

# 抵抗溶接を用いたアルミサッシの接合・組立技術に関する研究

羽地 龍志 棚原 靖

上原 一克\* 松川 浩晃\*

## 1. はじめに

アルミニウムは軽く、加工しやすい、耐食性がよい等の利点があり、さらに鉄の代替として利用することで軽量化を促進できることから、用途に応じた種々のアルミニウム合金が開発され適用範囲も拡大している。また、大気中において酸素と結合して容易に酸化物を形成し、表面に出来る酸化被膜は普通厚さ 20 μ m 以下の薄いものであるが、緻密で硬くかつ透明であり銀白色の美しい光沢を保つ特徴がある。しかしこのようなアルミニウムの特性は溶接において不利になる点が多く、不活性ガスシールドを用いる溶接法や高真空中における溶接法、活性度の高いフラックスを用いるろう付け法などの方法が用いられている。これらの方法は簡便な方法とはいえず、新たな溶接法の確立が求められている。

一方、現在沖縄県内におけるアルミサッシの組立工場は大小約 40 社あり、その規模は社員 1 ～ 2 人の工場から約 50 人規模の工場まで様々である。アルミサッシの製作工程は材料の切断、穴あけ、切欠、部品付け、組立の順で行われている。組立時には不活性ガスシールドによる溶接法やねじ・ボルトによる接合法が用いられており、組立工程中に新たな接合方法を導入することにより作業時間の大幅な削減に繋がると期待できる。

本研究は、アルミサッシの簡易的な接合法の確立のために抵抗溶接法を用いた接合を試みた。実験は 2 本の接合試験片間に金属粉末を充填し、電極間で加圧しながら通電を行い、充填金属粉末部および被接合材に発生するジュール熱を熱源として行った。今年度は、接合に関する基礎的技術を得るためアルミニウム同士の接合およびアルミニウムと異種金属の接合を行った。

表1 接合材料の化学成分と機械的性質

Material	Chemical compositions (wt%)							
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Aluminum (A 1050 BD)	99.78	0.07	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Stainless steel (SUS430)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	
	0.04	0.22	0.55	0.025	0.009	0.25	16.22	
Titanium	H	O	N	Fe				
	>0.015	>0.20	>0.05	>0.25				

## 2. 実験材料および実験装置

### 2.1 実験材料

接合材料は、アルミニウム JIS A 1050 BD、ステンレス鋼 SUS430 およびチタンである。表 1 に材料の化学成分および機械的性質を示す。これらを直径 8mm、長さ 30mm に加工し接合試験片とした。また、接合試験片と型枠との絶縁のために外径 12mm、内径 8mm、長さ 40mm のパイレックスガラス管を用いた。

充填金属粉末は、200 メッシュのアルミニウム粉末、ニッケル粉末およびシリコン粉末を 1 種類単独あるいは 2 種類の粉末を混合して用いた。図 1 にそれぞれの粉末

Material	Treatment	Tensile strength (MPa)	Hardness (HV0.1)
Aluminum (A 1050 BD)	Un-annealed	134	49
	Annealed	75	24
Stainless steel (SUS430)	Un-annealed	705	230
Titanium	Un-annealed	415	220

