

日立直立投入形断路器

Hitachi Vertical Closure Type Disconnecting Switches

羽 藤 昭一郎*
Shōichirō Hatō

向 山 秀 次*
Hidetsugu Mukōyama

石 崎 勇*
Isamu Ishizaki

内 容 梗 概

近年変電所合理化の一手段として鉄構，用地，基礎工事費を著しく節減できるアルミパイプ母線が各所で採用されている。これに伴いパイプ母線方式をいっそう効果的にする断路器の開発が要望され，日立製作所では電圧 69～161 kV，電流 800～2,000 A 定格の直立投入形断路器を開発した。

本断路器は固定接触子が直接パイプ母線に取り付けられた立切形断路器で，圧縮空気操作器または手動操作器による三相一括操作式である。二段母線の連絡，送電線の引き出しなど，用途により斜めあるいは平行配列として，変電所の敷地面積を縮小するとともに，母線の簡潔化に寄与し，変電所の建設費を大幅に低減することができる。

1. 緒 言

変電所の敷地，鉄構，母線などを合理的かつ経済的に建設するために，諸外国においては早くから屋外母線として，ガスパイプあるいはアルミパイプなど，リジット母線が用いられている。わが国においても昭和 33 年西相模変電所三次側母線にアルミパイプが初めて採用されて以来，アルミパイプ母線に深い関心が寄せられ，これを用いた変電所が各所に建設される気運になって来た⁽¹⁾。

母線としてアルミパイプを用いる場合，最も一般的な配線方式は，上下母線を直角に配置したいわゆる二段母線方式であるが，このような場合，従来の形の断路器を用いたのでは上下母線の連絡，送電線の引き出しに不便であるのみならず，断路器の占有面積が大きく，十分にアルミパイプ母線の特長を生かすことができない。この点パンタグラフ形断路器あるいはセミパンタグラフ形断路器はこれらの条件を満足するものではあるが，各相ごとに操作器を有すること，接触部分が多くなること，構造が複雑であることなどから，161 kV 以下にこれを適用することは経済的でなく，これらの条件を満足するパイプ母線用断路器の開発が要望されるに至った。

今回，日立製作所が開発した直立投入形 (PGDL 形) 断路器は，従来の立切形断路器の固定接触子部分をパイプ母線に取り付けることにより，パンタグラフ形と全く同じ目的に使用し得る方式で，構造が簡単で大電流容量のものにも適している。第 1 表はこの形の標準仕様であるが，すでに九州電力株式会社，中部電力株式会社の形式試験に合格し，新小倉発電所および上野開閉所に納入して，好成績を得ている。

