

難接合材を接合可能にする 固相抵抗スポット接合法

大阪大学 接合科学研究所
教授 藤井 英俊

2021年5月28日

従来技術とその問題点

従来の抵抗スポット溶接では、材料を溶融させるため、炭素量の多い鋼では割れが発生し、接合が困難であった。また、高強度鋼板の接合の際には、水素割れの問題も発生した。

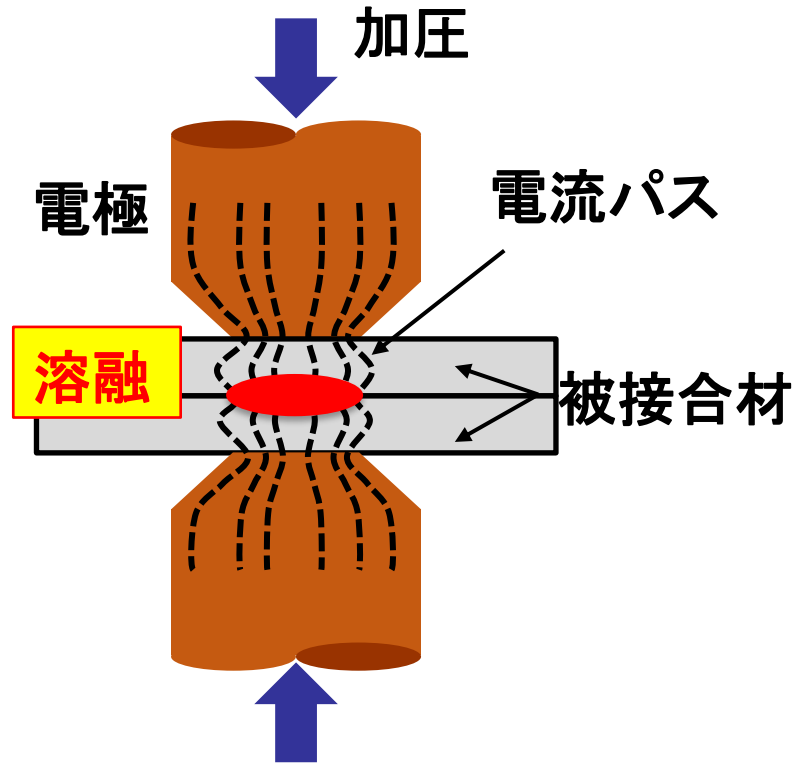
本手法では、固体で接合するため、このような問題は生じない。また、線形摩擦接合等と異なり、薄板の重ね接合に適用可能である。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 印加圧力により接合温度を制御する。**700°C (A₁点)以下**で接合できるため、固相はもちろん、**無変態**で接合可能。
- したがって、炭素量の多い鉄鋼材料やAl合金等を、**硬化も、軟化もなく**接合できる。**薄板の重ね接合**にも用いることができるのが特徴。
- 硬度の**特異点が存在しない**。
- およそ**1秒**で接合が完了する。

