熱パッファ式GCBにおけるガス吹付け特性と ガス通路構造との関係

学生員 大澤 直樹* 正員 吉岡 芳夫*

Relation between Gas Blast Characteristics and Gas Passage Structure of the Thermal Puffer Type Gas Circuit Breaker

Naoki Osawa*, Student Member, Yoshio Yoshioka*, Member

In order to evaluate thermal interruption capability of gas circuit breaker, we consider that mass flow rate in nozzle throat at around current zero points is the most effective parameter, because it is closely related to the cooling capability of arc. In thermal puffer type gas circuit breaker, the mass flow rates depend not only on puffer pressure but also on gas passage structure. So using a calculation program of gas blast characteristics taking both arc energy and ablation gas into consideration, the relations between the mass flow rate at current zero points and gas passage structure were investigated. As the results, we found that shorter gas passage length greatly increases the mass flow rate at current zero points, although it does not influence puffer pressure formation so much. We also found that optimum cross sectional area of gas passage is a bit smaller than that of nozzle throat. If thermal interruption limit were determined by mass flow rate at current zero points, the shorter gas passage length and optimized cross section area will increase the SLF interruption capability of thermal puffer type gas circuit breaker.

This paper describes the detail of the results of simulations and discussions.

キーワード：熱パッファ式ガス遮断器，パッファ圧力，SLF 電流遮断，ノズルアブレーション，ノズル閉塞現象

Keywords: thermal puffer type gas circuit breaker, puffer pressure, SLF current interruption, nozzle ablation, nozzle clogging phenomena

1. まえがき

ガス遮断器の電流遮断はBTF遮断とSLF遮断が最も厳しい。この中で、BTF遮断は電流遮断直後の高い回復電圧に耐えられるように、電極先端の電界強度を下げ電界の集中する部分のガス密度を高くすれば良い。一方、SLF遮断は電流零点後アークへのエネルギー注入とガス吹付けによるアーク冷却の競争が行われ冷却能力が勝ると電流遮断に成功する⁽¹⁾。従って、SLF遮断で重要なのはアークの冷却である。これまでに、Ragaller, SwansonそしてEl-Akkari等はアーク周辺ของガスとアークコアの流速から乱流の熱伝達を計算しFourierの法則の熱伝導率に乱流熱伝達の影響を加味して熱的遮断限界に関する研究を行っている^{(1)~(4)}。従って、アーク冷却に必要なパラメータは吹付けるガスの

流速と径方向の温度勾配であり、それらは大きい方がSLF遮断性能は向上すると考えられる。

近年主力器となっている熱パッファ式のガス遮断器は、電流遮断時に発生するアークエネルギーとノズル材料から発生するアブレーションガスのエネルギーをパッファ室へ逆流させることによって、小さな操作力でも高い吹付け圧力を形成することができるのが特徴である。この方式では、アークやアブレーションガスの持つエネルギーを利用して熱的にパッファ圧力を高めるため、ノズル閉塞が解除した直後はノズルからパッファ室までのガス通路内に熱ガスが残留してしまう。一般に、この熱ガス吹付けによる電流遮断はアークの冷却能力や極間絶縁耐力を低下させる。また、アークエネルギーがパッファ圧力を上昇させるメカニズムやその計算法については数多く報告されているが^{(5)~(9)}、大電流遮断時に発生するアブレーションガスやノズルからパッファ室までのガス通路の影響を考慮した論文は少ない^{(10)~(12)}。

本論文ではアークを良く冷却するためには吹付けるガスは冷たくそして高速の方が良い、すなわちガス圧力とガス温度より決定されるガス密度とガス流速から計算される質

* 金沢工業大学電気工学科

〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1

Dept. of Electrical Engineering, Kanazawa Institute of Technology

7-1, Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa 921-8501

量流量が多いほどアークの冷却能力すなわち SLF 遮断性能を向上することができると考えた。そこで、ガス通路構造がパッファ室内のガスの特性やガス流速そして質量流量に与える影響を検討したのでその結果を報告する。なお、計算法は先に報告したノズルアブレーションを考慮したパッファ圧力解析法⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾を用いた。

