



難分析核種分析及び材木の除染技術について

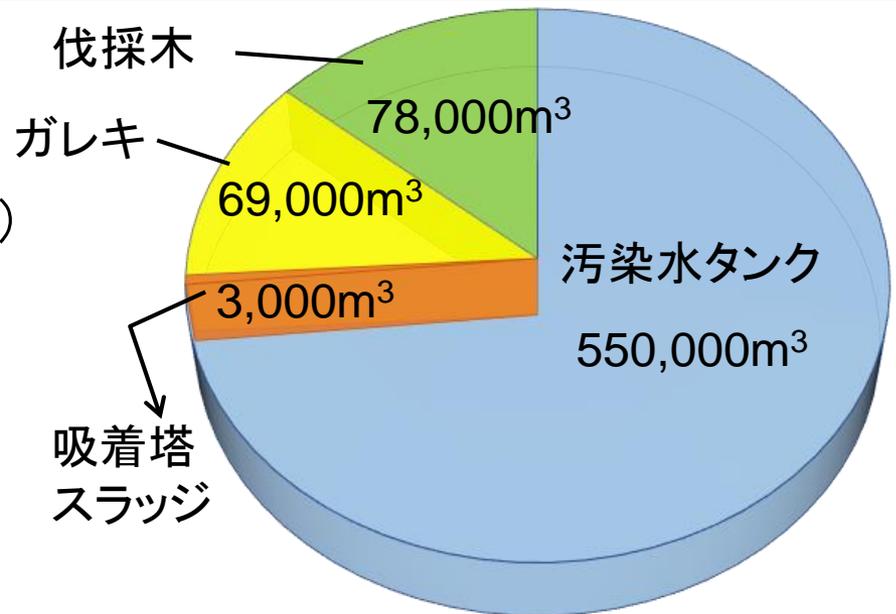
難分析核種用
マイクロ分析システムの構築

塚原剛彦(東工大・原子炉研)

【放射性廃棄物分析の現状と課題】

廃棄物(サイト内)について

- ▶ 多種多様・大量の廃棄物
 - ⇒性状把握(核種の種類、濃度、組成)
 - ⇒保管・廃棄体化に向けた分類分け(除染の有無、汚染レベル等)
 - ⇒処分法の検討と安全評価

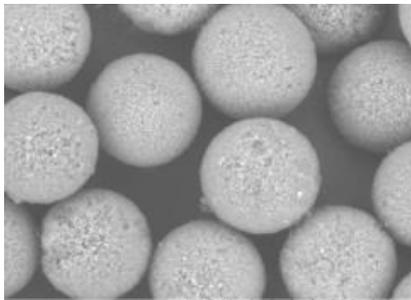


[参考; H26第6回原子力委員会資料等]

核種分析について



溶媒抽出



- ・イオン交換
- ・固相抽出

- 分析対象: 38核種、**分析の難しいβ核種 (^{90}Sr , ^{79}Se 等) が有る**
- 試薬量: mL ~ L / 1試料
- 分析廃液: 数L ~ / 1試料
(件数 数万件/年 ⇒ 数100m³/年)
- 分析時間: 数時間 / 1試料

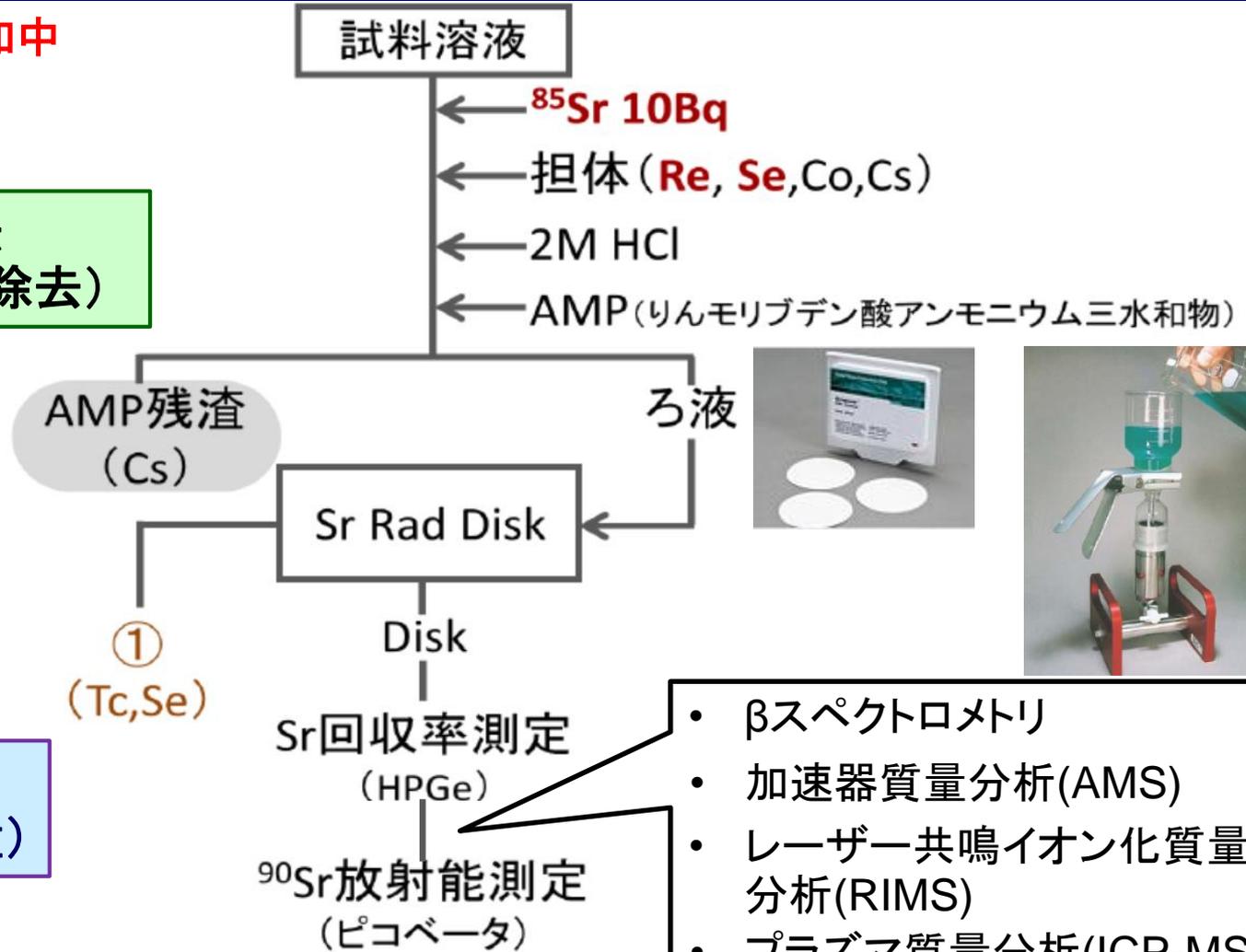
二次廃棄物増加、長時間作業による被ばく量増加(娘核・長寿命核による)