抵抗スポット溶接

被溶接材を銅電極で加圧し大電流を流し抵抗発熱をさせ、被溶接材間に溶融部を形成させて溶接を行う



変態を伴わないA₁点温度以下で接合

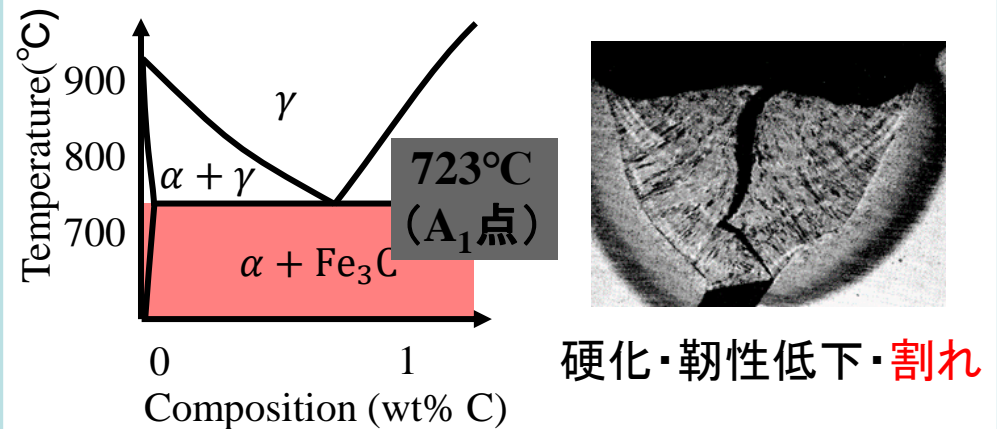
中・高炭素鋼板

炭素量の増加

容易に高強度化を実現

0.2mass%C以上の炭素鋼の溶接における問題

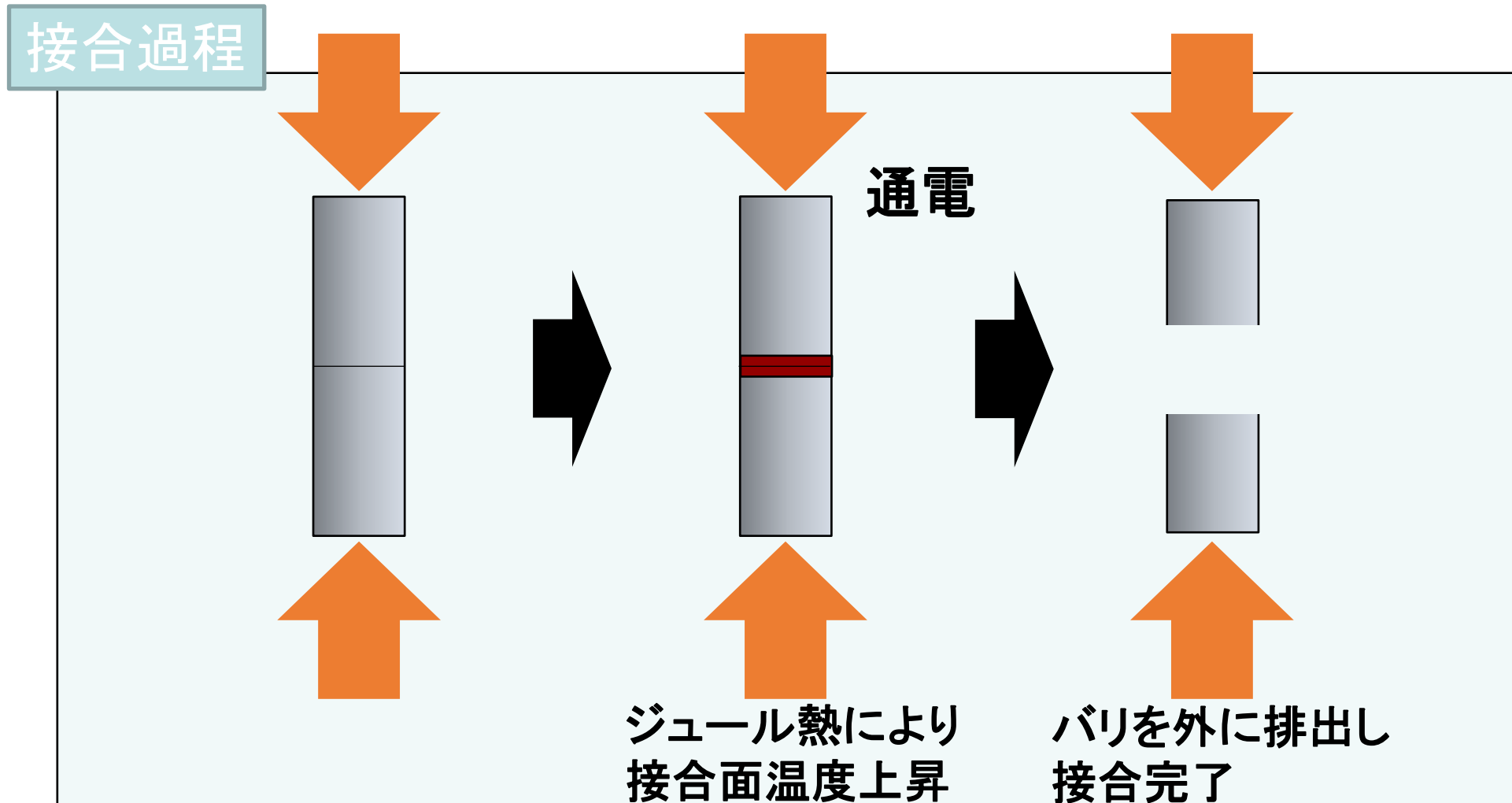
冷却時にマルテンサイト形成
硬化・靱性低下・割れ



溶接が困難

大荷重通電圧接法（阪大独自技術）

被接合材の端部を突き合わせ、加圧を付与しながら通電することで得られる界面でのジュール熱による発熱を熱源とした接合方法



✓ 高圧力を付与することにより、接合温度を A_1 点 (723°C) 以下に低下

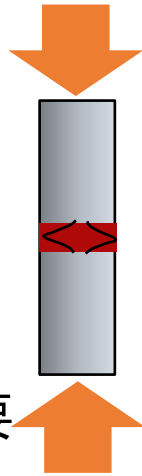
接合温度低下の原理

接合機構

圧力をかけて界面を変形させ
バリを排出させることで接合

↓ 接合温度を低下させる

界面変形が低温にて発生が必要

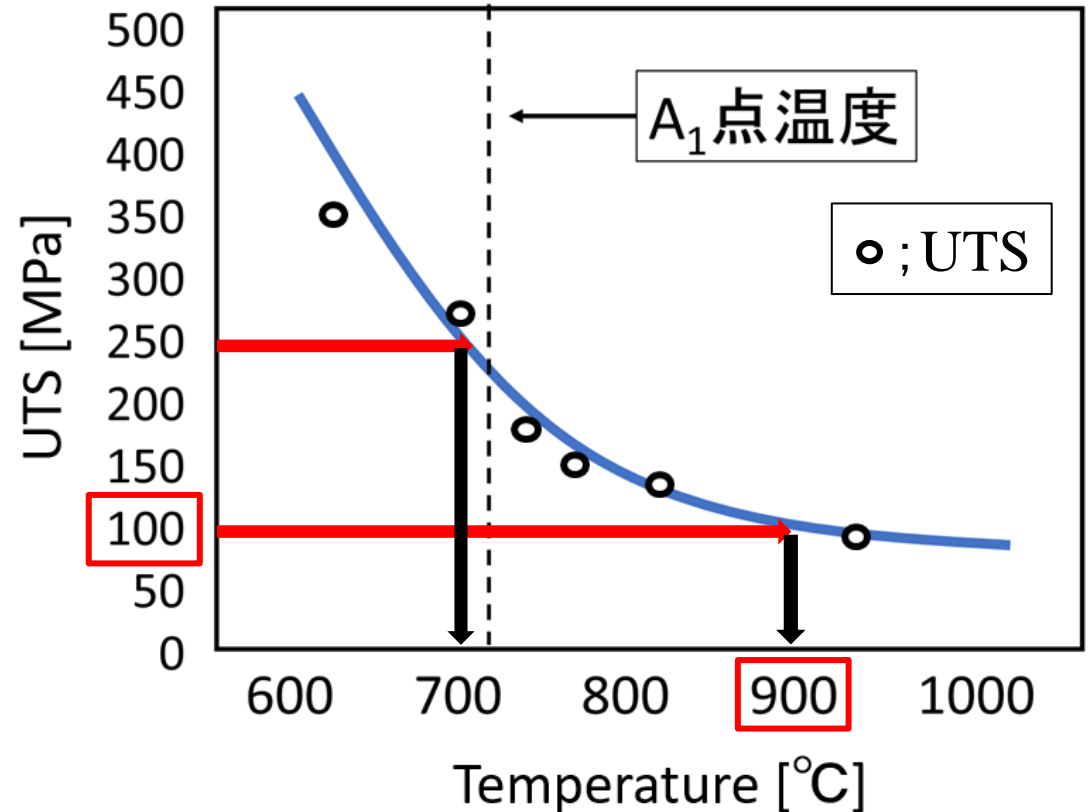


温度依存性の関係

高圧力を付与することにより、低温で変形

↓ 高圧力を付与しながら通電

低温の状態では界面の変形がはじまり、
低温で接合が達成できる。



中炭素鋼S45Cにおける強度 の温度依存性

高圧力を付与することにより、接合温度が低下

新技術の特徴・従来技術との比較

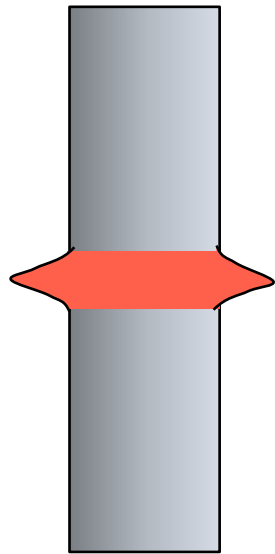
高圧力（大荷重） → 低温

- 印加圧力により接合温度を制御する。**700°C**（**A₁点**）以下で接合できるため、固相はもちろん、**無変態**で接合可能。

新技術(平板での固相スポット接合)

