

破解・粉碎による濃縮: 都市鉱石化技術

廃棄物循環資源学会研究部会合同
講演会 20100709

NIMS元素戦略センター 原田幸明

新成長戦略、産業構造ビジョン

Ⅲ. 目標実現のための取組

1. 資源確保・安定供給強化への総合的戦略

【目標(2030年)】

- 化石燃料の自主開発資源比率を約50%以上(現状:約26%) (再掲)
- 戦略的確保が必要なレアメタルを特定(レアアース、リチウム、タングステン等)し(戦略レアメタル)、リサイクル、代替材料開発も加味した自給率を50%以上とする。

【具体的取組】

- 石油・天然ガス・石炭等について、**官民一体となった資源国との戦略的関係の深化、リスクマネー供給支援の強化**等を通じた上流権益獲得の推進等により、安定供給源を確保。石油備蓄を推進。
- 海洋国の強みを生かした国内・海洋資源開発の強化(メタンハイドレート・海底熱水鉱床・コバルトリッチクラストの技術開発推進、近海での資源開発推進のための探査・開発に係る制度を整備。)
- 戦略レアメタルについて、備蓄、リサイクルシステム構築の検討、代替材料開発等を推進。
- 国内における石油製品精製・流通部門の抜本的な構造調整を促進しつつ、競争力強化を図る。

**2030までに
レアメタル自給率 50%以上**

都市鉱山開発の4つの壁

分散の壁：希薄分散型発生源対策

- ・ 鉱山は自然が濃縮(濃集)? 人為的システムによる回収、濃縮、蓄積
- ・ or 量を集めなくても処理できる技術

廃棄物の壁：都市鉱石型廃棄物の問題

- ・ 多くの人工物質を含有
- ・ 濃縮・蓄積を困難にする一因

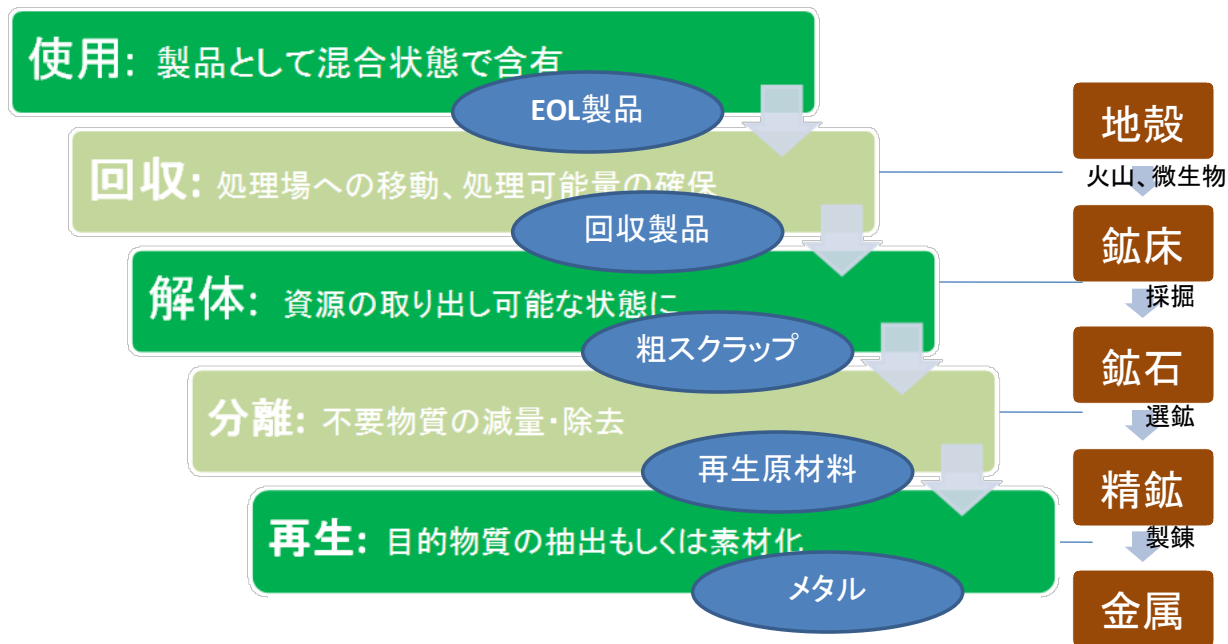
コストの壁：解体、分離、選別、抽出

- ・ ヒトの認識に勝る安価な技術を
- ・ アセンブリーのテクノロジーの延長線では解決しない
- ・ 大量・良質の処理で発展してきた製錬技術とは異なるアプローチも

