

特別講演
**使用済み蛍光管からの希土類
蛍光体の回収**
ー物理選別技術のリサイクルへの応用ー

九州大学大学院工学研究院
地球資源システム工学部門

平島 剛

- ・はじめに

- ・ 社会システムにおける資源の流れと選別

- ・ 使用済み蛍光管からの希土類蛍光体の回収

- ・ 背景・目的
- ・ 廃蛍光体試料
- ・ 各種選別方法による高品位化（浮選、重液選別、風力選別、ふるい分けなど）
- ・ まとめ

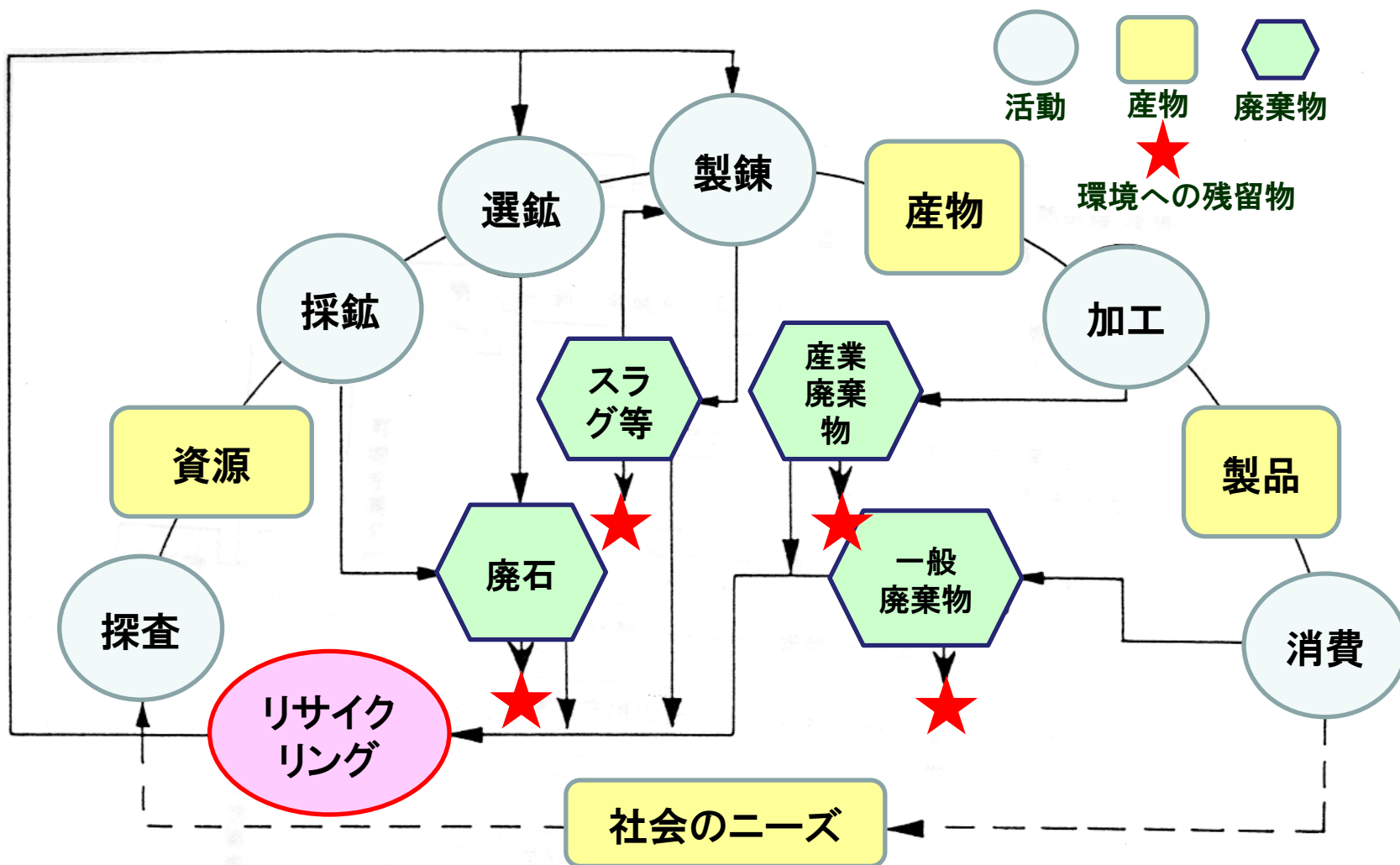
- ・ 物理選別技術のリサイクルへの応用

- ・ 液中造粒法の基礎及び資源循環への応用研究
- ・ 廃コンクリートのリサイクル
- ・ 石炭フライアッシュからの中空球形粒子、未燃カーボンの回収
- ・ 下水汚泥からのリン資源回収
- ・ その他

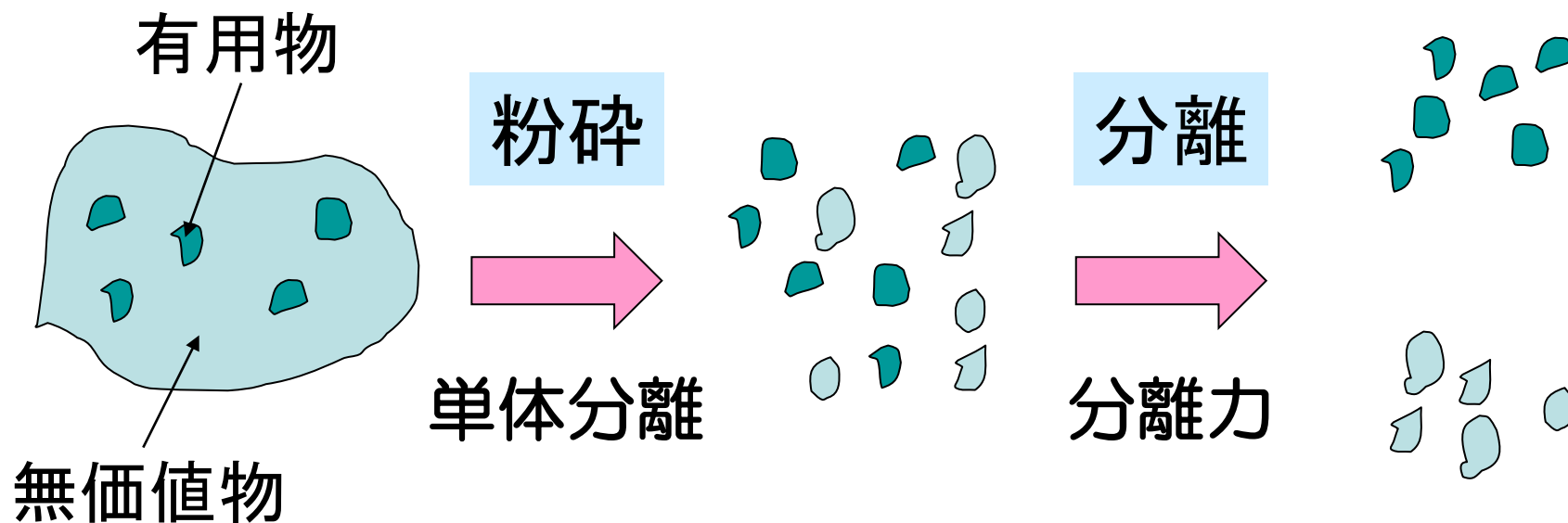
はじめに

－社会システムにおける資源の流れと選別－

3



選別が重要



温故創新

選鉱、選炭技術をリサイクル技術に応用

粒子物性

1. 表面の光学的性質など ...
2. 粉碎性 ...
3. 粒子形状 ...
4. 比重 ...

5. 表面疎水性、親水性 ...
6. 電気伝導性 ...
7. 磁性 ...

選別技術

- 手選、色彩選別、ソーティング
選択粉碎とふるい分け、分級
ふるい分け、分級、形状選別
比重選別

・湿式比重選別

(1)重液選別

(2)ジグ選別

(3)薄流選別

・乾式比重選別

浮選、液中造粒

静電選別、渦電流選別

磁力選別

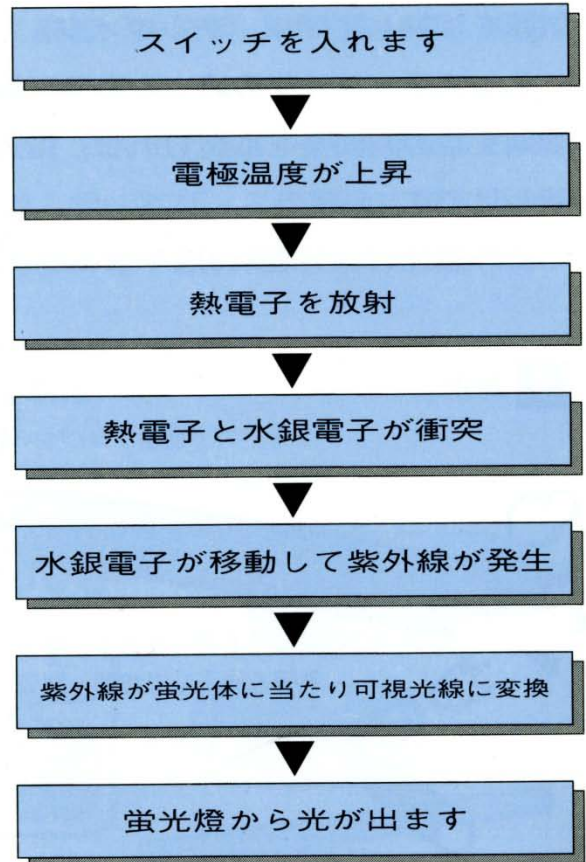
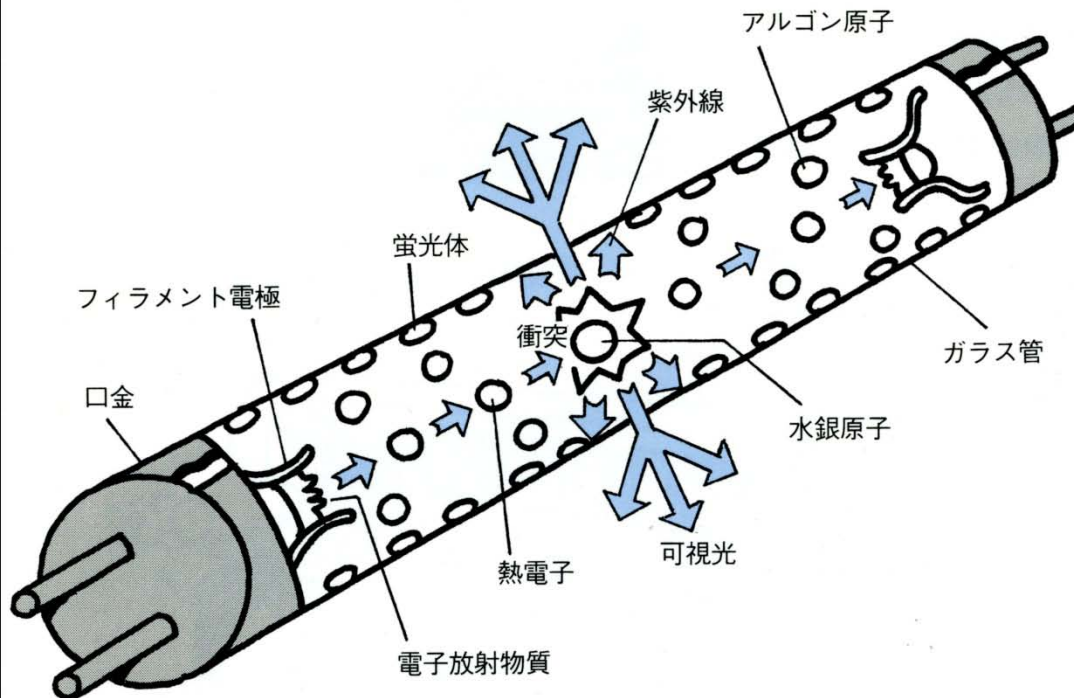
使用済み蛍光管からの 希土類蛍光体の回収

- 三波長蛍光管・・・希土類蛍光体（赤、緑、青色蛍光体）、再資源化賦存量約500t（REOトン/y, 2009年）
- わが国は希土類資源に乏しく、**全量輸入・・・9割以上を中国に依存(2009年)**
- 中国は、世界のレアアース供給の97%を占める
- 福岡県リサイクル総合研究センター：コーディネート
 - ・2010年度 産学官によるレアアース研究会（座長平島）
使用済蛍光管からのレアアースリサイクル事業性調査
 - ・福岡県リサイクル総合研究センターからの九大の受託研究（レアアース成分とそれ以外の成分の分離法に関する研究・・・希土類蛍光体濃縮のための基礎研究と新プロセス、選別法の開発）
 - ・2011年度 福岡県「使用済み蛍光管からのレアアースリサイクル事業化プロジェクト」
(株) ジェイリライツ：蛍光ランプ・リサイクル
日本イットリウム(株)・三井金属鉱業(株)：レアアースの溶解・抽出・精製
九州大学(平島)：蛍光体の高品位化研究

蛍光灯の発光原理

8

[蛍光灯の発光原理]



資料: モノづくり 解体新書 四の巻、日刊工業新聞社

蛍光管用蛍光体

・白色蛍光体

1種類で白色に発光 (化学組成: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2 : \text{Sb}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$)

・三波長型蛍光体

赤色、緑色、青色蛍光体の混合により、白色光を合成

・化学組成 (太字は希土類元素)

赤色蛍光体 $\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Eu}^{3+}$

緑色蛍光体 $\text{LaPO}_4 : \text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ $\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19} : \text{Mn}^{2+}$

青色蛍光体 $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17} : \text{Eu}^{2+}$ $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba})_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2 : \text{Eu}^{2+}$