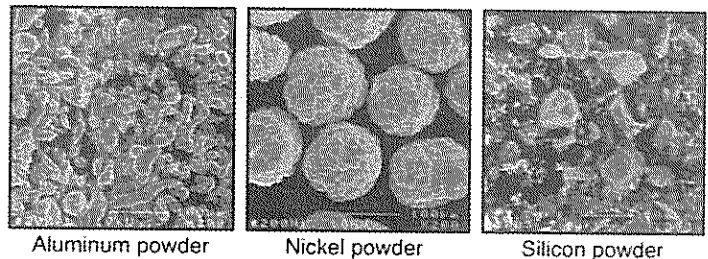


図1 粉末観察写真

\* 琉球大学 工学部 機械システム工学科 4 年次

の SEM 写真を示す。

### 2.2 実験装置

実験装置は電源トランスとその制御装置、電極を連動させた加圧装置と油圧ポンプ等から構成される。図2に装置の概略を示す。

装置の能力は最大電流容量 60kA、最小設定通電時間 1/60sec、最大圧縮加重 5ton である。

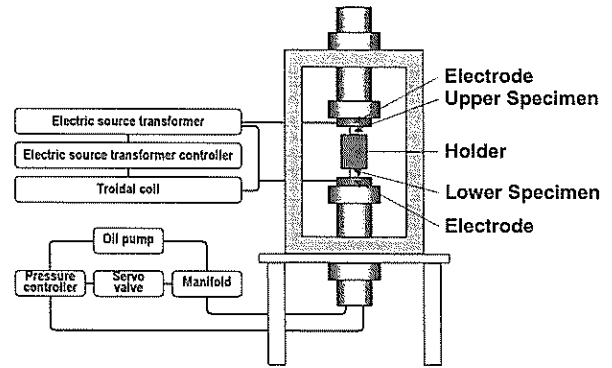


図2 実験装置の概略

## 3. 実験方法および実験条件

### 3.1 実験方法

図3に電極間における接合試料の状態を示す。接合実験の手順は、(1)絶縁用ガラス管内において粉末を挟みこむように接合試験片を挿入し、これを1組の接合試料とする。(2)型枠で固定後、加圧装置の電極間にセットし、(3)電極間で接合試料を加圧しながら通電を行いジュール熱を発生させる。(4)通電後、接合材の変形が無くなるまで保持し、その後電極間から取り外す。

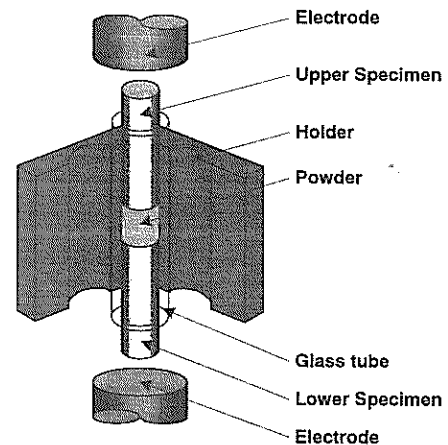


図3 電極間における接合試料状態

接合後、接合材の引張試験、硬さ試験および曲げ試験等を行い機械的性質を評価した。引張試験および曲げ試験には島津製作所製万能試験機 UH-30A,UH-F1000kNC を用い、硬さ試験には明石製作所製マイクロビッカース硬度計 MVK-VL、定量分析にはオックスフォードインストルメント株式会社製エネルギー分散型 X 線分析装置 Link ISIS L300 を用いた。

### 3.2 実験条件

アルミニウムは電気抵抗が小さく溶接に必要な熱量を与えるためには高電流が必要となる。また熱伝導がよく、通電時に発生した熱が逃げるので溶融に必要な熱量を短時間に与えなければならない。抵抗溶接、特にスポット溶接における溶接電流、通電時間、電極加圧力は溶接の三大要素と呼ばれる重要な条件であるが、今回は基礎的実験であることから電流値および加圧力を 4kA、294N とし、通電時間とその他のパラメータにより実験条件を設定した。アルミニウム同士の接合条件およびアルミニウムと異種金属の接合条件を表2および3に示す。

表2 アルミニウム同士の接合条件

	Material 1	Material 2	Powder 1 (gf)	Powder 2 (gf)	time (sec)	Current (kA)	Pressing force (N)
1	Aluminum	Aluminum	Aluminum	0.20	1.0	4	294
					0.20 1.0~1.4		
2	Aluminum	Aluminum	Aluminum	0.20	Nickel	4	294
					0.40 0.6~1.0		
					0.60 0.6~0.8		
3	Aluminum	Aluminum	Nickel	1.00	Silicon	4	294
					0.02 0.6~1.0		
					0.04 0.6~1.0		
					0.06 0.4~0.7		
					0.08 0.4~0.7		
0.10 0.3~0.6							

表3 アルミニウムと異種金属の接合条件

	Material 1	Material 2	Powder 1 (gf)	Powder 2 (gf)	time (sec)	Current (kA)	Pressing force (N)		
1	Aluminum	Stainless steel (SUS430)	Nickel	1.00	Silicon	0.01	0.6~0.8	4	294
2	Aluminum	Titanium	Aluminum	0.30	Nickel	0.20	0.4~0.6	4	294

