

420kV 超々高圧用避雷器

420kV Lightning Arrester

Arresters used in extra high voltage systems provide a basis on which the insulation level for system apparatuses is to be decided. When the 500 kV extra high voltage systems are compared with the 200 kV one, the former needs outstandingly larger outlay on its insulation, and it becomes necessary to bring down its insulation level for system apparatus by one rank. For protecting these apparatuses a high performance arrester whose discharge level (spark-over voltage, discharge voltage) is kept low should be used. Also, from the viewpoint of labor saving in maintenance care such as silicons compound coating work, etc., use of a contamination-proof type lightning arrester has been desired. This article introduces a new type of 420 kV lightning arrester which complies with these requirements successfully.

丸山征一* *Seiichi Maruyama*
 山口文夫* *Fumio Yamaguchi*
 栗本 茂* *Shigeru Kurimoto*
 宮下隆雄** *Takao Miyashita*

1 緒 言

500kV 系統用避雷器は、500kV 送電機器の絶縁レベル決定の根幹となるもので、高性能な保護レベルを必要とする。すなわち、500kV 系統でのBIL (Basic Insulation Level) と常規運転電圧波高値の比は 3.6で、従来の275kV 超高压系の 4.7に比べ格段に小さくなったため、高性能避雷器が必要となる。今回500kV 系統用避雷器の系列化が完成したので、その概要を報告し参考に供したい。

2 500kV系統用避雷器の特長

500kV 系統の絶縁設計の考え方は、現行の275kV 超高压系統と同様に避雷器による保護を基準としているが、500kV 系統のように高い電圧階級になると絶縁に関係したコストの割合も飛躍的に大きくなるので、図1に示すように275kV 超高压系統に比べ、500kV 系統用避雷器は一ランク低く設定されている。したがって次に述べるような特有の問題がある。

- (1) 変圧器などの被保護機器のBILの低減により保護レベル(放電開始電圧、制限電圧)の低い高性能避雷器が必要となった。たとえばDLR(公称放電電流10kAに対する制限電圧と避雷器の定格電圧の比)は、275kV 超高压避雷器ではJEC-156により3.35であるが500kV 系統用避雷器の仕様は2.90である。
- (2) 保護レベルの低減により開閉サージ放電電圧と対地電圧間の比が、275kV 超高压系では 3.6であるのに対し、500kV 超高压系は2.45と裕度が少なくなり、無用な放電動作をなくすため放電のばらつきを少なくし、かつ放電電圧上限のみならず下限の規制も必要である。
- (3) 電圧階級が高いので、開閉サージ動作責務の耐量が大きいことが必要である。特に高速度再閉路サージによって動作したときのエネルギーは275kV 超高压系の 3~4 倍にも達するので、このエネルギーを十分保護吸収する必要がある。
- (4) 放電電圧下限を規制しても保護レベルの低減のため、断路器開閉時の再点弧サージで動作する可能性がある。このときの動作は連続数十回にも達するが、この責務に耐える必要がある。

- (5) 汚損性能を向上させるため従来の超高压用避雷器はシリコンコンパウンドを塗布しているが、500kV 系統用避雷器は大形になり、保守作業にも多大な労力を要し、また作業中停電のための断路器が必要となりシリコンコンパウンドの塗布は不利となる。このため避雷器自体の汚損特性を向上させる必要がある。

3 構 造

図2はODBR1-200P形定格電圧420kV 避雷器の外観を示したものであるが、上下2本のがい管を積み重ねた構造である。

3.1 耐汚損構造

避雷器は図3のように、がい管内部に直列ギャップと特性要素を多数個積み重ねてコンデンサシールド筒の中に収納し、このコンデンサシールド筒ユニットが十数段積み重なる構造となっている。この直列ギャップには並列に分路インピーダ