以下，本断路器の構造および性能試験結果について述べる。

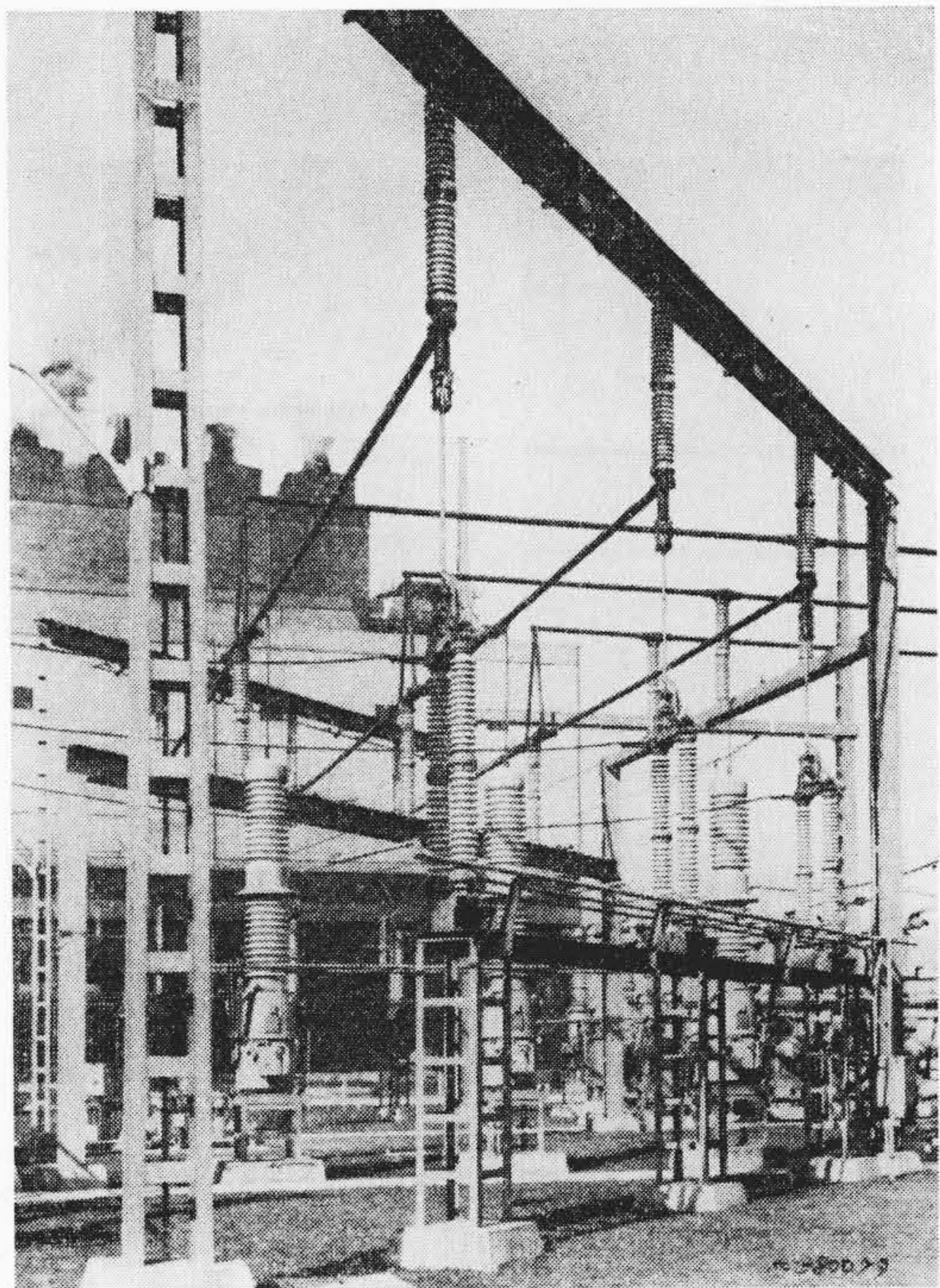
2. 構 造

第 1 図は直立投入形断路器の外観図，第 2 図は構造説明図である。本体はベースに取り付けられた操作用および支持用の 2 本のが

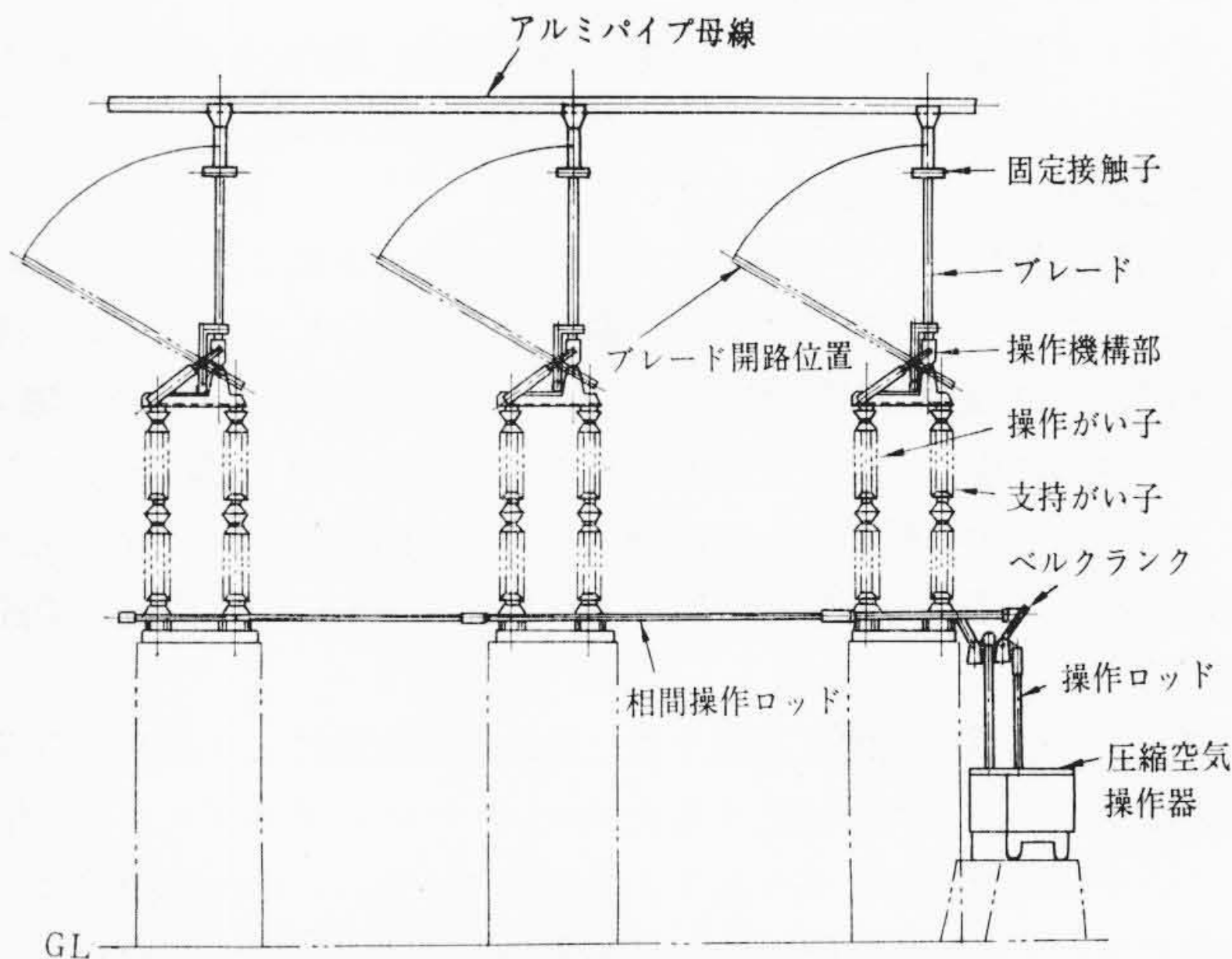
第 1 表 直立投入形断路器の定格および仕様

定 格 電 圧	69 kV	115 kV	161 kV
形 式	PGDL PA	PGDL PA	PGDL PA
相 数	3 相	3 相	3 相
定 格 電 流	1,200 A	800 A	2,000 A
定 格 周 波 数	50～60 c/s	50～60 c/s	50～60 c/s
定 格 短 時 間 電 流	20,000 A 2 秒	24,000 A 2 秒	40,000 A 2 秒
定 格 操 作 圧 力	5 kg/cm ²	5 kg/cm ²	15 kg/cm ²
定 格 操 作 電 圧	DC 100 V	DC 100 V	DC 100 V

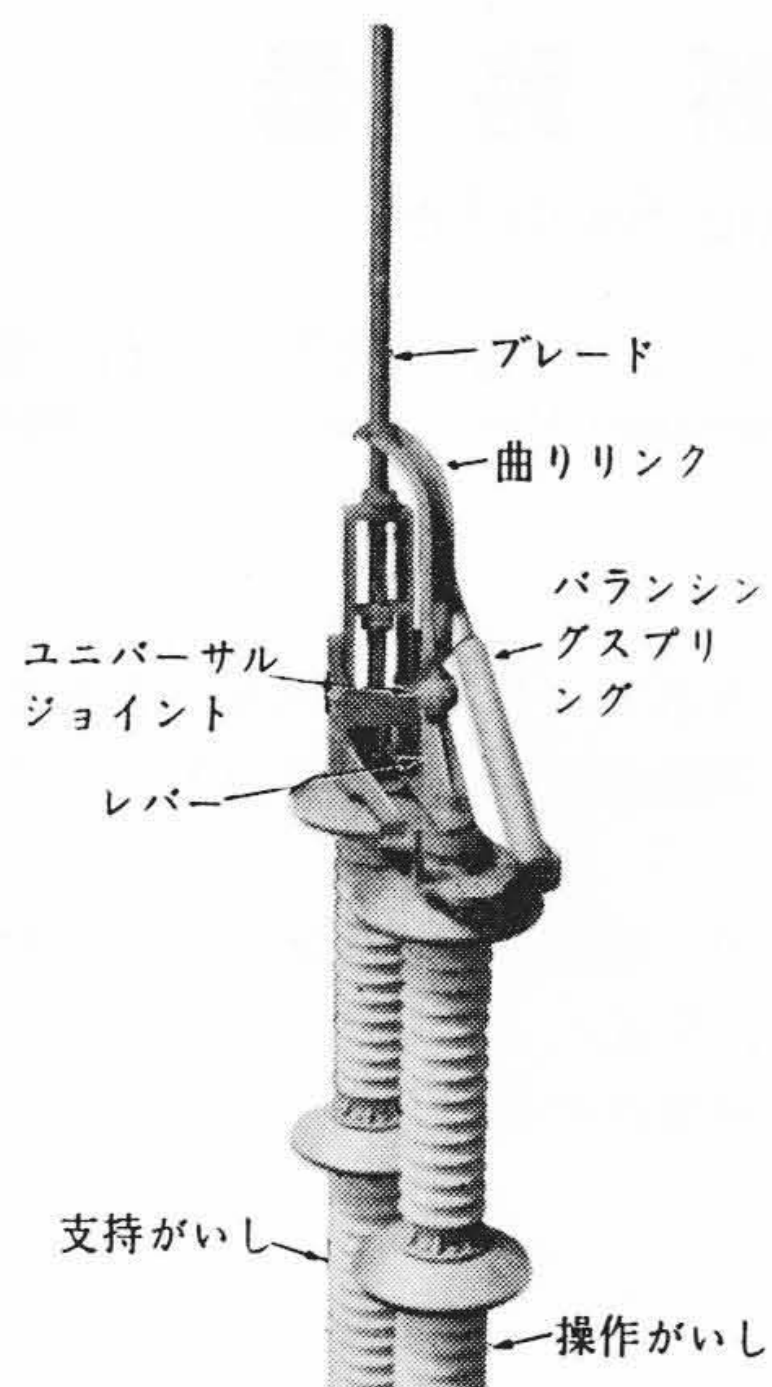
* 日立製作所国分工場



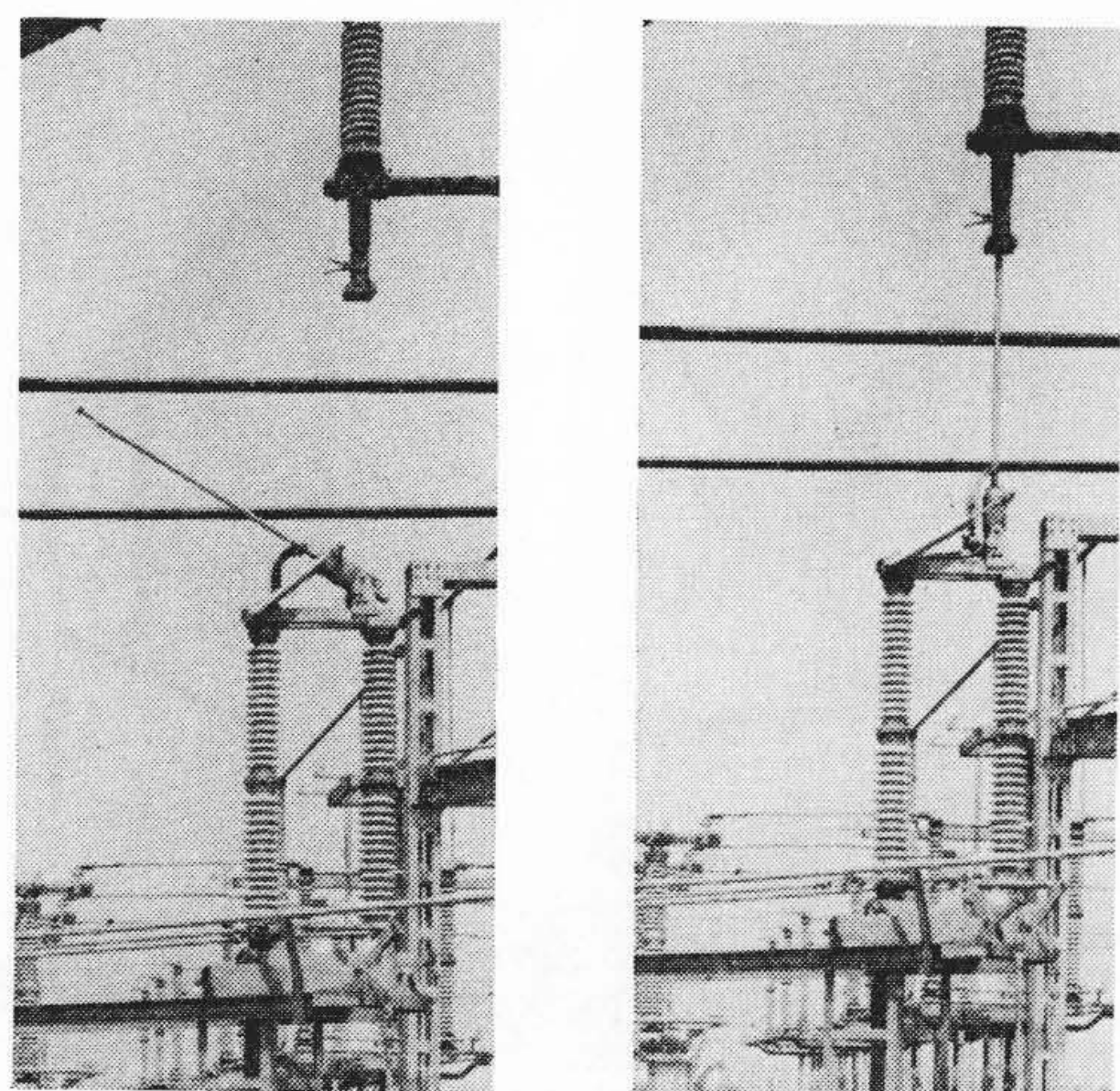
第 1 図 115 kV 800 A 直立投入形圧縮空気操作式断路器
(九州電力株式会社新小倉発電所設置)



