U.D.C. 621.316.57.027.855.064.46

550kV 50kA 4,000/8,000A 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器

550kV 50kA 4,000/8,000A 2-cycle Puffer Type SF_6 Gas Circuit Breakers

本田春雄* *Haruo Honda*
細川正男* *Masao Hosokawa*
伊藤　博* *Hiroshi Itô*
中野清藏* *Seizô Nakano*
佐藤　稔** *Minoru Satô*
山極時生** *Tokio Yamagiwa*

電力系統の増大に伴い高信頼度のしゃ断器が要求されているが，日立製作所はこのたび550kV 50kA 4,000/8,000A 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器の製品化に成功した。単一圧力パッファ形ガスしゃ断器は動作原理，及び構成とも簡単であり，且つ接地タンク方式のためブッシング変流器を内蔵できるなど多くの利点をもっている。しゃ断部ユニットは既開発300kV 50kA 8,000A 2サイクルガスしゃ断器のしゃ断部をそのまま適用しており，一相4しゃ断点で構成している。開路時の操作方式の動作原理も同じである。本しゃ断器は既に1,000台以上の納入実績をもっているOFPT形系列の一つである。本稿は，しゃ断器の構造，動作及び試験結果について述べたものである。

1 緒　　言

近年，電力系統の増大に伴い高度の信頼性をもつ超高圧，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，高圧ガス吹付弁など構造が複雑で，ガス コンプレッサ，ガス圧力制御装置，液化防止用保温装置などの付属品を多数必要とする欠点があった。

一方，パッファ形ガスしゃ断器は前者に比較して構造，動作原理とも簡単で部品点数も少なく，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もっているが，従来のパッファ形ガスしゃ断器はしゃ断容量が小さく，またアーク時間が長く2サイクルしゃ断が困難などの問題点をもっており，超高圧，超々高圧大容量しゃ断器への適用には限界があった。

これに対処するための技術開発を進め，軸方向同期吹付の新消弧方式の開発[1]によりしゃ断性能の向上とアーク時間の短縮を図るとともに，高速度大容量操作器の開発により[2]，既に300kV 50kA 2サイクルまでの系列化を完成[3]し，多数の納入実績をもっているが，今回新たに550kV 50kA 4,000/8,000A 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器を開発した。

本器は，既開発の300kV 50kA 2サイクルしゃ断器としゃ断部ユニットは同一であり，且つ高速度大容量操作器の構成と動作原理も同じである。また絶縁性能については，運転電圧の130%の過酷な条件で長期課電試験を行なって検証した550kVガス絶縁開閉装置の技術を適用している。このように，本器はこれまで既に1,000台余のガスしゃ断器の製作で蓄積した技術をベースにし，550kVしゃ断器として必要な諸持性と信頼性を確保した。

