

212 元素戦略

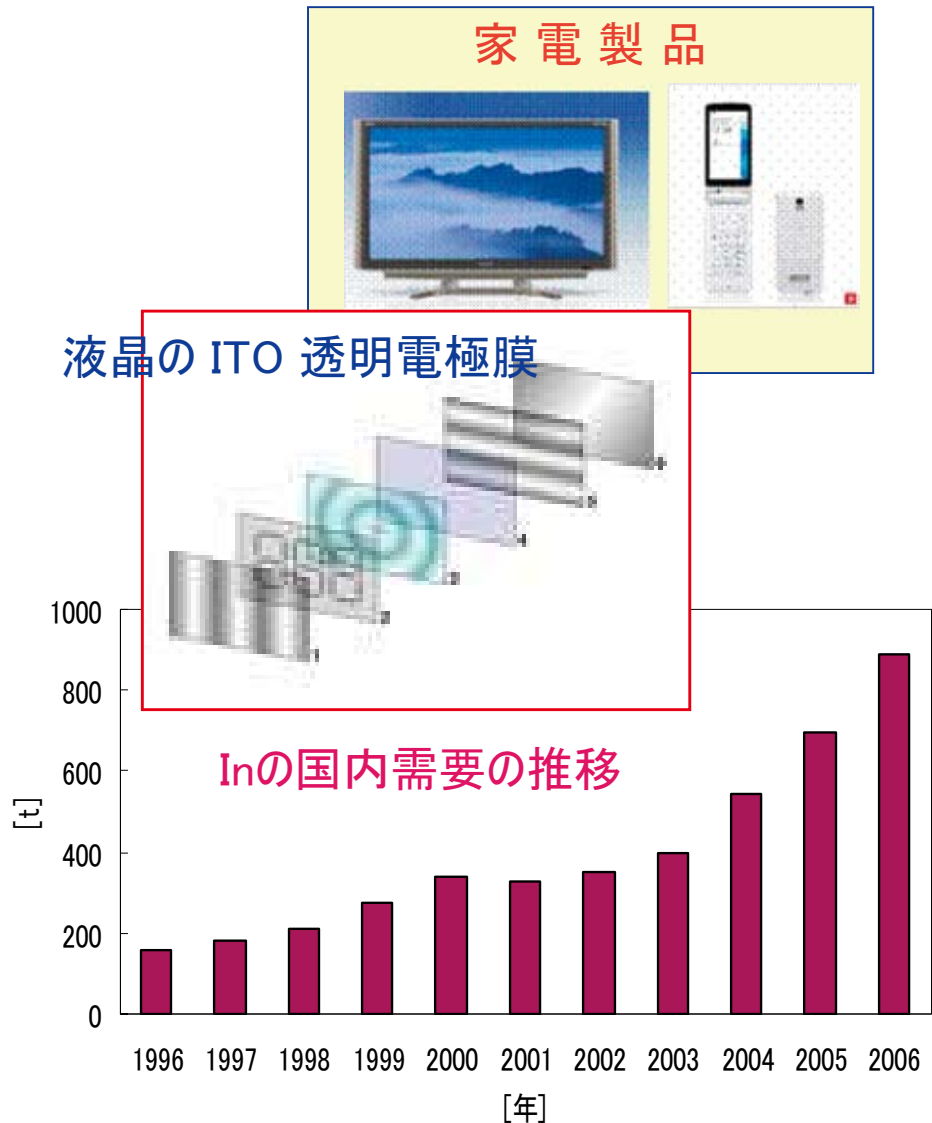
バイオ技術によるレアメタル (インジウム、白金族元素)の分離・濃縮・加工

公立大学法人大阪府立大学
大学院工学研究科
物質・化学系専攻 化学工学分野
教授 小西 康裕

レアメタルの一つである“インジウム”を取り巻く状況

- 液晶テレビや携帯電話などのFPD（フラットパネルディスプレイ）に、透明電極材となるITO（インジウム - スズ酸化物）として使用
- FPDの大型化と急速な市場拡大により、国内需要は急激に増大（2007年には1100トンを超える）。
- 我が国では、インジウムの天然資源は輸入に依存しているが、都市鉱山の規模は1700トンも（世界の消費量と比べて約4年分、世界の天然鉱山埋蔵量の61%）

