

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21409

研究課題名（和文）面状軌跡の振動を用いた新たな超音波接合法への挑戦

研究課題名（英文）Study of new ultrasonic welding method using vibration of planar locus

研究代表者

浅見 拓哉（ASAMI, Takuya）

日本大学・理工学部・助手

研究者番号：60706571

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、線状軌跡の振動を組み合わせた面状軌跡の振動を用いた超音波接合法の実用化を目的とし、面状軌跡を発生させる振動源の開発、及びAl板とCu板の接合特性の検討を行った。その結果、まず、面状軌跡を発生させる振動源の開発は、縦振動子とねじり振動子を用いた振動源を用いることで成功した。次に、面状軌跡による接合は、直径4.2 mmの接合チップを用いた接合特性より、接合試料の設置角度に依らず0.6 sで約600 Nの接合強度を得られることがわかった。一方、縦振動やねじり振動の直線軌跡の振動は、設置角度により接合強度が異なり、接合が出来ない角度もあることがわかった。

研究成果の概要（英文）：In this study, for the purpose of practical application of ultrasonic welding method using planar locus vibration combining linear locus vibrations, we first developed a vibration source that generates planar locus vibration. Next, we examined the welding characteristics between Al and Cu plate. As results, we succeeded in generating a planar locus by a vibration source using longitudinal and torsional transducers. Next, we found that the welding by the planar locus can obtain a welding strength of about 600 N at 0.6 s irrespective of the installation angle of the welded sample from the welding characteristics using the welding tip with a diameter of 4.2 mm. On the other hand, vibration of linear locus of longitudinal vibration and torsional vibration showed that the welding strength varies depending on the installation angle, and there are also angles at which welding cannot be performed.

研究分野：音響・超音波工学

キーワード：超音波接合 異種金属 縦振動 ねじり振動 複合振動 振動軌跡 面状軌跡

1. 研究開始当初の背景

薄板の異種金属を接合する有効な方法の一つとして超音波接合法が挙げられる。超音波接合法は、重ね合わせた接合対象に対して、接合チップを用いて静圧力と超音波振動を加えることで接合する方法である。この接合法は、熱を用いない方法であるため融点の異なる異種金属の接合が容易に行える方法である。これまでの超音波接合法は、接合対象に単純な一方の直線軌跡の振動を加え、接合を行っていた。しかし、このような振動は、振動エネルギーが小さく、振動速度が0となる点が多い。そのため、このような振動を用いた超音波接合法は、接合対象への損傷が大きく、接合強度が低下する問題があった。また、直線軌跡の振動は、方向性があるため、接合対象の設置方向により接合強度にばらつきが生じるという問題点もある。そのため、このような問題が生じない超音波接合法が求められている。

2. 研究の目的

申請者は、先の問題を解決するため、振動エネルギーが増大し、振動速度が0となる点が少ない面状軌跡の振動を用いた超音波接合法を提案している。面状軌跡の振動は、2次元の振動軌跡のため接合部に対して加えられる振動エネルギーが大きくなる。また、接合チップの動きが停止する点が少なくなるため、接合対象の損傷を小さくすることが可能である。また、2次元の振動軌跡のため、接合強度に方向性が生じない可能性がある。本研究では、この接合法の実用化を目指し、振動源の開発、接合特性を明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 面状軌跡の振動を得るための振動源

図1は、面状軌跡の振動を得るための振動源である。振動源は、円柱形状のダンベル型ステップホーン(A2017製、直径比1.5)の両端に、縦振動を発生させる27 kHz用ボルト締めランジュバン型縦振動子(D4427PC、日本特殊陶業製)、及びねじり振動を発生させるための19 kHz用ボルト締めランジュバン型ねじり振動子(DAN4419、日本特殊陶業製)を接続した構造となっている。この振動源は、周波数の異なる縦振動とねじり振動の振動方向を直交させることで、ダンベル型ステップホーンの中央部にて面状軌跡の振動を発生させることができる構造とした。

