

PY形水平一点切断路器

HITACHI Type PY Horizontal Center Break Disconnecting Switch

羽 藤 昭 一 郎*
Shōichirō Hatō

内 容 梗 概

電力需要の増大に伴い変電設備の近代的合理化が進められているが、断路器についてもがい子柱が少なく、占有面積の小さいものが要望されている。これらの要望に応じて開発されたPY形水平一点切断路器は、各種試験に良好な成績を取めた。第1表に示す定格電圧69, 80.5, 115, 161, 230, 287.5 kV, 定格電流800~3,000 Aの系列を製作、多数納入し好評を得ている。本稿はその構造および試験結果の概要について記述したものである。

1. 結 言

屋外用高圧断路器は、従来水平二点切形が圧倒的に多く使用されてきたが、近年激増する電力需要に伴う送配電網の拡張、変電設備の新設、増設に際し近代的合理化が叫ばれ、断路器に対しても、小形軽量化が要望されている。今度開発したPY形は一相を2本のがい子柱で構成した水平中心一点切形で、従来のPHL形(水平二点切形)に比較して、同相極間寸法が約30%、重量が20~25%縮減されている。回転しゅう動式ヒンジ接触部は大電流に耐え、かつ動作はきわめて軽快で信頼度の高い構造である。フィンガ接触子は接触圧力が大きく、確実な接触が保証される。がい子は中実ステーションポスト形を標準として採用、操作器は手動、動力操作式ともにPHL形と互換性を持たせて同じものを使用している。従来PHL形では、287.5 kV用はその構造上がい子強度などから2,000 Aが限度であったが、PY形はブレードが短いので、3,000 A用でも標準がい子を使用できるので非常に有利であり、すでに287.5 kV 3,000 A用を完成、中部電力株式会社の形式試験に合格した。以下287.5 kV 3,000 A, 230 kV 1,200 A用について、その構造、性能試験結果について述べる。

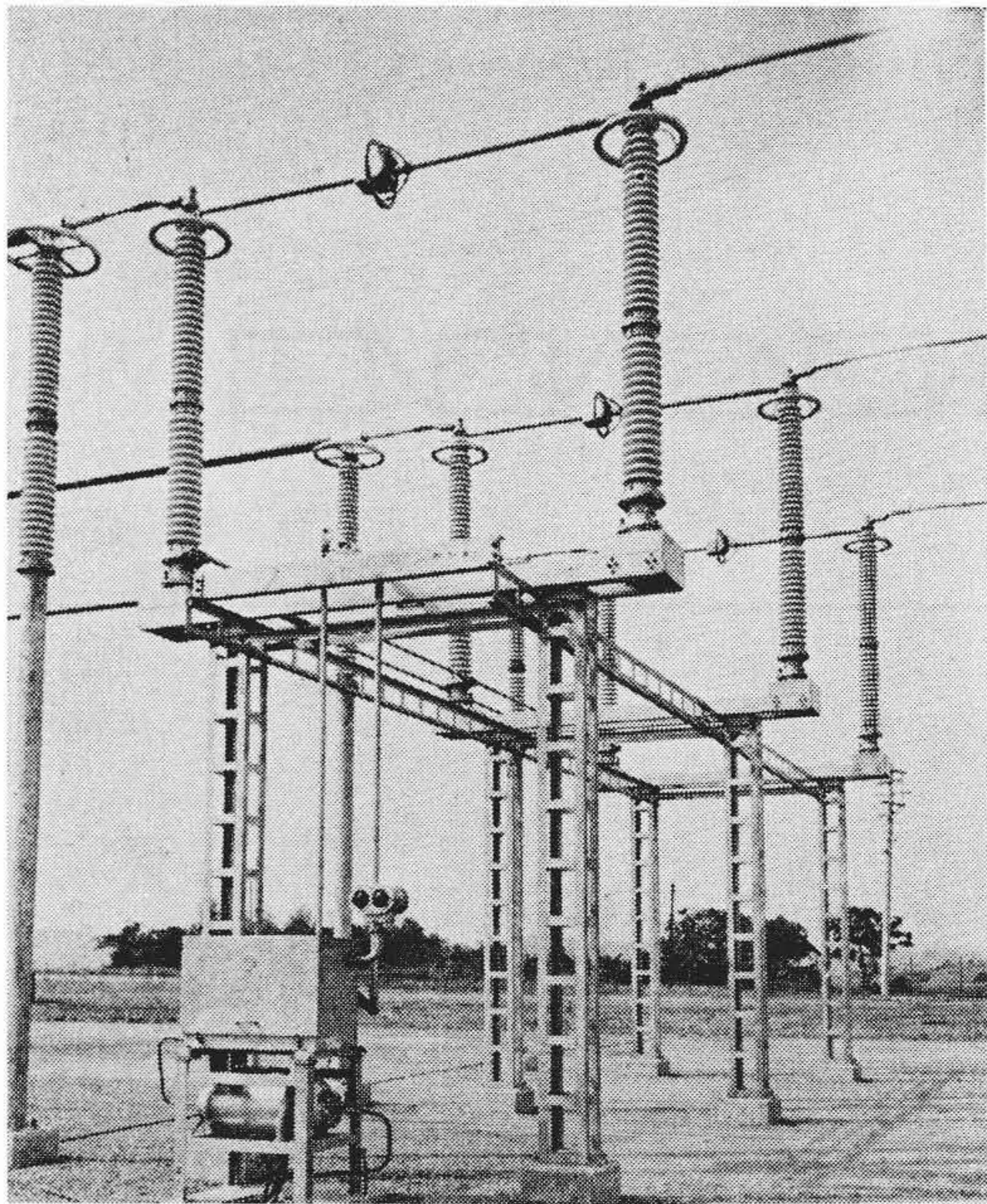
第1表 PY形断路器定格表

定 格 電 圧 (kV)	定 格 電 流 (A)	定 格 短 時 間 電 流 (A)
69~80.5	800	20,000
	1,200	20,000
	2,000	30,000
	2,500	40,000
	3,000	40,000
115	800	20,000
	1,200	20,000
	2,000	30,000
	2,500	40,000
	3,000	40,000
161	800	20,000
	1,200	20,000
	2,000	30,000
	2,500	40,000
	3,000	40,000
230	800	20,000
	1,200	20,000
	2,000	30,000
	2,500	40,000
	3,000	40,000
287.5	800	20,000
	1,200	20,000
	2,000	40,000
	2,500	40,000
	3,000	40,000

