

資料 6 – 6

「革新的新構造材料等研究開発」(終了時評価)

2014年度～2022年度 9年間

プロジェクトの詳細 (公開版)

6.6 接合技術拠点の構築

「摩擦接合共通基盤研究」(テーマ番号46)

「大阪大学接合技術拠点」(テーマ番号42-3)

実施者：大阪大学 接合科学研究所 教授 藤井 英俊

2023年 4月21日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

材料・ナノテクノロジー部

テーマ毎の目標と根拠

研究開発テーマ	最終目標	根拠
摩擦接合共通基盤研究 (テーマ番号46)	(a) 重ね摩擦接合技術開発 接合強度：厚み1.4 mm、強度1.5 GPa以上の中高炭素鋼で、引張せん断試験で母材強度の 80 %以上 、またはスポット接合のJIS-A 級 (JIS Z3140:2017) の引張せん断荷重平均値以上、十字引張荷重平均値以上 (b) 突合せ摩擦接合技術開発 接合強度：厚み2 mm、強度1.5 GPa以上の中高炭素鋼で、母材強度の 80 %以上	継手強度の評価基準として、JIS規格相当を採用
大阪大学接合技術拠点 (テーマ番号42-3)	協働研究所・共同研究講座 の設置および フォロー窓口 の設置	本プロジェクト終了後においても継続的に接合技術の発展に寄与することを目的とした。

テーマ毎の目標達成状況

研究開発テーマ	目標 (2023年2月)	成果 (2023年2月)	計画との差異	今後の課題と 解決方針
摩擦接合 共通基盤研究 (テーマ番号 46)	<p>(a) 重ね摩擦接合技術開発 接合強度：厚み1.4 mm、強度1.5 GPa 以上の中高炭素鋼で、引張せん断試験で 母材強度の80 %以上、またはスポット接合 のJIS-A 級 (JIS Z3140:2017) の引張 せん断荷重平均値以上、十字引張荷重平 均値以上</p> <p>(b) 突合せ摩擦接合技術開発 接合強度：厚み2 mm、強度1.5 GPa以 上の中高炭素鋼で、母材強度の80 %以 上</p>	<p>(a) 重ね摩擦接合技術開発 中高炭素鋼板の重ね摩擦接合継手において、 Si、Mn添加量が高く焼戻し軟化抵抗の高い 1.5 GPa級中高炭素鋼板を母材とし、適切な 条件での重ね摩擦撈拌接合を施した後、塗装 焼付相当の熱処理を施すことで、母材強度の 95 %まで改善できることを実証した。</p> <p>(b) 突合せ摩擦接合技術開発 焼戻し軟化抵抗を示すCr-Mo成分系の1.5 GPa材により、接合速度向上により冷却速度を 制御することで継手強度を向上し、継手効率 90 %以上を達成した。</p>	<p>◎</p> <p>目標に対する成果以外に、 多くの我が国発、世界初 の新規接合法 (シーズ) を開発し、特許権利化も 継続的に進めていることか ら、目標を大きく上回って 達成と評価</p>	<p>本プロジェクト 終了後も、積 極的に企業と も連携を深め ていくことで我 が国の技術的 優位性を活か した実用化・ 事業化を進め ていく。</p>
大阪大学 接合技術拠点 (テーマ番号 42-3)	協働研究所・共同研究講座の設置および フォロー窓口の設置	協働研究所、共同研究部門・講座をそれぞれ 設置するとともに、大学発ベンチャーを立ち上げた。 フォロー窓口として拠点HPを立ち上げ運用し、 複数の共同研究を実現した。	<p>◎</p> <p>本プロジェクト終了後も、 接合技術拠点として継続 的に機能できる枠組みが 形成されたため、目標を大 きく上回って達成と評価</p>	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

摩擦接合技術開発体制の変遷

METI			NEDO						
2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度

テーマ2：残留γ相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発／革新的FSW技術の探索（神戸製鋼所分室）

テーマ3：中炭素鋼の革新的接合技術の開発／摩擦攪拌接合プロセスの開発（新日鐵住金分室）

テーマ4：中高炭素鋼板のPHMによる実用FSW技術の開発
X線透過装置を用いた鋼板FSWの塑性流動基礎解析（JFEスチール分室）

大阪大学接合科学研究所に摩擦接合の拠点形成、高炉3社連携・統合し新たなテーマを立ち上げ

テーマ46：中高炭素鋼/中高炭素鋼の摩擦接合共通基盤研究（ISMA・鉄鋼各社分室）

- ① フラット摩擦攪拌接合法の開発
- ② 線形摩擦攪拌接合法の開発
- ③ X線透過装置を用いた摩擦攪拌接合の塑性流動基礎解析
- ④ 継手特性に及ぼす金属組織の影響解明
- ⑤ ツール設計によるFSW特性向上技術の基礎検討
- ⑥ 溶接残留応力の影響解明
- ⑦ 摩擦攪拌接合の数値解析技術の開発
- ⑧ マルチマテリアルの摩擦接合

我が国発、世界初の新規接合法

- ・両面複動式(フラット)摩擦攪拌接合法
- ・低温線形摩擦接合法、センター駆動両面LFW法
- ・大荷重低温FSSW（HAZレス接合）

摩擦接合拠点を継続しつつ、阪大が**分担研・分室**となり、高炉3社とともに研究を**充実**

テーマ46：摩擦接合共通基盤研究

- 1) 新規接合法の開発、マルチマテリアルの摩擦接合法の開発
- 2) 摩擦接合の可視化、一般化、共通化
- 3) LFWを用いた技術実証
- 4) 接合技術の拠点形成

