

## ハイブリット型アークヒータの作動特性

### Characteristic of Hybrid Arc Heated Wind Tunnel.

保原 充, 北川 一敬

Michiru YASUHARA, Kazutaka KITAGAWA

Abstract: A high enthalpy wind tunnel, with Hybrid type 27kVA DC-arc heater, is constructed and its characteristics are studied. Measured quantities are the mass flow rate  $m$ , the stagnation pressure  $p_0$ , the discharge current  $I$  and the voltage  $V$  of the arc heated flow condition. The stagnation temperature  $T_0$  was not measured, however a method of estimating it from  $m$  and  $p_0$  with the aid of the high temperature air tables, is proposed by assuming isentropic flow. K.Kindler's graph, for the electric resistance  $V/I$  versus the similarity parameter  $I^2/m$  are plotted from the present data for air, in addition another data of high power Huels or segmented type arc heaters is compared to the present data.

#### 1. はじめに

近年、航空宇宙分野において大気圏再突入における、高温、高圧という過酷な条件に耐えうる耐熱材料の開発や試験のためにより高いエンタルピを発生させることの出来るアークヒータが必要とされている。

本研究では出力 30kW の水冷式ヒュルス型アークヒータにセグメント部を追加してハイブリット型アークヒータを設計、製作した。そして、ハイブリット型アークヒータで作動ガスに空気をを用い、激み点の圧力変化に伴う放電電流、電圧、流量などのアークヒータの基礎特性について調べた。最後にその結果についてヒュルス型アークヒータや他の研究機関の実験データ<sup>[1][2][3]</sup>と比較検討を行った。

#### 2. 実験装置

実験装置は主にハイブリット型アークヒータ部、超音速ノズル、電源装置系、作動ガス供給系、排気装置系、冷却装置系、測定装置系、から成っている。

##### 2・1 ハイブリット型アークヒータ部

ハイブリット型アークヒータはヒュルス型と分割式コンストリクタ型の2つのアークヒータを組み合わせたものである。ハイブリット型アークヒータの概要図はFig.1に示す。今回の設計ではヒュルス型アークヒータの陽極と陰極との間にセグメント部を取り付けることによりハイブリット型アークヒータを設計、製作した。

セグメント部は、熱伝導性、熱伝達性、加工性を考慮して銅電極を使用している。その電極は内径φ12mm、外径φ46mmの中空で長さ13mm、厚さ3mm、電極間距離は5mmとしている。電極間の

絶縁には耐熱性を考慮して最高使用温度 1300K のマコール製の快削性ガラスセラミックを使用している。電極ケースは絶縁を考慮してテフロンである。

そしてセグメント部の両端に内径φ12mm、外径φ100mm、厚さ5mmのセラミック板を上流側ガスライナーと下流側陰極ケースの間に挟んでいる。この時にセグメント部の幅を一定に保つため治具を取り付ける。これはセグメント部のセラミックの破損を防ぐために重要である。

##### 2・2 超音速ノズル

ノズルはコンカルノズルでアークヒータ下流部に取り付ける。ノズルのスロート径は3.5mmとし作動ガスに空気をを用いた時、出口部でのマッハ数 $M=3$ を得る設計とされている。

##### 2・3 電源装置系

電源装置にはエアープラズマ切断機を改良し用いた。またアークヒータ上流部の陽極ケースに電磁コイルを巻いて外部磁場を発生させ、ローレンツ力を用いてアーク輝点を中空電極内で回転させることにより電極の局所的な損傷を防いでいる。

##### 2・4 作動ガス供給系

作動ガスは高圧ボンベよりレギュレタで流量を調節しながら2方向ガスライナーを通して供給する。今回の実験では作動ガスに空気をを使用した。

##### 2・5 排気装置系

アークヒータ下流部に真空タンクを取り付け、そのタンクに並列に2基の油圧回転式ポンプを接続しタンク内を真空にし、ノズルより排出されるガスは配管内を通り屋外に放出される。