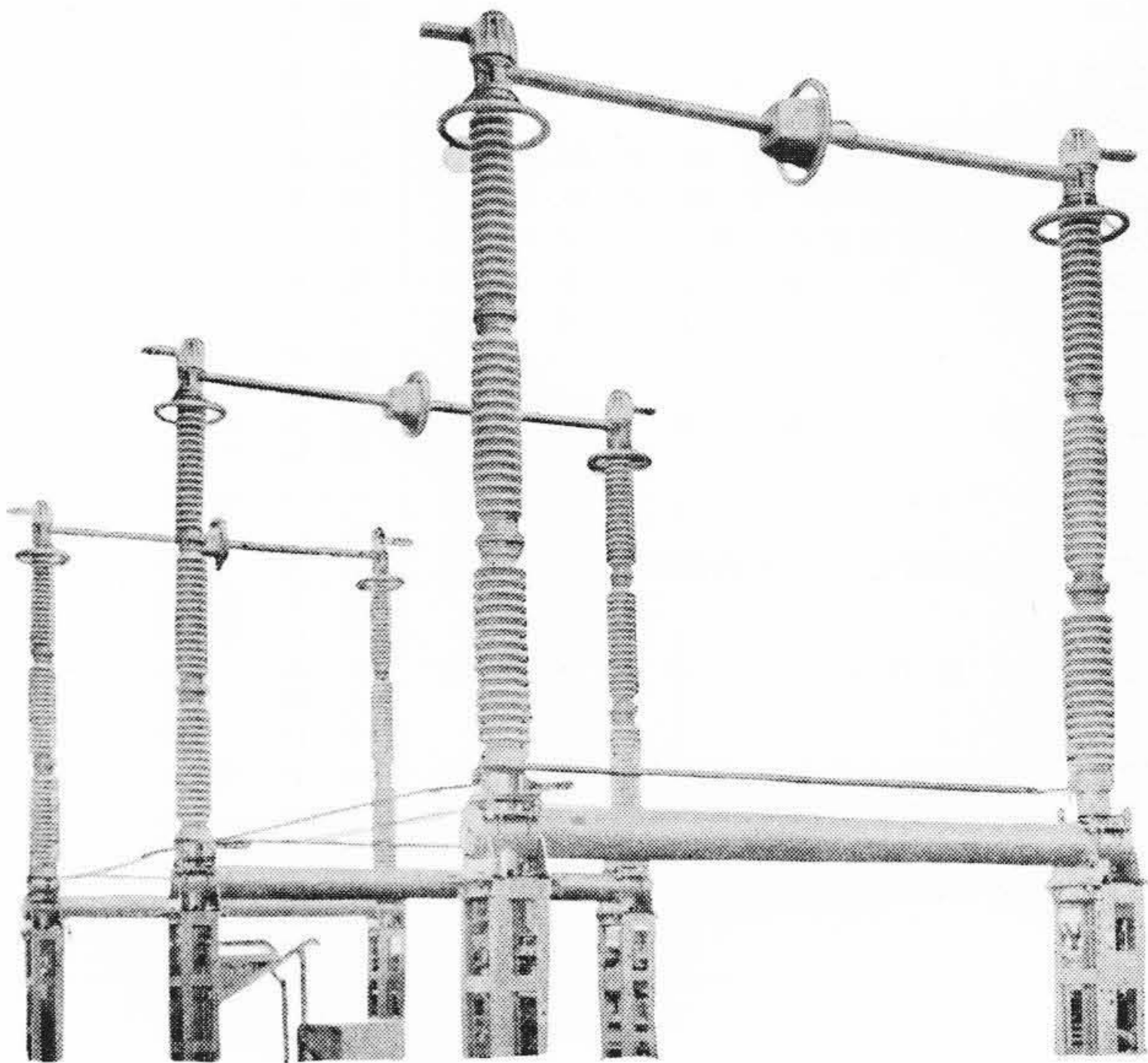
* 日立製作所国分工場

2. 構 造

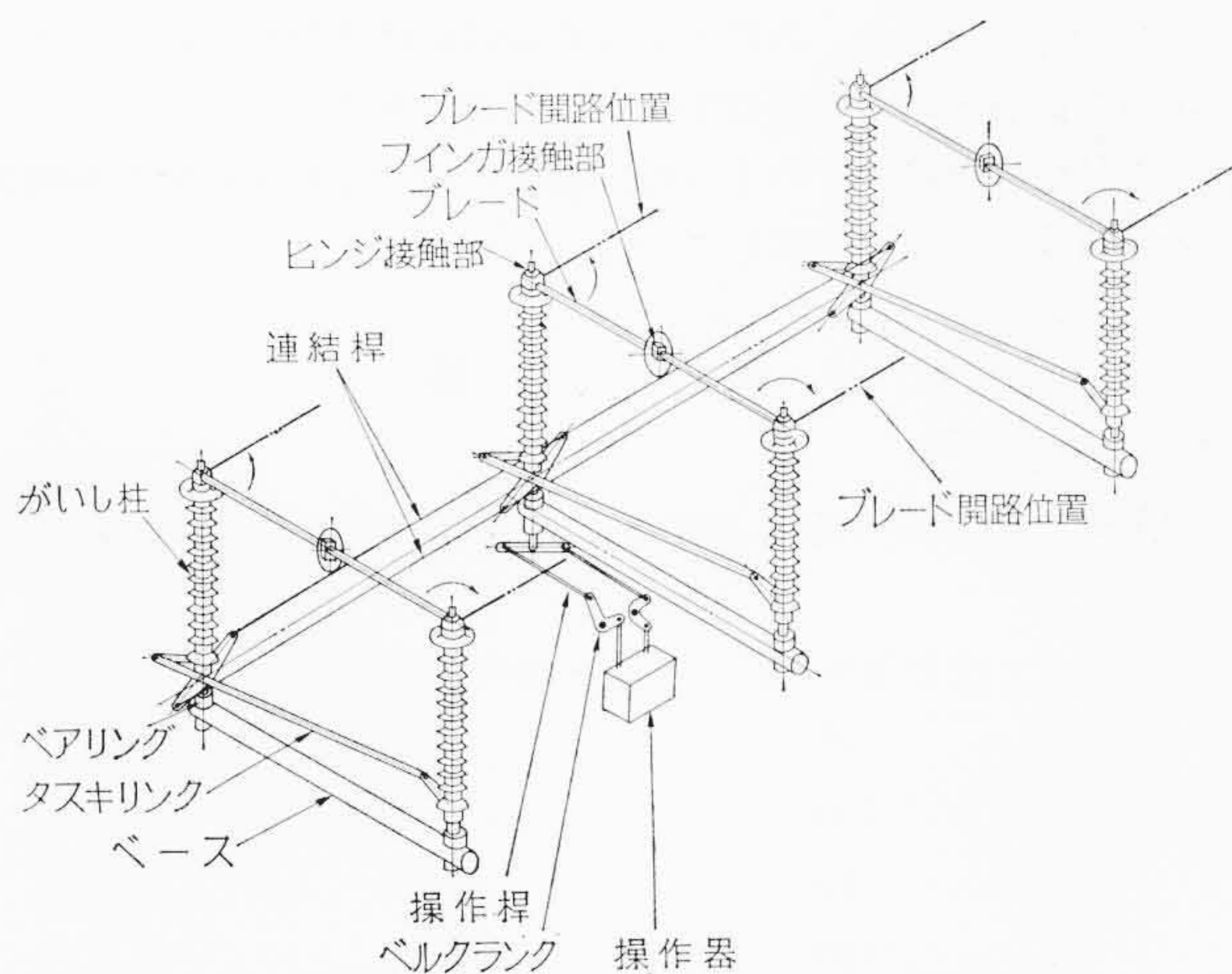
第1,2図のように、一相を2本のがい子柱で構成し、それぞれにブレードおよびヒンジ接触部を設け、互いに反対方向に回転して三



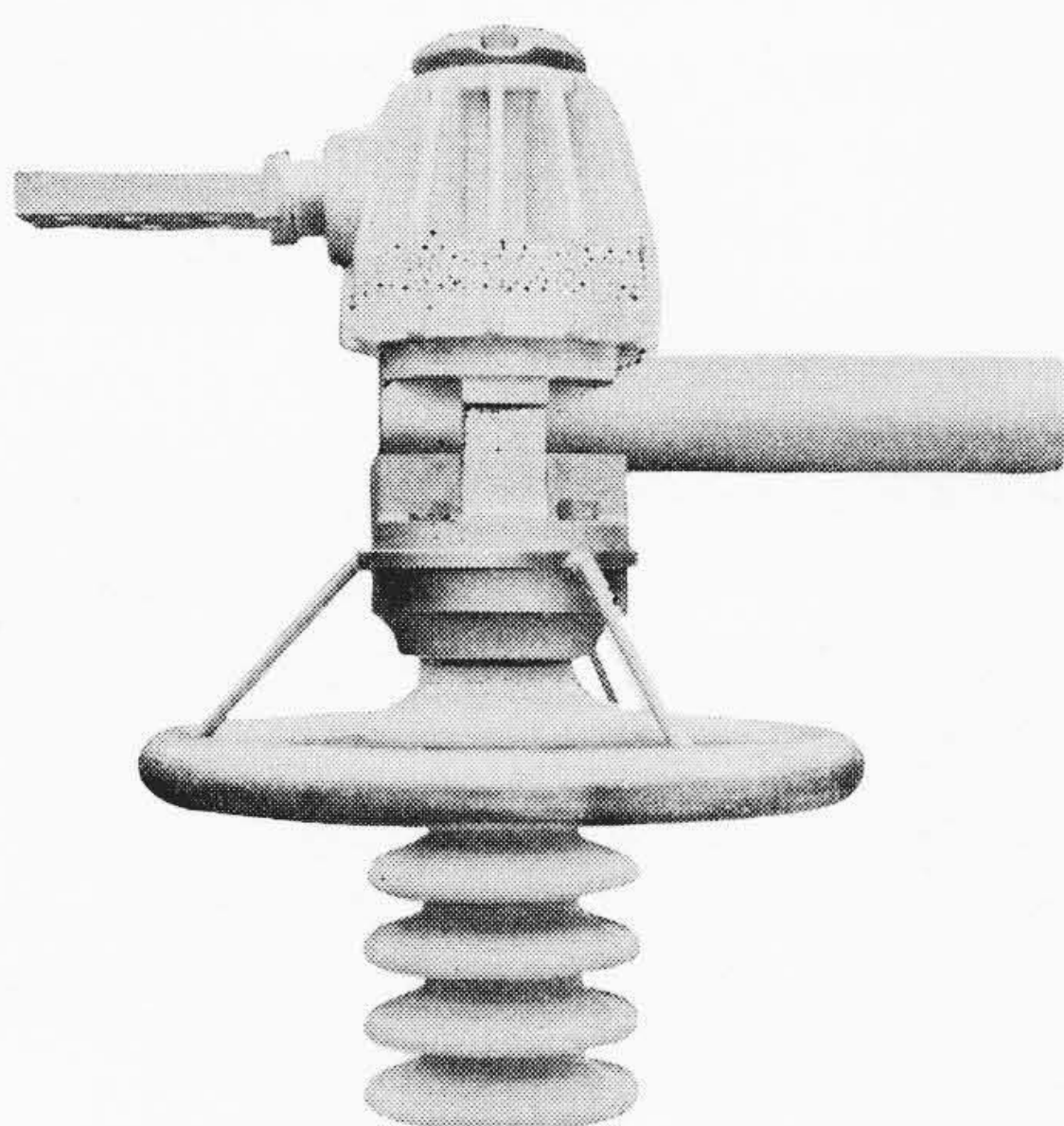
第1図 PY形230 kV 1,200 A圧縮空気操作式断路器
(九州電力株式会社東福岡変電所設置)



第2図 PY形287.5 kV 3,000 A圧縮空気操作式断路器



第3図 PY形断路器動作説明図



第4図 ヒンジ接触部 (3,000A 用)

相同時に開閉動作するよう、操作桿(かん)、レバー、リンク、タスキリンクなどを連結している。特にがい子柱基部の軸受は強力な構造とし、ボールベアリングを用いて操作の軽快を図っている。充電部のコロナ防止には万全を期し、161 kV 以上のブレード端にシールドリングを設けている。

(1) ブレード動作機構

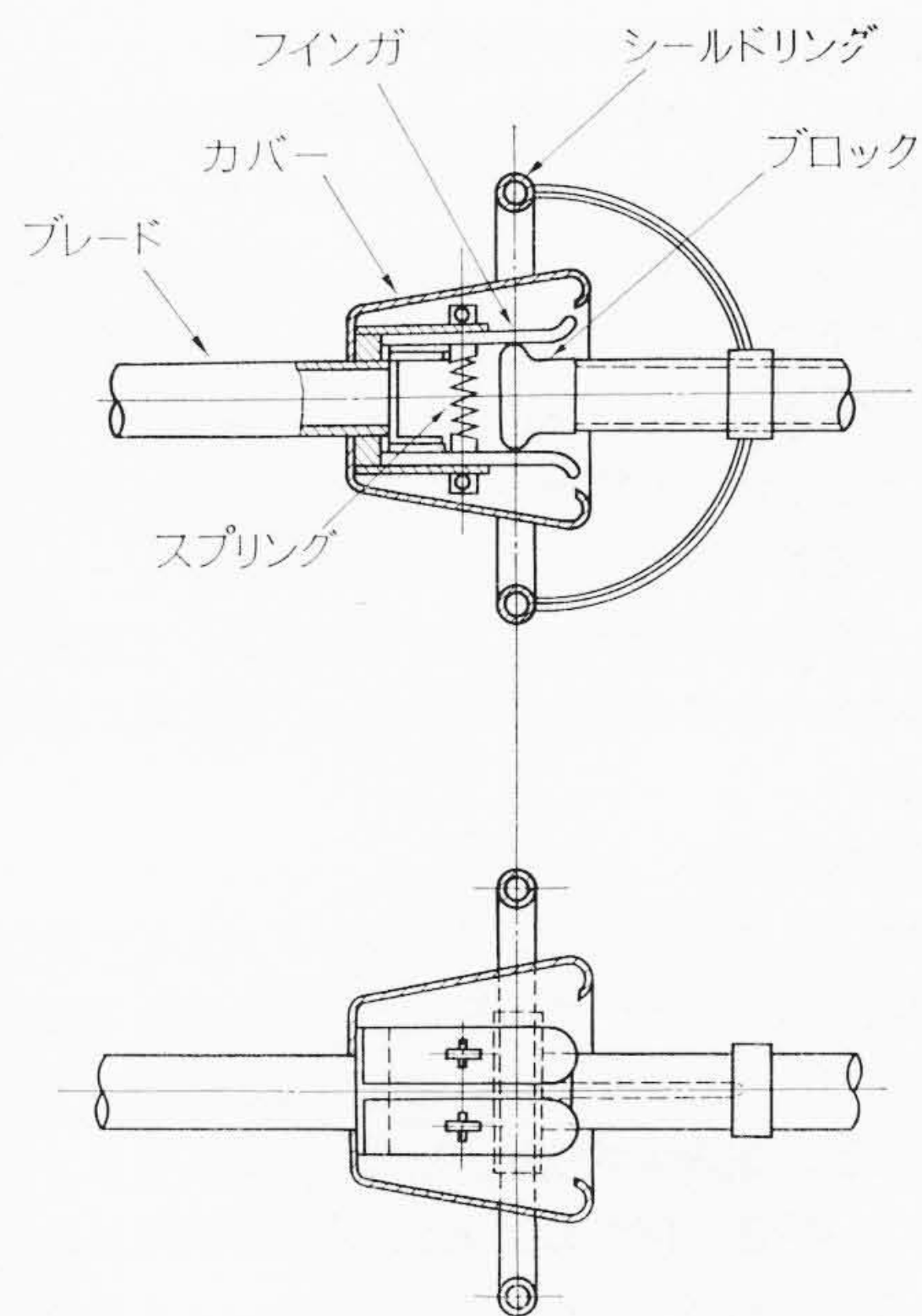
開閉動作は第3図のように、操作器の動力を各相のがい子柱に伝え、ブレードを約90度回転させる。閉路状態ではブロック接触子をフィンガに圧入し、ブレードが一直線となり、開路状態では同相のブレードがほぼ平行となる。閉路および開路状態でのロックは、PHL形同様操作器で行なわれる。

