

リサイクルと持続可能な社会構築

2006年7月11日

東京大学システム創成学科

E & E (環境・エネルギー) コース

藤田豊久

ピークオイル

- 世界の年間石油生産量がピークを迎える時期
… 現在から40年先まで諸説あり明確でない。
- 可採年数 = Reserves/Production = R/P
現時点の年間生産量Pで生産した場合、あと何年分の確実に回収できる石油があるか。
R: 確認埋蔵量… 地質学的、工学的にほぼ確実に回収される埋蔵量
資源量: 現在の地殻内集積資源の全量
埋蔵量: 現在の技術で経済的に回収できるもの
- 日本 全エネルギーの4割を石油、年40.2億トン消費
- ケロジェン起源説と無機起源説があるが明確でない。
[石油ビジネスのしくみ: 茂木源人著より2006年]

石油代替物質

石油の利用

- ・ **輸送用燃料**・・・圧倒的に石油依存(ガソリン、軽油)。石炭液化は技術確立されているがコスト高。メタノール、DME(ジメチル・エーテル)、天然ガス、GTL(天然ガスから液体燃料合成)、**燃料電池**、水素(水素エンジン)・・・水素を再生可能なエネルギーから供給する必要あり。
- ・ **石油化学製品原料**・・・天然ガス(石油と同じ資源制約)、LPG(4割が原油の精製過程で生産、6割がガス田や油田から生産)、石炭(油化のために水素添加するが水素はメタンと水蒸気に熱を加えて製造)などで代替
- ・ **発電用燃料**・・・発電への石油利用は56%1977年から6.4%2001年。原子力、石炭、天然ガスで代替。水力(国内電力の10%2005年)。

非在来型石油資源

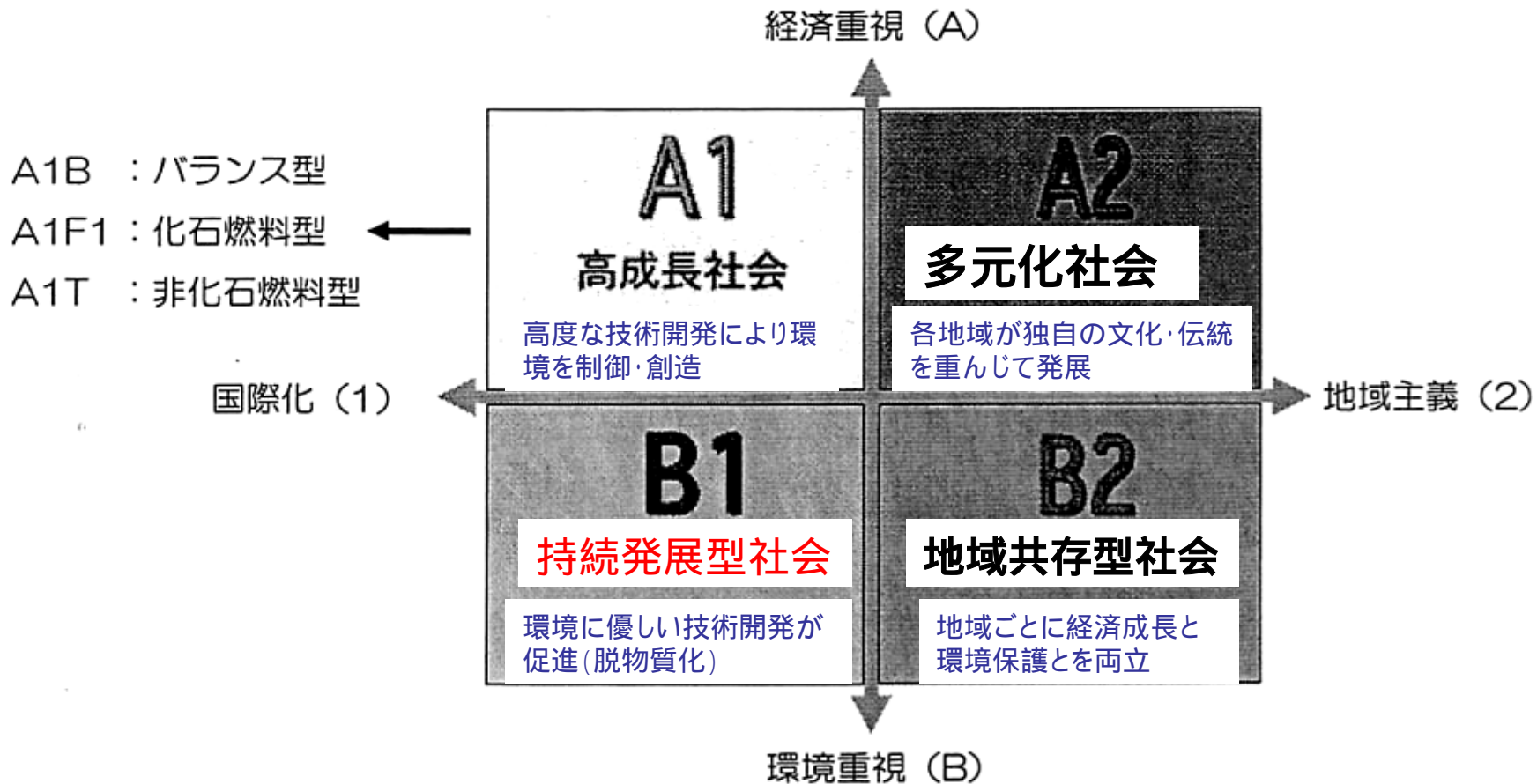
- タールサンド・・・カナダ、アルバータ州で超重質油を含んだ砂から100万バレルの原油が商業生産。1700億バレルのタールサンド原油埋蔵量。
ベネズエラ、オリノコタールという超重質油の膨大な存在。
- オイルシェール・・・米国、ロシア、ブラジル、中国、モロッコ、オーストラリア、石油の根源物質のケロジェンを多量に含む緻密な堆積岩の存在。乾留して液状、ガス状の炭化水素にする。10ガロン/tの石油回収ができる。3兆バレル以上の石油が埋蔵。
- 精製プロセスで大量の水を使用。回収後残渣の大規模な廃砕ダムが必要。得られる原油の1/4は生産に消費。
- 生産効率悪く、将来の生産量が未知数。

新エネルギーには限界

- 1997年「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」・・・技術的に実用段階に達しつつあるが、経済性の面で制約から普及が十分でないもので、石油代替エネルギーの導入を図るために特に必要なもの
- 太陽光発電、風力発電、太陽熱利用、温度差エネルギー、廃棄物発電、廃棄物熱利用、廃棄物燃料製造、バイオマス(化石燃料由来の資源)発電、バイオマス燃料製造、雪氷熱利用など
- エネルギー密度小。原料の供給量に制約。
- 日本の総エネルギーに占める新エネルギーの割合1.53%、2002年。(約0.7%:製紙業から排出される黒液と廃材利用、バイオマス発電0.29%、廃棄物熱利用0.27%、太陽熱利用0.12%、風力発電0.032%、太陽光発電0.026%)
- 現在の選択肢・・・省エネを行う、石炭の生産を増やす、は容易

今後注目されるエネルギー資源

- ・未発見量 天然ガス > 石油
- 非在来型天然ガス
 - メタンハイドレート・・・世界中に広く分布
 - コールベットメタン(CBM)・・・天然ガス確認埋蔵量に匹敵する資源量、個々の井戸からの生産量小
 - タイトサンドガス、シェールガス・・・砂岩や頁岩中、貯留層に亀裂を入れる必要
 - 深層天然ガス・・・地球内部に存在する無機物質？



気候変動に関する
政府間パネル
IPCCより

(参考1) IPCCの世界発展シナリオ・排出シナリオ。「経済重視」または「環境重視」, 「国際化」または「地域主義」の観点から世界発展のシナリオを分類している。

図 各種シナリオによる21世紀末の気候関連諸数値変化予測⁽⁴⁾

(出典: IPCC地球温暖化第三次レポート, 気象庁・環境省・経済産業省監修, 2002年7月)

人為的CO₂排出量 (10億炭素換算トン)