【(独)物質・材料研究機構の推定】



※貴金属・レアメタル技術集成より

インジウムを取り巻く状況

● インジウム資源の確保・安定供給

- 液晶パネルなどFPD（フラットパネルディスプレイ）製造における必須元素
“インジウム”を安定供給することは家電産業などの将来に不可欠

● 再資源化の対象となる都市鉱山（青マーカー）

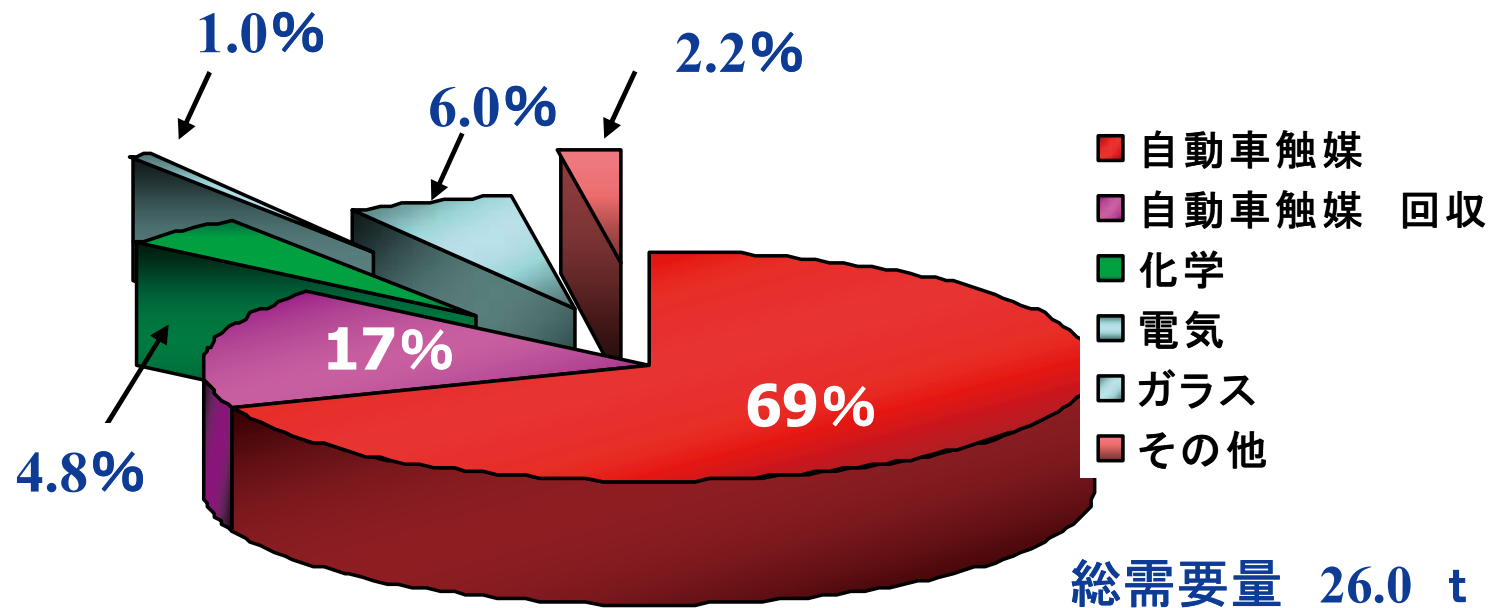
- 使用済みFPD、またFPD工場での不良パネルやエッチング廃液を対象

	都市鉱山	各処理物の In 分配率(%)	リサイクル 状況
ITO製造 工程	使用済みターゲット材	70	完全回収
	基板マスキング材	15	2007年開始
	内壁面付着物	5	2007年開始
	エッチング液	5	2008年開始
	不良パネル	2	2011年開始
FPD製品	使用済みパネル	3	2011年開始

上表の引用：中村 崇、「インジウムのリサイクル」、「レアメタルの代替材料とリサイクル」、
原田・中村 監修、シーエムシー出版（2008）、pp.326-331.

白金族元素“ロジウム”を取り巻く状況

- 高機能性を持つ元素：高触媒能、耐熱性、耐腐食性、電気伝導性
- 世界での需要の約86%が、自動車排ガス処理用触媒（三元触媒）
- その需要は高く、産出国が限定されるため、供給不足になりやすい



参考資料 : Jonson Matthey 社 Platinum 2007

レアメタル資源（元素）戦略

- ハイテク産業に欠かせないレアメタル（希少元素）は、天然鉱山での埋蔵量が少ないうえに、その価格が高騰。
- 希少元素を有効利用する目的で、一定量安定に確保するための技術開発を並行して行っていくことが不可欠。
- 電気製品などに含まれるレアメタルは「都市鉱山」となり、日本は世界でも有数の都市鉱山“埋蔵量”を誇る。
- 都市鉱山（使用済製品など）から、レアメタルを効率的に分離・濃縮し、回収・再利用するための研究開発が必要。

