

拡散接合による金属マイクロリアクタの多層化に関する研究

東京大学 生産技術研究所 機械・生体系部門 土屋研究室

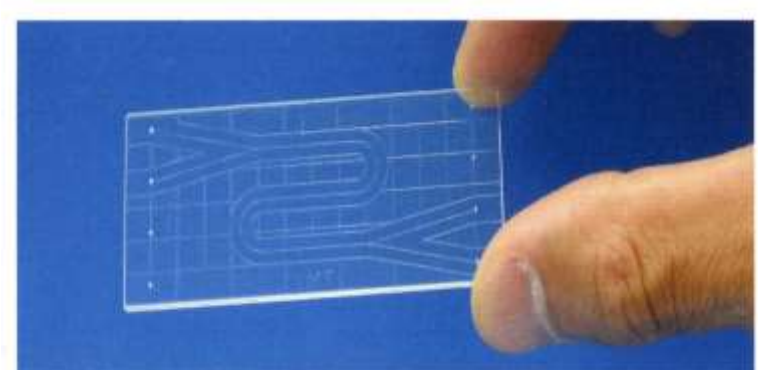
研究背景 マイクロリアクタ (microreactor: MR)

用途 マイクロ流路空間内で化学反応させる装置

現状 ・実験室レベルでの使用
・材料は目的により様々 (ガラス, PMMA, シリコン, 金属 等)

課題 工業生産に利用=収量増加

➡ 流路本数を増加し, 多層化する



* マイクロ化学技術株式会社 「マイクロチップ」

多層化マイクロリアクタにおける要求機能と設計解

要求機能

- 接合強度を向上させること
- 流路空間を維持すること
- 冷却性を向上させること

設計解

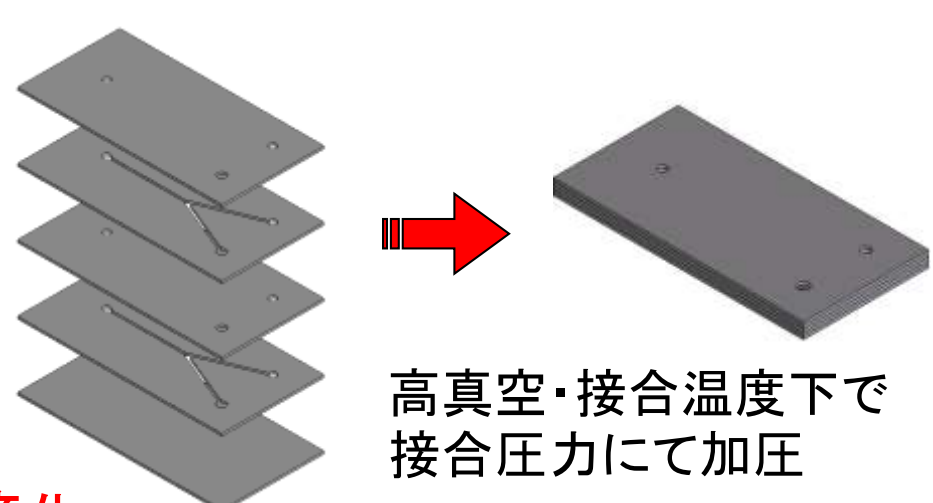
- 金属の拡散接合
- 冷却流路

拡散接合マイクロリアクタ

特徴 ・多層の中空品を一括接合可能
・接合強度を接合条件(接合温度・接合圧力)で制御可能

問題点 接合圧力・接合温度が, 接合材の変形へ影響

➡ 接合条件の最適化



高真空・接合温度下で接合圧力にて加圧

研究目的

- ・マイクロリアクタを高強度かつ流路形状を維持した状態で作製するための最適な接合条件を導出する。
- ・金属と熱伝導率の異なる材質の冷却性を比較し, 金属での優位性を評価する。
- ・10層以上の多層化マイクロリアクタを作製し, 合成反応により冷却性能を評価する。