(2) ヒンジ接触部

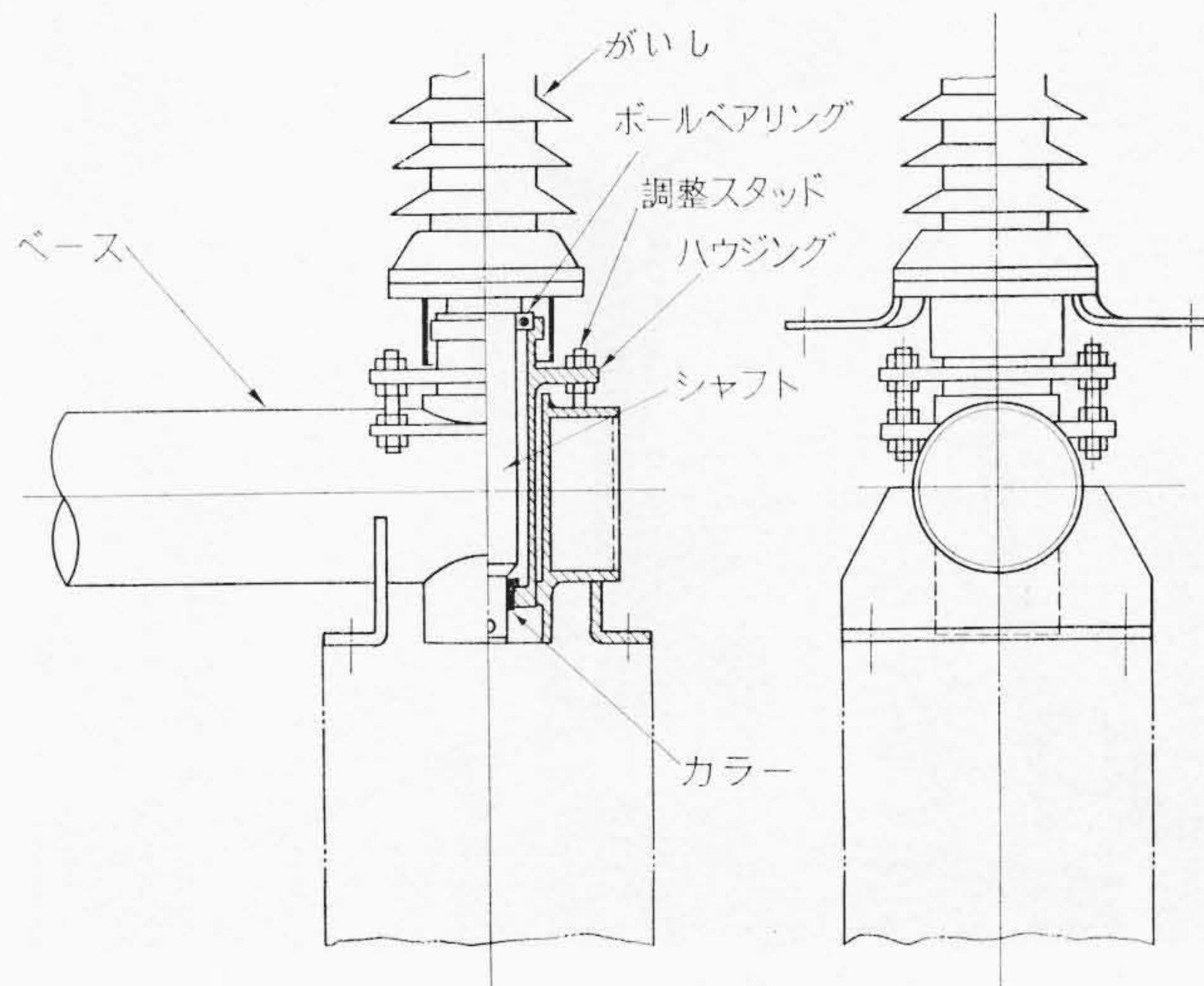
ヒンジ接触部はブレードの回転力を電線に伝えず、かつ電気的に十分な接触を保持しなければならない。この二つの条件を満たすものとして回転しゅう動形接触子構造を開発した。すなわちボールベアリングのように多数のローラ式集電子を配置し、回転時の摩擦を極力減少させている。温度上昇試験、短時間大電流試験の結果きわめて優秀な性能を持っていることが確認された。第4図にその外観を示す。

(3) フィンガおよびブロック接触部

相対向するブレードの一方にフィンガ、相手側にブロック接触部を備え、フィンガにブロックを圧入して閉路状態を形成する。第5図のように、フィンガ接触部はフィンガ、保持金具、スプリング、カバーなどで構成され、ブロック接触子との相対関係動作、ワイピング作用、通電容量、短時間大電流耐力、外力および



第5図 フィンガおよびブロック接触部 (3,000A 用)



第6図 回転がいし基部ベアリング (超高压用)

組立調整などを考慮した構造とし、電気的接触面にはすべて銀メッキを施している。特に大電流用では銀板はりつけを標準とした。さらに 161 kV 以上の高電圧用にはコロナ発生防止のためブロック接触子にシールドリングを設けた。

(4) がい子基部ベアリング

第6図のようにハウジングのフランジを調整スタッドによりベースに固定し、ボールベアリングによってシャフトをささえ、下端のベアリングには砲金製カラーを使用している。がい子頂部に加わる荷重、外力によって生ずるモーメントはすべてこのベアリング、シャフトで負担することになる。超高压用としては軽量で強力なパイプ構造のベースを採用し、ベアリングに対しては特に厳密な荷重試験を行ないその性能を確認している。

(5) 接地装置

送電線および機器の保守点検作業を安全に行なうため、断路器に接地装置を付属させる場合がある。接地装置は無電圧状態で断路器接触部を接地する開閉器で一般に三相同時操作式が多い。接地ブレード、クリップ、操作用スピンドル、操作桿、操作器、インターロック機構などで構成され、送電線引込口に取り付けられる。断路器本体とのインターロック条件は次のとおりである。

