

熱線プローブ用溶接装置の開発

渡部 英 昭

The Development of the Welding Device for Hot-wire Probes.

Hideaki WATANABE

(2000年11月27日受理)

Hot-wire probes are used as a flow velocity sensing element, when flow fields are measured with hot-wire anemometers. And using homemade probes is convenient because it must be required to choose the optimum probe geometry for each flow configurations. To make probes oneself, the hot-wires had to be welded to their prongs. However, in the conventional process, the work welding the wires to the prongs was difficult and much time was required to finish the work. Therefore, in this study, a new welding device is developed, which is possible to carry out the welding operation with ease and with shorter time to compare with the conventional process.

1. 緒 言

実験流体力学の分野で、流れ場の測定に最も広く用いられているのは熱線流速計である。熱線流速計は、測定原理が簡単であり、自作する事も可能で、しかも高い精度を得る事ができ⁽¹⁾、取り扱いも容易である、という非常に優れたメリットを有する。

この熱線流速計を用いる場合、流速計本体にプローブと呼ばれるセンサを接続し、そのセンサを流れ場に入れて流速を検知させることにより測定が行われる⁽²⁾。プローブは通常、プロングと呼ばれる支持針を2本持ってあり、それらの頂部間に直径5ミクロン以下の白金線もしくはタングステン線（以下、熱線と称する）を溶接して製作される⁽³⁾。

最も広く用いられているプローブ形状としては、1本の熱線を有し1方向だけの流速を検知できるI型や、互いに直交し、しかも流れに対してそれぞれ45度ずつ傾いた2本の熱線を有していて、直交する2つの方向の流速を検知できるX型などがあるが、その他にも種々の種類があり⁽⁴⁾、市販されているものも多い。

しかし測定に最適なプローブ形状は、流れ場の形態によってそれぞれ異なるため、市販品の諸形状だけでは不適当な場面も生じ得る。そのため各測定対象に合わせて最適な形状を持つプローブをその都度自作することが望ましい。また、熱線は外力や大電

流による急発熱に対して非常にせい弱であり⁽⁵⁾、使用者の不注意により与えられた衝撃や乱れの大きい流れ場を測定する際にプローブに生じる振動、あるいは流速計の電源を入れた際に生じる瞬間的な過電流などにより、熱線が切断することもある。このように熱線が破損した場合にも、研究者自身がプローブを修理できることが望ましい。以上のように、各流れ場にに応じて最適な形状のプローブを自作し使用するためには、プローブ用溶接装置が不可欠である。よって著者の研究室では、以前プローブ用溶接装置を自作し、研究や卒業研究などの際に使用して来た。

一般に、プロング頂部に直径5ミクロン以下の熱線を溶接するためには、両者の厳密な位置決めが必要となるが、著者の研究室で使用してきた装置の場合、全ての位置決めを手作業のみで行っていたため、微調整が非常に困難で長時間を必要としていた。

また、熱線をプロング頂部に溶接する際に、溶接電極を持つ手を固定する手段がなかったため、望ましい溶接個所での溶接が困難で高い熟練度を必要としていた。

よって本研究では、容易にしかも迅速に作業が行えるような構造を有するプローブ用溶接装置を開発することを目的としている。そして新たに開発した装置および従来の装置を用いて各々同じ作業を行い、両者の所要時間を比較することにより、本研究で開発した溶接装置の効果を確認した。