実験1 接合条件最適化実験

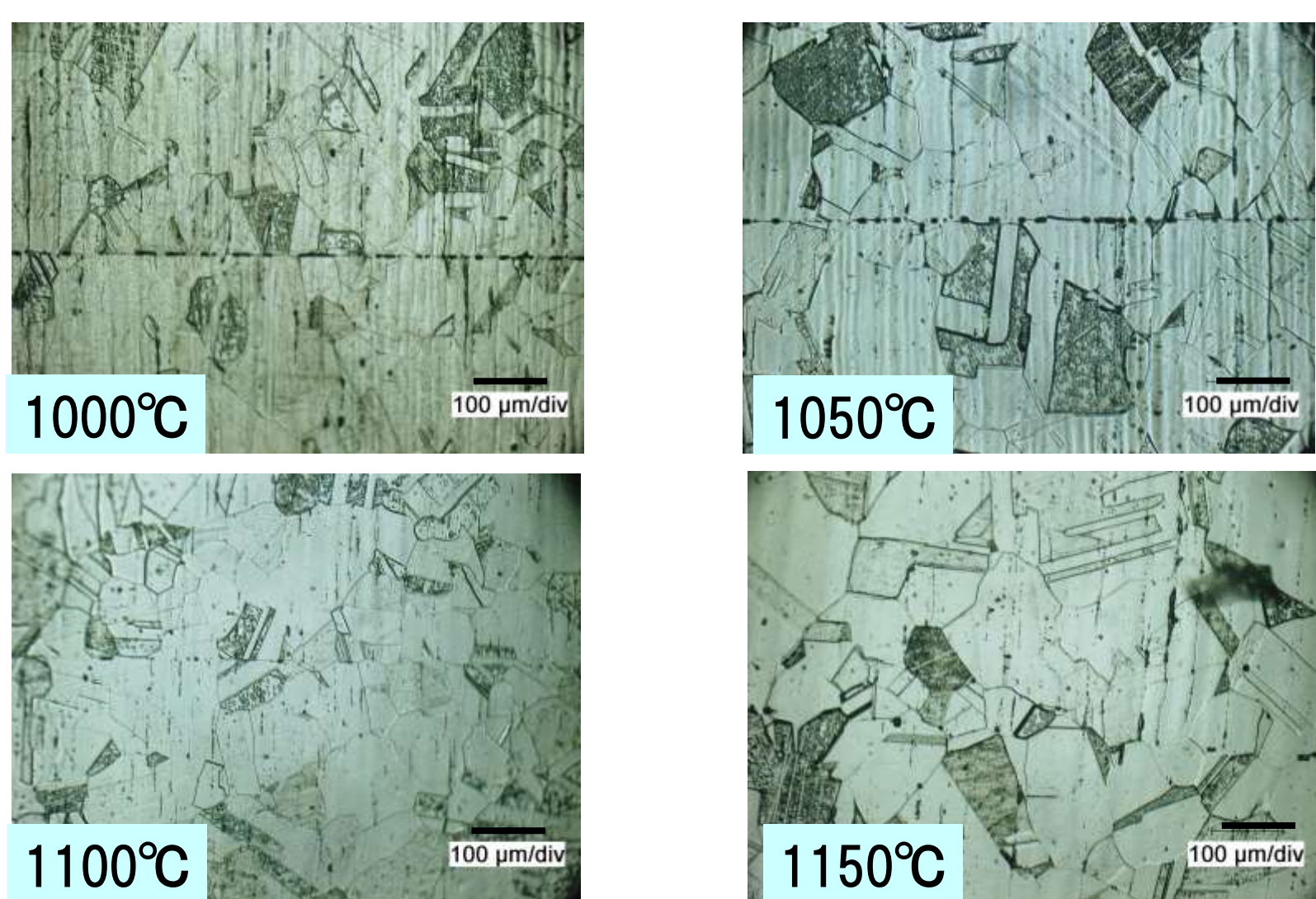
材質 SUS316(高耐食性, 高耐酸性)

