

令和元年度【3R先進事例発表会】

# パン酵母を分離剤として活用する貴金属・レアメタル (金、パラジウム、白金)のバイオ回収

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

小西 康裕

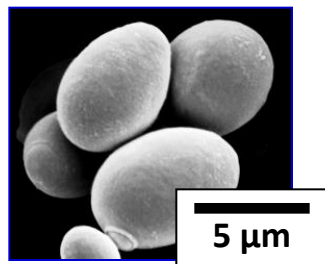


# 貴金属・レアメタル (Au, Pd, Pt) のバイオフィンリッチ

工業的利用に最適な分離剤

パン酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)

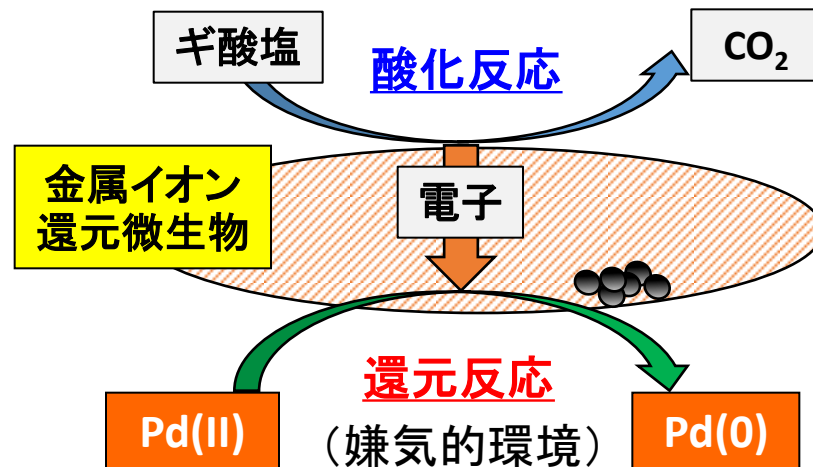
【市販品を安価で大量に入手！】



乾燥パン酵母  
(顆粒状の普及品)

中性溶液

**バイオ還元・析出**



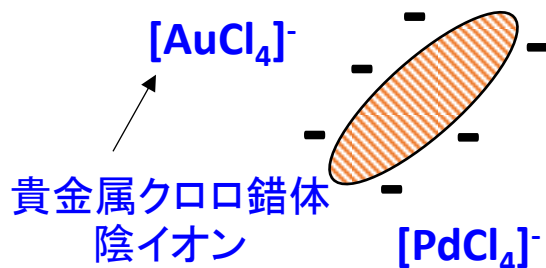
酸性溶液

pH > 4

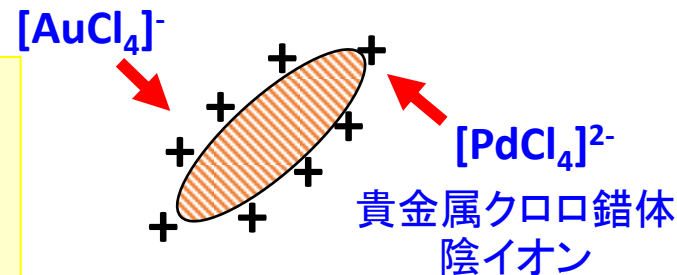
pH < 4

パン酵母のゼロ電荷点\*  
pH ≈ 4 付近

**バイオ吸着** (空気環境)



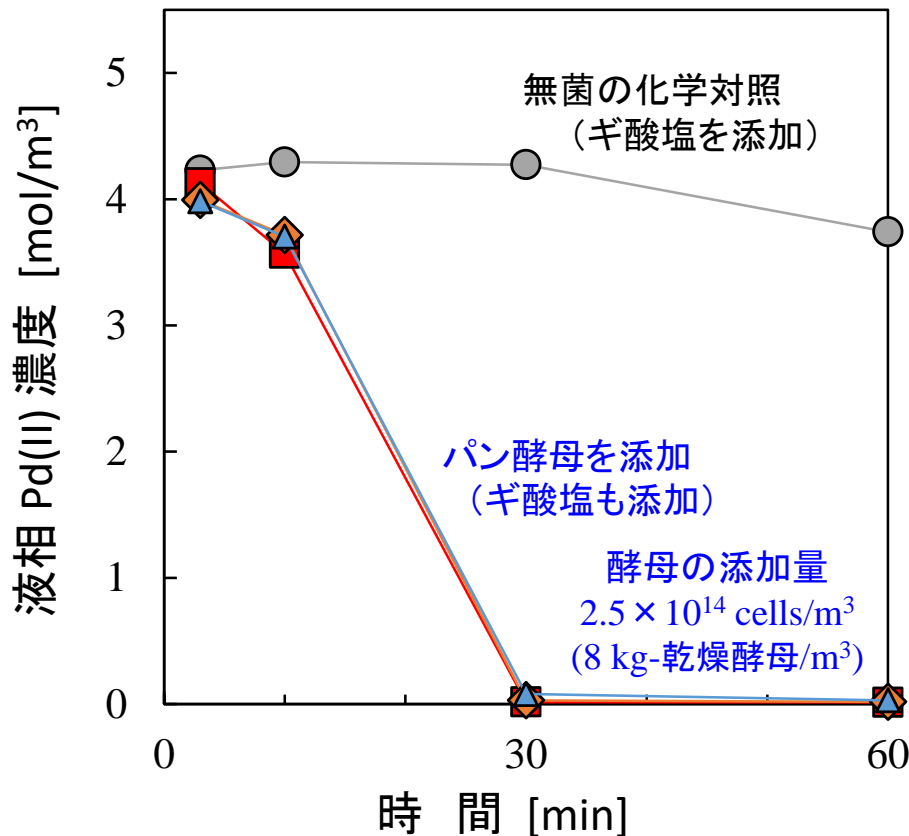
細胞表層の-COOH、  
H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> - など官能基が  
金属イオン吸着能