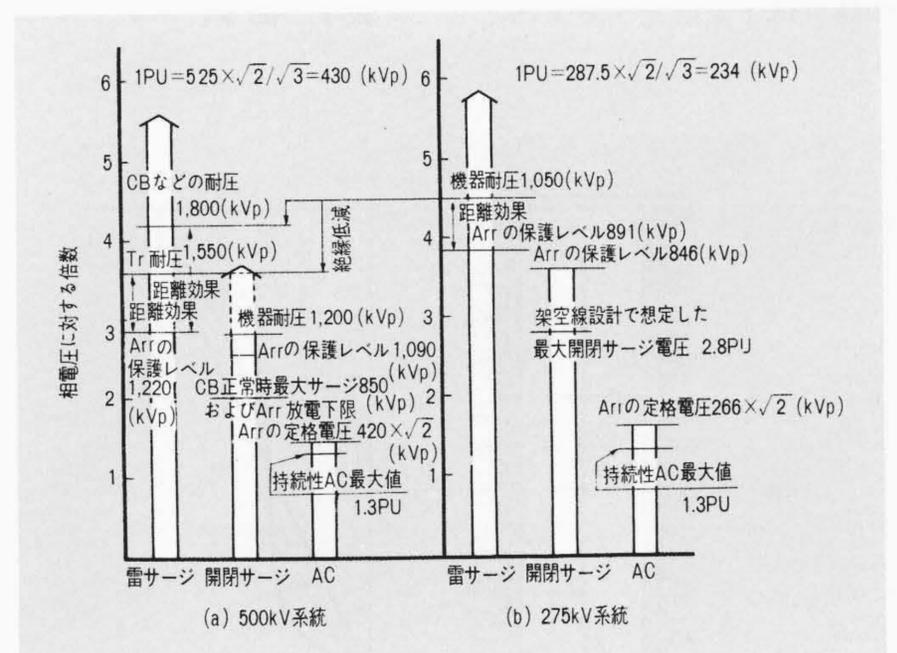


図1 275kV系統と500kV系統の絶縁協調 275kV超高压系統に比べ500kV系統用避雷器は一ランク低く設定されている。

Fig. 1 Insulation Co-ordination of 275kV Line and 500kV Line

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所 工学博士

表1 耐汚損避雷器構造 直列ギャップおよび特性要素の外周に大容量乾式コンデンサシールド筒を設けた。

Table 1 Structure of Contamination Type Lightning Arrester

項目	汚損特性低下防止方法	本避雷器の構造
1	がい管表面電流の直列ギャップ分路インピーダンス電流への流出入の防止	1段がい管が理想であるが経済性を考慮し2段重ねがい管とした。
2	漂遊容量電流 I_c の分路インピーダンス電流 I_c への影響の防止(大容量コンデンサ電流 I_c を常時流す)	図3, 4(b)のように大容量コンデンサ筒を直列ギャップとがい管の間にそう入し $I_c \gg I_c$ とし分路インピーダンス電流 I_c への影響を少なくした。なおがい管表面の汚損アークを考えた過渡漂遊容量電流に対しては, 大容量コンデンサ筒は非常に有益である。
3	汚損時のがい管表面と直列ギャップ間の電位差の低減(静的汚損について)	図3のようにユニット配置にして電位差を低減した。