インジウム回収の技術開発の必要性

- FPD（フラットパネルディスプレイ）の大型化と急速な市場拡大により、インジウム需要は急激に高まっている。

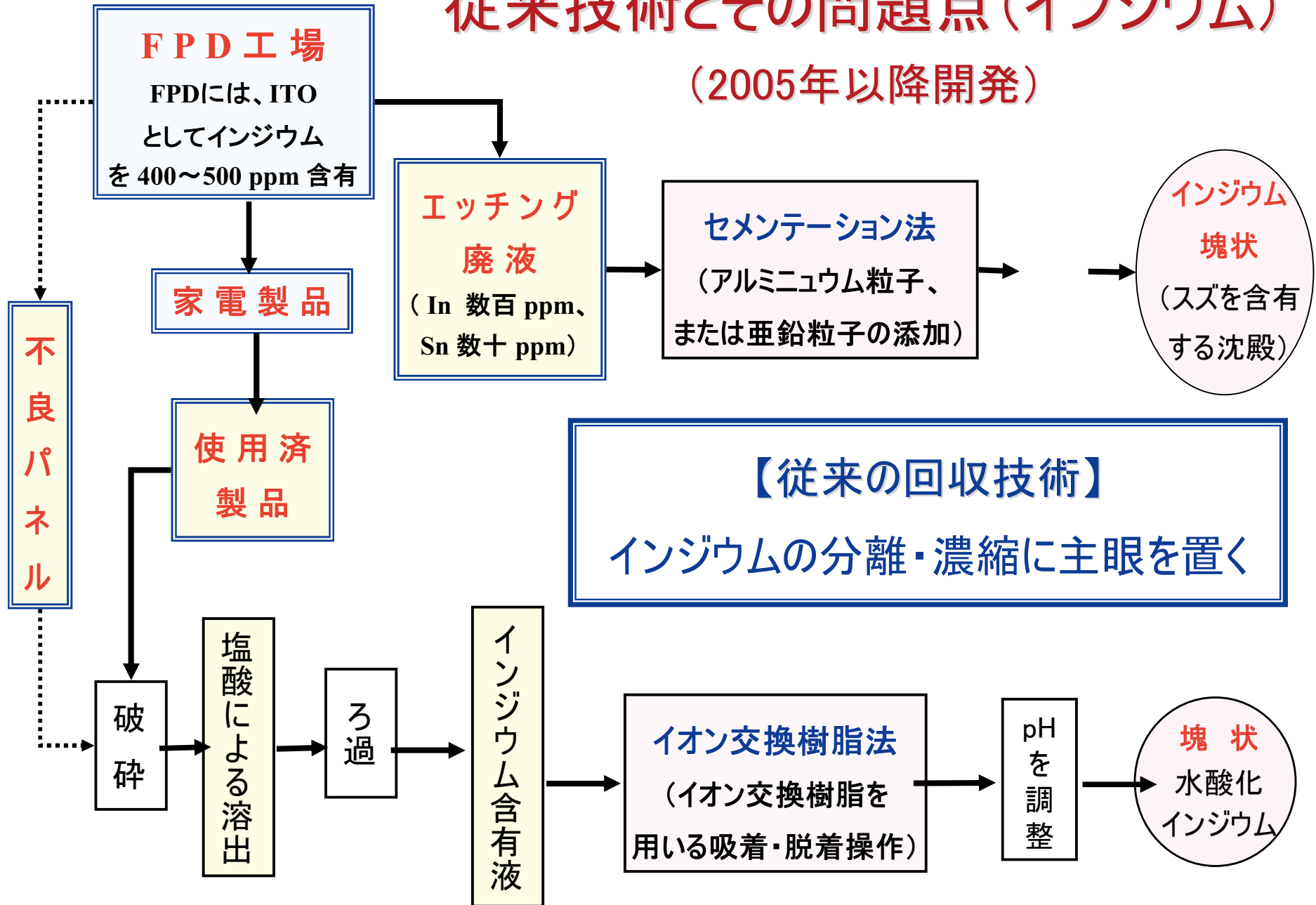
⇒ “使用済み家電品等” からインジウムを、環境負荷を最小化
しつつ、効率よく回収できる技術を確立することが課題となる。

- 我が国は、大規模なインジウム都市鉱山（1700トン、世界の天然鉱山埋蔵量の61%）を有する。【(独)物質・材料研究機構の推定】

⇒ 世界に先駆けてインジウム回収技術を開発することは、レアメタル資源の安定供給を確保するだけでなく、その資源外交を優位に進め、国内産業の国際的競争力を維持・強化することにも繋がる。

従来技術とその問題点(インジウム)

(2005年以降開発)



従来技術とその問題点（白金族元素）

● 従来技術（溶液中の白金族元素の分離・精製）の現状

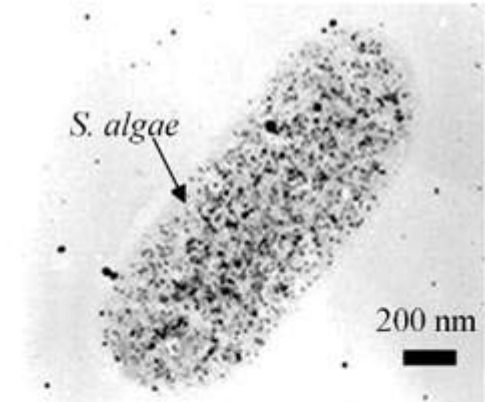
- ・ 溶媒抽出法や吸着法では、有機相または吸着剤（固相）に濃縮された金属イオンを水相に逆抽出または脱着し、次に貴液から金属イオンを回収する工程が必要になる。
- ・ 回収されたバルク状態の金属は、用途に応じてエネルギー消費を伴う処理工程（ナノ・メソサイズ粒子化、高純度化）を経て、最終製品になる。