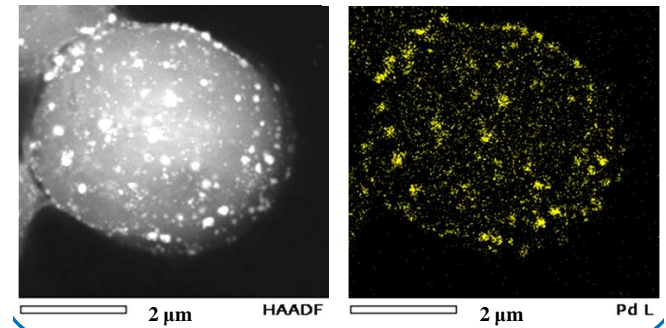
\*) P.B. Dengis et al., Appl. Environ. Microbiol. 61, 718-728 (1995)

# パン酵母によるパラジウム(Pd(II))イオンの還元・析出

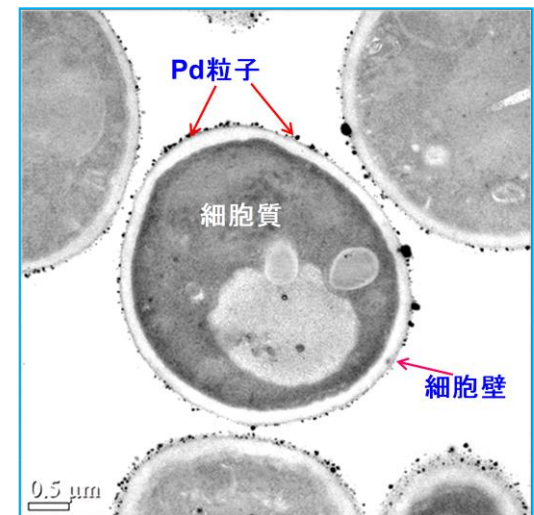
【中性の試薬溶液、室温、嫌気性雰囲気】



パン酵母が産出するPdナノ粒子  
暗視野(HAADF) (黄色: Pd元素)

