

レーザ溶接屋と TIG 溶接屋が作ったハンドレーザ溶接機

A hand laser Welder made by a laser engineer and a TIG engineer

千國 達郎*、北坂 規朗**

* UW - JAPAN 株式会社

(〒141-0031 東京都品川区西五反田 7 丁目 22 番 17 号 TOC ビル 10F - 36 号)

** ノースヒルズ溶接工業株式会社

(〒578-0984 大阪府東大阪市菱江 2 丁目 1-23)

Tatsurou Chikuni* UW - JAPAN Corporation,

TOC Building 10f-36, 7-22-17, nishigotanda, Shinagawa ward, Tokyo,
E-mail: t.chikuni@UW_j.com

Noriaki Kitasaka** North Hills Welding Industry Co., Ltd.

2-1-23, hisie, Higashiosaka City, Osaka Prefecture

E-mail: kitasaka@nhillz.com

UW - JAPAN 株式会社は、2012 年設立後、独自の熱伝導とキーホールのハイブリッドレーザ技術を用いて高品質溶接ノウハウを蓄えて来た。また、TIG 溶接や真空用溶接技術を得意とするノースヒルズ溶接工業と協業し、ハイブリッド溶接機能を有する独自のハンドレーザ溶接機を開発・販売している。本発表では共同で開発したハンドレーザの特長と技術ポイント、レーザと TIG 溶接のそれぞれの欠点を補い、長所を活かして得られた事例とレーザと TIG の融合効果、今後の取り組みを紹介する。

UW -Japan Corporation has established a high-quality welding know-how using its own heat conduction and keyhole hybrid laser technology after establishment in 2012. We also cooperate with the North Hills welding industry, which is good at TIG welding and vacuum welding technology. In this presentation, the features and technical points of the hand laser developed jointly, and the defect of laser and TIG welding technology are supplemented, and the examples obtained by utilizing the advantages and the fusion effect of laser and TIG are introduced

Key words: Hybrid laser, TIG, vacuum welding, hand laser, SFH, EV, LIB, motor core,

1. はじめに

ものづくりにおいて、「殆どの金属組立は切断と溶接からなる」と言える程、溶接は広く活用されている。

溶接熱源は電気的な放電エネルギーを利用した鉄系構造物用のアーク溶接と、部品組み立て用の TIG 溶接が多く、また最近では高輝度光エネルギーを利用したレーザ溶接も良く用いられている。

中でも TIG 溶接は図 1 に示す様に、種々の金属や多種多様な溶接をスパッタレスで高品質に、しかも即座にできるので、世界中の工場現場の職人達に広く活用されている。



図 1 TIG 溶接例

日本では図 2 に示す様に TIG を用いるステンレス

溶接技能者数は約 53000 人と伸びていて、約 6 千億円の TIG 溶接市場があると言われている。



図 2 溶接技能者認定数

一方、レーザ溶接は、特にファイバーレーザを活用した熱伝導+キーホール型ハイブリッドレーザの出現により、TIG の様にスパッタレスで高品質なシーム溶接が可能になった。また、熱影響が少なく安定性・制御性に優れているので、図 3 に示す LIB (リチウム電池) を始めとする自動機を用いた量産分野での適応が急拡大し、特に EV 用は年々倍増の需要に追いつかない状態が続いている。中国のレーザは既に 2 兆

円産業になっている。



図3 EV用角型LIBレーザ溶接機

本発表ではTIGとハイブリッドレーザの、共にスパッタレスで高品質な溶接ができる共通点を活かし、主に自動機用のレーザと、主に手作業用のTIGの融合により、お互いの欠点を補完し長所を伸ばす方法として、レーザハンドなる解を導き出した。その開発経緯と技術ポイント、融合による効果を紹介する。