第 2 図 直立投入形断路器基本構造説明図



第3図 ブレード操作機構部



第4図 直立投入形断路器の開路および閉路状態

いし柱と、これらにささえられたブレード、操作機構部から成り、固定接触子は上部アルミパイプ母線に直接取り付けられている。

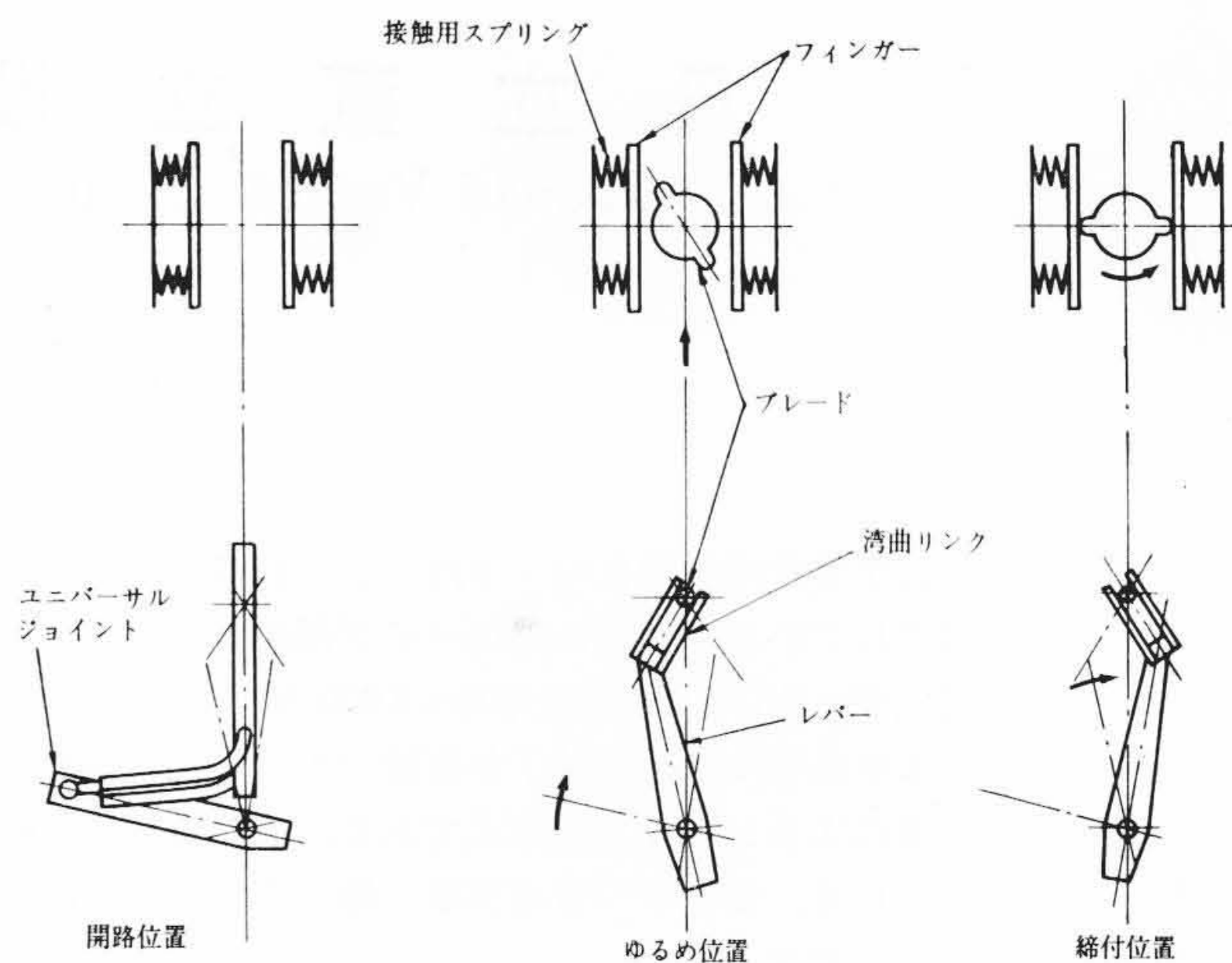
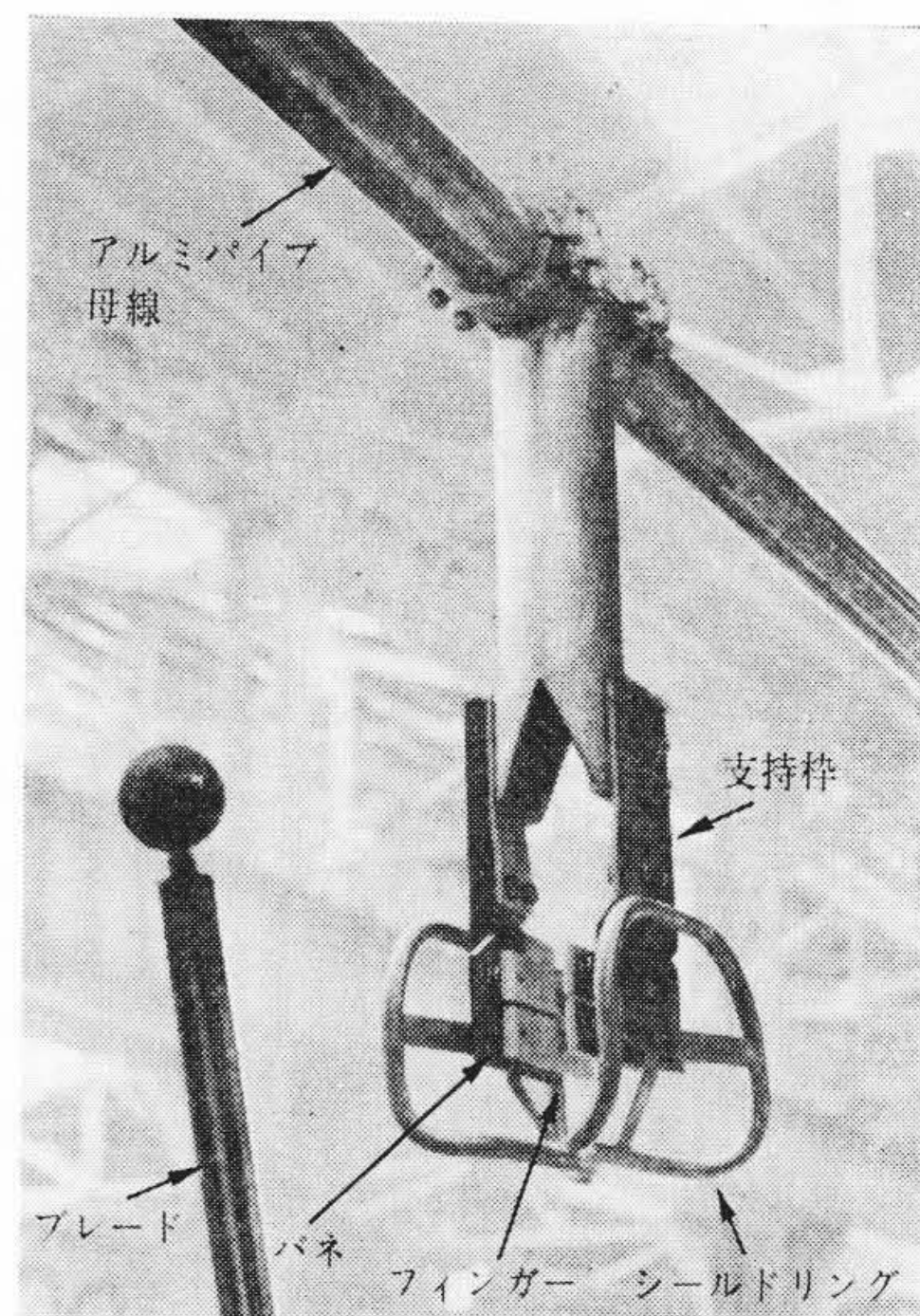
三相同時に開閉動作を行なうため、各相の操作がいしは相間操作ロッドにて連結され、操作器と断路器本体間は操作ロッドおよびベルクランクで連結されている。操作器としては日立標準形圧縮空気操作器⁽²⁾を用いている。

