交流プラズマトーチ用タングステン電極の 電極サイズ設計手法の検討

正員 岩田 幹 正 (電力中央研究所)

正員 渋谷 正 豊 (超電導発電関連機器・材料技術研究組合)

Design Consideration of Tungsten Electrode Size in AC Plasma Torch

Mikimasa Iwata, Member (Central Research Institute of Electric Power Industry),

Masatoyo Shibuya, Member (Super-GM)

Heavy erosion of the electrode is one of serious problems in using AC plasma torches. In a series of our studies, a good correlation was obtained between the calculated temperature of electrode tip and the measured electrode erosion. In this paper, the experimental investigation on the electrode sheath drop voltage, one of the most influential factor on the electrode erosion, was carried out and on the basis of the result the investigation on a method of designing electrode size was carried out. The electrode used was of solid type and the material was tungsten containing 2wt% of lanthanum oxide. The plasma gas was argon. Main results are as follows :

- (1) The electrode sheath drop voltage V_{drop} was calculated on the basis of heat balance in the electrode. As the current increased, the calculated temperature of the electrode tip T_t increased and V_{drop} decreased to 2-3V gradually. These results suggested that the higher temperature of the electrode caused the electron to be apt to be emitted from the electrode, and the necessary power for the electron emission and V_{drop} decreased.
- (2) The investigation on a method of designing the optimum electrode size was carried out for the desired electrode erosion E_w and arc current, making use of the relation E_w-T_t , the relation $V_{drop}-T_t$ and the calculation of heat balance of the electrode. Using the method, the optimum electrode size was designed for 2,000A, for example, the length 6mm and the diameter 16mm were obtained.

キーワード：交流プラズマトーチ，タングステン電極，電極降下電圧，アーク電流，電極 サイズ設計手法

1. まえがき

電気加熱の一つであるアークプラズマ加熱は，温度やエネルギー密度が高く制御性に優れているなどの特長を持つ。このため，プラズマ加熱技術は多くの熱需要分野，例えば，金属の溶解や精練，製鉄などの金属産業分野，廃棄物や有害物質の処理などの環境保全分野において，電気の有効利用技術として利用されている⁽¹⁾⁽²⁾。

プラズマは，その供給電源の違いから直流プラズマと交流プラズマとに分類される。現在は，プラズマトーチ内の電極の低損耗性やプラズマの安定性の観点から，主に直流プラズマが利用されている。一方，交流プラズマには，複数のトーチ間に簡易にプラズマを形成できるという特長があるため，導電性を持たない物質も簡易に加熱でき，また炉底電極も不要となり運転の簡易化および信頼性の向上が期待できる。このような特長に着目して，最近，交流プラ

ズマが金属 casting プロセス中のタンディッシュにおける溶鋼加熱⁽³⁾や焼却飛灰廃棄物の処理⁽⁴⁾などに利用されつつある。このような交流プラズマを利用する際の課題として，電流零点でプラズマが不安定になりやすいこと，直流トーチに比べてトーチ内の電極が損耗しやすいことなどが挙げられ⁽⁵⁾，これらを解決することが望まれている。

これまで筆者らは当研究所では直流プラズマ技術の廃棄物処理への適用を検討⁽⁶⁾してきたが，交流プラズマについては，その適用性の評価を行なうための一つのステップとして，上述の課題を解決するための基礎検討を次のように行なってきた。プラズマ安定性については，電流零点にパルス電流を重畳する方法を提案し，この方法を移行形交流プラズマに適用してプラズマが安定化することを確認した⁽⁷⁾。電極損耗については，アーク電流および電極形状が及ぼす影響に関する検討を行ない，電極における熱バランスの試算および電極内部の熱伝導解析を行ない電極先端温度

を算出し、その温度と電極損耗量の相関関係を得た⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

本論文では、電極における熱バランスに大きな影響を及ぼすと思われる電極降下電圧について検討を行ない、その電極降下電圧と前述の電極先端温度との相関関係について検討を行なった。これは、この電極降下電圧－電極先端温度特性と、前述の電極損耗量－電極先端温度特性とを用いれば、電極先端温度を媒介して、適正な電極損耗量にするための電極の熱バランスを得ることができ、そのときの適正な電極サイズも得ることができると考えたからである。また、今回考えた電極サイズの設計手法を用いて、実システムで用いられている大電流領域（～数千 A）の電極サイズの設計を試みた。

