U.D.C. 621. 316. 57. 064. 46. 027. 83

240/300kV, 40kA, 2,000, 3,000, 4,000A 日立パッファ形2サイクルガスしゃ断器

240/300kV 40kA 2,000 3,000 4,000A Puffer Type 2 Cycle SF_6 Gas Circuit Breakers

At the time when growing power systems demand higher reliability of system equipment, ultra high voltage high capacity puffer type 40 kA SF_6 gas circuit breakers of the 2-cycle series have recently been perfected at Hitachi for the first time in this country, and delivered to the Sendai Thermal Power Station, Kyushu Electric Power Co. Compared with conventional air blast circuit breakers or double pressure type SF_6 gas circuit breakers the puffer type breakers are simpler in operating principle and construction, but the arcing time is long making 2-cycle breaking difficult. In Hitachi's improved puffer type breakers such drawback has been eliminated by the adoptions of a high speed control valve and synchronized axial blast method.

椿　徹* Tôru Tsubaki
中野清蔵* Seizô Nakano
山崎精二** Seiji Yamazaki
平沢邦夫*** Kunio Hirasawa
佐藤　稔*** Minoru Satô

1 緒　言

近年，電力系統の増大に対処するため，高度の信頼性を有する超高圧，超々高圧大容量しゃ断器の開発が要求されている。従来の空気しゃ断器は主として騒音の点で市街地変電所への設置に難点があり，また高圧SF_6ガスを利用した二重圧力形ガスしゃ断器は，ガスコンプレッサをはじめガス圧力制御装置，液化防止装置などの付属品を多数必要とするため，付属品など部品の信頼性の向上が必要であった。

一方，パッファ形ガスしゃ断器は前者に比較し，動作原理，構造とも簡単で部品点数が少なく，またガス圧力が低いため液化の問題もなく多くの利点を有しているが，従来のパッファ形ガスしゃ断器は，(1)アーク時間が長い。(2)2サイクルしゃ断が困難である。(3)しゃ断容量が小さいなどの問題点を有しており，超高圧しゃ断器としての適用には限界があった。

これに対処するため，ガスしゃ断器の技術開発を進めてきたが，今回新しい消弧方式として軸方向同期吹付方式の開発を行ない，しゃ断性能の向上およびアーク時間の短縮を図ると同時に，高速度操作器の開発による大容量パッファ形2サイクルしゃ断器のシリーズが完成した。

本器の動作時間は，開離指令から可動接触子のストローク開始時間まで0.5サイクル（8.3ms）また，開極時間は0.9サイクル（15ms）以下に短縮されており，従来の同定格の空気しゃ断器あるいは二重圧力形ガスしゃ断器の開極時間1.4サイクル（23ms）より大幅に短縮されている。また，引はずし制御電流値も三相5A以下（波高値三相21A以下）に低減されている。

本器はすでに九州電力株式会社川内火力発電所に納入されたが，現在引き続き多数製作中である。

2 しゃ断器の定格

表1は，従来の日立パッファ形ガスしゃ断器25kA，30kAシリーズに加え，今回開発した2サイクル40kAシリーズを含む日立パッファ形ガスしゃ断器の定格表を示すものである。

図1は，240/300kV，40kA 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の外観を，**図2**は，204～300kV，40kA 2サイクルガスしゃ断器の外形寸法を示すものである。

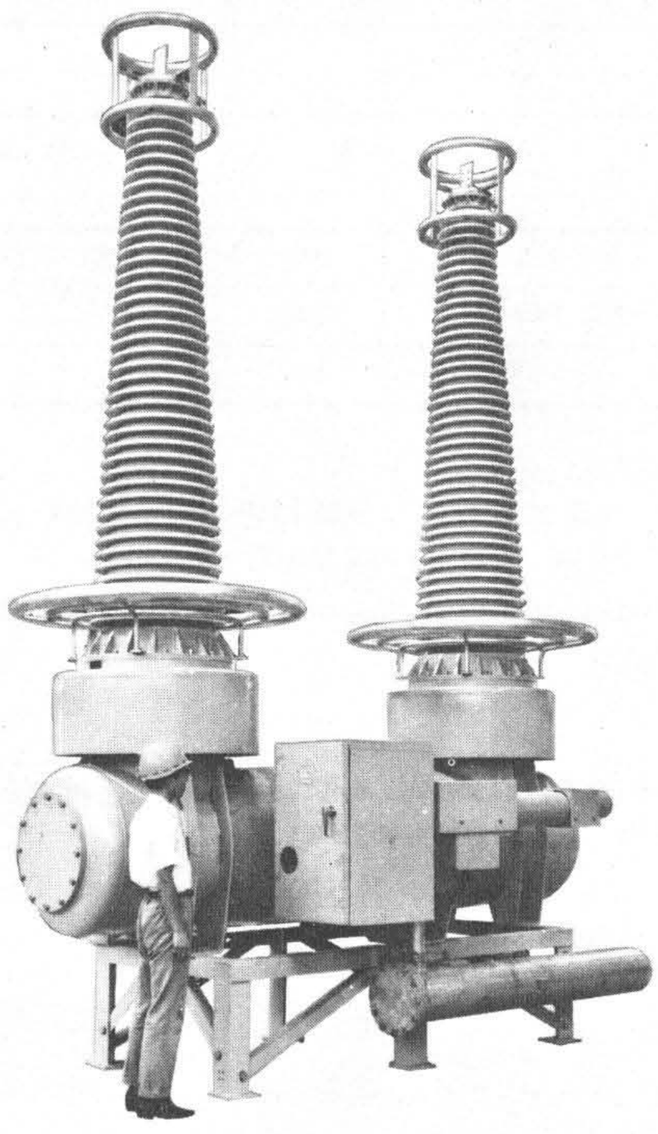


図1　240/300kV 40kA，4,000A 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器　超高圧大容量パッファ形2サイクルガスしゃ断器の外観を示す。