【難分析核種の分析フローの一例 (^{90}Sr)】

➤ 80試料/月で増加中

複雑な化学操作法
(妨害核種の干渉除去)

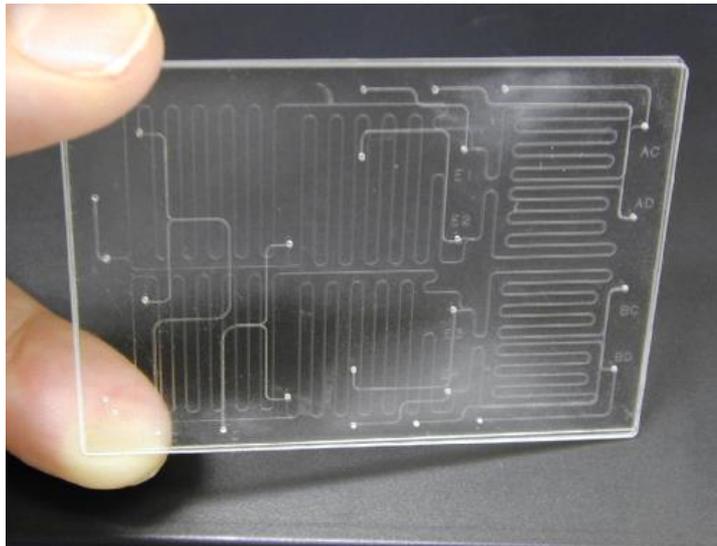
分析法
(大型・高度な装置)



[JAEA-Technology 2009-051等]

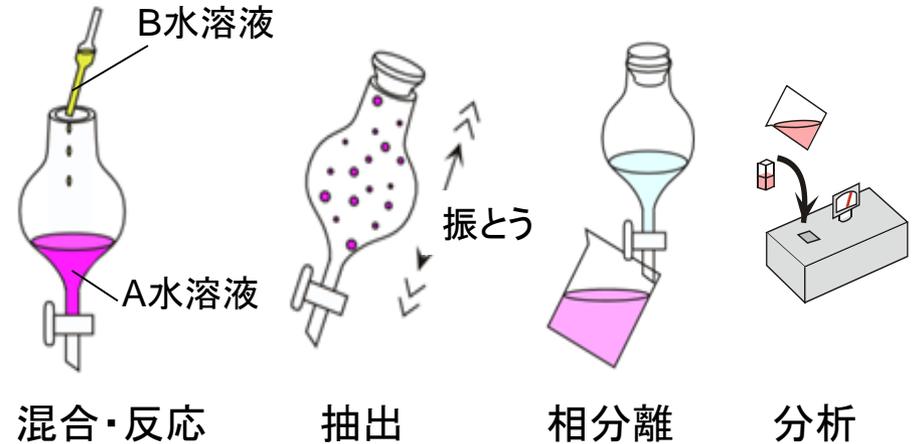
迅速, 簡易, 極微量, 高感度な分離分析ツールが必須

【マイクロ化学チップの特徴】

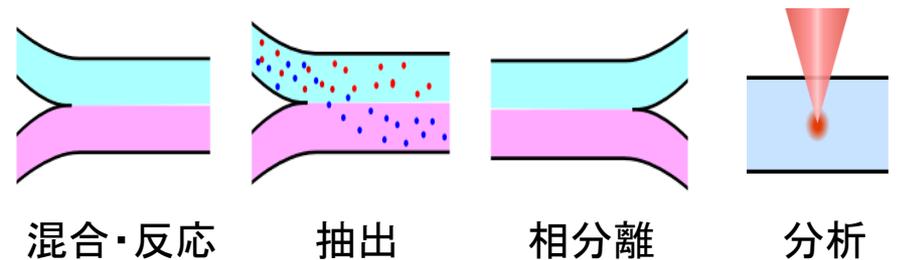


- ▶ 短い分子拡散距離
- ▶ 大きな比界面積
(単位体積あたりの表面積)
- ▶ 重力よりも界面張力支配
- ▶ 流れが層流
- ▶ 極微量 ($pL = 10^{-12}L$) 分析可能*

マクロ単位操作



マイクロ単位操作



*[10 μ m立方空間の容積]

【環境水中の重金属汚染分析: コバルト(Co)湿式分析】

1. 反応・抽出

- ① 混合・反応
- ② 相合流
- ③ 溶媒抽出
- ④ 相分離

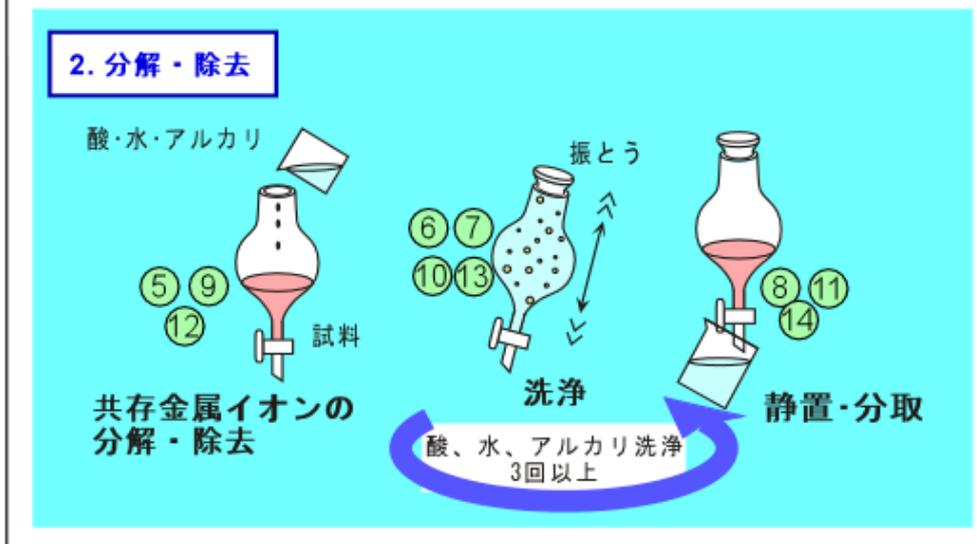


3. 測定(定量)

