

**前処理不要！**

**廃液にレーザーを照射して希少金属を回収する**

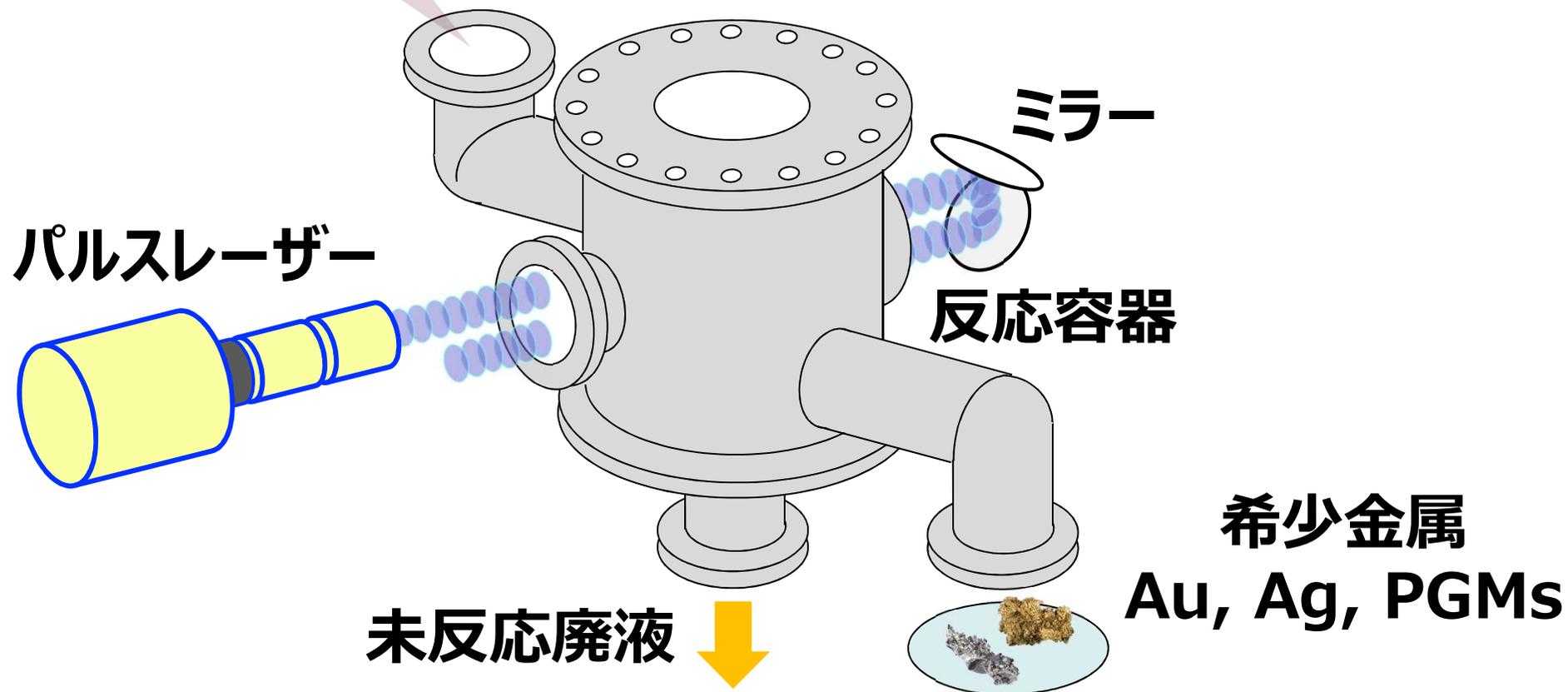
**国立研究開発法人  
量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門  
東海量子ビーム応用研究センター  
上席研究員 大場 弘則**