先行技術

棒材での接合のみ



新技術

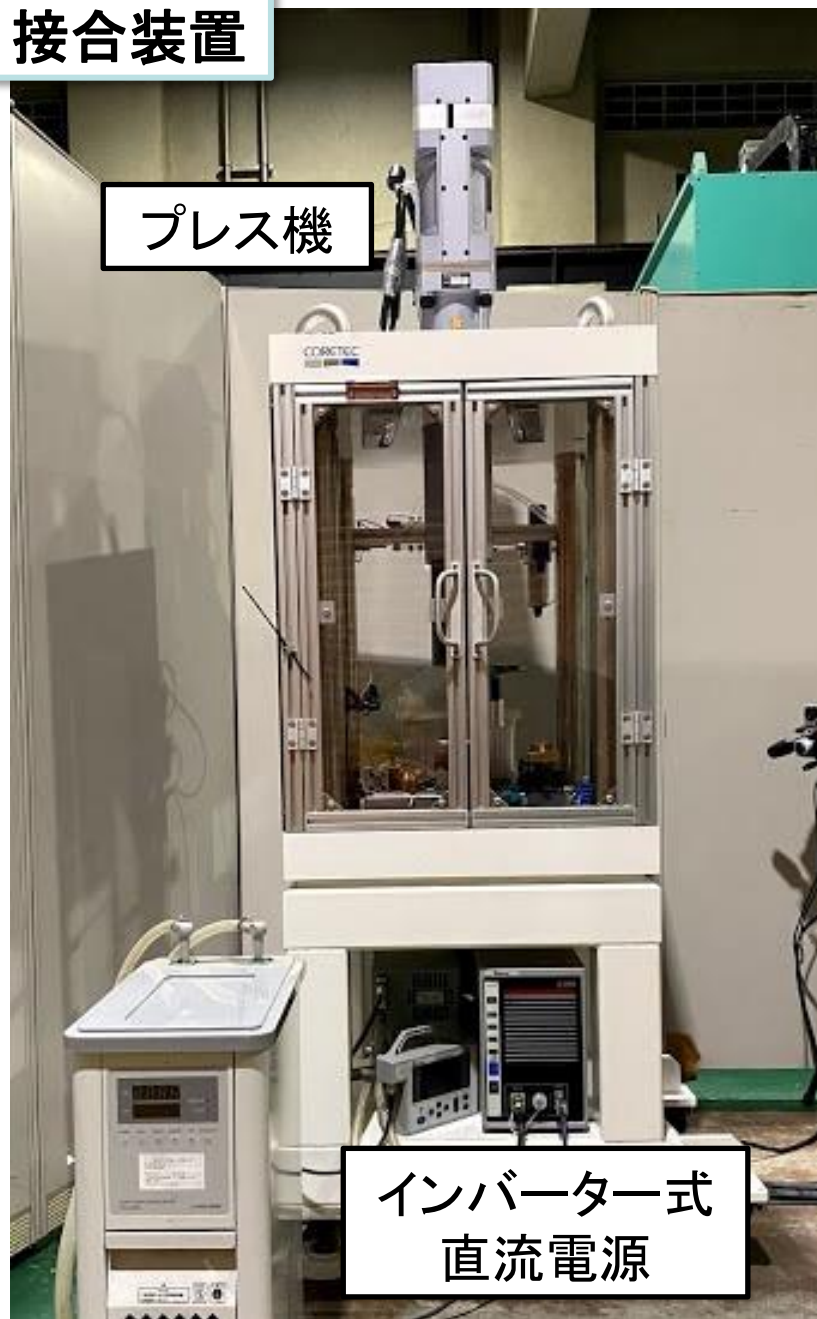
平板での固相スポット接合



加圧力制御により、スポット接合において A_1 点温度 (723°C) 以下での接合を可能とする新たな接合法を開発する。

新規接合装置 & 実験

接合装置



プレス機

インバーター式
直流電源

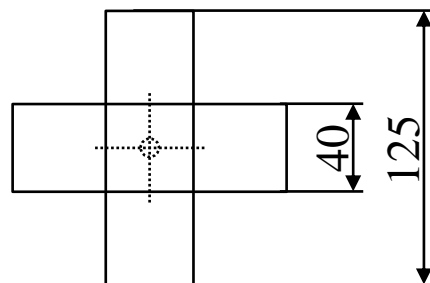
供試材

材料 : 中炭素鋼 S45C

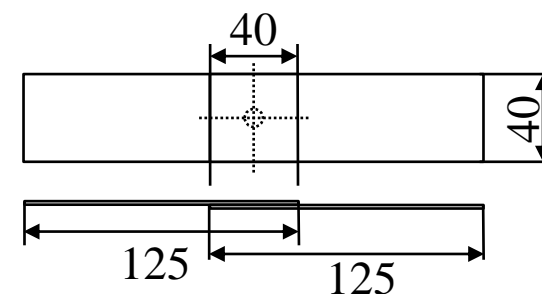
寸法 : 40mm × 125mm × 厚さ1.6mm

組成詳細	成分 (mass%)				
鋼種	C	Si	Mn	P	S
S45C	0.48	0.21	0.73	0.22	0.12

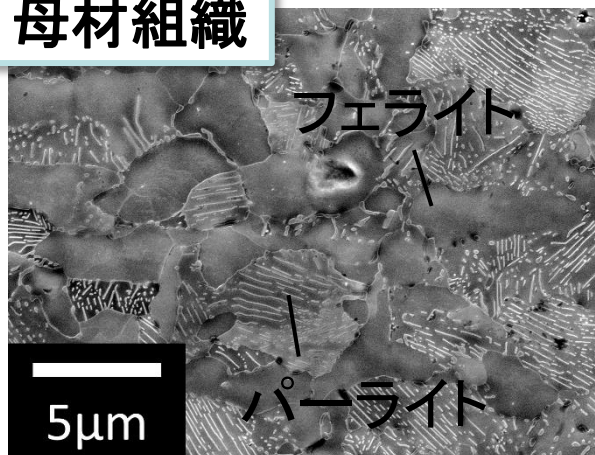