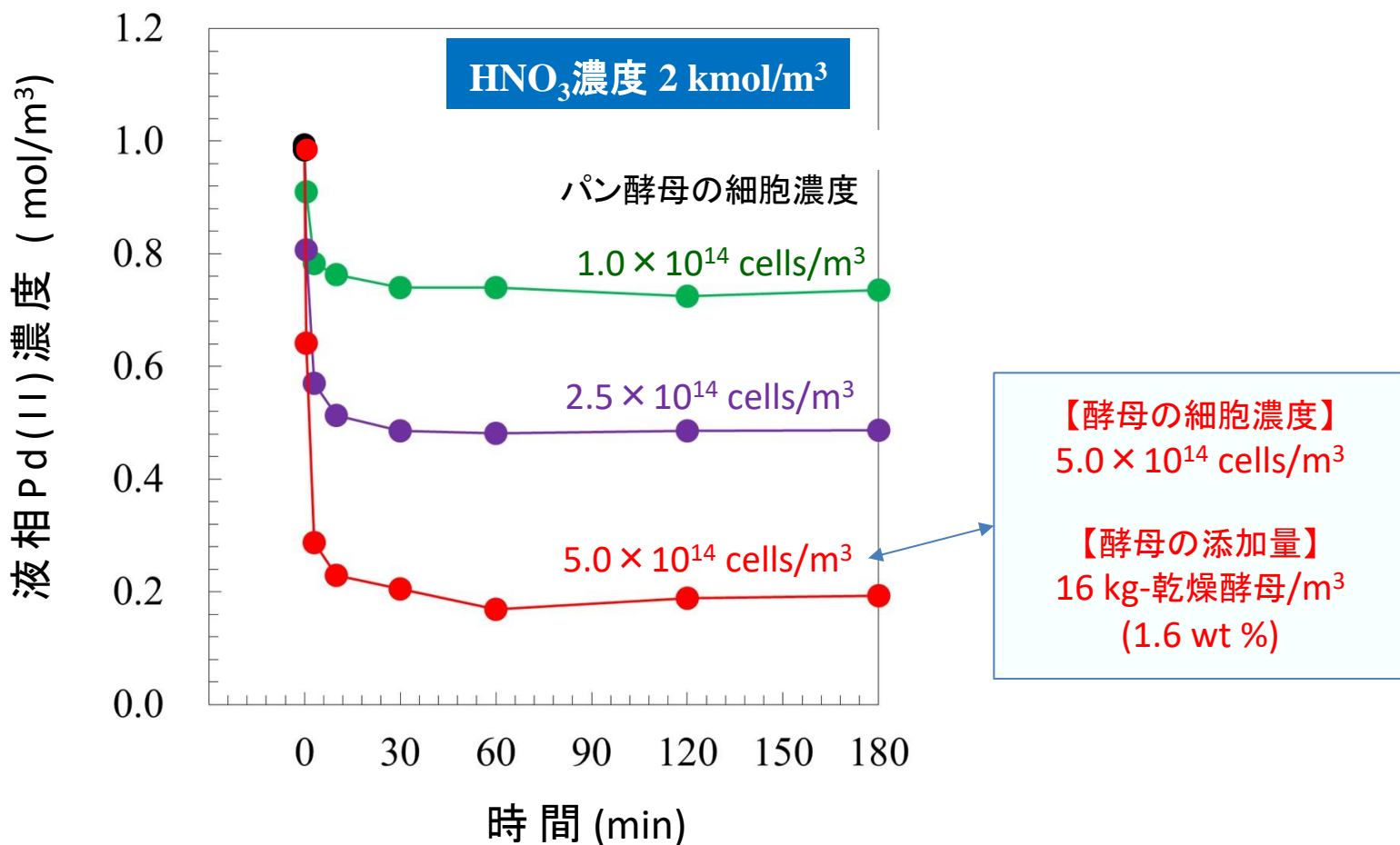


Pdナノ粒子の生成場(酵母の細胞表面)

