

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「鋼材の摩擦攪拌接合を実現する革新的高安定・高効率装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者： 関東経済産業局

委託先： 国立大学法人大阪大学

## 目次

### 第1章 研究開発の概要

#### 1-1 研究開発の概要

#### 1-2 研究体制

##### (1)-1) 研究組織(全体)

##### (1)-2) 管理体制

##### (2) 管理員及び研究員

##### (3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

#### 1-3 成果概要

#### 1-4 プロジェクト連絡窓口

### 第2章 本論

#### 2-1 ハイパワー高周波出力熱源の開発

#### 2-2 摩擦攪拌接合装置と加熱コイル

#### 2-3 接合条件

#### 2-4 低炭素鋼 SN490B の接合可能範囲

#### 2-5 組織観察

#### 2-6 継手の機械的特性

#### 2-7 まとめ

### 第3章 全体総括

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

摩擦攪拌接合は、図1-1に示すように100~3000rpm程度の高速で回転するφ15程度のツールと呼ばれる工具を材料中に押し当て、界面に沿って移動させることにより、材料を接合する方法である。固相の状態では材料を接合し、回転ツールで塑性流動を引き起こしながら接合部を攪拌するため、素材中に大きなひずみを導入することが可能で、結晶粒が大幅に微細化され、高強度の接合体が得られる。一方で、残留ひずみも小さく、平らな接合表面が得られるなど、多くの優れた特長を持つことから、Al合金に関してはこの10数年の間に国内外で急速に実用化が進み、例えば700系のぞみやプリウス等の自動車で実用例が報告されているところである。

しかしながら、現状では適用範囲はAl合金に限られている。鋼などの高融点材料を接合する場合には、それより高強度の材料をツールとして選定しなければならず、ツールの耐久性、寿命等が課題となっている。一方で、構造物の多くは鉄鋼材料からなり、高い継手特性の得られる摩擦攪拌接合を鉄鋼材料に適用したいというニーズは極めて多くの産業分野に存在するとともに、下記のように、本接合法を適用することによって改善できる川下製造業者の抱える課題（ニーズ）は多数存在する。

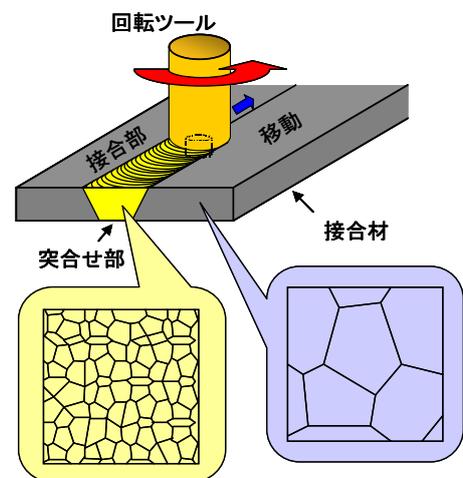


図1-1 摩擦攪拌接合の概念

- (1) 自動車に関する事項
  - イ. 衝突安全性の向上
  - ウ. 溶接品質及び信頼性の向上
  - エ. 製造コスト削減及び短納期化
  - オ. 低ヒューム化等作業環境の向上
- (2) 建設機械に関する事項
  - イ. 溶接品質及び信頼性の向上
  - ウ. 製造コスト削減及び短納期化
  - エ. 自動溶接化の推進
  - オ. 低ヒューム化等作業環境改善
- (3) 発電、工業用等プラントに関する事項

- ア. 製品の使用条件の高温化、極低温下、高圧下等高性能化ニーズへの対応
  - エ. 安全性及び信頼性の確保
  - オ. 低ヒューム化等作業環境の向上
- (4) 鉄道・船舶・鉄鋼構造物・橋梁等に関する事項
- ウ. 長期供用性の確保及び向上
  - エ. 製造プロセスの効率化等による製造コスト削減及び短納期化
  - カ. 低ヒューム化等作業環境の向上
- (5) 航空・宇宙に関する事項
- ア. アルミニウム、チタン等の特殊合金溶接部の信頼性の向上
  - イ. 薄板化に伴う薄板構造部材の溶接部の信頼性の向上
  - ウ. 新材料（複合材採用等）の接合技術開発と接合部の信頼性の向上

一方、高度化目標としては、以下の項目を挙げられる。

- (1) 自動車に関する事項
- ア. 機械的特性の向上（高強度化、長寿命化等）
  - イ. 難接合材（極薄板、高張力鋼、高合金鋼、異種材料、差厚材料等）の溶接技術の向上
  - ウ. 溶接精度の向上（溶接歪低減）
- (2) 建設機械に関する事項
- ア. 機械的特性の向上（高強度化、高疲労強度化等）
  - イ. 溶接精度の向上（溶接歪低減）
  - ウ. 部品加工工数削減のための溶接技術の向上（低スパッタ化、補修レス化、高溶着溶接化、狭開先化、高エネルギー密度熱源活用溶接利用化等）
  - オ. 低ヒューム化等作業環境の向上
- (3) 発電、工業用プラントに関する事項
- ア. 機械的特性の向上（高強度化、高靱性化、耐クリープ特性向上等）
  - カ. 溶接補修及び施工技術の向上
- (4) 鉄道・船舶・鉄鋼構造物・橋梁等に関する事項
- ア. 機械的特性の向上（極厚化、高強度化、高靱性化等）
  - イ. 溶接精度の向上（溶接歪低減）
  - ウ. 部品加工工数削減のための溶接技術の向上（低スパッタ化、補修レス化、高溶着・高能率溶接化、高エネルギー密度熱源活用溶接利用化等）
  - オ. 低ヒューム化等作業環境の向上
- (5) 航空・宇宙に関する事項

- ア. 特殊合金溶接部に対する高信頼性溶接方法・溶材・非破壊検査技術の確立
- イ. 薄板構造部材の溶接部に対する高信頼性溶接方法・非破壊検査技術の確立
- ウ. 新材料に対する高信頼性溶接・接合技術・非破壊検査技術の確立

上記の高度化目標を達成するには、摩擦攪拌接合が極めて有効であることが良く知られており、アルミニウム合金においては、ほとんどの項目で達成されている。例えば、歪みを導入しながら、固相で接合する摩擦攪拌接合では、結晶粒が微細化され、母材よりも高強度化されることもしばしばある。接合温度が低いため溶接歪みが小さく、アーークが発生しないため、ヒューム、スパッタ等も発生しない。また、上述のように継手は高品質で補修レスである。さらに、本手法により、120 キロ級の高張力鋼や高窒素鋼が摩擦攪拌接合が可能であることはすでに報告されており、異種材料においても、非常に有効であることが示されている。

また、本手法は良好な微細構造が得られることから、補修や組織改質にも有効であるとされている。原子炉の補修や次期航空機の組み立てを目指して、薄板Ti合金の摩擦攪拌接合に関しては、経済産業省や文部科学省のプロジェクトが進行中である。