2019年5月30日

# 本技術の概要

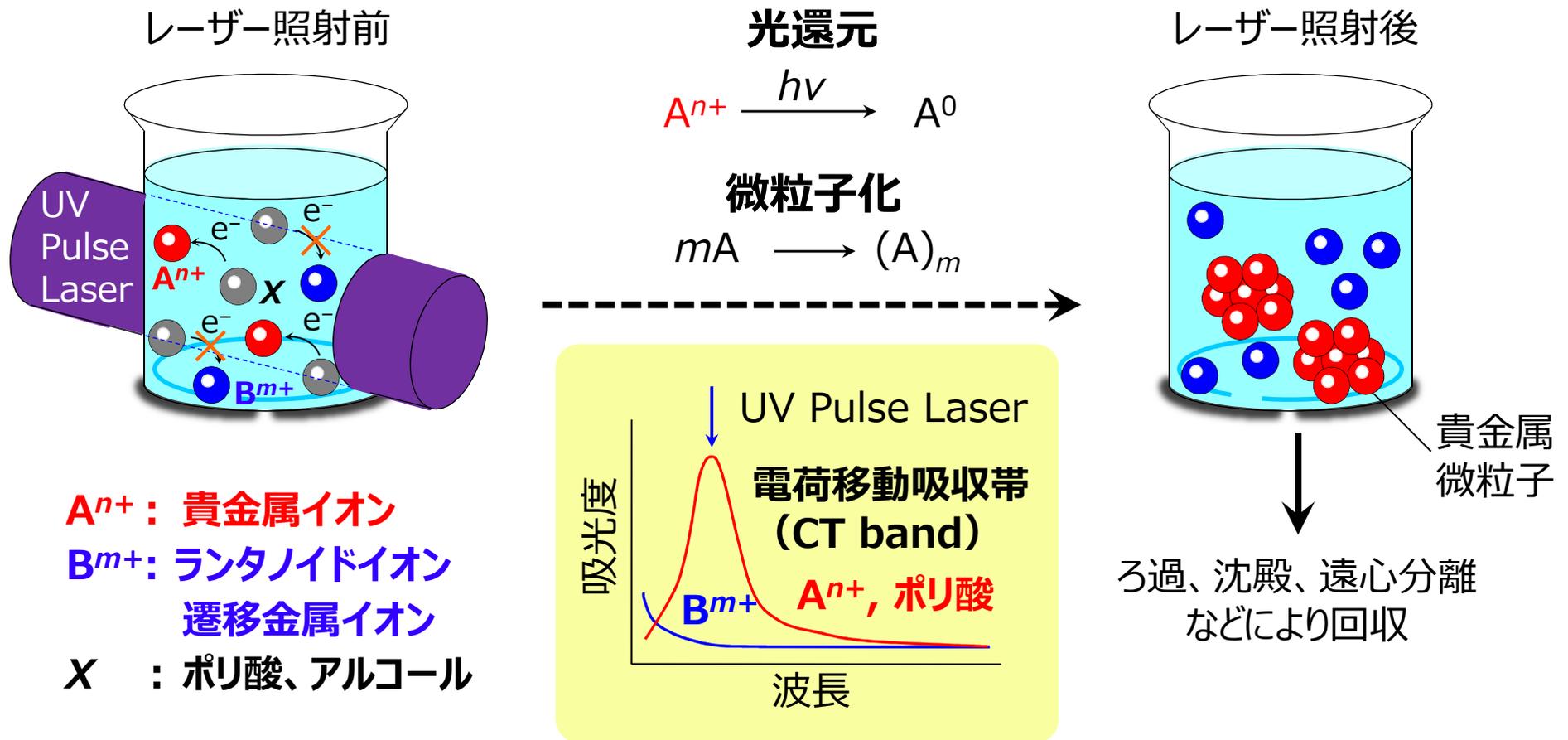
前処理不要！

廃液にレーザーを照射して希少金属を回収する



# 本技術の概要

## レーザー微粒子化を利用して貴金属を分離回収する



# 背景：経済産業省 3 R政策

循環型経済システムの構築 1 Rから 3 Rへ



Reduce ごみの量を減らそう  
Reuse 繰り返し使おう  
Recycle 資源として活かそう

平成11年産業構造審議会

<https://www.meti.go.jp/policy/recycle/index.html>

# 希少金属の回収

## 貴金属 …… 希少資源

	日本の都市鉱山 (蓄積量/埋蔵量)	世界順位
金	6,800t (16%)	1位
銀	60,000t (22%)	1位
白金類	2,500t (3.5%)	3位

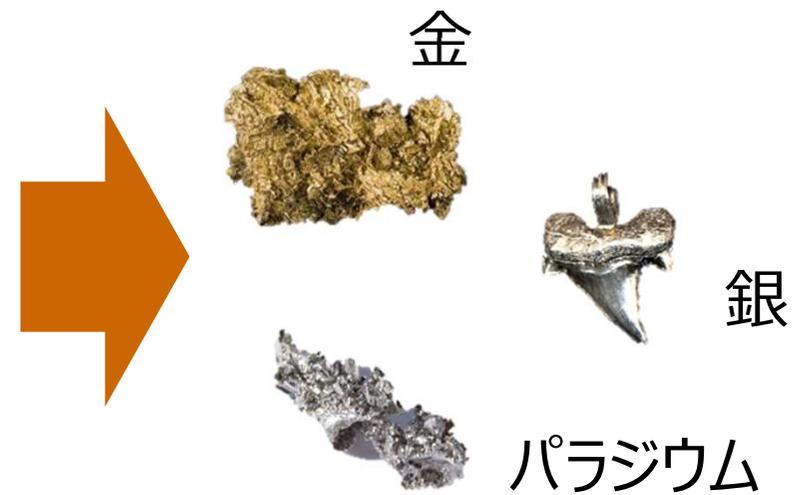
我が国の都市鉱山ポテンシャルは、有数の資源国の埋蔵量に匹敵

原田幸明他、日本金属学会誌73, 151-160(2009)

## 希少資源大国



半導体・電子部品  
製造等めっき工程



<https://ja.wikipedia.org/>

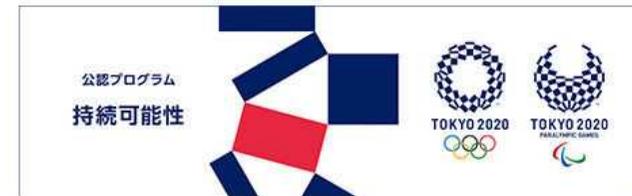