なお、今回検討の対象とするアルゴン雰囲気中のタングステン電極の電極降下電圧に関する検討は、これまで多くの機関で行なわれている^{(10)～(13)}が、この電極降下電圧の電極損耗への影響については最適な電極設計手法に関する検討は見当たらない。

2. 実験方法

実験装置を図 1 に示す。トーチ電極先端部と対向電極上端部との間に銅細線を張り、そこに電流を流して溶断・発弧させ、100～550A（実効値）の移行形の交流プラズマを大気中で安定に発生させた。プラズマガスはアルゴンとした。また、トーチ電極の冷却水入口と出口に測温抵抗体（Pt100, JIS）を装着して、その両箇所の水の温度差を温度差変換器（精度： $\pm 0.06^{\circ}\text{C}$ ）を用いて測定した。その温度差と冷却水流量（9 l/min）とから、冷却水が高温のトーチ電極から奪う熱量（抜熱量）を算出した。温度差変換器の精度から今回の実験条件における抜熱量の精度は $\pm 38\text{ W}$ である。なお、トーチの外面を通して熱が出入りしないようにトーチ全体を断熱材で覆った。

主な実験条件を表 1 に示す。一つの実験条件につき 2～4 回ずつ実験を行なった。アーク電流およびトーチ電極の電極形状（主に電極径）をパラメータとした。なお、トーチの電極材料は酸化ランタン入りタングステンをを用いた。

図 1 実験装置

Fig.1. Experimental setup.

表 1 主な実験条件

Table 1. Experimental conditions.

パラメータ	設定条件
アーク形態	移行形
アーク電流	交流 100～550A _{rms}
通電時間	1～3 時間
プラズマガス	アルゴン, 10 l/min (45° 旋回流)
トーチ電極冷却水	9 l/min, 5℃ (電極入口水温)
交流電源	600V _{rms} , 50Hz
トーチ電極	酸化ランタン入りタングステン [La ₂ O ₃ (2%wt.)-W] 丸棒
電極径 d ×	φ 8×12, φ 10×12, φ 13×11
電極長 l [mm]	
先端形状	平坦状
ノズル	銅製で孔径 10mm φ
対向電極	銅製で孔径 10mm φ (二重円筒)
電極間距離	L=30mm

3. 電極降下電圧

<3.1>電極降下電圧の試算結果 冷却水がトーチ電極から奪う熱量（実測値）などを用いてトーチ電極における入・出熱量の試算⁽⁹⁾を行ない、電極降下電圧に起因する入熱量 Q_{drop} を算出した。その結果を図 2 に示す。アーク電流および電極形状をパラメータにしている。いずれの電極形状の場合も、アーク電流の増加とともに Q_{drop} は増加していく。また、同じ電流値で比較すると、電極径 d が大きい方が Q_{drop} が大きいことが分かる。この原因については次節で検討する。

図 2 電極降下電圧入熱量のアーク電流依存性

Fig.2. Dependence of heat quantity due to electrode sheath drop voltage on arc current.

次に、この Q_{drop} をアーク電流値で割った値を「入熱相当電極降下電圧 V_{drop} 」（以下、電極降下電圧と略記）とし

た。その結果を図3に示す。いずれの電極形状の場合もアーク電流の増加とともに V_{drop} は漸減し 2~3V に近づく。また、同じ電流値で比較すると、電極径 d が大きい方が V_{drop} が大きいことが分かる。このような V_{drop} の違いの原因要素としては電極先端付近のアーク電界や温度などが考えられるが、今回は電極先端温度に注目し、次節で検討する。

図3 電極降下電圧のアーク電流依存性

Fig.3. Dependence of electrode sheath drop voltage on arc current.