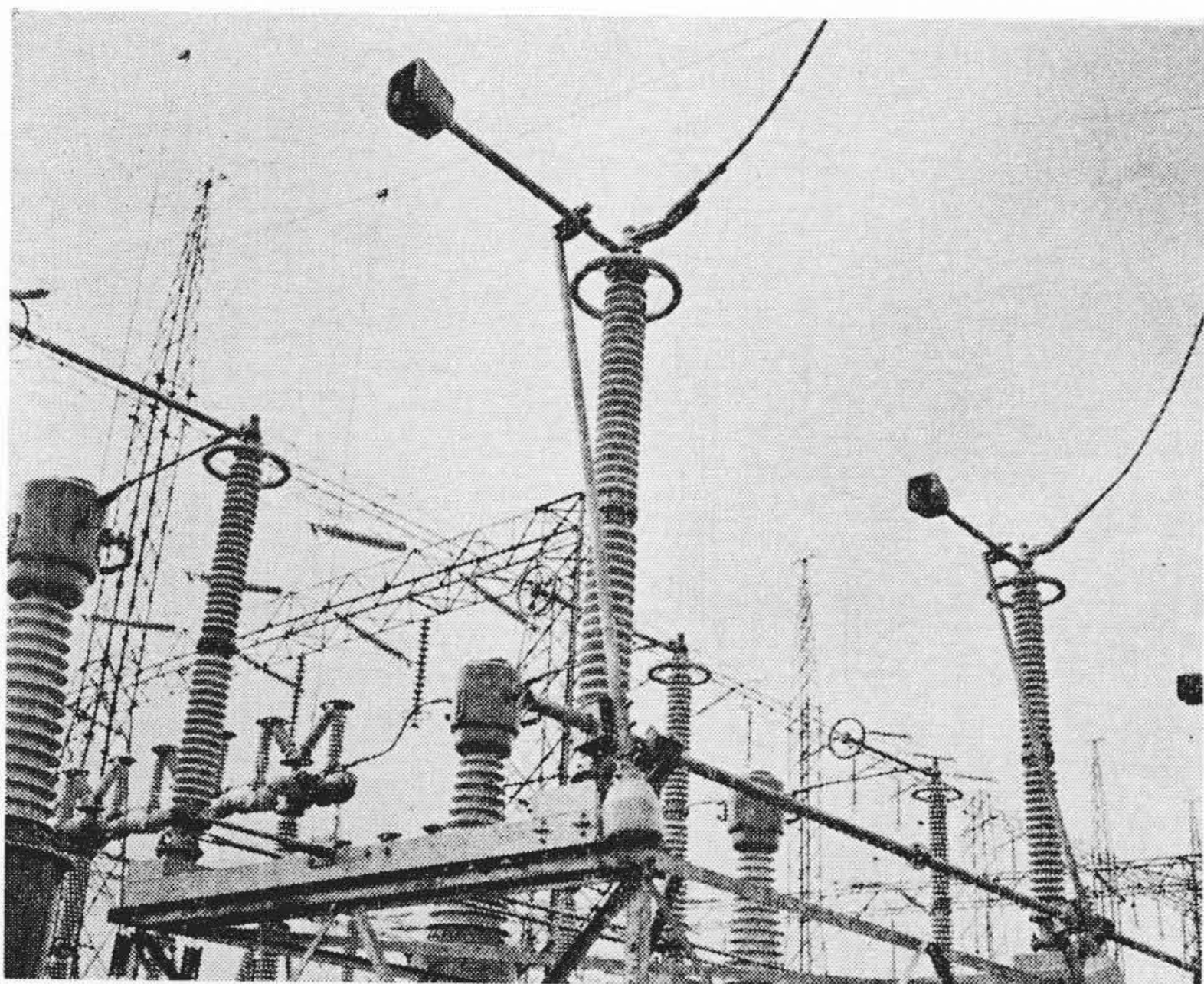
(a) 断路器閉路状態では接地できない。

- (b) 断路器開路状態で接地操作ができる。
- (c) 接地ブレード投入状態では断路器は操作できない。

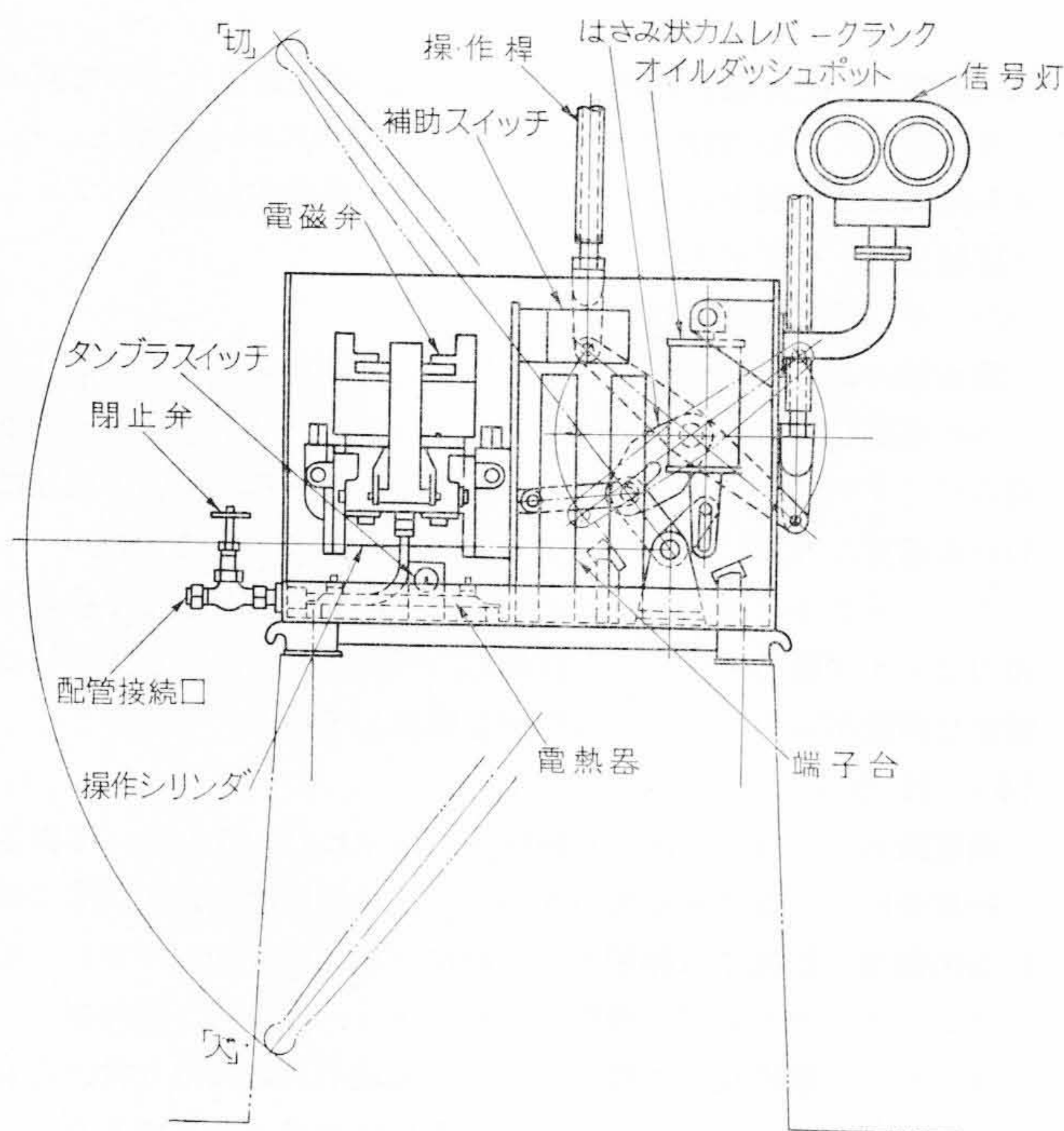
接地装置は従来、母線の誘導電荷を接地することが主目的であったが、近年万一の誤操作を考慮して、系統の短絡容量に対して十分耐えることを要求される場合もある。161 kV 以上の場合 20,000 A 1 秒に耐えるものを標準としている。接地ブレードの先端にフィンガを設けて断路器のブレードをはさむ構造とした。操作を軽快にするため接地ブレードにカウンタウェイトを備え、インターロック機構は接地スピンドルと回転がい子基部の扇形リンクとで前述の条件を満足する構造とした。第 7 図に接地ブレード投入状態を示す。

(6) 圧縮空気操作器

第 8, 9 図のように操作シリンダ、ピストンなどの操作部、電磁弁、低圧鎖錠装置、自己保持用接点などから成る電磁弁部、はさみ状レバー、操作レバーなどの機構部のほか補助スイッチ、端子台、油緩衝装置、乾燥用電熱器、信号灯、閉止弁などの付属品を備えている。機構部は閉路および開路位置で断路器本体をロックする構造になっており、かりに外力が加わってもその状態がくず



第 7 図 接 地 装 置 (投入状態)



第 8 図 圧 縮 空 気 操 作 器

されないようにした。調整および非常時には手動操作ハンドルによって、容易に手動操作ができる構造である。

出力特性は第 10 図のように、動作の最初と最後に出力が増大し中間行程ではほぼ一定している。

3. 性 能

(1) 開 閉 動 作

開閉動作は JEC-125 に規定された操作電圧、圧力の変動すなわち

操作電圧(%)	操作圧力(%)
75	75
100	100
110	110
110	75
75	110

の各条件において、動作が確実であることを確認し、さらに最小動作電圧、圧力を測定した。287.5 kV 3,000 A の場合で

最小動作電圧は 40.5 V (定格の約 40%)

最小動作圧力は 8.0 kg/cm² (定格の約 53%)

であった。

(2) 連続開閉試験

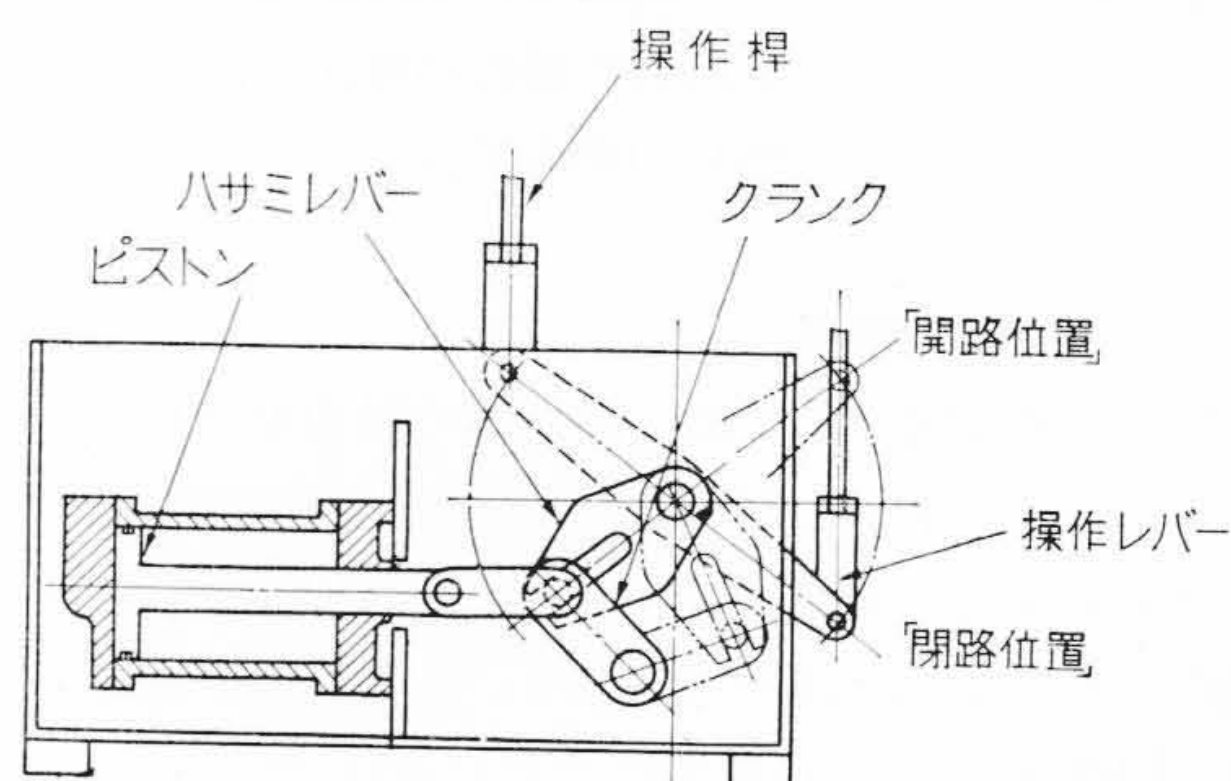
10,000 回の連続開閉試験を行ない、試験前、500 回、2,000 回、5,000 回、10,000 回における最小動作電圧、接触抵抗、開閉速度、および三相接触不整を測定した。10,000 回操作後各部を分解点検したが異常は認められなかった。