組織観察用試験片



せん断引張試験用試験片



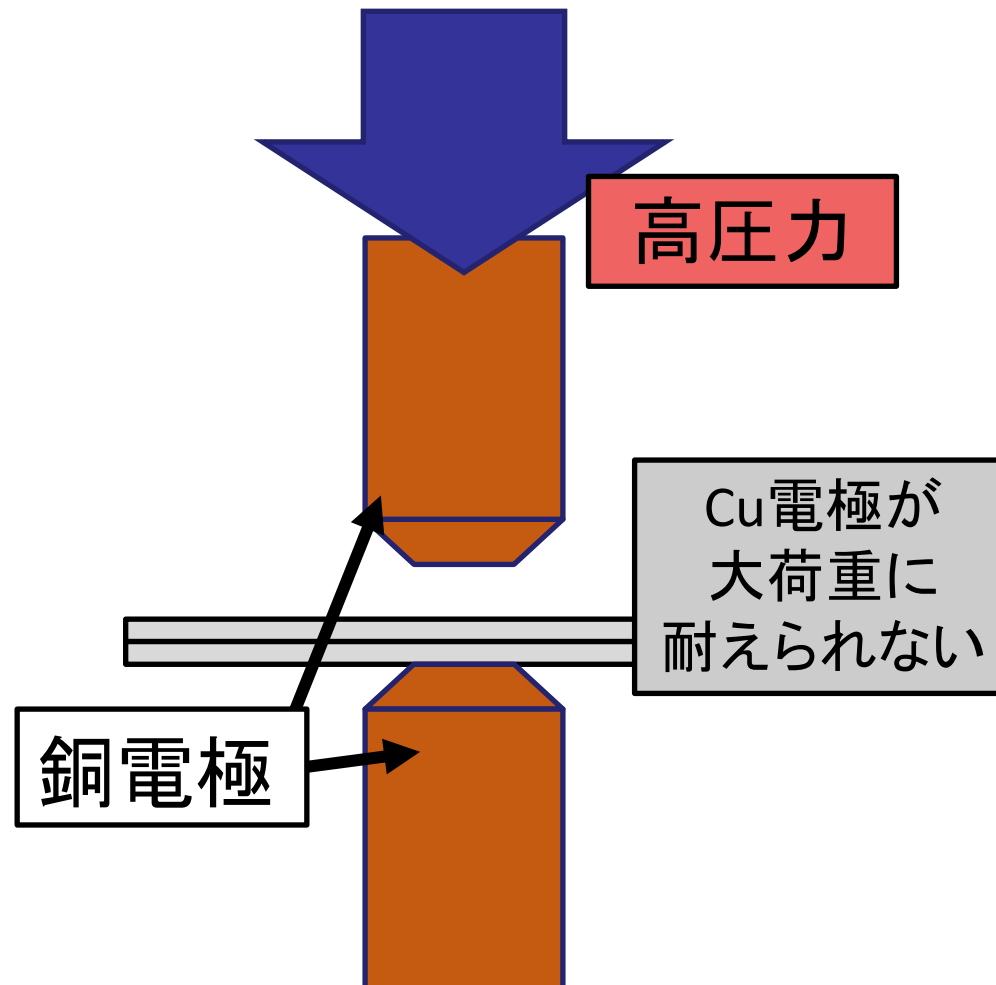
母材組織



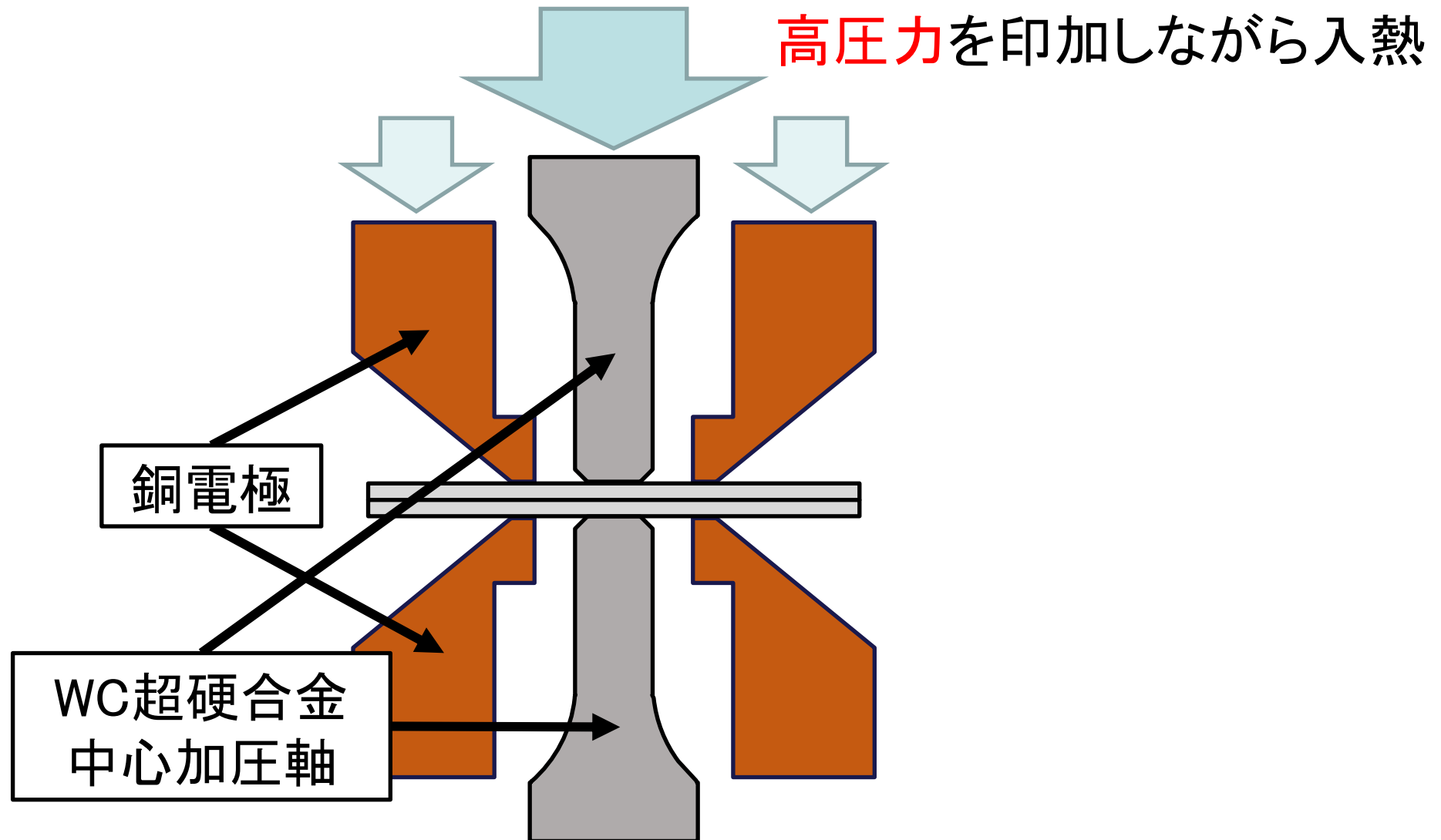
評価方法

- ・光学顕微鏡
- ・FE-SEM
- ・ビッカース硬さ試験
- ・せん断引張試験

従来方法： 抵抗スポット溶接



新技術： 固相抵抗スポット接合法

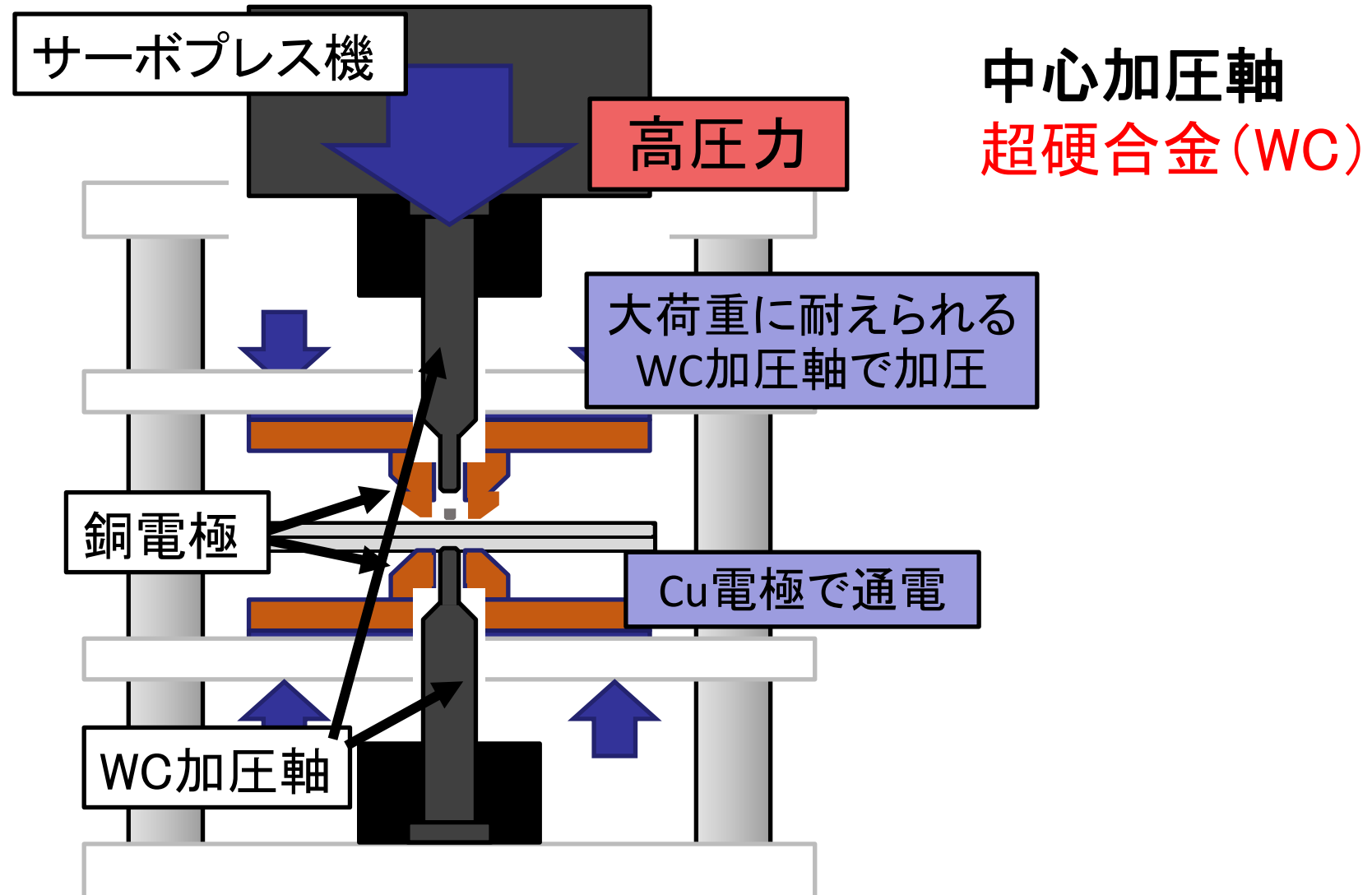


二重電極構造とすることで高圧力の印加と通電の両立を実現

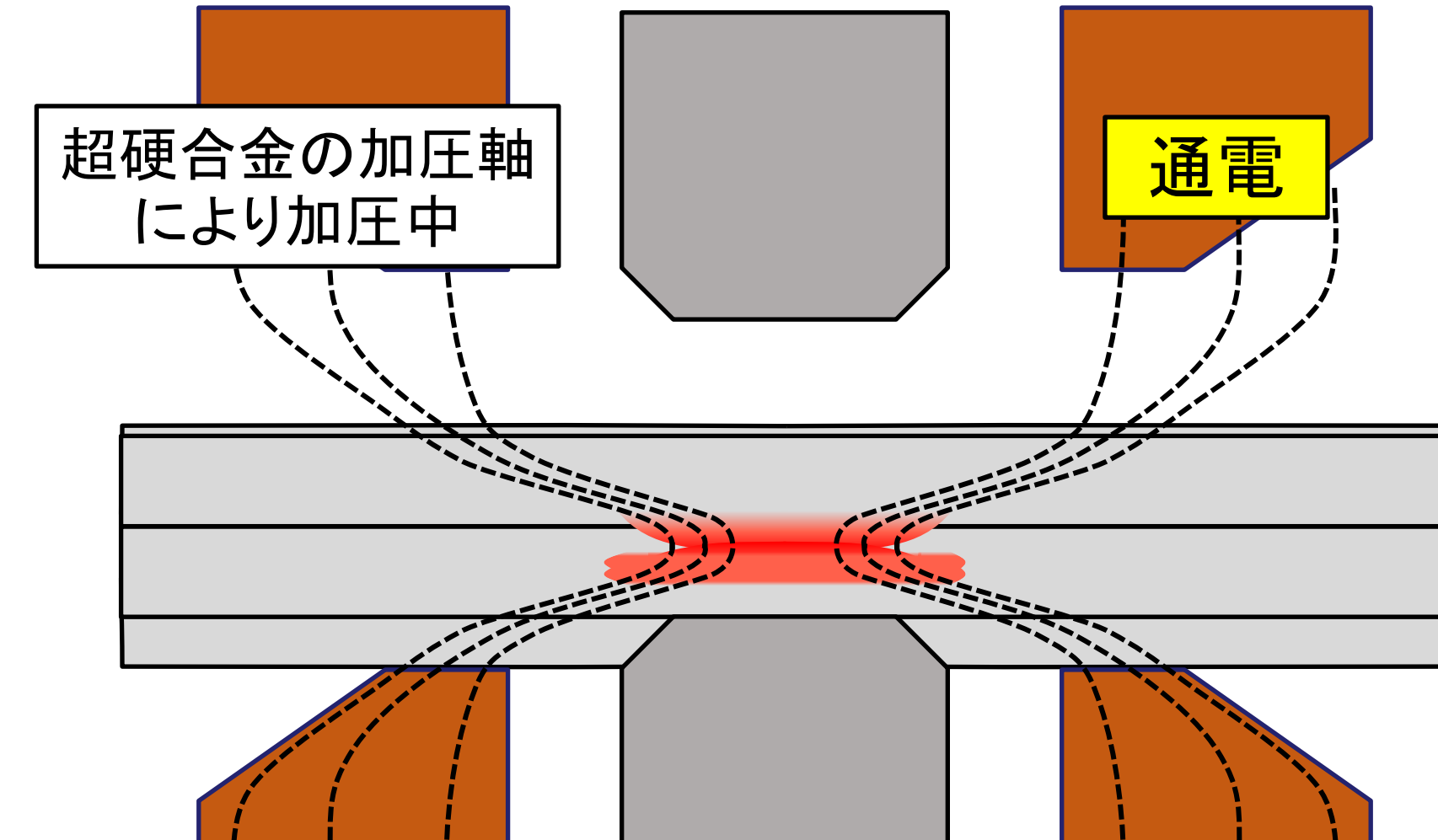
新技術の特徴・従来技術との比較

- 薄板の重ね接合
- 硬度の特異点が存在しない。
- およそ1秒で接合が完了する。

二重電極構造



固相抵抗スポット接合法



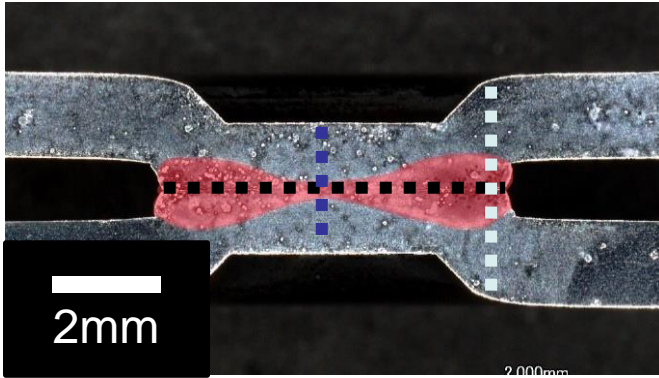