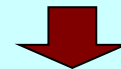
希土類元素を多く含む
希土類蛍光体



紫外線照射時の各蛍光体の発光

・三波長型蛍光管

白色蛍光体が使用されている従来型蛍光管と比べ
高演色、省エネルギー性に優れる



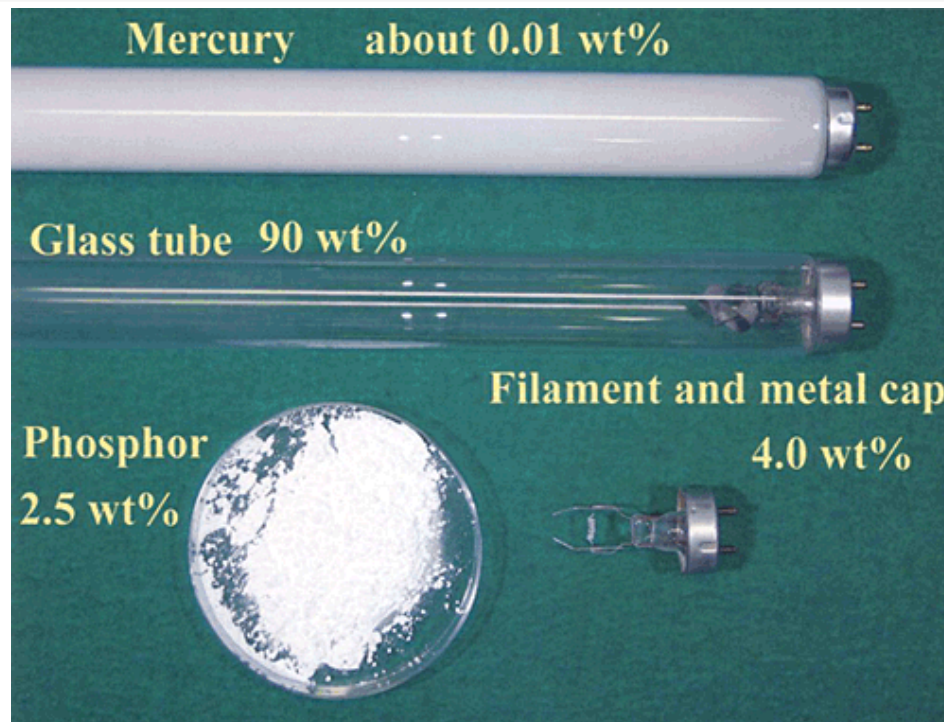
従来型蛍光管に代替する形で需要が増加傾向

廃蛍光管

10

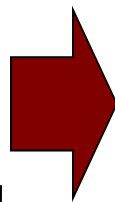


事業所に集荷される廃蛍光管



廃蛍光体

- ・希土類蛍光体
- ・白色蛍光体
- ・ガラス等不純物



リサイクルの課題

低コストで希土類元素を高品位に濃縮

廃蛍光管



埋立処分

水銀処理設備のある事業所において処理

○ガラス、水銀はリサイクルされているものの蛍光体は
ほとんどリサイクルされていない

ジェイリライツ・・・日本で初めて再生原料を使用した
蛍光管販売

よかランプ(ジェイリライツ)
ラピッドスタート直管 40形



日本初の再生原料(蛍光体・ガラス)を使用した蛍光ランプ。

混合蛍光体の
リサイクル

：希土類蛍光体の濃縮→溶媒抽出等による分離精製

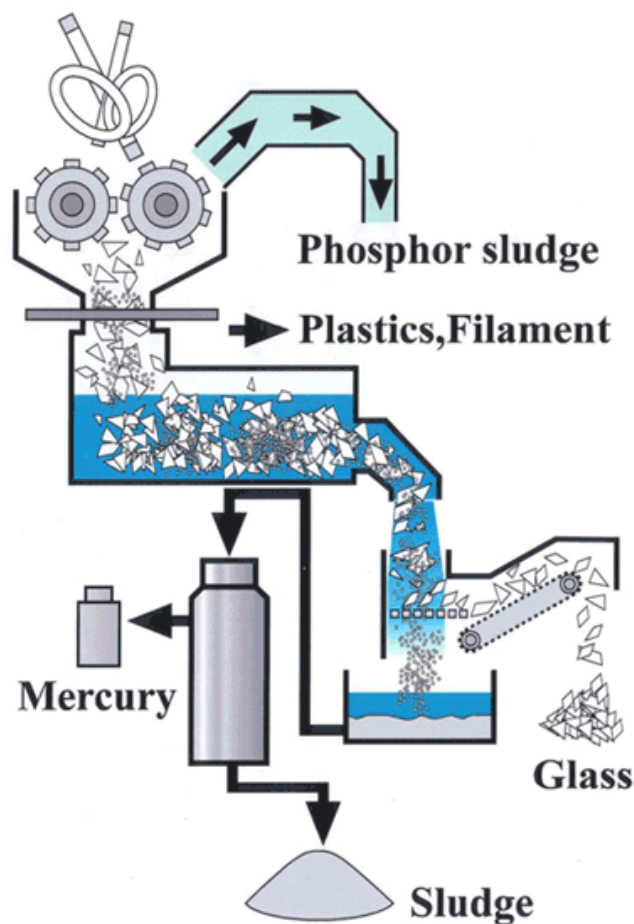
コストは廃蛍光体中の希土類元素の品位に大きく依存



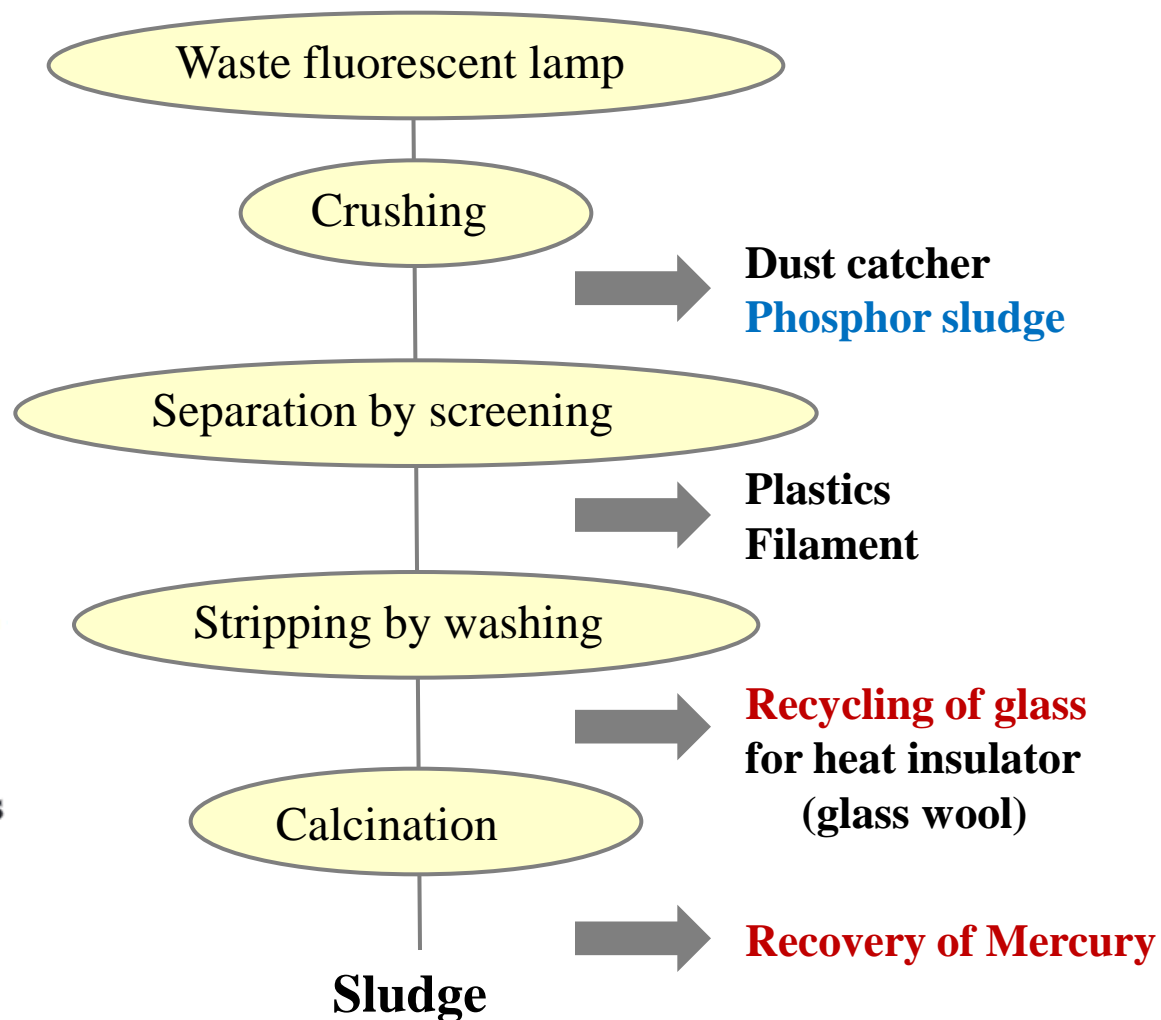
廃蛍光体の基礎性状の把握、希土類元素を安価に分離・濃縮する方法の検討

廃蛍光管処理プロセス例

12



野村興産(株)イトムカ鉱業所



資料提供: 高橋徹ら、平成21年5月28日、希土類学会発表資料

廃蛍光体試料

13

2010年A社

水銀除去後の廃蛍光体試料の蛍光X線分析(酸化物換算 wt%)

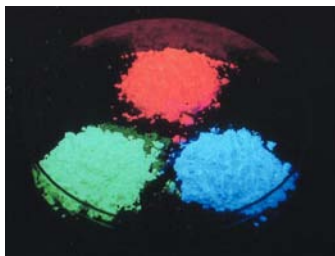
2000年B社

CaO	26.10	P ₂ O ₅	22.20	Y ₂ O ₃	14.50
La ₂ O ₃	5.40	SrO	3.70	CeO ₂	2.78
BaO	1.98	Tb ₄ O ₇	1.45	Eu ₂ O ₃	1.21
Sb ₂ O ₃	0.36	others	20.32		

CaO	55.00	P ₂ O ₅	22.20	Y ₂ O ₃	8.10
La ₂ O ₃	2.00	SrO	3.90	CeO ₂	0.95
BaO	1.10	Tb ₄ O ₇	0.59	Eu ₂ O ₃	0.48
Sb ₂ O ₃	1.10	others	4.58		

レアアース合計品位 25.34 % (酸化物換算 wt%)

レアアース合計品位 12.12 % (酸化物換算 wt%)



各蛍光体の化学組成

白色: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2 : \text{Sb}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$

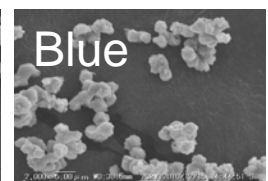
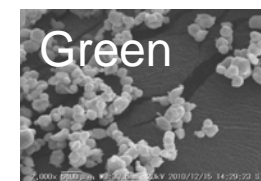
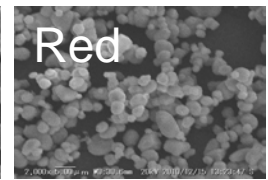
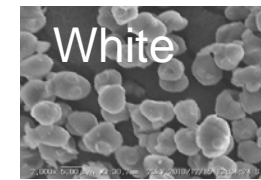
青色: $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17} : \text{Eu}^{2+}$

青色: $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba})_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2 : \text{Eu}^{2+}$

緑色: $\text{LaPO}_4 : \text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$

緑色: $\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19} : \text{Mn}^{2+}$

赤色: $\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Eu}^{3+}$



各蛍光体の元素組成

14

T社より入手した白、赤、緑、青色蛍光体、および蛍光管ガラスの粉碎物を蛍光X線分析

表 各蛍光体および蛍光管ガラスの蛍光x線分析結果(酸化物換算wt%)

White Phosphor		Red Phosphor		Green Phosphor		Blue Phosphor		Glass	
CaO	57.6	Y ₂ O ₃	92.1	La ₂ O ₃	42.9	Al ₂ O ₃	70.9	SiO ₂	72.6
P ₂ O ₅	39.5	Eu ₂ O ₃	7.59	P ₂ O ₅	25.6	BaO	18.7	Na ₂ O	12.8
MnO	1.57	Others	0.31	CeO ₂	19.8	Eu ₂ O ₃	5.45	CaO	7.51
Sb ₂ O ₃	0.565			Tb ₄ O ₇	10.7	MgO	4.61	MgO	3.17
Cl	0.484			MgO	0.681	Others	0.34	Al ₂ O ₃	2.01
Others	0.281			Others	0.319			K ₂ O	1.45
								Sb ₂ O ₃	0.142
								Fe ₂ O ₃	0.132
								Others	0.186

白色蛍光体は、カルシウム(Ca)、リン(P)が主成分

赤色蛍光体には、イットリウム(Y)、ユーロピウム(Eu)

緑色蛍光体には、ランタン(La)、セリウム(Ce)、テルビウム(Tb)

青色蛍光体には、ユーロピウム(Eu)

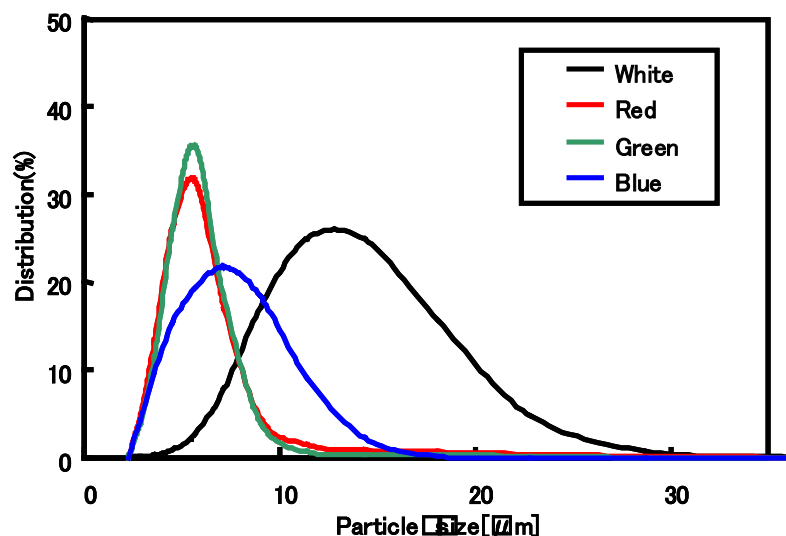
特に赤色蛍光体、緑色蛍光体の希土類元素の品位は非常に高い

各種選別法による希土類蛍光体の分離・濃縮

15

表 各蛍光体の平均粒子径、
比重、粒子1個の終末沈降速度

	平均粒子径[μm]	比重	終末沈降速度[m/s]
廃蛍光体	7.76	3.34	
白(一般系)	13.42	3.07	20.2×10^{-5}
赤(希土類)	4.72	5.12	4.98×10^{-5}
緑(希土類)	3.72	5.23	3.17×10^{-5}
青(希土類)	5.18	4.34	4.86×10^{-5}



