

資源循環における分離技術の新展開

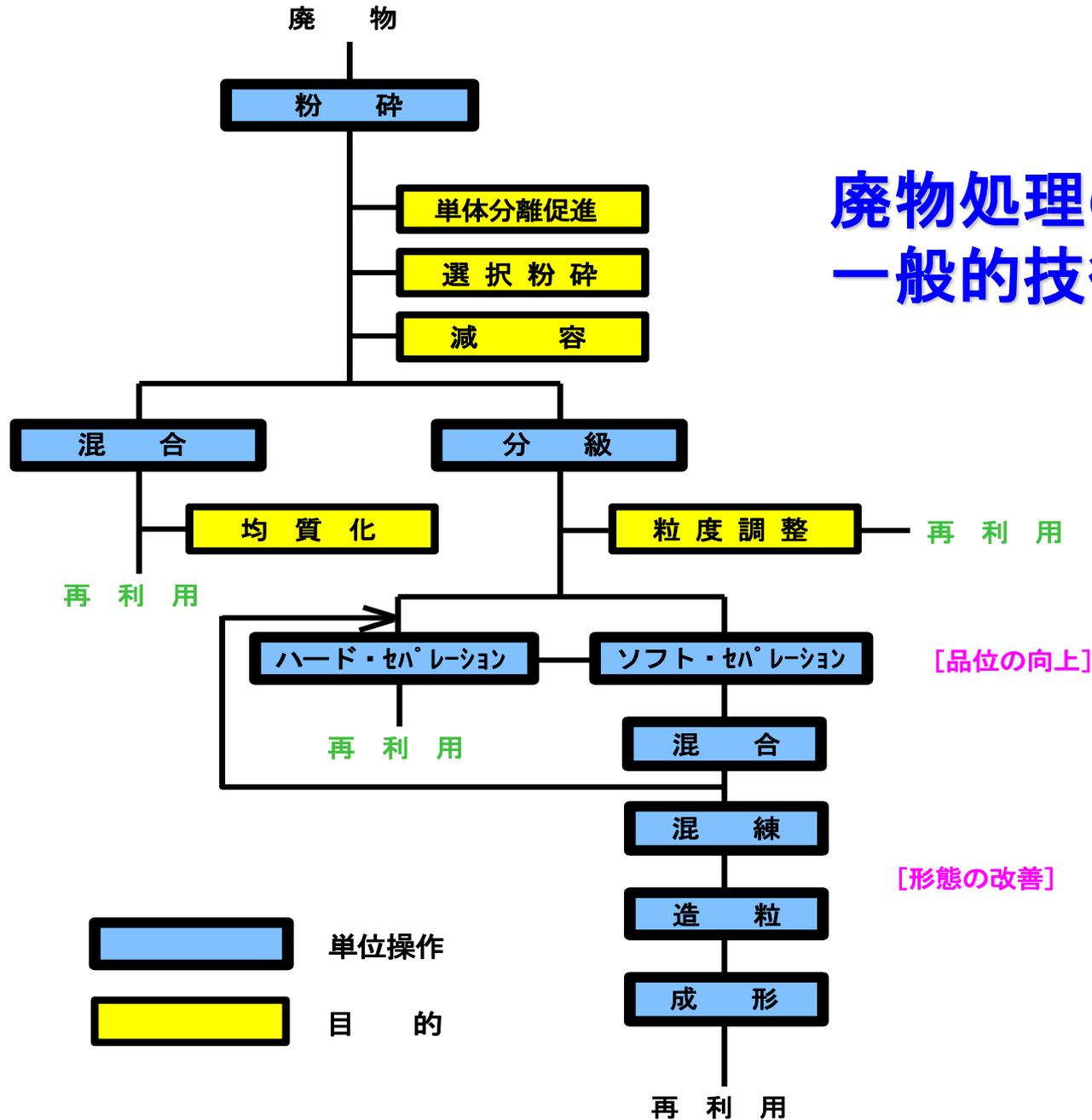
第12回エコプレミアムシンポジウム

2015年8月5日

@国際文化会館 「岩崎小彌太記念ホール」

早稲田大学理工学術院
(創造理工学部環境資源工学科)
大和田 秀二

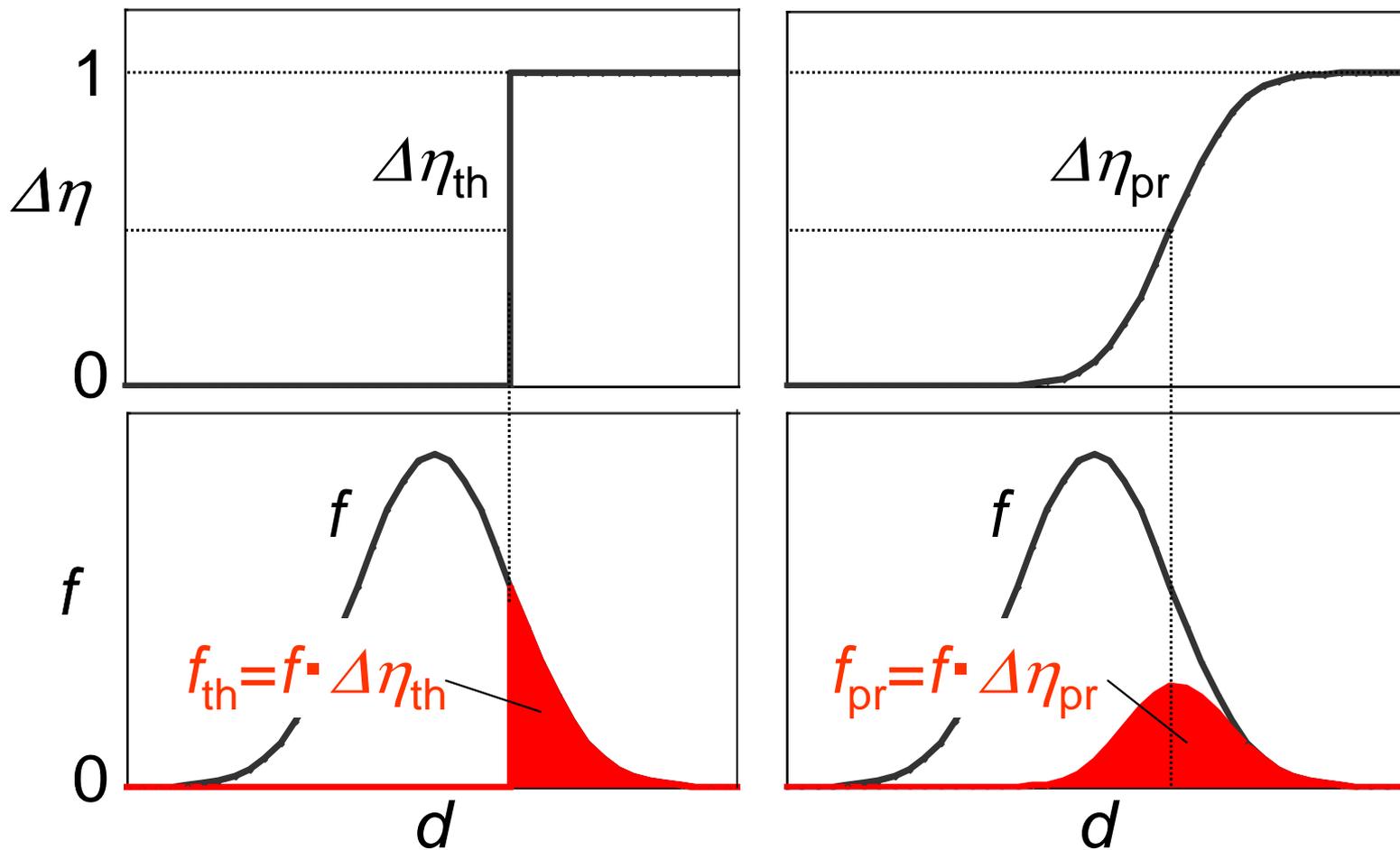
廃物処理の 一般的技術フロー



資源リサイクルにおける2種類の分離技術の比較

比較項目	ソフト・セパレーション (固相分離)	ハード・セパレーション (液相分離)
特徴	結晶構造を破壊せずに分離 不均一系の分離(固体の分離)	結晶構造を破壊して分離 均一系の分離(イオンの分離)
環境負荷	低(省物質・エネルギー的)	高(高物質・エネルギー消費的)
理論的背景	各操作に関する基礎理論のみ	各操作・イオンに対して理論あり
信頼性	低	高
有害物質	そのまま	無(有)害化の可能性

