

# 次世代自動車・航空機部品の製造に必要な異種材料接合技術の開発（第2報）

－ 異種金属接合技術の開発 －  
加賀 忠士、柘植 英明、萱岡 誠

## Development of joining dissimilar materials for production of next generation vehicle parts and aircraft parts (II)

### -Development of joining technology of dissimilar metal materials-

Tadashi Kaga, Hideaki Tsuge and Makoto Kayaoka

本研究では、同種金属材料および異種金属材料における超音波接合について、各接合条件に対する接合強度への影響を調査した。接合材料は、アルミニウム合金 A5052、チタン合金 Ti-6Al-4V、冷間圧延軟鋼板 SPCC を用い、同種材料接合、A5052 と SPCC、A5052 と Ti-6Al-4V の異種材料接合の実験を行った。接合評価は、引張試験による最大荷重測定と接合面の断面観察を行った。その結果、振動保持時間と接合強度の関係、振幅と接合強度の関係を把握した。

### 1. はじめに

近年、次世代自動車、航空機等の輸送機器の燃費向上に向けた軽量化の取組みとして、各部の素材を適材適所に使うマルチマテリアル化の検討が盛んに行われている。このとき、マルチマテリアル化に伴う異種材料接合技術が重要となるが、一般に、金属材料の接合に用いられる溶接は、接合部を熔融させて凝固させるプロセスになり、異種材料接合の場合、材料の組合せによって生じる脆弱な金属間化合物の形成が問題となっている。

そこで、熔融を伴わない固相接合法が検討されており、この検討の一つとして超音波接合法が挙げられる。この接合法は、金属を熔融させることなく、固体のまま接合させる方法であり、そのメカニズムは、接合面を密着させ、圧力を与え、接合界面を摩擦し、塑性変形と摩擦の作用により、金属表面の吸着分子や酸化層を破壊し、その内部の金属原子同士を直接接触させることにより、金属を拡散接合する方法である。現在は、自動車内部の電気配線の端子や LSI 内部配線の端子の接合（ワイヤーボンディング）など、各種電気端子の接合に多く用いられている<sup>1)</sup>。

また、超音波接合法の新たな用途展開の検討もされており、自動車の軽量化を目的として鉄鋼とアルミニウム合金の超音波接合において、超音波接合機のホーン先端に設けられている接合チップの形状の違いが接合部の形成におよぼす影響について、接合チップと被接合材の相對運動の観点から調査した研究が行われている<sup>2)</sup>。

本研究では、今後成長が見込まれる次世代自動車、航空機部品における接合技術開発の確立を目的とし、本年度は、同種金属材料および異種金属材料における超音波接合について、振動保持時間と接合強度の関係、振幅と接合強度の関係を調査した。

## 2. 実験

### 2.1 実験装置および実験方法

接合実験には、超音波金属接合機（日本アビオニクス

SW-3500-20/SH-H3K7）を用い、次世代自動車、航空機部品を想定した接合材料としてアルミニウム合金 A5052、チタン合金 Ti-6Al-4V、冷間圧延軟鋼板 SPCC の板厚 1mm を準備した。実験の様子を図 1 に示す。接合試料 I および接合試料 II をアンビル上で重ね合わせ、超音波接合機のホーン先端に設けられている接合チップを介して静加圧を局部的に印加した状態で、接合チップを接合面に平行な方向に振動させ、接合面間に摩擦を与えて接合を行った。実験では、95×15mm の短冊状に切断した試料を図 2 に示すように、15mm 重ね合わせて接合した。なお、接合チップは 10×10mm の加圧面を持ち、接合試料 I とのすべりを抑制するためピラミッド形状（ピラミッドのピッチ間 1.5mm、深さ 0.75mm）を設けた。アンビルも同様に接合試料 II とのすべりを抑制するため、ピラミッド形状（ピラミッドのピッチ間 1.5mm、深さ 0.75mm）を設けた。今回の実験では、静加圧力は 1500N、ホーンの振幅（両振幅 64μm）に対し、50%、70%、90%の振幅制御と、0.3sec、0.5sec、0.7sec の振動保持時間とを組み合わせた表 1 に示す条件で接合実験を実施した。