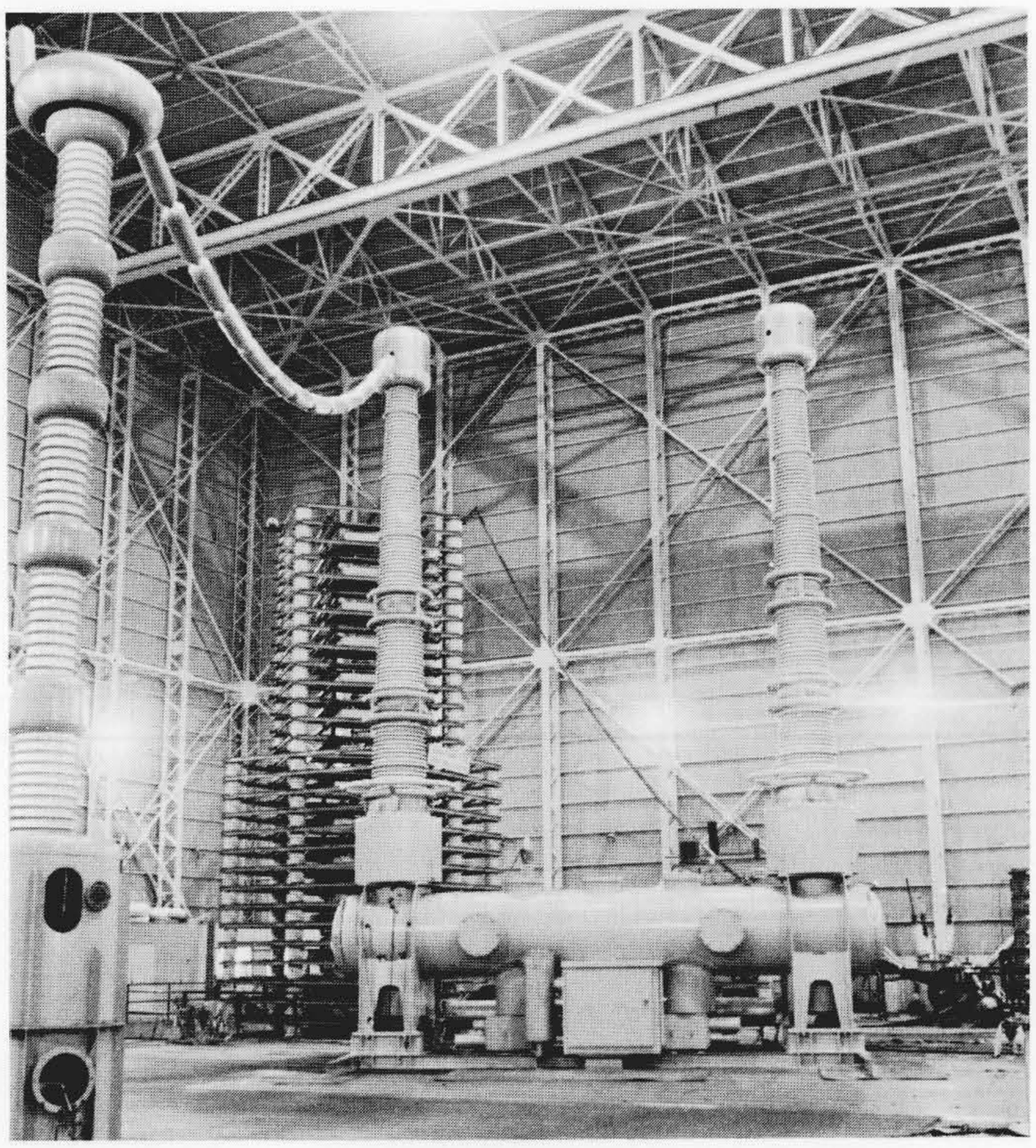


図1　550kV 50kA 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器　耐電圧試験中のしゃ断器一相分を示す。

2 しゃ断器の定格

図1に，今回開発した550kV 50kAパッファ形ガスしゃ断器一相分の外観を，**図2**に外形寸法を示す。**表1**は550kVしゃ断器を含めた日立パッファ形ガスしゃ断器の定格一覧表である。これらの定格仕様は，交流しゃ断器規格JEC-181に準じている。

3 超々高圧大容量2サイクルしゃ断器の技術開発

550kV 50kA 2サイクルしゃ断器にパッファ形しゃ断器を適用する場合には，構造，動作原理が簡単で部品点数が少ないなどの長所がある反面，大容量2サイクル化及び超々高圧化に伴う技術的問題点がある。**表2**は，これらの問題点と技術開発の経緯を示すもので，大容量2サイクル化については，軸方向同期吹付方式消弧室，高速度大容量操作器の採用な