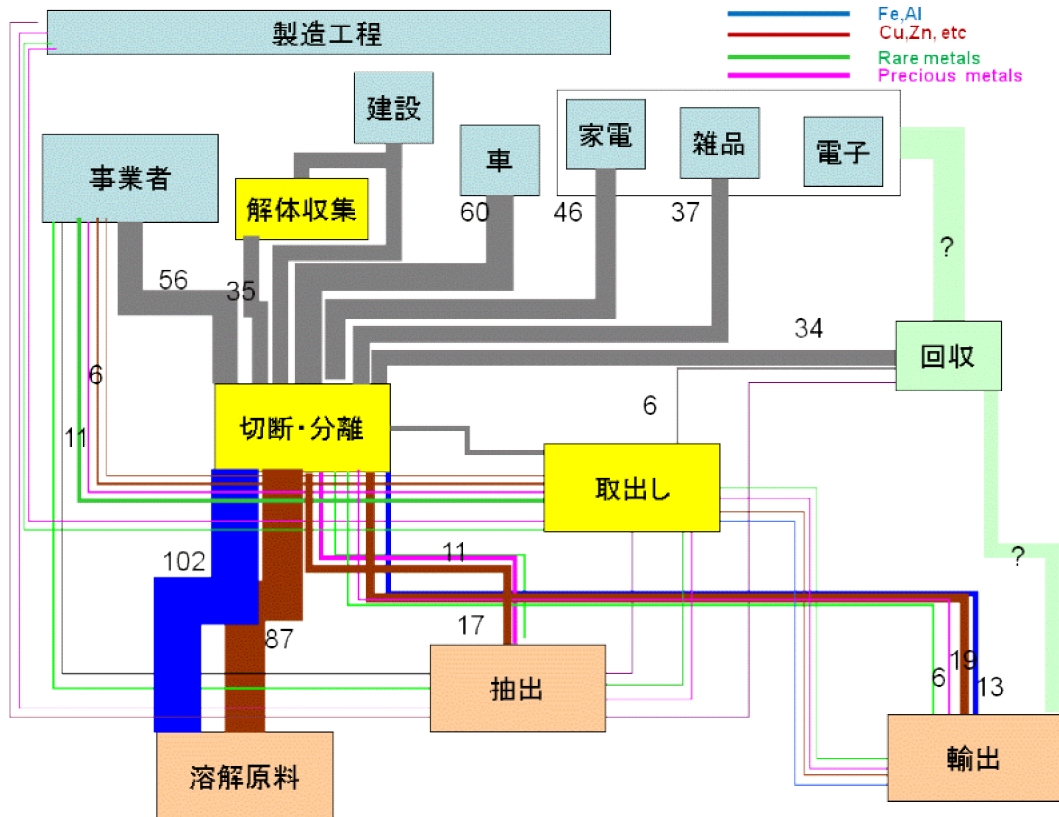
時代の壁：20世紀型リサイクルからの脱却

- ・ 加工屑ベースのリサイクルの限界
- ・ 易解体設計が不可欠

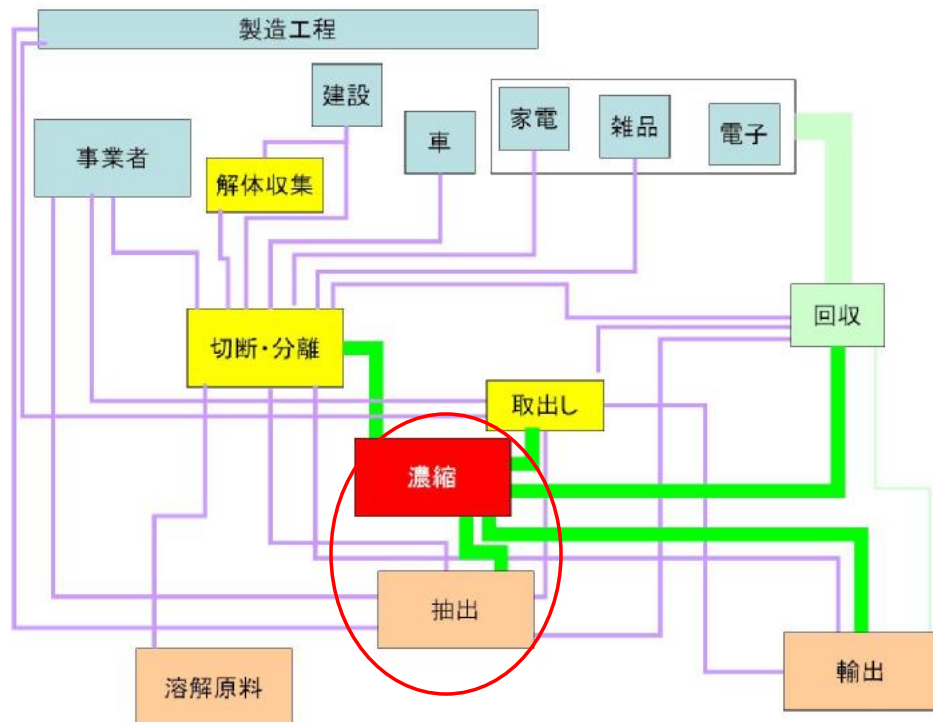
都市鉱山化を天然鉱山と対比してみる



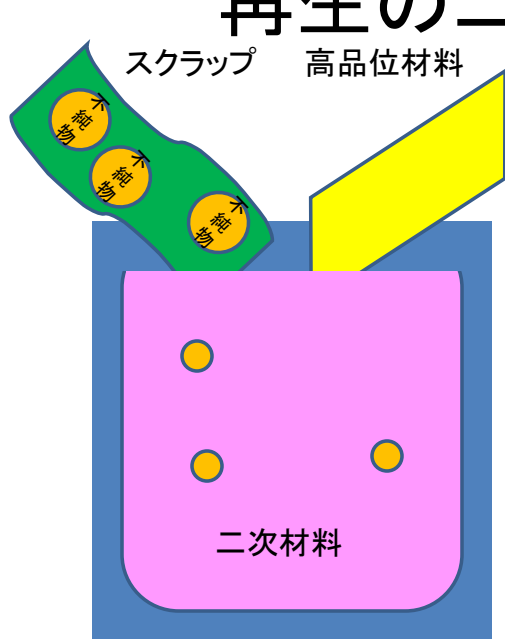
抽出に向かう流れより輸出が多い現在の静脈フロー



濃縮し「都市鉱石」にして抽出する技術が鍵

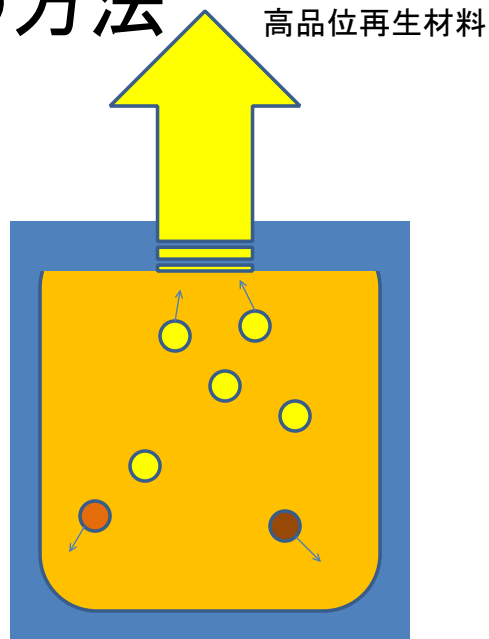


再生の二つの方法



希釈型: Fe, Al, プラ、紙、ガラス等

バージン材が必要

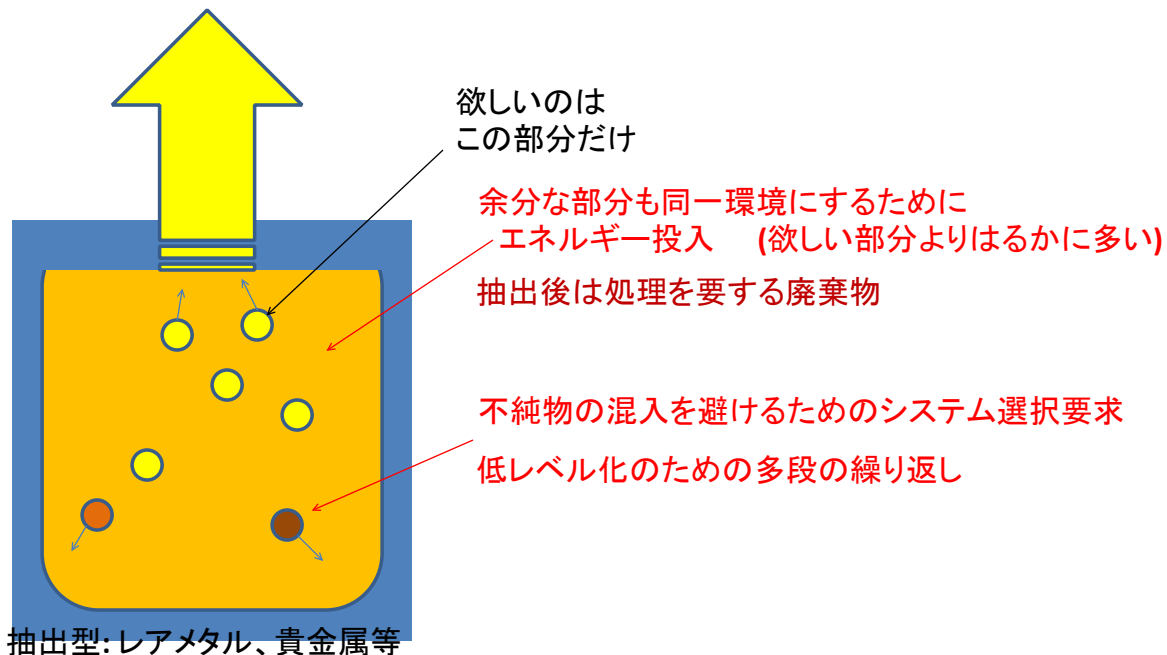


抽出型: レアメタル、貴金属等

抽出物より廃棄物が多い

抽出型のコストは不要物で決まる

抽出型のプロセス負荷の本質



濃縮: 余分なものを減らす

抽出: 欲しいものをすばやく取り出す

自治体による回収

①有効な回収システム
の構築

事業者による回収

廃棄物
事業者

廃棄物
事業者

廃棄物
事業者

廃棄物
事業者

廃棄物
事業者

鉄

アルミ

プラ

粗大
鉄・銅
・アルミ・プラ

鉄・アルミ・プラ

粗大銅

レアメタル・貴金属・銅回収
事業者

小型分散型プラント

複雑な廃棄物からの選択・分離・濃縮

<都市精鉱の製造>

鉄・アルミ・プラ

銅

レアメタル

レアアース

都市精鉱の供給

都市精鉱
の供給

②分散型小型プラントにより、
複雑廃棄物から、レアメタル、レア
アース、銅等の有価物を分離・
濃縮。都市精鉱を製造

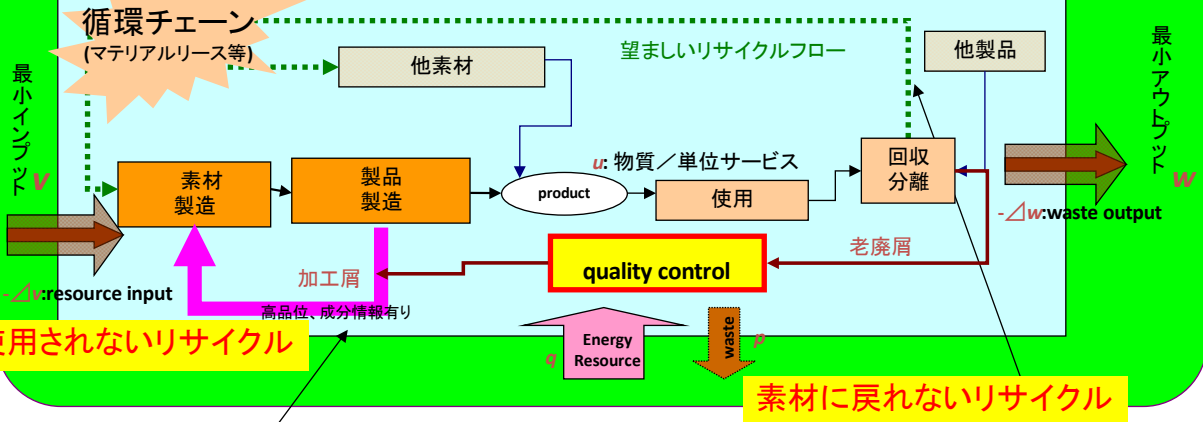
③コンパクトな手法により含レアアース
都市精鉱から、元素レベルで高純
度なレアアースを回収する。

