積層配置による平行導体間アークの駆動速度向上対策の提案

正員 稲葉 次紀 学生員 尾井 宏行

学生員 伊藤 周 (中央大学) 正員 長谷川 賢一 (三英社製作所)

Proposal of Improvement of Arc Velocity travelling between Parallel
Conductors in Piling-up Arrangement

Tsuginori Inaba, Member, Hiroyuki Oi, Amane Ito, Student (Chuo University)

Kenichi Hasegawa, Member (Saneisha-Seisakusho)

The travelling of an arc between parallel electrodes can be used in order to suppress the fault current by inserting the electrode resistance to the fault circuit, where the arc velocity plays the most important role. In order to increase the arc velocity a special piling-up type has been theoretically recommended, the arc velocity of which is expected to become about 22% faster than that in the ordinary parallel type.

キーワード：アーク、SF₆、走行、速度、平行導体

1. まえがき

配電系統に万一短絡故障が発生した場合、莫大な故障電流が流れ、関連機器の損傷や周辺への事故波及が懸念される。そのため、故障電流を第一波から抑制しようとする限流器の構想が提起され、各種の方式が検討されている。アークの走行を利用し、回路に電極抵抗や非線形抵抗を挿入するアーク走行式限流器では、実際アーク相互間に働く電磁力の影響や電極の構成などの諸要因がアーク走行特性にかなり影響を与えるものと考えられる。そこで著者らは、特にアーク走行に使用する電極構成の影響に着目し、その配置、寸法が駆動速度に与える影響について理論的に検討し、速度向上策を提案した。

2. 各種平行電極の磁界計算

< 2. 1 > 平行電極対

図1に示す直線状電流 I (A)による直角距離 d (m)離れた点 P の磁界 H (A/m)は、ビオ・サバールの法則より次式で与えられる。

$$H = I(\cos \beta_1 + \cos \beta_2) / \{4\pi l\} \quad (\text{A/m}) \dots \dots (1)$$

次に図2の平行電極対を考える。電極1、電極2は例えば長さ30cmの直線電極である。点 $O'O$ 間にはアークがある。電流は電極1からアークを通過して電極2に矢印の方向に流れている。アークは電極電流の作る自己磁界によって電磁力を受け、紙面右側の f 方向に移動する。

図1 直線導体の作る磁界

Fig.1 Magnetic field produced by straight conductor

図2 平行電極対

Fig.2 A pair of parallel conductors

ここで、アーク上電極1の中心から距離 $r(m)$ の点 P における磁界を考える。ただし $X(m)$ はアークが電極左端 $X=0$ で発弧してから t 秒後の位置である。また、アークは直線とし、自身の蛇行性によって生じる磁界と、電極のリード線による磁界は無視する。式(1)より電極1が作り出す点 P での磁界は

$$H_1 = I(\cos\theta_1 + \cos\theta_2) / \{4\pi r\} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots (2)$$

$\theta_2 = \pi/2$ より、

$$H_1 = \frac{I \cdot \cos\theta_1}{4\pi r} = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{X}{r\sqrt{X^2 + r^2}} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots (3)$$

同様に電極2を考えると、

$$H_2 = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{X}{(D_A - r)\sqrt{X^2 + (D_A - r)^2}} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots (4)$$

電極1、電極2が作り出す磁界の向きは右ネジの法則より同方向なので、電極1、2が作り出す合成磁界は、

$$H_{12} = H_1 + H_2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

特に長尺電極($X \gg D_A$)のアーク中央点($r = D_A/2$)では

$$H_{12m} = I / \{\pi D_A\} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

< 2. 2 > 電極対の並列配置

(1) アーク上の磁界強度

次に、図3のように、平行導体が2組、同一平面上に電極対間隔 $Y(m)$ で並列に配置されており、電流としては直列結線されているケースを考える。

電流は、電極3からアークを流れて電極4に流れ、さらにその電流が電極1→アーク→電極2に流れている。また、それぞれのアークは同一走行距離とし、アーク相互の磁界効果は無いものとする。この時、電極3、電極4の電流が電極1・2間の点 P に及ぼす磁界を考える。