* 日立製作所国分工場　** 日立製作所日立研究所

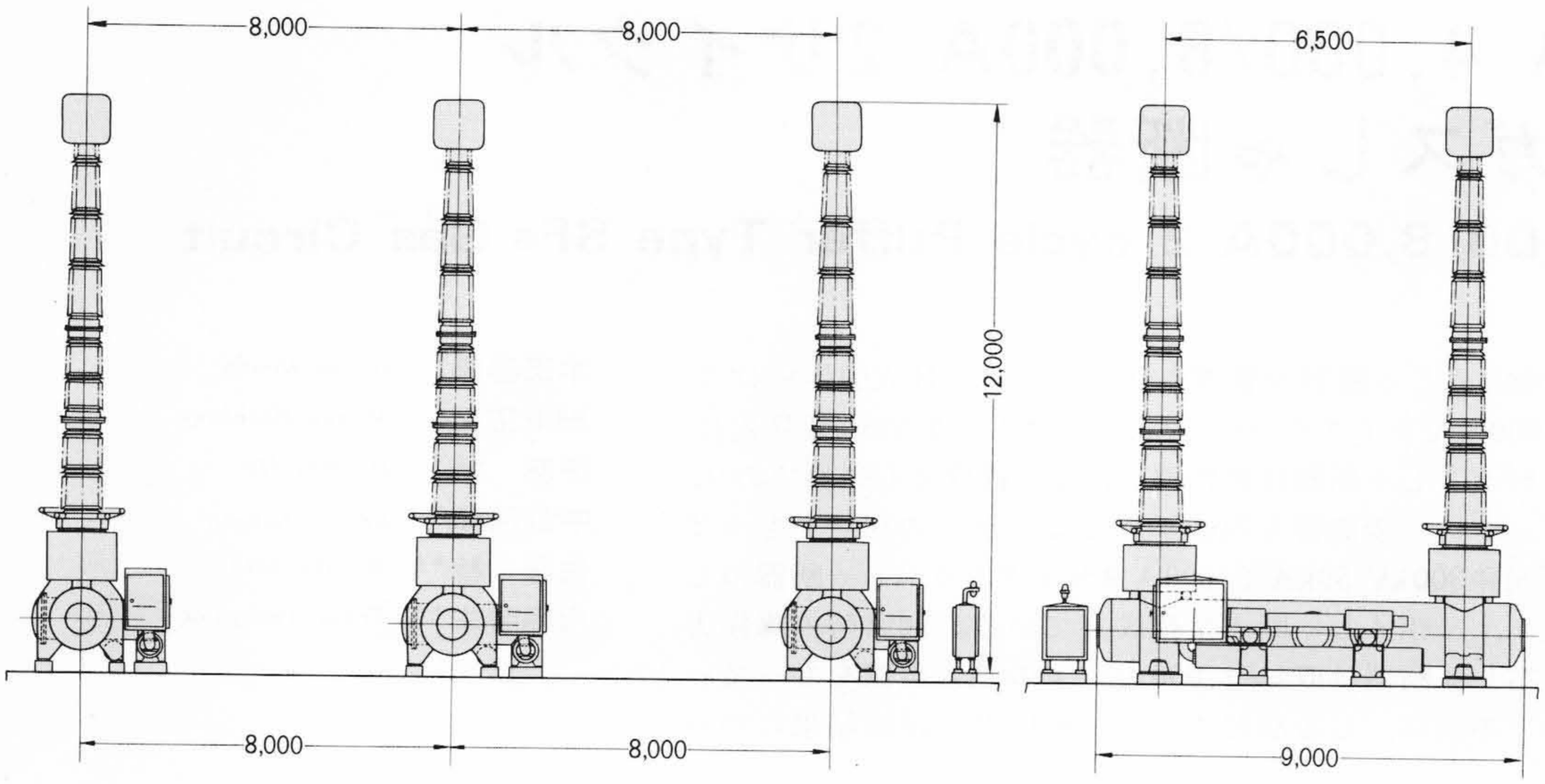


図2 550kV 50kA 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器外形寸法図 550kVしゃ断器の三相正面図及び側面図の外形寸法を示す。