レアアース回収小型プラント

高純度レアアース

Eco-sphereでの循環

Techno-sphereでの循環



使用されないリサイクル

素材に戻れないリサイクル

20世紀型リサイクル
 大量生産の大量スクラップに
 依存
 ↓
 均質で多量のスクラップ
 ↓
 老廃物: リサイクルプロセスに
 合わせるための
 品質調整プロセスが必要
 (barrier of 75% recycling)

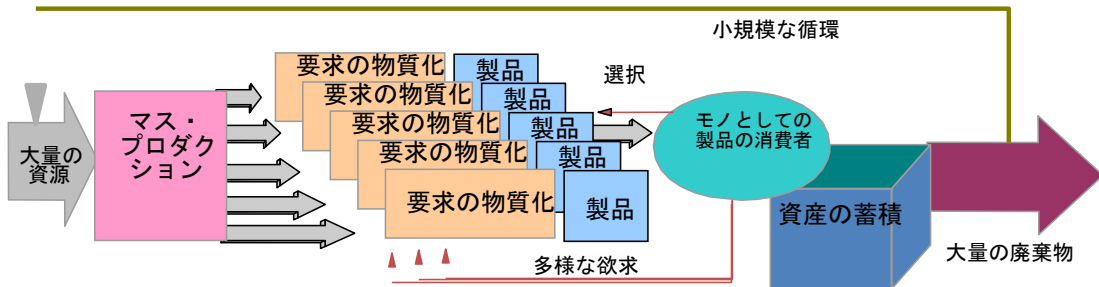
u 一定の時
 $q - \Delta v > 0, p - \Delta w > 0,$
 なら、
 リサイクルは
 資源生産性を
 損なう

Change
 the material flow

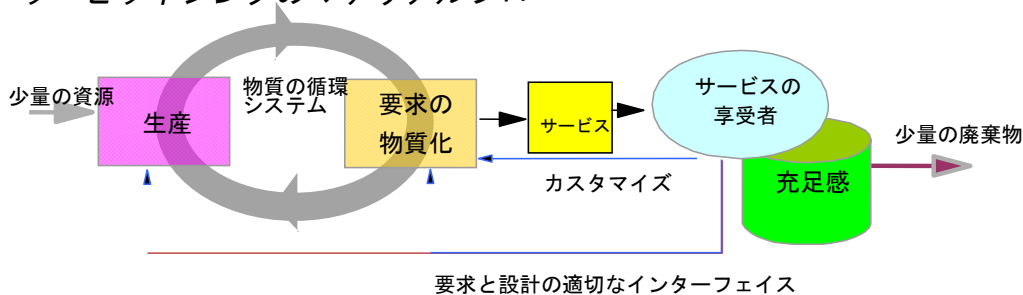
21世紀型リサイクル基盤
 物質循環指向の製品設計
 循環指向のプロセス設計
 サービス指向の材料設計

基本は解体設計ベースのサービサイジングによる循環管理

大量生産・大量消費・大量廃棄のマテリアルフロー



サービサイジングのマテリアルフロー



新成長戦略、産業構造ビジョン

Ⅲ. 目標実現のための取組

1. 資源確保・安定供給強化への総合的戦略

【目標(2030年)】

- 化石燃料の自主開発資源比率を約50%以上(現状:約26%) (再掲)
- 戦略的確保が必要なレアメタルを特定(レアアース、リチウム、タングステン等)し(戦略レアメタル)、リサイクル、代替材料開発も加味した自給率を50%以上とする。

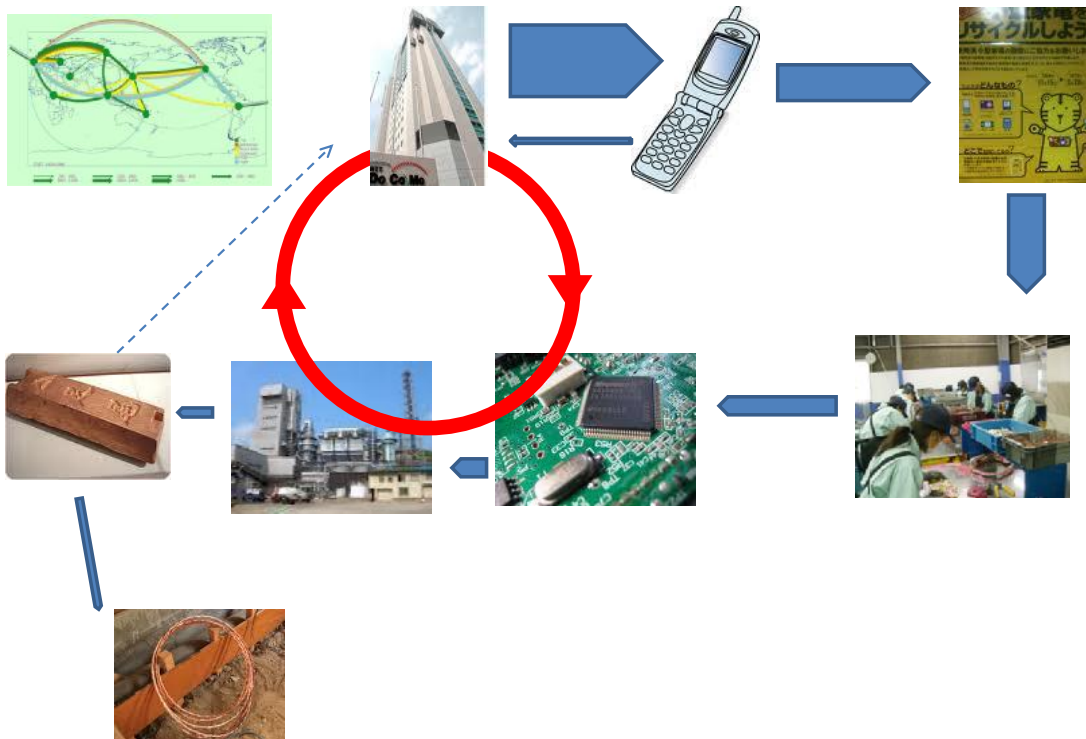
【具体的取組】

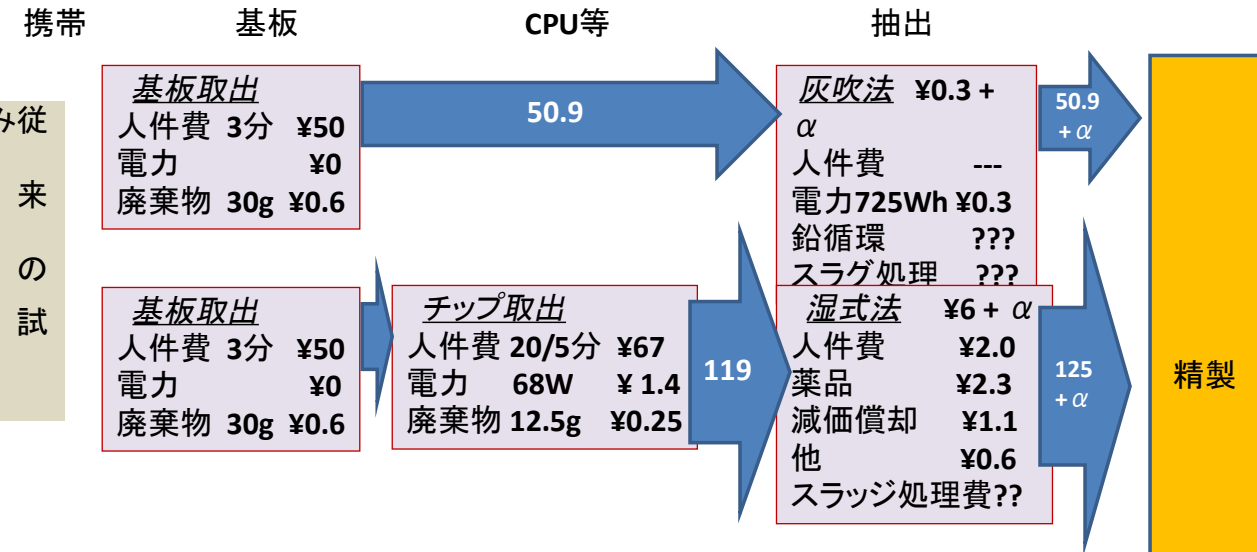
- 石油・天然ガス・石炭等について、**官民一体となった資源国との戦略的関係の深化、リスクマネー供給支援の強化**等を通じた上流権益獲得の推進等により、安定供給源を確保。石油備蓄を推進。
- 海洋国の強みを生かした国内・海洋資源開発の強化(メタンハイドレート・海底熱水鉱床・コバルトリッチクラストの技術開発推進、近海での資源開発推進のための探査・開発に係る制度を整備。)
- 戦略レアメタルについて、備蓄、リサイクルシステム構築の検討、代替材料開発等を推進。
- 国内における石油製品精製・流通部門の抜本的な構造調整を促進しつつ、競争力強化を図る。