図3を簡略化したのが図4である。これも式(4)と同様に考えると、電極3が点 P に及ぼす磁界 $H_3(\text{A/m})$ は、

$$H_3 = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{X}{(D_A + Y + r)\sqrt{X^2 + (D_A + Y + r)^2}} \quad \dots\dots (7)$$

同様に、電極4が点 P に及ぼす磁界は、

$$H_4 = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{X}{(Y + r)\sqrt{X^2 + (Y + r)^2}} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots (8)$$

ここで、磁界の向きを考えると H_3 と H_4 は逆向きである。ここで、電極1、2が作り出す磁界の向きを正とすると電極3、4が点 P とアーク中央点に作り出す磁界は、

$$H_{34} = H_3 - H_4 < 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$H_{34m} = \frac{I}{4\pi} \left(\frac{1}{Y + 3D_A/2} - \frac{1}{Y + D_A/2} \right) (\text{A/m}) \quad \dots\dots (10)$$

図3 電極対の並列配置

Fig.3 Parallel arrangement of pair conductors

図4 図3の寸法モデル

Fig.4 Magnetic model of Fig.3

その磁界増加比 α_H は

$$\alpha_H = \frac{H_{34m}}{H_{12m}} = -\frac{D_A^2}{4(Y + 3D_A/2)(Y + D_A/2)} \quad \dots\dots (11)$$

特に、 $Y = D_A$ ならば $\alpha_H = -0.07$ で 7% 減となり、点 P および中点での合成磁界は次式になる。

$$H = H_1 + H_2 + H_3 - H_4 \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$H_m = \frac{I}{4\pi} \left(\frac{4}{D_A} + \frac{1}{Y + 3D_A/2} - \frac{1}{Y + D_A/2} \right) \quad \dots\dots (13)$$

(2) アーク相互の影響

片方のアークが他方より先行すると、アーク相互の電磁力作用が生じ、先行アークは減速力を、後行アークは加速力を受け、両者は同一走行距離になるよう均衡力を受け、当初の仮定:同時進行が成立する。

< 2. 3 > 電極対の積層配置

次に、図5のように、並行電極対が間隔 $Z(m)$ で積層配置されているケースにおいて、一方の電極対の電流が他の電極対のアークに与える電磁力の影響を考える。図5を簡略化したのが図6である。電極5(DC)、電極6(EF)の電流による点Pの磁界 H_5, H_6 は図6より

$$H_5 = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{X}{\sqrt{Z^2 + r^2} \cdot \sqrt{X^2 + Z^2 + r^2}} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$H_6 = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{X}{\sqrt{Z^2 + (D_A - r)^2} \cdot \sqrt{X^2 + Z^2 + (D_A - r)^2}} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

よって H_5, H_6 による点Pからアーク1-2と直角(左側)方向で、電極1、2による成分 H_{12} と同一方向成分 H_{56} は

$$\begin{aligned} H_{56} &= H_5 \cos \alpha_1 + H_6 \cos \alpha_2 \\ &= \frac{I}{4\pi} \left\{ \frac{X \cdot r}{(Z^2 + r^2) \sqrt{X^2 + Z^2 + r^2}} + \frac{X(D_A - r)}{(Z^2 + (D_A - r)^2) \sqrt{X^2 + Z^2 + (D_A - r)^2}} \right\} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

$$H_{56m} = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{D_A}{Z^2 + D_A^2/4} \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\alpha_{11} = \frac{H_{56m}}{H_{12m}} = \frac{D_A^2}{4Z^2 + D_A^2} = \frac{1}{4(Z/D_A)^2 + 1} \quad \dots\dots\dots (18)$$

特に $Z=D_A$ ならば $\alpha_{11}=0.20$ で 20%増となる。よってアークに直角に作用する合成磁界は、
 $H = H_{12} + H_{56} \dots\dots\dots (19)$

$$H_m = \frac{I}{4\pi} \left(\frac{4}{D_A} + \frac{D_A}{Z^2 + D_A^2/4} \right) \quad (\text{A/m}) \quad \dots\dots\dots (20)$$