*「環境調和型分離システム」構築には、両者の効果的な組み合わせが必須。

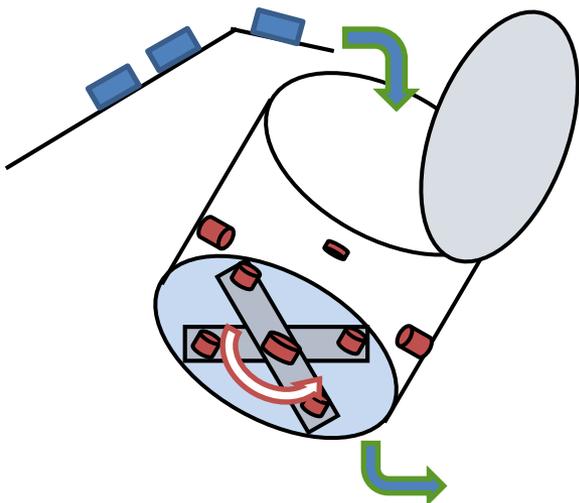


理想分離

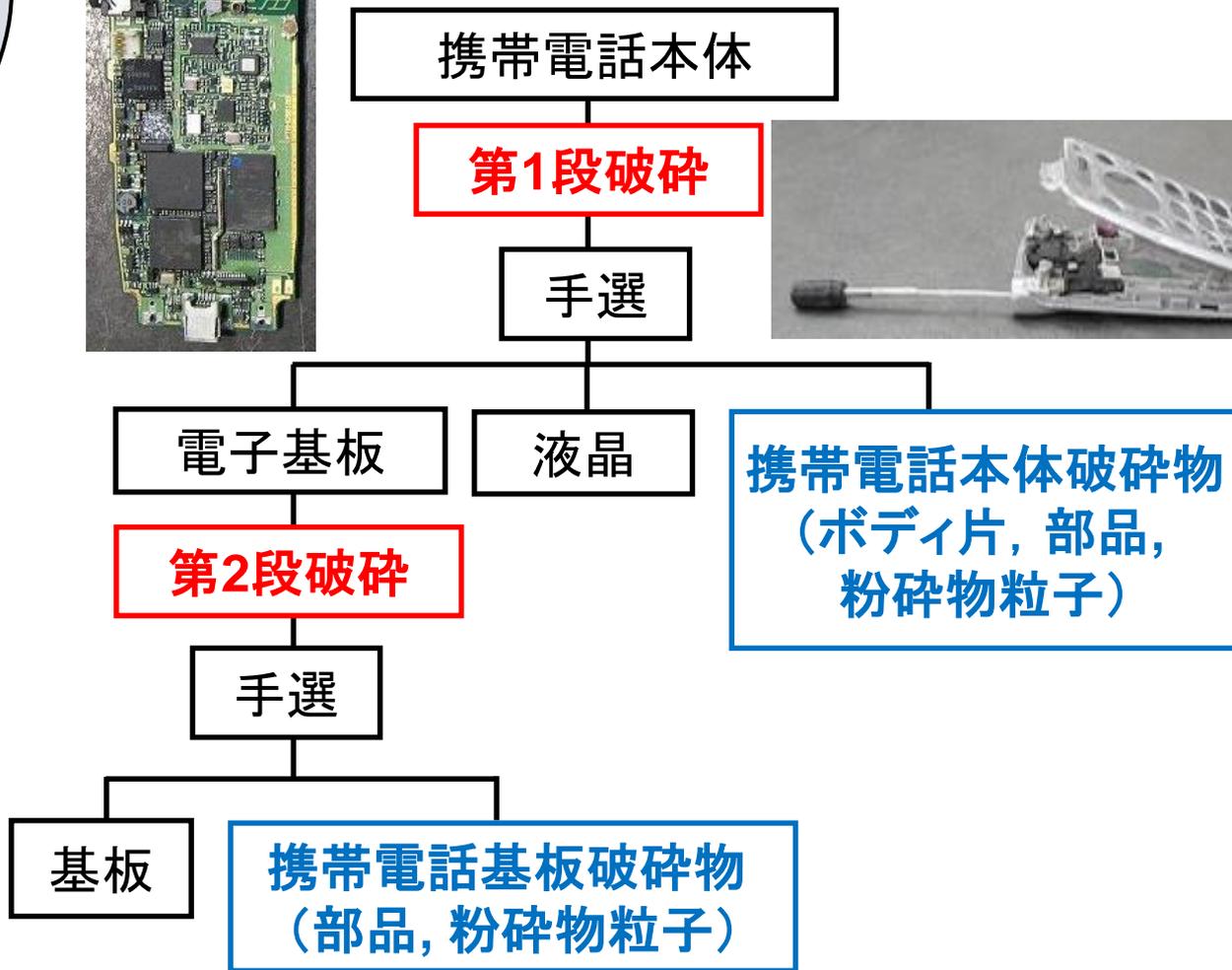
実際分離

部分分離効率曲線による分離性評価

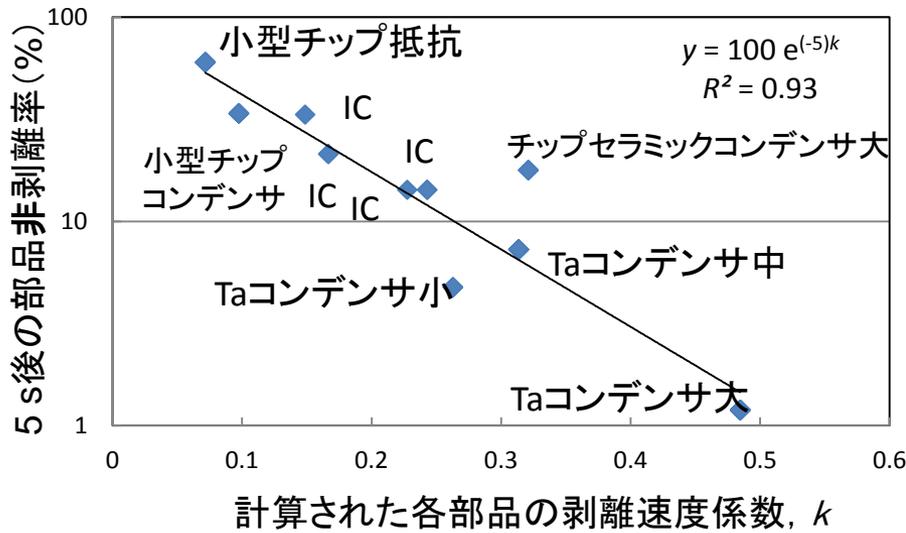
ドラム型衝撃式破砕機による2段階破砕



衝撃式破砕機
PS



粉砕速度による最適粉砕時間推定(1次速度式と仮定)



