

400 kV 日立制弧避雷器と絶縁協調

400 kV Hitachi Lightning Arresters and Insulation Coordination

内 儀 忠 恕* 益 田 淳 一* 加 藤 保 照**
Tadayoshi Naigi Jun'ichi Masuda Yasuteru Katō

内 容 梗 概

わが国においては、275 kV までの送電系統が建設運転されており、400 kV 級送電線の建設が検討されている。避雷器はこれら送電線および機器の絶縁協調の根幹となるものである。日立製作所では 400 kV 制弧避雷器を製作、各種試験を行った。この避雷器は電磁吹消形、分路抵抗付直列ギャップを有する完全自立形の避雷器で、10 kA 制限電圧は BIL に対し 20% 以上の余裕をもっており、亘長 200 km の 400 kV 線路の開閉サージを処理できることが確められた。

1. 緒 言

現在わが国における送電電圧は 275 kV が最高であるが、次の段階として 400 kV 級の送電線が計画され国内の委員会でも検討されている。外国の例としては、スウェーデン、ソ連、ドイツ、フランスなどで 400 kV 級の送電線が建設され運転されているが、ヨーロッパにおいては雷日数が少なく、また開閉サージに対する要求も低いので参考とするに足る資料はまだ少ない。

国内ではここ数年来、避雷器に対して従来のように単に雷による衝撃電圧の防護だけでなく、無負荷変圧器の開閉、無負荷線路の開閉などによって発生する内雷の保護能力をも要求されるようになってきた。日立製作所においてはこの要求を満足する避雷器として、すでに ODB-200 形制弧避雷器を製作し、東京電力株式会社はじめ各電力会社に納入し好評を得ているが、今回さらに 400 kV 制弧避雷器を製作し各種試験を行ったので、以下簡単にこの避雷器と絶縁協調について報告する。

2. 400 kV 避雷器の定格と絶縁協調

2.1 400 kV 避雷器の定格

わが国において 400 kV 級送電が実施される場合、系統電圧、基準絶縁強度 (BIL) がいくらに選ばれるかは結論が出されていないが、送電電圧特別委員会では、287.5 kV までの標準電圧を次のようにして決めることになっている。

基準電圧 $\times 1.1$ = 公称系統電圧

基準電圧 $\times 1.15$ = 最高系統電圧

基準電圧 $\times 1.2$ = 最高系統許容電圧

避雷器の定格電圧 (商用周波許容端子電圧) V_{Arr} は

$$V_{Arr} = \frac{E}{\sqrt{3}} \times \alpha \times \beta \times \gamma \dots (1)$$

ただし E : 最高系統電圧

α : 1 線接地時の健全相電圧上昇率 = 1.3

β : 電圧変動率 = 1.15

γ : 裕度 = 1.1

..... (2)

から求められるので、公称系統電圧をスウェーデン、ドイツ、フランスなどの例にならって 380 kV とすると、最高系統許容電圧は 420 kV となり、避雷器定格電圧は 400 kV となる。これは 95% 避雷器に相当している。

2.2 BIL の決定と避雷器放電開始電圧

現在審議中の JEC-131 避雷器規格改訂案では電圧定格のほかに電流定格が設けられることになっており、10, 5, 2.5 kA の三段階

がある。いま 400 kV 送電線に侵入するサージを 1,800 kV、複導体を使用してサージインピーダンスを 300 Ω 、制限電圧を 1,140 kV とすればサージ電流は

$$\frac{1,800 \times 2 - 1,140}{300} = 8 \text{ (kA)}$$

となり、電流定格 10 kA を採用することは妥当である。ODB-200 形 400 kV 制弧避雷器の 10 kA 放電時の制限電圧は 1,140 kV 以下であるので、従来考えられているように、BIL と制限電圧との比を 100:80 とすると、BIL は $1,140 \times 1.25 = 1,425 \text{ kV}$ となる。この値はちょうど IEC の推奨案⁽¹⁾と一致する。

次に避雷器の衝撃放電開始電圧の上限は 1,500 A 放電時の制限電圧に等しく 870 kV とした。また、緩波頭サージ放電開始電圧は機器の耐圧を $BIL \times 80\% = 1,140 \text{ kV}$ とし、これに 10% の余裕をみて 1,025 kV 以下とした。商用周波放電開始電圧の波高値は緩波頭サージ放電開始電圧と等しいので、725 kV (eff) 程度とした。実際に 400 kV 避雷器の放電開始電圧を測定した結果は、衝撃電圧では 780 kV、緩波頭サージでは 990 kV、商用周波では 700 kV であり、上記保証値を満足するものが得られた。

2.3 機器の商用周波耐圧値

機器の商用周波耐圧値は、275 kV 以下の機器の BIL と商用周波耐圧値との比率から考えると 630 kV となり、一方、1 線接地時健全相電圧の 2 倍必要であると考えれば、次のようになる。

$$\frac{420 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.3 \times 2 = 630 \text{ kV} \dots (3)$$

(3) 式で係数 1.3 は 1 線接地時の健全相電圧上昇係数であり、係数 2 は安全率である。また機器の緩波頭サージ (開閉サージ) 耐圧を商用周波耐圧値の 1.3 倍とすると

$$630 \text{ kV} \times \sqrt{2} \times 1.3 = 1,160 \text{ kV} \dots (4)$$

$$\frac{1,160}{420 \times \sqrt{2} / \sqrt{3}} = 3.35 \dots (5)$$

(5) 式より対地電圧の 3.35 倍の開閉サージに耐えることになり、BIL = 1,425 kV から求めた 630 kV という値は大体妥当であることを示している。第 1 表⁽²⁾は各国の 400 kV 系統の絶縁協調と日立案を示したものである。

3. ODB-200 形制弧避雷器の構造

この避雷器は電磁吹消コイルを流れる続流電流により発生する磁界で続流アークを駆動伸長させ、消弧室内において最初の電流零点で続流を確実に遮断する電磁吹消形避雷器で、第 1 図および第 2 図に示すように完全自立形である。第 3 図はこの直列ギャップ構造を第 4 図は電氣的接続を示したものである。内側コイルと外側コイルとによって発生する磁界は、主放電ギャップ付近では非常に強力で、