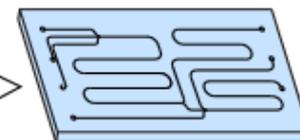
- ⑮ 定量

2. 分解・除去

- ⑤ 相合流(HCl)
- ⑥ 分解(共存金属錯体)
- ⑦ 抽出
- ⑧ 相分離
- ⑨ 相合流(Water)
- ⑩ 除去(HCl)
- ⑪ 相分離
- ⑫ 相合流(NaOH)
- ⑬ 除去(キレート試薬)
- ⑭ 相分離

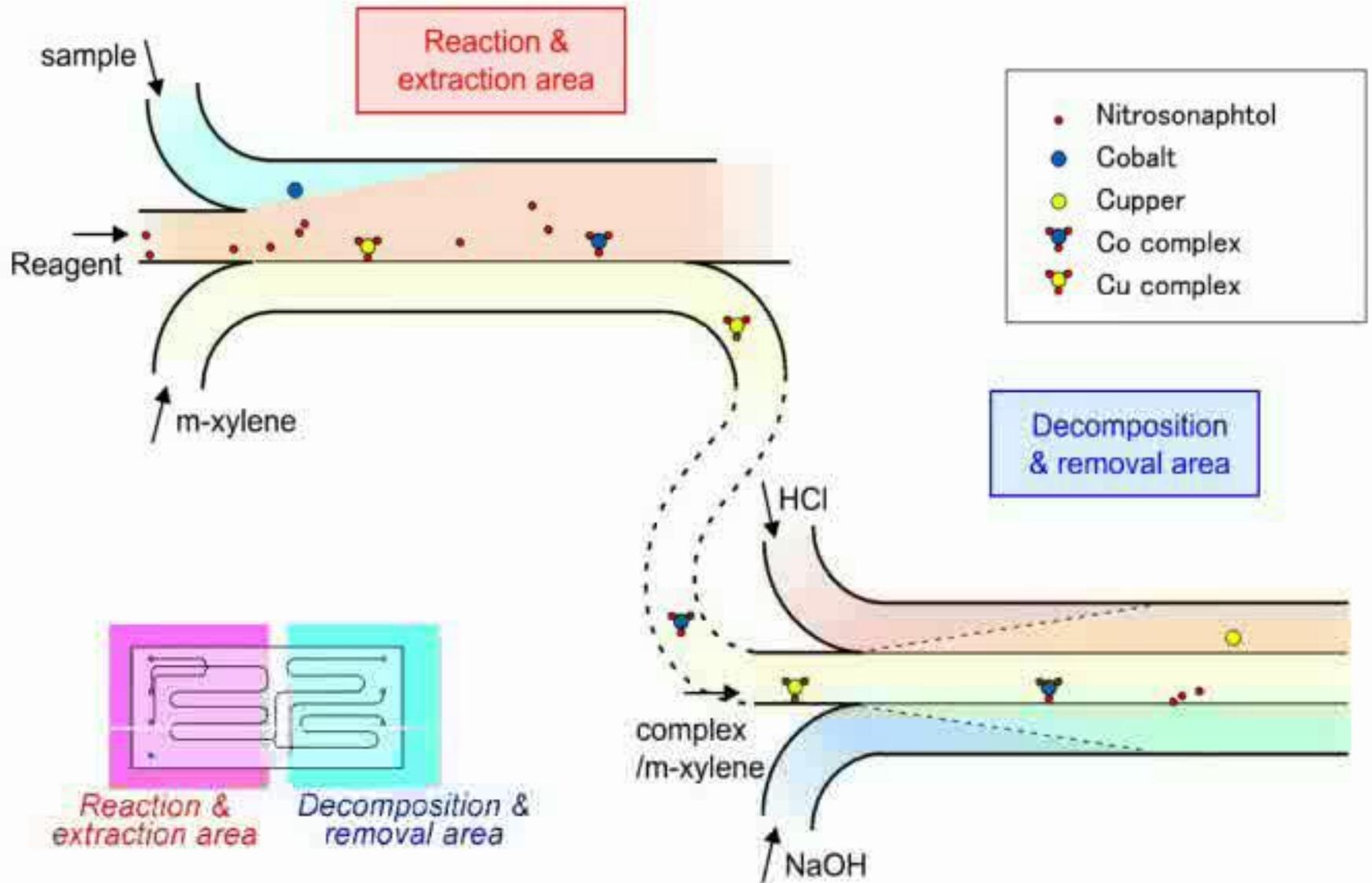


同一機能



集積化

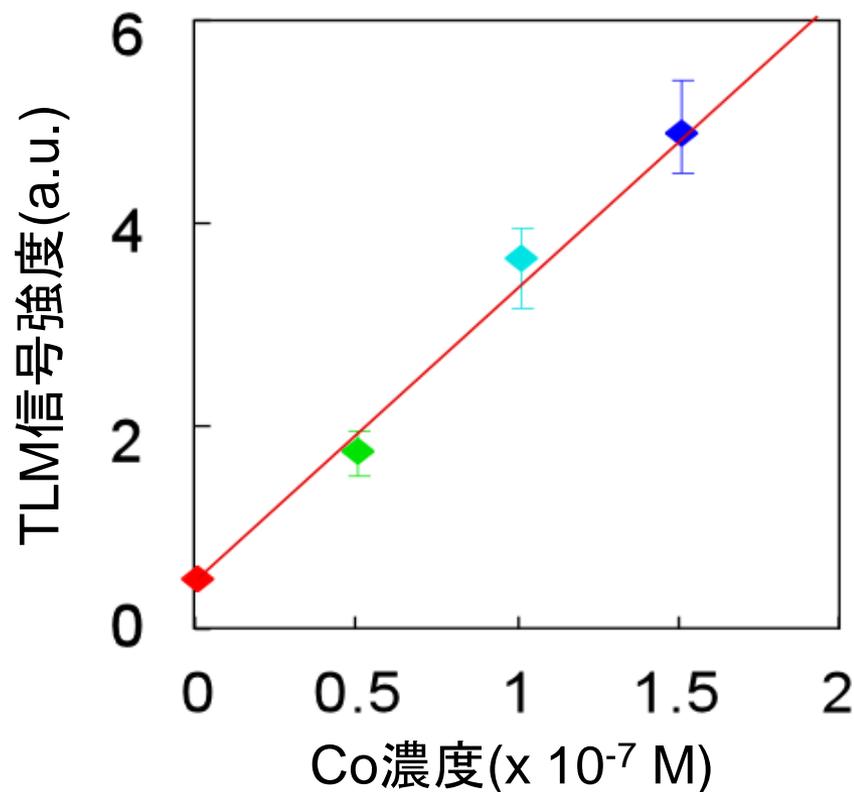