2. TIG溶接

図4にTIGの原理図、図5にTIG溶接が得意な範囲や金属材料、溶接方式を示す。

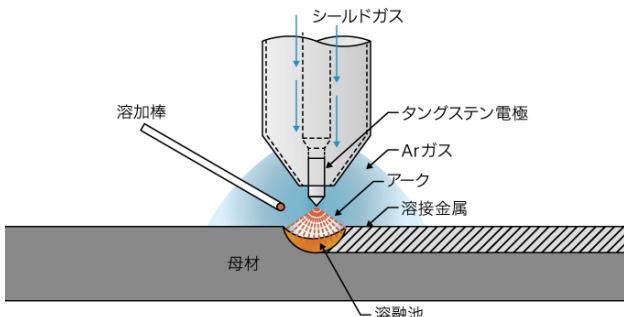


図4 TIG原理図（出典Keyence）

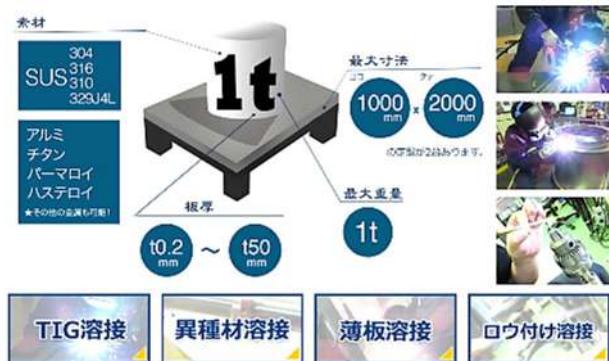


図5 TIG溶接範囲

図4に示す様に、TIGは2000°C超にもなる高温プラズマを熱源にして、母材を直接しっかりと溶かすことができるので、ボイドが十分排出される。また、

金属の種類もほぼ選ばず溶解することができ、溶融母材への予熱・徐冷効果により割れを防ぐこともできる。

被覆アーク溶接は溶接棒の湯滴を母材に塗る様な施工法であり、湯温が低いのでフィレット形成が難しくTIGより品質が低下する。

レーザ溶接は金属の光反射率の影響を大きく受けるので、溶接可能な金属は限られる点は異なるが、低輝度レーザ溶接時の熱伝導型溶接とTIG溶接は非常に類似していて、共にスパッタレスである。

3. TIGの得意分野

TIGはステンレス製の真空装置や半導体装置、医療・食料品設備に多く用いられている。特に図6に示す様な真空装置は、内面の接合部隙間から長期に渡り水分や水素が抜け出でるので、シールをする為に内面溶接が必要である。これは超小型TIGハンドのみ溶接可能である。また、通常のTIG溶接機はDC100Vx100A=10KWの熱源能力があり、ガスバーナー予熱との併用も可能なので、図7に示す様に、大型で放熱性の高い銅構造体の溶接も良好である。



図6 真空装置TIG溶接品内面



図7 高放熱・高熱容量材

4. TIGの問題点

上述した様に、TIGは優れた溶接方法であるが、常に1mm浮かした状態でプラズマを安定に保持して移動操作する必要がある為、熟練に3～5年かかる問題点がある。また溶接品質確保には熟練技以外にも多くの材料や溶接の知見やノウハウも必要なので、高度な技術と技能を有するTIGメーカーを探す必要がある。また、熱影響が大きい点も注意が必要である。

5. レーザの問題点

TIGを得意とするノースヒルズ溶接工業は、以前、溶接対応の幅を広げる為にYAGレーザを導入した。しかし、レーザ溶接は精密な位置規制治具が必要で

大変手間がかかるばかりでなく、当時のレーザは銅やアルミ等の高反射材料の溶接は非常に難しく、更に、厳しいレーザ安全や、難しいレーザの知識も必要である。またYAG等の旧式レーザはスパッタも多く、手作業の現場では作業者がレーザに歩み寄る必要があり、実際には殆ど使ってもらえていない状況であった。

また、レーザは原則ロボットやステージとの組み合わせが必要で、いちいち位置合わせする治具や、プログラムを作る必要がある。よってTIGの様に手軽に使えることはできず、多品種組立工場への活用が難しい問題点があった。