実験方法 接合材に対して, ・引張試験・シャルピー衝撃試験による強度測定 ・ひずみ測定を行い, 最適値を導出する

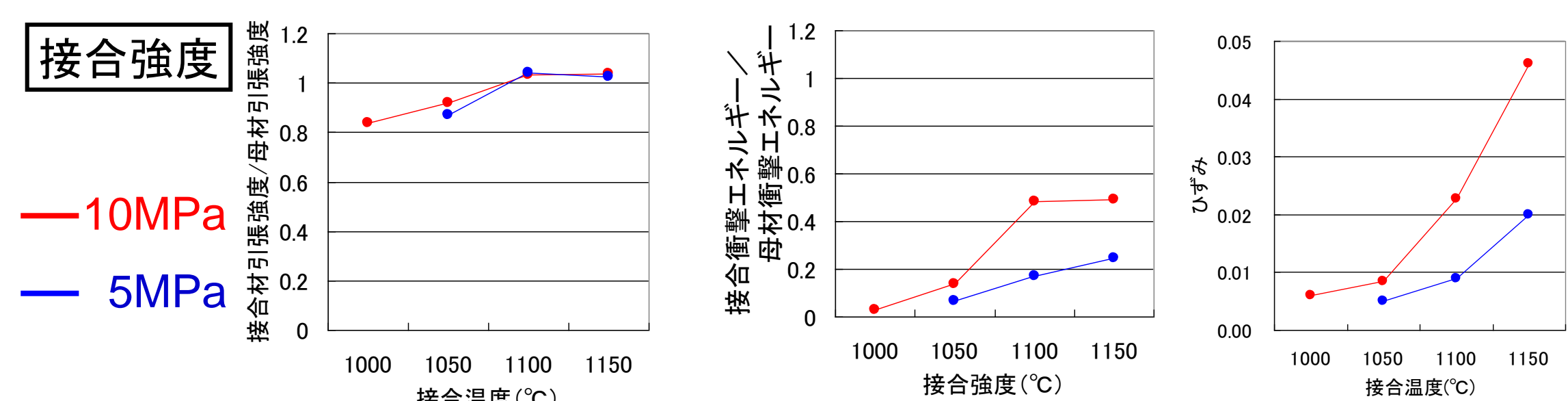
実験条件 ・接合温度 1000°C 1050°C 1100°C 1150°C ・接合時間 4時間
・接合圧力 5MPa 10MPa ・表面粗さ Ra:0.20μm
・接合雰囲気 5×10⁻³Pa