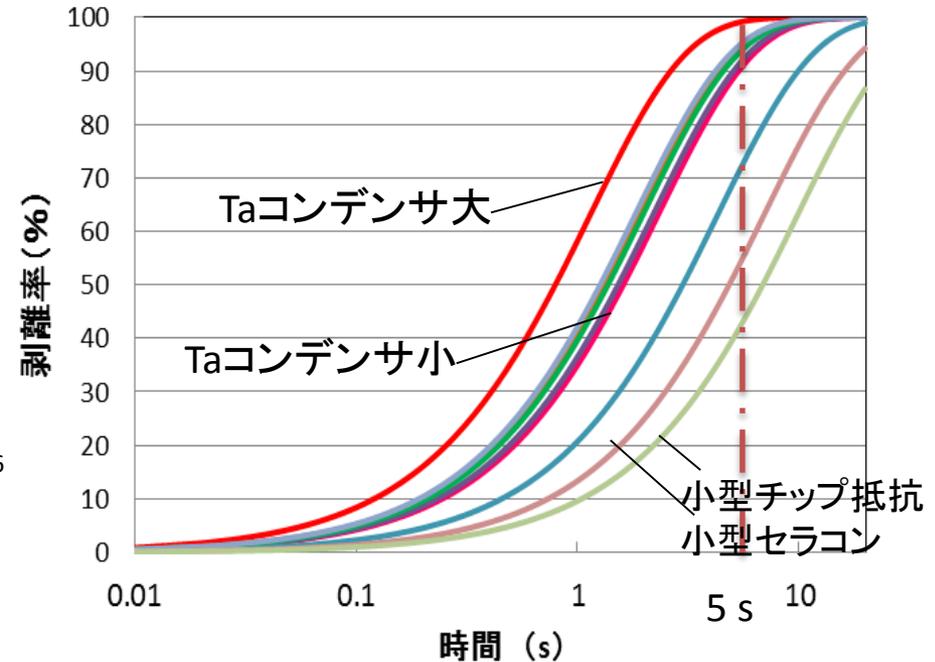
部品質量と高さによる係数と部品剥離率の関係

剥離率(%) $Y = 100 - 100 \exp(-k \cdot t)$

t : 時間(s)

$k = 3.3 \times 10^{-4} \times M^{0.053} \times H^{0.92}$

M : 部品質量(g), H : 高さ(μm)

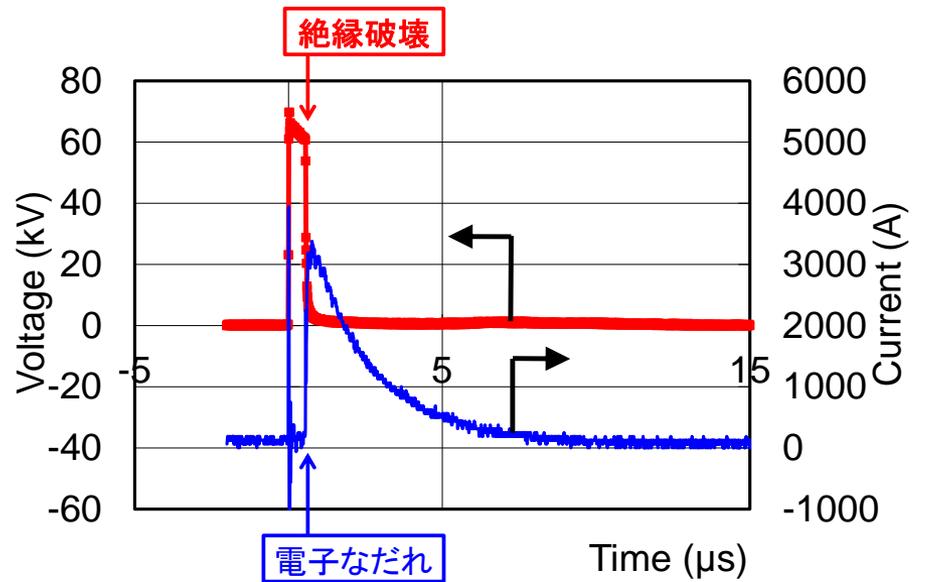
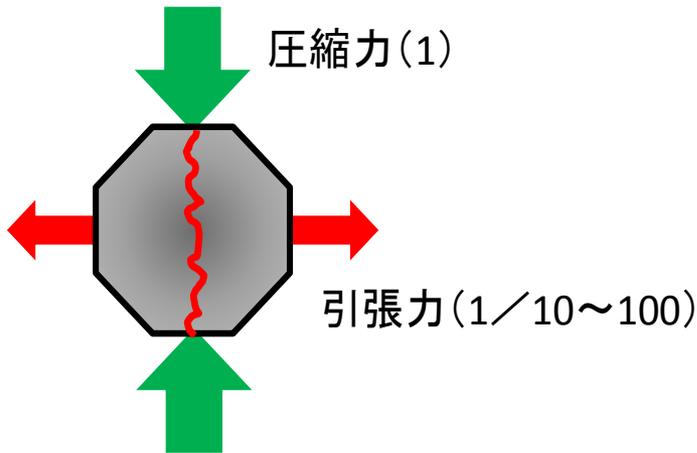
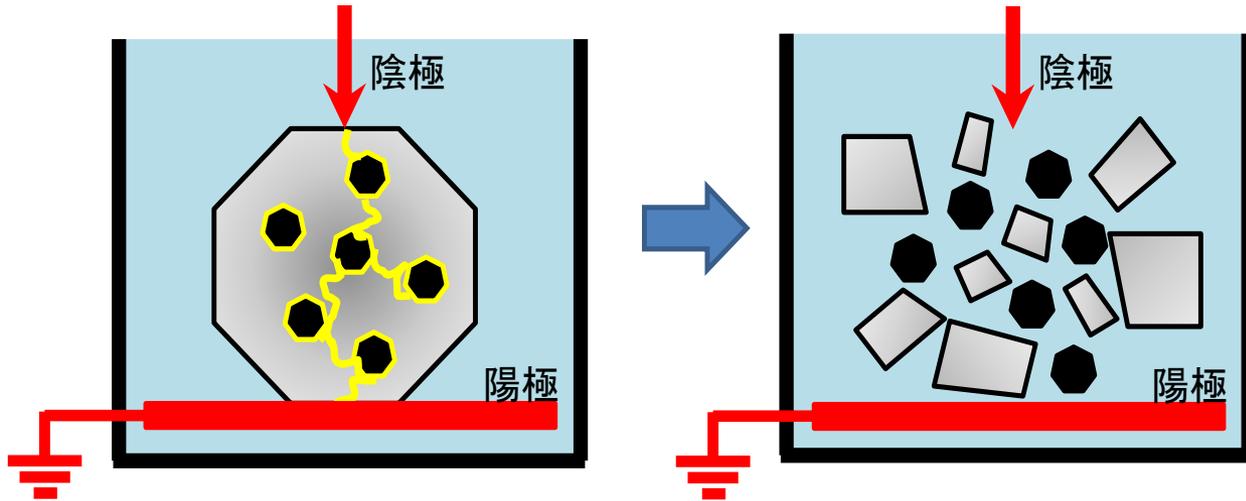


粉砕時間と剥離率の関係(858 rpm・推定値)