各蛍光体の頻度分布

各種選別法による希土類蛍光体の回収

表面ぬれ性の差を利用

・浮選

粒径及び沈降速度差を利用

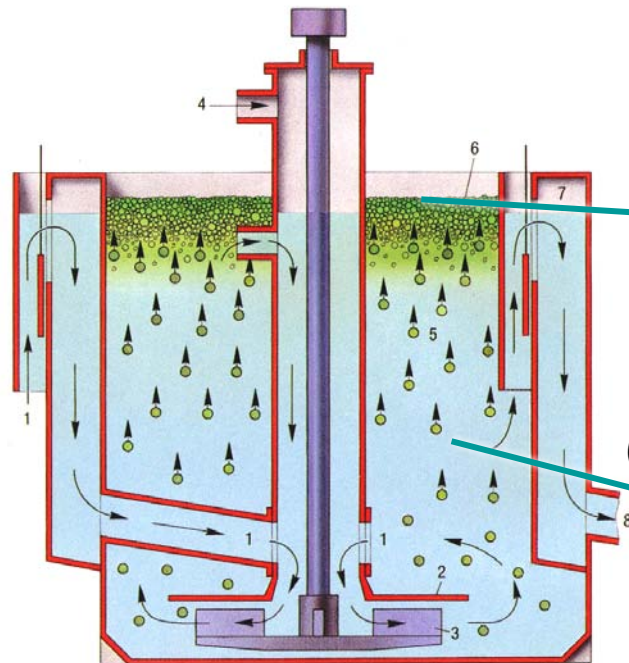
・ふるい分け、乾式分級(ターボプレックス)、湿式分級(湿式サイクロン)
・薄流選別(Multi-Gravity Separator (MGS))

比重差を利用

・重液選別

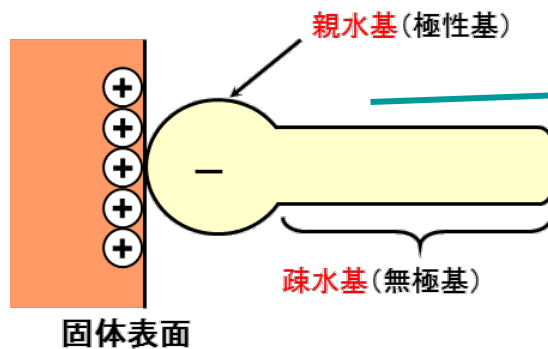
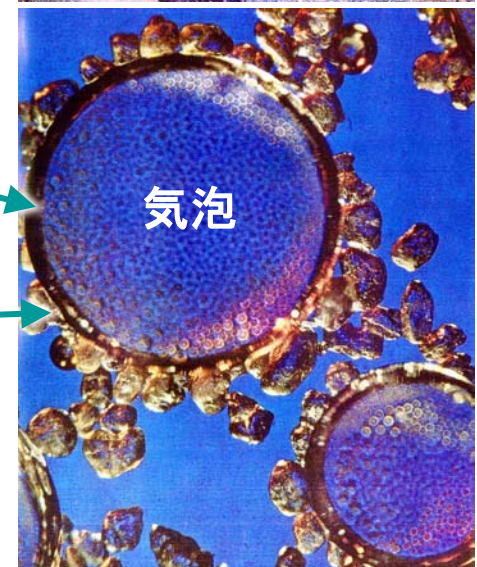
浮選とは

16



泡沫層によるさらなる選別

気泡と固体粒子
(疎水性粒子)の選択的付着



浮選実験

17

1. 市販の蛍光体試料それぞれについて浮選（単独系）
2. 蛍光体を白85%、赤5%、緑5%、青5%の割合で混合した試料および実試料を用い、浮選（混合系）

[試薬]

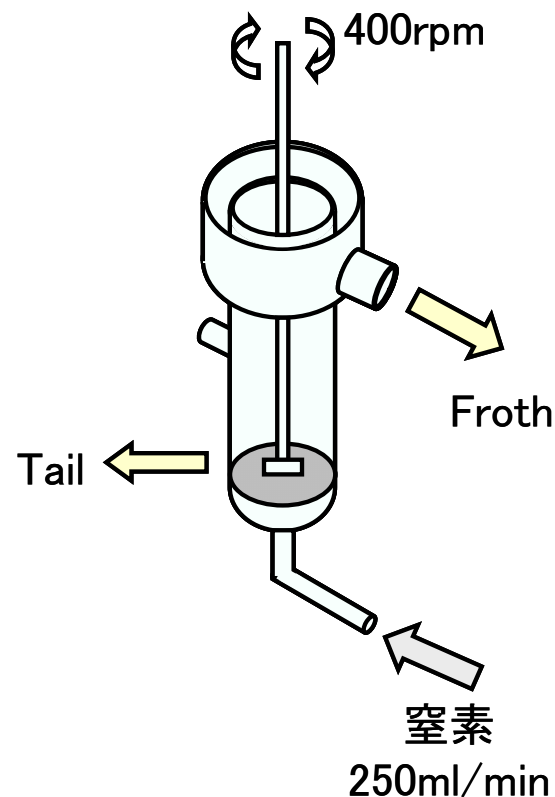
陽イオン性捕収剤

ドデシルアンモニウムアセテート (DAA)
 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+\text{CH}_3\text{COO}^-$

陰イオン性捕収剤

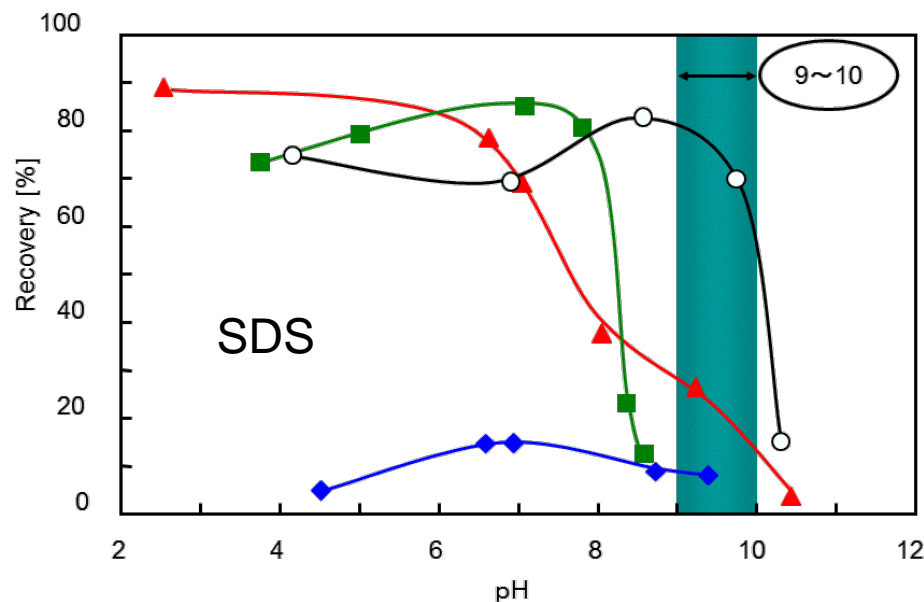
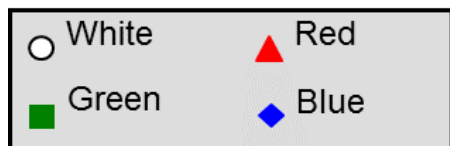
ドデシル硫酸ナトリウム (SDS)
 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3^-\text{Na}^+$

pH調節はHClおよびNaOHで行った

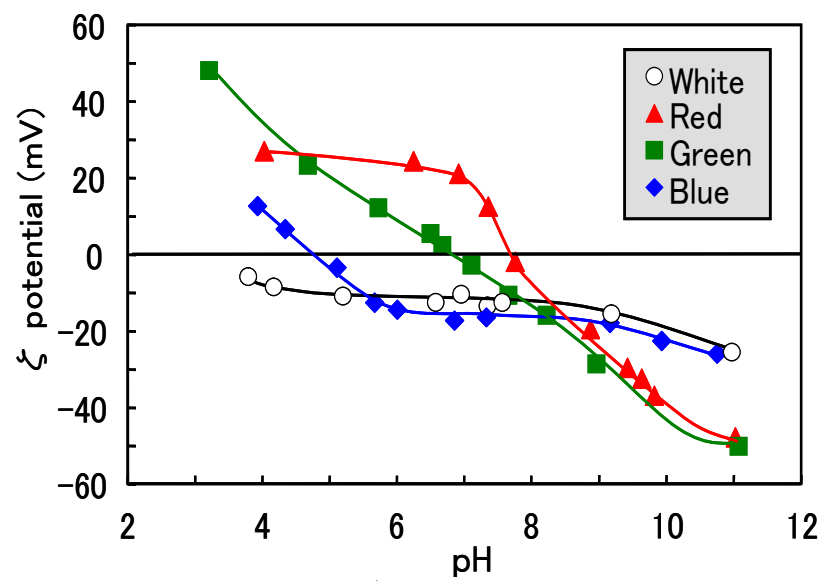


SDS 浮選結果

18



pHと浮遊率との関係



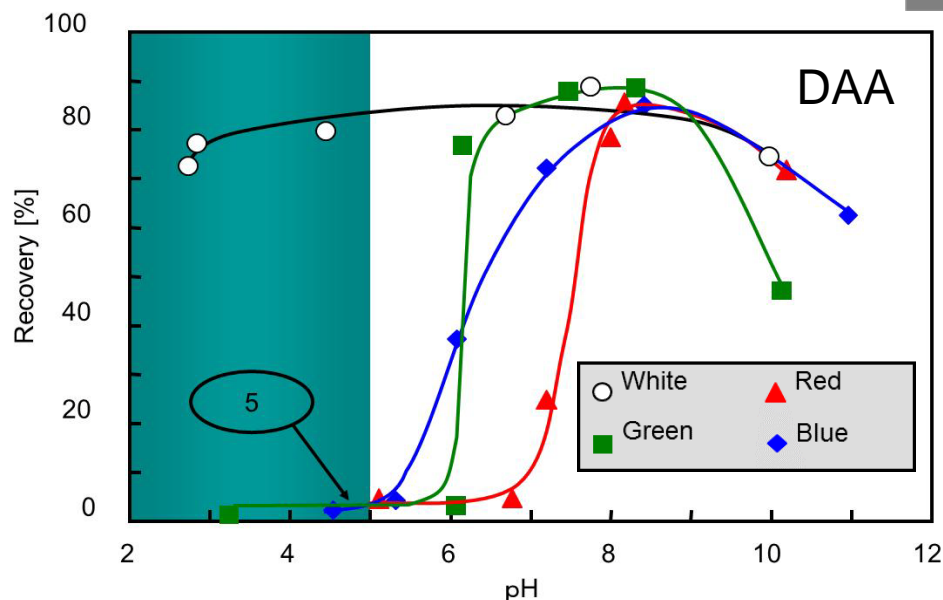
pHとゼータ電位の関係

pH9~10で分離が可能

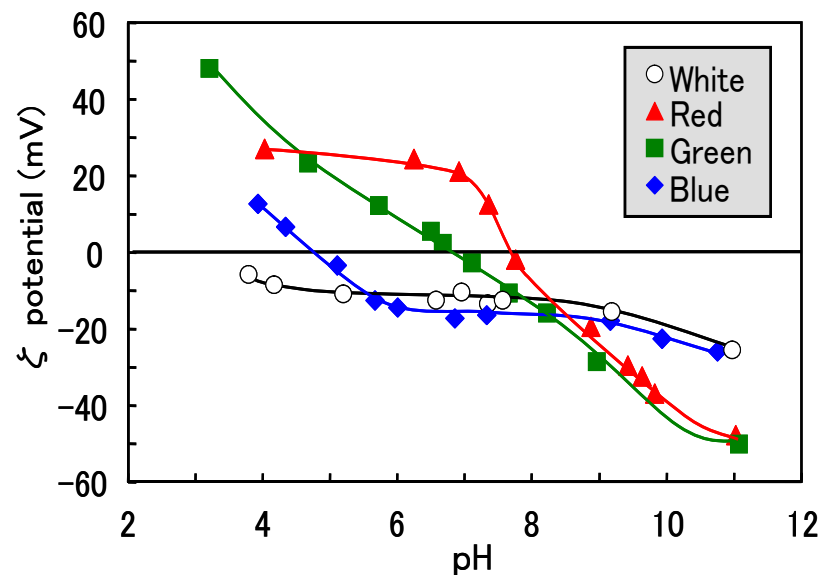
DAA 浮選結果

19

pH5以下で分離が可能



pHと浮遊率との関係

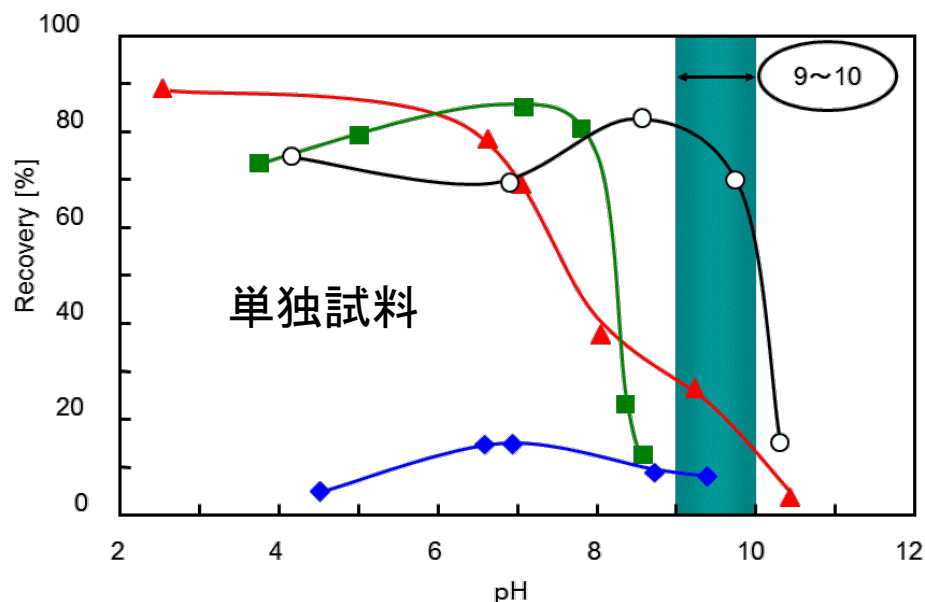


pHとゼータ電位との関係

- ・陽イオン性捕収剤(DAA)によりゼータ電位負の領域で蛍光体は疎水化
- ・希土類蛍光体は等電点より低いpHで正に帯電しているため親水化
- ・pH5以下で分離の可能性有・・・青色蛍光体は溶解