(a) 最小動作電圧および圧力

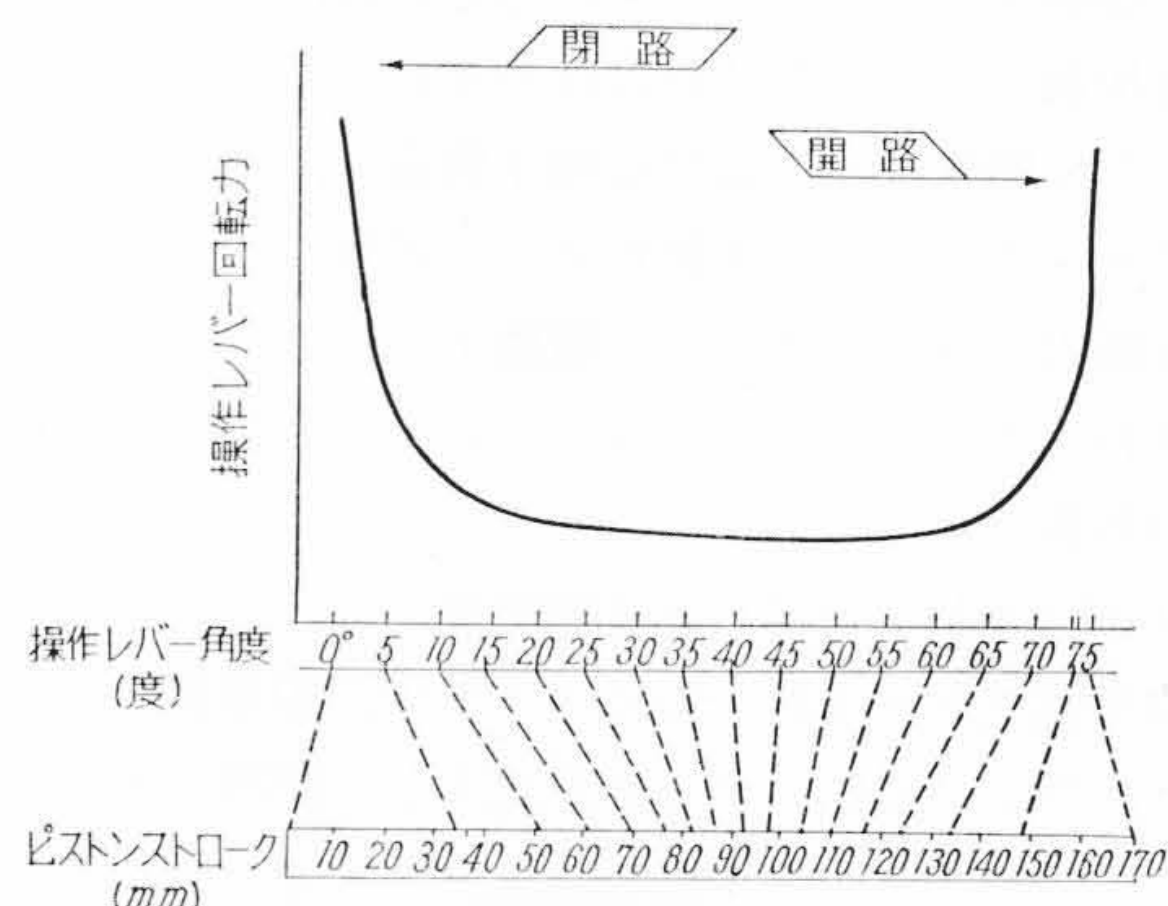
第 2 表のように開閉回数に対して最小動作電圧は変化しないが、最小動作圧力は若干低くなる傾向がある。これは各機構部がなじみ操作所要力が減るためである。

(b) 接 触 抵 抗

主導電部に DC 100 A、または 50 A を通電し両端子間の電位差を測定した結果は第 3 表のとおりである。10,000 回操作によ



第 9 図 操 作 機 構 説 明 図



第 10 図 ピストンストロークと操作レバーの動作角度および回転力特性

第 2 表 最小動作電圧および圧力

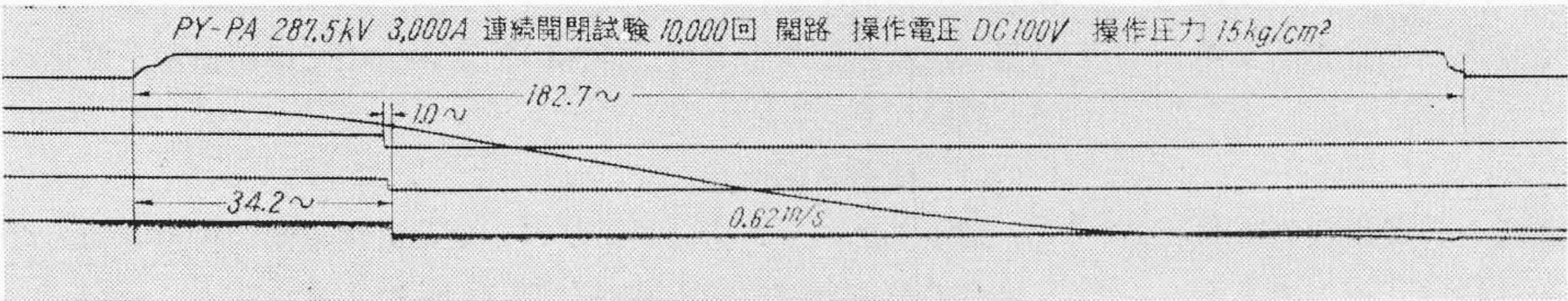
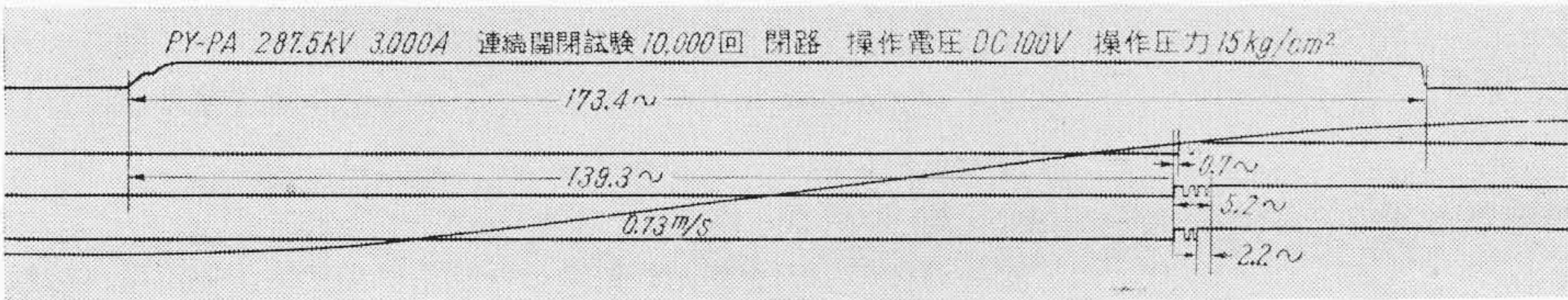
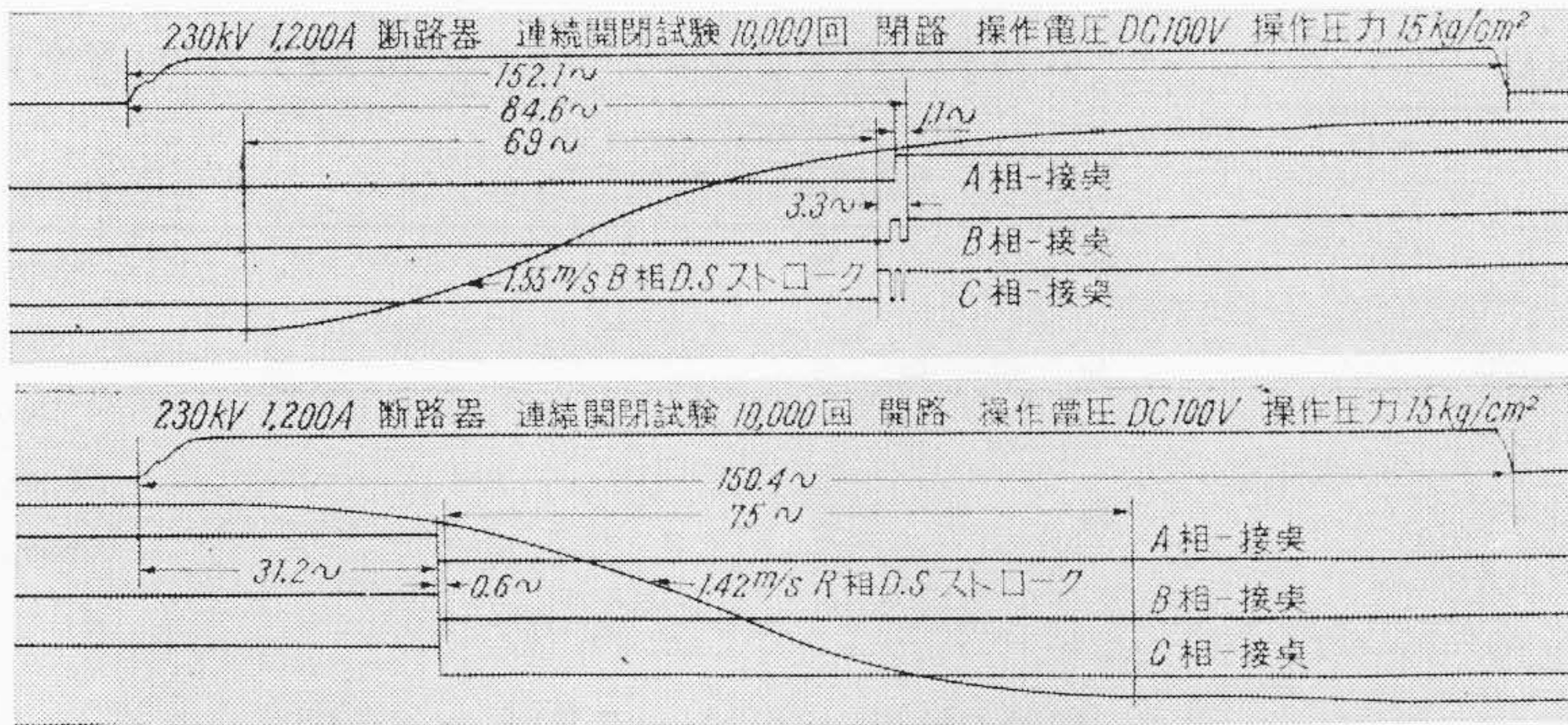
断路器定格	開 閉 回 数 (回)		初	500	2,000	5,000	10,000
230 kV 1,200 A	閉路用電磁弁 最 小 動 作	電 圧 (V)	37	37	37	37	37
		電 流 (A)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	開路用電磁弁 最 小 動 作	電 圧 (V)	37	37	37	37	37
		電 流 (A)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	最小動作圧力 (kg/cm ²)	閉 路	5.7	5.7	5.6	5.6	5.5
		開 路	5.7	5.7	5.6	5.6	5.5
287.5 kV 3,000 A	閉路用電磁弁 最 小 動 作	電 圧 (V)	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
		電 流 (A)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	開路用電磁弁 最 小 動 作	電 圧 (V)	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
		電 流 (A)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	最小動作圧力 (kg/cm ²)	閉 路	8.0	8.0	7.5	7.5	7.0
		開 路	6.0	6.0	6.0	5.5	5.5

第 3 表 接 触 抵 抗 測 定 結 果

断路器定格	開 閉 回 数 (回)		初	500	2,000	5,000	10,000
230 kV 1,200 A	DC 100 A 通電 電 圧 降 下 (mV)	A 相	14.0	14.0	14.1	14.0	14.2
		B 相	14.2	14.3	14.3	14.3	14.2
		C 相	14.9	15.0	15.0	15.0	15.1
287.5 kV 3,000 A	DC 50 A 通電 電 圧 降 下 (mV)	A 相	1.75	1.80	1.8	1.85	1.75
		B 相	1.75	1.75	1.85	1.85	1.70
		C 相	1.90	1.80	1.85	1.90	1.70

