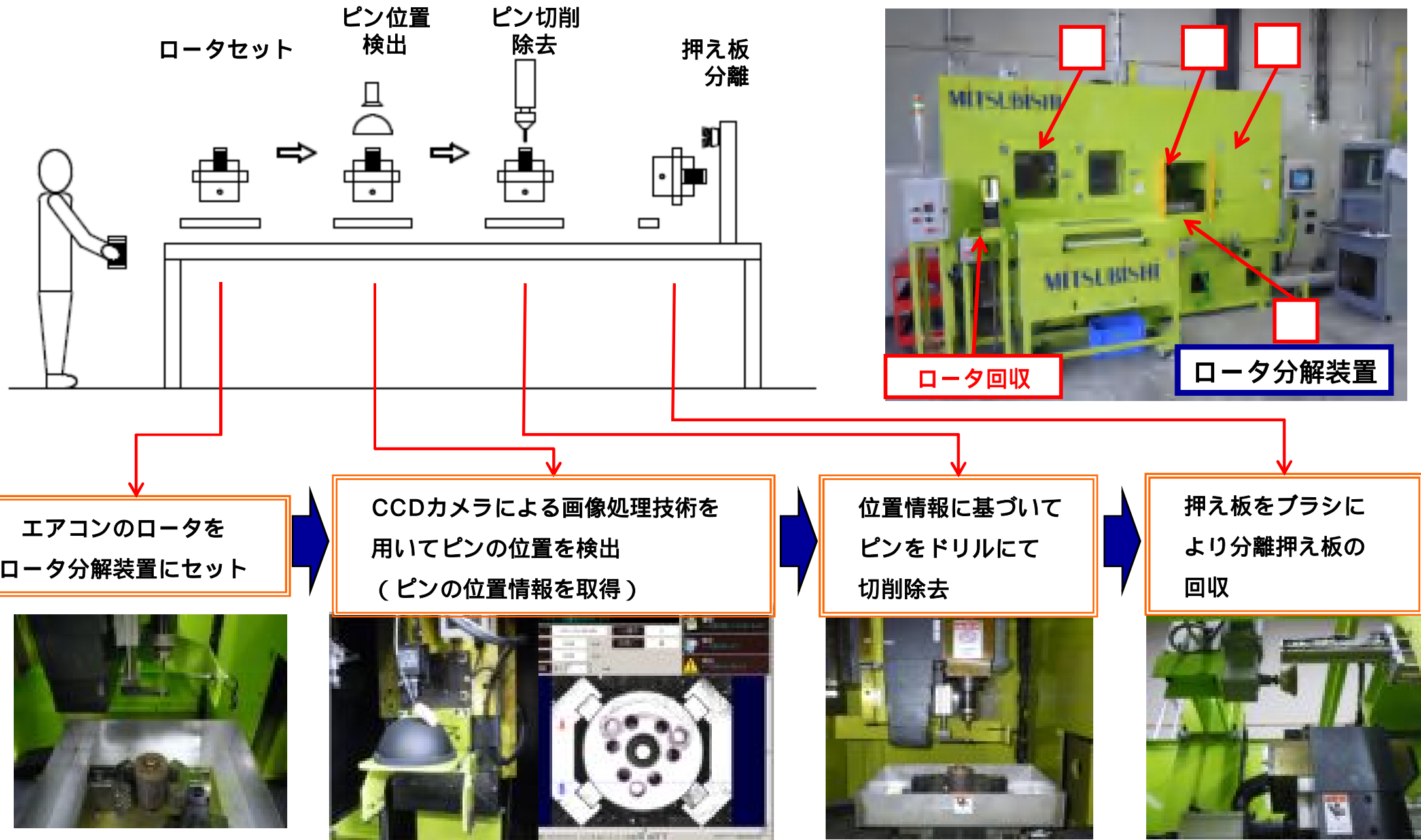
磁石回収装置

振動による磁石回収方法
振動や磁石の自重を利用
珪素鋼板と分離して磁石を回収

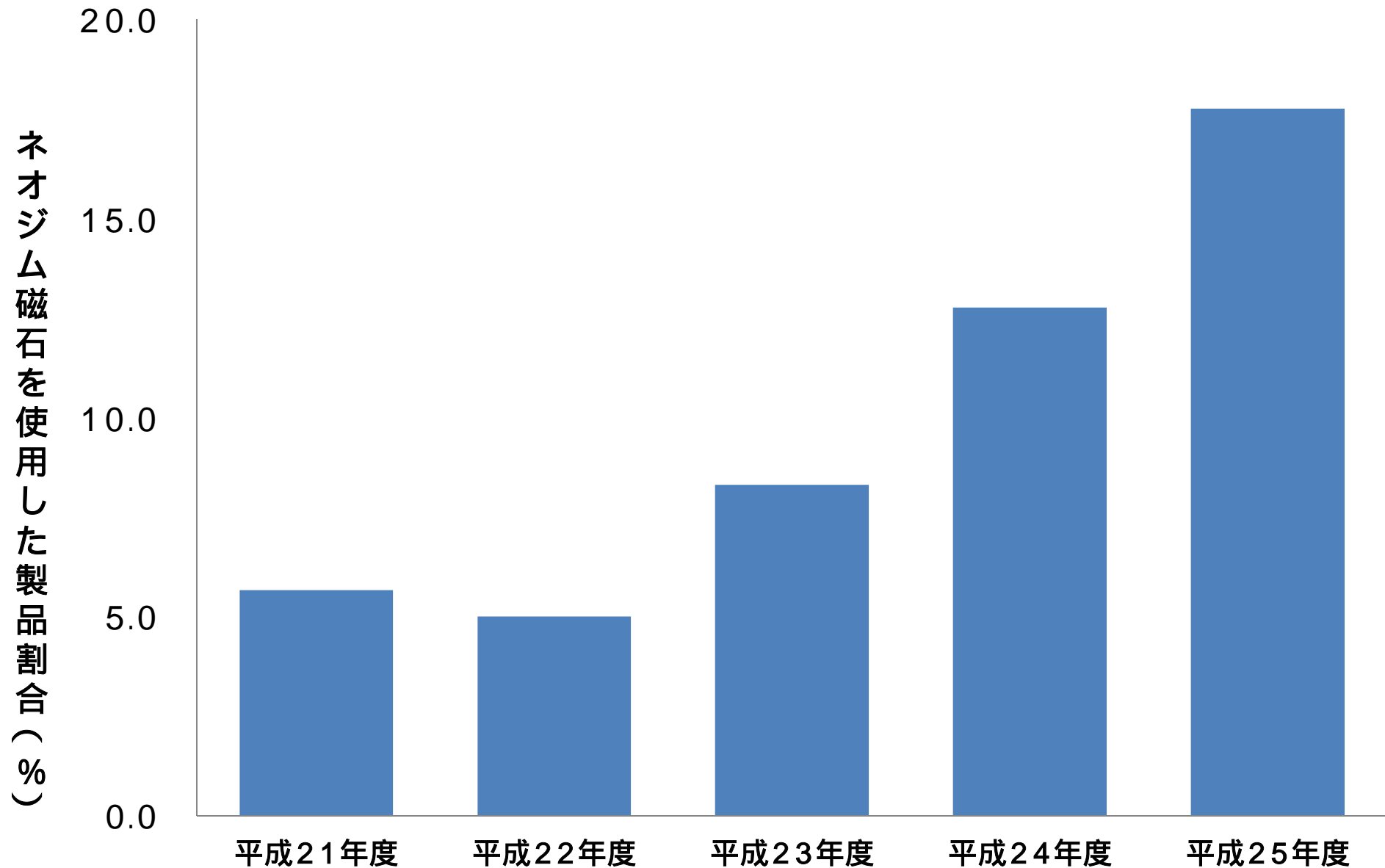


ロータ分解装置・磁石回収装置

エアコンにおけるロータ分解方法（ピン切削方法）



廃エアコンにおけるネオジム磁石使用製品の割合

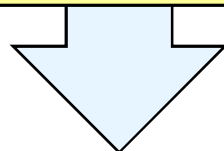


回収量の試算

調査結果より試算した現在のネオジム磁石回収重量
 (平成24年度に全国の家電リサイクル工場でエアコンからネオジム磁石を回収した場合)

	平成24年度 再商品化処理台数 (千台)	ネオジム磁石 使用割合	家電製品 1台当たりの 磁石重量(kg)	平成24年度 回収可能重量(kg) (ネオジム磁石)
エアコン	2,358	12.8%	0.09	27,200

平成20年度の家電製品の国内出荷台数・・・エアコン約7,600千台
 これら製品のネオジム磁石使用比率・・・エアコン60%
 国内出荷から10年後に使用済み家電製品としてリサイクルされる割合
 ・・・・50%～70%と仮定



