

人工環境下における耐熱・難燃性絶縁電線の 温度上昇について*

— 加圧酸素および窒素ガスの場合 —

菅原宣義**

田中隆二***

(昭和51年4月27日受理)

Temperature Rise in Heat-Resistant and Non-flammable Insulated Wires under Artificial Environments

— In Compressed Oxygen and Nitrogen Gases —

by Noriyoshi SUGAWARA and Ryuji TANAKA

In artificial environments like spacecraft, hyperbaric chambers in hospitals and deep sea diving equipment, the flammability or ease of ignition of flammable materials increases under the influence of enriched-oxygen and/or elevated partial pressure of oxygen. For safety, the insulated wire used under these environments needs to be insulated with nonflammable and heat-resistant resin, and connected to the overcurrent relay. When connected, the character of the overcurrent relay must agree with the temperature rise of the insulated wire under artificial environments. But, the temperature rise of insulated wire under artificial environments has not been studied up to the present.

In this paper, the authors reveal the temperature rise on the conductor of insulated wire depending on pressure and gases, and the approximate equations of the current rating, minimum thermal damaging current and heat transmission coefficient by natural convection were obtained from that temperature rise.

1. 緒 言

近年、大気圧空気とは異なる環境気中で人間が生息し、作業し、種々の電気設備を使用することが多くなった。このような人工環境は、その目的に応じた気圧と組成ガスで満たされており、古くは潜水病や潜函内作業者の減圧症の予防と治療に使用された加圧空気のタンク内環境があり、近時には、ガンやガス中毒の治療に効果があり、複雑な大手術の際に患者の生命を維

* 電気学会全国大会(昭和46年3月徳島大学, 昭和47年3月電機大学)で発表

** 北見工業大学電気工学科

*** 労働省産業安全研究所電気研究部

持できることなどから、大気圧酸素中もしくは加圧酸素中で治療が行なえる高気圧治療設備内環境がある¹⁾。

このような環境気中では、一般に可燃物の発火温度の低下、燃焼温度の上昇および燃焼速度の増加などにより、大気圧空気中に比べて発火・燃焼の危険性が大きく、特に過剰酸素や加圧酸素の環境気中では危険性が著しく大きいと考えられている²⁾。1967年のテスト中における米国のアポロ宇宙船および1969年の東京大学病院における高気圧治療室の火災事故等がこれらの危険性を明示している。

人工環境下における火災・爆発などの事故において、発火原因としての電気設備の火花および過熱が特に問題であり、上述の火災事故の場合にも電気設備が発火源として関係したものと考えられている。これらのことから、大気圧空気中で使用する電気設備をそのまま人工環境気中で使用できるか否かは問題であり、人工環境の環境気条件を考慮に入れた設計がなされたものを使用することが必要であると思われる。

このような観点より、人工環境下の電気配線に使用される絶縁電線が発火源となる危険性の低減について考えてみると、まず絶縁材料が発火しにくいように耐熱・難燃性であり、さらに人工環境気中における絶縁電線の過電流温度特性と協調のとれた過電流保護装置に接続することである。

しかし、人工環境下における絶縁電線の温度上昇特性および許容電流に関しては明確にされていない現状である。

本研究は、大気圧空気中で最も耐熱・難燃性に富む市販の三種類の絶縁電線の温度上昇特性に関して、 $30 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ までの加圧酸素および窒素ガス中において実験を行なった。

2. 実験方法および試料電線

2.1 実験設備と測定方法

実験装置の接続関係を図1に示す。試料電線の水平有効長さを1mとし、その中央部に約 $10 \times 10 \text{ mm}$ の正方形のアルミ箔を巻き付けて集熱板とした。その集熱板上に 0.1 mm φの銅—コンスタンタン熱電対を置き、 0.2 mm φの裸銅線を巻き付けて集熱板と熱電対を試料電線に密着固定した。この熱電対により被覆表面の温度を測定した。また、タンク内の雰囲気ガスの温度は、図1のように、タンク内で最低の温度を示すタンク底部に取り付けた反射板内の上述と同じ熱電対により測定した。これら2点の温度は2ペンレコーダで同時記録した。

熱電対を取り付けた試料電線を試料取り付け台に水平に張り、これを図1に示す高気圧実験タンク内にそう入して密閉する。このタンク内を真空ポンプでほぼ真空にした後、所定のガスポンプより所定の圧力までガスを供給し、圧力変動がほぼ静止したと思われる10分後に大電流供給装置により商用周波数の種々の電流を試料電線に流して温度と時間の関係を測定した。被覆表面の温度上昇は、一定電流を通電した時の被覆表面の温度が飽和状態に達した値を