● 解決すべき課題

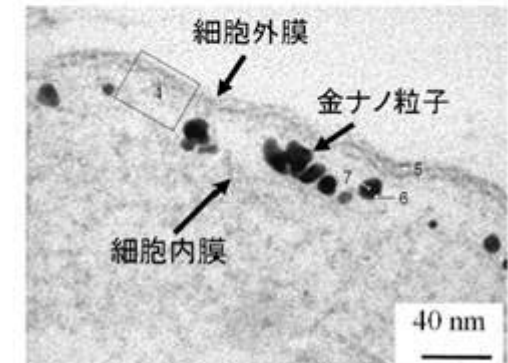
- ・ 溶媒抽出法が主流であるが、有機相への白金族金属の抽出が極めて遅く、大幅な改善が必要である。とくにロジウムは、工業的に使用できる抽出試薬が未だ開発されていない。
- ・ 有機溶剤を大量に使用する溶媒抽出法は、本質的には環境負荷が大きい技術である。
- ・ 分子認識配位子を有する吸着樹脂が開発されているが、実用化に向けては樹脂コストの大幅な削減、吸着容量の増大など課題がある。

新技術の基となる研究成果・技術

- 『都市鉱山』のレアメタルを回収する新しい方法として“微生物”を使った技術の開発を進めている。
 - あるバクテリアが、貴金属(金(III)イオン)を細胞内に取り込むだけでなく、素材として活用できる“ナノサイズの金(0)粒子にまで加工”(バイオミネラリゼーション)できることを見出した。
 - NHK教育テレビ「サイエンスゼロ」(2008年3月9日放映)
 - 朝日新聞 2008年11月9日朝刊1面
- 「レアメタル回収に微生物を活用、割安お手軽」
- 細胞表面の近傍に生成したナノ粒子は、超音波処理やアルカリ処理で、液相に分離・回収できる。