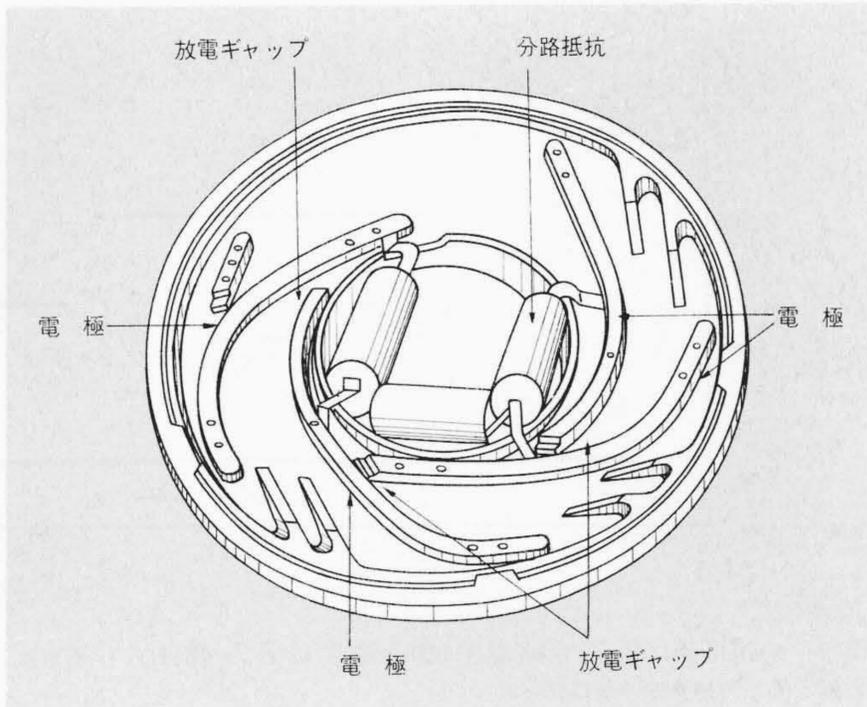


図5 直列ギャップ構造 特殊絶縁板上にうず巻き花弁状に配置した複数個の電極片により形成される単位ギャップを積み重ねて構成される。

Fig. 5 Gaps Construction

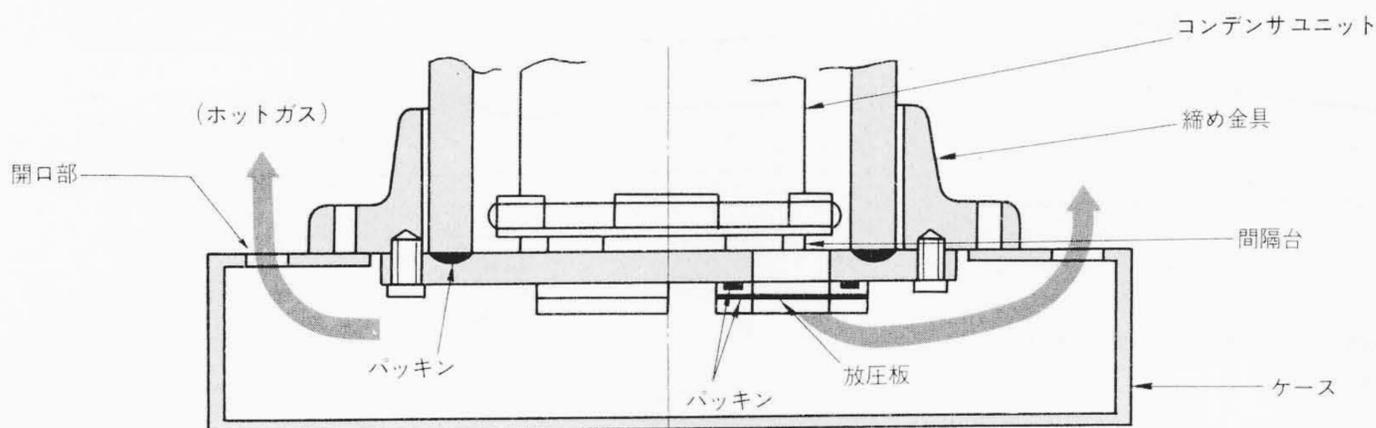


図6 防爆構造 万一, 続流がしゃ断できなくても, がい管内部の圧力が一定以上にならないように, がい管上下端に放圧板を設けている。

Fig. 6 Pressure Relief Device

3.2 直列ギャップの構造

直列ギャップは図5のような特殊絶縁板上にうず巻き花弁状に配置した複数個の電極片により形成される単位ギャップを積み重ねて構成される。これに分路抵抗, 電磁吹消しコイル, 吹消しコイル保護ギャップなどが付設される。なお電極には耐弧メタルを付け大電流アークに耐える構造となっている。

3.3 特性要素の構造

特性要素は半月形特性要素のほぼ中位部に絶縁板を配置し, その上下に電極板を介在させてジグザグに積み重ねて小形化している。特性要素は厳選された材料を特別な焼成法により焼成したもので, その周辺部に高抵抗体を焼結して衝撃波放電耐量 $100kA \times 2$ 回($5 \times 10\mu s$), 方形波耐量 $1,800A \times 20ms \times 20$ 回に耐える性能を有している。

3.4 防爆構造

避雷器が放電した場合, 続流が流れるが, この電流はただちにしゃ断される。もし, しゃ断できなければ系統は地絡の状態になり, 避雷器内を地絡電流が流れ続けることになるので, がい管内のガスはアークエネルギーにより非常に高温, 高圧になり, がい管は熱とガス圧力のために破壊し飛散するおそれがある。これを避けるために万一, 続流がしゃ断できなくてもがい管内部の圧力が一定以上にならないようにがい管上下端の密封用カバーに放圧板を設けている。この放圧板は昭和41年以来ODB-200P形避雷器に採用された実績のあるもので, がい管上下に各3個所付いている。なおがい管の上下端には放圧板をおおうケースが取り付けられ, ホットガス

が放圧板を突き破って出てくると, このケースの開口部よりガスが外部へ噴出しがい管の外表面を走りアークの外部せん絡になる。したがって内部アークは減少し, 内部圧力上昇を軽減させる。図6はその構造図である。

4 特性

4.1 保護特性

図7は定格電圧420kV避雷器の $0.5\mu s$ から商用周波領域までのV-t特性を示すものである。乾燥状態と汚損状態では差はみられず, 規定値内に余裕をもって収まり良好な特性であることがわかる。また図8は, 制限電圧特性を示すものである。

4.2 動作責務特性

4.2.1 再閉路サージ動作責務

最近におけるしゃ断器の性能向上により, 無負荷送電線路を再点弧することなくしゃ断することが可能となった。しかし三相高速度再投入を行なうときには, 健全相の線路には残留電荷がある状態で投入することになり, 再点弧によるサージとはほぼ同様ないわゆる再投入サージが発生し避雷器を動作させることがある。これを模擬した試験は線路長200km(サージインピーダンス 300Ω , 対地キャパシタンス $0.013\mu F/km$), AC試験電圧420kVおよび $550kV/\sqrt{3} \times 1.05$, 電源短絡電流3kA, 30kAを対象とし, 供試避雷器を定格電圧14kVとして分割試験回路にて試験を行なった。避雷器設置位置を電源側および線路側のおのおのに対し, 試験電圧14kVおよび