テーマ42-3：大阪大学接合技術拠点

摩擦接合の拠点



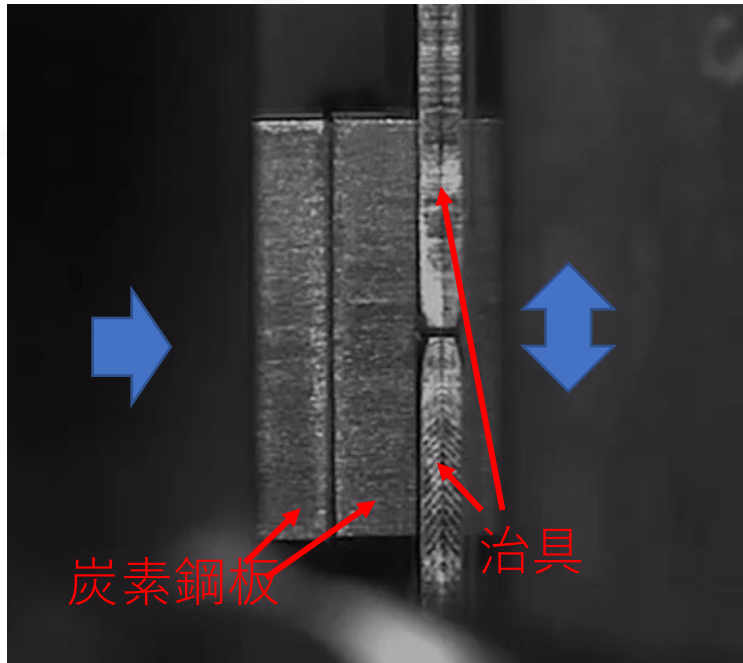
我が国発、世界初の新規接合法の開発

○低温線形摩擦接合(LFW)法の開発(阪大、日本製鉄)：

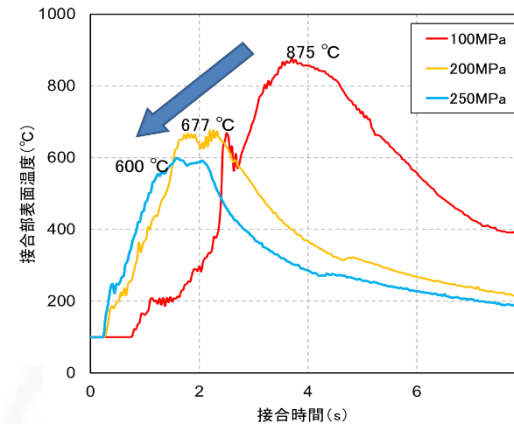
線形摩擦接合 (Linear Friction Welding: LFW)

材料同士を**押し付け**、**線形運動**で**擦りあわせた**際に生じる摩擦熱を熱源とした接合法

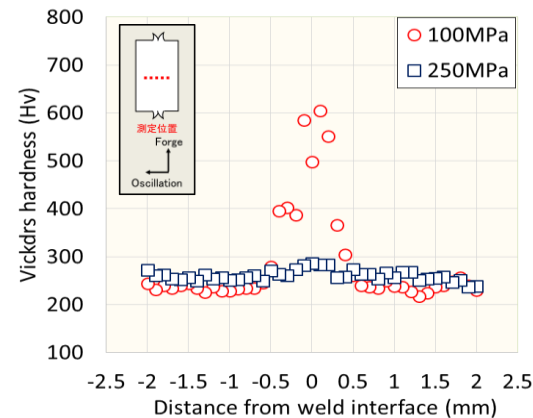
1/20スロー再生



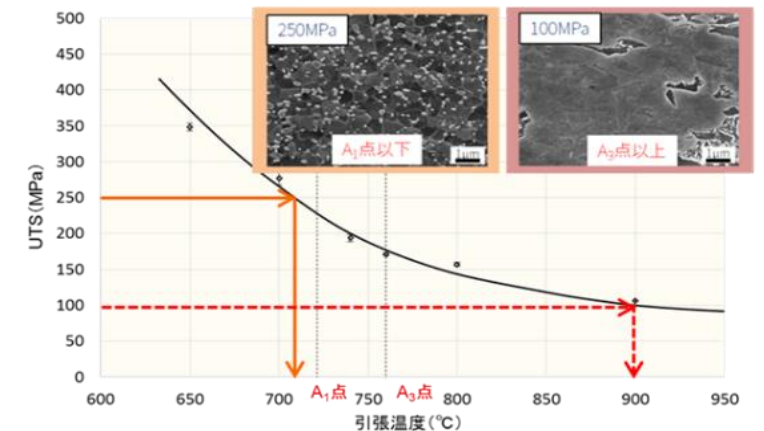
LFWの接合時の映像 (動画)



LFW接合部温度の時間変化



LFW継手のビッカース硬さ



母材(S45C)の強度の温度依存性とLFW接合部組織の関係

・線形摩擦接合(LFW)において、**印加圧力**により接合温度を制御できることを明らかにするとともに、高炭素鋼のLFW継手において、変態温度(A₁点)以下の**低温で接合**することに成功した。この時、接合部硬さが母材とほぼ同等な継手作製に成功し、シームレス接合と命名。(日、米、中、韓で特許権利化済、欧州は審査中、論文済み)