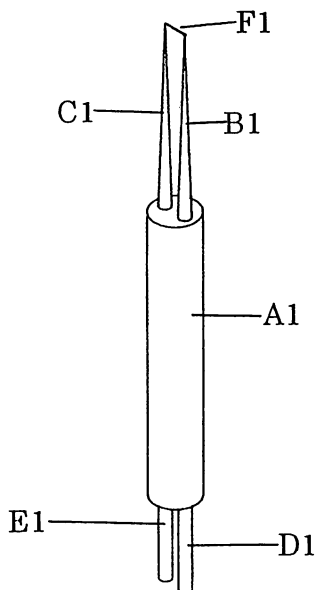


図1 I型プローブ

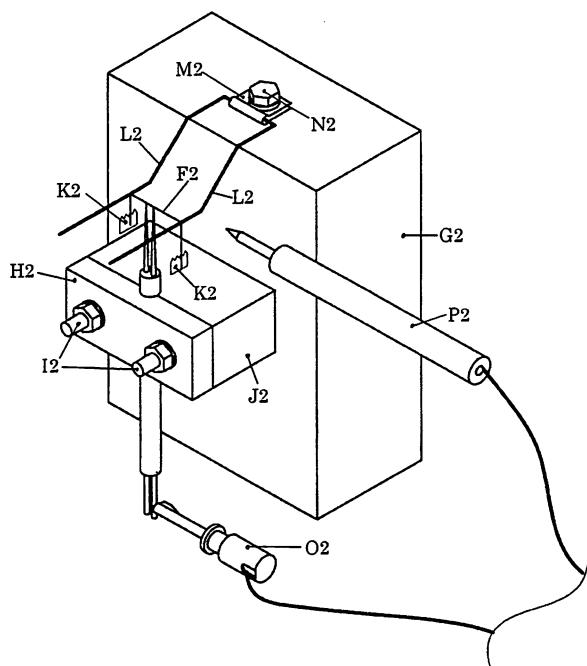


図2 従来の溶接治具

2. 従来の熱線溶接法

図1に、標準的なプローブであるI型プローブの構造を示す⁽⁴⁾。図中A1はプローブ本体(以下、ステム⁽⁶⁾と称する)、B1およびC1はワイヤ支持針(以下ブロングと称する)、D1およびE1はプローブ電極である。D1はB1に、E1はC1にそれぞれ導通しているが、D1とE1(もしくはB1とC1)は互いに絶縁されてい

る。F1は熱線でありB1およびC1の頂部に溶接されている。

図2に従来のプローブ溶接装置を示す。プローブ溶接装置は、通常、①ステムおよび溶接されるべき熱線を保持する溶接治具と、②内蔵されたコンデンサに電荷を蓄えた後、2本の溶接電極間に放電現象を発生させて溶接を行う溶接器⁽⁶⁾により構成される。同図には溶接治具のみを示し、溶接器は示されていない。この図では、プローブおよびワイヤが溶接治具に取り付けられた、溶接作業開始直前の状態を示している。図の煩雑化を避けるため、以下、プローブ各部を示す記号は図1と同じものを使用することとし、特に必要と思われる場合を除き、以降の図には表示していない。図中F2は溶接されるべきタングステンワイヤ、G2は治具本体、H2はプローブ押しえ板、I2は押しえネジ、J2は治具本体に固定されたプローブ取付け部、K2はワイヤF2両端に貼られたセロハンテープ、L2はワイヤ支持棒、M2はワイヤ支持棒固定部材、N2は取付けネジ、O2およびP2はそれぞれ溶接器(不図示)に接続されている溶接電極である。ここで、ワイヤ支持部L2は直径1mm程度の比較的柔らかい針金で作られており、容易に変形させることができる。

図に示すようにステムA1は、ブロングB1およびC1の先端が支持棒L2間に掛け渡されたワイヤF2と接触する位置に合わされた後、押しえ板H2および押しえネジI2によりプローブ取付け部J2に固定されている。ワイヤF2の両端にはセロハンテープK2が貼られており、その重みによりワイヤにテンションが与えられ溶接作業中のたるみを防いでいる。

溶接を行う際は、始めに溶接器に内蔵されているコンデンサを充電した後、プローブ電極D1に溶接電極O2を接続することによりブロングB1の頂部とワイヤF2を導通させる。次に作業者は右手に溶接電極P2を持ち、ブロングB1の頂部とワイヤF2が接触している部分に電極P2の先端を接近させる。P2の先端とブロングB1頂部との距離が十分小さくなると、両者の間で放電現象が起こるため、ワイヤF2をブロングB1の頂部に溶接することができる。次に、プローブ電極D1に取り付けていた溶接電極O2を、プローブ電極E1に接続し直し、ブロングC1、ワイヤF2、溶接電極P2間で上記と同様の溶接を行う。

