

ガス絶縁変電所用SF₆ガス避雷器

SF₆ Gas Surge Arrester for Gas Insulated Substation

最近、用地、環境事情などからガス絶縁変電所が各電圧階級に広く採用されるようになってきている。しかし、気中絶縁機器に比べて、ガス絶縁機器のフラッシュオーバー時間特性は平坦になることから、耐雷設計上これを保護する避雷器も重要となっている。

日立製作所では、ガス絶縁変電所に使用する避雷器として、従来、避雷器内部要素をN₂ガス中に密封し、SF₆ガスを対地絶縁に使用してきたが、今回、SF₆ガスを消弧媒体と絶縁媒体に使用することにより、構造が簡単で信頼性の高いガス絶縁変電所用SF₆ガス避雷器を開発し、定格電圧84～420kV避雷器までの系列化を完成したので報告する。

白川晋吾* Shirakawa Shingo

田村昌興* Tamura Masaoki

中野幸一* Nakano Kôichi

飯村紀夫* Iimura Norio

小沢 淳** Ozawa Jun

進藤勝二** Shindô Katsuji

1 緒 言

最近、用地及び環境事情などからガス絶縁変電所が各電圧階級に広く採用されるようになった。しかし、気中絶縁機器に比べて、ガス絶縁機器のフラッシュオーバー時間特性が平坦¹⁾であることから、耐雷設計上これを保護する避雷器も重要となる。

一方、日立製作所ではガス絶縁変電所に使用する避雷器として、直列ギャップと特性要素とをN₂ガス中に密封し、SF₆ガスを対地絶縁に使用してきたが、今回コンパクト化を図るため、SF₆ガスを消弧と絶縁に双方兼ねた媒体として使用し、構造が簡単で高さが低く、かつ信頼性の高いガス絶縁開閉装置用ODF-160形SF₆ガス避雷器を開発した。本避雷器は、現在審議中の避雷器規格JEC-156改訂案に沿って開発し、定格電圧84～420kVまでの系列化を完成したので、その概要を報告する。

2 ODF-160形SF₆ガス避雷器の特長

- (1) 14kV単位避雷器をギャップ1点とし、小形・軽量化した。例えば、420kV避雷器では従来のN₂ガス方式のギャップ点数270点を30点構成とし、外形寸法を高さで約64%とした。
- (2) 万一、使用状態でSF₆ガス圧力が大気圧まで低下した状態、すなわち圧力計のゲージ圧力零気圧でもODF-160形SF₆ガス避雷器は常規運転電圧に耐える。
- (3) 放圧構造について、続流しゃ断不能などで故障電流が流れ、容器内の内部圧力が上昇した場合、接地容器(タンク)自体で圧力上昇値に耐えるように設定した。
- (4) 従来のがい子形避雷器ではがい管表面が汚損されると放電電圧が低下する最大の弱点をもっているが、ガス絶縁変電所用接地容器封入形避雷器の特質として、容器が接地金属であるため、外部汚損により容器表面電位が変化しないので外部汚損による影響を受けない。完全な耐汚損形避雷器である。

3 構 造

図1にODF-160形定格電圧210kV SF₆ガス避雷器の、図2に定格電圧420kV SF₆ガス避雷器の外観をそれぞれ示す。避雷器の内部要素は金属容器内に封入されており、210kVのものは垂直配置、420kVのものは水平配置の場合を示す。

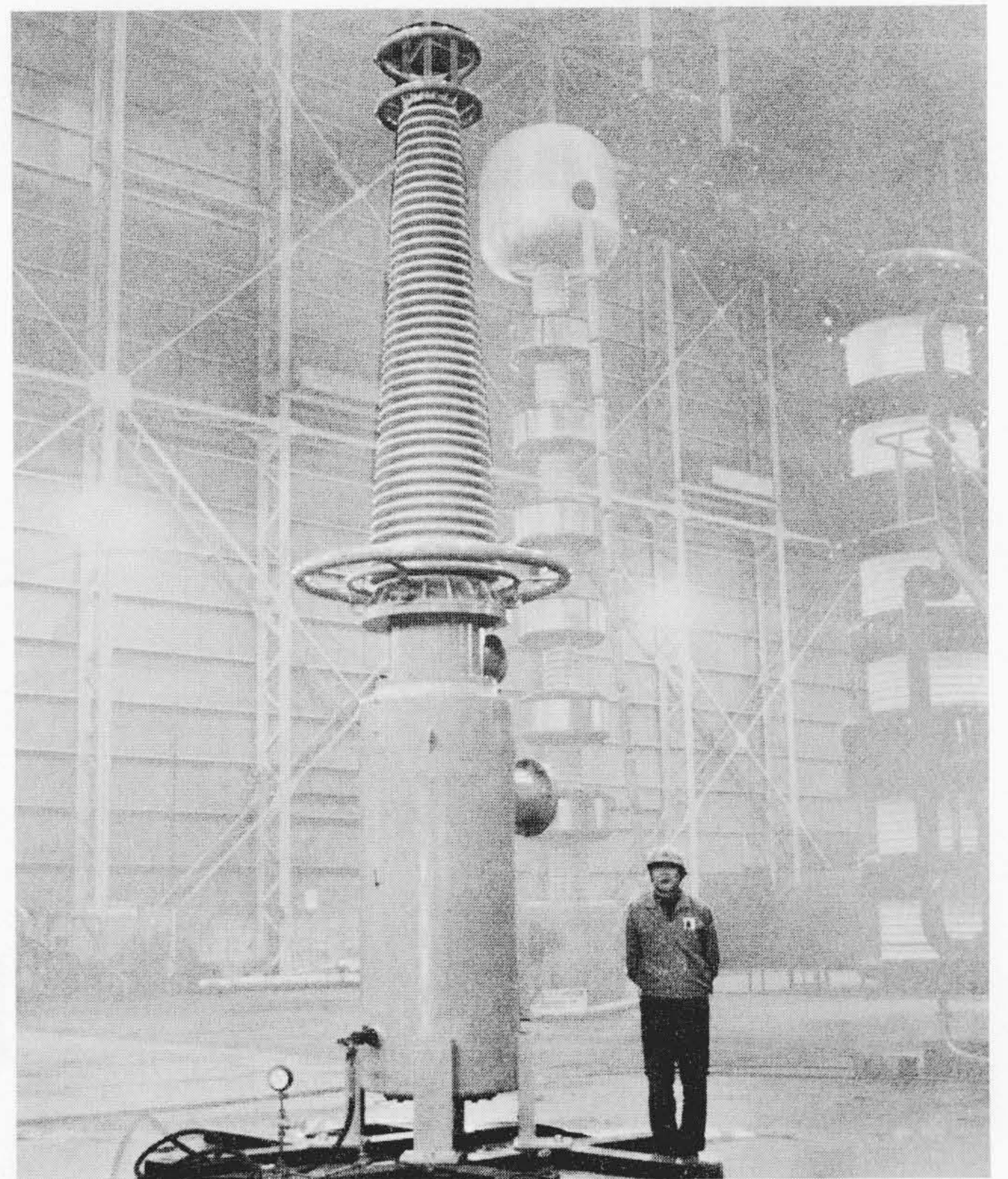


図1 ODF-160形210kV SF₆ガス避雷器 放電試験時のODF-160形210kV SF₆ガス避雷器を示す。接地容器(タンク)の中に避雷器内部要素が垂直に配置されている。

3.1 ODF-160形SF₆ガス避雷器の動作原理

代表例として、定格電圧420kV SF₆ガス避雷器を選び、図3に示す回路構成図を示して説明する。構成は14kVユニットとし、これを30個直列に接続し、420kV避雷器とする。14kVユニットのギャップは主放電ギャップと放電始動電極とから成り、放電始動電極に中間電位を与えるため、分圧インピーダンスZを配置している。また、ギャップの続流しゃ断能力を高めるために、電磁吹消コイルを主放電ギャップと直列に挿

