

### 異材接合への期待とその展望

中田 一博 Kazuhiro Nakata  
大阪大学接合科学研究所

#### 1 はじめに

異材接合・溶接は製造業において必要不可欠な技術であり、各年代の最先端の接合・溶接技術と現場技術者の熟練技術を駆使して、これまでに種々の組合せの異材接合・溶接が実用化されてきた。

大阪大学接合科学研究所では牛尾誠夫研究所長を委員長として5大学、10民間企業の参加を得て、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の研究基盤施設活用型先導的基礎研究調査事業に係る委託調査として、(財)宇宙環境利用推進センターより委託を受けて平成12年度および13年度にわたって調査研究「異材溶接技術の基礎研究」を実施している。

この中で、21世紀初頭における異材接合技術への期待と、従来までは困難とされてきた異材接合継手の実現に向けてのブレイクスルー技術の展望について調査を行ってきている。

本稿では、調査研究の一環として行った異材接合に関するアンケート調査結果<sup>1)</sup>について、その一部を簡単に紹介する。

#### 2 異材接合に関するアンケート調査結果

##### 2.1 アンケート調査の目的と調査範囲

異材接合技術の現状把握を行うとともに、21世紀における異材接合に対するニーズ把握および次世代異材接合技術としての開発期待技術の調査を目的として、溶接学会企業会員384名へのアンケート調査を行った。回答は広範囲の製造業種の128名の方々から138の回答を得ており、回収率は33%であった。

表1はアンケート回答各社の業種を示す。わが国の製造業をほぼ網羅するように広範囲の業種から、いくつか

表1 アンケート回答各社の業種

業種	%	業種	%
機械	11.0	鉄道車輛	3.7
建設・土木	3.7	電機	17.8
エンジニアリング	4.2	精密	4.2
プラント製造	5.2	鉄鋼	13.6
造船	4.7	非金属	3.1
航空・宇宙	5.2	化学	3.7
自動車	8.9	その他	11.0

の業種に集中することなく、各業種からまんべんなく回答が得られた。

##### 2.2 異材接合の必要性

21世紀において異材接合が必要かどうかの問いかけに対しては図1に示すように、実に90%が必要もしくは大いに必要としている。すなわち、異材接合の技術開発のニーズはきわめて大きいことがこれからも明白である。