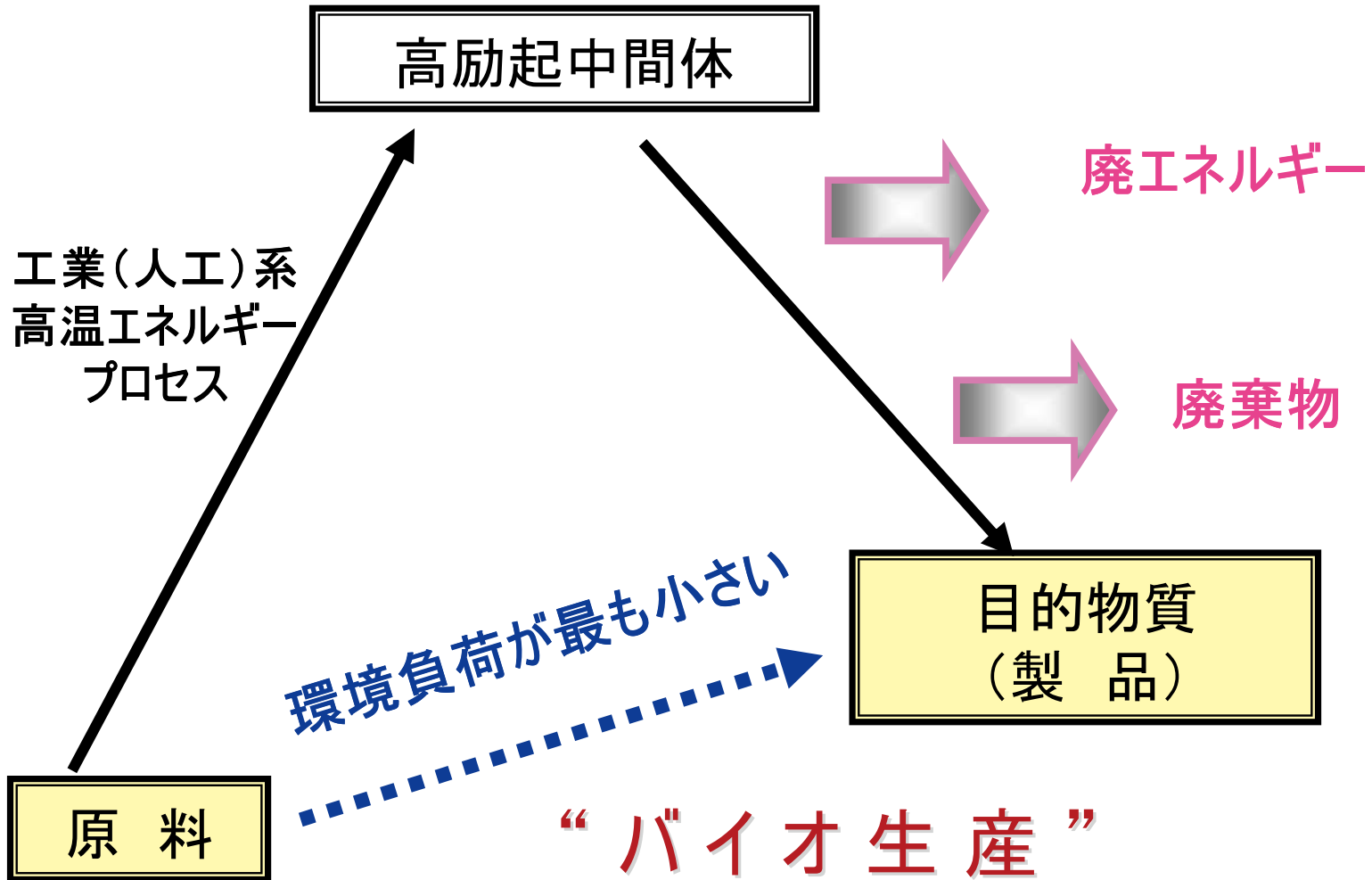


金の粒子(黒い粒々)を取り込んだ微生物=小西康裕教授提供 [拡大](#)



還元細菌の断面。金の粒子が細胞の膜の間に取り込まれている=小西教授提供 [拡大](#)

エネルギー



“バイオ生産”

生産に投入されるエネルギーや物質が少なく、
必然的に副生する廃熱や廃棄物も少ない

新技術の概要

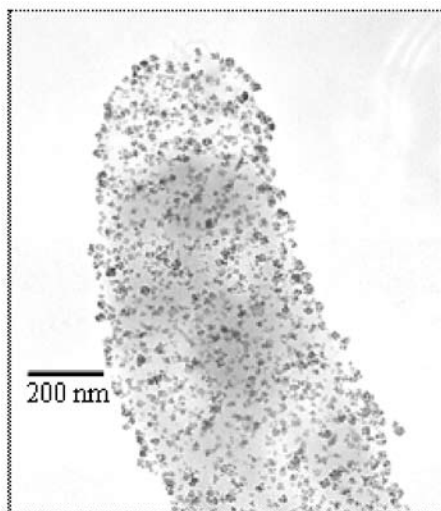
《微生物を活用したレアメタルの分離・濃縮・加工》

- I. **溶液中のインジウム(III)イオン**を、室温で、迅速に、微生物細胞に分離・濃縮・粒子化できるバイオ技術。

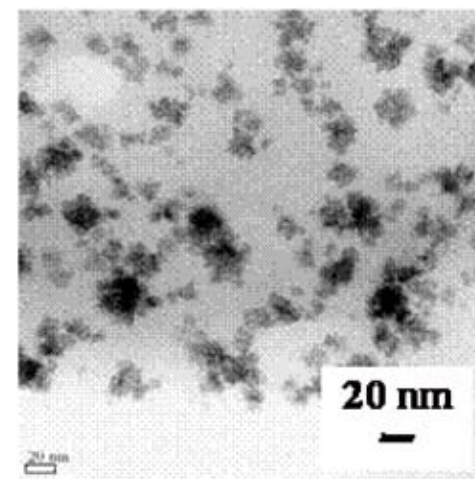
- II. **溶液中の白金族金属イオン**を、室温で迅速に進行するバイオ還元反応によって、ワンステップで、金属ナノ粒子にまで加工できることから、材料合成機能も兼ね具えたりサイクル技術。

インジウムのバイオ回収

- 初濃度 115 ppm のインジウム水溶液の実験では、30 分以内にほぼ 100 % のインジウムを固体粒子として細胞表面に析出できる。
- 操作時間は 30分程度と短時間であり、回収速度が速い。
- 水酸化インジウム粒子が細菌の表面全体に析出し、その平均粒子径は 20 nm 程度である。