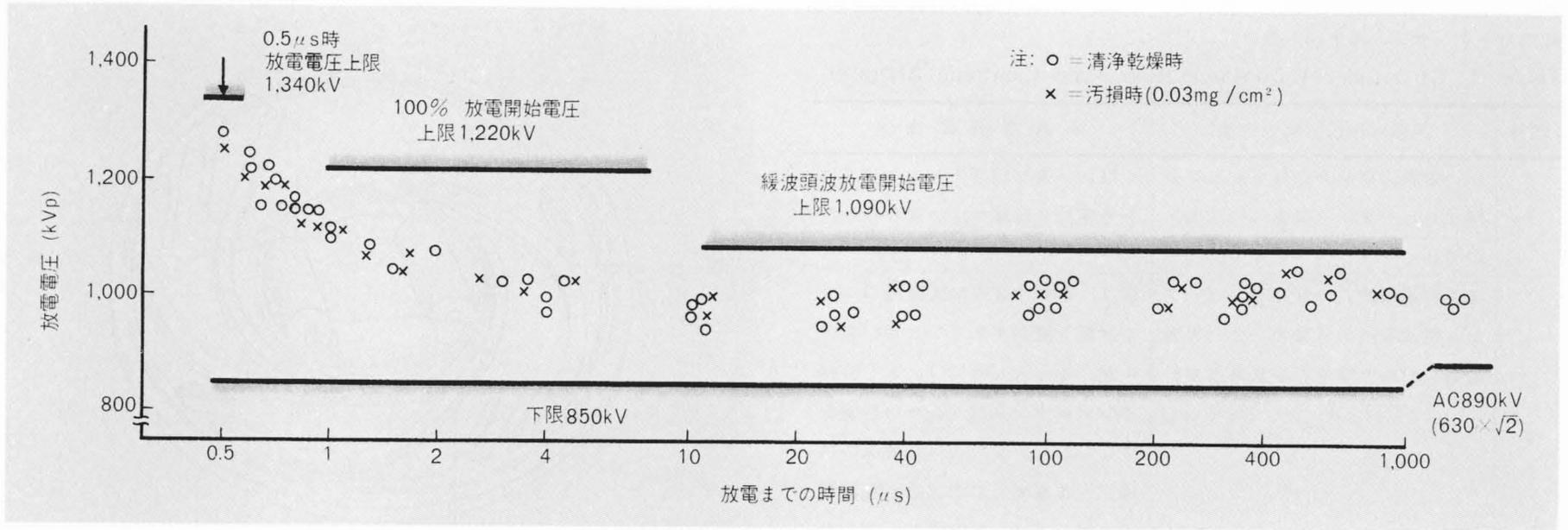


図7 ODBR3-200P形定格電圧420kV避雷器のV-t特性 衝撃波および緩波頭波の放電電圧は乾燥状態と汚損状態で差は見られない。

Fig. 7 V-t Characteristics of Type ODBR3-200P 420kV Lightning Arrester

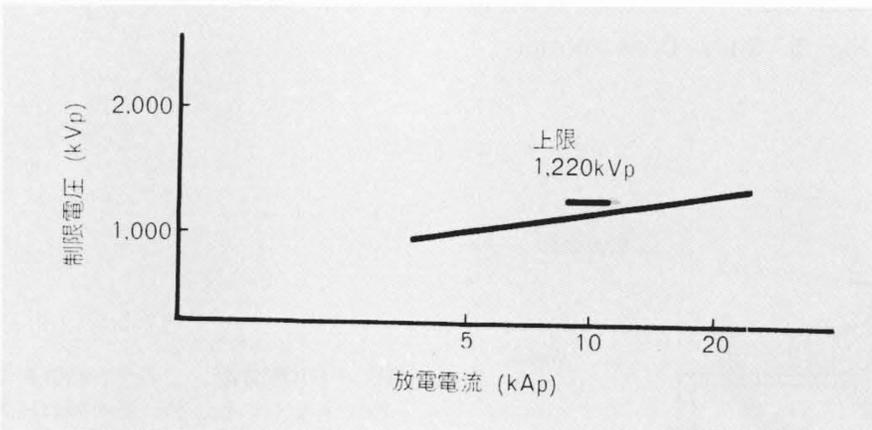


図8 ODBR3-200P形定格電圧420kV避雷器の制限電圧特性 制限電圧は規定値内に余裕をもって収まっている。

Fig. 8 Discharge Voltage Characteristics of Type ODBR3-200P 420kV Lightning Arrester

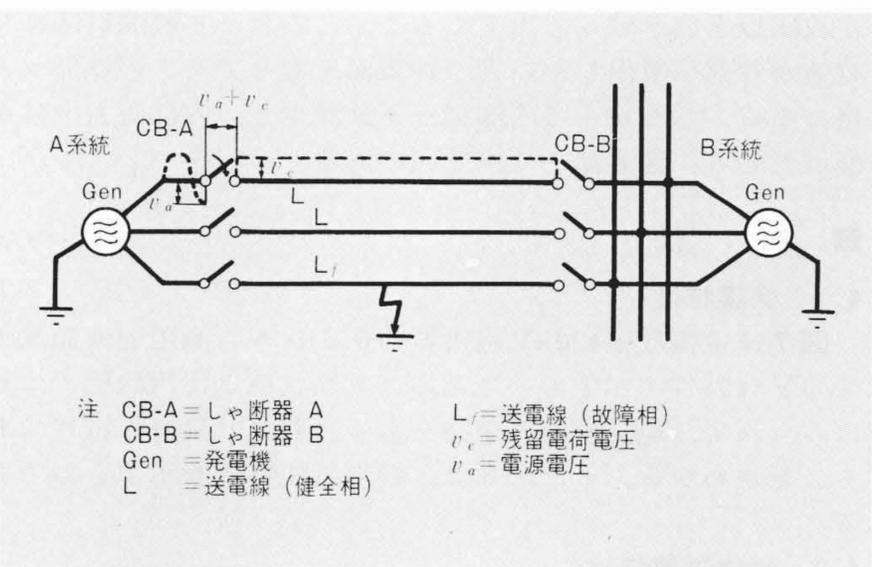


図9 高速度再投入時の系統説明図 しゃ断器A投入時、極間にv_a+v_cの電圧が加わり再点弧が生ずる。

Fig. 9 Line Condition at High Speed Reclosing

11.1kV, 電源側短絡電流3kA, 30kAの条件で各3回計24回の試験を行ない、いずれも続流を再点弧なしでしゃ断できることを確認した。図9は、高速度再投入時の系統説明図である。同図によれば一線地絡故障時にしゃ断器A, Bが開路するがAが後行となれば、しゃ断器Aは健全相の充電電流をしゃ断し、したがって線路に残留電荷が残る。図10はその試験結果を示すものである。