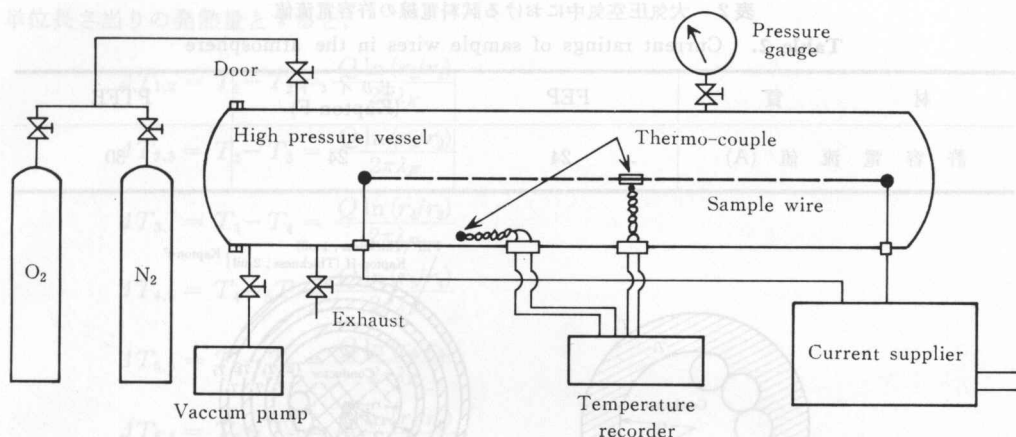


図1 実験装置概略図

Fig. 1. Layout of the experiment.

使用して求めた。導体表面の温度上昇は、飽和状態に達した被覆表面温度より、絶縁物の熱伝導率が温度に関係なく室温における値と同じであると仮定して、熱伝導の関係式から計算により求めた導体表面温度より求めた。

また、種々の気圧において飽和状態に達した導体表面の温度が絶縁物の連続使用最高温度に達するような電流をその気圧における許容電流とし、融点に達するような電流をその気圧における被覆劣化最小電流として測定した。この場合、導体表面の許容温度範囲を指定温度の $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内とした。

2.2 試料電線

試料電線に使用した3種類の電線はそれぞれ FEP (Fluorinated-Ethylene-Propylene Copolymer) 絶縁電線、PTFE (Poly-Tetra-Fluoro-Ethylene) 絶縁電線およびポリイミド (Polyimide; 商品名 Kapton) 絶縁電線であり、これら合成樹脂の絶縁物は表1に示すような特性をもっている。試料電線の大気圧空気中における許容電流は表2に示すような値である。これら3種類の電線の構造は同じであって、素線径 $0.18\text{ mm}\phi$ のものを19本撚り、絶縁物厚さが 0.25 mm で、導体断面積は公称 0.5 mm^2 である。

表1 絶縁材料の諸特性

Table 1. Physical and thermal properties of insulators

特 性	材 質		
	FEP	ポリイミド (Kapton-H)	PTFE
連続使用最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)	200	420	260
融 点 ($^{\circ}\text{C}$)	260~295	—	327
熱伝導率 ($\times 10^{-3}\text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{deg}^{-1}$)	2.512	1.556	2.095
絶縁耐力 [短時間法] (kV/mm)	20~24	60	19.2

表2 大気圧空気中における試料電線の許容電流値

Table 2. Current ratings of sample wires in the atmosphere

材 質	FEP	ポリイミド (Kapton-F)	PTFE
許 容 電 流 値 (A)	24	24	30

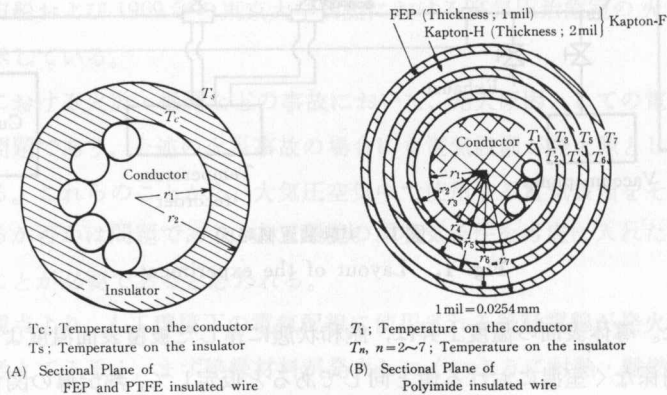


図2 試料電線の断面図

Fig. 2. Sectional plane of sample wires.

FEP および PTFE 絶縁電線の断面は図 2-(A) のようになっていて、被覆表面の温度 (T_s) と導体表面の温度 (T_c) との温度差 (ΔT) は図 2-(A) を参考にして、熱伝導に関するフーリエの法則より、

$$\Delta T = T_c - T_s = \frac{Q \ln(r_2/r_1)}{2\pi\lambda} \quad (1)$$

となる。 Q は導体の単位長さ当りの発熱量であり、試料電線の電位降下を V とし、通電々流を I とすると $Q = VI/100$ (W/cm) となる。ここで、 $r_1 = 0.045$ cm および $r_2 = 0.07$ cm であるから、(1) 式に表 1 の熱伝導率 λ の値を代入すると、FEP 絶縁電線の温度差は

$$\Delta T = 0.280 VI \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2)$$

となり、PTFE 絶縁電線の温度差は

$$\Delta T = 0.336 VI \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (3)$$

となる。

ポリイミド絶縁電線の場合は図 2-(B) に示すような断面であり、2 ミル (1 ミル = 0.0254 mm) の厚さのポリイミド (本研究に使用したものは Kapton-H) に 1 ミルの FEP を接着剤として貼り合せたもの (名称 Kapton-F) を 3 層に重ねた構造になっている。この絶縁電線の ΔT も (1) 式の場合と同様に次のように行なうと求まる。図 2-(B) を参考にして、各絶縁物間の温度差を $\Delta T_{n,n+1}$ とし、FEP およびポリイミドの熱伝導率をそれぞれ λ_F および λ_K とし、 Q を導体の