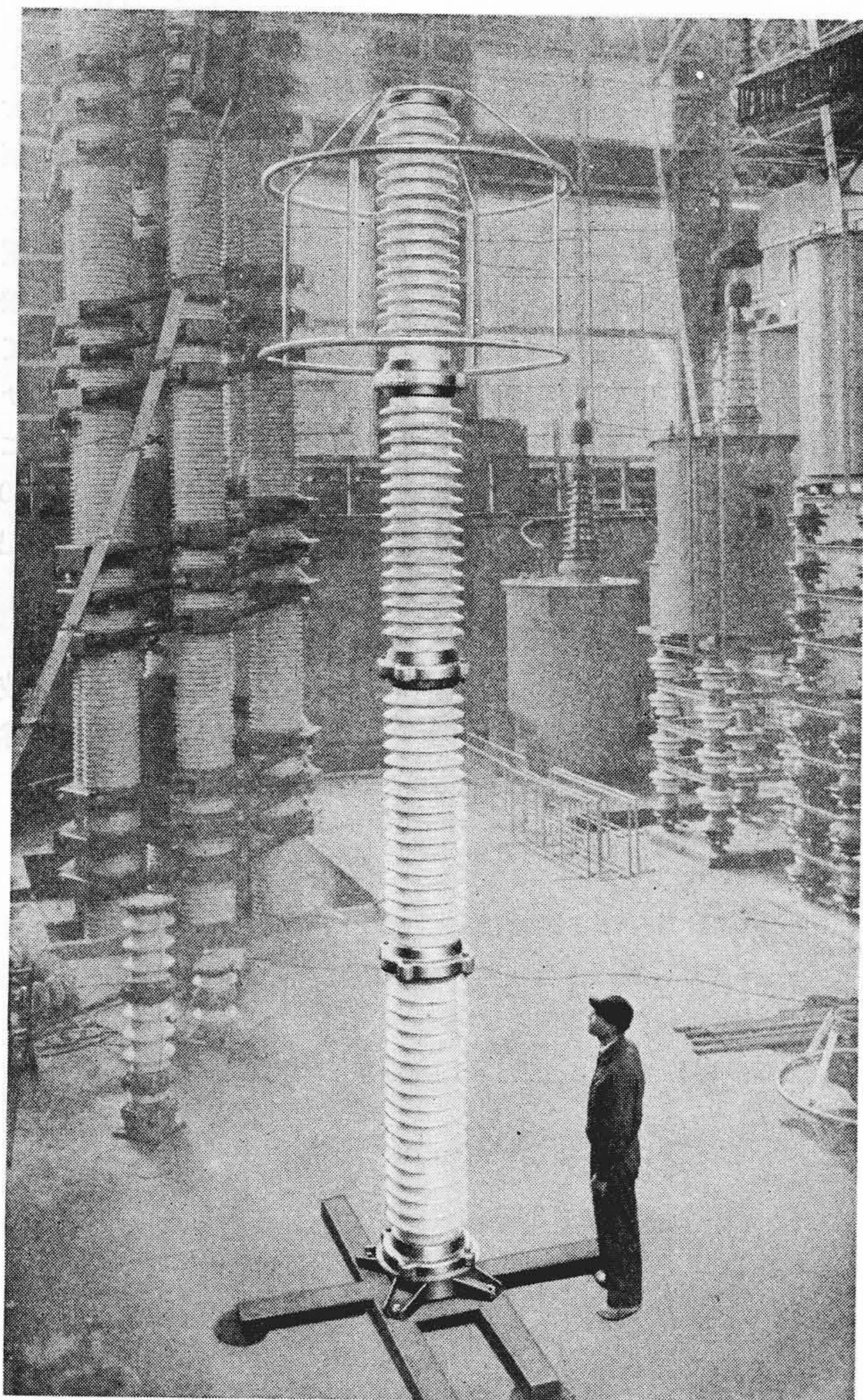
* 日立製作所国分工場

** 日立製作所日立研究所

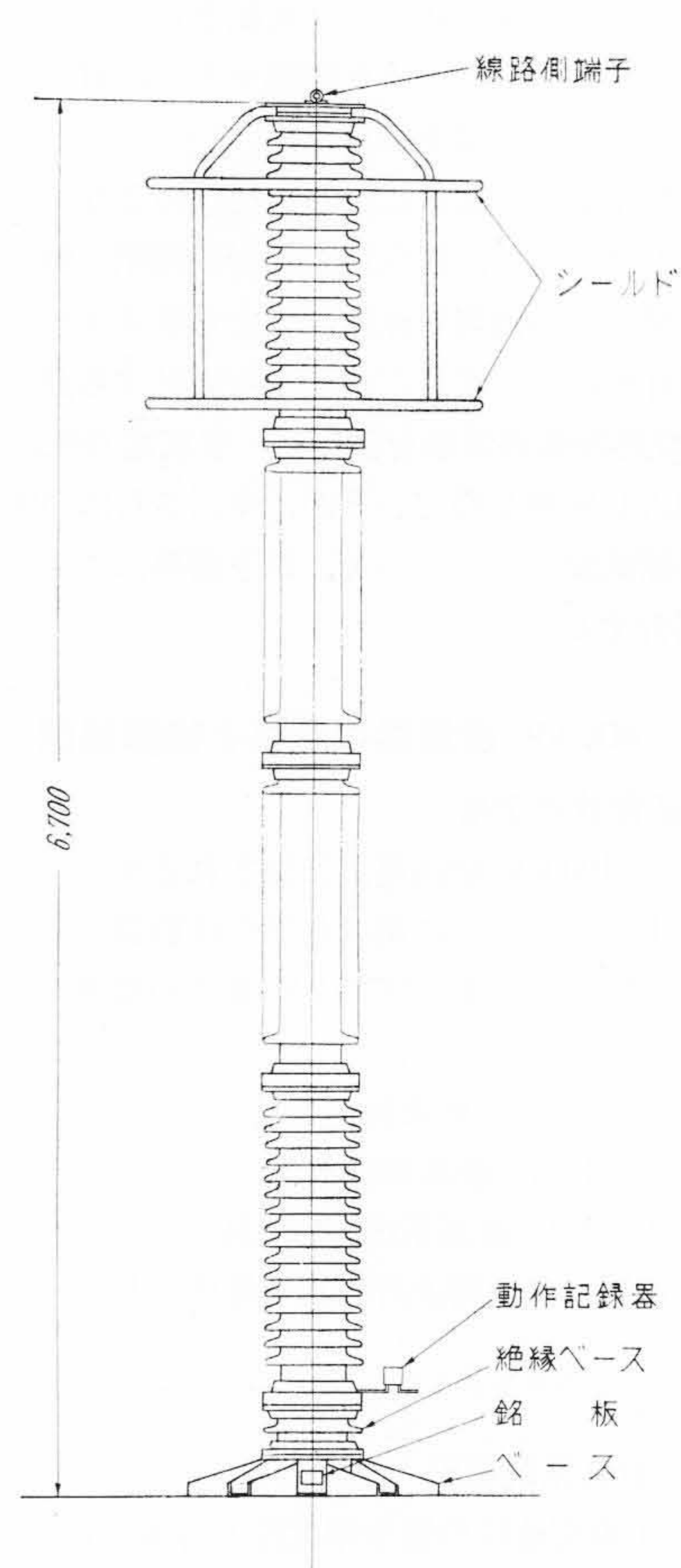
第 1 表 絶 縁 協 調 表

電 氣 的 諸 定 数			スウェーデン		ソ 連		ド イ ツ		フランス	日 立 案	I E C	
			最初の系統	引続き建設 される系統	1949年計画	1957年計画	RWE	VDE				
公 称 電 圧 (kV)			380		400		380		380	380		
最 高 回 路 電 圧 (kV)			420		420		420		420	420	420	
架 空 線 耐 圧	AC	乾 燥 (kV)	940					750				
		注 水 (kV)	760	690	775		830	750	850	630	630	
	Imp (kV)		1,800	1,500	1,800~2,000		1,800	1,425	1,850	1,425	1,425	
電 力 所 機 器	外 部 絶 縁	AC	940	825	850	730						
			780	660	700		750	750	730	630		
		Imp (kV)		1,775	1,500	1,500	1,300	1,450	1,450	1,650	1,425	
	変 圧 器 内 部 絶 縁	AC (kV)		780	660	700	600	640	640	630	630	
		Imp	截 断 波 全 波			1,800		1,800	1,640			
				1,775	1,500	1,500	1,300	1,450	1,450	1,450	1,425	
避 雷 器	許容端子電圧 (kV)		400		420		410	320	420	400		
	AC 放電電圧 eff (kV)		最大 800				612~715	680~850	705~850	600以上(700)		
	衝撃放電電圧 (kV)		1,200		1,100		915(100%)	1,156(100%)	1,000~1,200	870以下(780)		
	緩波頭サージ放電電圧 (kV)									1,025以下(990)		
	制限電圧 (10 kA) (kV)		1,180	1,180 ?	1,260		1,156	1,156	1,200	1,140以下(1,040)		
	定格衝撃電流 (kV)		10		10		10	10	10	10		
制 限 電 圧 / BIL			0.67	0.79	0.84		0.8	0.8	0.83	0.80 (0.73)		