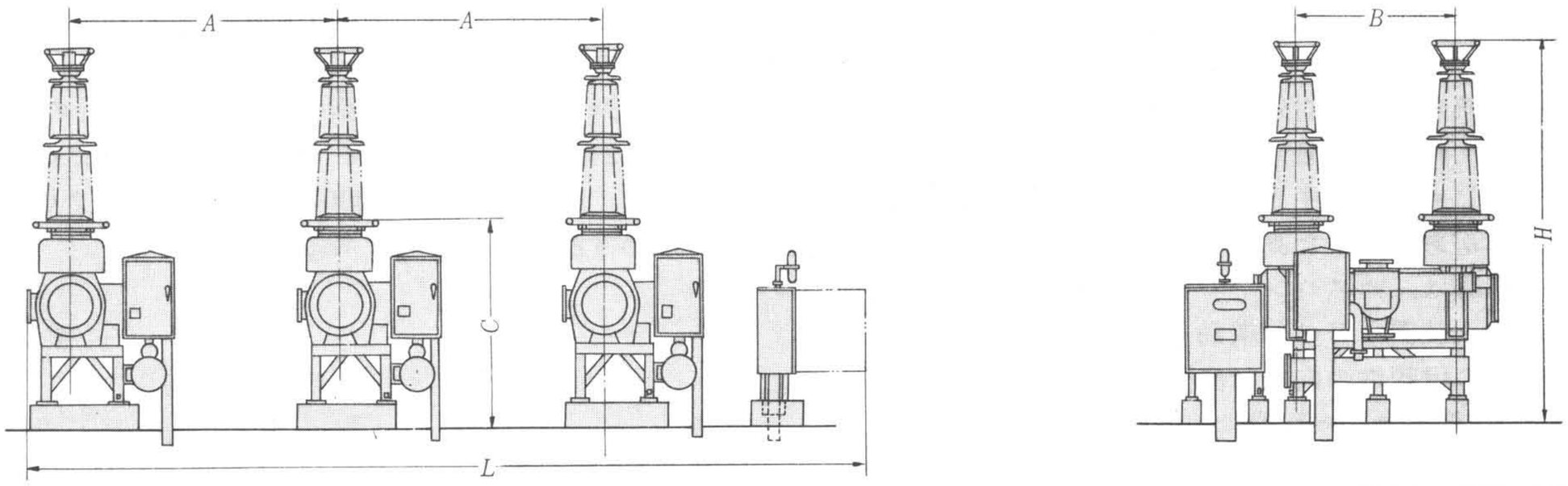
Fig. 1 240/300kV 40kA 4,000A Puffer Type 2 Cycle Gas Circuit Breaker

* 日立製作所国分工場　** 日立製作所国分工場 工学博士　*** 日立製作所日立研究所

表1　日立パッファ形ガスしゃ断器定格表　日立パッファ形ガスしゃ断器25kAシリーズ，30kAシリーズおよび40kAシリーズの定格表を示す。

Table 1　Ratings of Hitachi Puffer Type SF_6 Gas Circuit Breakers

形式 / 摘要	1	2	3	4	5	6	7	8
	OFPT-$^{60}_{70}$-25L PA(R)	OFPT-100-25L PA(R)	OFPT-100-40L PA(R)	OFPT-$^{140}_{170}$-25L PA(R)	OFPT-$^{140}_{170}$-31L PA(R)	OFPT-$^{140}_{170}$-40L PA(R)	OFPT-200-40L PA(R)	OFPT-250-40L PA(R)
定格電圧(kV)	72/84	120	120	168/204	168/204	168/204	240	300
定格電流(A)	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	2,000 3,000 4,000	2,000 3,000 4,000	2,000 3,000 4,000
参考しゃ断容量(MVA)	3,100/3,600	5,200	8,300	7,300/8,400	9,200/11,100	12,000/14,100	17,000	21,000
定格しゃ断電流(kA)	25	25	40	25	31.5	40	40	40
定格投入電流(kA)	63	63	100	63	80	100	100	100
定格短時間電流(kA)	25	25	40	25	31.0	40	40	40
定格しゃ断時間(サイクル)	3/5	3/5	3	3	3	2/3	2/3	2/3
絶縁階級(号)	60/70	100	100	140	140	140	170	200
SF_6 ガス圧力(kg/cm²20°C)	5	5	5	5	5	5	5	5
操作空気圧力(kg/cm²)	15	15	15	15	15	15	15	15
しゃ断点数	1	1	2	1	1	2	2	2



形式	電圧 (kV)	定格電流 (A)	しゃ断電流 (kA)	寸法 (mm) A	B	C	H	L	*重量(kg)
OFPT-170-40L PA(R)	204	2,000/3,000/4,000	40	3,000	2,000	2,300	4,250	10,000	9,100
OFPT-200-40L PAR	240	〃	〃	4,000	2,500	2,800	5,500	12,000	14,500
OFPT-250-40L PAR	300	〃	〃	5,000	2,700	2,800	6,000	14,000	15,800

注：*CT重量を含む。

図2　大容量パッファ形ガスしゃ断器外形寸法(204～300kV 40kA)　40kAシリーズパッファ形ガスしゃ断器の外形寸法，極間寸法および相間寸法を示す。

Fig. 2　Dimensions of Large Capacity Puffer Type SF_6 Gas Circuit Breakers

表2　大容量パッファ形ガスしゃ断器の開発　超高圧大容量パッファ形2サイクルガスしゃ断器の開発の経緯を示す。

Table 2　Development of Large Capacity Puffer Type SF_6 Gas Circuit Breakers

パッファ形ガスしゃ断器問題点	技術開発	超高圧大容量化
(1) しゃ断電流が小 (2) アーク時間　大 (3) 2サイクルしゃ断が困難 (4) パッファシリンダ一駆動力が大	(a) 消弧室 軸方向同期吹付方式の開発 (b) 操作器 高速度操作器の開発	(I) 超高圧大容量ガスしゃ断器の製品化 (II) 2サイクルしゃ断方式の確立

3　超高圧大容量2サイクルしゃ断器開発上の問題点

超高圧大容量しゃ断器としてパッファ形ガスしゃ断器を適用する場合，構造および動作原理が簡単で，部品点数も少なくまたガス液化の問題がないなどの長所がある反面，(1)アーク時間が長い。(2)しゃ断可能電流が小さい。(3)2サイクルしゃ断が困難であるなどの技術上の問題点がある。**表2**は，この間の経緯を示すもので，軸方向同期吹付方式消弧室の開発ならびに高速度操作器の開発の両者により製品化が可能となったものである。以下，これらの技術開発の概要について報告する。

3.1　軸方向同期吹付方式消弧室の開発

図3は，今回開発した軸方向同期吹付方式の消弧原理を示

お詫びと訂正

日立評論本号に下記の如く誤りがありましたので，謹んで訂正いたします。

執筆者各位にご迷惑をおかけいたしましたことを，心からお詫びいたします。

記

訂正個所	誤	正
P.62	図1の図面（説明文は誤りはありません）	図1の図面は，P.65の図3の図面が入ります。
P.65	図3の図面（説明文は誤りはありません）	図3の図面は，P.62の図1の図面が入ります。

