温故知新

— 旧くて新しいHollow Cathode Arcの研究 —*

黄 地 尚 義**

— Acquire New Knowledge by Inquiring the Old —*

by OHJI Takayoshi**

キーワード

温故知新, 宇宙溶接, ホローカソードアーク, 低圧アーク, 熱源特性, クリーニング

マサチューセッツ工科大学 (MIT) の増淵先生と高松工業高等専門学校の吹田先生らに刺激されて¹⁾, 宇宙溶接技術とくに真空アーク/Hollow Cathode Arc (HCA) の研究を始めて約10年になる。本来, 真空中では, 放電は形成できないので, 何らかの形で放電形成用のガス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ガスを供給するものである。研究の当初, ホローカソードアーク (HCA) 放電に関する筆者の知識は, この程度のものであった。

文献調査の結果, HCA に関する最初の本格的な研究報告²⁾は, 1962年の L. M. Lidsky ら MIT の研究者によるものであるらしいこと, また, この文献から, HCA プラズマが電離度の高い, かなり高温のプラズマであることなどを知った。なお, この論文の著者の一人は, 驚いたことに, 又, 嬉しいことに, 日本のプラズマ研究の第一人者, 吉川庄一氏であった。氏は, MIT で学位取得後, プリンストン大学へ移られた。

その後, 多くの研究者の努力により, 1970年代中頃ま

では, HCA 放電の基本的特性は, ほぼ明らかにされている。とくに, HCA の放電形態やプラズマ特性が, 供給するガス流量に強く依存することが示されている。なお, HCA に関する比較的初期の研究成果は, J. L. Delcroix ら³⁾により整理されており, 筆者には大変参考になった。

図1は, 大気圧下のガスタングステンアーク (GTA) とホローカソードアーク (HCA) の外観を比較して示している。いずれも, アーク電流が 150 A, アーク長が 10 mm の場合である。後者の電極外径は 4 mm, 内径は 3 mm であるが, 図のように, 電極から供給するガス流量を少なくすると, アークは緊縮し, 円柱状のものになり, その外径は電極内径にはほぼ等しくなる。なお, ホローカソードアークは, 大気圧下のアークに比べると, 低圧下にあるため, プラズマの密度が低い。このため, アークの光は, 電極の光より淡く, 優しい。雷は, 大気圧下のアークであるが, 宇宙の低圧下では, オーロラになる。

(a) 大気圧アーク (GTA)

(b) 低圧アーク (HCA)

図1 大気圧アークとホローカソードアーク (電流: 150 A, Ar, アーク長: 10 mm)

図2 ホローカソードアークとアーク軸上の電位分布 (Delcroix らの資料から)

*原稿受付 平成18年6月23日

**正 員 (株)バーチャルウェルド Member, Virtual Weld Co., Ltd.

図3 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]

図2は、Delcroixらの論文から借用したもので、HCAのアーカ柱の状態とそこでの電位分布が模式的に示されている。図は、アーカがガスを求めて電極内部にもぐり込んでいる様子を示している。図中に示されている電位分布は、筆者らの計測結果と少し異なるようであるが、同図は、HCA放電の特性を定性的かつ直感的に理解させてくれる。

これらの研究は、HCAの放電とプラズマ特性に関するものであったが、ある時、我々の研究室をたまたま訪問し、学生の報告を聞いていたProf. Marya（仏、ナント工科大学教授）が、旧ソ連の仕事を調べてみることを示唆してくれた。これが転機になった。学生らとの文献調査が進むにつれ、HCAによる溶接現象については、旧ソ連で、かなり深く、精力的に研究されていることが分ってきた。とくに、1970年頃までに、アーカの点弧方式、放電形態と溶融特性の関係等、定性的ではあるが、詳細に検討されている⁴⁾。当時、我々の研究室の仕事は、約30年位、遅れていると感じた。

上述の旧ソ連におけるHCA溶接の研究は、同国における宇宙溶接の開発プロジェクトが起点になっているものと推察される。旧ソ連によるHCAの宇宙溶接への応用研究は、上述のMITの報告とほぼ同時期にスタートしている。たとえば、1965年には、宇宙溶接熱源としての可能性を検討する目的で、真空容器を航空機内に持ち込み、模擬宇宙環境下でのアーカ溶接実験を実施している。なお、このような旧ソ連による宇宙溶接研究の具体的内容については、パトンらによる詳細かつ貴重な報告⁵⁾がある。

約30年遅れてスタートしたが、HCAは、筆者らを十分楽しませてくれた。たとえば、ある条件下では、図3に示すように、HCAによる母材の溶け込みは、同電流の大気圧アーカの場合に比べ、桁違いに大きくなる。また、電極マイナスの極性であるにもかかわらず、アルミニウム合金の表面がクリーニングされ、簡単に溶接できる。当然のことながら、HCAによる母材の溶融現象は、供給するガスの種類によって大きな影響を受けるが、この実験結果も、一見、不可思議で興味深い。大気圧下のアーカを主対象に研究を続けてきた筆者にとって、これらの現象は、大変新鮮である。現在、何とかそのメカニズムに迫りたいと考えている。

以前から、日本の溶接関係の論文を読んでいて気にしていることがある。それは、過去の文献・先人の仕事に関する調査が、筆者らの場合も含めて、不足しているように思えることである。『温故知新／ふるきをたずね、新しきを知る』という言葉がある。いうまでもなく、先人の業績は、人類の資産である。それらを良く知ってこそ、真の新しさがわかると言える。

もちろん、ふるき（故）をたず（温）ねることは、決して容易でないが、その結果から得られるものの方がもっと大きい。たとえば、研究の成果は、歴史の中に位置づけられて、初めてオリジナルなものになる。また、文献調査の結果から新しい着想が得られる場合が多く、先人の成果をベースに、より効果的な研究が可能になる。

多くの場合、溶接の研究は、旧くて新しい。最近、日本溶接協会では、溶接学会など関連学協会の協力を得て、溶接関連資料の集積を図っている。時宜を得た企画である。

参考文献

- 1) 例えば、増淵、溶接学会誌、Vol.59, No.6 (1990), p.421.
- 2) L. M. Lidsky, S. D. Rotileder, D. J. Rose and S. Yoshikawa, *Journal of Applied Physics*, Vol.33, No.8 (1962), p.2490.
- 3) J. L. Delcroix and A. R. Trindade, *Advances in Electronics and Electron Physics*, Ed. L. Marton, Academic Press (1974), p.88-185.
- 4) 例えば、Y. V. Popov, et al. *Izvestiya VUZov.Mashinostroenie*, 1972, No.7, p.186.
- 5) B. E. パトン, V. F. ラブチンスキー（黄地訳）：宇宙の溶接、産報出版、2000年。