2.1 ブレード操作機構部

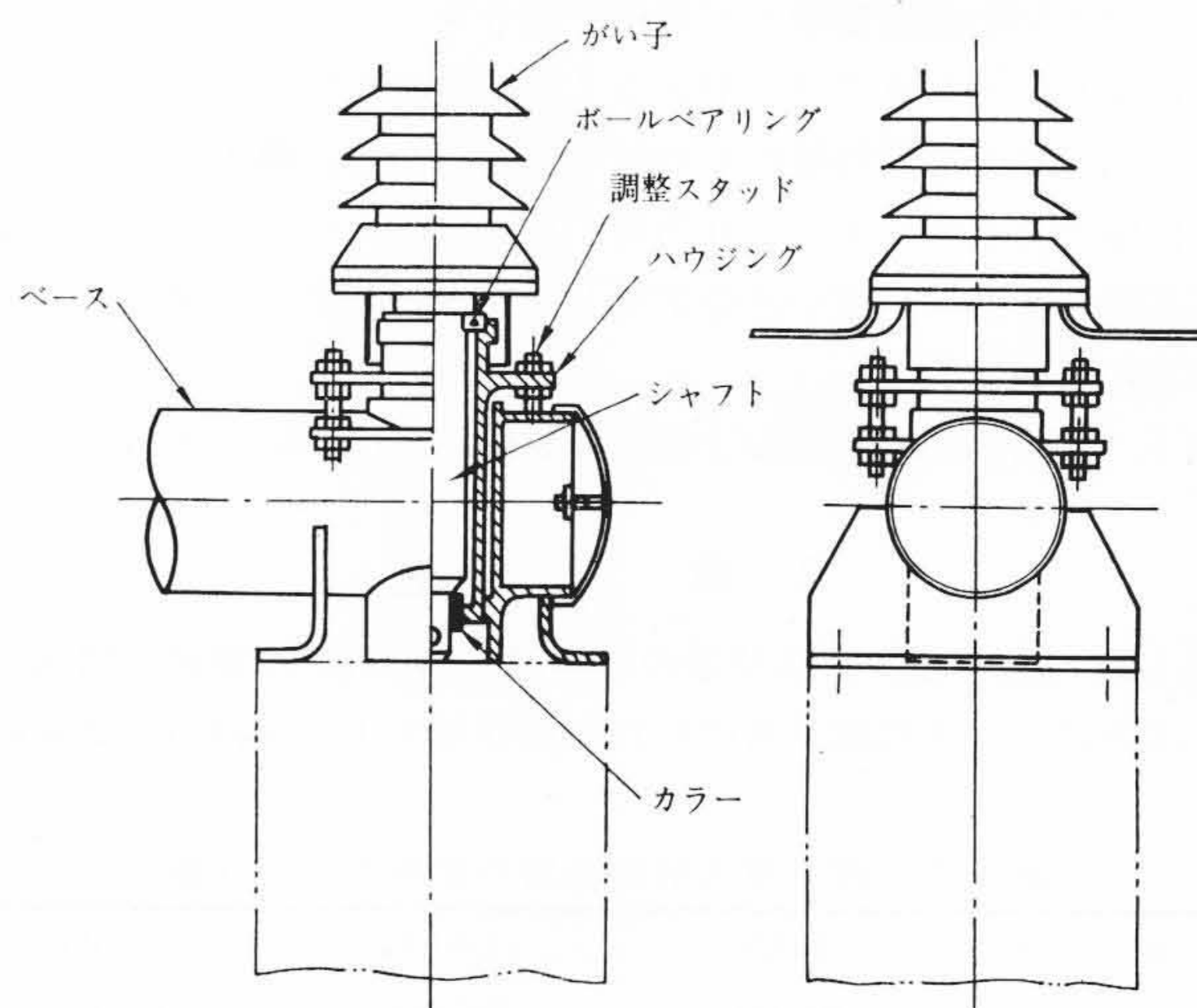
ブレード操作機構部の外観を第3図に示す。操作がいし頂部に固定されたレバーは、ユニバーサルジョイントを介してブレードをささえる曲りリンクと結合されている。

閉路時は操作がいしを時計方向に回転することによりレバーを回転し、ユニバーサルジョイント、曲りリンクを介してブレードを押し上げ、その先端は固定接触子のフィンガー内にはいり込む(第4図)。さらに操作がいしを回転することにより、第5図に示すようにブレードは中心軸のまわりに回転してねん回接触を行なう。開路時は逆に、まずねん回接触が解けてからブレードは開路位置まで運動する。

ブレードは垂直面内に運動するため、運動位置により必要なる操作力は違うが、これを補正するためバランシングスプリングを用い、いずれの位置でもつりあうようにしている。このため操作は全過程においてきわめて軽快で、しかもねん回による確実な接触が行なわれる特長を有している。

第5図 レバーとフィンガー内におけるブレードの動作ねん回接触
(操作機構部、固定接触子とも上部より見た図)

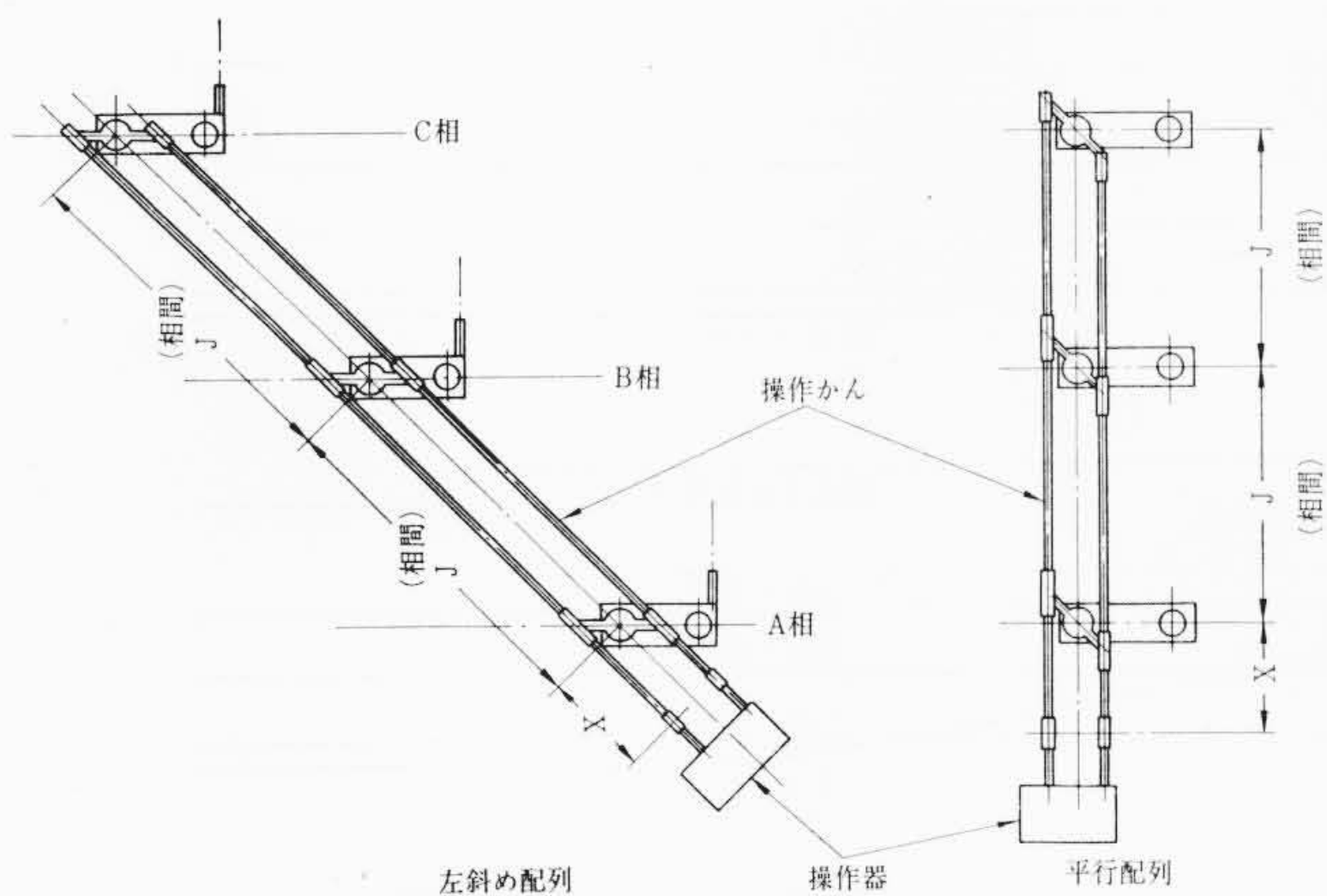
第6図 固定接触子 (161 kV, 2,000 A)



第7図 がいし基部ベアリング構造説明図 (161 kV 用)

2.2 固定接触子

第6図に示すように固定接触子はアルミパイプ母線に設けられた金具に直接取り付けられている。フィンガーは、支持わくにささえられた圧縮バネにより接触圧力が与えられる構造である。フィンガ



第8図 断路器の配列方法

ーとアルミ部分とはたわみ導体(銅製)にて接続されるが、アルミと銅の接続面は電食を防止するため、アルミ側に銅板ロー付けを行なっている。固定接触子とブレード間に多少の偏位があっても、投入動作が確実に行なわれるようガイドが設けられている。161 kV 用は特にコロナ防止のシールドリングでガイドを兼用している。

2.3 がい子基部ベアリング

第7図にがい子基部ベアリング構造説明図を示す。ハウジングは調整スタッドによりベースに取り付けられ、この中に組み込まれたボールベアリングおよび砲金製のカラーでシャフトをささえている。

操作時あるいは外的条件によって操作ががい子に加わる荷重はすべてこのベアリング部分で受け持たれるが、連続開閉試験その他の試験により、十分信頼性のある構造であることが確認されている。161 kV 用には軽量で強力なパイプ構造のベースが採用されている。

2.4 断路器の配列

直立投入形断路器は母線の配置によって、平行配列、あるいは斜めの配列のいずれの配列方法でもとり得る。斜め配列には操作器に対して、左斜め上方に配列する左斜め配列、および右斜め上方に配列する右斜め配列がある。第8図に平行配列と左斜め配列を示す。このように母線の配置によって種々の配列方法を取り得るので、最も合理的に断路器を設置することができる。

