

# 宇宙環境下における溶接技術の開発

## 神様の答えは、おもしろい!



随 筆

黄 地 尚 義\*

Study on Welding in Space

Key Words : Welding in space, Electron beam, Hollow cathode arc, Space station

1998年11月、最初のモジュール“ザーリヤ”が打ち上げられ、国際宇宙ステーションは、現在、2008年の完成を目指して建造中である。今後、宇宙構造物は、大型化・多様化・高機能化するものと予想されるが、それらの建造・補修・維持に際しては、溶接技術が、不可欠になるものと考えられている。

少し古い話になるが、最初の人工衛星“スプートニク”の打ち上げに成功した旧ソ連は、世界に先駆け、宇宙における溶接・接合技術に関する研究・開発プロジェクトを開始した。具体的には、1969年に宇宙船“ソユーズ6号”の船内で、宇宙における溶接と切断実験を実施するとともに、1984年には、手動の電子ビーム装置を開発し、宇宙ステーション“サリュート7号”船外の宇宙空間で、溶接、切断、ろう付け、コーティングの実験を行っている(写真1)。

さらに1986年には、“サリュート7号”の船外で、写真2に示す、高さ12mに及ぶガーダーを組み立てている。この組立てには、手動電子ビーム装置によるヒンジ部の溶接が行われている。このタイプのガーダーは、2001年3月まで稼動していた宇宙ステーション“ミール”の太陽電池パネルとして利用されていた。

一方、米国では、1973年に宇宙ステーション“スカイラブ”で、電子ビームによる金属の溶融実



写真1  
宇宙ステーション“サリュート7号”の船外で材料接合実験中の宇宙飛行士

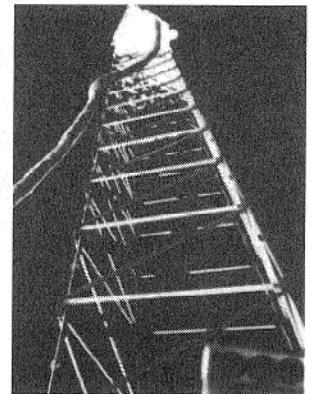


写真2  
宇宙で建造されたガーダー(手動電子ビーム装置により局部的に溶接されている)<sup>1)</sup>

験とろう付け実験を実施している。また、NASAは、1997年に、旧ソ連が開発した上述の電子ビーム装置を用い、スペースシャトルでの溶接実験を計画した。この計画は、国際宇宙ステーションの建造と補修技術をテストする目的のものであったが、実行直前に計画が変更され、現在まで実行されていない。

なお、日本では、航空機や落下塔、更には真空容器を用いる、いわゆる模擬宇宙環境下での実験が報告されてはいるが、宇宙空間において溶接実験が実施されたことはない。

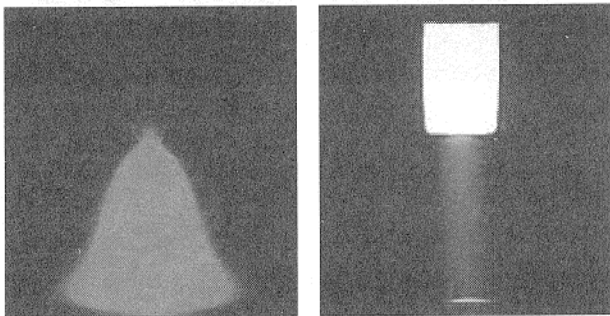
上述の歴史的経緯から分るように、旧ソ連における宇宙溶接に関する研究成果は、人類にとって極めて貴重である。しかしながら、旧ソ連は、これらの実験結果を総括し、宇宙空間において、手動の電子ビーム装置を用いて、溶接(継手)部の気密性を確保することは容易でないと結論している。また、宇宙での電子ビームの利用に際しては、当初より、X線被爆の問題や熱障害の危険性等が指摘されている。このため、より安全な熱源の開発が望まれている。