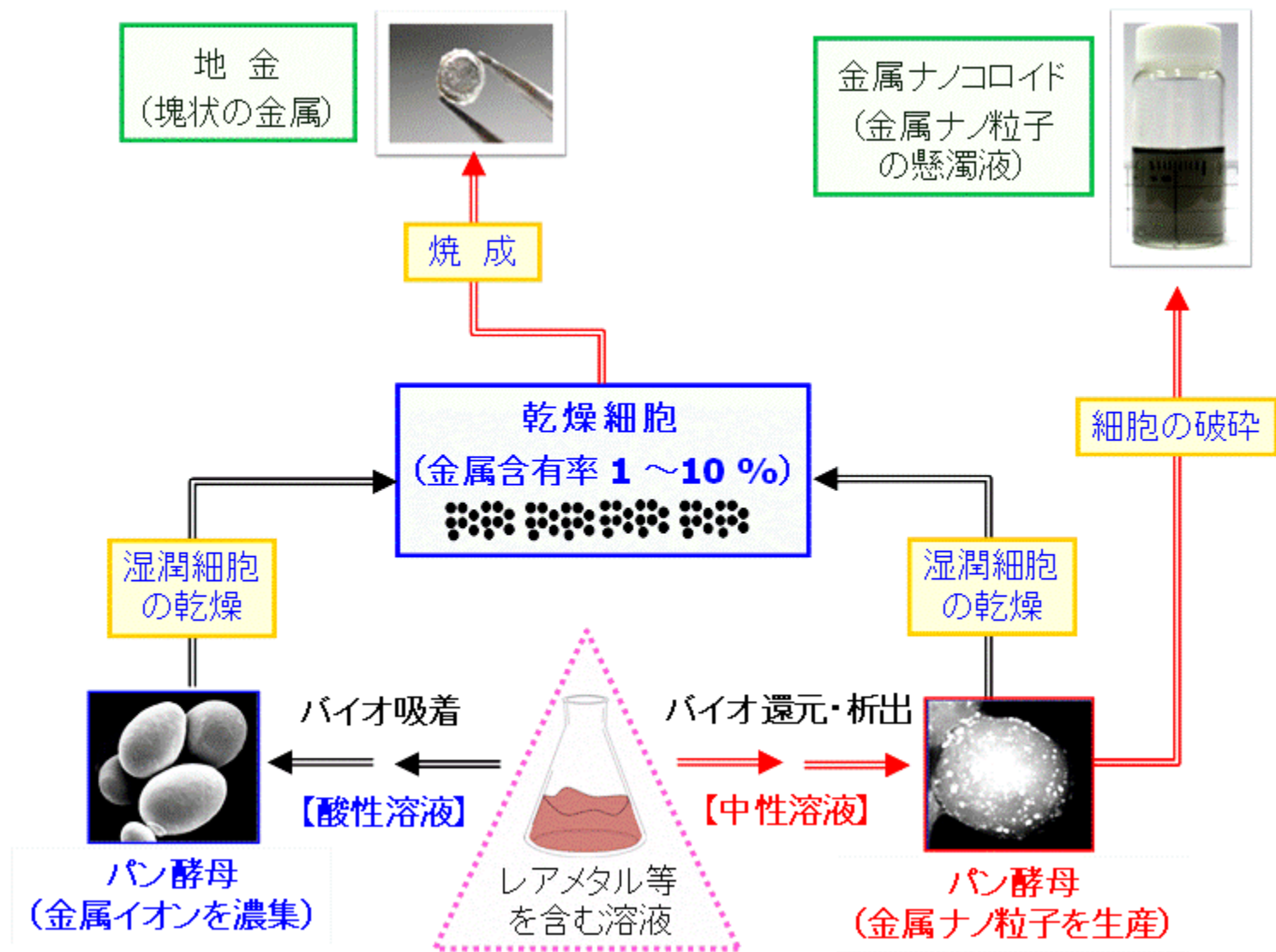


# パン酵母によるパラジウム (Pd(II)) イオンの吸着分離

【強酸性の試薬溶液、室温、空気雰囲気】



# パン酵母からの貴金属・レアメタル(Au, Pd, Pt)回収フロー



# 実液に対するパン酵母（市販の乾燥細胞）の適応性

◎ 実液（Au(III), Pd(II), Pt(IV)を含む強酸性溶液）

【液中の貴金属の濃度範囲：5～20,000 g/m<sup>3</sup> (ppm)】

- 固体廃棄物の処理液：（Au, 5 g/m<sup>3</sup>）（重金属, 20800 g/m<sup>3</sup>）
- めっき廃液：（Pd, 190 g/m<sup>3</sup>）（重金属, 4500 g/m<sup>3</sup>）
- リサイクル工場の処理工程液（貴金属の濃縮液）：  
（Au 5720 g/m<sup>3</sup>; Pd, 749 g/m<sup>3</sup>; Pt, 13300 g/m<sup>3</sup>）
- 使用済み電子部品の王水溶解液：（Au, 197 g/m<sup>3</sup>）（重金属, 1952 g/m<sup>3</sup>）

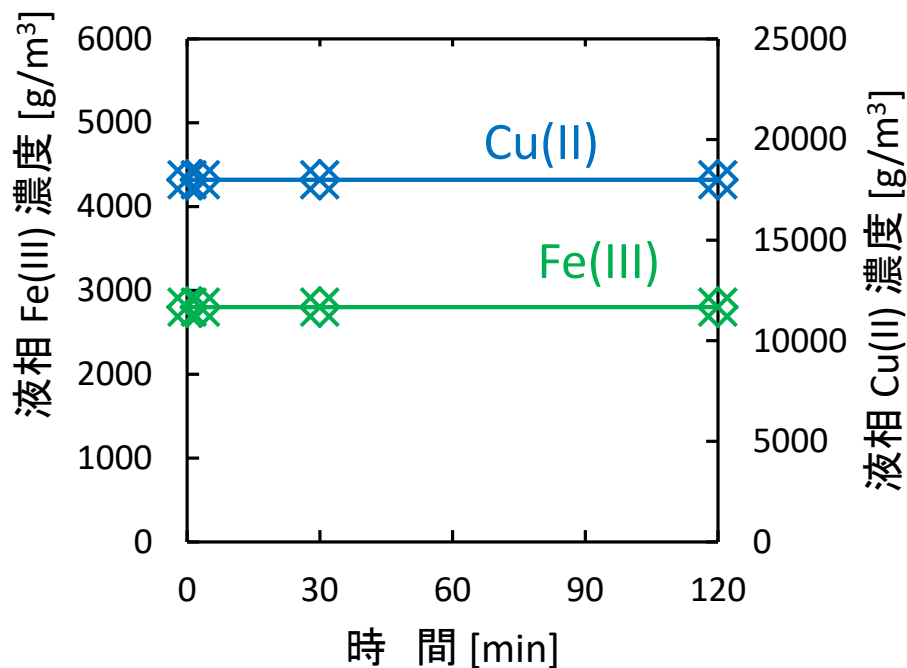
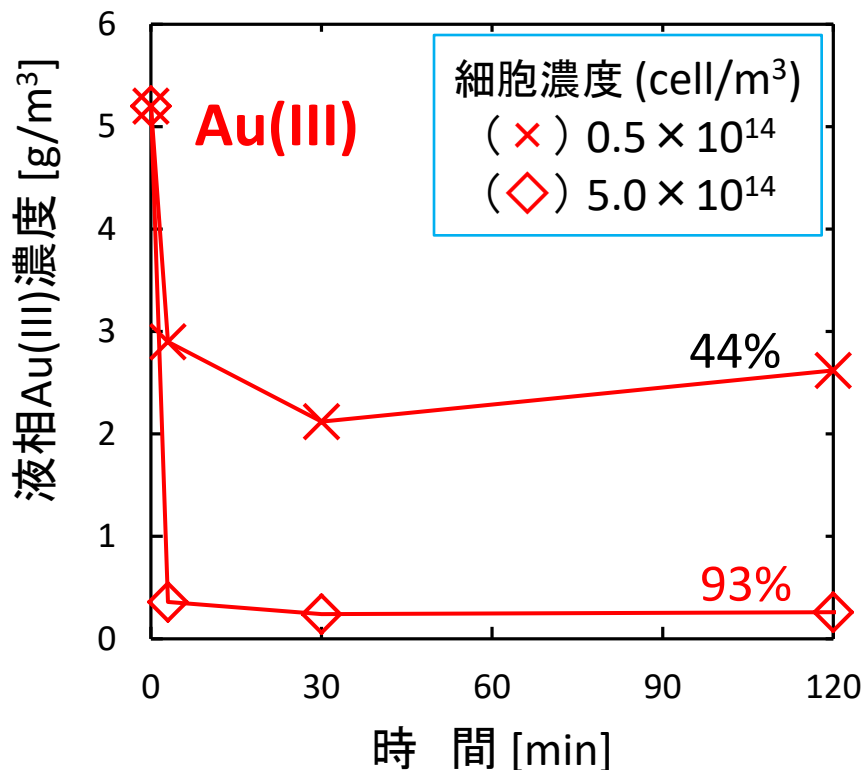
## 貴金属・レアメタル分離剤に求められるポイント