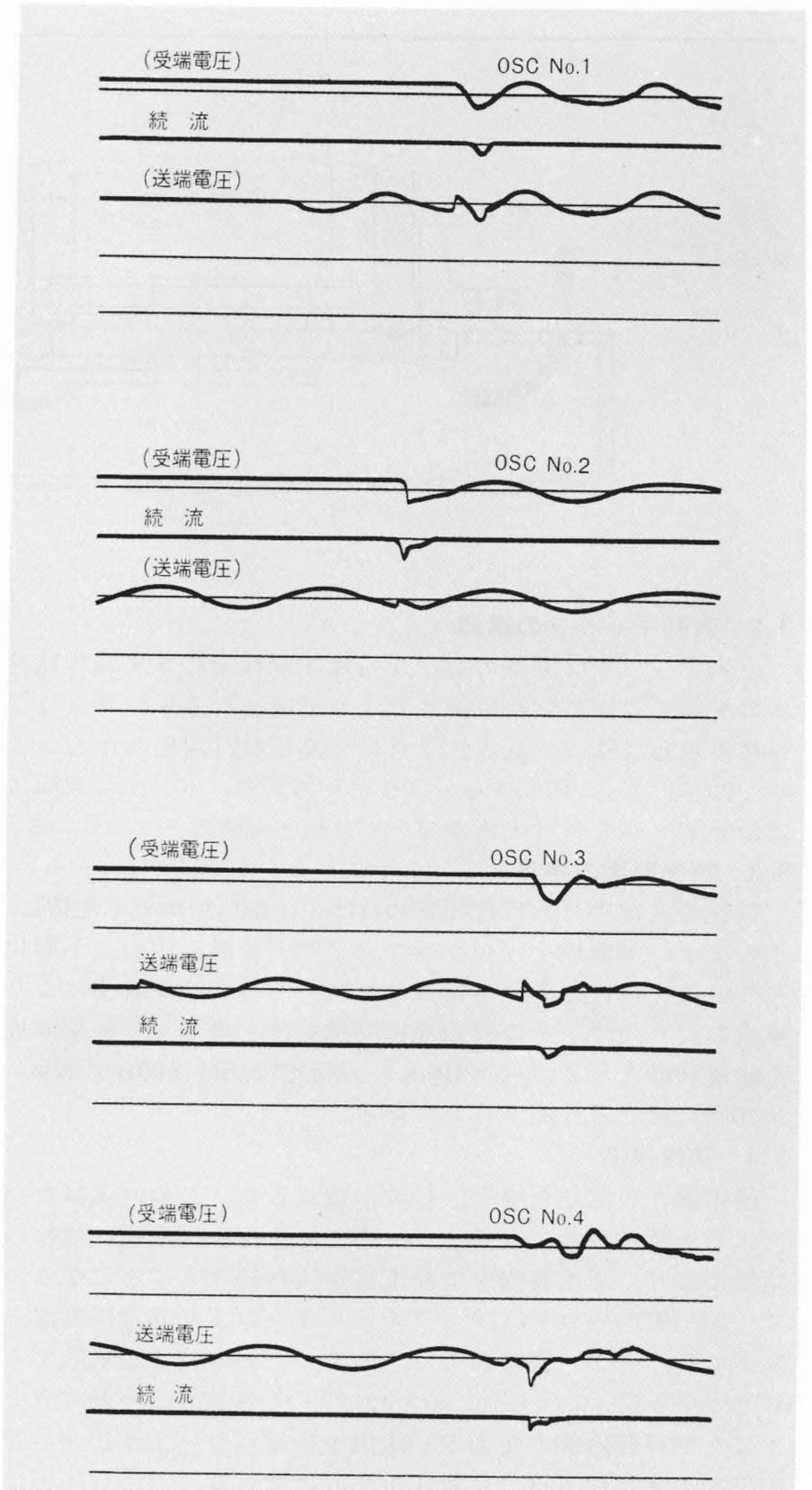


図10 再閉路サージ動作責務試験オシログラム 続流は2,000Aを越えるものもある。

Fig. 10 Typical Oscillograms of Operating Duty Cycle Test with Switching Surge

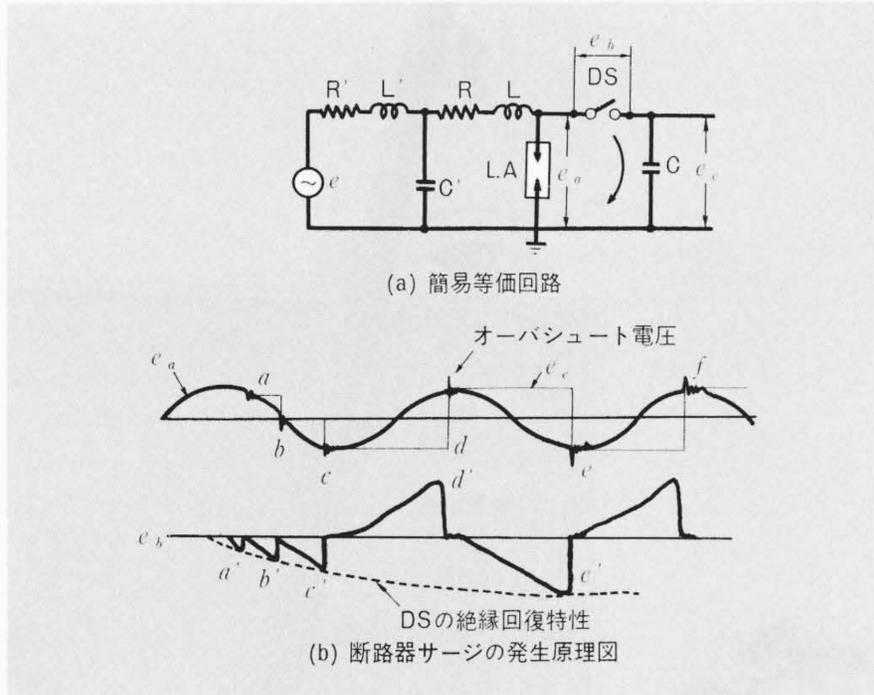


図11 断路器サージの等価回路と発生原理図 断路器の開極速度が遅いため、無負荷線路の対地容量の充電電流をしゃ断するとき、多数回の再点弧がくり返される。

Fig. 11 Principle of Multiple Repeated Surge

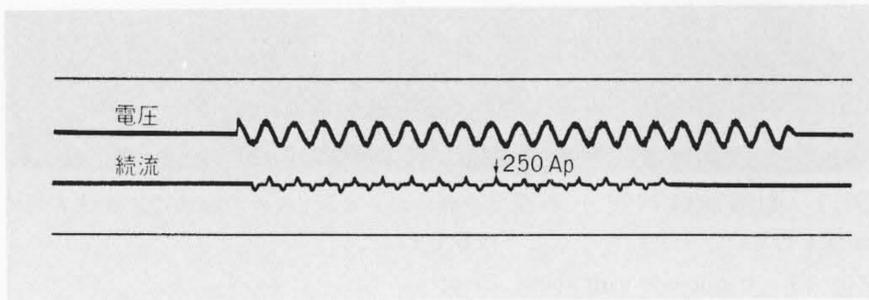


図12 断路器サージ動作責務試験オシログラム 30回の半波ごとの連続放電に対しても続流はしゃ断されている。

Fig. 12 Typical Oscillograms of Multiple Repeated Operating Duty Cycle Test

4.2.2 断路器サージ動作責務

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電圧で避雷器が多数回動作するときの動作責務を確認するもので、図11は断路器サージの発生等価回路と発生機構を示すものである。断路器の極間電圧 e_b が交われば再点弧するが、断路器の開極速度が遅いためさらに多数回の再点弧がくり返される。