<3.2>電極降下電圧の電極先端温度との関係 本節では、アーク電流や電極形状によって電極降下電圧が変化する原因の一つとして、電極先端温度に注目し検討する。トーチ電極における入・出熱量の試算結果を用いて電極内部の簡易な熱伝導解析を行ない電極先端の温度 T_t を算出し⁽⁹⁾、この温度と今回算出した電極降下電圧 V_{drop} との関係調べた。この結果を図4に示す。なお、前報でも述べたように、電極径が 13mmφ のように太い場合は入熱面積の正確な同定が困難であり、今回の計算でも電極先端温度を低く算出していると考えられる。このため、□印の実際の温度は今回算出した電極先端温度よりも高めと考えられるため、これを考慮して図4の実線を引いた。

図4の実線から分かるように、電極先端解析温度 T_t が低いほど V_{drop} が高い。これは、電極として用いているタングステンが熱電子放出形のアーク電極であるので、 T_t が低くなるとアークを維持しにくくなるため、タングステン電極でもいわゆる電界電子放出機構が働き V_{drop} が高くなると考えられる。なお、熱電子放出形のグラファイト電極においても、今回と同様の電子放出機構を考えている報告例⁽¹⁴⁾がある。また、電極先端温度が高くなると陰極降下電圧が低下するという解析結果例⁽¹²⁾があり、今回得られた特性と類似した傾向を示している。

以上の結果から、電極径 d が大きい電極では電極先端温度 T_t が低くなるために V_{drop} が高くなり、このために、前述のように Q_{drop} が大きくなったと考えられる。

図4 電極降下電圧の電極先端温度依存性

Fig.4. Relation between electrode sheath drop voltage and calculated temperature of electrode tip.

4. 低損耗電極サイズ設計手法に関する検討

本章では、前章で得られた電極降下電圧の電極先端温度特性と前報⁽⁹⁾で得られた電極損耗量の電極先端温度特性とを用いて適正な電極サイズの設計手法を構築し、この手法を用いて大電流領域 2,000A の電極サイズの設計を試みた。

<4.1>電極サイズの設計手法 図5に、今回考えた電極サイズの設計手法フロー図を示す。概要は次の通りである。

(1) 図(a)の電極損耗特性⁽⁹⁾を用いて、所望の損耗量にするための適切な電極先端温度 $T_{t(opt)}$ を選定する。なお、文献(9)における電極損耗特性には上限値カーブと下限値カーブとがあるが、ここでは、低損耗化という観点で安全サイドとして上限値カーブを採用する。

(2) 今回得られた図(b)の特性を用いて、電極先端温度が $T_{t(opt)}$ のときの電極降下電圧 V_{drop} を算出する。

(3) あらかじめ所望のアーク電流値は設定しておき、また、電極サイズ(直径、長さなど)を仮に設定しておく。

(4) 上記(1)~(3)で得られた諸量を用いて電極への入熱量 Q_{in} を求める。 Q_{drop} は電極降下電圧に起因する入熱量で、前述の V_{drop} とアーク電流との積である。 Q_{radA} はアークからの放射光による入熱量であり、アークコラム電圧とアーク電流とを乗じたアークコラムパワーの一部が電極先端に入射するとして求める。 Q_{RI}^2 は電極内部でのジュール発熱量であり、電極の電気抵抗の温度依存性を考慮し

たものと電流の2乗との積として求める。

(5) 電極先端から電極内部に入る熱量 $Q (= Q_{in} - Q_{radE})$ を求めるために、電極先端での出熱量として Q_{radE} を求める。これは、高温の電極先端面から周囲空間への輻射伝熱量であり、ステファン・ボルツマンの放射法則の式により求める。

(6) 熱量 Q の電極先端における入熱面積 S は、アーク電流値と比例定数の積として求める。これらの結果を用いて電極内部の熱伝導解析を行ない、このときの電極先端温度 T_t を計算する。この計算された電極先端温度 T_t と最初に選定した電極先端温度 $T_{t(opt)}$ とが等しくなるまで、電極サイズをパラメータとした計算を続ける。これらのことから、所望の電極損耗量にするための電極サイズが設計できることが分かる。

<4.2> 電極サイズの設計例 本節ではアーク電流が 2,000A の場合の電極サイズの設計を試みる。なお、今回 2,000A を選んだ理由は次の通りである。実システムの数千 A 級の電流で使われている電極サイズと今回の試設計サイズとの比較を行なうことを考えているが、電極サイズが明記されている報告例がほとんど見当たらず、唯一明記されていた報告例⁽¹⁵⁾の電流が 2,000A であったためである。なお、プラズマガスはアルゴンである。

(1) 前報⁽⁹⁾で求めた電極損耗特性から所望の損耗量を 5mg/h とすると、そのときの適切な電極先端温度 $T_{t(opt)}$ は 3,000K となる。