CSRとしての
自社自給率の向上

**2030までに
レアメタル自給率 50%以上**

今は One way Recycle?





使用済デジタル家電からの貴金属レアメタルリサイクルネットワーク構築可能性調査を元に試算

原単位設定	
人件費	1,000円/h
廃棄物処理費	20円/kg
電力	20円/kWh

一台当りのgoods性はそんなに高くない

ビデオカメラ オーディオ デジタルカメラ ポータブルMDプレーヤー ポータブルCDプレーヤー 液晶テレビ DVDプレーヤー 電話機 カーナビ ゲーム機 フラッシュメモリーオーディオ(A) 携帯電話

¥/台	150	372	110	108	67	70	32	10	21	66	43	119
Co	0.04	0.16	0.04	0.04	0.02			0.01	0.02	0.04	0.01	0.45
Ni	1.90	6.99	2.86	1.54	1.15	0.60	0.43	0.18	0.79	2.80	0.38	2.34
Cu	4.21	28.97	12.75	6.15	3.74	10.88	4.17	0.71	6.90	8.32	1.50	5.01
Zn	0.07	0.52	0.25	0.06	0.10	0.48	0.04	0.03	0.08	0.13	0.01	0.09
Mo		0.12		0.01							0.01	0.04
Pd	40.07		12.33	3.08							1.23	4.31
Ag	7.12	32.74	10.61	6.21	6.37	3.18	2.43	1.58	3.18	2.73	1.70	5.62
Sn	1.27	8.47	2.11	2.01	2.32	3.16	0.85	0.51	0.95	2.12	0.28	0.93
Ta	2.82	6.26	0.94	0.31	0.63						0.06	
W	0.01	0.07		0.01							0.00	0.05
Au	77.32	274.90	51.54	85.91	51.54	25.77	17.18	3.44	8.59	34.36	37.80	96.21
Pb	14.87	7.48	16.24	1.97	0.79	23.48	5.91	3.47	0.25	14.87	0.08	3.96
Bi	0.08	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02		0.01		0.04		0.00

人手を省くために考えたこと

- 何と何を分けることが一番重要か?
 - アルミを銅系レアメタルから分離
(スラグにしかない)
- → 構造用素材は強い、機能材は。。。
易解体設計ができていれば取り出せるが

不十分な易解体設計製品の解体に手間をかけるのは無駄

- 素材に分けるのだから素材の物性を利用



片状物
プラスチック
アルミ、マグネ
基板材



ボールミル
処理



破碎粉
実装物
めっき等
希少金属を濃縮した
都市鉱石



ボールミル法の優位点 その1

By Sugawara

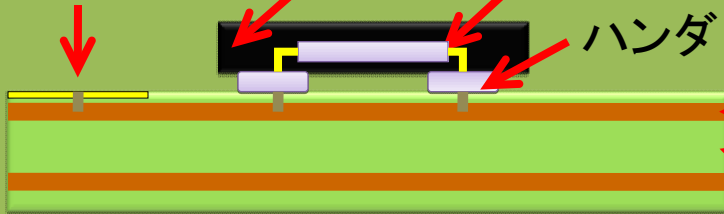
外枠：樹脂、Alなど

レジン（黒い部分）：合成樹脂などで構成

接点部：Au

チップ類：Au, Ag, Cu, Siなど

ハンダ：Pb, Sn, Bi, Ag など



Cuを含む

樹脂



従来法

不要な部分を
含んだまま処理

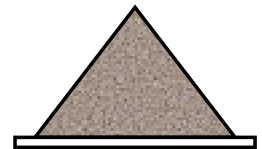


ボールミル法



基板とチップが分離しチップが粉末化

従来法より高品位

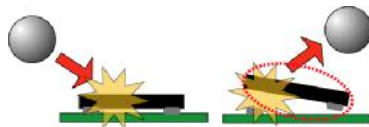


基板やプラ枠を含む粗破砕物から高品位粉末⁵³

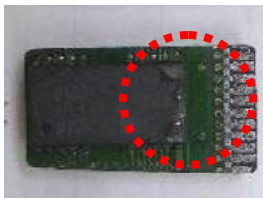
チップの基板からの分離



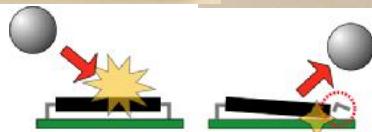
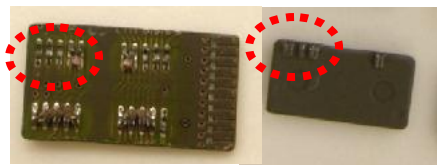
チップにボールが衝突し割れる



チップにボールが衝突し基板から分離



ボールがチップ表面を削ったり押しつぶす



チップを支えている足が折れる

携帯電話のボールミル破碎・粉碎物



金メッキ、電子部品
内部の金属が濃集

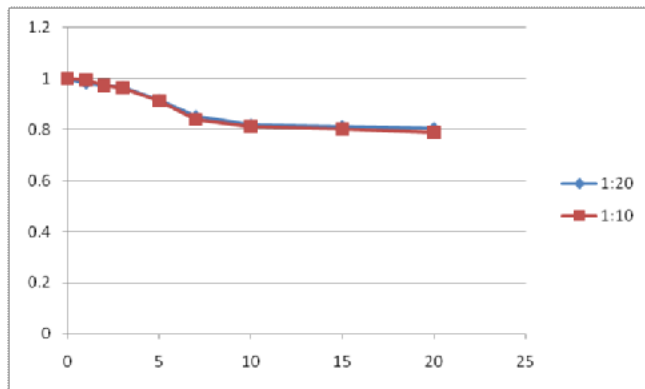
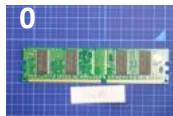
希少金属を含む
『都市鉱石』

高エネルギー遊星ミル



二軸破碎機

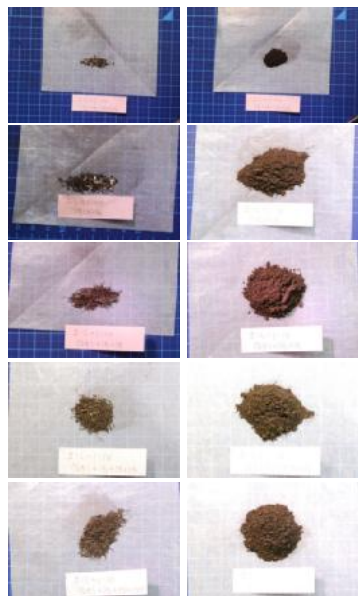
1:10



	回転数 (RPM)	120				
	ボール条件 (S:L)	1:20		1:10		
	メモリ初期重量 (g)	15.89		15.802		
		1:20			1:10	
		重量(g)			重量(g)	
経過時間(分)	4mm以上	4mm以下500μm以上	500μm以下	4mm以上	4mm以下500μm以上	500μm以下
1	15.604	なし	なし	15.716	なし	なし
2	15.463	なし	なし	15.370	なし	なし
3	15.338	なし	なし	15.237	なし	なし
5	14.548	0.136	0.074	14.438	0.181	0.237
7	13.550	0.397	0.794	13.283	0.397	2.028
10	13.000	0.502	0.820	12.831	0.462	1.642
15	12.909	0.490	0.790	12.666	0.426	1.476
20	12.796	0.462	1.073	12.467	0.516	2.146