2. 熱パッファ式ガス遮断器の計算モデルと計算法

〈2・1〉ガス遮断器の計算モデルと概要 ここでは、以前報告したパッファ圧力解析プログラム⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾の概要と計算結果の妥当性を評価する。なお、この計算法の特長はノズル閉塞時に発生したアブレーションガスが1/3という一定の割合でノズルからパッファ室までのガス通路を逆流し、パッファ室内のガス温度を高めて高いパッファ圧力を形成するというものである。ここで、本計算法の詳細は既報⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾に記してあるので、本論文では計算のフローチャートと計算式のみを解説する。

図1、図2は本計算モデルと計算のフローチャートを示しており、フローチャート内の式は以下に示す(1)~(6)式に対応している。先ず、ガス圧力は状態方程式に従って計算される。

$$P = \rho \cdot R \cdot T \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 P :ガス圧力 (Pa), ρ :ガス密度 (kg/m^3),
 R :気体定数 ($\text{J}/\text{kg}/\text{K}$), T :ガス温度 (K)。

次に、ガス温度は熱力学第一法則に従って計算される。

$$dq = du + Pdv \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 dq :正味の注入エネルギー (J/kg), du :
内部エネルギー (J/kg), Pdv :仕事 (J/kg)。

次に、質量流量は連続の式に従って計算される。

$$\frac{dG}{dt} = A \cdot \rho \cdot v \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 A :ガス流路断面積 (m^2), v :境界での
ガス流速 (m/s)。

次にノズル閉塞時にノズル下流側へ排出されず、上流側に蓄積される余剰アーク電力^{(5)~(7)}は以下の式で計算される。

$$P_{st} = E_{arc} \cdot L_{up} \cdot (|i| - i_c) \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 P_{st} :余剰アーク電力 (W), E_{arc} :アークの電位傾度 (V/m), L_{up} :ノズル上流側の長さ (m), i :遮断電流 (A), i_c :ノズル閉塞限界電流 (A)。

次に、上流側に蓄積される余剰アーク電力から計算される余剰アークエネルギーには、ガス通路の第1区間であるA室内のガスの加熱に利用される Q_{heat} と放射光として放射・吸収される Q_{rad} があるので、 Q_{heat} はエネルギー Q に定数 ξ (< 1.0)を掛けることにしている。すなわち、

$$Q_{heat} = \xi \cdot \int P_{st} dt \dots\dots\dots (5)$$

図1 パッファ式 GCB の計算モデル

Fig.1. Calculation model of puffer type GCB.

図2 計算のフローチャート

Fig.2. Flowchart of this calculation method.

ここで、 ξ :放射・吸収による損失係数 (< 1.0)⁽⁴⁾。

次に、ノズル閉塞時に発生するアブレーションの量については文献⁽⁵⁾にある $3.5 \text{ g}/\text{kA}_{\text{rms}}/\text{s}$ という実測値を使用している。ここで、アブレーションはノズルの閉塞している状態でそのほとんどを発生すると考えることにし、蒸発した物質は同じ質量の SF_6 ガスと見なしている。また、アブレーションガスのうち上流側に排出される量を全質量の1/3と仮定している。そうすると、微小時間 dt 当りに発生するアブレーション量 dM/dt は以下になる。すなわち、

$$\frac{dM}{dt} = \frac{3.5 \cdot i_{\text{rms}} t_a (|i| - i_c)}{\int^{t_a} (|i| - i_c) \cdot dt} \dots\dots\dots (6)$$

図3 文献⁽⁶⁾による実験値と解析値の比較
(40 kA 遮断)

Fig.3. Comparison of measured pressure with calculated one shown in Ref. ⁽⁶⁾ (40 kA current interruption).

