

第22回 講演  
アルミ車両 技術と情報

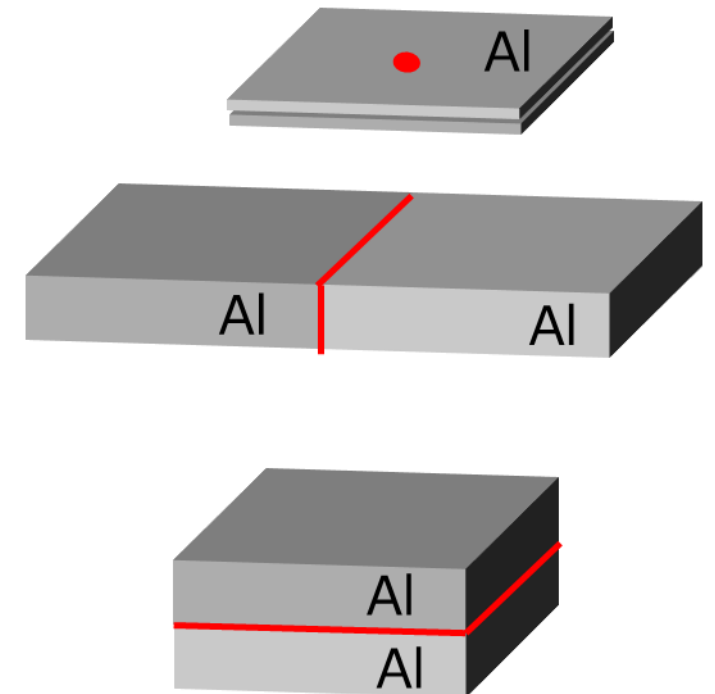
# アルミニウム合金における面接合技術

2025年 9月 29日  
日本軽金属株式会社  
グループ技術センター 加工・プロセスグループ  
鈴木健太

## 金属組織的な接合形態

点・線接合・・・アーク溶接、電子ビーム溶接、抵抗溶接、レーザ溶接、摩擦攪拌接合、超音波接合、ろう付など

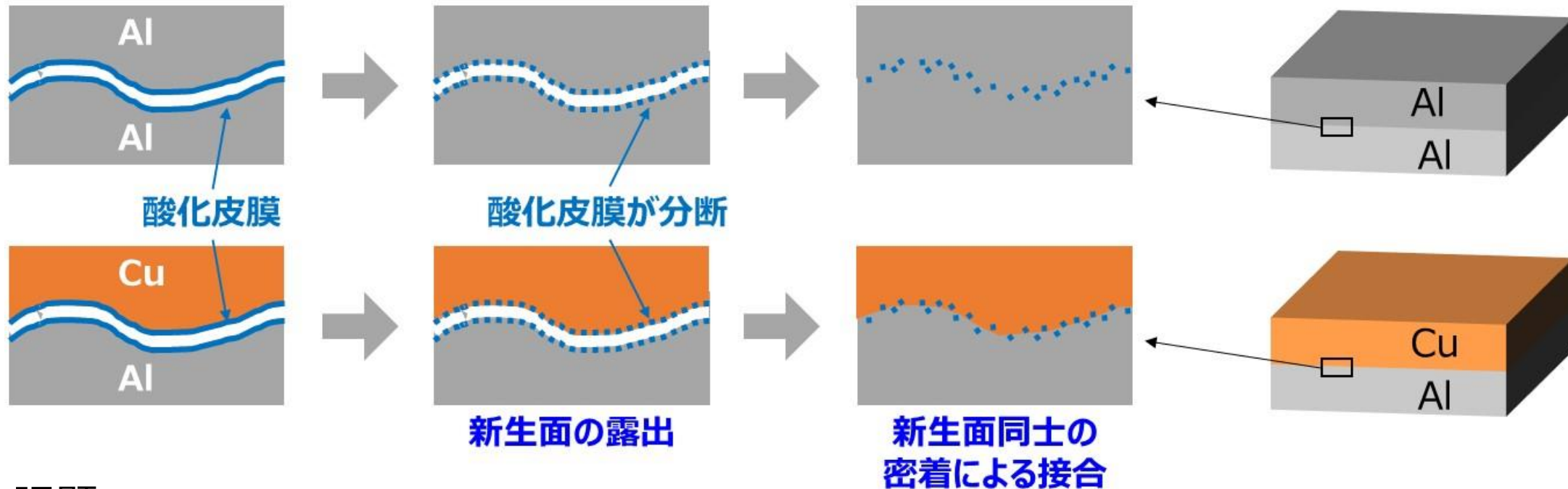
面接合・・・圧延接合、ろう付、爆発圧着、拡散接合



- ① 高強度が要求される構造・・・広い接合面積を持つため、応力を均一に分散させることができ、高い接合強度を実現可能である
- ② 密封性が重要な場合・・・接合部に隙間ができにくいため、液体や気体の漏れを防ぐ必要がある場合に適している
- ③ 異種材料の接合・・・アルミニウムと他の金属の接合において、面接合は接合がより安定しやすく、腐食や電気絶縁性の問題を軽減するのに役立つ
- ④ 複雑な形状部品の結合・・・表面全体を接合することにより、形状が複雑な部品同士をしっかりと接合することが可能である
- ⑤ 熱や振動に弱い部分・・・広範囲にわたって接合することで、一本の線や点にかかる熱や機械的なストレスを均等に分散させることができ、損傷を防ぐことができる

## 接合メカニズム

変形によりそれぞれの酸化皮膜が破壊→新生面同士が密着→金属結合

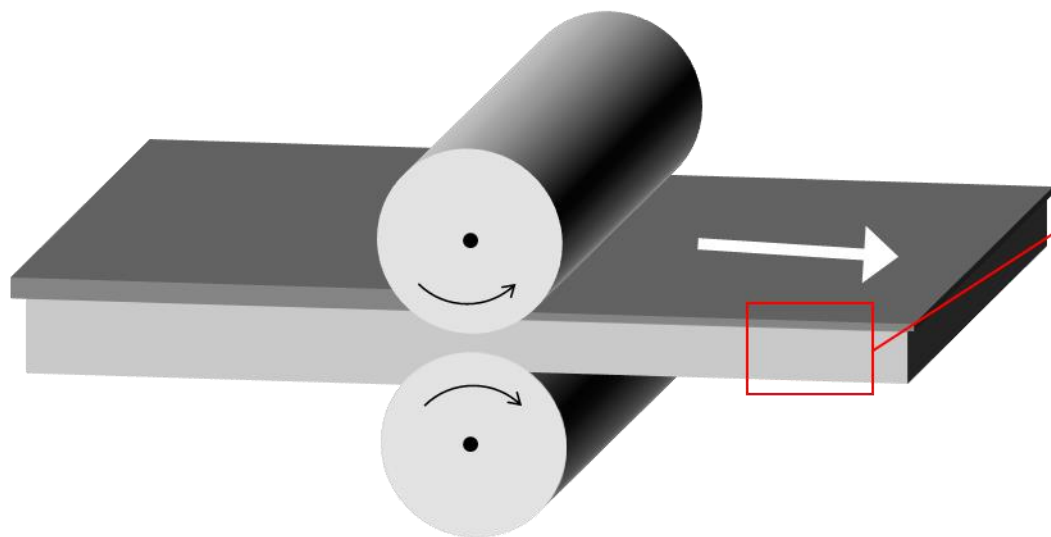


## 課題

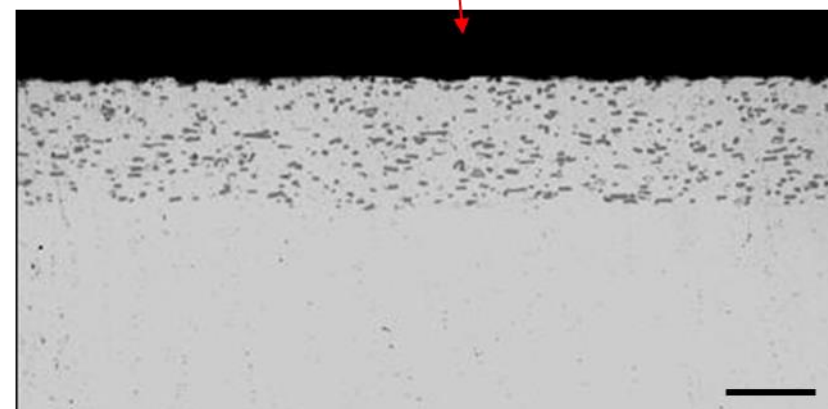
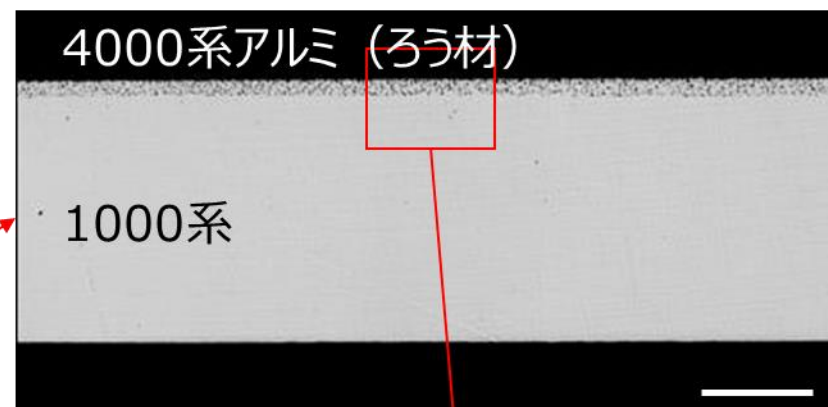
- 広い領域の酸化皮膜の分断・除去をどのように行うか
- 広い領域の新生面の再酸化を抑制して、新生面同士をどのように接合させるか (Cuでは加熱中に脆く、厚い酸化皮膜を形成し接合を阻害する)

	利点	課題
圧延接合	<ul style="list-style-type: none"><li>大量生産可能</li><li>アルミ同士では雰囲気制御が不要</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>母材が変形する</li><li>素材種類</li></ul>
ろう付	<ul style="list-style-type: none"><li>母材の変形が少なく寸法精度が高い</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>雰囲気制御が必要</li><li>加熱処理による素材軟化</li></ul>
爆発圧着	<ul style="list-style-type: none"><li>短時間での接合が可能</li><li>熱影響領域が少ない</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>音や振動、爆薬などの安全性の配慮</li><li>予測困難な変形の可能性</li></ul>
拡散接合	<ul style="list-style-type: none"><li>異材質接合も比較的容易</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>接合時間が長い傾向</li><li>雰囲気制御が必要</li></ul>