3. 性 能

3.1 動力開閉試験

JEC-125に規定された操作電圧75~110%、操作圧力75~110%の変動範囲において動作が良好であることを確認し、さらに最小動作電圧および圧力を測定した。

161 kV 用における最小動作電圧および圧力は第2表のとおりで規格値に対して十分余裕がある。

3.2 連続開閉試験

161 kV 用断路器について連続開閉操作を10,000回行ない、この前後および途中で、接触抵抗および開閉速度を測定した。

試験後断路器を分解し、各部の点検を行なったが、なんら異常は認められず、十分な耐久性を有することが明らかとなった。

3.2.1 接 触 抵 抗

主導電部にDC 100 Aを通電し、下部端子および上部アルミパイプ母線間の電位差を、適当なる開閉回数ごとに測定した結果は第3表のとおりである。各相とも開閉操作回数による接触抵抗値の変化はきわめて小さく、安定した接触状態が保たれていることを示している。

第2表 PGDL形 161 kV 2,000 A 断路器の
最小動作電圧および最小動作圧力

閉路用電磁弁最小動作電圧 (V)	38.8	(38.8%)
開路用電磁弁最小動作電圧 (V)	36.4	(36.4%)
最小動作圧力(閉路) (kg/cm ²)	6.0	(40 %)
最小動作圧力(開路) (kg/cm ²)	5.5	(36.7%)

() 内は定格操作電圧、圧力に対する % を示す。

第3表 PGDL形 161 kV 2,000 A 断路器の連続開閉試験
における電圧降下 (通電電流 DC 100 A)

開 閉 回 数 (回)	0	500	1,000	2,000	5,000	7,500	10,000
電圧降下 (mV)	A 相	7.20	7.20	7.20	7.15	7.10	7.15
	B 相	7.25	7.25	7.20	7.20	7.20	7.20
	C 相	7.20	7.15	7.20	7.15	7.10	7.15

第4表 PGDL形 161 kV 2,000 A 断路器の
開閉速度開閉時間試験結果

開 閉 回 数 (回)	0	500	1,000	2,000	5,000	7,500	10,000
操作電圧 (V)	100	100	100	100	100	100	100
操作圧力 (kg/cm ²)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
閉路速度 (m/s)	1.19	1.20	1.185	1.21	1.175	1.18	1.21
開路速度 (m/s)	1.73	1.73	1.70	1.70	1.71	1.725	1.715
開路時間 (ms)	119.75	119.0	119.75	119.75	119.25	118.75	118.25
閉路時間 (ms)	132.5	130.25	132.5	129.75	133.0	132.25	128.75

第5表 PGDL形 161 kV 2,000 A 断路器の
温度上昇試験結果

No.	測 定 位 置 名	温 度 上 昇 値 (°C)	
		連続開閉試験前	連続開閉試験後
①	端 子	34.5	36.5
②	フィンガー (下部)	20.0	23.5
③	ブ レ ー ド	31.0	35.0
④	フィンガー (上部)	27.0	26.5
⑤	アルミパイプブス	21.5	18.5

第6表 短時間電流試験結果

断 路 器 定 格	仕 様	試 験 値			結 果
		実効値 (A)	波高値 (A)	時 間 (s)	
69 kV 1,200 A		20,000	50,000	2	23,100 55,000 2.07 良
115 kV 800 A		24,000	60,000	2	24,700 61,000 2.07 良
161 kV 2,000 A		40,000	100,000	2	45,000 103,000 2.09 良

3.2.2 開 閉 速 度

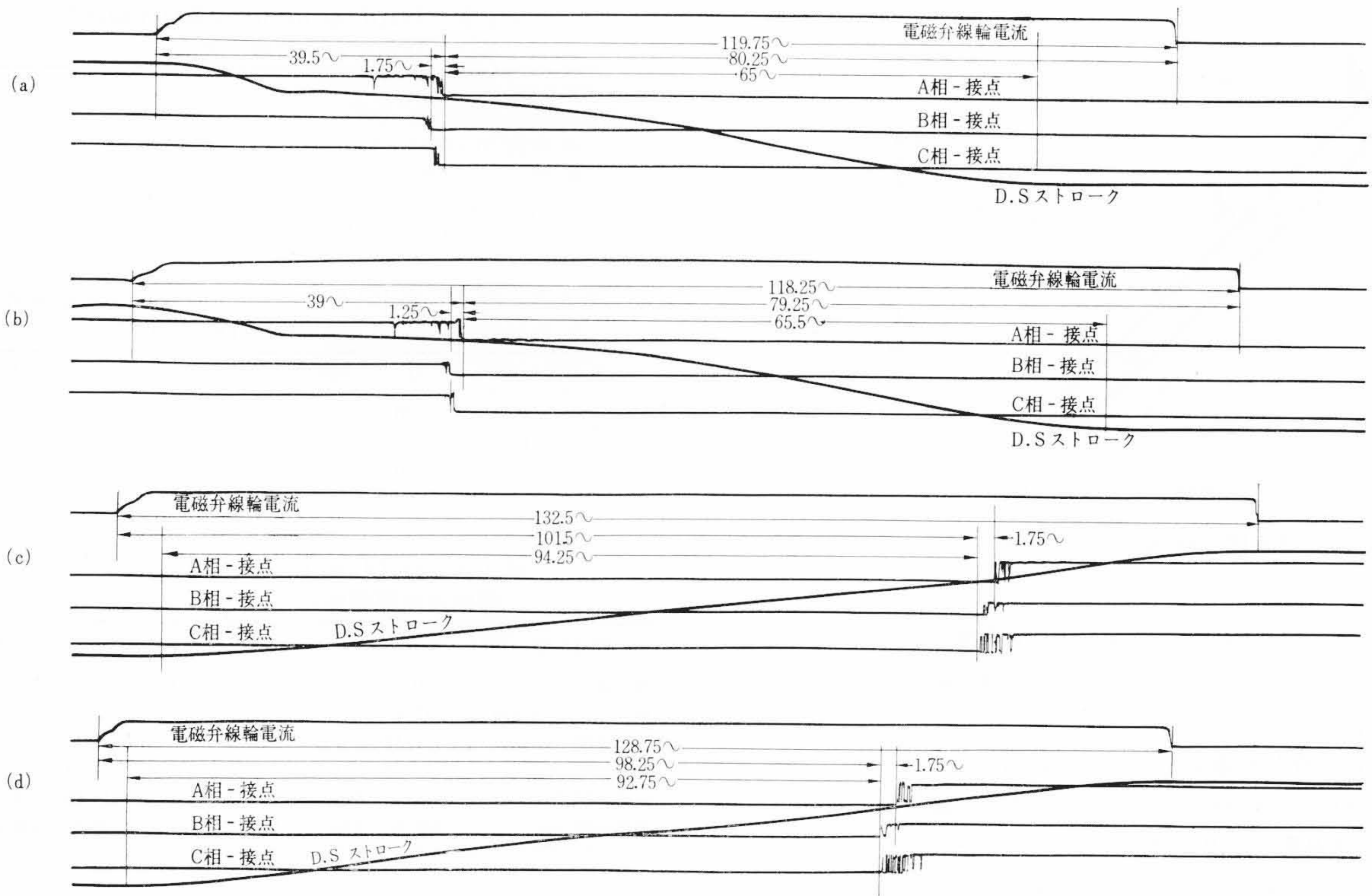
開閉速度は、操作ががい子基部の回転動作を電磁オシログラフにより測定し、ブレードの開路位置より固定接触子に接触する位置までの開閉所要時間と円弧長から算出した。開閉速度は操作回数には関係なく、ばらつきはきわめて小さい。試験結果を第4表に、連続開閉試験前および10,000回における定格操作電圧、圧力による開閉動作のオシログラムを第9図に示す。速度曲線は開閉動作がきわめて円滑であることを示している。

3.3 温度上昇試験

第5表に161 kV、2,000 A用断路器の連続開閉試験前後における各部分の温度上昇試験結果を示す。いずれもAC 60 Hzを各部の温度上昇が一定になるまで通電した。接触部の最高温度上昇値は27°C程度で、JEC-125に規定された45°Cに対し十分余裕がある。

3.4 短時間電流試験

各定格の断路器に対し第6表に示すような短時間電流試験を行なったが各部になんら異常は認められなかった。161 kV、2,000 Aの断路器において試験直後の温度上昇値は約4°Cであった。115 kVおよび161 kV断路器の短時間電流試験オシログラムを第10図に



