

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「車載固定抵抗器の高性能・高生産性化に資するテーラードストリップ製造技術の開発」

研究開発成果報告書

【公開版】

平成24年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社特殊金属エクセル

## 目 次

第1章 研究開発の概要.....	2
1-1 研究開発の背景・研究目的および目標 .....	2
1-2 研究体制.....	3
1-2-1 研究組織（全体）.....	3
1-2-2 管理体制.....	3
1-2-3 管理員および研究員.....	4
1-2-4 他からの指導・協力者.....	5
1-3 成果概要.....	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口.....	7
第2章 本論.....	8
2-1 最適ツール材料およびツール形状の開発.....	8
2-1-1 概要.....	8
2-1-2 ツール用素材の開発.....	8
2-1-3 結論.....	9
2-2 摩擦攪拌接合装置の計装化.....	10
2-2-1 概要.....	10
2-2-2 計装化内容.....	10
2-2-3 実験方法.....	12
2-2-4 実験結果.....	12
2-2-5 結論.....	13
2-3 最適摩擦攪拌接合条件の開発.....	14
2-3-1 接合条件.....	14
2-3-2 接合試験結果および考察.....	14
2-3-3 結論.....	15
2-4 抵抗器の特性評価.....	18
2-4-1 概要.....	18
2-4-2 抵抗値およびTCR特性.....	18
2-4-3 発熱の評価.....	18
2-4-4 結論.....	18
第3章 総括.....	20

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的

本課題は、自動車のモータ等に流れる電流を検出するための固定抵抗器に使用される材料の製造技術に関するものである。

近年、自動車は電装化され、特に、ハイブリッドカーや電気自動車および燃料電池自動車などにおいては、電装モジュールの重要性が増している。そこに使用される電子受動部品の一つである低抵抗固定抵抗器は、回路を流れる電流を検出する機能を持ち、機器が正常に作動しているか否かの情報収集を担う重要部品である(図1)。特に、熱や振動の繰り返し負荷など、使用環境が厳しいモータ用等のモジュールにあっては、固定抵抗器の構成要素である抵抗体と電極の間の接合信頼性が問題となる。



金属抵抗材であるCu-Ni合金やNi-Cr合金などと、電極材であるCuとの異種難接合材料同士の溶接に 図1 電流検出用低抵抗固定抵抗器は、電子ビームで突合せ溶接する方法が一部で採用されている。

しかし、電子ビーム溶接は高真空を要するので生産性が悪く、熔融プロセスであるので材料の組み合わせによっては接合品質の信頼性も低い。その上、連続帯板形状の接合材料を得ることは、設備コストの観点から実際上困難であり、切り板の形状では順送プレス加工によって所定形状の固定抵抗器を高効率に製造することができない。

そこで、固相接合法の一種である摩擦攪拌接合に着目した。摩擦攪拌による突合せ接合法の概要は次の通りである。

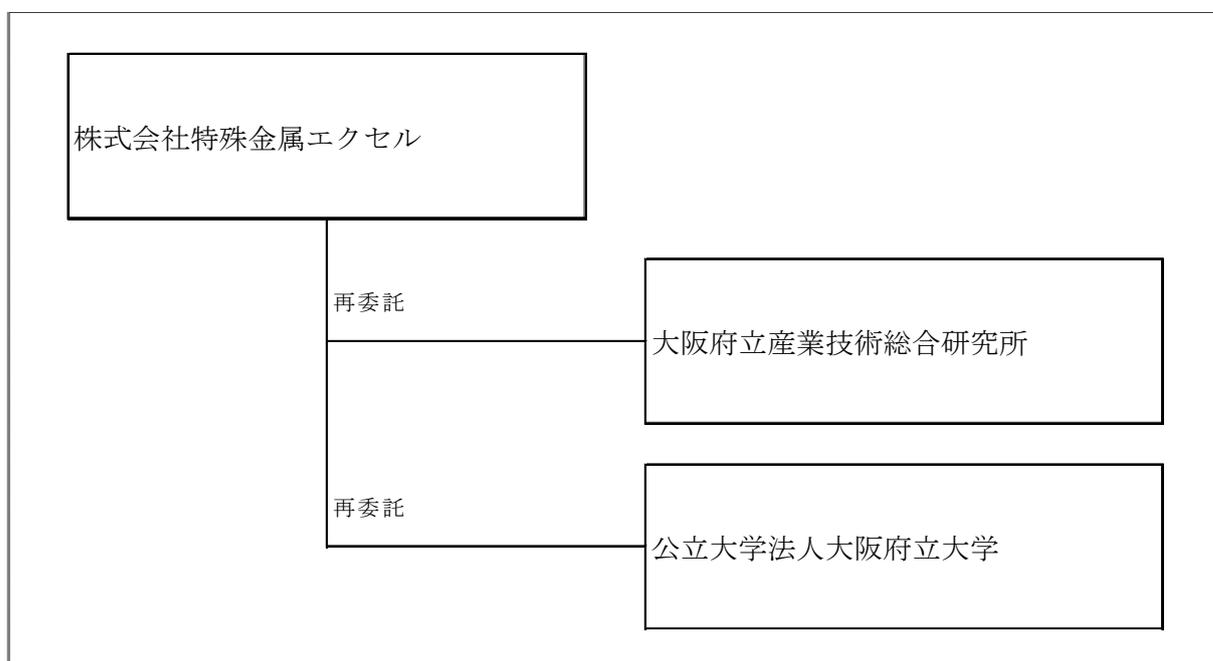
回転しているツールをその軸が材料面と垂直に(あるいは、数度の角度に)なるように押し込み、ツールと材料の摩擦発熱で材料を軟化させ、ツールの回転によって材料を攪拌(塑性流動)しつつ突合せ接合線上を移動させることによって接合する。

摩擦攪拌接合によれば、大気中で材料を加熱することなく接合ができる。しかも、異種金属の熔融に伴う合金層や金属間化合物層がほとんどできないので、幅広く各種の異種金属接合に適用できる。従って、帯状の抵抗材料と電極材料を連続的に突合せ接合して固定抵抗器用のテーラードストリップを得る方法として、摩擦攪拌接合は最適である。

