福井大学リポジトリ
UNIVERSITY OF FUKUI REPOSITORY

銀ろう付けの技術習得及び各材料の特性比較

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2018-06-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 戸澤, 理詞, 内山, 祐二, 伊藤, 雅基, 小林, 英一, 川﨑, 孝俊 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/10438

銀ろう付けの技術習得および各材料の特性比較

戸澤 理詞* 内山 裕二** 伊藤 雅基* 小林 英一*** 川﨑 孝俊**

1. はじめに

技術部の業務を遂行する上で，実験装置の改良・改修を依頼される場合がある．その際に必要となる技術の一つに，金属同士を高い強度で機械的に接合するろう付け技術が挙げられるが，電気的導通を得るためのはんだ（軟ろう）付けと比べ，銀ろう（硬ろう）を使うろう付けには 700℃以上もの高温を要し，より高い安全性と経験が求められる．

今回，銀ろう付けの技術を修得することで，対応可能な案件の幅を広げることを目的して研修を行った．また，様々な種類の金属に対して銀ろう付けを試行することで，材料による特性の違いについて考察した．

2. 銀ろう付けについて

ろう付けとは，金属の接合技術の一つで，母材よりも融点の低い合金（ろう材）をバーナー等で加熱して溶かし，母材同士を接合する方法である．機械部品・配管・真空・高圧部品や様々な産業機械・実験装置等に多く使用されている．

母材の種類によって接合の強度が違うため，ろう材は母材となる金属との適合性を把握して選択する必要がある．今回の研修では，高い強度や密閉性を有し，ステンレスや銅などの異種金属の接合が容易な銀ろう，および，アルミ同士のろう付けに最適なアルミ硬ろうを使用した．また，表面に塗布することで，清浄化，酸化防止，表面張力低下の作用をもたらすフラックスについても，母材の種類に応じたものを選択した．

金属同士を原子結合する他の溶接技術と比べると，銀ろう付けは母材を溶かさないため，母材の損傷や変形がほとんどなく，微細な溶接にも適用できる．また，市販のガスバーナー等でも溶接できるため，作業性・経済性に優れているといった特徴がある．

* 第 2 技術室 物理計測班
** 第 1 技術室 機器開発・試作班
*** 第 3 技術室 システム制御班

3. 研修内容

3.1 研修の流れ

研修の日程を表 1 に示す．

本研修は，工学部先端科学技術育成センター内の溶接場で実施した．

最初にろう付けの基礎として，銅×銅の同一金属の銀ろう付けを行った後，ステンレス×真鍮，真鍮×銅など，異種金属の銀ろう付けを行った．また，融点が低いことから高難度と言われるアルミニウムのろう付けにも挑戦した．

加熱源としては，容易性に優れた，火力の異なる 2 種類の小型プロパンガストーチ（パワートーチ，ガストーチ PRO），および，主に鉄板などの溶接・溶断に用いられる，酸素・アセチレンのガストーチを使用した．

表 1 研修日程

日付	研修内容
7/25	研修内容・計画打合せ
8/1 ～ 8/31	物品購入
9/1	材料加工
9/29	同一金属（銅×銅）の銀ろう付け
10/17	同一金属（銅×銅）の銀ろう付け
10/27	異種金属（ステンレス×真鍮）の銀ろう付け
11/7	異種金属（真鍮×銅）の銀ろう付け
11/17	異種金属（真鍮×銅）の銀ろう付け
12/1	研修内容・計画打合せ
12/15	同一金属（アルミ×アルミ）の硬ろう付け
1/16	顕微鏡によるろう付け箇所の断面観察
～ 1/25	ろう付け技術を利用した装置の製作
1/26	研修内容のまとめ
2/23	最終打合せ

表 2　金属とろう材の適合性[1]