【連続流化学プロセス】



【銅(Cu)混在試料中のCo濃度の分析結果】

検量線

Co \diamond 1.5
 \diamond 1.0 $\times 10^{-7}$ M



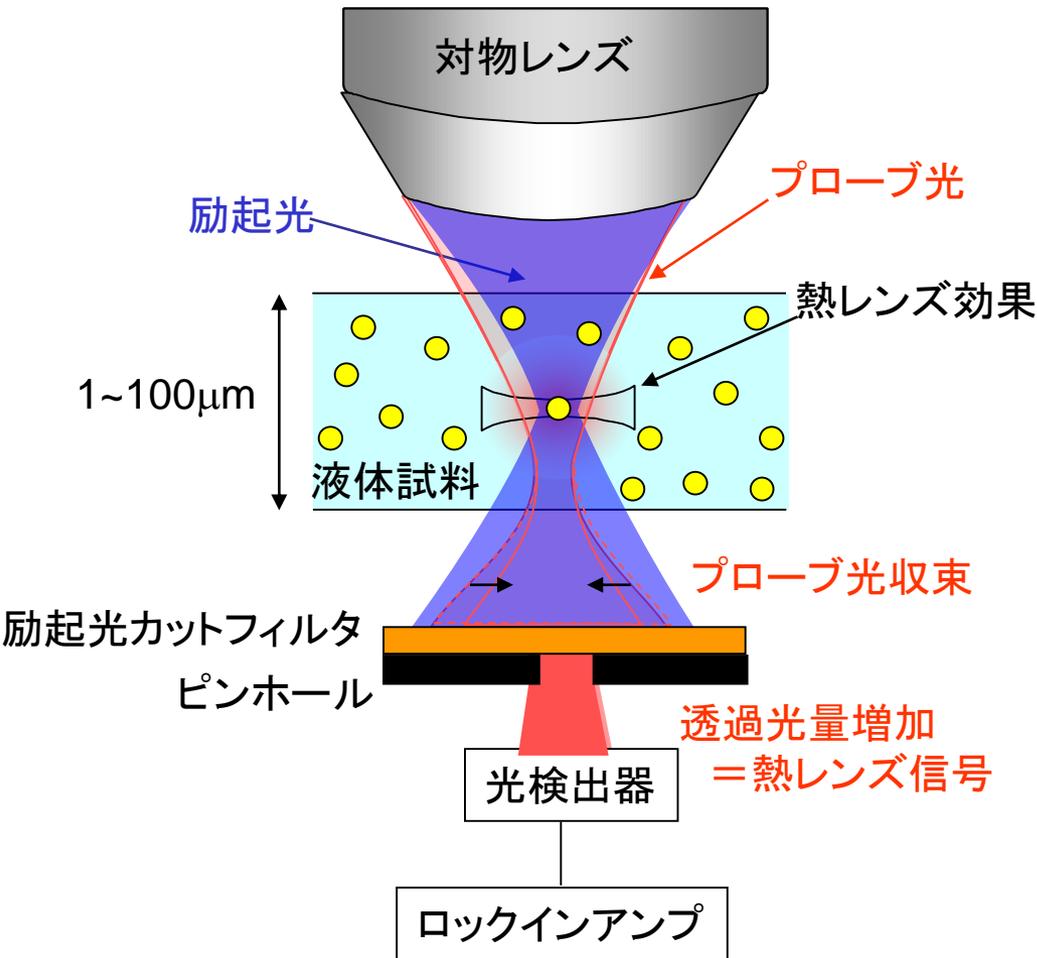
反応・抽出

分解・除去

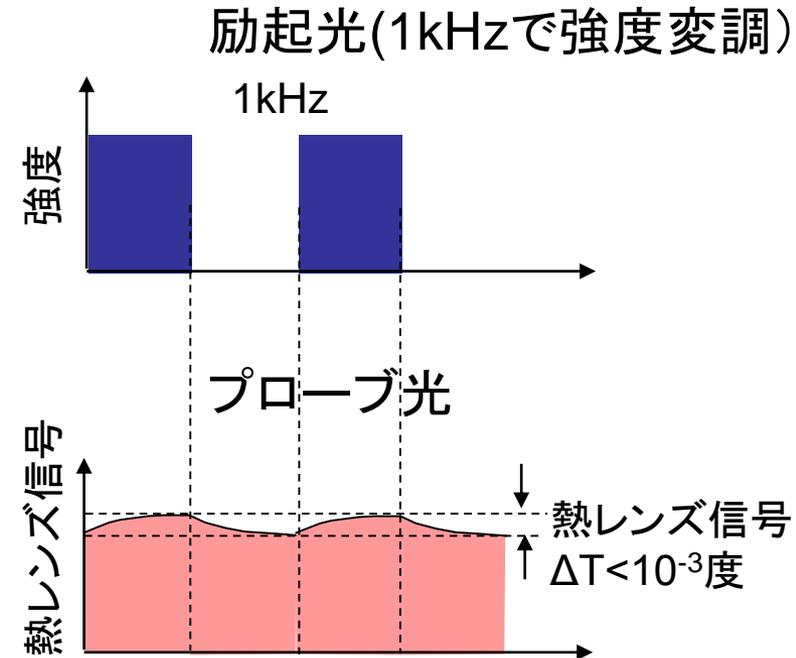
分析時間: 50 sec (バルク法 2時間)
試薬量: 200 nL (バルク法 100 mL)
10万分の1に

