大電流器壁安定化アークの放射パワーに及ぼす 電流と電力パラメータの解析的試算

正員 稲葉 次紀 (中央大)

学生員 楠 茂幸 (中央大)

学生員 岩尾 徹 (中央大)

正員 遠藤 正雄 (中央大)

Analytical Simulation of Current and Power Parameters on Radiation Energy from High Current Wall-Stabilized Arcs

Tsuginori Inaba, Member, Shigeyuki Kusunoki, Student Member, Toru Iwao, Student Member, Masao Endo, Member (Chuo University)

In order to know the effect of the arc power on the radiation power, a trial simulation of the radiation power emitted from high current wall-stabilized arcs has been carried out by using the relation $E \propto I^m$, where E is voltage gradient and I is arc current. Radiation power Φ can be estimated to be proportional to I^n , where $n=2(1-m)$, and also to P^D , where P is input electric power and $D=2(1-m)/(1+m)$: $\Phi \propto I^2 \propto P^2$ in the middle current range from 10 to 100 A because of $m=0$, and $\Phi \propto I^{1.2} \propto P^{0.86}$ in the high current range over 1,000 A because of $m=4/10$. Similar relations hold in other different gases such as Ar, N₂, SF₆ etc. at 0.1 MPa. The estimated values of n and D almost agree with the experimental ones. Finally, it was clarified that these exponents n and D are closely related to the high temperature transport properties of gases.

キーワード：大電流，アーク，放射，電力

1. はじめに

光エネルギーは、熱伝導とは異なり、ガス中はもちろん、真空中でも効率良く伝達すること、被加熱物周辺で燃焼反応を必要としないこと、局所的に集光加熱が可能なことなど多くの特徴を有している。特に、有害廃棄物を溶融処理する際、改質を伴わない特殊ガス中で処理する場合や有害な排出ガスを極力抑制する場合などには、その処理エネルギー源として、遠隔伝達と集光加熱クリーン処理が可能な光エネルギーが注目を集めている。このため、アークの放射パワーを効率良く大量に精密制御することができれば、クリーンな環境保全システムの開発に寄与しよう。

アークからの放射パワーにおける電流 I と電力 P の影響は複雑である。自然界ではフリーアークが主体であるが、工学的には安定化アークも用いられる。今回は、基礎量であるアーク半径が一定の条件で放射パワーを検討した。この場合、アーク電界 E と I との間に $E \propto I^m$ という解析的関係⁽¹⁾⁽²⁾ が成立すること、また、高温で連続スペクトルが線スペクトルと比べて支配的な条件の下では、放射パワーは温度の関数ながらイオン密度と電子密度との積

に比例する⁽³⁾ ことを利用し、安定化アークの放射パワーに関し、アーク半径一定のもとで解析シミュレーションを行った⁽⁴⁾。

これまでの成果として、アークの全放射パワー Φ は、 $\Phi \propto I^n$ として表せ、電流パラメータ n を m のみの関数として導出できることを示した⁽⁹⁾⁽¹³⁾⁽¹⁶⁾。ここで、 m は高温気体の輸送特性と電流範囲から表されるべき指数で $-1/3 \sim +1/2.5$ の範囲にある。本論文では、その成果を基に、更にアーク電力が放射パワーに与える影響を具体的に検討している。アーク電力を $P=EI$ とするとき、全放射パワー Φ は $\Phi \propto P^D$ として表せ、電力パラメータ D も電流パラメータ n と同様に m のみの関数として表せることを明らかにした⁽¹⁴⁾。具体的に、電流パラメータ n と電力パラメータ D を、アーク半径 1 mm～10 cm のもとで、一価のイオンが主流を占めるアーク中心温度 10,000～25,000 K の範囲を対象として、1 気圧のアルゴン、SF₆、窒素、完全電離気体に対して電流 10～20,000 A 間で計算し、実験値と比較した結果、両者はよい一致を見た⁽¹⁴⁾⁽¹⁶⁾。更に、これらのパラメータが雰囲気ガスの輸送特性と直接的に関係していることが判明した。