3. 従来の溶接法の問題点

前節で述べたように、溶接を行う場合、ワイヤ支

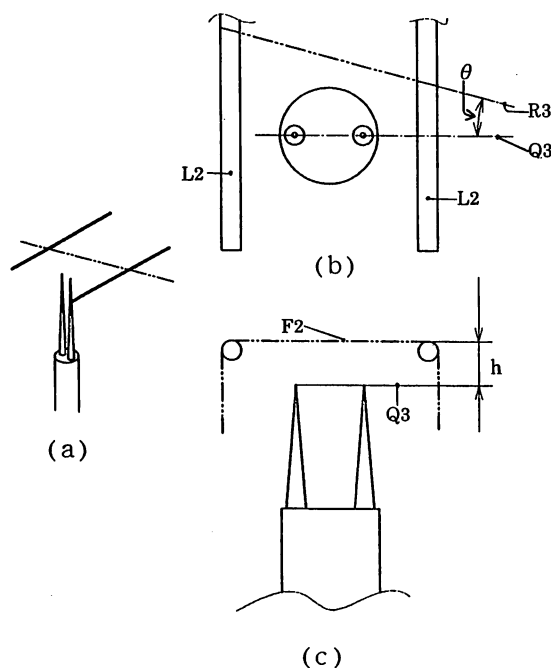


図3 ワイヤ・プローブの位置関係

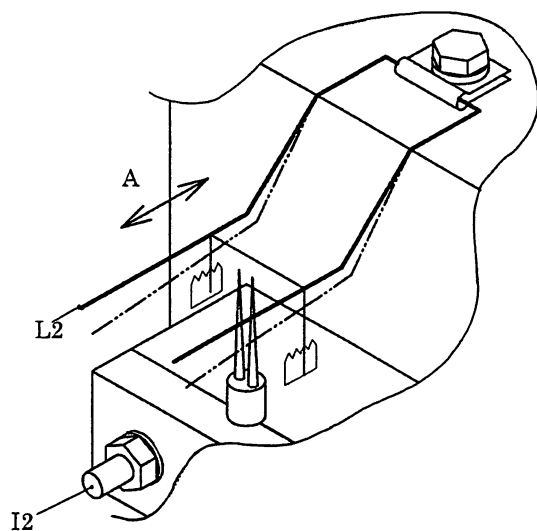


図4 従来の位置決め法

持棒 L2 に保持されたワイヤ F2 は、プローブ B1・C1 いずれの頂部にも接触してはならない。しかし、実際に支持棒間にワイヤを掛け渡した時のワイヤ・プローブ間の位置関係は、例えば図3に示されたような状態（もしくはその逆）になる事が多く、その場合は作業者自身が両者の位置決めを行わなくてはならない。以下、同図を例にとって位置決め作業の手順を示す。

図(a)はプローブとワイヤの位置関係を示す立体図、(b)および(c)は(a)の平面図と正面図であ

る。図中、プローブ頂部間を結んだ直線 Q3 とワイヤ R3 ((b) 図中 2 点鎖線) の成す角度を θ 、プローブ頂部からワイヤ F2 ((c) 図中 2 点鎖線) までの高さを h とする。前述のように、ワイヤをプローブ頂部に溶接するためには、両プローブ頂部にワイヤが接触してはならない。すなわち、 θ と h の両方をゼロにしなければならない。

従来の方において h をゼロにする場合、ワイヤ支持部 L2 を図4の2点鎖線で示されたような形状に変形させてワイヤの位置を下げるか、あるいはプローブ押えネジ I2 をゆるめてステムを上方にスライドさせ高さを合わせた後、再度固定するかのいずれかの方法がとられる。

次に θ をゼロにする場合は、ピンセットや針等のような先端のとがった器具を用いて、作業者自身の手でワイヤ F2 を支持棒 L2 上で前後 (図中矢印 A 方向) にスライドさせる。

通常、溶接作業時の位置決めには10ミクロン以下の精度が要求されるため、作業者は顕微鏡にて常に観察しながら作業を行う必要があるが、上記の方法ではこの位置決めを全て手作業にて行うため、 h および θ をゼロにする際の微調整が非常に困難であった。また溶接電極 P2 を持つ右手を固定する手段がないため、作業者自身の呼吸や心臓の鼓動、手の震えなどによって電極の先端がぶれてしまい、正確な位置での溶接が困難であった。

以上のことから、プローブの溶接には高い熟練度と多くの時間を必要とした。

4. 本研究における改良点

よって本研究では、上記欠点を改善するため、マイクロメータヘッドを使用することによりワイヤおよびプローブの位置決めを行う方式に改めた。本研究で新たに開発した溶接治具を図5に示す。