平成30年度において回収可能なネオジム磁石重量

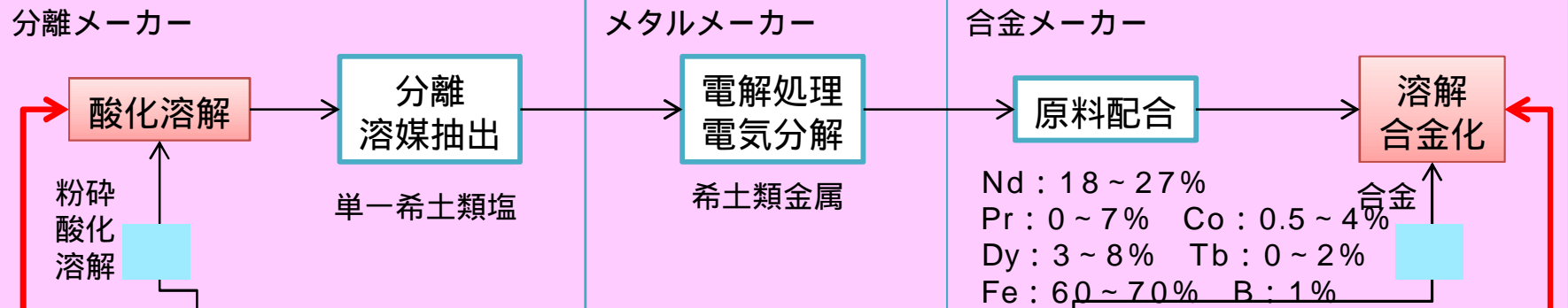
	平成30年度 商品化処理台数 (千台)	ネオジム磁石 使用割合	家電製品 1台当たりの 磁石重量(kg)	平成30年度 回収可能重量(kg) (ネオジム磁石)
70%がリサイクルされる場合	5,320	60%	0.09	287,280
50%がリサイクルされる場合	3,800	60%	0.09	205,200