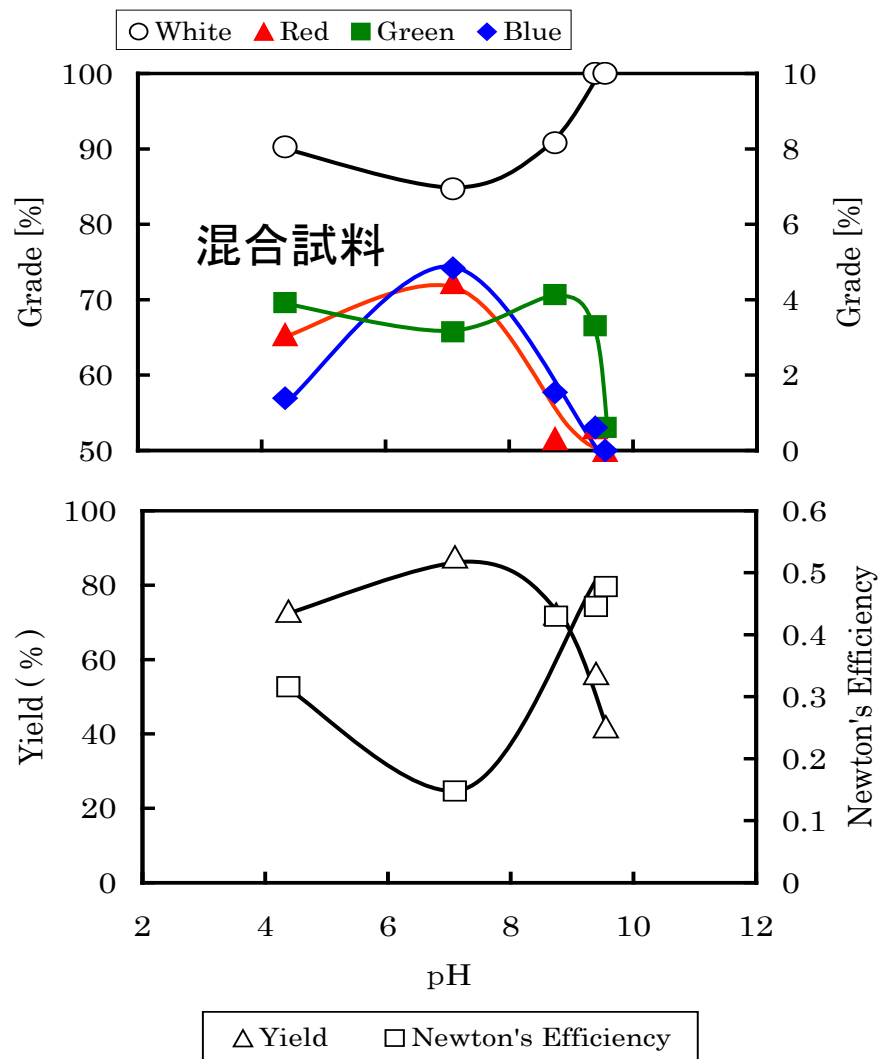
混合および単独試料の浮選結果（SDS）

20



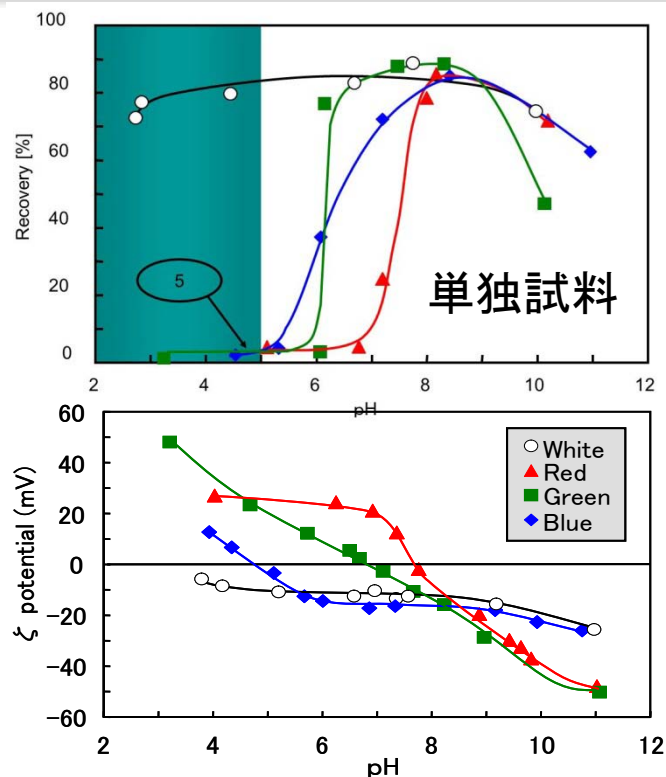
pH9.6では白色蛍光体をフロス産物として回収し、希土類蛍光体をテールに濃縮可能

・SDS・・・pH9.6でニュートン効率 0.48



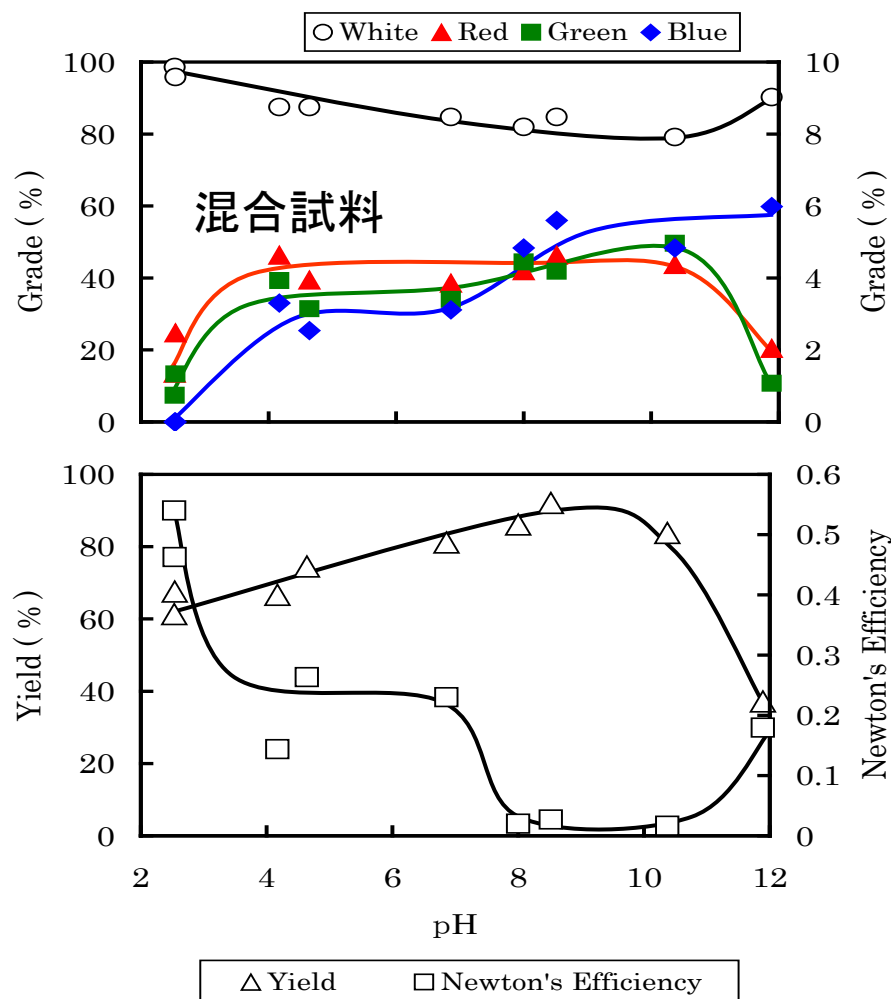
混合および単独試料の浮選結果（DAA）

21



pH2.5では白色蛍光体をフロス産物として回収し、希土類蛍光体をテールに濃縮可能、ただし青色は溶解

・DAA・・・pH2.5以下でニュートン効率0.54



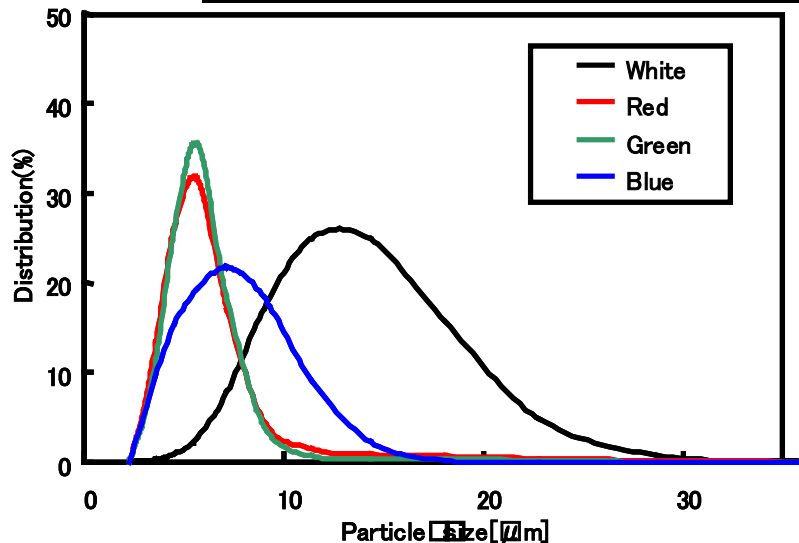
沈降速度差を利用した選別

(重液選別、乾式分級、湿式分級、薄流選別)

22

各蛍光体の平均粒子径,比重,粒子1個の終末沈降速度

	平均粒子径[μm]	比重	終末沈降速度[m/s]
廃蛍光体	7.76	3.34	
白(一般系)	13.42	3.07	20.2×10^{-5}
赤(希土類)	4.72	5.12	4.98×10^{-5}
緑(希土類)	3.72	5.23	3.17×10^{-5}
青(希土類)	5.18	4.34	4.86×10^{-5}



各蛍光体の頻度分布

分級などにより濃縮は可能、ただし、
ニュートン効率は、乾式分級で0.34程度

原因: 粒度分布が重なる

しかし、**比重には、差がある**



重液選別

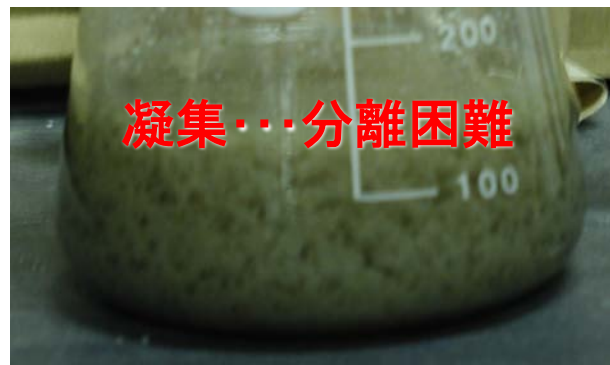
重液選別

23

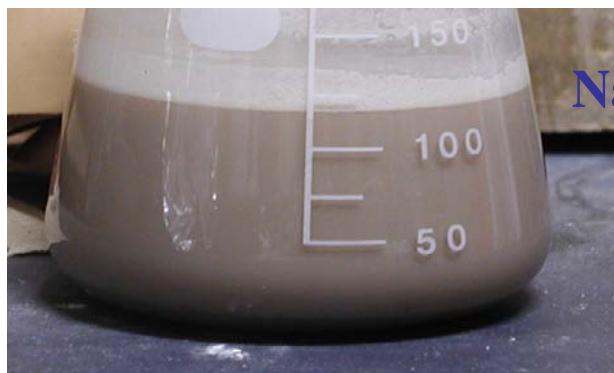


静置直後の懸濁液の状態

NaOH 未処理



静置1分後の懸濁液の状態



静置直後の懸濁液の状態

NaOH $5 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$



静置1分後の懸濁液の状態

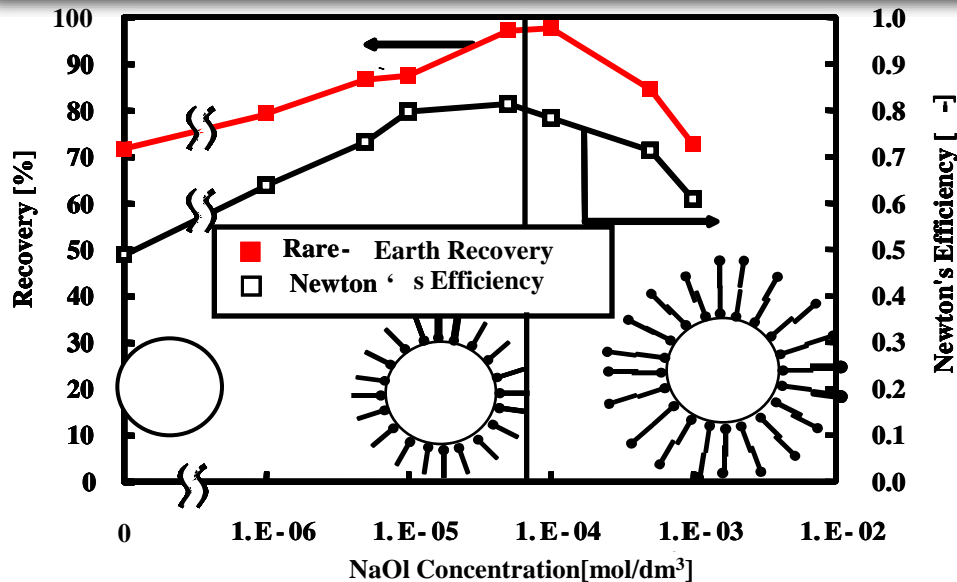


遠心分離 (15000rpm 10min)

ジヨードメタン (比重3.3)

NaOH処理濃度の影響 — 重液選別 —

24

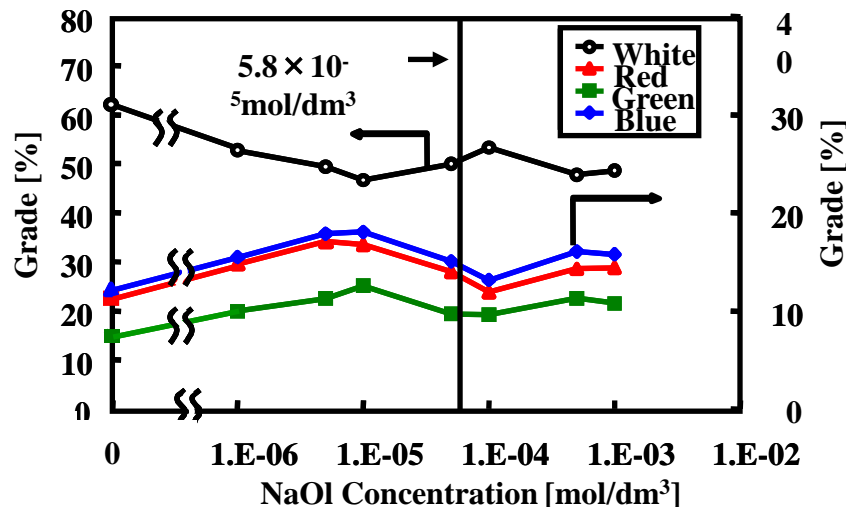
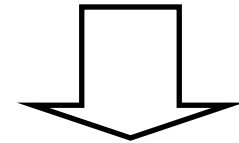