6. レーザとTIGの融合

しかしレーザとTIGの融合により、これらの問題を解決する解を見つけることができた。その解とは、レーザ安全を担保し、TIGの様に手軽に即座にスパッタレス溶接でき、TIG同等以上の高品質な溶接を可能にするSWING式ハンドレーザである。また、TIGの様に1mm浮かす必要がなく、ノズルをスケールに当てるだけで溶接位置が定まるので、初心者でも直ぐに良好な溶接ができる。

7. ハンドレーザの特長

図8に面倒なレーザ溶接がTIGの様に手軽にできるようにしたハンドレーザ装置を示す。



図8 ハンドレーザ装置

最大の特長は、SWINGミラーにより、レーザ光を左右にSWINGさせて熱伝導部を生成し、シングルモードによるキーホールとのハイブリッド溶接を実現しているので、スパッタレスで高品質な溶接が実現できる。なお、任意の速度・周波数・振幅でSWING制御できるので図9に示す様に、任意の溶接断面が実現できる。

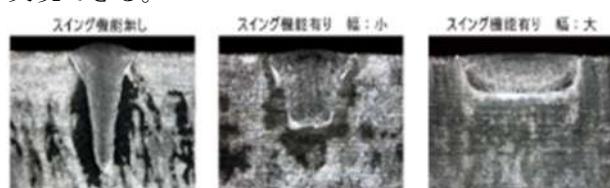


図9 SWING効果

また、TIG屋からの隙間対応や、焼け時のクリーニング等の要望に応え、下記に示す様な特長もある。

① 隙間0.5mm溶接を実現（図10）

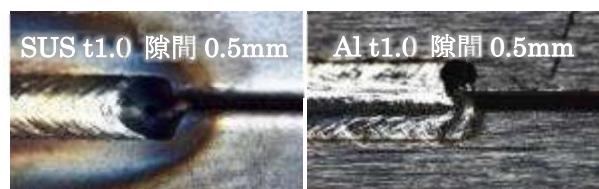


図10 隙間溶接

② レーザクリーニングによる焼け取り（図11）

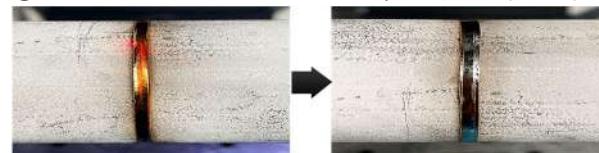


図11 レーザ焼け取り

なお、TIG同様にワイヤー供給溶接は可能であるが、1mm上に浮かす必要が無く、ワークに当てるだけで焦点があり、定規に沿ってスライスさせるだけ位置規制もできるので、素人でも数時間の訓練で図12の様な品質の高い溶接ができる。



図12 ワイヤー供給溶接

また、弊社製ハンドレーザは、ハンド用に改良したUW内製SMファイバーレーザを搭載しているので、他社製では難しい銅とステンレス溶接も、図13に示す様に、TIG同様に高品質に溶接できる。



図13 銅とステンレス溶接

TIG溶接との最大の違いとしては、ノズルでワークを加圧しながら母体に熱を逃がすことができるので、図14に示す様に、パンチングメタルやメッシュ金属、箔等の非常に難しい低熱容量材と大熱容量材を、穴あきなく高品質で溶接できる。



図14 パンチングメタル・メッシュ溶接

更に、ハンドレーザは高速走査が可能で、熱影響を更に減らすことができる。図15に示す様に、熱容量が極端に異なるアルミの薄板と厚板接合も高品質で安定して溶接できる。なお、良好なアルミ溶接時はプルームが青色になるので分かりやすい。青色のプルームは高温プラズマなので、ジャストフォーカス時に発色するものと思われる。



