UDC 621.315.616.9.015.5: 537.527

論 文

47-A 60

高気圧ガス中の部分放電劣化 (平行平板法による研究)

東京大学 鳳 誠三郎
 東京大学 河野 照哉
 中央大学 高橋 雄造
 古河電気工業株式会社 岩田 善輔

1. ま え が き

近年、電力技術における革新の一つとして高ガス圧絶縁が実用に供されるようになったが、高気圧ガス中の固体絶縁材料の部分放電劣化の問題はきわめて重要であるにもかかわらず、研究が進んでいるとはいえない。

筆者らの一人、高橋はすでにこの分野の研究の方向を整理するとともに、集中法電極による実験結果を報告した。⁽¹⁾ 本論文では平行平板法による実験について報告する。平行平板法では劣化破壊寿命が得られないが、試料が広い面積にわたって均一劣化するので、劣化過程の物理的・化学的研究に好つてである。

2. 実験条件

実験電極は IEC 平行平板形電極を改良して用いた。(第1図) 改良点はスプリアな浴面放電を小さくすべく、電極板のかどを丸めてアラルダイトでおおったことである。IEC 平行平板形電極では、放電にさらされる直接試料のほかに放電分解ガスにのみさらされる間接試料の劣化も調べられる。この電極による大気圧空気中の実験はすでに広く行なわれており、このうち絶縁材料コロナ劣化専門委員会の報告⁽²⁾を以下「技術

第1図 IEC 平行平板形電極の改良形

Fig. 1. Improved IEC parallel-plate type electrode system.

報告」として引用する。試料は 0.05 mm 厚の中圧法ポリエチレンフィルムで、これは絶縁材料コロナ劣化専門委員会の標準試料である。⁽²⁾ ガスは空気と SF₆ を用いた。SF₆ はその分解ガスがガラスを侵すので IEC 平行平板形電極での劣化実験には適さないが、ここでは空気を標準ガスとし、SF₆ は参考ガスとして実験した。実験容器は容積 16 l のアクリル円筒製容器⁽¹⁾である。

実験回路は第2図のとおりで、検出インピーダンスはリサージュ測定時には 0.1 μF × 5 MΩ、パルス測定時には 0.001 μF × 10 kΩ を用いた。印加電圧の周波数は 50 Hz である。

実験手順は技術報告にはほぼ準拠した。ただし、乾燥吸収剤は活性アルミナ約 180 g を実験容器の中に入れた。ガスはボンベガスをを用い乾燥には万全を期した。

Partial Discharge in Compressed Gases and Deterioration of Plastics by the Partial Discharge. (Research by Parallel-plate Type Electrode System). By S. HOH, Member, T. KOUNO, Member (Faculty of Engineering, University of Tokyo), Y. TAKAHASHI, Member (Faculty of Science and Engineering, Chuo University) & Z. IWATA, Member (The Furukawa Electric Co., Ltd.).

鳳 誠三郎: 正員, 東京大学工学部電気工学科

河野照哉: 正員, 東京大学工学部電気工学科

高橋雄造: 正員, 中央大学理工学部電気工学科

岩田善輔: 正員, 古河電気工業株式会社研究部

第 2 図 実験回路

Fig. 2. Experimental circuit.

劣化試験の電圧印加時間は、いわゆる単数・断続印加法⁽²⁾である。

3. 放電特性

劣化実験を行なうためにも、まず高気圧ガス中の部分放電自体のふるまいを知る必要がある。

〈3・1〉 放電電荷量・放電エネルギー・放電開始電圧

ポリエチレン試料を入れたときの半サイクルあたりの放電電荷量 q_r 、と 1 サイクルあたりの放電エネルギー u の印加電圧 V による変化を第 3 図に示す。これはオシロスコプの横軸・縦軸に第 2 図の電圧端子・検出端子をおおのつないでリサージュ図形から測定⁽²⁾したものである。第 3 図で実線が q_r 、破線が u である。