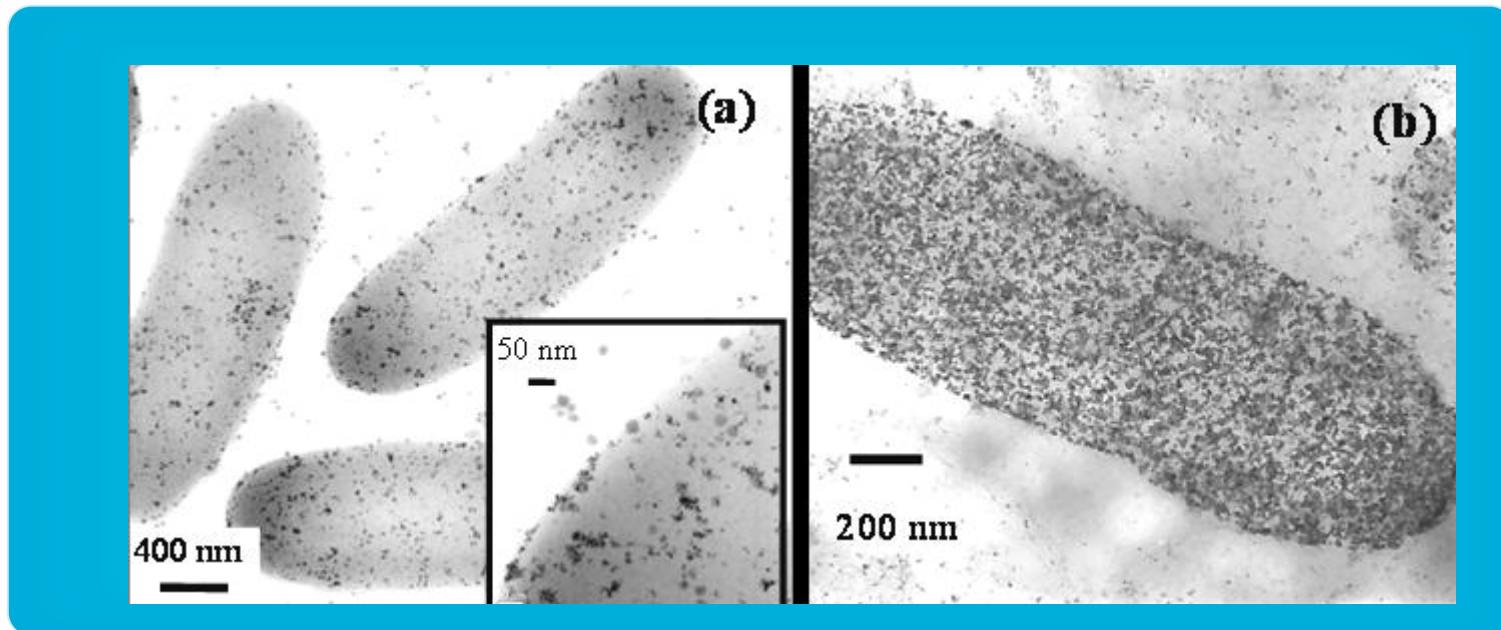
細菌(楕円形)とインジウム粒子(黒い点)



インジウム粒子(拡大写真)

希薄溶液から白金族元素の高付加価値化回収

- 5 mM (530 mg/l) 程度のPd(II)をメタルに還元する。
- 操作時間は30分と短時間である。
- パラジウムは細胞に析出し、細菌と固液分離できる。