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所

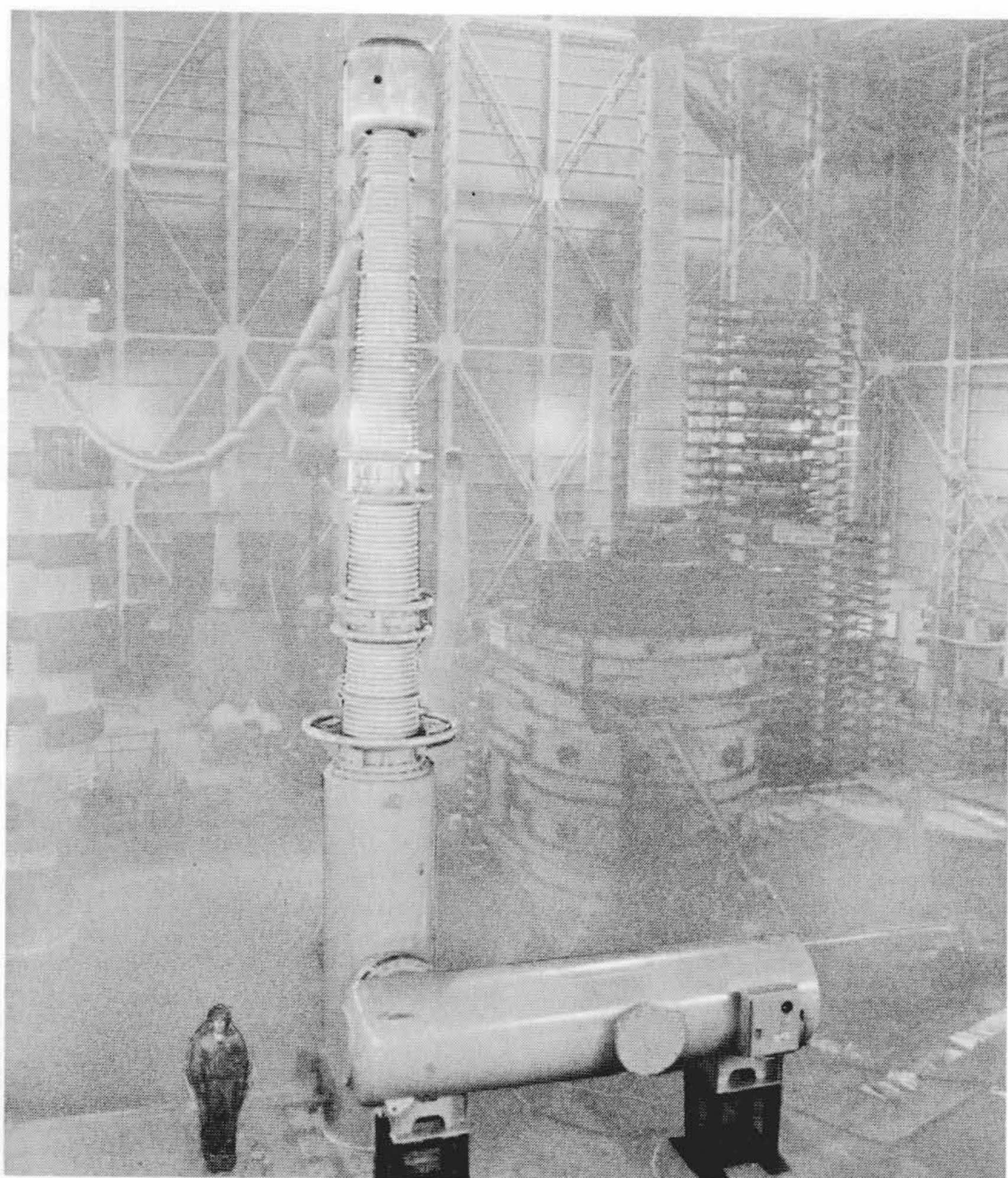


図2 ODF-160形420kV SF₆ガス避雷器 コロナ試験時のODF-160形420kV SF₆ガス避雷器を示す。接地容器(横向きタンク)の中に避雷器内部要素が横向きに配置されている。

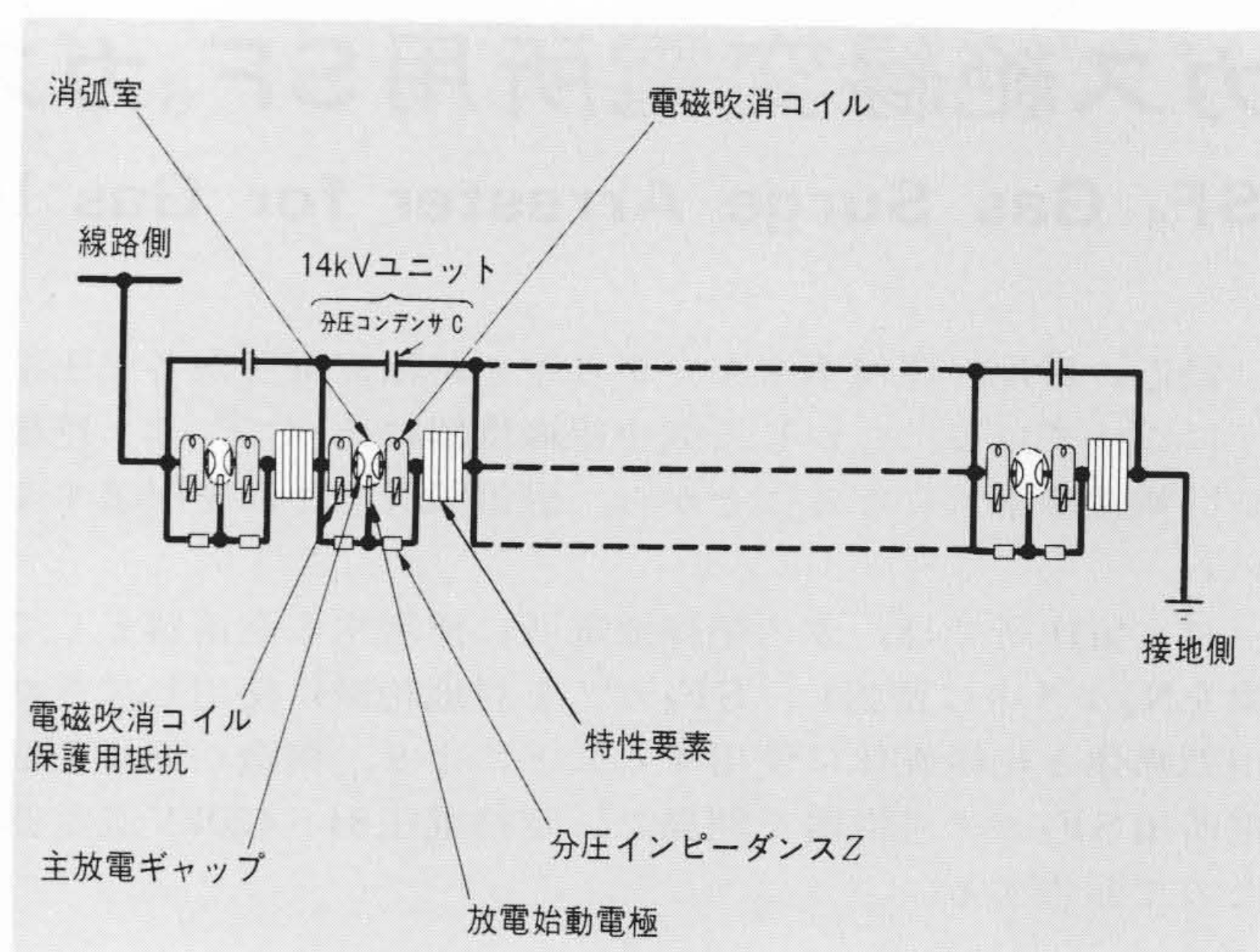


図3 ODF-160形420kV SF₆ガス避雷器の回路構成 ODF-160形420kV SF₆ガス避雷器の単位接続図を示す。

入している。なお、電磁吹消コイルにはコイル保護用抵抗を設けている。一方、各ユニットには電圧を均等に分担させるために分圧コンデンサCを各ユニットに並列接続している。

避雷器の動作は図4に示すように、正常時には分圧素子(C, Z)を通じ、微小な漏れ電流が対地に流れているが、線路にサージが侵入してくると、サージ電圧により主放電ギャップは放電し、続流が流れ、電磁吹消コイルにより続流アークはフレミングの左手の法則により主放電ギャップから消弧