第 3 図の立上り点の V が外そう放電開始電圧 V_{s1} になる。 V_{s1} をゲージ気圧 G に対してプロットすると、第 4 図のように気圧増大につれて直線増加する。 V を kV_{rms} 、 G を $kg/cm^2 \cdot g$ で表わすと、空気では $G=0 \sim 5$ 、 SF_6 で $G=0 \sim 3$ の範囲で実験式

$$V_{s1} = 2.35G + 3.75 \text{ (空気)} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{s1} = 7.5G + 9.0 \text{ (SF}_6\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

第 3 図 放電電荷量・放電エネルギーの気圧・印加電圧による変化(ポリエチレン試料)

Fig. 3. Change of charge and energy of the discharge with gas pressure and applied voltage. (PE sample)

第 4 図 放電開始電圧の気圧による変化(ポリエチレン試料)

Fig. 4. Change of inception voltage with gas pressure. (PE sample)

が得られる。 SF_6 では空気の約 3 倍の V_{s1} になる。電極の等価回路を第 3 図中に示すように、ガラス層の静電容量 C_g とギャップ層の静電容量 C_d で表わすと、

$$q_r = 2(V - V_{s2})C_d \dots\dots\dots (3)$$

$$u = \{2C_d / (C_d + C_g)\} V_{s2} q_r \dots\dots\dots (4)$$

となる。⁽²⁾ ただし、 V_{s2} はリサージュ図形から求めたリサージュ放電開始電圧で、一般に V_{s1} よりやや小さい。第 3 図で q_r のこう配はガスの種類・気圧によらずほぼ一定であるが、 u のこう配は気圧増大につれて直線増加する。これらの特性は (3)、(4) 式から説明できる。

〈3・2〉 放電パルス 電流波形上の空気中の放電

パルスの大きさを第 5 図に示す。負パルス(テレックスガラス陰極)は正パルス(ポリエチレン陰極)よりずっと大きい。負パルスは気圧増大につれて小さくなる。

第 5 図 空気中の放電パルスの気圧による変化(ポリエチレン試料)

Fig. 5. Change of discharge pulses with air pressure. (PE sample)

り個数が増す。負パルスの大きさは同一気圧では印加電圧 V の増大につれてやや大きくなる。正パルスの大きさは気圧・電圧によってあまり変化しない。パルス数は低気圧では正のほうが多い。

ポリエチレン試料を入れない場合の放電パルスは正負とも第5図の負パルスとほぼ同じである。したがって、放電パルスの極性効果は陰極材料で決まると思われる。

〈3・3〉 放電形態 集中法電極では高気圧で著しく大きい樹枝状沿面放電が生じるが、平行平板形電極での放電形態は気圧・電圧のいかんによらず同じで、集中法電極における低気圧の「グロー状放電」⁽¹⁾ に対応するものと思われる。肉眼にはギャップ間が青白くグロー状に光って見える。光の色は高気圧になるとやや赤味をおびる。高気圧でも放電形態が変化しないのは、ギャップに直列に隔壁があるからであろう。

4. 劣化試験

平行平板形電極では高気圧でも放電形態が変化しないので、劣化試験では放電形態が同じで気圧が変化するとき劣化の様相がどうなるかが興味の中心となる。

〈4・1〉 印加電圧の決定 高気圧になると放電開始電圧 V_s が大きくなるので印加電圧 V も大きくしなければならないが、 V の決定に何らかの一貫性がなければ劣化試験結果を各気圧について比較することができない。気圧によらない不変量として、(i) V/V_{s1} 、(ii) q_r 、(iii) u をとることが考えられ、これらによる印加電圧の決定・放電条件をおのおの V/V_s 法、 q_r 法、 u 法と名づける。