(a) 通常調製法

(b) 改良調製法

ナノサイズのパラジウム粒子(黒い粒々)を作り出した細菌

貴金属担持触媒としての応用

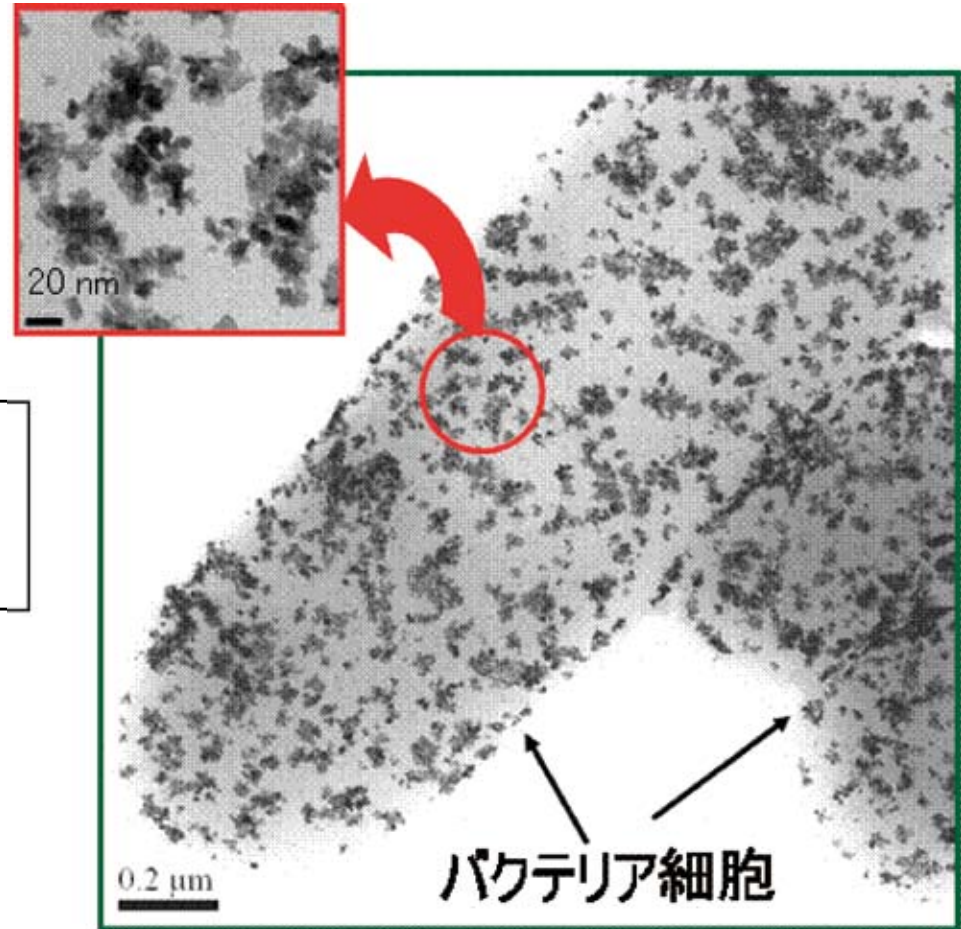
細胞表面にPdナノ粒子が
高密度・高分散



Pdナノ粒子が担持された
触媒をバイオ調製



重要な化学反応
の触媒として応用



新技術の特徴・従来技術との比較（インジウム）

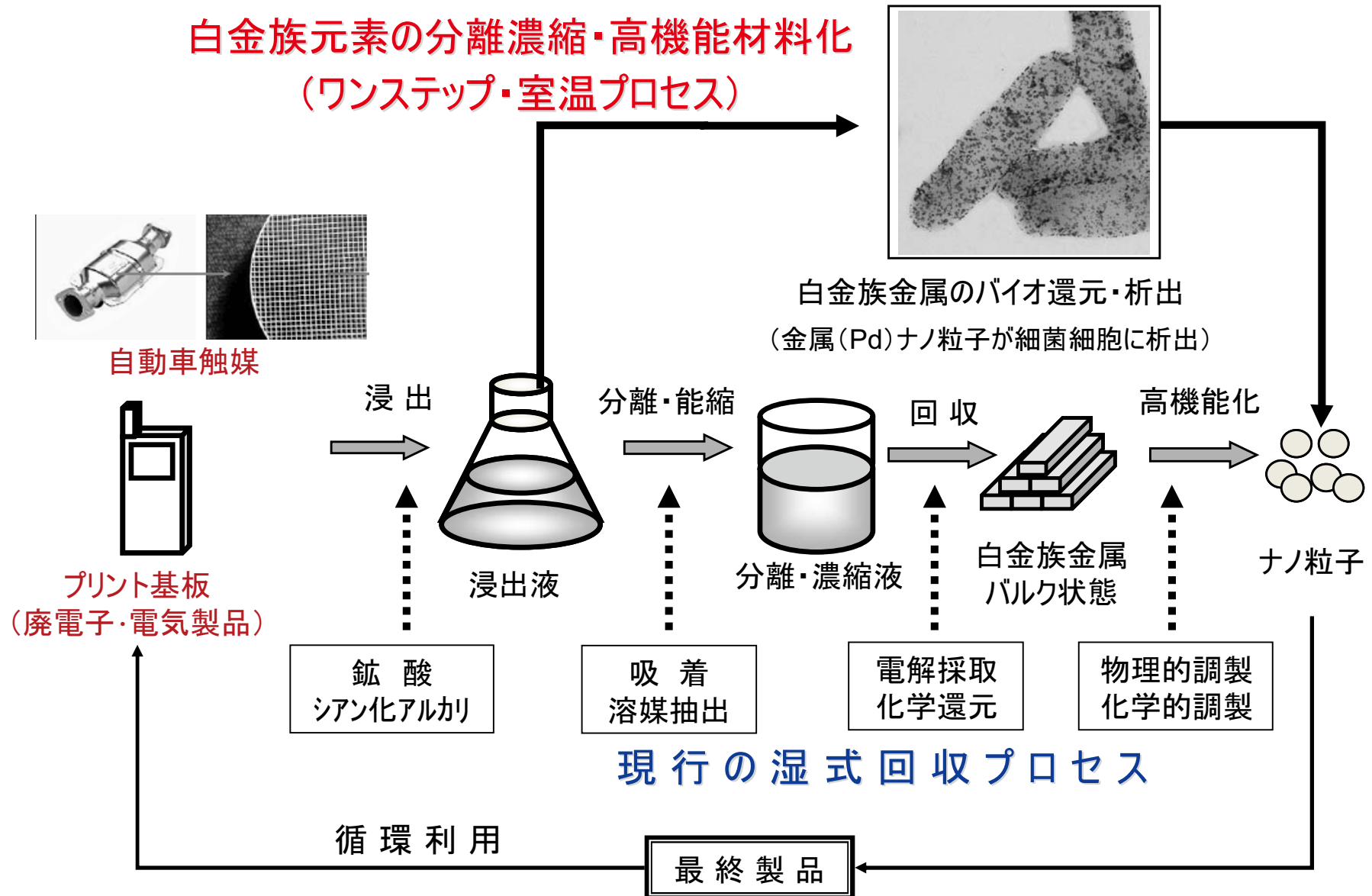
● 手法としてのオリジナリティ

- 液相に溶存するインジウム(In(III))を細胞内捕集・粒子化する機能をもった微生物(バクテリア)を見出しており、この微生物を活用する点 ⇒ バイオ湿式製錬、バイオ粒子合成
- レアメタルの溶液からの分離・濃縮にプラスして、ナノサイズの無機ナノ粒子(水酸化インジウム)の調製を同時に達成する点 ⇒ 斬新なコンセプトに基づく金属リサイクリング