試験片 ・バルクから作製
・試験片中心に接合面

断面観察



接合温度が高いほどポイドが減少している



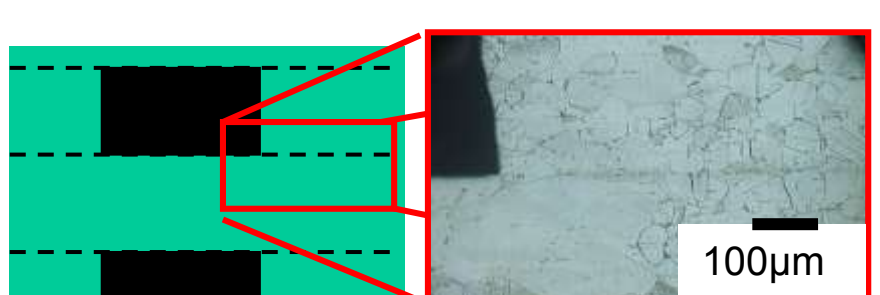
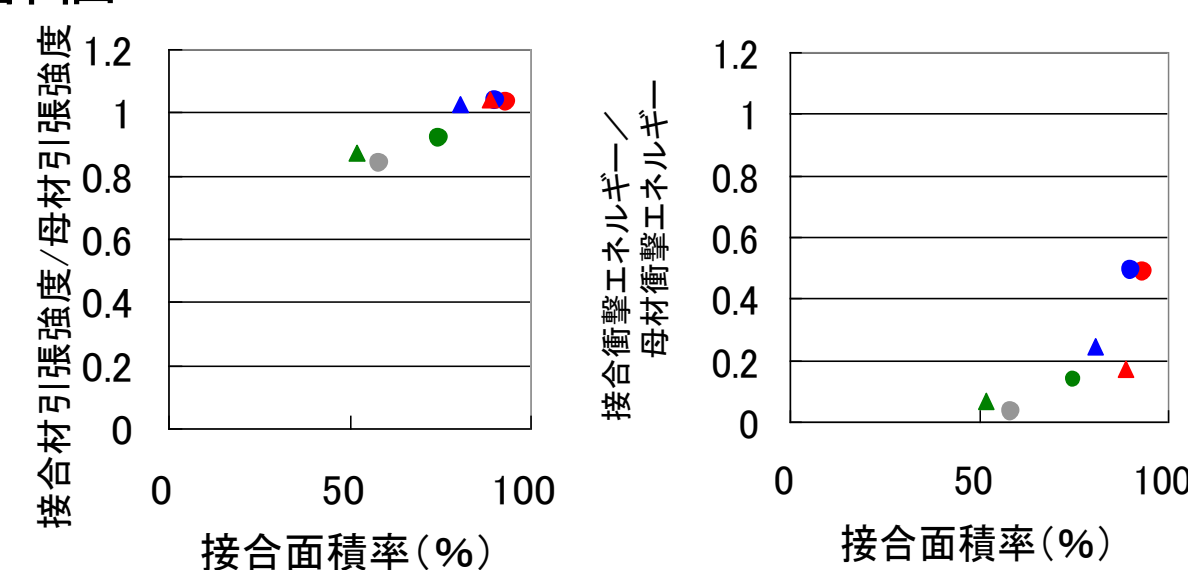
考察 マイクロリアクタの層間強度評価