#### 4. 結果および考察

##### 4.1 アルミニウム同士の接合

##### 4.1.1 アルミニウム粉末を充填した接合

2本の接合試験片間にアルミニウム粉末を0.20gf充填して接合を行った。図4に通電時間1.0secの接合材の引張試験後の破断形態と破断面の観察写真を示す。引張試験では全ての接合材が接合部から破断し、引張強度はアルミニウムの焼鈍材と比較して著しく低く、安定した接合条件を見出すに至っていない。通電時間を短かく設定した接合材の破断面には溶融に至らなかった粉末が確認でき、その他の接合材の破断面には強度低下の原因となる空孔が発生していた。空孔が発生する原因として、アルミニウムの膨張係数が軟鋼の2倍以上と大きく、材料中にガスを含んでいる可能性も多いため溶融部の凝固過程において収縮や空孔を生じやすいこと等が挙げられる。

##### 4.1.2 アルミニウム粉末とニッケル粉末の混合粉末を充填した接合

予備実験から、粉末充填量にある程度増量することは粉末部の電気抵抗の増大に繋がり、接合に必要なジュール熱の発生を促す効果があることがわかった。そこで、2本の接合試験片間にアルミニウム粉末0.20gfに対してニッケル粉末を0.20～0.80gfまで段階的に変化させた混合粉末を充填して接合を行い、粉末充填量の変化による接合性を検討した。その結果、ニッケル粉末充填量の増量によって接合に必要な通電時間が短くなり、またジュール熱の発生が促されるために溶融範囲が広がる等の傾向があった。

図5に引張試験結果を示す。図中の○印はアルミニウム母材から破断した接合材を示し、●印は接合部や接合部と母材の境界から破断した接合材を示す。母材から破断

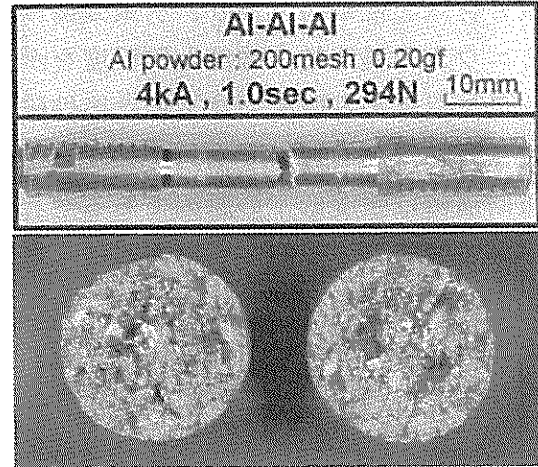


図4 破断形態と破断面

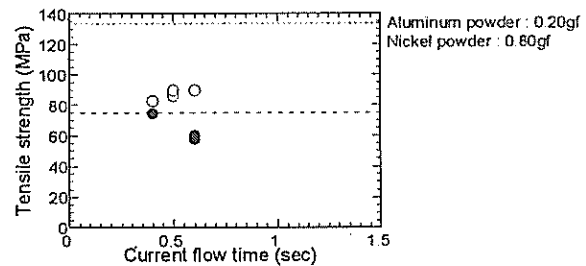
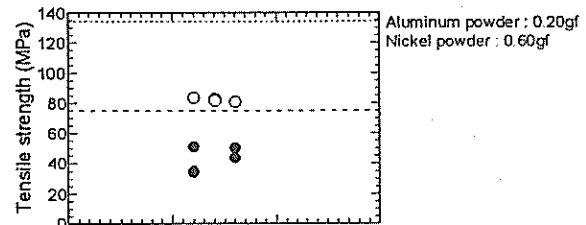
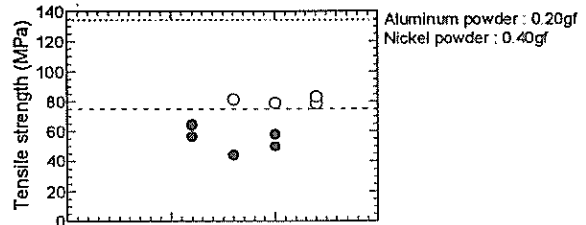
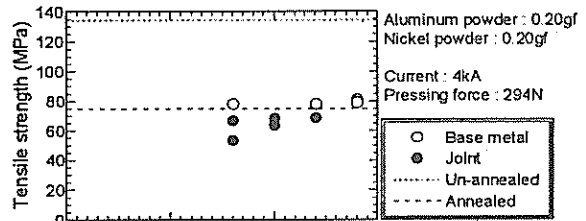