図4 パッファ圧力の比較 (文献⁽⁶⁾の計算法と本計算法)

Fig.4. Comparison of puffer pressure of this calculation method with previous calculation method Ref. ⁽⁶⁾.

ここで, i_{rms} : 遮断電流の実効値 (A_{rms}), t_a : アーク時間 (s), i : 遮断電流の瞬時値 (A), i_C : 閉塞限界電流 (A)。

〈2・2〉 計算結果の評価 ガス通路構造の影響を検討する前に, 計算結果の妥当性を評価した。図3は解析値が実験結果と非常によく一致したとされる文献⁽⁶⁾の図を引用したものである。次に, 図4は本計算によるパッファ圧力と引用文献の計算法で計算したパッファ圧力を比較したものである。遮断電流 50 kA, 63 kA において両計算法ともパッファ圧力は非常に良く一致しているのが分かる。また, パッファ容積や遮断電流が異なるケースでも両者は良く一致した。しかし, 本計算法では従来は計算できなかったアブレーション量やガス通路の影響を解析できる点が進歩している。

3. 計算の基本条件

表1は計算の基本条件をまとめたものである。ここで, ガス通路構造の影響を調べる計算は表1から分かるように,

表1 計算の基本条件

Table 1. Fundamental conditions of this calculation.

	Value
Puffer volume V_P (liter)	1.0
Initial puffer pressure P_P (MPa)	1.0
Tank pressure P_T (MPa)	0.5
SF ₆ gas density at room temp. ρ (kg/m ³)	6.17
Frequency f (Hz)	60
Arcing time t_a (cycle)	1.0
Interruption current i (kA _{rms})	63
Nozzle clogging limit current i_C (kA)	56
Arc voltage gradient E_{arc} (V/cm)	75
Arc current density J_{arc} (kA/cm ²)	7.5
Nozzle throat diameter D_N (mm)	30
Nozzle throat cross sectional area S_N (cm ²)	7.07
Nozzle length L_N (cm)	10
Upper part of nozzle length L_{up} (cm)	5
Gas passage length L_G (cm)	10
Gas passage cross sectional area S_G (cm ²)	$3.0 \times S_N (=21.2)$
Total ablated mass M (g/kA _{rms} /s)	3.5
Coefficient ξ	0.7

初期パッファ圧力を 1.0 MPa (上昇値を 0.5 MPa) としている。これは, $t = 0$ ms で既に可動電極が十分開離しており, パッファ室は既に圧縮されているものとして計算しているためである。なお, アーク電位傾度 E_{arc} 及びアーク電流密度 J_{arc} は文献⁽⁵⁾にて Enthalpy Flow Arc Model⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾や実験で検討された値を使用している。

4. ガス通路構造因子の影響

〈4・1〉 検討内容と計算条件 前節で述べたように, 熱パッファ方式ではノズル閉塞中に熱いアブレーションガスがガス通路を逆流し, ノズル閉塞が解除するとパッファ室から高圧になった SF₆ ガスが流出してくる。従って, ガス通路は熱パッファの形成や電流零点での質量流量に大きく影響を与えていることが予想される。そこで, ガス通路断面積 S_G やガス通路長 L_G がパッファ圧力形成や電流零点でのノズルスロットにおける質量流量や流速に与える影響を検討することにした。なお, 計算は次の3条件で行なう。

- ガス通路長 L_G が基本条件より短い 5 cm, ガス通路断面積 S_G は基本条件と同じ 3 倍の時。
- ガス通路長 L_G が基本条件と同じ 10 cm, ガス通路断面積 S_G は基本条件より小さい 1.5 倍の時。
- ガス通路長 L_G が基本条件より短い 5 cm, ガス通路断面積 S_G が基本条件より小さい 1.5 倍の時。

表 2 ガス通路に関する計算条件

Table 2. Survey parameters of gas passage dimension.