# 身近な回収例



都市鉱山からつくる!

みんなのメダル

プロジェクト



みんなの想いが集まって



携帯電話やパソコン等  
小型家電を全国各地で回収

東京2020メダリストへ



小型家電から抽出した  
リサイクル金属でメダルを製作

資源をより活かす社会に



資源の有効活用をより重視する  
さらに持続可能な社会へ

東京2020組織委員会は、東京2020大会で使用するメダルについて、使用済み携帯電話等の小型家電から製作する「都市鉱山からつくる！みんなのメダルプロジェクト」を実施

<https://tokyo2020.org/jp/games/medals/project/>

# 希少金属の回収技術

回収方法	特長	問題点
電解精錬	特殊電極で高効率 比較的コンパクト	電解槽、大電力必要 バッチ処理のため非効率的
イオン交換	希薄濃度に対応	高濃度には不適 樹脂からの脱着や溶離が難
溶媒抽出	相分離で回収可	薬品が高価 強力な還元剤が必要
光還元	2次的廃棄物抑制 光触媒で省エネ	還元・回収に長時間が必要 還元微粒子が小さく回収が難

**ランプ光源**

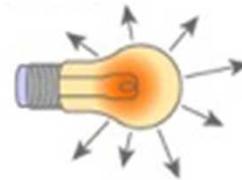
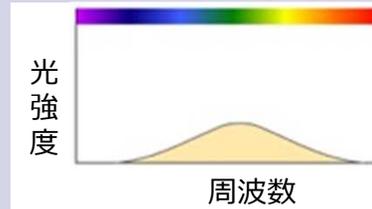
# 光還元における光源の比較