バルク材

薄板

強度試験で測定

接合面積から強度を推測



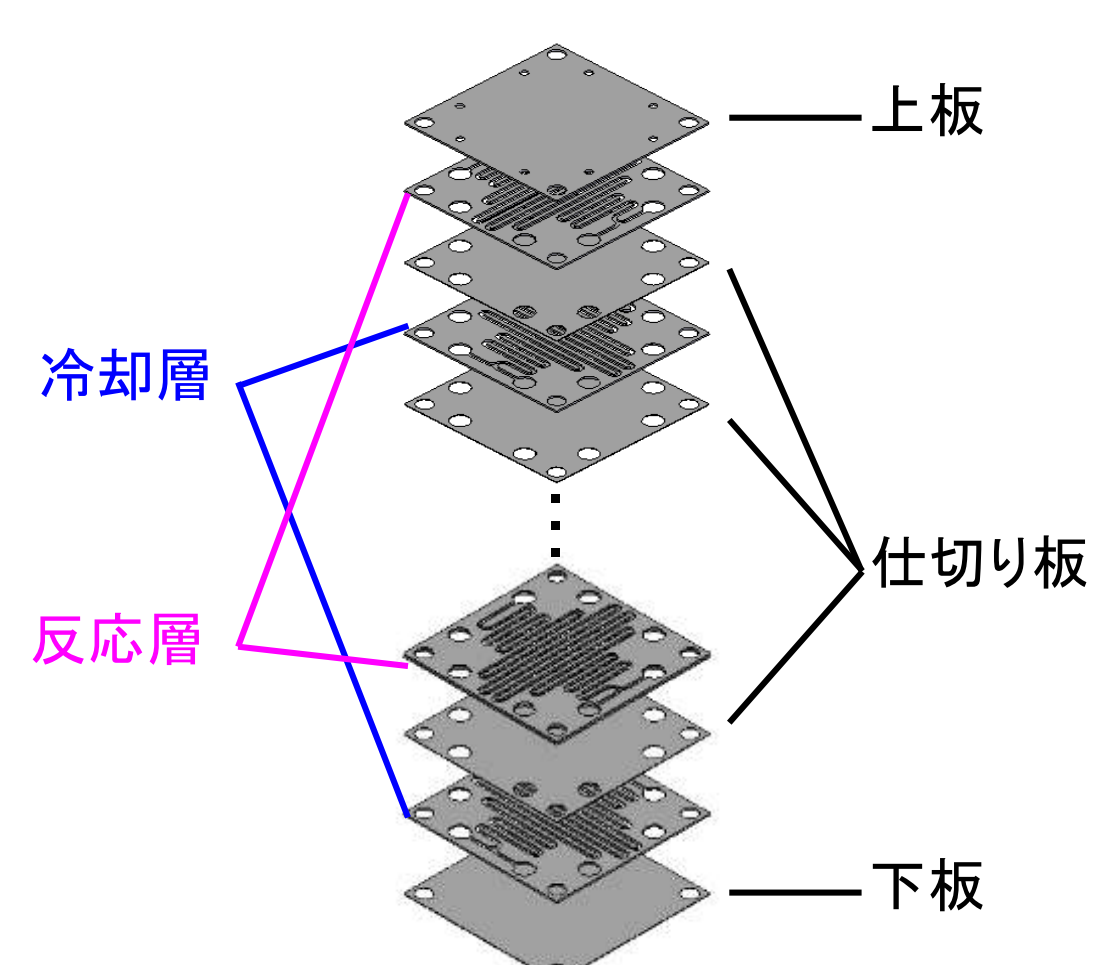
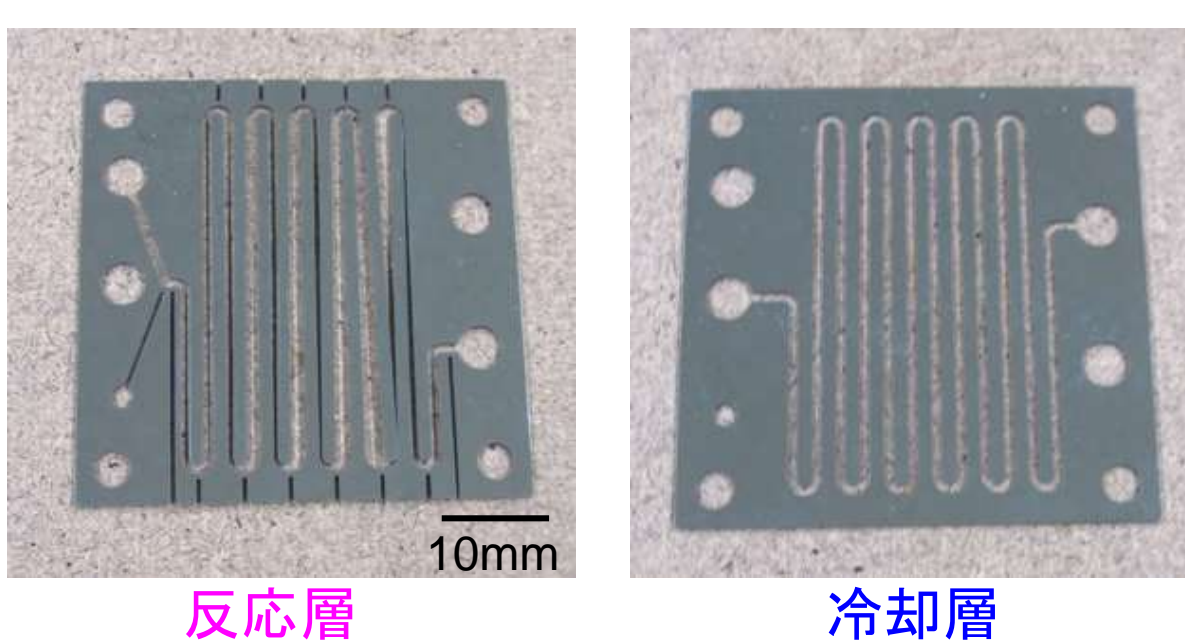
MRでの接合面積率 10MPa 1100°C 96.7%
バルクの接合面積率 10MPa 1100°C 93.7%