表1 日立パッファ形しゃ断器定格表 日立パッファ形ガスしゃ断器の25kA, 30kA, 40kA及び50kAシリーズの定格表を示す。

形式 / 摘要	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	OFPT-60/70-25L PA(R)	OFPT-60/70-31L PA(R)	OFPT-100-25L PA(R)	OFPT-100-31L 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)	OFPT-200-50L PA(R)	OFPT-250-50L PA(R)	OFPT-500-50L PA(R)
定格電圧(kV)	72/84	72/84	120	120	120	168/204	168/204	168/204	240	300	240	300	550
定格電流(A)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000
	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	8,000	8,000	8,000
参考しゃ断容量(MVA)	3,100/3,600	3,900/4,600	5,200	6,500	8,300	7,300/8,400	9,200/11,100	12,000/14,100	17,000	21,000	21,000	26,000	48,000
定格しゃ断電流(kA)	25	31.5	25	31.5	40	25	31.5	40	40	40	50	50	50
定格投入電流(kA)	63	80	63	80	100	63	80	100	100	100	125	125	125
定格短時間電流(kA)	25	31.5	25	31.5	40	25	31.5	40	40	40	50	50	50
定格しゃ断時間(サイクル)	3/5	3/5	3/5	3/5	3	3	3	2/3	2/3	2/3	2	2	2
絶縁階級(号)	60/70	60/70	100	100	100	140	140	140	170	200	170	200	500H
SF_6ガス圧力(kg/cm²20°C)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
操作空気圧力(kg/cm²)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
しゃ断点数	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4

ど，300kV 50kA 2サイクルしゃ断器の開発技術をそのまま適用した。超々高圧化に伴う絶縁技術と，投入抵抗装置については，既開発の500kVガス絶縁開閉装置での基礎研究及び長期課電試験を含む実機での開発技術を適用した。以下，これらの技術開発の概要について述べる。

3.1 軸方向同期吹付式消弧室

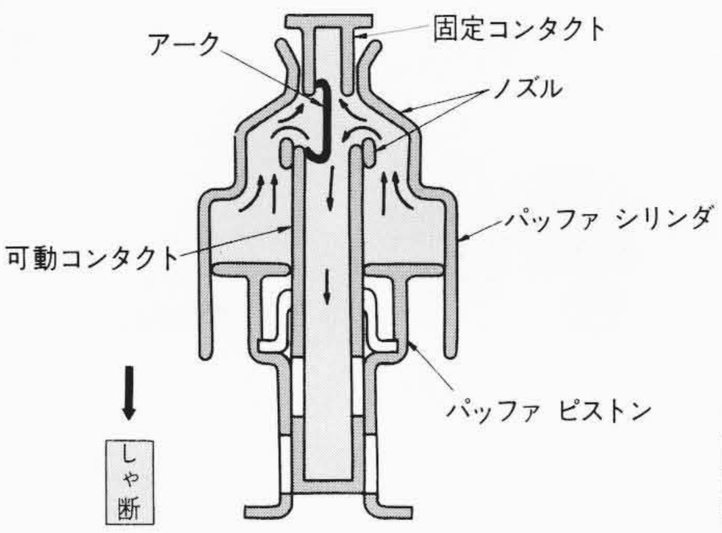
図3に，軸方向同期吹付方式の消弧原理を示す。従来方式では，パッファ シリンダにより圧縮されたガスを接触子開離瞬時から吹付けを開始しているが，本方式では同図に示すようにストローク開始後，接触子がしゃ断可能位置に達するまではほとんど吹付を行なわずに，シリンダ内のガスを圧縮し続ける構造にしている。このようにして，パッファ シリンダ内の圧力がしゃ断可能な吹付圧力及び接触子がしゃ断可能な位置に達して初めて軸方向の両側から吹付けを始める構造をとっている。このため，消弧能力が大幅に改善されるとともに，アーク時間が短縮されるという好結果が得られ，大容量2サイクル化が可能となった。550kVしゃ断器は一相4しゃ断点構造であるが，しゃ断部ユニットは300kVしゃ断器（一相2点構成）と同じため，例えば最もしゃ断過酷な近距離線路故障しゃ断に対しても1点当たりの再起電圧上昇率が300kVの場合より低く，電圧責務が軽減されている。