したものである。パッファ形ガスしゃ断器は，パッファシリンダにより圧縮された高圧SF_6ガスをいかに有効にアークに吹き付けるかによって消弧能力が決まるといっても過言ではない。パッファ方式では，アークは従来のしゃ断器と異なり，自力消弧方式に近いため，単に接触子が開離しただけではしゃ断できるものではなく，パッファシリンダ内のガスが圧縮され，高圧ガス吹付けが行なわれて初めて消弧されるものである。このため従来方式のように，パッファシリンダ内のガスを接触子開離瞬間から吹付けを開始し，外部に放出するのはむだであり，消弧可能なパッファシリンダ内のガス圧力および接触子開離位置に達して，初めてガス吹付けを行なう方法が有効である。本方式では**図3**に示すように，ストローク開始後，接触子がしゃ断可能位置に達するまでは，ほとんど吹付けを行なわずにシリンダ内のガスを圧縮し続ける構造にして，パッファシリンダ内がしゃ断可能な吹付け圧力および接触子がしゃ断可能位置に達して，初めて軸方向の両側から吹付けを始めるような構造をとっている。この結果，消弧能力が大幅に改善されることのほかに，アーク時間が短縮されるという好結果を得ている。なお本方式の適用に際して，しゃ断器の定格電圧・電流とも大幅に増加したにもかかわらず，パッファシリンダ，そのストロークおよび操作器諸元は，72 kV 25kA シリーズのガスしゃ断器と同一部品の組合せで構成できる特徴を有している。

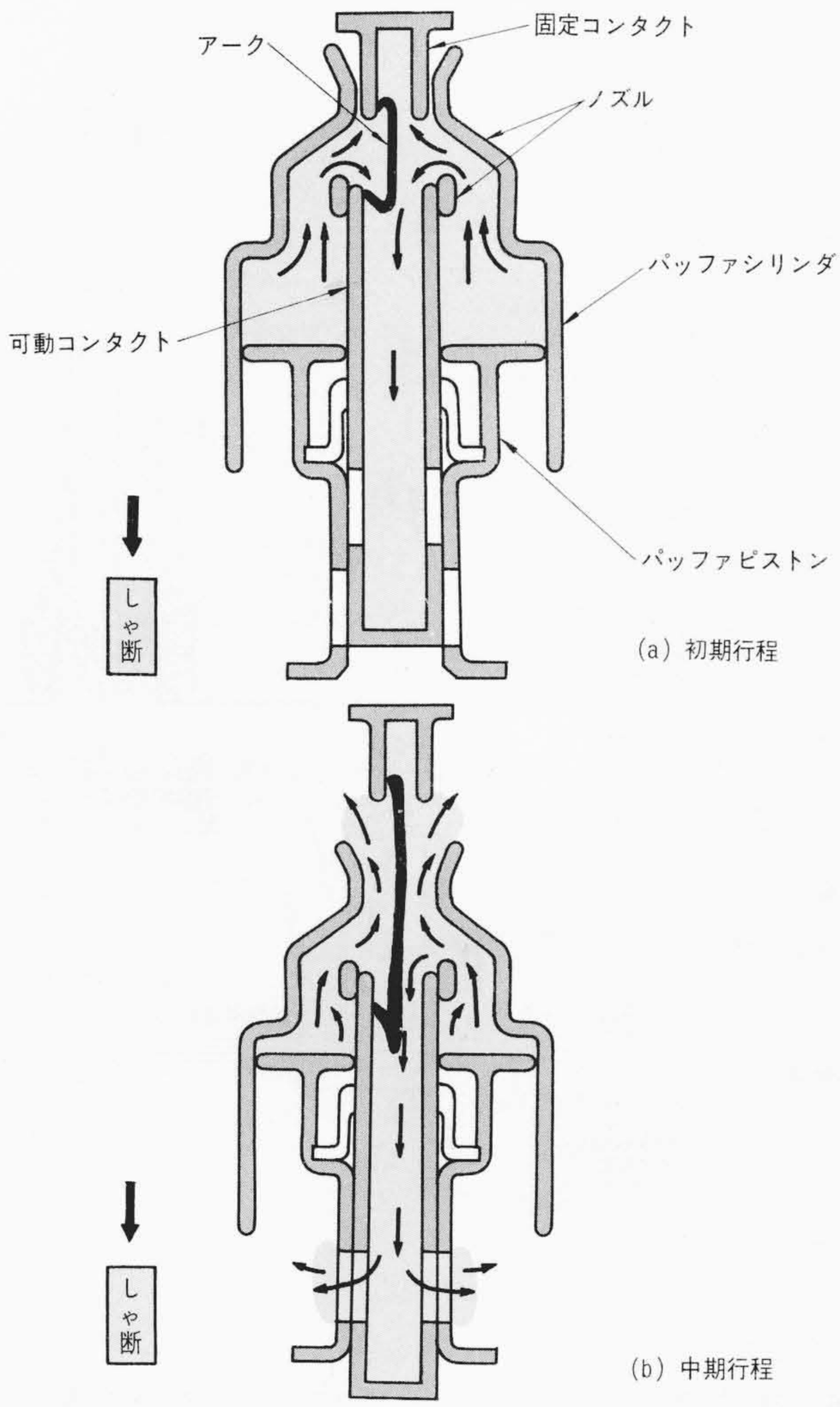


図3　消弧原理(軸方向同期吹付方式)　大容量パッファ形2サイクルガスしゃ断器の消弧原理を示す。

Fig. 3 Principle of Arc Interruption (Synchronized Axial Blast method)