### 3. 実験方法

実験装置を組み立て低圧部タンク内の圧力を約 13.3Pa (0.1torr) にする。この時の澱み点圧力を 0.04~0.2MPa である。

高周波放電を開始させ、放電がアーク放電に移行した後、実験条件に合わせて電流を 40~120A の間で決定し、作動ガスの供給流量をレギュレタにより変化させて一定の放電電流下で任意に澱み点圧力を定めて行き、その時の放電電圧、流入流量、タンク内圧力をそれぞれ測定した。

### 4. 実験結果及び考察

ハイブリット型アークヒータの作動特性実験は放電電流 80A にて放電を行ない放電時間は約 40 秒間である。装置のプラズマ放電の安定性が良くなかったが、3 点の測定結果を得ることが出来た。

その測定結果を NBS(米国連邦基準局)の Hilsenrath etc.の平衡高温空気表<sup>[4]</sup>を元に無放電時の温度及び放電時と無放電時の作動ガスの質量流量比を使用したアークヒータの澱み点における温度推算を行った。Fig.2 はハイブリット型アークヒータの澱み点圧力と推算温度との関係を示す。図中には比較参考のためヒュルス型アークヒータの結果も同様に示す。Fig.2 より澱み点圧力が等しいときにハイブリット型アークヒータの方がヒュルス型アークヒータよりも澱み点温度が約 780~960K 高いことが解かる。

Fig.3 は K.Kindler<sup>[5]</sup>による電氣的特性による相似性(アークヒータの測定結果の放電電圧  $V$ 、放電電流  $I$ 、作動ガスの質量流量  $m$  とした時、放電抵抗  $V/I$  を  $I^2/m$  に対して対数プロットするとその装置の規模によらずほぼ一定の線上に乗る)について既知の各研究機関のアークヒータのデータとともに示す。図より他のアークヒータと相似性があると推測することができる。その中でも特にセグメント型アークヒータの航空宇宙技術研究所(NAL)や神戸製鋼所(Kobe Steel Co.)に類似している事が解かる。

### 5. まとめ

今回測定したハイブリット型アークヒータの基礎特性から得た実験結果より澱み点温度はハイブリット型アークヒータの方がヒュルス型アークヒータより高い局流温度になることが温度推算によりわかった。

実験装置は放電抵抗が高く、より高いエンタルピを発生させる為には放電抵抗を低くして行かなければならない。

更に K.Kindler による電氣的特性による相似性があることも解かった。

最後に今回はハイブリット型アークヒータの作動時間がとても短時間のため測定値が少ない。そのため今後はより安定して放電することが出来るように装置の改良して行くことが課題である。

### 参考文献

- [1] 渡辺泰夫, 松崎貴至, 板垣春昭, 長谷川清一 (1994) 『アーク加熱風洞の基本特性』, 第 26 回流体力学講演会講演集, pp.113-116
- [2] 稲谷芳文, 長谷川清一, 小松智視(1994) 『世界のアーク加熱器を用いた設備の現状と今後』, 第 26 回流体力学講演会講演集, pp.101-104
- [3] M.Hinada, Y.Inatani, T.Yamada, K.Hiraki (1996) An Arc-Heated High Enthalpy Test Facility for Thermal Protection Studies. The Institute of Space and Astronautical Science Report No.664,p.6
- [4] J.Hilsenrath, M.KLEIN, H.W.Woolley (1959) Teables of Thermodynamic Properties of Air Including Dissociation and Ionization. National Bureau of Standards, pp38-64
- [5] K.Kindler.(1989) The Arc Heated Wind Tunnel (LBK) of DLR. DLR Colonge Internal Report, p.3