アルミニウム合金同士の  
重ね合わせ圧延接合



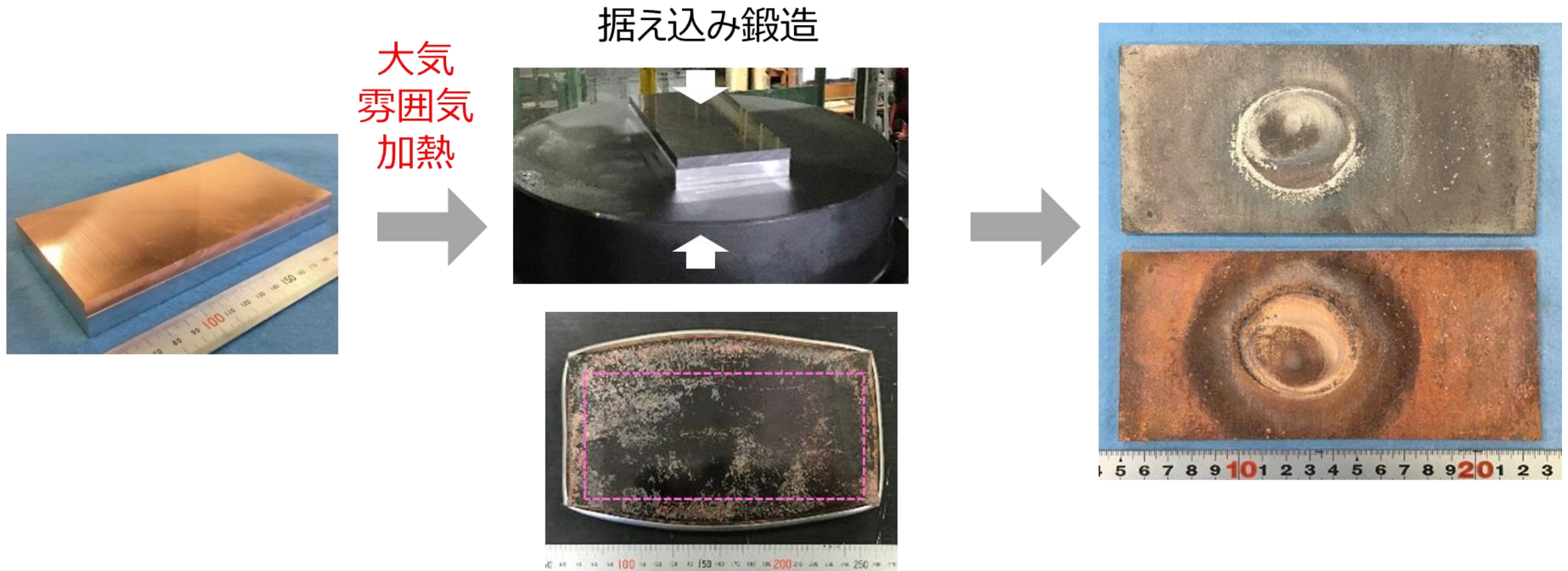
断面マイクロ組織



参考 : JIS Z 3263 : 2002  
アルミニウム合金ろう及びブレージングシート

# 大変形による接合工法

## AlおよびCuを大気雰囲気中で加熱・鍛造

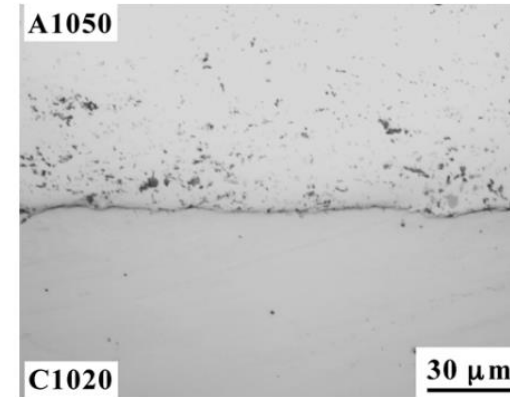
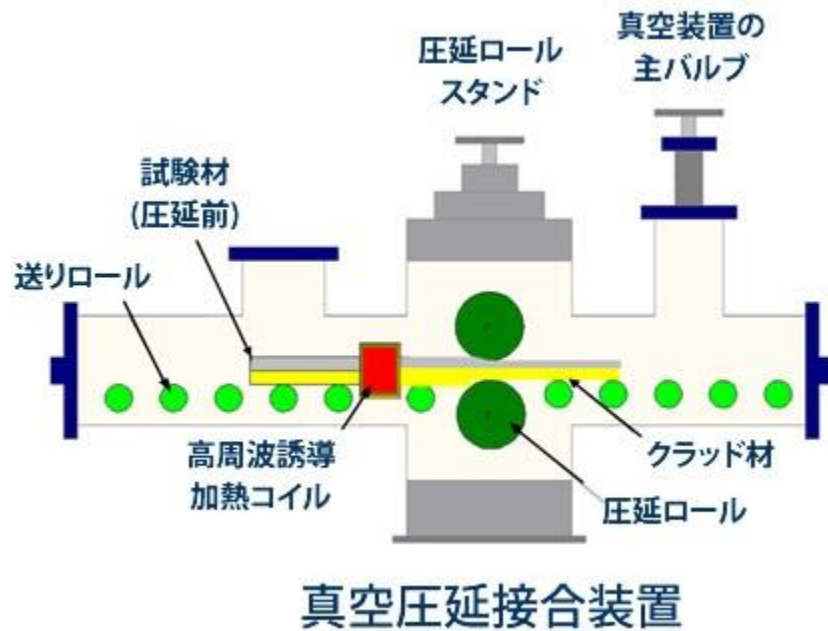


大気雰囲気での加熱により、Cuの接合表面に酸化皮膜が形成され、接合を阻害する

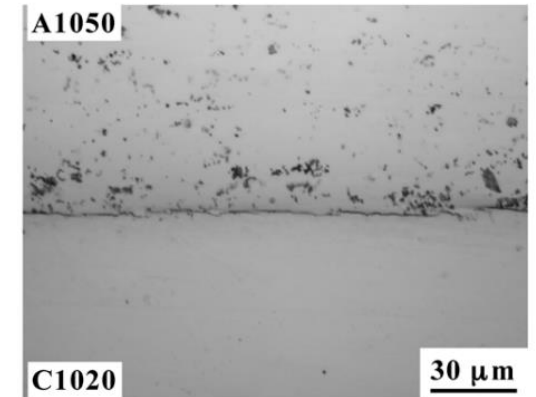


# 圧延による面接合

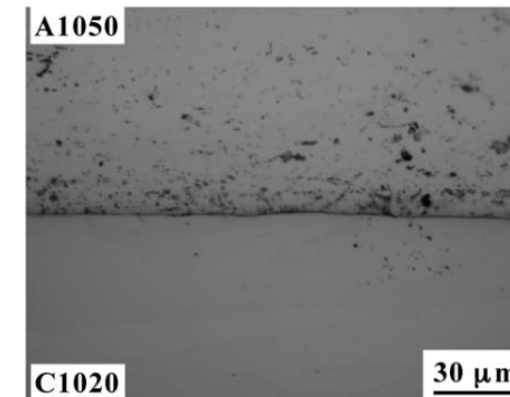
アルミニウム : A1050、3mm厚  
銅 : C1012、3mm厚  
寸法 : 幅80mm、長さ300mm  
前処理 : 表面研磨、脱脂