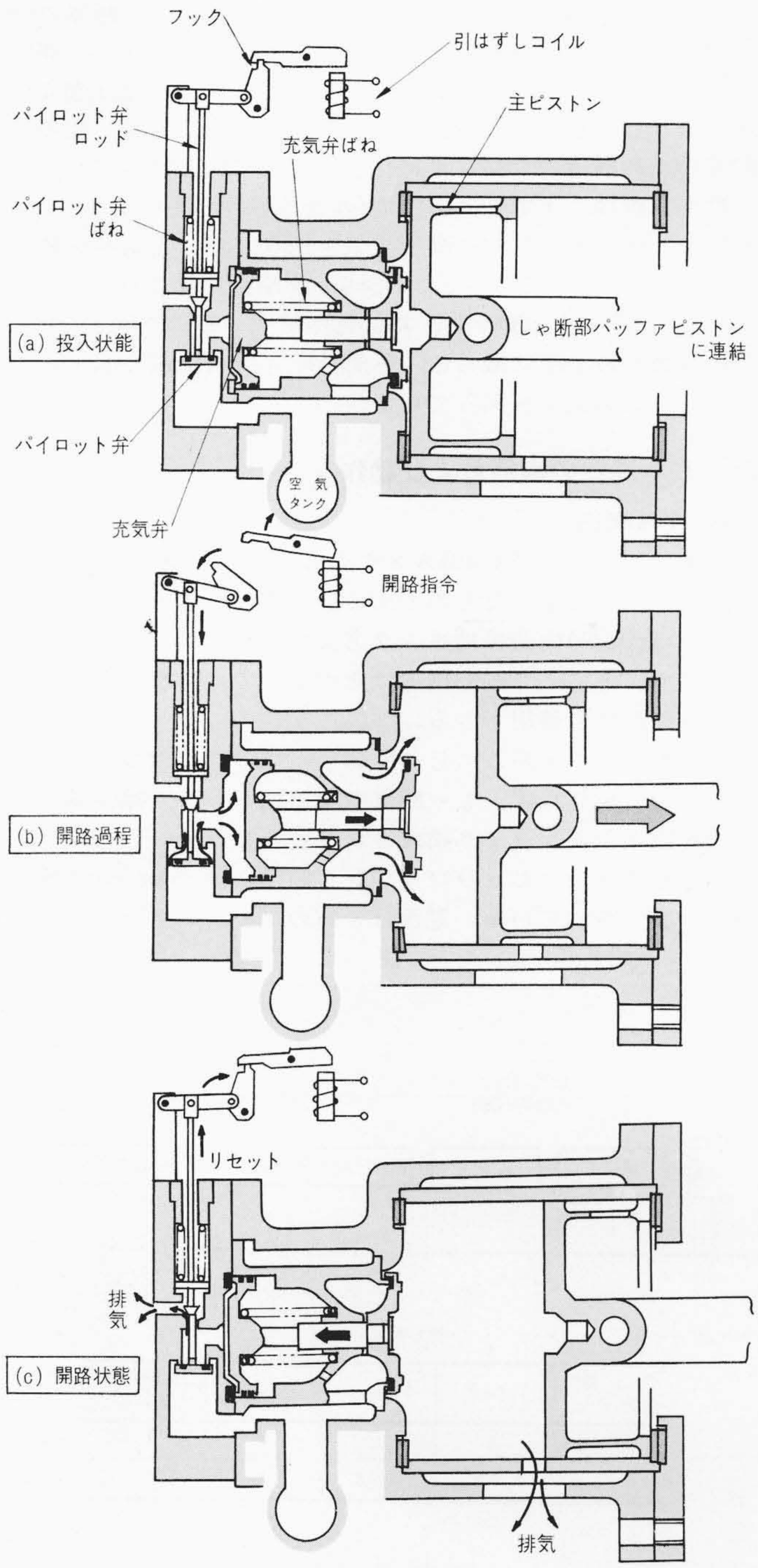


図4　2サイクル操作弁動作説明図　2サイクルガスしゃ断器用操作弁の動作原理を示す。

Fig. 4 Mechanism of Main Piston of 2 Cycle SF_6 Gas Circuit Breakers

3.2　高速度操作器の開発

パッファ形ガスしゃ断器は，従来の二重圧力式ガスしゃ断器あるいは空気しゃ断器に比較して，パッファシリンダ内のガスを圧縮しながら消弧するため，パッファシリンダに対する大きな駆動力を必要とする欠点がある。また最大アーク時間が長くなる欠点を有しているため，従来からパッファ形ガスしゃ断器の2サイクル化は困難とされていた。

今回，軸方向同期吹付方式の採用による最大アーク時間を短縮する一方，高速度操作器の開発により，従来の3サイクルパッファ形ガスしゃ断器の開極時間を半減することに成功した。**図4**は，高速度操作器の原理図を，**図5**は，3サイク

ルガスしゃ断器と今回開発した2サイクルガスしゃ断器の動作時間の比較を示すものであるが，60サイクルベースで開極時間0.9サイクル（15ms）以下となっている。本器は**図4**に示すように，単に動作時間の短縮のみを目的とせず，信頼性向上のため構造の大幅な単純化および簡略化も図っている。

動作原理は，まず引はずしコイルを励磁するとパイロット弁が動作し充気弁の左側に高圧空気を送り，単に充気弁を動作させることによって，パッファシリンダ駆動用操作ロッドに連結したピストンを駆動する。特に動作時間の短縮を図るため，制御弁数を最小限に減らし，各部の死容積（Dead Space）の徹底した低減縮小を図っている。

4　しゃ断器の構造および動作

4.1　全体構造

図6は，240/300kV 40kA 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の全体構造を示したものである。本器の構造は，ブッシングCT（変流器）内蔵接地タンク方式であり，ブッシングを取りはずすことにより内部構造はそのままでコンパクト変電所用しゃ断器にも適用できる。

屋外形パッファ形ガスしゃ断器の一相分は，ガスブッシング，ブッシングCT，しゃ断部内蔵接地タンク，操作器および操作用空気タンクより構成されている。

しゃ断部タンクおよびブッシング内部には，5 kg/cm²のSF_6ガスが密封されている。電流は一方のブッシング端子より入り，ブッシング中心導体，接触子およびパッファシリンダ集電子を経て対向するブッシングへと流れる。