一般に $V/V_{s1} \approx 2$ のとき放電は最も安定である。⁽²⁾ ここでは $V/V_{s1} = 1.8$ とした。第4図に見たように V_{s1} は絶対気圧にほぼ比例するので、 V/V_s 法の V も絶対気圧にほぼ比例する。このとき(3)、(4)式からわかるように q_r は気圧増大につれて直線増加し、 u は二次増加する。このように V/V_s 法は放電条件は一貫しており、気圧のいかんによらず放電は安定であるが、劣化試験としては高気圧になるほど加速劣化条件になる。これに対し q_r 法、 u 法は、おのおの半サイクルあたりの放電電荷量、1サイクルあたりの放電エネルギーが一定であるので、劣化条件としては一貫している。しかし、高気圧では V/V_s を小さくしなければならないので放電は不安定になりやすく、特に u 法ではこのおそれが大きい。本論文の劣化試験(空気中の V/V_s 法と q_r 法、 SF_6 中 V/V_s 法)の放電条件を第1表にまとめる。ここで q_r 法は気圧 $G = 0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ で、 V/V_s 法と同一条件になるように q_r を定めた。

第1表 劣化試験の放電条件(ポリエチレン試料)

Table 1. Discharge condition of deterioration test. (PE sample).

気圧 G (kg/cm ² ・g)			0	1	2	3.5	5
空気	V_{s1} (kV _{rms})		3.75	6	8.5	12	15.5
	V/V_{s1} 法	V (kV _{rms})	6	10.5	15	21.75	28.5
		V/V_{s1}	≈ 1.8				
		qr (10 ⁻⁷ C/半サイクル)	4	6.7	10.2	16.0	23.5
		u (mJ/サイクル)	2.5	8.0	15.4	34	59
	qr 法	V (kV _{rms})	6	8.7	11	14.5	17.5
		V/V_{s1}	1.8	1.45	1.29	1.21	1.13
		qr (10 ⁻⁷ C/半サイクル)	≈ 4				
		u (mJ/サイクル)	2.5	5.0	6.0	9.0	9.5
	SF ₆	V_{s1} (kV _{rms})		9.0	16.0	24.6	
V/V_{s1} 法		V (kV _{rms})	18.0	27.5			
		qr (10 ⁻⁷ C/半サイクル)	15.0	17.2			
		u (mJ/サイクル)	27.6	44.4			

〈4・2〉 試料はり付けの問題 一般に高気圧では印加電圧も大きく放電が激しいので、電極系が震動して試料フィルムがギャップ間に浮き上がることがあり、劣化試験結果に著しい乱れをもたらす。そこで、シリコングリース(ダウコーニング社製)で試料フィルムをテレックス隔壁にはり付けた。シリコンは部分放電に対し試料を保護する作用がある⁽³⁾ ので、グリースは試料上側についてはならない。また、残留シリコングリースが重量変化測定の際の誤差になる。 SF_6 中ではシリコングリース自体が劣化するので用いることができない。しかし、実験の結果、空気中ではシリコングリースをちり紙でふきとれば重量測定のばらつきは小さいことがわかったので、この方法によることにした。

〈4・3〉 空気中 V/V_s 法劣化試験結果

(1) 劣化重量変化 直接・間接試料の劣化重量変化 ΔW_A 、 ΔW_B を第6図に示す。試験時間 T の上限は試料の破損で制限される。気圧 $G = 0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ での特性は従来の研究⁽²⁾ とよく一致し、 ΔW_B は増加して次第に飽和し、 ΔW_A は ΔW_B と同様の飽和する増加に直接減少が重なったものである。重量増加はポリエチレンの末端ビニルが酸化されてケトン アルデヒド カルボン酸になるものであり、重量減少は放電による試料フィルムの消散の結果といわれている。⁽²⁾ $2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 以上の高気圧では ΔW_A 、 ΔW_B ともにやや飽和する増加である。 $1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ では ΔW_A に $0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ と同じような直線減少があるが減少速度は小さい。これらの様子は気圧変化につれて単調に

第 6 図 空气中 V/V_s 法劣化試験の重量変化

Fig. 6. Weight change in deterioration test in air at constant V/V_s .