そこで本研究開発では、固相接合法の一種である摩擦攪拌接合法を用いて、固定抵抗器用のCu-Mn-Ni合金とCuとの異種材接合テーラードストリップを製造する技術を開発することを目的とした。

## 1-2 研究体制

### 1-2-1 研究組織 (全体)



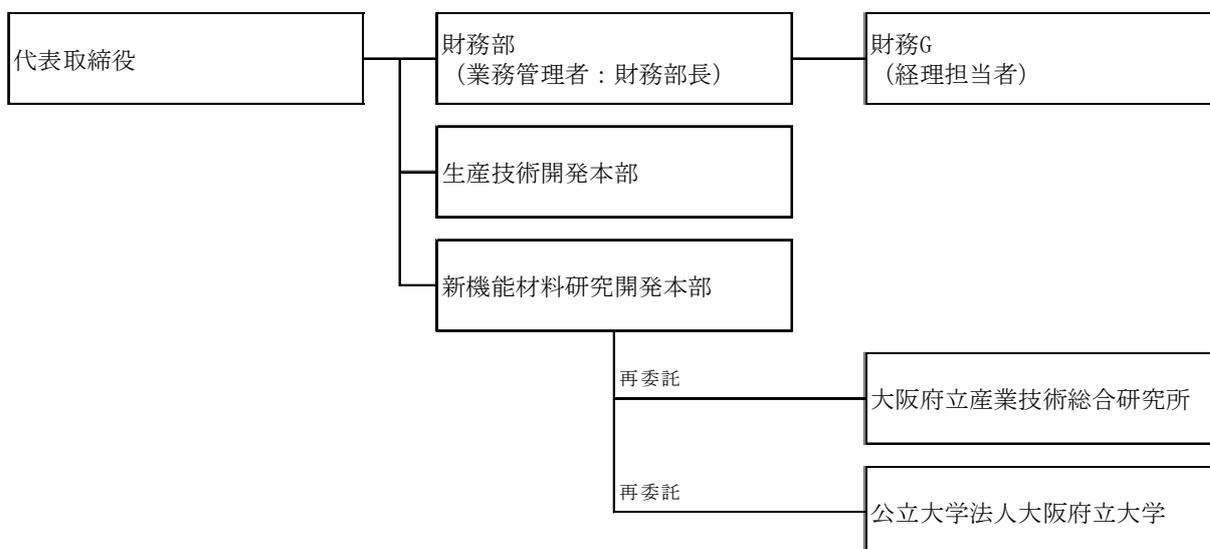
総括研究代表者 (PL)  
株式会社特殊金属エクセル  
監査役 新機能材料研究開発本部  
マネジャー 田中 光之

副総括研究代表者 (SL)  
大阪府立産業技術総合研究所  
機械金属部 金属材料系  
主任研究員 平田 智丈

### 1-2-2 管理体制

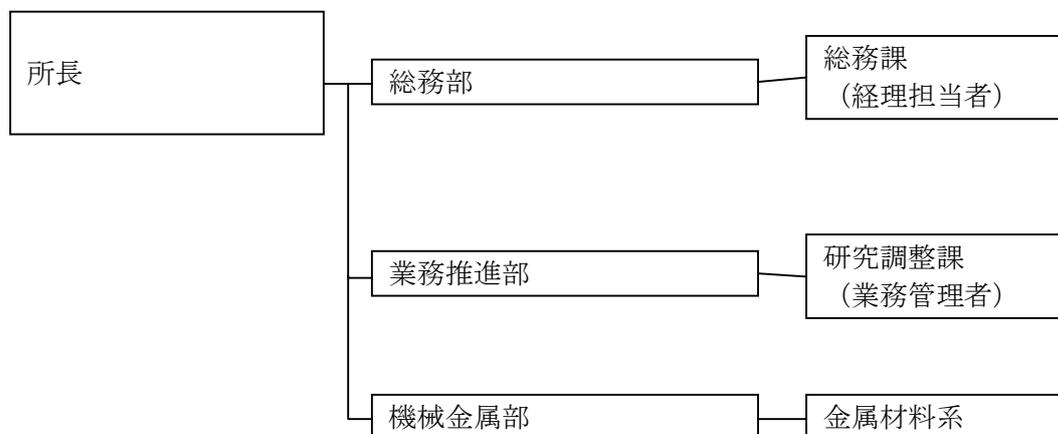
#### ① 事業管理機関

[株式会社特殊金属エクセル]

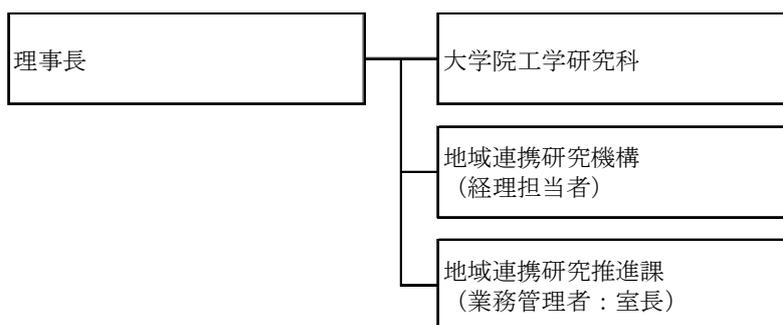


② 再委託先

[大阪府立産業技術総合研究所]



[公立大学法人大阪府立大学]



1-2-3 管理員および研究員

【事業管理機関】株式会社特殊金属エクセル

(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社特殊金属エクセル

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
田中 光之	監査役 新機能材料研究開発本部 マネジャー	⑤

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
田中 光之 (再)	監査役 新機能材料研究開発本部 マネジャー	①③④
蛭田 修平	新機能材料研究開発本部 研究員	①③④

【再委託先】

大阪府立産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
平田 智丈	機械金属部 金属材料系 主任研究員	②③
田中 努	機械金属部 金属材料系 研究員	②③

公立大学法人大阪府立大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
金野 泰幸	大学院工学研究科 マテリアル工学分野 准教授	①
浅岡 武之	大学院工学研究科 リエゾンオフィス 統括コーディネータ	①