2. 高温気体の輸送特性

高温気体の輸送特性のうち、導電率 σ と熱伝導率 k との関係は次のように温度 T を介し簡潔に表現することができる⁽¹⁾。

$$\sigma = C \cdot S^\eta \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$S = \int k dT \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 S は熱伝導関数であり、べき指数(対数勾配) η は表1に示すように、気体の種類、温度領域ごとに輸送特性より確定でき、温度が増すと減少、収れんする。

3. アーク電界

直流安定化アークとして、図1のモデルを対象とする。この場合、電界 E と電流 I の関係は、エネルギー平衡を考慮したElenbaas-Hellerの式に前述の σ , S 関係式を適用し、アーク内温度の半径方向分布を計算すれば、最終的に図2に示すグラフとなり、次式で表現できる⁽²⁾。

$$E \propto C_4(C, \eta) \cdot I^m \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$m = (1 - \eta) / (1 + \eta) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 C_4 は(1)式における C と η のみの関数であり、 m は、アルゴン、窒素、水素、 SF_6 など気体中において(4)式よりべき指数 η のみを用いて正確に表現でき

表1 (1)式に関するべき指数 η (1気圧)
Table 1. Coefficient η of gases (0.1 MPa).

気体	低温	中温	高温
Ar	5.47	1	0.4
SF_6	3.61	1	0.473
N_2	3.13	1	0.428
完全電離気体	—	—	$3/7 = 0.428$

図1 アークモデル
Fig. 1. Arc model.

図2 安定化アークの電界 E -電流 I 特性
Fig. 2. E - I curve of stabilized arcs.

るべき指数であり、表2に示すように10 A以下で $-(1/2 \sim 1/3)$ 、10~100 A域でほぼ零、1,000 A以上では $+(1/2 \sim 1/3)$ となる。

4. 放射光のスペクトル強度

アークの放射パワーは、主として、励起電子による線スペクトルと、自由電子による連続スペクトルに依存している⁽³⁾。このうち、前者は低温、小電流の領域で支配的と思われるため、本論文では対象外とする。更に、後者は自由電子とイオンが再結合するときの再結合放射と、原子核の極く近傍の電界中を通過する自由電子の制動作用による制動放射の2種類がある。

連続スペクトルは高温、中・大電流で支配的となる。そのうち、再結合放射の強度は、次式で近似できる⁽¹⁶⁾。

$$I_c = \frac{8(2\pi)^{1/2} Z^2 e^6}{3(3k)^{1/2} c^3 m_e^{3/2}} \cdot \frac{n_i n_e / T^{1/2}}{\exp(h\nu/kT) - 1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 Z はイオン荷電数、 k (J/K)はボルツマン定数、 c (cm/s)は光速、 m_e (g)は電子の質量、 e (C)は電子の電荷量、 n_i (1/cm³)はイオン密度、 n_e (1/cm³)は電子密度を表す。本論文では、一価のイオンが主体的な状態を対象とすれば、 $Z=1$ ならびに次式が成立する。

$$n_e = n_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

なお、プラズマの制動放射によるエネルギー強度 I_b もイオン密度と電子密度の積に比例するが、この放射は400,000 K以上の超高温で再結合放射より強くなるものとされ、直接的関係は薄いものと思われる⁽⁸⁾。

5. アークからの放射パワー

電流範囲を中・大電流領域とすれば、放射パワーは主に連続スペクトルが占め、特に再結合放射が主体的に起こっているとみなせる⁽³⁾。

全放射パワー Φ (W)は次式のように表せる。

$$\Phi = \pi R^2 H \cdot \phi \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 ϕ (W/cm³)はアークが光学的に薄いものとし、自己吸収を無視した場合の放射パワー密度、 H (cm)はアーク長である。ここで、(5)、(6)式を用いると、

$$\phi = \int_0^\infty I_c dv \propto n_i \cdot n_e = n_e^2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