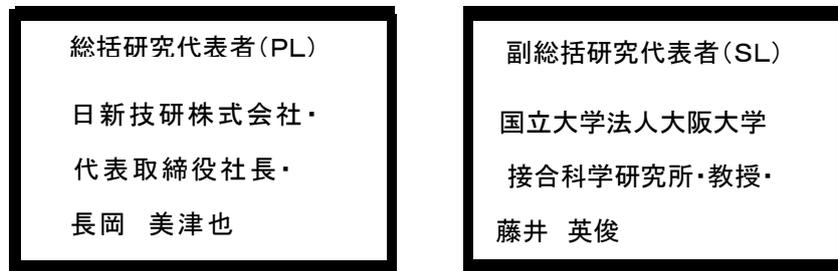
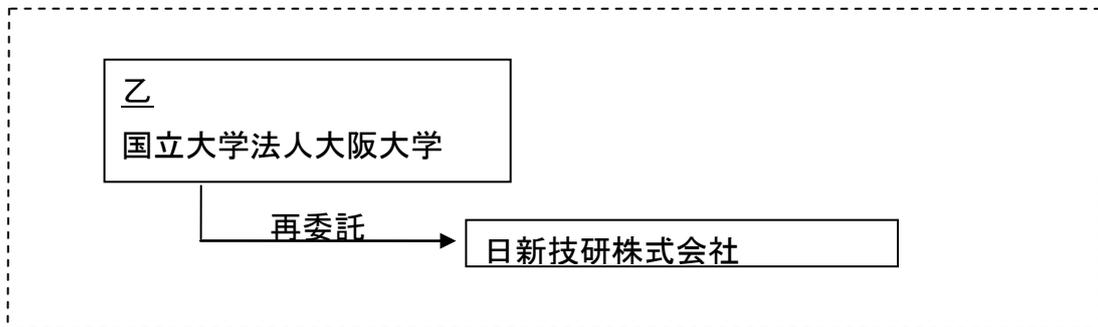
一方で、鉄鋼材料の摩擦攪拌接合に関しては、いくつかの材料で接合可能という報告がなされ始めてきたところであり、主にツールの耐久性、寿命がネックとなり、実用化に至っていない。外部熱源との併用は、摩擦攪拌接合の組織を維持したまま、ツールへの負荷を低減する手法として注目されているが、外部熱源そのものが高価である上、ツールも加熱してしまう可能性があること、また、より高度な安全対策が必要である点が課題である。

そこで、本研究開発では、統括研究代表者等が、長年にわたって培ってきたコイルを用いた高周波加熱技術を用いて、これを補助熱源として捉え、摩擦攪拌接合と組み合わせる新接合技術を開発し、接合技術としては画期的な母材の機械的特性を超える継手を鉄鋼材料に対して作製する。回転ツールの加熱を抑制し、被接合材の軟化のみを誘発する補助加熱を併用することにより回転ツールに対する負荷を低減し、厚さ15mmまでの鋼材の接合可能にする。また、スポット摩擦攪拌接合の技術開発および1電源で操業可能な電源の開発を行う。

## 1-2. 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

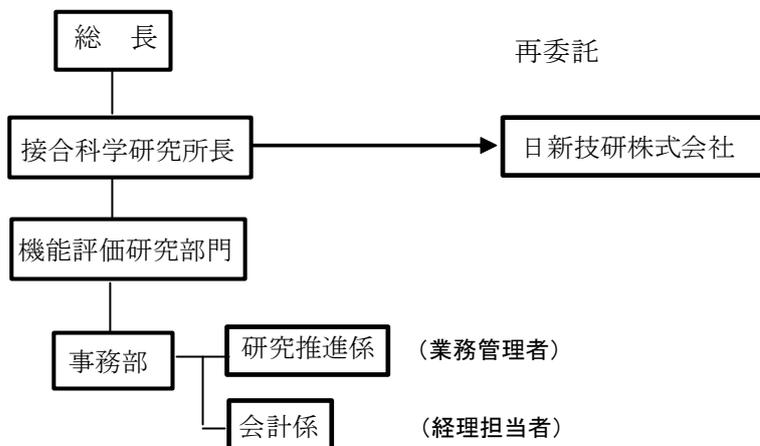
#### 1) 研究組織(全体)



#### 2) 管理体制

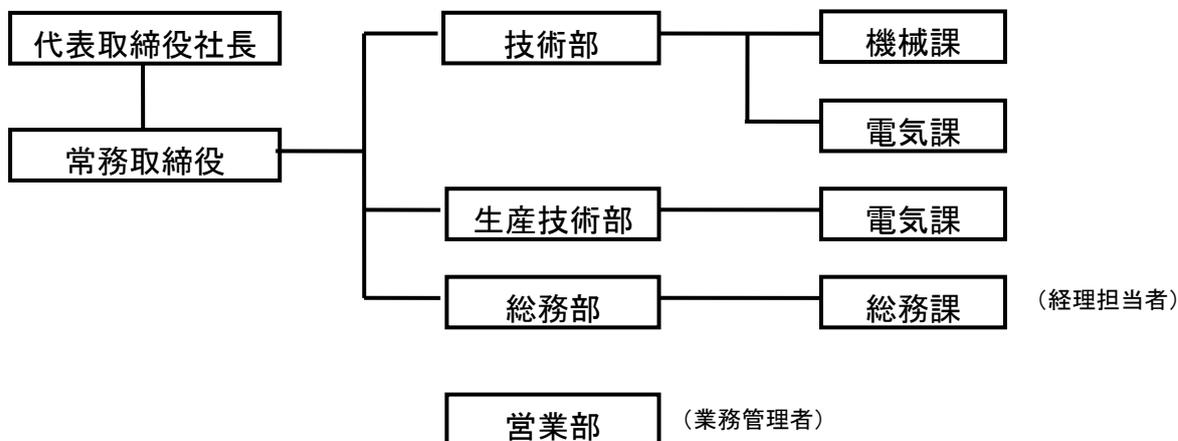
##### ① 事業管理者

[国立大学法人大阪大学接合科学研究所]



②（再委託先）

日新技研株式会社



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 国立大学法人大阪大学

① 管理員

中田 一博	接合科学研究所・所長
佐々木 信隆	接合科学研究所・事務長
東堤 忠勝	接合科学研究所・事務部・研究推進係・係長

② 研究員

藤井 英俊	接合科学研究所・教授
森貞 好昭	接合科学研究所・助教
前田 将克	接合科学研究所・助教

【再委託先】

日新技研株式会社

長岡 美津也	代表取締役社長
田崎 潤	常務取締役
比佐 吉宏	技術部 機械課 課長
土屋 良平	技術部 電気課 主任
上遠野康義	生産技術部 電気課 課長

桑原 慎弥            生産技術部 電気課 研究員  
岸本 剛             生産技術部 電気課 研究員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名  
(事業管理者)

国立大学法人大阪大学接合科学研究所

(経理担当者)	接合科学研究所会計係主任	中村 清志
(業務管理者)	接合科学研究所研究推進係係長	東堤 忠勝

(再委託先)

日新技研株式会社

(経理担当者)	総務課長	平澤 辰也
(業務管理者)	営業部	谷路 正広

1-3 成果概要

① 高安定・高効率スポット摩擦攪拌接合装置の開発と最適施工条件の決定（実施：日新技研株式会社、国立大学法人大阪大学）

最大2mm程度の薄板を重ね接合することを対象とし、ツール回転速度、突っ込み速度、保持時間等をパラメータとして施工条件の最適化を行った。加熱効率を最重視した「渦巻きコイル+粉末コア」の開発し、2秒程度で2mm厚のSS400鋼材を約800℃に赤熱させることが可能となった。また、コイル駆動システムも同時に開発し、赤熱後にスポットFSWができるシステムを構築するとともに、欠陥のない継手を作製するための接合パラメータの探索を行い、効率のよいスポット接合技術を確立した。