(a) 連続開閉試験前

開路操作

操作電圧 DC 100V

操作圧力 15 kg/cm²

(c) 連続開閉試験前

閉路操作

操作電圧 DC 100V

操作圧力 15 kg/cm²

(b) 連続 10,000 回操作後

開路操作

操作電圧 DC 100V

操作圧力 15 kg/cm²

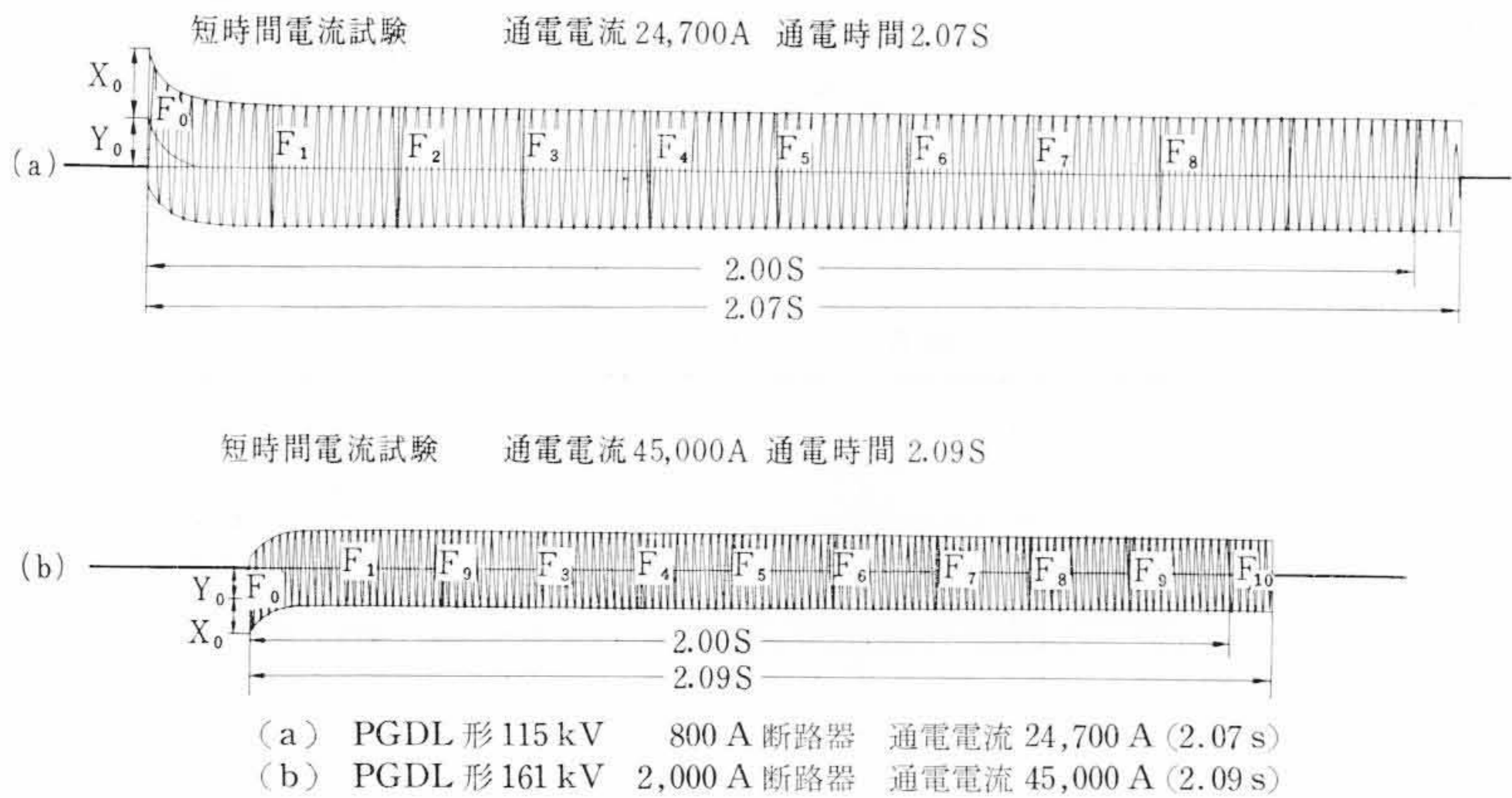
(d) 連続 10,000 回操作後

閉路操作

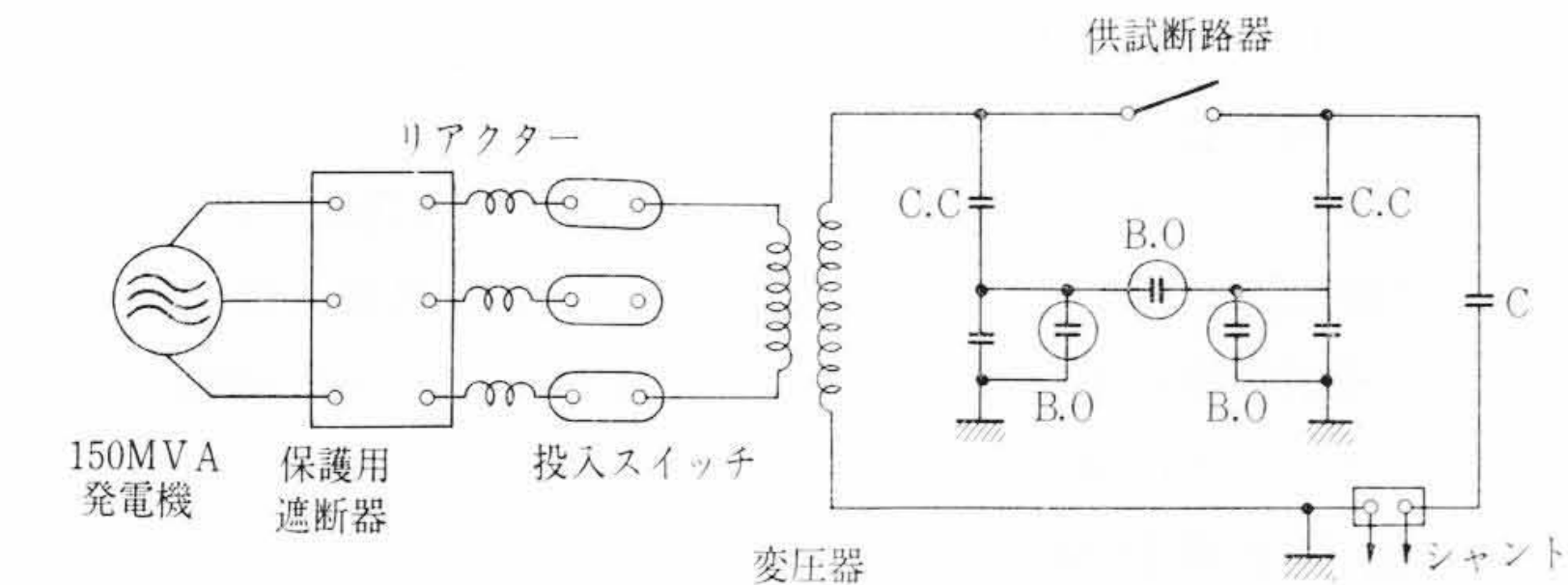
操作電圧 DC 100V

操作圧力 15 kg/cm²

第 9 図 PGDL 形 161 kV 2,000 A 断路器の開閉動作オシログラム



第 10 図 短時間電流試験オシログラム



第 11 図 充電電流遮断試験回路

示す。

3.5 絶縁試験

絶縁試験は JEC-125 の規格に準拠し、同相極間および相間の耐電圧試験は、商用周波、衝撃波とも対地試験電圧値の 120% で行なったが、なんら異常はなかった。

3.6 空気消費量

操作器に 40 l 入空気タンクを接続し、ゲージ圧力 15 kg/cm² に充

気後、電磁弁の鎖錠圧力 10.1 kg/cm² まで他からの給気なしに 3 回の開閉操作を行なうことができた。

3.7 小電流遮断試験

第 11 図に示すように試験回路を構成し、充電電流遮断を行なった。試験電圧は対地電圧の約 1.2 倍にて、115 kV 用断路器では 0.25 A、161 kV 用断路器では 1.03 A を遮断した。試験結果を第 7 表に、代表的なオシログラムを第 12 図に示す。

遮断開離度は 115 kV 用断路器で約 20% 程度、161 kV 用断路器で 35~50% でいずれも異常なく遮断した。

3.8 コロナ試験

わが国においてはコロナ試験に関する試験電圧、試験方法など未制定であるが、日立製作所としては、乾燥状態における可視コロナ発生電圧は (定格電圧/√3)×1.3 以上を一応の基準とし、コロナ発生の有無は夜間無灯火時、双眼鏡により観測した。気圧 760 mmHg、気温 19℃、相対湿度 76% 時に

第 7 表 充電電流遮断試験結果

供 試 断 路 器	試験電圧 (kV)	試験電流 (A)	アーク時間 (ms)	遮断開離度 (%)	異常電圧倍数	
					電源側	負荷側
115 kV 800A	80	0.25	22.2	23.3	1.50	1.44
	80	0.25	20.7	19.2	1.48	1.47
	80	0.25	22.4	21.7	1.49	1.45
	80	0.25	20.6	19.2	1.37	1.40
	80	0.25	20.3	18.0	1.35	1.39
161 kV 2,000A	107	1.03	71	50	1.33	1.27
	107	1.03	61	35	1.33	1.27
	107	1.03	59	35	1.63	1.55
	107	1.03	57	35	1.27	1.27
	107	1.03	69	50	1.40	1.36

* 遮断開離度とは

$$\text{遮断開離度} = \frac{\text{開離よりアーク消滅点までのブレード角度}}{\text{開離よりブレード全開位置までの角度}} \times 100 (\%)$$
を示し、動作曲線から概算値を求めた。

における 161 kV 用断路器の試験結果は第 8 表のとおりである。

3.9 固定接触子偏位時における諸試験

直立投入形断路器は、固定接触子が直接アルミパイプ母線に固定

されるため、据付誤差、外力による母線のたわみなどによりブレードと固定接触子中心が必ずしも一致しないことも考えられる。この許容偏位量を検討するため、161 kV、2,000 A の断路器で、第 13 図