【熱レンズ顕微鏡(TLM; Thermal Lens Microscope)とは】

原理



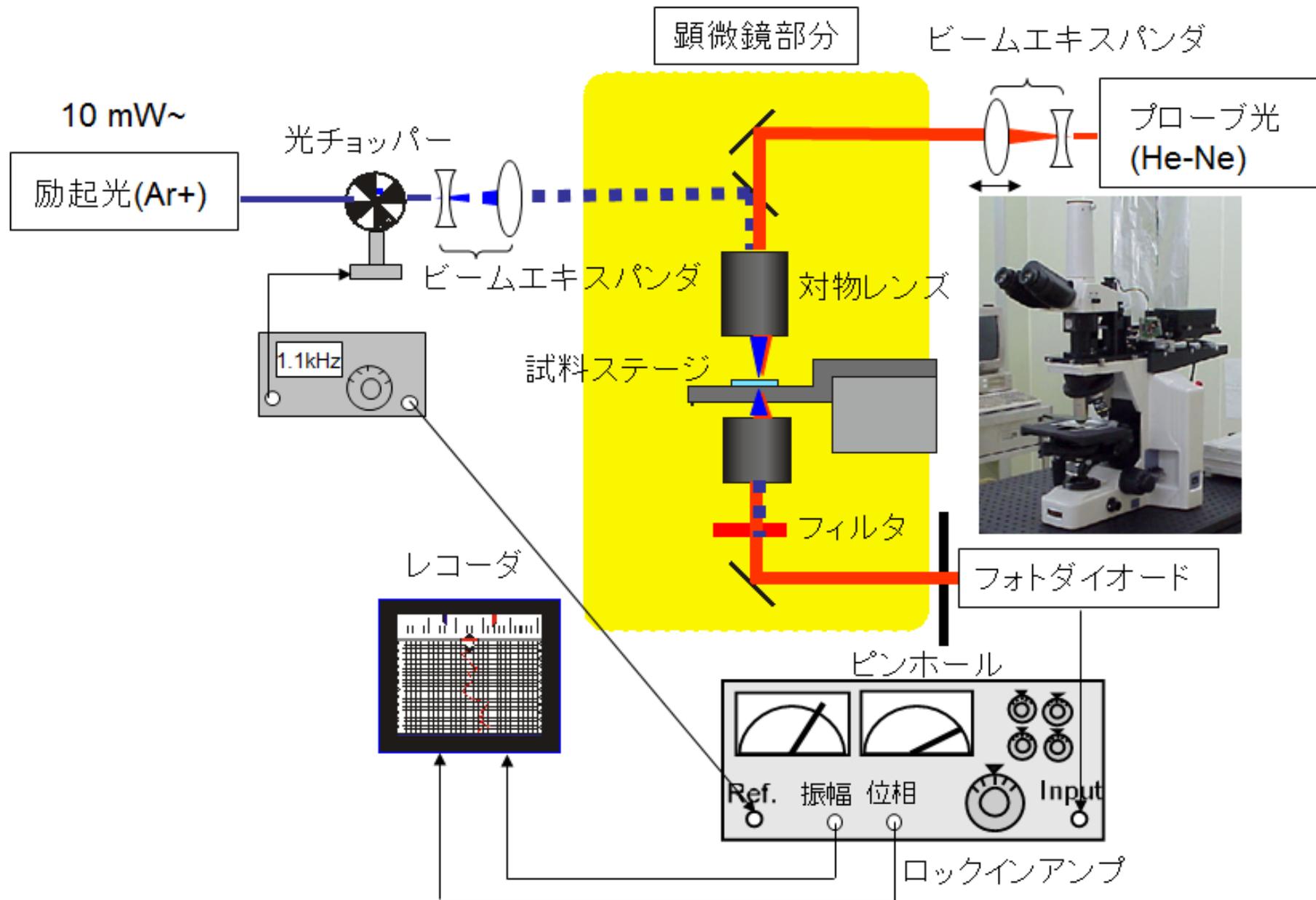
信号波形



ロックインアンプによる同期検出
⇒信号の平均値 = 濃度定量

- ・原理的には非蛍光性分子を単一分子レベルで定量可能
- ・蛍光法の感度と吸光法の汎用性を併せ持つ

【TLMの光学配置】



【平行二相流によるU(VI)抽出】

実験システム

Aqueous phase

▪ 0.11M U(VI) in 3M-HNO₃

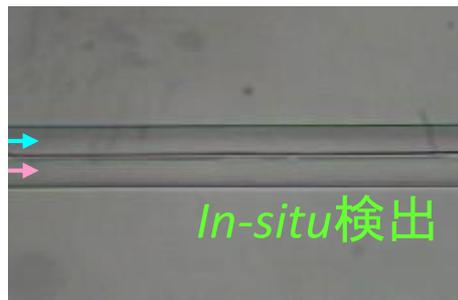
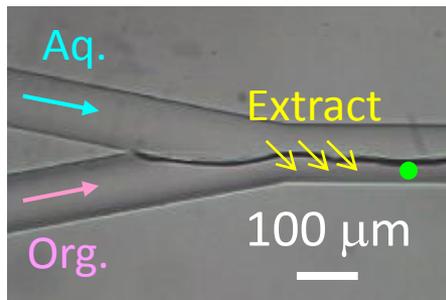
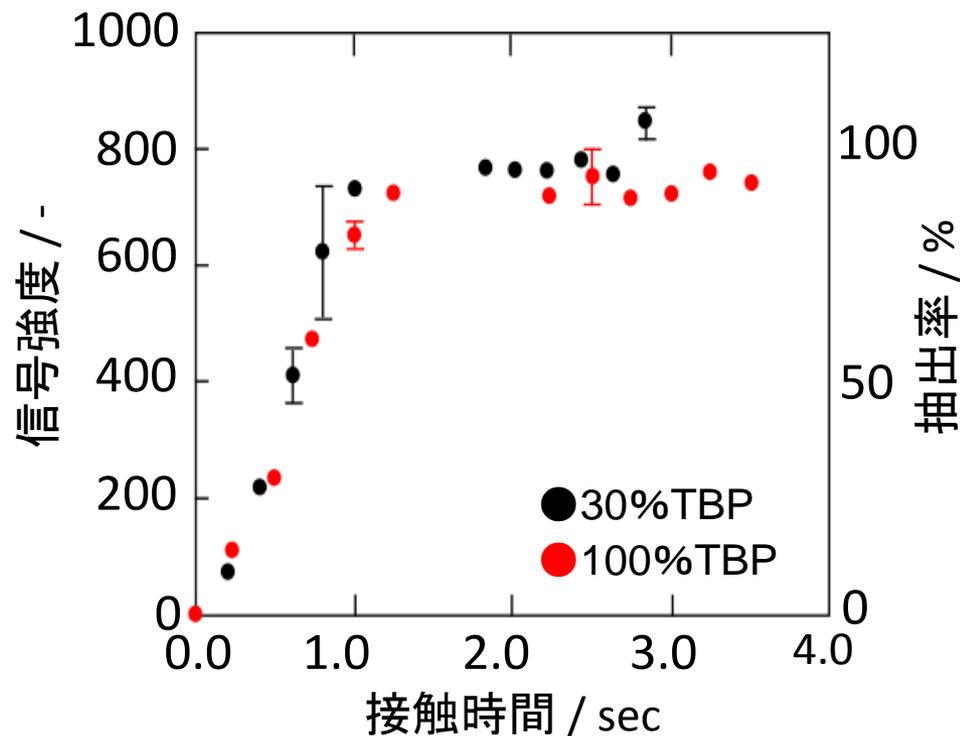
3 ml/min