## レーザーの特長

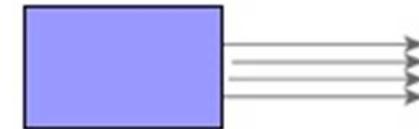
単色性に優れている  
レーザーは単色で、かつ大強度

指向性に優れている  
レーザー光は遠くまで届く  
光を有効利用

## ランプ光源

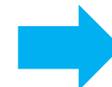


## レーザー光源



## ランプ光源に比べて

- 短時間で還元過程が完了
- 大径微粒子が生成し回収容易



**連続処理に好適**

# 連続処理とバッチ処理の比較

## 連続処理

## バッチ処理

処理の仕組み	原料を連続的に投入し、短時間で生成物が完成。 全工程の連続化は開発途上が多い。	工程ごとに区切って生産。 原料を投入後生成物を取り出し、次の作業を工程単位ごとに行う。
量産化までの難易度	設備の設計や反応条件が固まれば 実験レベルからの量産が円滑。	大規模量産には生産規模ごとに段階を踏んだ検証が必要。
生産性能	連続的に短時間で反応、高効率。 多品種少量生産に柔軟な対応。	工程ごとに時間をかけて反応。 滞留時間が発生して低効率。 外的影響を受けにくく、高品質。
品質管理	製造工程の連結化で作業員介入減。 高度モニタリング技術の導入容易。	工程単位ごとに作業員介入が必要。

レーザー光還元 + 連続処理 ⇒ **コストダウン**

# レーザー微粒子化の方法

## (1) 貴金属 + アルコール類

貴金属の電荷移動吸収帯に近い波長を照射

## (2) 貴金属 + ポリ酸

ポリ酸の電荷移動吸収帯に近い波長を照射

## (3) 貴金属 + ポリ酸 + アルコール類

ポリ酸の電荷移動吸収帯に近い波長を照射

電極電位に依存して還元

アルコール類：還元助剤  
ポリ酸：光触媒

中性原子  
微粒子核

ポリ酸イオンと金属イオンの酸化還元電位

<u>- 0.337 <math>\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-/7-}</math></u>	<u><math>\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^0 - 0.250</math></u>
<u>+ 0.057 <math>\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}^{4-/5-}</math></u>	
<u>+ 0.221 <math>\text{PW}_{18}\text{O}_{40}^{3-/4-}</math></u>	<u><math>\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+ + 0.153</math></u>
	<u><math>\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0 + 0.337</math></u>
<u>+ 0.664 <math>\text{P}_2\text{Mo}_{18}\text{O}_{62}^{6-/8-}</math></u>	<u><math>\text{Cu}^+/\text{Cu}^0 + 0.521</math></u>
	<u><math>\text{PtCl}_6^{2-}/\text{Pt}^0 + 0.725</math></u>
	<u><math>\text{Ag}^+/\text{Ag}^0 + 0.799</math></u>
	<u><math>\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}^0 + 0.850</math></u>
	<u><math>\text{Pd}^{2+}/\text{Pd}^0 + 0.987</math></u>
	<u><math>\text{AuCl}_4^-/\text{Au}^0 + 0.990</math></u>

Volts vs. SHE

C. R. Chimie 9 (2006) 851-857.

# 本技術の特徴

- 流れる廃液にパルスレーザー光を照射し、短時間で目的の希少金属を微粒子化して回収。
- **短時間で連続的な処理可能、強力還元剤不要、回収は微粒子をろ過するだけ。卓上型も可能。**
- 特殊廃液では、Pdの回収率90%以上、選択性ほぼ100%の実施例あり。コストおよび技術面でランプ光励起より優れる。