流路付近は応力集中し, 接合面積が大きくなる。
→MRの層間もバルクと同等の接合面積率
→バルクでの接合面積と強度の相関は, MRにも利用可能

実験2 多層化マイクロリアクタの作製

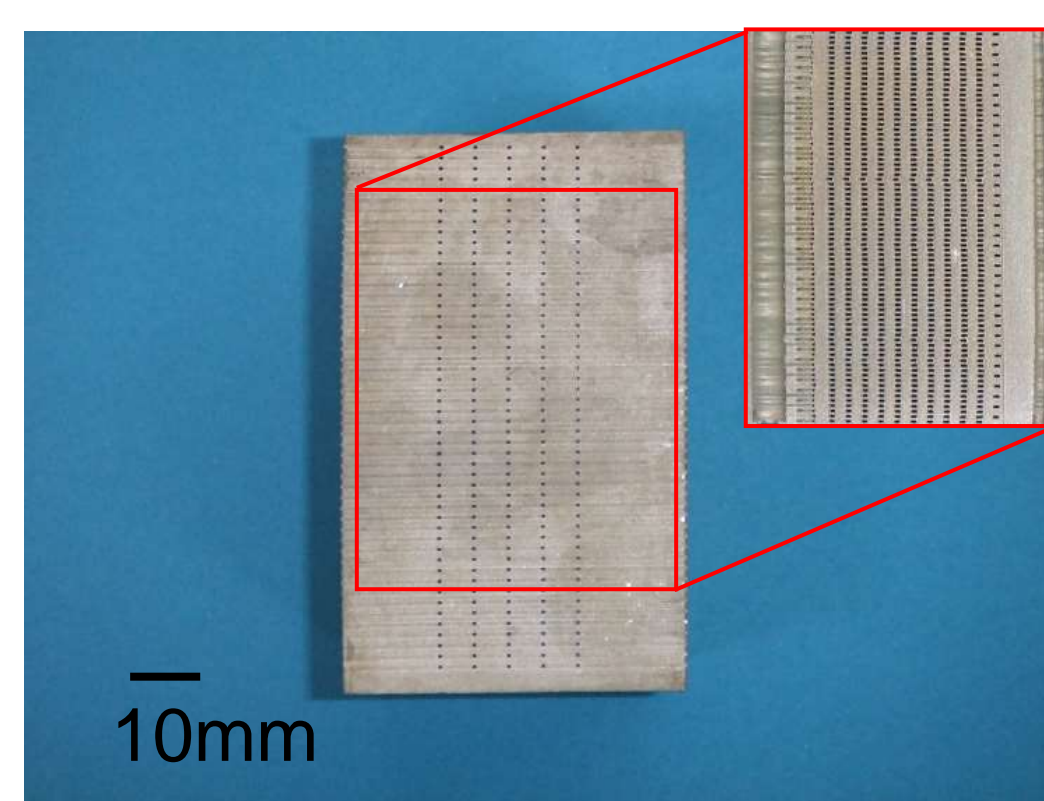
100層マイクロリアクタ

- ・反応層10層, 冷却層10層
- ・交互に配置



流路形状 ・流路幅 1mm ・流路間 1mm
・流路高さ 500μm ・反応冷却層間 300μm

接合結果 各層で流路空間維持



拡散接合によって積層化した100層のマイクロリアクタとその断面

実験3 多層化マイクロリアクタの冷却性評価

評価方法

1. 副生成物の生成が反応温度に依存する合成反応を行い, 冷却の有無での生成物を比較する。
2. 反応溶液およびリアクタ温度を測定し, 冷却の有無でその温度を比較する。