日立案欄 () 内数値は実測値



第 1 図 ODB-200 形 400 kV 日立制弧避雷器

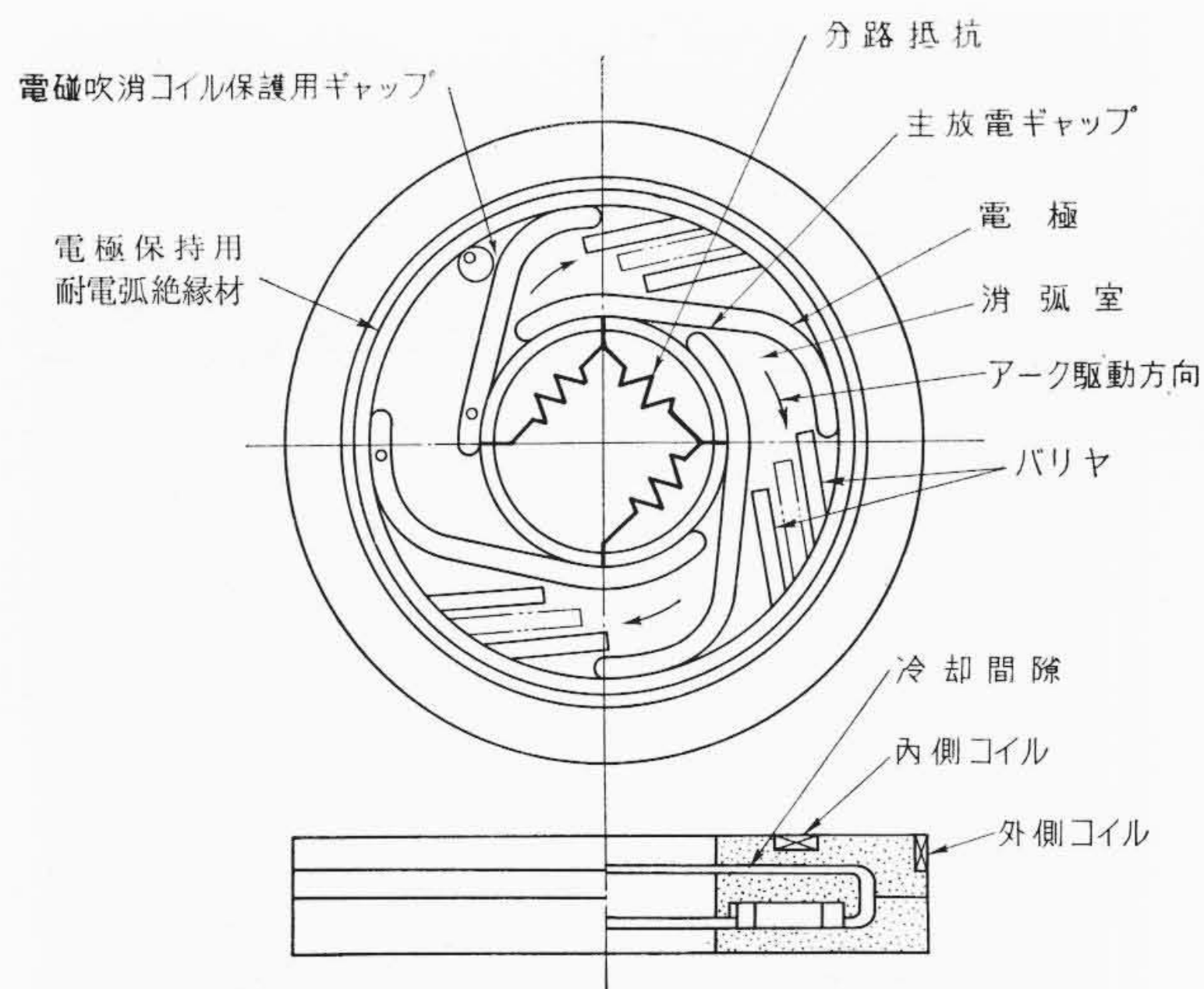


第 2 図 ODB-200 形 400 kV 日立制弧避雷器寸法図

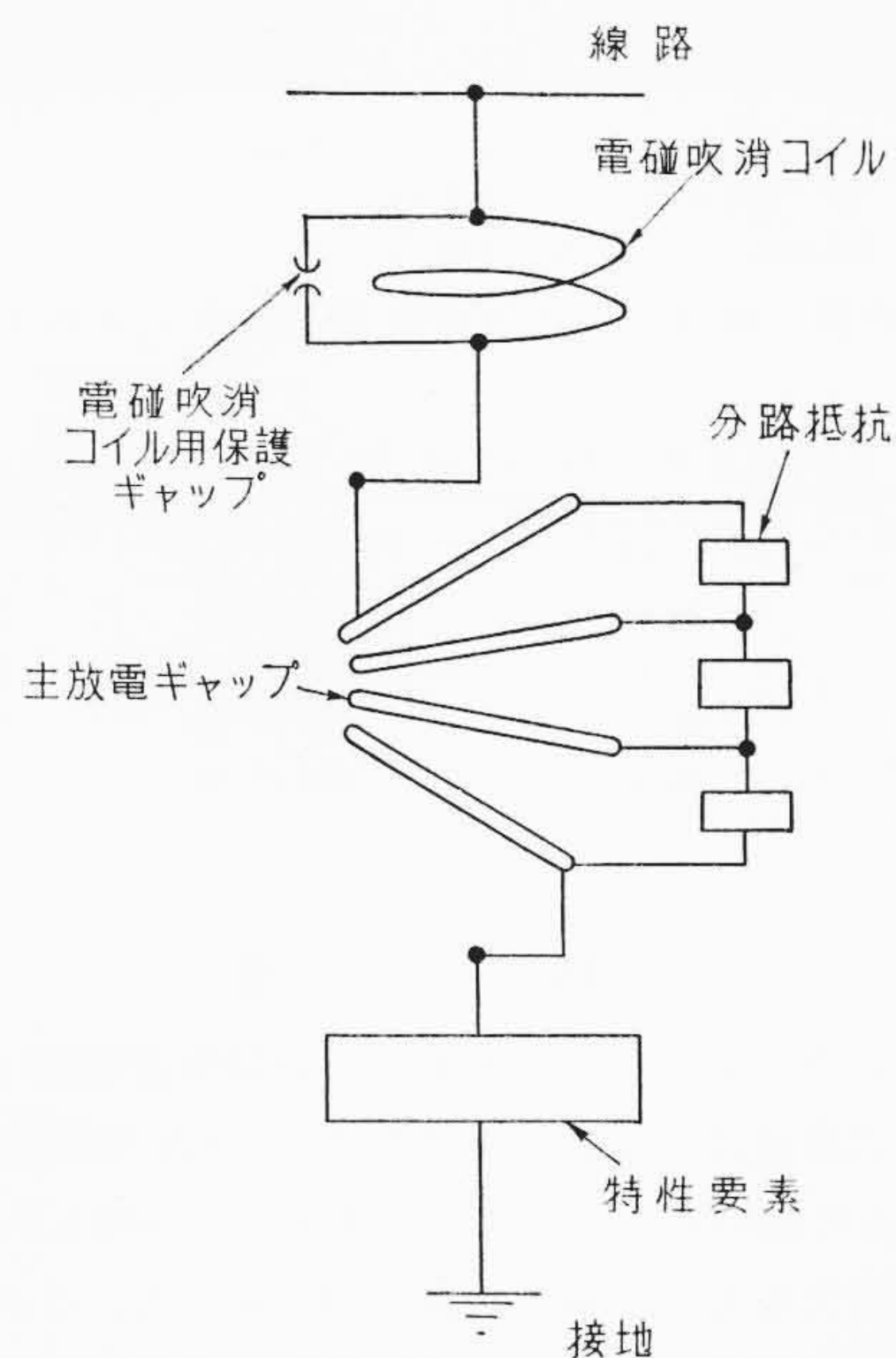
ので、絶対に再点弧することがない。一面に 3 点のギャップを配置することにより直列ギャップの高さを従来の形に比べて 60% に減少することができた。

つぎに特性要素組立構造は第 5 図に示すように、がい管内に半円形特性要素を円形並列に積重ね、これらをジグザクに接続することにより、特性要素組立高さを従来の形の 60% に減少させることができた。この積重ねに当っては特に絶縁構造に注意を払い沿面閃絡が完全に防止されている。直列ギャップと特性要素とは単位ごとにかい管内に密封され、完全に脱湿した上で N_2 ガスが封入されている。

アークが消弧室周辺部に駆動伸長されるに従って急速に減少する分布となっている。このために放電ギャップ付近でのアークのこう着がさけられ、しかも消弧室におけるアークの逸走がさけられる。またアークの駆動伸長に伴う高温ガスは、第 3 図に示す冷却間隙を通過して放電ギャップにもどるときには完全に絶縁が回復されている