得られた継手の引張剪断試験及びSEM、TEM、EBSPによる組織の解析の結果をもとに、接合条件の最適化を行った。結晶粒の大きさ、方位解析、相の同定（マルテンサイトの有無）を微細組織構造・方位解析システムを用いて解析した。

(達成度：予定を上回る成果が得られた)

②摩擦攪拌接合用ハイパワー高周波出力熱源の開発と加熱条件の最適化（実施：日新技研株式会社、国立大学法人大阪大学）

出力切換器を用いて 20kHz 及び 100kHz のマッチングボックスを切り替え、周波数を変更することによって加熱する方式は複雑で装置の大型化に繋がるため、実用化の障害となり得る。そこで、マッチングボックス一台で、薄板から厚板までの幅広い板厚に対応できるシステムを構築した。

周波数は 100 kHz（50～100kHz）とし、加熱効率向上のために、テスラガウスメーターを用いて作製したコイルに取り付けのコアを含む磁束を測定し、より磁束が集中するコアを開発するとともに、電流プローブを用いて作製した加熱コイルの電流も測定し、加熱効率の向上を行った。

これまで鋼材の板厚に応じて変更していたマッチングボックスおよび電源を変更することなく 2～20mm すべての板厚に対応できるシステムを構築し、15mm の鋼材（S N 4 9 0 B）を無欠陥で接合することに成功した。

（達成度：予定を上回る成果が得られた）

1-4 プロジェクト連絡窓口

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘11番1号

国立大学法人大阪大学接合科学研究所

研究推進係 塩谷 崇

## 第2章 本論

### 2-1 ハイパワー高周波出力熱源の開発

従来は、厚板及び薄板のそれぞれの接合において、出力切換器を用いて 20kHz 及び 100kHz のマッチングボックスを切り替え、周波数を変更することによって加熱する方式を採用したため、図 2-1 に示すように、板厚に応じて整合器を切替える必要があり、設置スペースや切替え作業による時間のロス等生産性が悪いという問題点が存在した。この方式は複雑で装置の大型化に繋がるため、実用化の障害となり得る。

そこで、本研究では整合器一台で、薄板から厚板までの幅広い板厚に対応できるシステムの構築に取り組んだ。本年度の研究テーマとして、整合器内の構造によるインダクタンス低減に主眼を置いた新構想の整合器を開発し、100 kHz の整合器一台で 2~20mm の板厚の鋼材を加熱可能なシステムの開発を最終目標として掲げた。表 2-1 に示す加熱条件を想定して行った。

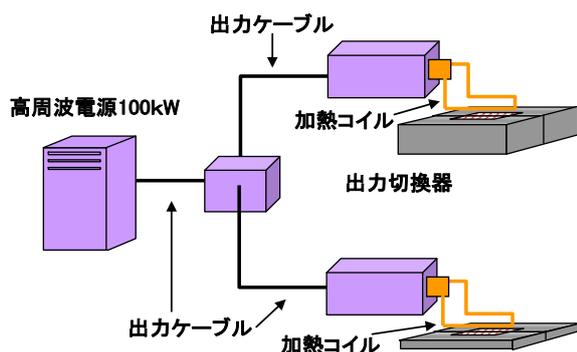


図2-1 従来の整合器

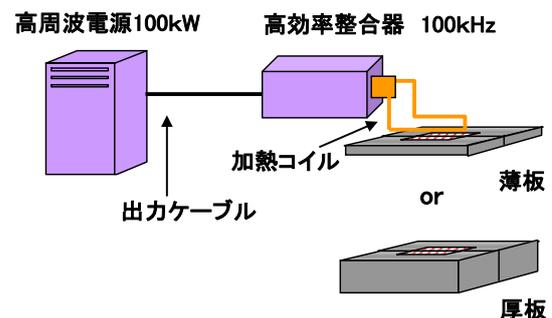


図 2 - 2 高効率整合器

表2-1 想定する高周波加熱条件

パラメータ	条件範囲
鋼板の厚さ	2mm~20mm
補助加熱必要電力	10kW~100kW
鋼板と加熱コイル間のギャップ	2mm~5mm
加熱時間	2S~連続
高周波電源周波数	100kHz

## 2-2 摩擦攪拌接合装置と加熱コイル

加熱コイルは、片側からのみで鋼材を十分に加熱できる仕様とした。図2-3に代表的なコイル形状を示す。また開発した整流器とコイルを用いて行った加熱実験の結果の一部を表2-2まとめて示す。これにより、板厚20mmまで2秒程度で赤熱させることが可能となったことがわかる。

図2-4に摩擦攪拌接合装置に高周波装置を設置した様子を示す。回転ツールの進行方向前方にコイルが設置される設計である。

表2-2 加熱条件と実験結果

高周波電源	50 kW
整流器	100 kHz (高効率整流器)
板厚	5mm
コイル、板厚間のギャップ	5mm
直流電流	150A
周波数	103.6 kHz
コイル電流	1822.7Arms
コイル電圧	233.3Vrms
赤熱時間	1秒89

高周波電源	50 kW
整流器	100 kHz (高効率整流器)
板厚	20mm
コイル、板厚間のギャップ	5mm
直流電流	150A
周波数	103 kHz
コイル電流	1786.4Arms
コイル電圧	229.8Vrms
赤熱時間	2秒36



図 2 - 3 加熱コイル（摩擦攪拌接合用）

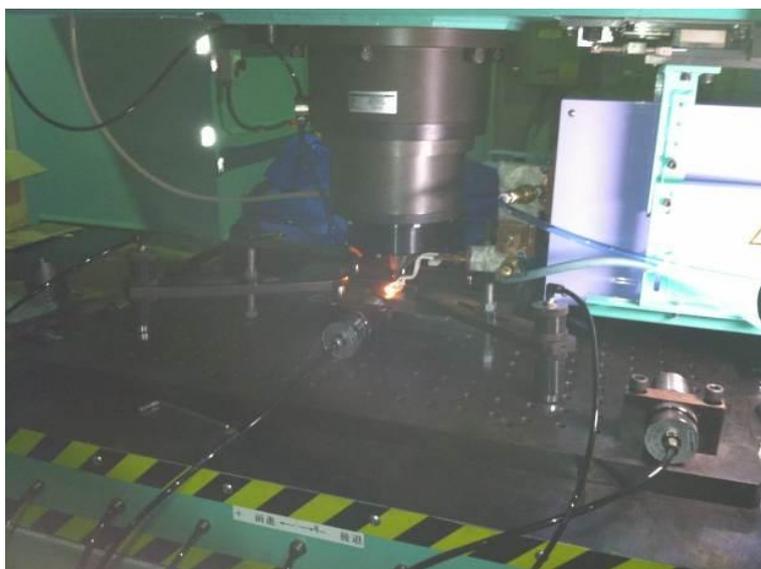


図 2 - 4 高周波数加熱電源と摩擦攪拌接合装置

### 2 - 3 接合条件

図 2 - 3 に示す 100KHz 用コイルを使用して接合実験を行った。本実験では加熱コイルを試料から約 5mm 上方に設置し、ツールからの距離は約 8mm に設定した。コイル電流は 500~1000A の範囲で変化させ、その影響を調査した。