NaOH未処理

ニュートン効率 0.49

希土類蛍光体合計品位 30.7%

希土類蛍光体回収率 71.6%



NaOH処理濃度 $5 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$

ニュートン効率 0.81

希土類蛍光体合計品位 38.7%

希土類蛍光体回収率 97.3%

遠心式風力選別機

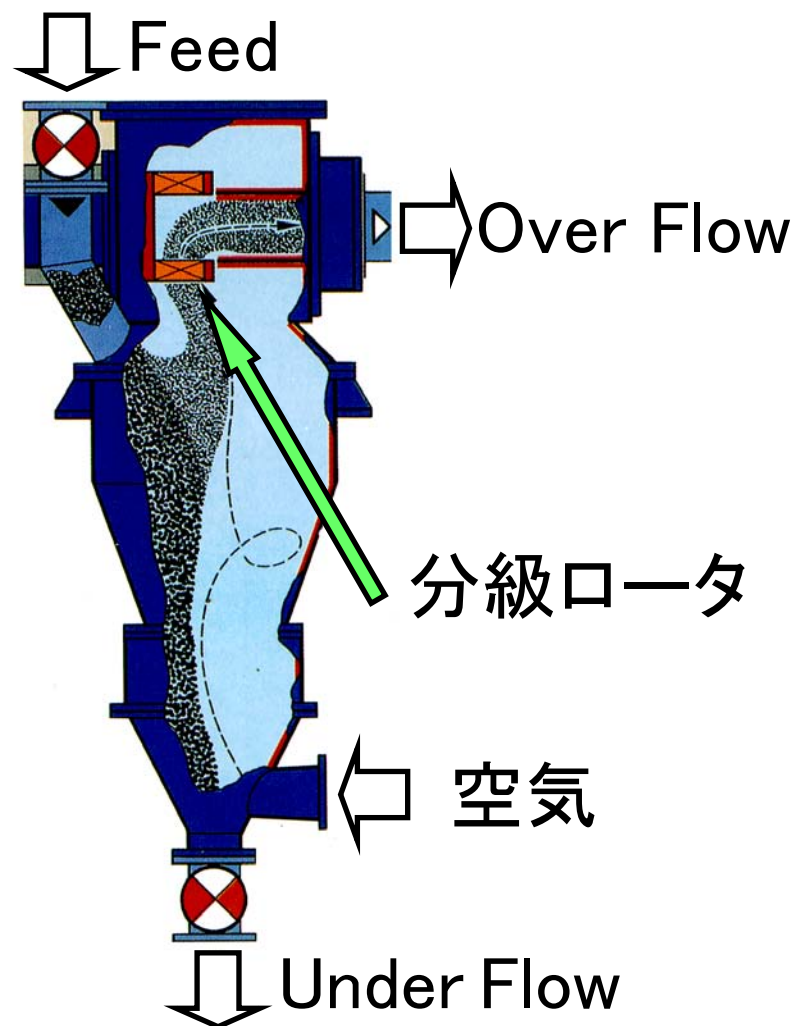
ターボプレックス 50ATP

・ホソカワミクロン社製

Feed速度

空気流量

ローター回転数



湿式サイクロン分級

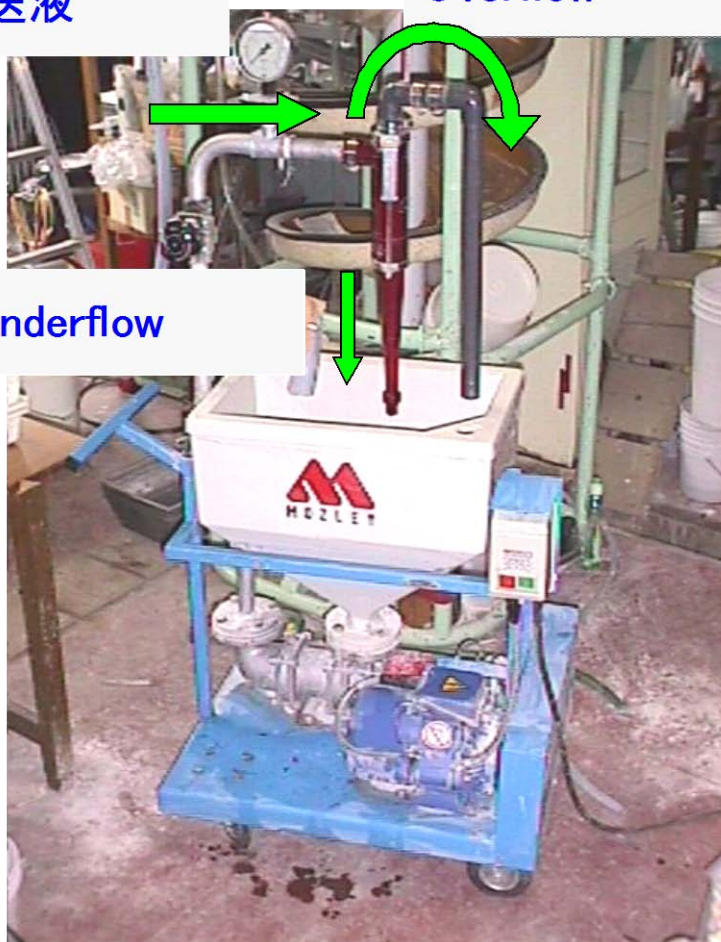
26

0.34 MPa

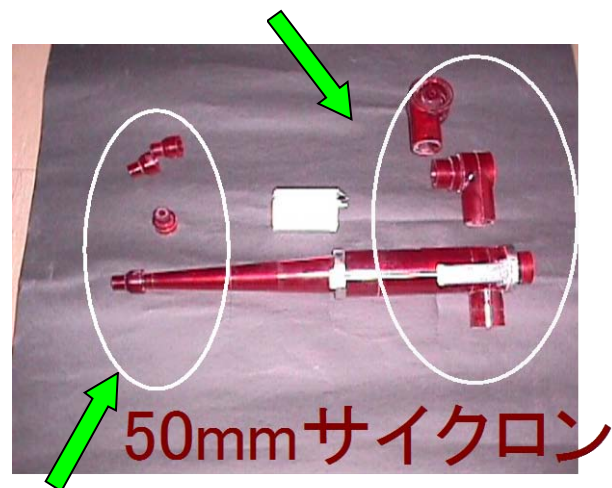
で送液

Overflow

Underflow



Vortex finder Cap径
(VC径) (14、11、8.0 mm)



Spigot Cap径
(SC径) (9.4、6.4、4.5、3.2mm)

Flowing-film Concentration

Multi-Gravity Separator (MGS) Richard Mozley Limited, of Britain

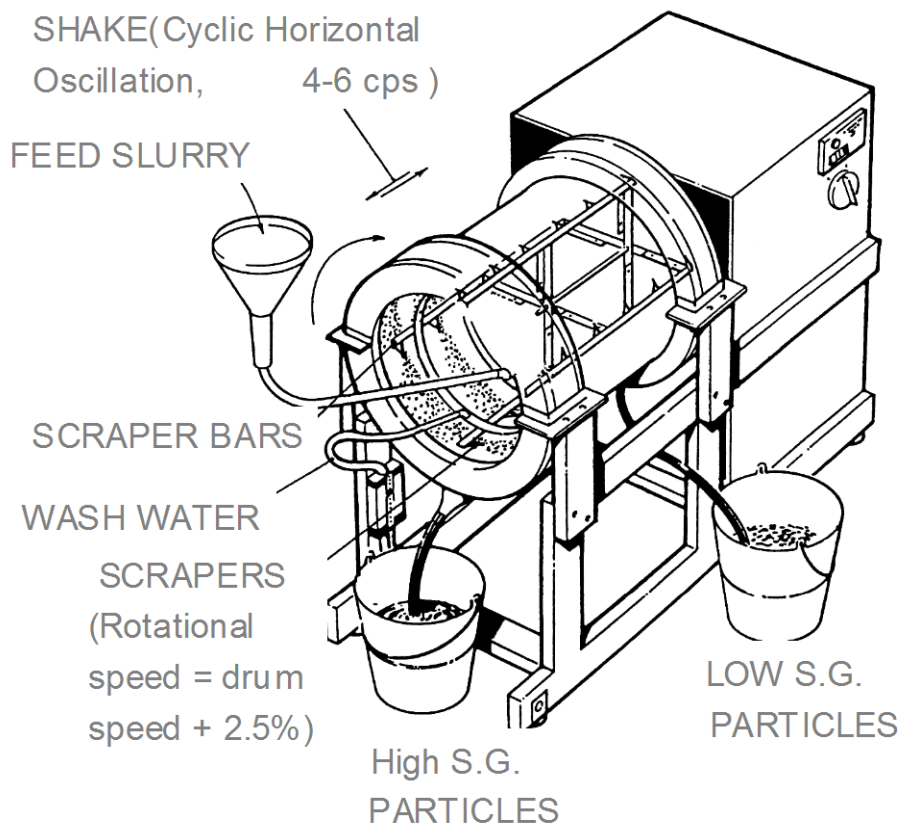


Fig. Pilot-scale MGS

DIMENSIONS	cm
Length	: 165
Height	: 110
Width	: 71

ニュートン効率最大時の選別試験結果

28

	Newton's Efficiency[-]	Grade [%]	Rare-Earth Recovery [%]
Air Classifier(Turbo Plex)	0.34	33.6	55.4
Hydrocyclone	0.15	22.9	45.5
MGS	0.09	21.0	55.3
Heavy Liquid	0.49	30.7	71.6
2satge Flotation (SDS)	0.28	26	66.8
Heavy Liquid(NaOl)	0.84	48.6	97.3

実試料: 白、赤、青、緑色蛍光体の概算蛍光体品位はそれぞれ79.0%、6.2%、4.2%、5.6% (12.1 wt%REO)

廃蛍光体から希土類蛍光体を分離・濃縮するためには

- ・疎水化処理後に重液選別を行う場合が最も選別成績は良い。
- ・排水処理などを行わないで安価に濃縮するためには風力分級機による選別が良い。

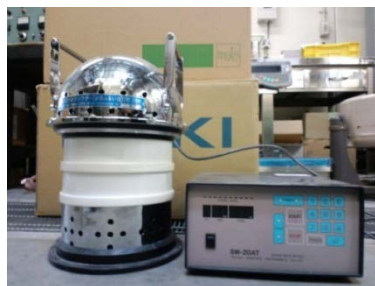
ふるい分けおよび風力分級試験

29

実験試料および装置

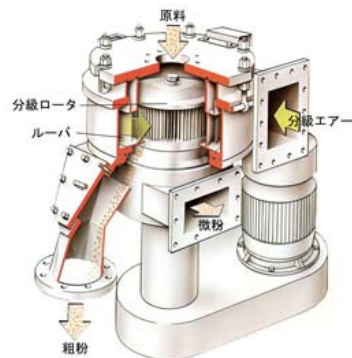
・廃蛍光体試料1

蛍光管処理工場のバグフィルターにより回収された蛍光体
REO品位(酸化物換算の希土類元素の合計品位)
は約25wt%



音波ふるい機

(筒井理化学器械社製 SW-20AT)



遠心式風力分級

(ホソカワミクロン社製 200TSP)

・廃蛍光体試料2

総重量の90%以上がガラス片(ガラス片の粒径は
数 μm ~数mmと様々)を含む試料

REO品位(酸化物換算の希土類元素の合計品位)
は0.75wt%



振動ふるい機

(フリッチ社製 analysette3)



内部循環式風力分級

(松岡エンジニアリング社製)

風力分級および乾式ふるい分けにより希土類蛍光体の濃縮

廃蛍光体試料 1 (REO品位約25wt%) のふるい分けおよび風力分級試験

30

目的: ふるい下及びオーバーフロー産物中への希土類蛍光体の濃縮(高品位化)
ふるい上及びアンダーフロー産物中への白色蛍光体およびガラスの除去

・音波ふるい分け

廃蛍光体試料 20g
ふるい補助用タッピングボール 約20g

ふるい目開き: 5 μ m、8 μ m
10 μ m、12.5 μ m

音波ふるい機

Time (minutes)	0~2	2~4	4~6	6~8	8~10
Frequency (Hz)	50	100	120	150	170

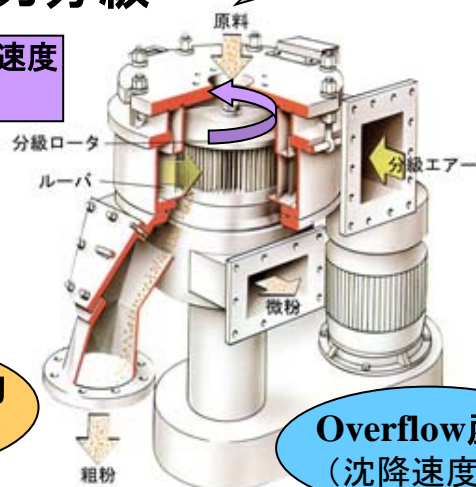
ふるい上産物 (Oversize)

ふるい下産物 (Undersize)

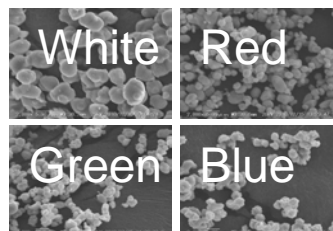
・遠心式風力分級

分級ローター回転速度
2000~6000rpm

廃蛍光体試料



Feed rate(kg/h)	60	60	60	60	60	60	120
Rotation Speed(rpm)	6000	5000	4000	3000	2000	3000	3000



実験後の各産物(蛍光X線分析)