高圧力を印加することにより、
接合温度をA₁点(723°C)以下に低下

高圧力(大荷重) →

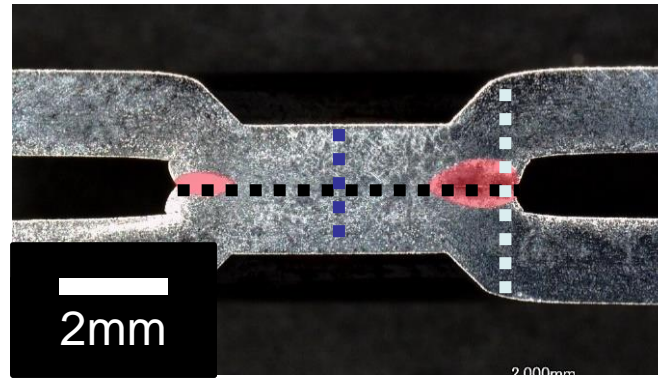
低温

2000A

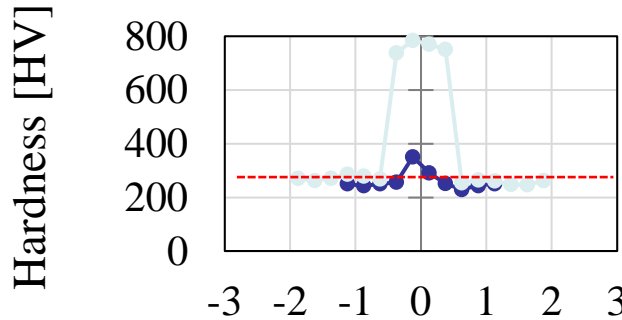
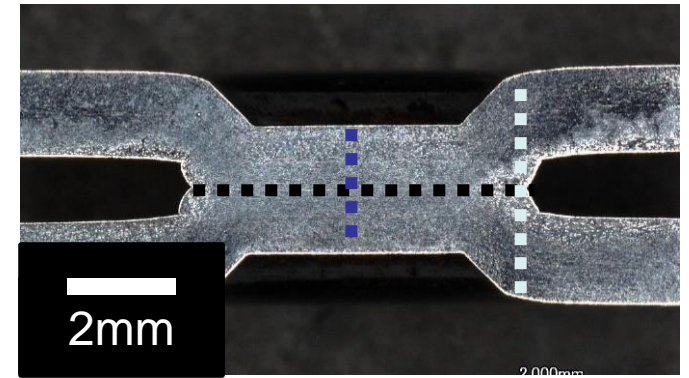
荷重8kN



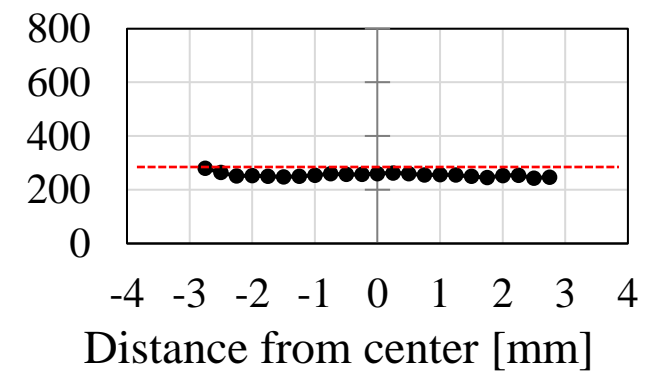
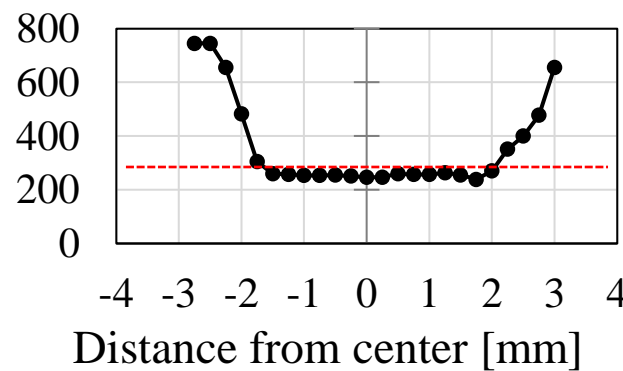
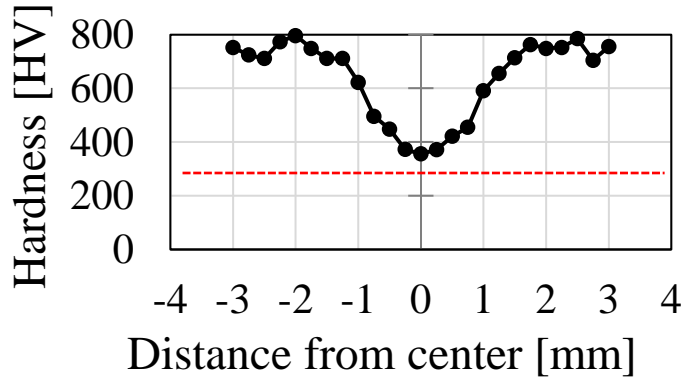
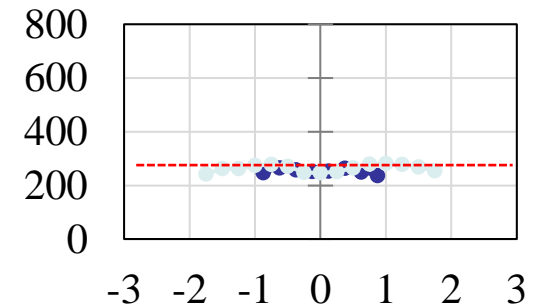
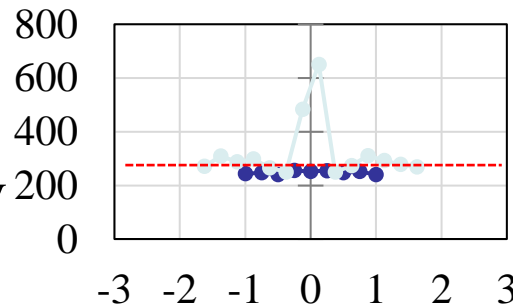
荷重10kN