- ◎ 貴金属・レアメタル（ターゲット金属）に対する選択性
- ◎ 高速・高効率のバイオ分離・回収

# パン酵母による金 (Au(III)) イオンの吸着分離

【廃棄物の処理液: pH 1.3; Au 5.0 g/m<sup>3</sup>, Cu 18000 g/m<sup>3</sup>, Fe 2800 g/m<sup>3</sup>】

パン酵母の添加量 :  $5.0 \times 10^{14}$  cells/m<sup>3</sup> = 16 kg-乾燥酵母/m<sup>3</sup> = 1.6 wt%

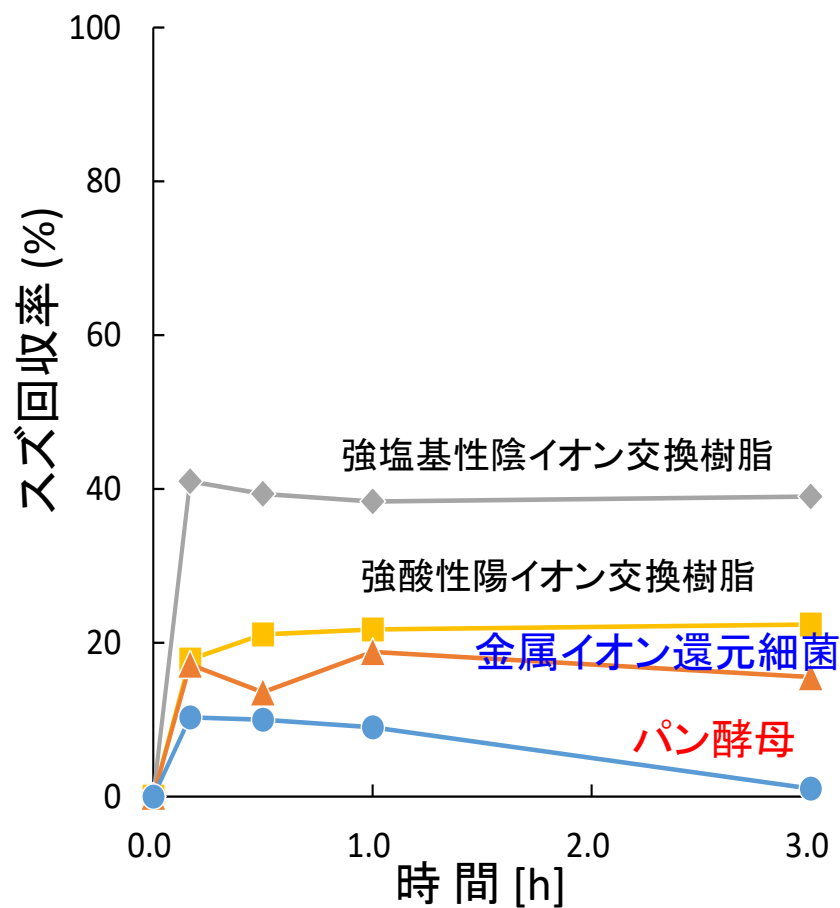
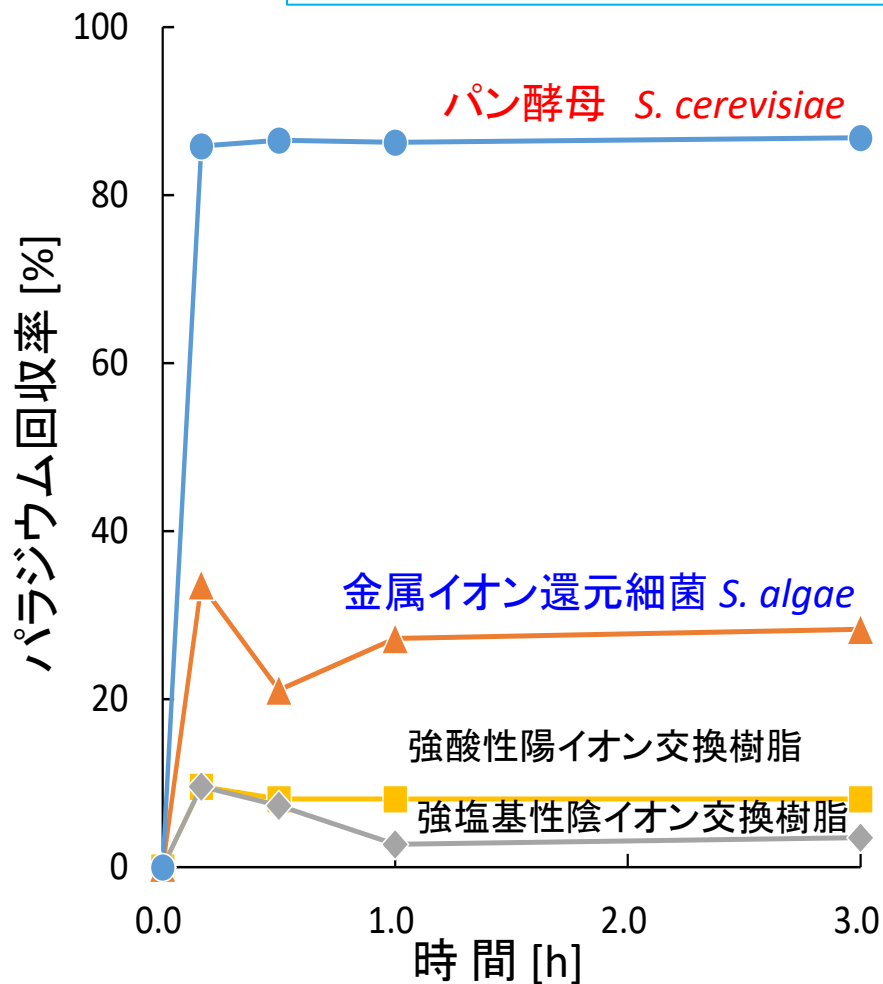