##### 2.3 今後の異材接合に対して何が望まれるか

さて、それでは21世紀に入って異材接合に対して何が望まれ、必要とされているのであろうか？

(1) 今後必要とされる異材接合の組合せ

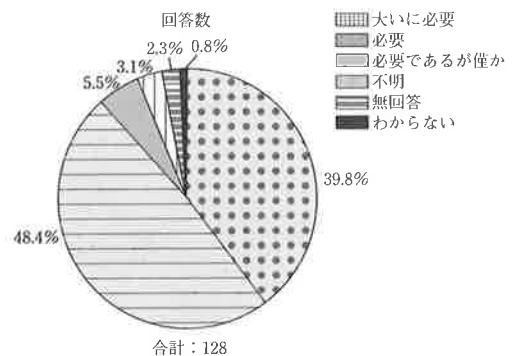


図1 21世紀の異材接合・溶接継手の必要性

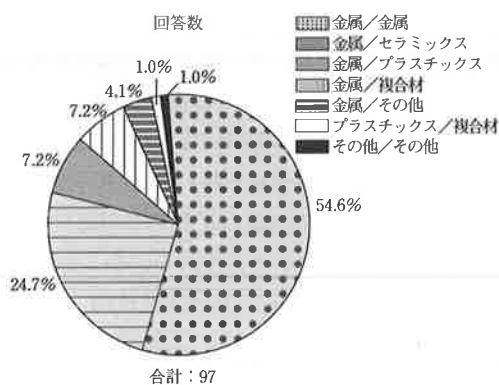


図2 将来的に必要と考えられる異材接継手の組合せ

まず、図2は今後必要とされる異材接合の組合せであるが、現状とほぼ同様に金属同士の接合が過半数を上まわっている。また金属とセラミックス、プラスチック、

表2 将来的に必要と考えられる金属同士の異材接継手の具体的な組合せ

金属の組合せ	%	金属の組合せ	%	
鉄	鉄/アルミ	20.2	アルミ/銅	5.8
	鉄/鉄	5.8	アルミ/マグネシウム	2.9
	鉄/チタン	3.8	アルミ/アルミ	1.9
	鉄/SUS	2.9	アルミ/チタン	1.9
	鉄/銅	2.9	アルミ/その他	5.8
	鉄/マグネシウム	1.0	チタン/チタン	1.0
	鉄/その他	5.8	チタン/その他	2.9
SUS	SUS/アルミ	7.7	銅/銅	1.0
	SUS/銅	3.8	銅/その他	6.7
	SUS/チタン	1.9	その他/その他	7.7
	SUS/SUS	1.0		
	SUS/その他	5.8		

複合材との接合も将来必要と考えられている。

もっとも需要が多いと考えられる金属同士の異材接合について、具体的な材料との組合せを示したのが表2である。現状の実用化技術では鉄（ステンレス鋼（SUS）を含む）系同士の組合せが約3割を占めていたが（図は省略）、これに代わって鉄（SUSを含む）/非鉄金属が多くなっている。とくに鉄（SUS含む）/アルミの組合せが全体の24%に達しており、次いで鉄（SUS含む）/チタン、鉄（SUS含む）/銅が多い。また、非鉄金属同士ではアルミ/銅が多い。すなわちアルミ、チタン、銅、鉄（SUS含む）間の異材接合がより多く望まれていることが分かった。

これら異材継手の使用目的は表3に示すようになっており、多くの機能にわたっているが、中でも軽量化、耐食性、導電性が多く挙げられている。この傾向は現状実用化技術と同様であった。したがって、軽量化の観点からは鉄（SUS含む）/アルミ、アルミ/銅、耐食性に対しては鉄（SUS含む）/チタン、導電性では鉄（SUS含む）/銅、アルミ/銅が主に求められていると言えよう。

## (2) 今後望まれる接合方法

表4は今後望まれる接合法を示す。溶融溶接法を希望する回答がもっとも多く、中でもアーク溶接とレーザー溶接が多い。また、ろう付法の希望も多い。溶融溶接とろう付とを併せた割合は50%に達している。

この理由としては、施工性、量産性、コストなどが挙げられている。また使用材料の形状や継手形状も上記の結果に対応するように板材同士の突合せ継手や重ね継手のニーズが多い傾向にあった。もちろんその他の接合法

表3 異材継手の使用目的（電子・電気機器、構造部材）

使用目的（機能）	全件数	件数 電子・電気	件数 構造部材	具体的目的例
軽量化	17	1	16	軽量化/剛性、自動車、福祉機器
耐食性	14		14	歯科医療
導電性	12	4	8	回路形成、コア部と電極の接合、導電性セラミックスの電極、ヒーター線端子、インクジェットヘッド、圧電素子、デバイス
高強度	7		7	低温強度、端、構造材
コストダウン	7	2	5	
耐熱性	5		5	
形状自由度	5		5	成型性
耐摩耗性	5		5	
熱伝導性	6	2	4	電熱/強度
絶縁性	2		2	
低温接合はんだ	2		2	プラスチックキャリアとSiチップ
鉛フリーはんだ	2		2	
大きな理由無し	2		2	
施工性	1		1	(新幹線)
単純化	1		1	防蝕のための絶縁継手の使用が不要になる
断熱	1		1	(LNG船)
接合不可材料の接合	1		1	鋳鉄の接合
接合不可材料のはんだ接合	1		1	はんだ、ろう付不可材料の接合

表4 将来的に使用を希望する異材接合法

溶接法		%	溶接法		%
溶融溶接	アーク溶接	16.2	電磁圧接	電磁圧接	1.5
	レーザー溶接	12.9		熱間圧延	1.5
	抵抗溶接	6.8		ガス圧接	4.5
	電子ビーム溶接	3.8		各種	3.8
	ガス溶接	0.8		ボルト	1.5
ろう接	各種	9.1	機械的接合	かしめ	0.8
				リベット	0.8
固相接合法	拡散接合	4.5	その他	各種	3.0
	超音波接合	4.5		接着剤	10.6
	摩擦圧接	3.0		鋳ぐるみ	0.8
	常温圧接	3.0			
	爆発圧接	2.3			8.3