3.2 高速度大容量操作器

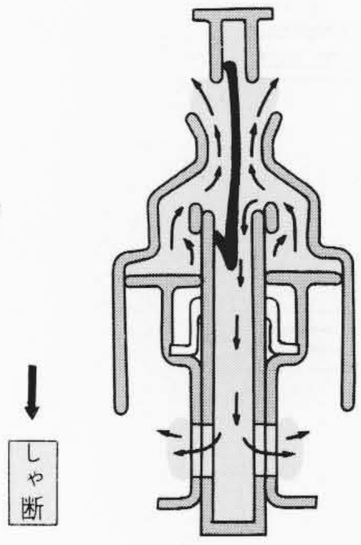
パッファ形ガスしゃ断器は，従来の二重圧力式ガスしゃ断器や空気しゃ断器に比べ，パッファ シリンダ内のガスを圧縮しながら消弧するため，大きな駆動力を必要とする。また最大アーク時間が長くなる欠点をもっているため，2サイクル

表2 超々高圧大容量2サイクルしゃ断器の技術開発 550kV 50kA 4,000/8,000A 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器の開発上の問題点と技術開発の経緯を示す。

パッファ形ガスしゃ断器問題点	技術開発	超々高圧・大容量化
A.大容量2サイクル化 (1) しゃ断可能電流が小さい (2) アーク時間が長い (3) 2サイクルしゃ断が困難 (4) 駆動力が大きい (5) 大電流通電 B.超々高圧化 (6) 投入サージの抑制 (7) 絶縁技術	(a) 消弧室 軸方向同期吹付方式の開発 (b) 操作器 高速度大容量操作器の開発 (c) 自冷式大電流通電しゃ断部，タンク，ブッシングの大電流構造の開発 (d) 投入抵抗装置 機械的駆動方式投入時復帰構造の開発 (e) 絶縁技術 ガスブッシング，絶縁物，絶縁構造の開発	550kV 50kA 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器の製品化 (I) 2サイクルしゃ断方式の確立 (II) 自冷式大電流通電技術の確立 (III) 投入サージ抑制技術の確立 (IV) 絶縁技術の確立



(a) 初期行程



(b) 中期行程

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。

化は困難とされていた。しかし，軸方向同期吹付方式により最大アーク時間を短縮するとともに，**図4**に示す高速度大容量操作器の開発により2サイクル化が実現できた。

動作原理としては，まず引はずしコイルを励磁してパイロット弁を動作し，充気弁の左側に高圧空気を送って単に充気弁を動作させることによりしゃ断部のパッファ シリンダに連結した主ピストンを駆動する。なお動作時間の短縮を図るため，制御弁数を最少限に減らすとともに，信頼性の向上から構造の大幅な単純化を図っている。

550kVしゃ断器の操作器は，300kV しゃ断器と構成及び動作原理は同じであるが，一相4しゃ断点構造のため駆動力が倍増している。このため，特に各部の死容積(Dead Volume)及び可動部重量の徹底した低減により動作時間の短縮を図っている。なお，4しゃ断点構成で投入時の駆動力は従来より大きくなるため，圧縮空気投入方式を採用した。

3.3　投入抵抗装置

550kVしゃ断器では投入サージ抑制のため，各しゃ断部と並列に一相1,000Ωの抵抗と接点から成る投入抵抗装置を設けている。抵抗接点はしゃ断部接触子よりも約8ms先行して投入する必要があるが，動作を確実なものとするため両者を機械的に連結している。

抵抗接点の開路動作には，(1)投入動作の終期に抵抗接点を開路し，しゃ断動作時には開路状態のままとする方法，(2)投入動作時は投入状態のままで，しゃ断動作時にしゃ断部接触子より先行して抵抗接点を開路する方法の2とおりがある。パッファ形ガスしゃ断器では，抵抗接点及びしゃ断部接触子のストローク長は従来の二重圧力形ガスしゃ断器や空気しゃ断器に比べてはるかに大きく，また開極時間も短縮されている。このため後者の方法では，しゃ断動作時に抵抗接点の極間絶縁をしゃ断部接触子よりも十分な余裕をもたせ，再点弧を防止することは技術的に困難である。このため，前者の方法を採用した。その結果，単独しゃ断動作時はもちろんのこと，**図5**に示すように引はずし自由しゃ断時でも，しゃ断部接触子の開離に先行して抵抗接点は完全な開路位置に達し，抵抗接点は十分な極間絶縁耐力をもつ構造とした。