単位長さ当りの発熱量とすると、

$$\Delta T_{1,2} = T_1 - T_2 = \frac{Q \ln(r_2/r_1)}{2\pi\lambda_K}$$

$$\Delta T_{2,3} = T_2 - T_3 = \frac{Q \ln(r_3/r_2)}{2\pi\lambda_F}$$

$$\Delta T_{3,4} = T_3 - T_4 = \frac{Q \ln(r_4/r_3)}{2\pi\lambda_K}$$

$$\Delta T_{4,5} = T_4 - T_5 = \frac{Q \ln(r_5/r_4)}{2\pi\lambda_F}$$

$$\Delta T_{5,6} = T_5 - T_6 = \frac{Q \ln(r_6/r_5)}{2\pi\lambda_K}$$

$$\Delta T_{6,7} = T_6 - T_7 = \frac{Q \ln(r_7/r_6)}{2\pi\lambda_F}$$

となる。ここで ΔT は次式のようになる。

$$\Delta T = \sum_{n=1}^6 \Delta T_{n,n+1} = T_1 - T_7 = \frac{Q}{2\pi} \left\{ \frac{\ln(r_2/r_1)}{\lambda_K} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{\lambda_F} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{\lambda_K} + \frac{\ln(r_5/r_4)}{\lambda_F} + \frac{\ln(r_6/r_5)}{\lambda_K} + \frac{\ln(r_7/r_6)}{\lambda_F} \right\} \quad (4)$$

この式に表1のFEPおよびポリイミドの熱伝導率を代入し、 $r_1=0.045$ cmとしてこれに各絶縁物の厚さを加えてゆくと $r_2 \sim r_7$ まで求まり、ポリイミド絶縁電線の温度差は

$$\Delta T = 0.3085 VI \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (5)$$

となる。

これら、(2)式、(3)式および(5)式を使用して、導体表面の温度は $T_e = T_s + \Delta T$ の関係式より求められる。

各試料電線の被覆の施し方は次のように行なっている。FEP絶縁電線は、FEPが熔融するために通常の押出形成となっており、PTFE絶縁電線は未焼PTFEテープを多層重ね巻きにしてから、焼成したテープ巻電線であり、ポリイミド絶縁電線はポリイミドに接着剤としてのFEPを接着したテープ(Kapton-F)を3層に重ね巻きしてから焼成したテープ巻電線である³⁾。

3. 実験結果および考察

3種類の試料電線の酸素および窒素ガス中における導体表面の温度上昇と電流との関係をゲージ気圧をパラメータに図示すると図3、図5および図7のようになる。各図より明らかなように、両対数目盛のグラフ上で、気圧ごとに測定点はほぼ直線となり、これらの直線は絶縁物ごとにそれぞれ平行となる。このことは、気圧ごとに電流が導体表面の温度上昇の関数として次のように書ける。

$$\log I = A \log T_e + \log b \quad (6)$$

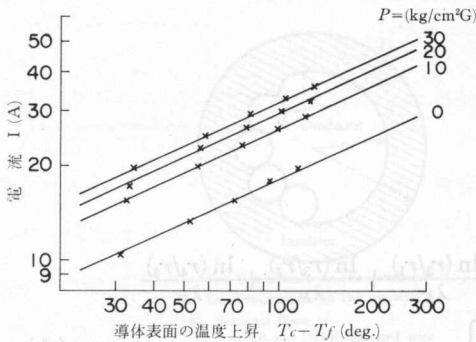
ただし, A ; 勾配, I ; 電流 (A)

$$T_{cf} = T_c - T_f; \text{ 導体表面の温度上昇 (deg)}$$

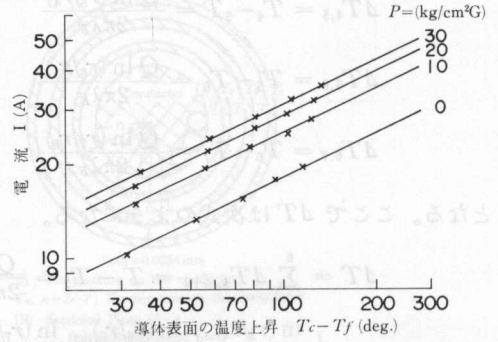
T_c ; 導体表面の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_f ; 周囲気ガスの温度 ($^{\circ}\text{C}$)

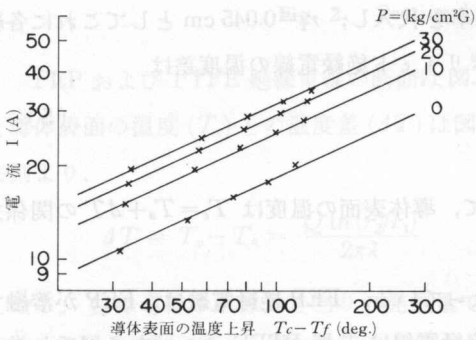
b ; 絶縁物, ガスの種類, 気圧などの関数で電線の断面積と気圧が定まれば一定とみなせる⁴⁾。



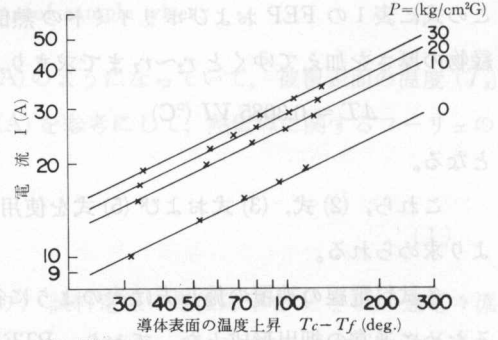
(A) 酸素ガス中



(A) 酸素ガス中



(B) 窒素ガス中



(B) 窒素ガス中

図3 FEP 絶縁電線の各種圧力下における導体表面の温度上昇と電流との関係

Fig. 3. Temperature rise on the conductor of FEP insulated wire as a function of current with various pressures.