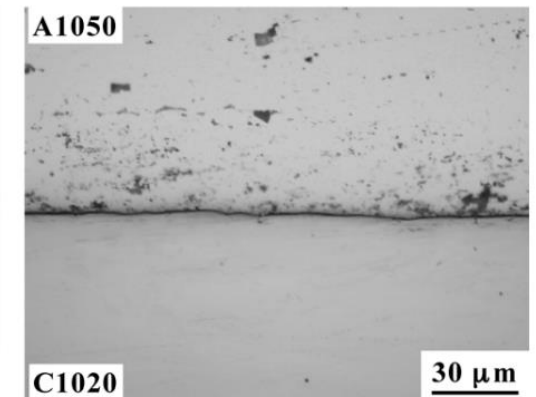
(a)  $T=673\text{ K}$ ,  $R_{A1}=23\%$



(b)  $T=773\text{ K}$ ,  $R_{A1}=23\%$



(c)  $T=673\text{ K}$ ,  $R_{A1}=12\%$



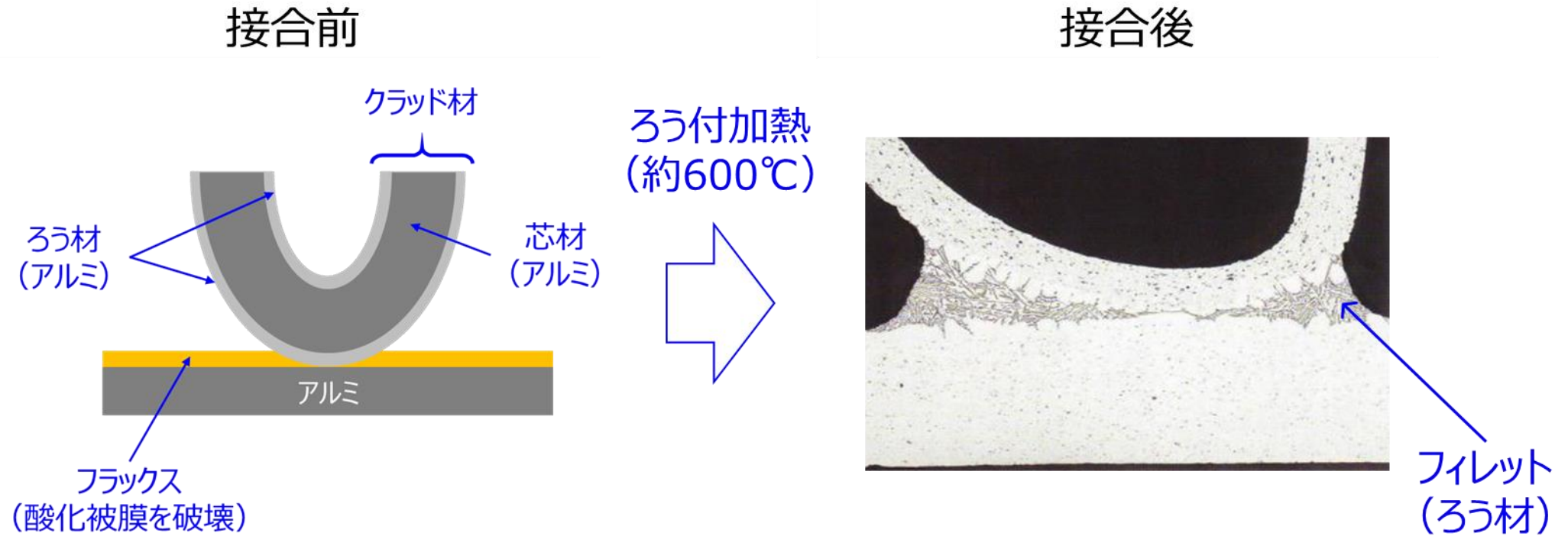
(d)  $T=773\text{ K}$ ,  $R_{A1}=12\%$

出典 : 九州工業大学 接合・表面改質・高温材料工学研究室HP  
軽金属 第59 巻第10 号 (2009) , 542-547

接合界面に金属間化合物、未接合部は観察されない

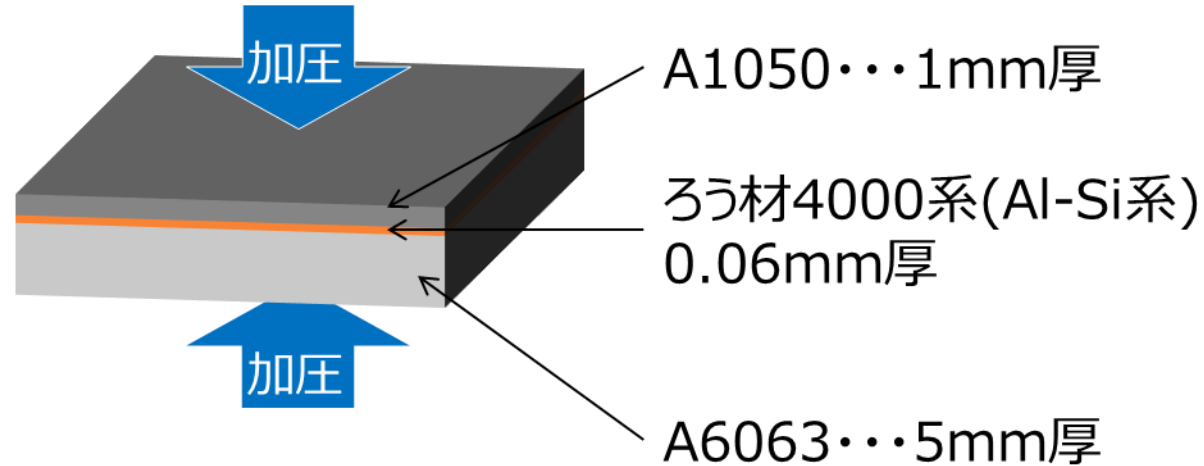


	利点	課題
圧延接合	<ul style="list-style-type: none"><li>大量生産可能</li><li>アルミ同士では雰囲気制御が不要</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>母材が変形する</li><li>素材種類</li></ul>
ろう付	<ul style="list-style-type: none"><li>母材の変形が少なく寸法精度が高い</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>雰囲気制御が必要</li><li>加熱処理による素材軟化</li></ul>
爆発圧着	<ul style="list-style-type: none"><li>短時間での接合が可能</li><li>熱影響領域が少ない</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>音や振動、火花などの安全性の配慮</li><li>予測困難な変形の可能性</li></ul>
拡散接合	<ul style="list-style-type: none"><li>異材質接合も比較的容易</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>接合時間が長い傾向</li><li>雰囲気制御が必要</li></ul>



## ◆特長◆

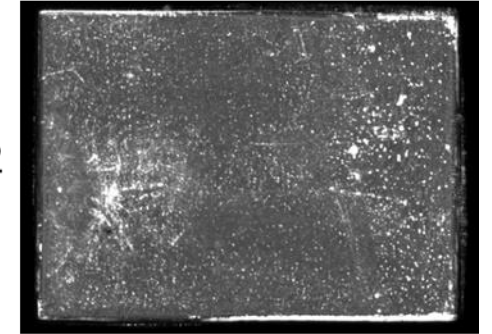
- 母材の変形が少なく寸法精度が高い
- 微細で複雑な形状でも接合が可能である
- 複数の接合箇所、複数部品を一括で接合できる



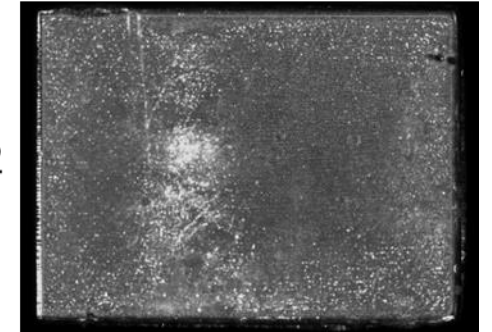
- 加熱温度：600℃
- 雰囲気：窒素
- □サイズ：約40mm×約50mm
- 加圧：0.5、1.8、2.7N/mm<sup>2</sup>

超音波探傷画像

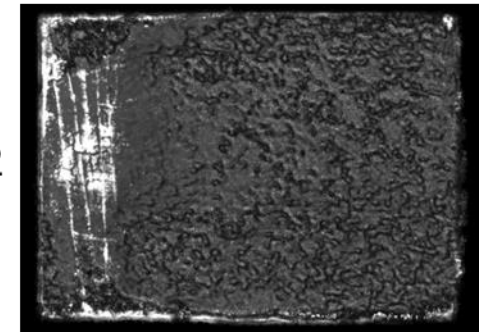
0.5N/mm<sup>2</sup>



1.8N/mm<sup>2</sup>



2.7N/mm<sup>2</sup>

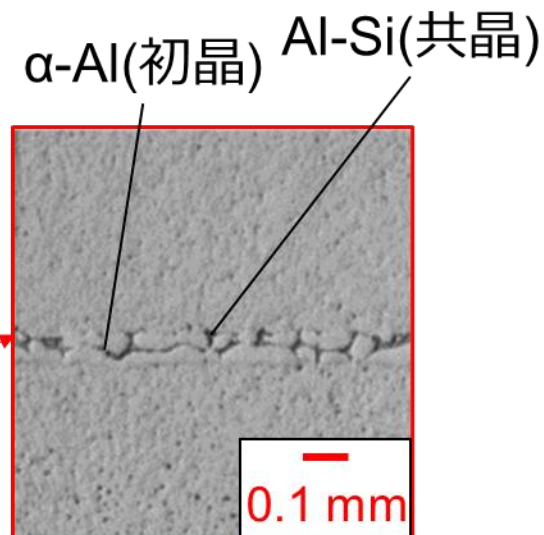
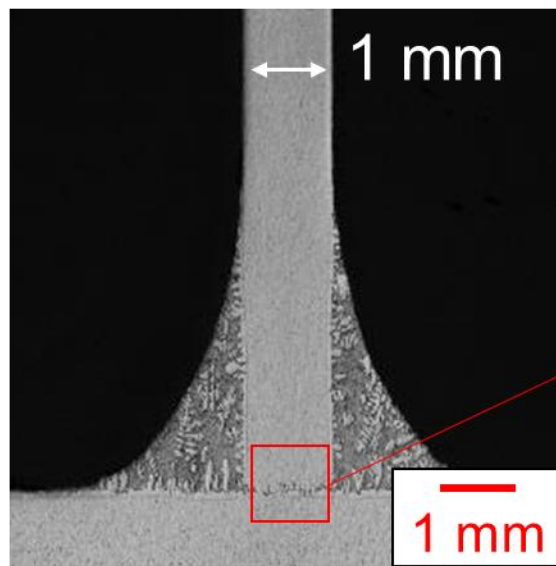
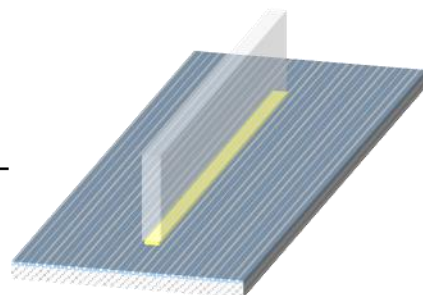


加圧力の増加によりろう付界面欠陥は減少傾向にある

ろう付：非腐食性フラックスろう付法（ $N_2$ 流入下）が広く用いられている  
⇒広い面積の接合では欠陥が形成しやすく、点や線の接合に限定される

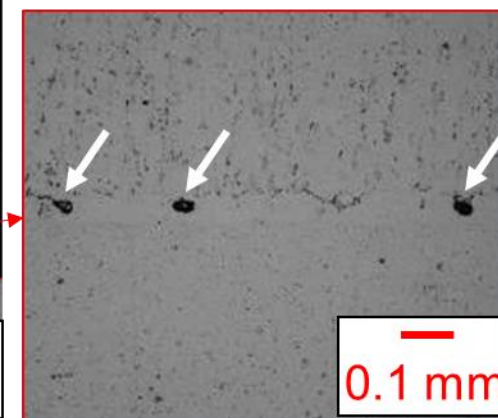
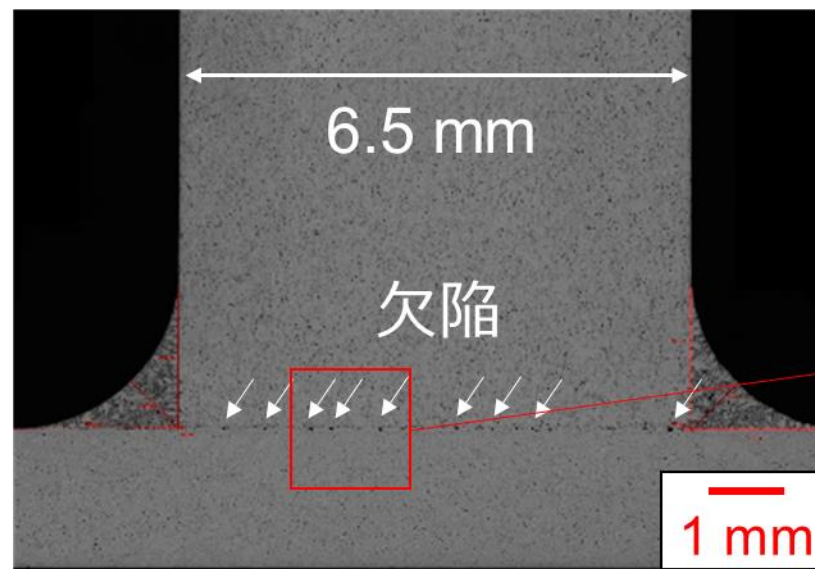
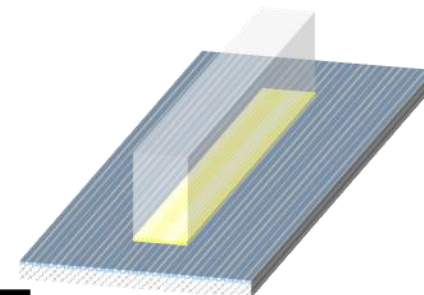
薄い垂直板（1mm幅）