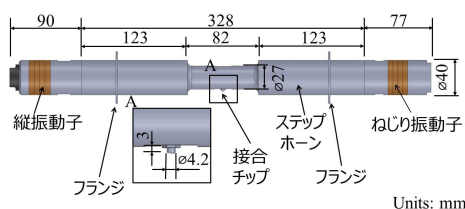


図1 開発した振動源

なお、ダンベル型ステップホーンの中央部は、接合対象に対して振動を印加するための図2のような刻み目のついた接合チップが取り付けられている。

(2) 振動源の振動特性の測定方法

振動源の振動特性として、振動源のアドミタンスループ、及び振動軌跡の測定を行った。まず振動源のアドミタンスループは、振動源の共振周波数を求めるために測定を行った。アドミタンスループの測定は、各振動子の端子に加える正弦波信号の電圧を一定とし、周波数を変化させた場合のコンダクタンスとサセプタンスを求める方法で行った。

次に振動源の振動軌跡は、接合チップ部において所望の面状軌跡の振動が得られているか明らかにするため測定を行った。振動軌跡の測定は、接合チップ部の振動軌跡をレーザードップラ振動計(LV-1610、小野測器製)にて求める方法で行った。

(3) 銅板とアルミニウム板の接合特性

面状軌跡の振動を用いた接合特性として、銅板とアルミニウム板を接合した場合の接合強度に着目して検討した。接合特性は、図3に示すような接合装置を用い、図4に示すような試験体を種々の条件において製作し、この試験体を引張せん断試験し、試料が剥離した強度を求め、これを接合強度として評価

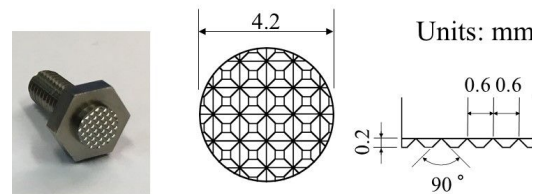


図2 接合チップ

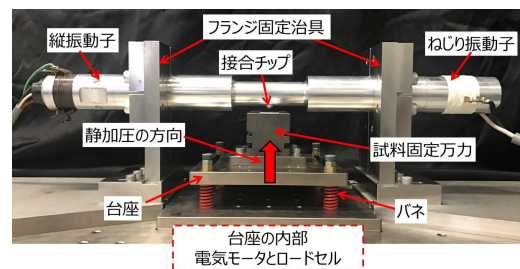


図3 接合装置

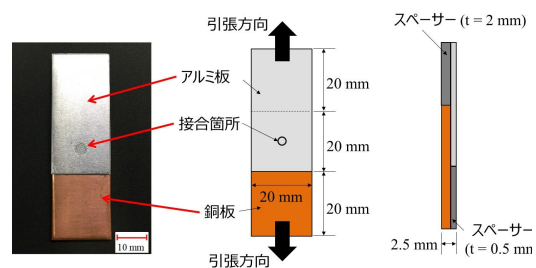


図4 試験体

した。なお、接合試料は、銅板（C1100，長さ 40 mm，幅 20 mm，厚さ 2.0 mm）とアルミニウム板（A1050，長さ 40 mm，幅 20 mm，厚さ 0.5 mm）を用いた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 振動源のアドミタンスループ

図5は、振動源のアドミタンスループの測定結果である。測定は、振動子端子電圧を 20 V<sub>rms</sub> 一定として行った。図は横軸にコンダクタンス、縦軸にサセプタンスをとっている。図より、振動源において縦振動は、29.3 kHz で、ねじり振動は 18.4 kHz で共振することがわかった。また、その際のコンダクタンスは、縦振動で 27.7 mS、ねじり振動で 12.5 mS であった。これらの結果より、振動源は、ほぼ設計通りの周波数で共振することがわかり、また駆動に問題の無いコンダクタンスの値であることがわかった。

##### (2) 振動源の振動軌跡

図6は、振動源の接合チップ部で測定した振動軌跡の結果である。測定は、縦振動子を駆動した場合、ねじり振動子を駆動した場合、及び両振動子を同時に駆動した場合の3条件について行った。図は、横軸に縦振動変位振幅、縦軸にねじり振動変位振幅をとっている。図より、各振動子を個別に駆動させた場合は、各振動子に対応した振動の直線軌跡が得られることがわかった。そして、両振動子を駆動させた場合は、面状軌跡の振動が得られてい