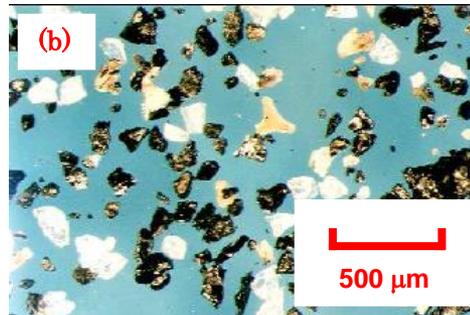
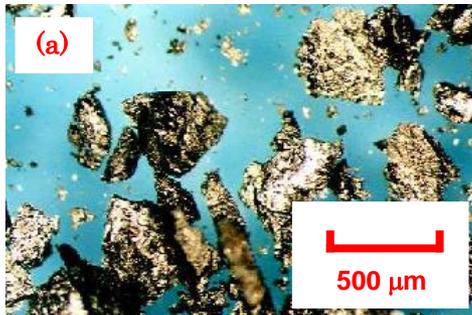
- ・小型のTaコンデンサの回収率向上には粉砕時間は10 s程度。
- ・部品剥離速度の差からは、部品同士の選択剥離は難しい。

JOGMEC事業にて製作した連続加熱式CFS, 2014





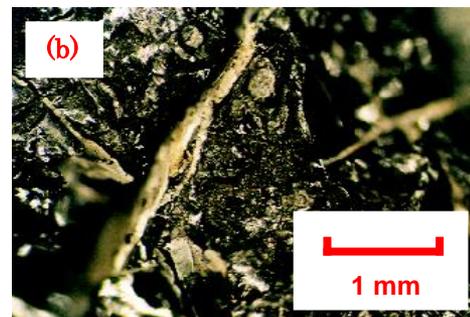
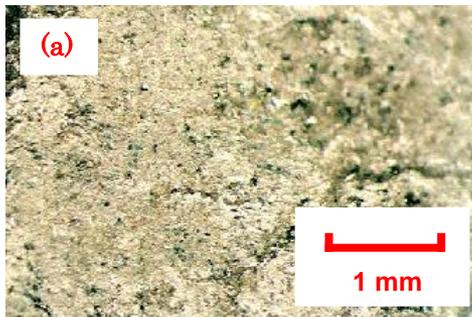
電気パルス粉砕説明図



細粒子

白色：石英

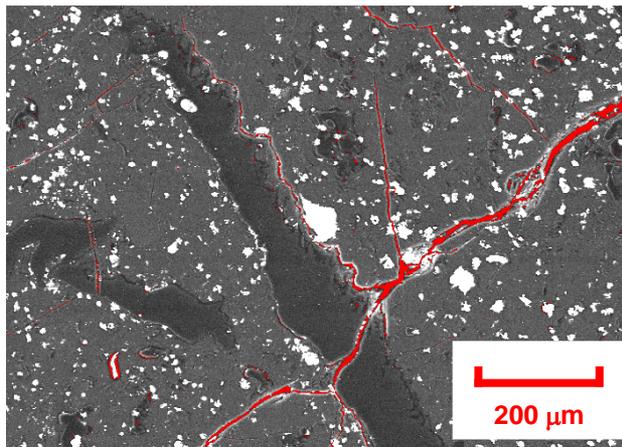
黒色：石炭質



大粒子の表面

(a) ロールクラッシャ粉砕

(b) 電気パルス粉砕



電気パルス粉砕で
生成した亀裂

**電気パルス粉砕と機械的
粉砕における破壊の比較**



SELF-RAG社の電気パルス粉砕機（LAB機と1 t/h連続試験機）

ED粉砕後産物例



3-7
157.24g
Gap 40mm
Pulses 150
f 5Hz
V 150kV

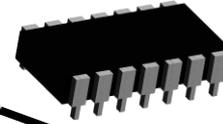
粉砕後の基板



粉砕後の部品

基板実装部品のED産物

ICチップ (30-50 mm)



内部の金属類

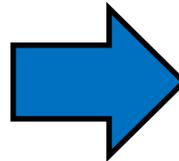
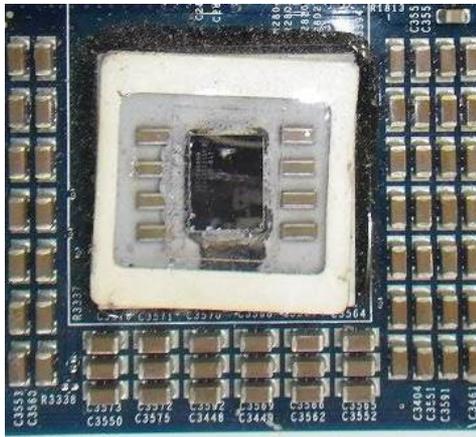


接続部分の金属

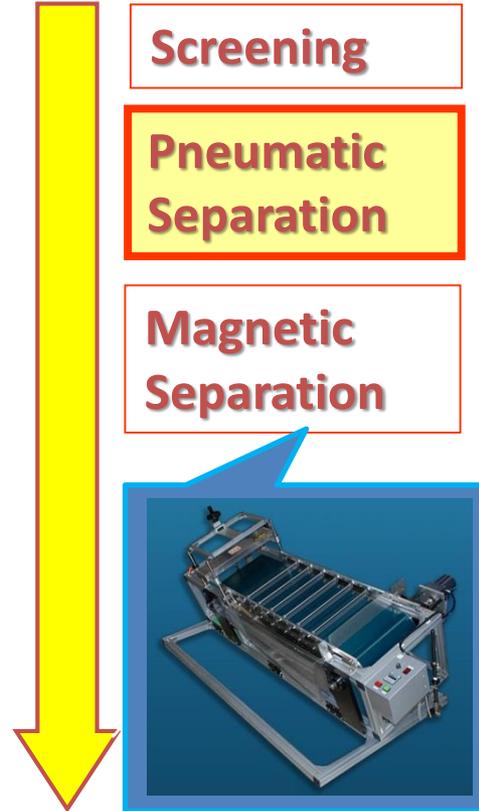
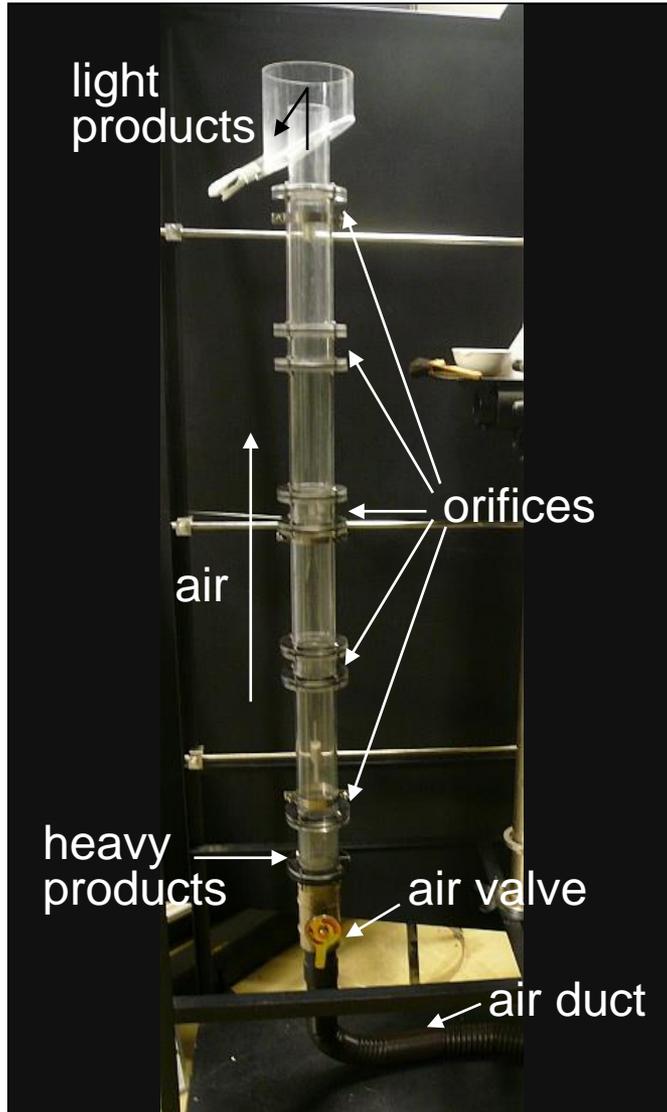