⇒欠陥ができにくい

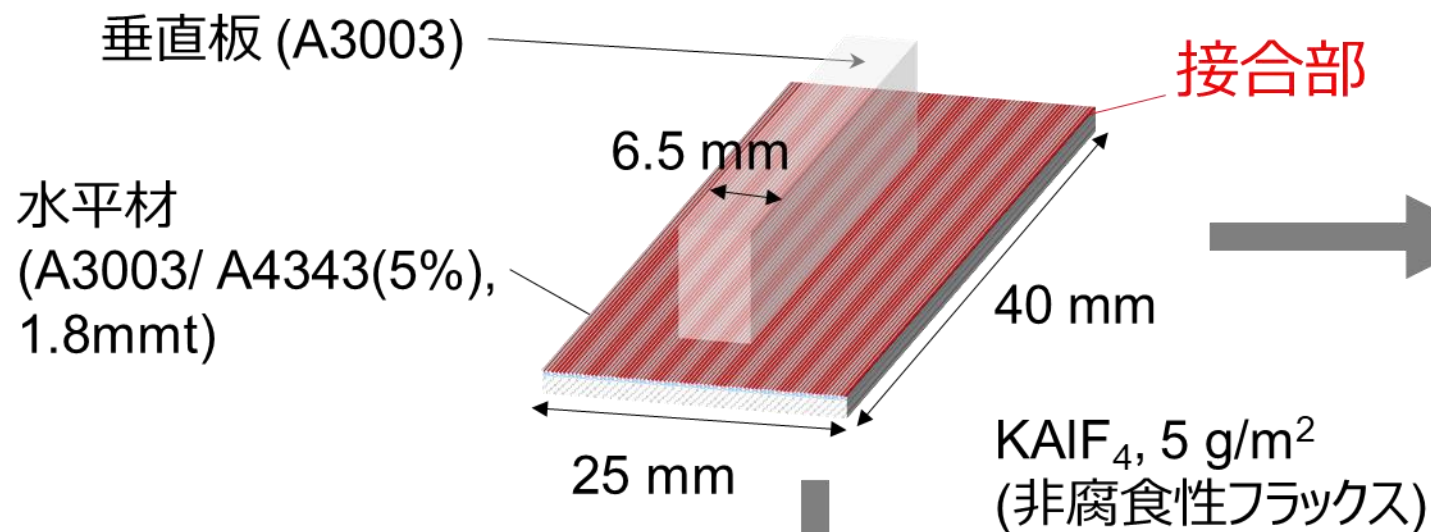


厚い垂直板（6.5 mm幅）

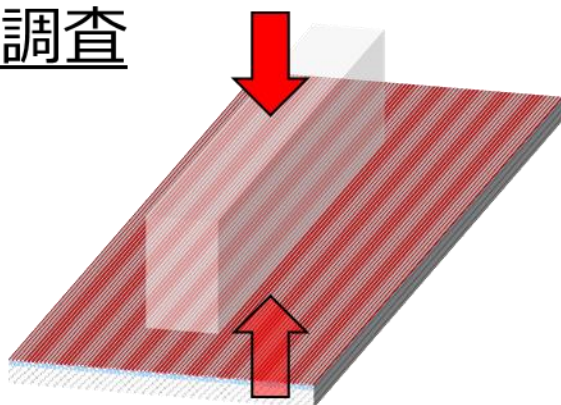
⇒欠陥が形成



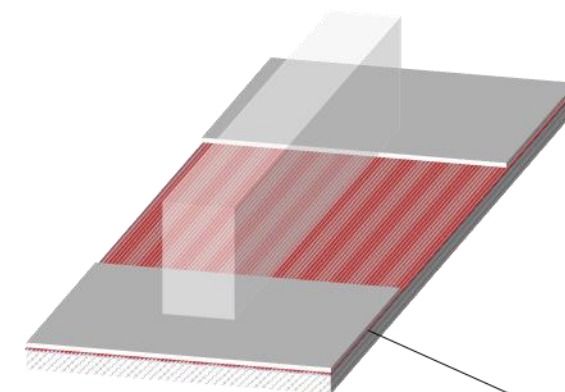




## 加圧の影響調査

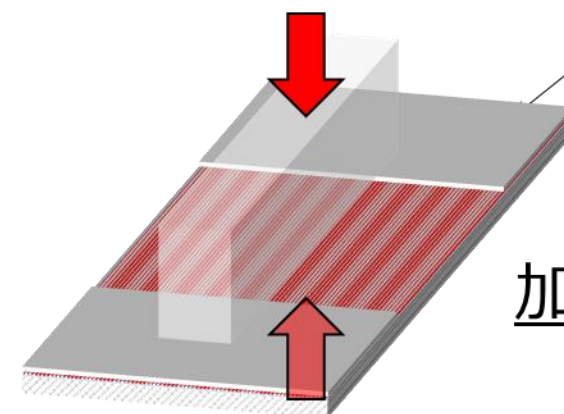


## クリアランスの影響調査

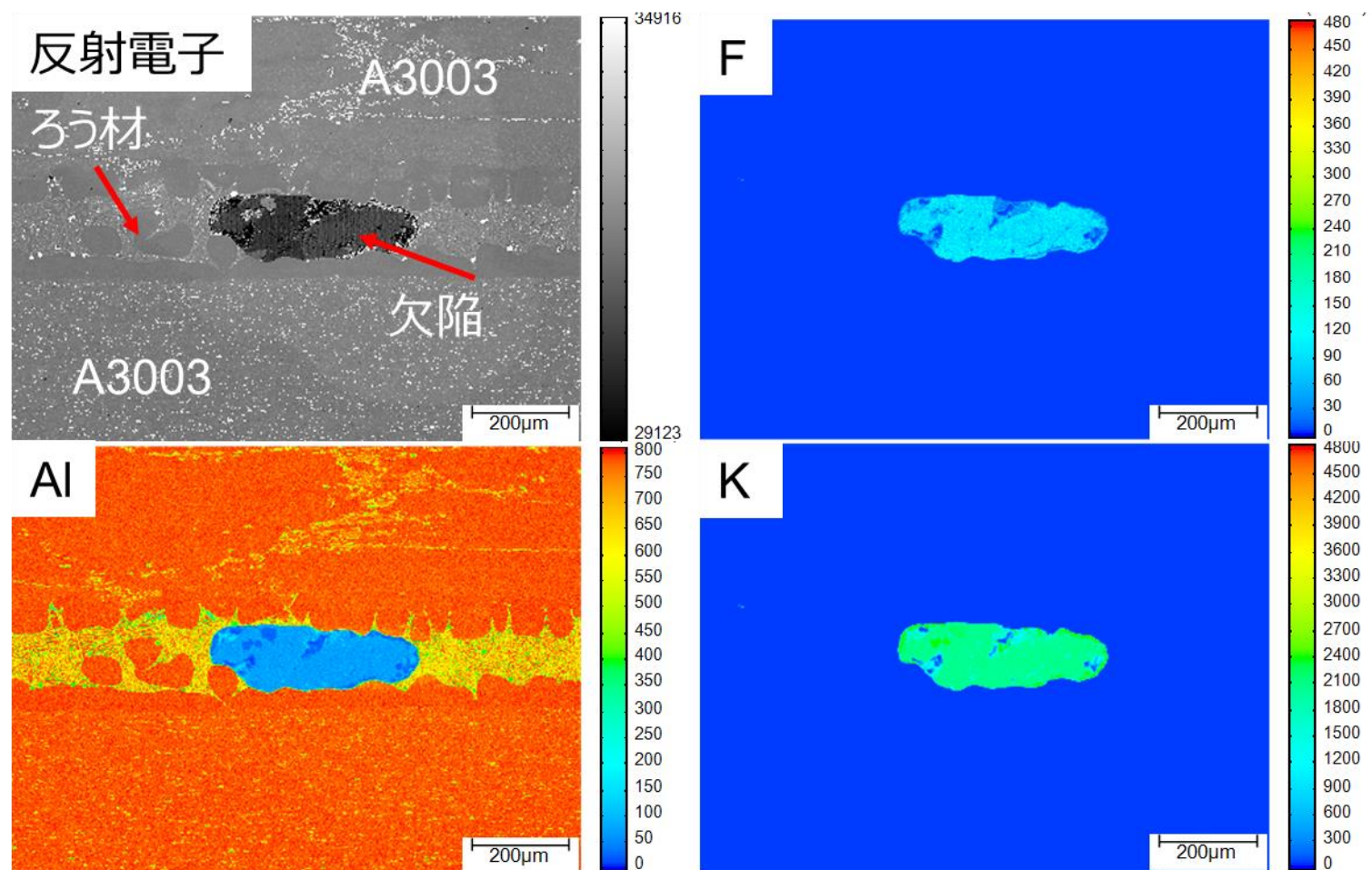


ステンレススペーサー  
(0.05, 0.1, 0.2 mmt)