- ① 最適ツール材料およびツール形状の開発
- ② 摩擦攪拌接合装置の計装化
- ③ 最適摩擦攪拌接合条件の開発
- ④ 抵抗器の特性評価
- ⑤ プロジェクトの統括管理

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社 特殊金属エクセル

(経理担当者) 財務部 秋山 麟太郎

(業務管理者) 財務部長 矢崎 治

(再委託先)

大阪府立産業技術総合研究所

(経理担当者) 総務部 総務課 江川 定子

(業務管理者) 業務推進部 研究調整課 木下 俊行

公立大学法人大阪府立大学

(経理担当者) 地域連携研究機構 専門役 若松 宮子

(業務管理者) 地域連携研究推進課 室長 角谷 佳則

1-2-4 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
田中 光之	株式会社特殊金属エクセル 監査役 新機能材料研究開発本部 マネジャー	PL
平田 智丈	大阪府立産業技術総合研究所 機械金属部 金属材料系 主任研究員	SL
蛭田 修平	株式会社特殊金属エクセル	

田中 努	新機能材料研究開発本部 研究員 大阪府立産業技術総合研究所 機械金属部 金属材料系 研究員	
金野 泰幸	公立大学法人大阪府立大学 大学院工学研究科 マテリアル工学分野 准教授	
浅岡 武之	公立大学法人大阪府立大学 大学院工学研究科 リエゾンオフィス 統括コーディネータ	
角谷 哲生	角谷特許事務所 所長（弁理士）	アドバイザー （旅費）
森重 大樹	学校法人関西大学 化学生命工学部 化学・物質工学科 助教	アドバイザー （旅費）
仲村 圭史	コーア株式会社 製品開発第1G プロフィットマネジャー	アドバイザー （旅費）

### 1-3 成果概要

最終年度である平成23年度は、前年度に製作した連続摩擦攪拌接合装置を用い、固定抵抗器用テーラードストリップ材を作成するための、種々の最適条件を調査した。研究開発実施内容の詳細は本論にて述べるが、得られた結果についての概略を以下に記す。

#### ①最適摩擦攪拌ツール材質の開発

開発した材質のツールは、20mの長距離接合においても、先端の変形がほとんどなく、摩耗も軽微であった。従って、テーラードストリップ材を作製するために適切なツール材質を開発できたといえる。

#### ②摩擦攪拌接合装置の計装化

計装化により、従来の接合試験では得られなかった、軸荷重、推進力を常時観測可能となった。この新たな知見により、更なる接合条件の最適化や、適切な設備設計、改造が可能となった。

#### ③最適摩擦攪拌条件の研究

接合材の品質に影響を与える要因を調査し、種々の試験より、健全な接合材を得るための最適接合条件を見出すことができた。健全な接合材とは、接合界面に内部欠陥が無く、継手効率を75%達成しているもの指す。

#### ④抵抗器の特性評価

抵抗器、およびその温度依存性を評価し、理想値に近い特性を得ることが出来た。

#### 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社特殊金属エクセル  
新機能材料研究開発本部  
田中 光之 監査役  
m-tanaka@tokkin.co.jp  
tel 0493-65-4030 fax 0493-65-3578

株式会社特殊金属エクセル  
新機能材料研究開発本部  
蛭田 修平  
s-hiruta@tokkin.co.jp  
tel 0493-65-4030 fax 0493-65-3578

## 第2章 本論

### 2-1 最適ツール材料およびツール形状の開発

#### 2-1-1 概要

銅と抵抗材を摩擦攪拌接合するために有効なツール材料、およびツール形状を検討した。ツール材料については、Ni基2重複相金属間化合物（Ni基超々合金）についてFSWツールとしての特性を向上させた合金開発を行った。

#### 2-1-2 ツール用素材の開発

Ni基超々合金はL1<sub>2</sub>結晶構造のNi<sub>3</sub>AlとD0<sub>22</sub>結晶構造のNi<sub>3</sub>Vの2種類の金属間化合物を2重に複相組織化した金属間化合物合金である。矩形状の初析L1<sub>2</sub>（Ni<sub>3</sub>Al）相と、その間隙（チャンネル）部にD0<sub>22</sub>（Ni<sub>3</sub>V）相とL1<sub>2</sub>（Ni<sub>3</sub>Al）相が配置された2重複相組織を特徴とする合金で、この特異な微細組織により、特に高温における強度特性が秀逸な耐熱合金である。本合金は大阪府立大学で開発された純国産の新材料である。

FSWツールには強度とともに高い耐摩耗性が要求される。そこで本年度はTaを添加して耐摩耗性を向上させたNi基超々合金をツール材料とした。TaはNi基超々合金に対して、固溶強化により硬さ特性を顕著に向上させる。

##### (1) ツール素材の化学成分

表1に示すNi基超々合金（NAV-5Ta）を真空誘導溶解（VIM）法により作製した。鋳塊の重量は約4kg弱であった。鋳塊には真空中で1280℃-5hの均質化兼溶体化熱処理を行った。図2に鋳塊の外観写真を示す。熱処理後の鋳塊を目視で観察した範囲では割れや欠陥は観察されなかった。

表1 FSWツール用Ni基金属間化合物合金の公称組成（B以外はat.%）

	Ni	Si	Ti	Al	V	Ta	B (wt.%)
NAV-5Ta	75.0	—	—	7.0	13.0	5.0	0.005

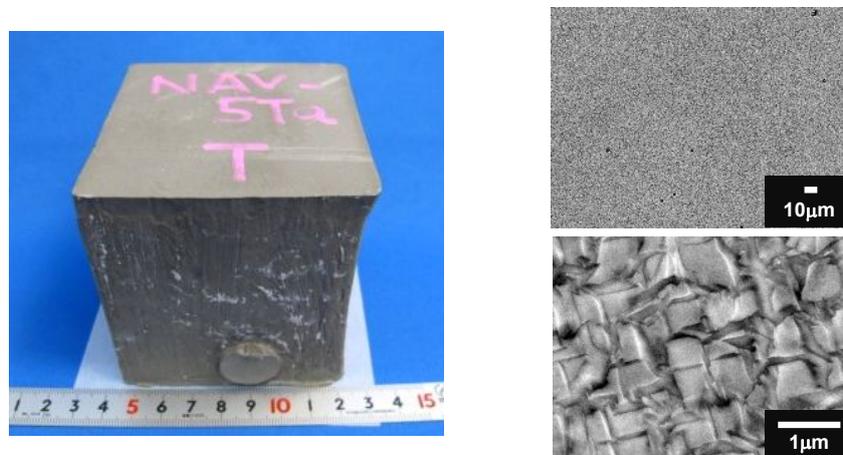


図2 FSWツール用Ni基金属間化合物合金鋳塊の外観写真およびSEM像

## (2) ツール素材の組織

図2にNAV-5Ta合金鋳塊の熱処理後の走査電子顕微鏡 (SEM) 組織写真を示す。第2相分散物は認められず、矩形状の初析とチャンネル部からなる2重複相組織が形成されている。X線回折の結果からも、NAV-5Ta合金では2重複相組織を構成するNi<sub>3</sub>AlとNi<sub>3</sub>Vのみが同定された (図3)。