\*Takayoshi OHJI  
1943年2月生  
1967年大阪大学大学院・修士課程・電気工学専攻  
現在、(株)バーチャルワールド、取締役、大阪大学名誉教授、工学博士、溶接工学、プラズマ工学  
TEL 06-6445-5544  
FAX 06-6447-5622  
E-mail : ohji@alvec.co.jp

MITの増淵先生や高松高専の吹田先生らに刺激されて、宇宙溶接技術とくに真空アーク (Hollow Cathode Arc) の研究を始めて約10年になる。本来、真空中では、アーク放電を形成できないので、何らかの形で放電形成用の気体を外部から供給しなければならない。このための最も良く知られた方法が、ホローカソード (Hollow Cathode) を利用するものである。すなわち、穴の明いた電極の先端から放電の形成に必要な気体を供給するもので、厳密には、真空アークではなく、低圧アークである。

写真3は、典型的な大気圧アークとホローカソードアークとを比較している。自然界に存在する大気圧下のアークは雷であるが、低圧下のアークはオーロラである。オーロラは美しいが、雷のような迫りに欠ける。このため、溶接用熱源として、低圧下のアークは、それほど期待できないのではないかと考えていた。



(a) 大気圧アーク (GTA) (b) 低圧アーク (HCA)

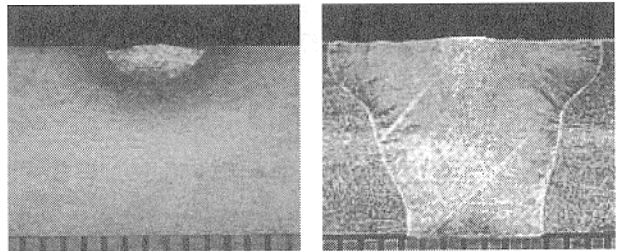
写真3 大気圧アークとホローカソードアーク  
(電流: 150A, ガス: アルゴン、アーク長: 10mm)

ところが、驚いたことに、実験の結果は予想外のものであった。写真4は、ホローカソードアーク (HCA) による材料の溶融特性を、同一電流の大気圧アークの場合と対比している。図のように、HCAでは、材料が良く溶ける。放電空間に投与される電気的エネルギーが、大幅に増加するわけでもないのに、HCAでは、溶融断面積が、大気圧アークの場合に比べ、桁違いに大きくなる。すなわち、写真は、HCAが、溶接熱源として、極めて強力であることを示している。また、銅は、熱伝導が良いため、大気圧アークによる溶融・溶接は容易でない

が、HCAを用いると簡単に溶接できることも分かった。

宇宙では、構造用材料としてアルミニウム合金 (A2219) が利用される。大気圧下では、アルミニウム合金の溶接に際しては、材料表面の酸化皮膜を除去する必要があるが、様々な工夫がなされている。ところが、意外なことに、HCAでは、その必要がない。すなわち、アークにさらされた材料表面の酸化皮膜が除去され、そのままでも、簡単に溶接できる。ここまで来ると、HCAは、神様が、宇宙溶接用熱源として、創っておいてくれたのではないかとも思えてくる。

筆者は、日頃、学生に、「実験とは、自分の知りたいことを、神様に教えてもらうこと」だと云っている。神様の答えは、ときに予想外で、おもしろい。



(a) 大気圧アーク (GTA) (b) 低圧アーク (HCA)

写真4 HCAによる材料の溶融特性  
(アルミニウム合金: A1050, 10mm)  
[電流: 200A, 溶接速度 (熱源移動速度): 30cm/min]

雷の研究者であるM. A. Umanは、次のように書いている<sup>2)</sup>。

There is an awful lot we still don't know about lightning.

アークによる溶接現象を研究対象として40年近くになる。どんな分野でもそうだろうが、自然現象に支配される世界は、分け入っても、分け入っても、深く、新鮮で、楽しい。

#### 参考資料

1. パトン・ラプチンスキー (黄地訳), 宇宙の溶接, 産報出版, 2000.
2. Martin A. Uman, "All about lightning", Dover Pub. Inc., 1986