

# 高圧交流ガス負荷開閉器

## Gas Insulated AC Load Break Switch for 6.6kV

馬淵 秀夫<sup>\*</sup>  
Hideo Mabuchi

Gas insulated device lend themselves well to miniaturization and are finding increased use in industry. This is especially true for the field of AC load break switch for 6.6kV, in which SF<sub>6</sub> gas insulated break switches are rapidly gaining a popularity comparable to that for air break switches and vacuum break switches.

We have been conducting extensive research on SF<sub>6</sub> gas properties and, by combining the results of this research with our break switch manufacturing technology accumulated over the year, have successfully developed a 6.6kV gas insulated AC load break switch.

This gas insulated load break switch utilizes SF<sub>6</sub>, a chemically and thermally stable, nonflammable gas with excellent arc extinguishing properties. However, SF<sub>6</sub> gas also has characteristics unseen in other gases with regard to the degree of influence of wave form or steepness of applied voltage in non-uniform electric field. Furthermore, additional care is required to handle fluorine compounds formed upon gas decomposition.

Development work for the gas insulated load break switch centered around numerous investigations concerning such items as gas leak countermeasures, ease of manual operation, contact section design, an indicator and a locking device at expected low pressure, and a pressure release valve.

## 1 まえがき

近時、機器の小形化、信頼性の向上、保守の省力化のため電力機器のガス絶縁化は急速に進んでおり、高圧負荷開閉器においても日本工業規格 (JIS C 4605-1987) によると、消弧媒質による種類は①気中 (A)、②真空 (V)、③ガス (G) に分類され、爆発の危険性がある油開閉器は、ほとんど使用されなくなったため削除されている。負荷開閉器といえば油開閉器を思い出すオールドファンには昔日の感を覚えると共に、時代の大きな流れを感じる。

当社は、開閉器メーカーとして、気中負荷開閉器及び真空負荷開閉器の生産を行ってきたが、市場ニーズに応えるべく、特に設置場所の制限を受けるとき、あるいは信頼性を強く要求されるときなどに使用することを目的としたガス負荷開閉器を新たに開発した。その概要について紹介する。

## 2 負荷開閉器の消弧作用とSF<sub>6</sub>ガスの性能

### 2.1 負荷開閉器の消弧作用

気中、真空、ガスを消弧媒質とした負荷開閉器の消弧作用について簡単に述べると、それぞれ次のような特長を有している。

#### (1) 気中負荷開閉器

ポリアセタール樹脂、ユリア樹脂等で作られた細隙消弧室内で負荷電流を開閉し、その時発生する消弧性ガスでアークを消滅させる。

#### (2) 真空負荷開閉器

真空中ではアークによって発生した金属蒸気、電子、イオンが速やかに拡散し、絶縁回復が著しいため、電流遮断後の回路の過渡回復電圧を上廻り、アークを消滅させる。

#### (3) ガス負荷開閉器

六ふつ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) ガスの優れた消弧性能により、またはSF<sub>6</sub>ガスをアークに吹付けて消滅させる。

### 2.2 SF<sub>6</sub>ガスの性能

SF<sub>6</sub>ガスはS原子を中心とした完全な対称性をもった正八面体をしている。S原子とF原子は共有結合で結ばれている上、Fの電気陰性度がSに較べて著しく大きいためイオン性結合も加味されるので、両者の共鳴効果によってより強固な結合となっている。従って、熱的にも化学的にも非常に安定な特性を示す。ガス負荷開閉器の絶縁媒体として使用するSF<sub>6</sub>ガスの特長をあげると次の通りである。