## 加圧 + クリアランス の影響調査



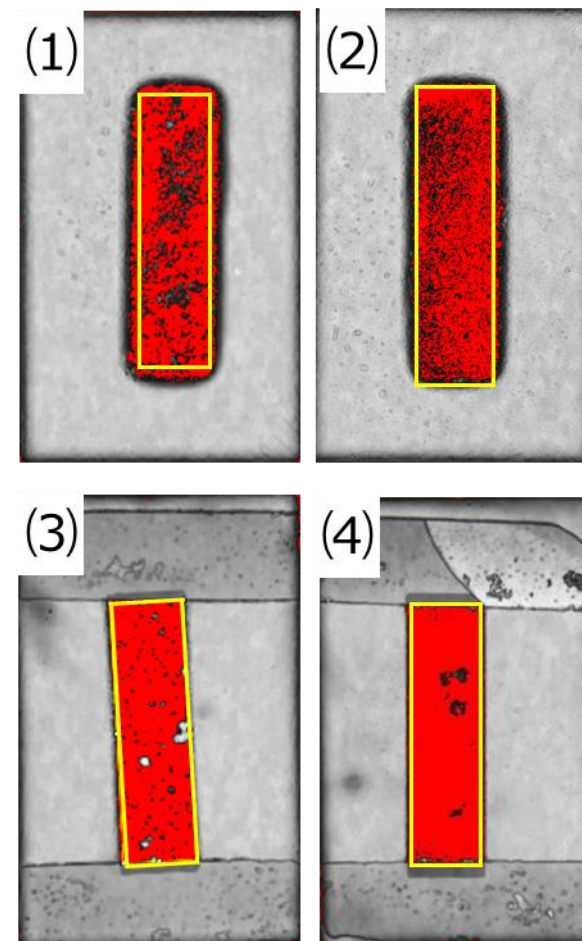
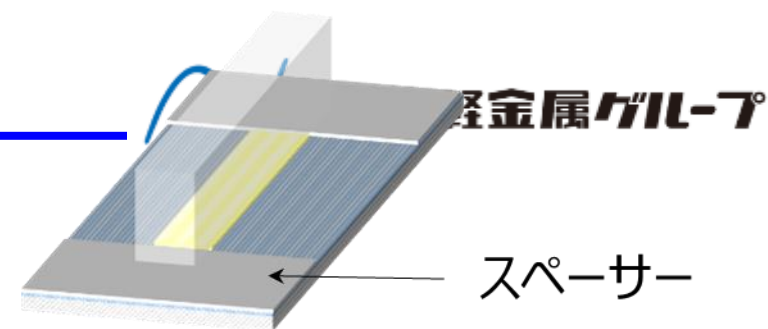
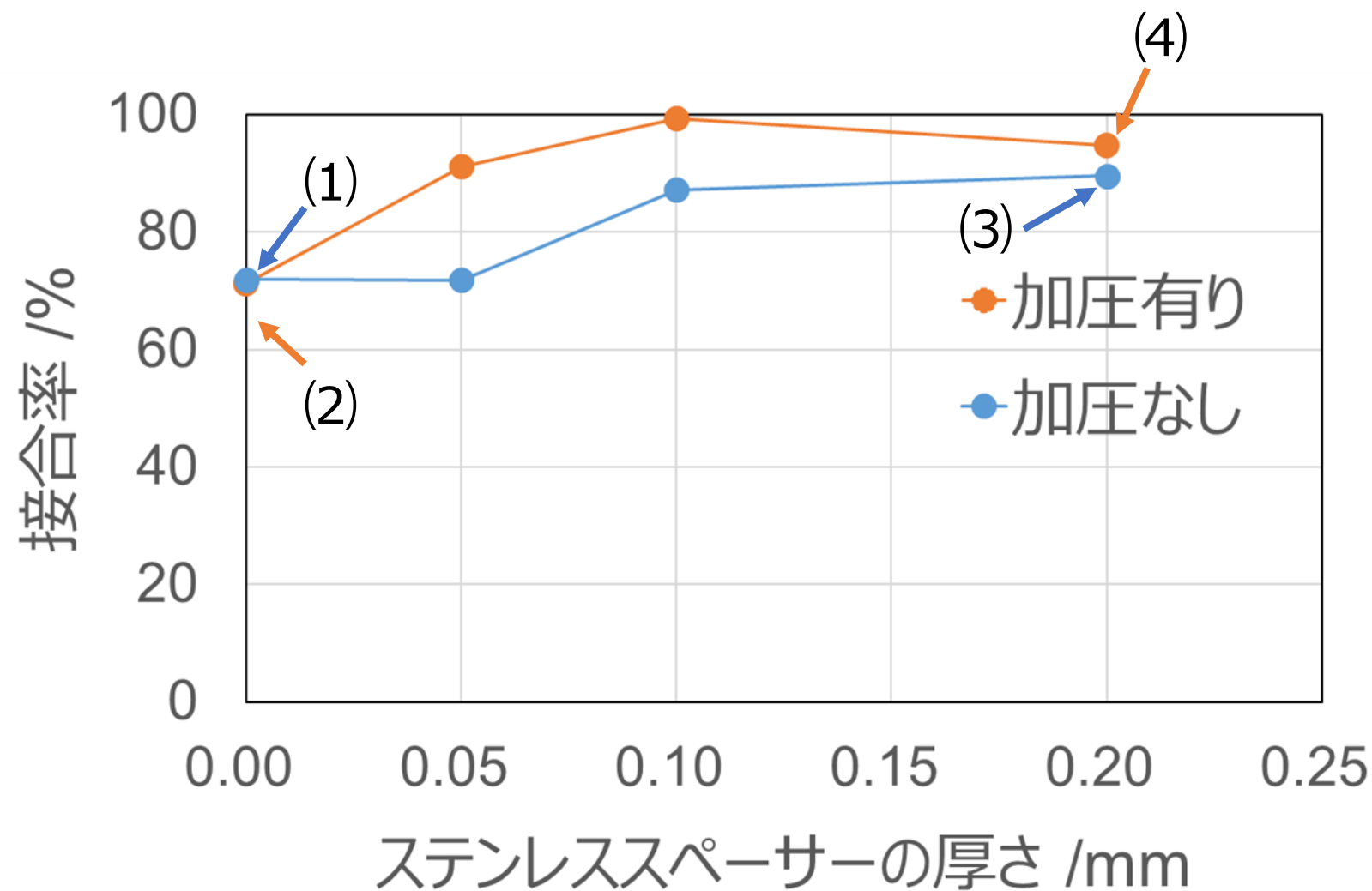
## 接合欠陥部のEPMA分析

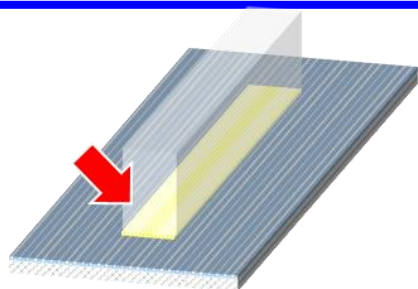


非腐食性フラックスの主成分であるF、Al、Kが検出される



# 加圧の有無・クリアランス量と接合率の関係





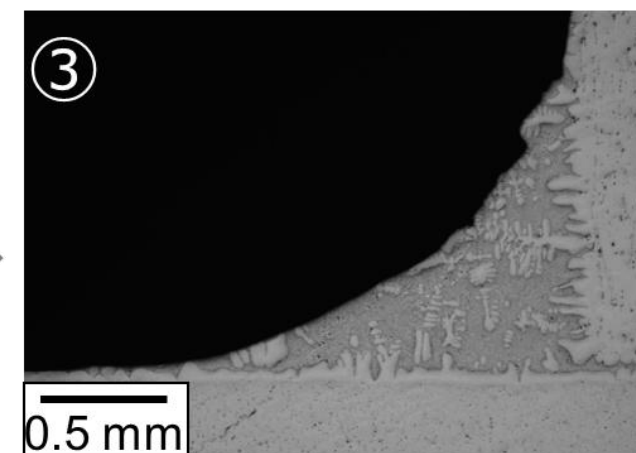
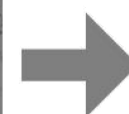
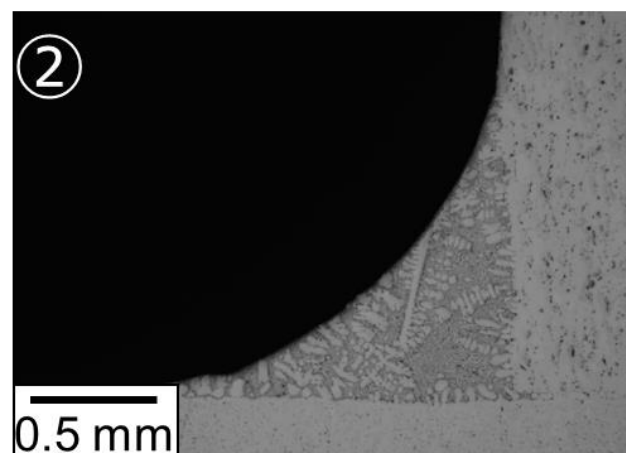
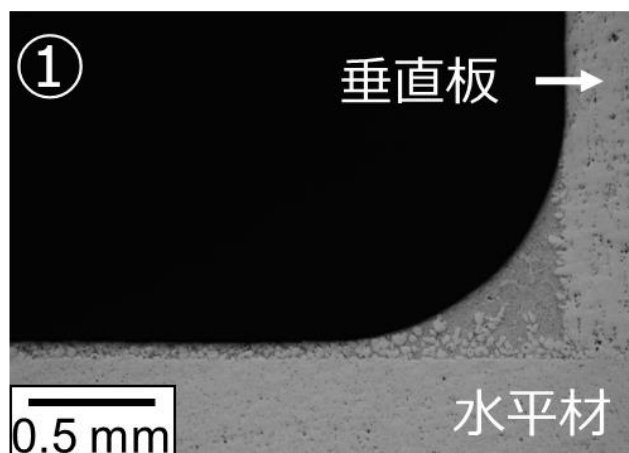
クリアランスを設けた試料はろう付終了までフィレットが小さい

580°C到達

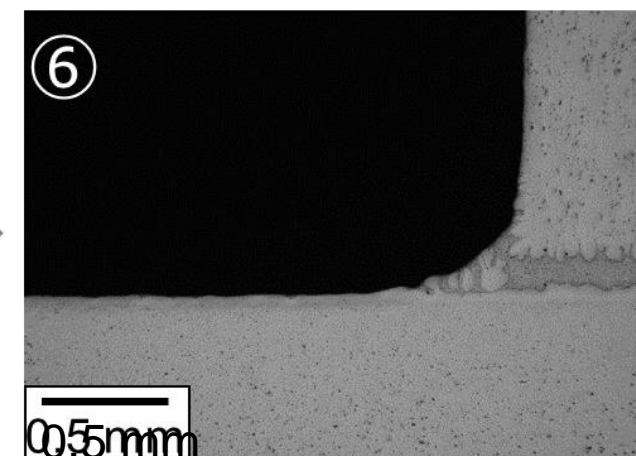
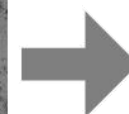
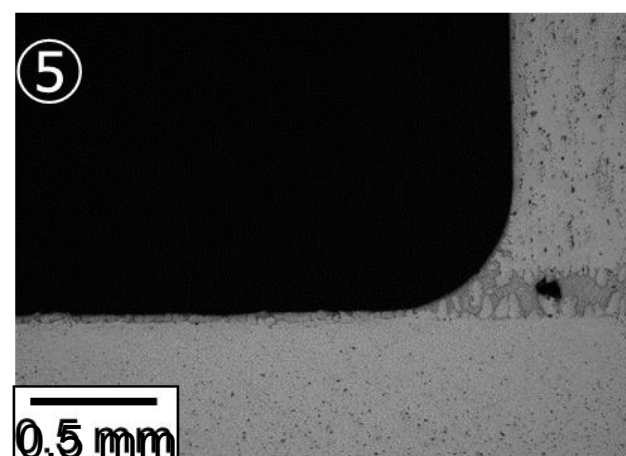
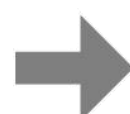
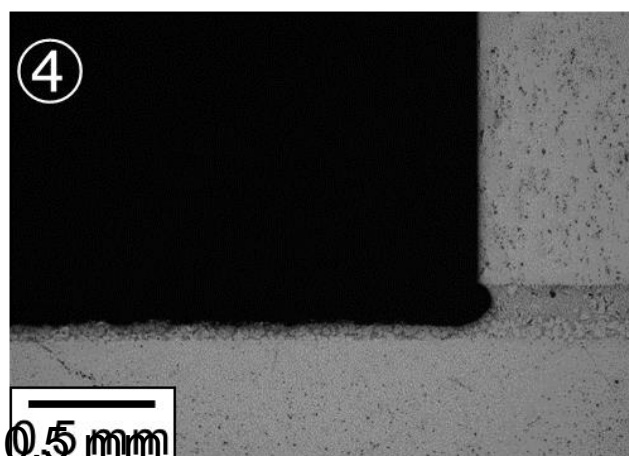
600°C到達