供試材としては、低炭素鋼である SN490B を用いた。それぞれの化学組成を表 2 - 3 に示す。突き合わせ面はフライス盤を用いて酸化膜を除去するとともに面を整えた。また表裏面もグラインダにより酸化膜を除去した後に接合直前にアセトンで脱脂を行っ

た。接合に用いた試料の大きさは300mm<sup>(L)</sup>×50mm<sup>(W)</sup>×6mm<sup>(T)</sup>である。また、鉄鋼材料に対してFSWを行う場合には、大荷重を必要とするため、必要な治具を製作し固定を行った。接合ツールには、Ir合金を用いた。Ir合金材はPCBN材と同等にコストが高く、製造工程のためインゴットを製作することが難しいなど問題があるが、高温における酸化特性から、Ir合金材は重量の増減がほとんどなく、高温で使用する工具として期待できる。また、応力集中を避け、ツールの寿命を延ばすためにねじはきらず、プローブは棒状のものを使用した。本実験ではテーパツールを用いた。ショルダ径15mm、プローブ径(根本7mm先端5mm)、プローブ長5.8mmのものを使用した。

母材および攪拌部中央におけるビッカース硬さ試験を行ったWD面をエメリー紙No. 80からNo. 2000を用いて湿式研磨を施し、1μmのダイヤモンドパウダーで鏡面になるまでバフ研磨を行った。その後、微小部硬さ試験機(AkashiHM-124)を用いて、押し込み圧力980.7mN、保持時間15sの測定条件を設定し、中心部と上部、下部からそれぞれ0.1mm

表2-3 用いたSN490B板の化学組成 (Mass%)

	C	Si	Mn	P	S
SN490B	0.15	0.55	1.60	0.030	0.015

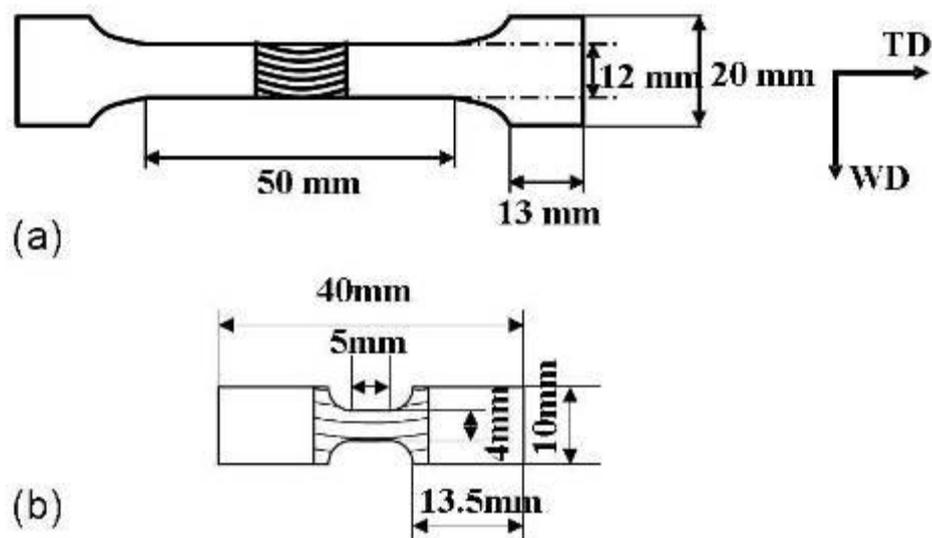


図2-5 引張試験の試験片形状

内部において測定を行った。圧痕間隔は 0.5mm とし、突合せ面から左右それぞれ 12.5mm の地点まで測定した。

母材および攪拌部を含むように、図 2-5 に示す JIS13 号定型引張試験片を作製した。また、図 2-5 (a) の試料が母材破断を起こす場合、接合部の強度を調べるために図 2-5 (b) のように試験片を製作して実験を行った。なお、試験片の切り出しには放電加工機 Brother 製 HS-300 を用いた。引張試験機 (Instron universal testing machine-5500R) を用いて、引張速度 1 mm/min で測定を行った。

#### 2-4 低炭素鋼 SN490B の接合可能範囲

低炭素鋼 SN490B の良好な摩擦攪拌接合継手を得るための接合可能条件範囲を調べた。ツールの形状はテーパツールとしてショルダ径 15mm、プローブ径 (根本 7mm、先端 5mm)、プローブ長 5.8mm とし、材質には高温強度、耐酸化性に優れた Ir-Re 合金を用いた。

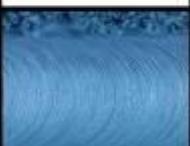
mm/min \	Normal FSW	High frequency FSW
100		
150		
200		
250		
300		

図2-6 継手の表面外観

**Rotation rate: 600rpm**

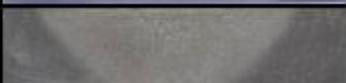
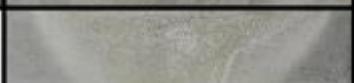
mm/min \	Normal FSW	High Frequency FSW
<b>100</b>		
<b>150</b>		
<b>200</b>		
<b>250</b>		
<b>300</b>		

図2-7 各接合条件における断面の様子

ツール回転速度を 600rpm 一定、ノーマル FSW の接合速度を 100~250mm/min、高周波 FSW の接合速度を 200~300mm/min の範囲で変化させた。図2-6に接合後の外観写真を、図2-7に断面の WD 面のマクロ写真を示す。ノーマル FSW の場合、接合速度が 100、150、200mm/min の場合は外観および内部に欠陥がなく、良好な継手を得ることが可能であった。しかし、接合速度 250mm/min と大きくすると、入熱量不足となりツールが破損し、良好な継手は得られなかった。また、接合速度 50mm/min にはさらに入熱量が大きいため、入熱量過剰によってツールが破損したと推測できる。一方、高周波 FSW の場合には、接合速度が 200~300mm/min の条件において良好な継手を得られた。しかし、さらに接合速度を大きくした 300mm/min 以上の条件になると、入熱量不足によってツールのプローブが破損した。以上のように、高周波誘導加熱方式を用いることでノーマル FSW と比較して接合速度を 1.5 倍に増加すること可能であることがわかった。

## 2-5 組織観察

各条件で得られた継手の攪拌部および母材組織の組織観察を行った結果を図2-8に示す。観察位置は接合部の横断面である。母材と攪拌部を比較すると、明らかに組織は異なる。図2-8(a)に示すように、母材ではフェライトとパーライト組織が観察された。一方、各条件の接合部では接合条件に応じて2種類の組織が観察された。図2-8(b)~(c)に示すノーマル FSW 接合速度 100mm/min~150mm/min の場合には、攪拌部ではフェライト組織が観察され、図2-9(a)~(d)にノーマル FSW 接合速度 200mm/min および高周波 FSW 200~300mm/min ではベイナイト組織が観察された。すべての接合部は $\gamma$ 単相領域(オーステナイト)温度まで上昇し、その後の冷却により組織が変態した。冷却速度が比較的大きい場合にはベイナイト、冷却速度が $75^{\circ}\text{C/s}$ 以下の小さい場合にはフェライトが生成したと考えられる。