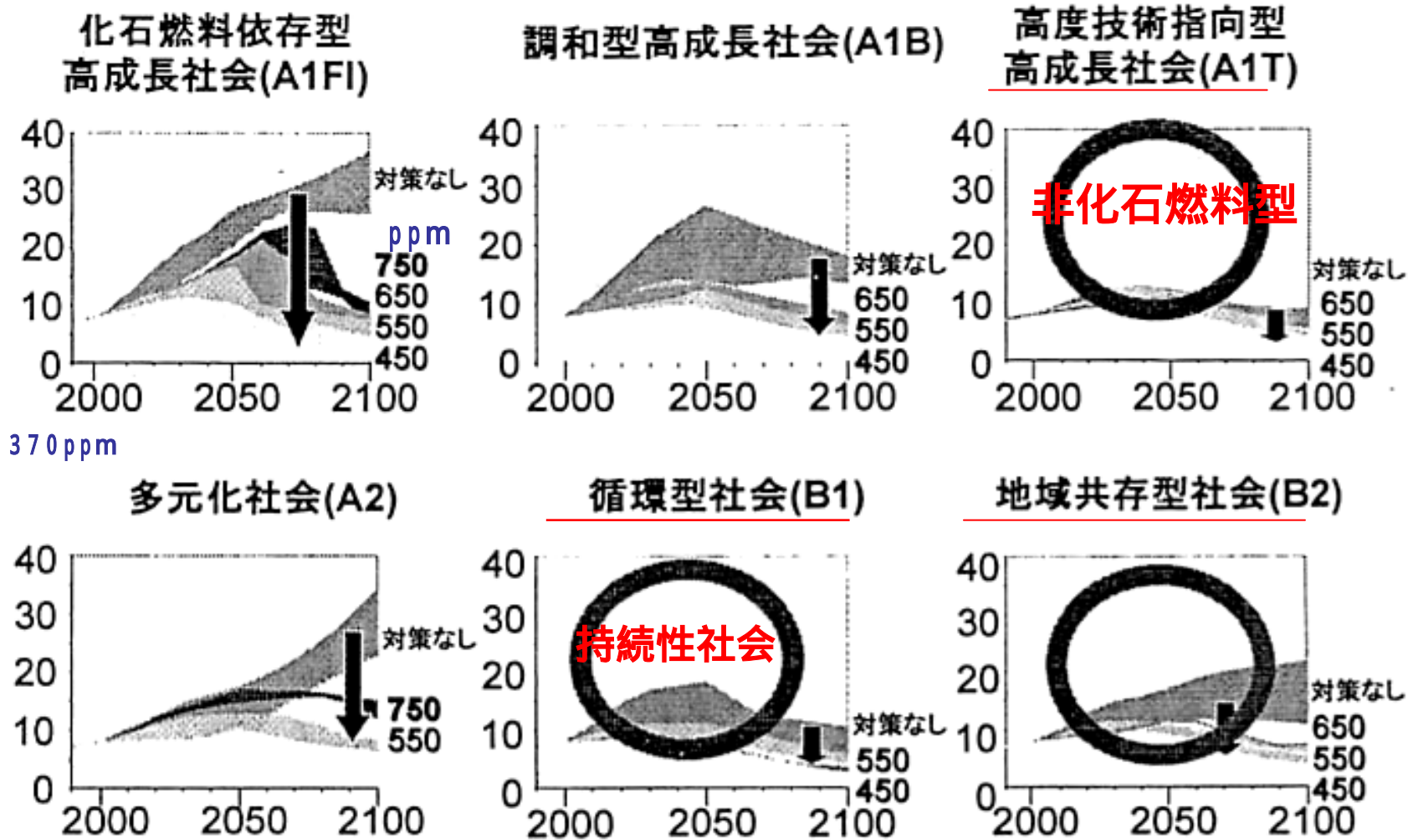


図5-6 どんな社会が温暖化を防ぎやすいか

世界の超長期エネルギービジョン

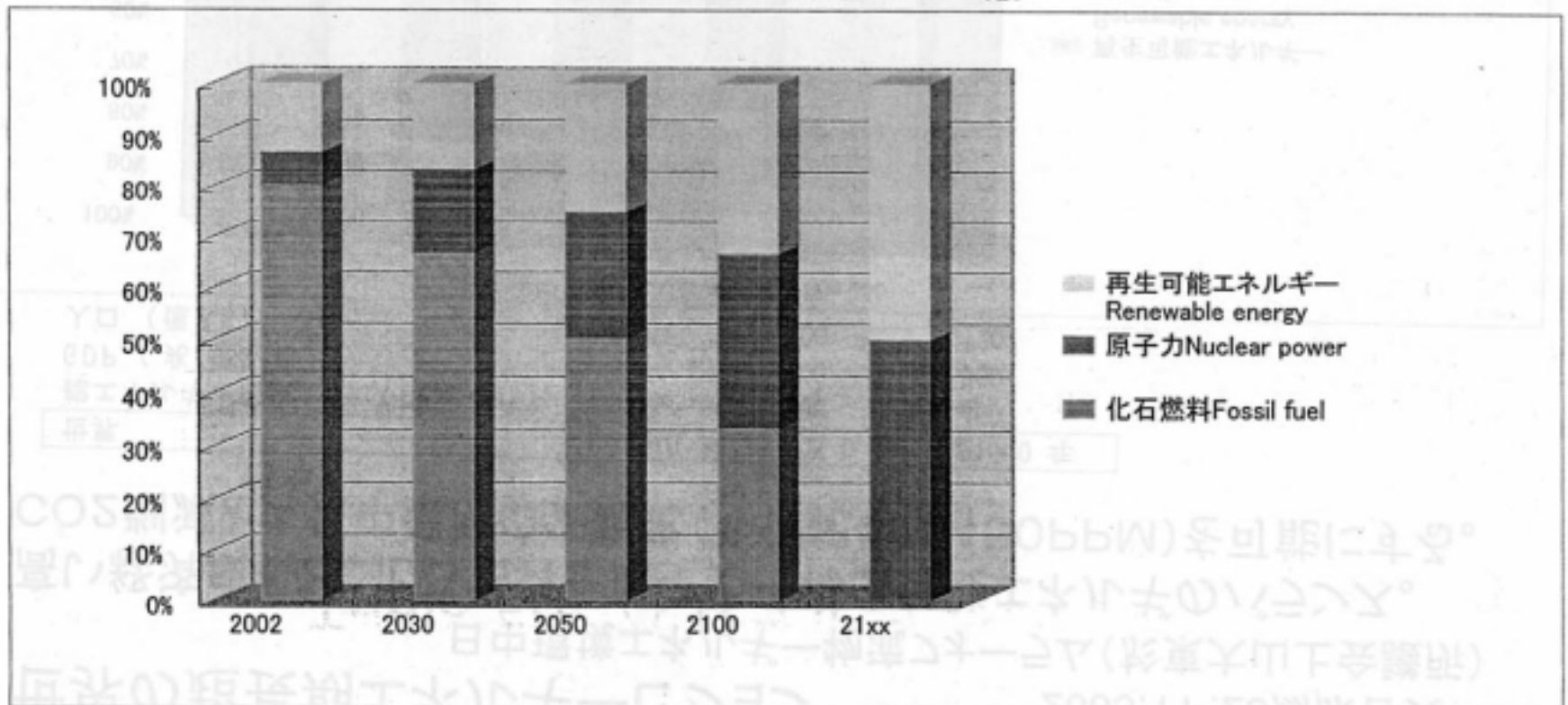
2005.11.28 湯原哲夫

日中環境エネルギー物流フォーラム(於東大山上会議所)

高い経済成長と、化石燃料+原子力+再生可能エネルギーのバランス。
CO2削減と大気中濃度の安定化(今世紀中に450PPM)を可能にする。

世界		2000年	2050年	2100年
総エネルギー需要	(100Mtoe)	91	250	450
GDP (兆 US\$)		35	100	300
人口 (億人)		60	100	120

(toe石油換算トン)



2050年世界人口100億人、世界エネルギー消費250億toe、25%を原子力でまかなうと30,000TWh,75万tU/年(20年でウランの究極埋蔵量1500万tUは枯渇する。なお、2002年は6.7万tU,2654TWhの原子力発電量)。

温暖化と分散型エネルギー源

－京都議定書の要請－（茅陽一先生より）

1. エネルギー総合効率化・・・コジェネ「通常の発電機ディーゼルエンジンやガスタービンは、電気だけを作るが、燃料を燃やせば熱も出る。熱も給湯とか暖房とかに利用しようという「コ・ジェネレーションシステム」の利用拡大。
2. 天然ガスの利用拡大・・・都市ガス利用分散コジェネの進展
3. 自然エネルギー利用への関心拡大・・・グリーンエネルギーへの関心 分散型エネルギー源利用の拡大

－脱炭素時代での変化の要請－

1. 一次エネルギーの脱炭素化・・・自然エネルギー、バイオマス、原子力、化石燃料 + CO₂ 地下貯蔵
2. 自然エネルギー利用の大幅拡大、分散エネルギー源の一次エネルギー変化 二次エネルギーとして水素利用

3 R分野のロードマップについて

環境と経済が統合された循環型経済社会システムの構築を目指す。

様々な分野で3 R (Reduce, Reuse, Recycle)技術の開発が進む。

5 R (+ Refuse止める(買い物袋使用など), Repair)

10 R (+ Return, Recleaning, Refine, Recovery, Regeneration?)

3 Rの技術は、廃棄された製品の再生利用(リサイクル)中心の技術から、設計・製造段階から3 Rを意識したものづくりの技術へ移行。経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、産業技術総合研究所

3 R技術がほぼ10年単位で世代交代すると想定、2010年、2020年、2030年の各年代に必要な技術を明示。また政策目標に関しては、2010年ごろの目標を設定するとともに、現時点では設定されていない2020年ごろと2030年ごろの政策目標についても2010年ごろの政策目標のトレンドを延長させた形で想定し、各時点における政策ニーズとしてまとめた。

- 化石燃料利用を前提とする現状では、温暖化対応が分散電源の普及を促進する。
- 長期的には脱炭素が前提となり、非化石燃料が一次エネルギーとなる。
- 自然エネルギーは、系統連系の外部コストが大きいので、コストの大幅減が普及の前提となる。
- 脱炭素時代には、水素 + 燃料電池が分散型電源の中心となるが、システム総合効率の改善とシステムインフラコストの低減が普及の鍵となる。
- (地中熱のヒートポンプによる利用を促進すべき?)

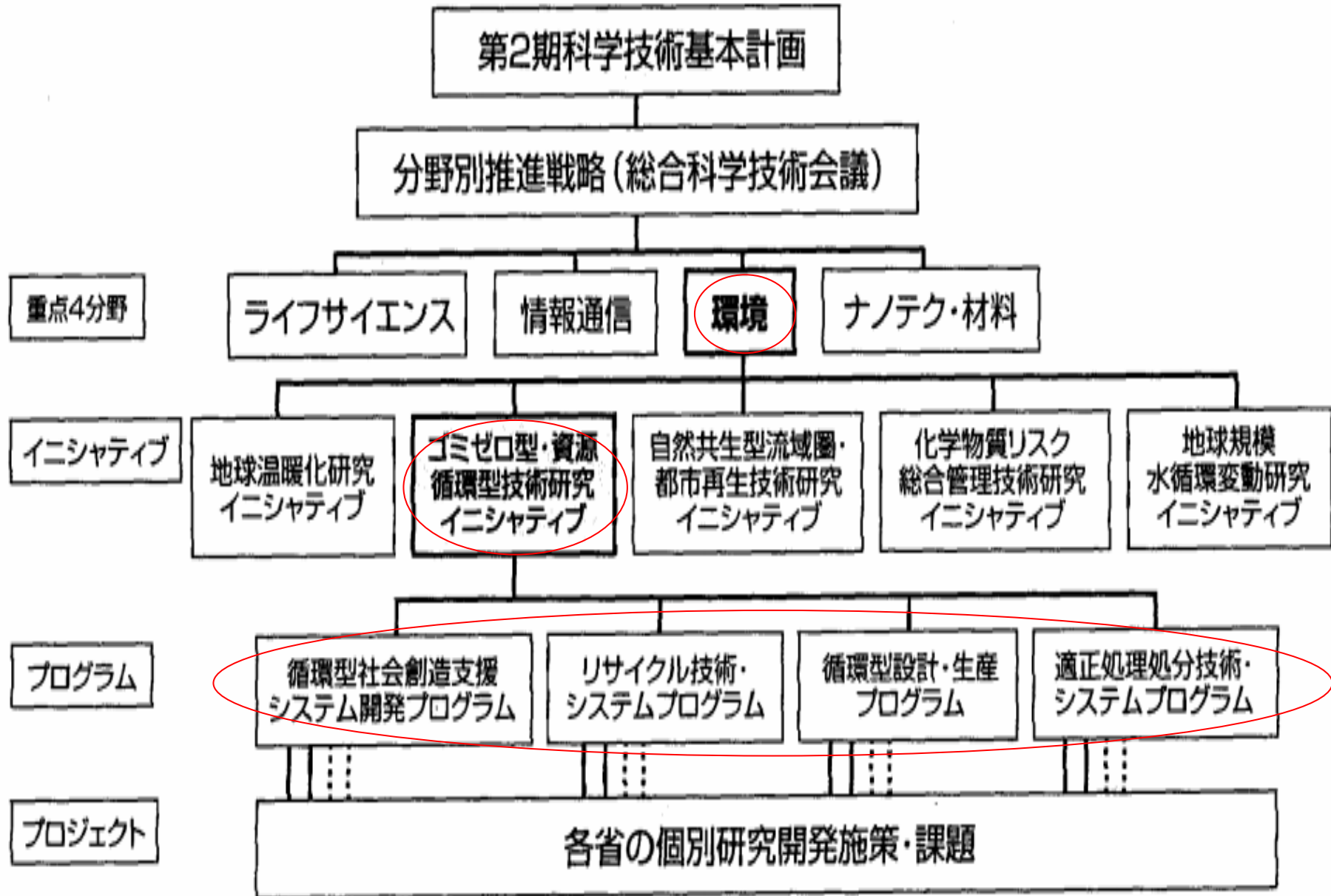


図1 ゴミゼロ型・資源循環型技術研究イニシャティブの位置付け

2001 - 2005
年度

短期：2010年度は最終処分量を 1997年度比で半減

2010年度までに産業廃棄物と一般廃棄物の最終処分量をいずれも1997年度比で半減させ、産業廃棄物の再生利用率を47%、一般廃棄物の再利用率を24%にする。

上流対策がなされていない製品が廃棄物になる場合が多いことから、発生量と最終処分量の多い品目を中心にした最終処分削減技術や再生利用技術、素材開発や長寿命化(発生抑制)に関する技術を重要技術と指摘。

例：

廃プラスチックの原料化技術では、単一プラスチックとして分別回収されたものを対象としたマテリアル・リサイクル技術(高度分離・分別技術)を使って再生利用率向上を図る。

汚泥の減溶化処理技術では、汚泥系バイオマス(下水汚泥など)を対象とした混焼技術を使って最終処分量の減容化を目標にしている。

建設構造物の長寿命化・メンテナンス技術では、戦後から高度経済成長期にかけて建設された建造物のメンテナンス技術によって、ひび割れや腐食などを早期診断・補修して長寿命化させ、リデュースに寄与していく。

中期：2020年ごろには循環型のもの づくりが本格化

最終処分量を2010年度比で25%削減し、再生利用率を向上(各廃棄物、使用済み製品ごとに考慮)させることを目標。

循環型のものづくりが本格化し、3Rの優先順位を考慮した取り組みを促進するとともに、自主的な取り組みによる資源循環の仕組み(循環ビジネス)を整備する時期。再生利用の高付加価値化を目指す技術、リユースや設計に関わる技術などの上流技術が重要

例・再生プラスチックの高品質化技術の開発、

生成プラスチックの性能を維持する技術やプラスチックの劣化した部分を補修する技術により、プラスチックの使用期間して長期化させることを目指す

・産業系汚泥のリデュース技術

無機汚泥の発生量を低減する上流プロセス技術

長期：2030年ごろは環境配慮型製品 が市場で競争力を持つ

最終処分量を2020年度比で25%削減し、再生利用率を向上（各廃棄物、使用済み製品ごとに考慮）させることを目標。

環境配慮型製品が市場で競争力を持ち、環境配慮型製品が3R的に循環し、そのためのインフラを構築していくシナリオを描く。

目標の実現には、2020年に引き続き、再生利用の高付加価値化を目指す技術や新たな発想に基づく技術が重要。

例：**レアメタルの回収技術**。

レアメタルの回収効率を向上させる技術を確立することは、循環資源を扱う産業の競争力強化に寄与。焼却灰や無機汚泥などの多元素混合物に低濃度で分散するレアメタルを、新たな発想に基づいて低コストで回収できる技術などを、重要技術として期待。なお、3R技術が10年単位で世代交代するということを前提としているため、2030年ごろの重要技術は次々世代の重要技術と位置付けている