# 想定される用途

- めっき廃液の有用金属回収および無害化
- 都市鉱山からの希少金属の分離回収
- 単分散微粒子の生成

# 実施例 ①

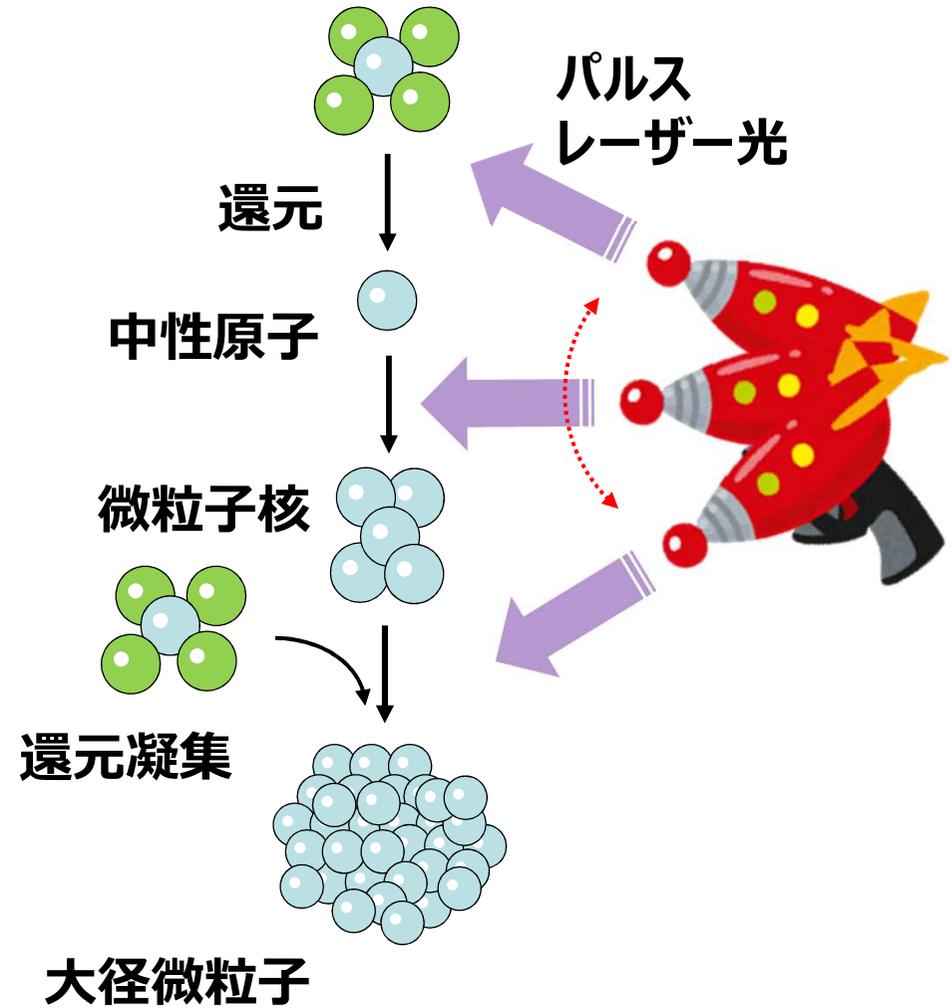
(塩酸系 → 白金族元素)