第3図 直列ギャップ構造



第4図 制弧避雷器電気的接続図

4. 動作責務試験

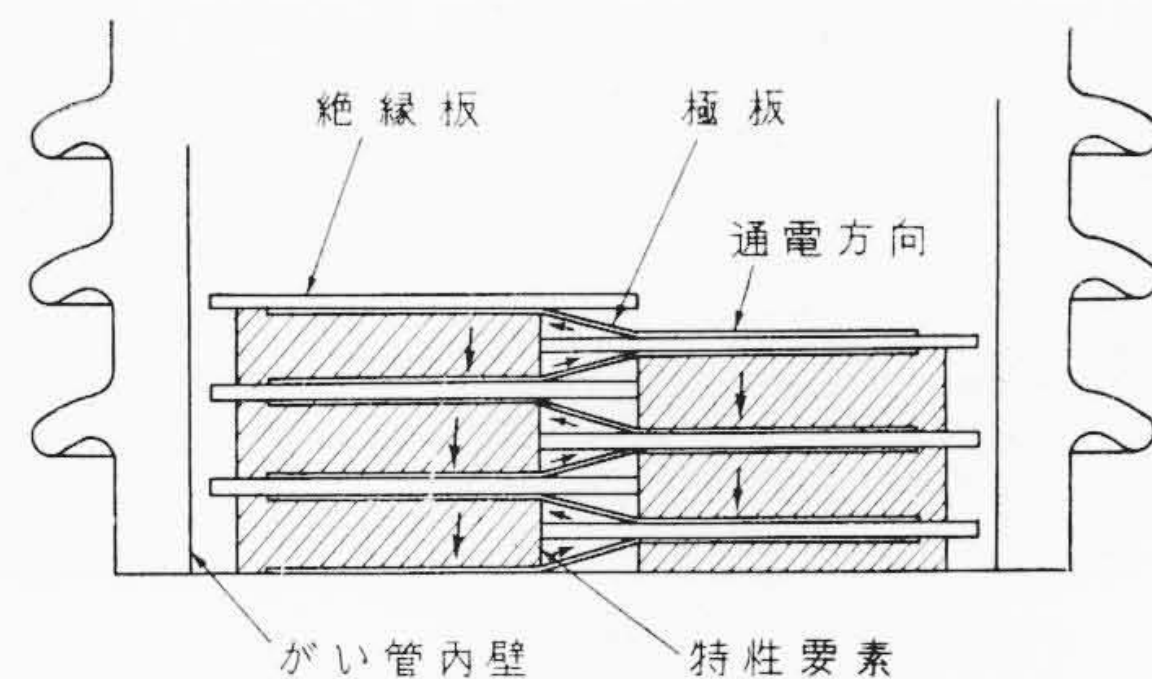
4.1 普通動作責務試験

避雷器の動作責務試験には分割試験が認められているので定格 14 kV 単位で実施するのが普通であるが、積重ねによる性能の変化をみるために、定格 84 kV、商用周波放電開始電圧 138 kV (2.3 E) の避雷器についても実施した。

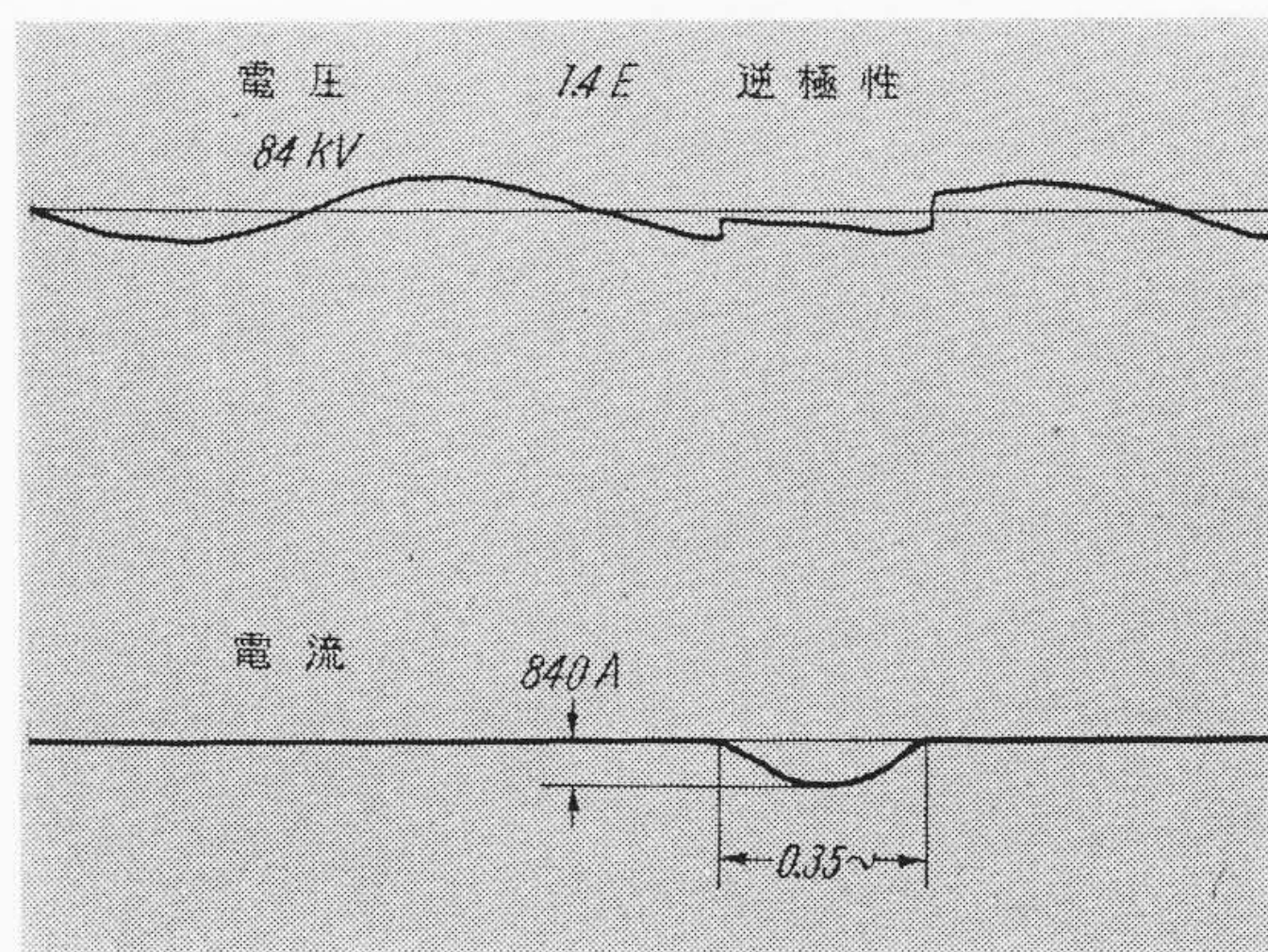
まず商用周波許容端子電圧の上限をみるために 70 kV (1.2 E) から 114 kV (1.9 E) まで避雷器端子電圧を上げて続流遮断試験を行ったが、いずれも $1/2$ 以下で確実に遮断完了した。次に直列ギャップの電流遮断限界をみるために特性要素の枚数を減じ正規の場合の 2 倍以上の続流を流して試験を行ったが、この場合も確実に続流を遮断した。これらの試験のオシログラムを第 6, 7 図に示す。これらは定格 14 kV の避雷器の遮断性能と同一で積重ねによる性能の低下がないことを実証している。