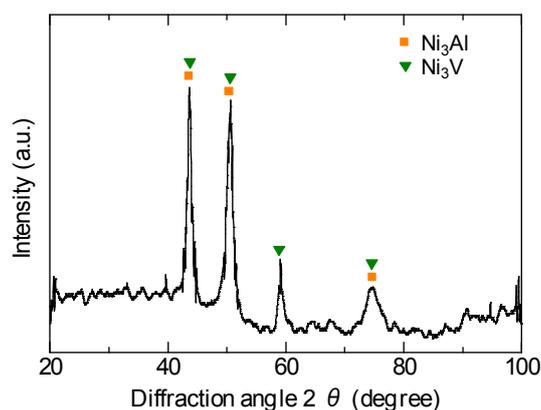


図3 FSWツール用Ni基金属間化合物合金鋳塊のX線回折プロファイル

## (3) 機械的特性

### 室温硬さ

合金鋳塊の熱処理後の室温硬さは、600HVを超える非常に高い硬さを示していた。

### 室温引張特性

表2に各合金鋳塊の熱処理後の室温引張特性を調査した結果を示す。0.2%耐力、引張強度ともに1000MPa (1GPa) を超える高強度を示すが、伸びはほとんど観察されなかった。

表2 FSWツール用Ni基金属間化合物合金鋳塊の室温引張特性

	0.2%耐力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)
NAV-5Ta	1154	1188	0.4

## 2-1-3 結論

基礎特性調査の結果、開発したNAV-5Ta合金は、高い硬度と引張強度を示した。更に特徴的な2重複相組織を形成することで、特に高温における高い強度特性が期待できる。従って、摩擦攪拌接合におけるツール材料として期待できる。

## 2-2 摩擦攪拌接合装置の計装化

### 2-2-1 概要

摩擦攪拌接合は、材料を溶かすことなく接合できるというメリットがある反面、ツールを材料中に挿入する加圧力や、あるいはツールを材料中で回転させる駆動力など、他の接合装置では要求されない大きな動力が必要となる。したがって、新規接合装置を開発するときや、新材料の接合を試みる場合は、高品質に接合するために装置に必要なそれらの動力を事前に定量的に把握することが重要で、それらの値に応じて装置スペックを決定することになる。一方、装置の動力を定量的に把握することは、接合中の入熱量、すなわち接合温度を把握することにも役立つ。特に摩擦攪拌接合では、接合材料とツールとの摩擦により生じる熱を利用して接合するため、摩擦状態の違いに起因した装置動力の変化は、入熱量を定量的に把握するために重要である。そこで、現在、大阪府立産業技術総合研究所で保有する摩擦攪拌接合装置（図4参照）に新たな機能を追加し、新規接合装置の開発や入熱量の定量化に寄与できる接合装置の計装化を実施することにした。



図4 既存の摩擦攪拌接合装置

### 2-2-2 計装化内容

一般的な摩擦攪拌接合は、図5のような状態で接合されることが多い。すなわち、接合中は接合材料を固定する力に加え、ツールでの加圧力、ツールの移動に必要な推進力、そしてツール回転駆動力が必要とされる。接合材料を固定する力は既存装置では一定であり、また開発目的の連続接合装置では重要視されない。したがって、ここではその他の動力に

注目するが、ツール加圧力、ツール推進力、そしてツール回転力は、すべてが接合品質の安定化には重要な動力である。既存装置では、ツール回転力（回転トルク）を計測する機能は既に備わっているが、この他を計測できる機能は備わっていないため、これらを計測できる機能を新たに計装化することにした。

ツール加圧力を計測するために、図6のように500kgのロードセルを接合ヘッドの前後に一つずつ設置し、計1000kgの荷重を計測できるようにした。また、ツール推進力を計測できるようにデータロガーを介してデータを出力できるようにした。計装化後の制御ソフトのPC画面を図7に示す。新たに加圧力と走行推力の表示を追加し、これらの力をリアルタイムに把握できるようにした。