なお、この損耗量 5mg/h の場合の電極寿命は次のように考えられる。例えば、電極径が 20mm φ の電極を考え、電極長が 1mm 減少したときを寿命と仮定する。電極先端面が一様に損耗すると仮定すると約 1,000 時間で寿命を迎えると算出でき、これは実用レベルの寿命と考えられる。なお、電極長が 5mm 程度減少するとプラズマ着火性能が悪くなりこれを電極寿命と考えている報告例⁽¹⁶⁾があり、今回はそれよりも少なく見積もって 1mm 減少時を電極寿命と仮定した。

(2) 今回求めた図 4 の特性を用いると、電極先端温度が 3,000K のときの電極降下電圧 V_{drop} は 3.5V である。

(3) アーク電流値は 2,000A と設定する。また、電極サイズとして電極径を 23mm φ および電極長を 6mm とし、電極先端は平坦状と仮に設定する。なお、この仮の設定値は、文献(15)でアーク電流が 2,000A の場合に用いられている電極形状である。

(4) 上述の諸量を用いて電極へ入熱量 Q_{in} を求める。まず Q_{drop} を求める。前述の V_{drop} の 3.5V とアーク電流 2,000A とを乗じて 7kW となる。

次に Q_{radA} を求める。アークコラム電圧は、アークコラムの電界とアーク長との積である。2,000A 級の大電流領域になると電界は 0.3V/mm 程度⁽³⁾となる。アーク長を 300mm とすると、アークコラム電圧は 90V となり、これとアーク電流 2,000A とを乗じたアークコラムパワーの約 3 割⁽¹⁷⁾の 54kW がアークからの放射パワー全量となる。ここで、ア

図5 トーチ電極サイズの設計手法フロー図
Fig.5. Flow chart of the designing method of torch electrode size.

ークが光学的に薄いと仮定し、また、アーク長さ方向の中心軸に沿って並んだ点光源（長さ dl ，放射パワー：54kW $\times dl / 300\text{mm}$ ）からの放射パワーの総計が、アークから電極先端への放射パワー全入力に相当すると考える。それぞれの点光源が電極先端面を見たときの立体角を計算し、これと放射パワーとの積をアーク長 300mm に沿って積分した結果、今回の条件では前述の放射パワー全量の約 3.9% の 2.1kW となった。

次に Q_{RI}^2 を求める。アークプラズマと接している電極先端の温度を前述の 3,000K とし、電極内部の温度分布を次のように仮定した。電極先端から冷却水と接しているところに向けて、電極先端からの距離の一次関数として温度が低下していくとした。また、体積抵抗率の温度依存性⁽¹⁸⁾（例えば、400K のとき約 $8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ，3,000K のとき約 $90 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ）を考慮して電極の電気抵抗を求め、これと

電流の 2 乗との積として電極内部でのジュール損を算出したところ、約 0.05kW であった。

(5) 電極先端での出熱量 Q_{radE} を求める。前報⁽⁹⁾と同様にタングステン電極の放射率を 0.35、熱放散面積を電極先端面積とし、また、電極先端温度を今回選定した温度 3,000K として求めたところ約 0.65kW であった。

次に、電極先端から電極内部に入る熱量 $Q (= Q_{in} - Q_{radE})$ を求めると、 $(7+2.1+0.05) - 0.65 = 8.5\text{kW}$ である。なお、この熱量 Q は電極内部を通過して冷却水により抜熱される。この冷却水による電極からの抜熱量は実測することができ文献(15)の結果は 9.7kW 程度であり、今回の算出結果 8.5kW とは 1 割程度の差異が認められるものの、概略同レベルの値と考えられる。

(6) まず、熱量 Q の電極先端における入熱面積 S を求める。入熱面積とアーク電流の比例定数 $0.09 \text{ mm}^2/\text{A}$ ⁽⁹⁾を用いると、今回の 2,000A では 180 mm^2 となる。

次に、電極内部の熱伝導解析を行ない、このときの電極先端温度 T_e を計算し⁽⁹⁾、この温度と今回選定した 3,000K とが等しくなるまで、電極形状をパラメータとした計算を続ける。なお、今回パラメータとして電極径（電極断面積）および電極長の範囲はそれぞれ $15 \sim 35\text{mm} \phi$ ($177 \sim 962 \text{ mm}^2$) および $5 \sim 15\text{mm}$ とした。ここで、電極径および電極長を変化させると、前述の諸熱量が変化するため Q も変化するが、このことも考慮して計算を行なった。なお、今回の計算の範囲では Q は $8.1 \sim 8.7\text{kW}$ であり、前述の 8.5kW から最大 5% 程度変化した。