なお、接合の評価として、接合強度試験および接合面の断面観察を行った。接合強度試験については、各接合条件に対し 3 本ずつ接合試料を準備し、万能材料試験機



図 1 実験の様子

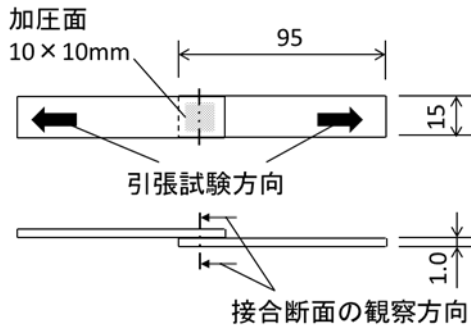


図2 接合体の様子

表1 実験条件

材料組合せ					
接合試料 I (ホーン側)	A5052	Ti-6Al-4V	SPCC	A5052	A5052
接合試料 II (アンビル側)	A5052	Ti-6Al-4V	SPCC	Ti-6Al-4V	SPCC
接合条件					
静加圧力 N	1500				
振幅制御 %	50	70	70	70	90
振動保持時間 sec	0.5	0.3	0.5	0.7	0.5

(島津製作所 AG-100kNIS) を用い、試験速度 2mm/min で図2に示す方向の引張試験による、最大荷重(以下、接合強度と表記)を評価した。このとき、接合試料のチャックつかみ部には、接合部と同じ板厚になるよう添え板を使用した。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 同種材料接合

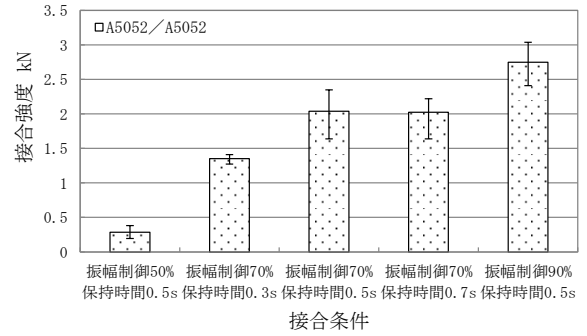
同種材料の各接合条件に対し、3本ずつ接合試料を準備し、引張試験による最大荷重を測定した。また、接合面の観察として断面観察を行った。以下に各同種材料接合の結果について記述する。

##### 3.1.1 アルミニウム合金 A5052 同種材料の接合

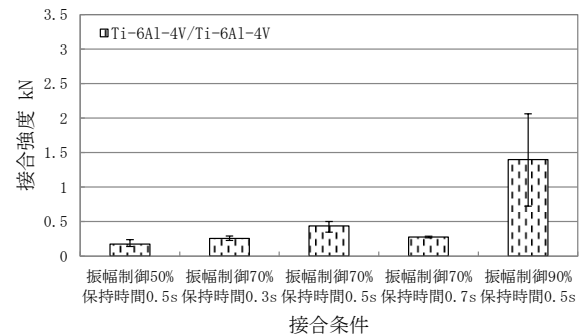
A5052 同種材料接合の引張試験結果を図3(a)に示す。振幅制御 70%における振動保持時間と接合強度の関係を見てみると、振動保持時間が 0.3sec と 0.5sec を比較したとき、振動保持時間が長い 0.5sec の方が接合強度は大きい。0.5sec と 0.7sec を比較すると接合強度は同程度であった。このことから、振動保持時間を長くしても接合強度が増加しないことがわかった。また、振動保持時間 0.5sec における振幅制御と接合強度の関係から、振幅が増加するにつれて接合強度が増加していることがわかった。なお、今回の引張試験すべてにおいて、母材が破断する現象ではなく、接合面の剥がれる現象が発生した(以下、接合面での剥がれと表記)。

次に、振幅制御 70%、振動保持時間 0.5sec における接合断面の様子を図4に示す。この図から、接合されている部分と接合されていない部分が存在していることがわかった。

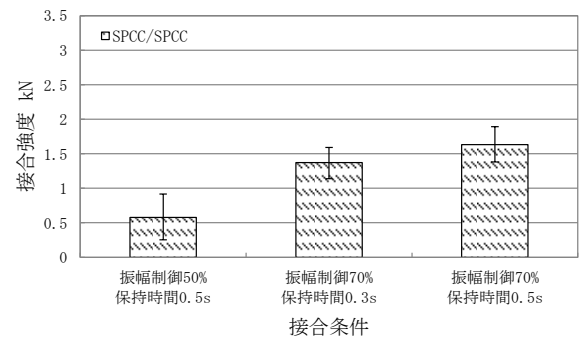
これらの結果から、接合強度向上を狙い、静加圧力の



(a) A5052 同種材料接合



(b) Ti-6Al-4V 同種材料接合



(c) SPCC 同種材料接合

図3 同種材料接合の引張試験結果

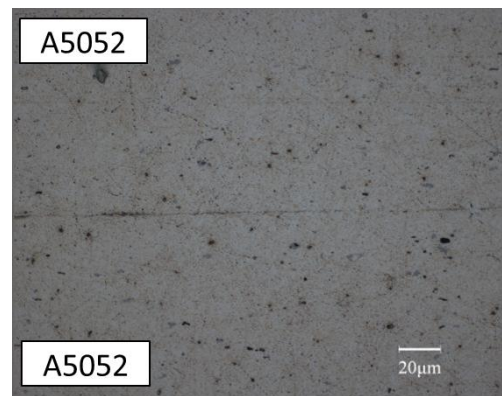


図4 A5052 同種材料接合部の断面写真 (振幅制御 70%、振動保持時間 0.5sec)