破壊されたプラスチック類

セラミックコンデンサ (1-2 mm)



Concentration of Ta capacitors

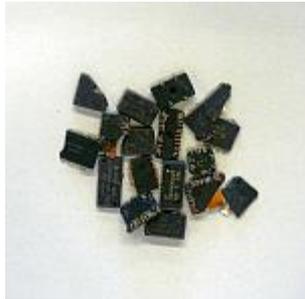


	Grade	Recovery
Server	85.0 wt%	92.8 %
HDD	94.8 wt%	92.8 %
Note PC	82.6 wt%	82.3 %

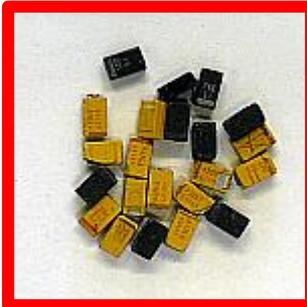
Devices to be Concentrated



PCB fragments



IC chips



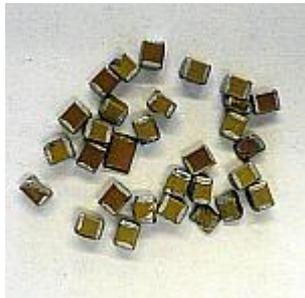
Tantalum capacitors



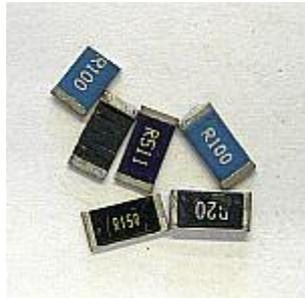
Solid electrolytic capacitors



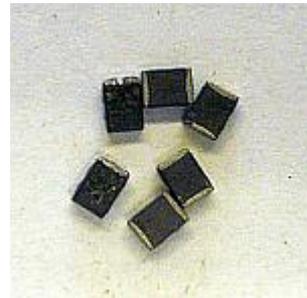
Aluminum electrolytic capacitors



Ceramic capacitors



Chip resistors



Thermistors



Quartz resonators



Resin Connectors



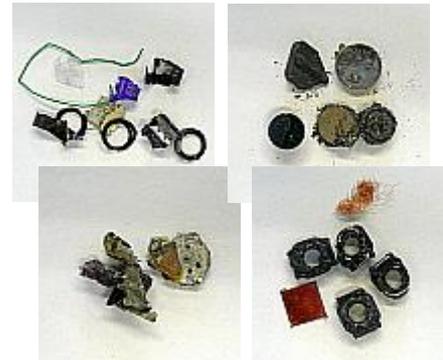