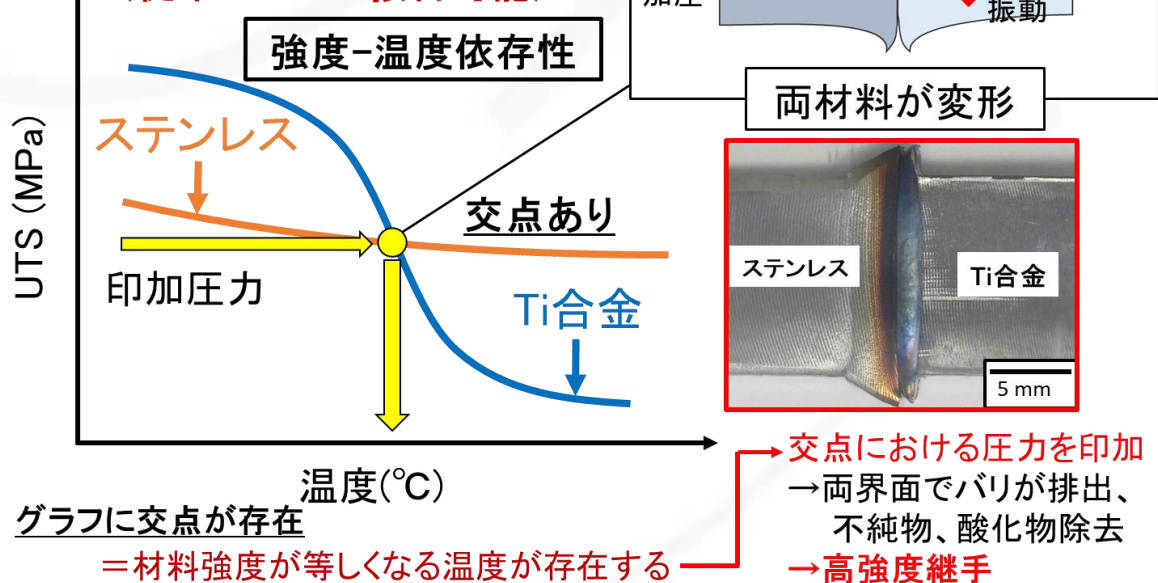
異材接合のための我が国発、世界初の新規接合法の開発

○センター駆動両面LFW法の開発：

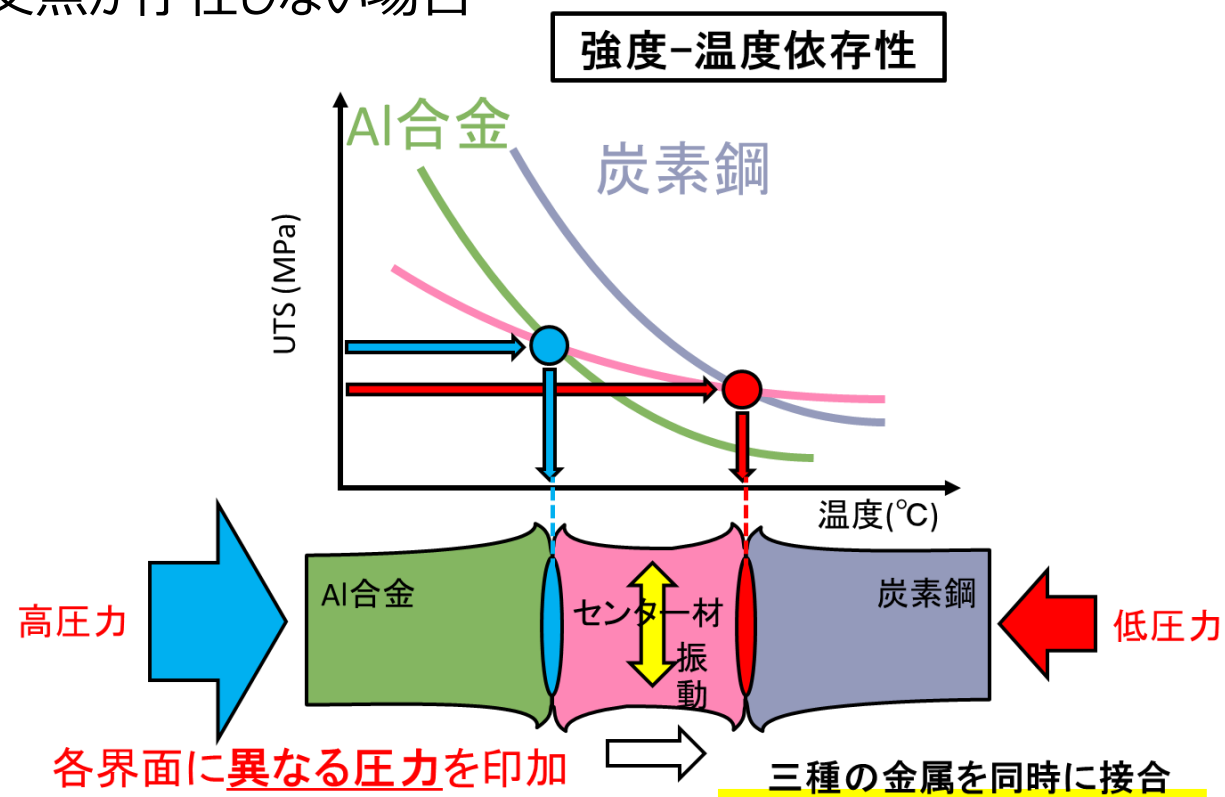
交点が存在する場合

接合可能なものと困難なものが存在する

例1：Ti合金とステンレス鋼
(従来のLFWで接合可能)



交点が存在しない場合

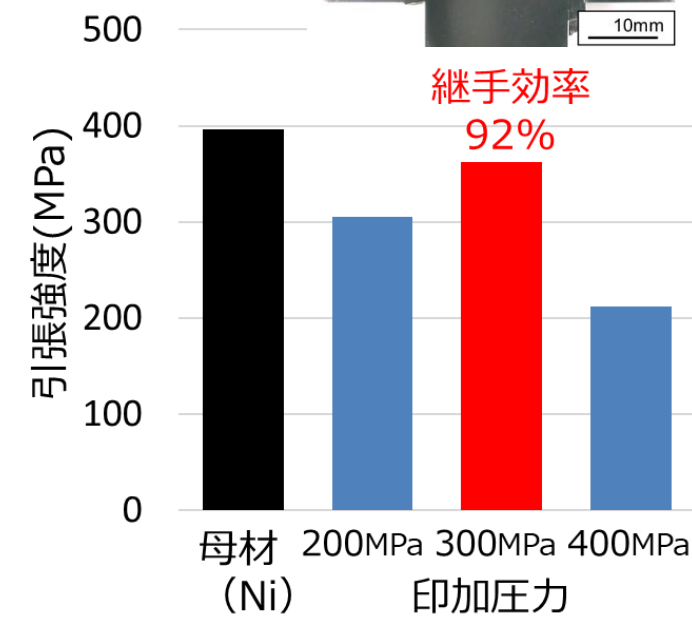
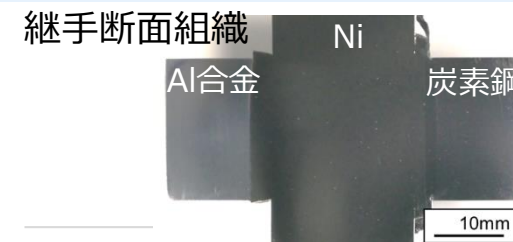
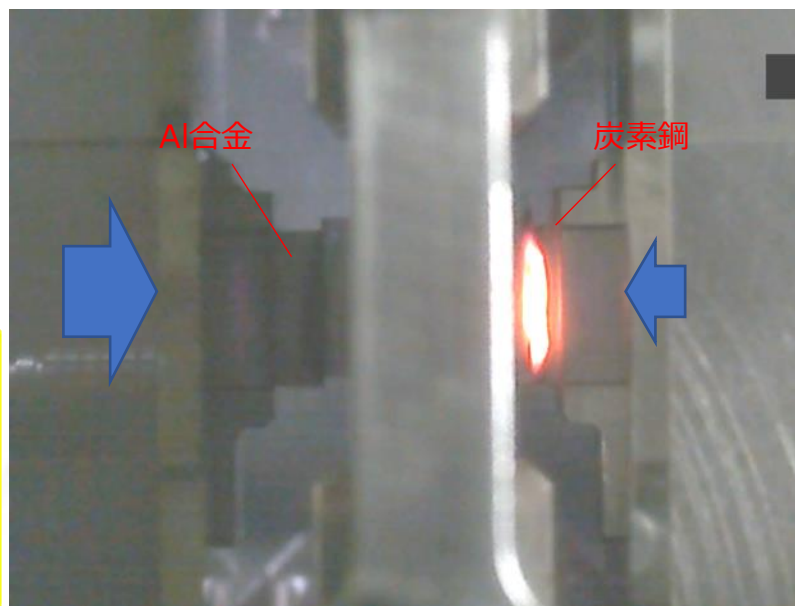


異材接合のための我が国発、世界初の新規接合法の開発

○センター駆動両面LFW法の開発：

装置外観

接合時の映像 (動画)