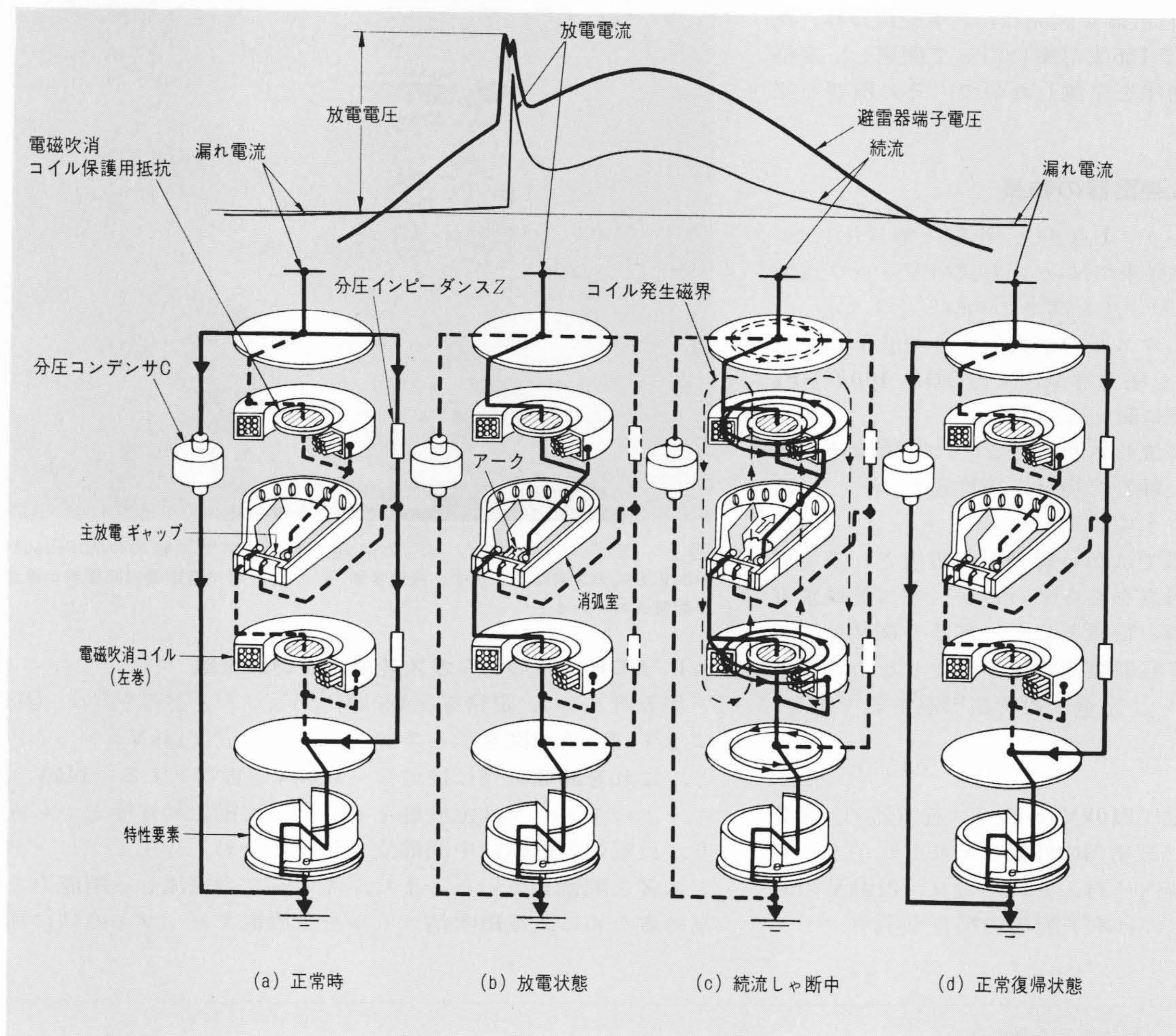


図4 ODF-160形SF₆ガス避雷器の動作原理図 ODF-160形SF₆ガス避雷器の運転状態から続流しゃ断完了に至るまでの過程を示している。

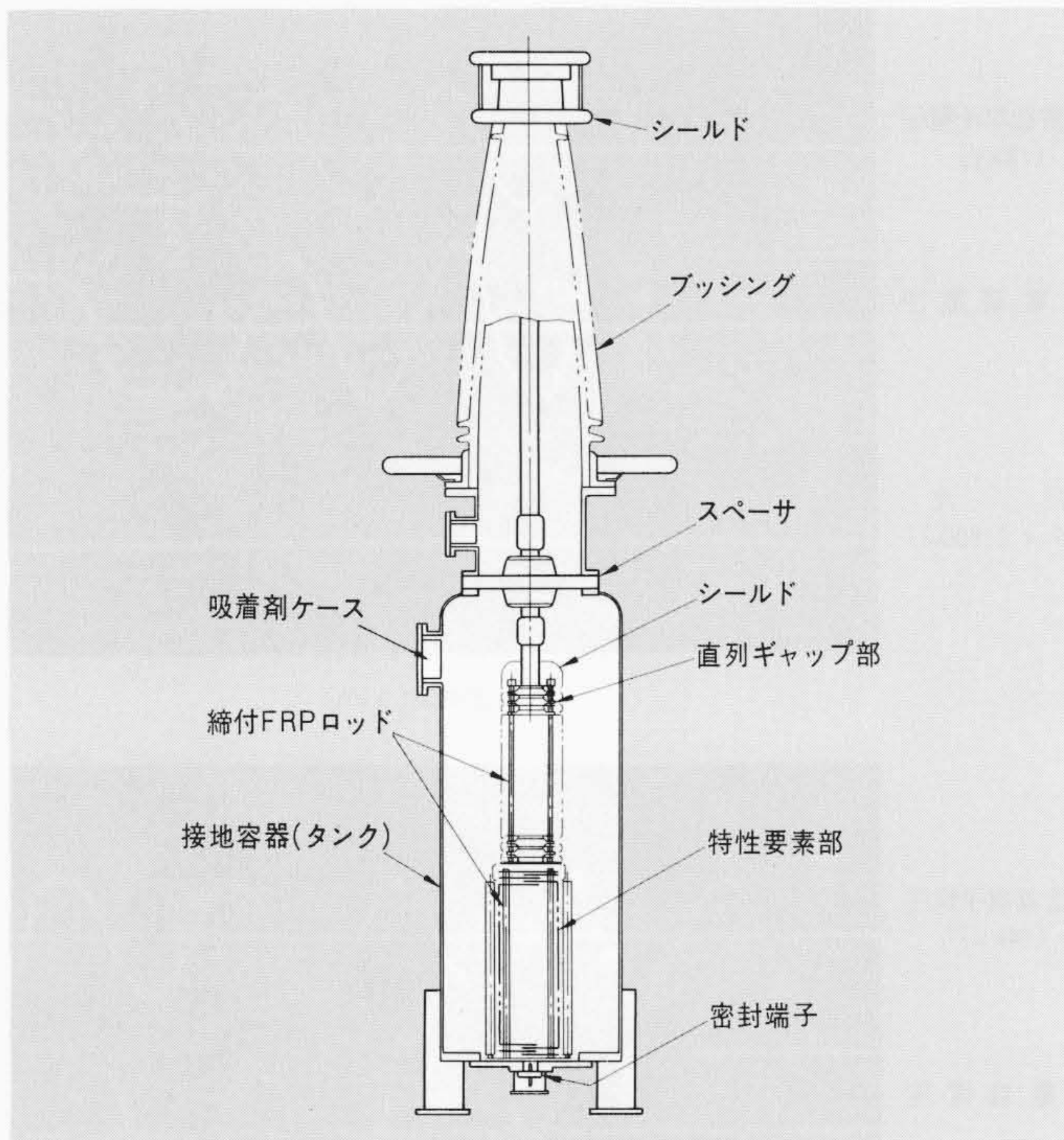


図5 210kV SF₆ガス避雷器の内部構造図 図1に外観を示した210kV SF₆ガス避雷器の内部構造を示す。

室内に駆動される。アークは急速に冷却され、電流零点で消弧されて元の状態に復帰する。

次に210kV SF₆ガス避雷器については、内部構造は図5に示すように、直列ギャップ部と特性要素部とを直列に接続し、小形化を図っている。図6に外観を示す。

なお特性要素については、厳選されたSiCを主成分とした材料を用い、雷インパルス耐量100kA×2回(5×10^{μs})、方形波耐量は210kVで800A×20ms×20回、420kVで1,800A×20ms×20回に耐える性能としている。

3.2 ガス圧力の設定

SF₆ガス圧力の選定に際しては、万一、ガス漏れのためにSF₆ガス圧力が大気圧まで下がったときでも常規対地電圧に耐えるようにするため、避雷器特有の条件、すなわち放電特性と耐電圧の2条件を考慮して定格SF₆ガス圧力を設定した。代表例として210kV SF₆ガス避雷器について説明する。

これは図7に示すように、ガス圧力とフラッシュオーバー電圧との関係(直線①)と零気圧での常時運転電圧における耐電圧条件からA点、開閉サージ放電開始電圧の上限値における放電条件よりB点が求まり、これらを満たすにはガス圧力は約2.0kg/cm²・G at 20°C以下が必要となる。そのほか、機器の構造条件を考えて1.5kg/cm²・G at 20°Cと設定した。

なおSF₆ガス避雷器性能保証圧力は、最高ガス圧力1.7kg/cm²・G、最低ガス圧力1.3kg/cm²・G at 20°Cとし、最高ガス圧力すなわち高圧警報ガス圧力では規格値の放電特性が、最低ガス圧力すなわち低圧警報ガス圧力では定格電圧での続流しゃ断性能がキーポイントとなるが、いずれも仕様値を満たすことを確認した。