合成反応 ベンゼンのニトロ化反応

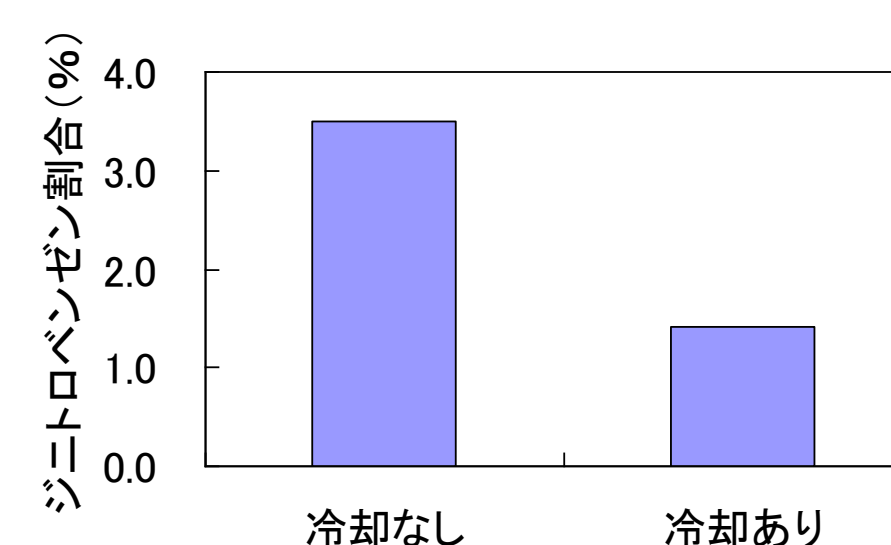
- ・発熱反応
- ・反応温度により副生成物が生成
50°C~90°C ニトロベンゼン(主生成物)
90°C~ ジニトロベンゼン(副生成物)

➡ 反応温度の制御が必要

合成反応結果

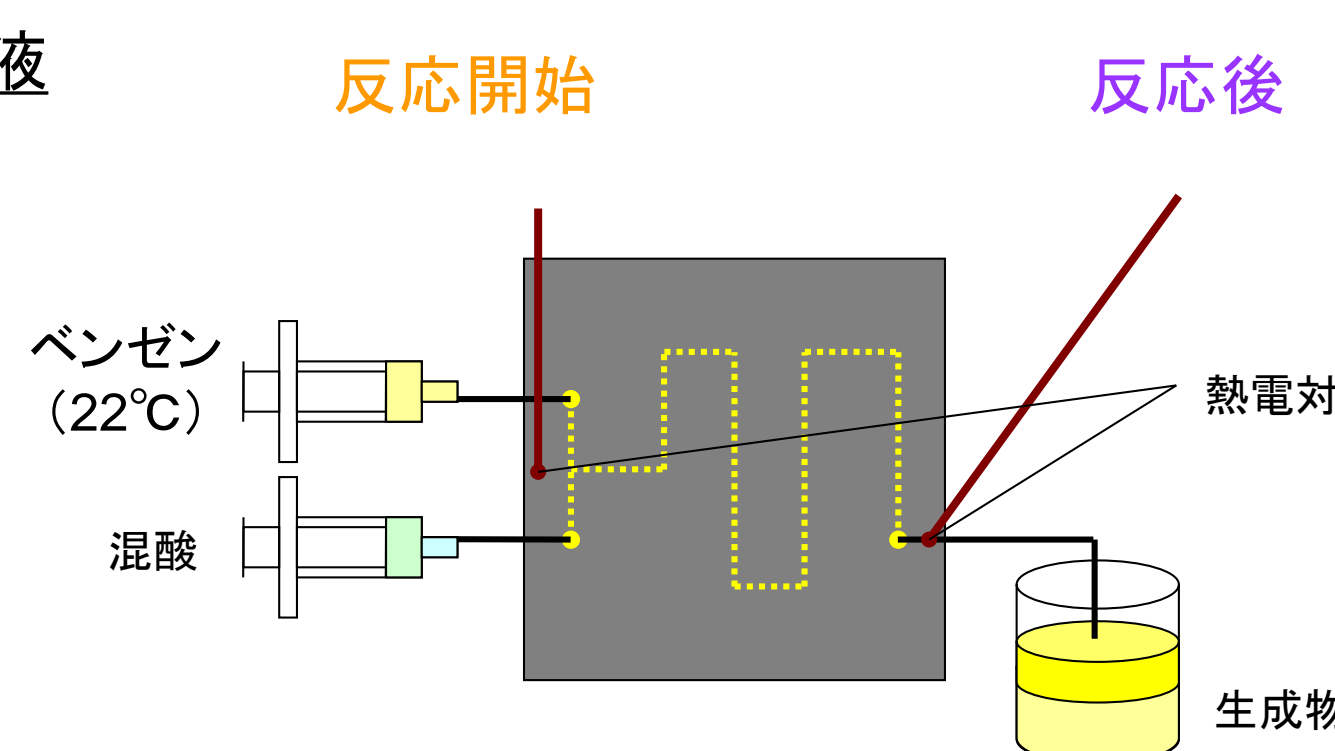
	ベンゼン(%)	ニトロベンゼン(%)	ジニトロベンゼン(%)
冷却なし	0	96.5	3.5
冷却あり	0	98.6	1.4