図5 ポリイミド絶縁電線の各種圧力下における導体表面の温度上昇と電流との関係

Fig. 5. Temperature rise on the conductor of Polyimide insulated wire as a function of current with various pressures.

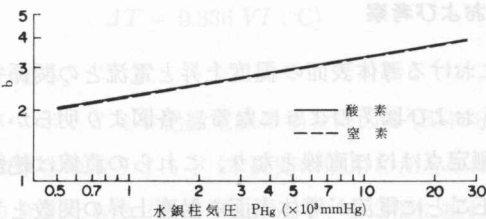


図4 FEP 絶縁電線の係数 b と気圧との関係

Fig. 4. Factor b of FEP insulated wire as a function of pressure.

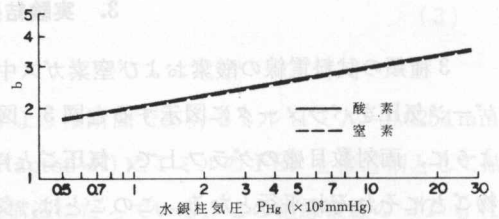


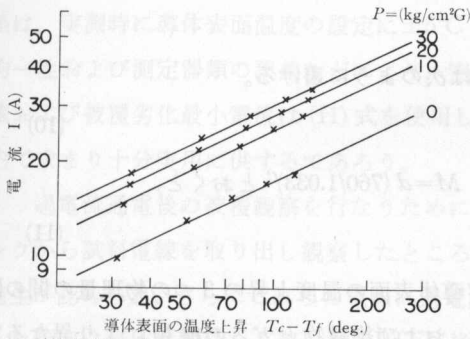
図6 ポリイミド絶縁電線の係数 b と気圧との関係

Fig. 6. Factor b of Polyimide insulated wire as a function of pressure.

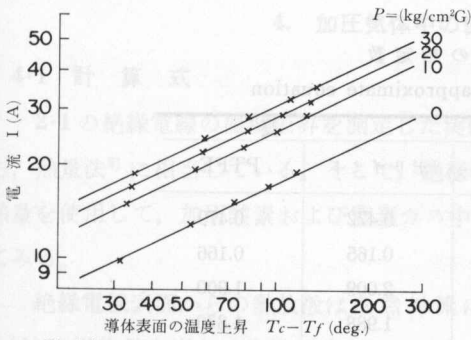
勾配 A は絶縁物により異なるが気圧によらず一定となり、(6) 式は

$$I = bT_{cf}^A \tag{7}$$

と書ける。 b は絶縁物と気圧により変化して、この b と水銀柱目盛に換算した気圧 (P_{Hg}) との関係を一対数目盛にとってみると、それぞれ図 4, 図 6 および図 8 のようにガスの種類ごとに直線となり、絶縁物ごとに平行となる。この関係は次式のように書ける。



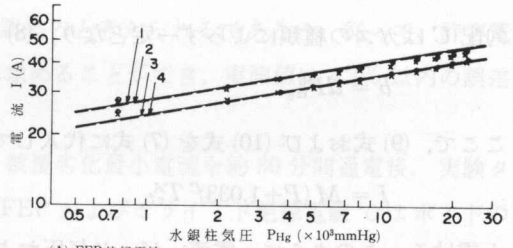
(A) 酸素ガス中



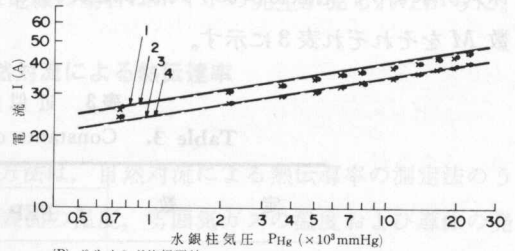
(B) 窒素ガス中

図 7 PTFE 絶縁電線の各種压力下における
導体表面の温度上昇と電流との関係

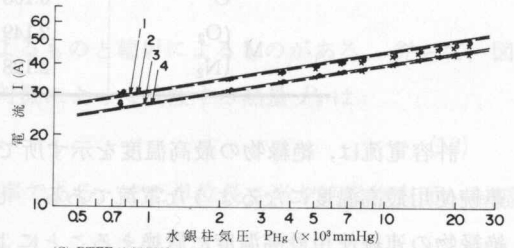
Fig. 7. Temperature rise on the conductor of PTFE insulated wire as a function of current with various pressures.



(A) FEP 絶縁電線



(B) ポリイミド絶縁電線



(C) PTFE 絶縁電線

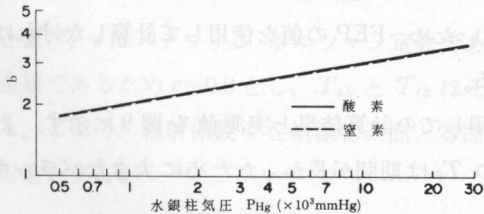


図 8 PTFE 絶縁電線の係数 b と気圧との関係
Fig. 8. Factor b of PTFE insulated wire as a function of pressure.