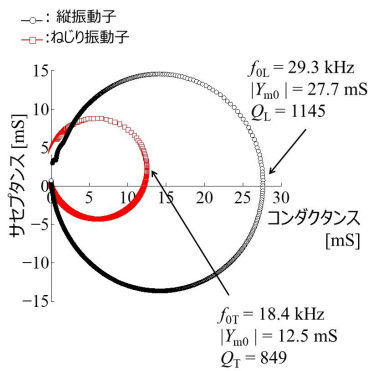


図5 アドミタンスループ

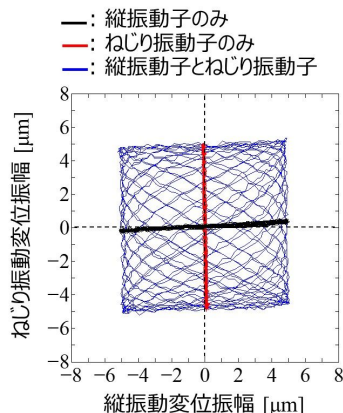


図6 振動軌跡

ることがわかる。これより、面状軌跡の振動は、周波数と方向の異なる2つの直線軌跡の振動を組み合わせることで得られることがわかった。また、振動源は、各振動子を駆動することで各振動を制御することが可能で、制御性に優れていることがわかった。

##### (3) 銅板とアルミニウム板の接合特性

図7は、接合時間を変化させた場合の各振動軌跡における接合強度の結果である。測定は、縦振動による直線軌跡、ねじり振動による直線軌跡、及び面状軌跡の振動の3種を用いた。また、接合特性は、接合中の静加圧を 500 N、振動変位振幅を 10 μm<sub>p-p</sub> とし、各 10 回接合強度を測定した。図は、横軸に接合時間、縦軸に接合強度をとっている。なお、ねじり振動を用いた場合は、0.2 s、0.4 s では1回も接合されず、0.6 s では10回中7回、0.8 s では10回中2回接合されなかった。そのため、ねじり振動を用いた場合の接合強度は、接合できた試料のみを用いて平均値、及び偏差を算出した。図より、接合強度は、いずれの接合時間においても、面状軌跡の振動、縦振動、ねじり振動の順に高いことが分かった。また、面状軌跡の振動を用いた接合は、接合時間 0.6 s から接合強度がほぼ飽和しており、

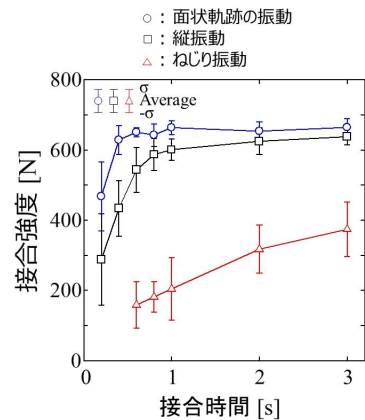


図7 接合時間に対する接合強度の結果

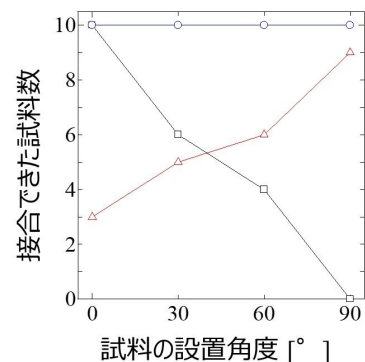


図8 試料の設置角度に対する接合できた試料数



縦振動、及びねじり振動を用いた場合に比べて、短時間で高強度を得られることが分かった。これより、面状軌跡は、直線軌跡の接合と比較して高強度が得られる事がわかった。

次に、接合試料の設置角度を変化させた場合の接合強度の検討を行った。接合試料の設置角度は、試料の長手方向と縦振動の直線軌跡が直交する角度を  $0^\circ$ 、平行となる角度を  $90^\circ$  と定義した。なお、測定は、接合中の静加圧を  $500\text{ N}$ 、振動変位振幅を  $10\ \mu\text{m}_{\text{p-p}}$ 、接合時間を  $0.5\text{ s}$  とし、各  $10$  回接合強度を測定した。図 8 は、各振動において  $10$  回中に接合できた回数の結果である。図は、横軸に接合試料の角度、縦軸に接合できた回数をとっている。図より、面状軌跡の振動を用いた接合は、いずれの設置角度でも接合できている事がわかった。一方、直線軌跡である縦振動とねじり振動による接合は、設置角度により接合できた回数が異なっていることがわかった。図 9 は、その際の接合強度の結果である。図は、横軸に接合試料の設置角度、縦軸に接合強度をとっている。図より、面状軌跡の振動を用いた場合は、いずれの角度でも  $600\text{ N}$  以上の強度が得られることわかった。しかし、直線軌跡である縦振動とねじり振動を用いた場合は、設置角度により接合強度が変化していることがわかった。以上より、面状軌跡の振動を用いた場合は、直線軌跡の振動と比較して接合強度に方向性が生じないことがわかった。