第 4 表 主 導 電 部 温 度 上 昇

断 路 器 定 格	番 号	測 定 位 置	1	2	3	4	5	6	7	8
			タ ー ミ ナ ル	ヒ ー ジ ン グ ボ デ	ブ レ ー ド	フ 接 イ ン 触 ガ ー 部	カ バ ー	ブ レ ー ド	ヒ ー ジ ン グ ボ デ	タ ー ミ ナ ル
230 kV 1,200 A	連続開閉試験前 連 続 開 閉 500 回 後	温度上昇(°C)	24.5	26.5	37.0	25.0	13.0	32.0	27.0	26.0
			23.5	26.0	37.0	25.5	13.5	33.5	28.0	26.5
287.5 kV 3,000 A	連続開閉試験前 連 続 開 閉 試 験 10,000 回 後	温度上昇(°C)	30.0	27.0	31.0	29.5	16.5	32.0	28.0	30.0
			29.5	28.0	26.5	27.0	16.0	26.0	30.0	29.5



第 11 図 操 作 試 験 オ シ ロ グ ラ ム

る接触抵抗の変化は認められなかった。

(c) 開閉速度および三相接触不整

開閉速度は回転がい子基部の動作を電磁オシログラフにより

第 5 表 230 kV 断路器絶縁耐圧試験

加 圧 部 分	商 用 周 波 (50~)		衝撃波 (1×46 μs) 正, 負	
	乾燥(1分)	注水(10秒)	乾 燥	注 水
主 導 電 部 と 大 地 間	395	395	900	900
開 路 時 両 端 子 間	552	552	1,080	1,080
開 路 時 相 間				
低 圧 回 路 と 大 地 間	2	—	(正) 2	—
気 圧 753 mmHg 気 温 17°C 相 対 湿 度 85% 注水量(水平分) 3.2 mm/min 注 水 角 度 約 45 度 水の固有抵抗 10,800 Ω-cm				

測定した。閉路速度はブレードが動き始めてから接触部が接触するまでの円弧長と所要時間により、開路速度は逆に接触が離れ始めてから完全開路位置に達するまでの円弧長とその所要時間により算出した。

三相接触不整はある相のフィンガとブロックが接触し始めてから三相とも完全に接触するまでの時間を電磁オシログラフにより測定した。第 11 図に開閉操作のオシログラムを示す。速度曲線は開閉動作がきわめて円滑であることを示している。

三相接触不整については、断路器の場合その構造上数サイクル程度の接触不整がある。しかし実回路においては接触する前に先行電弧により接続されるから数サイクル程度の不整は全然問題にならない。

(3) 空気消費量

操作器台兼用のエアタンクを接続し、ゲージ圧力 15 kg/cm²に充気後、ほかからの補給なしに開閉操作を 4 回行なうことができる。なお低圧鎖錠圧力は 10.5 kg/cm²である。

(4) 温度上昇

230 kV 1,200 A、287.5 kV 3,000 A の温度上昇試験結果を第 4 表に示す。いずれも AC 60~ を各部の温度上昇が一定になるまで通電した。接触部の温度上昇最高値は約 30°C であり、これは

JEC-125 の規格値を十分満足するものである。

(5) 短時間電流試験

230 kV 1,200 A は、実効値 20,000 A

2 秒、第 1 波波高値 50 kA

287.5 kV 3,000 A は、実効値 40,000 A

2 秒、第 1 波波高値 100 kA

の仕様に対し、第 12 図のとおりいずれも十分に満足できる性能を持っている。本試験に際し各部に異常は全く認められなかった。

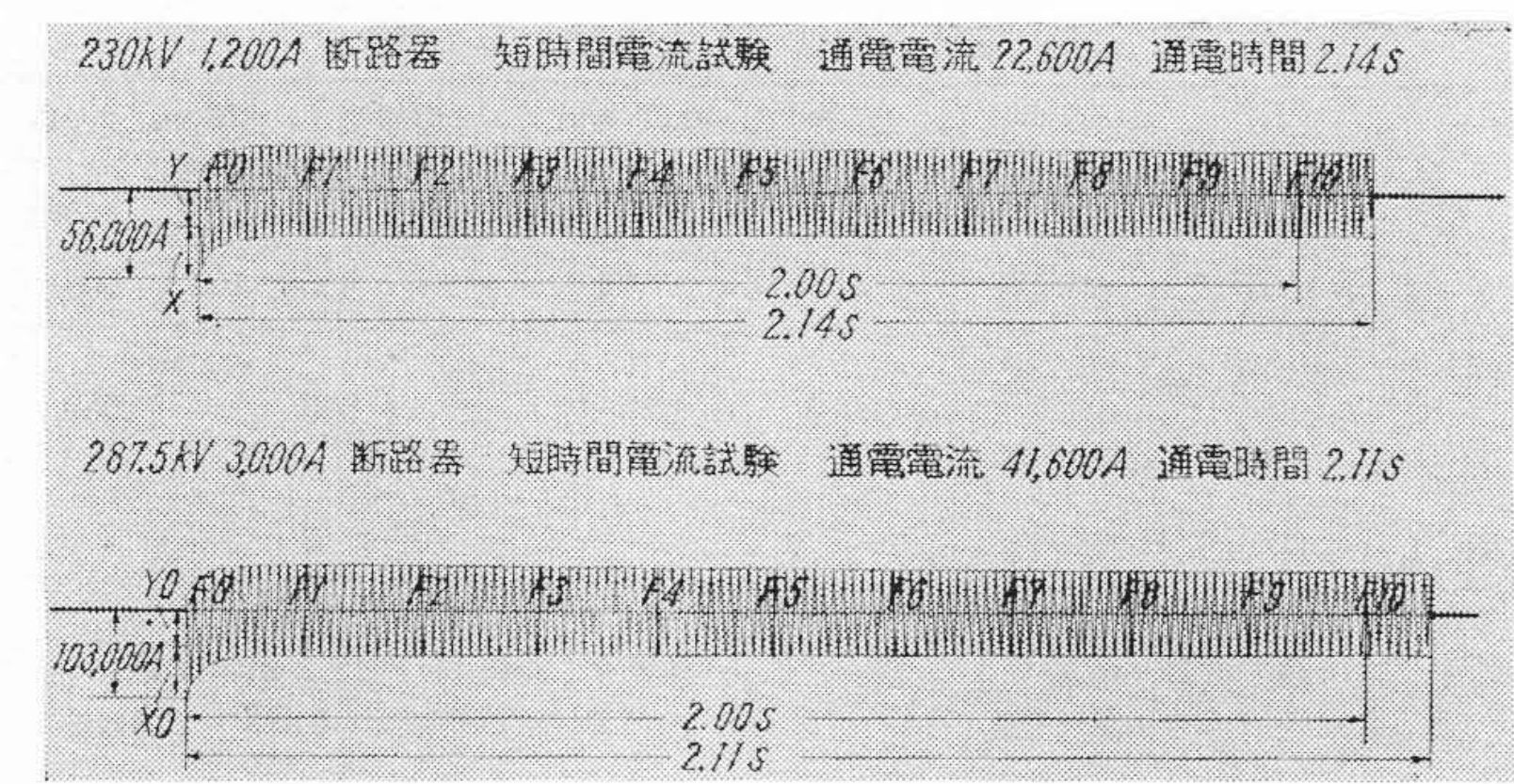
(6) 絶縁試験

230 kV 用の絶縁耐圧試験は、JEC-145 (交流しゃ断器) 規格に準拠し、対地 170 号、開路時両端子間、および異相間 200 号とした。商用周波および衝撃波耐圧試験結果を第 5 表に示す。

287.5 kV 用は、乾燥状態を JEC-125、注水状態を JEC-145 によって試験し、開路時両端子間是对地試験電圧の 120% とした。商用周波および衝撃波耐圧試験の結果を第 6 表に示す。

(7) せん絡電圧試験

230 kV 断路器について、対地および同相端子間のせん絡電圧を測定した。同相端子間、商用周波、衝撃波ともほとんど絶縁台がい子を経て大地にせん絡し正確なせん絡値は得られなかった。



第 12 図 短時間電流試験のオシログラム

第 6 表 287.5 kV 断路器絶縁耐圧試験

加 圧 部 分	商 用 周 波 (50 $\sim$)		衝 撃 波 (1 $\times$ 46 μ s) 正, 負	
	乾 燥 (1 分)	注 水 (10 秒)	乾 燥	注 水
主 導 電 部 と 大 地 間	550	460	1,150	1,050
開 路 時 兩 端 子 間	660	552	1,380	1,260
開 路 時 相 間				
低 圧 回 路 と 大 地 間	2	—	(正) 7	—
気 圧 757 mmHg 気 温 25 $^{\circ}$ C				
相 対 湿 度 85% 注 水 量 (水 平 分) 2.2 $\sim$ 2.4 mm/min				
注 水 角 度 約 45 度 水 の 固 有 抵 抗 9,800 Ω -cm				

第 7 表 230 kV 断路器商用周波せん絡試験

条 件		せん 絡 電 圧 (kV)					平 均 (kV)
		1	2	3	4	5	
主 導 電 部 と 大 地 間	乾 燥	640	690	655	675	680	668
	注 水	525	535	510	520	530	524
開 路 時 兩 端 子 間	乾 燥	*725	810	*710	*725	*770	*748
	注 水	*700	*700	*685	*699	*670	*691

備考 (1) *印は開路時兩端子間がせん絡せず本体を大地より浮かしてある台がい子の沿面距離が不足し台がい子をせん絡した値である。したがって開路時兩端子間のせん絡電圧値はこれ以上である。

第 8 表 230 kV 断路器衝撃波 50% せん絡試験

加 圧 部 分	条 件	50% せん絡値 (kV)
主 導 電 部 と 大 地 間	乾 燥	正 1,190
		負 1,320
	注 水	正 1,230
		負 1,370
開 路 時 兩 端 子 間	乾 燥	正 1,430
		負 *1,600
	注 水	正 *1,135
		負 *1,680