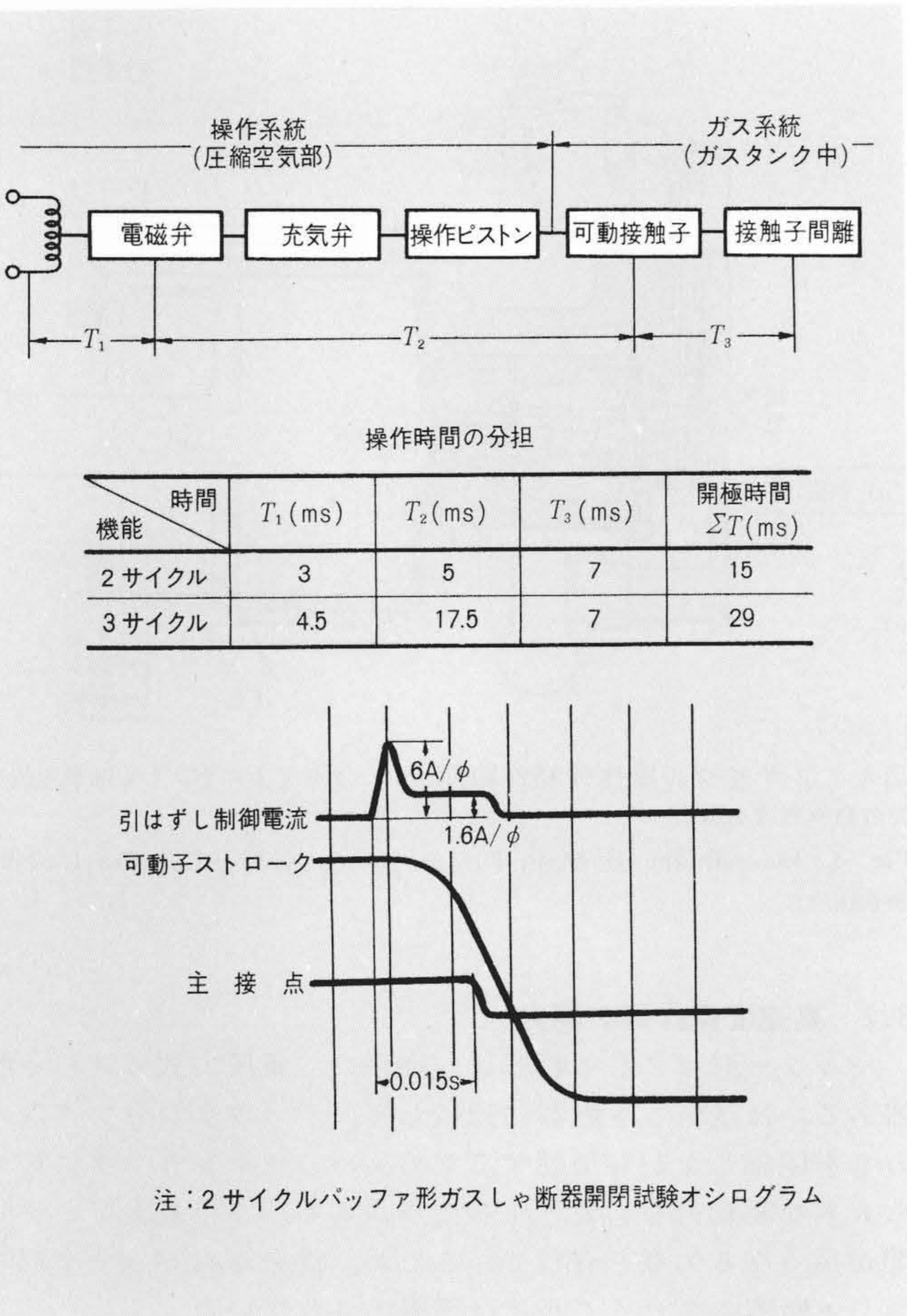
4.2　2サイクルしゃ断器の操作方式

図7～9は2サイクルしゃ断器の操作器の動作を示したものである。

引はずしコイルを励磁すると，充気弁A室に圧縮空気が充気され，充気弁は**図8**の位置に移動する。空気タンクの圧縮空気は，操作シリンダB室に充気され主ピストンは急速に駆動される。主ピストンに連結されている操作ロッドは，矢印開路方向に引張り力を受け，しゃ断部内の絶縁操作ロッドを介してパッファシリンダが高速で駆動されるため，パッファシリンダ内のSF_6ガスが圧縮され接触子間に発生したアークは，SF_6ガスの吹付けにより消弧される。

この開路動作過程は**図8**に示すとおりで，開路動作と同時にリセットレバーが回転し，動作完了後パイロット弁は，**図9**の位置に復帰する。この結果，A室の圧縮空気は大気中へ放出され，充気弁は元の位置に復帰し，同時にB室の圧縮空気も大気中へ排出され，主ピストンの先端に設けられたリンク機構により開路状態が保持される。

投入動作は次の順序で行なわれる。まず**図9**の投入コイルを励磁すると，アーマチュアが吸引され，同図に示した矢印方向に回転しフックがはずれ，掛金が矢印の投入方向に駆動される。投入動作完了後リンク機構は，**図7**の状態に保持され次のしゃ断動作に備える。



機能＼時間	T_1(ms)	T_2(ms)	T_3(ms)	開極時間 ΣT(ms)
2サイクル	3	5	7	15
3サイクル	4.5	17.5	7	29

注：2サイクルパッファ形ガスしゃ断器開閉試験オシログラム

図5　2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の動作時間分担　2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の各部の動作時間の分析結果を示す。

Fig. 5 Operation Time Characteristics of Puffer Type 2 Cycle SF_6 Gas Circuit Breakers