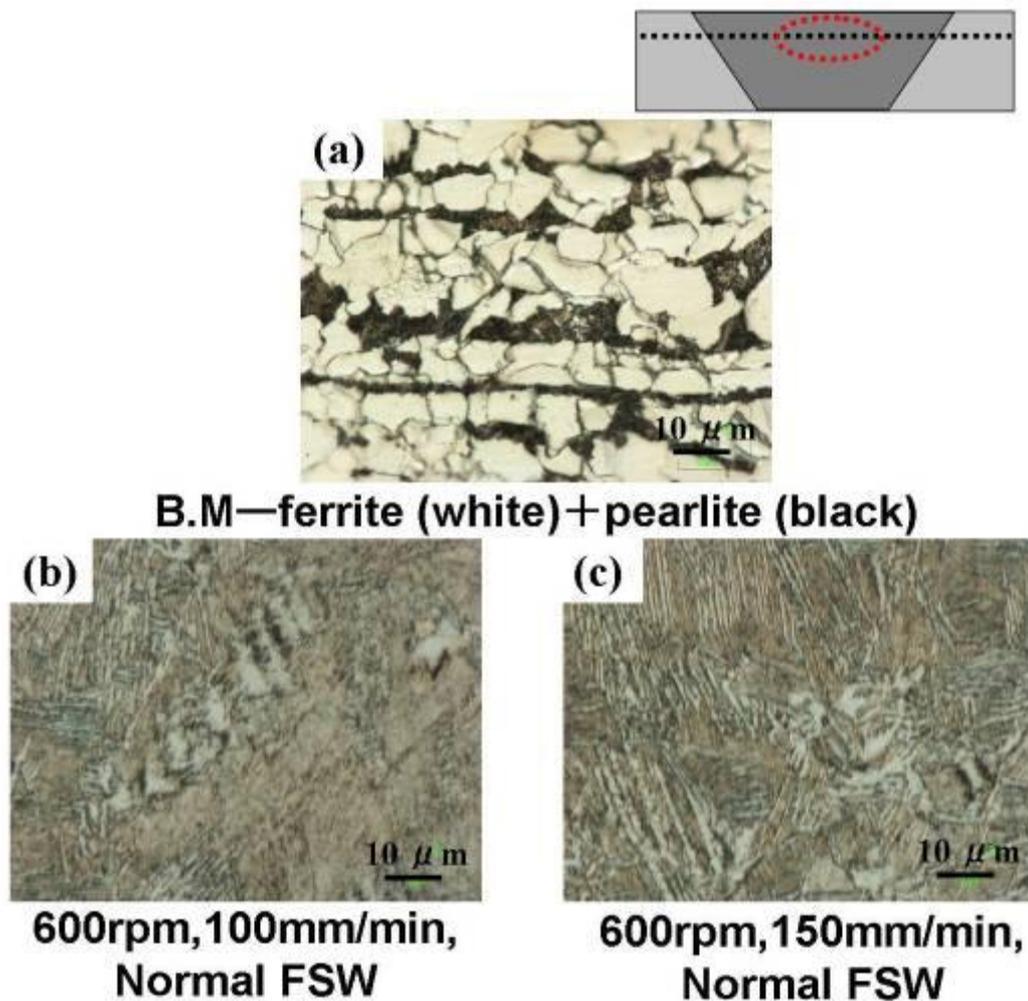


図2-8 微細組織における接合速度の影響

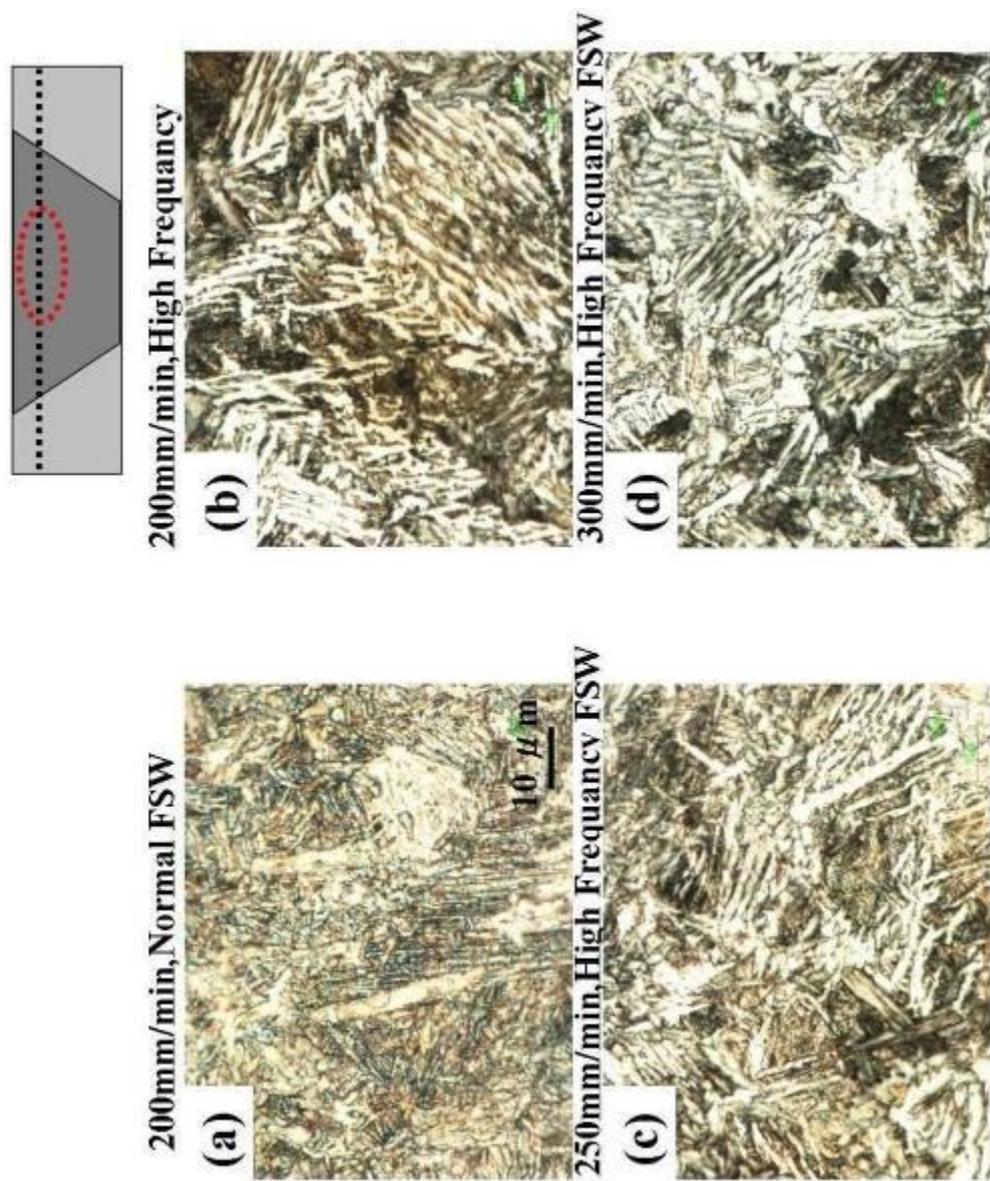


図2-9 攪拌部の組織: (a) 200mm/min ノーマルFSW, (b) 200mm/min 高周波FSW, (c) 250mm/min 高周波FSW, (d) 300mm/min 高周波FSW