この再点弧時に発生するオーバシュート電圧により避雷器は連続動作する。これに対する避雷器の性能を確認するため、定格電圧14kV分割避雷器を使用し、試験電圧11.15kV ($=550/\sqrt{3} \times 1.05 \times 14\text{kV}/420\text{kV}$)で連続30回の多重動作をさせて、続流しゃ断に成功した。図12は代表的オシログラムを示すものである。

4.2.3 汚損時の動作責務

汚損時の動作責務試験は、汚損時の各区分避雷器の分担電圧が清浄乾燥時のように均一化していないため、清浄乾燥時の等価分割動作責務試験をそのまま適用することはできない。続流しゃ断後の回復電圧に対する分担電圧のアンバランスを考慮した試験電圧で試験を行なう必要がある。これらを考慮して実避雷器の1/3の定格電圧84kV分割避雷器を、試験電圧92kVで試験した結果は図13に示すとおりである。

4.3 耐汚損特性

避雷器はがい管内部に直列ギャップを内蔵しているため、がい管表面の汚損により、直列ギャップの電位分担が大きく

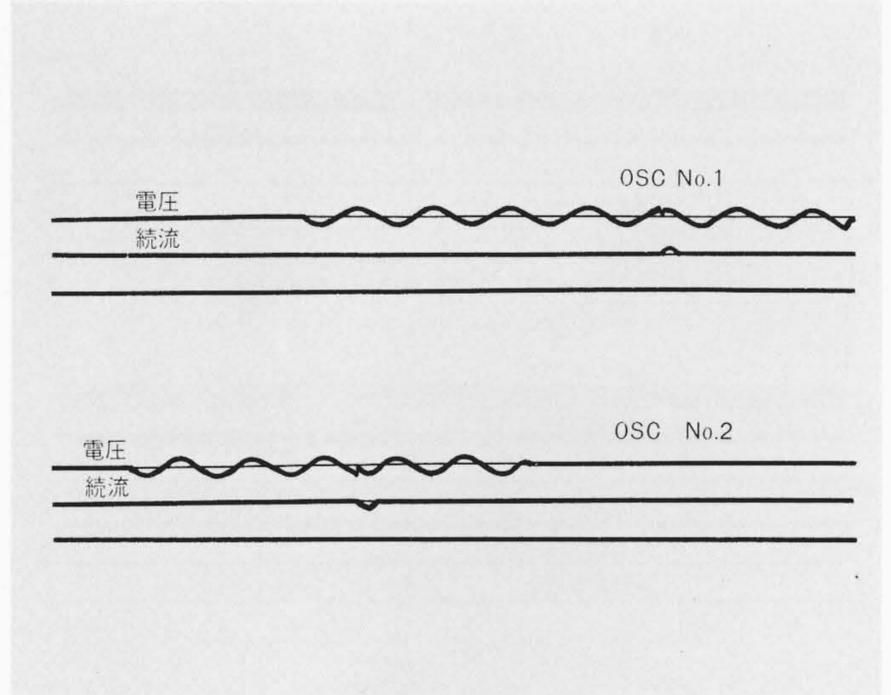


図13 汚損時雷サージ動作責務試験オシログラム 汚損度0.03 mg/cm²で雷サージ後の続流はしゃ断されている。

Fig. 13 Typical Oscillograms of Operating Duty Cycle Test with Lightning Surge Under Contamination Condition