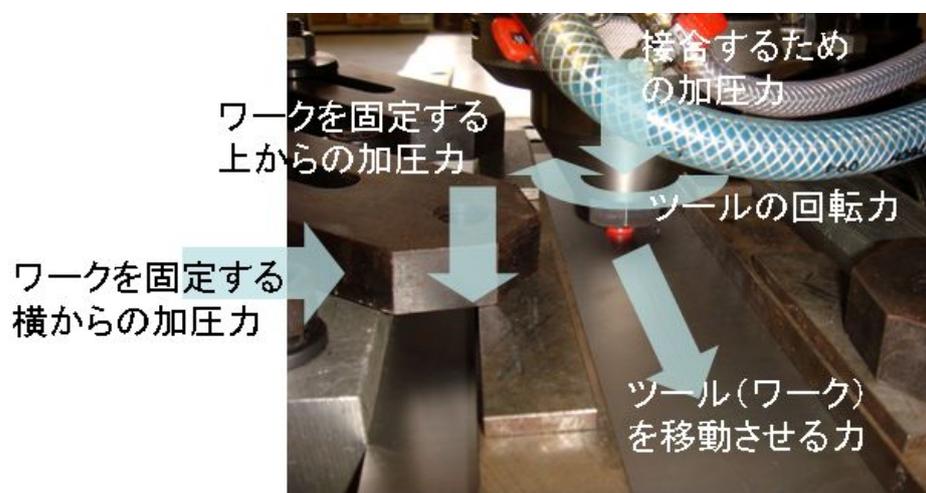


図5 一般的な摩擦攪拌接合時の様子



図6 接合ヘッドにおけるロードセル取り付け部

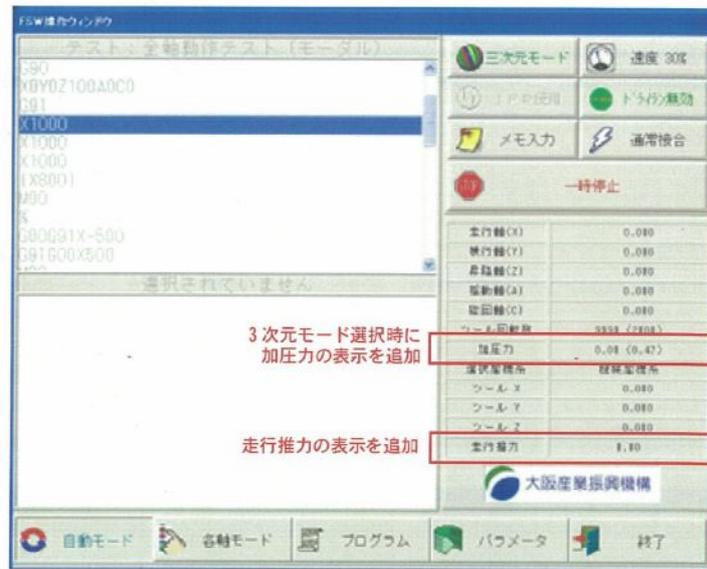


図7 計装化後の制御ソフトのPC画面

### 2-2-3 実験方法

接合中のツール加圧力、ツール推進力、そしてツール回転力の3つの動力を実際に確認するために、アルミニウム合金を用いてスターインプレートを実施し、これらの値を計測した。材料は6061アルミニウム合金で板厚3mmの板材である。使用したツールの形状は、シオルダ径12mm、プローブM4、プローブ長2.9mmで、ツール材質はSKD61である。接合条件の変更に伴う計測データの変化を明確に判断するために、接合条件としてはツール回転数を1400rpm、1000rpm、接合速度を300mm/min、600mm/min、前進角は3°と2°の各々2条件ずつとした。

### 2-2-4 実験結果

各接合条件での接合において計測したデータを図8に示す。回転トルクはグラフ表示しており、横軸は経過時間、縦軸はトルクを表している。ツール推進力およびツール加圧力は数値のみで示している。ツール加圧力に関しては接合中はほぼ一定値を示していたためであるが、ツール推進力に関しては接合中の値の変動が非常に大きかったため、おおよその平均値として整理したためである。ツール推進力の変動幅に関しては、これらの結果が摩擦攪拌接合中の挙動をそのまま反映してのことなのか、あるいはデータを取り込む際の問題であるのかは、今後の検討課題である。ツール加圧力は、接合条件が変化してもあまり変化しないことがわかる。一方、ツール回転トルクに関しては、ツール加圧力と比較すると接合条件の変化に敏感であり、接合速度の増加、あるいはツール回転数の減少に伴い、トルク値は増加している。これら3つの動力の計測結果は、新規接合装置の開発や新材料の接合において非常に重要なデータと考えられ、単独で考慮すればいいのか、あるいは総合

的に考慮すべきかは今後詳細に検討する必要があるが、摩擦攪拌接合時にはツール回転力の変動を注視することが重要と考えられる。

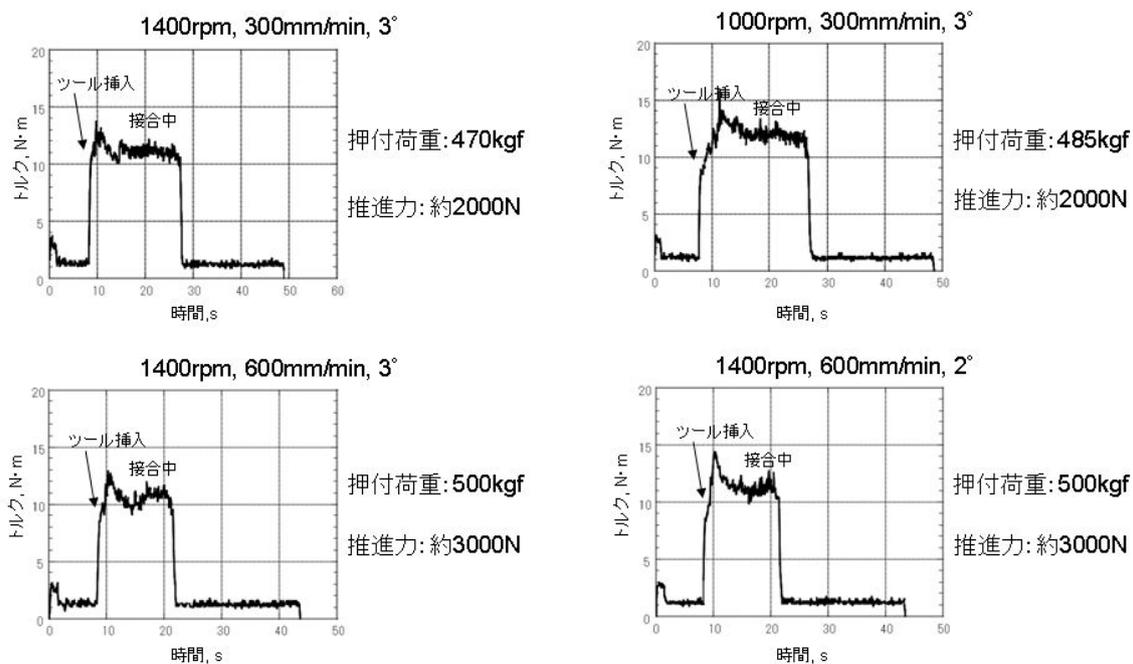


図8 接合中の時間経過に伴う各種動力の変化

## 2-2-5 結論

大阪府立産業技術総合研究所保有の摩擦攪拌接合装置を計装化したことにより、摩擦攪拌接合材の接合品質の安定化に欠かせない、ツール加圧力、ツール回転トルク等の動力をリアルタイムに計測することが可能となった。これにより今後は、比較的簡易かつ効率的に新規接合装置の開発あるいは新材料の適正接合条件探索ができ、固定抵抗器用の材料の接合においても、詳細な定量的検討を通して実用化促進が期待できる。