4 特 性

JEC-156改訂案規格値に基づき、下記の代表的特性について述べる。なお、規格外の試験項目として部分放電試験、耐震試験についても述べる。

4.1 放電特性

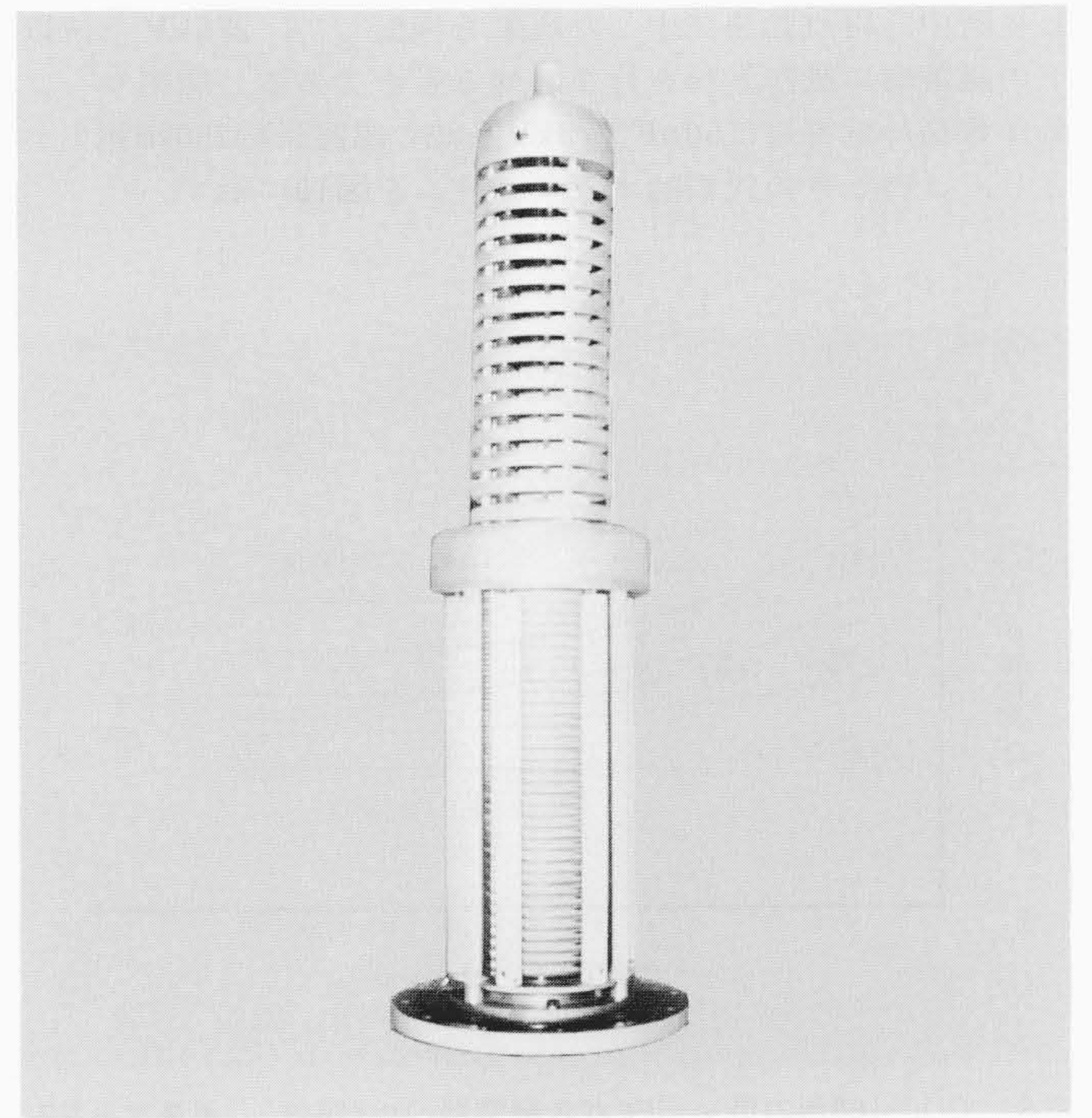


図6 ODF-160形210kV SF₆ガス避雷器の内部 上側に直列ギャップ部分、下側に特性要素部を設け、これらを直列に接続している。

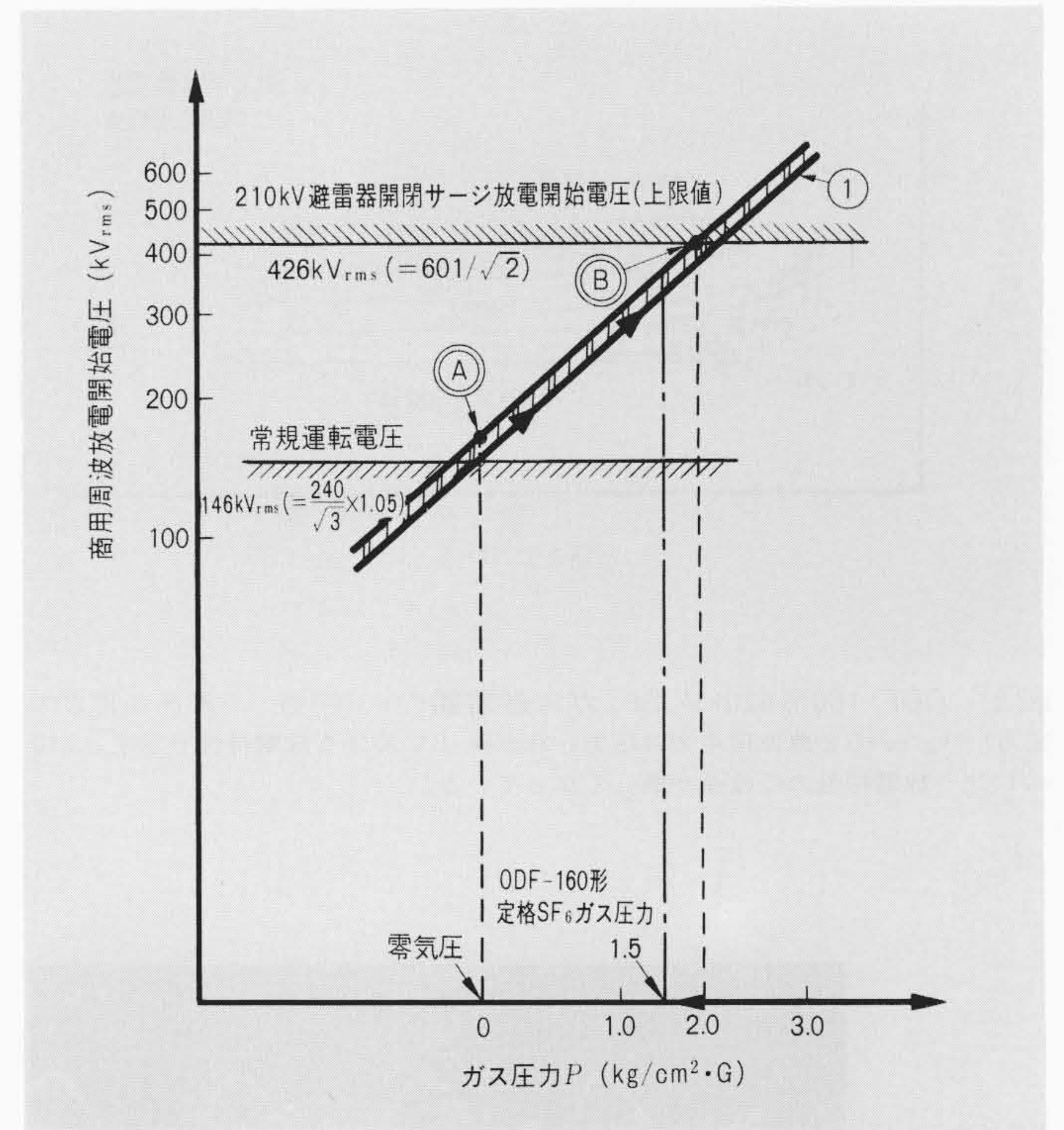


図7 ガス圧力と商用周波放電電圧の関係 定格ガス圧力1.5kg/cm²・Gの選定根拠を示す。

図8に定格電圧210kV SF₆ガス避雷器、図9に定格電圧420kV SF₆ガス避雷器について、最高ガス圧力1.7kg/cm²・G及び最低ガス圧力1.3kg/cm²・G at 20°Cにおけるv-t特性を示す。いずれも仕様値を満足している。

4.2 動作責務特性

4.2.1 開閉サージ動作責務A試験

本試験は、避雷器が開閉サージにより放電したときの責務の検討を目的としており、しゃ断器が無負荷線路の充電電流

しゃ断中、再点弧を発生した現象を模擬して、275kV系統以下の避雷器に動作責務を行なわせるものである。開閉サージ動作責務静電容量は $50\mu\text{F}$ (275kV系統で線路長約250km相当)とし、このときの代表的オシログラムを図10に示す。

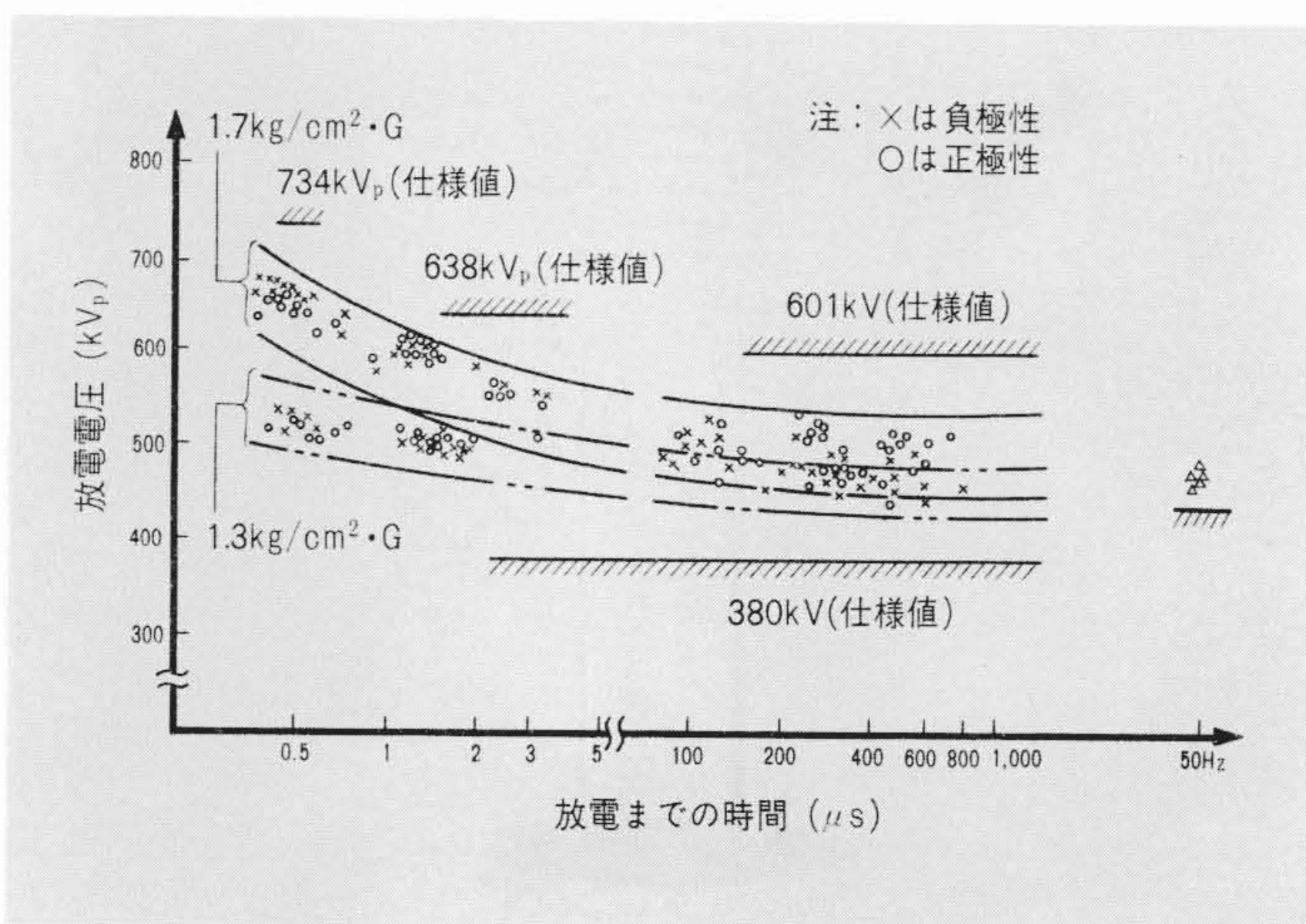


図8 ODF-160形210kV SF₆ガス避雷器の $v-t$ 特性 最高使用ガス圧力 $1.7\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{G}$ と最低使用ガス圧力 $1.3\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{G}$ における放電特性を示す。