となる。ただし、アークCFによる磁界で点PのアークにはアークCF(右方)への吸引力を受けるが、アーク走行方向とは直角のため第一次近似では無視する。

3. 磁界によるアーク速度の算定

< 3. 1 > アークに働く電磁力

図2において、アーク速度 v_A (m/s)を求める。点Pのアーク電流 I_A と電極電流 I は同一平面上に流れているため、点Pに作用する電磁力 f は次式になる。

$$f = I_A \times B \quad (\text{N/m}) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$B = \mu H \quad (\text{T}) \quad \dots\dots\dots (22)$$

図5 電極対の積層配置

Fig.5 Piling-up arrangement of pair conductors

図6 図5の寸法モデル

Fig.6 Magnetic model of Fig.5

図7 アーク剛体モデル

Fig.7 Rigid model of arc

図8 アーク姿態走行モデル

Fig.8 Imaged style of moving arc

アーク上の点Pに作用する力は、式(5)、(21)、(22)より

$$f = \frac{I \cdot I_A \mu}{4\pi} \cdot \left\{ \frac{X}{r\sqrt{X^2 + r^2}} + \frac{X}{(D_A - r)\sqrt{X^2 + (D_A - r)^2}} \right\} \quad (\text{N/m}) \dots\dots (23)$$

アークコラムにおいて

$$I = I_A = i \quad (\text{A}) \dots\dots\dots (24)$$

と、統一を図れば、 $\mu = \mu_0 \mu_s = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ より、

$$f = i^2 \times 10^{-7} \cdot \left\{ \frac{X}{r\sqrt{X^2 + r^2}} + \frac{X}{(D_A - r)\sqrt{X^2 + (D_A - r)^2}} \right\} \quad (\text{N/m}) \dots\dots\dots (25)$$

< 3. 2 > アークの走行速度

アークを直径 d(cm) の円柱として電磁力によって SF₆ ガス中をアークが自らの軸と垂直に動く速さをガスの粘性抗力から求める。(1 気圧、20°C)

(1) 粘性率 η

$$\eta = 1.53 \times 10^{-4} \text{ g / (cm} \cdot \text{s)} \dots\dots\dots (26)$$

(2) 密度 ρ

$$\rho = 6.16 \times 10^{-3} \text{ g / cm}^3 \dots\dots\dots (27)$$

(3) 運動粘性率 ν

$$\nu = \eta / \rho = 2.48 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{s} \dots\dots\dots (28)$$

(4) レイノルズ数 R

$$R = \frac{v_A d}{\nu} = \frac{0.5 \times v_A}{2.48 \times 10^{-2}} = 20.2 v_A \text{ (cm / s)} \dots\dots (29)$$

但し、 v_A : アーク速度(cm/s)、d: アーク直径(cm)。

SF₆ フリーアークの写真半径によると、100~200A で d=0.5cm である⁽¹⁾。i=1000A を対象とすると、アーク半径は電流の増加により、電流密度を一定とすれば $\sqrt{5} \approx 2$ 倍位増す。しかし、電流密度は電流と共に若干ながら増加し⁽²⁾、更に高速になるほど対流効果により細径化するため、相反効果により、ここではアーク半径は大局的に一定として試算する。アーク速度 v_A を 50~100m/s とすると、レイノルズ数 R は $(1 \sim 2) \times 10^5$ となる。

(5) 抗力係数 C_D ⁽³⁾

$$C_D = f(R) \approx 0.94 \dots\dots\dots (30)$$

図7のように、アーク両端面へのガスの回り込みが電極板に妨げられている場合、アーク長 D_A は ∞ と等価と見なせるため d: $D_A = 1: \infty$ より、無限空間を想定すれば、 C_D はレイノルズ数ではほとんど変化せず、 $C_D \approx 1.2$ と考えられる。しかし、アークの実態は図8のように、アーク痕の電極に対する膠着現象のため電極近傍がアーク中央部に比べて若干遅くなるものと想定し、アーク両端への一部ガスの回り込みを考慮し、d: $D_A = 1: 2$ とした場