に示す δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 なる偏位を固定接触子に与え、接触抵抗、最小動作圧力、温度上昇値および開閉時における各部のひずみ量と応力とを測定した。

3.9.1 接触抵抗および最小動作圧力

第 9 表に各偏位時における接触抵抗および最小動作圧力の測定結果を示す。接触抵抗は偏位量に無関係で、十分な接触が保たれていることが確認された。

最小動作圧力は閉路時には偏位量に関係なく、開路時のみ偏位量 δ_3 、 δ_4 に関係する。ブレードとフィンガーとの摩擦力は偏位量 δ_3 、あるいは δ_4 とともに増大するが、投入時はブレード自身の慣性力で投入されるため、操作力には関係なく、開路時は静止状態からの運動ゆえ、必要操作力が増加するものと考えられる。

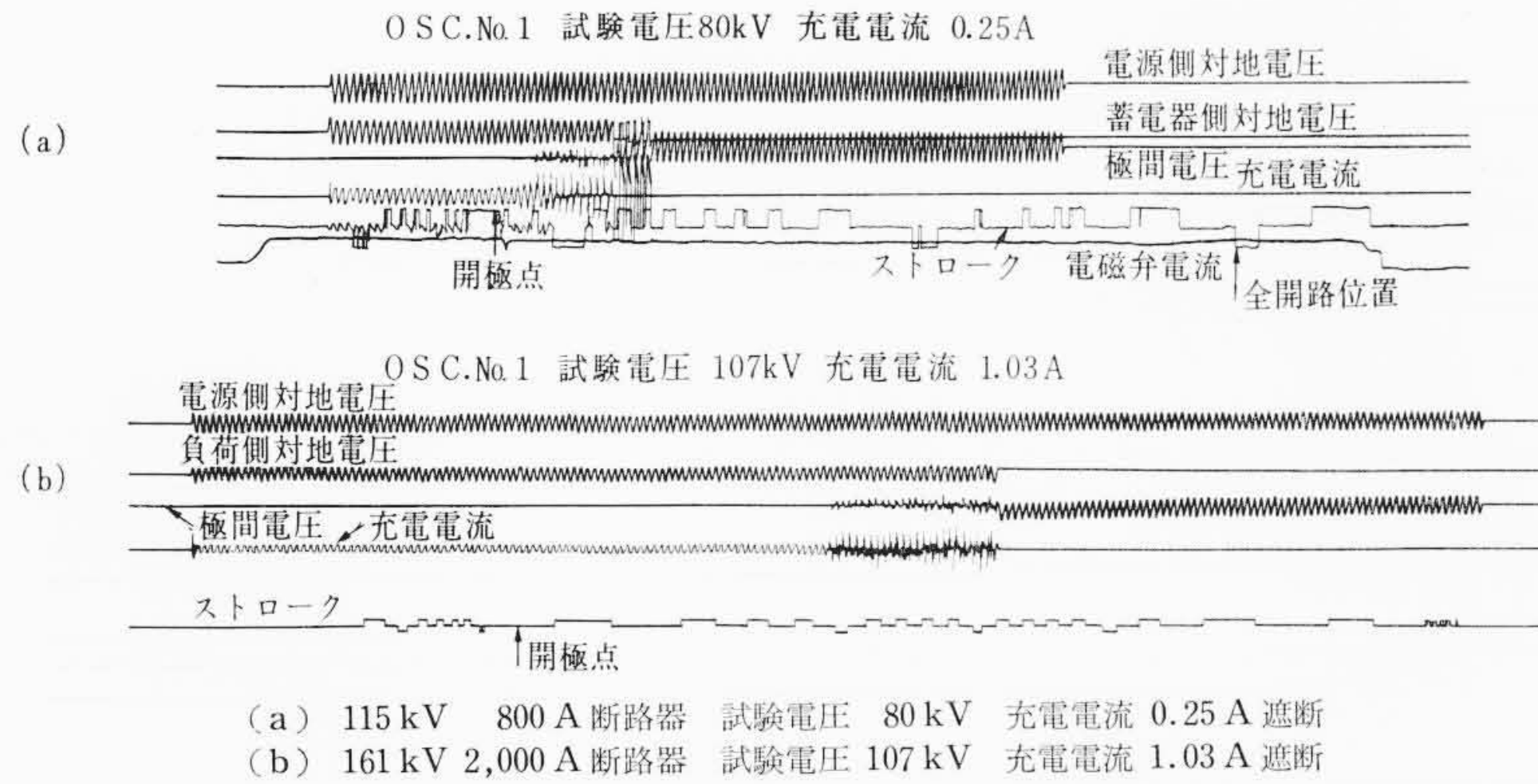
試験結果から δ_3 あるいは δ_4 が 60 mm までは定格操作圧力の 75% でも操作でき、規格値を満足することが確認された。

3.9.2 温度上昇試験

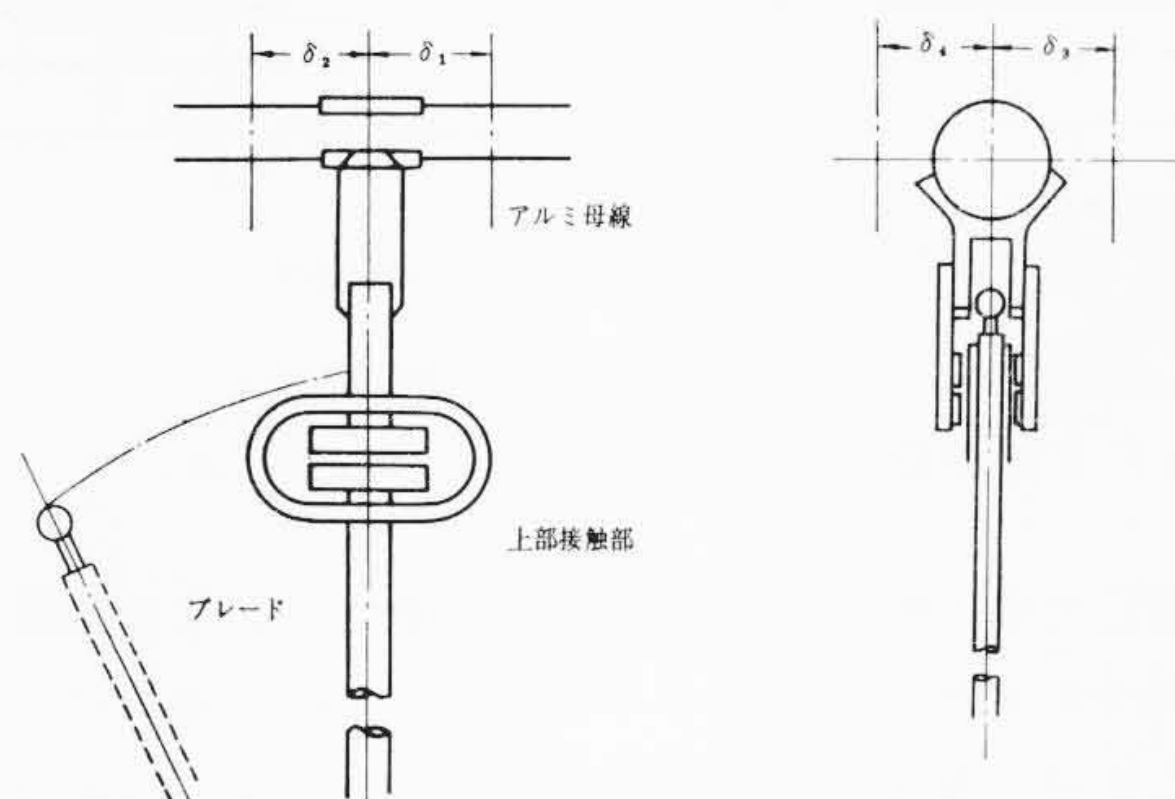
$\delta_1=60$ mm の位置に固定接触子を移動させ温度上昇試験を行なった結果を第 10 表に示す。この場合においても正常位置のときの温度上昇値と変わらないことが確認された。

3.9.3 ひずみ量と応力

各偏位時において、定格操作電圧、圧力で操作を行なった場合の各部分のひずみ量および応力の測定結果を第 11 表に、代表的なオシログラムを第 14 図に示す。各部分は偏位時に操作を行なっても十分な強度を有している。



第 12 図 充電電流遮断試験オシログラム



- δ_1 : 接触子が操作器より向かって後方に偏位した場合
- δ_2 : 接触子が操作器より向かって前方に偏位した場合
- δ_3 : 接触子が右側へ偏位した場合
- δ_4 : 接触子が左側へ偏位した場合

第 13 図 固定接触子の偏位

第 8 表 PGDL 形 161 kV 2,000 A 断路器の
コロナ試験結果

条 件		試 験 方 法	コロナ電圧 (kV)
閉 路 状 態		電圧を上から下げてコロナ消滅電圧	138
		電圧を下から上げてコロナ発生電圧	145
開路状態	パイプ母線側電圧印加	電圧を上から下げてコロナ消滅電圧	165
		電圧を下から上げてコロナ発生電圧	180
	ブレード側電圧印加	電圧を上から下げてコロナ消滅電圧	135
		電圧を下から上げてコロナ発生電圧	142