変化する。図上で ΔW_A から直線減少分を取り去って飽和増加分を求めると破線のようになり、気圧による変化の単調さがわかる。以上から、間接試料では劣化過程は気圧によらず同じであると推測され、高気圧になるほど変化が速いのは放電が激しく加速条件になっているからだと思われる。直接試料については、低気圧では従来からわかっているように間接試料と同じ重量増加と試料の消散による重量減少が重なっており、高気圧では後者がほとんどなくなって前者のみになるとと思われる。

(2) 劣化試料の様子 直接試料は劣化につれて白色不透明化してやわらかくなり、高気圧では湿った感じになる。高気圧ではよれよれになることがあり、これは熱劣化のあとと思われる。これと対照的に間接試料は硬くバリバリになりやや不透明化する。間接試料でも高気圧では直接試料に隣接した部分は白くなる。これは電極板からのスプリアスな沿面放電が間接試料上に伸びて直接試料と同じ酸化劣化が起きているか、直接試料からの消散物が付着したかであろう。総じて両劣化試料とも気圧による著しい違いはなく、それぞれ同じ劣化過程が進行しているように見える。厚み変化は両劣化試料ともほとんどない。両劣化試料ともギャップ側表面は酸性反応を示し、隔壁側表面もわずかに酸性反応を示す。これはシュウ酸ができているものと思われる。

(3) 赤外吸収スペクトル変化 直接・間接試料とも赤外吸収帯の出現・消滅の様子は気圧によってほとんど変化せず、技術報告の $0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ と同じである。ただし、直接試料の高気圧では波数 $3,300 \text{ cm}^{-1}$ 付近の OH 基の吸収が大きく現われ、水分の存在を示

第 7 図 赤外吸光度の劣化経時変化 (空气中 V/V_s 法)

Fig. 7. Change of infrared absorption intensity with deterioration. (in air, $V/V_s \approx \text{const.}$)

唆している。主変化は両試料とも波数 $1,715 \text{ cm}^{-1}$ 付近のカルボニル基と $1,635 \text{ cm}^{-1}$ 付近のニトロ基である。両吸収帯とも直接試料のほうが吸光度 A が大きい。両吸収帯の吸光度の劣化経時変化は、第 7 図のようにいずれも T 対 ΔW_B 図 (第 6 図) に似て飽和する増加となり、増加量は高気圧になるほど大きい。したがって、これら吸光度の増加となる化学変化と重量増加との間に密接な関係のあることが推測される。そこで、間接試料の重量増加対赤外吸光度をみると第 8 図のようになる。カルボニル基吸光度は重量増加に対し二次的に立上り、技術報告の $0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ の場合と一致する。この特性は気圧によってはあまり変化しない。ニトロ基吸光度は気圧によらずほぼ重量増加に比例するようである。〈4・2〉節の q_r 法劣化試験でも第 8

第 8 図 間接試料の重量増加対赤外吸光度 (空气中 V/V_s 法)

Fig. 8. Infra-red absorption intensity versus weight increase of sample B. (in air, $V/V_s \approx \text{const.}$)

第 9 図 間接試料の累積放電電荷量・累積放電エネルギー対重量増加(空气中 $V/V_s \approx \text{const.}$)

Fig. 9. ΔW_B versus $q_r T$ and $u T$. (in air, $V/V_s \approx \text{const.}$)

図と同じ特性が得られた。これらから、重量増加はカルボニル基とニトロ基の生成という化学変化によって起こり、この化学変化と重量増加との量的関係は気圧によってはほとんど変化しないと思われる。

(4) 放電の電気的諸量と劣化諸量との関係

劣化機構を解明するには放電の電気的諸量と劣化諸量との関係の追及が有用である。ここでは累積放電電荷量 $q_r T$ 、累積放電エネルギー $u T$ に対する劣化重量変化 ΔW 、赤外吸光度 A をみることにする。横軸に T ではなく $q_r T$ 、 $u T$ をとることにより、気圧による違いが正規化されて縦軸にとった劣化量が気圧によらず 1 本の曲線になるかどうかを検討する。前項まで特に間接試料では劣化過程が気圧によらず同一であると推測されたが、これが 1 本の曲線になれば劣化過程が気圧によらず量的にも同じであること、すなわち単位放電電荷量あるいは単位放電エネルギーによる劣化量は気圧によらず一定であることになる。