リサイクルの注目の歴史

- Recycleの研究が加速 1970年代以降 オイルショックから

例 当研究室:旧東北大学下飯坂研

プラスチックの重液と浮選によるリサイクル、ビール瓶のリサイクル、磁性流体による比重選別:1970年代からの研究

ローマクラブ:1968年発足

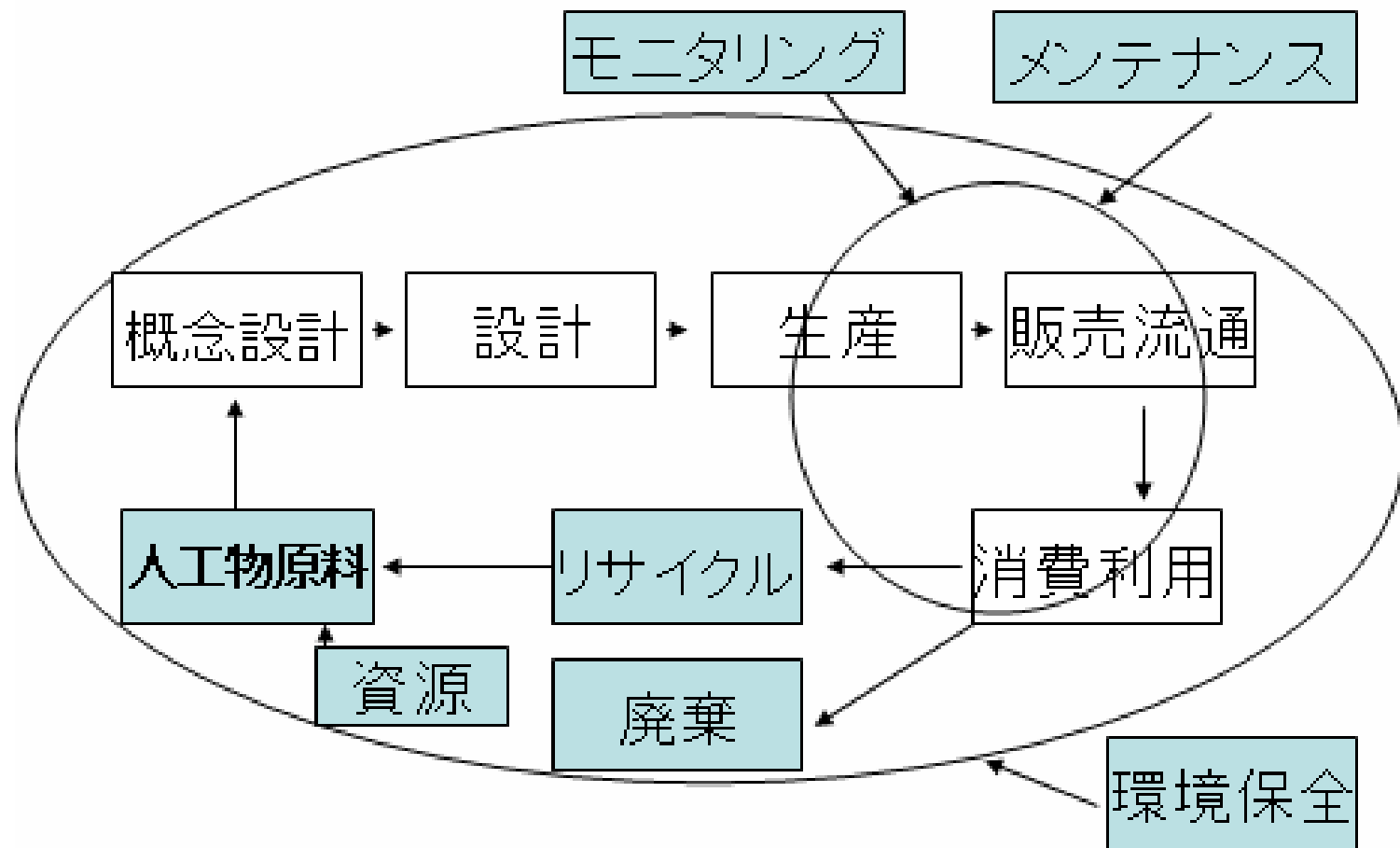
『成長の限界』(1972)の発表によりその名が世界中に知られる。
他に『転機に立つ人間社会』(1974)、『国際秩序の再編成』
(1976)、『浪費の時代を超えて』(1976)

オイルショック:第1次1973年、第2次1979年

資源・素材学会(旧 日本鉱業会) 東アジアリサイクルシンポジウム発足(日、韓、中、台) 1991年

トータルリサイクルを目指して 人工物工学研究センター

ライフサイクル工学研究部門の研究課題



現行の循環型社会

- 以前の地球 地圏、水圏、大気圏、生物圏
相互変化した46億年の歴史・・・太陽エネルギーの取り入れ
500万年前人類の発生 縄文時代 共進化
250年前 産業革命 工業化社会 限界突破
生物圏に都市を中心とした人類圏の形成(生物圏の変質)
地表面の物質循環に地下資源の利用による異質の物質・エネルギーとそれらの循環を持ち込む
- 21世紀初頭
地球に物質とエネルギーを集中させた先進国を中心とした都市的生活、60億人の収容
資源・エネルギーの枯渇、地球容量の壁

地下資源の持ち込みをやめることができるか 循環型社会のためのバランスにとって必要

- 例: **人工物原料**としての鉄を考える

鉄7割・・・地下からの鉄鉱石資源 圧延鋼板製造などに容易

鉄3割・・・リサイクル鉄 電炉にて再生

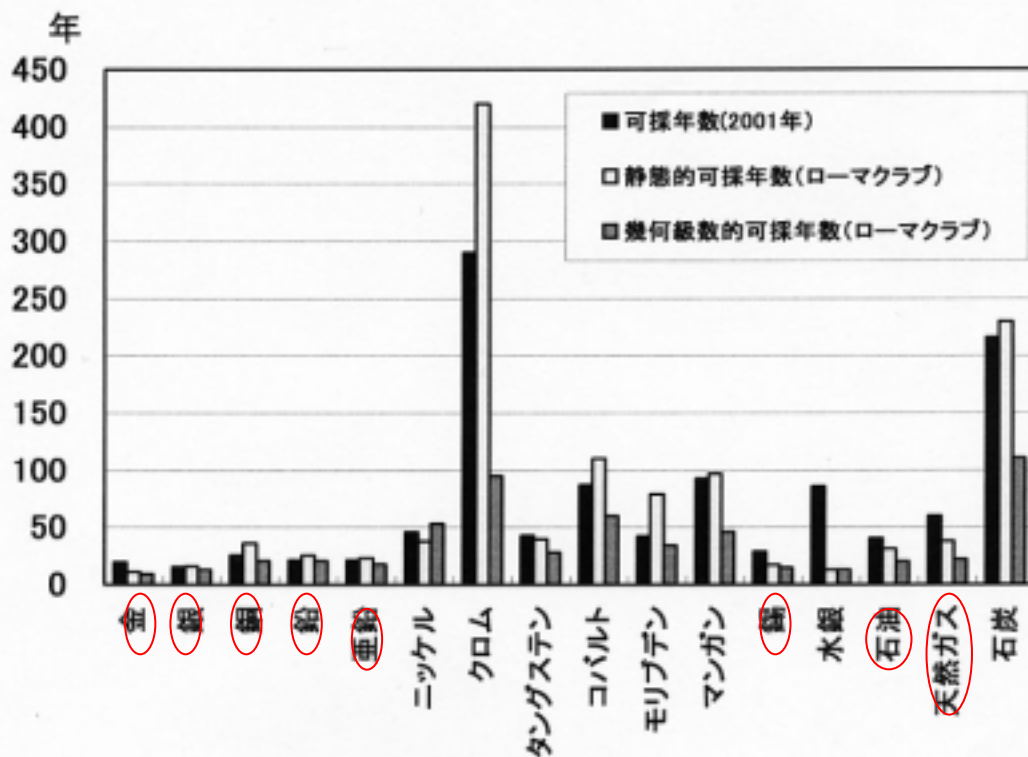
しかし、天然資源でないリサイクル鉄の使用(不純物トランプ元素の入った鉄) カスケード利用しかできない。高級な鋼にするには極めてエネルギーを要する。自動車用鋼板にすると超寿命設計ができない。

リサイクル資源だけでは環境負荷大

・・・**地下資源の重要性** + **リサイクル資源**

どのような資源が人工物原料としてリサイクルから必要か

鉱物及びエネルギー資源の可採年数



1972年ローマクラブと
2001年の比較

30年以下

Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn,
石油、天然ガス

しかし、ピークの埋蔵
量は過ぎている

注) 2001年のデータは、金属は米国地質調査所、石油、天然ガス、石炭はBP社による

図 1-1 鉱物及びエネルギー資源の可採年数

鉍物資源 生産国の環境保全を進める必要

現状では金属元素の8割は地下から採取し、

リサイクルは2割程度

・将来鉍山からの供給を少なく、**主にリサイクルから供給する元素**

Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn

副産物 Bi, In, Se

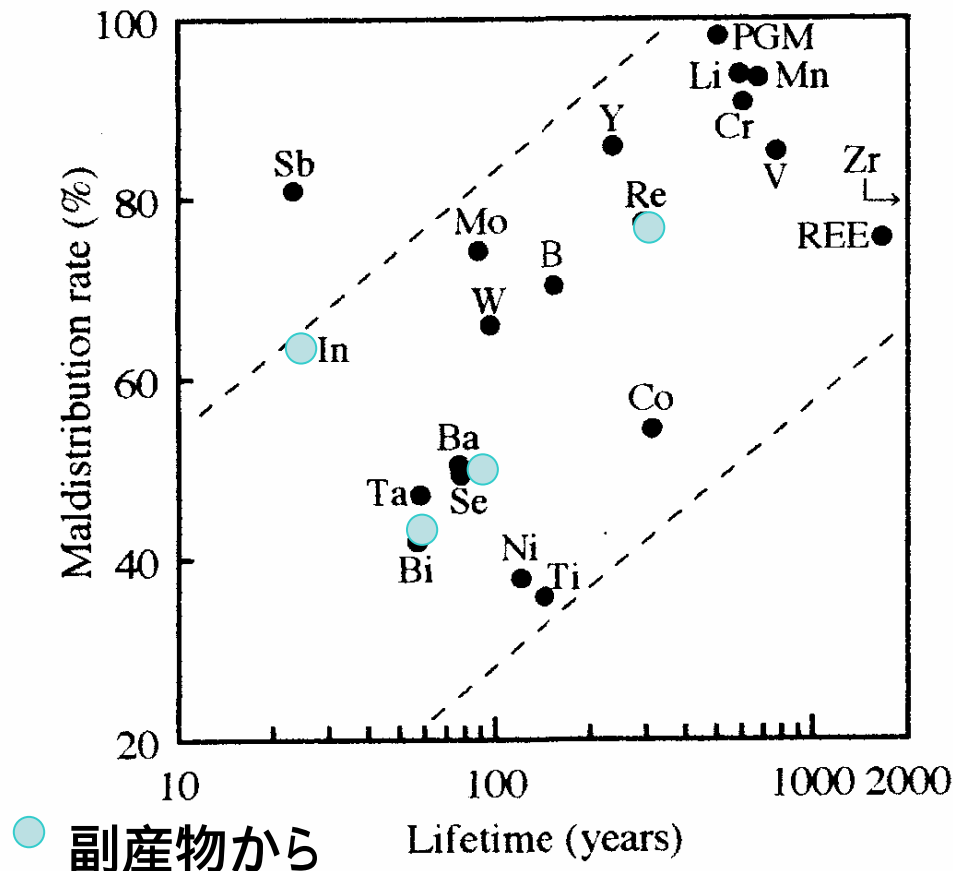
・**代替すべき元素**

(毒性 Hg, Pb, Cr)

・**地下資源からの供給が必要な元素**

Fe, Si など

レアメルの可採年数と偏在度



環境問題に関する廃棄物とエネルギー

- グリーンケミストリー
 - Eファクター ……何kgの廃棄物/1kgの製品(人工物)
 - エコリユックサック……何tの廃棄物/1tの精鉱(人工物原料)
- Bi、Inなど他の金属の採掘の副産物として回収されるものは 現状では地球からの**資源採掘も必須**