REO(酸化物換算の希土類元素)の品位及び回収率

CaO(白色蛍光体主成分)の品位

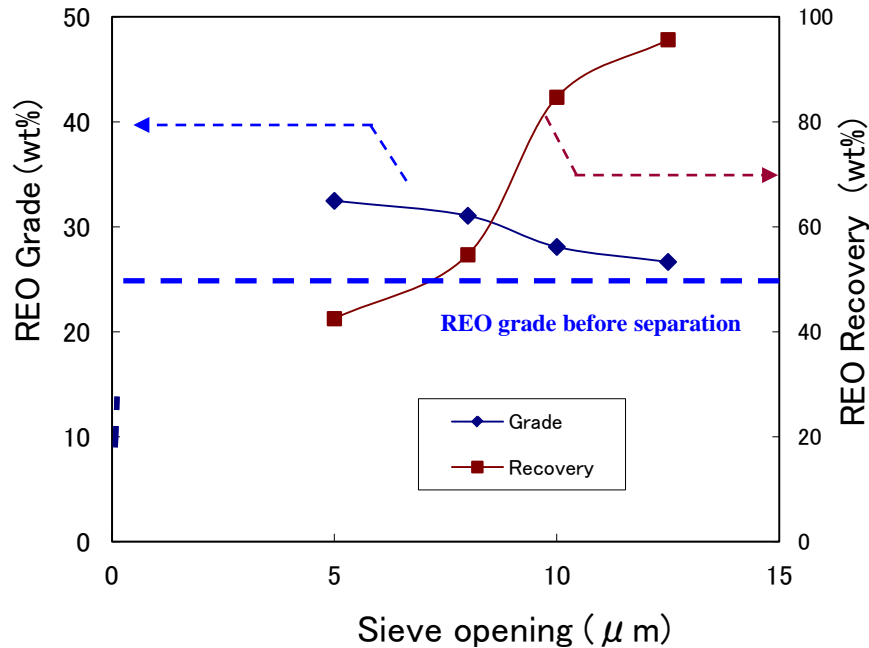
SiO₂(ガラス主成分)の品位

希土類元素とそれ以外の成分の分離について
理想的分離の割合であるニュートン効率を算出

廃蛍光体試料1のふるい分け試験結果

31

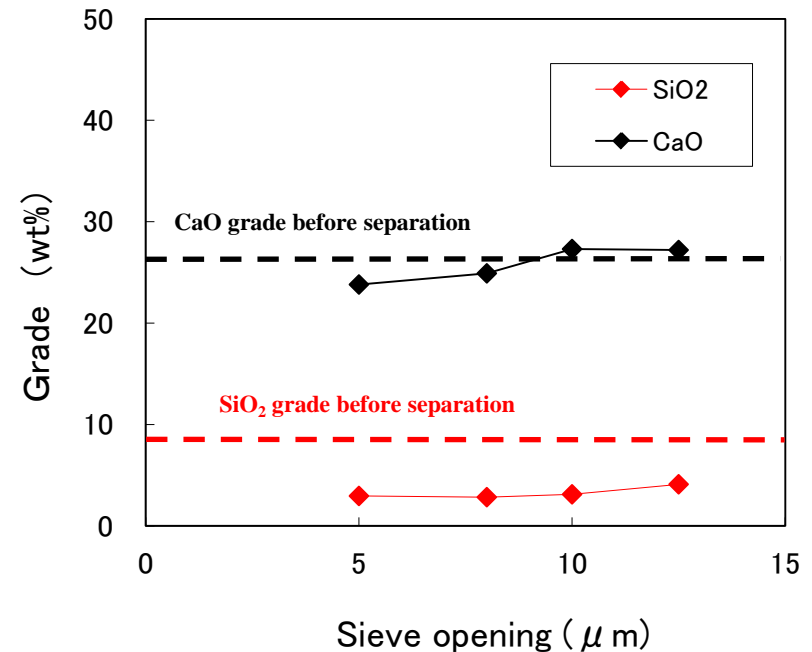
REO: 酸化物換算希土類元素



ふるい下産物中のREO品位および回収率

ふるい目開き10 μm: ニュートン効率 0.140
REO品位: 28.1 wt%、同回収率: 84.7wt%

CaO: 白色蛍光体の主成分 SiO₂: ガラスの主成分



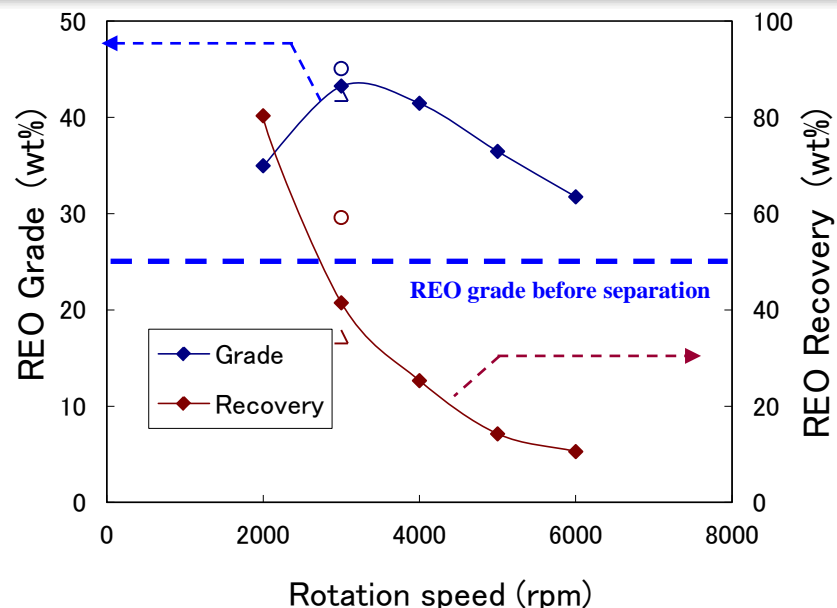
ふるい下産物中のCaO及びSiO₂品位

CaOと比較してSiO₂の品位は分離前より大きく減少
→ ガラスの分離が可能

乾式ふるい分けは、白色蛍光体よりもガラスの分離に効果を発揮

廃蛍光体試料1の遠心式風力分級試験結果

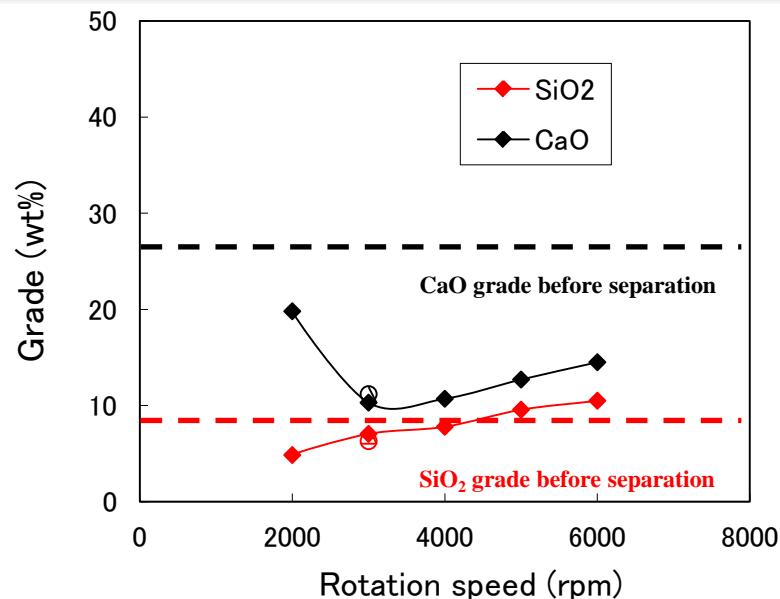
32



- ◆ Feed rate : 60kg/h, Without Compressed Air
- Feed rate : 60kg/h, With Compressed Air
- △ Feed rate : 120kg/h, Without Compressed Air

オーバーフロー産物中のREO品位および回収率

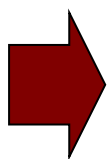
回転速度3000rpm(圧縮空気使用): ニュートン効率最大 0.334
REO品位: 45.1 wt%、同回収率: 59.2 wt%



- ◆ Feed rate : 60kg/h, Without Compressed Air
- Feed rate : 60kg/h, With Compressed Air
- △ Feed rate : 120kg/h, Without Compressed Air

オーバーフロー産物中のCaO及びSiO₂品位

- ・CaO品位変化→白色蛍光体の分離が可能
- ・SiO₂品位変化→分級中にガラス粒子の粉碎



- ・遠心式風力分級では、乾式ふるい分けよりも高品位に希土類元素を濃縮
- ・圧縮空気の使用により凝集している希土類蛍光体粒子の分散
- ・遠心式風力分級は、ガラスよりも白色蛍光体の分離に効果

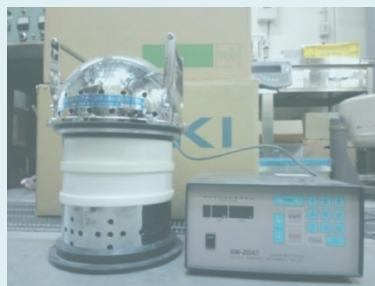
廃蛍光体試料2のふるい分け及び風力分級試験

33

実験試料および装置

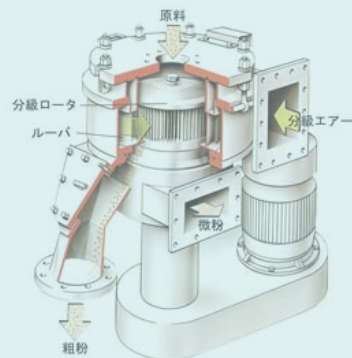
・廃蛍光体試料1

蛍光管処理工場のバグフィルターにより回収された蛍光体
REO品位(酸化物換算の希土類元素の合計品位)
は約25wt%



音波ふるい機

(筒井理化学器械社製 SW-20AT)



遠心式風力分級

(ホソカワミクロン社製 200TSP)

・廃蛍光体試料2

総重量の90%以上がガラス片(ガラス片の粒径は
数 μm ～数 mm と様々)を含む試料

REO品位(酸化物換算の希土類元素の合計品位)
は0.75wt%



振動ふるい機

(フリッチ社製 analysette3)



内部循環式風力分級

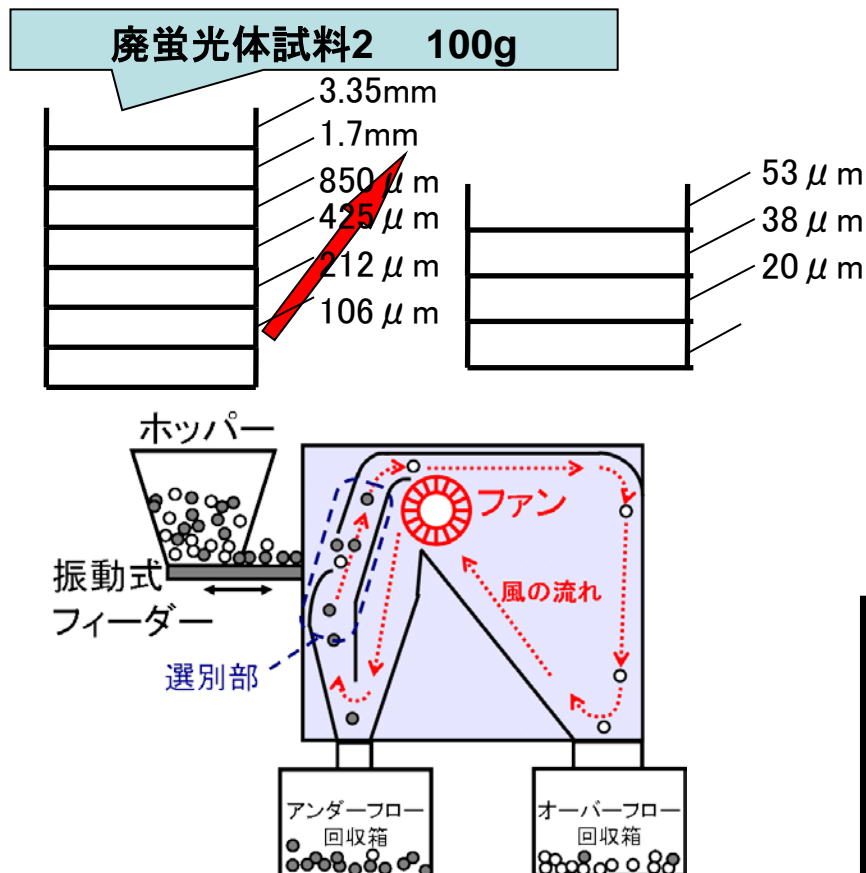
(松岡エンジニアリング社製)

風力分級及び乾式ふるい分けによる希土類蛍光体の濃縮、 ガラスの除去

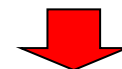
高濃度ガラス含有廃蛍光体試料からの希土類蛍光体の濃縮及びガラス除去

34

目的: ふるい下及びオーバーフロー産物中への希土類蛍光体の濃縮(高品位化)
ふるい上及びアンダーフロー産物中への、白色蛍光体およびガラスの分離



振動ふるい機によって
ふるい目 106 μm ~ 3.35mm でふるい分け
(振動振幅2.5mm、ふるい時間30分)



106 μm ふるい下産物を、ふるい目
20 μm ~ 53 μm でふるい分け
(振動振幅2.5mm、ふるい時間30分)

ファンのインバータ周波数: 7.5 ~ 15Hz
選別部の風速: 1.11 m/s ~ 2.96 m/s

実験後の各産物(蛍光X線分析)