◎／良好　○／適　ー／不可　※フラックスなしで接合可

品名・品番	一般用 銀ロウ RZ-100 RZ-110	細工用 銀ロウ RZ-107 RZ-117	強力タイプ 銀ロウ RZ-108 RZ-118	板 銀ロウ RZ-114	アルミ 硬ロウ RZ-101 RZ-111	リン銅ロウ RZ-102 RZ-112	アルミ ソルダー RZ-103 RZ-113	万能 ハンダ RZ-106	鉛フリー ハンダ RZ-109	粉末 銀ロウ RZ-150	粉末 アルミロウ RZ-151	粉末 ハンダ RZ-159
対応フラックス	RZ-200				RZ-201	(RZ-200)	RZ-203	RZ-209	RZ-209	RZ-200	RZ-201	RZ-209
■鉄　×　■鉄	◎	◎	◎	◎	ー	ー	ー	◎	◎	◎	ー	◎
■鉄　×　■ステンレス	○	○	○	○	ー	ー	ー	○	○	○	ー	○
■鉄　×　■真鍮	◎	◎	◎	◎	ー	ー	ー	◎	◎	◎	ー	◎
■鉄　×　■銅	◎	◎	◎	◎	ー	ー	ー	◎	◎	◎	ー	◎
■ステンレス　×　■ステンレス	○	○	○	○	ー	ー	ー	○	○	○	ー	○
■ステンレス　×　■真鍮	○	○	○	○	ー	ー	ー	○	○	○	ー	○
■ステンレス　×　■銅	○	○	○	○	ー	ー	ー	○	○	○	ー	○
■真鍮　×　■真鍮	◎	◎	◎	◎	ー	◎	ー	◎	◎	◎	ー	◎
■真鍮　×　■銅	◎	◎	◎	◎	ー	◎	ー	◎	◎	◎	ー	◎
■銅　×　■銅	◎	◎	◎	◎	ー	◎ ※	ー	◎	◎	◎	ー	◎
■アルミ　×　■アルミ	ー	ー	ー	ー	◎	ー	◎	ー	ー	ー	◎	ー
■アルミ　×　■鉄	ー	ー	ー	ー	ー	ー	○	ー	ー	ー	ー	ー
■アルミ　×　■ステンレス	ー	ー	ー	ー	ー	ー	○	ー	ー	ー	ー	ー
■アルミ　×　■真鍮	ー	ー	ー	ー	ー	ー	○	ー	ー	ー	ー	ー
■アルミ　×　■銅	ー	ー	ー	ー	ー	ー	○	ー	ー	ー	ー	ー

■アルミは融点が低く溶けやすいため、ロウ付作業には注意が必要

3.2 供試材料

研修に使用した材料とその組み合わせを以下に示す.

・銅継手（厚さ 1mm）×銅丸管（φ15.8mm，厚さ 1mm）
・ステンレス板（厚さ 1mm）×真鍮丸管（φ38.2mm，厚さ 1mm）
・銅丸管（φ15mm，厚さ 1mm）×真鍮丸管（φ38.2mm，厚さ 1mm）
・アルミ板（厚さ 2mm）×アルミ丸管（φ30mm，厚さ 2mm）

ろう付けでは母材を溶解せずに，母材間にろう材を添加し，母材間のぬれ，流れを利用して接合するため，ろう材の融点は母材のそれよりも低い必要がある．しかし，母材の融点は金属の種類によって異なり，これによってろう材のなじみやすさも異なるため，母材に適したろう材を選択することが重要となる．また，母材の汚れを取り除くと同時に，加熱中の酸化を防止するフラックスについても，使用するろう材によって適応可能なものが決まっているため，適したものを選択する必要がある．

表 2 に，母材となる金属の種類に対する，ろう材の適合性と対応するフラックスを示す．本研修において，同一金属（銅×銅），異種金属（ステンレス×真鍮，真鍮×銅）の銀ろう付けでは，一般用銀ろう RZ-100 及び銀ろう用フラックス RZ-200，同一金属（アルミ×アルミ）の硬ろう付けでは，アルミ硬ろう RZ-101 及びアルミ硬ろう用フラックス RZ-201 を使用した．

4.　実施結果

4.1 銀ろう付け

まず，接合する配管をワイヤーブラシで磨いた後，パーツクリーナーを噴きかけ，ウエスで拭き取り，接合部の汚れを落とした．次に，耐火レンガの上にバイスを置き，対象を挟んで固定，接合部全体に，フラックスを塗布した．加熱源には，パワートーチ（新富士バーナー），およびガストーチ PRO（SK-11）を使用した．

銅と銅（同一金属）について，銅の配管と継手の接合を試行した．パワートーチでは約 400℃までしか上昇せず，火力不足でろう付けできなかった．ガストーチ PRO では空気調節ハンドルを全開にすることで約 600℃まで上昇し，ろう付け可能となった．また，ガス溶接（以下，可燃性ガスにアセチレンを用いる方式を指す）を使用して，より強い火力で試してみたところ，容易にろう付けできた．ただし，火力を強めにする（約 800℃以上）と銅管に穴が開いてしまい，熱しすぎないよう注意が必要であることがわかった．これは，一般的にガス溶接で扱う鉄の融点 1536℃よりも銅の融点が 1084.5℃と低いためであると考えられる．[2]