2.2 ml/min

Organic phase

▪ 30%TBP (in dodecane) or 100%TBP

TLM検出結果

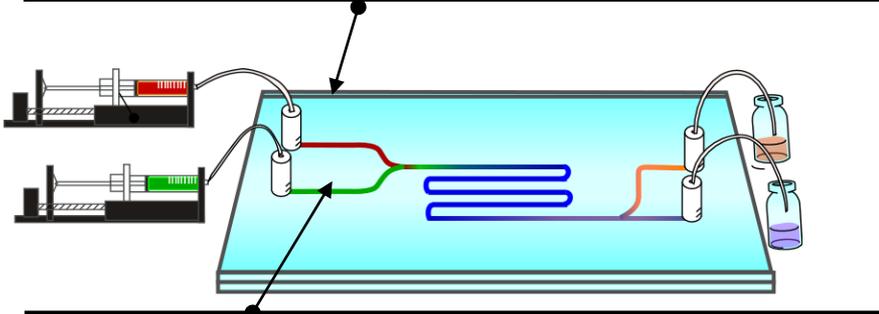


- 分析時間: 50 sec (bulk 2hour)
- 試薬量: 1 uL (bulk 100 mL)
- 10万分の1に**

【U(VI)のin-situ分析】

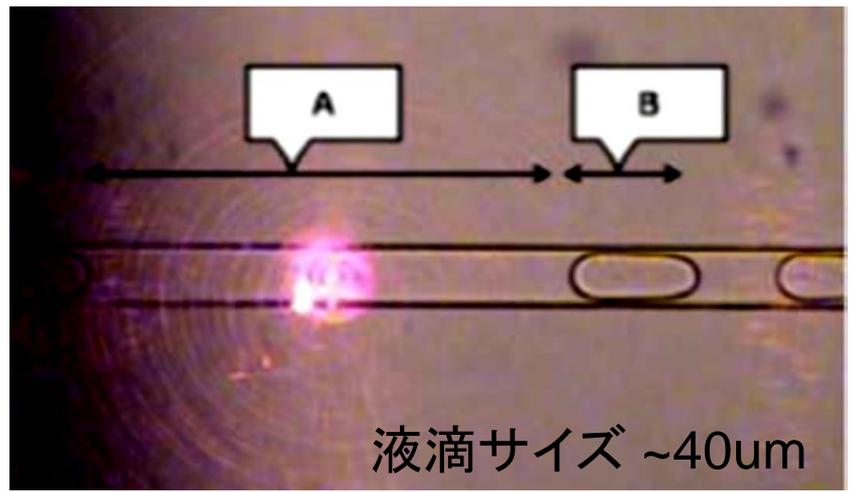
水相

・0.01M $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ in 0.1 M- HNO_3



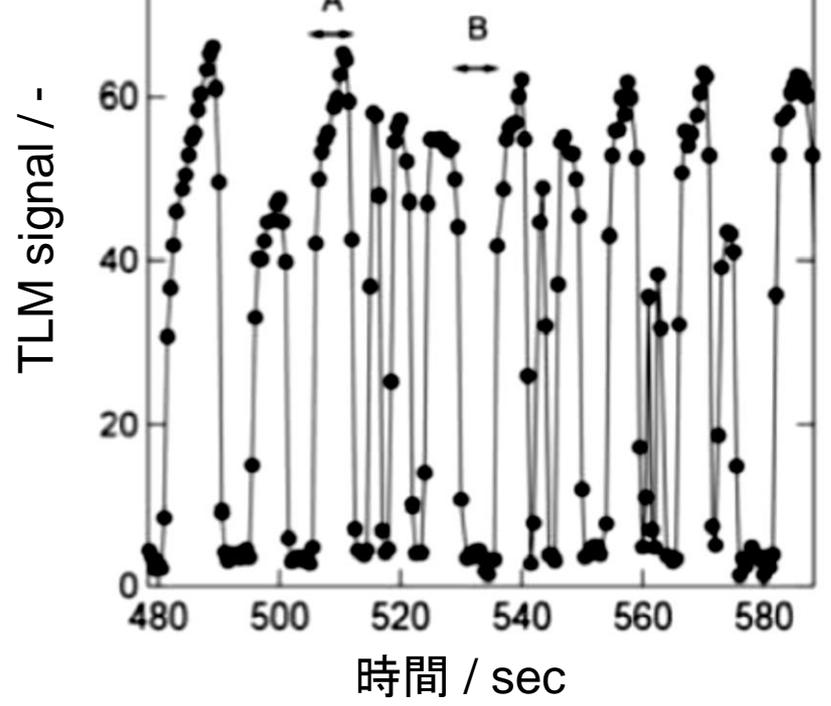
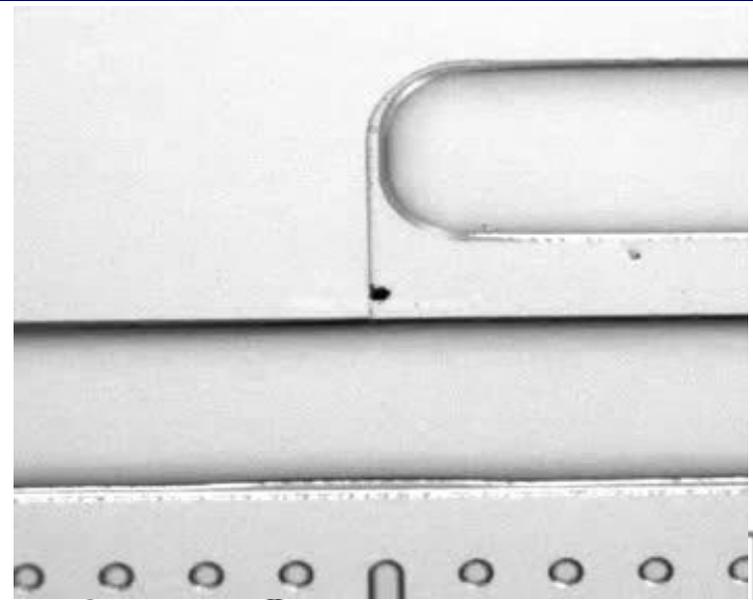
油相