人工物原料の廃棄物対策

環境浄化技術の開発の重要性

Cu,Pb,Zn ますます、品位の低い鉱石を採掘し処理しなければならない。 処理のためのエネルギー増大

再生可能エネルギーをたくさん導入することは可能か？

省エネルギー型処理およびリサイクル技術の開発

LCAの利用で技術进行评估

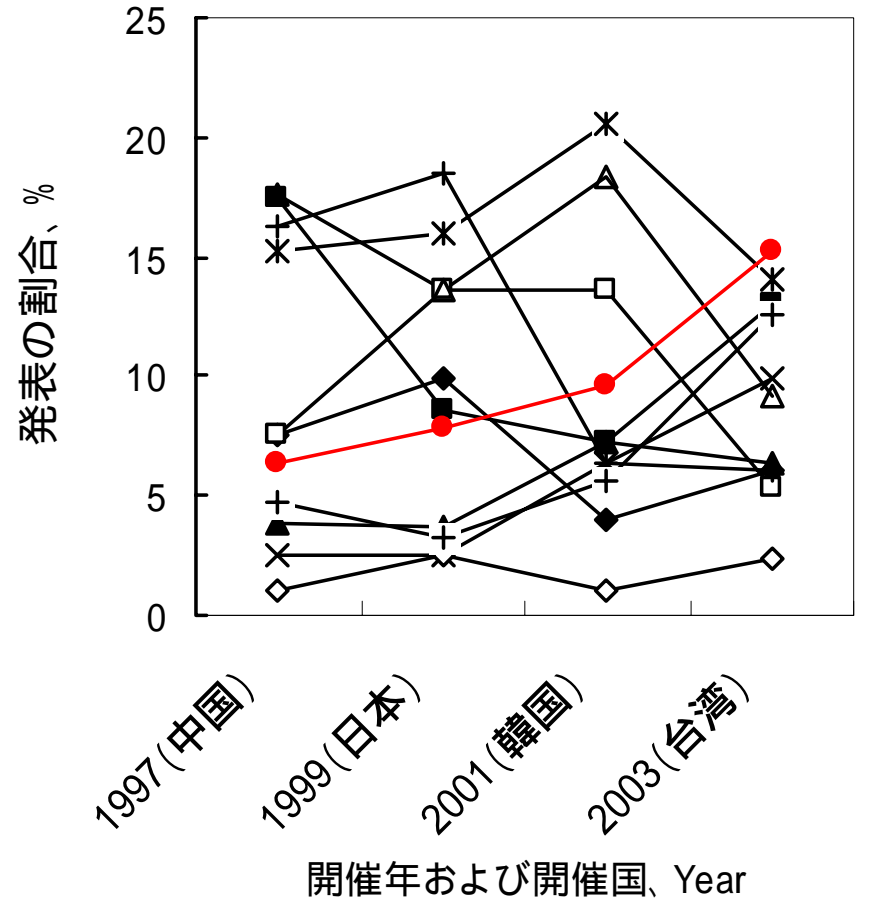
各種ある技術手法の評価

資源処理とリサイクルに関する 国際会議

- IMPC : 国際選鉱会議 (世界中)
1952年開始、2006年(トルコ)で第23回
- EARTH : 東アジア資源リサイクリングシンポジウム
(日本、韓国、中国、台湾が中心)
1991年開始、2007年第9回(日本、仙台)
- REWAS : リサイクル、廃棄物処理、環境浄化に関する
国際シンポジウム(米国、ヨーロッパ、アジアが中心)
1999年開始、2004年で第2回
- World Congress on 3R (recovery, recycling, Re-integration) 2005年(中国)で第7回

最近の東アジア関係での環境関連発表テーマ

1. **汚泥、廃水、土壌処理**の発表は15%以上と毎回多い。
2. 最近では**電子部品やバッテリー類**が増加。
3. 鉱滓とスラグおよびセメント化の研究、家電、シュレッダー産物のリサイクルの研究の発表が伸びている。また、**金属類、煤塵、焼却灰**のリサイクルに関する研究も多い。



- ◆ 政策、法律、評価
- ▲ 家電、シュレッダー産物
- △ 煤塵、焼却灰
- ⊕ 鉱滓、スラグ
- × セメント類
- ⊕ その他
- ✱ 汚泥、廃水、土壌
- プラスチック、ゴム
- 金属類
- 電子部品、バッテリー
- ◇ 熱回収

環境浄化・リサイクル技術・これからの金属資源回収 とその応用(藤田研究室)

環境浄化の重要性

- 1 . 焼却灰のリサイクルのための塩素除去、重金属の除去
- 2 . 医療廃棄物の処理・・・無害化とリサイクル
- 2 . 土壌中の有害成分の除去 フッ素やホウ素の除去
- 3 . 水中からの砒素、セレンなどの有害イオンの除去、
重金属の硫化物沈澱法、燐回収
- 4 . 砒素含有廃水処理方法と比較のための環境評価、
- 5 . アスベストの分離除去
- 6 . 環境において途上国が抱える問題評価

環境浄化

人工物原料採取のための環境浄化

人工物原料製造工程および人工物廃棄後、
焼却、排出される汚染物質で汚染された環境を修
復する省エネ型環境浄化技術システムの開発

水質浄化

- ・ 重金属含有酸性廃水処理
- ・ 各種レアメタル含有廃水の吸着剤を用いた浄化
- ・ バイオソープション(湿地処理)

重金属含有酸性廃水処理

重金属等の省コスト型有害物質処理技術の開発

酸性廃水の中和剤として MgO は賤物生成量が少量であることを明らかとし、 0.2ppm の Cd^{2+} イオンを含む廃水を MgO で中和後、微細なベントナイト、界面活性剤、高分子凝集剤の順に添加し、スカム生成量 $0.04\text{wt}\%$ 、回収率 99.6% でカドミウムを回収することができた。



図 廃水を各種アルカリで中和した場合の賤物

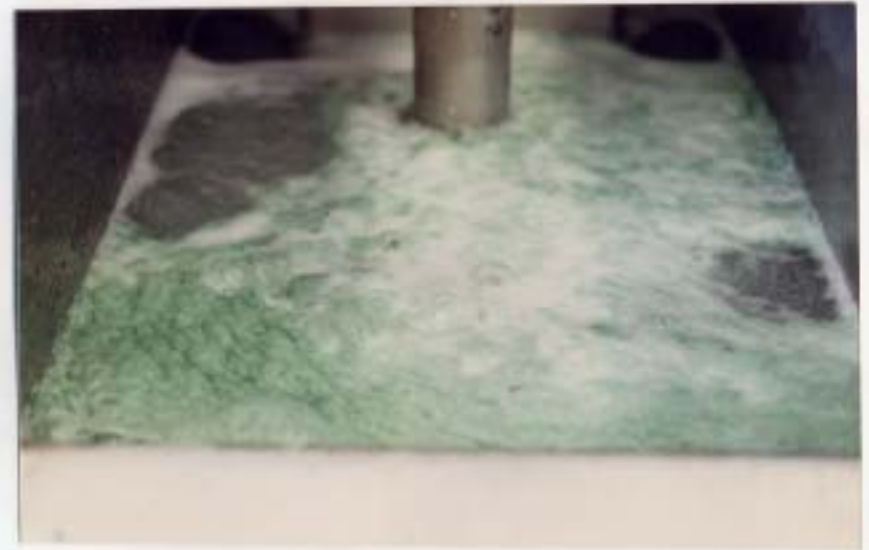


図 Cd^{2+} イオンの浮選による回収

$CaCO_3$, MgO が中和賤物量が小

浮選で酸性廃水から Cd , Cu の回収

自然界による浄化の利用

重金属類を吸着可能な藻類や湿地による硫化物としての固定化

金属吸着量

(kg/kg 微生物量)

例

C o 0.04

C d 0.72

P d 0.05

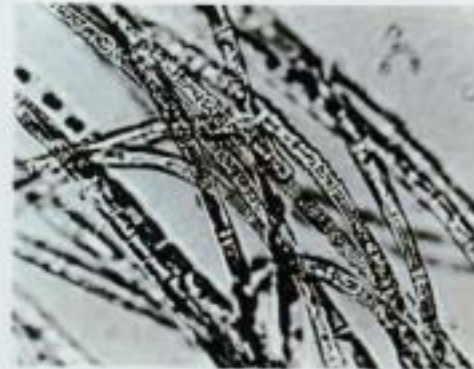
A u 0.42



Stream in Old Matsuo Mine
Iwate, Japan



Stream in Hatonoyu Hot Spring
Akita, Japan



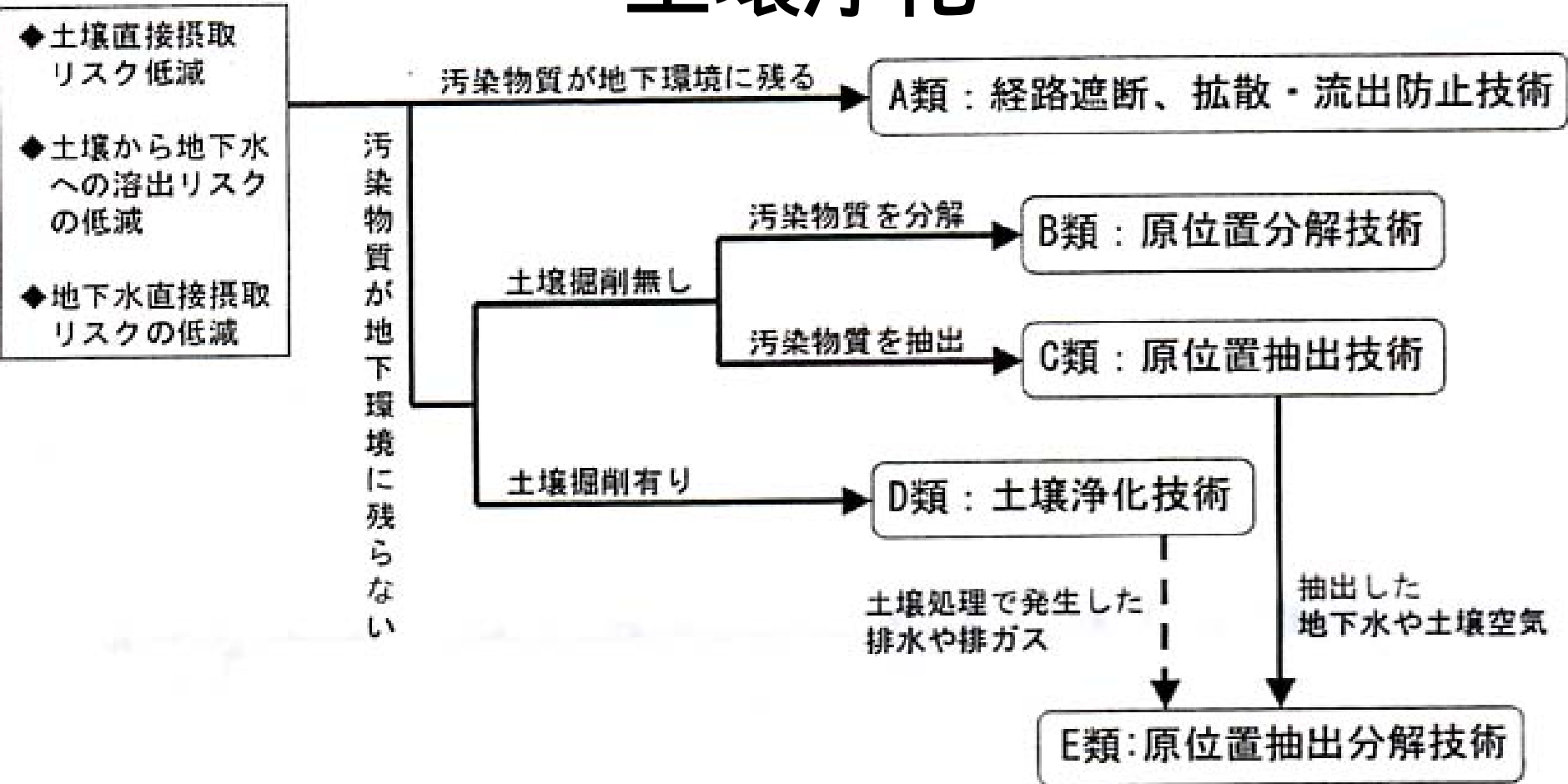
Green algae
Microspora



Blue-green algae
Phormidium

50µm

土壌浄化



自然界によるバクテリアによる浄化の利用

- ・ 油田生息バクテリアを用いた油およびダイオキシンのバイオレメディエーション(分解浄化)