に対してもそれぞれのニーズがある。

このように異材継手を作る上で溶融溶接に対する希望が多いことが明らかになった。しかし実際に適用できるかどうかについての回答は、可能性ありと困難・不可能

とが拮抗した結果が得られた。

困難・不可能な理由としては脆弱な金属間化合物の形成が最も多く、次いで大きな物性差（融点、熱伝導度、密度など）、電蝕（接触電位差による腐食）などが挙げられていた。したがって溶融溶接による異材接合技術に対しては従来の溶融溶接技術の延長では困難であり、新しい着想による技術開発が求められていることになる。

(3) 現在注目している新しい異材接合技術

表5に現在注目している新しい異材接合技術を示す。注目されている新しい異材接合法としてはFSW（摩擦攪拌接合）が最も多く、次いでレーザー溶接、摩擦接合、拡散接合・液相拡散接合であった。新しい接合法としてその開発・実用化が進められているFSWが異材接合法としても注目されていることは特記すべきである。

現行実用化技術ではFSWはまったく言及されていない

表5 現在注目している新しい異材接合技術

プロセス	技術内容	具体的注目材料	具体的注目用途	件数	
溶接	材料	異材組合せ	鋼(含SUS) - Al(含Mg)	自動車	15
			セラミックス, 複合材-金属		14
			Ti-鋼他	メガフロート, 歯科材料	8
			Cu-Al	コンデンサー	3
			Fe-Fe, SUS		3
			鋼-金属		2
			セラミックス-プラスチック		2
			Mg-Al		1
			セラミックス-セラミックス		1
			半導体-金属		1
	技術	FSW	Al-鋼		17
		レーザー		電子部品の微細スポット	11
		摩擦接合			8
		拡散接合			4
		液相拡散接合			2
		超音波振動エネルギー・真空/加圧			2
		事故燃焼反応焼結			1
固相接合(アーク/スラグ発熱利用)				1	
パルス接合				1	
シーム溶接				1	
用途			福祉機器等(軽量化)	1	
		Ni基合金	ガスタービン	1	
機械的接合				1	
	かしめ(微細)			1	
	リベット			1	
はんだ				5	
	Pbフリーはんだ			2	
	200℃以下の接合技術	Al		1	
	はんだ材料			1	
ろう付け				1	
	ろう材	Al, Ti-Fe, Cu		2	
常温接合				3	
	接着?			2	
	溶湯鍛造			1	
	印刷			1	
コーティング				1	

表6 異材接合に対する「夢」的技術

プロセス	技術内容	具体的注目材料	具体的注目用途	件数
溶接	異材接合組合せ	Fe-Al, Ti-鋼, Al-Cu 鋼-Fe, 鋼-複合材		15
	可逆的接合技術			6
	超微細溶接法			4
	高信頼性接合技術 (不良0等)			3
	常温接合			3
	大気中フラックス無しのCu, Niの接合			2
	一括処理接合法		マイクロエレクトロニクス	2
	爆着			1
	電蝕のない異材接合	Al-Fe		1
	接合材無しの常温接合(真空蒸着等)			1
	酸化膜の除去技術			1
	小型化			1
	表面処理技術 (プラズマ等)		表面実装, 半導体組立	1
	接合材料の長期安定化技術			1
	真空装置なしの金属-セラミクス接合			1
	面接合継手での逐次接合			1
	経時変化のない接合技術			1
	非接触溶接法			1
	簡便固相接合法			1
	機能材料の直接接合		高精度実装分野	1
	液相拡散接合			1
	in-situ検査技術			1
	事故修復可能な接合技術			1
	非熱溶接 (電気, 化学溶接)			1
	高性能溶材			1
	耐食, 耐摩耗肉盛り技術		ディーゼルエンジン部品	1
	小入熱 (小荷量) 接合技術			1
	機能の制御可能な接合技術			1
	傾斜機能材料			1
	複合溶接技術			1
	真空下, 超音波接合			1
	航空機部材の溶接化		航空機部品	1
はんだ	常温はんだ接合	電子部品とプリント基板	電子部品	4
	低温はんだ材でのパンプ接合	シリコン上でのAl-Sn接合		1
ろう付	中間的熱膨脹係数のろう材でのろう付	セラミックス-金属		1
	ろう付	Al-Cu		1
	小入熱でのろう付け用ろう材			1
常温接合	導電性ジェル		電子分野	1
	母材並み強度	金属-セラミクス接合		1