## 2-3 最適摩擦攪拌接合条件の開発

### 2-3-1 接合条件

大阪府立大学より提案された NAV-5Ta ツールを使用して、接合試験を実施した。

#### (1) 接合条件

接合条件を表3に示す。回転数は100[rpm]間隔、オフセットは0.1~0.2[mm]、前進角は1[°]間隔で変更した。全ての組み合わせを行うと、実験数が膨大になってしまうため、接合試験の都度、表面の状態や発熱等を確認し、接合条件を変化させて試験を進めた。使用したツール形状は、NST-Nbと同様である。ただしプローブ直径を3種類選定し、プローブ直径を2, 2.5, 3mmとしたツールを使用した。

表3 NAV-5Ta ツールを用いた接合試験条件

回転数[rpm]	接合速度[mm/min]	オフセット[mm]	前進角[°]
700~2000	100	0.3~1.5	2~6

#### (2) 接合材の評価

得られた接合材について、接合断面を観察した。採取位置は、接合開始から500~1500mm(接合後期)とした。接合条件によって、接合距離を統一できていない為、採取位置に幅が生じている。また、外観上特に良好と思われる接合条件については、接合初期、中期、後期の3箇所サンプルを採取した。

#### (3) ツールの評価

接合に使用したツールについて、その使用前後の形状変化、および重量変化を調査した。主な観察点は、接合前後のプローブの形状変化(摩耗、変形)である。

### 2-3-2 接合試験結果および考察

#### (1) 接合材評価

図9に代表的な接合条件における外観および断面写真を示す。回転数900rpm, 接合速度100mm/min, オフセット0.5mm, 前進角4°の条件では、光学顕微鏡レベルでの欠陥が観察されず、健全な接合材を得ることが出来た。

また接合外観、断面観察、ツール赤熱等の所見より、適正接合条件図を作成した(図10)。◎が今回の試験において最も良好な接合界面を得られた条件である。○は若干の欠陥が確認出来るが接合は安定しており、概ね良好な接合条件である。△は接合中にツールが赤熱した条件、あるいは深刻な内部欠陥が観察された条件である。また×は溝状欠陥が発生した条件となる。この図より、適正接合条件の範囲は狭いと予想されるが、回転数や接合速度、前進角については1度設定すれば変動しないため、特に問題ないと推察される。またオフセットについては、使用している材料の幅公差が±0.2mmであり、その影響が懸念される。但しオフセット0.3~1.0mmにおいて比較的良好な接合が行えている為、幅公差による誤差は吸収可能であると考えられる。

## (2) ツールの評価

図 1 1, 1 2, 1 3 にプローブ径 3mm の接合前後のツール形状を示す。積算接合距離 3, 5m において、接合前後のツール形状に変化は見られなかった。またプローブ先端を観察すると、接合前に観察されるツール加工時の切削痕が、接合後でも観察されており、非常に高い耐摩耗性を示している。

一方、プローブ径 2, 2.5mm ツールは、接合中にプローブが根元から折損してしまった。プローブ径 2mm ツールは、接合開始直後に折損し、プローブ径 2.5mm ツールは接合距離 100mm 程は耐えていたが、その後折損した。この結果より、NAV-5Ta ツールにおいて、プローブ径 3mm 未満では強度不足であることがわかった。

### 2-3-3 結論

NAV-5Ta ツールを用いた接合試験の結果、接合距離 20m でもツール形状に大きな変化は無く、耐摩耗性も良好であった。また、健全な接合材を得る為の接合条件を見出すことが出来た。今回の実験範囲で得られた要点を下記に箇条書きにて示す。

- (1) 回転数は 900rpm で最も接合良好であり、1000rpm 以上では接合後半に過剰な発熱が観察された。
- (2) 適正オフセットは 0.3~1.0mm の範囲であり、比較的広い領域で接合可能であった。
- (3) 前進角は 4° が適正であり、それ以上、以下ではバリ量が増加や、欠陥の発生が観察された。