4.2 特殊動作責務試験

定格 19 kV 避雷器について、400 kV 系統の模擬開閉サージによる動作責務試験を行ったが、この避雷器の 10 kA 制限電圧は 40 kV、商用周波放電開始電圧は 24.5 kV であった。亘長 200 kV の

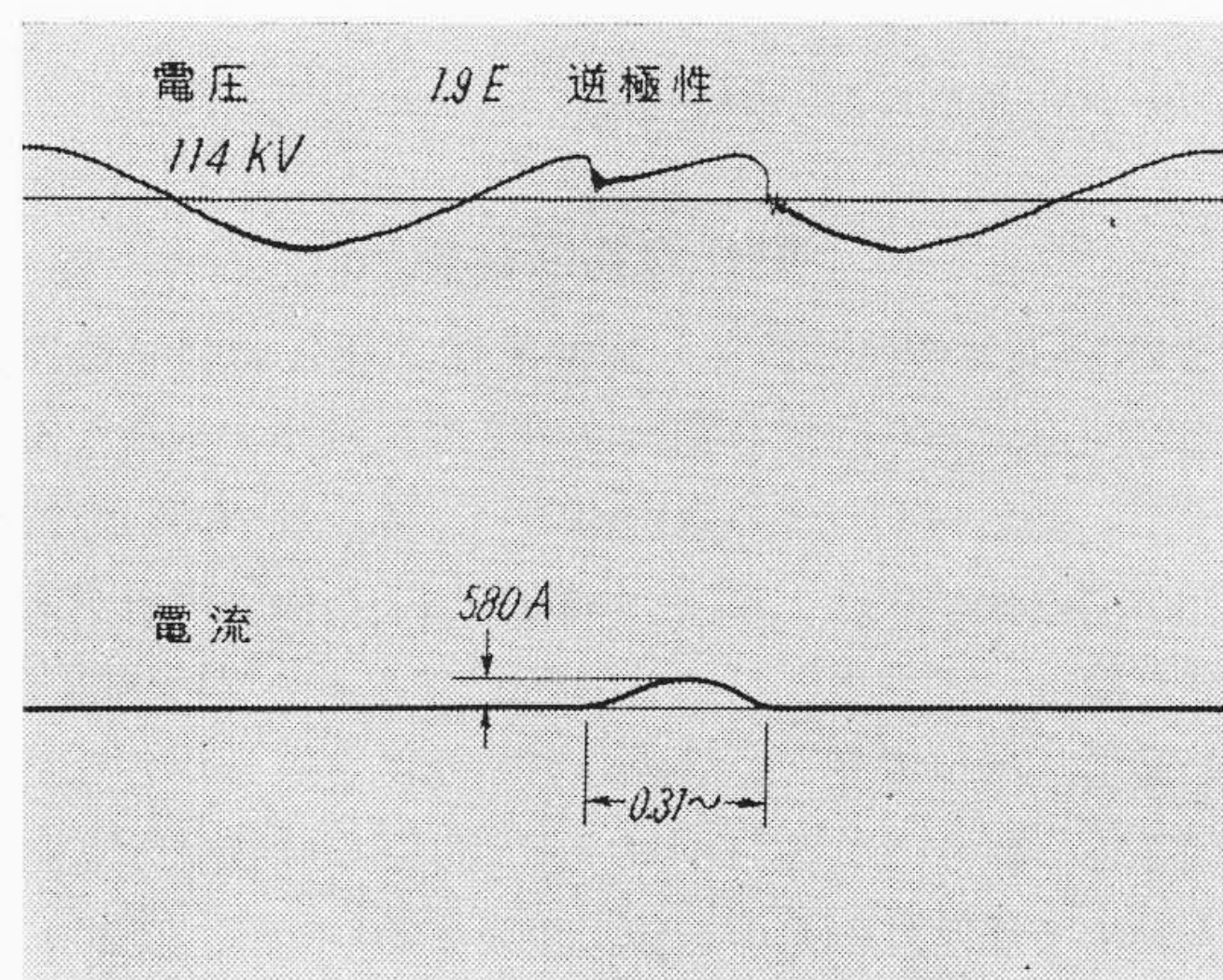


第5図 特性要素組立構造



避雷器端子電圧	84 kV (1.4 E)
衝撃放電電流	1 kA 逆極性
続流電流波高値	840 A (制限電圧を下げた場合)
続流遮断時間	0.35 秒

第6図 普通動作責務試験オシログラム



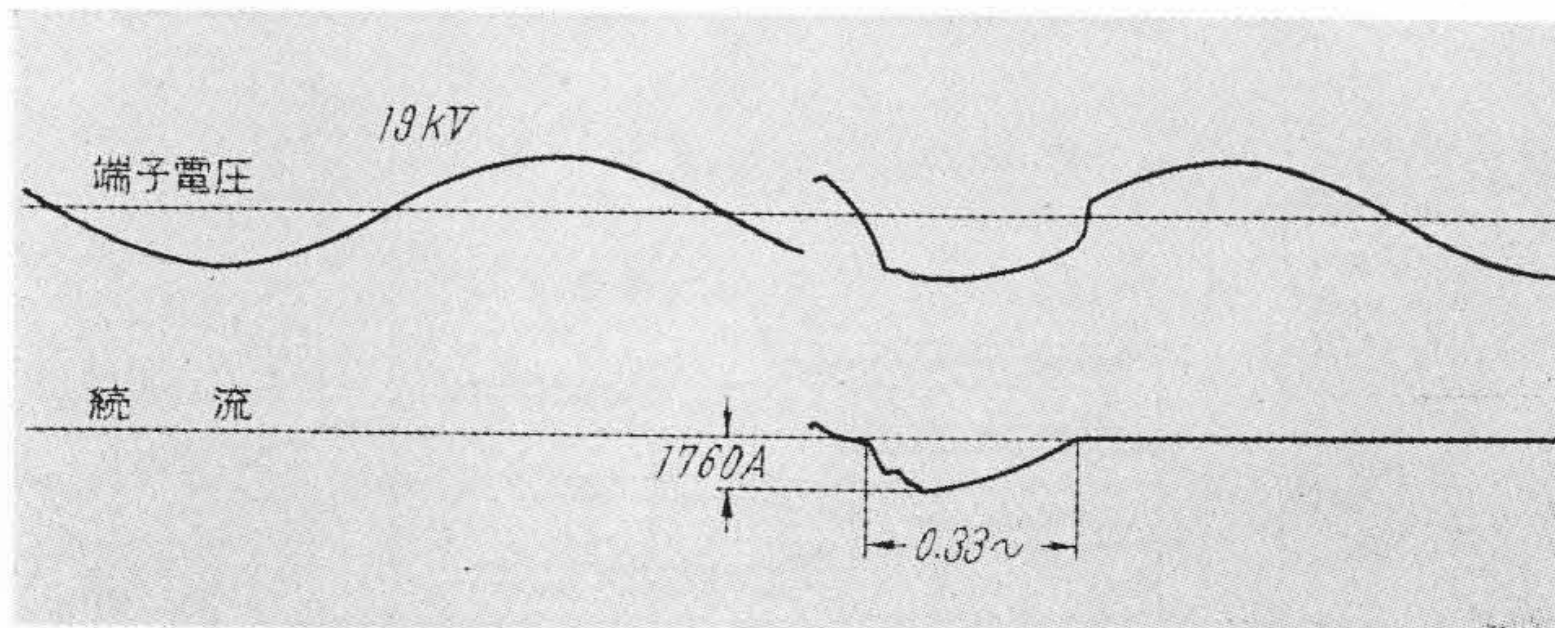
避雷器端子電圧	114 kV (1.9 E)
衝撃放電電流	1 kA 逆極性
続流電流波高値	580 A
続流遮断時間	0.31 秒

第7図 普通動作責務試験オシログラム