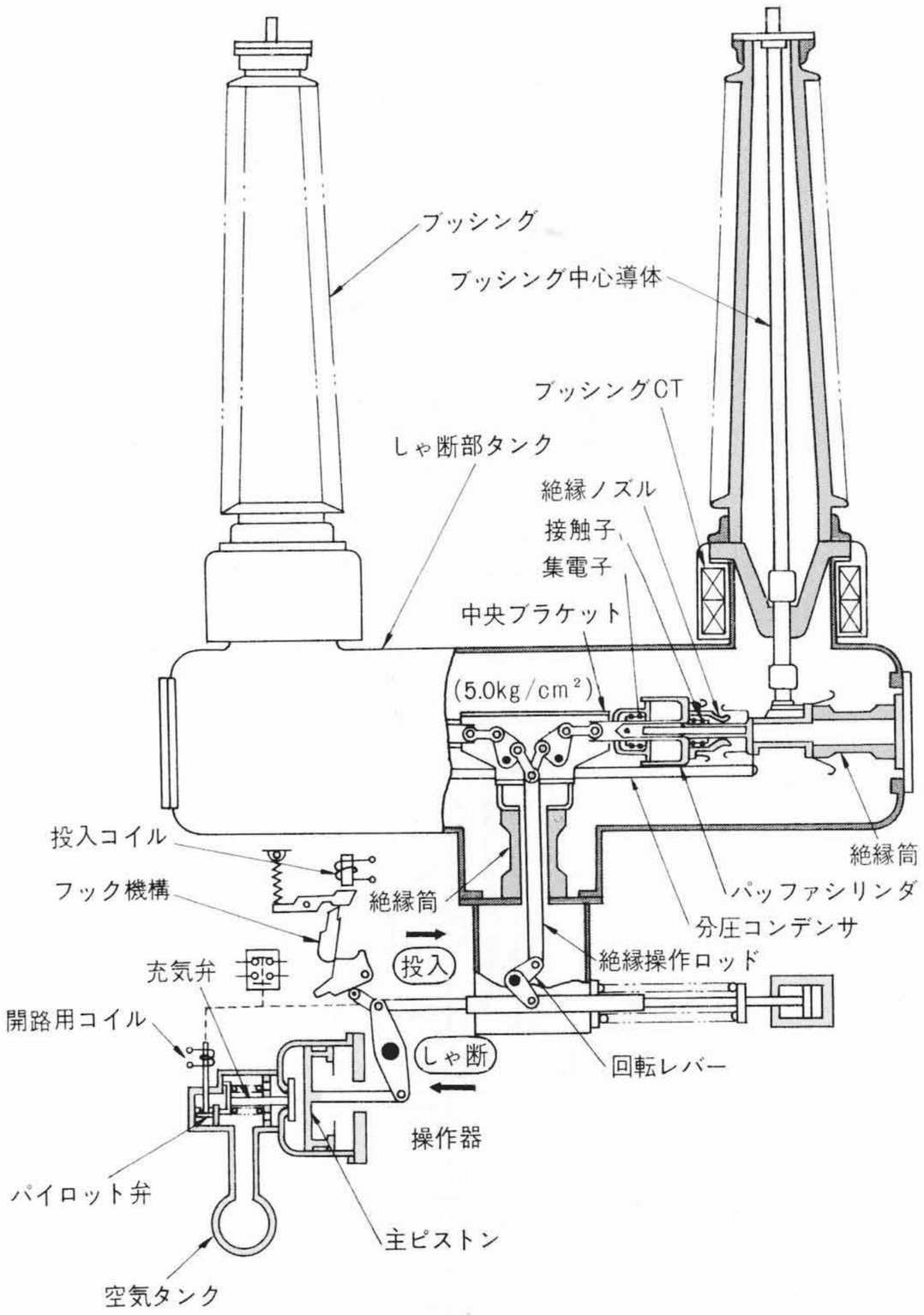


図6　240/300kV 40kA 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器　240/300kV 40kA 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の全体構造図を示す。

Fig. 6 240/300kV 40kA 2 Cycle Puffer Type SF_6 Gas Circuit Breakers

4.3　しゃ断部構造および動作

コンタクト部分は，主接触子，アーク接触子，固定接触子および可動接触子から成り，しゃ断動作の場合，まず主接触子が離れ，しばらくしてワイプ構造の接触子が離れる。可動部分の主接触子，アーク接触子，可動接触子および絶縁ノズルは，パッファシリンダに取り付けられ，パッファシリンダは中央のブラケット内のリンク機構に連結し，絶縁操作ロッドを介して回転レバーに接続され，操作機構により駆動される。

しゃ断指令によりパッファシリンダが**図3**の矢印方向に動かされると，シリンダ内のガスが圧縮され，圧縮されたガスはノズルを通して左方に，また一方は可動コンタクトおよびパッファシリンダの中空軸の内部を通って右方に吹き付けされる。このとき可動接触子と固定接触子の間に発生したアークは，2方向のガス吹付けを受け消弧される。

5　試験結果

新たに制定されたしゃ断器規格（JEC-181），電力規格（B-112）に規定されている項目につき参考試験を含めて各種の試験を実施し，いずれも良好な結果を得た。おもな試験結果として，開閉特性試験およびしゃ断試験結果につき以下に述べる。

5.1　開閉特性試験

JEC-181に規定されている諸試験を行なった。試験結果は**表3**に示すとおりである。開極時間は15msである。また10,000回連続開閉試験を実施したが，特性変化，部品の摩耗およびガス漏れなどなく，結果は良好であった。

5.2　しゃ断試験

試験にあたっては，JEC-181に基づき実負荷試験とワイル等価試験を併用して性能の検証を行なった。

特殊試験としては，近距離線路故障（以下，SLFと略す）しゃ断試験，脱調しゃ断試験を実施し，いずれも良好な結果を得た。

5.2.1　進み小電流しゃ断試験

進み小電流しゃ断試験では，短絡電流しゃ断後の接触子損傷状態においても300kV級の規格値における試験で無再点発弧で良好であった。

5.2.2　短絡しゃ断試験

通常短絡，脱調およびSLFしゃ断時のしゃ断試験結果は**表4**に示すとおりである。再起電圧波形については，JEC-181の規定を満足することを確認した。代表的なオシログラムは**図10**に示すとおりで，いずれの試験においてもしゃ断時間は2サイクル以下であった。

表3　開閉特性試験結果　2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の投入操作，引はずし操作および引はずし自由操作各試験結果を示す。

Table 3　Results of Operation Characteristics Test

試験	空気操作圧力 (kg/cm²)	制御電圧 (V)	投入時間 投入時間 (s)	投入時間 接触差 (s)	開極時間 開極時間 (s)	開極時間 開離差 (s)
投入操作	—	100	0.121	0.001	—	—
引はずし操作	13.5	60	—	—	0.018	0.001
	15	100	—	—	0.015	〃
	16.5	125	—	—	〃	〃
	〃	60	—	—	0.018	〃
引はずし自由操作	13.5	75	0.134	0.001	0.0185	〃
	15	100	0.120	—	0.015	〃
	16.5	125	0.114	—	〃	〃
	〃	75	0.134	—	0.017	〃

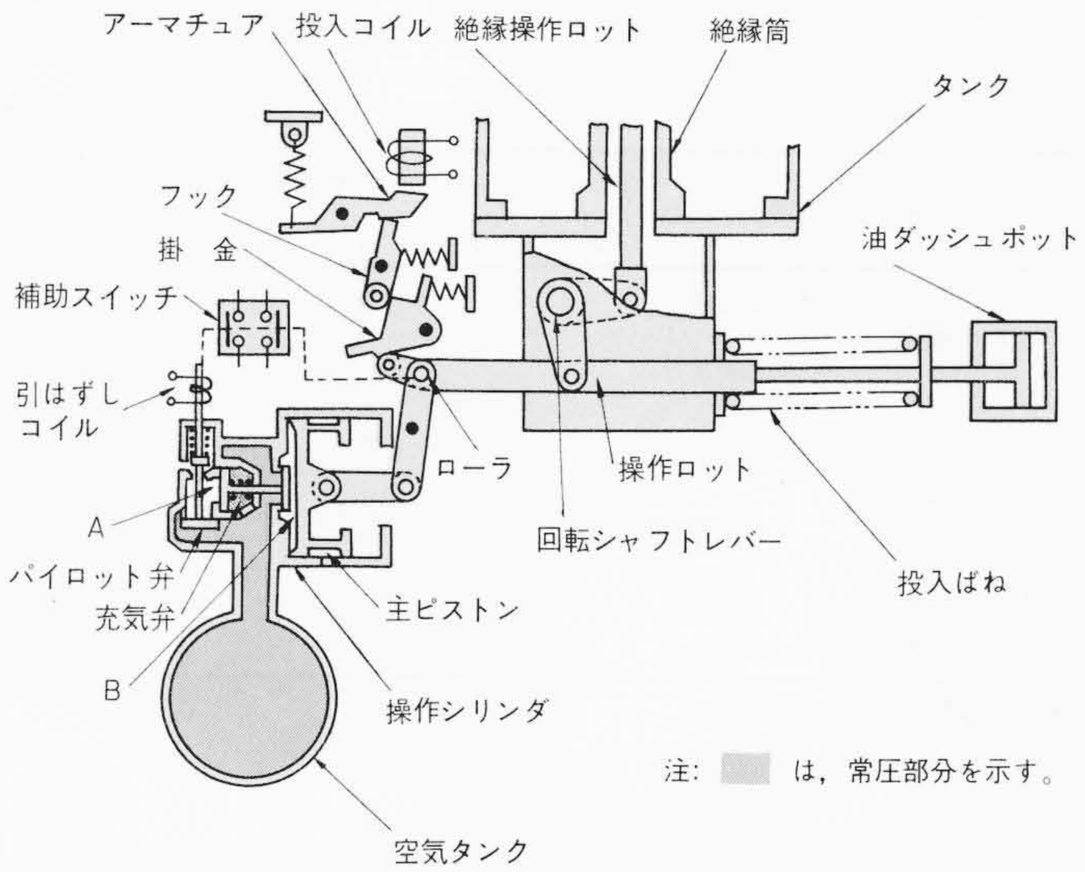


図7　操作部動作図（投入状態）　2サイクルしゃ断器操作部の動作原理（投入状態）を示す。

Fig. 7　Control Mechanism (Closed)