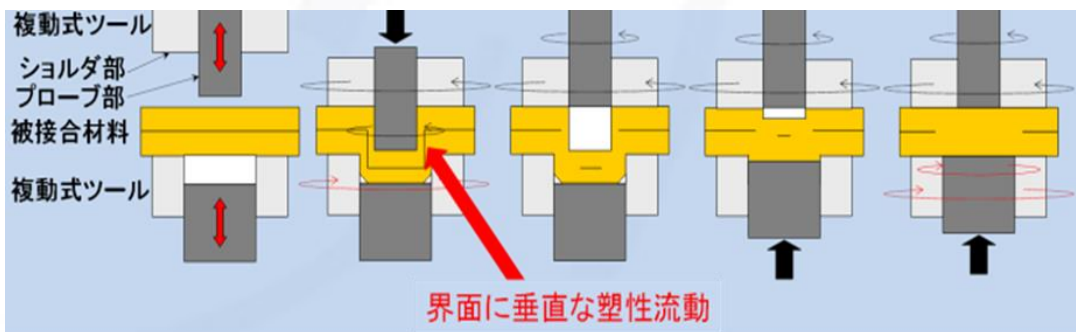


印加圧力300 MPaの条件で最高強度363 MPaを得た(継手効率92%)

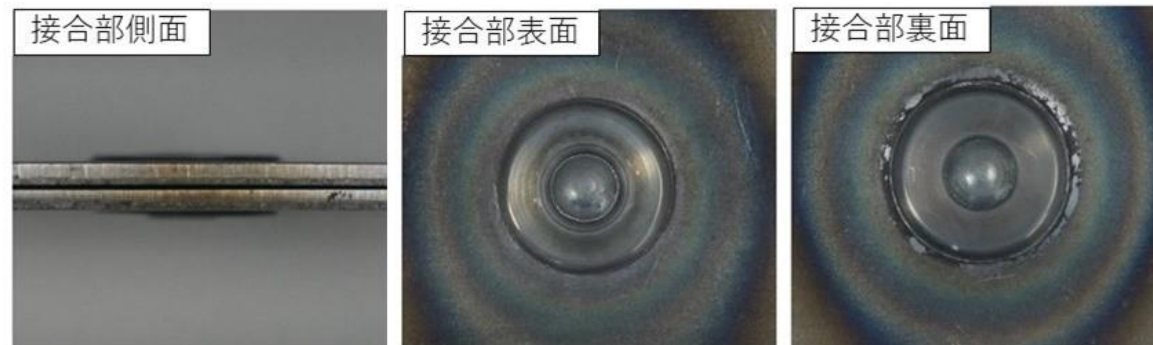
国内外に特許出願済み、論文済み

我が国発、世界初の新規接合法の開発

○両面複動式(フラット)摩擦攪拌接合法の開発：



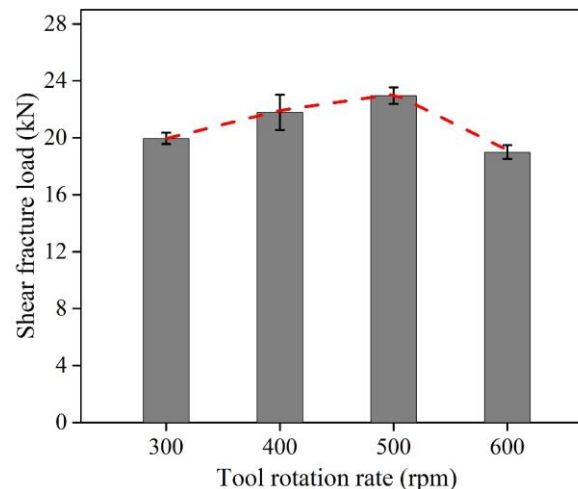
フラットFSWの模式図



鋼フラットFSSW継手の接合部外観



フラットFSW装置外観



継手のせん断引張強さ

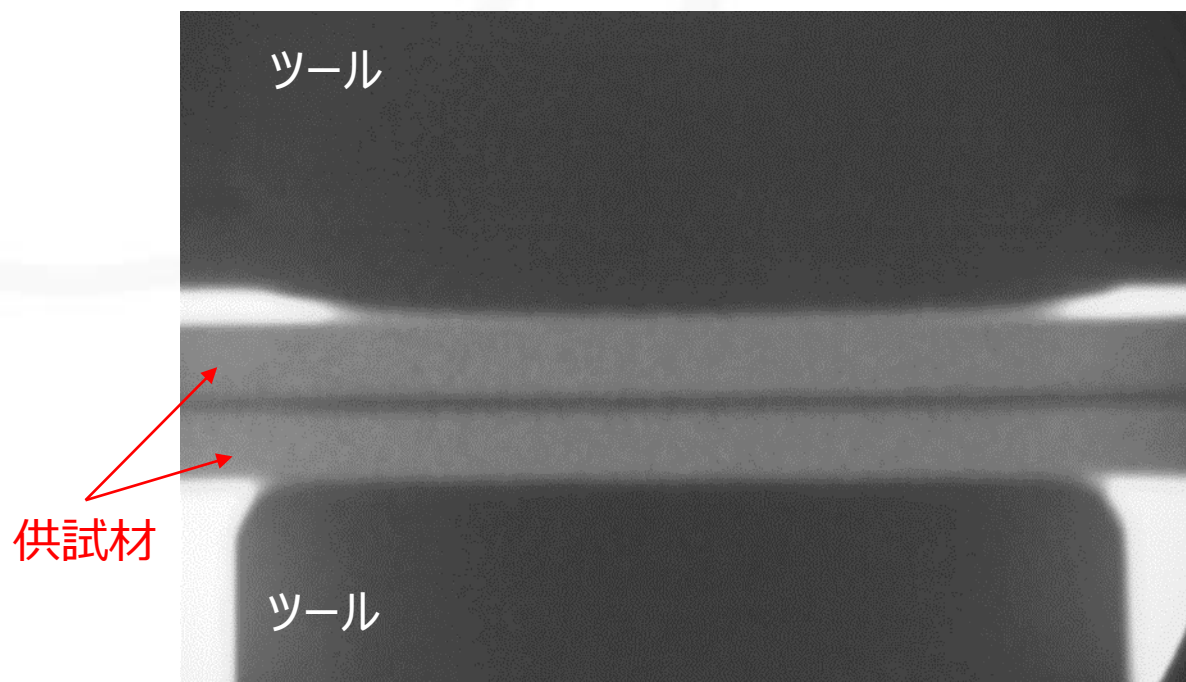
- ・凹部のない無欠陥の**フラットFSSW接合部**を得ることに成功。
- ・継手強度は接合端部の組織に影響される。