ったことを考慮すると、上述した新しい着想による技術開発とはこのようなところにあると考えられる。

FSWが注目されているのは溶融溶接ではなく固相接合であり、金属間化合物の形成を抑制できると考えられること、かつアーク溶接のように突合せ継手や重ね継手による連続接合部が得られることなどが挙げられる。また、レーザ溶接は溶融溶接ではあるが、高エネルギー密度のビーム熱源の高指向性と短時間加熱・高冷却速度の特長を生かし、異材継手の溶融制御 (溶融位置、組成制御) により金属間化合物形成の抑制が容易になると考えられる。表2では電子ビーム溶接が挙がっていないが、真空室中での溶接という欠点を除けば、ビーム熱源としての特長はむしろレーザビームよりも優れており、異材接合法としては無視できないと考えられよう。

それではさらに考え方を斬新にし、異材接合に対して

将来の夢的な技術を回答いただいたのが表6である。鉄とアルミ、チタンなどとの異材接合が最も多く挙がっており、この組合せによる異材接合が現状ではまだ「夢」の段階であることがうかがえる。これは、施工・コスト面から、直接的な接合で、なおかつアーク溶接のような連続した接合継手が得られるという条件が暗に含まれているためであろう。

それ以外では、可逆的接合技術という新しい接合概念が挙がっており、リサイクル技術と関連して注目される。電子・電気機器関連では、常温接合、超微細溶接法、高信頼性接合技術 (不良率0%) などが期待されている。

### 3 おわりに

以上の異材接合・溶接技術に対するアンケート結果より、今後期待される異材継手としては軽量化の観点から

## クローズアップ

は鉄（SUS含む）／アルミ，アルミ／銅，耐食性に対しては鉄（SUS含む）／チタン，導電性では鉄（SUS含む）／銅，アルミ／銅が主であることが分かった。

また接合法としては，施工性，量産性，コスト性の観点から，熔融溶接法であるアーク溶接とレーザー溶接およびろう付法が期待されているが，その実現には脆弱な金属間化合物の形成，大きな物性差，さらに電蝕など解決すべき問題があり，既存の溶接技術の延長では実現困難であり，新しい着想による技術開発が求められている。この観点から，新しい溶接・接合技術として，FSW（摩

擦攪拌接合）とレーザー溶接が大いに注目されており，異材接合への新技術としての展開が期待される。

最後に，平成12年度調査報告書より本稿への図，表の引用を許可された新エネルギー・産業技術総合開発機構ならびに(財)宇宙環境利用推進センターに対して感謝致しますとともに，アンケート調査に御協力を頂いた方々に紙面をお借りして深謝いたします。

### 参考文献

- 1) 新エネルギー・産業総合開発機構：異材溶接技術の基礎研究，平成12年度調査報告書，NEDO-ITK-0009，(2001年3月)，p. 68-82.

## 産報出版の技術図書



## フラックス入りワイヤの実践

(社)日本溶接協会溶接棒部会編

A5判 254頁 3262円 円310

近年アーク溶接材料の重要な地位を占めつつあるマグ溶接フラックス入りワイヤの，基本的事項をわかりやすく説明した実践的な参考書。ワイヤの種類や溶接性能等を体系的に整理し，適用状況や特有の使い方を詳述，幅広い知識が得られるように配慮した内容となっている。

●申込先

**産報出版株式会社**

●東京本社／〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町1-11  
TEL.03-3258-6411 FAX.03-3258-6430

●関西支社／〒556-0016 大阪市浪速区元町2-8-9  
TEL.06-6633-0720 FAX.06-6633-0840