以上の研究成果より、面状軌跡の振動を用いた接合は、直線軌跡の振動と比較して高強度で方向性のない接合ができるとわかった。

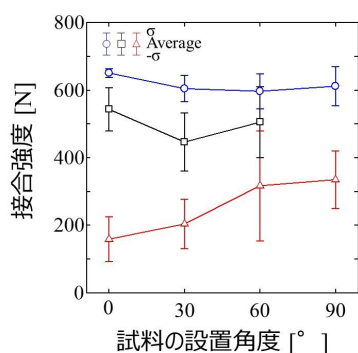


図 9 試料の設置角度に対する接合強度

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

浅見 拓哉, 玉田 洋介, 樋口 祐亮, 三浦 光, 縦 - ねじり振動の制御性を高めた振動源による超音波金属接合, 日本音響学会誌, 査読有, 73 巻, 2017, 349-352  
DOI: 10.20697/jasj.73.6\_349

Takuya Asami, Yosuke Tamada, Yusuke Higuchi, Hikaru Miura, Ultrasonic metal welding with a vibration source using

longitudinal and torsional vibration transducers, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 56, 2017, 07JE02

DOI:10.7567/JJAP.56.07JE02

Takuya Asami, Hikaru Miura, Longitudinal torsional vibration source consisting of two transducers with different vibration modes, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 55, 2016, 07KE08

DOI:10.7567/JJAP.55.07KE08

Takuya Asami, Hikaru Miura, Ultrasonic welding of dissimilar metals by vibration with planar locus, Acoustical Science and Technology, 査読有, Vol. 36, 2015, 232-239

DOI: 10.1250/ast.36.232

〔学会発表〕(計 32 件)

浅見 拓哉, 面状軌跡の振動を用いた Al と Cu の超音波接合, 超音波応用加工セミナー (招待講演), 2018

Takuya Asami, Hikaru Miura, Development of ultrasonic complex vibration source using square prism rod with diagonal slits, International Congress on Ultrasonics (ICU) 2017 (国際学会), 2017

Yosuke Tamada, Takuya Asami, Hikaru Miura, Ultrasonic metal welding changing the shape of vibration locus by ultrasonic complex vibration source, International Congress on Ultrasonics (ICU) 2017 (国際学会), 2017

Takuya Asami, Yusuke Higuchi, Hikaru Miura, Ultrasonic welding by using planar vibration locus of longitudinal-torsional vibration source consisting of two transducers, USE2016 - Symposium on UltraSonic Electronics (国際学会), 2016

Yosuke Higuchi, Takuya Asami, Hikaru Miura, Ultrasonic welding of copper plate and aluminum plate by complex vibration, USE2016 - Symposium on UltraSonic Electronics (国際学会), 2016

Takuya Asami, Yusuke Higuchi, Hikaru Miura, Ultrasonic metal welding by longitudinal-torsional vibration source consisting of two transducers, 5th ASA/ASJ Joing Meeting in Hawaii 2016 (国際学会)

Takuya Asami, Hikaru Miura, Complex vibration source consisted of two transducers with longitudinal and torsional vibration mode, USE2015 - Symposium on UltraSonic Electronics (国際学会), 2015

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 超音波複合振動装置  
発明者: 三浦 光・浅見拓哉

権利者：学校法人日本大学  
種類：特願  
番号：2015-100168  
出願年月日：2015年5月15日  
国内外の別：国内

〔その他〕

<https://www.ele.cst.nihon-u.ac.jp/miuralab/index.html>

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

浅見 拓哉 (ASAMI, Takuya)

日本大学・理工学部・助手

研究者番号：60706571