図9 並列配置におけるアーク上の磁界分布
Fig.9 Magnetic field distribution along arc in parallel arrangement

図10 磁界・アーク速度に及ぼす並列間隔の影響
Fig.10 Influence of parallel distance on magnetic field and arc velocity

合の $C_D \approx 0.68$ と前述の 1.2 との平均 0.94 を C_D として使用する。

尚、アーク直径 d と積層間隔 Z との間には $Z > d$ の関係が必要である。 C_D はアークと壁面との近接のため、 $Z \approx d$ の領域では増加すると予想されるが、ここでは、第一近似として一定とする。

(6) 粘性抗力 f_D

$$f_D(N) = (\rho/2) v_A^{1 \sim 2} \cdot F \cdot C_D \dots\dots\dots (31)$$

但し、 $F = d \cdot D_A$: アーク投影面積(m²)。

抗力 f_D は低速では v_A の 1 乗に、高速では v_A の 2 乗に比例すると言われている。ここでは数十 m/s 以上の高速を対象とするため 2 乗を採用する。

図11 積層配置におけるアーク上の磁界分布
Fig.11 Magnetic field distribution along arc in piling-up arrangement

図12 磁界・アーク速度に及ぼす積層間隔の効果
Fig.12 Effect of piling-up distance on magnetic field and arc velocity

(7)アークの走行速度 v_A

$$f \cdot D_A = f_D + f_a$$

但し、 $f_a = M \cdot \alpha$: 加速力、 M : 質量(kg)、
 α : 加速度(m/s^2)、 f : (21)式の単位長電磁力(N/m)。
立ち上がりを無視すれば、最終的な平衡速度 v_A は

$$v_A (m/s) = \sqrt{\frac{2fD_A}{\rho F C_D}} = \sqrt{\frac{2f}{\rho d C_D}} \dots \dots \dots (32)$$

$$= 8.31 \sqrt{f} \propto i(A) \dots \dots \dots (33)$$

ここで、アーク速度はアーク中心の速度とし、式中の()内は単位を示す。

4. 電極対における磁界と速度の計算結果

(1) 電極対：2組並列配置の場合

図9は $i=1000A$ 、 $D_A=1cm$ 、 $X=15cm$ の条件で点Pの位置における磁界の強さを、(9)式を用いて並列間隔 Y をパラメータとした計算結果である。 $Y=\infty$ が単電極対を示し、磁界は電極近傍で強く、電極間の中点に近づくほど弱くなる。電極直径を1mmとすれば、電極近傍の磁界の強さは中点の5倍となる。中点の磁界の強さは並列間隔 Y が ∞ から10cmまでは同一であるが、それ以上に狭くなるほど減少し、 ∞ に比べ $Y=1cm$ で7%、 $Y=0.5cm$ で13%低下する。

図10は $i=1000A$ 、 $D_A=1cm$ で電極の長さを無限大としたとき $r=0.5cm$ の磁界の強さとアーク速度の並列間隔との関係を、それぞれ(10)式と(33)式を用いて計算して示す。 Y が狭くなると最終速度も小さくなり、 $Y=0.5cm$ で ∞ の値より6%減少する。 $Y=2\sim 3cm$ 以上で磁界の強さ、アーク速度共に他方の電極の影響をほとんど受けなくなる。

(2) 電極対：2組積層配置の場合

図11は $i=1000A$ 、 $D_A=1cm$ 、 $X=15cm$ の条件でアーク上の点Pにおける磁界の強さを積層間隔 Z をパラメータとし、(19)式を用いて計算した結果である。 $Z=\infty$ が単電極を示し、並列配置時の $Y=\infty$ と同じである。アーク中点の磁界の強さは、並列配置では Y が小さくなるほど減少するのに対し、積層配置では Z が ∞ から10cmまでは同一であるが、それ以上に小さくなると急激に大きくなる。 $Z=0.5cm$ で $Z=\infty$ (単電極対)の1.50倍に増加している。