省エネルギー型処理技術の開発

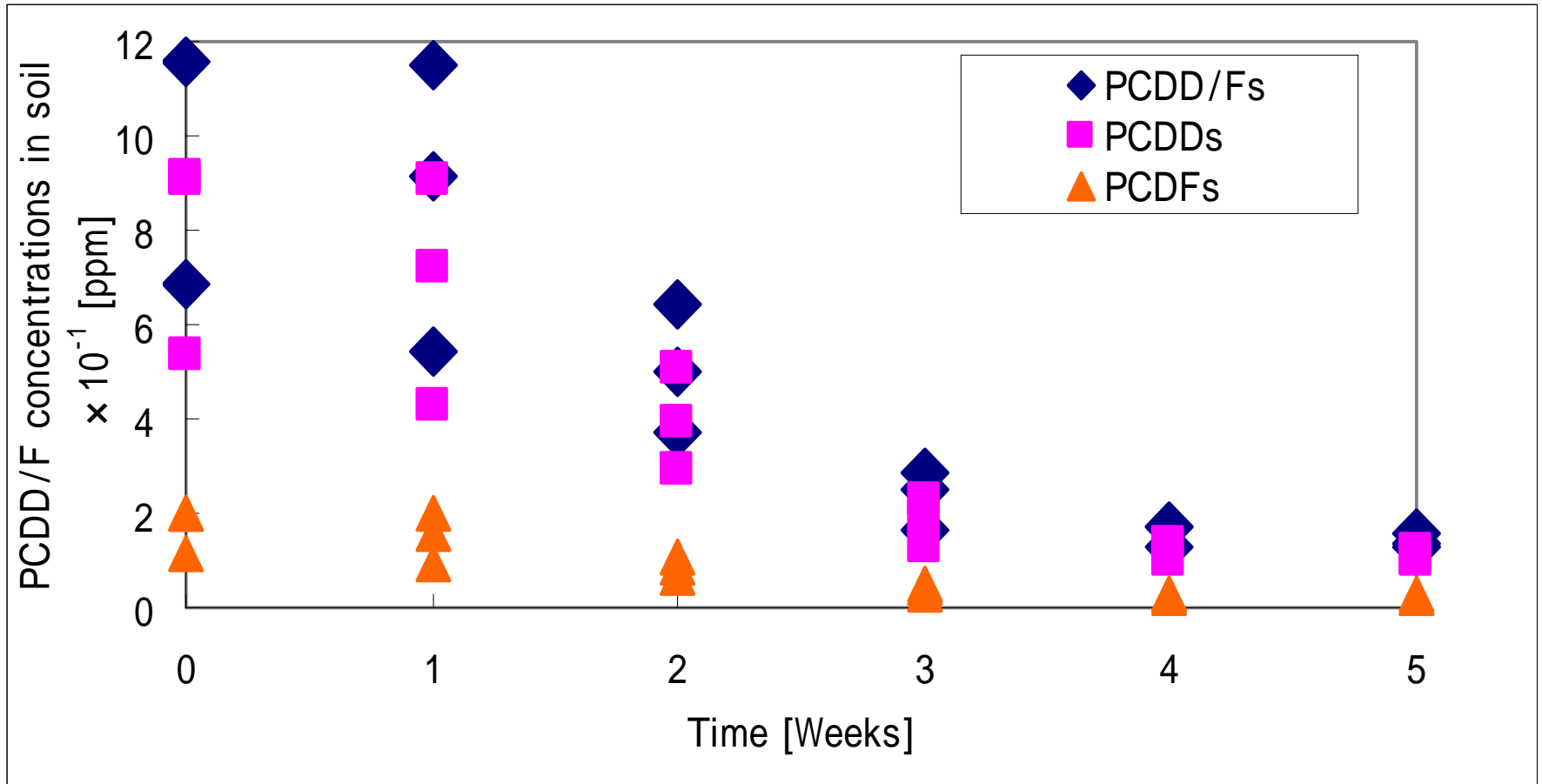
- ・ 比重選別、浮遊選別、超伝導磁力選別等を用いた土壌からの重金属の分離除去

余目バクテリアの採取状況



石油資源開発(株)の
余目油田の風景
(山形県余目町)

土壤条件：泥土



Biodegradation of PCDD/Fs in soil (泥土).

泥土では1ヶ月程度で最大約80%が分解

素材レベル

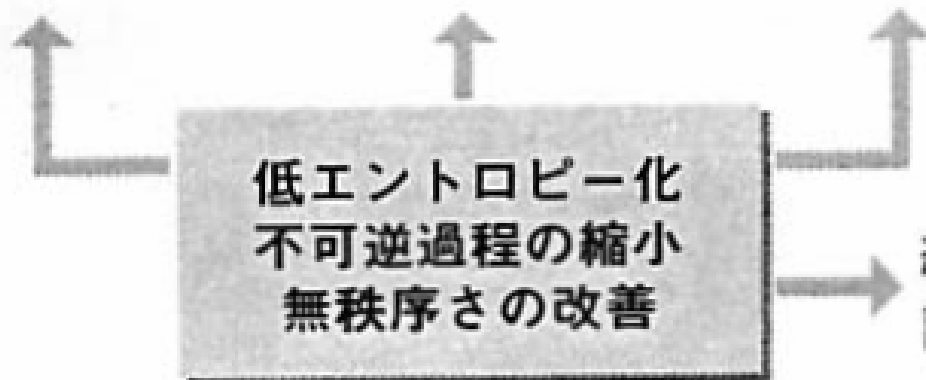
1. リサイクル容易な素材の最大化
2. 有害・有毒・危険素材の最小化
3. 再生素材の最大化
4. 減量化
5. 統一化
6. グループ化
7. 偏在化
8. 識別容易化（表示）

部品レベル

1. 少数化（モジュール化）
2. 標準化
3. 規格化
4. 長寿命化
5. 再使用化
6. 単一素材への分離容易化
7. 再資源化容易化
8. 省エネ化

製品レベル

1. 部品の統合化
2. 分離・解体の容易化
3. 破碎・選別・焼却・最終処分等の容易化
4. 運搬・輸送の容易化
5. 素材の明示化
6. 省エネ化
7. アップグレード化
8. 再生品の使用可能化
9. 情報開示化



統一化・統合化
簡素化・省エネ化

図2-6 3R設計の要点

出典：ごみゼロ社会の挑戦より(日経BP社)

表2-4 製品設計、リサイクル性設計、ライフサイクル設計

	従来の製品設計	リサイクル性設計	ライフサイクル設計
視点	製品の使用	製品の廃棄後	製品ライフサイクル全体
目的	使用段階でのコスト・パフォーマンスの最大化	リサイクル率の向上	ライフサイクル全体でのサービスの向上と環境負荷の削減
逆工程	考えない	ゴミのリサイクル	循環を前提に価値を維持
環境問題	考えない	ゴミ問題の解決	循環させることによる環境負荷の大幅な削減
経済性	販売までの最適化	リサイクルがコストを高める	循環させた方が経済性が向上する
使用者	便利なモノを買う。 すぐ買い換える	リサイクルコストを負担	循環させることにより、コストが安くなる
促進要因の例	市場経済	ゴミ問題 家電リサイクル法	ポスト大量生産パラダイム 循環型社会 拡大製造者責任 汚染者負担の原則 グリーン購入
製品の例	従来型の耐久消費財全般	自動車、家電	レンズ付きフィルム、複写機

リサイクルから供給すべき人工物原料は どの程度リサイクルできるか：LCA評価

- 特定の元素について完全に高純度化して**繰り返しすべてを材料として使用する** (材料のゼロエミッション) 場合と、**一部を廃棄する** 場合との比較
- 人工物として近年リサイクルの重要性が増加している電子部品や各種触媒が上げられるが、ここではNiチップコンデンサについて取り上げる。

固体の選別には、粉碎、磁力選別を使用した。選別した固体の処理には、Niの廃棄物を出す場合Aは化学処理として乾式製錬を、Niの廃棄物を出さない場合Bは湿式製錬を用いてすべてのNiを循環することとした。

ソレノイドコイル型磁力選別によるコンデンサからのNiの回収

チップコンデンサの積層電極にはPdの他に、近年、Niが多く使用されている。コンデンサを粉砕後、Ni粉をBaTiO₃粉から磁力選別で回収。磁力選別には巻き込みを防ぐために開放型ソレノイドコイルを使用。

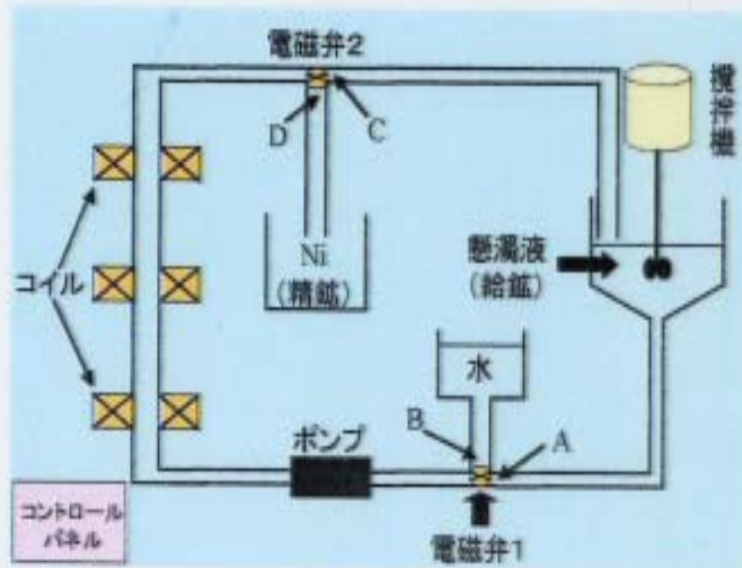


図 実験装置

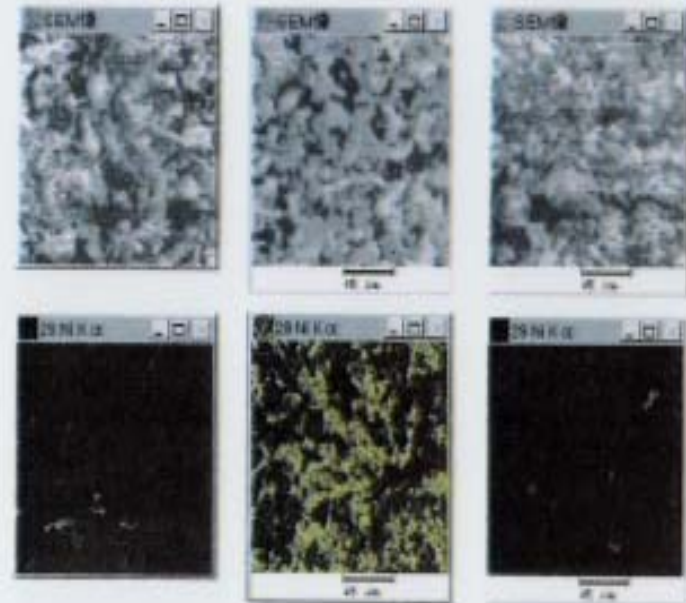
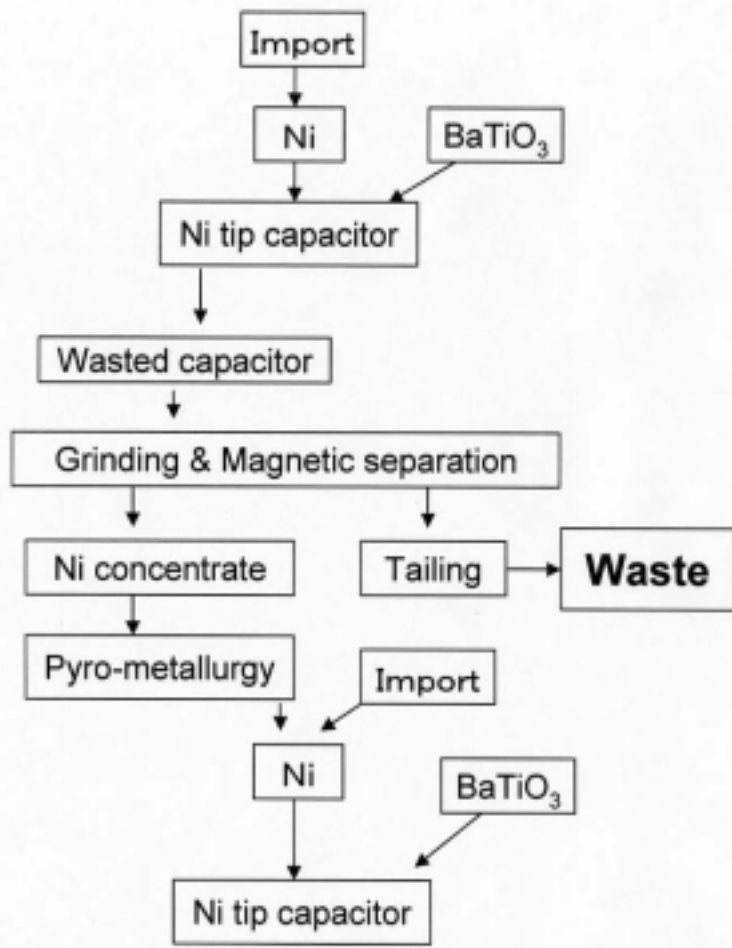
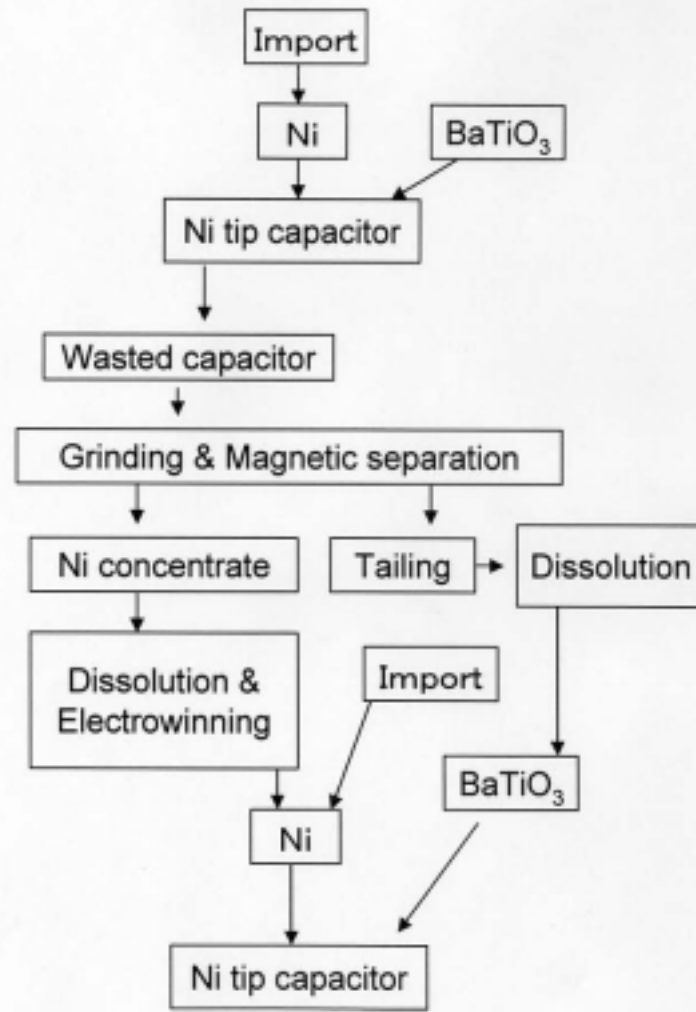