国内外に特許出願済み、
論文済み

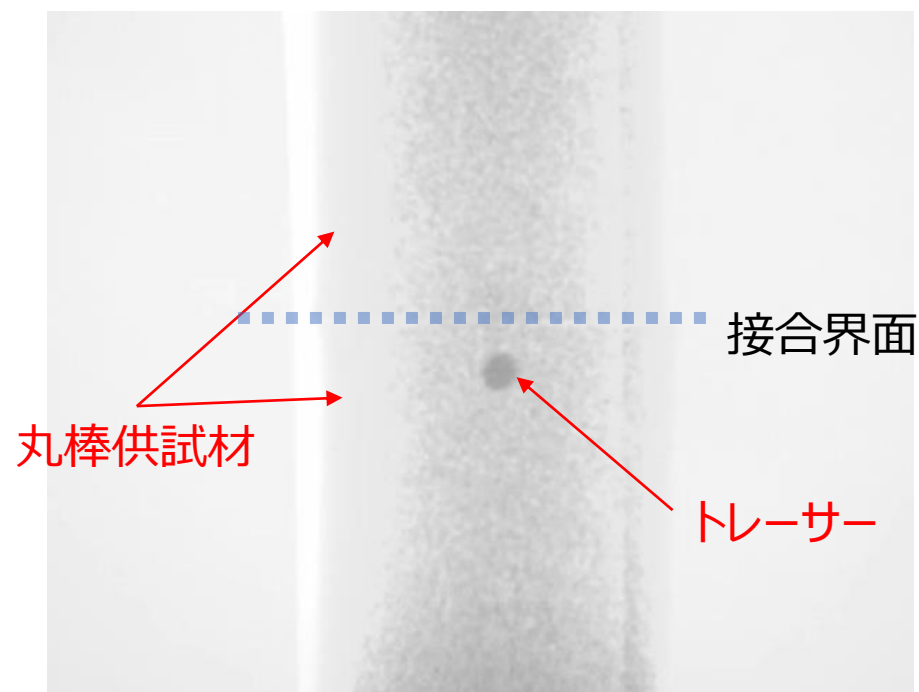
摩擦接合の可視化

○フラットFSW装置+X線透過装置を用いた接合現象解明(阪大、JFEスチール)

フラットFSSW (動画)



FW(摩擦圧接)への展開

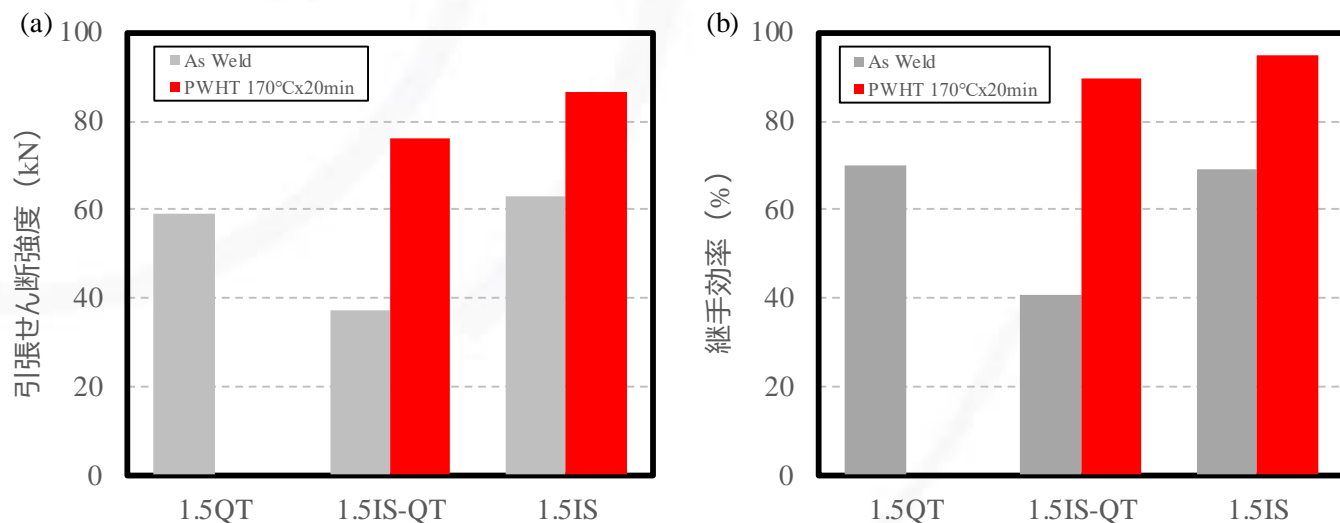


・フラットFSSWの接合界面形成機構の**三次元可視化**に成功し、継手強度の支配因子である接合部有効板厚の制御指針を明示。(論文済み)

1.5 GPa鋼材で継手効率90 %以上を達成

○重ね・突合せ摩擦接合継手の接合強度（神鋼、JFEスチール）

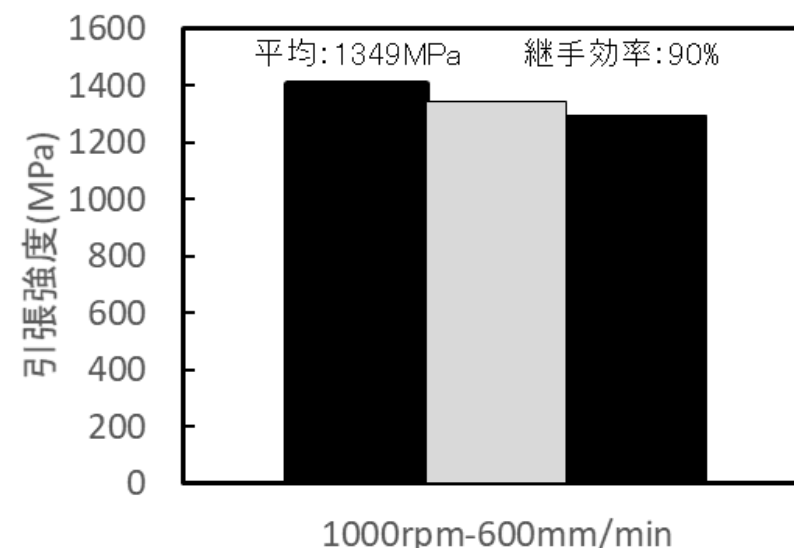
重ね摩擦接合



重ね摩擦接合継手の(a)引張せん断強度、(b)継手効率に及ぼす素材の影響：
1.5QT(S45C 調質材), 1.5IS-QT(革新鋼板組成-調質材), 1.5IS(革新鋼板)

Si、Mn添加量が高く焼戻し軟化抵抗の高い1.5 GPa級鋼板を母材とし、適切な条件での重ね摩擦撈拌接合を施した後、塗装焼付相当の熱処理を施すことで、**母材強度の95 %を達成**

突合せ摩擦接合



突合せ摩擦接合継手の引張強度：供試鋼SCM・回転数1000rpm-接合速度600mm/min

焼戻し軟化抵抗を示すCr-Mo成分系の1.5 GPa級鋼板を母材とし、接合速度向上により冷却速度を制御することで継手強度を向上し、**継手効率90 %以上を達成**