アーク電流 I (A)、コラムの平均の電流密度 $\bar{J}$ (A/cm²)、導電率 $\bar{\sigma}$ (S/cm)は、移動度 μ を用いて以下のように関係づけられる。ただし、 $\mu_e \gg \mu_i$ であり、 μ_e は図3に示すように、 $\mu_e \propto \sigma/n_e$ で求めると、温度 T の変化に対して、放射が顕著となる10,000 K以上で概略一定とみなせる。これは、 n_e , σ ともに当該温度領域でほぼ温度の $3/2$ 乗に比例して増加することに起因している。

$$\bar{J} = I / (\pi R^2) = \bar{\sigma} E \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\sigma = e(\mu_e n_e + \mu_i n_i) = e\mu_e n_e \propto n_e \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$I \propto \bar{\sigma} E \propto \bar{n}_e E \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで、(3)式の E - I 特性を引用すれば、

$$\bar{n}_e \propto I / E \propto I^{(1-m)} \quad \dots\dots\dots (12)$$

6. 放射関係式

〈6・1〉 電流-放射パワー特性 最終的には放射パワーなどは、前述の関係式を用いて電流 I の関数として次のように導出することができる。

(1) 放射パワー密度 (W/cm^3) は (8), (12) 式より

$$\phi \propto n_e^2 \propto I^{2(1-m)} \equiv I^n, \quad n=2(1-m) \quad \dots\dots\dots (13)$$

(2) 全放射パワー (W) は (7), (13) 式より

$$\Phi \propto H\phi \cdot R^2 \propto I^{2(1-m)} \propto I^n \quad \dots\dots\dots (14)$$

上に述べた放射項目は電流パラメータが同一となり、アーク電流によって同一の影響を受ける。その電流パラメータ $n=2(1-m)$ を表 2 に示す。

同表によれば、数十 A の中電流領域でべき指数はちょうど 2 と試算でき、放射パワーが電流の 2 乗に直線的に比例増加するものと見込まれる。

アーク中の温度、電流が増加するにつれて、 $E-I$ 曲線の対数勾配 m が負から零、正へと増加することから、電流のべき指数 n は 3 付近から反比例的に減少してゆく。そして、完全電離気体中では、理論解析⁽¹⁾ での $\sigma-S$ 曲線のべき指数 $\eta=3/7$ から計算される $m=2/5(0.40)$ によって、放射パワーの電流パラメータ $n=2(1-m)$ は次第に 1.2 に近づいていくものと試算される。

ここで、電流領域に応じて放射パワーに対する電流パラ

表 2 電界と放射パワーに関する
アーク電流のべき指数

Table 2. Exponents of arc current affecting
on voltage gradient and radiation.

電離状況	電流 $I(A)$	電界指数 m	放射指数 $n=2(1-m)$
弱	<10	-0.33	2.7
中	<100	0	2.0
強	<1,000	0.17	1.7
完全	>1,000	0.40	1.2

図 3 高温ガスにおける移動度の相対温度特性
Fig. 3. Mobility vs. temperature in high temperature gas.

メータが変化する理由としては、再結合を構成する電子密度の変化があげられる。すなわち、電流が増すと温度はほぼ電流の 1/3 乗に比例して増大し⁽¹⁷⁾、電子密度も図 3 に示すように増加する。しかし、電子密度は低温では急激に増加するが、高温では徐々に飽和しあまり増加しない。したがって、放射パワーの増加も高温、大電流ほど鈍くなる。

図 4 に放射特性と電流の全体関係を示すとともに、図 6 にべき指数 n の変化を示す。

〈6・2〉 入力電力-放射パワー特性 アーク柱の単位長さ当たりの入力電力 P (W/cm) は (15) 式で表せ、この式を (14) 式に代入すると、(16) 式になる⁽¹⁴⁾。

$$P = E \cdot I \propto I^{(1+m)} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\Phi \propto P^D, \quad D = \frac{2(1-m)}{1+m} \quad \dots\dots\dots (16)$$

上式の電力パラメータであるべき指数 D は $m=0$ に対応する数十 A 領域でちょうど 2 と試算でき、放射パワーは電力の 2 乗に正比例して増加するものと見込まれる。