なお，今回の研修を実施するにあたり，労働安全衛生法によるガス溶接技能講習を受講していない者が研修メンバーの中に 2 名いたため，ガス溶接を取り扱う前に技能講習を受講し修了証を得た．

銅と真鍮（異種金属）について，側面に穴を空けた真鍮丸管に銅丸管を挿し込み，ろう付けを行った．漏れ確認は，石鹸水を接合部に塗り，丸管内側に息を吹き入れ，泡の状態を観察することで

実施した．材料をバイスに挟んでろう付けを実施したものについては，熱の逃げが大きかったためか，見た目ではしっかりくっついているものでも空気漏れが確認された．一方，フラックス・銀ろうが接合部に染み渡りやすい状態になるよう耐火レンガの上に置いてろう付けを行ったものについては，見た目ではきれいに接合されており，漏れがないことも確認できた．

4.2 アルミ硬ろう付け

アルミ板とアルミ丸管（同一金属）のろう付けを行った．一般用銀ろうの融点（780℃）に比べ，アルミ硬ろうは融点が 580℃と低いため，ガス溶接ほどの火力は必要なく，ガストーチ PRO で十分だった．フラックスについても，これまで使用したものより「液状→粉状→液状」の変化が見られ，再び液状になったときにろう材を当てると接合部に染み渡る様子が確認できた．ただし，炎を一点に当て熱しすぎると母材のアルミ丸管に穴が開いたため，アルミニウムの融点（660.37℃）を超えないよう注意が必要である．[2] また，フラックスをアルミ硬ろう専用でないものに変えて試行したところ，ろう材が母材それぞれの表面にしか広がらず，簡単にはずれてしまった．

アルミニウムのろう付けは，母材の融点の低さから，他の金属のろう付けより高難度であると言われているが，今回の結果から，ろう材・フラックスともに専用のものを使用すれば，容易にろう付け可能であることがわかった．石鹸水による漏れ確認でも，ろう付けを行ったほとんどの部品で漏れがないことを確認できた．漏れがあったものについても，上から重ねてろう付けすることで漏れをなくすことができた．

図 1　ろう付けを行った部品

4.3 放射温度計による母材の温度測定

加熱中の母材の温度変化，材料による温度上昇の違いを確認するため，放射温度計による温度測定を行った．本研修では，A&D 社製 AD-5616（測定範囲：-60～+1500℃）を使用した．

銅×銅，ステンレス×真鍮，真鍮×銅のろう付けの場合，いずれも母材表面の温度が 600～800℃において銀ろうが溶け，フラックスを塗布した部分に広がる様子が確認できた．銅，ステンレスについては，800℃以上で母材自体が溶け始める様子が見られた．

アルミ×アルミのろう付けの場合，500～600℃においてろう付けがうまくいった．融点が低いため，熱し続けるとすぐに溶け母材自体に穴が開いた．

4.4 接合部断面の観察

ろう付けしたものの接合部断面を図 2，3 に示す．図 2 のように，内部まで綺麗に接合できていることを確認できたが，一部，内部へ銀ろうが溶け込みきれていない箇所もあった．これは熱が伝わりきる前にろう付けを終えてしまったためと考えられる．気密性には問題は無いため，強度を求める場合はよりしっかりとろう付けを行う必要がある．

図 3 を見ると，接合面もわからないほど綺麗に接合できていることがわかる．図 3 はろう材を挿した面の裏側を示しているが，ろうが裏側まで十分に溶け込み，接合していることがわかる．