接合技術拠点の設立

接合技術拠点での3つの大きな活動と目的

プロセス：(テーマ46：藤井)

- ・我が国発、世界初の新規接合法（シーズ）の開発
- ・接合メカニズムの解明、理解の深化
- ・接合分野でのグループ形成

評価・解析：(テーマ64：廣瀬)

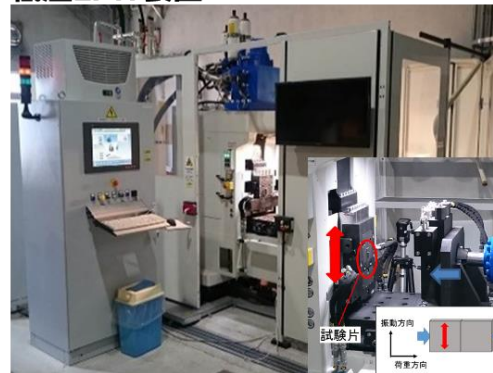
- ・継手特性評価、その場観察による現象解析
- ・シミュレーション技術構築

データベース構築(テーマ64-B：芹澤)

- ・ISMAが共有するプロセス、データの集約、高度化

ISMAが共有する装置を用いた技術開発

低温LFW装置



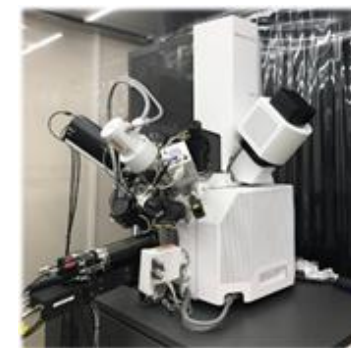
センター駆動両面LFW装置



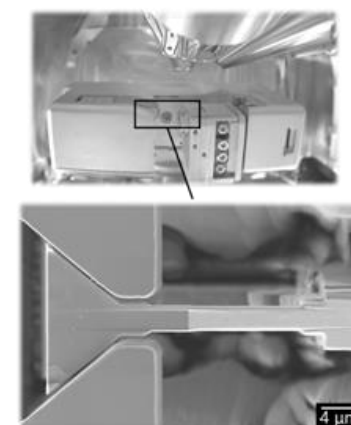
フラットFSW装置



メゾ・マイクロスケール異材接合部観察・分析装置



IN-Situ SEM FIB内ナノメカニカル評価装置



2013年ISMA設立、2014年共通研究棟竣工、2016年高炉3社連携

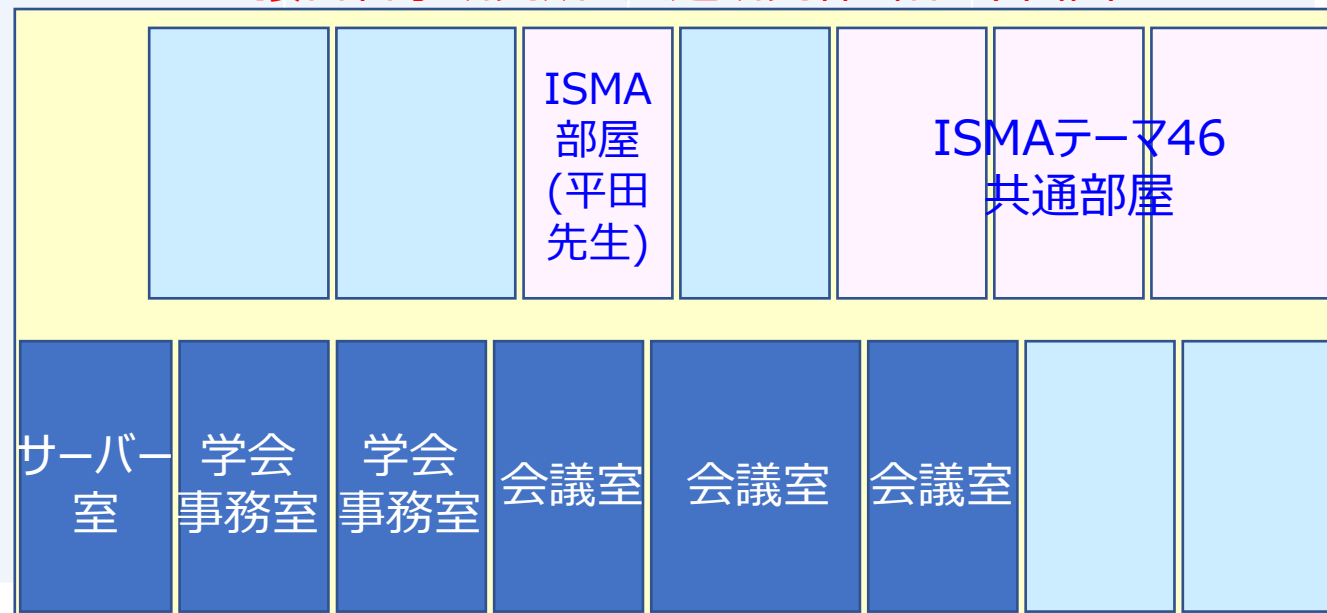
産学連携・開発成果の実用化に向けた活動（～2016年度まで）

METI/NEDO/ISMA					After ISMA
2013～2016年度	2017～2018年度	2019～2020年度	2021年度	2022年度	2023年度

- ・ISMA開始 (2013年度)
- ・共通研究棟竣工 (2014年度)
- ・高炉3社連携テーマ46立ち上げ (2016年度)

接合科学研究所オープンラボを利用して、研究開発を促進

接合科学研究所 共通研究棟2階 平面図



接合科学研究所 共通研究棟外観



接合技術拠点の変遷

産学連携・開発成果の実用化に向けた活動 (2017～2018年度)