## 2-6 継手の機械的特性

FSW 継手部の硬さ試験および室温での引張試験を行った。図2-10にノーマル FSW の継手の縦断面 (WD 面) における上部、中部、下部の硬さ分布を、図2-10に高周波 FSW の継手の上部、中部、下部の硬さ分布を示す。母材の硬さは約 200HV を示し、高周波の有無にかかわらず接合速度 200mm/min 以上の条件の攪拌部の上部の硬さは約 290HV 以上を示している。これは、攪拌部の組織がベイナイトとなり、硬度が上昇したためである。

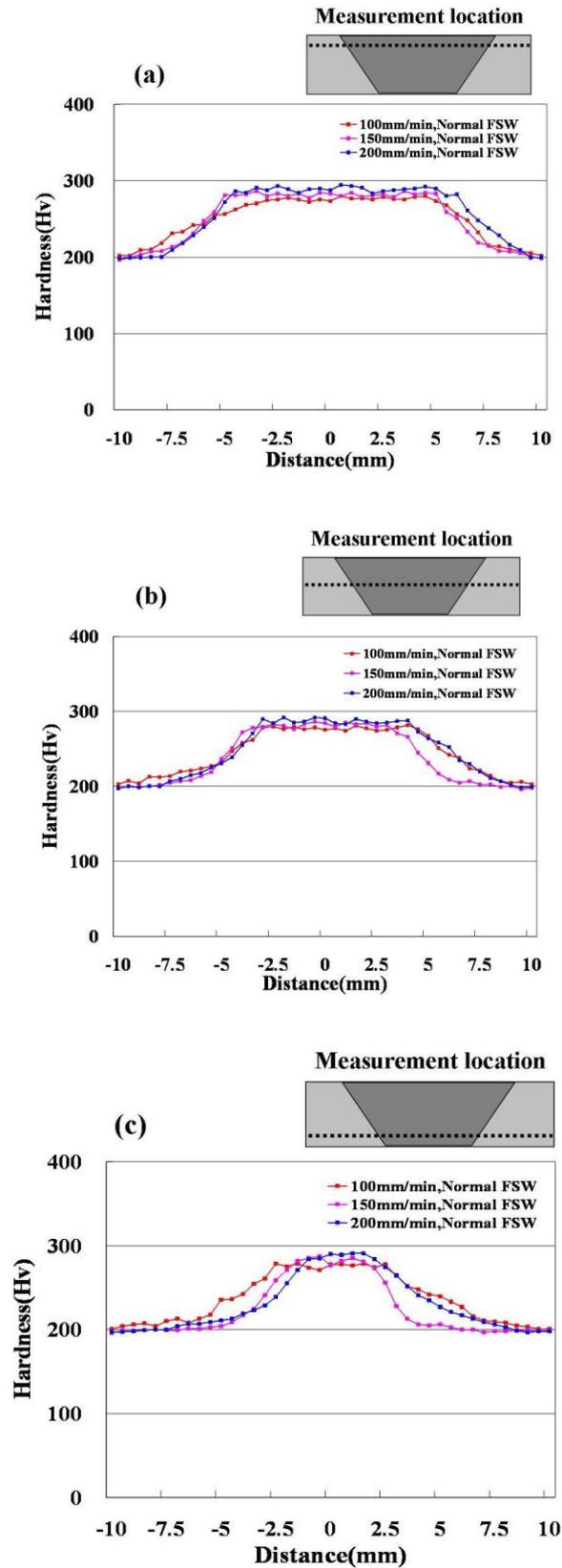


図2-10 高周波誘導加熱を使用しない場合の継手の縦断面の硬度分布  
 (a) 上部、(b) 中部、(c) 下部

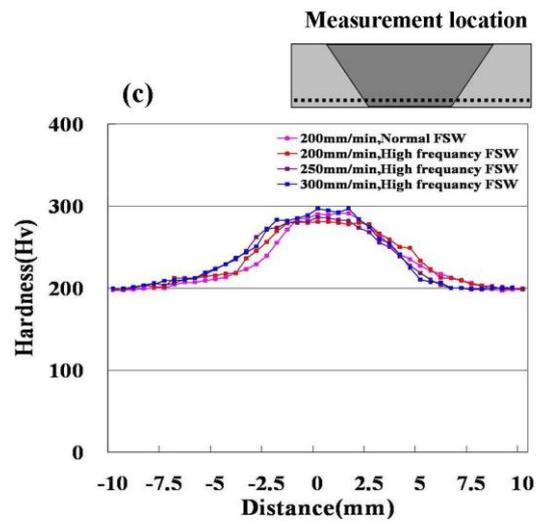
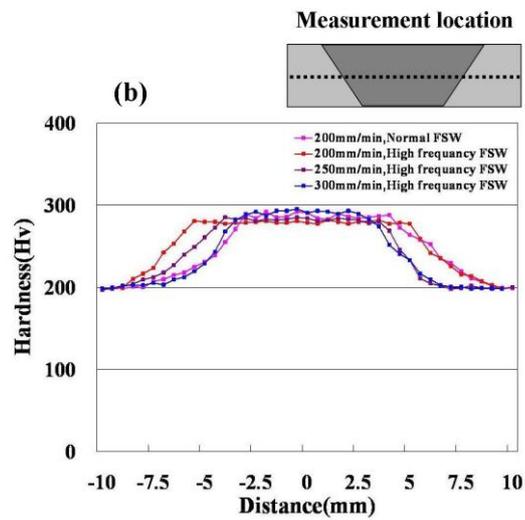
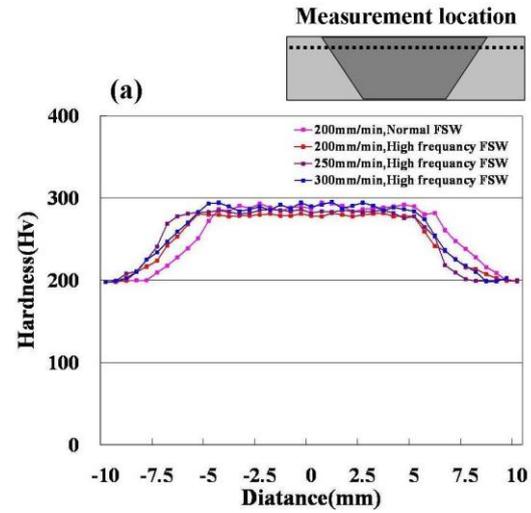


図2-11 高周波誘導加熱を使用した場合の継手の縦断面の硬度分布  
 (a) 上部、(b) 中部、(c) 下部

一方、ノーマル FSW の接合速度 100mm/min、150mm/min の場合には、冷却速度が小さいため、柔らかいフェライト組織に変態し、攪拌部の硬度は 275Hv を示した。なお、通常のフェライトより硬度が高いことについては FSW により粒径が小さくなったためである。

図2-12(a)～(f)に継手の引張試験を行った後の試験片の破断位置を示す。得られた継手の引張試験結果はすべて母材破断した。そのため、攪拌部のみの試験片を作製して、攪拌部の引張強さを測定した。その結果を図2-13および図2-14に示す。図2-13は母材および接合速度を 100mm/min、150mm/min、200mm/min のノーマル FSW を示し、それぞれ 540MPa、680MPa、695MPa、710MPa であった。