荷重12kN



BM
250HV



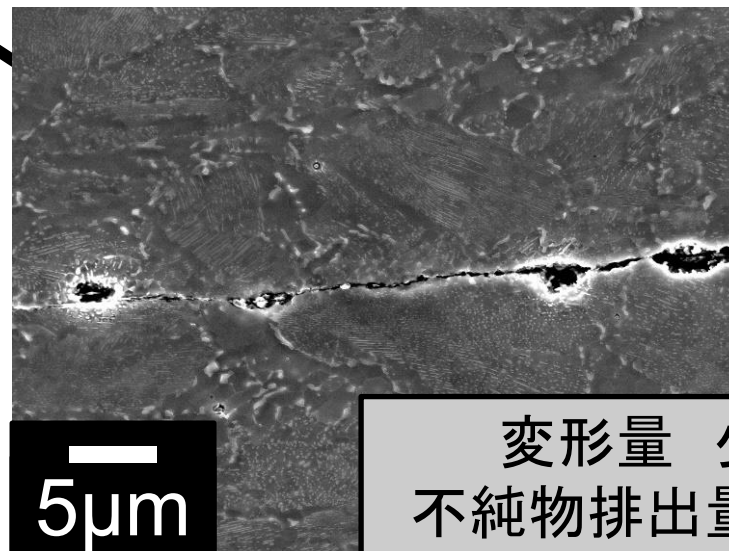
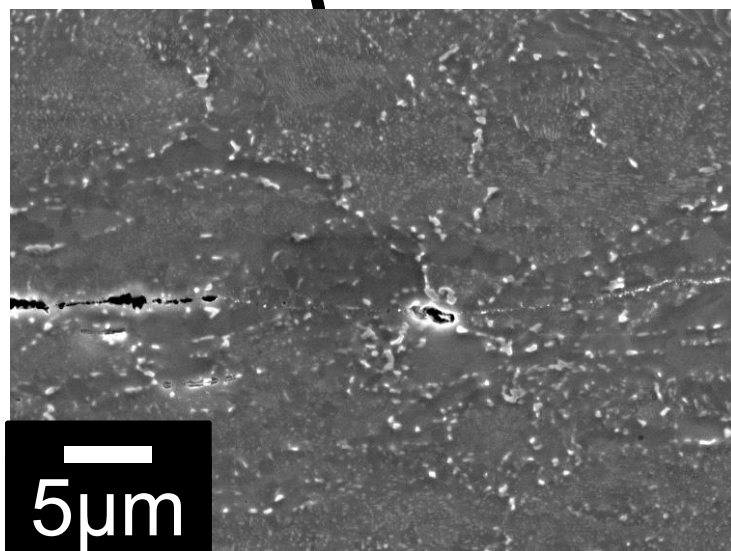
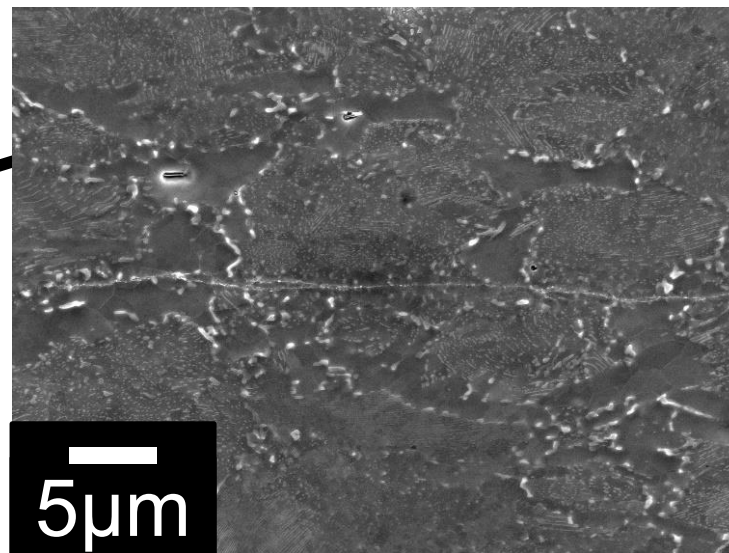
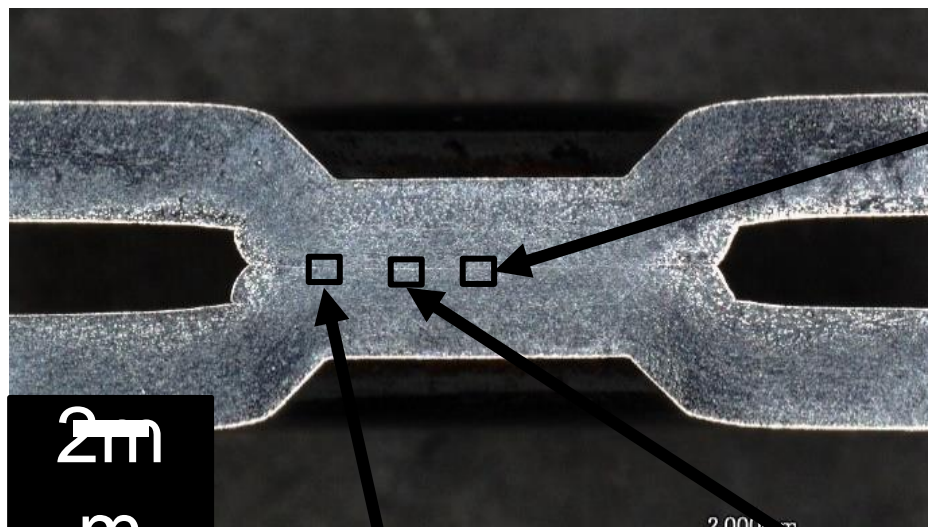
引張せん断強さ: 4.7kN
界面破断