図12は $i=1000A$ 、 $D_A=1cm$ で電極の長さを無限大としたとき $r=0.5cm$ の磁界の強さとアーク速度の積層間隔との関係を、それぞれ(20)式と(33)式を用いて計算して示す。同図によると $Z=1cm$ から0.1cmにかけて磁界の強さ、アーク速度共に大幅に増加し、一定の値に収束している。実用上 Z の最小値0.1cmにおいて、 $Z=\infty$ に対して、磁界の強さで2倍に、アーク速度で1.4倍に増加する。

5. 電極対：3連積層配置の場合

(1) 電極対電流による磁界

図13のように単電極対が3連に積層された場合を考える。まず、図14のアーク1に働く合成磁界を考える。電極7、8が作り出すアーク中点の磁界は、式(5)より

$$H_{78} = \frac{iX_1}{\pi D_A \sqrt{X_1^2 + D_A^2/4}} (A/m) \dots \dots \dots (34)$$

電極9、10が電極7、8のアーク中点 ($r=D_A/2$) に作り出す磁界は式(16)より

$$H_{910} = \frac{I}{\pi} \cdot \frac{D_A}{4Z^2 + D_A^2} \left(\frac{X_1}{\sqrt{X_1^2 + Z^2 + D_A^2/4}} + \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + Z^2 + D_A^2/4}} \right) (\text{A/m}) \dots (35)$$

電極 11, 12 も同様に

$$H_{1112} = \frac{I}{\pi} \cdot \frac{D_A}{16Z^2 + D_A^2} \left(\frac{X_1}{\sqrt{X_1^2 + 4Z^2 + D_A^2/4}} + \frac{X_3 - X_1}{\sqrt{(X_3 - X_1)^2 + 4Z^2 + D_A^2/4}} \right) (\text{A/m}) \dots (36)$$

よって、アーク 1 に働く合成磁界 H_1 は

$$H_1 = H_{78} + H_{910} + H_{1112} (\text{A/m}) \dots (37)$$

アーク 1 に働く電極軸方向の電磁力 f_1 は

$$f_1 = \mu \cdot i \cdot H_1 (\text{N/m}) \dots (38)$$

(2) アーク間に働く吸引力の影響

$$f_{12} = \frac{\mu i^2}{2\pi \sqrt{Z^2 + (X_2 - X_1)^2}} (\text{N/m}) \dots (39)$$

$$f_{13} = \frac{\mu i^2}{2\pi \sqrt{4Z^2 + (X_3 - X_1)^2}} (\text{N/m}) \dots (40)$$

このうち、速度に影響するのは、 f_1 と同方向の電極軸成分 f_{12}' 、 f_{13}' なので、 f_1 と f_{12} 、 f_{13} との交差角をそれぞれ θ_{12} 、 θ_{13} とすれば

$$f_{12}' = f_{12} \cos \theta_{12} = \frac{2 \times 10^{-7} i^2 (X_2 - X_1)}{Z^2 + (X_2 - X_1)^2} (\text{N/m}) \dots (41)$$

$$f_{13}' = f_{13} \cos \theta_{13} = \frac{2 \times 10^{-7} i^2 (X_3 - X_1)}{4Z^2 + (X_3 - X_1)^2} (\text{N/m}) \dots (42)$$

よって、アーク 1 に働く全軸方向推進力 F_1 は

$$F_1 = f_1 + f_{12}' + f_{13}' (\text{N/m}) \dots (43)$$

平衡速度は、式(33)と同様に

$$v_{A1} = 8.31 \sqrt{F_1} (\text{m/s}) \dots (44)$$

F_2, F_3 も同様に算出できる。アークは相互に吸引し合うため進行方向の出入りは平均化され、3 本のアークは同列走行すると見込まれる。

6. 並列・積層数の影響

図 15 はそれぞれ並列配置、積層配置の電極対の数に対する平衡速度の変化を示したものである。並列配置では電極対の数が増加すると速度は減少するのに対し、積層配置ではそれとは逆に速度は増加する。積層配置の場合、電極対数が 3 以上ではほぼ特性は飽和する。それに