REO(酸化物換算の希土類元素) の品位及び回収率

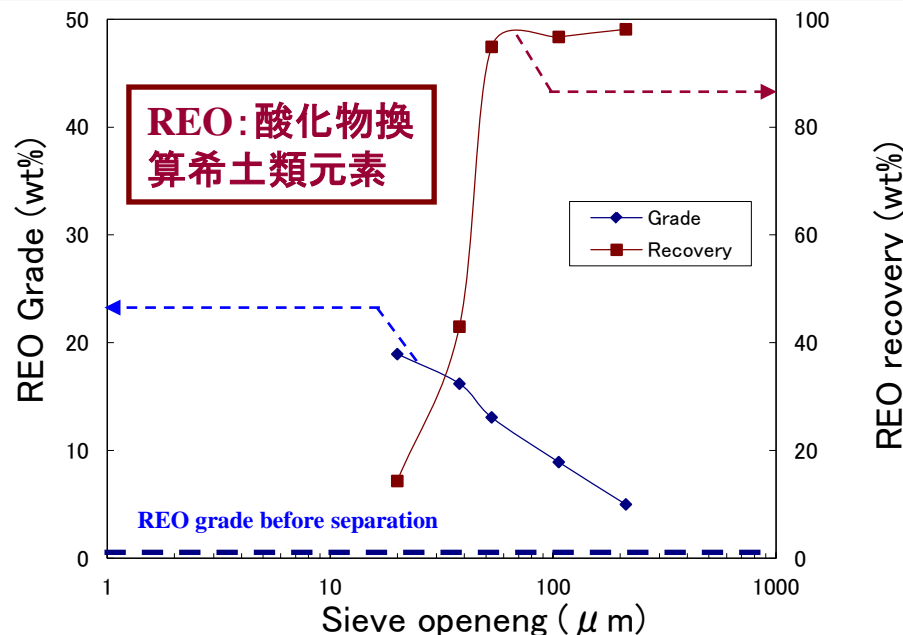
SiO₂(ガラス主成分) の品位

希土類元素とそれ以外の成分の分離についての
理想的分離の割合である ニュートン効率 を算出

内部循環型風力選別機の概略図

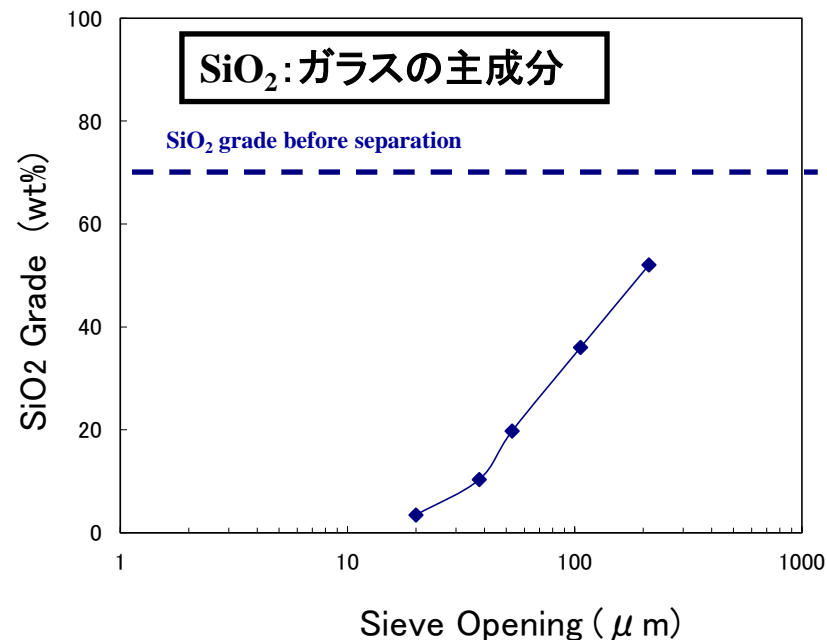
ふるい分け試験結果

35



ふるい下産物中のREO品位及び回収率

ふるい目開き53 μm: ニュートン効率最大 0.892
REO品位: 13.1 wt%、同回収率: 94.9 wt%



ふるい下産物中のSiO₂品位

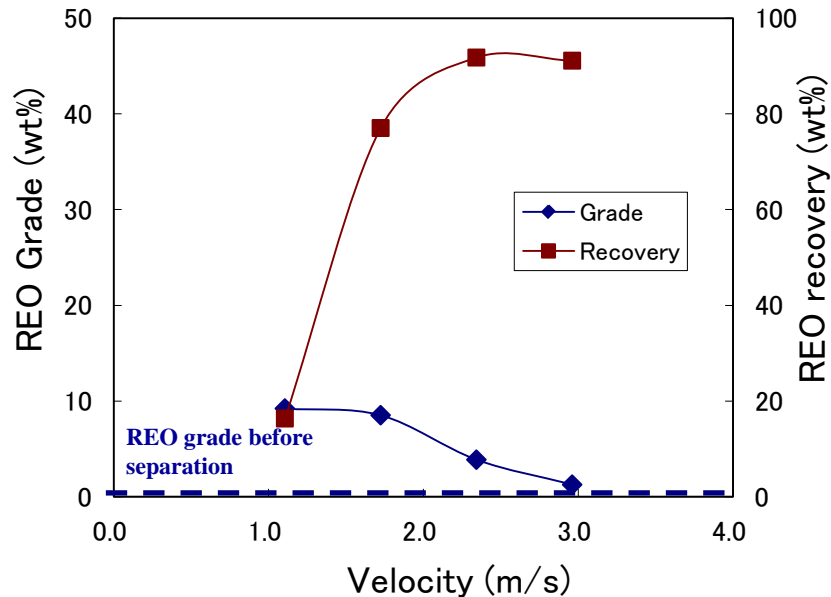
・ふるい分け前に約70wt%であったSiO₂品位
→ 最小で10wt%以下



粒径の大きなガラス片を多く含むため、乾式ふるい分けが希土類蛍光体の濃縮及びガラス片の分離に適している

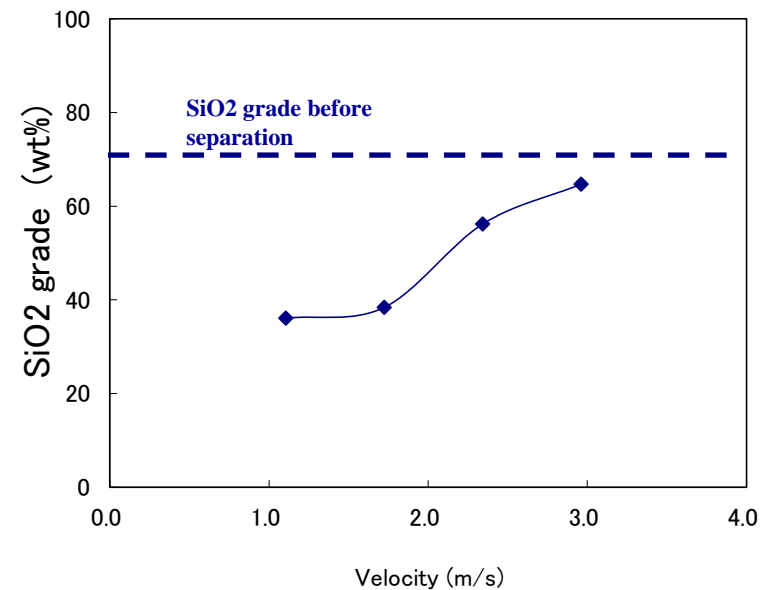
風力分級試験結果

36



オーバーフロー産物中のREO品位及び回収率

風速 2.34 m/s: ニュートン効率最大 0.764
REO品位: 3.9 wt%、同回収率: 91.8 wt%



オーバーフロー産物中のSiO₂の品位

・ふるい分け前に約70wt%であったSiO₂品位
→最小で30~40wt%

ふるい分けの場合(最小で10wt%以下)比較して
実験後のSiO₂の品位は高い

ガラスの密度(2.0~2.5 g/cm³)は
蛍光体(3.3~5.3g/cm³)と比較して小さい

・ガラス片が分離できていない

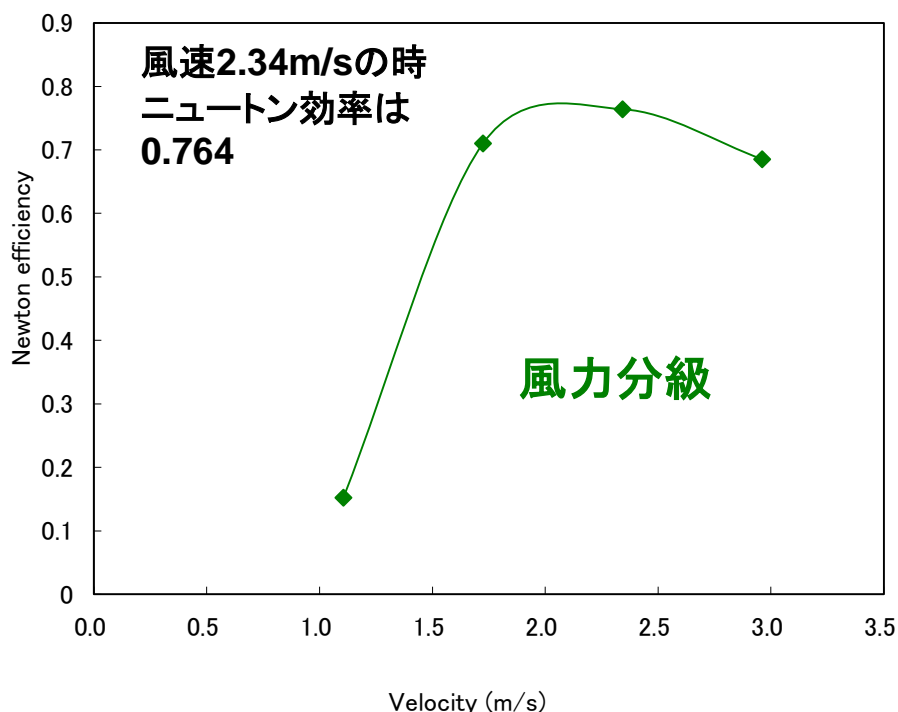
微小なガラス粒子の沈降速度は小さくなり
オーバーフロー産物へ分離されやすい

ニュートン効率の比較(REOフィード品位 0.75 wt%) 37

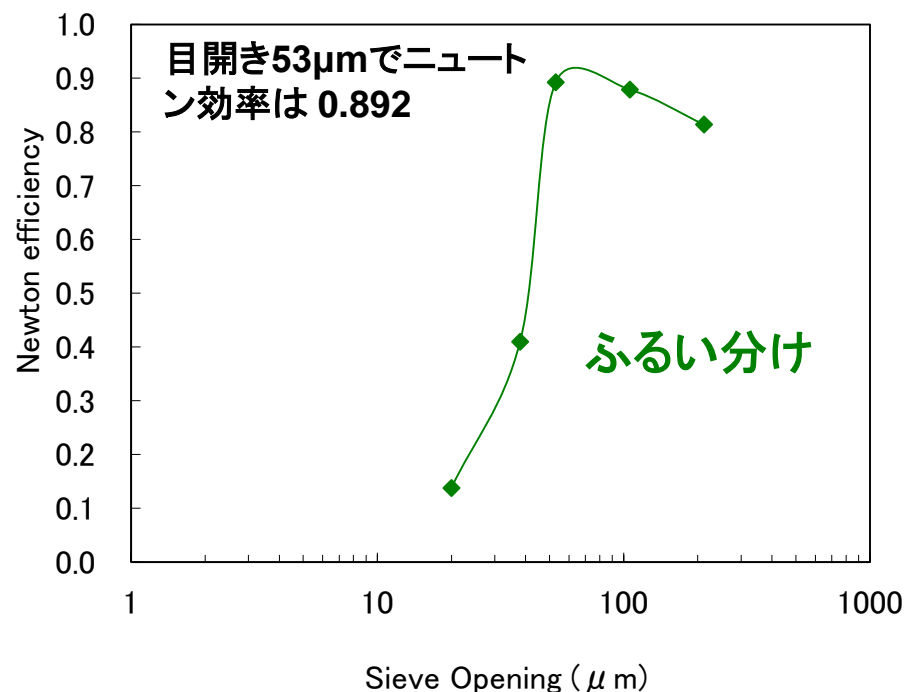
ニュートン効率は、希土類元素とそれ以外の成分の分離について以下の式で算出

$$N = (R_F + R_C) / 100 - 1$$

R_F : ふるい下またはオーバーフロー産物へのREO回収率
 R_C : ふるい上またはアンダーフロー産物へのREO以外の成分の回収率



希土類元素品位 3.88wt%
希土類元素回収率 91.77wt%



希土類元素産物品位 13.07wt%
希土類産物回収率 94.91wt%

廃蛍光管からの希土類蛍光体の回収及びガラス除去について 検討

- 廃蛍光体中のレアアース品位は年々高くなる傾向
- 廃蛍光体から希土類蛍光体を物理的選別法により濃縮可能
表面疎水化処理後の重液選別＞重液選別＞風力選別＞浮選
＞湿式サイクロン＞MGSの順にニュートン効率は低下
- 浮選により各蛍光体の分離の可能性
- 白色蛍光体と希土類蛍光体の分離には風力選別が安価であり有効
- ガラス分離には目開き53 μ mのふるい分けが効果的

- 1) 平成11年度～平成13年度科学研究費補助金（地域連携推進研究費(2)）
「廃蛍光管からの希土類元素の再資源化とその有効利用」
平島 剛、恒川 昌美、広吉 直樹、笹木 圭子、高橋 徹、長野 伸泰
- 2) Tsuyoshi HIRAJIMA, Abel BISSOMBOLO, Keiko SASAKI, Kazuhisa NAKAYAMA, Hironao HIRAI and Masami TSUNEKAWA, Floatability of Rare Earth Phosphors from Waste Fluorescent Lamps, *Int. J. Miner. Process*, Vol.77, pp.187-198, 2005.11.
- 3) T. HIRAJIMA, K. SASAKI, A. BISSOMBOLO, H. HIRAI, M. HAMADA, M. TSUNEKAWA, Feasibility of an efficient recovery of rare earth activated phosphors from waste fluorescent lamps through dense-medium centrifugation, *Separation and Purification Technology*, 2005.03.
- 4) 財団法人福岡県環境保全公社からの受託研究についての成果報告書（2010、2011）、平島剛
- 5) 2010年度福岡県レアアースリサイクル研究会（座長 平島 剛）、研究会資料

- ・ 液中造粒法の基礎及び資源循環への応用
- ・ 廃コンクリートのリサイクル
- ・ 石炭フライアッシュからの中空球形粒子、
未燃カーボンの回収
- ・ 下水汚泥からのリン資源回収
- ・ その他