図5 引張試験結果

Al - Al (200mesh, 0.20gf) , Ni (200mesh, 0.60gf) - Al 4kA 294N 10mm		
Current flow time	After joining	After tensile test
0.6sec		
0.7sec		
0.8sec		

図6 接合状態と破断形態

した接合材は延性破壊であり、引張強度はアルミニウムの焼鈍材の強度と同程度を示した。母材以外から破断したものは脆性破壊で引張強度は焼鈍材よりも低い強度を示し、破断面には強度低下の原因である空孔が発生していた。引張強度や破断形態にはばらつきが見られるが、アルミニウム粉末のみを充填した接合 (4.1.1) と比較するとニッケル粉末を混合することにより強度は向上している。図 6 にニッケル粉末充填量 0.60gf の条件における接合後の状態と引張試験後の破断形態を示す。通電時間の増加によってジュール熱の発生が促され、母材部を含む広い範囲で溶融状態となることから接合部範囲が広がる様子がわかる。また、破断の際に接合部はほとんど変形していない。図 7 にそれぞれのニッケル粉末量において良好な引張強度を示した条件の接合材の接合部近傍の硬さを示す。接合部の硬さは母材との境界から急激に硬くなっており、アルミニウム材料と比較しても硬く、接合部近傍の母材部は焼鈍材と同程度の硬さを示していることから熱影響を受けていることがわかる。さらにニッケル粉末量の増加により硬化する傾向が見られた。図 8 に接合部近傍のニッケル含有量に関する定量分析結果を示す。ニッケル濃度も母材との境界から高くなり、それは接合部全域に渡ってほぼ一定の濃度であった。また、ニッケル粉末量の増加により高くなる傾向が見られた。

#### 4.1.3 ニッケル粉末とシリコン粉末の混合粉末を充填した接合

2本の接合試験片間にニッケル粉末とシリコン粉末を混合した粉末を充填して接合を行った。ニッケル粉末 1.00gf に対してシリコン粉末を 0.02 ~ 0.10gf と段階的に変化させた混合粉末を用いて接合を行った結果、