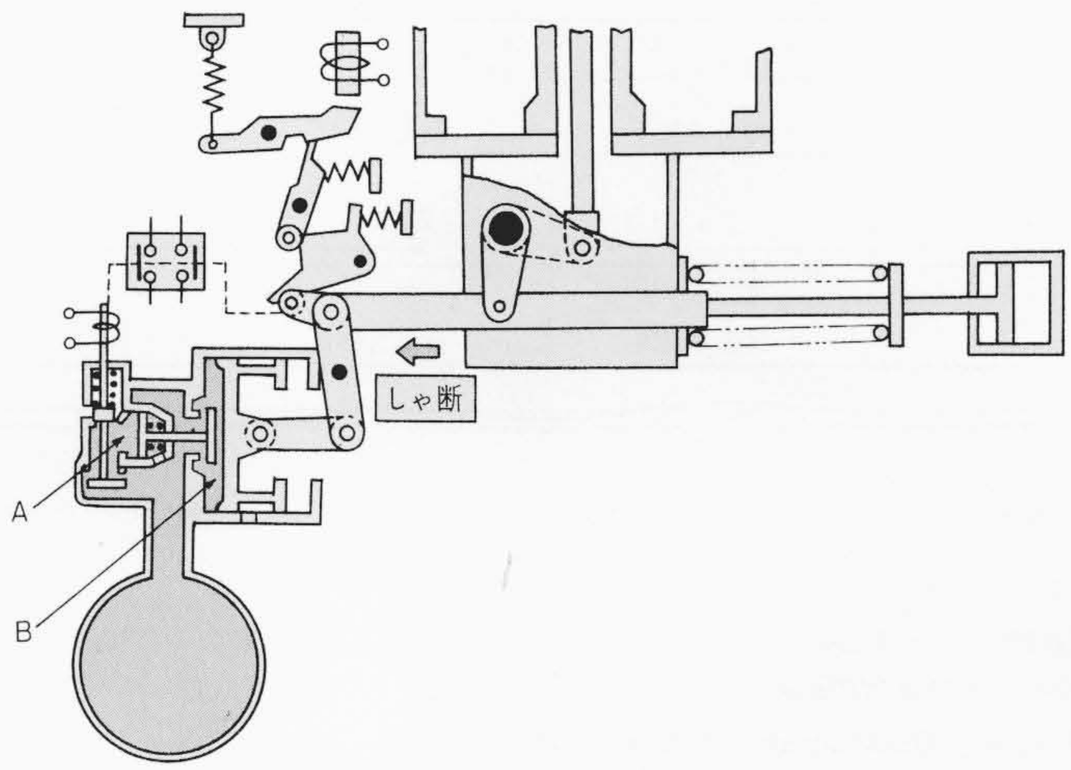


図8　操作部動作図（開路中）　2サイクルしゃ断器操作部の動作中（開路）の状態を示す。

Fig. 8　Control Mechanism (Intermediate Stage)