還元助剤：EtOH

$\text{RuCl}_3$ ,  $\text{RhCl}_3$ ,  $\text{PdCl}_2$ ,  $\text{NdCl}_3$



還元微粒子化の様子 x 4

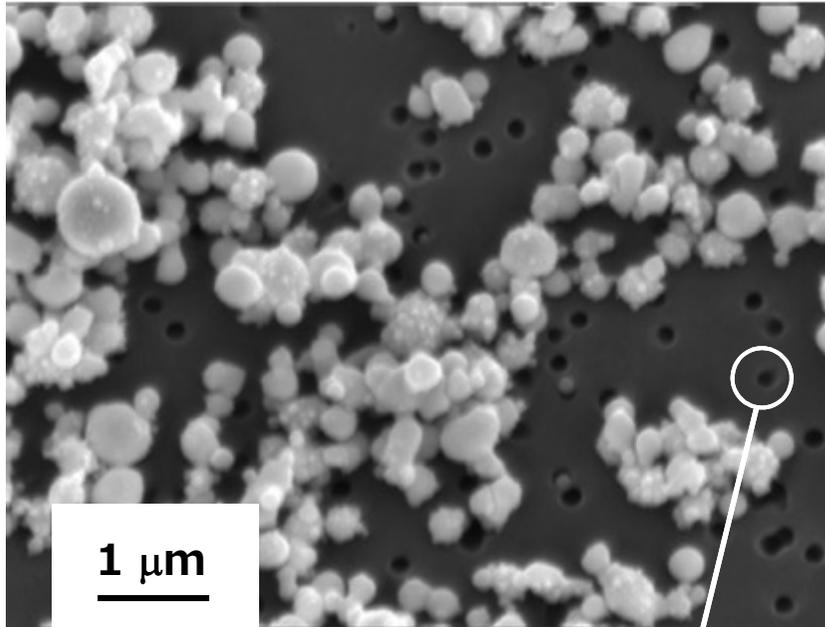


40分間照射

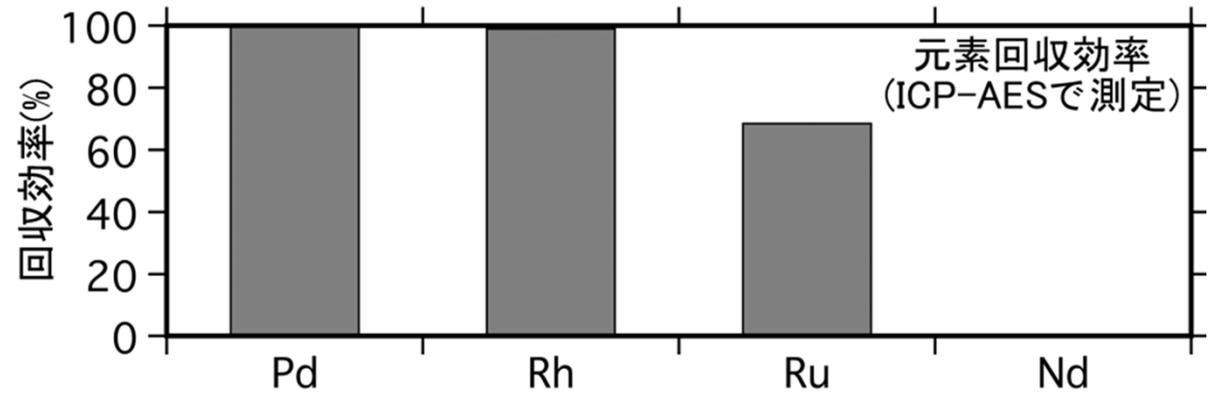
レーザー光  
266nm

# 実施例 ①

## 回収例



フィルター孔  
(100 nm)



回収効率 (%)

$$= \frac{[\text{元素イオン}]_{\text{原液}} - [\text{元素イオン}]_{\text{ろ液}}}{[\text{元素イオン}]_{\text{原液}}}$$