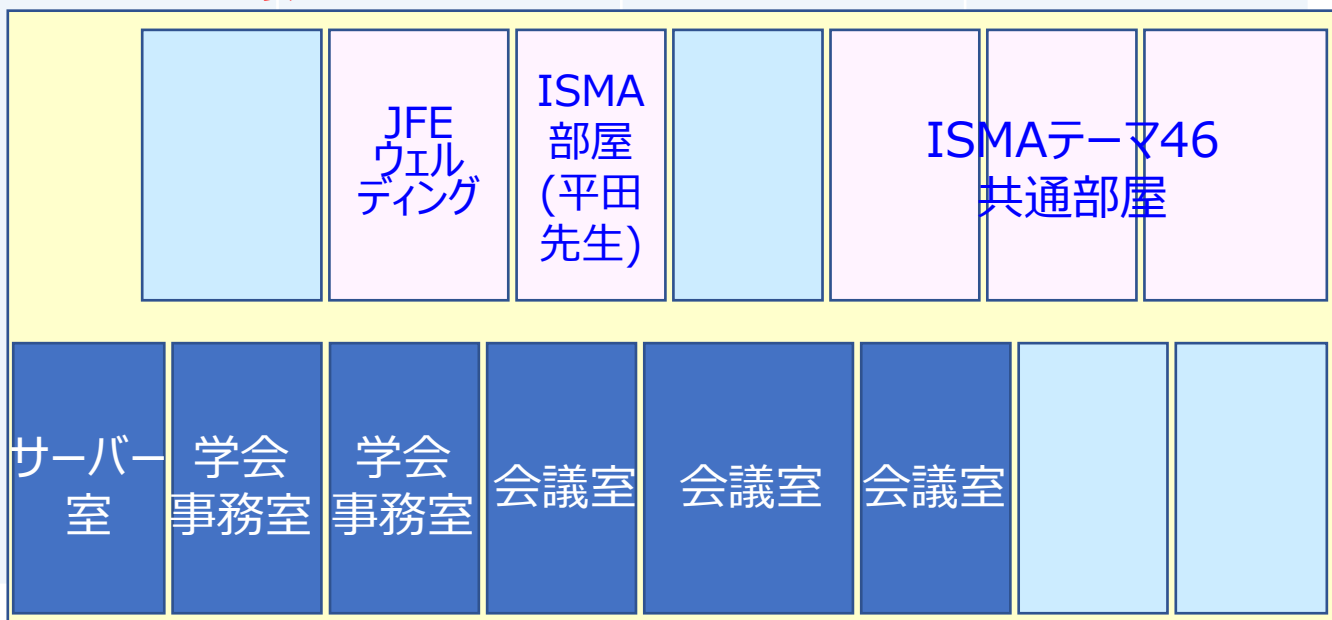
METI/NEDO/ISMA				After ISMA	
2013～2016年度	2017～2018年度	2019～2020年度	2021年度	2022年度	2023年度

- ・ISMA開始 (2013年度)
- ・共通研究棟竣工 (2014年度)
- ・高炉3社連携テーマ46立ち上げ (2016年度)

・JFEウェルディング協働研究所設置 (第1期:2018年度)

接合科学研究所オープンラボを利用して、研究開発を促進

接合科学研究所 共通研究棟2階 平面図



接合科学研究所 共通研究棟外観



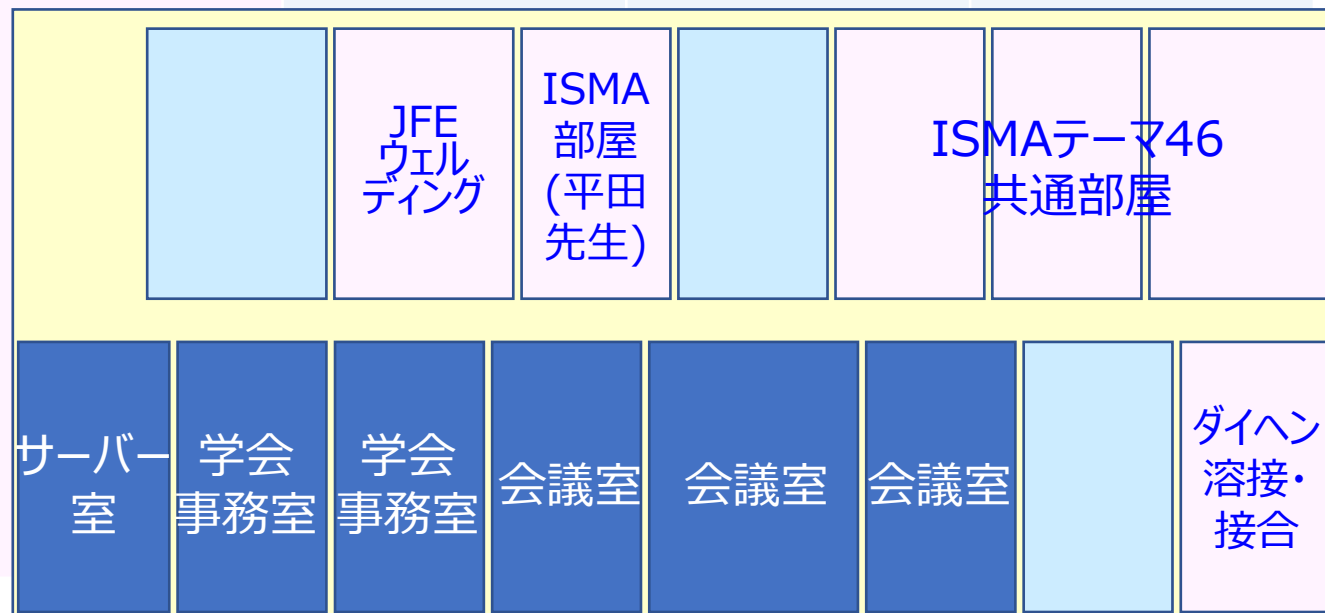
接合技術拠点の変遷

産学連携・開発成果の実用化に向けた活動 (2019～2020年度)

		METI/NEDO/ISMA			After ISMA
2013～2016年度	2017～2018年度	2019～2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
<ul style="list-style-type: none"> ・ISMA開始 (2013年度) ・共通研究棟竣工 (2014年度) ・高炉3社連携テーマ46立ち上げ (2016年度) 	<ul style="list-style-type: none"> ・JFEウェルディング協働研究所設置 (第1期:2018年度) 	<ul style="list-style-type: none"> ・阪大分担研・分室 (2019年度) ・ダイヘン溶接・接合協働研究所設置 (第1期:2019年度) 			

接合科学研究所 共通研究棟2階 平面図

接合科学研究所 共通研究棟外観



接合技術拠点の変遷

産学連携・開発成果の実用化に向けた活動 (2021、2022年度)