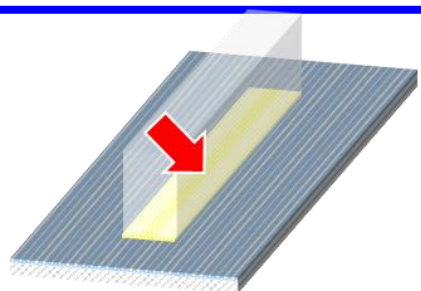
600°C\_5分

直接組付け



スペーサー  
0.2 mm





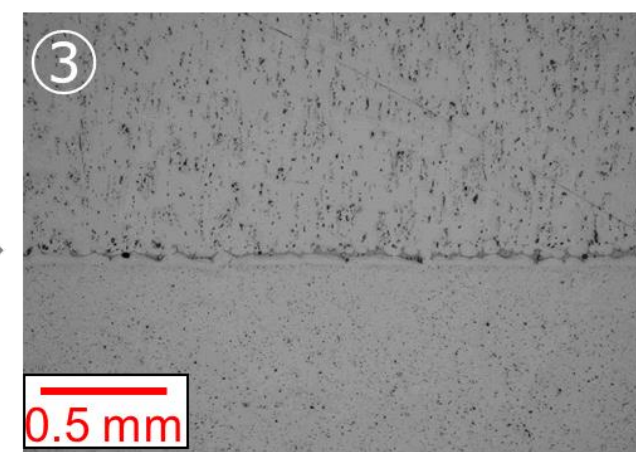
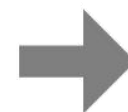
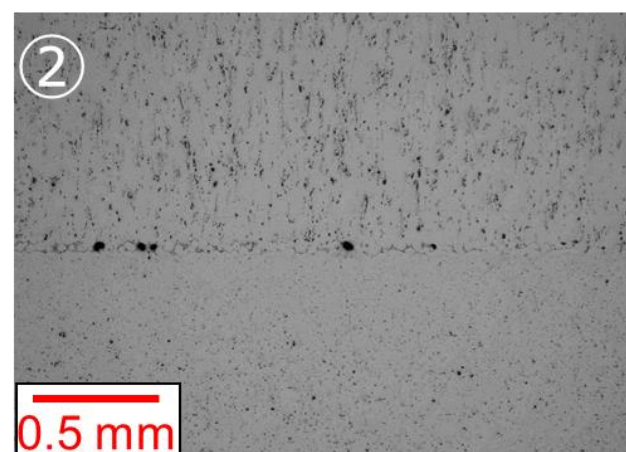
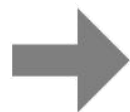
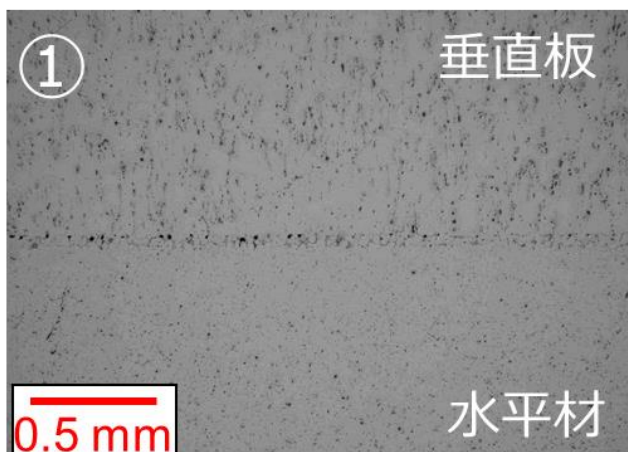
クリアランスを設けた試料は界面に共晶組織が形成

580°C到達

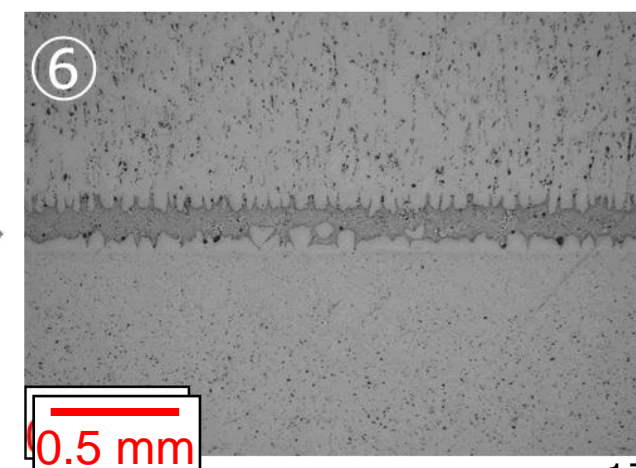
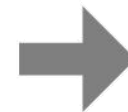
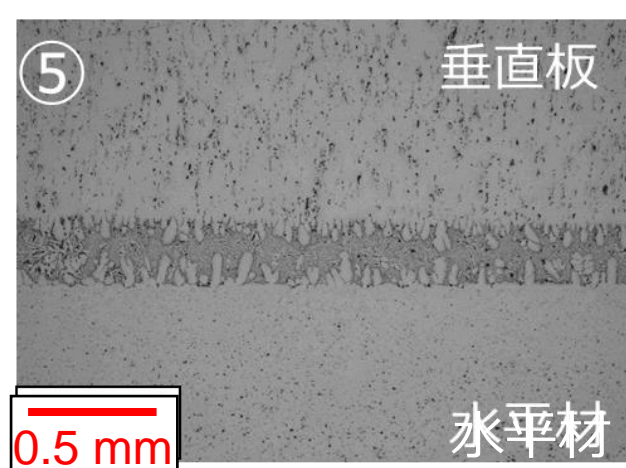
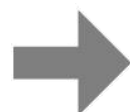
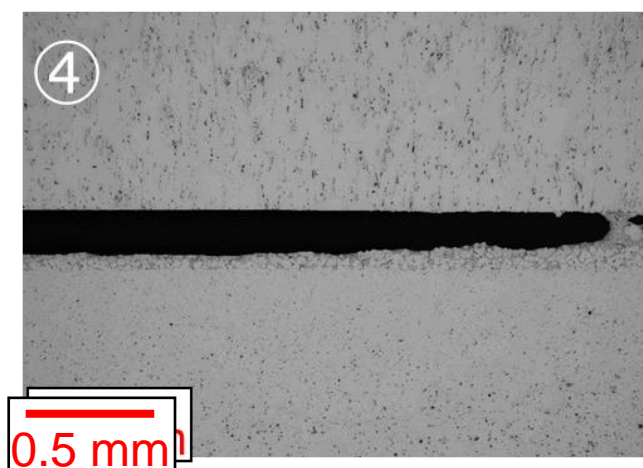
600°C到達

600°C\_5分

直接組付け

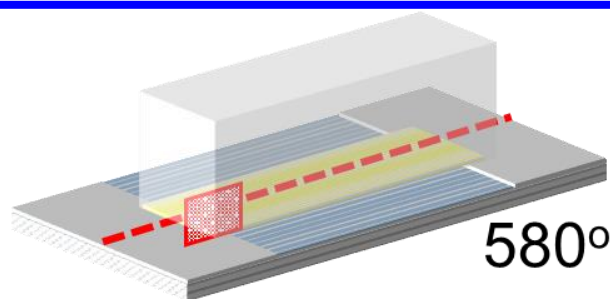


スペーサー  
0.2 mm





# 加圧とクリアランスを組合わせた試料の断面観察

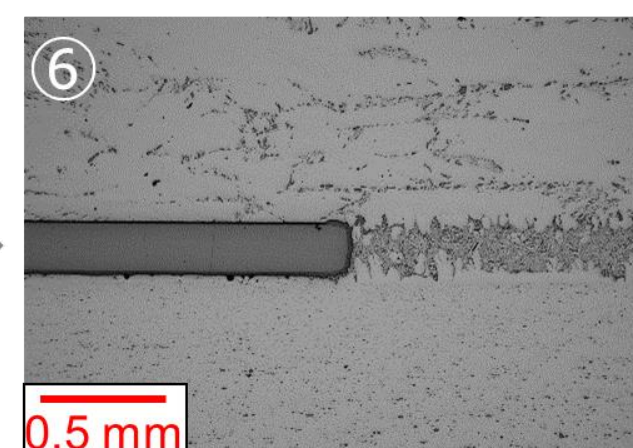
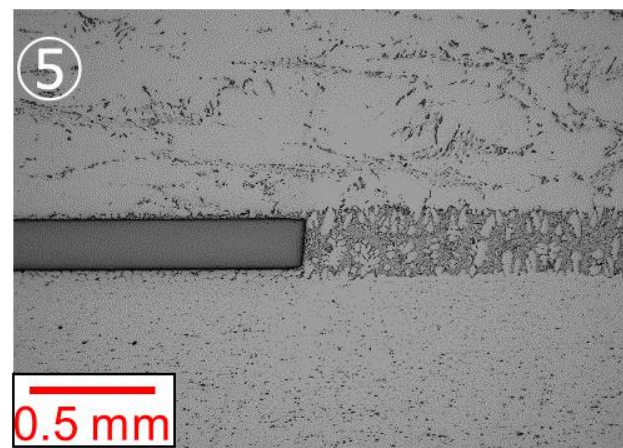


加圧によってクリアランスが変化

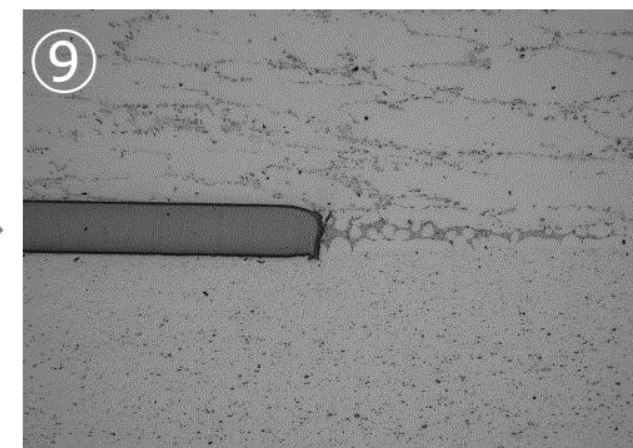
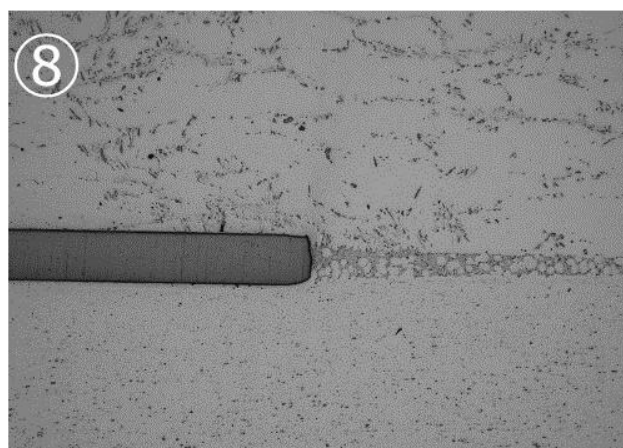
600°C到達