—●—: 酸素
—×—: 窒素
●, ×: 実験値

1, 2: 被覆劣化最小電流の近似式による直線
3, 4: 許容電流の近似式による直線

図 9 試料電線の許容電流と
被覆劣化最小電流

Fig. 9. Current ratings and minimum thermal damaging currents of sample wires.

$$\log b = C \log P_{\text{Hg}} + \log d \quad (8)$$

$$P_{\text{Hg}} = 760 \left(1 + \frac{P}{1.033} \right) \quad (9)$$

ただし, C ; 勾配

P_{Hg} ; 水銀柱気圧 (mmHg)

d ; 絶縁物, ガスの種類などの関数で電線の断面積ごとに一定とみなせる。

P ; ゲージ気圧 ($\text{kg}/\text{cm}^2 \text{G.}$)

勾配 C はガスの種類によらず一定となり, (8) 式は次のように書ける。

$$b = d P_{\text{Hg}}^C \quad (10)$$

ここで, (9) 式および (10) 式を (7) 式に代入して, $M = d (760/1.033)^C$ とおくと,

$$I = M (P + 1.033)^C T_{cf}^A \quad (11)$$

と書ける。このように, 電流, ゲージ気圧および導体表面の温度上昇の3つの物理量の間の関係式が求まり, 絶縁物により異なる定数 A と C , および絶縁物とガスの種類により異なる定数 M をそれぞれ表3に示す。

表3 近似式の諸定数

Table 3. Constants of approximate equation

定数	材 質			
	FEP	ポリイミド	PTFE	
A	0.460	0.472	0.479	
C	0.168	0.165	0.166	
M	O_2	2.149	2.009	1.900
	N_2	2.128	1.988	1.870

許容電流は, 絶縁物の最高温度を示す所である導体と絶縁物との接合面の温度が絶縁物の連続使用最高温度になるような電流である。したがって, (11) 式で T_c を表1に示すような各絶縁物の連続使用最高温度に置換えることにより, 所定の気圧における雰囲気ガス温度に相当した許容電流を求めることができる。ただし, ポリイミド絶縁電線の場合は, その構造上, 連続使用最高温度がポリイミドより FEP の方が低いため, FEP の値を使用して計算しなければならない。このことは, 実測の場合も同じである。

各絶縁電線の許容電流に関する (11) 式を使用しての計算結果と実測値を図9に示す。計算に際しては $T_f = 25^\circ\text{C}$ として行ない, 実測時の T_f は期間が長かったために大きなバラッキが在り平均 23°C ぐらいであった。

図9より明らかなように, 各絶縁電線とも計算結果と実測値が一致している。

被覆劣化最小電流の場合, 2・1に述べたように, (11) 式において T_c を各絶縁物の融点

に置換えることにより、所定の気圧における雰囲気ガス温度に相当したものを求めることができる。このようにして求めた被覆劣化最小電流の計算結果と実測値を図9に示す。この場合も、 $T_f=25^{\circ}\text{C}$ として計算し、実測時の T_f は平均 23°C であった。計算結果はFEP、ポリイミドおよびPTFE絶縁電線でそれぞれ約2.8, 4.3, 3.1%程度実測値より大きな値を示しているがほぼ一致しているとみなしてよいと思われる。

図9より、許容電流の大気圧近辺および被覆劣化最小電流における計算結果と実測値との差は、実測時に導体表面温度の設定に $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の範囲を設けたこと、電線の製造過程における不均一性および測定器類の誤差などにより、実験誤差内と考えられるであろう。従って、許容電流および被覆劣化最小電流は(11)式を使用して求めることができ、実測値は4.3%以内の誤差内で求まり十分実用に供するであろう。

過電流通電後の被覆観察を行なうために、被覆劣化最小電流を約30分間通電後、実験タンクから試料電線を取り出し観察したところ、FEPおよびポリイミド絶縁電線ではボイドの発生が認められ、さらにこれらの電線に過電流を流すとボイドが生長して大きくなる。このような傾向は気圧に関係なく起った。PTFE絶縁電線の場合はボイドの発生が見られなかった。

4. 加圧気体中の自然対流による熱伝達率

4.1 計算式

2.1の絶縁電線の温度上昇を測定した実験方法は、自然対流による熱伝導率の測定法のうち、熱量法⁵⁾に相当している。そこで、絶縁物表面の温度、雰囲気ガスの温度および導体の発熱量を使用して、加圧酸素および窒素ガス中における自然対流による熱伝導率について考えてみる。