図15 热容量が極端に異なる溶接

また、図16に示す様に、TIGでは熟練工しかできない難しい曲面状の薄板溶接も、ノズルによる位置規制ができるので、簡単な訓練で熱影響歪が少なく安定した焼けの少ない美しい溶接ができる。



図16 曲面状の薄板溶接

なお、これらを現場で実現する為には、レーザを安全に扱える安全装置以外にも、焼けを抑え、保護硝子を壊さない為のアシストガス制御機能や、プログラム不要で即時に簡単に匠な溶接ができる制御コントローラが必要で、弊社で自社開発している。また多くの施工ノウハウがあり、現場指導にもあたっている。

8. ハンドレーザ用UW内製SMファイバーレーザ

弊社製ハンドレーザは他社製より特にアルミの溶接品質が高いと好評を得ている。その優れたアルミ溶接品質を実現するレーザ本体を供給してくれているUW社について簡単に紹介する。

UW社は2005年の起業後、レーザ溶接にはスペックはつきものとの常識を覆し、熱伝導+キーホール

混合によりスペッタレスを実現する独自のハイブリッド技術(SWING, WOB、ダブルコア含む)を開発した。当時スペッタによるショートがLIB発火問題を引き起こし、深刻な社会問題を引き起こしていたがUWはこの問題を真摯かつ地道に解決していくことで、今ではEV、LIB用を主とするレーザ関係者だけで6000名(2022.10時点)を超えるメーカーに成長した。

LIBは主にアルミと銅からできており、図17に示す様にファイバーレーザを内製して世界最高のアルミ溶接品質を実現するレーザ製造技術も確立し、他社が苦手なアルミ溶接を高品質に実現している。

弊社は、UWのハイブリッド技術と、車載搭載品質と、ファイバーレーザ内製量産による原価力を活用して、ハンドレーザを開発・販売している。



図17 UW内製ファイバーレーザ量産風景

また、UWではハンドレーザの作業性向上・質量削減する為に、UW独自の拡散光CUT方式を考案し、光ファイバコネクタや手持本体内での拡散光を殆ど0にして発熱を抑え、水配管を不要にした。図18に発熱試験結果を示す。他社製ハンドレーザでは直ぐに熱くなり素手で触れなくなるが、この技術により、弊社ハンドは発熱を遥かに少なくできている。

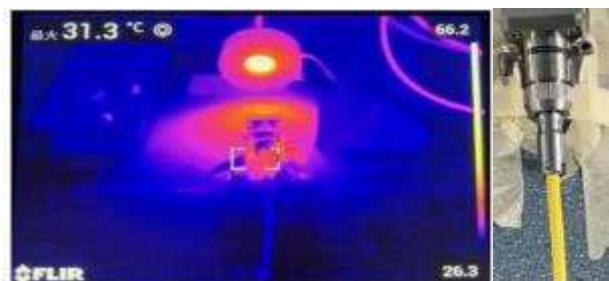


図18 ファイバーレーザ出力コネクタ発熱試験

2時間の2230W連続発熱試験では、水冷無しでも31.3°Cと温度上昇は僅かΔT=6.8°Cであり、UWの研究者達も驚くほど良い結果が得られた。

9. 直接LD水冷の必要性

多くのハンドレーザメーカーが、安価かつ簡単に製造する為に空冷をしているが、弊社では小型高効率チラー搭載による電気代削減と悪環境に耐えるタフさ(密閉構造)が、実際に長く信頼してご使用いただく為に大切と考えている。その理由を説明する。

レーザに限らず多くの開発は熱との闘いと言つても過言ではない。なぜならアレニウスの法則より、自然界の万物は温度が寿命を決めているからである。

空冷式ハンドレーザは、レーザエンジンを購入すれば簡単に製作できるため、多くのメーカーが参入しているが、故障も多発している。理由は明確で、LDは通常25°C以下の温調が必要である。空冷の場合は室温以下にはできないので、KW級の発熱しているLDを25°C以下に温調するには少なくとも室温を20°C以下にしなくてはならない。