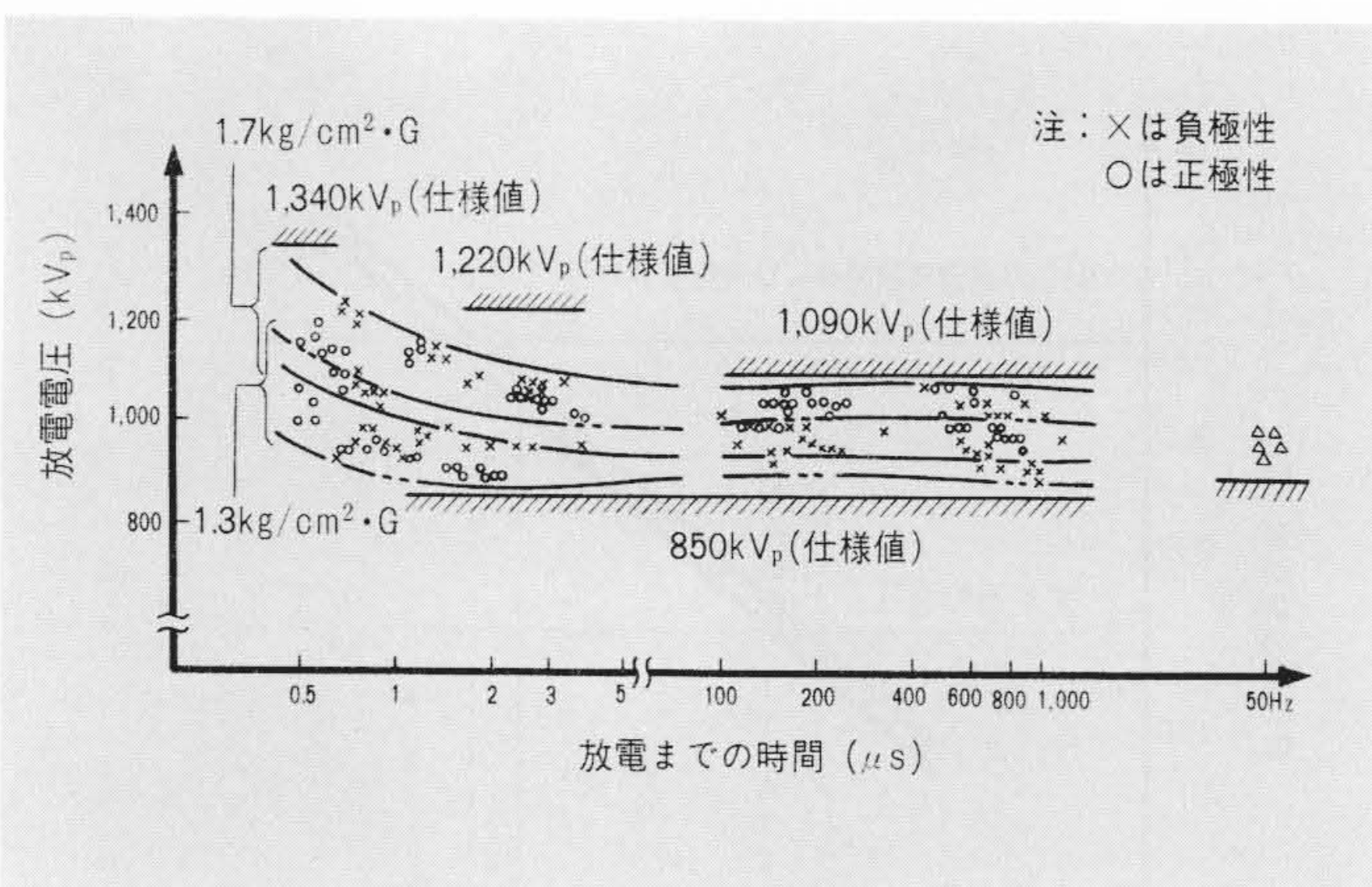


図9 ODF-160形420kV SF₆ガス避雷器の $v-t$ 特性 最高使用ガス圧力 $1.7\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{G}$ と最低使用ガス圧力 $1.3\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{G}$ における放電特性を示す。210kVに比べ放電特性の仕様値が厳しくなっている。

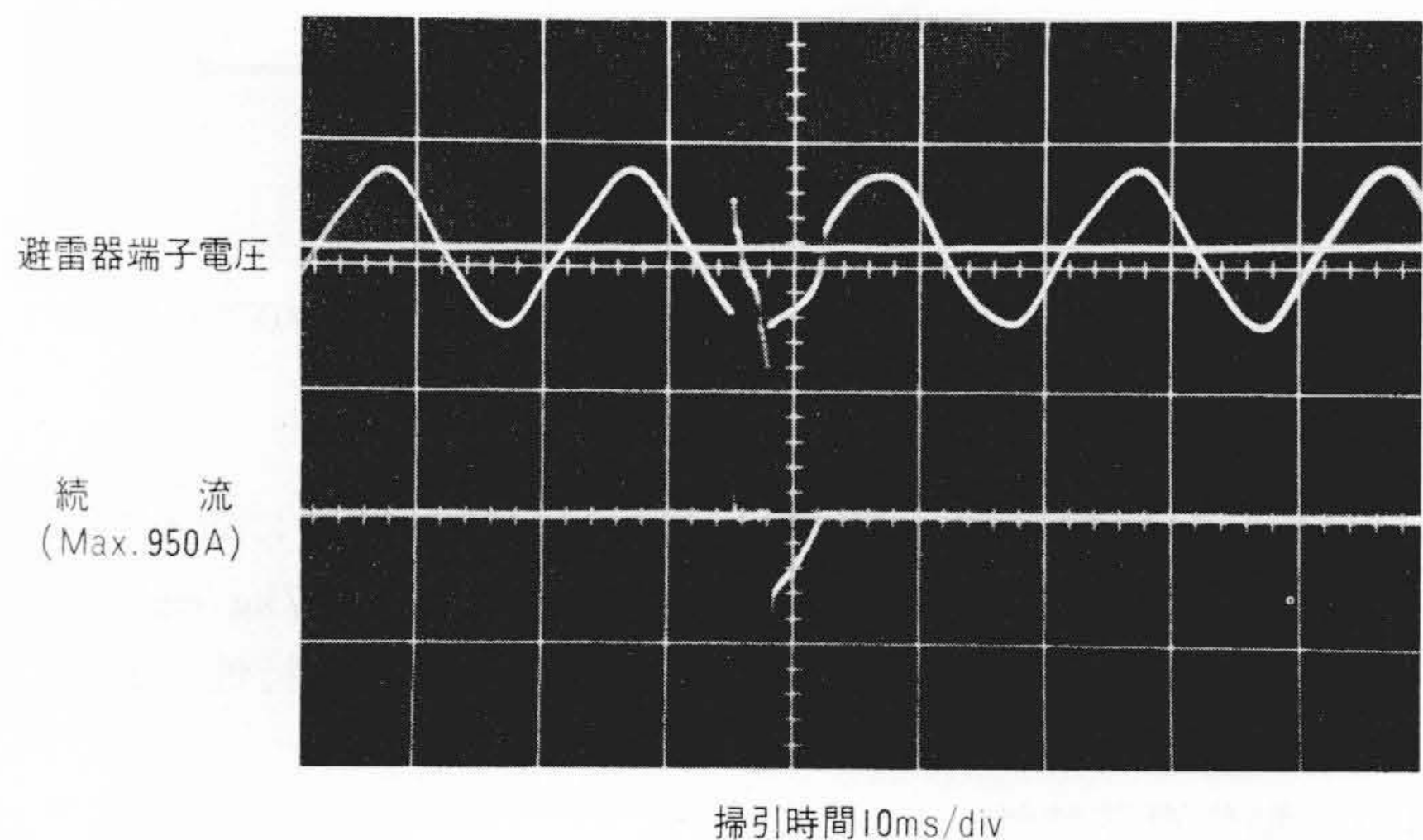
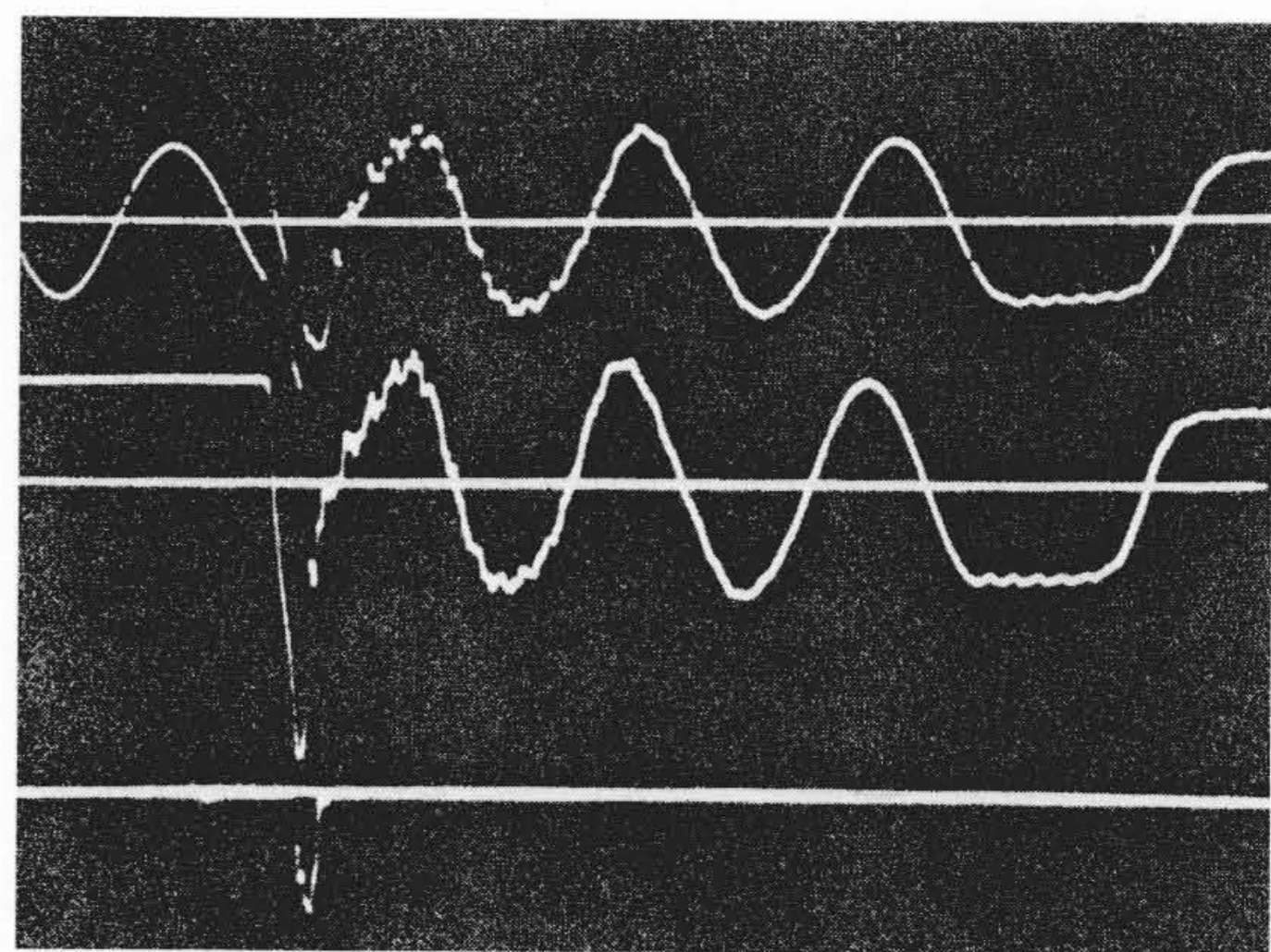


図10 ODF-160形定格電圧14kV避雷器の開閉サージ動作責務A試験時のオシログラム 275kV系統以下の開閉サージ動作責務試験である。

避雷器端子電圧
(14kV)