絶縁電線表面からの熱放散は自然対流によるものと輻射によるものがある。従って、図2-(A)で単位長さ当りの絶縁電線表面から自然対流によって放散する熱量 P_c は

$$P_c = 2\pi r_2 h (T_s - T_f) \quad (12)$$

と書きあらわされ、 h は自然対流による熱伝導率である。また単位長さ当り絶縁物表面から輻射によって放散する熱量 P_r は

$$P_r = 2\pi r_2 s e (T_{sk}^4 - T_{fk}^4) \quad (13)$$

と書け、 s はステファン・ボルツマン定数であり、 e は絶縁物表面の輻射能であって絶縁物が非金属材料であるため $e=0.9$ とし、 T_{sk} と T_{fk} はそれぞれ絶縁物表面と雰囲気ガスの絶対温度である。ここで、輻射係数 γ を絶縁物表面と雰囲気ガスの単位温度差に対する単位面積当りの輻射量とすると

$$\gamma = \frac{se(T_{sk}^4 - T_{fk}^4)}{T_s - T_f} \quad (14)$$

となるから、(13)式は次式のように書き直すことができる。

$$P_r = 2\pi r_2 \gamma (T_s - T_f) \quad (15)$$

従って、単位長さ当りの絶縁電線表面から放散する全熱量 P は

$$P = P_c + P_r = 2\pi r_2 (h + \gamma) (T_s - T_f) \quad (16)$$

となる。定常状態では、導体で発生した全熱量は被覆の絶縁物を通して放散するから、(16)式の P は単位長さ当りの導体での発熱量 Q に等しい。従って、(16)式より自然対流による熱伝達率 h は次のように求まる。

$$h = \frac{Q}{2\pi r_2 (T_s - T_f)} - \gamma \quad (17)$$

4.2 実験結果および考察

(17)式により求めた3種類の試料電線に関する熱伝達率と絶縁物表面の温度上昇との関係を、ゲージ気圧をパラメータに図示すると図10-IIおよびIIIのようになる。絶縁物の種類とガスの種類によってそれぞれ少し異なるが、気圧の変化に対しては大きく変わり、特に0~10 kg/cm²G.の間ではその変化も大きい。大気圧下における値は大気圧空気の自然対流による熱伝達率の値が0.35~2.33×10⁻³ (W/cm²·deg)⁵⁾というオーダーに一致しているため、熱伝達率を求める本実験は妥当であったと思われる。

各図より明らかなように、片対数目盛のグラフ上で、気圧ごとに測定点はほぼ直線となり、その直線はガスの種類と絶縁物が同一なら互に平行となる。このことは気圧ごとに熱伝達率が絶縁物表面の温度上昇の関数として次のように書ける。

$$\log h = \delta T_{sf} + B \quad (18)$$

ただし、 h ; 自然対流による熱伝達率 (×10⁻³ W·cm⁻²·deg⁻¹)

δ ; 勾配

$T_{sf} = T_s - T_f$; 絶縁物表面の温度上昇 (deg)

T_s ; 絶縁物表面の温度 (°C)

B ; 絶縁物、ガスの種類、電線径および気圧などの関数

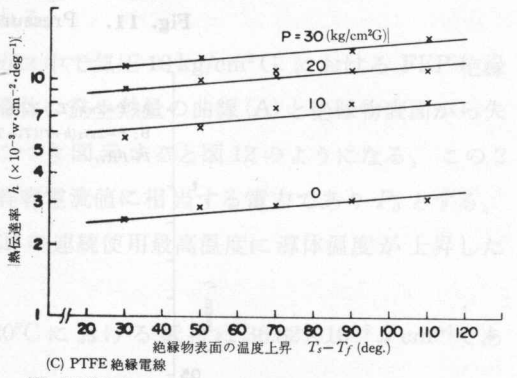
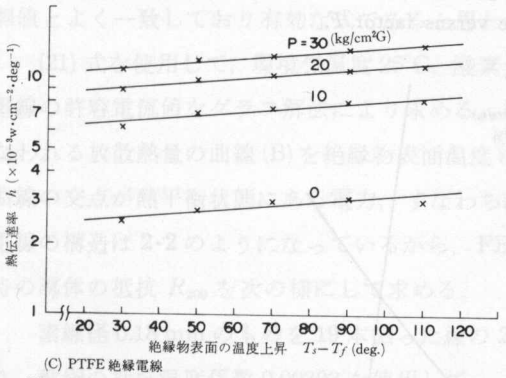
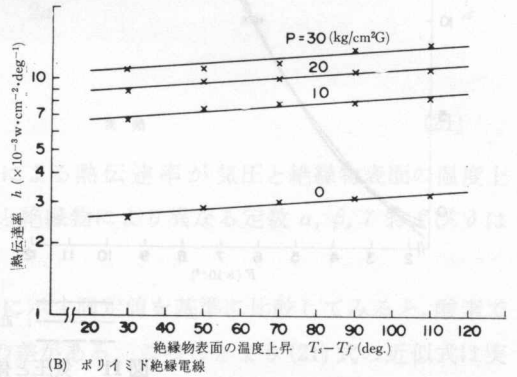
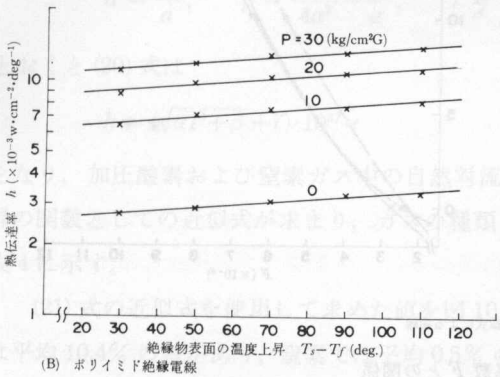
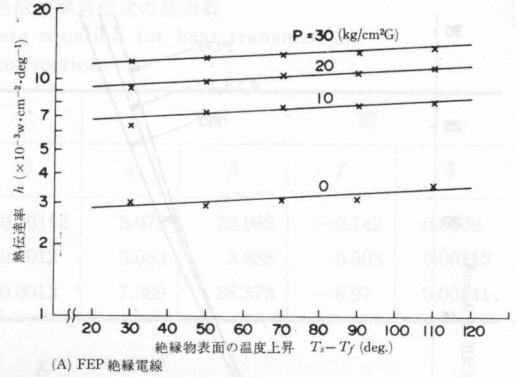
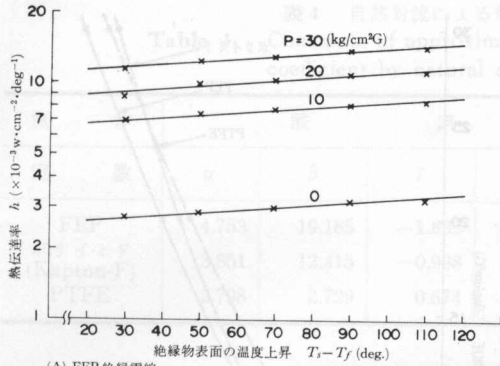
勾配 δ は絶縁物およびガスの種類により異なるが気圧によらず一定となるから (18)式は