600°C\_5分

スペーサー  
0.2 mm

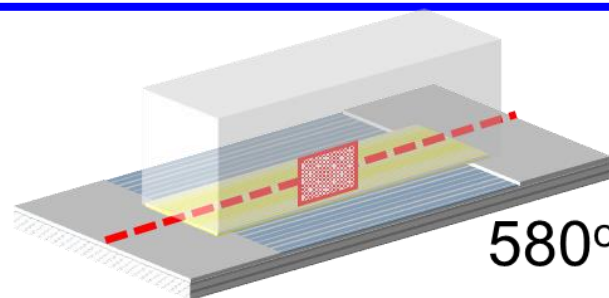


スペーサー  
0.2 mm  
+  
加圧





# 加圧とクリアランスを組合わせた試料の断面観察



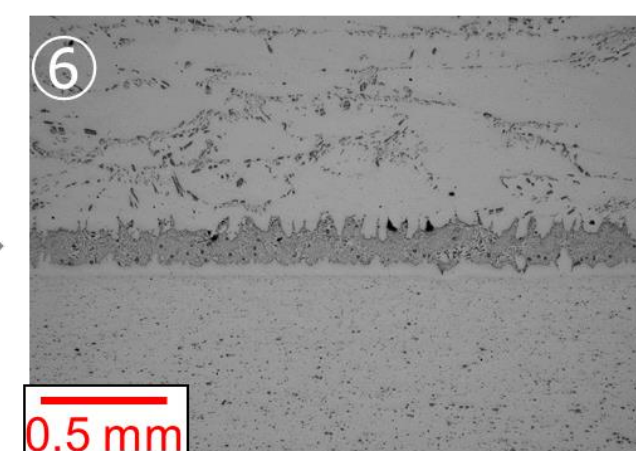
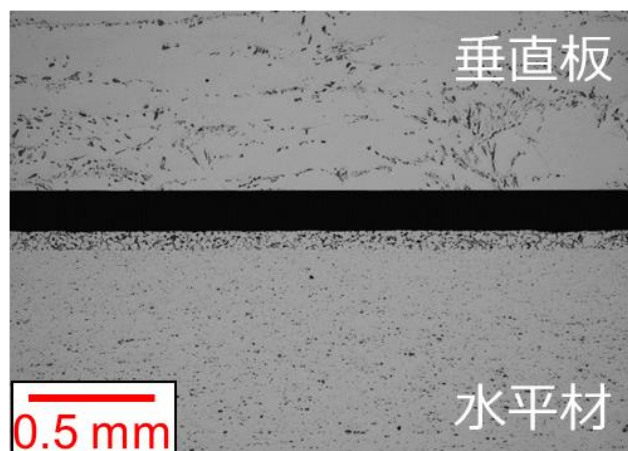
加圧によって中心付近のクリアランスが消滅

580°C到達

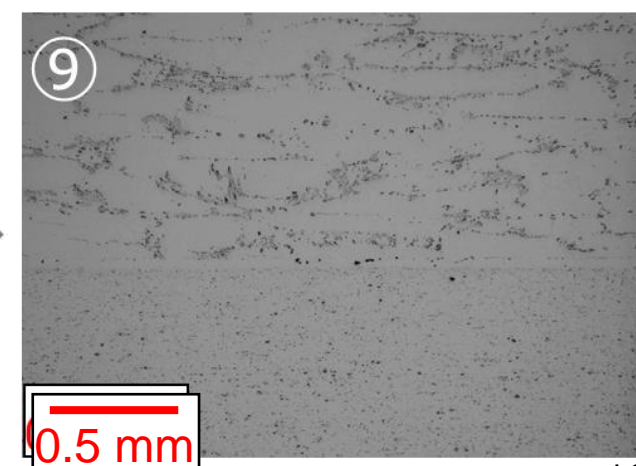
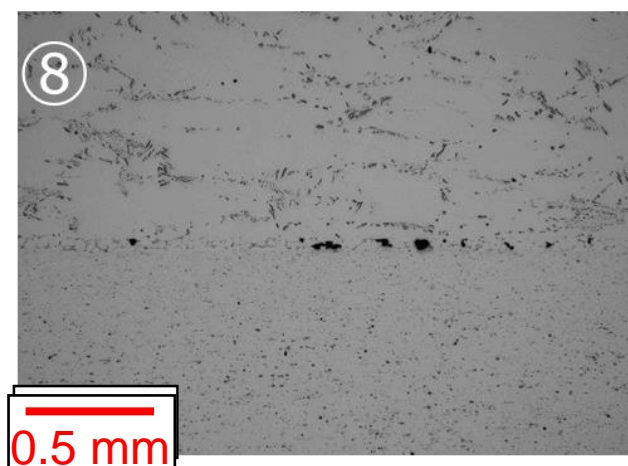
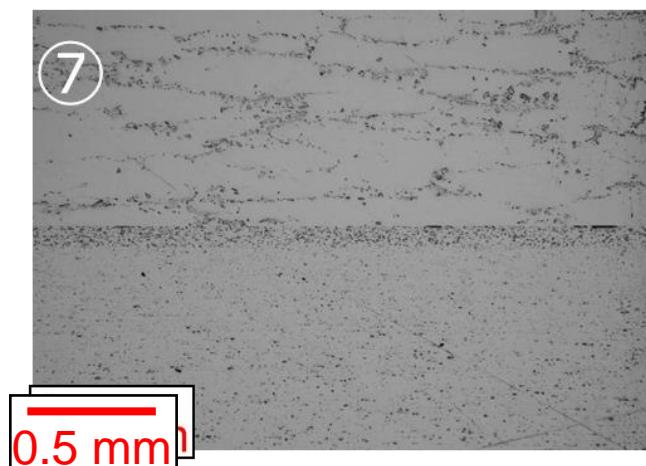
600°C到達

600°C\_5分

スペーサー  
0.2 mm

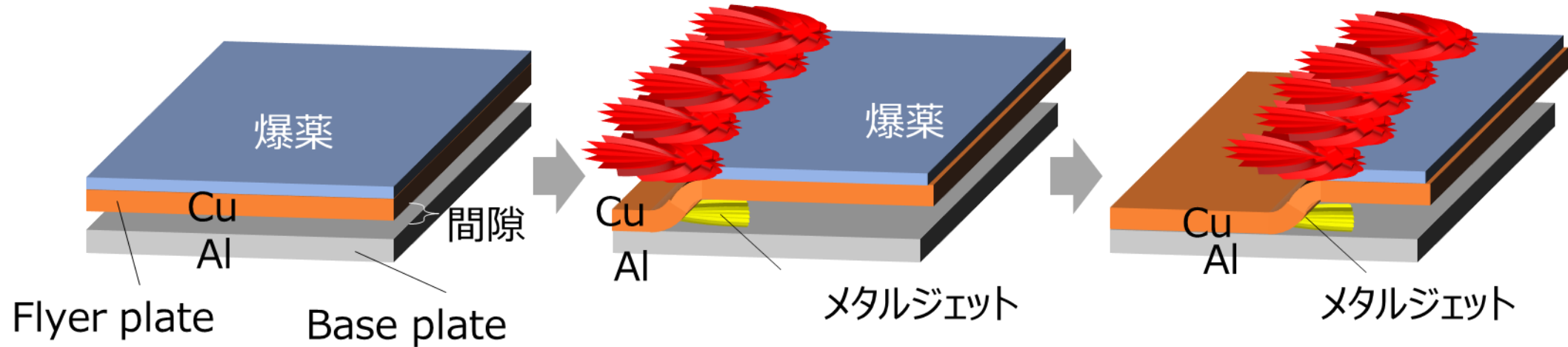


スペーサー  
0.2 mm  
+  
加圧



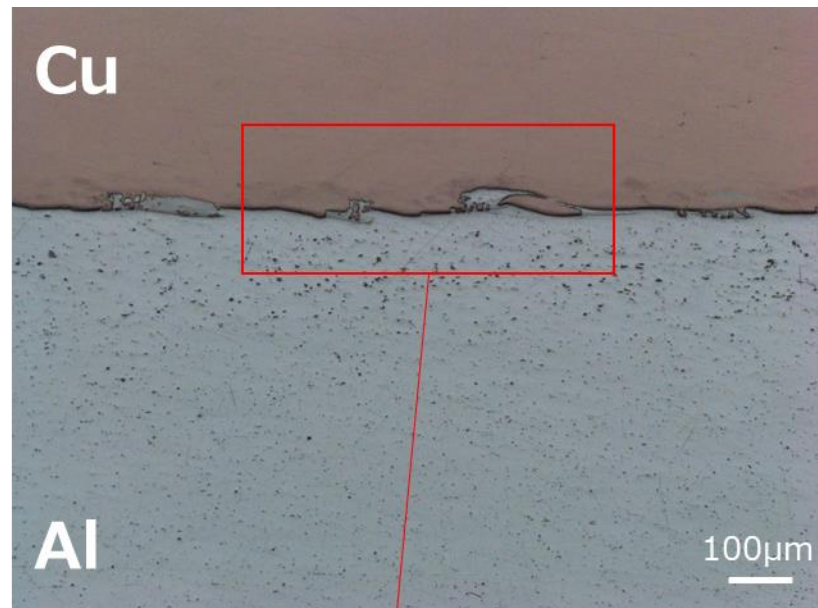
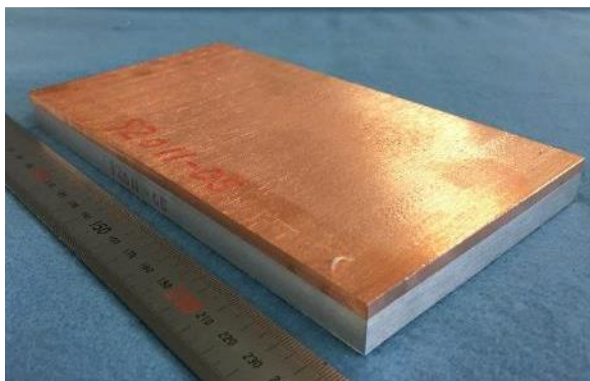
	利点	課題
圧延接合	<ul style="list-style-type: none"><li>大量生産可能</li><li>アルミ同士では雰囲気制御が不要</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>母材が変形する</li><li>素材種類</li></ul>
ろう付	<ul style="list-style-type: none"><li>母材の変形が少なく寸法精度が高い</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>雰囲気制御が必要</li><li>加熱処理による素材軟化</li></ul>
爆発圧着	<ul style="list-style-type: none"><li>短時間での接合が可能</li><li>熱影響領域が少ない</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>音や振動、火花などの安全性の配慮</li><li>予測困難な変形の可能性</li></ul>
拡散接合	<ul style="list-style-type: none"><li>異材質接合も比較的容易</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>接合時間が長い傾向</li><li>雰囲気制御が必要</li></ul>