#### ① 絶縁耐力に優れている。

SF<sub>6</sub>ガスは空気に対し3倍以上の絶縁耐力があり、ガス圧力を高めることにより絶縁油相当の絶縁耐力

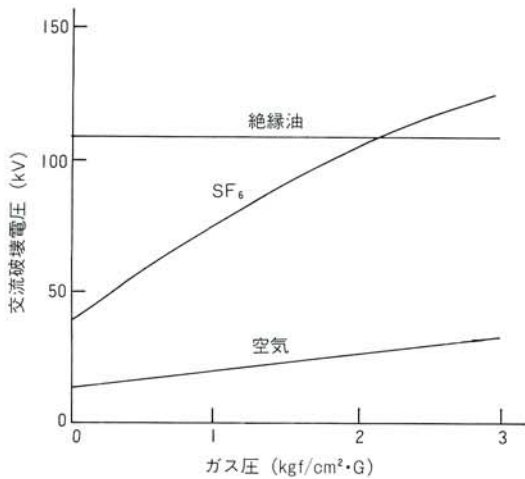


図1 / ガス圧と絶縁耐力

Fig. 1/SF<sub>6</sub> gas pressure and AC break down voltage

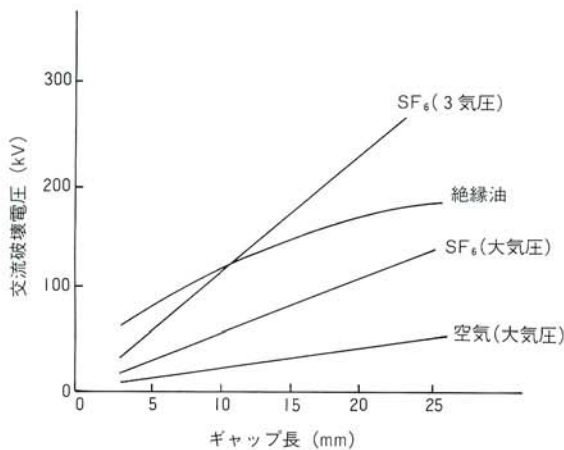


図2 / ギャップ長と絶縁耐力

Fig. 2/Gap length and AC break down voltage

が得られる (図1、図2) <sup>(1)</sup>。

② アークに対して高い消弧性能を持っている。

SF<sub>6</sub>ガスは2000°Kを超えると熱伝導率が急増すること、及び電気的負性ガスとして電子付着作用が著しく、衝突電離係数 $\alpha$ =電子付着係数 $\eta$ となる電界強度は図3<sup>(1)</sup>に示すように、空気の3倍以上である。遮断の成功、不成功をガスの熱放散エネルギーの大小から眺めると、熱放散エネルギーの面からも優れた消弧性能を発揮する。

③ 冷却性能に優れている。

熱容量が大きく動粘性係数が小さいので、冷却特性が良く機器のエネルギー損失を少なくする(表1)。

④ 化学的熱的に安定な不活性、不燃性、無色、無臭、無毒ガスである。

SF<sub>6</sub>ガスは、空気中の稀有ガスと同程度の不活性及び安定性を持ち、熱的安定性も無触媒の状態では500°C程度迄加熱しても全く分解せず、また、100°C加熱を

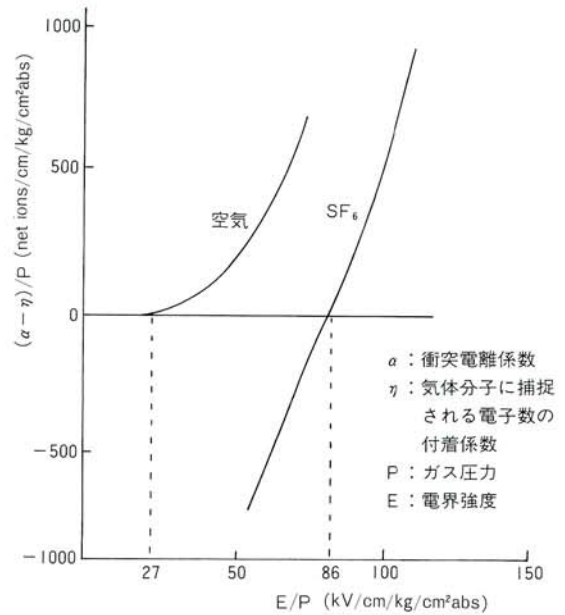


図3 / SF<sub>6</sub>ガスと空気の消弧性能

Fig. 3/Comparison of arc extinguish property between SF<sub>6</sub> gas and air

表1 / SF<sub>6</sub>ガスの物理的性質

Tab. 1/Physical characteristic of SF<sub>6</sub> gas

	比熱 cal/g°C	密度 g/ℓ	熱伝導率 cal/s·cm·°C	粘度 cP
SF <sub>6</sub> ガス	0.16	6.139	3.03×10 <sup>-5</sup>	0.0145
空気	0.24	1.236	0.78×10 <sup>-5</sup>	0.0171