$$h = 10^B \cdot 10^{\delta T_{sf}}$$

となり、 $F = 10^B$ とおくと

$$h = F \cdot 10^{\delta T_{sf}} \quad (19)$$

と書ける。この F は気圧の関数であって、図11のプロットした点のように、ガスの種類と絶縁物によって変わってくる。この図で、 F とゲージ気圧 P との関係を二次関数で近似したのがそれぞれの曲線であり、プロットした点とよく一致している。この二次曲線は次式のように書ける。



[I] 加圧酸素ガス中

[II] 加圧窒素ガス中

図 10 自然対流による熱伝達率と絶縁物表面の温度上昇との関係

Fig. 10. Heat transmission coefficient by natural convection as a function of the temperature rise on the insulator.

$$P = aF^2 + bF + c$$

これを F について整理して (19) 式に代入すると

$$h = \left\{ \left(\frac{P}{a} - \frac{c}{a} + \frac{b^2}{4a^2} \right)^{1/2} - \frac{b}{2a} \right\} \cdot 10^3 T_s f \quad (20)$$

となる。ここで

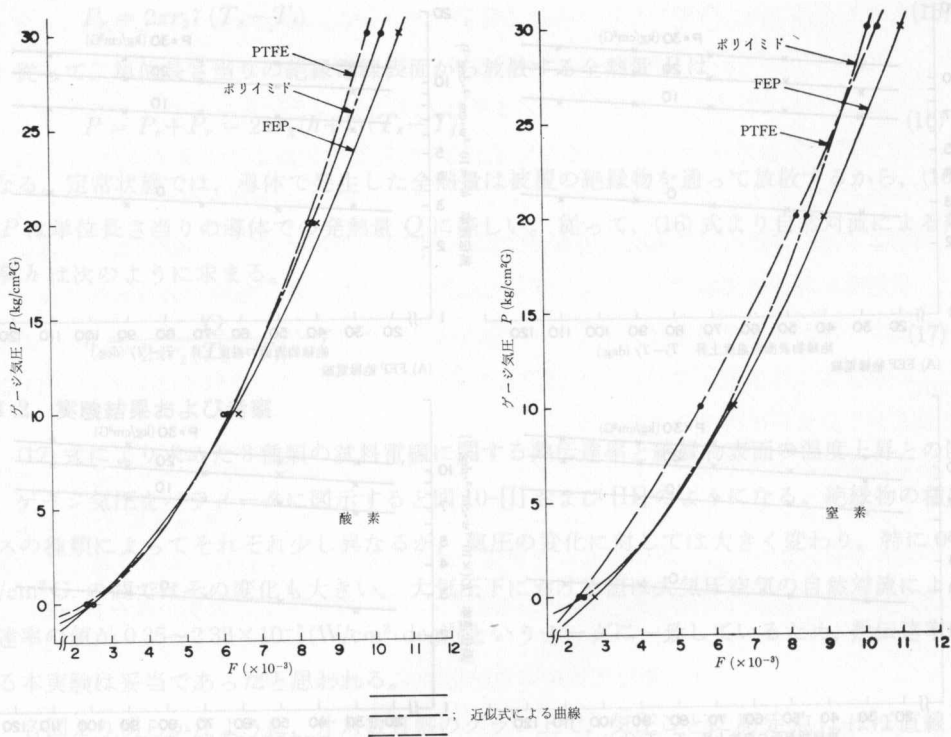


図 11 気圧と係数 F との関係
 Fig. 11. Pressure versus factor F .

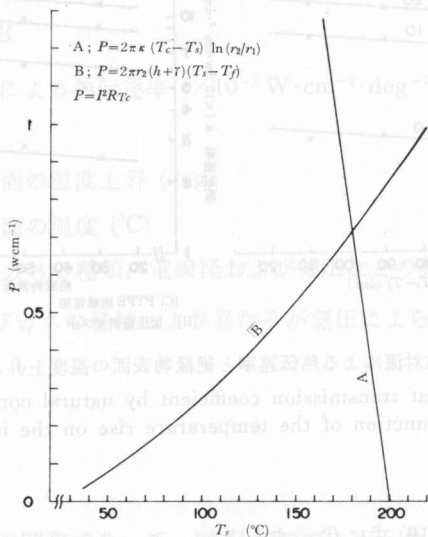


図 12 許容電流値を決定するグラフ解法。電線単位長の消費電力 P と絶縁物表面温度 T_s との関係
 Fig. 12. Illustration of graphical method for determining current rating. Watts dissipated by unit length of wire, P , versus insulator surface temperature, T_s .