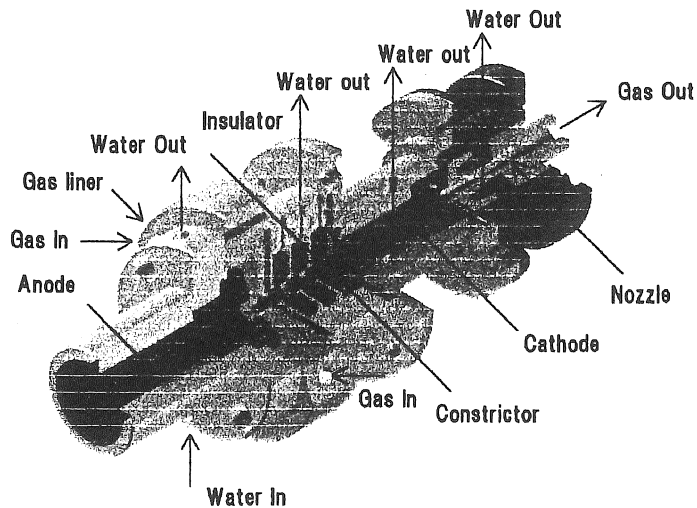


Fig.1.Schematic view of the hybrid type arc heater.

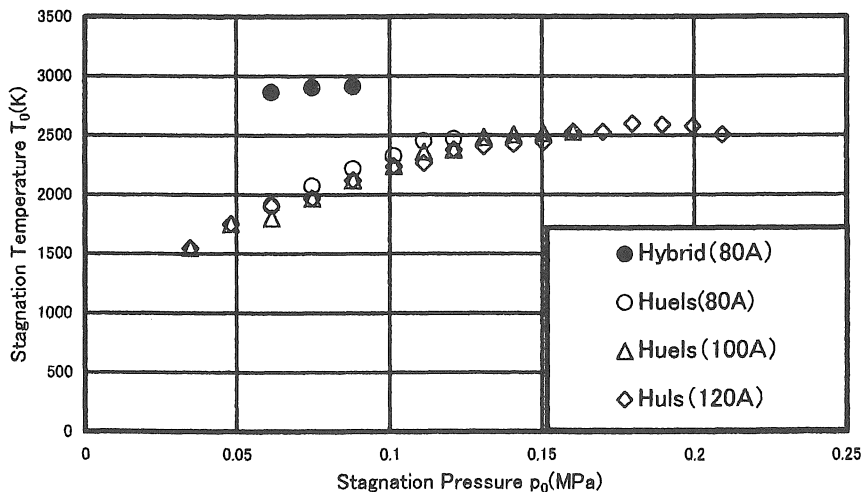


Fig.2.Stagnation temperature and stagnation pressure relations at several conditions,for air.

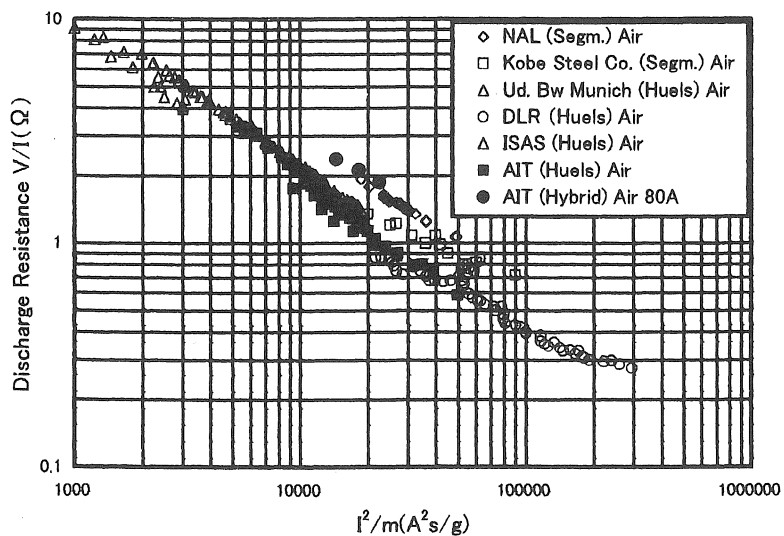


Fig.3.K.Kindler's similarity plots of arc heaters.