・30 % TBP (in Hexane) + Span80



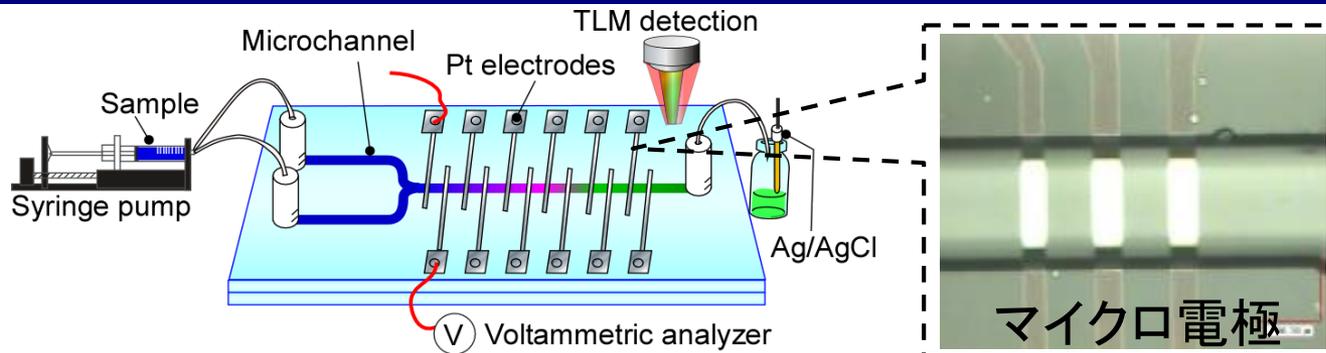
液滴サイズ ~40um

接触時間5秒以下で完全抽出

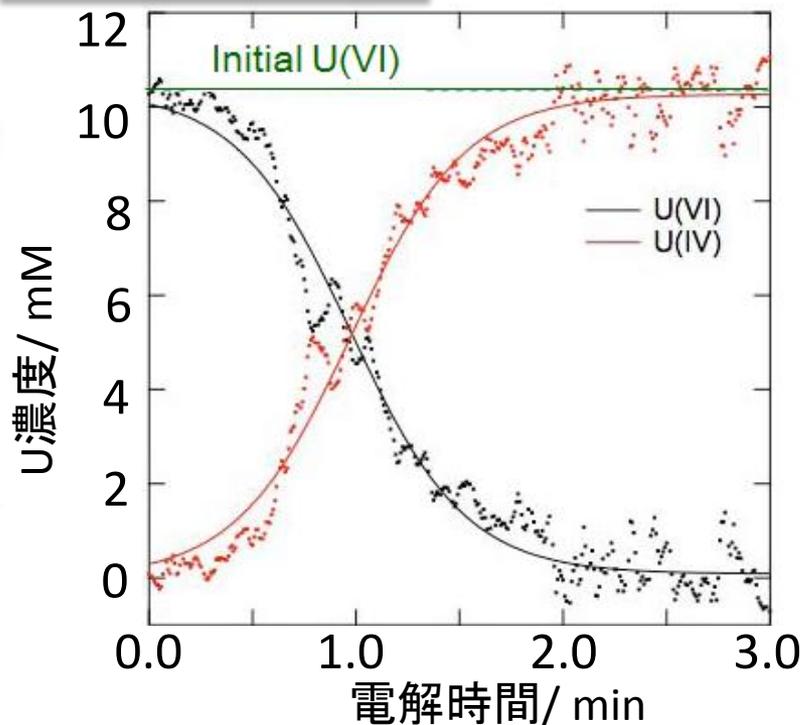


【集積化マイクロ電極による電解還元・酸化】

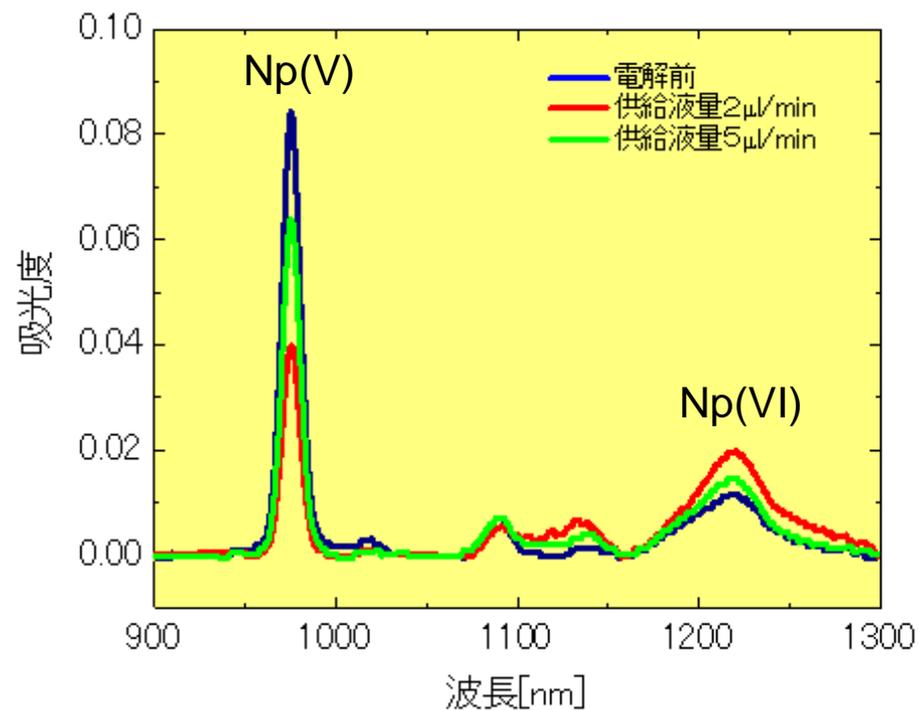
実験



U(IV-VI)電解還元



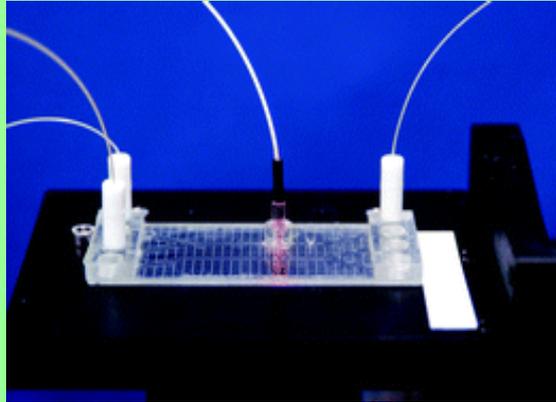
1.1mM Np(V)の電解酸化



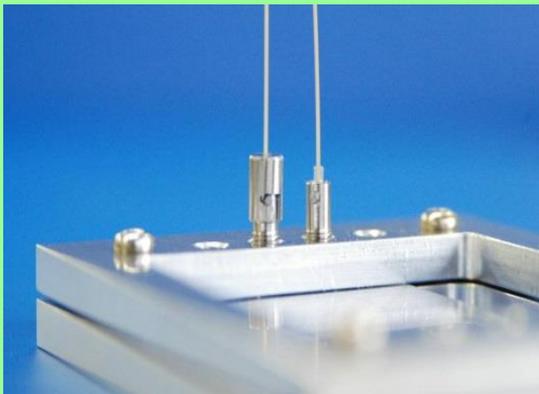
高効率な電解価数調整(マイクロ2min vs. バルク8h)を実証

【次年度以降：システム化へ向けて】

ファイバー型TLM



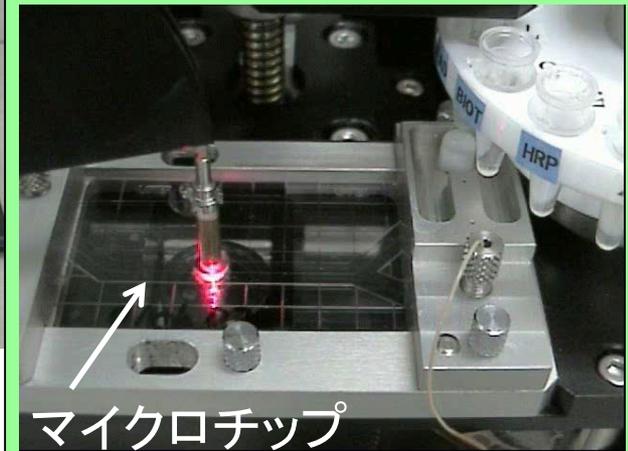
ワンタッチ脱着コネクタ



制御部



オートサンプラー



現場への適用を志向した
要素技術開発・最適条件検討

核種センシングを志向した オンチップ型高分子フォトニック結晶の創製

【原理と構想】

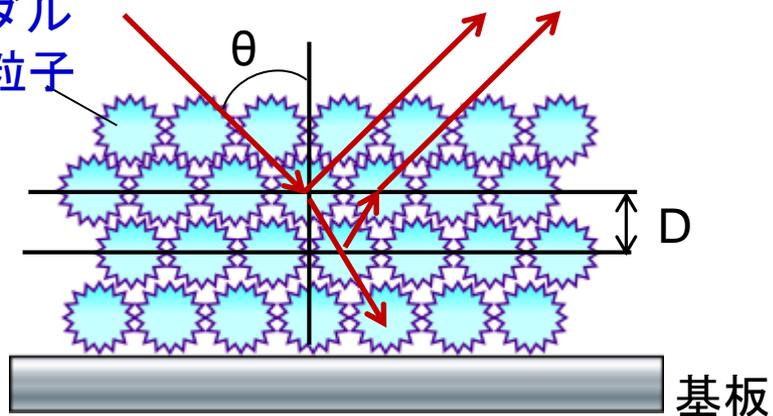
原理

- 100nmサイズのシリカ粒子が静電相互作用により自己組織化