表4 自然対流による熱伝達率近似式の諸定数
Table 4. Constants of approximate equation for heat transmission coefficient by natural convection

気 体 定 数	酸 素				空 素			
	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
FEP	4.753	19.185	-1.892	0.00112	5.072	23.962	-2.142	0.0009
ポリイミド (Kapton-F)	3.851	12.415	-0.998	0.0012	3.033	3.888	0.503	0.00115
PTFE	2.798	2.729	0.674	0.0013	7.289	86.373	-6.97	0.00141

$$\alpha = \frac{1}{a}, \quad \beta = \frac{b^2}{4a^2} - \frac{c}{a}, \quad \gamma = -\frac{b}{2a}$$

とおくと (20) 式は

$$h = (\sqrt{\alpha P + \beta} + \gamma) \cdot 10^{\delta T_{sf}} \tag{21}$$

となり、加圧酸素および窒素ガス中の自然対流による熱伝達率が気圧と絶縁物表面の温度上昇の関数としての近似式が求まり、ガスの種類と絶縁物により異なる定数 α, β, γ および δ は表4に示す。

(21) 式の近似式を使用して求めた値を図10に示す測定値を基準に比較してみると、酸素では平均10.4%の差があり、窒素では平均0.5%の差がある。このことより(21)式の近似式は実測値とよく一致しており有効な式であると思われる。

(21) 式を使用して、環境気温度25°C、酸素ガス中で気圧10 kg/cm²G.におけるFEP絶縁電線の許容電流値をグラフ解法により求める。導体の発生熱量の曲線(A)と絶縁物表面から失なわれる放散熱量の曲線(B)を絶縁物表面温度につき図示すると図12のようになる。この2曲線の交点が熱平衡状態にある電力、すなわち許容電流値に相当する電力であり P_0 とする。電線の構造は2・2のようにになっているから、FEPの連続使用最高温度に導体温度が上昇した時の導体の抵抗 R_{200} を次の様にして求める。

素線径0.18 mmのものを19本撚った線の20°Cにおける抵抗は $36.82 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}^{-1}$ であり、軟銅の抵抗温度係数0.00393を使用して、

$$R_{200} = 36.82 \times 10^{-5} \left\{ 1 + 0.00393 (200 - 20) \right\} = 6.287 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}^{-1}$$

となる。

この R_{200} と P_0 より許容電流 I_0 は

$$I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{R_{200}}}$$

となる。ここで $P_0 = 0.715$, $R_{200} = 6.287 \times 10^{-4}$ を代入すると $I_0 = 33.72$ (A) と求まる。これらの場合と同じ条件で(11)式の近似式より許容電流を求めると $I_0 = 34.61$ (A) となり、その差は近

式で求めた値を基準にすると 2.57% である。従って (21) 式で求まる h は妥当であると思われる。

5. 緒 言

人工環境としての酸素および窒素ガス中における 3 種類の耐熱・難燃性絶縁電線の温度上昇特性を求め、これより許容電流および被覆劣化最小電流を求める近似式を導出し、この実験式より求めた値と実測値とを検討した。また、自然対流による熱伝達率を気圧と絶縁物表面の温度上昇による近似式として求めた。これら本研究の結果より次のことが明らかとなった。

(1) 3 種類の絶縁電線とも電流、気圧および導体表面の温度上昇の関係式は

$$I = M(P+1.033)^c (T_c - T_f)^A$$

と書ける。この式で、 T_c を絶縁物の連続使用最高温度および融点とおくことにより、所定の気圧における環境気温度に相当した許容電流および被覆劣化最小電流をそれぞれ求めることができる。

(2) 許容電流および被覆劣化最小電流とも、酸素ガス中における値の方が窒素ガス中における値よりもわずかに大きいのは、酸素ガスの熱伝導率の方が窒素ガスのそれよりもわずかに大きいことによるものと思われる。

(3) FEP およびポリイミド絶縁電線ではボイドの発生が見られたが、PTFE 絶縁電線では見られなかった。

(4) 自然対流による熱伝達率を 3 種類の絶縁電線について求めてみると、気圧および絶縁物表面の温度上昇との関係として (15) 式のように書ける。

今回は、同一の導体断面積と被覆厚さを持つ 3 種類の電線について研究を行なったが、今後の問題としては、断面積が変ることによる温度上昇特性の変化、および海洋開発の進展に伴なって使用量が多くなって来たヘリウムガス環境気等に関する研究がある。

終りに、本研究を進めるに当り御協力下さった潤工社の杉淵洋幸氏に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 1) 駒宮, 田中: 産業安全研究所技術資料. RIIS-TN-70-1 (1970).
- 2) 駒宮: 産業安全研究所安全資料. RIIS-SD-72-1 (1973).
- 3) 潤工社: 潤工社電線ハンドブック (1972).
- 4) 富沢, 今井: 電気試験所彙報 32 卷 11 号 (1968).
- 5) 沢田: 実験物理学講座 12 “温度と熱”, 共立出版 (1970).