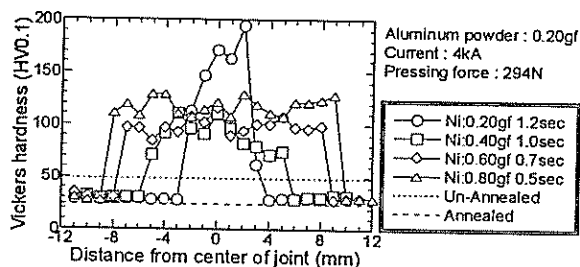


図7 硬さ試験結果

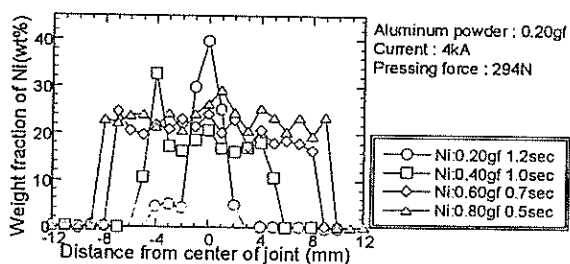


図8 定量分析結果

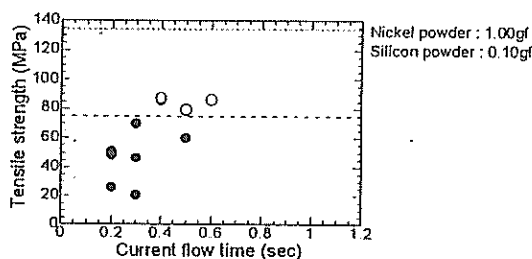
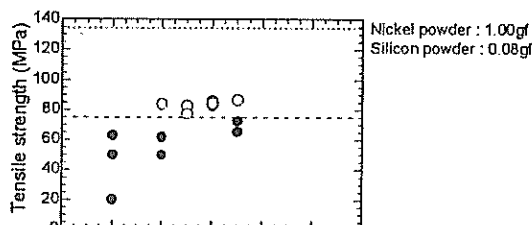
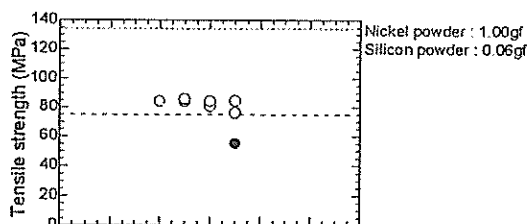
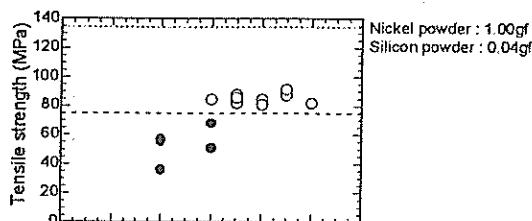
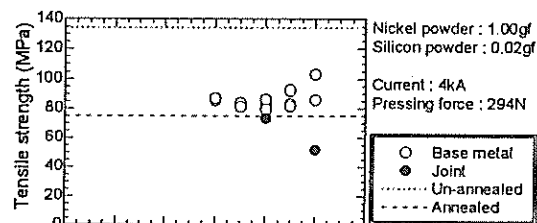


図9 引張試験結果

シリコン粉末を増量することによって接合に必要な通電時間が短く、また、溶融範囲が広がる傾向があり、アルミニウム粉末とニッケル粉末の混合粉末を充填した接合材 (4.1.2) と比較して安定した結果が得られた。

図 9 に引張試験結果を示す。○印はアルミニウム母材から延性破壊した接合材を示し、●印は接合部や接合部と母材部との境界から脆性破壊した接合材を示す。母材以外から破断した接合材の破断面には空孔が確認された。引張強度のばらつきが最も小さかった条件であるシリコン粉末充填量 0.06gf の接合材に着目してマクロ観察、硬さ試験、定量分析などを行った。図 10 に接合後の状態と引張試験の破断形態を示す。通電時間の増加に伴い接合部範囲が広がっている。また、引張試験における接合部の変形は見られない。図 11 に通電時間別の接合部近傍の硬さ試験結果を示す。接合部はアルミニウム材料や焼鈍材と比較して著しく硬化し母材部は熱影響により軟化しており、通電時間の増加に伴い接合部範囲が広がっている。図 12 に接合部近傍の定量分析結果を示す。接合部のニッケル濃度は約 20 ~ 30wt% である。図 13 に曲げ試験結果を示す。接合部の変形は認められず、接合部と母材の境界部から変形している。また、接合部のマクロ観察の結果、割れ等の溶接欠陥は見られず良好な接合状態であった。

## 4.2 アルミニウムと異種金属の接合

### 4.2.1 アルミニウムとステンレス鋼 SUS430 の接合

2 本の接合試験片 (アルミニウムとステンレス鋼 SUS430) 間にニッケル粉末 1.00gf とシリコン粉末 0.01gf を混合した粉末を充填して接合を行った。接合部範囲はアルミニウム同士の接合材 (4.1.2 および 4.1.3)