液中造粒法の基礎及び資源循環への応用

41

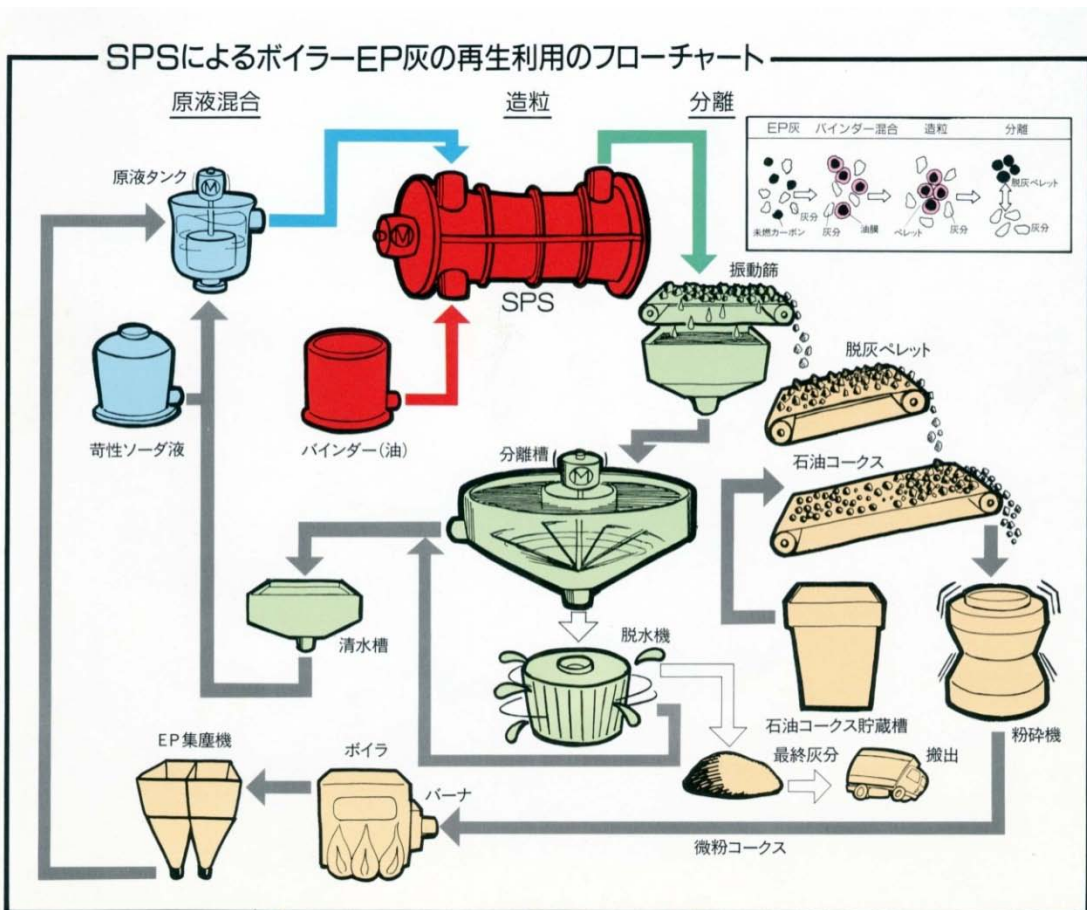


図 石油コークス燃焼灰の再生利用

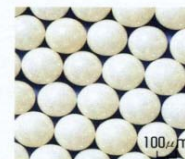
● 真球に近い球形体



300 μ m



250 μ m



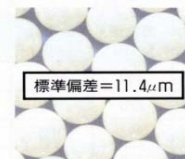
200 μ m

● 粒径分布巾が狭い



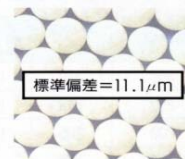
標準偏差=10.6 μ m

300 μ m



標準偏差=11.4 μ m

250 μ m



標準偏差=11.1 μ m

200 μ m

● 密度は6.02～6.07と高く安定している

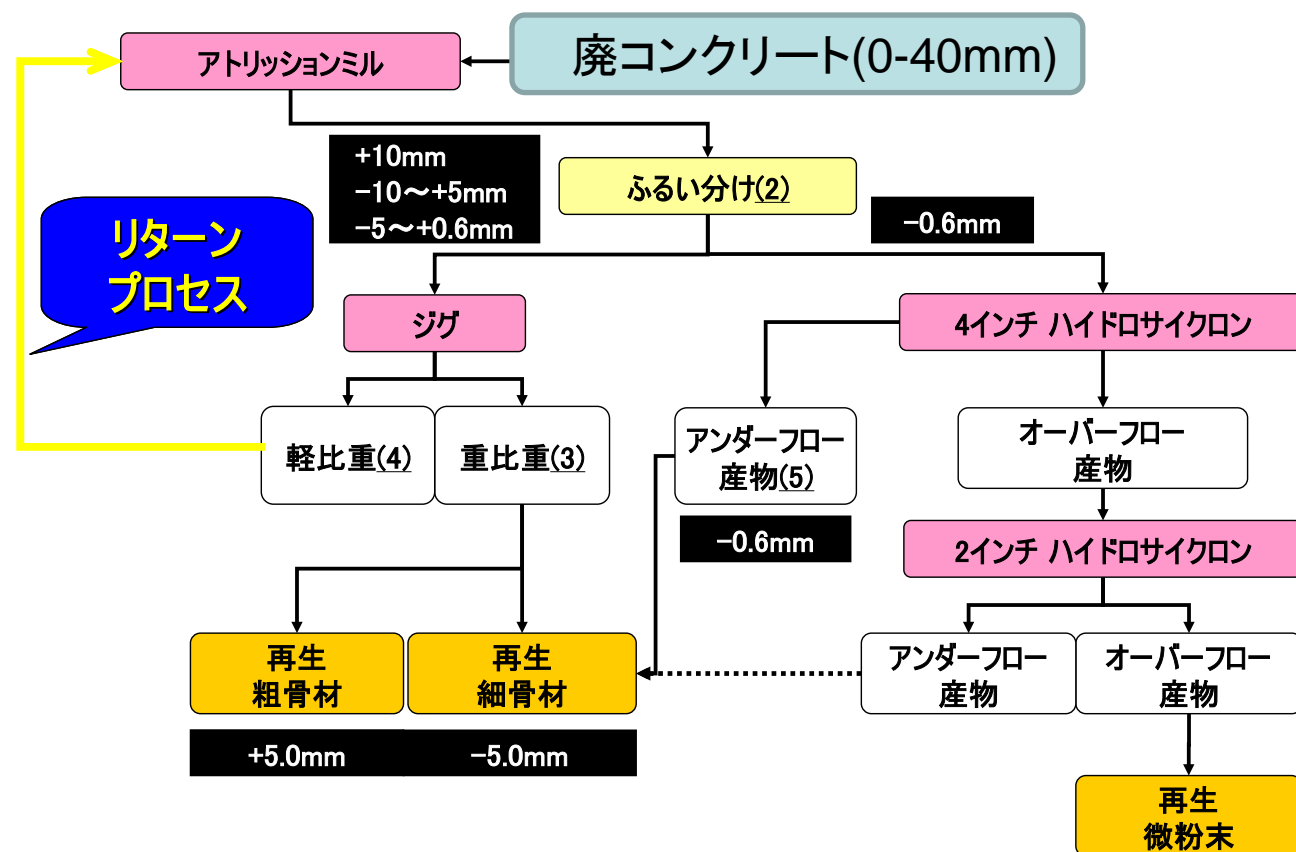
● 摩耗率は0.022%重量/100時間と低い

ただし、通常のとも摺り摩耗試験による測定値で、容量600mLの攪拌ベッセル中に250 mLの純水と250mLの250 μ mのジルコニアビーズを入れピン付ディスクを装着した主軸を2000rpmで100時間回転させたときの結果です。

図 液中造粒機構研究及び
ジルコニア微小ビーズ製造研究

廃コンクリートのリサイクル

42



実証プラント(移動式)
処理能力 7t/h

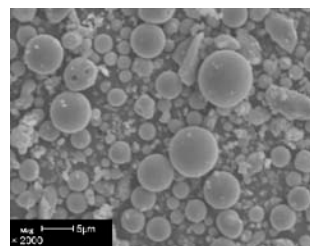
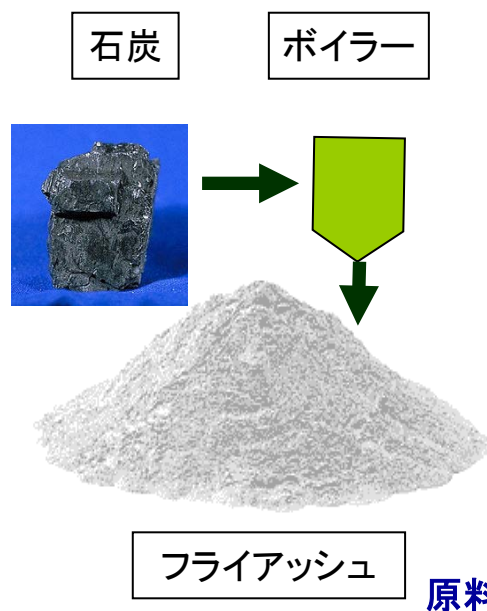
○湿式選別法によるコンクリート廃材の全量リサイクル、松村宇、佐川孝広、平島剛、桂修、コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1315-1320, 2005年6月

○Multi-Gravity Separatorによる廃コンクリート微粉からの細骨材およびセメント水和物の回収、平島 剛、保坂文教、本多覚、恒川昌美、伊藤正澄、佐川孝広、資源と素材, 第119号, 9号, 553-558頁(2003年9月)

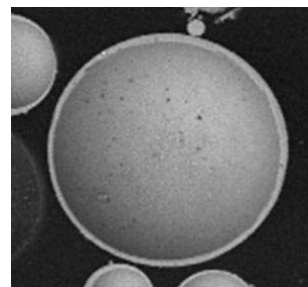
石炭フライアッシュからの中空球形粒子、未燃カーボンの回収

43

灰の有効利用(セノスフェア、未燃カーボン、セメント原料用など)



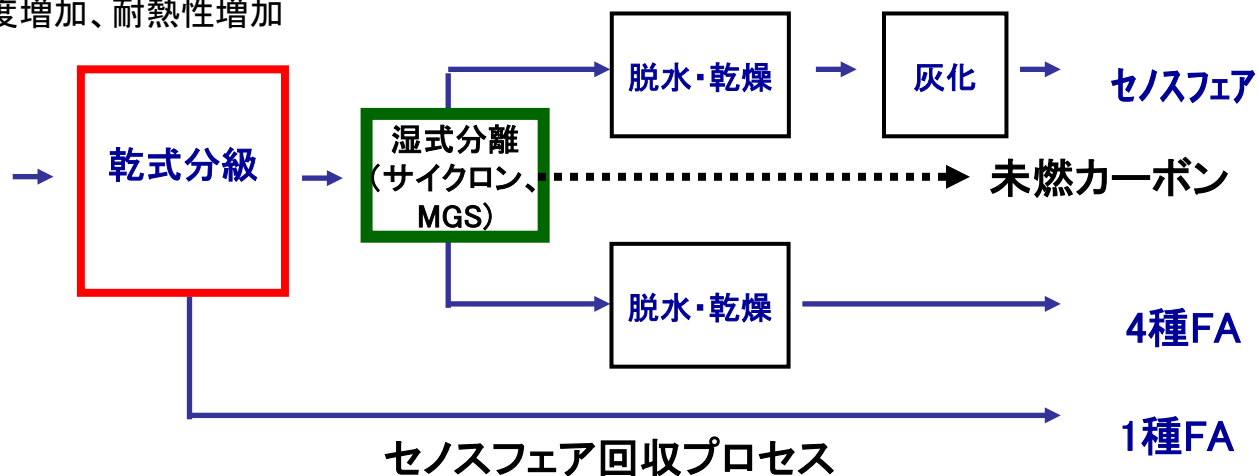
—充填剤としての特性—
加工性向上、密度減少、
強度増加、耐熱性増加



セノスフェア断面写真

—利用分野—

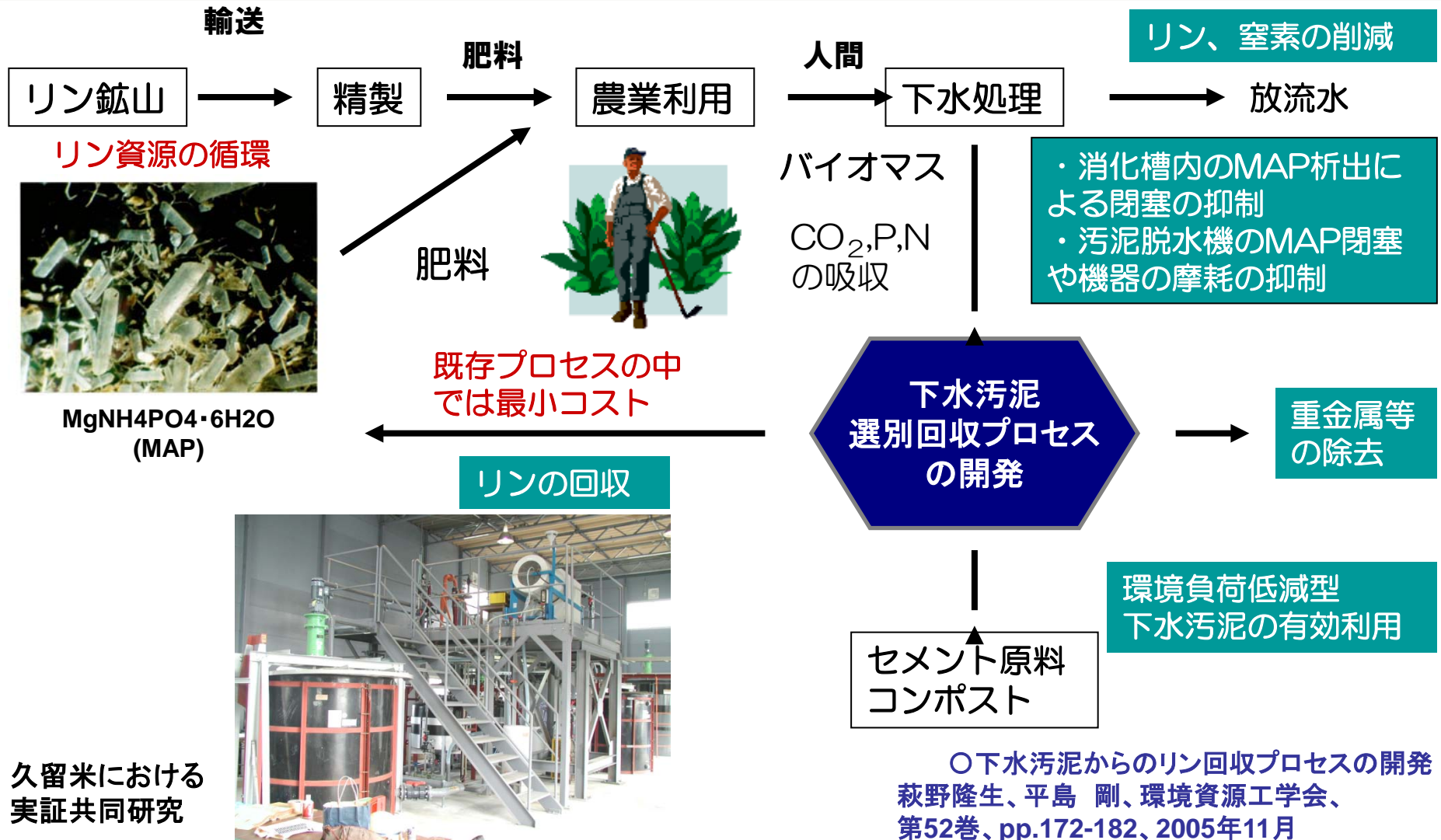
- (1)プラスチック
- (2)軽量耐火材料
- (3)保温材料
- (4)塗料
- (5)セメンチング
- (6)冶金産業
- (7)消音器材
- (8)自動車、軍用
- (9)触媒
- (10)大理石



Recovery of Cenospheres from Coal Fly Ash Using a Dry Separation Process: Separation Estimation and Potential Application, Tsuyoshi HIRAJIMA et.al, International Journal of Mineral Processing, Vol.95, Issues1-4, pp.18-24, June, 2010

下水汚泥からのリン資源回収

44



御清聴ありがとうございます。