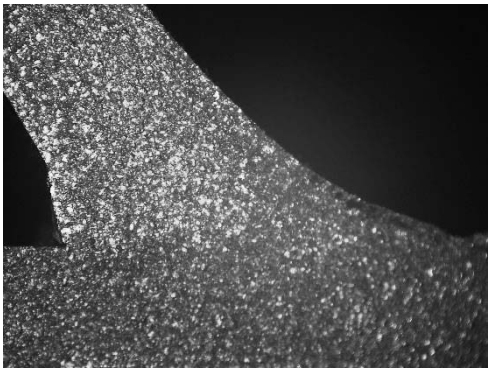

図 2　銅丸管×真鍮丸管

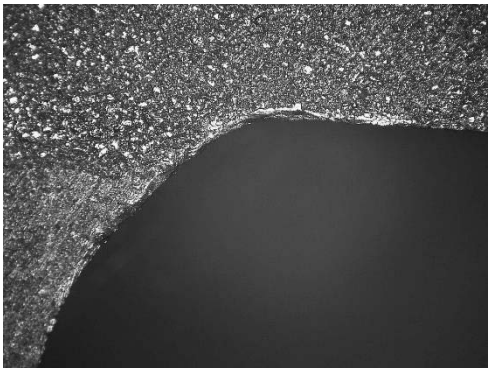

図 3　アルミ板×アルミ丸管

4.5 試作品の製作

試作品として，持ち運びしにくいものを運びやすくするために，様々なものに対して取っ手を取り付けられる「バキュームハンド」の製作を行った．装置の全体図を図 4 に示す．この装置はボウルに取っ手を取り付け，ボウル内部を真空にすることで，持ち運ぶ対象に貼り付けるというものである．

ボウル内部を真空にするために，真空ポンプ（DP0110-X3）を使用した．仕様では-66.6kPa まで空気を吸引することができる．真空ポンプを装置として組み上げた後，ろう付けによってボウルに継手を取り付け（図 5 参照），真空ホースで装置と繋いだ．継手には真空計を取り付け，どの程度空気を吸引できているか目視で確認できるようにした．

次にろう付けの気密確認を行った．まず，継手の吸引口を指で押さえ，空気の吸引量を確認したところ，約-60kPa まで吸引することができていた．また，ボウルを机に押し付け，ろう付けした部分を含めた空気の吸引量を確認したところ，こちらも約-60kPa まで吸引できていた．これらのことから，ろう付け箇所も空気の漏れなくしっかりと取り付けられていることがわかった．

ここで，バキュームハンドの耐荷重について検討する．耐荷重の計算を以下に示す．[3]

$$M = \frac{D^2 \times \pi \times n \times P}{4 \times 9.8 \times S \times 1000} \qquad (1)$$

M：荷重[kg]
D：パッド直径[mm]
n：パッド個数
P：圧力[-kPa]
S：安全係数（水平なら 4，垂直なら 8）

$D = 210$mm，$n = 1$，$P = -60$kPa，$S = 8$ とすると，$M = 26.5$kg 程となる．両手で使用すれば，約 53kg まで持ち上げることが可能である．

実際に使用している様子を図 6 に示す．

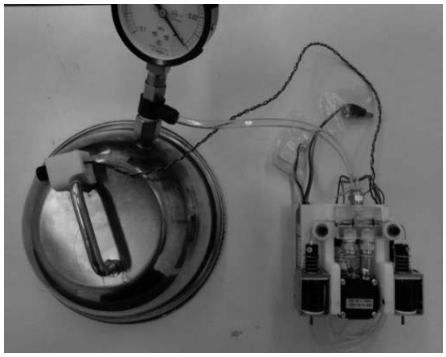

図 4　バキュームハンド

図 5　継手ろう付け部

図 6　使用中の様子

5.　まとめ

業務を遂行する上で必要となる技術の一つであるろう付け技術を修得するため，同一金属，異種金属，高難度のアルミニウムのろう付けに挑戦した．母材を接合するためのろう材，および，表面張力低下などの作用でろう材を母材に馴染ませるフラックスについては，母材となる金属の種類によって適合するものが異なるため，母材を決定した後に選択を行った．

金属の種類によって融点が異なるため，ろう付けを行う際は，母材となる金属の特性を把握した上で実施することが重要であると感じた．今回実施したものについては，銅×銅，ステンレス×真鍮，真鍮×銅の場合，母材表面の温度が 600～800℃，アルミ×アルミの場合は，500～600℃においてろう付けでき，それ以上の温度になると母材自体が溶けることがわかった．

ろう付けした部品の接合部を観察したところ，ろうが溶け込みきれていない箇所もあったため，より完成度の高いろう付けを行うには更なる経験が必要となる．今後も装置作製などの依頼に対応する中で，ろう付け技術を磨いていきたい．

参考文献

[1] 2017 オレンジブック p.4-1992
[2] 理科年表，国立天文台編，物 45(407), 2012
[3] 吸着パッド概要 吸着パッド／吸着金具 https://jp.misumi-ec.com/pdf/mold/09_mo1441.pdf