	(Basic)	(a)	(b)	(c)
Passage length L_G (cm)	10	5	10	5
Passage cross sectional area S_G (cm ²)	$3 \cdot S_N$ (21.2)	$3 \cdot S_N$ (21.2)	$1.5 \cdot S_N$ (10.6)	$1.5 \cdot S_N$ (10.6)
Passage volume V_G (cm ³)	212	106	106	53

※ S_N : ノズルスロット断面積 (cm²)

図 5 ガス通路構造がパッファ圧力形成に与える影響

Fig. 5. Influence of gas passage dimensions L_G and S_G on puffer pressure built up.

図 6 ガス通路構造がパッファ室内の温度に与える影響

Fig. 6. Influence of gas passage dimensions L_G and S_G on gas temperature rise in puffer chamber.

図 7 ガス通路構造がスロートの質量流量に与える影響

Fig. 7. Influence of gas passage dimensions L_G and S_G on mass flow rate in nozzle throat.

ここで、条件 (a) と (b) のガス通路容積は同じであり、同一容積における断面積の効果と長さの効果を比較できるようにした。ここで、表 2 は計算条件をまとめたものである。

〈4・2〉 計算結果 図 5 はパッファ圧力の計算結果を示しており、ガス通路の容積が最も小さい条件 (c) で若干ではあるが最も高いパッファ圧力を形成しているのが分かる。また、ガス通路容積が同一である条件 (a) と条件 (b) を比較すると圧力上昇値はほぼ同じであるが、ガス通路断面積が狭い条件 (b) の方がガスの吹付けられる時間が約 2ms 短くなっているのが分かる。同様に、ガス通路断面積が狭い条件 (b) と条件 (c) では、パッファ室内のガスが吹付けられる時間はほぼ同じ約 28ms となった。しかし、パッファ圧力を見る限りガス通路の影響は少ない。

次に、図 6 はパッファ室内のガス温度の計算結果を示しており、ガス通路の容積が小さい条件ほどパッファ室内のガス温度が上昇しているのが分かる。ここで、ガス通路容積が同じである条件 (a) と条件 (b) ではガス温度の最大値が約 750K とほとんど同じであることから、アーク熱とアプレーションガスの逆流によるパッファ室内ガス温度上昇とガス通路容積には密接な関係があることは明らかである。

ここで、小さなガス通路容積の方がパッファ室内のガス温度上昇が大きくなった原因は、小さいガス通路容積ではノズル閉塞開始時にガス通路内に残るガスの量が少なくなるので、パッファ室へと早くガス通路内のガスが逆流を終了し、その後に高温のアプレーションガスがパッファ室へと引き続き逆流していくためである。

図 7 はノズルスロット境界で発生した質量流量の計算結果を示しており、ノズル閉塞期間及び閉塞解除直後は質量流量が少ないが、電流が減少しノズル内のアークが細くなると、ノズルを通る SF₆ ガスの流路断面積が増加すると同時に、パッファ室から密度の大きい冷たいガスが流れ始めるので質量流量は増加してくる。そして、電流零点での質量流量を比較すると条件が (c), (b), (a) そして基本条件の順番で大きくなり、その差は図 5 におけるパッファ圧力の差よりはるかに大きい。

図 8 は図 7 の電流第 2 波目の電流零点におけるノズルスロット境界での質量流量を拡大したものであり、ガス通路

図 8 電流零点付近の質量流量の変化

Fig. 8. Time evolution of mass flow rate at the current zero vicinity.

図 9 ガス通路構造がスロートのガス流速に与える影響

Fig. 9. Influence of gas passage dimensions L_G and S_G on gas velocity in nozzle throat.