400 kV 送電系統で、線路残留電圧 850 kV のとき逆極性で動作した場合の避雷器続流波高値は、計算によると約 1,700 A である。第 8 図は責務の過酷な逆極性サージの動作責務試験のオシログラムで、続流波高値は 1,760 A である。これによってこの避雷器は、上記系統の開閉サージを処理する能力のあることが確認された。

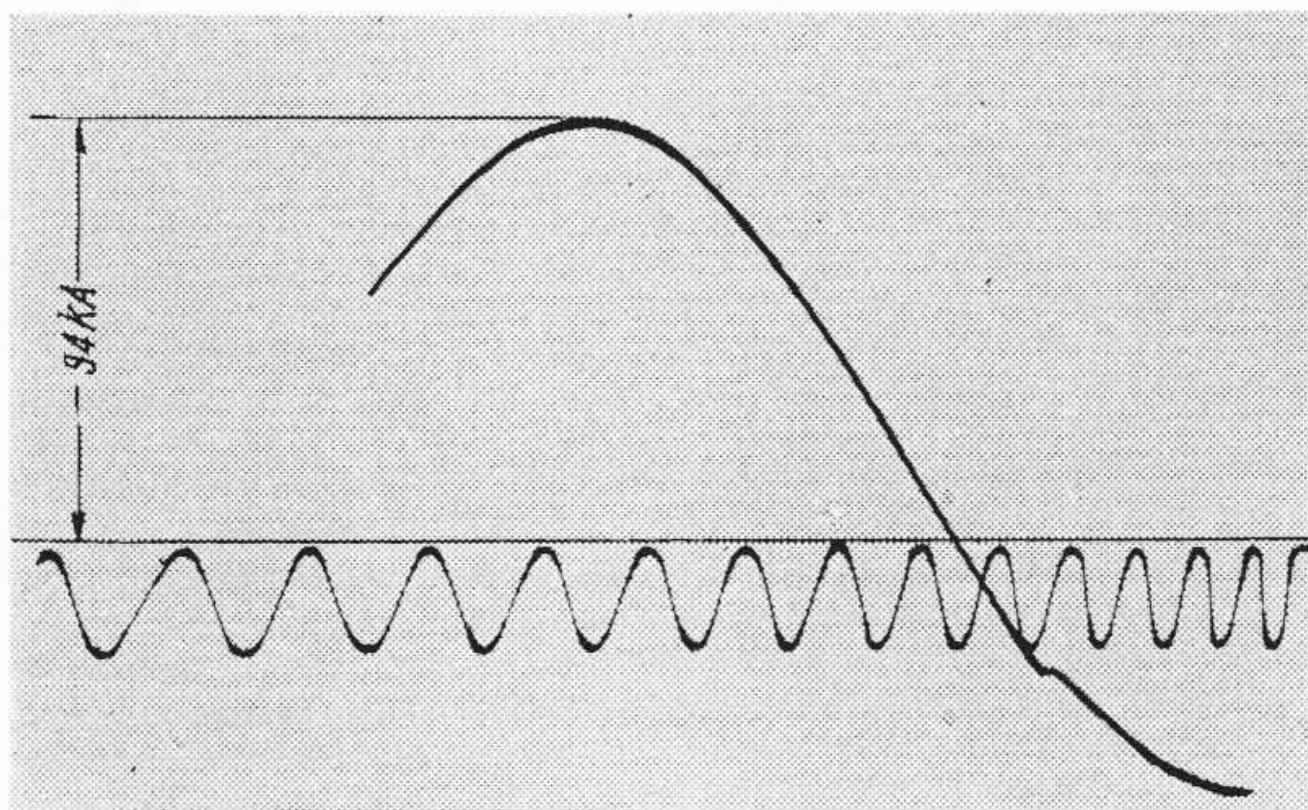
5. 直列ギャップ分路抵抗体と特性要素

この避雷器に用いている分路抵抗体は常規対地電圧の 3 倍の電圧を長期間印加しても異常のないことが確かめられている。また特性要素は衝撃電流 100 kA (半波高時間 15 μ s 以上) の放電耐量を有し、開閉サージに相当する継続時間 2 ms の緩波頭電流 1,200 A 連続 20 回 800 A 500 回の放電耐量試験でも異常がなかった。第 9, 10 図は、