ネオジム磁石のマテリアルフロー

鉱山メーカー
・精鉱、混合酸化物

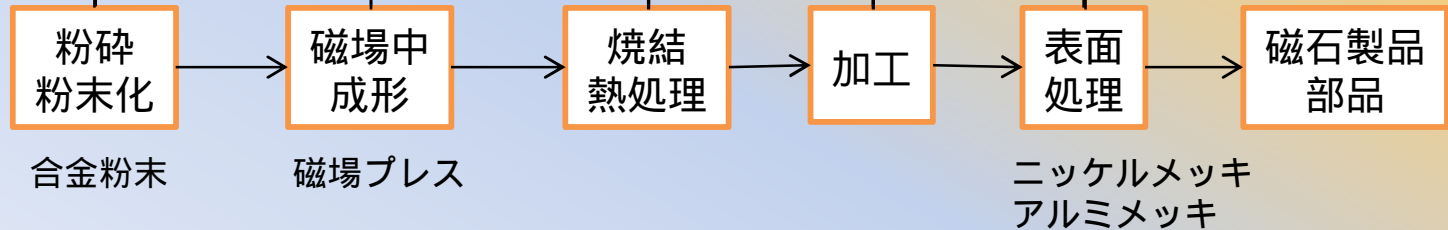


**分離メーカー
メタルメーカー
合金メーカー**
・酸化物分離品
・金属分離品
・磁石合金のフレーク



製造時に発生する希土類磁石のリサイクル（現状実施済み： が主流） 固形、粉状

磁石メーカー
・焼結磁石



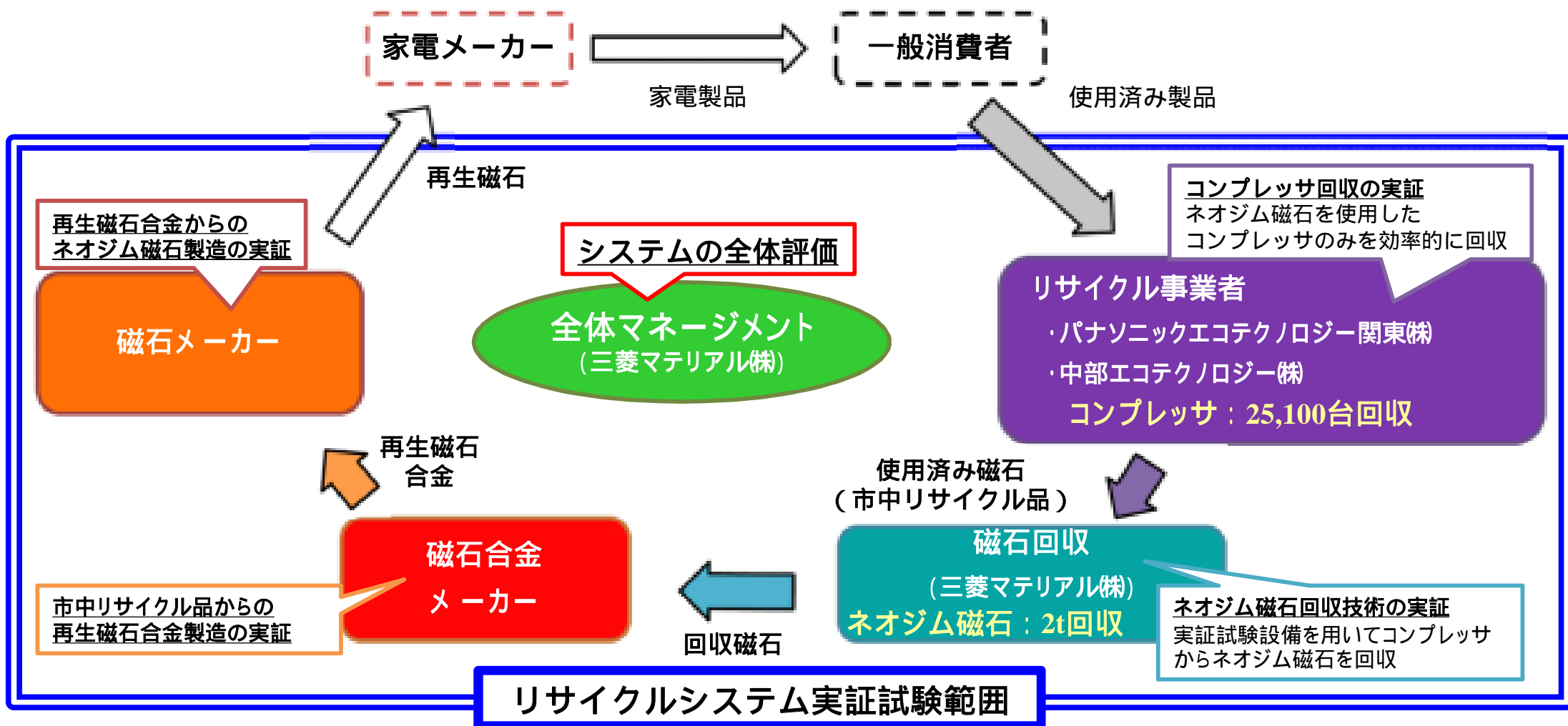
使用済みネオジム磁石の回収
(リサイクル)

リサイクルシステムの構築に向けた取り組み

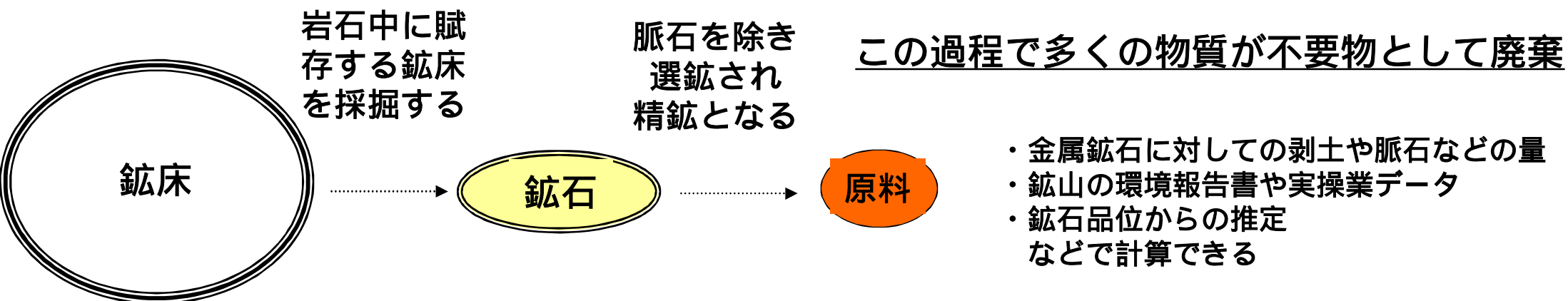
レアアース資源循環の輪を構築するプレーヤー（磁石合金メーカー、磁石メーカー）と協力体制の下