続けても、銅、アルミニウム、炭素、鋼、けい素鋼などの金属と何の反応も生じない。

### 3 定格及び仕様

今回開発したガス負荷開閉器の外形図及び外観を図4、図5に示す。その定格及び仕様は次の通りである。

- ・形式 OGS- M4
- ・種類 屋外用  
耐重塩じん用  
閉鎖耐水型  
手動・電動操作式
- ・定格電圧 7.2kV
- ・定格電流 400A
- ・定格短時間電流 12.5kA
- ・定格短絡投入電流 C12.5kA
- ・開極時間 60ms
- ・総重量 140kg
- ・定格ガス圧力 1.5kgf/cm<sup>2</sup> (at20°C)
- ・商用周波耐電圧性能
  - 主回路端子～大地間 22kV 1分間
  - 異相主回路端子間 22kV 1分間
  - 同相主回路端子間 35kV 1分間
  - 制御回路充電部～大地間 2kV 1分間

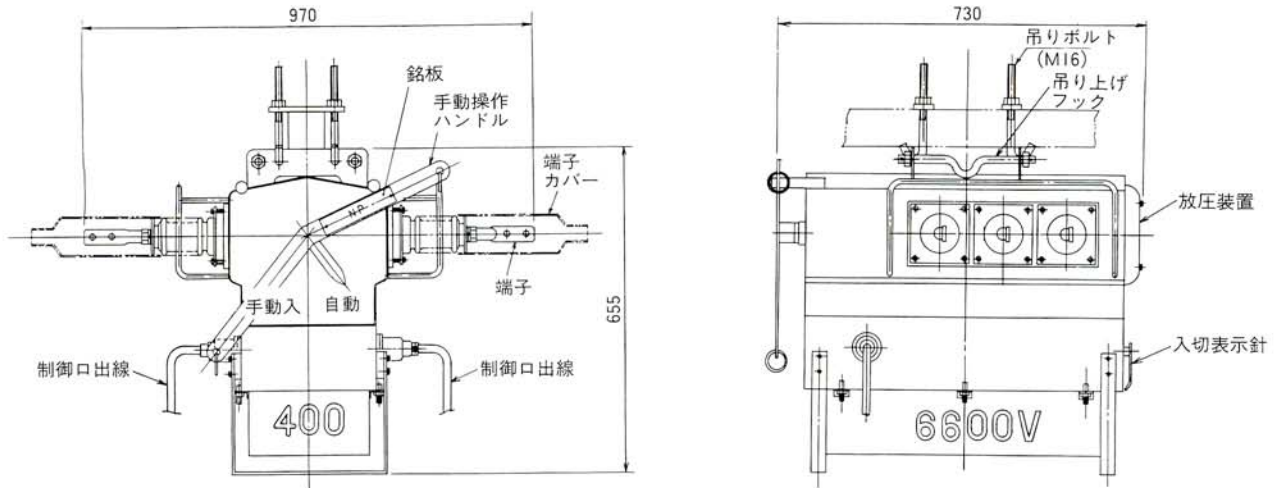


図4/外形図

Fig. 4/Outline drawing

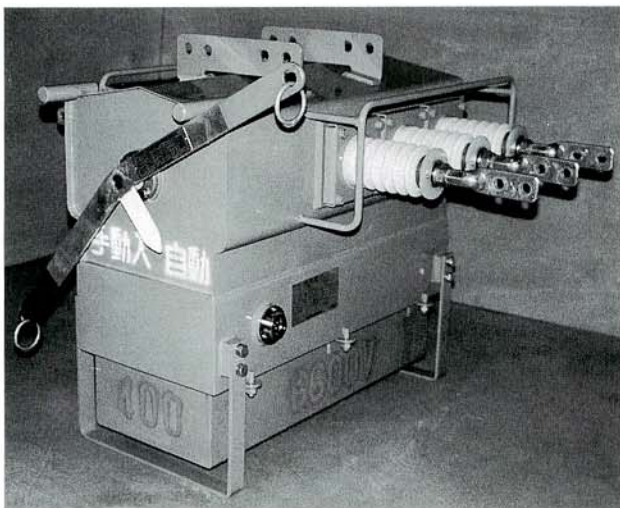


図5/外観

Fig. 5/External view

・雷インパルス耐電圧性能

主回路端子～大地間	65kV	正負各3回
異相主回路端子間	65kV	正負各3回
同相主回路端子間	85kV	正負各3回
制御回路充電部～大地間	7kV	正負各3回