チップ離脱までに7min
離脱チップ破碎まで10min



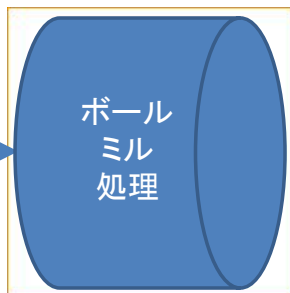
携帯電話機

	weight
プラスチック	21.20
ガラス	3.45
アルミ	3.47
電子基盤	20.61
その他	2.50
計	51.24

破砕粉(都市鉱石)

	0/00	TMR/g
Cu	60	24
Fe	100	0.9
Ni	33	8.5
Cr	20	0.5
Zn	2.7	0.1
Pb	1.7	0.05
Ag	1.4	6.8
Au	0.9	990
PGM	0.2	13
計		1,044

	Weight	TMR/g
others	10g	
Cu	10g	42
Fe	4g	0.5
Ni	0.7g	1.9
Cr	0.8g	0.2
Zn	0.04g	0.01
Pb	0.01g	0.03
Ag	11mg	0.5
Au	6.8mg	74
PGM	2.5mg	3
計		122



板状物



	TMR/g
アルミ	48

基盤	TMR/g
Cu	150

消費端重量

資源端重量

Transportation

CO₂ : 0.016t
SO_x : 0.22kg
NO_x : 0.017kg

(/1000km·t)

Mining

CO₂ : 0.03t
SO_x : 0.10kg
NO_x : 0.25kg

(/t-ore)

Extraction

11,800km

Metals

1Kg 金属 *l*

Cu

6Kg 精鉱

300Kg 粗鉱

素材の背後には大量の天然資源が消費されている。

エコロジカル・リユクサック

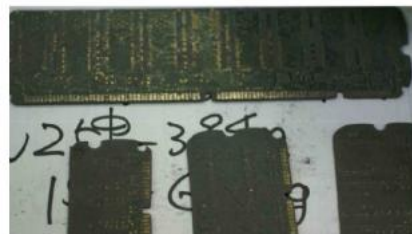
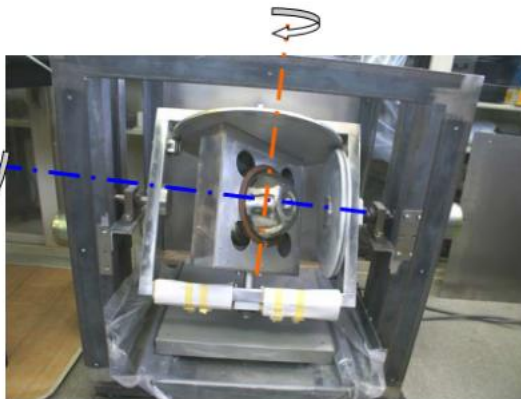
関与物質総量(TMR)

軽便な三次元ミルで チップ類の剥離・粉碎を効率化

X 軸（水平回転）（左右遠心加速度）

試験装置

Y 軸（垂直回転）
（上下遠心加速度）



ICチップやパターンが粉碎されたメモリー基板（チップの形跡が全くない）

回収した粉砕料：50g



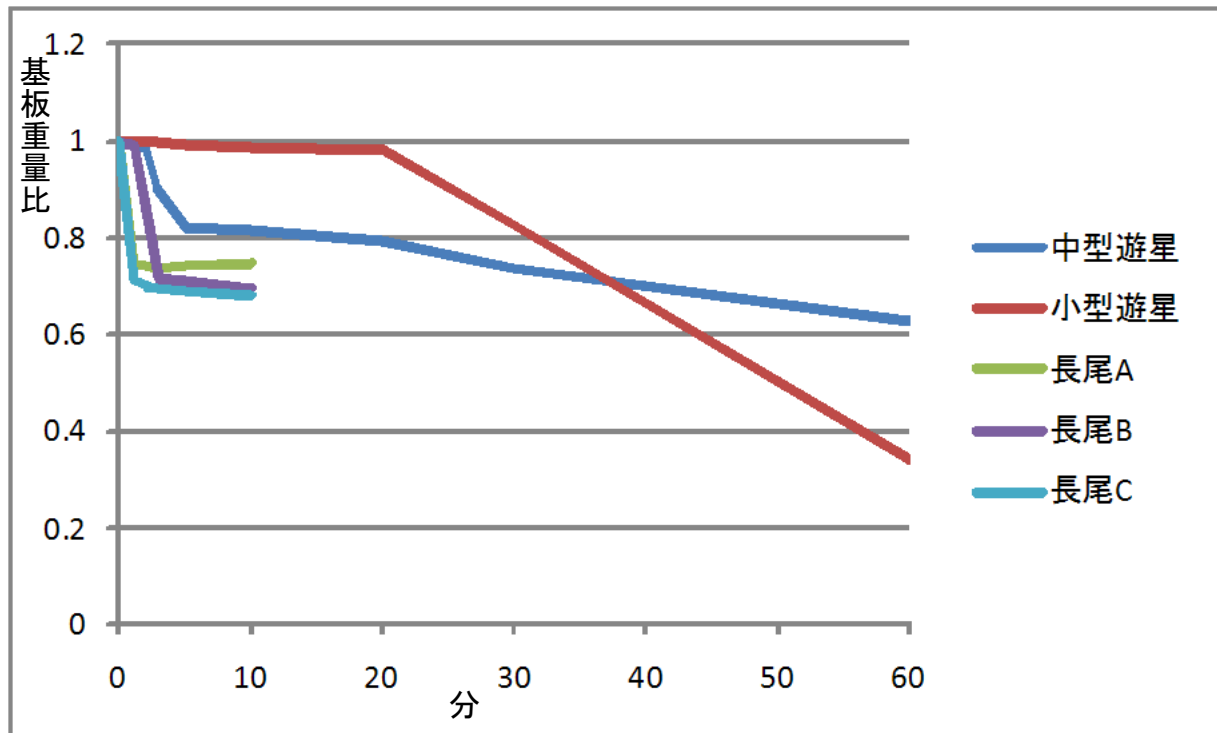
押縮製分所機による切削携帯電話2台分



Y 軸回転数:220rpm 負荷電流: 2.2A

X 軸回転数:220+290rpm=510rpm 負荷電流: 2.0A

基板チップ離脱試験



10万人の町で

8割が携帯電話を持っているとして

2.5年に1回更新すると 年間3.2万台
1日約88台が使用済

Goldが約100円/台、精錬会社にその半額で売れても

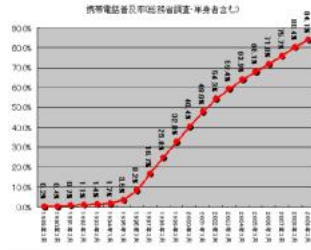
処理コストが1日4400円を超してはpayしない

- 専属の人を張り付けることはできない
- 基盤取り出しを手で行えばpayしない
(熟練者処理能力200台/日)
→基盤以外物の処理コストが出ない

人手をかけない解体分離処理が必要

→設備コストをどこまで見れるか

引き取り差額を20円/台まで上げて64万円/年



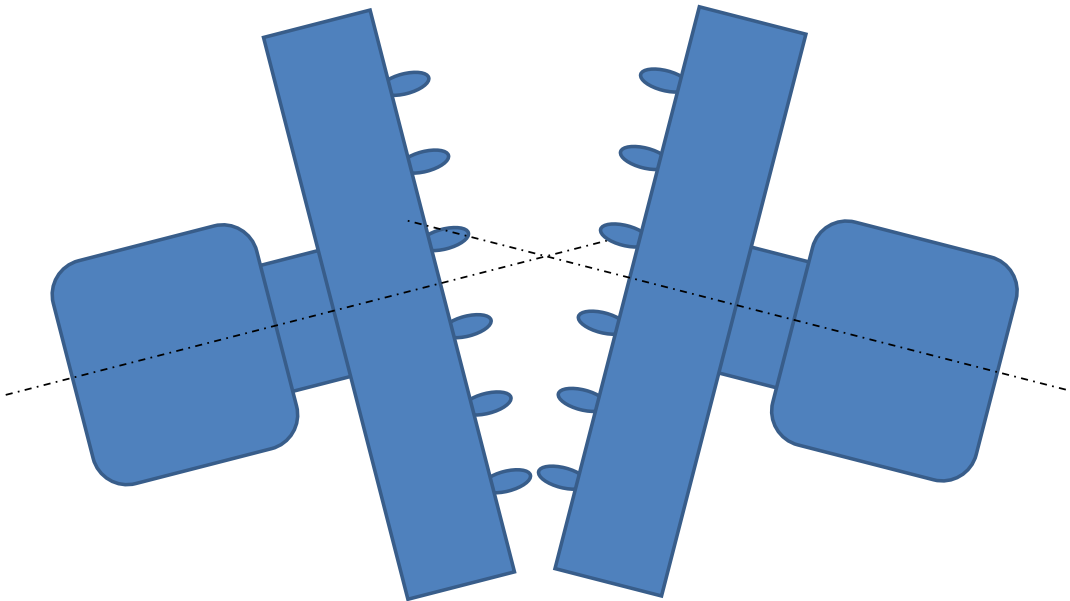
携帯電話普及率(総人口に対する割合)