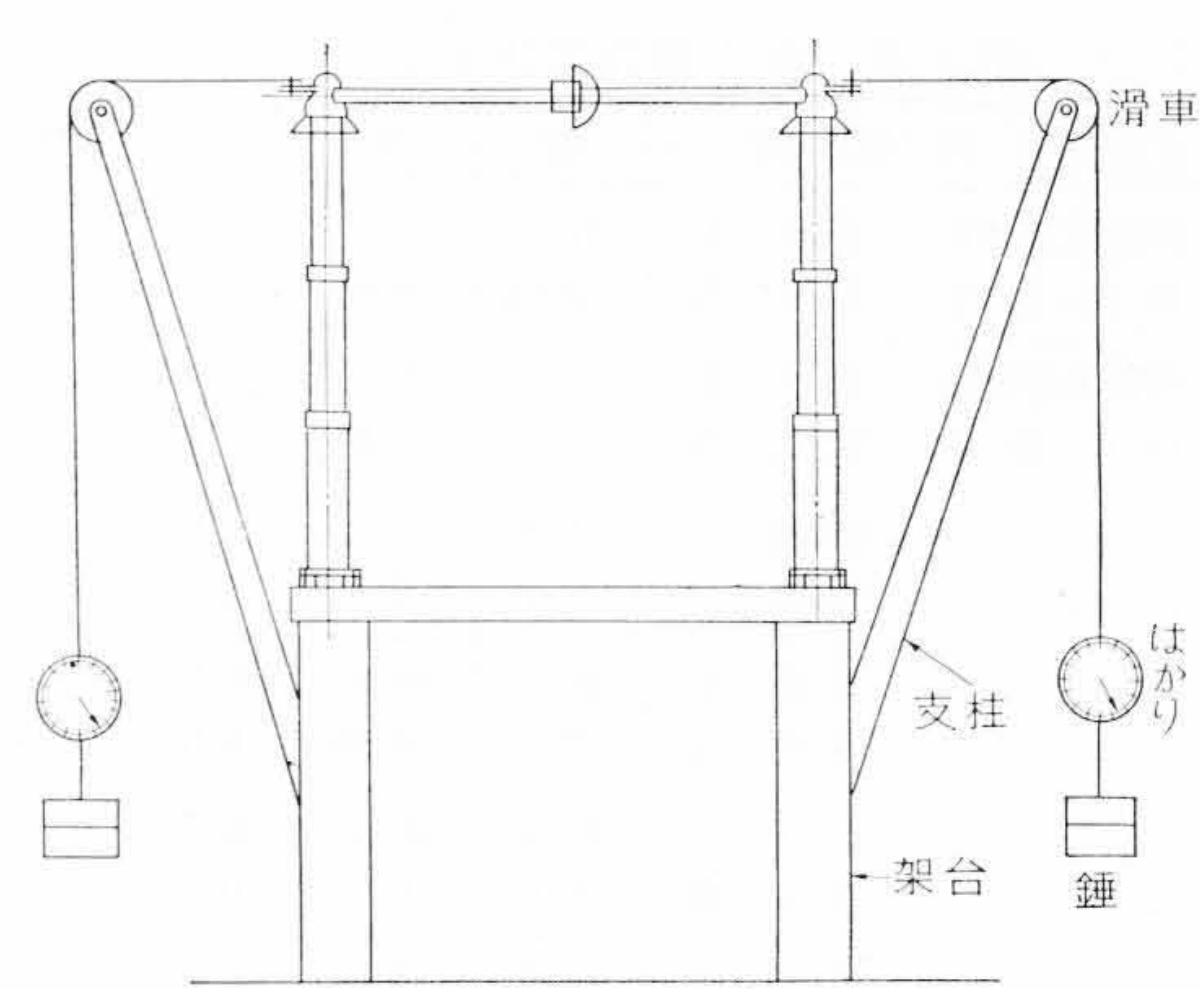
備考 (1) *印は開路時兩端子間がせん絡せず本体を大地より浮かしてある台がい子の沿面距離が不足し台がい子をせん絡した値である。したがって開路時兩端子間のせん絡電圧値はこれ以上である。

商用周波せん絡試験結果を第 7 表に、衝撃波 50% せん絡試験結果を第 8 表に示す。

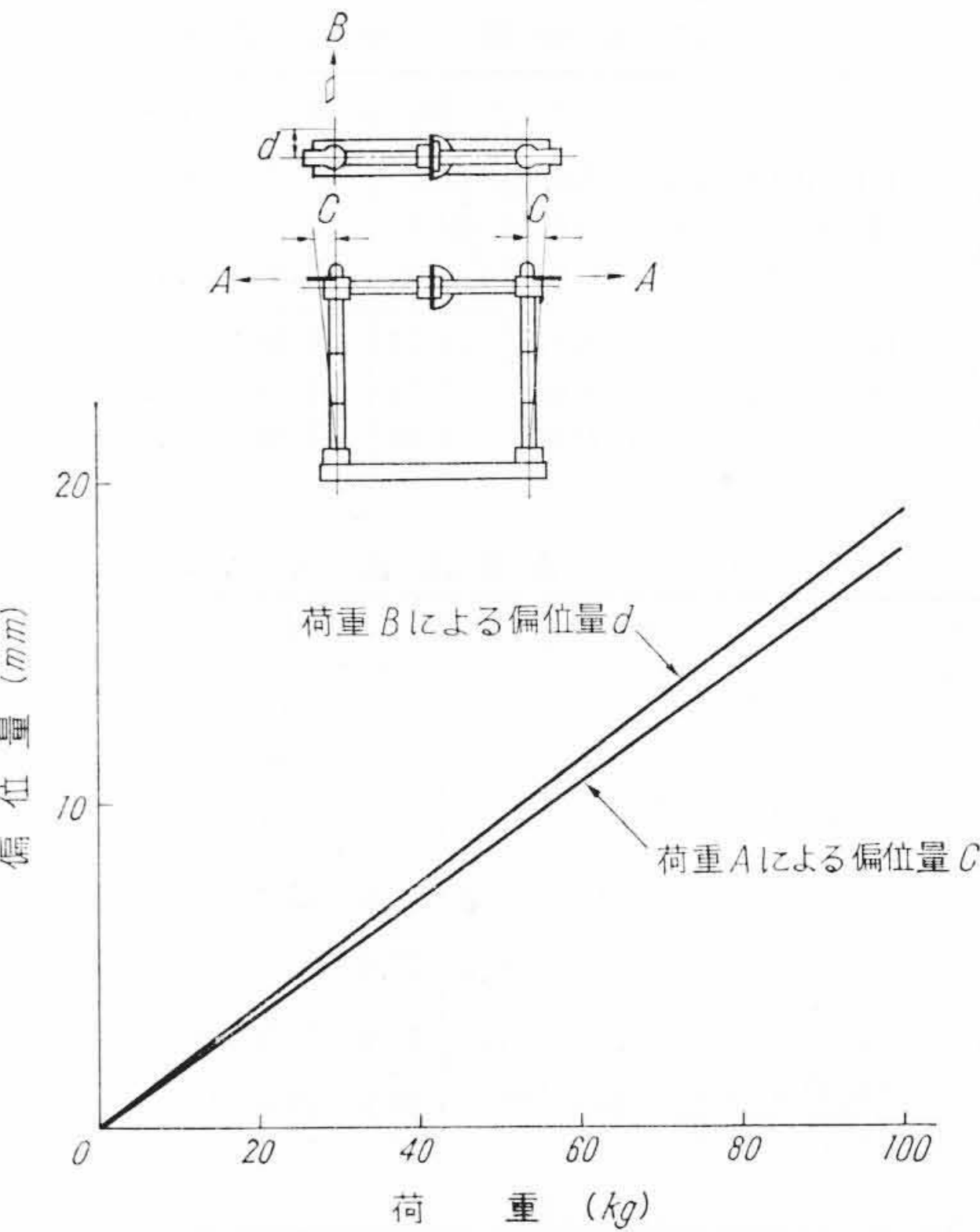
287.5 kV 断路器の開路時同相端子間せん絡電圧値は、類似断路器の試験結果、長間げきせん絡試験結果などからその推定値を第 9 表に示す。

(8) コロナ試験

コロナ試験に関する国内規格は未制定であるが、乾燥状態における可視コロナ発生電圧は「(定格電圧/ $\sqrt{3}$) $\times$ 1.3 以上であること」を一応の基準にした。試験は正確を期すため、夜間無灯火で肉眼あるいは双眼鏡により観測した。P Y 形は開路状態のブレード先端部、大地に最も近いがい子金具などから最もコロナが発生しやすいので、シールドリングを設けた。



第 13 図 荷 重 試 験 説 明 図



第 14 図 荷重と偏位量の関係 (287.5 kV 3,000 A 断路器)

第 9 表 287.5 kV 断路器同相端子間のせん絡電圧値 (推定値)

加 圧 波 形	条 件	せん 絡 値 (kV)
商 用 周 波	乾 燥	890
	注 水	890
衝 撃 波	正	1,500
	負	1,660

試験の結果、230 kV、287.5 kV 用とも閉路状態では、265 kV で端子取付部から、開路状態では、238 kV でブレード先端のシールドリングからコロナが発生した。コロナ発生電圧基準値に対し十分の余裕があることを確認した。

(9) 荷 重 試 験

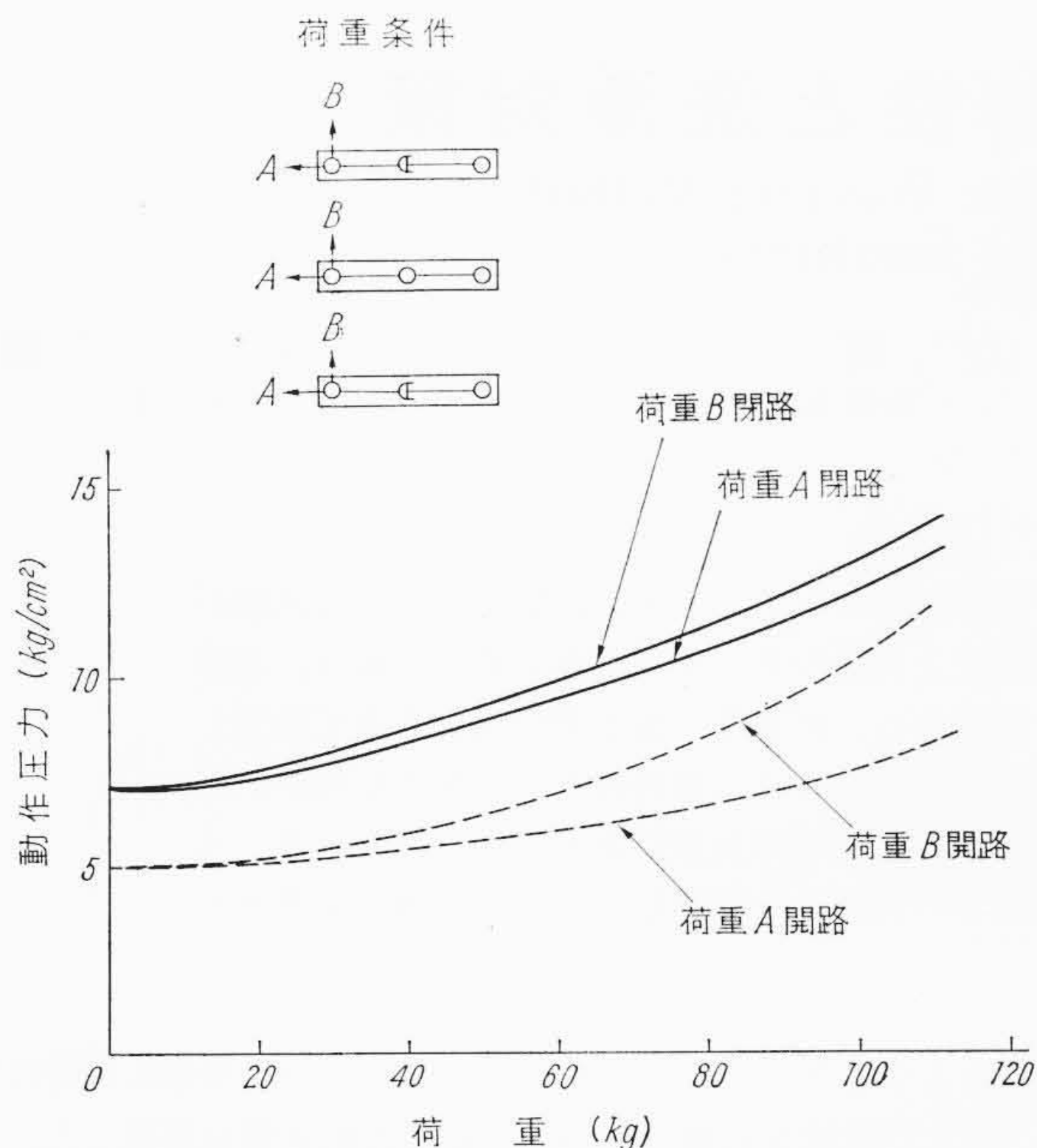
接続導体の張力を想定した荷重を端子に加えて、偏位量、接触状態および最小動作圧力の変化を測定した。地上高さ 2,000 mm の架台に断路器を据え付け、第 13 図の方法で錘の重量を変化させて試験した。