一般的にアーク電流が増加するにつれ、 $E-I$ 曲線の対数勾配 m が負から零、更に正へと増加することから、電力のべき指数 D は電流のべき指数 n と同様に減少していく。そして、完全電離気体中では理論解析⁽¹⁾ における $\sigma-S$ 曲線のべき指数 $\eta=3/7$ から計算される $m=2/5$ を用いると、放射パワーの電力パラメータ D は次第に $6/7=0.86$ に漸近するものと計算される。図 5 は、いくつかの電流域で範囲を分けけたときの放射パワー Φ の電力パラメータ D の変化を示す。

〈6・3〉 放射効率 放射効率 η_r は

$$\eta_r = \Phi / P \propto P^{D-1}, \quad D-1 = \frac{1-3m}{1+m} \quad \dots\dots\dots (17)$$

と表せる。図 5 の破線に示すように、入力電力を増加させるに伴い η_r は $D>1(m<1/3)$ の領域では上昇していくが、 $D<1(m>1/3)$ となると入力電力の増加に対して η_r は増加から減少に転じることになる。したがって、 $m=1/3$ の値は η_r の最大値 η_{rmax} に対応し、放射効率に関して、 η_r-P 特性の傾向が反転する転向点と言える。これに対応する電流範囲は数百～数 kA と思われる。これ以上の電流

図 4 放射パワーとアーク電流の関係
Fig. 4. Relation of radiation power-arc current.

図 5 電流に対する放射パワーの電力パラメータ (べき指数) と放射効率

Fig.5. Relation of current-exponent D and efficiency.

では連続光が支配的な条件のもとでは、放射量は増しても効率はむしろ減少することを示唆している。

〈6・4〉 アーク半径 R の適用範囲 本論文では器壁安定化アークを対象とし、アーク半径は一定としている。アーク半径を変えた場合、放射パワーも変化すると予想されている⁽¹⁶⁾。理論上、アーク半径に適用上の制限は、特に認められない。しかし、器壁半径がアークの自由半径に比べて太いと、アークが蛇行することも懸念され、電流と半径との関係が規制されよう。直観的に数 mm から数十 cm まで適用可能と思われる。しかし、物理的には、放射の生じる 10,000 K から 2 価のイオンが生じ始める 25,000 K (2 価イオンの全イオン数に対する割合は N_2 アークで 10%) までを対象とすれば、アークの中心温度 T_0 が、空気アークの場合

$$T_0(K) \cong 2,100 \{I(A)/R(cm)\}^{1/3} \dots\dots\dots (18)$$

と近似できる⁽¹⁷⁾ ことより、 $I/R=110 \sim 1,700$ A/cm と求まる。

SF_6 安定化アークや Ar トーチアークにおいてもほぼ同様⁽¹⁷⁾ なことから、一般的に $I/R=100 \sim 2,000$ A/cm とし、電流範囲を 10~20,000 A とすれば、半径 1 mm~10 cm が対象範囲と言えよう。

7. 電流パラメータの試算値と実験値との比較

中・大電流域で計算した放射パワーに及ぼす電流の影響を表 3 に表す。

電流の変化による電流パラメータ n への影響は、例えばアルゴン、 SF_6 、窒素、完全電離気体といった気体の種類とあまり関係がない結果が得られた。特に窒素アークは完全電離気体アークと全く同じ値を示した。

図 6 にいくつかの実験値を引用した。アルゴンアークの放射パワーは、器壁で安定化した 20~60 A の中電流域では、 $E-I$ 特性の対数勾配 m の値がほとんど 0 であるとともに電流 I の 2.0 乗に比例し⁽⁵⁾、100~400 A の中・大電流域では電流の 1.28 乗に比例している⁽¹⁰⁾。更にガス流で安定化した例を参考に示す。これは円柱の電極棒を対向さ

表 3 中・大電流における全放射パワー Φ の計算値
Table 3. Simulated Φ in middle and high currents.