● 実用化プロセスとしての特長

- 環境に配慮した低エネルギー型
- 「溶液からのインジウムの分離・濃縮工程」と「ITOの原料粉末(水酸化インジウム)ナノ粒子の調製工程」との統合型

新技術の特徴・従来技術との比較（白金族元素）



この研究の特色・独創的な点

● このアイデアに独創性

- ・ 溶存インジウムを捕集・固体粒子化する機能をもつ微生物を利用して、“インジウムの捕集・濃縮”にプラスして、“ITO原料粉末(水酸化インジウムのナノ粒子)の生産”をも統合した環境調和型システムの開発。

● インジウムの物質フローを強く意識

- ・ 使用済み製品等から回収・調製したインジウム(水酸化物)を、“ITO原料粉末”として利用することを視野に入れたプロセス開発。

● 迅速な処理が可能な“新しいバイオ技術”

- ・ 生物プロセスの長所(投入されるエネルギーや資源が少なく、必然的に副生する廃熱や廃棄物も少なくなる)特長を活かしつつ、
- ・ 30分程度の短時間で水酸化インジウム粒子生成までを完結できる迅速な回収法であり、実用化の可能性が高いバイオ技術。

研究の期待される成果

“微生物機能を利用するレアメタルの”高付加価値化”回収法

- 従来技術に比べて、環境負荷が小さいソフトパス回収技術
 - ・ エネルギー使用量と化学物質の消費量を大幅に削減できる。
- ナノテクノロジーとしての期待
 - ・ 単なるインジウムの回収方法だけではなく、常温・常圧での無機ナノ粒子の新規調製法として展開できる。
- 家電リサイクル法の対象品目に追加予定
 - ・ 液晶テレビ、プラズマディスプレイは、2009年4月1日に対象品目に追加
 - ・ “手軽で、割安なバイオ回収法”の開発は時機を得たもの。
- 東アジア諸国における希少金属インジウムの循環システム構築
 - ・ まずは国内の使用済製品を対象にして技術開発・実用化をめざす。
 - ・ その後は、韓国、台湾、中国などの使用済み製品へと展開を図る。

想定される用途

- 都市鉱山(浸出液)からレアメタル(インジウム、白金族元素など)を高付加価値化リサイクル
- 金属ナノ粒子の環境調和型生産
- 微生物細胞を反応場・担体として活用する
貴金属ナノ粒子触媒の開発

想定される業界

利用者・対象

- 電気製品（液晶ディスプレイ）メーカー
- 自動車触媒のメーカー、ユーザー
- 非鉄金属メーカー
- 環境・リサイクル関連業（金属回収企業、廃水処理企業）

市場規模（レアメタル）

- 液晶ディスプレイ、自動車触媒等の産業で需要拡大
- 東アジアの経済発展と資源枯渇に伴う価格上昇

→ 処理量は少なくとも、市場規模は大きい

実用化に向けた課題

- 現在、インジウム、白金族金属の単独溶液に対して、バイオ分離・濃縮・加工が有効なところまでは開発済み。しかし、多成分金属系でのバイオ分離濃縮について未解決である。
- 今後、ITO、液晶ディスプレイの塩酸溶解液などを対象にしたインジウム回収試験によってデータを取得し、実液に適用していく場合の条件設定を行っていく。
- また、白金族金属イオン混合溶液系では、各金属イオンの還元・析出挙動の違いを利用して白金族元素が相互分離できる操作条件を確立する必要もあり。
- 実用化に向けて、連続操作方式のバイオ反応装置を開発する必要もあり。

企業への期待

- 液晶ディスプレイ、自動車触媒等の関連企業とは、本技術に基づく物質循環システムの構築に向けて、共同研究を希望する。
- 貴金属、非鉄金属の製造企業には、工場排水からのレアメタル回収プロセス開発において本技術の導入が有効と考えている。
- レアメタル含有廃液の再資源化をめざす企業には、経済性と環境負荷低減の両面から、本バイオ技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 金属(インジウム)回収方法(仮)
- 出願番号 : 未定
- 出願日 : 平成21年 6月中旬
- 出願人 : 公立大学法人 大阪府立大学
- 発明者 : 小西康裕、荻 崇、齊藤範三

お問い合わせ先

公立大学法人 大阪府立大学

産学官連携機構リエゾンオフィス

コーディネーター 稲池 稔弘

TEL 072-254-9873

FAX 072-254-9874

e-mail inaiket@iao.osakafu-u.ac.jp