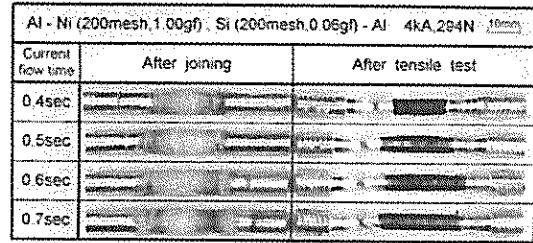


図10 接合状態と破断形態

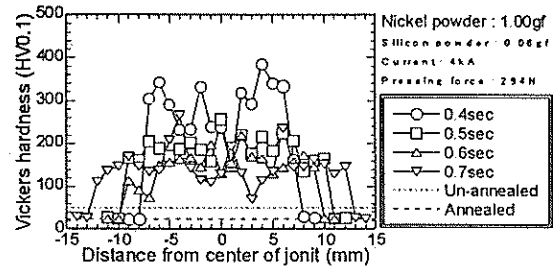


図11 硬さ試験結果

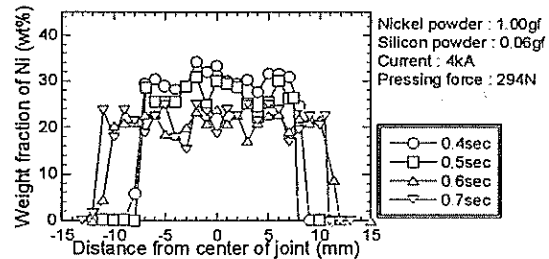


図12 定量分析結果

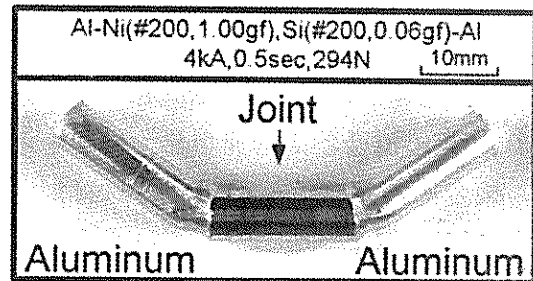


図13 曲げ試験結果

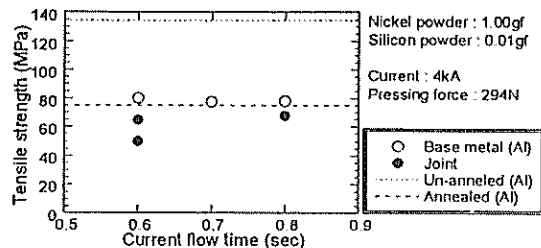


図14 引張試験結果

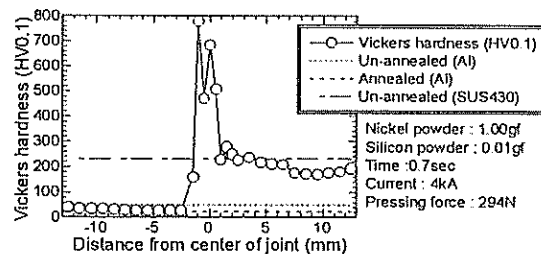


図15 硬さ試験結果

と比較すると小さく、母材部の溶融は少なかった。

図 14 に引張試験結果を示す。図中の○印はアルミニウム母材から破断した接合材を示し、●印は接合部から破断した接合材を示している。通電時間 0.7sec における接合材は全てアルミニウム母材から破断しており引張強度も安定していたことから、この条件の接合材について硬さ試験、定量分析および曲げ試験を行った。図 15 および 16 に硬さ試験結果、定量分析結果をそれぞれ示す。接合部はアルミニウム母材や SUS430 母材と比較して著しく硬くなっていることがわかる。定量分析の結果から接合部は複数の種類の金属からなることがわかる。図 17 に曲げ試験結果を示す。接合部の変形は見られず、接合部とアルミニウム母材の境界から変形し、溶接欠陥は見られないことから良好な接合状態であるといえる。

#### 4.2.2 アルミニウムとチタンの接合

2 本の接合試験片（アルミニウムとチタン）間にアルミニウム粉末 0.30gf とニッケル粉末 0.20gf の混合粉末を充填して接合を行った。接合部範囲は比較的小さく母材部の溶融は少なかった。

図 18 に引張試験結果を示す。図中の○印はアルミニウム母材から破断した接合材を示し、●印は接合部から破断した接合材を示している。通電時間 0.25sec の接合材の引張強度が最も安定していたことから、この条件の接合材の硬さ試験、定量分析および曲げ試験を行った。図 19 に硬さ試験結果を示す。接合部はアルミニウム母材と比較して硬化していた。図 20 に曲げ試験結果を示す。接合部の変形や溶接欠陥は見られず、接合部とアルミニウム母材の境界から変形していることから良好な接合状態であるといえる。