気体	中電流域		大電流域	
	m	Φ	m	Φ
Ar	0	I^2	0.43	$I^{1.14}$
SF ₆			0.36	$I^{1.28}$
N ₂			0.40	$I^{1.20}$
完全電離	—		0.40	$I^{1.20}$

図 6 放射パワーの電流パラメータ (べき指数)

Fig.6. Relation of the exponent n -arc currents.

せ、その周囲全周に軸方向にガスを流す方式で、ガス流による円筒を形成している。器壁ほど明確ではないものの気流が高速のため、見掛け上安定化アークに近いものとみなせよう。Ar ガス流中アークの放射パワーは、200~10,000 A の大電流域で電流の 1.19 乗に比例すると測定されている⁽⁶⁾。そして、500~20,000 A の大電流域のべき指数に関しては、 SF_6 ガスを軸方向に吹き付けた場合で I の 1.2 乗に比例することが実測されている⁽⁷⁾。これらの実験値のべき指数を図 6 に併記したが、表 3 に示した計算値に非常に近い⁽¹¹⁾。

8. 電力パラメータの試算値と実験値の比較

中・大電流域で計算した放射パワーに及ぼす電力の影響を表 4 に示す。電力の変化による影響は、大電流域以上において、アルゴン、 SF_6 、窒素などが電離すれば完全電離気体と大差ないため、気体の種類による差は少ないとみなせ⁽¹⁴⁾、今回は雰囲気気体をアルゴンとした実験値を引用し、理論値との比較を試みた。アルゴンアークの放射パワーは、器壁で安定化した 20~60 A の中電流域では、 $E-I$ 特性の対数勾配 m の値が 0 を示すうえ、図 7 に示すように、電力 P の 2.0 乗に比例し⁽¹²⁾、100~400 A の中~大電流領域で電力の 1.0 乗に比例している⁽¹⁰⁾。更に、ガス流で安定化した例を参考に示すと 100~500 A の中~大電流域で電力 P の 1.0 乗に比例し⁽¹⁵⁾、更に 200~10,000 A の大電流域では電流の 0.85 乗に比例すると測定されている⁽⁶⁾。

そして、500~20,000 A の大電流域のべき指数に関して

表 4 アルゴンアークからの放射パワーにおける電力パラメータの影響

Table 4. Influence of exponent D on radiation from Ar arcs.

電流 I (A)	$10 < I < 100$	$100 < I < 1,000$	$1,000 < I$
m	0	1/3	0.4
Φ (理論)	$P^{2.0}$	$P^{1.0}$	$P^{0.86}$
Φ (実測)	$P^{2.0}$	$P^{1.0}$	$P^{0.85}$
η (理論)	/	(最大)	/

図 7 安定化アルゴンアークの放射パワー実測値
Fig. 7. Measured values of radiation from stabilized Ar arcs.

図 8 放射パワーに及ぼす電力パラメータ (べき指数)

Fig. 8. Input-power parameter on radiation.

は、 SF_6 ガスを軸方向に吹き付けた場合でも P の 0.86 乗に比例すると実測されている⁽⁷⁾。これらの実測されたべき指数は表 4 および図 8 で示すように今回提案した計算値に非常に近い。

9. 放射パワーと輸送特性との相関性

アークの放射パワーに及ぼす電流・電力パラメータ (べき指数) は、電流-電界特性の対数勾配を m とすれば、それぞれ $n=2(1-m)$ 、 $D=2(1-m)/(1+m)$ の関係から、対数勾配 m の関数として表示できることがわかった。ここで、アーク雰囲気気の輸送特性 σ - S 曲線の対数勾配 η に注目すれば、 η と m の間には (4) 式が成立することが確認されている。したがって、電流パラメータ n と電力パラメータ D は根本的には温度 T を介して輸送特性のべき指数 η そのもので一意的に定まることになる。図 9 に

図 9 高温気体の温度に対する η と m の変化
Fig. 9. Variation of η and m in high temperature gases.