細胞濃度  
( × × )  $0.5 \times 10^{14}$  cell/m<sup>3</sup>  
( ◇ ◇ )  $5.0 \times 10^{14}$  cell/m<sup>3</sup>

# 各種の分離剤によるパラジウム (Pd(II)) イオンの吸着分離

【めっき廃液: pH 0; Pd 190 g/m<sup>3</sup>, Sn 4500 g/m<sup>3</sup>】

パン酵母の添加量 : 32 kg-乾燥酵母/m<sup>3</sup> = 3.2 wt%





# パン酵母による貴金属 (Au(III), Pd(II), Pt(IV)) イオンの吸着分離

【リサイクル工場の濃縮処理溶液: pH < 0;

**Au 5720 g/m<sup>3</sup>, Pd 749 g/m<sup>3</sup>, Pt 13300 g/m<sup>3</sup>】**

- パン酵母の添加量 : 64 kg-乾燥細胞/m<sup>3</sup>
- 1回バッチの吸着時間 : 10 min



## 多回バッチ吸着法による実液からの貴金属のバイオ分離・回収

回数	1回目		3回目		6回目
Au 回収率 [%]	50		90		100
Pd 回収率 [%]	30	→	84	→	100
Pt 回収率 [%]	8.7		20		50
パン酵母中の貴金属量 [mg-貴金属/g-酵母]	66		65		73

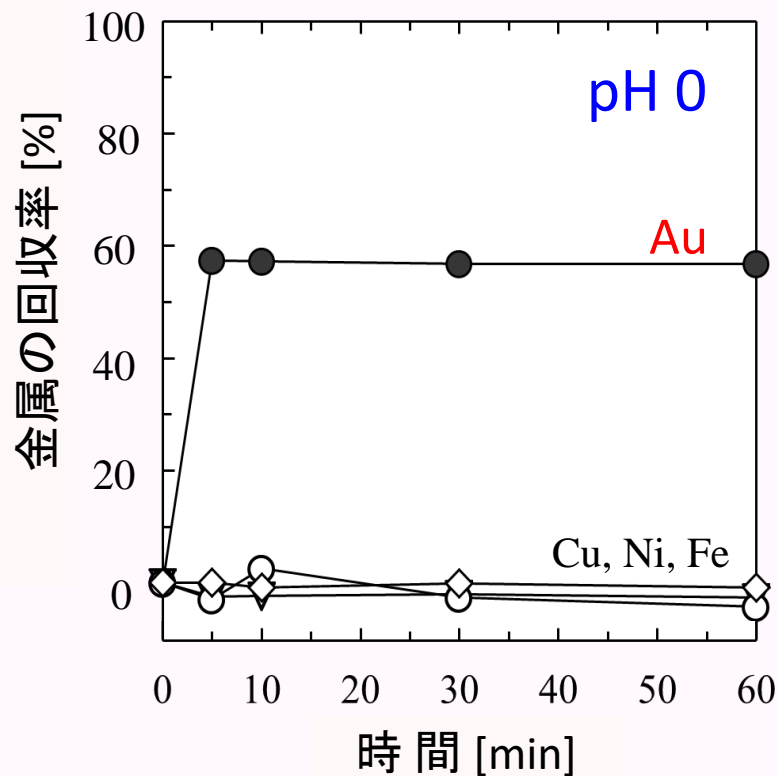
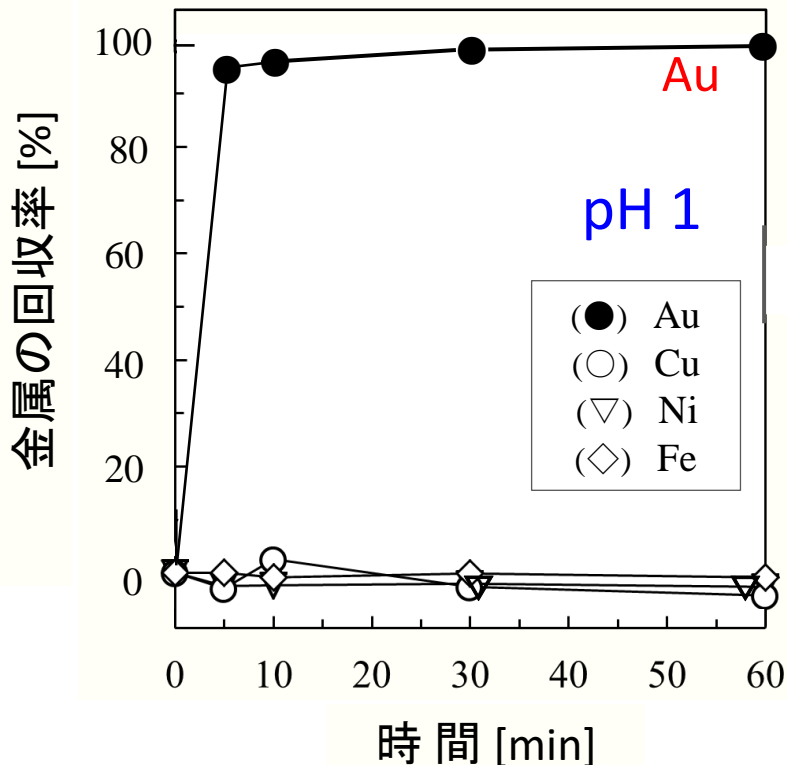
# パン酵母による金 (Au(III)) イオンの選択的分離・回収