しかし夏場は室温を20°C以下にするのは困難なのでLDの温度が30~40°Cと上昇する。すると励起波長からずれて励起効率が低下して不安定になる。そして効率低下で蓄積したエネルギーは増大を続け、やがてダム決壊の様に、異常なQ-SW発振を起こして破損することがある。またアレニウスの寿命法則からも、LD温度が20°C上昇すればLD寿命も半減する。

高効率のヒートポンプ式チラーを搭載すれば、こうした問題が解決できるばかりでなく、冷却効率COPが数倍にUPするので電気代も安くできる。

常に顧客満足を最優先するUWの設計思想は、「エアコンはあくまでも作業者の為であって、レーザを冷やす為では無い」と考え、原価が大幅UPしてもチラーを搭載している。なお、原価UP分は大量生産による生産効率UPや、利益率を適正に抑えて顧客に還元する等の企業努力で補っている。

また、溶接現場では常に煙の換気が必要な為、レーザにとって悪環境の野外工場的な環境も多い。UWは密閉に近い水冷方式により、悪環境や高温の現場にも強いタフなレーザ構造としている。

10. 融合効果

これまでの多くの販売実績から下記に示す様に、レーザとTIGの融合効果が5つあることを検証した。

① 最適な方法で溶接された製品を顧客に提供

各々の形状や材料に最適な熱源選択ができる様になり、「どんな溶接もご相談下さい」と顧客に頼られる信頼の幅が大きく広がる。

② 熟練工と一般作業者の補完効果

ハンドレーザは数時間の訓練で、素人でもパートでも溶接できる様になれるので、簡単な物はハンドレーザ、難しい物は熟練工が対応することで作業補完でき、生産性が向上する。

③ 二刀流TIG熟練工の創出

溶接を熟知した熟練工はハンドレーザを簡単に操れ、更に工夫もできるので、あらゆる溶接に対応できる卓越した二刀流名人になれる。

④ 製缶工場の生産性向上

図19はUW協力会社の写真であり、常にフル稼働している。即時に簡単使える様に、丸ものや形の決まったものはTIGで仮付けし、治具化されたレーザ溶接との融合で生産性や品質が大幅に向上している。



図19 製缶工場におけるレーザとTIGの融合

⑤ 小型ROBOTとの融合による品質生産性向上

従来のレーザトーチは欧米の「大きいのは価値が高い」考えに惑わされ巨大であり、とても小型ROBOTハンドに固定できるものは無かった。

図20に示す様に弊社ハンドレーザはROBOTに簡単に固定でき、外部制御可能なインターフェイスが標準で付属しているのでROBOTによる半自動化が実現できる。



図20 ROBOTとハンドレーザの融合

11. SFH型ハンドレーザの開発

弊社ではお客様の要望に応え、ハンドレーザのサイズ2/3、質量1/2の安価な小型レーザハンドの開発を進めている。中でもUW-JAPANが発明したSFH(Single Fiber Hybrid)は、1本のファイバから光学的にハイブリッド効果を生み出してスペッタレスを実現する国産技術を採用している。

特長としては、図21に示すハンド部にSFH光学素子を内蔵しているので、いささかマニアックであるが、各機能ノズルを交換するだけで、下記①~⑤の様々な各種溶接ばかりでなく、切断やレーザクリーニングが最大1.5KW能力で可能である。

- ① 単ハイブリッド溶接(ダブルコア式同等品質)
- ② 2点ハイブリッドspot(隙間・段差対応の光学的SWING溶接効果、2spot任意回転可)
- ③ 切断(工場配管AIR活用可能)
- ④ レーザクリーニング(別途空間レーザ安全必要)
- ⑤ 短ノースハイブリッド溶接(内面溶接用)