## 4 構造

特にガス負荷開閉器として留意した構造及び性能について述べる。

### 4.1 ガス洩れ対策

外気にさらされる外箱にはステンレス鋼板を、また、装柱用金具類は、溶融亜鉛メッキを施した鋼板を使用した。

ガス開閉器の劣化進展メカニズム<sup>(2)</sup>によれば、ケースの腐蝕、パッキンの劣化・永久歪あるいは低温硬化がガス洩れを引き起こし、ひいては絶縁不良となることを示している。

従ってガス洩れ対策としては、ケースとカバーの継目を溶接密封構造にして、パッキング部を極力減らすと共に、操作軸、指針軸など止むを得ぬ貫通部位には寿命が充分保証されるOリングで二重にシールすることにした。

まずステンレス材としては溶接部の応力歪による応力腐蝕割れから発生する微小クラックの生じ難いSUS304Lを用いた。次にシール材であるが、ガス洩れ防止はシール材の復元力に依存しているので、この圧縮永久歪が一定値を越えると効果が失われる。圧縮永久歪の一要因である熱劣化については試験によりエチレンプロピレンゴムが最良であるとされており<sup>(3)</sup>、耐オゾン性にも優れているのでシール材として使用し、Oリング嵌合部は機械的精度をあげて圧縮率が一定になるようにした。

### 4.2 手動操作機構

開閉器は手動操作といえども速断・速入の必要があるので、操作機構はトルク式を採用した。

しかし、そのままでは操作力が著しく増加するので、閉路時には遮断バネを切り離し、開路時にトルク反転時の力を利用して蓄勢させる独自の機構を採用した（実用新案出願中）。

これによって開閉器を手動で操作するとき、ハンドルに加える操作力の最大トルク値を著しく減少させることが出来た（図6(a)、(b)）。

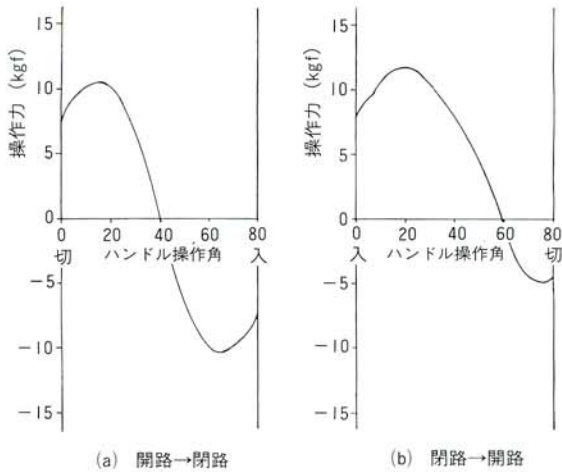


図6 / 手動操作力  
Fig. 6/Force for operating handle

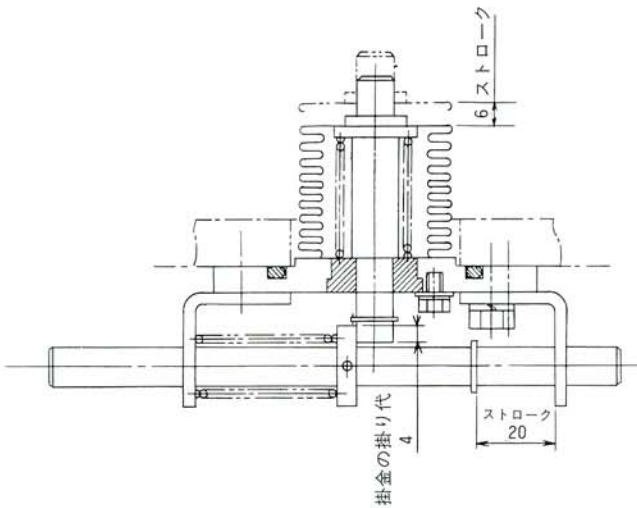


図7 / 圧力低下検出装置  
Fig. 7/Low pressure detector

### 4.3 圧力低下表示及び開閉ロック装置

封入するガス圧は労働省第2種圧力容器の適用を受けない範囲とするため、常温で $1.5\text{kgf/cm}^2\text{G}$ としている。リングの材質、封入溶接方法には充分注意を払い、万一のガス圧低下に備え圧力低下表示及び開閉ロック装置を付加した(図7)。