(a) 荷重と偏位量

端子部にベース方向およびベースと直角方向に荷重を加えた場合の荷重と偏位量の関係を第 14 図に示す。

(b) 荷重と最小動作圧力

三相の片側端子にベース方向およびベースと直角方向の荷重を加えた場合の試験結果を第 15 図に、両方の端子に加えた場合を第 16 図に示す。



第 15 図 荷重と最小動作圧力の関係(その 1)
(287.5 kV 3,000 A 断路器)

接触状態は、両方の端子に 100 kg の荷重を加えても異常は認められず、接触抵抗の変化も生じなかった。

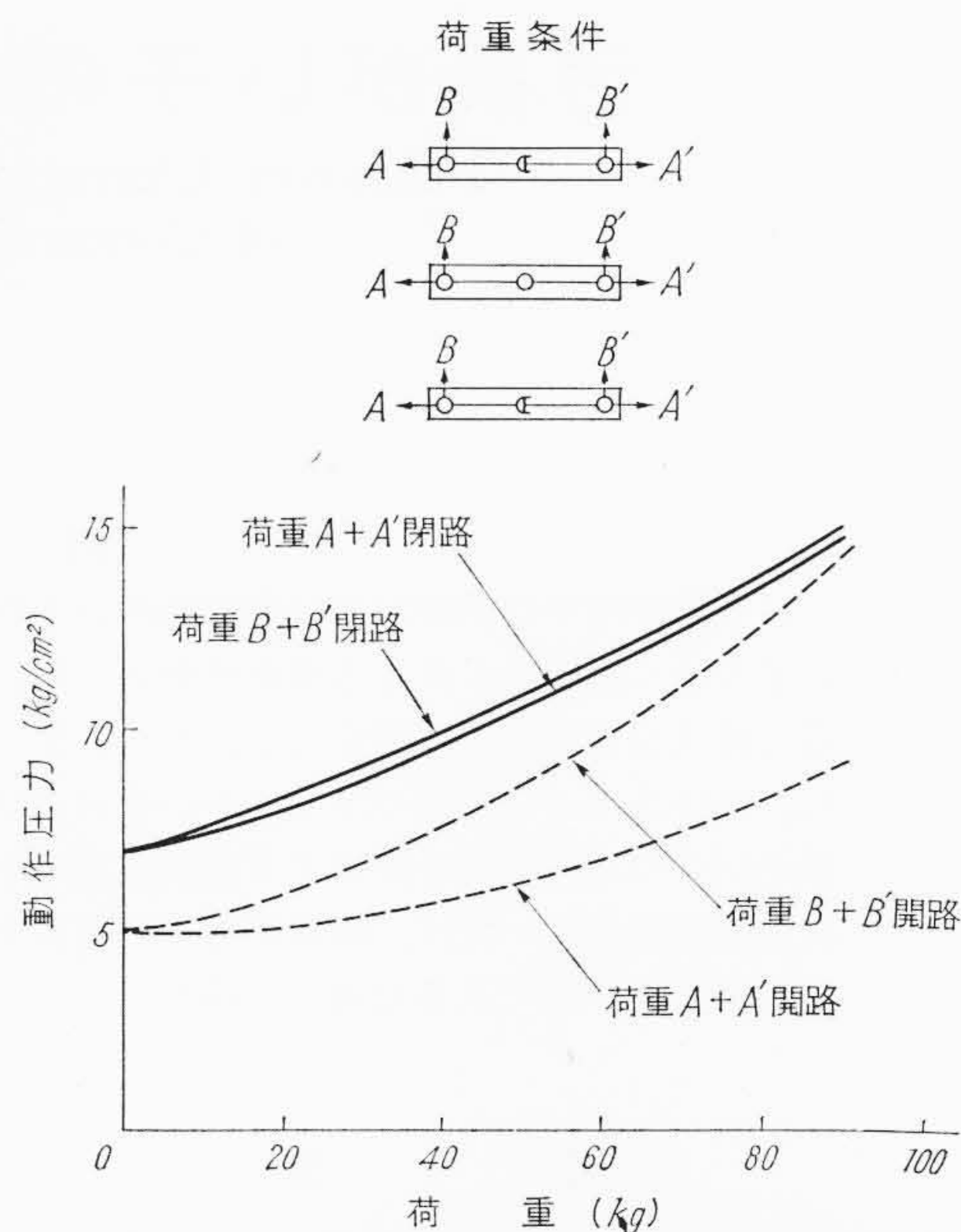
(10) 充電電流遮断試験

一般に断路器では電流の開閉を行なわないのがたてまえであるが、実用面では変電所構内母線や、コンデンサ形計器用変圧器の充電電流を遮断する場合がある。200 kV 0.35 A の充電電流遮断試験を行なったが、開離度 40~50% 程度で異常なく遮断した。第 17 図はそのオシログラムである。

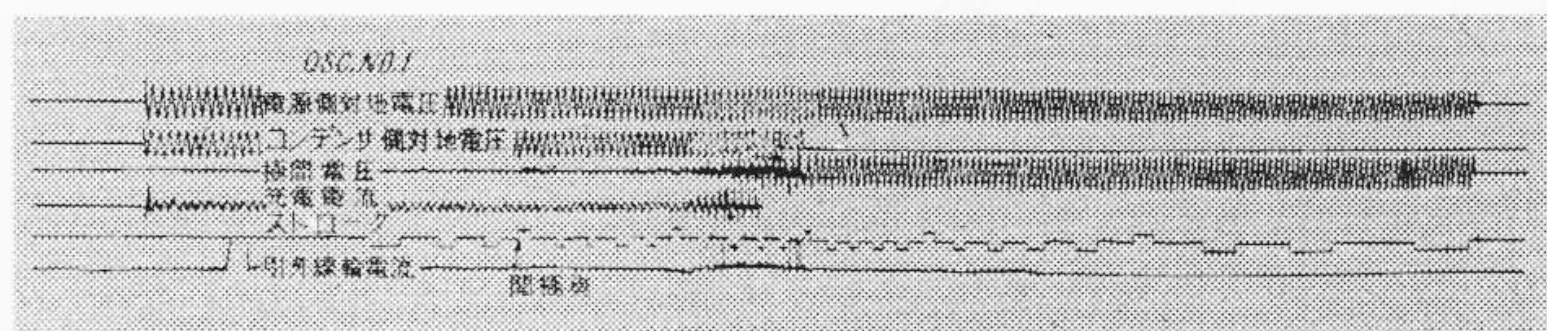
4. 結 言

P Y 形水平一点切断路器は、従来の PHL 形に比べて、がい子柱が少なく、占有面積および重量が約 70~80% に縮小されている。また活線洗浄を行なう変電設備では、洗浄設備費、保守経費なども節減できる。さらにブレードが短くてすむから大電流用の製作も比較的容易である。従来の PHL 形では、287.5 kV 用はその構造上がい子強度などから 2,000 A が限度であったが、P Y 形では 3,000 A 用も標準がい子で製作することができた。中部電力株式会社納の断路はこの形式のもので形式試験に合格している。

導電部は十分な通電容量を持ち、40,000 A 2 秒の短時間大電流に



第 16 図 荷重と最小動作圧力の関係(その 2)
(287.5 kV 3,000 A 断路器)



試験電圧 200 kV 電流 0.35 A

第 17 図 287.5 kV 断路器充電電流遮断試験のオシログラム

耐えた。ヒンジ接触部をブレードの回転力を電線に伝えない回転しゅう動接触とした。コロナシールドをブレード先端に設け開路時のコロナ発生を防止した。

一連の回転ベアリング部は、電線の張力、風圧などの外力によって、動作性能に支障がないよう十分強力な構造としてある。

各端子にそれぞれ 100 kg の荷重を加えても接触状態は正常であった。

P Y 形はすでに定格電圧 69~287.5 kV、定格電流 800~3,000 A の系列を完成し、多数製作納入し好評を得ている。本断路器の開発にあたって、ご援助を賜った九州電力株式会社、中部電力株式会社の関係者各位に深く謝意を表わす次第である。

Vol. 23

日 立 造 船 技 報

No. 4

- 軸系質量がねじり振動特性に及ぼす影響
- 船用プロペラ青銅鋳物について (II) 承前
——船用プロペラアルミニウム青銅について——
- 通風トランク分岐合流部のエネルギー損失
——分流および合流の場合——
- クロムメッキの前処理と密着性
- 通風システムによる船室の騒音

- 排気管系が排気変動温度および排気エネルギーに及ぼす影響
- 放射線殺菌の食品貯蔵への応用に関する研究 (第 2 報)
——殺菌用照射装置について——
- 鋼板構造プレス本体の溶接開先
- 定期貨物船“山利丸”の自動化装置について

……本誌に関する照会は下記に願います……

日 立 造 船 株 式 会 社 技 術 研 究 所

大阪市此花区桜島北之町 60