受電端電圧

続流
(Max. 2,600A)

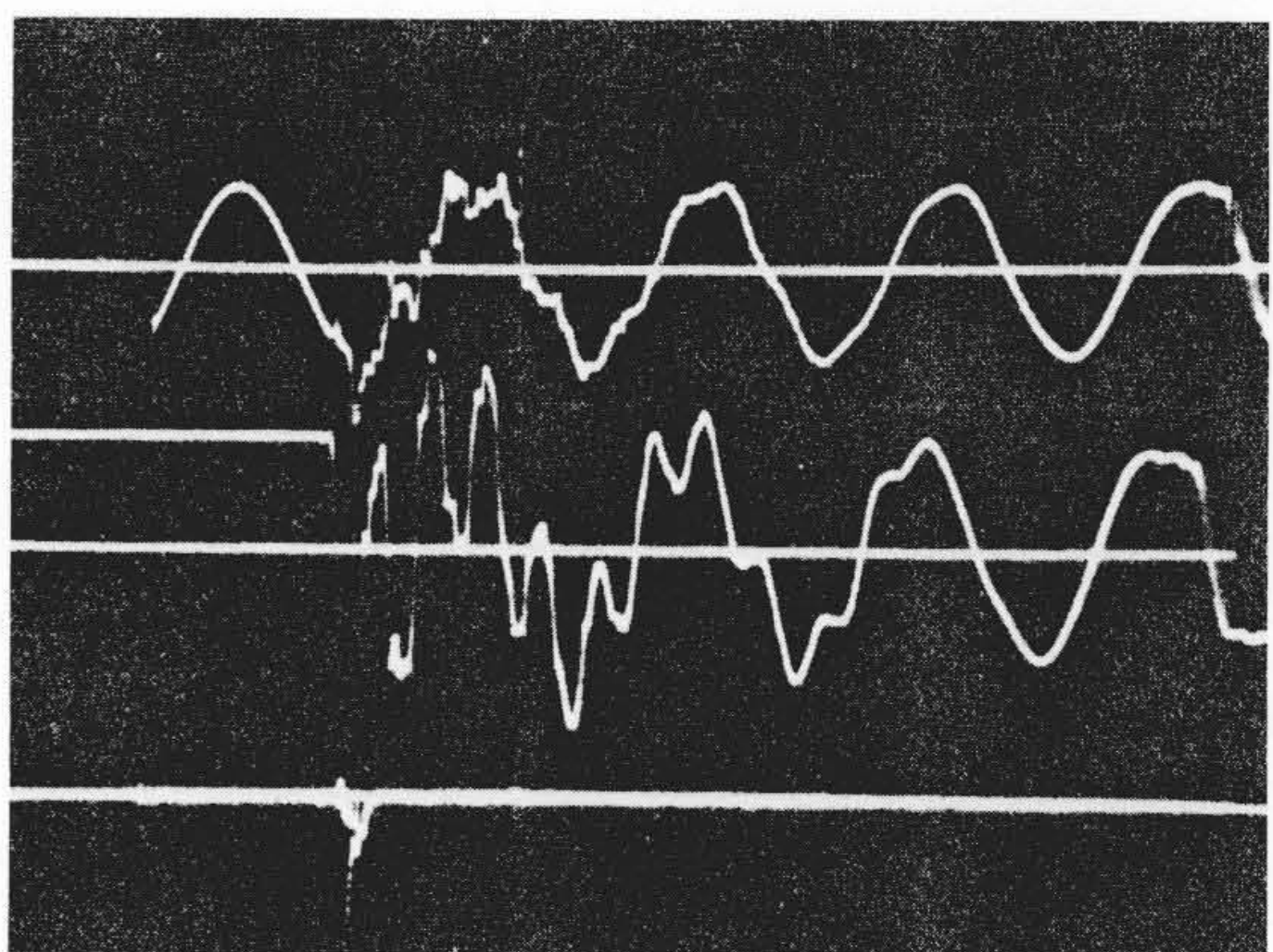


(a) 送電端(3kA)

避雷器端子電圧
(14kV)

受電端電圧

続流
(Max. 2,800A)

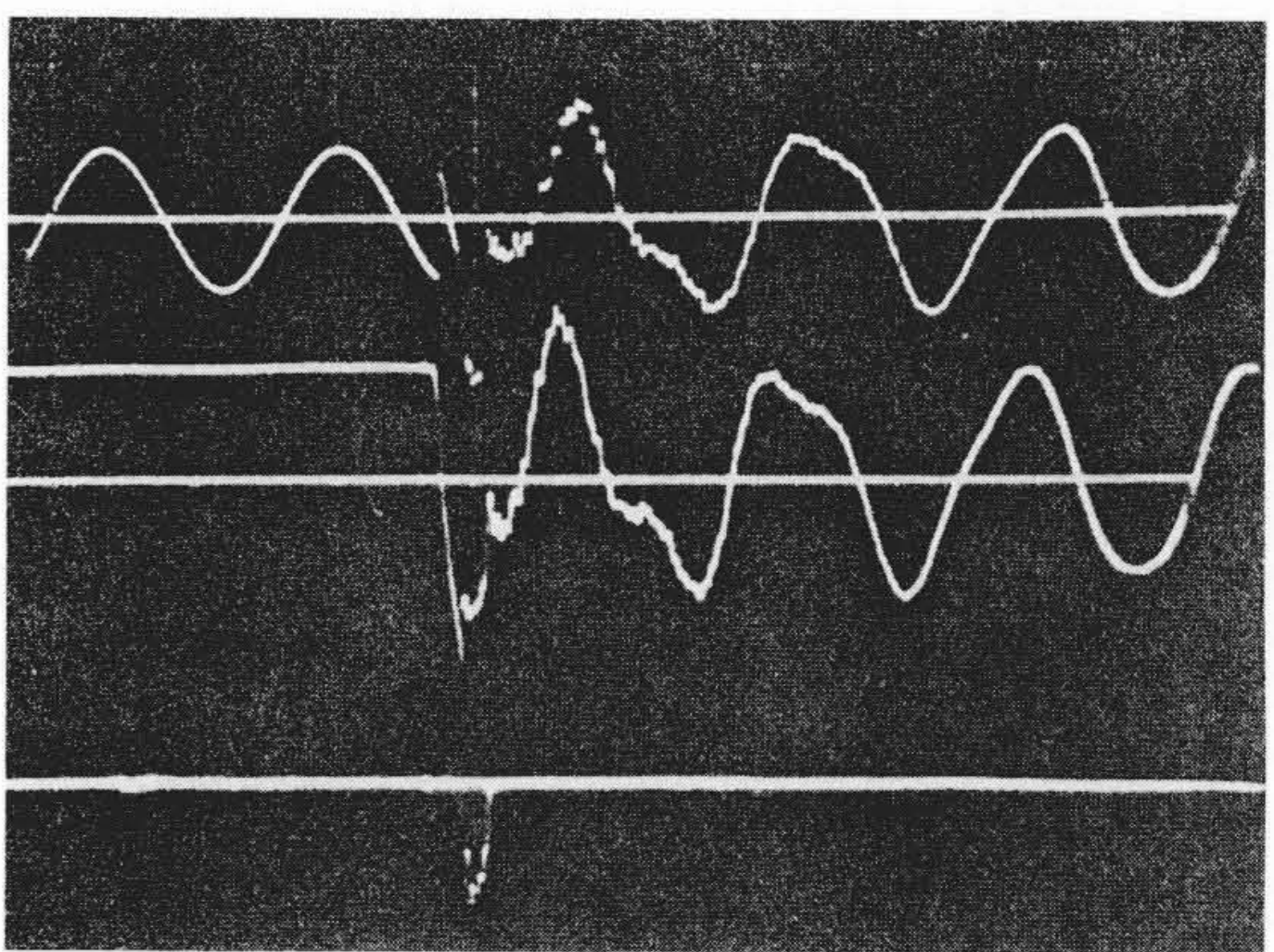


(b) 送電端(30kA)

送電端電圧

避雷器端子電圧
(14kV)

続流
(Max. 2,600A)