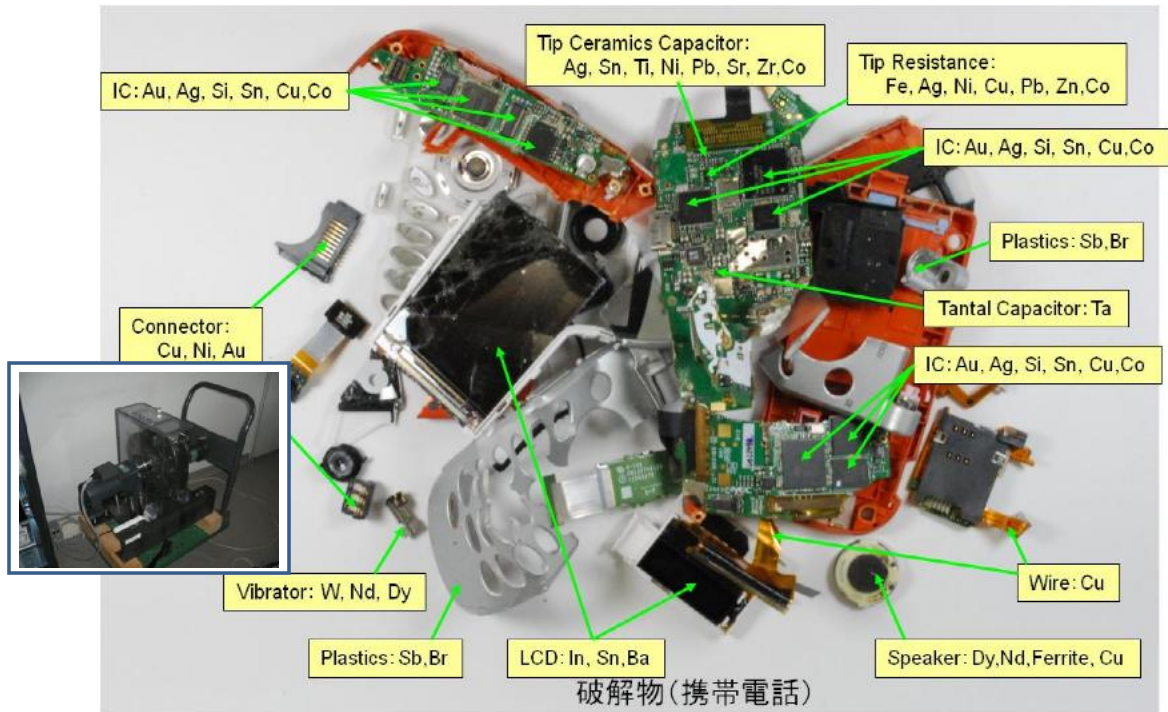
http://www.gamenews.ne.jp/kt/archives/2009/07/post_114.html

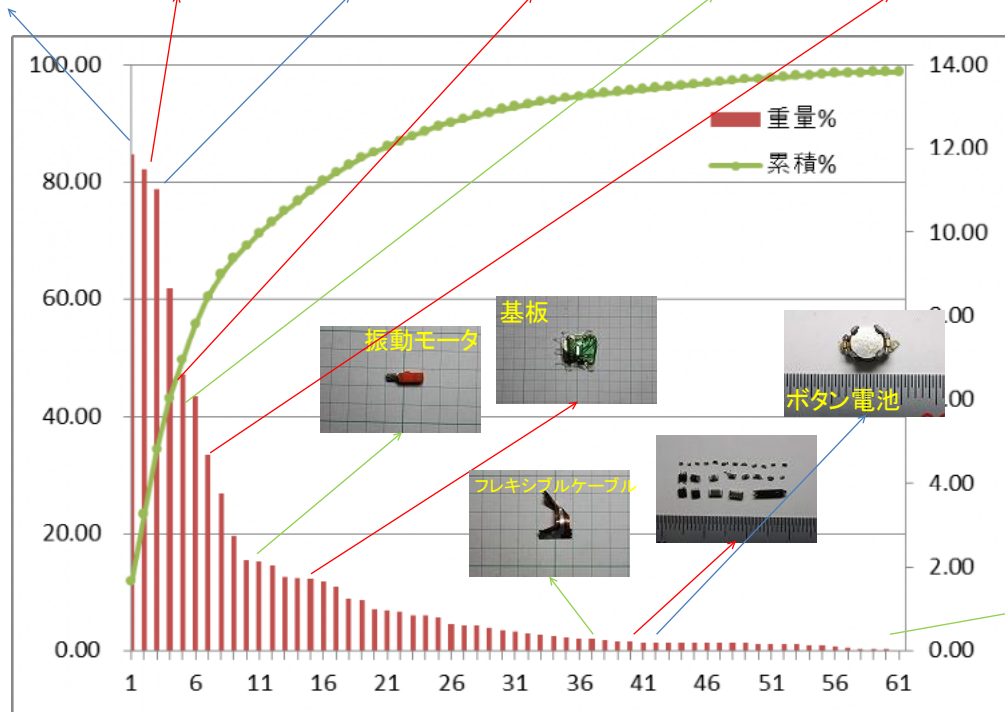
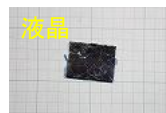
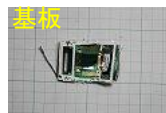