写真 EDXによるマッピング



(A)



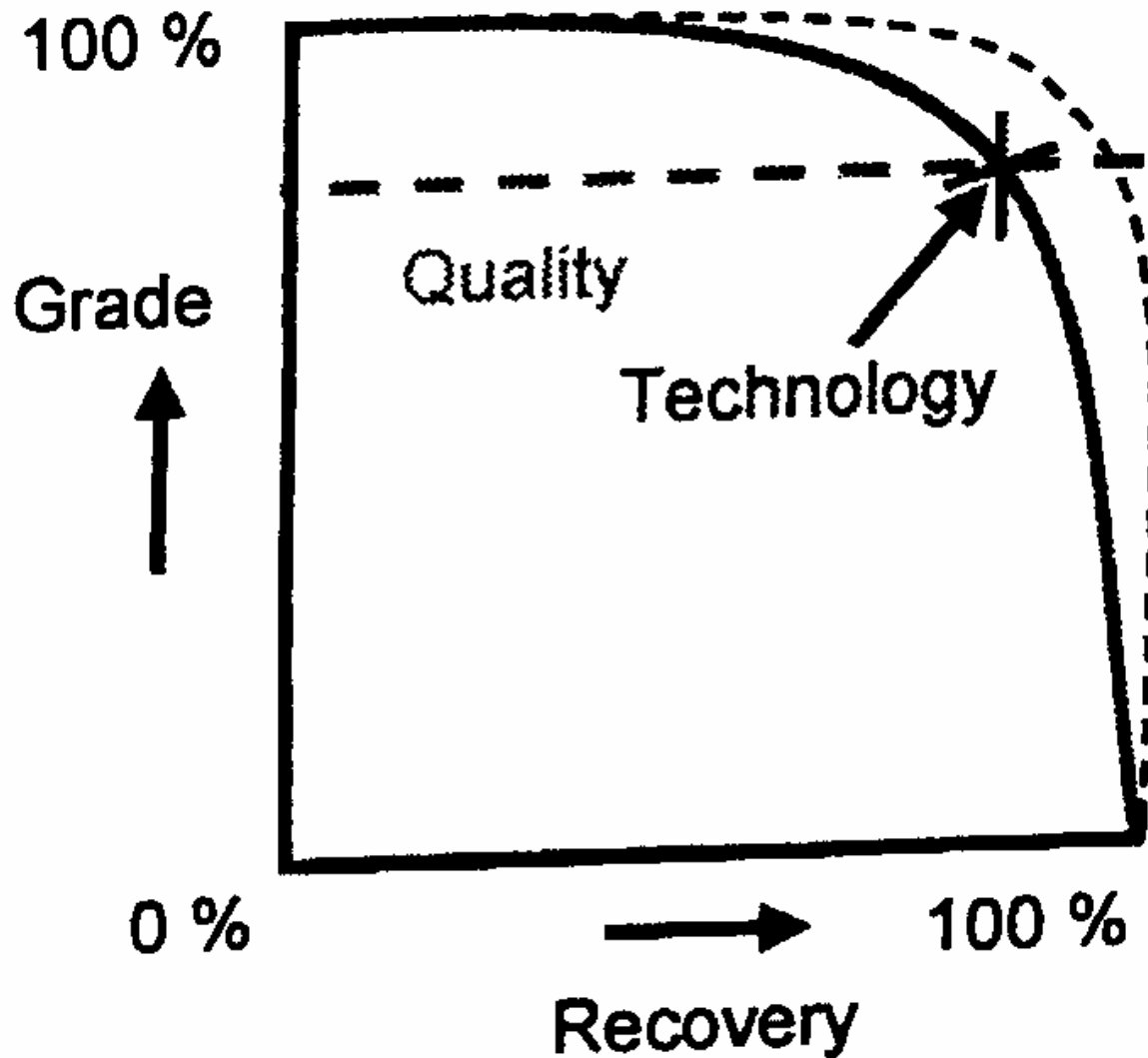
(B)

Fig. LCA flow sheet process A(**Ni waste are discarded**) and B(**All Ni are circulated**)

Table LCA result for recovering process of Ni tip capacitor

	A Wastes	B Circulation
Energy consumption	3903	5136
Consumption of minerals ores	10727	11209
Greenhouse effect	510320	510334
Acid precipitate	4303	4302
Water pollution	397	398
Air pollution	39776	39774
Total amount	569429	571150

機械的分解後の固体の選別が重要であり、稀薄となったNi資源を、すべて化学処理で回収することは環境負荷が多く、効率が悪い



破線部分
にするには
エネルギー
が極めて
増加。

あるいは
技術の
innovation
が必要。

回収率と品位の関係

表 3-1 家電リサイクル実証プラント開発項目の概要

処理工程・技術	開発の概要
荷捌き・一次分解工程	家電 4 品目を識別、部品取り外し
<u>AI(人工知能)利用システム</u>	作業や全体システム管理を省力化・自動化
冷蔵庫処理工程	冷蔵庫の断熱材フロンの回収
<u>低温破碎工程</u>	硬い金属部品を極低温に冷却し素材を破碎・分離
常温破碎工程	樹脂、金属を素材別に選別・回収
銅・アルミ分離工程	エアコン熱交換器の銅とアルミを高純度に分離
ブラウン管処理工程	ブラウン管ガラスを素材別に分離・洗浄カレット化
基板はんだ回収装置	テレビのプリント基板から、 <u>はんだを回収</u>
金属・樹脂混合物燃料化工 程	<u>乾留方式で樹脂を油化、貴金属を回収</u>
全体システム評価	<u>LCA 実施など全体システム評価</u>

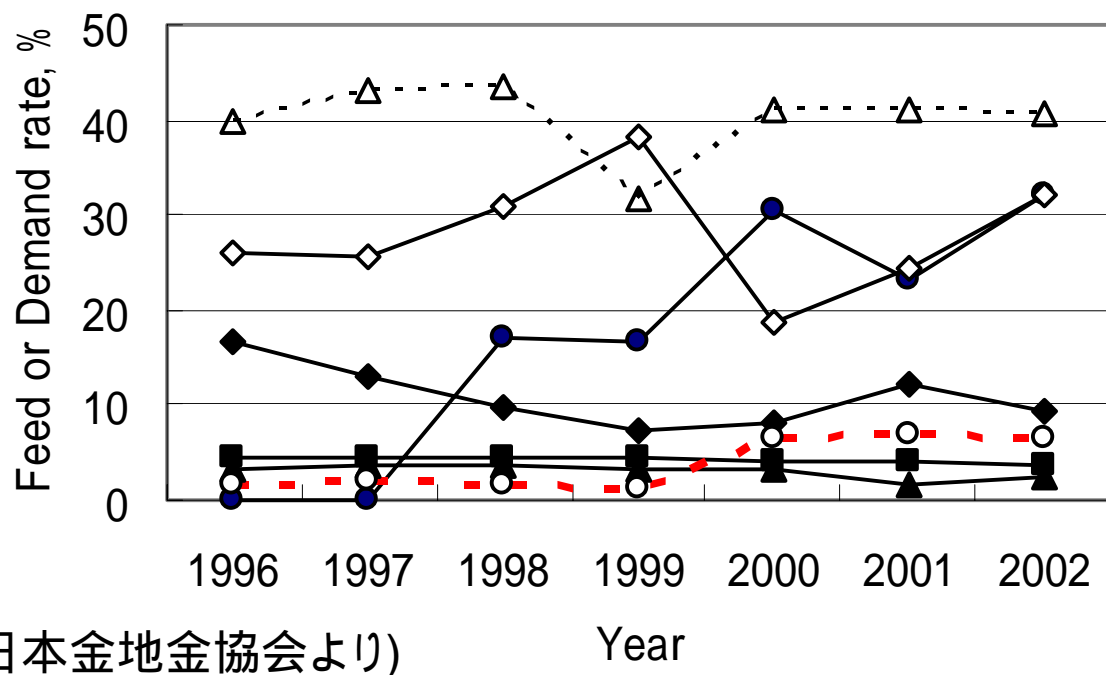
- ・リサイクル方法の**LCA評価**: 特定の元素について完全に高純度化して繰り返しすべてをリサイクル材料として使用する(材料のゼロエミッション)場合と、分離・選別・濃縮後一部を廃棄する場合との比較

機械的分解後の**固体の選別、化学的処理**が重要であり、稀薄となった資源を、すべて回収することは環境負荷が多く、効率が悪い

100%リサイクルは不可能か！

しかし、資源の枯渇を考えるとできるだけゼロエミッションに近づけたい。

Gold feed and demand rate change per year.



リサイクル再生金はこの3年で約6%のみ。

日本の金のリサイクル率約40%。

金の一部は十分リサイクルされることなく、希薄な状態で廃棄。

また、国外に流出した多くの電子部品、車等に含まれる金は回収できるのか？

- Electric & mechanical parts
- Dental & Medical
- ▲— Plating
- ◆— jewellery
- ◇— Private
- -○- - Recycled
- -△- - Domestic production

近年のリサイクル技術研究は、家電品4品目のリサイクル以外に電子部品、自動車を含めた機械製品、電池等のリサイクル技術、環境浄化を含めたリサイクル技術、さらにリサイクルを考慮した設計の多岐に及んでいる。拡大生産者責任の考え方(EPR)および消費者(サービス)の役割も浸透してきた。

リサイクル方法にLCA評価を適用すると、特定の元素について完全に高純度化して繰り返しすべてをリサイクル材料として使用する(材料のゼロエミッション)場合と、分離・選別・濃縮後一部を廃棄する場合との比較では、**機械的分解後の固体の選別、化学的処理が重要であり、稀薄となった資源を、すべて回収することは環境負荷が多く、効率が悪いことが示されている。**

リサイクルと資源の重要性

(藤田研究室)

1. 廃棄物 例: 蛍光管内の粉体のリサイクル
2. 携帯電話のリサイクル
3. 日本の廃棄資源の有効利用(ドロマイトの利用)
4. 廃棄製鋼スラグからの脱燐による有効利用
5. 焼却灰からの重金属の選別による有効利用
(チタン、クロム、亜鉛、銅など)
6. 各種プラスチックの選別等におけるリサイクル手法の差異による環境評価
7. タグの利用による新しいリサイクル方法の提案
8. 粒子を用いたリサイクルの社会現象の解析、
重回帰分析との整合性
(プラスチックのリサイクルを含むLCA)
9. 光ディスクなどから情報漏れを防ぐこととリサイクル

リサイクルのための大量な機械的分解 (破砕、剥離技術)