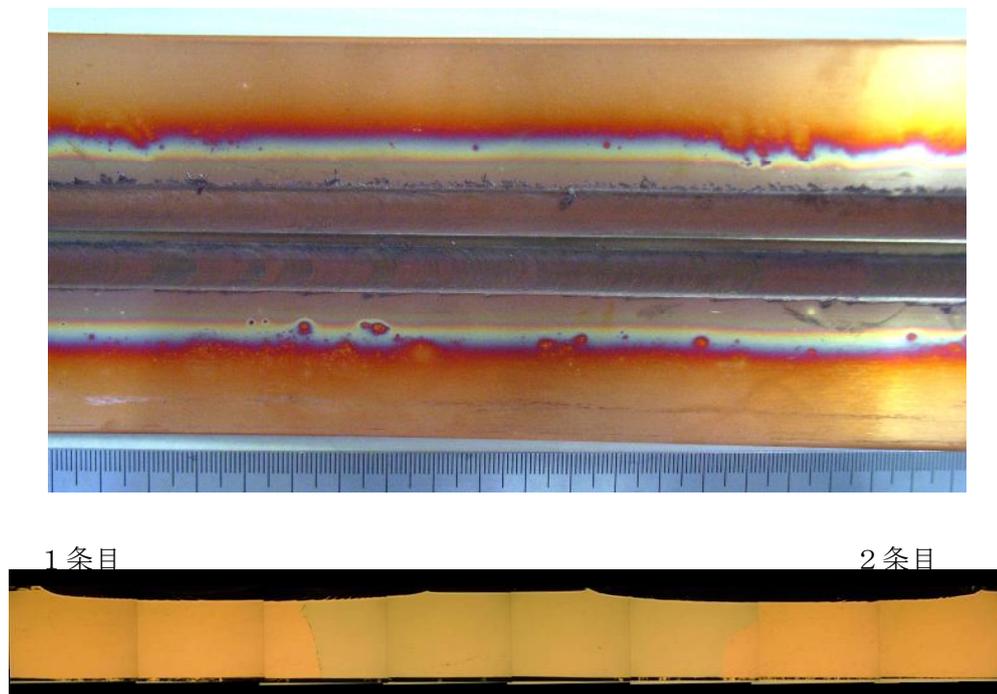


図 9 回転数 900rpm, オフセット 0.5, 前進角 4° における接合断面図

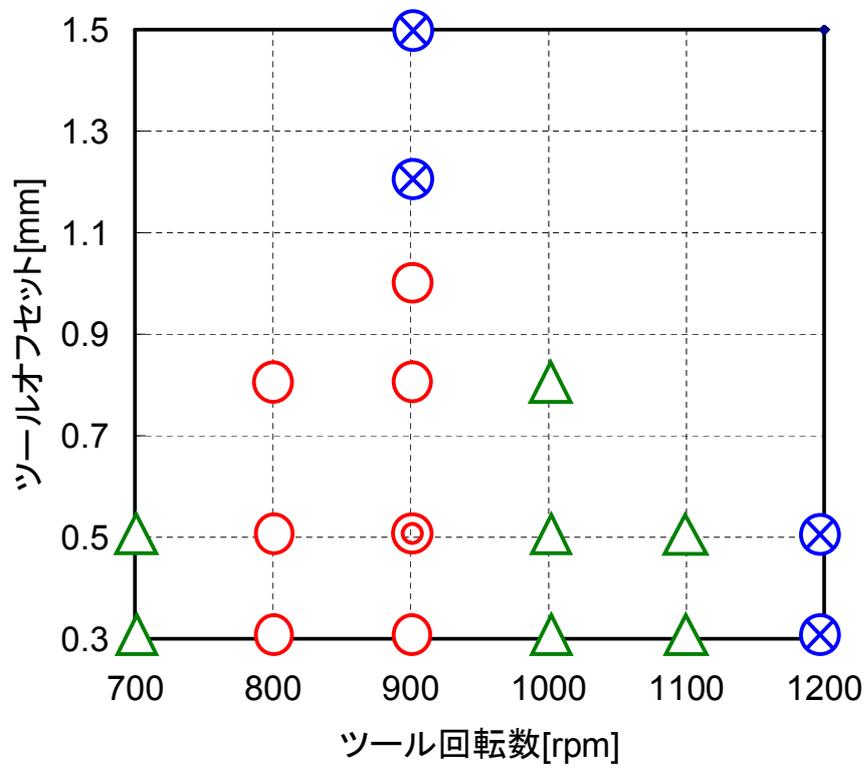
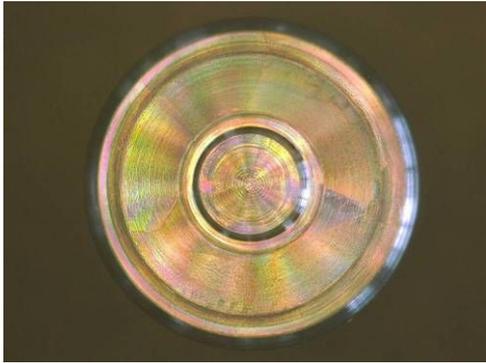


図10 NAV-5Ta ツールにおける接合状況所見

(◎ ○ △ ×)

良 ⇔ 悪

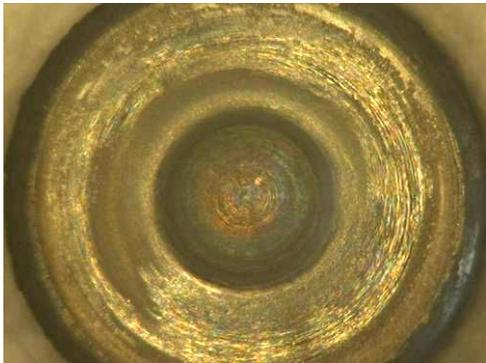


(a) 真上図



(b) 側面図

図 1 1 ツール外観 (使用前)



(a) 真上図



(b) 側面図

図 1 2 ツール外観 (20m 使用後)



(a) 使用前



(b) 使用後 (20m)

図 1 3 ツール先端観察写真 (20m 使用前後)

## 2-4 抵抗器の特性評価

### 2-4-1 概要

前項にて作製した接合材を用いて、抵抗器としての特性を評価した。評価項目は抵抗値、TCR特性および発熱特性である。

### 2-4-2 測定方法

接合材はワイヤ放電加工を行い、サンプルとして使用した。本形状は、実際の抵抗器のそれとは異なるが、本項で述べる電気的特性を評価した後、機械的特性として引張試験を実施する目的の為、特別な形状としている。尚、本形状のために、電気的特性を評価するに当たっての不自由な点等は特になかった。

作製した接合材は、接合表面の純銅のオーバーラップを除去するため、50  $\mu$ m程の厚さを手研磨にて除去している。これは接合部に抵抗値の低いCuの接合代(オーバーラップ)が存在するために、抵抗値が低くなることを防止するためである。

また参考として、EB溶接により作製した接合材についても、同様の形状加工を施し、電気的特性を評価した。

抵抗特性は、定電流を流し抵抗体両端の電圧降下を測定。電圧検出位置を各サンプルで統一する為、試験用プリント基板を使用。検出位置の間隔は、接合品質による影響を確認する為、マンガニンの寸法(10mm)より長く、25mmとした。

### 2-4-3 抵抗値およびTCR特性

図14に抵抗値およびTCR特性の測定結果を示す。試作材の抵抗値は理想値に近い値を示した。しかし、サンプルごとのバラツキが非常に大きい結果となった。

EB溶接材はFSW材と比較して、バラツキが非常に小さく、抵抗値も理想値に近い値を得た。

またTCR特性は、試作材では抵抗値と同様に、TCR特性においても理想値に近い値を示した。但し、抵抗値と同様にバラツキが見られた。EB溶接材についても、理想値に近い値を示し、バラツキは非常に小さかった。