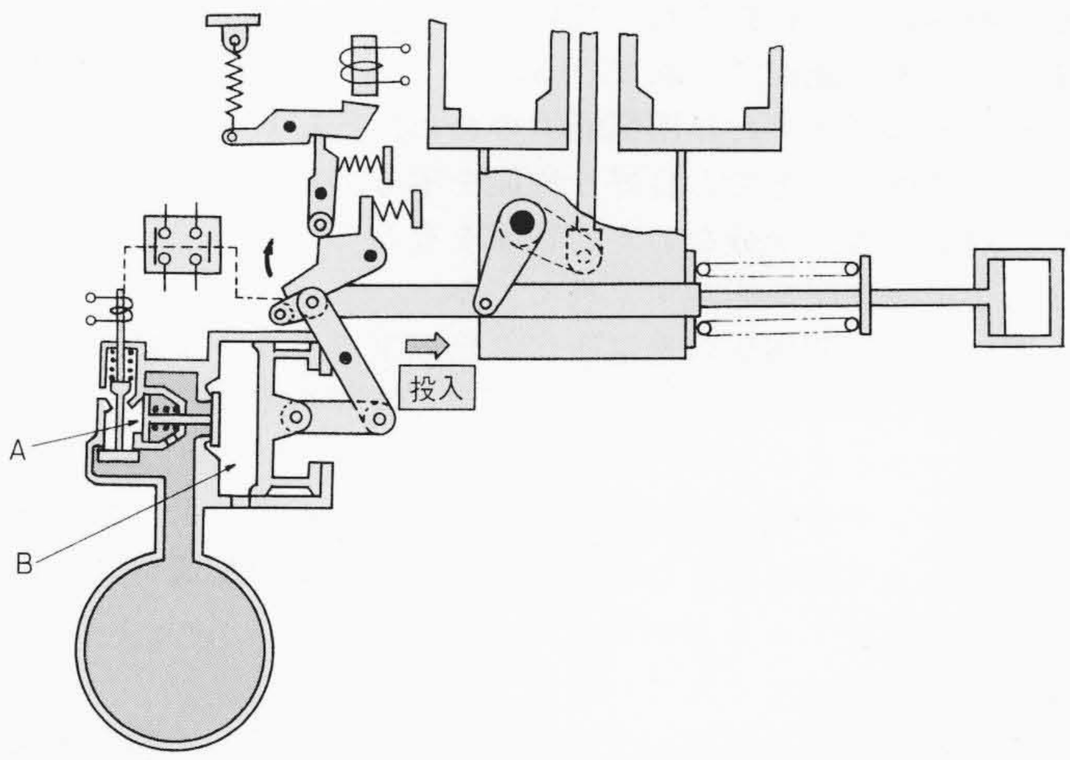


図9　操作部動作図（開路状態）　2サイクルしゃ断器操作部の開路完了状態を示す。

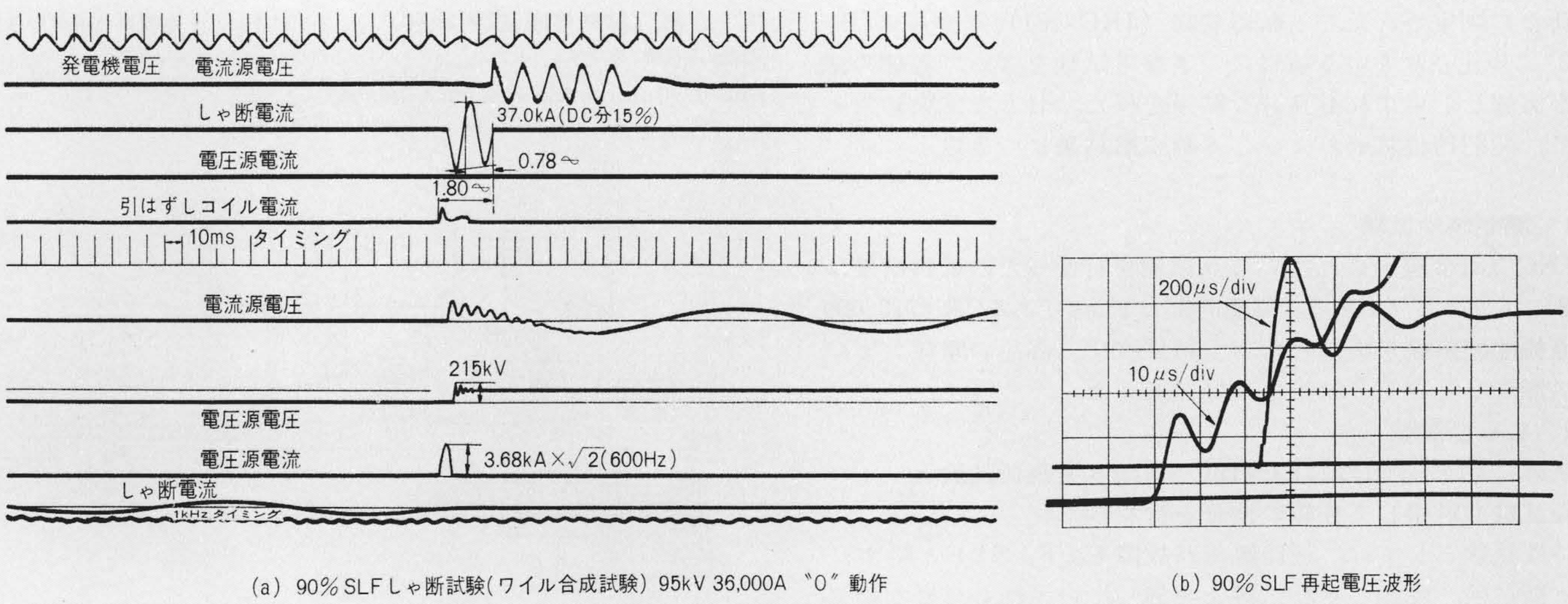
Fig. 9　Control Mechanism (Opened)

表4　300kV 2サイクルしゃ断試験結果　　2サイクルパッファ形ガスしゃ断器のしゃ断試験結果を示す。

Table 4　Results of Interruption Test

試験種類		SF_6ガス圧 (kg/cm²g)	試験方法	動作責務	試験電圧 (kV)	しゃ断電流 対称分 (kA)	しゃ断電流 直流分 (%)	アーク時間 (∽)	再起電圧 上昇率 (kV/μs)	再起電圧 第1波波高値 (kV)	再起電圧 周波数 (kHz)	試験回数
進み小電流	短絡試験前	4	実負荷	"O"	105	184A	—	0.06～0.48	—	—	—	12
	短絡試験後	〃	〃	〃	〃	〃	—	〃	—	—	—	〃
遅れ小電流		6	〃	〃	96	20A	3～58	0.12～0.49	—	—	—	〃
短絡電流しゃ断		4	ワイル	〃	124	40		0.5～0.9	0.85	300	—	3
脱調		〃	〃	〃	191	10	—	0.70	1.8	360	—	2
近距離線路故障しゃ断		〃	〃	〃	95	37.0～37.2	—	0.6～1.1	4.6	28	—	8

注：½相試験結果を示す。



(a) 90% SLFしゃ断試験(ワイル合成試験) 95kV 36,000A "O" 動作　　(b) 90% SLF再起電圧波形

図10　しゃ断試験オシログラム　　短絡電流しゃ断試験および90%SLFしゃ断試験時の代表的なオシログラムおよび再起電圧波形の一例を示す。

Fig. 10　Oscillogram of Interruption Test

6　しゃ断器の特長

以上，述べた204～300kV 40kA 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器は次の特長を有している。

(1)　しゃ断性能がすぐれている。

SF_6ガスのすぐれた消弧能力のため，SLFのような過酷な再起条件のもとでも良好な性能を示し，また脱調などの事故に対しても，十分なしゃ断性能を有している。

(2)　小電流開閉性能がすぐれている。

遅れ小電流開閉時の過電圧は2倍以下であり，また進み小電流に対しても無再点弧でしゃ断が可能である。

(3)　ブッシングCTが内蔵できる。

ブッシングCTを内蔵することができるため，据付スペースが小さくて済み，また両側ブッシングCTの配置により盲点故障を防止することができる。

(4)　耐震性能がすぐれている。

接地タンク形を採用しているため，がい管でしゃ断部を支持する必要がなく，0.5g 4波共振に対しても耐えることができ，耐震性にすぐれている。

(5)　極間汚損による性能低下がない。

汚損によりしゃ断部の電圧分担が変化しないため，しゃ断性能低下の危険性がない。

(6)　保守点検の省略化ができる。

接触子の損傷が少ないことおよび構造が簡単なため，保守点検が簡単で，かつ点検周期が長く保守点検の省略化を推進できる。

(7)　接地タンク，消弧室およびブッシングは，3サイクルしゃ断器と全く同一である。

(8)　空気操作部の改良により2サイクルしゃ断器が可能であり，外形寸法および内部構造は従来と同一である。

7　結　言

以上，240/300kV パッファ形2サイクルガスしゃ断器の概要について述べた。これら一連の技術開発をベースとして，今後パッファ形ガスしゃ断器は信頼性，保守性，経済性などの面からも，さらに超々高圧大容量ガスしゃ断器として開発され普及していくものと考えられる。

最後に，本開発にあたりご指導いただいた日立製作所桑山技師長および細包本部長ほか関係各位に対し，深く謝意を表わす次第である。