増加など接合条件の追加検討を行っていく必要があると考えている。

### 3. 1. 2 チタン合金 Ti-6Al-4V 同種材料の接合

Ti-6Al-4V 同種材料接合の引張試験結果を図3(b)に示す。振幅制御 70%における振動保持時間と接合強度の関係は、振動保持時間が 0.3sec、0.5sec、0.7sec のの中では 0.5sec の接合強度が一番大きかった。このことからアルミニウム合金の結果と同様に、振動保持時間を長くしても接合強度が増加しないことがわかった。また、保持時間 0.5sec における振幅制御と接合強度の関係から、振幅が増加するにつれて接合強度が増加していることがわかった。なお、引張試験すべてにおいて、接合面での剥がれがあった。

これらの結果から、接合強度向上を狙い、静加圧力の増加など接合条件の追加検討を行っていく必要があると考えている。

### 3. 1. 3 冷間圧延軟鋼板 SPCC 同種材料の接合

SPCC 同種材料接合の引張試験結果を図3(c)に示す。振幅制御 70%における振動保持時間と接合強度の関係は、振動保持時間が 0.3sec と 0.5sec を比較したとき、振動保持時間が長い 0.5sec の方が接合強度は大きかった。なお、0.7sec の条件については、接合界面から伝わる摩擦熱によるホーン及びアンピルの損傷を危惧し、今回は実験を行っていないが引き続き、振動保持時間と接合強度との詳細な関係を検討していく予定である。また、保持時間 0.5sec における振幅制御と接合強度の関係は、振幅制御が 50%と 70%を比較したとき、振幅の大きい 70%の方の接合強度が大きかったが、振幅制御 90% の条件については、接合界面から伝わる摩擦熱によるホーン及びアンピルの損傷を危惧し、今回は実験を行っていないが引き続き、振幅制御と接合強度との詳細な関係を検討していく予定である。なお、引張試験すべてにおいて、接合面での剥がれがあった。

これらの結果から、接合強度向上を狙い、静加圧力の増加など接合条件の追加検討を行っていく必要があると考えている。

## 3. 2 異種材料接合

同種材料接合同様に異種材料の各接合条件に対し、3本ずつ接合試料を準備し、引張試験による最大荷重を測定した。また、接合面の観察として断面観察を行った。以下に各異種材料接合の結果について記述する。

### 3. 2. 1 アルミニウム合金 A5052 と冷間圧延軟鋼板 SPCC の接合

A5052 と SPCC の接合においても、冷間圧延軟鋼板 SPCC の同種材接合同様に、接合界面から伝わる摩擦熱によるホーン及びアンピルの損傷を危惧したことから、振幅制御 70%、振動保持時間 0.7sec、および振幅制御 90%、振動保持時間 0.5sec の接合条件については、実験を行っていない。しかし、引き続き、振動保持時間と接合強度との関係、振幅制御と接合強度の関係を検討し

ていく予定である。

今回行った実験の中で、唯一接合が実現できた条件は、振幅制御 70%、振動保持時間 0.5sec であり、このときの引張試験の結果を図5に示す。なお、引張試験すべてにおいて、接合面での剥がれがあった。これらの結果から、静加圧力の増加など接合条件の追加検討を行っていく必要があると考えている。