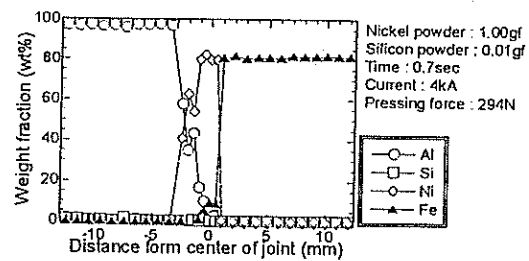


図16 定量分析結果

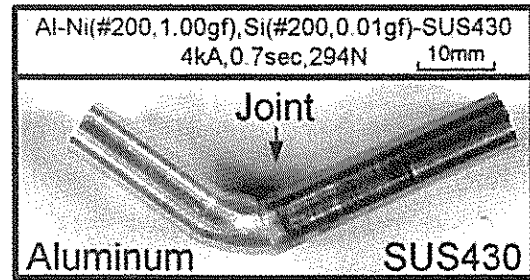


図17 曲げ試験結果

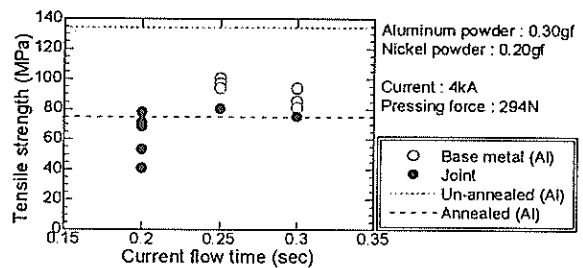


図18 引張試験結果

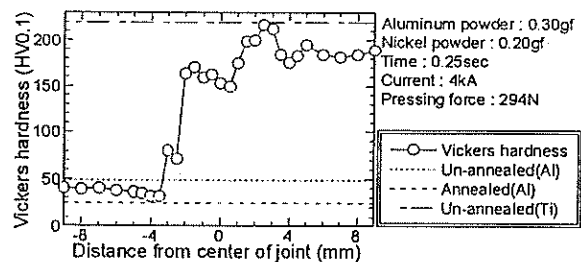


図19 硬さ試験結果

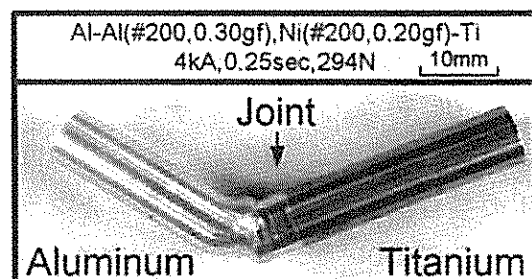


図20 曲げ試験結果

## 5. おわりに

アルミサッシの接合・組立技術に関する基礎的実験として、アルミニウム同士の接合およびアルミニウムと異種金属の接合を行い、以下の結果を得た。

### アルミニウム同士の接合

(1) アルミニウム粉末のみを充填した接合では、接合部に強度低下に繋がる多数の空孔が発生する等良好な接合条件を見出すには至っていない。

(2) 上記の状況を改善するためアルミニウム粉末とニッケル粉末およびニッケル粉末とシリコン粉末の混合粉末を用いて接合を行った結果、引張試験においてアルミニウム母材から破断する接合材が得られ、また曲げ試験では接合部に欠陥は見られなかった。また接合部は変形することなく母材と接合部の境界から変形していること等から、接合状態の改善に繋がったと考える。

### アルミニウムと異種金属（ステンレス鋼 SUS430、チタン）の接合

(3) 2 接合ともに引張試験でアルミニウム母材から破断する接合条件を得ることができ、曲げ試験では接合部に欠陥は見られず、アルミニウム母材から変形するなど良好な接合状態を得た。

## 参考文献

- (1) 中村孝 小林徳夫 森本一 著 「現代溶接技術体系 8」 産報出版株式会社
- (2) 水野政夫 簗田和之 阪口章 著 「現代溶接技術体系 13」 産報出版株式会社
- (3) 西川工 副島一雄 猪俣茂男 著 「現代溶接技術体系 22」 産報出版株式会社
- (4) 吉田亨 著 「異種材料ろう付における母材の溶解—晶出」 株式会社アイピーシー
- (5) 日本金属学会編 「金属データブック」 丸善株式会社
- (6) 日本熱処理技術協会編 「入門 金属材料と組織」 株式会社大河出版
- (7) 日本塑性加工学会編 「接合—技術の全容と可能性—」 株式会社コロナ社

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。