【使用済み電子部品 (ICチップ) の50%王水溶解液;

Au 197 g/m<sup>3</sup>, Cu 191 g/m<sup>3</sup>, Ni 704 g/m<sup>3</sup>, Fe 1057 g/m<sup>3</sup>】

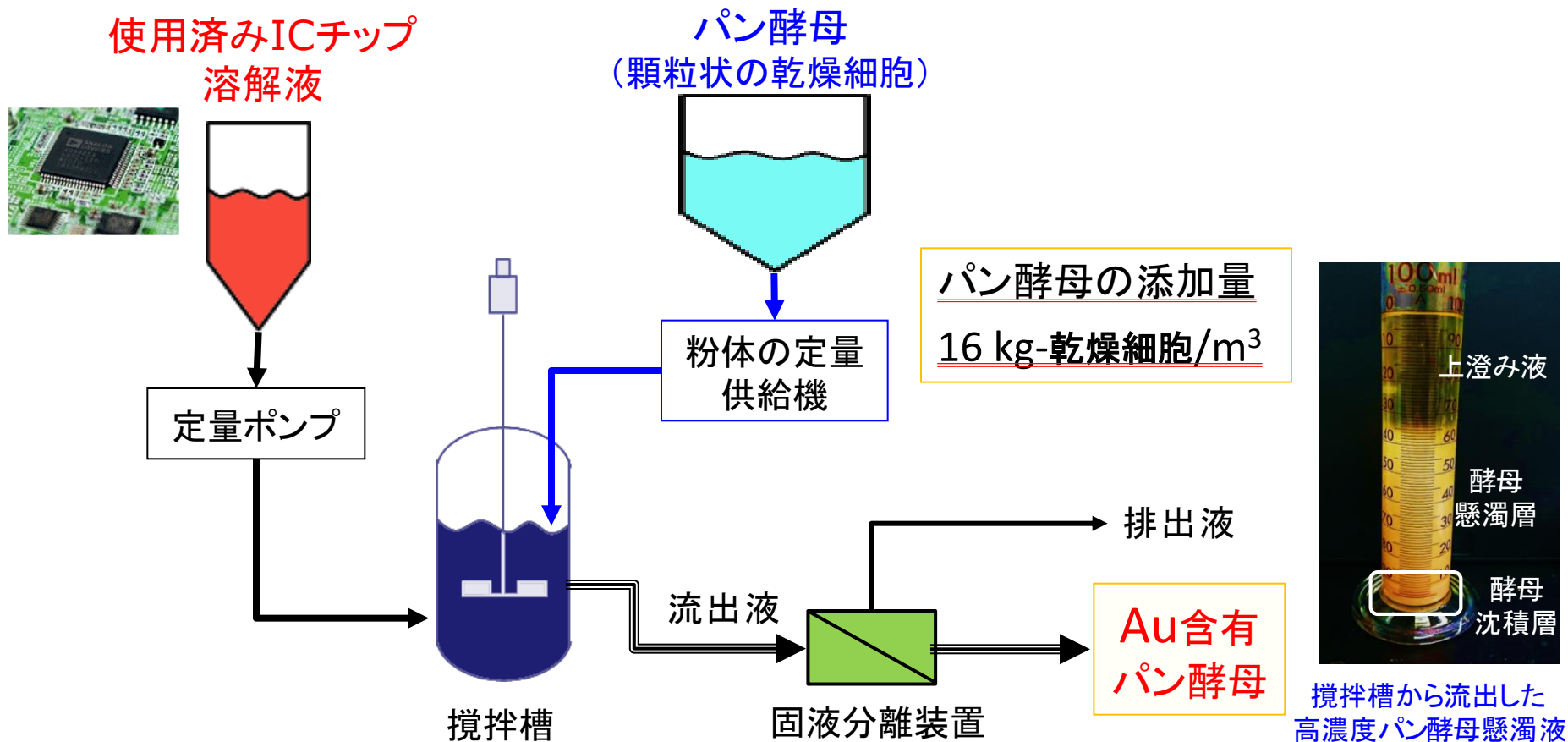


パン酵母の添加量 :  $5.0 \times 10^{14}$  cells/m<sup>3</sup> = 16 kg-乾燥酵母/m<sup>3</sup> = 1.6 wt%