容積が小さい方が電流零点での質量流量が大きくなる。また、同一容積でも、断面積を小さくした方が電流零点での質量流量を多くできることが明らかとなった。

図 9 はノズルスロート境界でのガス流速の計算結果を示しており、ノズル閉塞解除後は約 1,300 m/s とかなりの流速でガスが流出する結果となった。これは、ガス通路内、特にガス通路入口に残留した高温の熱ガスが原因である。しかし、高速ガスの流速は約 1.0 ms で終息しその後急低下していく。これは、パuffa 室内の高密度の比較的温度の低いガスがノズルスロートに到達したためである。ここで、電流零点での流速を見ると、その差は最大で約 100 m/s であり、特に遮断成功時の電流零点後約 1 ms 以降に注目すると、ガス通路断面積が狭い条件の方が流速は速くなる。

5. 考 察

遮断器の SLF 遮断時に要求される熱的遮断性能がどのような物理量に影響されるかについては多くの考えがあるが^{(1)~(4)}、今回は電流零点時にノズルスロートで発生する

図 10 各条件と各電流零点での質量流量の関係

Fig. 10. Relation between various calculation condition and mass flow rate at various current zero point.

質量流量が大きいほど SLF 遮断性能が向上すると考え、各物理量の計算結果を詳しく調査した。図 10 は電流第 1 波目と第 2 波目の電流零点にて生じたノズルスロートの質量流量をまとめたものである。なお、この計算ではアブレーションを考慮していない結果を $M = 0 \text{ g/kA}_{\text{rms/s}}$ として併記した。同図から、基本条件 (Basic) よりガス通路断面積を小さくしガス通路長を短くするとノズルスロートで発生した質量流量が大きくなっているのが分かり、ガス通路構造が最も小さい条件 (c) では電流第 1 波目、第 2 波目の両方で基本条件より約 2 倍も大きくなっているのが分かる。また、アブレーション量を $0 \text{ g/kA}_{\text{rms/s}}$ とした時も同様に通路構造が小さいほど質量流量は大きくなる。これは、電流零点におけるパuffa 圧力が低くなるのが先の報告でも明らかになっているので⁽¹⁴⁾、この低いパuffa 圧力が質量流量を低下させたと言える。しかし、アブレーションの有無に関わらず、質量流量はガス通路構造が条件 (c) の時に最大となっている。従って、アブレーションの有無に関係なくガス通路構造が電流遮断時の質量流量に大きく影響を与えていることは明らかであるので、次にガス通路長やガス通路断面積を検討パラメータにして詳細な計算を試みることにする。また、それら値が遮断電流によってどのような影響を受けるのかも検討する。なお、遮断電流は 40, 50 および 63 kA_{rms} (各遮断電流の周波数やアーク時間は $f = 60 \text{ Hz}$, $t_a = 1.0 \text{ cycle}$) である。

〈5・1〉 ガス通路長の影響 図 11 は電流第 2 波目の電流零点で発生したノズルスロートでの質量流量を示しており、ガス通路長を短くすると電流零点での質量流量は大きくなっているのが分かる、これは、通路が短い方が閉塞解除後の熱ガスの量も少なくなるためである。従って、短いガス通路は SLF 遮断性能を向上することができると考えられる。また、遮断電流を変化させた時も同様にガス通路長を短くした方が電流零点での質量流量が大きくなった。

〈5・2〉 ガス通路断面積の影響 図 12 は電流第 2 波目

図 11 電流零点での質量流量とガス通路長の関係
Fig. 11. Relation between mass flow rate at current zero point of the second half cycle and gas passage length L_G .

図 12 電流零点での質量流量とガス通路断面
面積の関係

Fig. 12. Relation between mass flow rate at current zero point of the second half cycle and gas passage cross sectional area S_G .