以上のような解析を行ない電極先端温度が 3,000K となるように電極サイズ（電極長 ℓ 、電極断面積 S_c ）を求めたものを図 6 に実線で示す。この実線上の電極サイズを「最適な電極サイズ」と呼ぶことにする。この図から次のことが分かる。

(a) 実線より下の部分の電極サイズ領域が、電極損耗の低減化という観点からは「安全領域」と考えられる。

(b) 実線上の ℓ と S_c との比（原点と実線上の点とを結んだ直線の傾き）が一定ではないことが分かる。このことから最適な電極サイズの熱抵抗 ($\propto \ell/S_c$) が一定ではなく、電極サイズが大きくなるにつれて、最適な電極サイズの熱抵抗が小さくなる傾向にあることが分かる。

また、文献(15)での Q の実測値は前述の通り 9.7kW であり、先程と同様に電極径および電極長の変化による熱量 Q の変化 ($9.2 \sim 9.9\text{kW}$) も考慮に入れて、電極先端温度が 3,000K となるように電極サイズを求めたものを図 6 に破線で示す。この破線は実線よりも下方にあるので前述の安全領域が狭くなっていることが分かる。

なお、比較のために文献(15)の電極サイズを同図中に◆印で示す。同図の実線および破線よりも◆印は下方にあるので文献(15)の電極サイズは安全領域にあると考えられる。文献(15)では損耗量は明記されていないが、陰極として用いたときと同程度の損耗量と述べているので、損耗量は非常に小さいと考えられ、◆印が今回求めた安全領域に存在

することが理解できる。

なお、文献(15)で用いられている電極の材料が酸化トリウム入りタングステンであり、これは今回筆者らが用いた酸化ランタン入りタングステンとは異なる。このようなタングステン系合金を陰極として用いたとき、同じタングステン系合金であっても、その添加されている金属酸化物の種類・量や合金の焼結状況により損耗特性が変化するという報告例⁽¹⁹⁾がある。このため、今回の試設計結果と文献(15)の電極サイズとを比較する際には、損耗特性の違いを考慮に入れる必要があると思われるが、交流プラズマ電極の損耗特性に及ぼす前述のパラメータの影響については不明な部分が多く今後の課題と考えている。

図 6 電極サイズの設計例 ($I = 2,000 \text{ A}$)

Fig.6. An example of designed electrode size.

5. まとめ

交流プラズマトーチ内のタングステン電極における熱バランスに大きな影響を及ぼすと思われる電極降下電圧について検討を行なうとともに、その電極降下電圧の特性と前報で得た電極損耗特性とを用いて最適な電極サイズを設計する手法についての検討を行なった。また、今回考えた電極サイズの設計手法を用いて、実システムの大電流領域 2000A の電極サイズの設計を試みた。

まず、実験用のプラズマトーチを用いて移行形の交流プラズマを点弧させ、アーク電流が $100 \sim 550 \text{ A}$ の場合の実験結果などを用いて電極における入・出熱量の試算を行ない電極入熱に関与する電極降下電圧を算出した。また、電極軸方向の温度分布計算を行ない電極先端温度を算出し、その電極先端温度と電極降下電圧との関係を明らかにした。その結果、電極先端温度が高くなると電極降下電圧が漸減

し 2~3V に近づくことが明らかになった。

次に、この電極降下電圧－電極先端温度特性と、電極損耗量－電極先端温度特性とを用いて、電極先端温度を媒介して、所望の電極損耗量にするための電極の熱バランスを算出し、そのときの最適な電極サイズを設計する手法を考えた。この手法を用いてアーク電流が 2,000A の場合の電極サイズの設計を試み、適切な電極サイズ（電極径、電極長）特性を得た。この特性を用いて、交流プラズマを利用するプロセスに応じた電極サイズを設計できると考えられる。なお、今回の設計手法において用いている諸特性に及ぼす電極材質の影響については今後の課題と考えている。

最後に、本研究を行なうにあたり、当研究所 今城尚久 電力部長を始めとする電力部の各位、特に、アークプラズマ研究関係各位には終始、御指導ならびに御助言を賜った。ここに、銘記し深く感謝いたします。