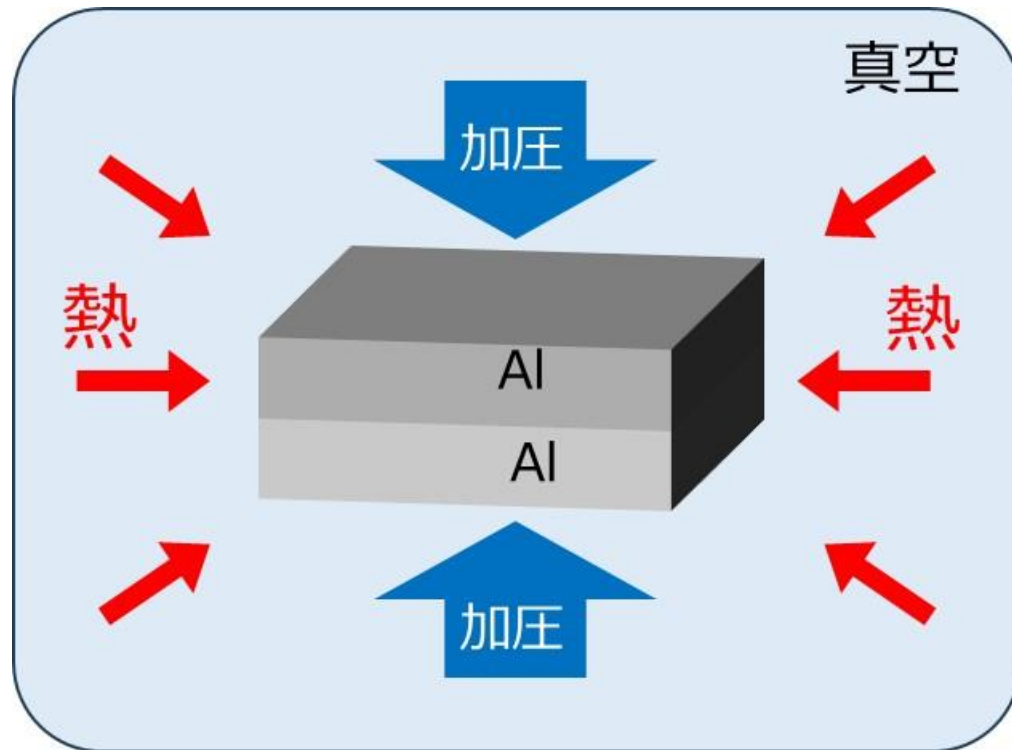
- ① 表面の準備・・・接合する金属の表面を清掃して、不純物や酸化物を除去する。これにより、接合の品質を向上させる。
- ② サンプルの配置・・・接合するFlyer plateとBase plateに間に間隙を設け、Flyer Plateの上に爆薬を配置する。爆薬は均等に配置され、爆発後に金属同士が密着できるようにする。
- ③ 爆発の誘発・・・着火や電気信号などの方法で爆薬端部を誘爆させ、高速（約1000~2000m/s）で爆発を引き起こす。
- ④ 接合・・・Base plateへのFlyer plateの高速度衝突によってメタルジェットが発生し、接合体表面の酸化被膜や不純物が除去され、表面が清浄化される。同時に、高速の衝撃波が金属片同士を圧縮し、これにより金属間結合が実現し、接合される。

アルミ・・・A1050  
銅・・・C1020



波状界面

化合物



## 温度：

一般的に600℃以上の高温が必要とされる。高温下でアルミニウム原子が拡散して接合を行う。

## 圧力：

拡散接合では、高い圧力がかけられて接合部が密着し、原子間の拡散を促進される。数MPaから十数MPaの圧力がかけられることが一般的である。

## 保持時間：

高温と高圧の下での拡散を安定化させるためには、適切な保持時間が重要である。十分な保持時間を確保して原子の拡散を促進させる。

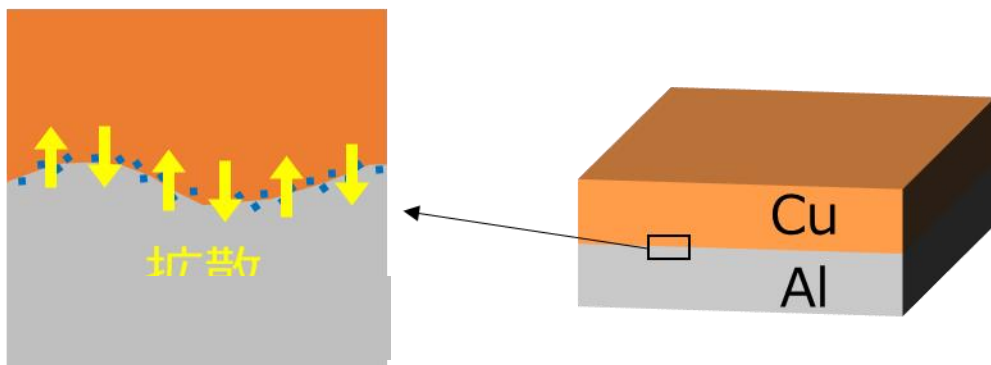
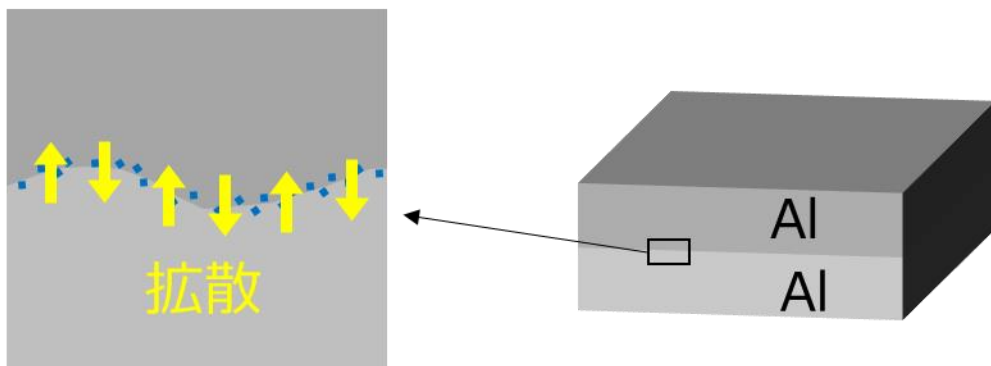
## 清浄度：

接合面の清浄度が非常に重要である。酸化皮膜や汚れなどの除去を適切に行い、清浄な接合面を確保する。

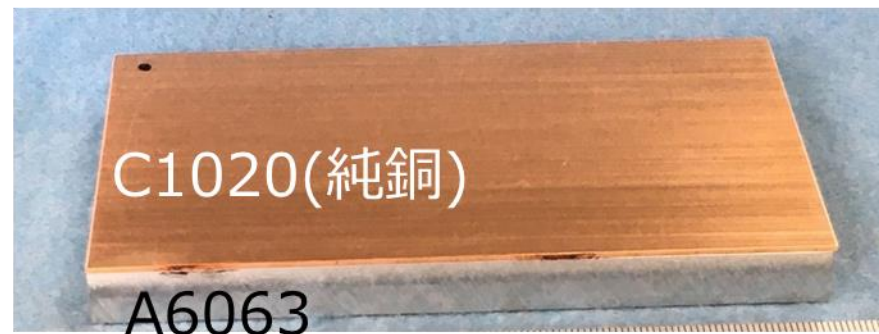
## 材料選択：

アルミニウム合金の種類や成分によって、適切な拡散接合条件が異なる。

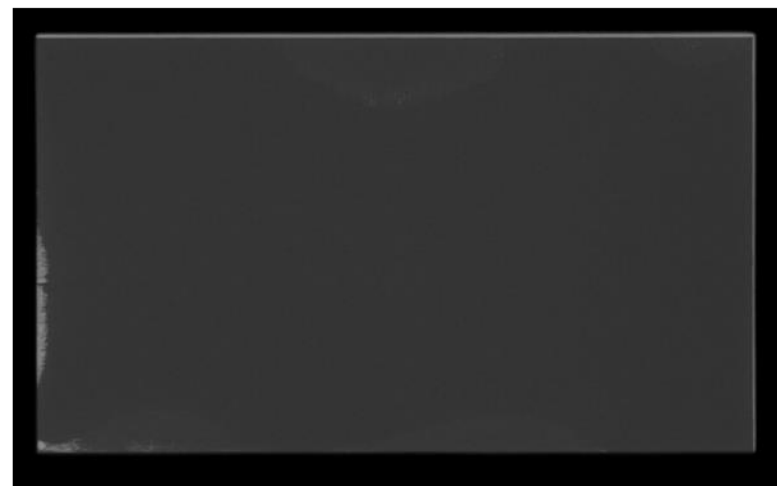
接合雰囲気、接合時間、加圧力が重要  
(真空) (10時間) (30MPa)



接合体の外観



接合界面の超音波探傷画像



接合界面には欠陥はほぼ観察されない

圧延接合、ろう付、爆発圧着、拡散接合の各技術は、それぞれ異なる特長と利点を持ち、適応可能な場面が異なる。

- **圧延接合**は高強度を持ち、大量生産が可能で特定の産業において広く利用される。
- **ろう付**は美しい仕上がりと高い接合強度を持つため、見た目が重要な製品や部品の接合に適している。
- **爆発圧着**は短時間で接合が可能であり、特に異種金属の接合に適している。安全性や扱いの専門性が求められる技術である。
- **拡散接合**は高い強度と耐久性を提供し、特別な環境での使用に耐える技術である。

これらの接合技術の選択は、各プロジェクトの要求に応じた最適な方法を考える上で重要であり、適切な選択をすることで、理想的な製品性能や耐久性を実現できると考える。