大径の金属微粒子が生成する

## 実施例 ②

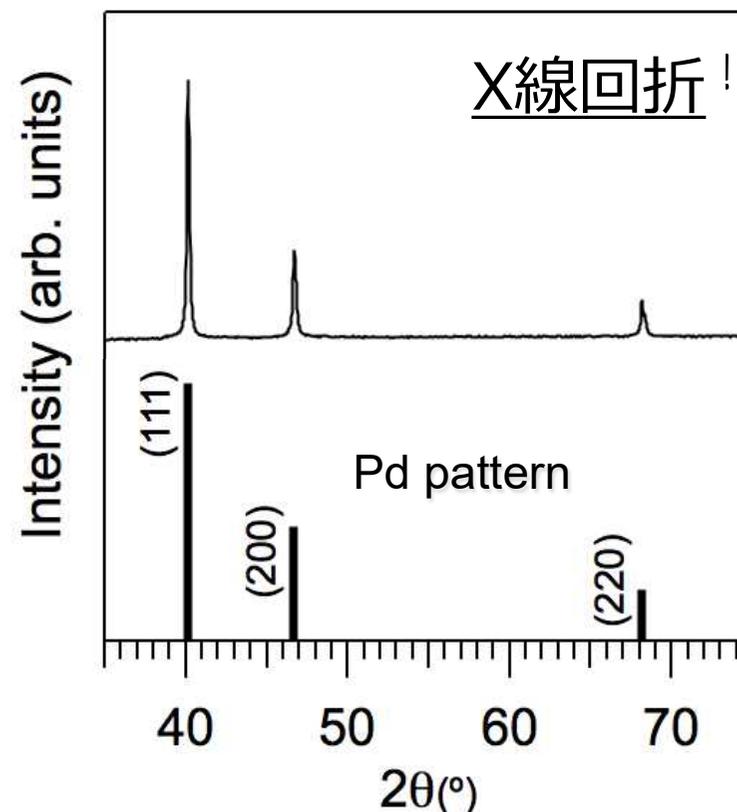
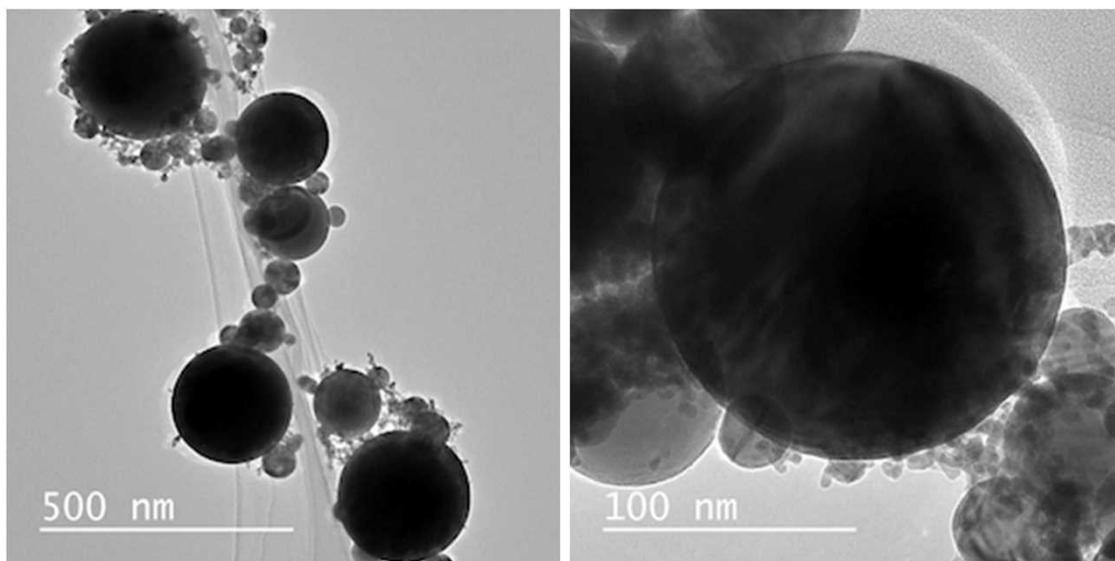
(硝酸系 → パラジウム)

還元助剤：EtOH + Na<sub>2</sub>Mo<sub>4</sub>2H<sub>2</sub>OHNO<sub>3</sub> + Pd<sup>2+</sup>

レーザー波長：355nm

回収例

20分間照射



粒径200 nm程度の単分散したPd金属微粒子



# 実用化に向けた課題

- 実施例および連続処理が実験室レベル
- ポリ酸を用いたさらなる条件探索
- 小型装置の商品化（社会実装）

# 企業への期待

- 本技術を適用した希少金属回収装置の開発を考えている。装置を共同開発いただける企業を希望。
- めっき関連の企業、あるいは微粒子製造技術を持つ企業には、本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 : (仮) 貴金属微粒子の連続合成回収装置
- 出願番号 : 出願準備中
- 出願人 : 量子科学技術研究開発機構
- 発明者 : 大場弘則、佐伯盛久、田口富嗣、中西隆造