冷却により副生成物の生成量減少

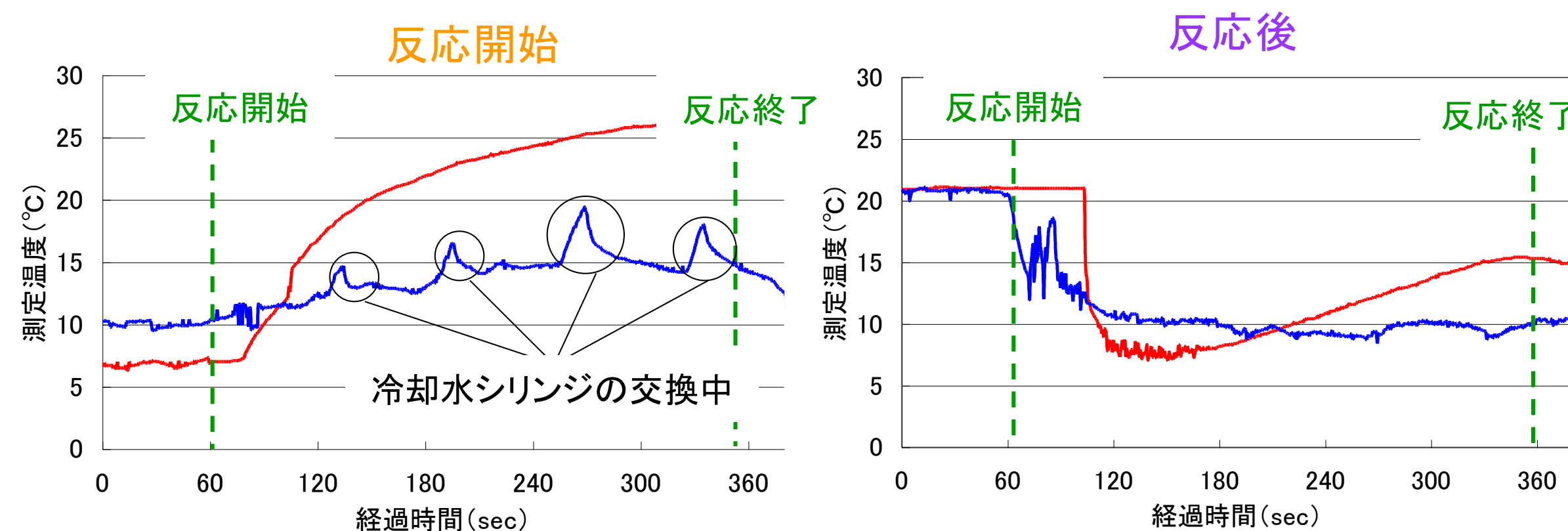


温度測定

リアクタ内溶液 測定対象



温度測定結果 — 冷却あり — 冷却なし



結論

- ・SUS316での最適接合条件を導き出し, その接合条件で流路形状を維持できることを確認した。
- ・材質の異なるリアクタとの冷却性を比較し, 熱伝導率が冷却性に影響を与えることを示した。
- ・最適接合条件を用いて冷却層の施された100層マイクロリアクタを作製し, リアクタ内の流路形状が維持されていることを確認した。また, 冷却層により多層化マイクロリアクタの冷却性能が向上することを合成反応にて示した。