変化し特性が低下するので、他の送変電機器に比べて耐汚損避雷器の製作が困難である。現在の275kV超高压避雷器にはすべてシリコンコンパウンドを塗布しているが、500kV系統用避雷器の場合、シリコンコンパウンド塗布の廃止、断路器の省略などの利点が多い耐汚損形で活線洗浄可能な避雷器が要望されている。耐汚損特性として特に必要な条件は

- (1) 常規使用電圧で避雷器は放電しないこと。
- (2) 一線接地時、健全相の電圧上昇時放電しないこと。
- (3) 常規使用電圧で活線洗浄を行なえること。

以上3条件を満足する図14の試験シーケンスにて試験を行ない満足な性能が確認できた。図15(a)および(b)は、その代表的オシログラムを示すものである。

4.4 防爆構造試験

避雷器が定格仕様を越える状態で動作したとき、続流はしゃ断不能となっても爆発飛散せぬよう、500kV系統を対象とした防爆試験を実施した。通電電流50,000A(0.2秒)、30,000A(0.2秒)、3,000A(0.4秒)の3種について行ない満足な性能が得られた。代表的オシログラムは図16に示すとおりである。

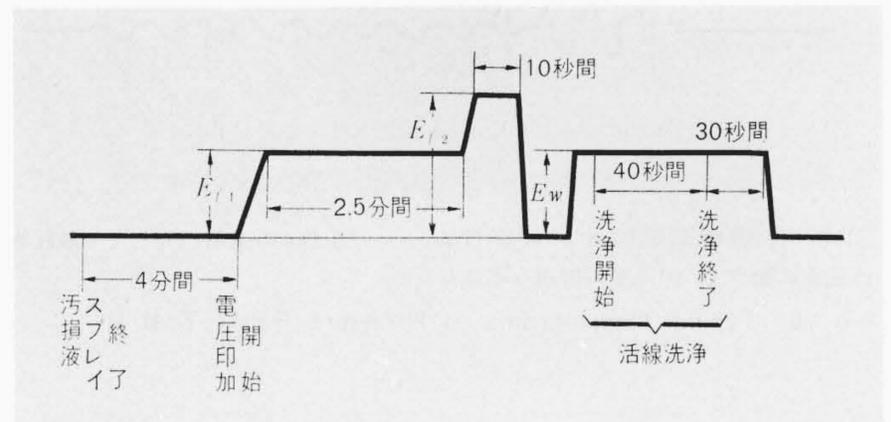


図14 耐汚損試験シーケンス 汚損度は、0.01mg/cm²、0.03mg/cm²にて行なった。

Fig. 14 Sequence of Voltage Withstand Test with Contamination Present

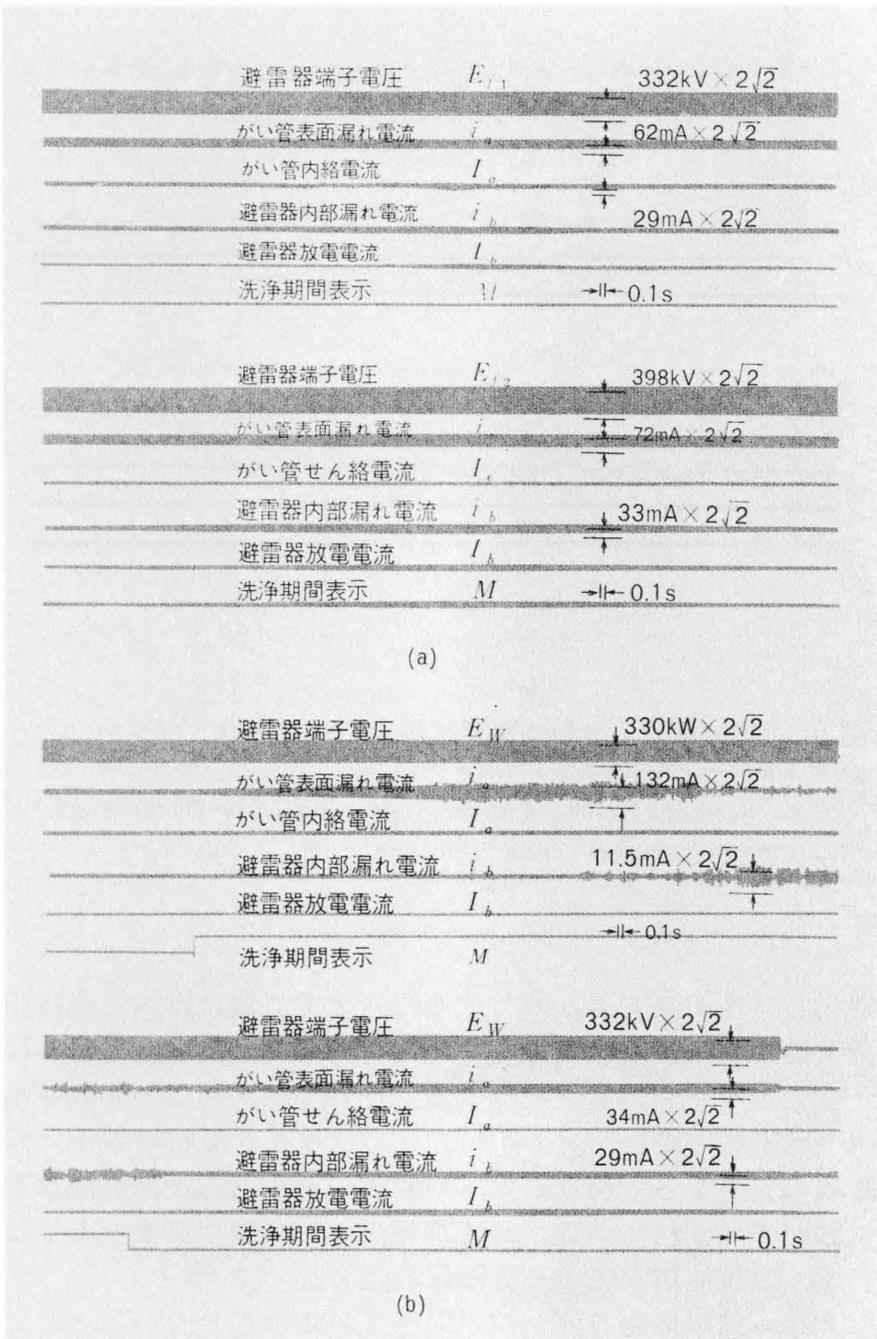


図15 耐汚損試験オシログラム (a)は汚損度0.01mg/cm²の耐压試験を示し、(b)は活線洗浄時の耐压試験を示す。

Fig. 15 Typical Oscillograms of Voltage Withstand Test with Contamination Present

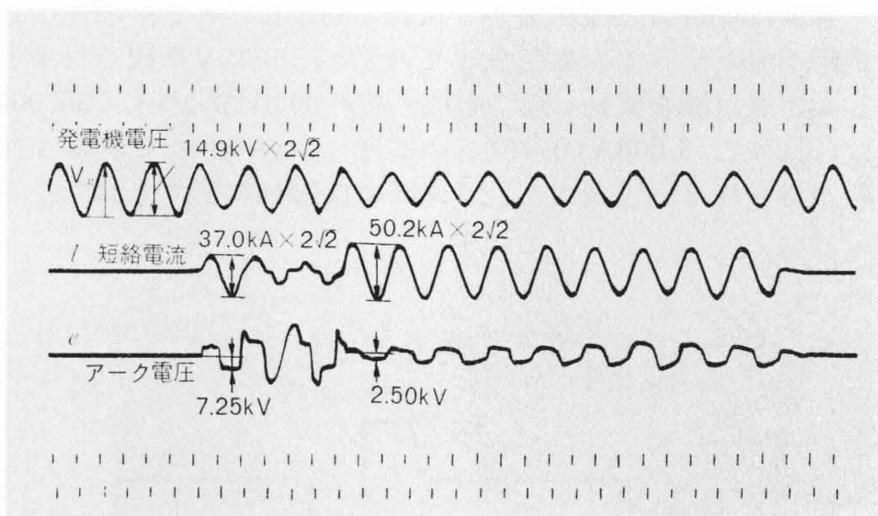