接合科学研究所
共通研究棟外観



METI/NEDO/ISMA			After ISMA																				
2013～2016年度	2017～2018年度	2019～2020年度	2021年度	2022年度	2023年度																		
・ISMA開始 (2013年度) ・共通研究棟竣工 (2016年度)	・JFEウェルディング 協働研究所設置 (第1期:2018年度)	・阪大分担研・分室 (2019年度) ・ダイヘン溶接・接合 協働研究所設置 (第1期:2019年度)	・ISMA/NEDO 接合技術拠点 立ち上げ ①日本製鉄ものづくり未来協働 研究所設置(2021年度) ②高度ジョイント生産システム構築 共同研究部門設置(三菱電機) (2021年度) ③JFEウェルディング協働研究所 第2期設置(2021年度) ④ダイヘン溶接・接合協働研究所 第2期設置(2022年度)																				
接合科学研究所 共通研究棟2階 平面図																							
<table border="1"> <tr> <td>②高度 ジョイント (三菱電機)</td> <td>③JFE ウェルディング</td> <td>ISMA 接合 技術 拠点</td> <td>ISMA テーマ 64B 部屋</td> <td>①日本 製鉄 ものづく り</td> <td>ISMAテーマ46 共通部屋</td> </tr> <tr> <td>サーバー 室</td> <td>学会 事務室</td> <td>学会 事務室</td> <td>会議室</td> <td>会議室</td> <td>会議室</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>ISMA テーマ 64B サーバー 室</td> <td>④ダイヘン 溶接・ 接合</td> <td></td> </tr> </table>						②高度 ジョイント (三菱電機)	③JFE ウェルディング	ISMA 接合 技術 拠点	ISMA テーマ 64B 部屋	①日本 製鉄 ものづく り	ISMAテーマ46 共通部屋	サーバー 室	学会 事務室	学会 事務室	会議室	会議室	会議室				ISMA テーマ 64B サーバー 室	④ダイヘン 溶接・ 接合	
②高度 ジョイント (三菱電機)	③JFE ウェルディング	ISMA 接合 技術 拠点	ISMA テーマ 64B 部屋	①日本 製鉄 ものづく り	ISMAテーマ46 共通部屋																		
サーバー 室	学会 事務室	学会 事務室	会議室	会議室	会議室																		
			ISMA テーマ 64B サーバー 室	④ダイヘン 溶接・ 接合																			
・ISMA終了																							

接合技術拠点の変遷

産学連携・開発成果の実用化に向けた活動 (2023年度以降)

接合科学研究所
共通研究棟外観



METI/NEDO/ISMA					After ISMA
2013～2015年度	2016～2018年度	2019～2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
接合科学研究所 共通研究棟2階 平面図					
<p>①ニューノーマルものづくり コンソーシアム室 設置</p> <p>②NEDO特別講座</p> <p>③自動車メーカー合同体 協働研究所 (2023年10月 予定)</p>					

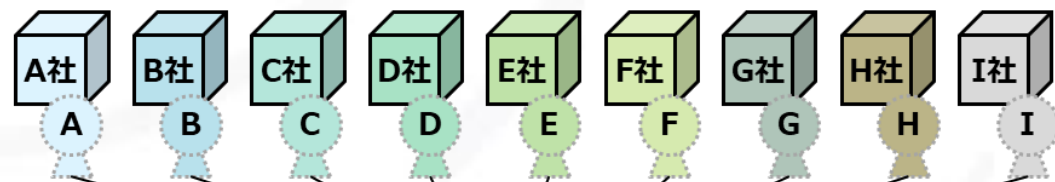
接合技術拠点の今度の展開

自動車メーカー合同体による阪大協働研究所設立 (2023年10月開始に向け、検討中)

協働研究所によるコンソーシアム実行イメージ

前提条件：協働研究所を設置し、その中で2テーマの技術開発を実行

自動車メーカー



出向→ 阪大の職員

協働研究所

所長 (阪大先生)

副所長 (自動車メーカー)

部屋1：テーマ①



部屋2：テーマ②

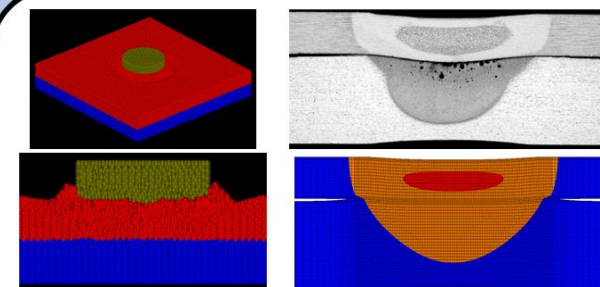


成果は共有

NEDO特別講座・実習の内容(案)

Aコース：溶接・接合プロセス解析入門講座

溶接・接合におけるプロセスの諸現象を数値シミュレーションし、構造物の製造・使用問題を解決するためのツールの使い方を把握することが目標。



摩擦攪拌点および抵抗スポット溶接接合プロセス解析

Bコース：固相接合基礎講座

革新的固相接合である摩擦攪拌接合、線形摩擦接合等摩擦接合の基本原則と現状を把握するとともに、実際に継手を作製し、摩擦接合の良さを知ること新たなニーズを探索するとともに、実用化に向けた課題を見出すことが目標。



摩擦攪拌接合(FSW)・線形摩擦接合(LFW)装置

開発成果の実用化に向けた今後の活動

鋼のFSW（摩擦攪拌接合）のISO化

2022年2月10日に鋼のFSW（摩擦攪拌接合）のISO化の審議がIIW（国際溶接会議）の下部組織で開始され、2022年4月8日に、日本溶接協会内規格委員会内に、「鉄系FSW規格検討委員会」を立ち上げ、以下の構成メンバーのもと、現在、ISO化を検討中。

構成メンバー

主査： 大阪大学 藤井

顧問： 大阪大学 平田先生

オブザーバー： 埼玉大学 山根先生

事務局： (一社) 日本溶接協会

委員： 大阪大学、(株) 神戸製鋼所、JFEスチール(株)、日本製鉄(株)、
(株) 日立製作所、川崎重工業(株)、(一社) 日本溶接協会、JFEエンジニアリング(株)、
(株) WISE企画、トライエンジニアリング(株)、(株) 山本金属製作所

赤字： ISMA分担研において、FSWを実施していたメンバー

開発成果の実用化に向けた今後の活動

本研究開発で生み出された革新的摩擦接合技術を実用化するために、下記の研究開発を検討中。

① 高機能鋼材の資源回生に資する**革新的な接合・分離プロセスの開発**

研究開発テーマの技術的ポイント：

従来溶接が困難とされるCu およびSn 添加鋼材を対象に、世界をリードする日本の溶接・接合分野の知見に基づき、**低温固相接合技術による接合技術**の確立と溶接割れ・脆化を利用した分離技術を開発する。**鋼中不純物の制約緩和とリサイクルの高度化のための基礎的知見の収集**と自動車製造における技術検証によって、鉄資源循環をベースとする社会全体の資源回生に資する革新的高機能鋼部材の基盤製造技術を確立する。

実施体制：

国研－企業－大阪大学－一財

② 低温摩擦接合を活用した**革新的航空機エンジン製造プロセス開発**

研究開発テーマの技術的ポイント：

我が国発世界初の新規接合法である**低温線形摩擦接合 (低温LFW)**を適用し、革新的航空機エンジン製造プロセスを確立する。本提案は、航空機エンジンの圧縮機に多用されている**ブリスク製造**で課題とされた**素材の無駄を排除し、加工時間短縮**を目的とする。本技術ではTi合金の課題であるCold Dwell疲労を含むDwell疲労による寿命低下も抑制する技術も提供し、世界の当該業界における日本の地位向上を図る。

実施体制：

大阪大学－企業1－企業2－一財