図21 ノズル交換式小型SFHハンドレーザ試作品

SFHハンドレーザは、鉄系では±4mmもの大きな溶接焦点深度を得ることができる。図22は亜鉛鍍金鋼板を1kW、20mm/秒にて焦点を±6mm変化させたビードオンプレート溶接である。約3mmの溶接幅の変化は殆ど無く、亜鉛鍍金鋼板と思えない程、飛散付着や焼けが無い美しい外観が得られている。

单 spot 型 SFH

2 spot 型 SFH



図22 亜鉛鍍金鋼板溶接焦点深度

一般的レーザ

2 spot 型 SFH



図23 1mm厚パンチメタル溶接

また焦点深度が深いので、図23の厚いパンチメタルも良好な溶接が可能である。図24はフリーハンドで2mm厚のSUSを切断した例である。瞬時にドロスの少ない良好な切断と切断片吹き飛ばしが実現できている。



図24 小型 SFH ハンドレーザ切断例

図25は1.8mm厚のポンデ鋼板の重ね合わせ溶接を行った例であり、ハイブリッド効果によりスパッタレスで鏡面に近い良好な溶接が得られている。

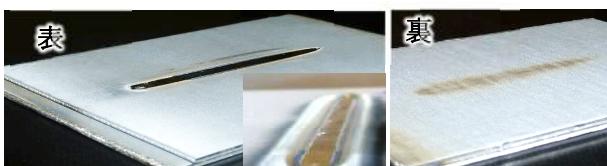


図25 ボンデ鋼板重ね合わせ溶接例

SFH型溶接の基本原理を図26に示す。ダブルコア式に無い特長としては、予熱光や焼鈍光を、光学系に、よりTIGレベルまで増やすことができる。EV用モータコアの量産において、TIGの置き換えとして2年近く不良が非常に少ない生産実績がある。

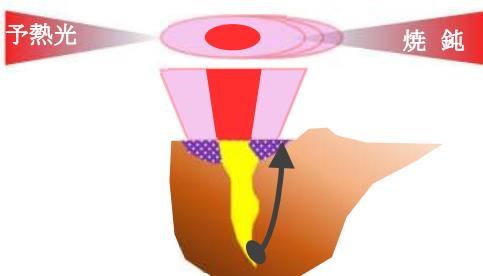


図26 SFH型溶接の基本原理図

図27はEVモータコア溶接試作時の写真である。電磁鋼板の絶縁被膜の分解ガスも大きな予熱+徐冷効果により十分排出され、割れも殆ど発生せず、光沢ある良好な溶接が得られている。しかし量産においては、ケイ素含有率差は問題ないが、絶縁被膜厚バラツキは大きく、厚みが大きすぎると残留分解物起因の割れの原因になるので注意が必要である。



図27 電磁鋼板溶接例

なお、アルミもボイドなく表面も滑らかで、図15と同様な溶接もでき良好であるが、銅の溶接に対しては、弊社のSWING型と比べ溶接能力が低下する。対策としては、UWの青DDLハイブリッド技術を高集積化した青ハンドレーザの構想を進めている。

12. 結 言

ハンドレーザの導入は、TIGの経営者によっては熟練工の反発を懸念される方もおられたが、お互いの欠点を補完する関係にあり、お客様へ最適溶接工法を活用した最高品質の物を早く届けたい志は同じであることがわかった。本論文ではレーザとTIGとの融合によりその志が実現できることも検証できた。

ハンドレーザは同志としてTIGメーカに好意的に迎えられ、必要とされるのは嬉しい限りである。

13. 今後の展開

図28に示す作業者1名にTIGと手持レーザの写真。我々はこれが究極の融合と考えている。



図28 究極のレーザとTIGの融合

この実現の為には、ハンドレーザの大幅コストダウンを始め、多くの課題を解決していく必要がある。しかし民生品の4Kテレビで代表される様に、超量産すれば超低コストになるので、まず量産を目指し、また、設計によるコストダウンにも取り組んで行く。

TIGとは違う熱源として、手軽に幅広くレーザを活用して頂く為の製品作りを今後も進めていきたい。