図2-14では接合速度 200mm/min、250mm/min、300mm/min の高周波 FSW で得られた継手の平均引張強度はそれぞれ 760MPa、650MPa、580MPa であった。すべての条件が母材より上回り、伸びはすべて母材より低下した。まず、ノーマル FSW の場合、接合速度 100mm/min、150mm/min 場合、接合速度 200mm/min で得られたベイナイト組織よりも柔らかいフェライト組織が得られたため、少し強度が低い。次に、接合速度 200mm/min、250mm/min、300mm/min の高周波 FSW の場合、すべて硬いベイナイト組織に変態され、強度は母材より高くなっている。また、接合速度が速くなると  $\gamma$  粒が微細化し、粒界に初析フェライトと呼ばれる軟らかい組織が生成しやすくなるため、接合速度 250mm/min および 300mm/min では強度が低下したと考えられる。

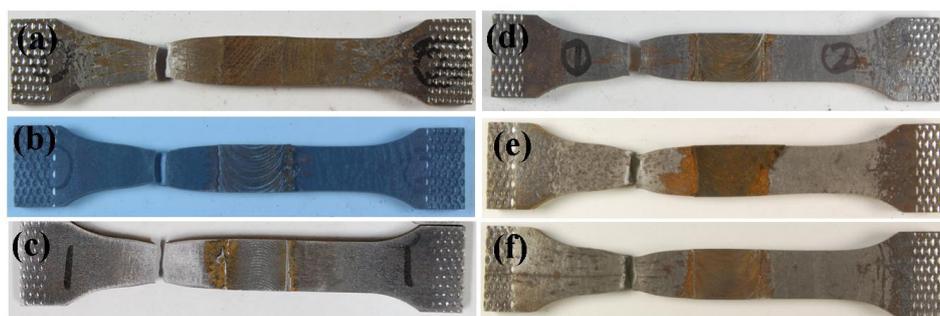


図 2 - 1 2 引張試験片の破断位置

a) ノーマル FSW, 100mm/min, b) ノーマル FSW, 150mm/min, c) ノーマル FSW, 200mm/min, d) 高周波 FSW, 200mm/min, e) 高周波 FSW, 200mm/min, and f) 高周波 FSW, 300mm/min.

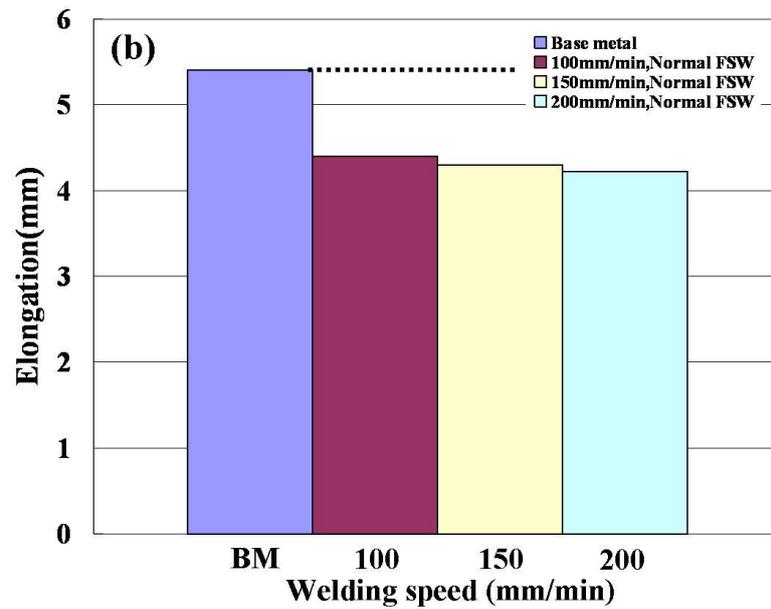
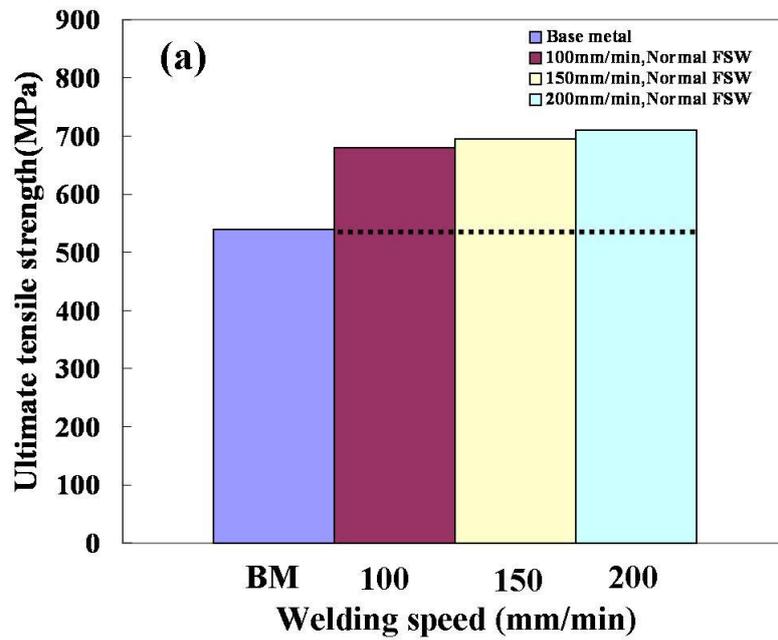


図2-13 攪拌部の強度と伸びに及ぼす接合速度の影響（ノーマルFSW）

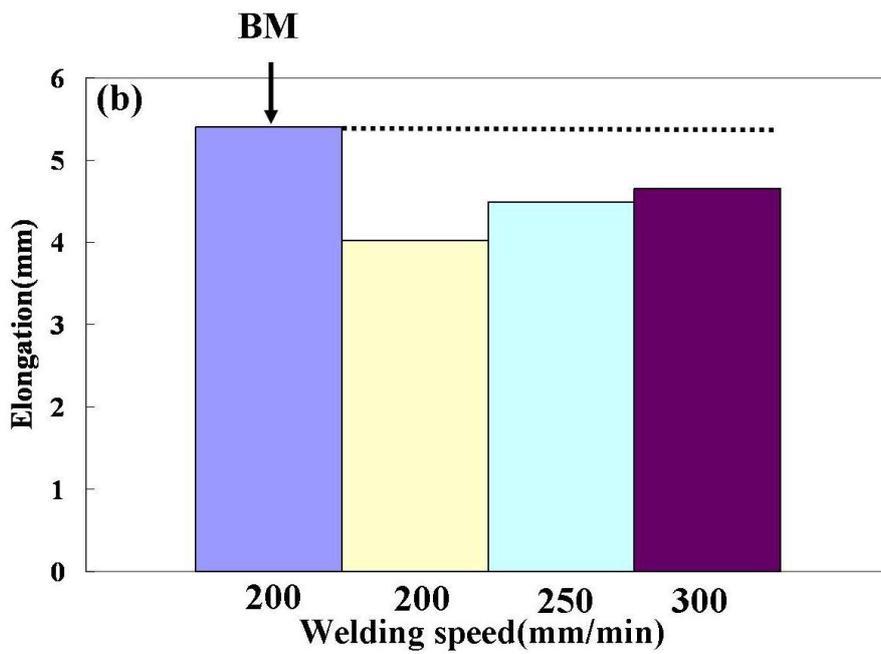
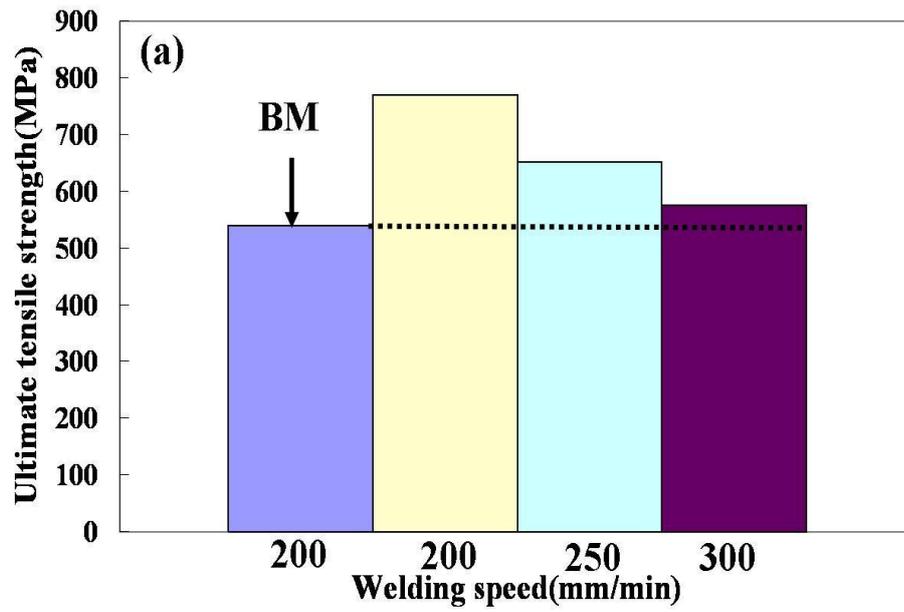