ここでは間接試料の $q_r T \cdot u T$ 対 ΔW 、 $q_r T \cdot u T$ 対 A をおのおの第 9 図、第 10 図に示す。直接試料については紙面がないので省略するが、別論文⁽⁴⁾を参照されたい。これらにみるように、 $q_r T$ 対 ΔW_B の立上り部分、 $u T$ 対 ΔW_B は気圧によらず 1 本の曲線に近い。 $q_r T$ 対 A はカルボニル基では 1 本の曲線になる傾向があるが、ニトロ基ではやや乱れている。 $u T$ 対 A はカルボニル基では高気圧になるほど A が小さくなっており、ニトロ基では気圧による変化が単調でない。

以上から、あまりはっきりした結論は下すことはできない。強いていえば、間接試料の劣化量が $q_r T$ あるいは $u T$ によって決まるかもしれないことである。 $q_r T$ と $u T$ のどちらによって決まるかは、 $q_r T$ 対 ΔW_B 、 $u T$ 対 A が乱れているので決め難い。劣化が試料表面で進行し飽和することを考えれば、劣化量の

第 10 図 間接試料の累積放電電荷量・累積放電エネルギー対赤外吸光度(空气中 $V/V_s \approx \text{const.}$)

Fig. 10. Infra-red absorption intensity of sample B versus $q_r T$ and $u T$. (in air, $V/V_s \approx \text{const.}$)

立上り部分だけに着目して $q_r T$ の役割を考えるのが適当かもしれない。本論文の実験結果からは多少とも一般性のある結論は下せず、なお今後の研究が必要であるが、筆者としては劣化量が $q_r T$ と $u T$ のどちらかによって決まると予想している。

〈4.4〉 空气中 q_r 法劣化試験結果

q_r 法では高気圧になると V/V_s が小さくなり放電が不安定である。そこで、実験回路の検出端子(検出インピーダンスは $0.1 \mu F \times 5 \text{ M}\Omega$)に表われるひずみ波交流の実効値を一定に保つような印加電圧自動調整装置⁽⁵⁾を用いた。劣化重量変化を第 11 図に示す。この場合、試料は取り付けを行なわなかったので結果にやや乱れが見られる。 ΔW_B は気圧によらずほぼ同じ曲線になる。これから $q_r T$ により劣化量が決まると推論することもできる。 ΔW_A は $1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 以上では重量減少が現われにくくなり、〈4.3〉節の結果と一致する。

劣化試料の様子は〈4.3〉節とほぼ同じで、直接試料

第 11 図 空气中 q_r 法劣化試験の重量変化
Fig. 11. Weight change in deterioration test in air at constant q_r .

と間接試料とでは対照的变化を示すが、両試料とも気圧による違いは少ない。赤外吸収スペクトル変化の模様も〈4・3〉節とほぼ同様である。

以上のように、 q_r 法による劣化試験結果は V/V_0 法劣化試験の結論をよく裏づけている。

〈4・5〉 空気中の劣化機構と気圧との関係 以上のように、高気圧では直接試料の消散がみられず、直接・間接試料とも同じような化学変化（酸化）による重量増加が支配的であることがわかった。ただし、劣化試料の肉眼で見た様子や機械的性質は両試料で著しく異なる。直接試料の劣化において高気圧で化学作用が優勢になる理由としては次のことが考えられるが、このうちどれが支配的かは判定しがたい。