の電流零点で発生したノズルスロットでの質量流量を示している。同図より、ガス通路断面を小さくしていくと質量流量は上昇していき、最大値を迎えた後、質量流量は低下しているのが分かる。ここで、この質量流量の最大値が発生したガス通路断面は 63 kA 遮断の時で 6.4 cm^2 であり、この値はノズルスロット断面の 95% に相当する。次に、ノズルスロット直径が変化した時にこの最大値が発生するガス通路断面がどのように変化するかを検討するために、ノズルスロット直径を 25 mm に設定し再び計算を試みた。その結果、63 kA 遮断時に質量流量の最大値が発生したガス通路断面は 4.2 cm^2 の時であり、この値はノズルスロット断面の 86% に相当する。従って、これらの計算結果からガス通路断面に関しては最適値が存在し、その値はノズルスロット断面のよりも若干小さいのが分かる。また、これらの検討からノズルからパuffa 室までのガス通路長やガス通路断面が SLF 遮断性能を左右する

ことは明らかであり、SLF 遮断性能を向上させるためにはガス通路構造は重要であることが明らかとなった。

6. まとめ

熱パuffa 式ガス遮断器について、ガス吹付け特性とガス通路構造の関係を検討した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 電流零点における質量流量は、ガス通路長の影響を大きく受け、その長さは短くした方が大きい質量流量を発生させることができる。
- (2) ガス通路長や断面は、パuffa 圧力形成にはあまり大きな影響を与えない。
- (3) 遮断電流が大きくなるほどガス通路構造の影響が大きく現れる。
- (4) ガス通路断面には最適値が存在し、その値はノズルスロット断面より若干小さい。
- (5) 電流零点における質量流量が大きいほど SLF 遮断性能が向上すると考えれば、ガス通路断面を最適にし、ガス通路長を短くすれば SLF 遮断性能は良くなると考えられる。

(平成 14 年 9 月 2 日受付, 平成 15 年 4 月 17 日再受付)

文 献

- (1) K. Ragaller: "Introduction and survey: physical and network phenomena", Current Interrupting in High-Voltage Networks, pp.14-22, Plenum Publishing Corp., New York (1978)
- (2) B.W. Swanson: "Theoretical models for the arc in the current zero regime", Current Interrupting in High-Voltage Networks, pp.137-142, Plenum Publishing Corp., New York (1978)
- (3) F.R. El-Akkari and D.T. Tuma: "Simulation of Transient and Zero Current Behavior of Arcs Stabilized by Forced Convection", IEEE Trans. PAS, Vol.1, PAS-96, No.6, pp.1784-1788 (1977-11/12)
- (4) B.W. Swanson: "Nozzle Arc Interruption in Supersonic Flow", IEEE Trans. PAS, Vol.1, PAS-96, No.5, pp.1967-1706 (1977-9/10)
- (5) Y. Yoshioka, M. Tsukushi, K. Natsui, and K. Hirasawa: "A Method of Calculation of the Puffer Chamber Pressure During Current Interruption of Puffer Type Gas Circuit Breaker", T. IEE Japan, Vol.98-B, No.12, pp.963-970 (1978-12) (in Japanese)
吉岡芳夫・筑紫正範・夏井健一・平沢邦夫:「パuffa 式ガス遮断器のシャ断時消弧室圧力とその計算法」, 電学論 B, 98, 12, pp.963-970 (1978-12)
- (6) Y. Yoshioka, M. Tsukushi, and K. Natsui: "A Method and Application of a Theoretical Calculation for On-Load Pressure Rises in Puffer Type Gas Circuit Breakers", IEEE Trans. PAS, Vol.PAS-98, No.3, pp.731-737 (1979)
- (7) 夏井健一・平沢邦夫・吉岡芳夫:「ガス遮断器のノズル閉塞現象について」, 電気学会開閉保護装置研究, SPD-77-3, pp.(3-1)-(3-8) (1977)
- (8) 榊 正幸・竹淵秀光:「GCB 遮断性能評価に対する解析法の適用」, 電気学会開閉保護装置研究, SP-96-4, pp.29-38 (1996)
- (9) 佐藤 賢・杉山修一・高尾宣行・岩井弘美:「ガス遮断器のガス流解析と動作解析による遮断性能の検討」, 電気学会開閉保護装置研究, SP-96-39, pp.29-38 (1996)
- (10) M. Claessens, K. Möller, and H.G. Thiel: "A computational fluid dynamics simulation of high- and low-current arcs in self-blast circuit breakers", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol.30, pp.1899-1907 (1997)
- (11) P. Chévrier, M. Barrault, C. Fiévet, J. Maftoul, and J. Millon Frémillon: "Industrial applications of high-, medium- and

low-voltage arc modeling", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol.30, pp.1346-1355 (1997)