異なる材質を剥離して、それぞれ異なる材質に分離する手法としてはできるだけ少ないエネルギーで細かくせずに、同じ材料ごとに単体分離することが望ましい。

- 従来の衝撃式破砕機によるシュレッダー化による分離
例：自動車、自動販売機の破砕
- 水中爆破による衝撃波の利用を用いた金属とプラスチックの剥離 例：携帯電話の分解
- 水中電気破砕を用いた導体と絶縁体の剥離
例：液晶パネル、木材と釘
- 液体窒素などの冷媒による冷凍破砕による分離
例：廃タイヤ、プラスチック原料

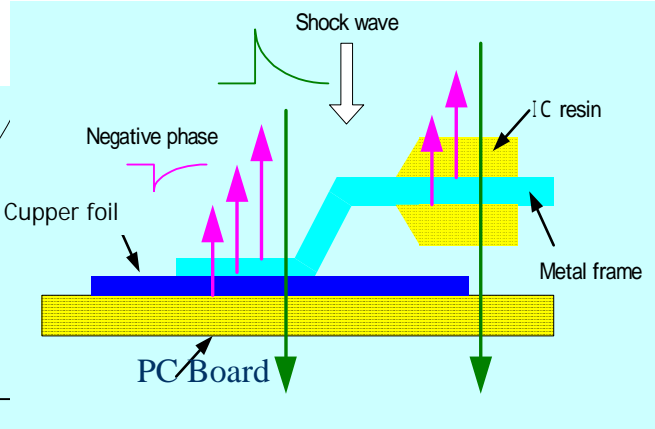
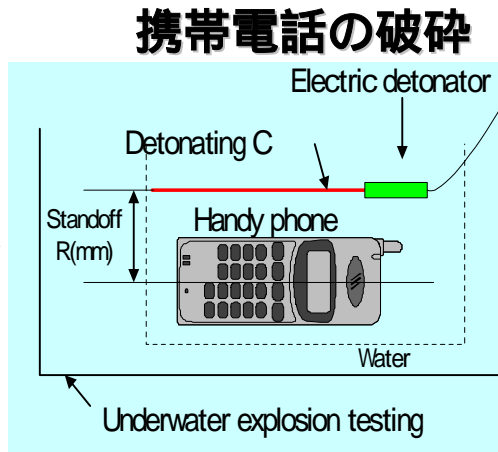
リサイクルに関する研究成果

破砕技術とリサイクルに関する研究 → 電気破砕と水中爆破破砕の利用

高電圧雷インパルスの印加
電気破砕



水中爆破破砕
衝撃波の作用



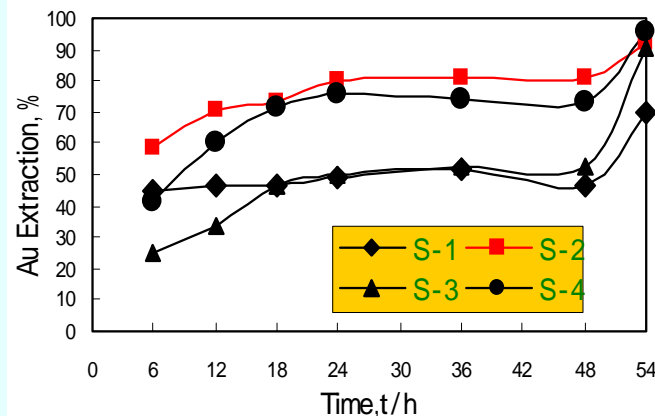
破砕衝撃波のイメージ図



液晶ディスプレイの破砕
(ガラス・フィルム・ITOのリサイクル)



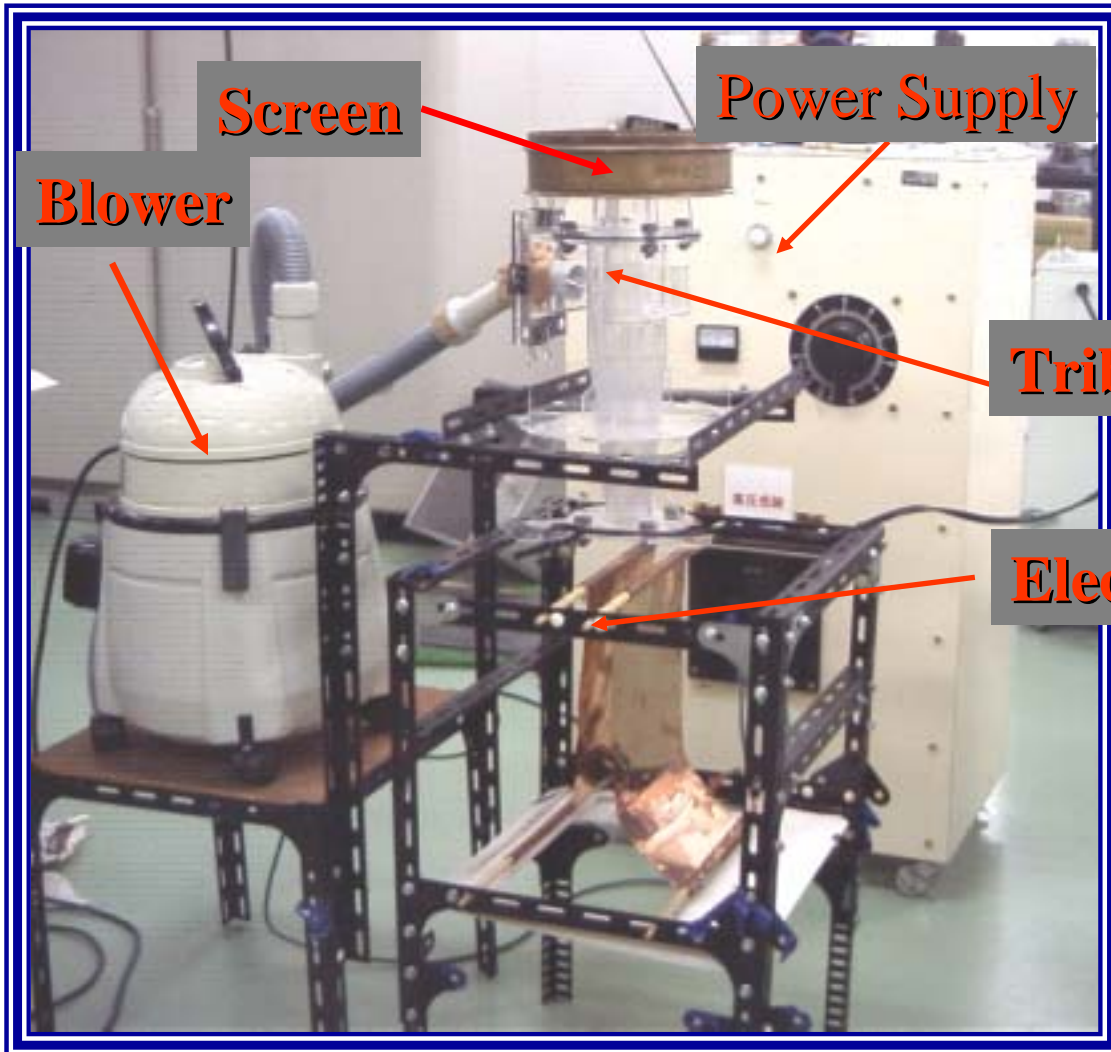
破砕した基板からの金の浸出結果



乾式選別

- 手選別
- 風力選別 例：ジグザグ型、空気テーブル
- 篩い分け 例：微細汚染土壌除去
- 形状選別 例：振動の利用
- 色彩選別 例：ガラス瓶、カレット
- 磁力選別 例：鉄板、鉄塊、鉄棒
- 静電選別 例：銅線、金属破片
- 帯電選別 例：各種プラスチック
- 渦電流選別 例：アルミ缶、
- IR, 蛍光X線、放射能選別 例：プラスチック、
放射元素

密度が同じ固体粒子の帯電選別



Tribo-cyclone

Electrodes

Triboelectric
Charging Series
of Plastic

(+ , positive end) ABS-PET-PS -PE-PP-PVC (negative end, -)

湿式選別

75 μm 以下の異なる固体微粒子混合物の分離、比重差を利用した分離には以下の湿式選別が有効である。

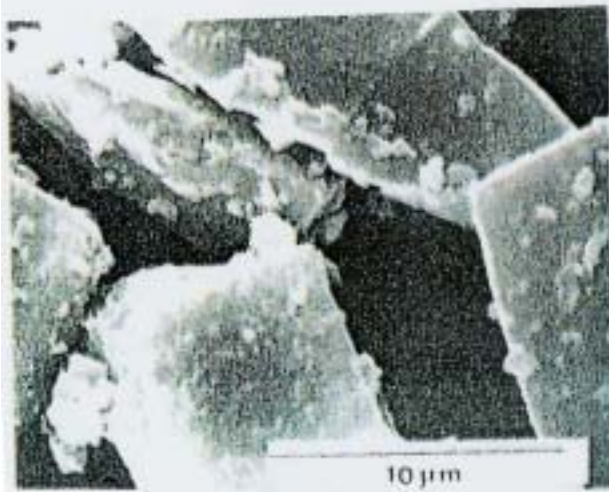
- 比重選別
- 重液選別 例：プラスチック、ガラスとアルミ
- 磁性流体選別 例：鉛、銅、亜鉛、ダイヤモンド
- 湿式磁力選別 例：粘土からの不純物除去
- 浮遊選別 例：あらゆる異なる粉体
- 液液選別 例：蛍光粉

湿式分離した後は濃縮、ろ過、脱水、乾燥、造粒の手段を必要とする。

数 μm ~ 数十 μm の粒子の相互分離 研削粉と研磨剤 (SiC) の浮選回収方法の開発

タンタル酸リチウム単結晶粉を浮遊させSiC粉を沈降させて分離

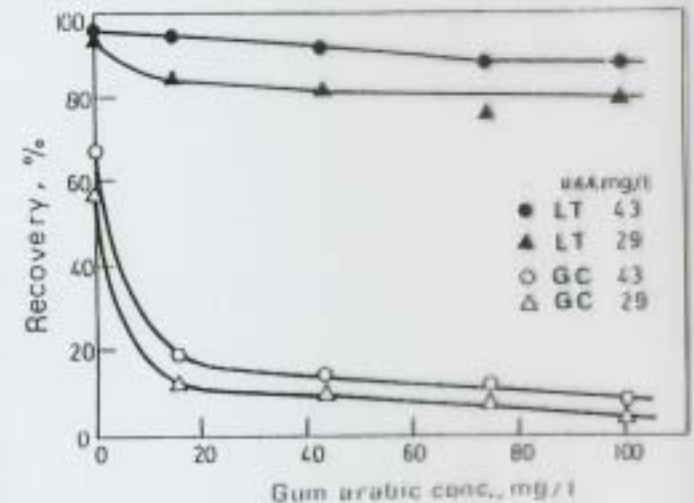
一ボランダムとタンタル酸リチウム粉を浮選で分離し回収した。



粗粒子: SiC粉
微粒子; タンタル酸リチウム



浮選機の分離状況



Effect of gum arabic conc. on flotation recovery of LT and GC in presence of HF (HF 428 mg/l, pH 2.0)

図 分離成績

ナノmオーダー～数 μ mの粒子の相互分離 コンデンサからのパラジウムの液液分離 によるリサイクル

チップコンデンサはチタン酸バリウムのセラミックスを多段の内部電極 Pd ではさんでいる積層構造をしている。このコンデンサ中の Pd を回収するために微粉碎後、疎水性の Pd は n-ブタノールの相に移動し、親水性のチタン酸バリウムは水相に残り Pd 金属を分離回収することができた。