表 5 気体の輸送特性とアークパラメータの具体的代表値

Table 5. Concretely typical exponents of transport properties in gases and arc parameters.

温度域		低	中	高
電流域		小	中	大
パラ メー タ	η	(3)	1	0.43
	m	(-0.5)	0	0.40
	n	(3)	2	1.20
	D	(6)	2	0.86

(4) 式を基に気体温度 T の関数として η と m の概略的な変化を示す。

また、 η 、 m に対応する n 、 D の具体的代表値を表 5 に示す。() 内は概数である。

このように、電流・電力両パラメータは、雰囲気気ガスの輸送特性である σ - S 曲線の対数勾配に起因しているとみなせる。

10. 結 論

アーク内の放射パワー密度および全放射パワーに対するアーク電流 I と電力 P の影響を連続スペクトルが支配的な条件の下で試算し、得られた成果を以下に示す。広範囲な電流、電力域で計算値は実験値とよく一致した。

(1) アーク電流-放射パワー特性

(i) 対数表示したアークの電界-電流曲線の勾配を m とすると、全放射パワーは電流 I の $2(1-m)$ 乗に比例して増加すると試算できた。

(ii) 具体的には全放射パワーは中電流域で I^2 に、大電流域では $I^{1.2}$ に比例すると予想される。

(iii) アルゴン、 SF_6 、窒素のそれぞれの気体間での特性変化は中・大電流域ではほとんど認められない。特に、大電流域では完全電離気体と近似する。

(iv) 電流パラメータ (べき指数) の試算値は、アルゴン、 SF_6 ガス中の中・大電流域で実験値と極めてよい一致を見た。

(2) アーク電力-放射パワー特性

(i) 放射パワーはアーク電力 P の $2(1-m)/(1+m)$

乗におおむね比例して増加すると試算できた。

(ii) 具体的に放射パワーは数十 A の中電流域では $m=0$ より P^2 に、次いで $m=1/3$ に対応する $P^{1.0}$ を経て、大電流域では、 $m=4/10$ より $P^{0.86}$ に比例すると予想される。

(iii) アルゴン, SF_6 , 窒素のそれぞれの気体間で、放射パワーに及ぼす電力パラメータの特性の変化は中・大電流の領域でほとんど認められない。特に、大電流域では完全電離気体と近似する。

(iv) 電力パラメータ (べき指数) の試算値は、アルゴン, SF_6 ガス中の中・大電流域 (20~20,000 A) での実具値とよい一致を見た。

(v) 放射効率は $m=1/3$ に対応する準大電流域 (数百~数千 kA) において最大となり、それ以上の電流ではむしろ低下するものと試算された。

(3) 放射パワーと輸送特性 上記の電流, 電力両パラメータ n, D は $E-I$ 曲線の対数勾配 m のみで表すことができ、更に m の値は $\sigma-S$ 特性の対数勾配 η の関数であることから、放射特性は根本的には雰囲気ガスの輸送特性に直接的に関連しているとみなせる。

本研究の実施にあたり、名古屋大学 松村年郎教授ならびに電力中央研究所 渋谷正豊上席研究員、足立和郎主任研究員、池田弘一主任研究員の諸系から有意義な御意見をいただき深く感謝いたします。

(平成 9 年 3 月 26 日受付, 同 9 年 9 月 19 日再受付)