「市中リサイクル品を原料としたネオジム磁石製造のシステム実証」

（経済産業省 平成23年度助成事業を2年間実施）



LCA的な側面（エコリユクサック）



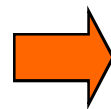
関与物質総量 (TMR : Total Material Requirement) = エコリユクサック

回収した磁石をリサイクルをすると酸化溶解工程からスタートするので「資源採掘」の工程はカットされる

2008年度の国内出荷台数 エアコン：758万台
 ネオジム磁石の使用比率 エアコン：60%と仮定
 10年後に出荷台数の70%がリサイクル



**エコリユクサックを用いて
環境負荷低減効果を試算**



10年後の2018年には
年間約270tの
ネオジム磁石が回収可能

		Fe	Co	Cu	Nd	Dy	Pr	Tb	合計
A	エコリユクサック	8	600	360	3,000	9,000	8,000	30,000	
B	A × 10年後にリサイクル可能な ネオジム磁石重量(組成比率反映)	1,450	3,098	166	191,000	135,000	70,000	8,500	409,200

約41万tの資源をセーブできる

自動車リサイクルへの取り組み

2010年度の次世代（環境対応）自動車（HEV、PHV、EV）保有台数は1,427千台（2.5%）であるが、**2020年には、販売台数で25～45%、保有台数で15%を超える**と予想されている。

（環境省自動車WG2012年2月）



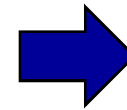
EV車



HV、PHV車



自動車のモータ



ロータからの
ネオジム磁石の回収

ハイブリッド車モータを対象にした
リサイクル設備



自動車の素材の変化

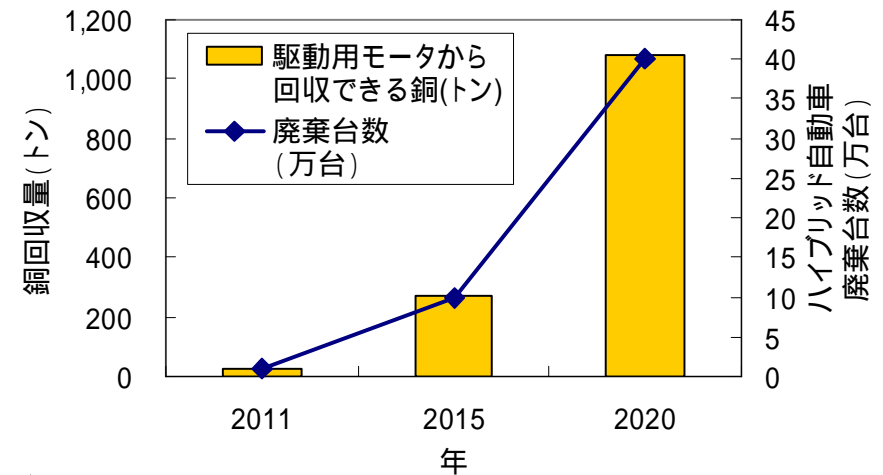
自動車 1 台当たりの構成素材の変化

	普通車	ハイブリッド自動車	電気自動車
銅	約20kg	約30kg	約40kg
基板	エンジン制御用 エアバック制御用 等	駆動モータ制御用 電池制御用等が 増える	HVより 電池制御用が 増える
モータ	小型モータ使用	駆動モータに ネオジウム磁石 を使用	HVより 駆動モータが 大型化
電池	鉛 0.5kWh、12kg	ニッケル水素 1 ~ 1.5kWh、 40kg	リチウムイオン 20kWh、200kg