<http://www.yoronchousa.net/result/2191>















単純棒形
ツメ1
25rpm
24秒



折りたたみ
ツメ1
25rpm
8秒



スライド形
ツメ2
25rpm
22秒



単純棒形
ツメ3
25rpm
7秒



折りたたみ
ツメ3
25rpm
13秒



スライド形
ツメ3
25rpm
23秒



単純棒形
ツメ4
25rpm
16秒



折りたたみ
ツメ4
25rpm
33秒



スライド形
ツメ4
25rpm
15秒
ケース硬い
良い



多様な小型家電にも対応



1
リコ-デジカメの中間アダプタ-
100x30x40 8秒



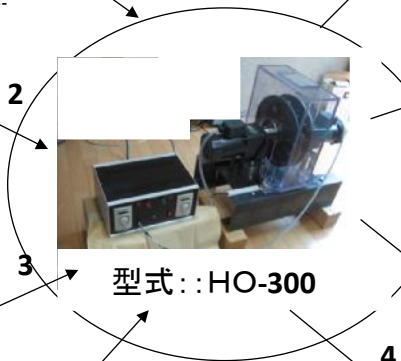
2
リコ-デジカメ
14秒
バッテリー内蔵型 注意



3
リコ-デジカメ乗せ台
10秒



4



1



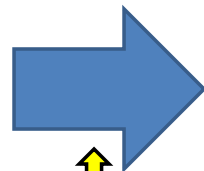
2



3



4

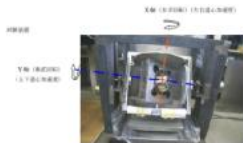


ボ
ル
ミ
ル
工
程
へ

↑
部品の手選別との組み合わせも有効



モ
ー
タ
ス
ピ
ー
カ
導
線
な
ど



高品位の粉鋳
組成がつかみやすい

銅製錬所



スラグ



分離処理

湿式抽出

プラスチックの処理

高濃度化

レアメタル

親銅
レアメタル

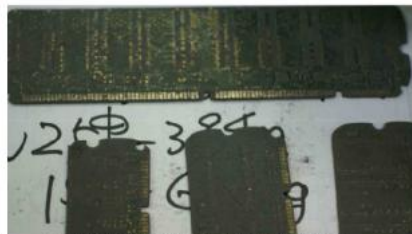


金

銅

都市鉱石

Urban Concentration

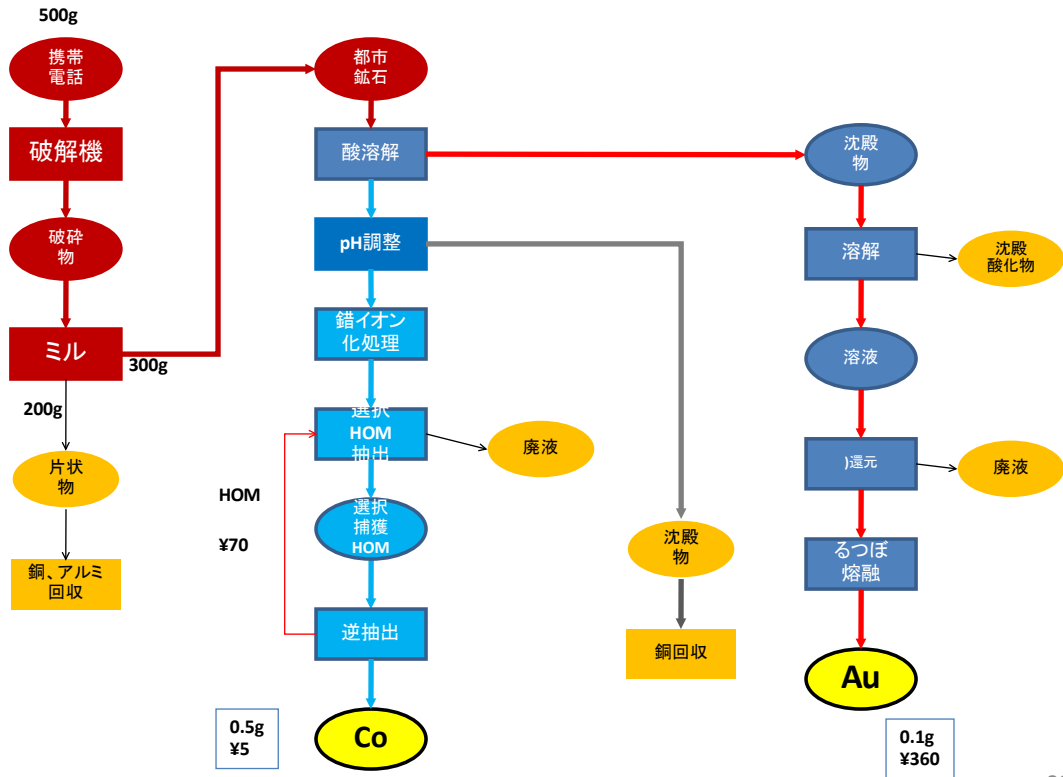


ICチップやパターンが粉碎されたメモリー基板（チップの形跡が全くない）

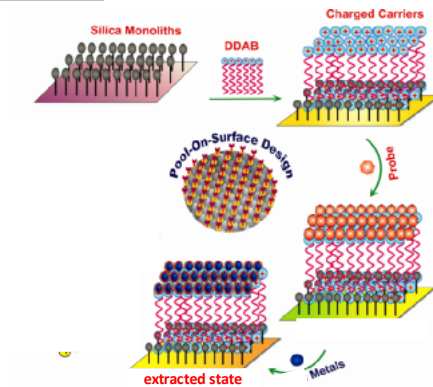
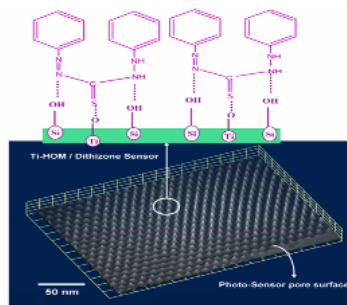
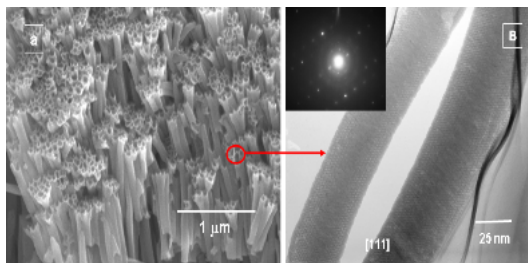
回収した粉砕物：55g



携帯5台を想定



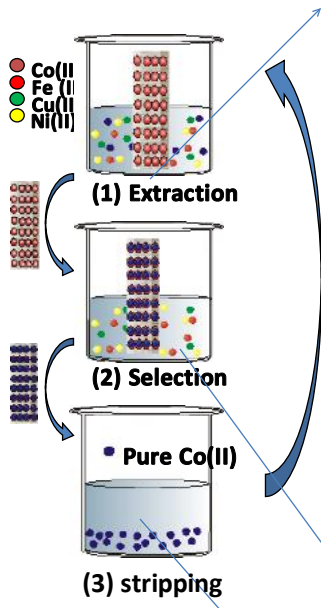
Pool-on-surface状態をもちいた イオン選別捕獲膜



HNO₃ solution
+ Sod. Citr. + NaOH

mg

Co	Au	W	Mo	Nd	Pd	Cu	Fe
41.25	0	0	0	15.0	0	225	81.3



a)
官能基
修飾HOM



b)
Co(II)
捕獲HOM

Co	Au	W	Mo	Nd	Pd	Cu	Fe
0.08	0	0	0	57		820	240

Co	Au	W	Mo	Nd	Pd	Cu	Fe
32	0	0	0	0	0	0	0

都市鉱石から取り出した粗金

都市鉱石 300g (携帯約10台分)から113mg



試料



使用した部分

試料を金属部分とプラスチック部分に分けて金属部分を使用した

溶解

硝酸 300ml



ろ過

この操作を2回



溶解

塩酸 100ml 過酸化水素 50ml



還元 (pH2)



マッフル炉



試料 0.049 g



熔融



熔融後

Ph 9.366 g
マッフル炉
1100°C
1h Hold

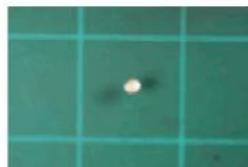


灰吹き

マッフル炉
900°C
1h Hold

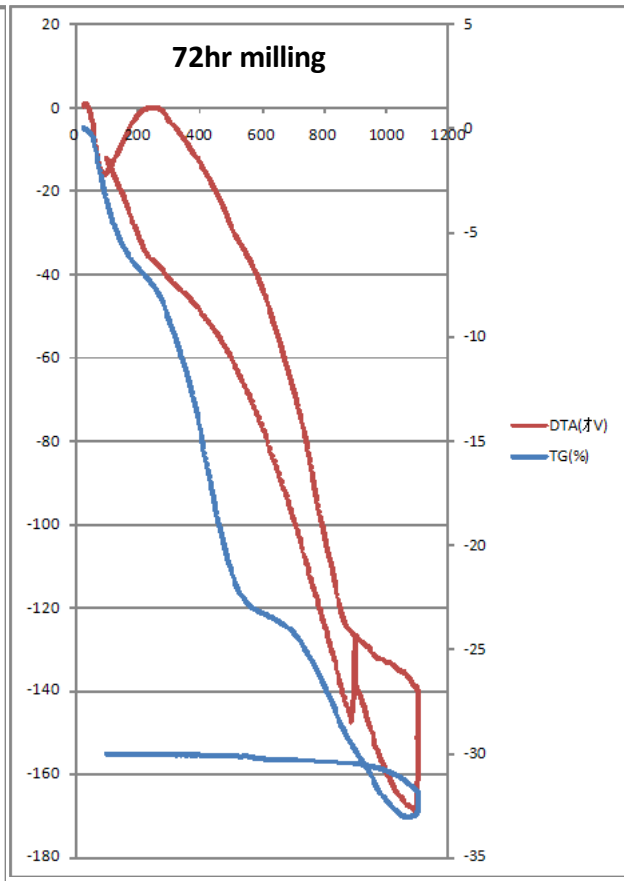
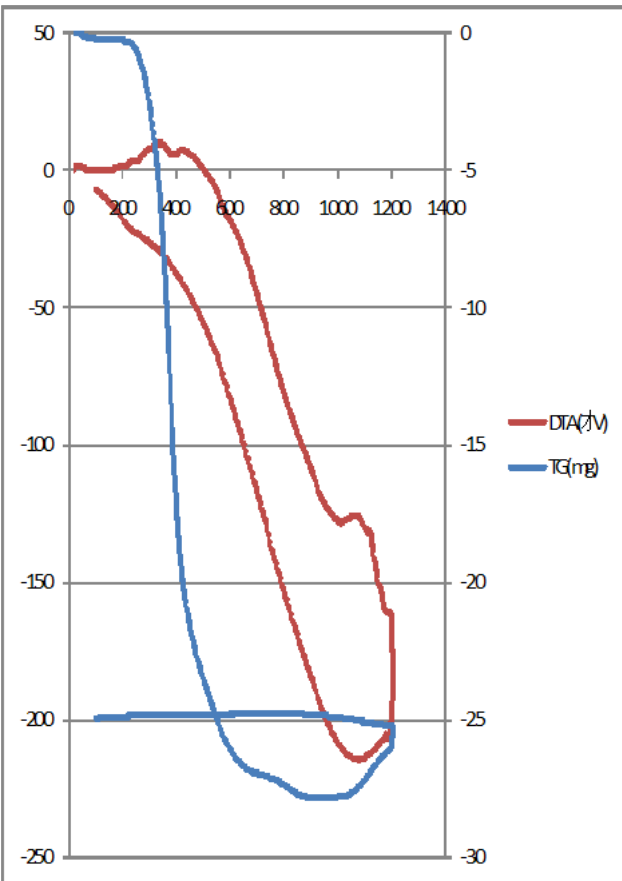