チップコンデンサ

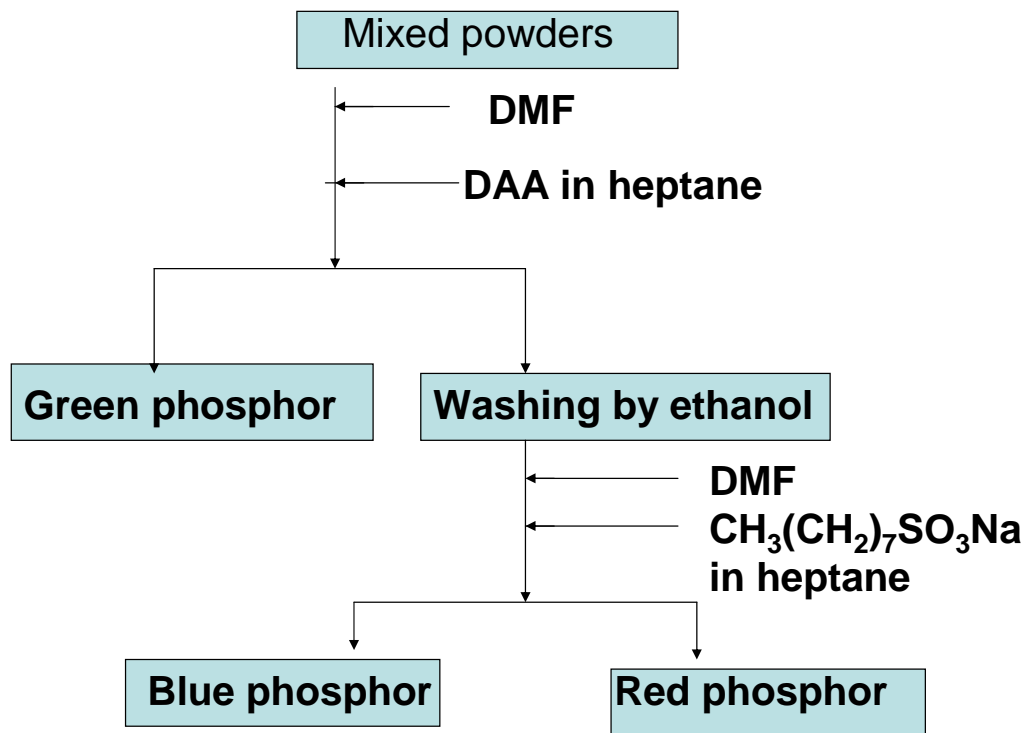


液液分離の状態
ブタノール相: Pd
水相: BaTiO₃



選別産物
BaTiO₃, Pd, Feed

蛍光粉の液液分離



- 現在、蛍光管の水銀を除去した後の赤、緑、青の蛍光粉を液液選別方法により90%以上で分離できる。
- 発光物質に使用されるレアメタル金属を容易にリサイクル。従来は、蛍光粉を粉体のままで回収ができなかったものでリサイクルが経済的でなかったが、**新技術の開発はリサイクル手法を変えることも可能。**

選別した固体の処理 (分子、原子の状態)

選別された固体や粉体は減量化、高純度化のために燃焼あるいは素材製造のための化学処理、湿式処理、微生物処理が行われる。

- **乾式処理**

焙焼、焼成、熱分解、溶融、揮発、乾留、蒸留

- **湿式処理**

浸出、溶解、析出、沈殿、溶媒抽出、電解、超臨界水熱分解、ガス還元、

- **微生物処理**

バクテリア利用(メタン発酵、好気性分解、鉄酸化細菌、硫黄酸化細菌など)

環境を考慮した非青化法のチオ硫酸塩、次亜塩素酸塩を用いた金の浸出方法



チオ硫酸塩による浸出

Thiosulfate: 0.2 M $S_2O_3^{2-}$
 Ammonia Hydroxide: 0.8 M NH_3
 pH: 10
 Copper sulfate: 0.03 M Cu^{2+}
 Retention time: 6 hours
 Temperature: Room temperature (20°C)

At a higher temperature (40°C and 60°C) gold dissolution increase with temperature at initial stage, after 2 hours leach, sulfur compounds formed, the dissolved gold is precipitated by sulfur compounds, thus the dissolved gold amount decreased.

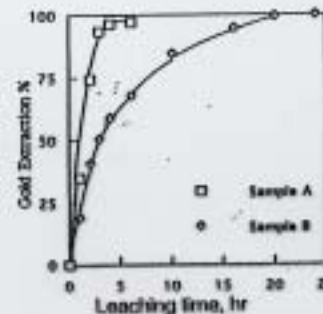


Fig.1 Effect of time on gold extraction by thiosulfate. 0.2M $S_2O_3^{2-}$, 0.8M NH_3 , 0.03M Cu^{2+} , pH 10.0, 20°C

次亜塩素酸塩による浸出

Hyperchlorite: 7.5 g/l Cl_2
 Sodium Chloride: 2.0 g/l NaCl
 pH: 1.0
 Retention Time: 6 hours
 Temperature: Room temperature (20°C)

At a higher temperature, all other metals, copper and iron, are dissolved and the Cl_2 concentration was reduced, also diminished the gold extraction.

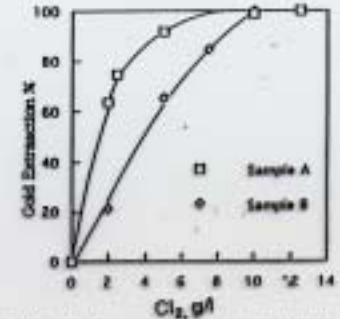


Fig.2 Effect of hyperchlorite amount on gold extraction. NaCl 2g/l, pH 1.0, 20°C
 Sample A 6 hours, Sample B 24 hours

チオ硫酸塩による金の完全溶解。pH 10

次亜塩素酸塩による金の完全溶解。pH 1

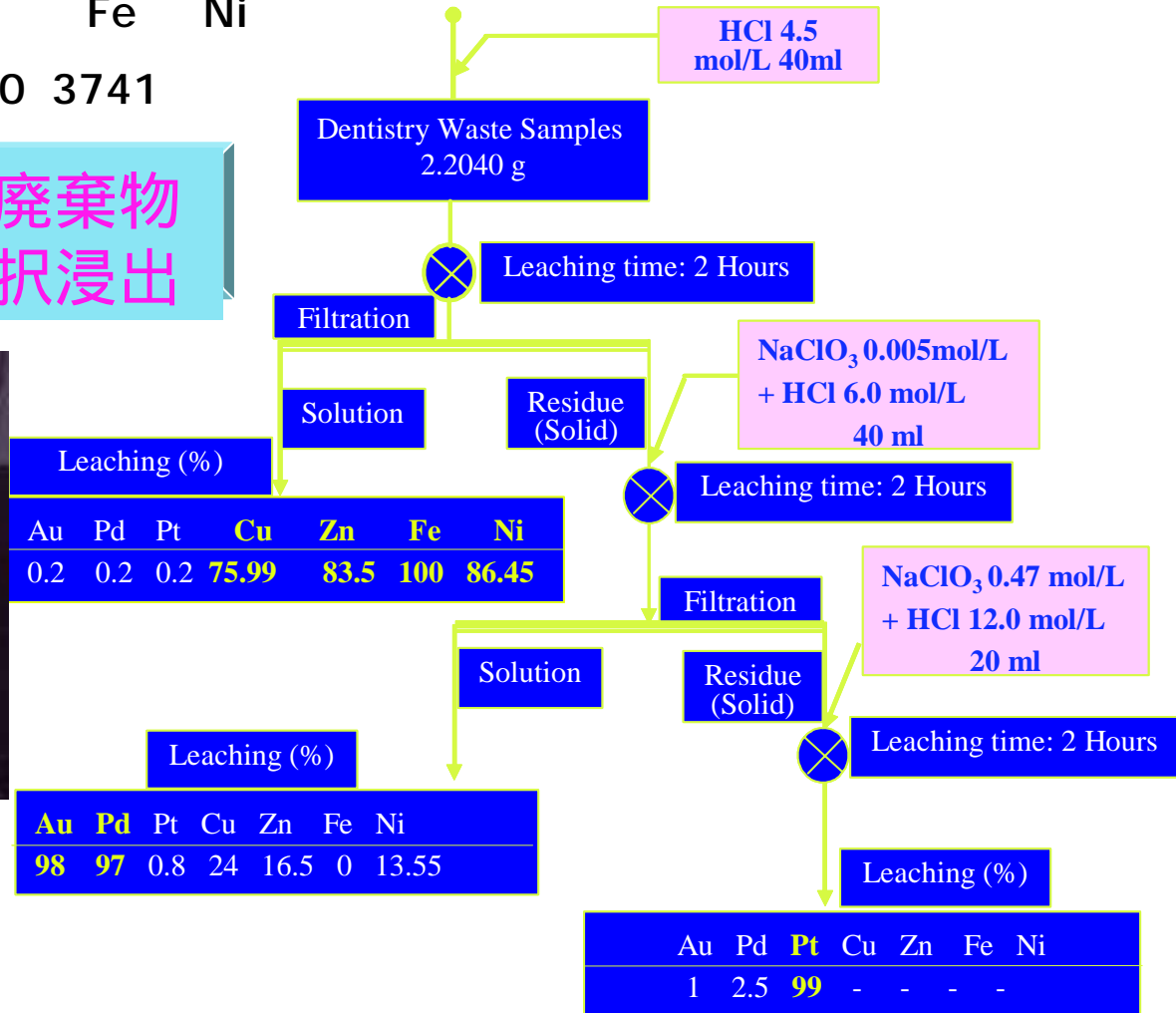
リサイクルに関する研究成果

貴金属のリサイクル → 次亜塩素酸Naや塩素酸Naによる浸出処理
 金、白金やパラジウムの選択的な浸出が可能

Primary components of dentistry waste samples (ppm)

Au	Pd	Pt	Cu	Zn	Fe	Ni
1554	2344	103	11000	2240	3741	412

歯科廃棄物の
 選択浸出



リサイクルにおけるいくつかの問題

欧州の有害物質使用規制

欧州における環境政策の動向の例

- ・ RoHS指令 (Restriction of the use of the certain hazardous substances) では、電子部品から**水銀、鉛、六価クロム、カドミウム**の使用を禁止するなどの規制 (他にポリ臭化ビフェニール、ポリ臭化ジフェニルエーテル)
- ・ ELV (End of Life Vehicles) 指令
自動車に**水銀、鉛、六価クロム、カドミウム**は使用しない。

- 蛍光管でHgを使用しているが、回収のための流通方法および処理方法があれば、Hgを管理し、害を防ぐことができる。
- 鉛バッテリーは現状では安価な電池であり、回収のための流通方法が確立されていれば、使用範囲においては害を防ぐことができる人工物と考えられる。

Hg, Pb, Cdは地球に存在し、それぞれ、S(硫黄)で地中に固定化される。Asも含めてCdなど自然流出した水は現在、廃水処理で環境改善がなされている。

無理な規制がよりCO₂排出量を増す、あるいは代替元素を用いて人工物を製造しても、枯渇が進む少量の**レアメタル等の使用はできるだけ減**らさなければならない。
必ず、使用した元素は希薄になり、地中にばらばらになりエントロピーを増大させ、枯渇することになる。

リサイクルシステムにおける多くの複雑な問題 や矛盾の存在

- ゼロエミッションの概念は良いが、これを行おうとすると多くのエネルギーを必要とし、環境に負荷がかかる。
- 廃棄物処理は対象物により複雑な問題が生じる。例えばプラスチックをマテリアルとしてリサイクルする場合、焼却処理して減量化し燃料にする場合、輸出する場合、埋め立てる場合など、コストと環境への負荷が状況で変化する。
- 鉛やクロムなど物質の再使用が法律によって難しくなる。
- 個人はそれぞれの価値観があり、すべての人が必ずしも分別をして廃棄しない。
- ロングライフを考慮すれば中古車の使用は地球の資源、エネルギーの効率的利用であるが、輸出された車などの機械電気製品はリサイクルが難しい。
- 容器包装リサイクル法 が事業者より自治体に費用負担を強いる など

エネルギーと省エネの重要性 (藤田研究室)

1. 原子力利用促進のための、廃棄物からの選択的要素の分離
2. 水素製造触媒を得るための、海底からの資源の回収(金、白金の新しい浸出と回収方法) COリッチクラスト
3. 熱ポンプ用の磁性流体の製造とその応用
4. 省エネダンパのための磁気けん濁液の製造とその応用

共創の概念からの環境問題の解決

持続可能な社会の発展のためにはエネルギーを有効に利用するトータルからみたライフサイクルが重要である。その中で例えばリサイクルを考えると、各種のリサイクルへの問題点、矛盾点が存在する。これを推測および考察する1手段として、集合体の粒子に作用する、電場、磁場、重力場などをいくつかの場の相互作用などから、粒子を意思あるいは物質として置き換えて考察することを試みた。今後、物理現象を利用した場の相互作用による問題解決の手法の発展が期待される。

おわりに：資源処理の立場からみたリサイクル

- 資源処理から、ライフサイクルとリサイクルを考えると、社会システム、物質分離システム、物質のデータ、分離の技術革新との組み合わせが重要と考えられ、**各種分野との連携**がますます必要。
- 持続可能な社会形成のために、限られた資源を希薄な状態で捨てることなく繰り返し使用する必要がある。**ライフサイクルを考慮した設計**において、最終廃棄しやすい状態とは何か、最終廃棄あるいはリサイクル技術には何が適しているか、種類と適正も考慮する必要がある。
- 新たな**処理方法の技術革新**は、ライフサイクルシステムを変革することができ、ハードな面からの研究も今後、ますます重要である。

「リースを利用したサービスを購入するという
脱物質、省エネルギー型の新しい価値観の世界」

レポート課題

7月11日 藤田 リサイクル・環境問題

環境浄化技術、資源リサイクル技術が貢献する環境・エネルギー問題解決に関する事項について述べよ。

A4版2ページ以上になるようにし、参考にした文献やホームページを明示すること。