# 大量ICチップ溶解液の連続処理・Auバイオ回収【実用化イメージ】

【使用済み電子部品(ICチップ)の溶解液: pH 1 ; Au 197 g/m<sup>3</sup>】

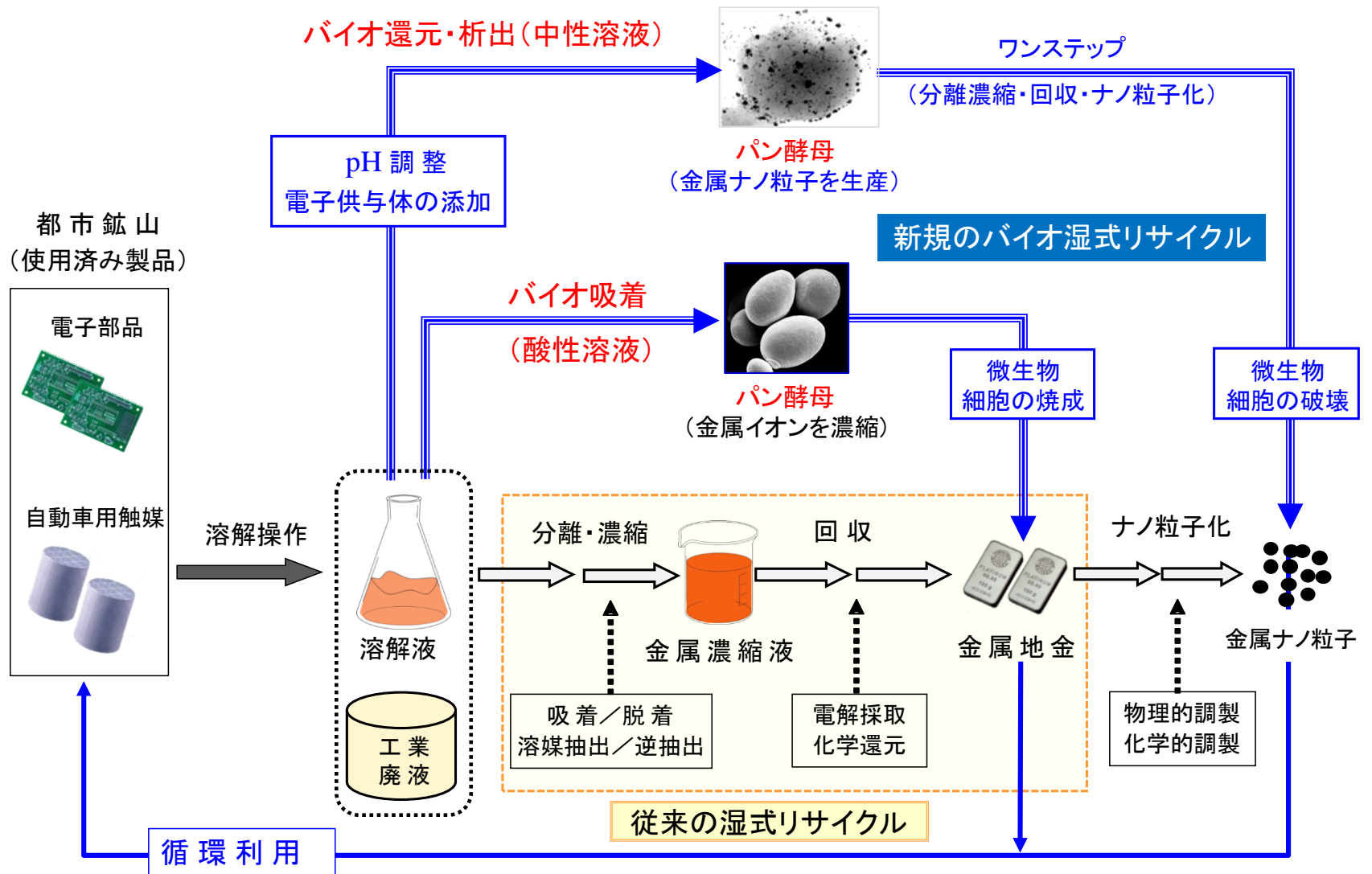


バイオ回収装置(1 m<sup>3</sup>)によるAu回収速度【平均滞留時間 0.5 h】

0.394 kg-Au/h/m<sup>3</sup>-装置 × 24 h × 300 day/年 = **2840 kg/年**

国内Au需要量  
61トン/年

# レアメタル・貴金属リサイクルの工程フローの比較



バイオ利用リサイクルは、低エネルギー型でプロセスが簡単で、導入コストも低いため、異業種からの新規参入も期にも期待！

# 従来の分離方法と新規バイオ分離方法の関係

## 貴金属の分離方法

## 適応濃度

イオン交換樹脂による吸着

< 数 g/L

活性炭による吸着

< 数 g/L

電解採取

数 100 mg/L ~ 数10 g/L

セメンテーション

数 100 mg/L ~ 数10 g/L

沈殿晶析

数 g/L >

溶媒抽出

数 g/L >

低濃度  
(希薄溶液からの  
分離・回収)

高濃度  
(精製)

ターゲット金属濃度レベル【数 mg/L ~ 数 10 g/L】を対象に、  
低コスト・高効率な“バイオ分離技術の研究開発！”

## おわりに

### パン酵母を分離剤として活用する貴金属・レアメタル (金、パラジウム、白金)のバイオ回収

- 食品分野の市場流通品で、低コストで大量に入手が容易な パン酵母(乾燥細胞)を バイオ分離剤として活用した。
- パン酵母を用いて、都市鉱山(使用済みICチップ、工業廃液・排水)を対象に、貴金属・レアメタル(Au, Pd, Pt)を 選択的に分離・回収できることを見出した。
- 本研究成果は、パン酵母を利用する貴金属・レアメタル (Au, Pd, Pt)リサイクル技術の実用化・普及に一層の弾みをつける。