(i) 低気圧では〈3・2〉節で述べたように負放電パルスが大きいため、これによる荷電粒子衝撃で試料の消散が起きるが、高気圧ではこれがない。

(ii) 高気圧では水分の存在・シュウ酸や亜硝酸の存在により試料表面が半導電性になり、放電が試料内部にはいりやすくなるので試料の消散がない。

(iii) 高気圧では放電エネルギーが大きいため、試料の温度が高くなり化学変化速度が大きくなる。

(iv) 高気圧では消散しようとする試料分子が気体分子との衝突によって表面近くにとどまるので、消散がおさえられる。

劣化量が気圧のいかにかわからず、放電電荷量あるいは放電エネルギーによって決まるかどうかは、さらに今後の検討を要する。

〈4・6〉 SF_6 中 V/V_0 法劣化試験結果

(1) 劣化重量変化 ΔW をサンプル別に第 12 図に示す。 SF_6 の放電分解生成物により電極隔壁のテレックスガラスが激しく侵され、表面がザラザラになる。特に $1\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{g}$ では印加電圧も大きいのでガラスの侵食は激しく、劣化試験中に隔壁が貫通破壊してしまい数十時間以上の電圧印加はできない。また、白色の分解生成物が隔壁ガラスに生じ試料にも付着する

第 12 図 SF_6 中劣化試験の重量変化 (直接試料)

Fig. 12. Weight change in deterioration test in SF_6 . (sample A)

ので、各取り出し時に試料は蒸留水で洗浄し、五酸化リン入りデシケータ中でじゅうぶん乾燥してから重量測定した。電極はベンゼン洗浄した。第 12 図はばらつきが大きく、気圧による違いがはっきりしない。これは試料フィルムがはり付けてないのでギャップ間に浮き上がったからか、隔壁ガラス表面の劣化変化によるのであろう。いずれにせよ、 T 対 ΔW_A は原点を通る直線になる。 ΔW_B は $0\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{g}$ でも $1\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{g}$ でもほとんど零である。これら ΔW_A , ΔW_B の特性は従来の SF_6 中 $0\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{g}$ での実験報告⁽⁶⁾⁽⁷⁾と一致する。

(2) 劣化試料の状態 直接試料の劣化は激しく長時間印加したものはよれよれになり局部的に溶けたような跡が見られる。これは熱劣化のあとと思われる、実際に電極金属板の温度を測定すると室温より 5°C 程度高い。また、劣化は一様ではなく局部的に集中し穴があくが、これは隔壁ガラスの表面状態の変化に起因すると思われる。顕微鏡による観察では表面に細かい穴が多数生じ、なかには貫通しているものもあることが認められた。(第 13 図) 間接試料は顕微鏡で見てもほとんど変化が認められなかった。

(3) 赤外吸収スペクトル変化 直接試料では赤外吸収スペクトル変化はほとんど認められないが、波数 $1,000\sim 1,100\text{cm}^{-1}$ に吸収帯が生じることがある。間接試料もほとんど変化がないが、 930cm^{-1} に鋭い吸収が現われる。これは試料に吸着・拡散した SF_6 自体の吸収である。これらの結果は従来の $0\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{g}$ での報告⁽⁶⁾と一致している。

(4) 放電の電氣的諸量と重量変化との関係 放電電荷量 q_r 、放電エネルギー u の経時変化はかなり大きい。直接試料の重量変化 ΔW_A を $q_r T \cdot u T$ に対しプロットするとはっきりした関係がある。(第 14 図) $q_r T$ 対 ΔW_A は原点を通る直線になるが、気圧

第 13 図 SF_6 中の直接試料の劣化表面状態の一例 ($G=0\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{g}$, $T=75\text{h}$)

Fig. 13. Surface of one deteriorated sample A in SF_6 .

第 14 図 SF₆ 中の累積放電電荷量・累積放電エネルギー対重量減少(直接試料)

Fig. 14. Weight loss versus $q_r T$ and $u T$ in SF₆. (Sample A)

・サンプルによってこう配は異なる。 $u T$ 対 ΔW_A は 2 乗特性に近い。一方、 $0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ では $u T$ 対 ΔW_A が原点を通る直線になるという報告もある。⁽⁷⁾ これらから劣化重量減少が q_r のみによって決まるかどうかを直ちに結論することはできないが、今後の研究方向を示すものといえよう。