図16 防爆構造試験オシログラム 50.2kAの通電に対しても放圧板は正常に動作し、がい子の破損などはない。

Fig. 16 Typical Oscillograms of Pressure Relief Test

る。供試避雷器は、420kV避雷器の下段がい管部の1/2の高さを有し、(内部のコンデンサユニットの数も1/2)、がい管径、内部通気孔部など全く同一な構造となっており、放圧板はがい管下部のみに付けられ、上部は盲ふたにて密閉しているので完全な等価分割区分となっている。



図17 耐震試験状況 共振周波数において0.3Gの加速度で正弦波3波の加振を行ない、十分耐えることを確認した。

Fig. 17 View of Vibration Test

4.5 耐震特性

避雷器は強度の弱いがい管が地面に垂直に立つという耐震上最も不利な構造となっている。さらに地震の周波数成分は0.1~15Hzと言われているので、2Hz前後の固有振動数を有する420kV避雷器は完全に地震の周波数と共振する可能性もあり本試験条件として、420kV避雷器を架台に載せた状態で、共振周波数において0.3Gの加速度で正弦波3波の加振を行なったが、十分これに耐えることを確認した。図17は耐震試験の状況を示すものである。

5 結 言

500kV系統用避雷器の仕様、構造およびその性能について述べたが、その他輸送試験、長期課電試験などの実用性能試験も終了し、関西電力株式会社奥多々良木発電所に昭和48年8月納入したのをはじめ、現在15台の避雷器を製作中である。本避雷器が500kV系統送電機器の絶縁保護の根幹として貢献することを信ずる。

終わりに本避雷器の製作にあたり、種々ご指導いただいた日立製作所原子力技術本部 益田淳一氏をはじめ、関係各位に深く謝意を表す。

参考文献

- (1) 益田ほか、「避雷器の高電圧化と適用」、電気計算 40, 5, 47 (昭47-5)
- (2) 益田ほか、「避雷器の開閉サージ動作責務」、電気評論, 55, 1288 (昭45-11)