試料 32 mg

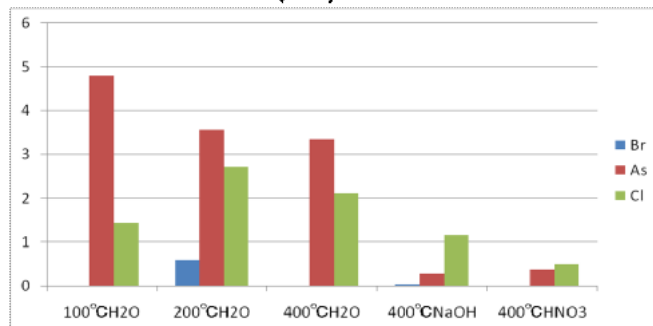


金属の塊

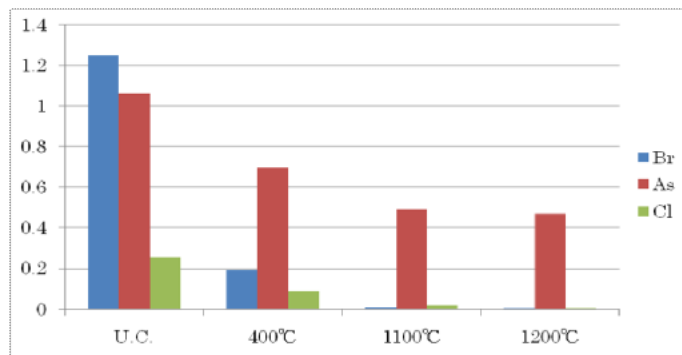
蛍光X線分析結果
(wt%)
Au: 13.71
Pb: <
As: <2e.
Pd: 0.54



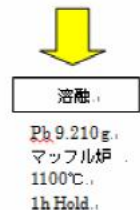
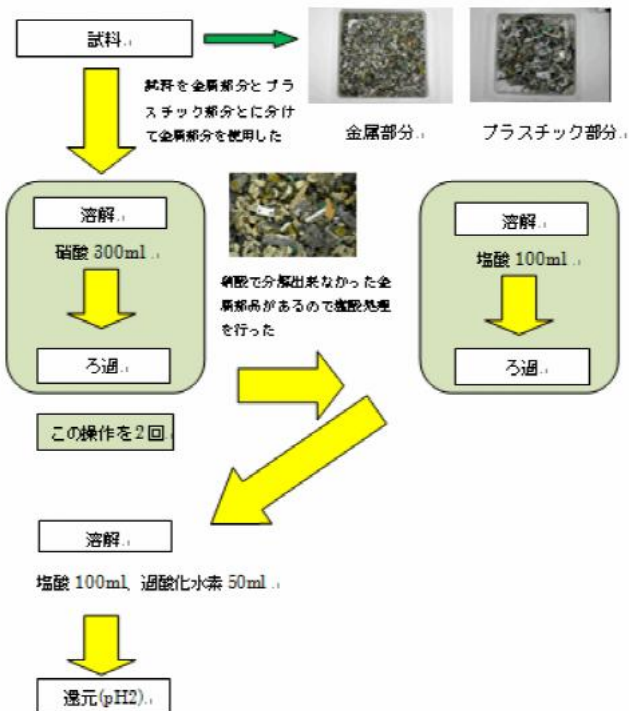
ガス捕獲Br,As,Cl(x0.1) (%) on paper



試料中の残存Br,As,Cl (%)

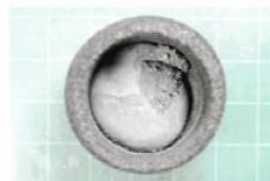


静電分離回収の金属回収物(ミックスメタル)、混合物、樹脂のうち、混合物。

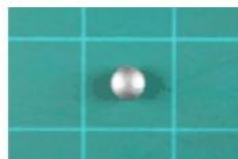


蛍光X線分析結果,
($\mu\text{g/g}$)

Au: 27.68,
Pb: 9.86,
As: 20.95,
Pd: 10.06.



溶融後



金属の塊

まとめ

- 安価な濃縮方法が開発されつつある
- それにより
抽出との多様な連結が可能
(金のflowの sub-flowとしての組み込み)
コストの壁の打破の可能性
- やはり プラスチック、Br、Asの処理が課題
(廃棄物の壁!!)

主催：(株)物質・材料研究機構(NIMS)、元京研センター
(社)東京技術戦略推進機構(JCIH)

資源多量アスファルト増大している現状で「都市鉱山」の活用が注目されています。特に日本は世界の優れた大気環境を有
的活用して発展してきた国であり、「都市鉱山」のポテンシャルは極めて大きなものと見込まれています。しかしこれ
は「大量かつ高価・高純」という特徴を有しており、活用のために高価・高純化する都市鉱山の抽出に高純度分離剤(特
別目的の開発が求められています。新しい抽出技術を開発するためにこの研究会を発足させました。実用化技術
(Wendberg)のみならず高度分離化学やnano-technologyを駆使し、更に環境材料科学などの基礎的アプローチも実行し
て頂き、資源利用をより進めていこうという目的があり、その上級に基づき第二回公開ワークショップを開催いたしま
す。より広範囲な分野の方々からご意見ご協力を頂きたい。ご参加を希望しております。

日時：平成22年7月21日(水)13:30~17:10

会場：(財)化学技術戦略推進機構 2F 第1,2会議室 <http://www.jcih.jp/>

〒105-8502 東京都港区新橋3-5-5 2F(4F) 地下鉄新橋門前-三軒巻-新橋駅南口徒歩約1分
下車 4F 出口から徒歩約5分

※1F 中庭(新橋駅南口)地下鉄徒歩15分

プログラム:

貴会:(財)JCIH 武安弘光

13:30 懇会挨拶 (株)物質・材料研究機構、元京研センター 原田幸明

13:40 講演1 「高効率で簡便な金属捕集・回収をめざした材料の開発」
(群馬大学工学部 永井 大介)

14:20 講演2 「酵素反応で調製したポリフェノールによる金属の回収・除去」
(佐賀大学理工学部 川喜田 英孝)

15:00 ~ 15:20 休憩

15:20 講演3 「常温・常圧溶液中における貴金属化合物ナノ粒子触媒の
合成」
(物質・材料研究機構 阿部 英樹)

16:00 講演4 「フラグメント分子軌道法と凝集系への応用」
(立教大学理学部 望月 祐志)

16:40 懇会討議
(全員)

17:00 今後の予定

参加費用:70名 無料

参加申し込み方法:

電子メールにて、件名冒頭に「7/21 新レアメタル 申込」と入力し、出席される方の氏名・勤務先/所属
/メールアドレスを明記の上、下記事務局アドレスへ7月16日(金)までに送信下さい。

問合せ先:(社)金属科学技術協会 エコマテリアル・フォーラム事務局

Tel 03-3500-8001 E-mail ecomat@mtt.or.jp

〒105-0020 東京都港区西新橋 1-5-10 新橋アマビル4F