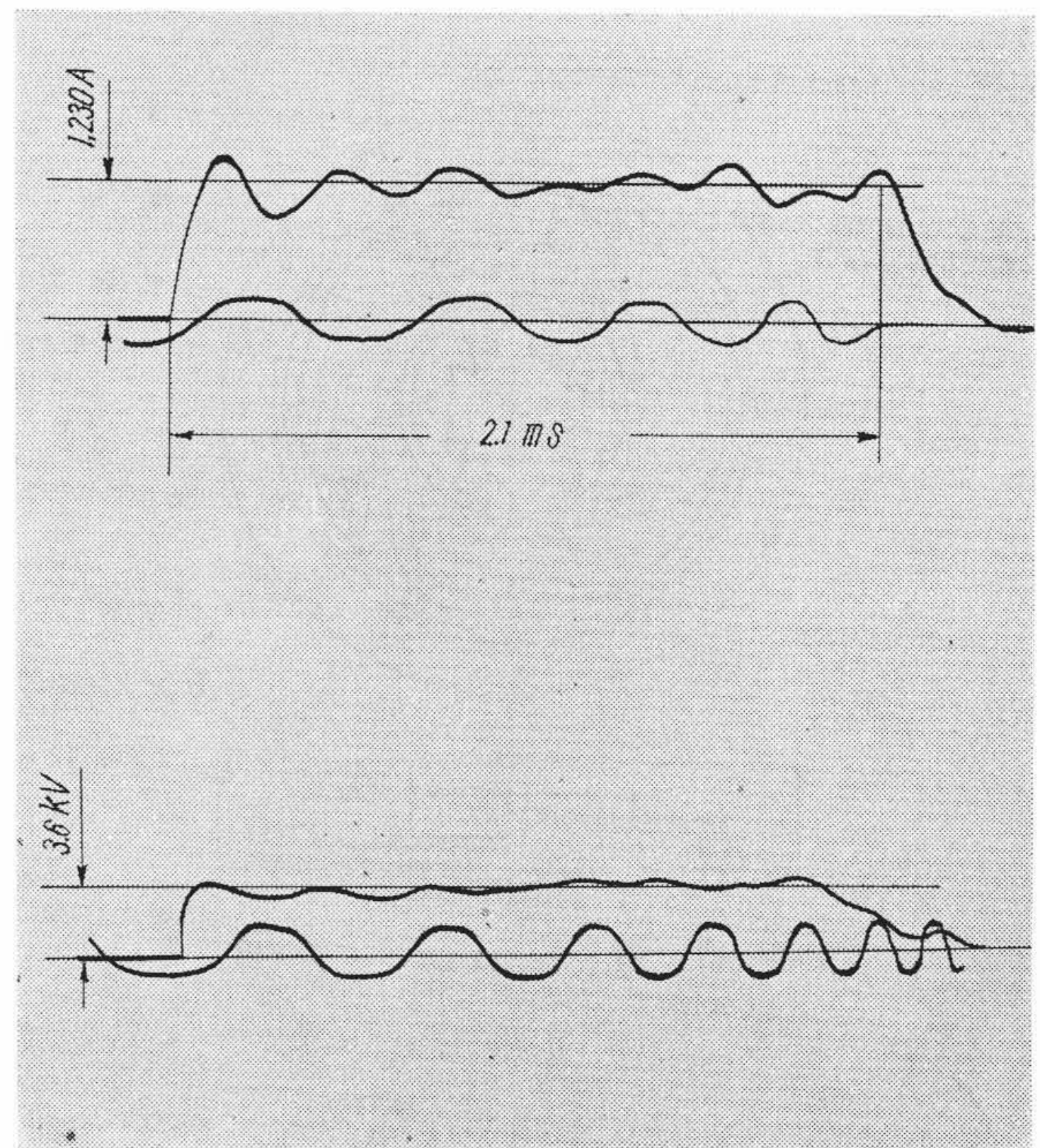
避雷器端子電圧 19 kV
 緩波頭電流波高値 800 A (1.5 ms) 同極性
 続流電流波高値 1,760 A
 続流遮断時間 0.33 ms

第 8 図 特殊動作責務試験オシログラム



電流 94 kA $9 \times 19 \mu s$
 timing 250 kc/s

第 9 図 衝撃大電流放電耐量試験オシログラム



(上) 電流 1,200 A 2 ms
 (下) 電圧波形 3.6 kV
 timing いずれも 2 kc/s

第 10 図 緩波頭電流放電耐量試験オシログラム

第 2 表 寿命試験結果表

試験回数	交流放電開始電圧 (kV)	試験回数	交流放電開始電圧 (kV)
試験前	23.6	120 回後	23.3
30 回後	24.0	150 回後	23.3
60 回後	23.3	180 回後	23.3
90 回後	23.3	200 回後	23.5

これらのオシログラムの一例である。

6. 動作責務回数試験

定格 14 kV 避雷器について、衝撃電流 10 kA による動作責務試験を実施したが、200 回後の特性は第 2 表に示すようになら変化がなかった。総数約 1 万台の避雷器について一日一回の点検から得られたわが国の統計⁽⁴⁾によれば、1,000 A 以上の衝撃電流が避雷器に流れるひん度は、1 台当り年に 0.04 回、すなわち 25 年に 1 回で、1 日数回の襲雷、多重雷などを考慮してかりに 5 倍したとしても、5 年に 1 回という割合であるので 10 kA 200 回の回数試験は避雷器にとってきわめて長年月の寿命試験に相当する。

また、最近特に注目されてきた無負荷線路の開閉に伴うサージの大きさ、ひん度は各方面で検討されているが今回、超高圧系統のサージ電流を、継続時間 1.5 ms、800 A と想定し、回数試験を実施したが 100 回後の諸特性に実質的变化は見られなかった。

7. 結 言

以上のように今回製作した 400 kV 日立制弧避雷器は、電磁吹消形避雷器でその構造は完全自立形であり、10 kA 制限電圧は BIL に対し 20 % 以上の余裕をもち、亘長 200 km の 400 kV 送電線の開閉サージ処理能力を有する強力な避雷器であって、これが今後開発される 400 kV 送電系統と機器の絶縁設計と絶縁協調に役だてば幸甚である。

参 考 文 献

- (1) IEC Pub. 71 1958 Recommendation for Insulation Coordination
- (2) H. Roser: ETZ Bd. 79 1958 SI-a
- (3) 尾崎勇造: 400 kV 級送電専門委員会, 変電分科会資料 No. 111 1958-9
- (4) 電気学会技術報告 33号 P8 1958-7