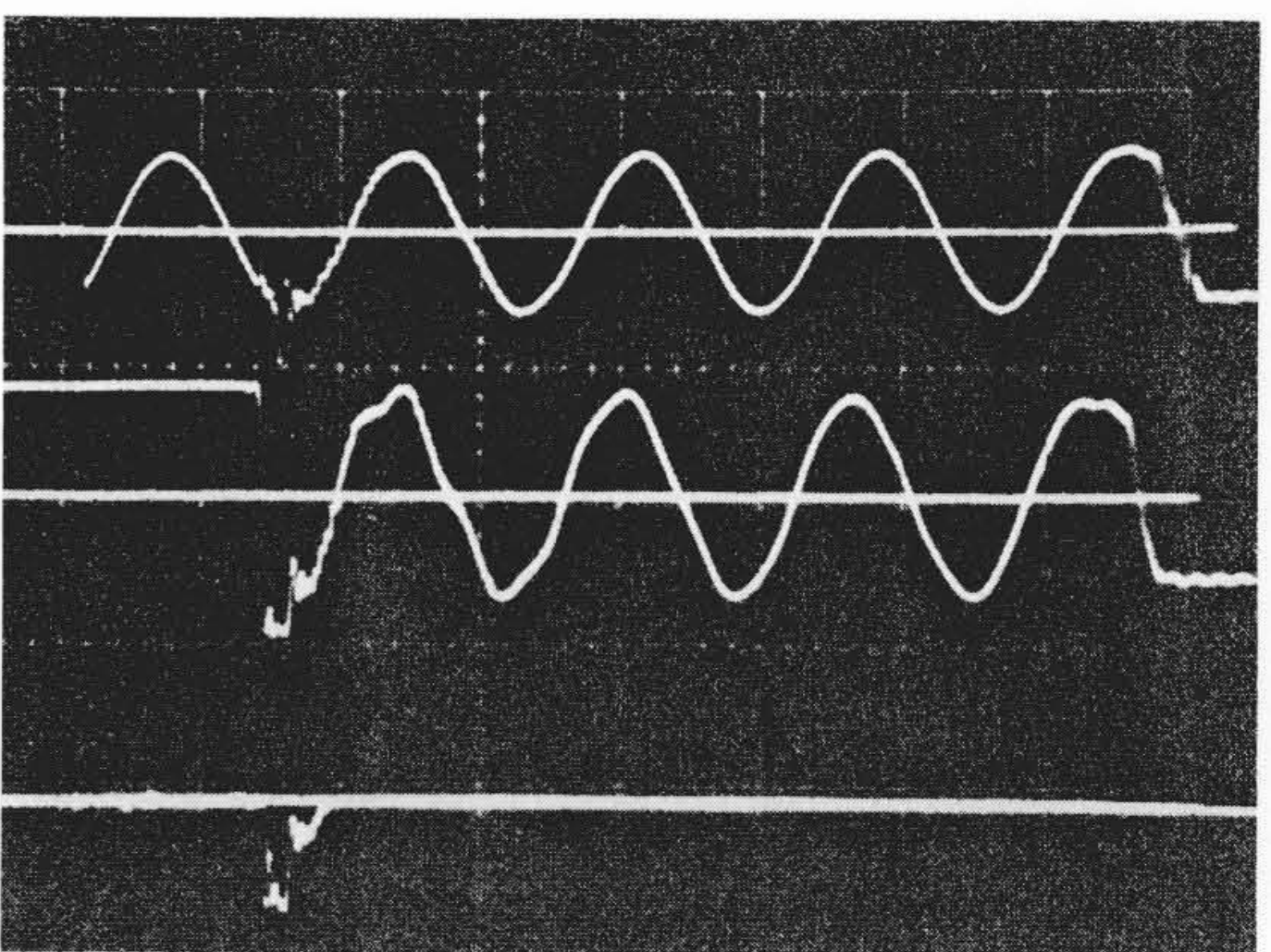


(c) 受電端(3kA)

送電端電圧

避雷器端子電圧
(14kV)

続流
(Max. 2,800A)



(d) 受電端(30kA)

図11 ODF-160形定格電圧14kV避雷器の開閉サージ動作責務B試験時のオシログラム(開閉サージ動作責務容量 $78\mu\text{F}$) 500kV系統特有の開閉サージ動作責務試験である。

4.2.2 開閉サージ動作責務B試験

本試験はしゃ断器の高速再投入時に発生するサージ電圧を対象に、500kV系統用避雷器の保護効果を検証するもので、開閉サージ動作責務静電容量は78μFである。線路模擬回路は上記A試験では避雷器動作後線路電流零点で切り離すが、B試験では再投入時のサージを対象としており、線路を接続したままの状態としているので、責務はA試験に比べ厳しくなる。電源の短絡電流は送電端及び受電端とも3kA、30kAを対象としている。図11の代表的オシログラムに示すように、いずれも続流をしゃ断できることを確認した。

4.2.3 断路器開閉サージ動作責務試験

500kV系統用避雷器についてだけ実施する動作責務試験で、がい子形500kV断路器により、母線開閉操作時に発生する連続再点弧サージを対象とし、商用周波の半波ごとに波高値以前での放電を連続30回繰り返す、毎回続流しゃ断できることを検証した。供試避雷器として定格電圧14kV分割避雷器を使用した。図12に代表的オシログラムを示しており、多重動作に対しても続流しゃ断することを確認した。

なお制限電圧特性については、図13に定格電圧210kV SF₆ガス避雷器を、図14に定格電圧420kV SF₆ガス避雷器の制限電圧—電流曲線を示す。

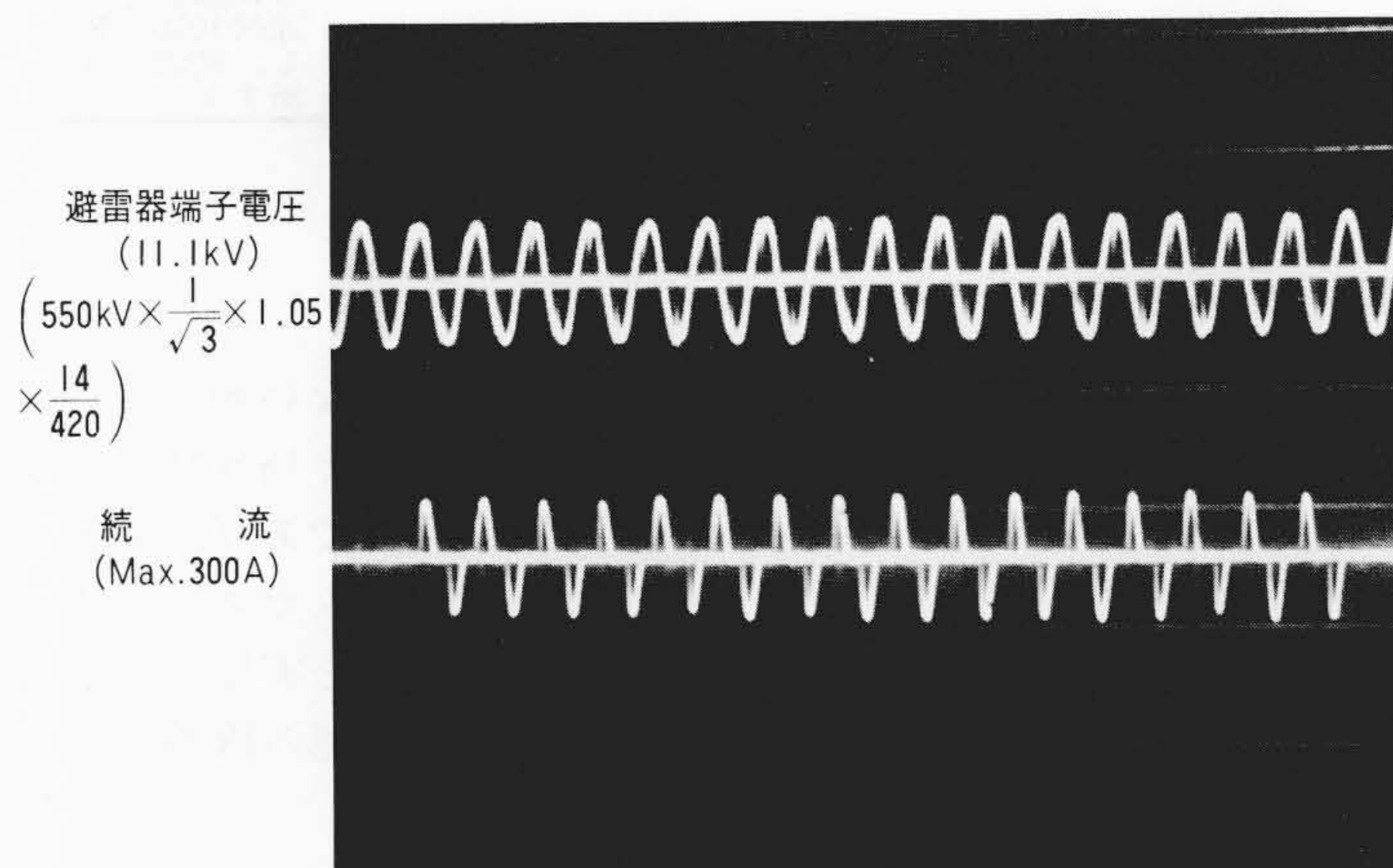


図12 ODF-160形定格電圧14kV避雷器の断路器サージ動作責務試験時のオシログラム 30回の半波ごとの連続放電に対しても続流をしゃ断している。

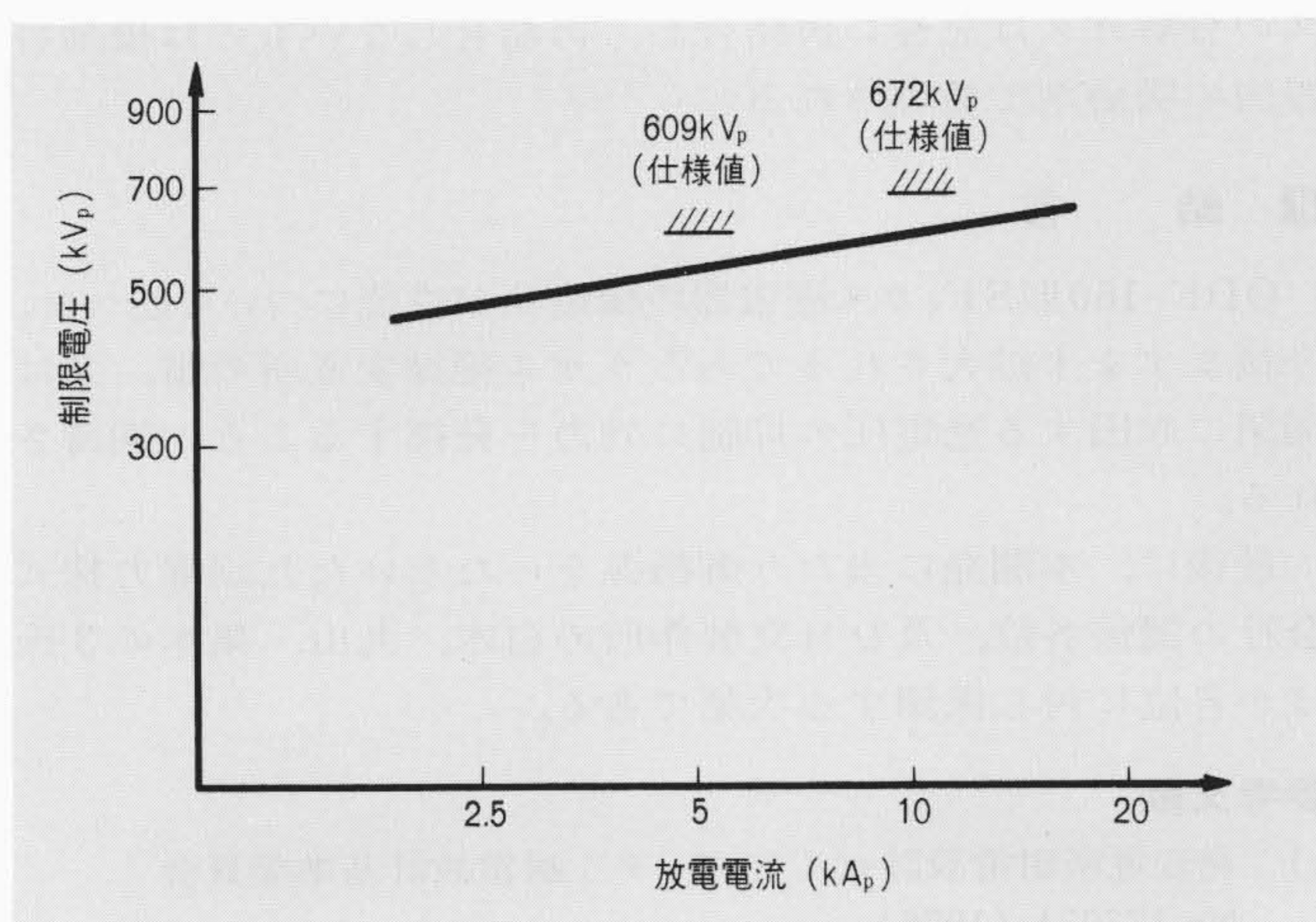


図13 ODF-160形210kV SF₆ガス避雷器の制限電圧—電流曲線 制限電圧は、仕様値内に余裕をもって収まっている。

4.3 放圧試験

万一、避雷器が続流しゃ断不能となり避雷器に故障電流が流れた場合を考慮し、定格電圧84kV SF₆ガス避雷器を使用して、JEC-156改訂案規定の31.5kA×0.2秒を通電し、圧力上昇を測定するとともに、圧力が上昇しても接地容器(タンク)自体で圧力上昇値に耐え、爆発飛散及び分解ガスの放出がないことを確認した。