Connectors + Jumper pins



Jumper pins

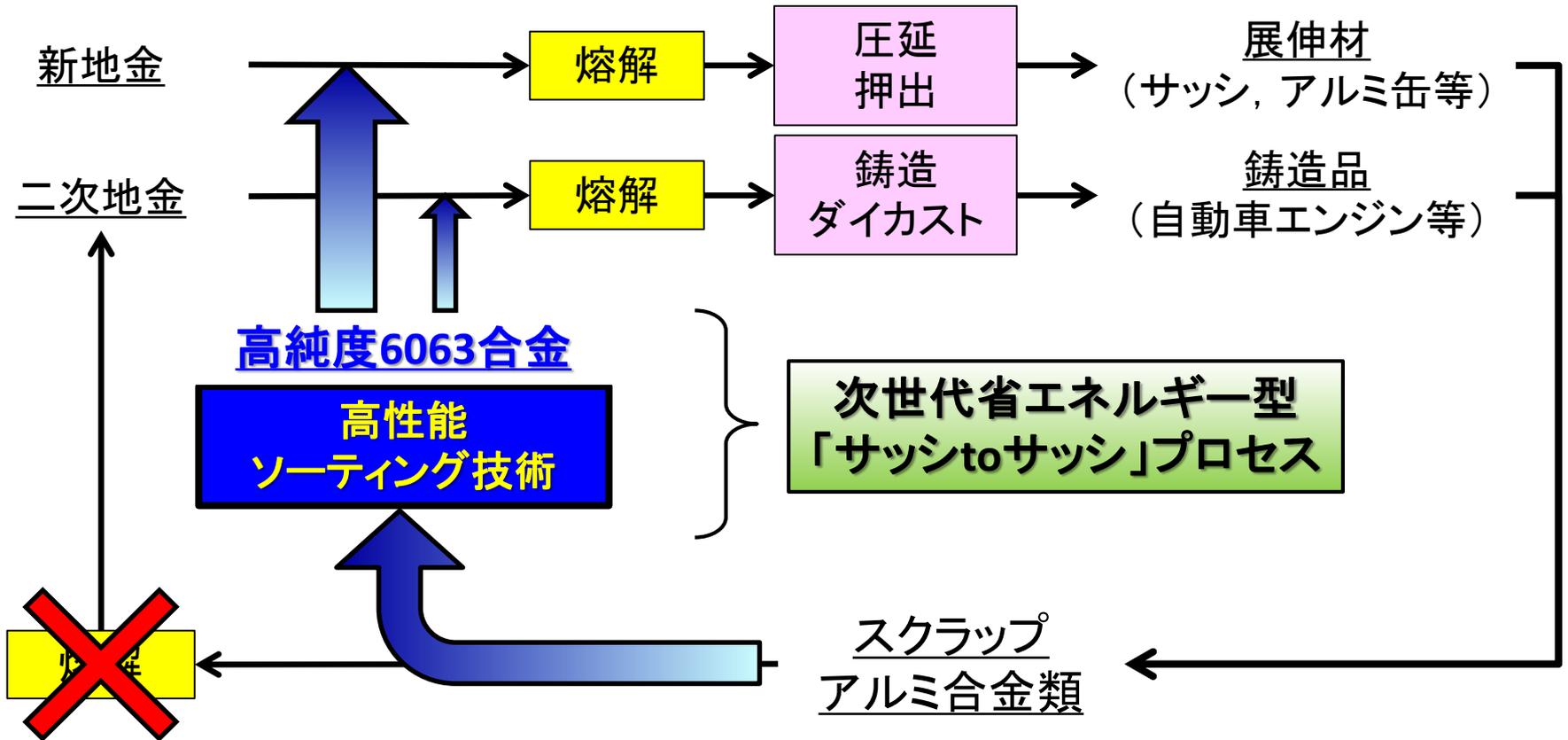


Metal fragments

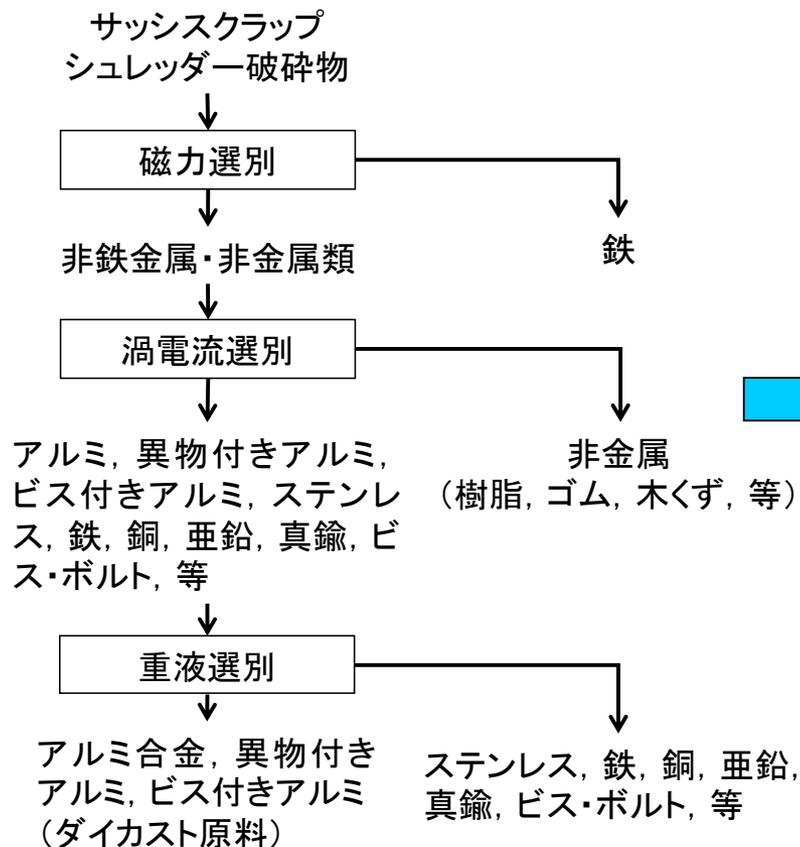


Others

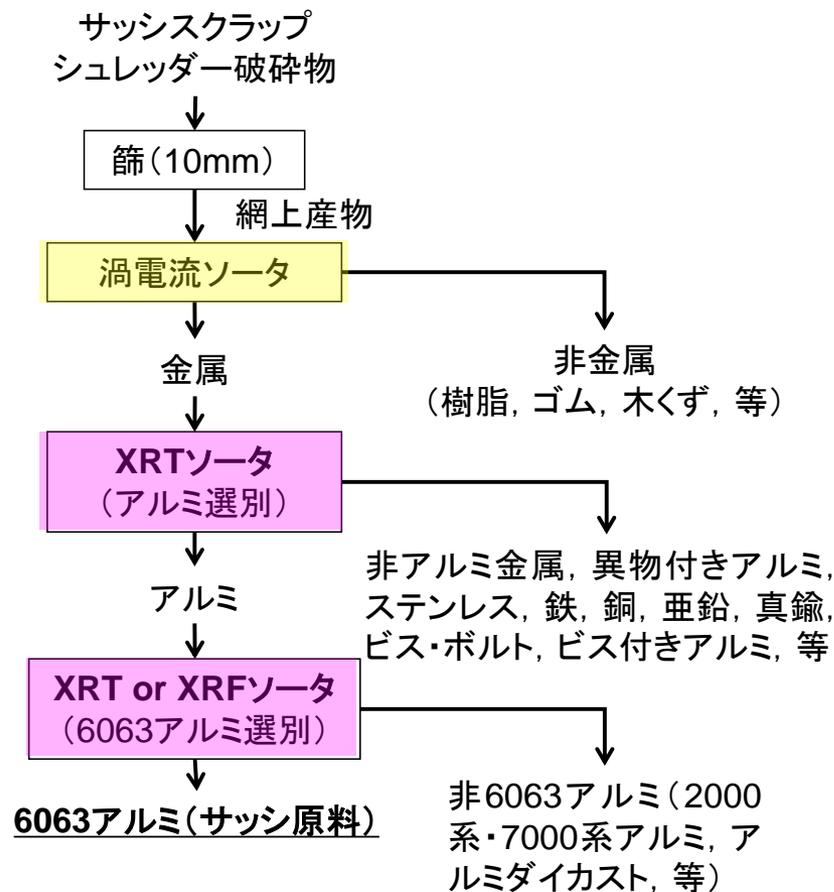
アルミニウム・リサイクルの新プロセス構想



廃サッシ処理の従来プロセスと新プロセス



<従来処理フロー>

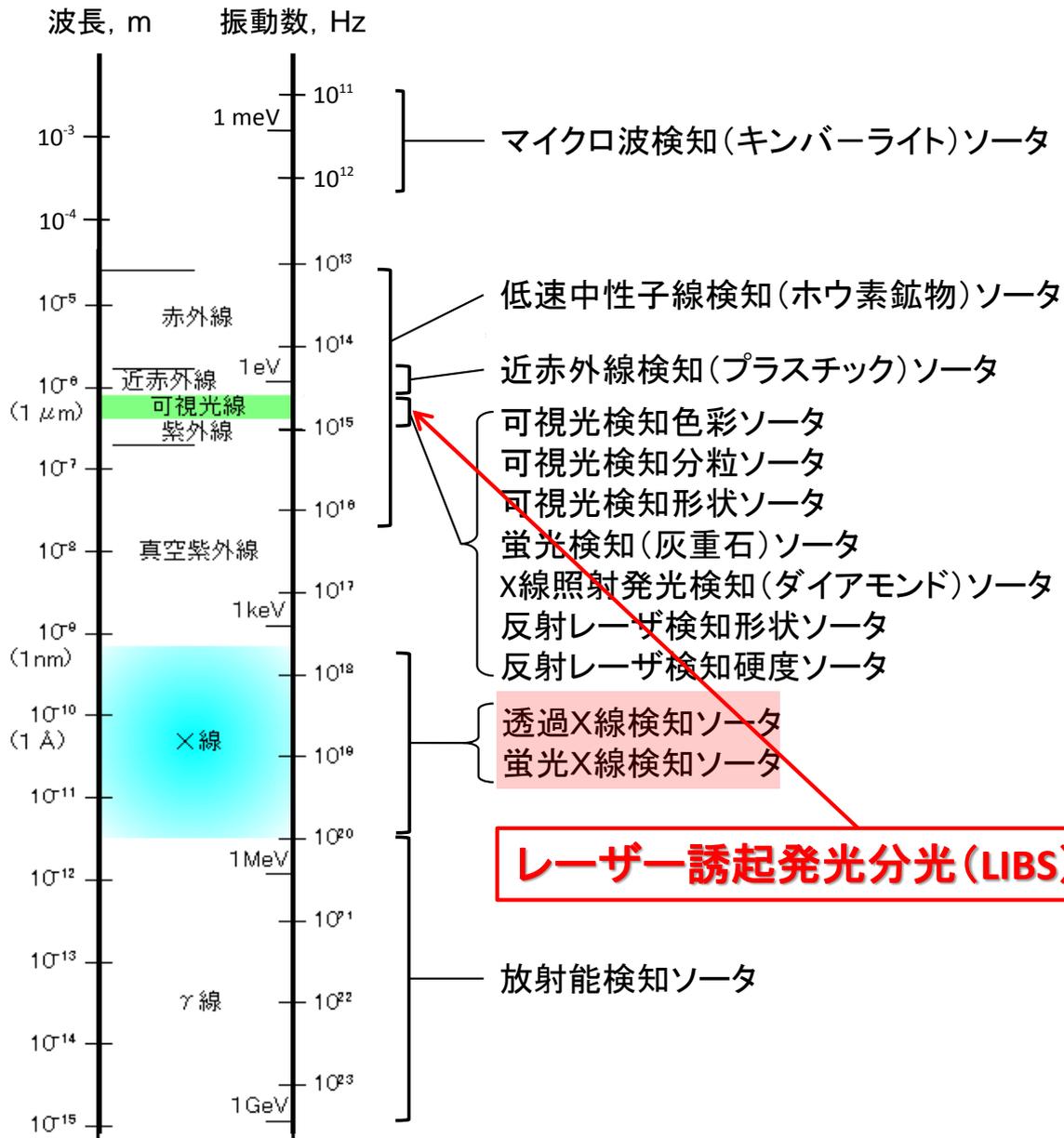


<新選別フロー>

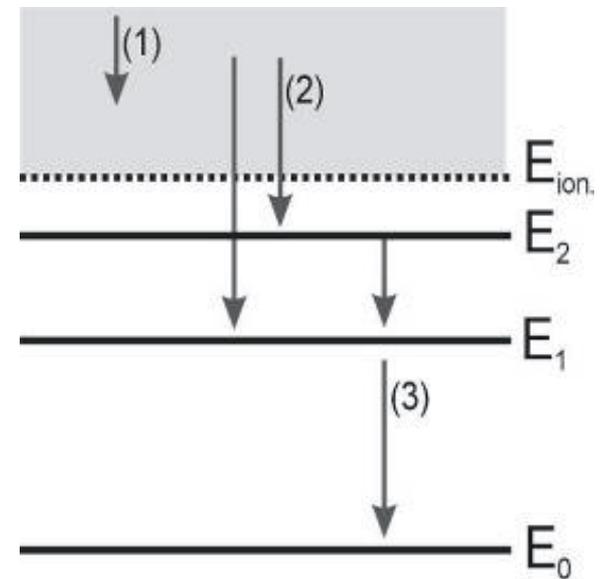
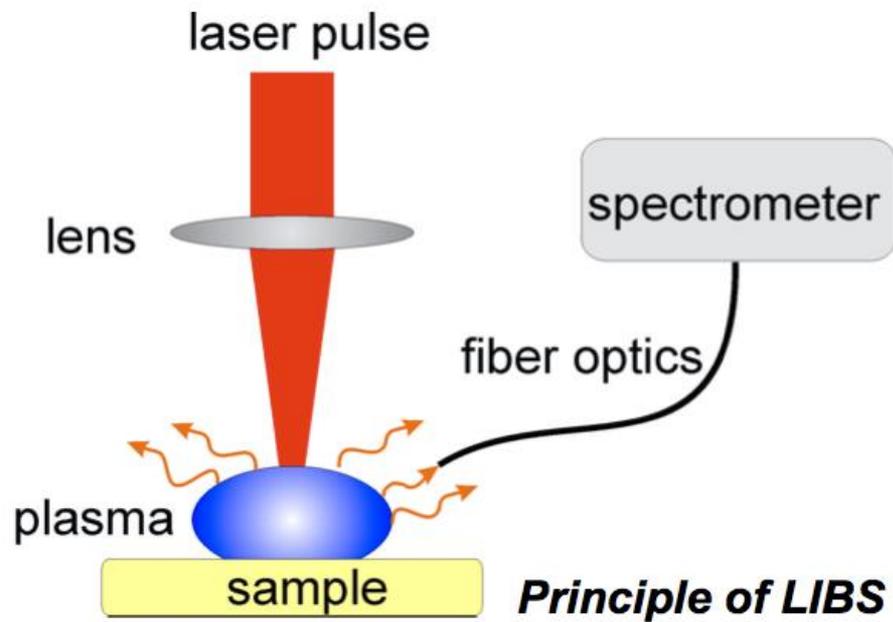
実用化試験設備 選別パイロットプラント

「サッシtoサッシ」「自動車to自動車」パイロットプラント設置場所：
株式会社LIXIL 野田工場 研修棟内





各種電磁波を利用するソーティング



軽元素を含め全元素検知可能 (ppmオーダーにて), 1mmサイズ粒子もOK

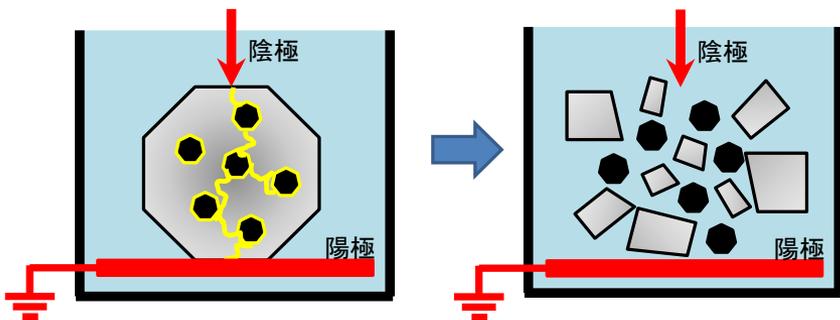
レーザー誘導発光分光 (LIBS) ソータ



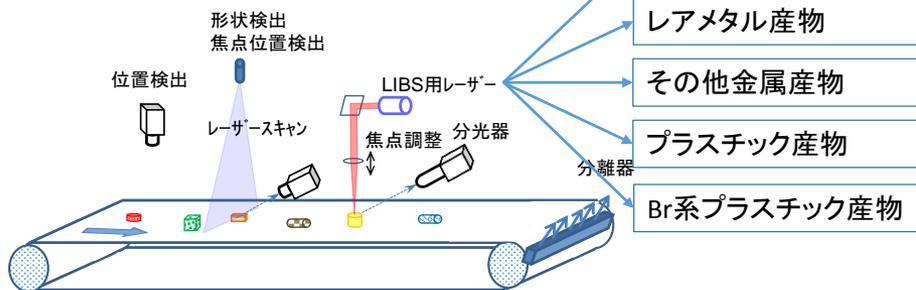