この装置の動作ガス圧は、 $0.8\text{kgf/cm}^2\text{G}$ であり、この値迄圧力が下がると、圧力低下表示を行うと共に、手動、自動操作共にロックする構造とした。

### 4.4 放圧弁

雷サージなどに起因する内部短絡事故により容器内圧力が異常に上昇した場合、容器を破壊から守り、内部構造物が外部に飛散することを防ぐため、ケース側面に放圧弁を設けた。放圧弁動作の試験結果を表2、図8に示す。

表2 / 放圧試験

Tab. 2/Test results of pressure relief valve

給与電圧 kV	相	短絡アーク電流 kA		圧力上昇 最大値 kgf/cm <sup>2</sup>	放圧弁 動作時間 ms
		<i>i</i> max	<i>i</i> rms		
4	A	—	8.4	7.9	53
	B	17.3	7.8		
	C	17.3	8.9		

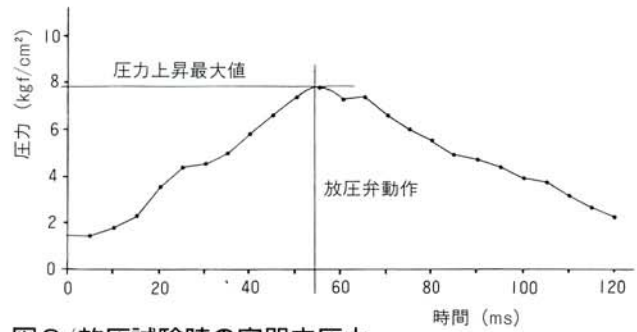
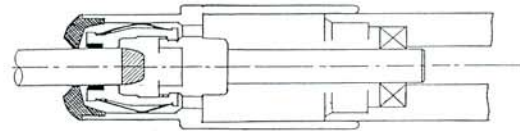
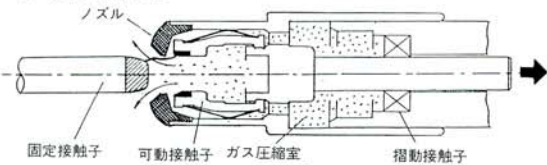


図8 / 放圧試験時の容器内圧力  
Fig. 8/Gas pressure rise in vessel at pressure relief test

(1) 閉路状態



(2) 遮断動作過程



(3) 開路状態

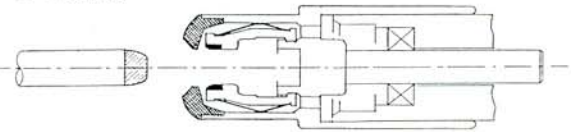


図9 / 接触子構造と消弧

Fig. 9/Construction of contact and principle of arc extinction

### 4.5 主接触部

主接触部の構造は、信頼度の高いチューリップ形接触で、電流の遮断は圧縮したガスをアークに吹き付け、SF<sub>6</sub>ガスによる冷却並びにSF<sub>6</sub>ガス特有の熱化学的な消弧原理によって高い絶縁回復力を得ている。

また、図9は遮断時の動作を説明したもので、接触部が開離すると同時にガス圧縮室で圧縮されたSF<sub>6</sub>ガスが固定・可動接触子間のアークに対してノズルの開口方向に強く吹き付けられ消弧を行う。