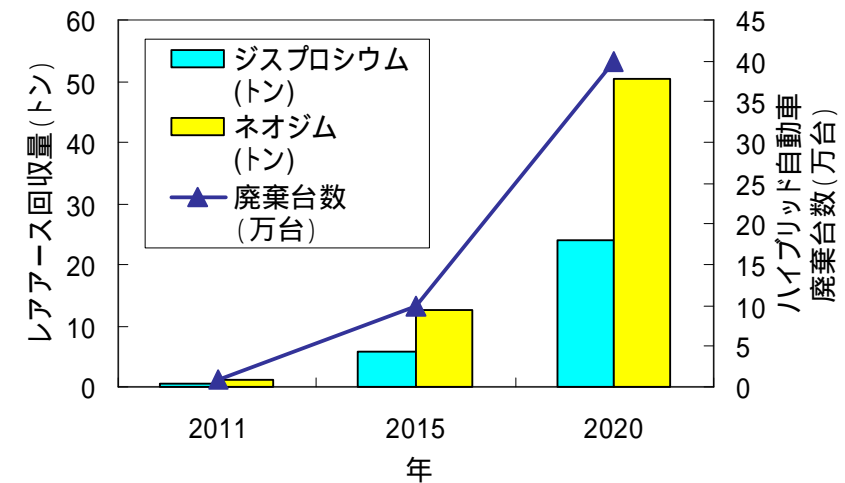
自動車 1 台当たりの使用量を比較すると

銅・基板・モータ・電池はH E V、E Vに多く搭載される

環境対応自動車の普及に伴い資源確保・リサイクルが重要になる



ハイブリッド自動車の廃棄台数と銅回収量の試算



ハイブリッド自動車の廃棄台数とレアアース回収量の試算

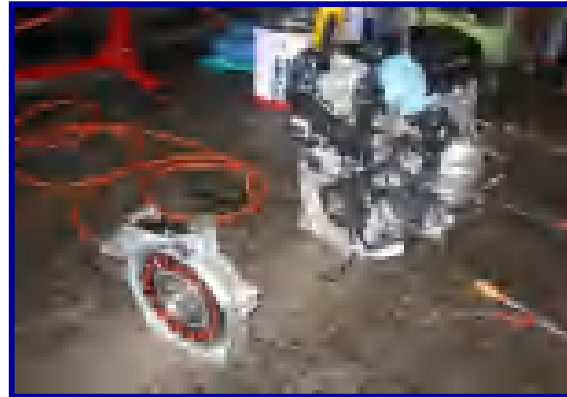
次世代自動車リサイクルへの取り組み（部品）

平成24年度 NEDO助成事業 テーマ「使用済み自動車からの希少金属回収技術開発」で実施中

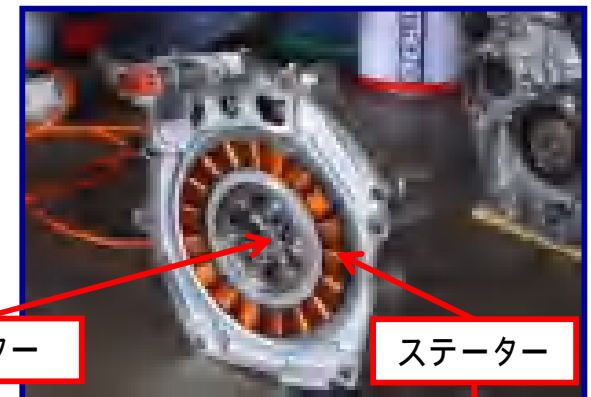
エンジンユニット



モーターの分離



モーター



ローター

ステーター

ローター



ネオジム磁石の回収
レアアース Nd, Dy

ステーター



非鉄金属の回収
アルミニウム Al



非鉄金属の回収
銅 Cu

ネオジム磁石の回収

- ・ 現在、ネオジム磁石が使用されている使用済みのエアコンの比率は十数%に留まるが、今後この比率は増加するため、リサイクルの必要性は高まることが予想される。
- ・ コンプレッサからのネオジム磁石回収においては、ネオジム磁石の判別や磁石を取り出し易くするための製品設計が重要

リサイクル技術

- ・ エアコンのコンプレッサからネオジム磁石を回収できるリサイクルプロセスフローを構築し、実証試験設備（ロータ分離装置、加熱脱磁炉、ロータ分解装置、磁石回収装置）を製作、実証事業を実施し、現在、事業化に向けた取り組みを継続中。

謝辞

本調査研究は、

平成21年度 経済産業省 新資源循環推進事業費補助金「高性能磁石モータ等からのレアアースリサイクル技術開発」

平成22年度 NEDO 国内における資源循環技術開発 低炭素産業を支える製品のリサイクルシステム 「省エネ型家電製品のリサイクル高度化」

平成22年度 NEDO 希少金属代替・削減技術実用化開発助成事業「使用済み家電製品からのネオジム磁石のリサイクル技術実用化開発」

平成23年度 経済産業省 希少金属使用量削減・代替技術開発設備整備費等補助金「市中リサイクル品を原料としたネオジム磁石製造システム実証」

の助成を受けて実施したものである。
ここに謝意を表す。