図 13 3 連積層配置

Fig.13 3 series in piling-up arrangement

図 14 3 連積層の寸法モデル

Fig.14 Magnetic model of Fig.13

図 15 電極対数に対するアーク走行速度の増減

Fig.15 Velocity increase and decrease of arcs for electrode pair number

対し、並列配置では5以上で飽和すると見込まれる。

図10より、並列配置では、 $Y=5\text{cm}$ を越すと他の電極対の影響をほとんど受けないので、 $Y=5\text{cm}$ 内にどれだけの電極対を配置したかによって速度低下が決まる。

また、図12より、積層配置でも、 $Z=5\text{cm}$ を越すと他の電極対の影響をほとんど受けないので、 $Z=5\text{cm}$ 内にどれだけの電極対を配置できるかによって速度の上限が決まる。

並列配置を積層配置に変更するならば、4列から4段の場合、差し引き、電極間隔1cmの場合で22%の加速が見込まれ、限流作用の高速化が期待できる。

7. むすび

平行電極対の配置として、並列配置と積層配置の2例を対象として自己磁界によるアーク走行速度を理論的に検討し、以下の結果を得た。

(1) 並列配置した場合、隣接電極対の磁界は減速作用をもたらし、並列間隔を狭めるほど、並列数を増すほどアーク速度は低下する。上記条件で並列対数を4列とすれば、並列間隔1cmで6%の減速が見込まれる。

(2) 積層配置した場合、隣接電極の磁界は加速作用をもたらし、積層間隔を狭めるほど、積層数を増すほどアーク速度は増加する。上記条件で積層数を4段とすれば、積層間隔1cmで15%の加速が見込まれる。

(3) 並列配置を積層配置に変更するならば、4列から4段の場合、差し引き、電極間隔1cmの場合で22%の加速が見込まれ、限流作用の高速化が期待できる。

最後に、当該電極配置を検討するのに際し、(株)三英社製作所の市川顧問、相川取締役ほかから貴重な御教示を戴き深く感謝致します。

(平成9年11月28日受付、同10年4月1日再受付)

文 献

- (1) 稲葉、鬼頭、宮地：「SFG ガス中のフリーアークに沿った電位の傾き」、電学論 93-A, 78~82, 昭和 48-2
- (2) 稲葉、渡辺、遠藤：「トーチプラズマ特性に及ぼす軸流ガス流量の影響」、電学・放電研究会、ED-96-248, 平成 8-11
- (3) C. Wieselsberger: Ergebnisse zu Goettingen II, 1923

なお、本研究は中央大学理工学研究所先端技術研究センター(文部省私立大学ハイテクリサーチ・センター)における“超高温プラズマ式環境破壊物質無害化・有効活用技術の研究”の一環として行われたものである。

稲葉 次紀

(正員) 1941年2月18日生。66年名古屋工業大学第二部電気工学科、68年同大学院修士課程、71年名古屋大学大学院博士課程満了。59年三菱電機、65年アデカ・アーガス化学、71年電力中央研究所、94年中央大学教授。78~79年西ドイツ Braunschweig 工科大学客員教授。71年工学博士。主としてアークプラズマ物性とエネルギー応用研究に従事。88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。76・88・95年同論文賞、94年同著作賞受賞。低温工学会、IEEE 会員。

尾井 宏行

(学生員) 1971年9月23日生。95年3月中央大学理工学部電気・電子工学科卒業。97年3月同大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程修了。同年4月株式会社メイテック入社。在学中、アークプラズマの挙動特性に関する研究を担当し、現在、シリコンウェハー搬送装置の設計に従事。

伊藤 周

(学生員) 1973年1月29日生。97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電子工学専攻博士前期課程入学。現在、同課程に在学中。アークプラズマの挙動に関する研究を担当。

長谷川 賢一

(正員) 1971年3月3日生。93年3月東北学院大学工学部電気工学科卒業。95年3月同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月株式会社三英社製作所入社。現在、同総合研究所にて短絡電流抑制に関する研究に従事。