- Bragg-Snell則に基づき光を回折

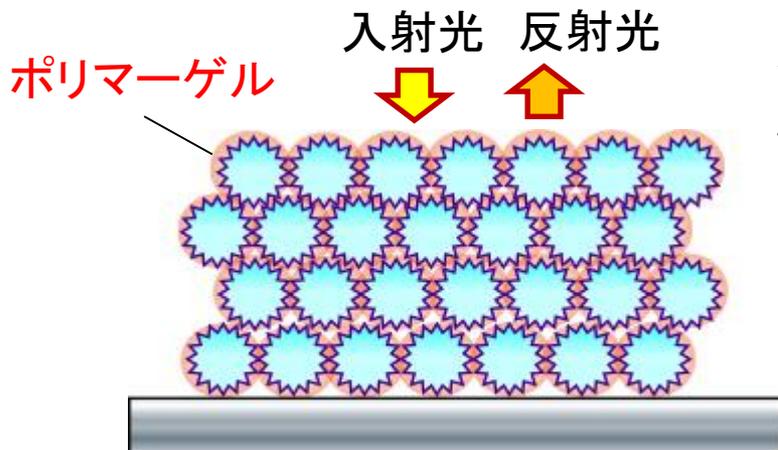
$$\lambda = 2D(n^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}$$

〔 λ ; 反射光の波長、 D ; 結晶格子間隔
 n ; 結晶の屈折率、 θ ; 光の入射角〕

コロイダル
シリカ粒子

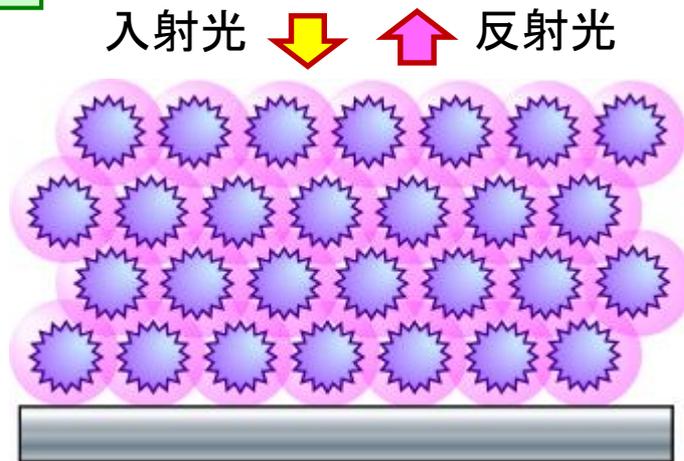


イオンセンシングへの利用(ポリマーゲル固定化)



イオン含有
水溶液導入

浸透圧
変化



- 機械的強度増加
- イオン選択性付与

- イオン吸着⇒膨潤
- 粒子間距離が変わり、反射光の波長変化

【まとめ】

- マイクロ流体制御の基盤技術を構築した。
- マイクロ化学チップと熱レンズ分光計測を組み合わせた核種分離分析試験を実施し、本法が放射性核種へ適用できる可能性を見出した。
- 高分子フォトニック結晶を用い、金属イオンの有無を色変化で確認することに成功した。

【謝辞】

本研究は「廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」及び「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」の助成を受けたものです。