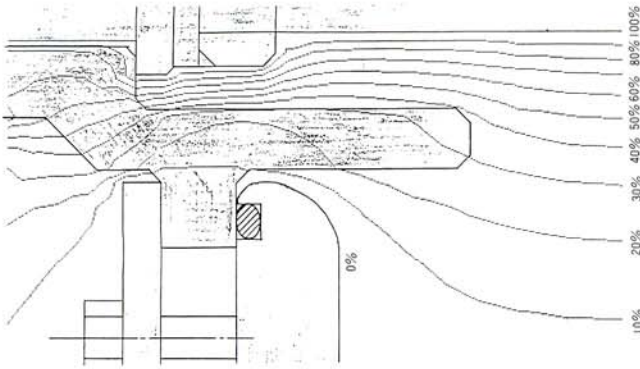


図10/電界分布曲線  
Fig. 10/Electric field distribution

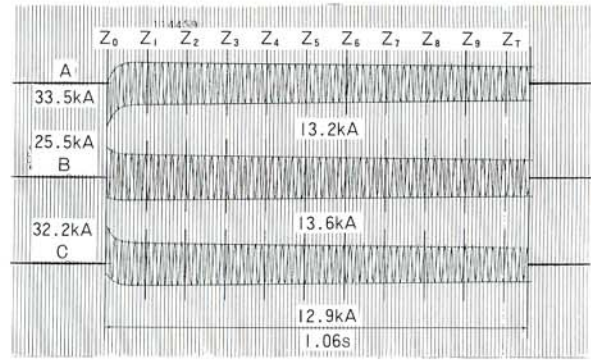


図11/短時間電流試験オシログラム  
Fig. 11/Result of short duration current test

表3/吸着剤の比較  
Tab. 3/Comparison of adsorbents

特 性	ゼオライト	シリカゲル	活アルミナ	活性炭
機 械 的 強 度	◎	○	◎	◎
熱 安 定 性	◎	△	◎	◎
耐 水 性 (水滴に接触したときの耐破碎)	◎	△	△	◎
水 分 吸 着 容 量 (高い分圧)	◎	◎	◎	△
同 上 (低い分圧)	◎	○	○	△
有 機 物 の 吸 着 容 量	○	○	△	◎
分子の大きさによる選択吸着	◎	—	—	—
飽和・不飽和による選択吸着	◎	○	△	△
極性による選択吸着	◎	○	△	△

### 4.6 不平等電界の検討

SF<sub>6</sub>ガス中のコロナ電流は空気中のそれに比べ非常に弱く、従ってコロナによるガスの分解はアークに較べて極めて微量であると言われている。しかし、SF<sub>6</sub>ガスは電界依存度が極めて高いので、電界分布を平等に近づける必要がある。

そこで絶縁設計に当っては有限要素法による電界解析を行い、不平等電界の改善に努めた(図10)。その結果、コロナ開始電圧は常規対地電圧に対し十二分に余裕のある14.4kV(測定10pC)迄高めることが出来た。

### 4.7 SF<sub>6</sub>ガスの分解と吸着剤

SF<sub>6</sub>ガスは熱的、化学的にきわめて安定しているが、4000°Kを超すアークにさらされるとSとFとの原子に分解し、電流が零点に向う過程で大部分は再結合してSF<sub>6</sub>に戻る。しかし、残された一部分は、使用材料の腐蝕あるいは絶縁性に悪影響を与える低ふっ素化合物を生じる。特に水分が存在すると、加水分解を起すので、含酸素ふっ化硫黄化合物、ふっ酸等を生ずることになる。

以上のことから水分及び分解ガスの除去に気を配る必要がある。水分は、SF<sub>6</sub>ガスを封入する前段階で箱内を1

Torr以下まで真空中に引き、真空度が規定に達した後も更に時間を掛けることにより除去する。

しかし、ガス中に含まれる水分や有機絶縁材料から析出する水分、更にパッキングを透過してくる水分等があるので、分解ガスの吸着と合わせて吸着材の使用を検討した。吸着材としては次の条件を満足しなければならない<sup>(4)</sup>。

- ① 分解ガスに対する吸着性が優れていること
- ② 分解ガスと反応して2次的に有害なガスを発生しないこと
- ③ 低温度領域での水分吸着特性が優れていること
- ④ 機械的強度が優れていて、使用、摩擦劣化、潮解しないこと

以上の諸条件を勘案したとき、表3に示す各種吸着剤のうち合成ゼオライトが最も優れており、これを用いることにした。

## 5 試験結果

短時間電流試験、短絡投入電流試験、過負荷電流開閉試験の一例を示す。

#### (1) 短時間電流試験

図11は三相の電流12.5kAを1秒間通電したときのオシログラムで、その後の開閉操作、接触抵抗などに異常はなかった。

#### (2) 短絡投入電流試験

図12は、定格電圧の電流波高値31.5kA、通電時間0.3秒、動作責務C級の投入電流試験を行ったときのオシログラムで、この試験後において操作上、絶縁耐力上また温度上昇試験などいずれにおいても異常はなかった。

#### (3) 過負荷電流開閉試験

図13に、三相の定格電圧で負荷力率0.65~0.75の回路における定格電流開閉試験に引続き、過負荷電流開閉試験を行ったときのオシログラムの一例を示す。電流値600A、800A、1000Aと増加させたが電流遮断時のアーク時間はむしろ減少の傾向を示している(表4)。