(5) 電極隔壁材料について 前述のように、劣化試験で長時間電圧印加すると隔壁ガラス表面に白色物質が生じる。この物質を赤外吸収スペクトルなどから分析するとイオウではないと推定された。なお、この物質中にメチレン基が含まれている場合もあった。劣化実験中に隔壁ガラスが劣化貫通破壊することがあったが、本来、安定であることを前提とする劣化試験電極隔壁としては、ガラスは SF₆ 中では不適当である。従来の SF₆ の $0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ での研究ではガラス隔壁を使用していた⁽⁶⁾が、高気圧 SF₆ 中ではガラスは避けるべきであろう。

(6) 劣化機構の推測 以上から高気圧 SF₆ 中の直接試料の重量減少はおもに粒子衝撃による消散であると思われ、熱劣化もきいていると思われる。SF₆ の放電分解生成物などによる試料の化学変化はないようである。これらは従来の $0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ での報告⁽⁶⁾と一致している。

5. 劣化試験法としての検討

IEC 平行平板形電極を高気圧ガス中の劣化試験に用いるとき次のような欠点がある。まず、電極板端部で電界集中によりスプリアな沿面放電が起き、放電電荷量や放電パルスの測定に誤差を生じる。さらに、この沿面放電などの端効果により試料フィルム端部が不均一劣化し破損する。この欠点はガードリングを設けることなどにより多少は改善されるだろうが、平行平板形電極では避けられない欠点である。そこで、印加電圧をあまり大きくしないで使用するほかない。さらに、高気圧ガス中では放電エネルギーが大きいので試

料の熱劣化のおそれがある。試料フィルムの浮き上がりはシリコングリースはり付けで解決できる。結局、空気中では $5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 程度までの高気圧では使用できる。

SF₆ 中では隔壁材料に問題があり、試料フィルムはり付けにシリコングリースを用いることはできない。印加電圧が大きいことも難点である。SF₆ 以外のフッ化ガスについても同様のことがいえよう。隔壁材料にポリカーボネートなどのプラスチックを用いることも考えられるが、プラスチックも一般に SF₆ 中で部分放電に強いとはいえない⁽⁴⁾ので、根本的解決にはならない。そこで、試料フィルム自身に隔壁材料を兼ねさせる方法⁽⁸⁾が良いと思われる。

6. む す び

本論文の結論の多くはすでに〈4・5〉節、〈4・6〉節の(6)項および第 5 章にまとめた。

本論文の成果を列挙すると次のとおりである。

(1) IEC 平行平板形電極における高気圧ガス中の部分放電の特性がわかった。放電形態は気圧によらず同じである。空気中では気圧増大につれて負放電パルスが小さくなることがわかった。

(2) 高気圧空気中の劣化では化学作用が優勢であることがわかった。高気圧 SF₆ 中では劣化は粒子衝撃作用によると思われる。

(3) 放電の電氣的諸量と劣化諸量との間に簡単な関係があるかどうかはなお研究を要する。

(4) 高気圧空気中では IEC 平行平板形電極が劣化試験電極として使えることがわかった。

本論文の研究は、東京大学において高橋・岩田が鳳・河野ならびに宅間 董講師(現、電力中研)のご指導の下に行なったものである。東京大学 鳳・河野研究室の福島昭蔵氏、土田利雄氏、千葉政邦氏からは多大のご援助をいただいた。ここに心から感謝する次第である。(昭和 47 年 4 月 3 日受付)

文 献

- (1) 高橋：電学誌 91, 760 (昭 46-4)
- (2) 絶縁材料コロナ劣化専門委員会：電気学会技術報告(1部)74 号(昭 41)
- (3) 関井・鳳：電学誌 85, 1720 (昭 40-10)
- (4) 鳳・河野・福島・高橋：昭 47 電気学会全大 193
- (5) 鳳・河野・高橋：昭 43 電気学会東京支部大会 100
- (6) 鳳・河野・宅間・岳田：昭 41 電気四学会連大 332
坂本・金指・愛谷：昭 43 電気四学会連大 227
宅間：電学誌 88, 1903 (昭 43-10)
- (7) 三谷・加藤・窪田：昭 44 電気四学会連大 260
- (8) 宅間：電学誌 84, 1826 (昭 39-11)