引張せん断強さ: 5.4kN
界面破断

引張せん断強さ: 7.6kN
界面破断

界面近傍の組織

12kN-2000A

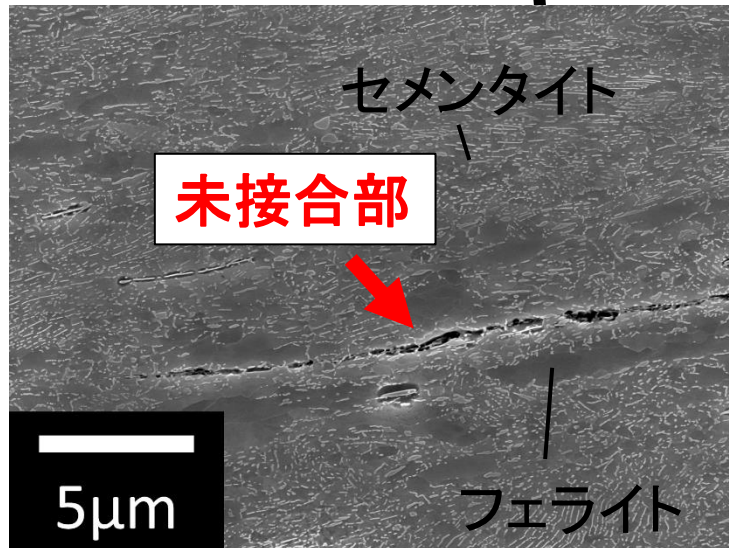
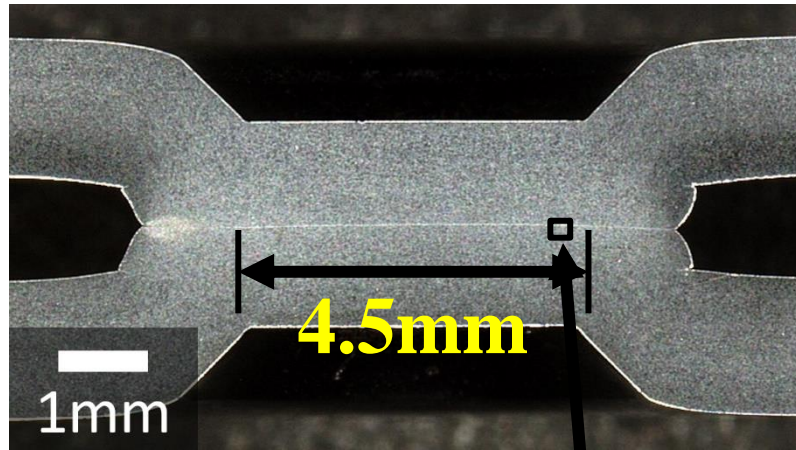


変形量 少
不純物排出量 少

未接合部が存在

加圧軸形状の影響

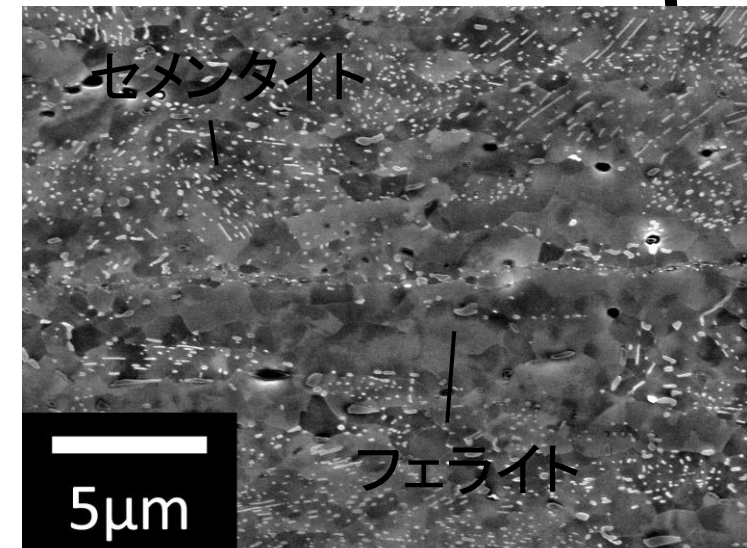
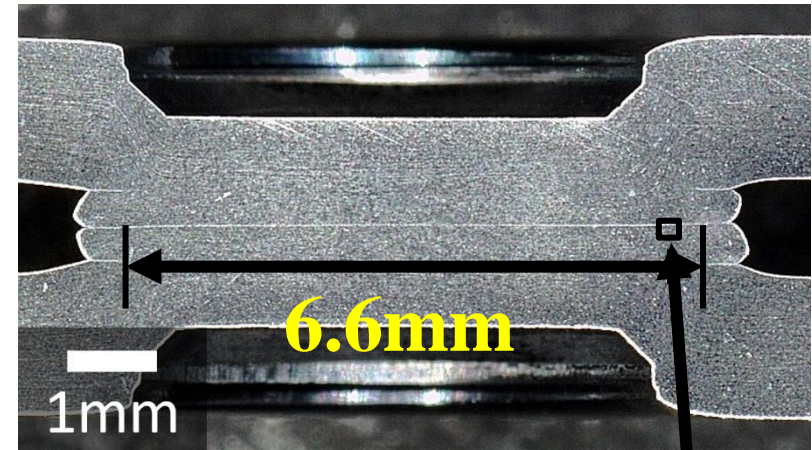
加圧軸形状① 12 kN (360 MPa)



未接合領域 9 %

せん断引張強さ: 7.6 kN 界面破断

加圧軸形状② 18 kN (360 MPa)