### 2-4-4 発熱の評価

図15に発熱の評価結果を示す。部分的に非常に弱く接合された場所が電極内に存在する場合、電極部発熱の温度差が生じる。今回のサンプルは発熱差が確認できる程の接合力が弱い部分は存在しなかった。

### 2-4-5 結論

本開発装置を用いて試作した抵抗器の性能は、EB溶接材と比較して劣っていた。但し抵抗器の電極接合としては、あと1歩のレベルまで到達しており、特にCuのオーバーラップ

部の制御が改善のポイントとなる。今後は、最適条件の更なる追究と共に、抵抗特性と機械的強度のデータを分析しより明確な傾向を得ることを目指す。

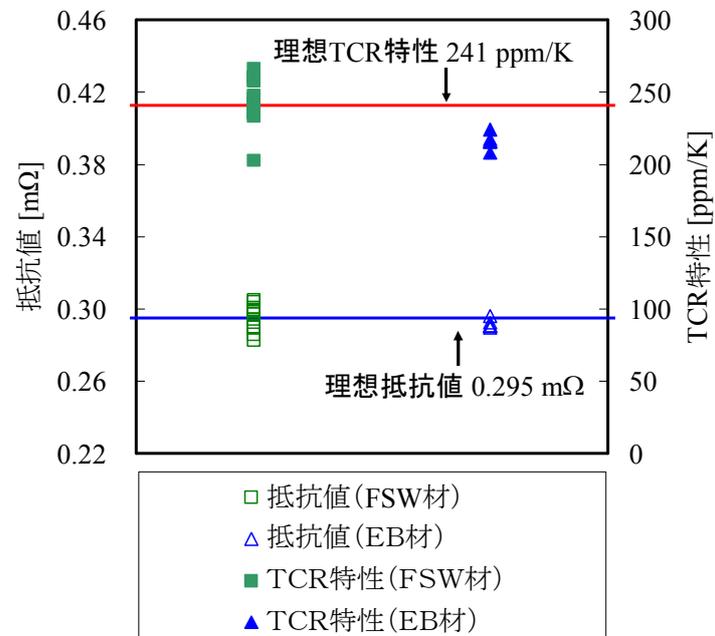


図 1 4 抵抗値およびTCR特性測定結果

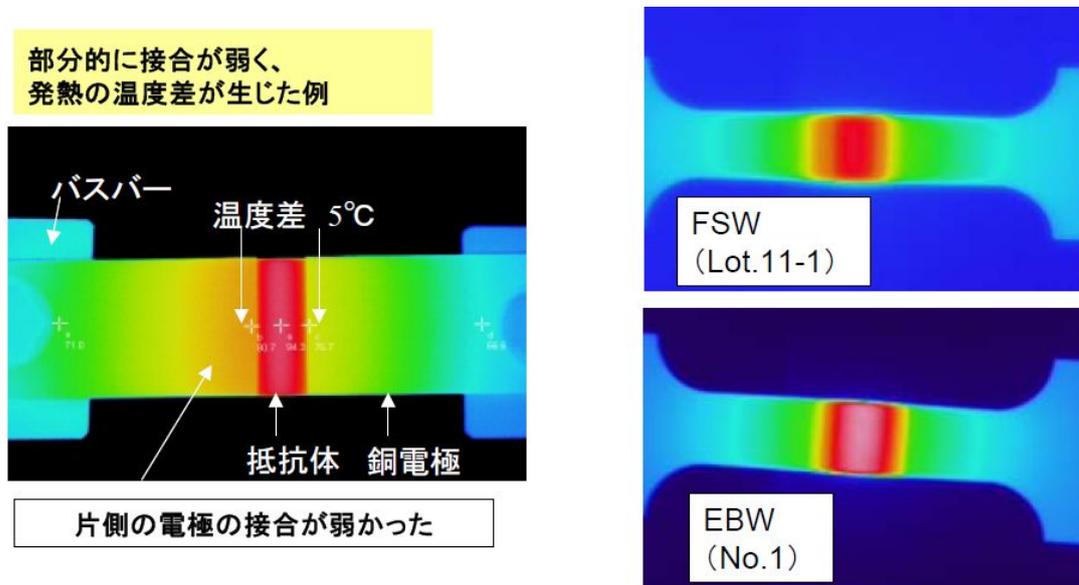


図 1 5 発熱状態評価結果

### 第3章 総括

摩擦攪拌接合法を用いた、車載向け低抵抗固定抵抗器用のテーラードストリップ材を製作することを最終的な目標として、本研究開発では、種々の接合条件を最適化し、目標の性能を有するテーラードストリップ材の試作を試みた。得られた結果を要約すれば、次のとおりである。

- (1) 摩擦攪拌接合法においては、接合ツールの損耗が大きな課題となるが、本研究開発の結果、固定抵抗器用テーラードストリップ材を製作するに耐えるツール材質を開発できた。
- (2) 摩擦攪拌接合装置を計装化し、種々の接合データを収集した。得られたデータは、最適接合条件の決定への指針を与えた。
- (3) テーラードストリップ材の製造を行う為の、最適摩擦攪拌条件を見出せた。但し、接合安定領域への到達に時間を要することや、川下企業がより小型、高品質の製品を求めていることもあり、さらに安定、高品質のテーラードストリップ材を得る為の最適条件の検討が必要である。

今後は、開発した接合装置の更なる改造等も含め、より高品質なテーラードストリップ材を製作するための適正条件を模索し、実用化への道を開いていく必要がある。

### 付録

#### 専門用語解説

スターインプレート	単板にツールを挿入し、摩擦攪拌のみを行う手法。
ドゥエルタイム	回転するツールを材料に挿入してから送り始めるまでの保持時間。
キッシングボンド	接合界面裏面近郊に生じる不完全接合部。
プローブ	接合ツールの先端の突起。母材表面に挿入され、回転による摩擦熱の付与、塑性流動した母材を攪拌する役目を持つ。
ショルダ	接合ツールの肩部。母材表面に接し、回転による摩擦熱の付与、接合部からの母材流出を防止する役目を持つ。
前進側	接合ツールの回転方向が接合方向と一致する向き。
後進側	接合ツールの回転方向が接合方向と逆になる向き。
オフセット	高強度材料側にプローブが接触する長さ。

**リサイクル適性 (A)**

この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。