4.4 部分放電試験

ガス絶縁変電所の重要な性能確認である内部部分放電試験では、常規運転電圧×1.3倍の電圧を印加し、内部部分放電電荷量が10pc以下で異常のないことを確認した。

4.5 耐震試験

接地容器封入形SF₆ガス避雷器では、容器にがい管を使用しないのでがい子形避雷器に比べ、耐震設計上有利な構造である。過酷条件としては、輸送時の振動条件が最過酷となる。そこで工場内で輸送状況を模擬し、避雷器の共振周波数で0.3G、3時間連続加振し、試験後の部分放電試験にも異常なく耐え、部品などの脱落がないことを確認した。図15にガス絶縁変電所用定格電圧210kV SF₆ガス避雷器の耐震試験状況を示す。

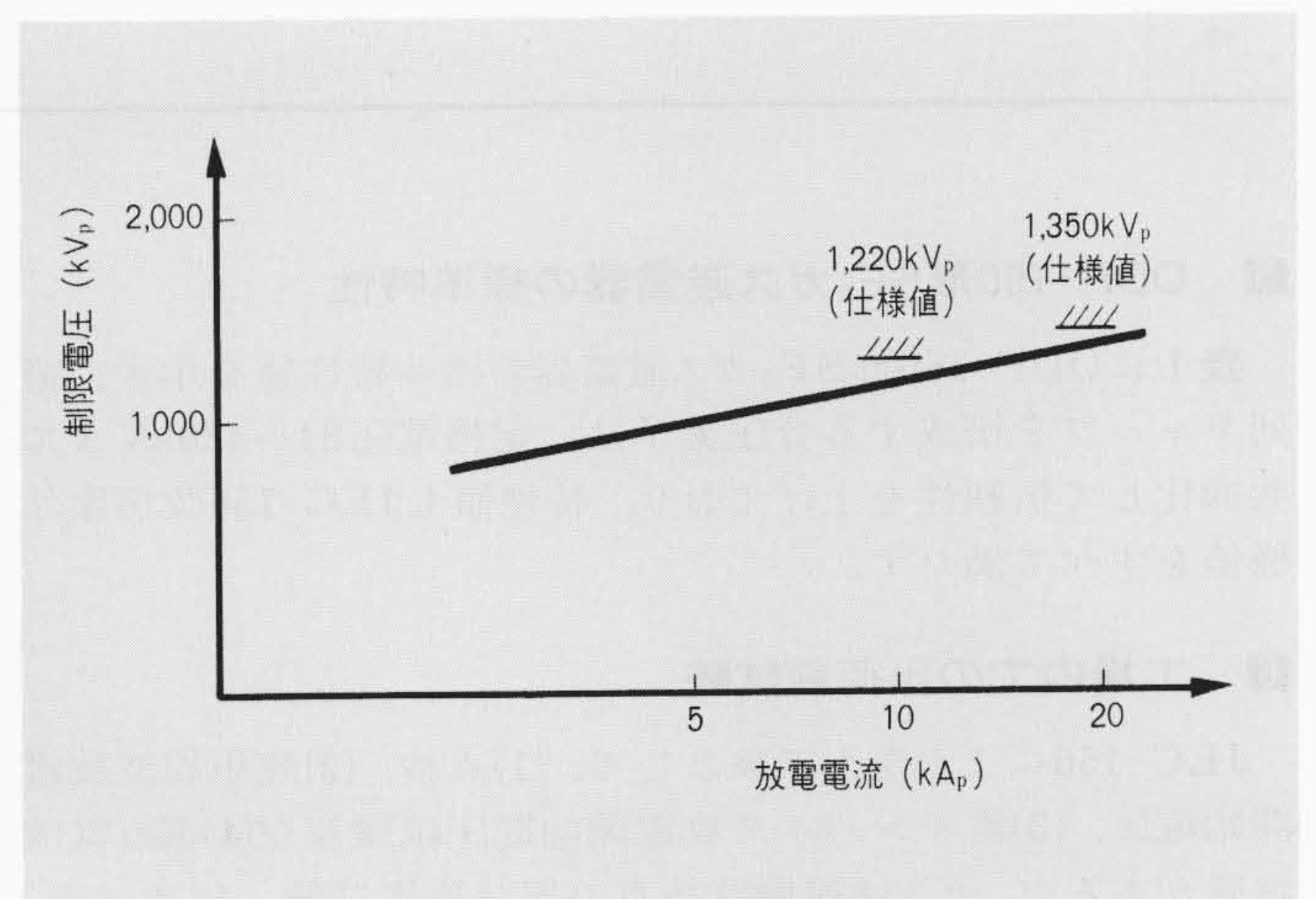


図14 ODF-160形420kV SF₆ガス避雷器の制限電圧—電流曲線 制限電圧も仕様値内に収まっている。

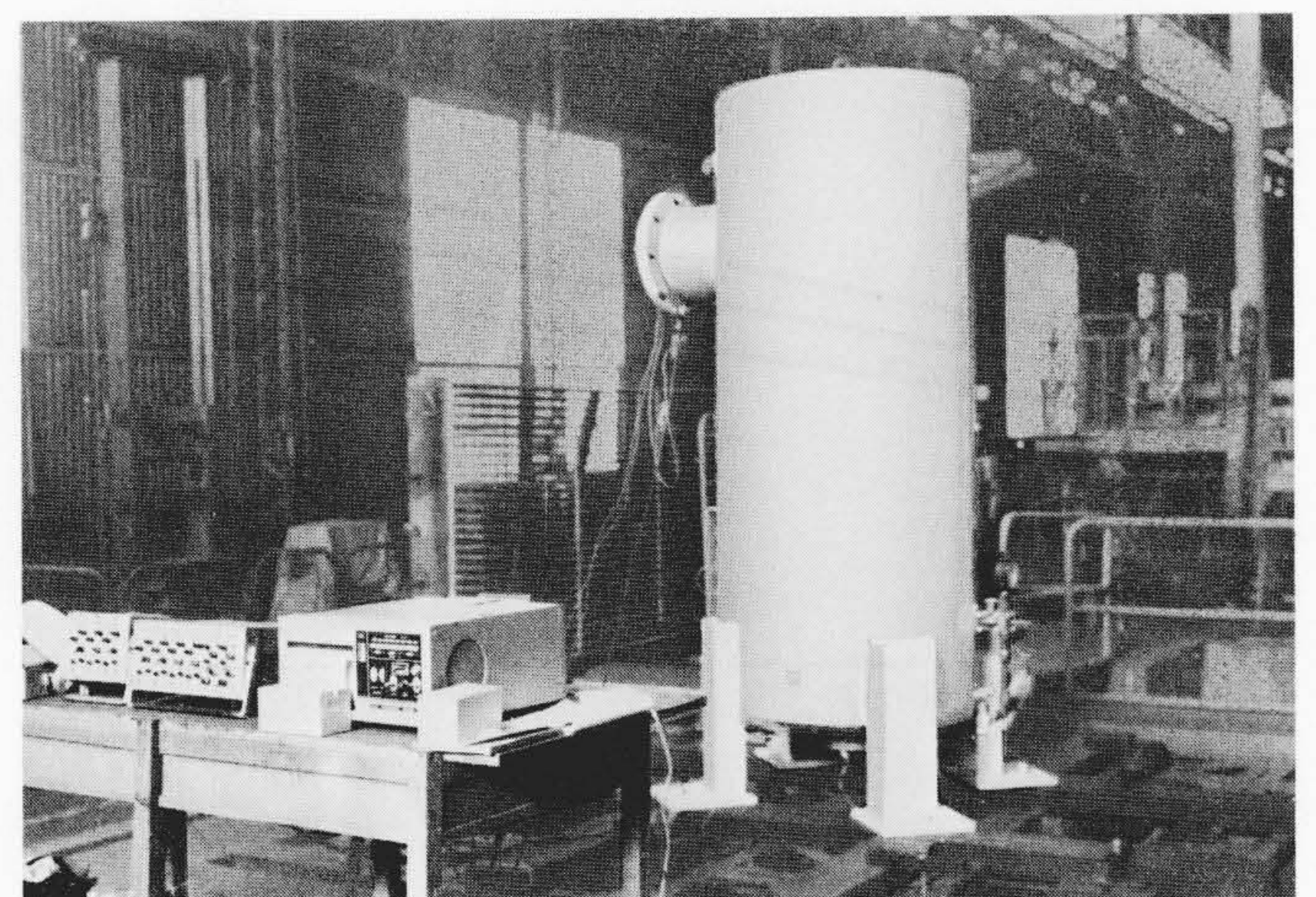


図15 ODF-160形210kV SF₆ガス避雷器の振動試験状況 加振台に210kV SF₆ガス避雷器を載せ、共振周波数0.3G、3時間連続加振している。