第 9 表 PGDL 形 161 kV 2,000 A 断路器の固定接触子偏位時
における電圧降下および最小動作圧力の変化

模 擬 偏 位 (mm)	電 圧 降 下 (mV)*			最 小 動 作 圧 力 (kg/cm ²)		目視確認 状 態
	A 相	B 相	C 相	閉 路	開 路	
正 常 状 態	7.15	7.20	7.15	6.0	5.5	異状なし
$\delta_3 : 60$	7.0	7.1	7.2	5.5	11.0	異状なし
	7.1	7.0	7.1	5.5	11.5	
	6.95	7.1	7.25			
	7.0	7.0	7.25			
	7.0	7.0	7.20			
$\delta_4 : 40$	7.1	7.1	7.15	5.5	7.5	異状なし
	7.1	7.0	7.2	5.5	7.5	
	7.0	7.0	7.1			
	7.1	7.1	7.15			
	7.0	7.0	7.1			
$(\delta_1 : 40)$ $(\delta_3 : 40)$ 25mm接触部下 げる	7.3	7.2	7.25	5.0	7.5	異状なし
	7.2	7.15	7.20	5.0	7.5	
	7.25	7.2	7.2			

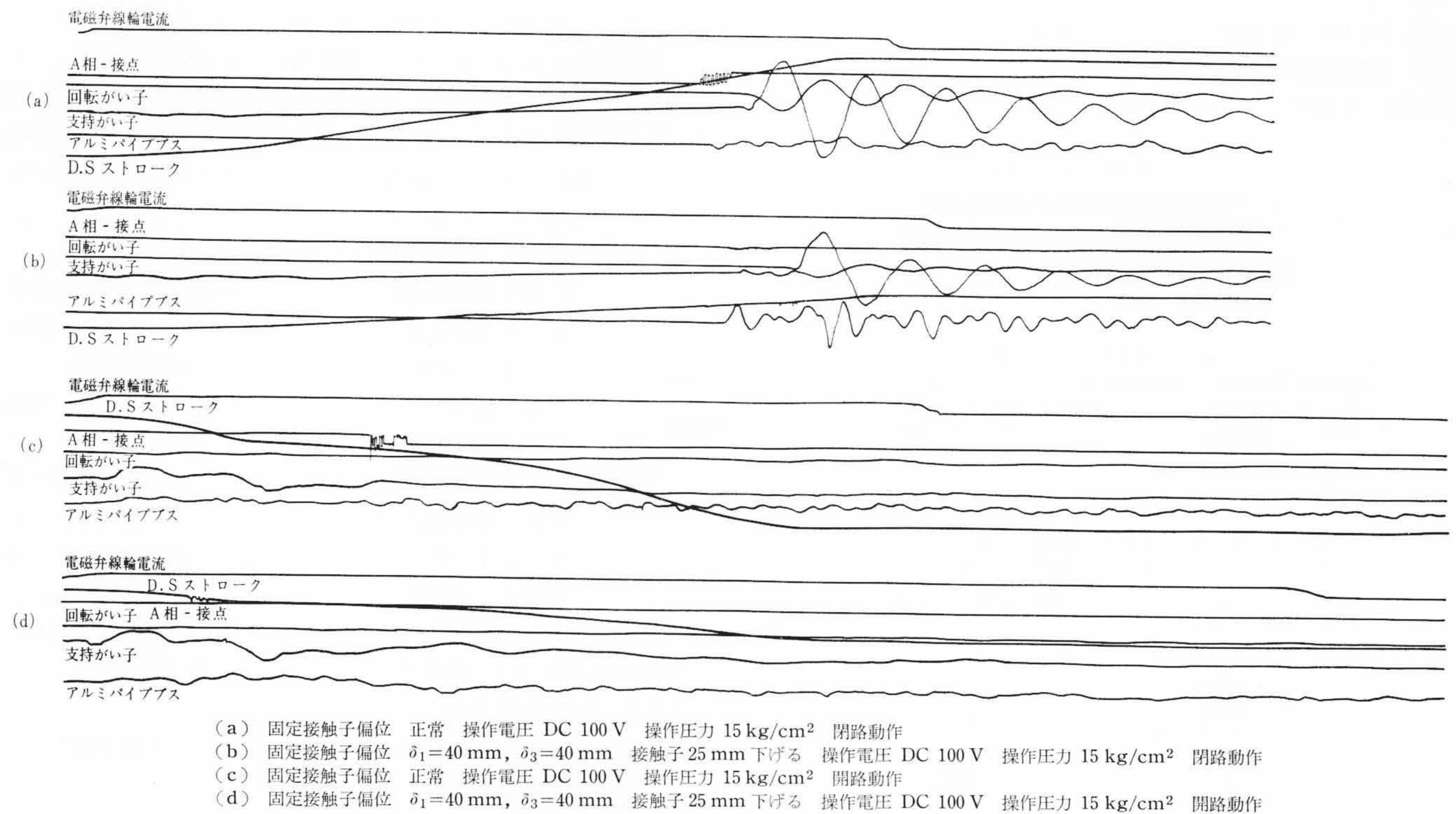
* 電圧降下は両端子間に DC 100A を流通しその電圧降下である。

第 10 表 PGDL 形 161 kV 2,000 A 断路器の
固定接触子偏位時における温度上昇値

No.	測 定 位 置 名	温 度 上 昇 値 (°C)	
		正 常 位 置	偏 位 $\delta_1=60$ mm
①	端 子	36.5	37
②	フィンガー (下部)	23.5	24.5
③	ブ レ ー ド	35.0	35.0
④	フィンガー (上部)	26.5	27.0
⑤	アルミパイプ母線	18.5	19.0

第 11 表 PGDL 形 161 kV 2,000 A 断路器の
固定接触子偏位時におけるひずみ量と応力

模擬偏位 (δ) mm		測 定 個 所		① 回転が い子		② 支持が い子		③ アルミ プス	
		ひ ず み 応 力		伸び	縮み	伸び	縮み	伸び	縮み
正 常	閉 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	26.3	40.0	157.0	101.7	16.7	2.5	
		応 力 (kg/cm ²)	14.5	22.0	86.3	55.9	9.16	1.38	
	開 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	0	7.5	26.7	41.6	9.16	4.16	
		応 力 (kg/cm ²)	0	4.13	14.7	22.9	6.41	2.92	
$\delta_3=60$	閉 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	15.0	11.25	118.33	43.33	46.66	18.33	
		応 力 (kg/cm ²)	8.25	6.18	65.08	23.83	32.66	12.83	
	開 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	0	16.25	33.33	40.0	9.16	25.0	
		応 力 (kg/cm ²)	0	8.93	18.33	22.0	6.41	17.5	
$\delta_4=40$	閉 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	11.25	7.5	106.66	13.32	39.16	16.67	
		応 力 (kg/cm ²)	6.18	4.13	58.66	7.32	27.41	11.67	
	開 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	0	15.0	33.33	40.0	15.0	13.33	
		応 力 (kg/cm ²)	0	8.25	18.33	22.0	10.5	9.33	
$\delta_1=40$ $\delta_3=40$ さらに上 部接触部 を25mm 下げる	閉 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	11.25	17.5	146.66	46.7	30.83	24.16	
		応 力 (kg/cm ²)	6.18	9.62	80.7	25.7	21.58	16.91	
	開 路	ひずみ量 ($\times 10^{-6}$)	0	15.0	26.66	46.66	7.50	17.50	
		応 力 (kg/cm ²)	0	8.25	14.66	25.66	5.25	12.25	



第 14 図 PGDL 形 161 kV 2,000 A 断路器の固定接触子偏位時における開閉動作によるひずみオシログラム

4. 結 言

近年変電所の合理化，建設費の低減を図る一手段として，敷地，鉄構，基礎工事費など大幅に節減できるアルミパイプ母線を使用する気運になって来た。このパイプ母線と組み合わせて合理化に寄与する断路器として，69～161 kV，800～2,000 A 用 PGDL 形直立投入断路器を開発し，九州電力株式会社，中部電力株式会社，東北電力株式会社に納入した。

構造は簡潔で，接触は信頼度の高いねん回式である。

母線に応じて平行配列，斜め配列が可能で，いずれの場合も 3 相一括操作式であるなど，同類のパンタグラフ形，セミパンタグラフ形断路器に比べて幾多の特長を持っており，アルミパイプ母線とともに PGDL 形への期待は大きい。

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する次第である。

参 考 文 献

- (1) 中島：電気公論 38, 29 (昭 37-2)
- (2) 羽藤：日立評論 45, 1066 (昭 38-7)

Vol. 24

日 立 造 船 技 報

No. 4

- ・ばら積貨物船の二重底構造の設計法
- ・波形炉筒および鏡板接合部の強さ(第1報)
—波形炉筒に軸力が作用した場合—
- ・低温用アルミキルド鋼の ESSO 試験
- ・日立造船型ファイバー分級用エアセパレータの試作
- ・形鋼専用自動マーキング装置の試作

- ・鋳型内の湯流れの研究
—湯口比と湯口系設計の考察—
- ・無線測定法の実験計測への応用
- ・亜鉛メッキ加工における欠陥の検討
- ・チタン溶接部の汚染色に関する研究
- ・特殊塗料の性能試験

………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