図2-14 攪拌部の強度と伸びに及ぼす接合速度の影響（高周波FSW）

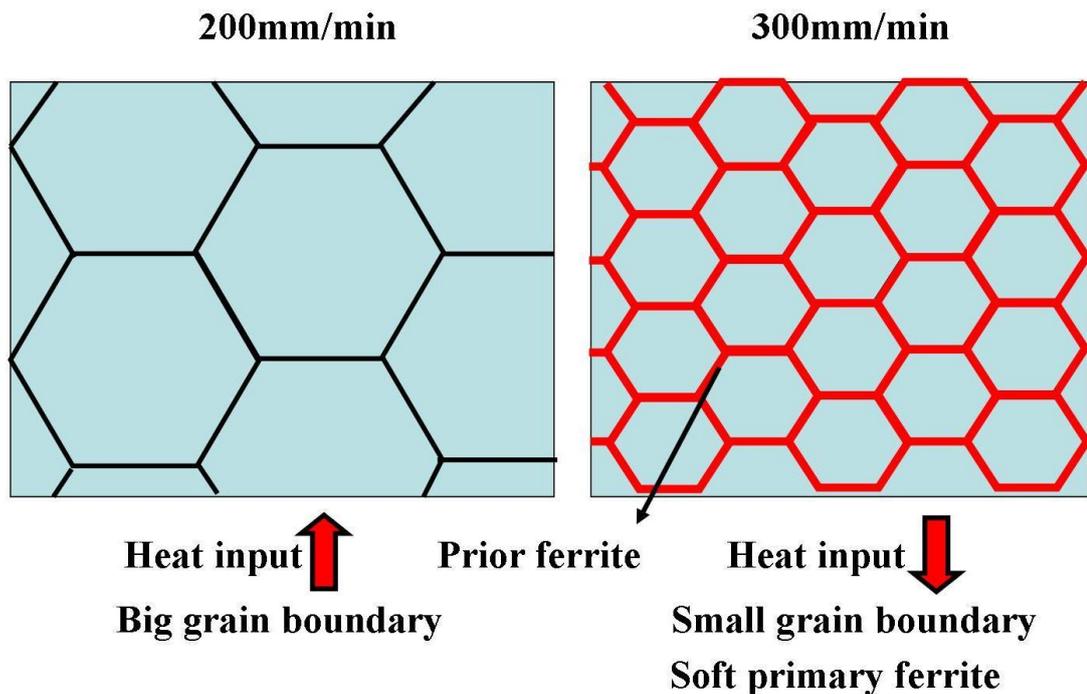


図2-15 初析フェライトと強度の関係

## 2-7 まとめ

低炭素鋼 SN490B を対象に接合の高速化を目指すため、高周波誘導加熱方式を用いて FSW を行った。また、炭素鋼は相変態するため、接合条件を変化させることにより温度制御を行い、温度履歴が接合継手の機械的特性およびマイクロ組織に及ぼす影響を調査した。得られた結果は以下のようにまとめることができる。

- (1) 高周波 FSW の場合、ノーマル FSW より最高到達温度は高くなり、冷却速度はわずかに低下する。高周波誘導加熱方式を用いることでノーマル FSW と比較して接合速度を 1.5 倍に増加することが可能である。
- (2) すべての接合条件で攪拌部は  $\gamma$  単相領域 (オーステナイト) 温度まで上昇し、その後の冷却により組織が変態している。冷却速度が比較的大きい場合にはベイナイト、冷却速度が小さい場合にはフェライトが生成する。いずれの場合も、継手の引張強度は母材を超える。
- (3) 攪拌部の全体に渡って母材より微細化されたフェライト組織あるいは、硬いベイナイト組織を得られたため、硬度増加する。高周波の条件を変化させることで最高到達

温度、冷却速度を変化させることができるため、FSW 後の接合部の組織、および攪拌量の制御が可能である。

- (4) 高周波の条件を変化させることで最高到達温度を低下させることで、旧 $\gamma$ 粒子が細粒化され、粒界フェライトの量を増加させることが可能である。この場合、継手の伸びが増大する。

### 第3章 全体総括

プロジェクトリーダー（長岡美津也（日新技研(株)））を中心に、サブプロジェクトリーダー（藤井英俊（(国)大阪大学））とも緊密な連携を取りながら、目標どおり研究を遂行した。①高安定・高効率スポット摩擦攪拌接合装置の開発と最適施工条件の決定、②摩擦攪拌接合用ハイパワー高周波出力熱源の開発と加熱条件の最適化の2つのサブテーマのそれぞれの項目において予定通りあるいは予定を上回る成果が得られた。特に、本技術に関して以下に示す特許出願を行い、ものづくりの基盤技術の高度化（確立・普及）に努めた。

具体的には、サブテーマ①に関しては「渦巻きコイル+粉末コア」の開発し、2秒程度で2mm厚のSS400鋼材を約800°Cに赤熱させることが可能となった。また、コイル駆動システムも同時に開発し、赤熱後にスポットFSWができるシステムを構築した。サブテーマ②に関しては、15mmの鋼材(SN490B)を無欠陥で接合することに成功した。また、これまでは鋼材の板厚に応じて変更していたマッチングボックスおよび電源を変更することなく2~20mmすべての板厚に対応できるシステムを構築した。

実用化に向けて日新技研(株)は、(1)摩擦攪拌接合用高周波誘導加熱装置、(2)加熱コイル、(3)高周波誘導加熱装置を備えた摩擦攪拌接合装置、(4)高周波誘導加熱装置を備えたスポット摩擦攪拌接合装置などの販売を検討する。これにより、従来の1.5~2倍の高速接合または、板厚15mmまでの鋼材の接合が可能となる。