（平成 10 年 1 月 26 日受付，平成 10 年 6 月 29 日再受付）

文献

- (1) 稲葉・渋谷：「プラズマトーチの適用例と今後の展望」，電学誌，107，1019（昭 62-10）
- (2) 鬼頭・横水：「最近のアーク物理と大電流遮断・アーク応用技術」，電学論 B，113，845（平 5-8）
- (3) H.Fujimoto, H.Tokunaga and H.Iritani : "A High-Powered A.C. Plasma Torch for the Arc Heating of Molten Steel in the Tundish", Plasma Chem. Plasma Processing, 14, 361(1994)
- (4) M.J.Copsey : "Commercial Applications of Plasma Technology in Western Europe", 2nd Int. Plasma Symposium Conf.(1992-3)
- (5) H.J.Bebber : "AC TORCHES", 1st Int. Plasma Symposium Conf.(1990-3)
- (6) 渋谷・天川・足立・安井・岩田・山崎・木下・飯田：「不燃性廃棄物の熔融用プラズマ炉の開発－都市廃棄物の焼却灰熔融用 100kW 級プラズマトーチの開発－」，電中研研究報告 W90038（平 3-8）
- (7) 岩田・渋谷：「電流零点パルス重畳法による移行形交流プラズマの安定化」，電学論 B，118（平 10-2）
- (8) 岩田・安井・渋谷：「交流プラズマトーチにおける電極の損耗現象に与える電極形状の影響」，電学論 A，114，628（平 6-9）
- (9) 岩田・渋谷：「交流プラズマトーチにおける電極損耗に与えるアーク電流および電極形状の影響」，電学論 B，117，1296（平 9-9）
- (10) R.Morrow and J.J.Lowke : "A one-dimensional theory for the electrode sheaths of electric arcs", J.Phys.D:Appl.Phys., 26, 634(1993)
- (11) J.F.Lancaster : "Energy Distribution in Argon-Shielded Welding Arcs", Brit. Weld. J., 1, 412(1954)
- (12) M.Ushio, D.Fang and M.Tanaka : "A method of estimating the space-charge voltage drop for thermionic arc cathodes", J.Phys.D:Appl.Phys., 27, 561(1994)
- (13) Y.Yokomizu, T.Matsumura, R.Henmi and Y.Kito : "Total voltage drops in electrode fall regions of SF₆, argon and air arcs in current range from 10 to 20,000A", J.Phys.D:Appl.Phys., 29, 1260(1996)
- (14) Y.Murooka, K.R.Hearne : "Measurement of Arc Electrode Temperatures and Reignition Characteristics", J.Appl.Phys., 43, 2656(1972)
- (15) D.Neuschuts, A.Hauck and Y.Zhai : "Effect of Arc Polarity on Heat Transfer and Electrode Wear During Plasma-Heating of Steel Melts", VDI Berichte Nr., 1166, 471(1995)
- (16) 天川・足立・渋谷・稲葉：「プラズマトーチ用電極の損耗現象－窒素ガスとアルゴンガスによる違い－」，電中研研究報告 W90037（平 3-5）
- (17) 二俣・横水・松村・鬼頭：「10kA 級アルゴンガス吹付けアークにおける全放射パワー」，平 5 電学全大論，No.112（平 5）
- (18) タングステンモリブデン工業会編：タングステン・モリブデン技術資料，10（昭 63）
- (19) M.Ushio, A.A.Sadek, K.Tanaka, G.Adachi and F.Matsuda : "Effect of Grain Morphology on Consumption of GTA Electrode", JWRI Trans., 20-2, 1 (1991)

岩田 幹 正

（正員）1964 年 5 月 14 日生。90 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程修了。同年 4 月（財）電力中央研究所入所。現在、横須賀研究所電力部所属。主として、プラズマトーチにおける電極・プラズマ現象に関する研究に従事。

渋谷 正 豊

（正員）1945 年 6 月 26 日生。68 年 3 月関東学院大学工学部二部電気工学科卒業。64 年 4 月（財）超高圧電力研究所入所，77 年 7 月（財）電力中央研究所入所。97 年～超電導発電関連機器・材料技術研究組合。主として、電力機器における大電流アーク現象，アークプラズマ応用技術，有害物の無害化処理技術および超電導電力技術に関する研究に従事。95 年電気学会論文賞受賞。