図中 A5 は装置本体、C5 はプローブ押え板、D5 はプローブ押えネジ、E5 はプローブ固定部材、F5 はプローブ移動子、G5 はプローブ固定部材位置決めピン、H5 は高さ方向ガイド、I5 は高さ方向用マイクロメータヘッド、J5 は圧縮ばね、K5 はワイヤ支持棒、L5 はワイヤ支持部材、M5 は押えネジ、N5 はワイヤ移動子、O5 は水平方向ガイド、P5 は水平方向用マイクロメータヘッド、Q5 は圧縮ばね、図中 2 点鎖線で示した R5 は装置本体と一体化されたサポートである。

プローブは、押え板 C5 およびネジ D5 により固定

熱線プローブ用溶接装置の開発

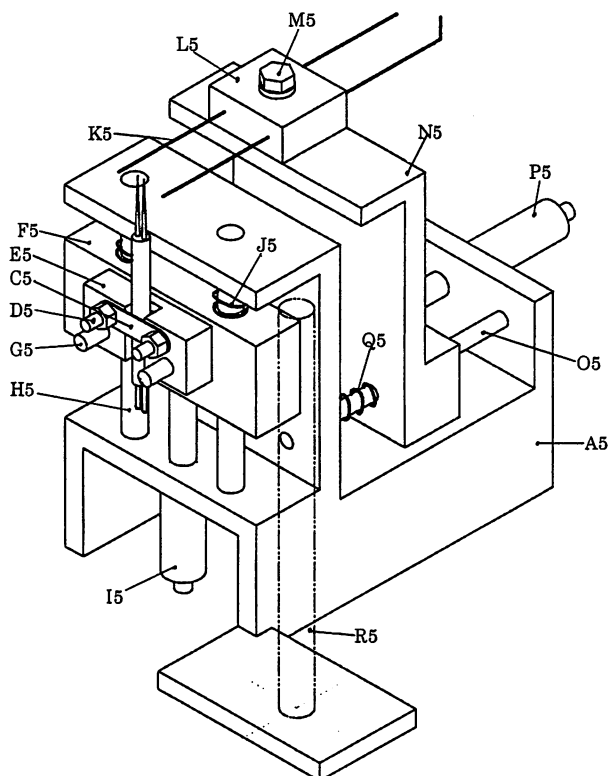


図5 新しい溶接治具

部材 E5に取り付けられている。この部材には位置決め用の穴（不図示）が2個あけられており、それぞれの穴が移動子 F5上に設けられた2本の位置決めピン G5にそれぞれはめこまれることにより、治具に対するプローブ角度が所定の状態、すなわち、プローブ軸線が装置本体 A5が設置されている床面（以下、単に床面と称する）に対して垂直となり、同時にプローブ頂部間を結ぶ直線が床面に平行となる状態に設定される。移動子 F5は、床面に垂直なガイド H5に組み付けられており、マイクロメータヘッド I5および圧縮バネ J5により、ガタを生じることなく上下に移動させることができる。その結果プローブ高さの微調整を、容易にしかも厳密に行うことができる。

ワイヤ支持棒 K5はワイヤ支持部材 L5にあけられた2つの穴にそれぞれ挿入されており、K5の中心線同士で構成される平面が床と常に平行な状態を保ったままで前後にスライドさせることが可能である。よってワイヤを従来の方法と同様、支持棒 K5間に掛け渡すだけで、床に平行に保持することができ、その結果、ワイヤとプローブ頂部間を結んだ直線とは常に平行な位置関係を保つことができる。ワイヤ支持部材 L5は、押えネジ M5によりワイヤ移動子 N5に取り付けられている。移動子 N5は、床面と平

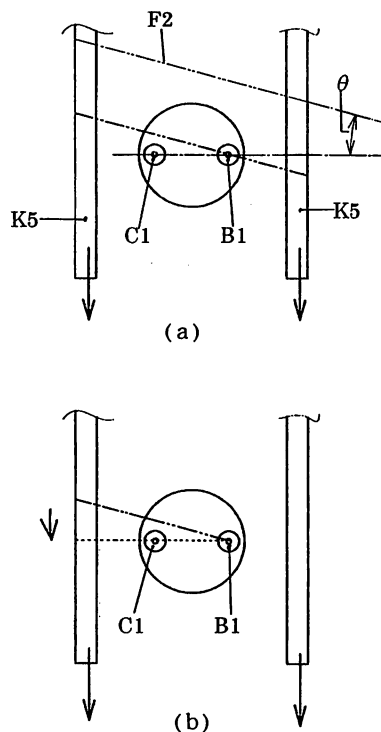


図6 新しい位置決め法

行になるよう取り付けられたガイド O5に組み付けられており、圧縮バネ Q5およびマイクロメータヘッド P5により、ガタを生じることなく水平に移動させることができる。これによりワイヤの水平方向での位置決めを、容易かつ厳密に行うことができる。