未接合領域 1 %

せん断引張強さ: 9.8 kN 界面破断

加圧軸形状を最適化することで未接合部が大幅に減少。強度も向上

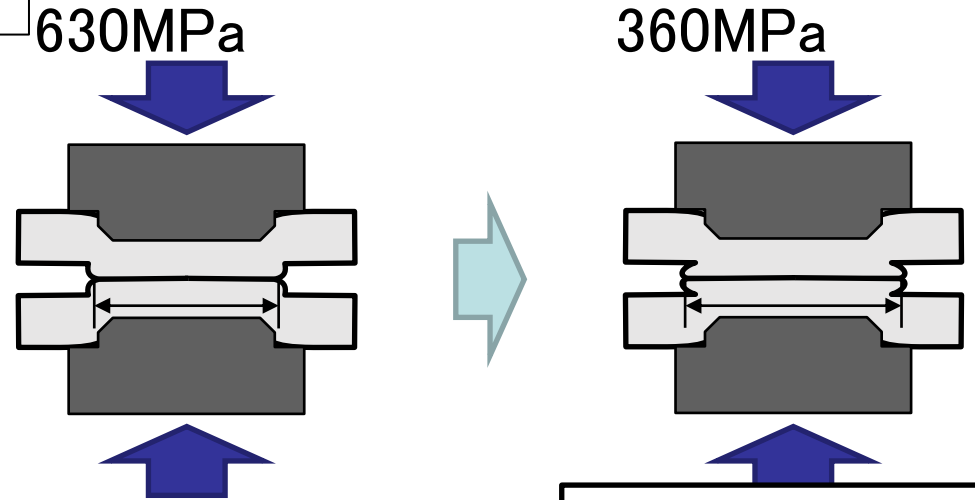
圧力一定加圧

荷重一定 18 kN 630MPa → 360MPa

変形に伴い接合界面の面積が増加

↓ 圧力が低下

加圧による変形が停止



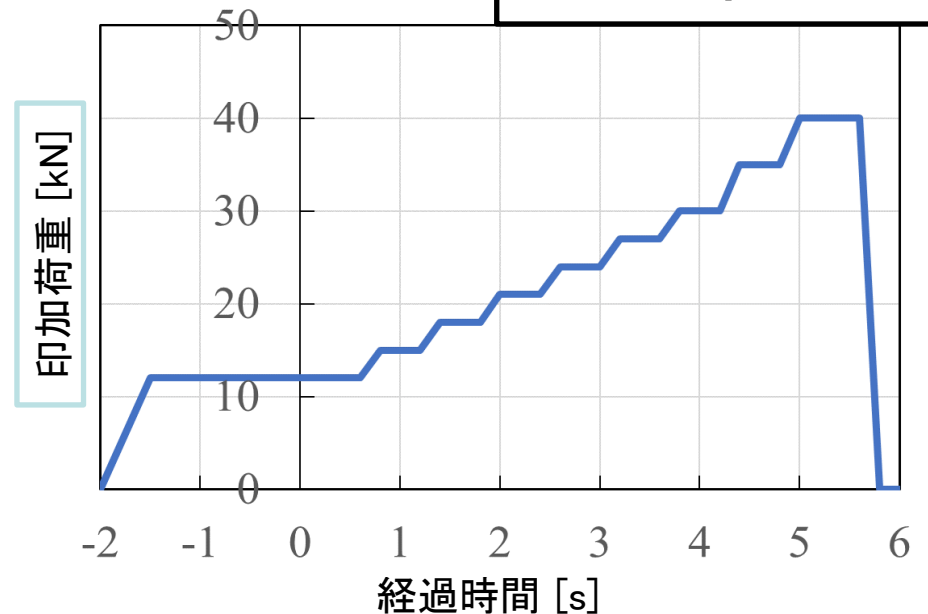
界面の面積
が増加

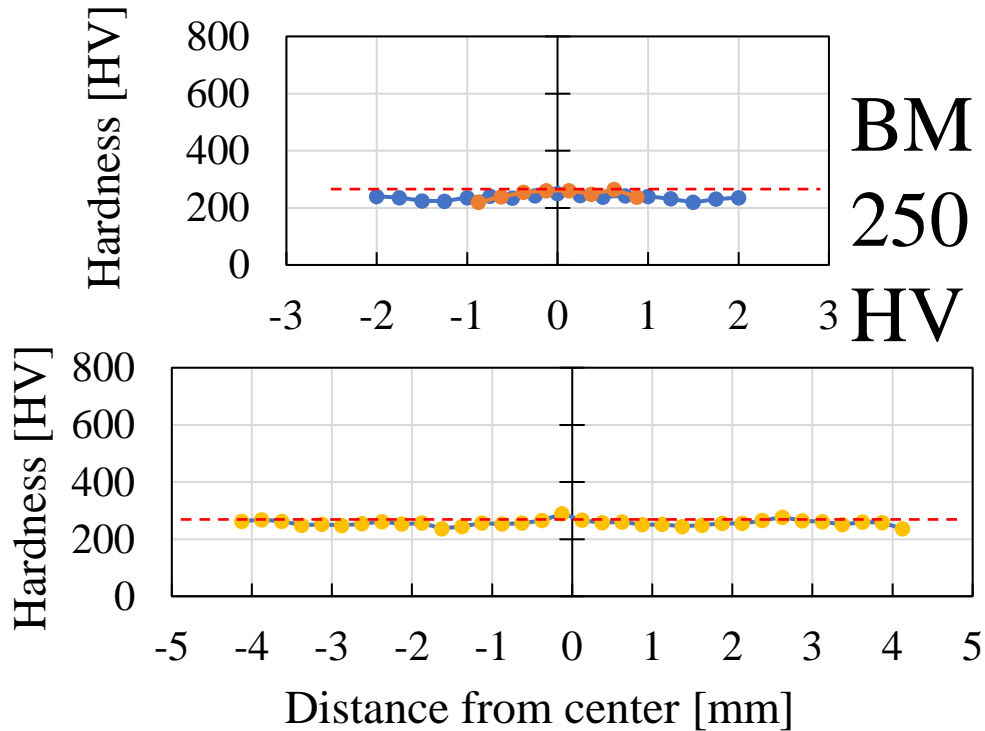
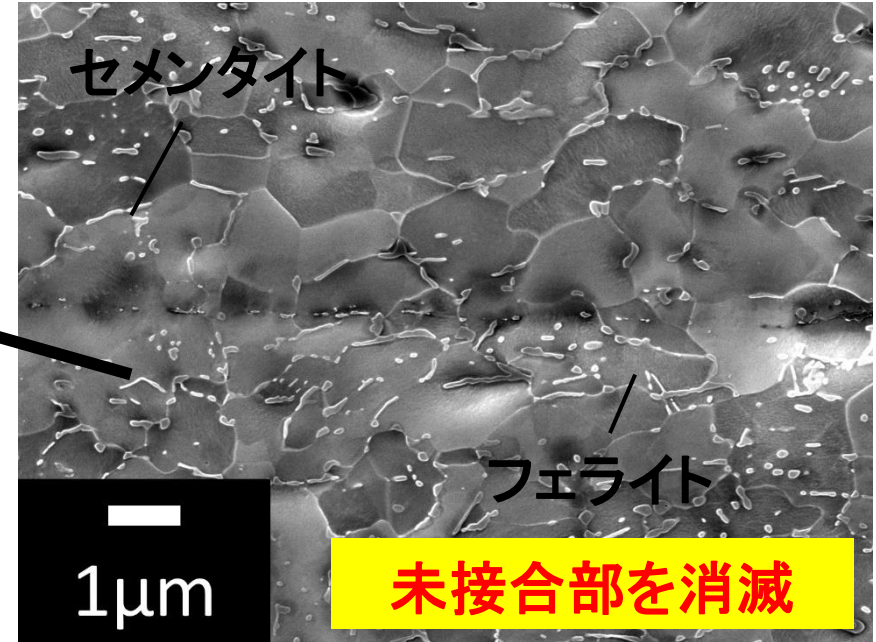
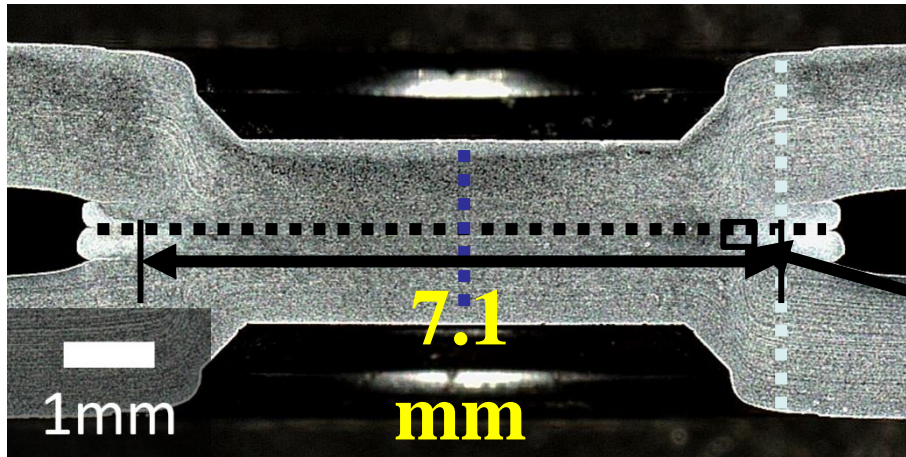
圧力一定 450MPa

荷重一定条件では、変形に伴い
印加圧力が低下。押し込みが困難

↓ 多段階の荷重変化

圧力を一定に制御





せん断引張強度: 14.9kN プラグ破断

圧力一定加圧とすることで未接合部が消滅し、接合強度が大幅に向上した。

結 言

- A_1 点温度(723 °C)以下で高強度の接合を達成する、**無変態固相抵抗スポット接合法**の開発に成功した。
- 印加圧力を増加させることで接合温度を低下させ、中炭素鋼S45C材において、**マルテンサイト組織のない**接合継手を得ることに成功した。
- 荷重一定加圧から、**圧力一定加圧**とすることで良好な界面が得られ、**せん断引張強度14.9 kNでプラグ破断**示す**高強度**な継手を得ることができた。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 炭素量の多い鉄鋼材料やAl合金等を、硬化も軟化もなく接合できる。
- 硬度の特異点が存在しない。
- およそ1秒で接合が完了する。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 鉄鋼材料を700°C (A_1) 以下の温度で、無変態で接合可能、材料の種類を問わない
- Al合金の抵抗スポット接合も、HAZ軟化ナシで簡単に達成
- 1秒で接合が可能

想定される用途

ほぼあらゆる組み合わせで接合可能

- 鋼—鋼
- Al合金—Al合金
- 異種接合（鋼—Al合金など）
 - 自動車車体、部材
 - 鉄道車両車体
 - Al合金部材

実用化に向けた課題

- 装置(実機)開発
- 接合時間の短縮化
- AI合金の接合
- 異種材料の接合

企業への期待

- 装置（実機）開発
- 自動車車体や鉄道車両の接合を行う企業との共同研究を希望
- 新規産業分野の接合技術に関するニーズを探索

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 固相点接合方法及び
固相点接合装置
- 出願番号 : PCT/JP2021/009182
(特願2020-043958)
- 出願人 : 大阪大学
- 発明者 : 藤井英俊、森貞好昭、
釜井正善、相原 巧

産学連携の経歴(任意)

- 2010年-2015年 JST産学共創基盤基礎研究プログラム「摩擦攪拌現象を用いたインプロセス組織制御によるマクロヘテロ構造体化技術の確立」
- 2015年 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)
- 2016年 ISO25239 JIS原案作成委員会委員長(摩擦攪拌接合)
- 2019年～ JST未来社会創造事業「難接合材料を逆活用した接合／分離統合技術の確立」
- その他 企業との共同研究多数

お問い合わせ先(必須)

大阪大学

接合科学研究所 菅 哲男

TEL 06-6879-8647

FAX 06-6879-8647

e-mail suga@jwri.osaka-u.ac.jp