- (12) T. Mori, K. Iwamoto, T. Nakamoto, and K. Suzuki: "Development of gas flow simulation method considering ablation for GCB chambers", *The Papers of Technical Meeting on Switching and Protecting Engineering and High Voltage Engineering*, IEE Japan, SP-99-86, pp.61-66 (1999) (in Japanese)
森 正・岩本勝治・中本哲哉・鈴木克巳:「アブレーションを考慮した GCB 消弧室内ガス流解析手法の開発」, 電気学会開閉保護装置研資, SP-99-86, pp.61-66 (1999)
- (13) N. Osawa and Y. Yoshioka: "An Analytical Method of Puffer Pressure Rise in the Gas Circuit Breaker by a Single Molecule Model Taking the Nozzle Ablation into Consideration", 2000 National Convention Record IEE Japan, 6-260, pp.2943-2944 (2000) (in Japanese)
大澤直樹・吉岡芳夫:「ノズルアブレーションを考慮した単一分子モデルによるガス遮断器の吹付け圧力の解析法」, 平成 12 年電気学会全国大会, 6-260, pp.2943-2944 (2000)
- (14) N. Ohsawa and Y. Yoshioka: "An Analysis of Blast Pressure Rise in Gas Circuit Breaker by a Single Molecule Model Taking Nozzle Ablation into Account", *T. IEE Japan*, Vol.122-B, No.1, pp.88-94 (2001-1) (in Japanese)
大澤直樹・吉岡芳夫:「ノズルアブレーションを考慮した単一分子モデルによるガス遮断器の吹付け圧力解析」, 電学論 B, **121**, 1, pp.88-94 (2001-1)
- (15) L.S. Frost and R.W. Liebermann: "Composition and Transport Properties of SF_6 and Their Use in a Simplified Enthalpy Flow Arc Model", *Proc. IEEE*, Vol.59, No.4, pp.474-485 (1971-4)
- (16) 吉岡芳夫:「エンタルピーフローアークモデルによるガス遮断器のアーク特性の計算」, 昭和 51 年電気学会全国大会, p.1394 (1976)

大澤直樹 (学生員) 1977 年 12 月 29 日生。2000 年 3 月金沢工業大学電気工学科卒業, 2002 年 3 月同大学大学院工学研究科修士課程電気電子工学専攻修了, 2002 年 4 月同大学大学院工学研究科博士課程電気電子工学専攻入学, 現在に至る。熱バフファ式ガス遮断器のバフファ圧力解析, 接触子損耗現象の解析, 極間電界解析に関する研究に従事。IEEE 学生員。

吉岡芳夫 (正員) 1937 年 3 月 16 日生。1959 年 3 月大阪大学理学部物理学学科卒業, 同年 4 月 (株) 日立製作所入社, 日立研究所にて各種遮断器の研究開発他エネルギー関連分野の研究を担当 (副所長), 1988 年 2 月から同社国分工場で新製品開発を担当 (主管技師長), 1993 年 6 月から同社日立茨城工業専門学院 (学院長) で学院運営と教育を担当。同社定年退職後 1998 年 4 月から, 金沢工業大学電気系教授, 現在に至る。主として非熱平衡プラズマによる NO_x 除去の研究, オゾン応用, 遮断器の設計法の研究を実施中。工学博士。技術士 (電気電子部門), 応用物理学会, 日本工学教育協会, 静電気学会, 放電学会, IEEE 会員。