ハリタ金属に導入したLIBSソータ, 1502

電気パルス粉碎(ED) + LIBSソータによる 次世代型金属回収プロセス

電気パルス粉碎(ED)



LIBSソータ



- ✓ 従来の力学的粉碎に代わって**単体分離**装置であるEDを前処理として採用することにより、各種金属類の完全回収が可能となる。
- ✓ 従来にない**高度分離**が可能な選別装置であるLIBSソータを開発することにより、多種金属の同時回収が可能となる。

PCB実装部品回収の例

Au, Ag, Pd, Cu, Taのみを考慮

基板中の部品類に含有される元素品位 (mass%)
 Au: 0.01043, Ag: 0.1106, Pd: 0.01652, Cu: 12.88,
 Ta: 0.05555

新旧プロセスの回収率 (mass%, 旧→新)

Au: 97→99, Ag: 95→99, Pd: 60→90, Cu: 93→99,
 Ta: 0→100

新プロセスで生まれる基板1tあたりの利益(円)

Au: 8647, Ag: 3018, Pd: 88865, Cu: 6230, Ta: 6941,
 計113700 (2012年価格)

新プロセス設備費: 3~4億円

ランニングコスト: 2000万円/y

新プロセス処理量: 2000 t/y (1 t/h)

2000 t/y新プラントで生まれる利益:

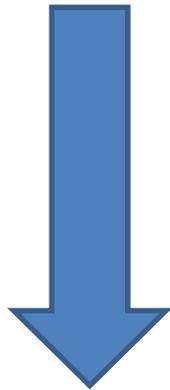
2億2742万円/y

償却年数: 1.45~1.93

* 部品中に含有されるその他元素の利益は除外

単体分離と高度選別

選択粉砕による粗粒段階 での**単体分離**促進

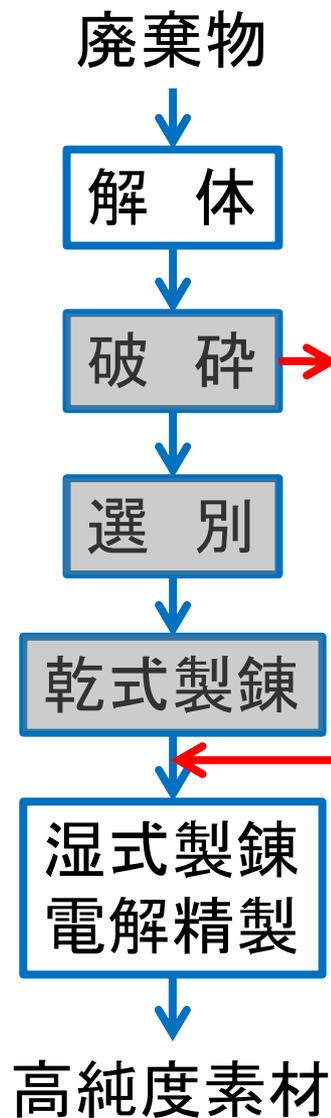


- 粉砕前処理
 - ✓ マイクロ波照射
 - ✓ 加熱・急冷処理
- AG / SAG ((半)自生粉砕)
- 表面粉砕
- 電気パルス粉砕
- 水中爆破

SBSの組み合わせ による**高度選別**

- サイズ, 形状, 色彩, 表面粗度, 硬度, 光沢, 導電率, 電磁波反射・吸収, 密度(XRT), 水分率, 化学組成 (XRF, LIBS)

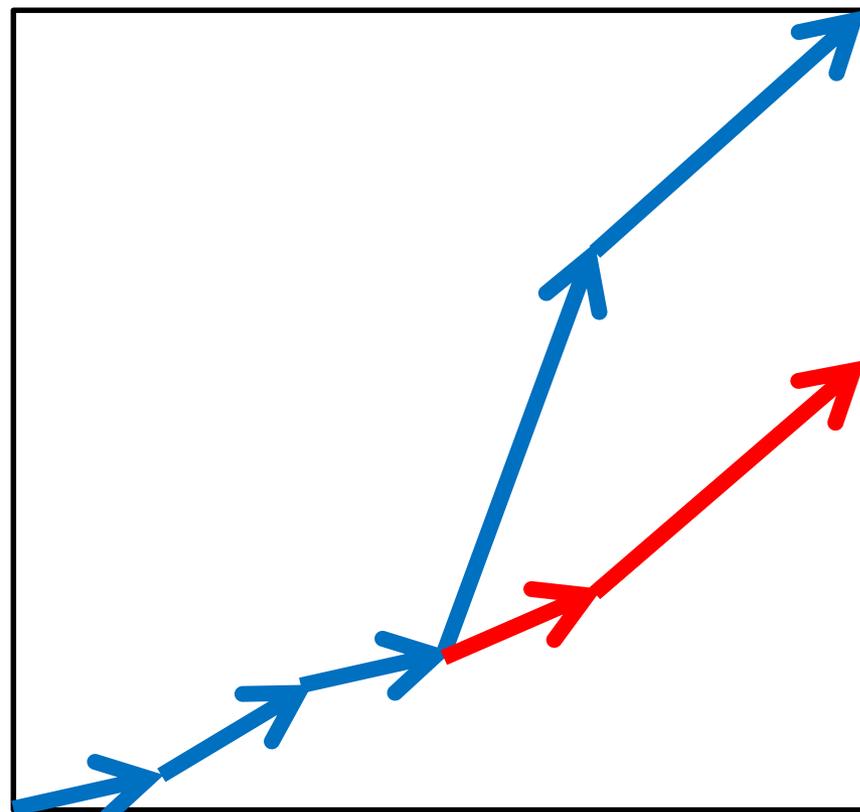
「スマート・コミュニケーション&セパレーション」



高度破碎
(単体分離)

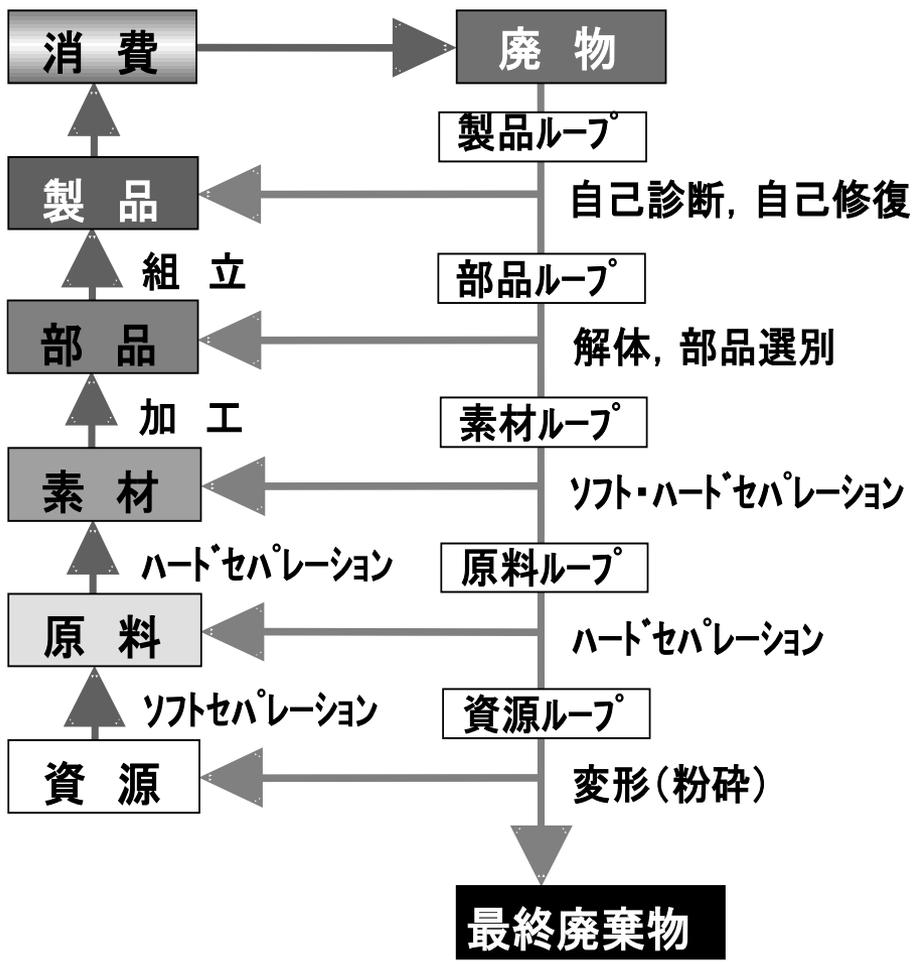
高度選別

積算消費エネルギー



解体 破碎 選別 乾式製錬 湿式製錬
高度破碎 高度選別 電解精製

近未来型資源循環プロセス？



製品デザイン



部品デザイン

素材デザイン

原料デザイン

資源デザイン

リサイクルに必要とされる各種デザイン