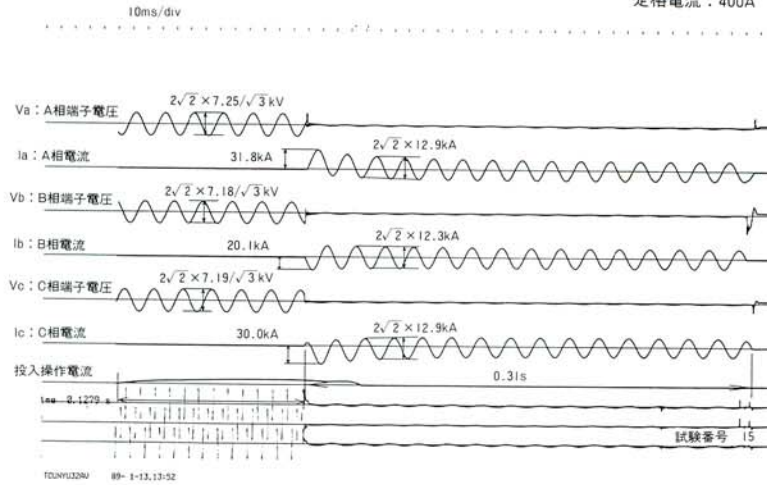


図12/短絡投入電流試験オシログラム  
 Fig. 12/Result of short circuit inrush current test

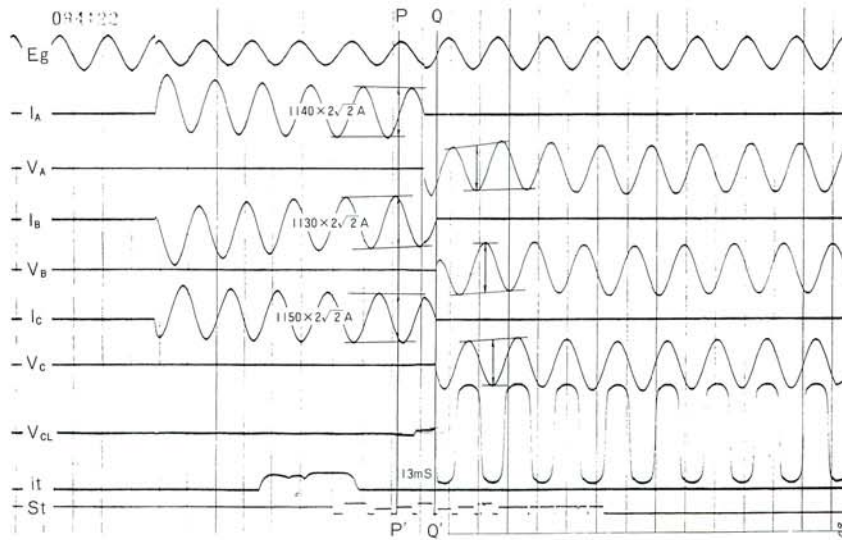


図13/過負荷電流開閉試験オシログラム  
 Fig. 13/Result of overload current switching test

表4 / 定格及び過負荷開閉性能

Tab. 4/Switching characteristics at rated current and at overload current

試験番号	給与電圧 (kV)	回復電圧 (kV)	遮断電流 (A)	アーク時間 (ms)
A	7.2	6.77	410	11.0
			410	7.0
			410	11.0
B	7.2	6.78	410	13.0
			410	9.0
			410	13.0
C	7.2	6.78	410	12.0
			410	12.0
			410	8.0
D	7.2	6.84	650	10.5
			640	10.5
			660	5.0
E	7.2	6.75	850	10.0
			860	6.0
			850	10.0
F	7.2	6.52	1140	5.5
			1130	2.0
			1150	5.5

## 6 あとがき

今回開発した高圧交流ガス負荷開閉器は製品としてやっと緒についたところであり、今後一層検討を重ねてより信頼性の高いガス開閉器に完成させる所存である。

最後に開発にあたって多大なご指導、ご協力をいただいた関係各位に厚くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- (1) 低圧力SF<sub>6</sub>ガスの絶縁性能とその応用  
電気計算 1987年5月号
- (2) 配電機材の劣化診断技術  
電気協同研究 第43巻第2号
- (3) ガス絶縁機器の信頼性向上策  
電気協同研究 第44巻第2号
- (4) SF<sub>6</sub>ガス絶縁機器保守基準  
電気協同研究 第33巻第4号