続いて、本装置を用いてワイヤおよびプローブの位置決めを行う手順を図6 (a) および (b) に示す。ワイヤ F2は、作業者によってあらかじめ図中細い2点鎖線で示された状態に掛け渡されたものとする。

始めにプローブ B1と導通しているプローブ電極 D1に溶接電極 O2を接続した後、マイクロメータヘッド P5を用いて移動子 N5を動かし、プローブ B1の頂部上方、すなわち図6 (a) 内の太い2点鎖線的位置までワイヤを移動させる。次にマイクロメータヘッド I5を用いてプローブを上方に移動させ、プローブ B1の頂部をワイヤに接触させる（すなわち図3における h をゼロにした状態にする）。そして、従来の方法と同様、溶接電極 P2にてワイヤをプローブ B1頂部に溶接する。図6 (b) 内の太い2点鎖線は、B1頂部に溶接されたワイヤの状態を示している。

溶接電極 P2は、従来どおり右手の親指、人差し指、中指の3本にて保持するが、本装置では残った右手の薬指・小指および手の平でサポート R5を軽く握ることにより右手全体を固定することができるように

なっている。その結果、作業者自身の呼吸や鼓動、手の震えなどによって溶接電極 P2先端がぶれるのを抑えることができるため、正確な位置での溶接が可能となる。

続いて、一旦プローブをやや下方に下げた後、プローブ電極 D1に接続されていた溶接電極 O2を E1に接続し直す。次に移動子 N5を動かし、ワイヤの他端がブロング C1の頂部上方に来るように、溶接が終了したブロング B1の頂部を中心にして図中反時計方向にワイヤ全体を移動させる（図中、破線で示された状態）。その後再びプローブを上昇させてブロング C1の頂部とワイヤとを接触させ、上記のように溶接を行えば、プローブの溶接が終了する。

以上のように、本装置を用いることにより従来手作業で行っていたプローブ・ワイヤ間の厳密な位置決めを容易に、しかも短時間に行うことが可能となった。また、溶接電極先端のぶれを抑える手段を設けた事により、正確な位置での溶接が可能となった。

5. 本装置による効果

従来の方法を用いた場合、著者が1本のプローブの溶接作業を完了するには平均1時間以上の時間を必要とした。一方、本装置を用いて著者自身が全く同じ作業を行ったところ、1本のプローブを完成させるまでの所要時間は平均10分弱であった。更に、著者の卒業研究生達に同じ作業を繰り返し行わせ所要時間を測定した結果、従来の方法ではプローブ1

本につき平均2.5時間以上を要したが、本装置を用いた場合には平均30分程度で済んだ。これら2つの方法の優劣を厳密に比較するには、所要時間だけでなく種々の条件も勘案しなくてはならないのはもちろんであるが、少なくとも本研究の目的である、プローブ溶接作業における作業時間短縮化と作業性向上化は、十分に達成されたと考えられる。

6. 結 言

本研究においてプローブ溶接装置を新たに開発・製作したことにより、従来の方法に比べてプローブの溶接作業に要する時間を短縮でき、また作業性を大幅に向上させることができた。

7. 参考文献

- (1) 蒔田, 流れの計測, Vol. 12, No. 16, pp 3~pp 17, 1995.
- (2) 笠木他, 流体実験ハンドブック, 朝倉書店, 1997.
- (3) 流体力学会編, 流体力学ハンドブック第2版, 丸善, 1998.
- (4) 蒔田, 実験流体力学 (EFD) 流れの計測技術の基礎と応用, 日本機械学会, pp 21~pp 30, 1993.
- (5) Bruun, H. H., Hot-wire anemometer, Oxford Univ. Press, 1995.
- (6) 谷, 小橋, 佐藤, 流体力学実験法, 岩波書店, 1977.