文 献

- (1) 稲葉:「気体の輸送特性と安定化アーク特性との解析的相似性」, 電学論 A, 94, 83~90 (昭 49-3)
- (2) T. Inaba: "Analytical similarity between stabilized arc characteristics and transport properties in gases", 3rd Int. Conf. on Gas Discharges, London, U. K. pp. 28~31 (1974)
- (3) 池田・足立・稲葉:「光加熱に向けたアークの放射特性の検討」, 電中研報, W 93034 (平 6)
- (4) 稲葉・足立・池田:「安定化アークの放射特性と電界特性との相関性」, 平 6 電気学会大会, 2-136
- (5) 池田・足立・稲葉:「アルゴンアークの放射特性の検討」, 平 6 同上, 2-137
- (6) 横水・松村・鬼頭:「10 kA 級の電流域におけるアルゴンガス吹付けアークの全放射パワー」, 平 4 同上, 2-174
- (7) 松村・二俣・横水・鬼頭:「20 kA 級の電流域における SF_6 ガス吹付けアークの全放射パワー」, 電学論 A, 114, 585~590 (平 6)
- (8) Л. А. АРЦИМОВИЧ: "Элементарная ФИЗИКА ПЛАЗМЫ. АТОМИЭДАТ. МОСКВА (1966) (邦訳 L. A. アルチモビッチ著, 伊藤 博・科野邦蔵訳: プラズマ物理学入門, 共立出版社)
- (9) T. Inaba & S. Kusunoki: "Analytical simulation of radiation energy from high current stabilized arcs", 11th Int. Conf. on Gas Discharges, Tokyo, II, pp. 376~379 (1995)
- (10) Curt H. Liebert & Donald H. Weikle: "Heat Flux Measurement", NASA Technical Memorandum 101428 (1989)
- (11) 稲葉・楠:「大電流安定化ガスアークの放射エネルギーに及ぼす電流・半径パラメータの試算」, 電気学会研資, SP-95-32 & HV-95-145 (平 7)
- (12) 池田・足立・稲葉:「電界一定領域におけるアルゴンアークの放射特性」, 同上, SP-94-57, HV-94-128 (平 6)
- (13) T. Inaba, S. Kusunoki & M. Endo: "Analytical Simulation of Current Effect on Radiation Energy emitted from High

Current Wall-stabilized Arcs", Proc. of IEEE-IAS 31st Annual Meeting, 2169~2172, San Diego (1996)

- (14) 稲葉・楠・遠藤:「中・大電力器壁安定化アークの放射パワー (電力パラメータの試算)」, 電気学会研資, SP-96-79 & HV-96-151 (平 8)
- (15) 横水・清野・鬼頭・渋谷:「アルゴンガス吹付けアークの全放射パワー」, 同上, SPD-90-19 (平 2)
- (16) 稲葉・楠・遠藤:「大電流器壁安定化アークの放射パワーに及ぼす電流と半径パラメータの試算」, 電学論 A, 116, 1150~1151 (平 8)
- (17) 稲葉・楠・岩尾・遠藤:「アーク柱における熱伝導電界と放射電界の近似解析」, 電気学会研資, SP-97-22 & HV-97-64 (平 9)

稲葉 次 紀 (正員) 1941 年 2 月 18 日生。1966 年名古屋工業大学卒業。1968 年同大学大学院修士課程修了。1971 年名古屋大学博士課程満了。1959 年三菱電機, 1965 年アデカ・アーガス化学, 1917 年電力中央研究所を経て, 1994 年中央大学教授。主として, アークプラズマ現象, 限流技術に従事。1978~79 年西ドイツ Braunschweig 工科大学客員教授。工学博士。1988 年電気学会評議委員。現在, 同大電流エネルギー応用技術(専)委員長。1976, 88, 95 年電気学会論文賞, 1994 年同著作賞受賞。低温工学会, IEEE 会員。

楠 茂 幸 (学生員) 1972 年 12 月 13 日生。1995 年 3 月中央大学理工学部電気・電子工学科卒業。同年 4 月同大学大学院理工学研究科電気工学専攻前期課程入学。現在, 同課程に在学中。高輝度集束アークの発光エネルギーおよび雷放電エネルギーに関する研究を担当。

岩尾 徹 (学生員) 1974 年 2 月 15 日生。1993 年 4 月中央大学理工学部電気・電子工科学入学。現在, 同学科に在学中。高輝度集束アークの発光エネルギーおよびトーチプラズマにおける放射パワーに関する研究を担当。

遠藤 正 雄 (正員) 1933 年 10 月 5 日生。1958 年 3 月中央大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。現在, 同大学理工学部教授。工学博士。主として, 気中放電, 高電圧試験法に関する研究に従事。1964 年電気学会論文賞受賞。