次に、振幅制御 70%、保持時間 0.5 sec の接合条件における接合断面の様子を図6に示す。この図から、連続

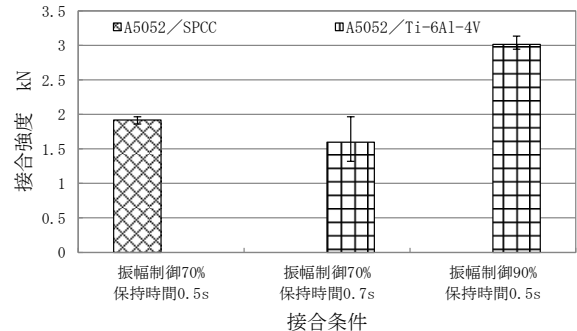


図5 異種材料接合の引張試験結果

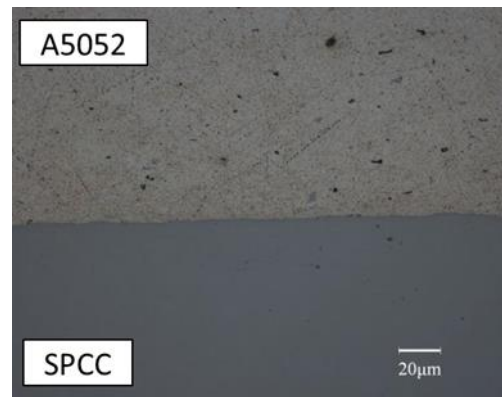


図6 A5052 と SPCC 接合部の断面写真 (振幅制御 70%、振動保持時間 0.5sec)

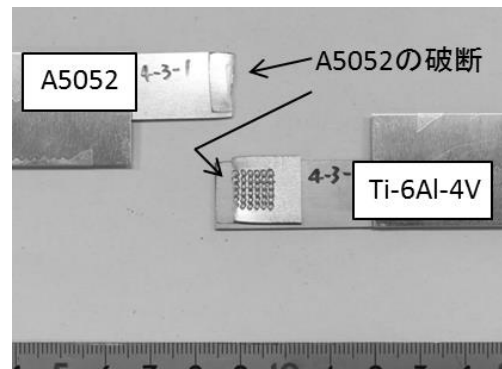


図7 引張試験後の接合部の様子 (振幅制御 90%、振動保持時間 0.5sec)

的に接合ができている様子を確認することができた。ここで図4と図6の接合条件の接合強度を比較すると、図6の接合条件の接合強度が大きいことがわかる。この結果は、接合の有無が混在している図4の状態と連続的に接合している図5の状態の差異が、接合強度に表れたと考えられる。

### 3. 2. 2 アルミニウム合金 A5052 とチタン合金 Ti-6Al-4V の接合

A5052 と Ti-6Al-4V の接合においては、接合が実現できた条件は、振幅制御 70%、振動保持時間 0.7sec および、振幅制御 90%、振動保持時間 0.5sec の2条件であり、このときの引張試験の結果を図5に示す。次に振幅制御 90%、保持時間 0.5sec の接合条件における引張試験後の接合部の様子を図7に示す。この図からアルミニウム合金が接合チップのピラミッド部の食い込みにより、板厚が薄くなり、その部分を起点に破断していることがわかった。なお、この状況は振幅制御 90%、振動保持時間 0.5sec のみに見られ、振幅制御 70%、振動保持時間 0.7sec の条件では接合面の剥がれにとどまった。

次に、図8は、振幅制御 90%、振動保持時間 0.5sec における接合断面の様子を示している。この図から A5052 と SPCC の接合部の断面写真(図6)と同様に連続的に接合できている様子を確認することができた。

これらの結果から、2条件しか接合できておらず、静加圧力の増加など接合条件の追加検討を行っていく必要があると考えている。

## 4. まとめ

同種金属材料および異種金属材料における超音波接合について、振動保持時間と接合強度の関係、振幅と接合

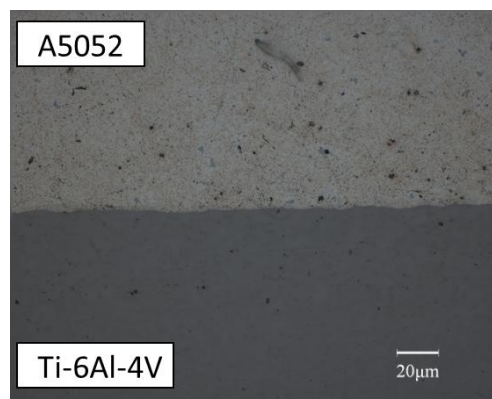


図8 A5052 と Ti-6Al-4V 接合部の断面写真  
(振幅制御 90%、振動保持時間 0.5sec)

強度の関係を調査した。そして、以下の結果を得た。

- 1) A5052 同種材料接合、Ti-6Al-4V 同種材料接合において、振動保持時間のパラメータは、接合強度が最大となる最適な条件が存在する。
- 2) A5052 同種材料接合、Ti-6Al-4V 同種材料接合において、振幅が増加するにつれて接合強度が増加する。
- 3) A5052 と SPCC および A5052 と Ti-6Al-4V の異種材料接合では、同種材料接合に比べ接合条件が限定される。

今後、接合条件等を更に検討し、素材強度を上回る接合強度の実現を目指す。

### 【参考文献】

- 1) 神,精密工学会誌 Vol.82, No.5, pp403-406,2016
- 2) 佐々木ら,軽金属溶接, Vol.53, No.11, pp16-22,2015