3.4　大電流通電及び絶縁技術

自冷式大電流通電については，既開発の300kV 50kA 4,000/8,000A パッファ形ガスしゃ断器での技術をそのまま適用し，発生熱量の低減と効果的な熱放散を図ったしゃ断部，タンク，ブッシングを備えている。一方，絶縁支持筒，絶縁操作棒，コンデンサ，抵抗体及びブッシングなどの550kV用絶縁物と絶縁構造については，長期課電試験で信頼性を検証した550kVガス絶縁開閉装置のものをそのまま適用した。

4　構造及び動作

4.1　全体構造

図6に550kVガスしゃ断器の全体構造図を示す。本器の構造は，ブッシング変流器内蔵接地タンク方式であり，ブッシングを取り外すことにより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。また端部に断路器，接地開閉器を装備することにより複合開閉器が構成できる。

しゃ断器はブッシング，ブッシング変流器，しゃ断部内蔵接地タンク，操作器，操作用空気タンクより構成され，しゃ

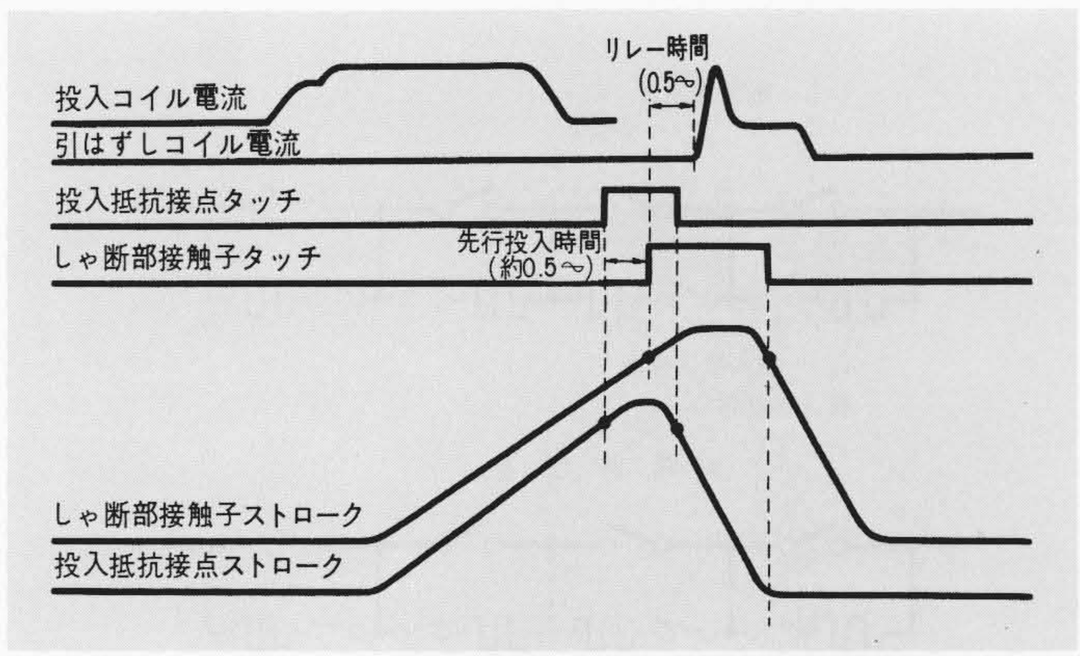
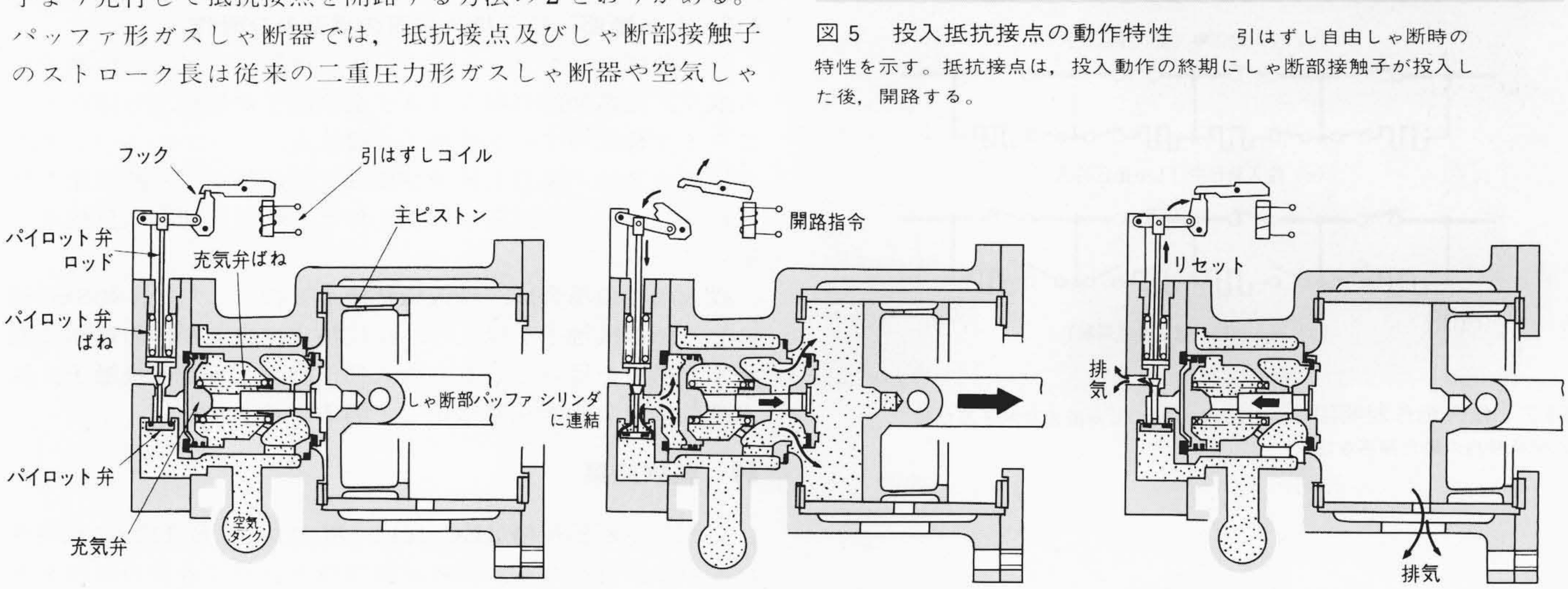
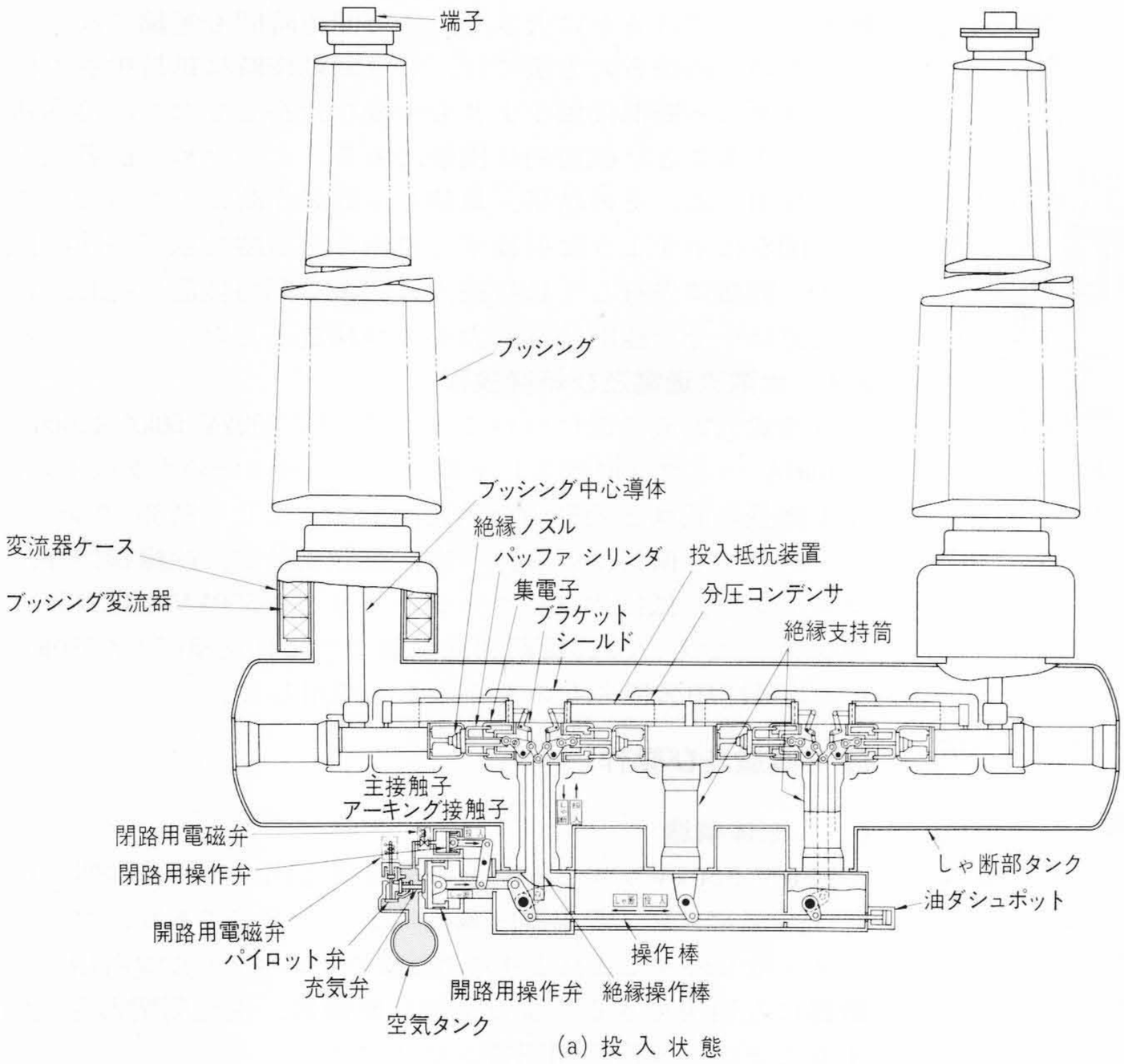


図 5　投入抵抗接点の動作特性　引はずし自由しゃ断時の特性を示す。抵抗接点は，投入動作の終期にしゃ断部接触子が投入した後，開路する。

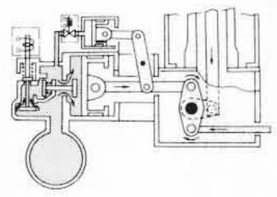


(a) 投 入 状 能　(b) 開 路 過 程　(c) 開 路 状 態

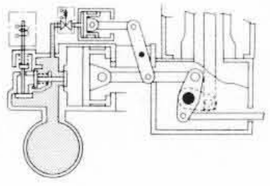
図 4　2サイクル操作弁動作説明図　2サイクル ガスしゃ断器用操作弁の動作原理を示す。



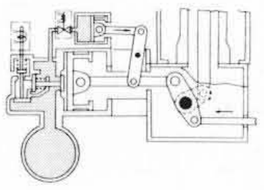
(a) 投 入 状 態



(b) 開路行程



(c) 開路状態



(d) 投入行程

図 6 550kV 50kA 2サイクル ガスしゃ断器内部構造図 全体構造を示す断面図で，操作部の動作図も示してある。

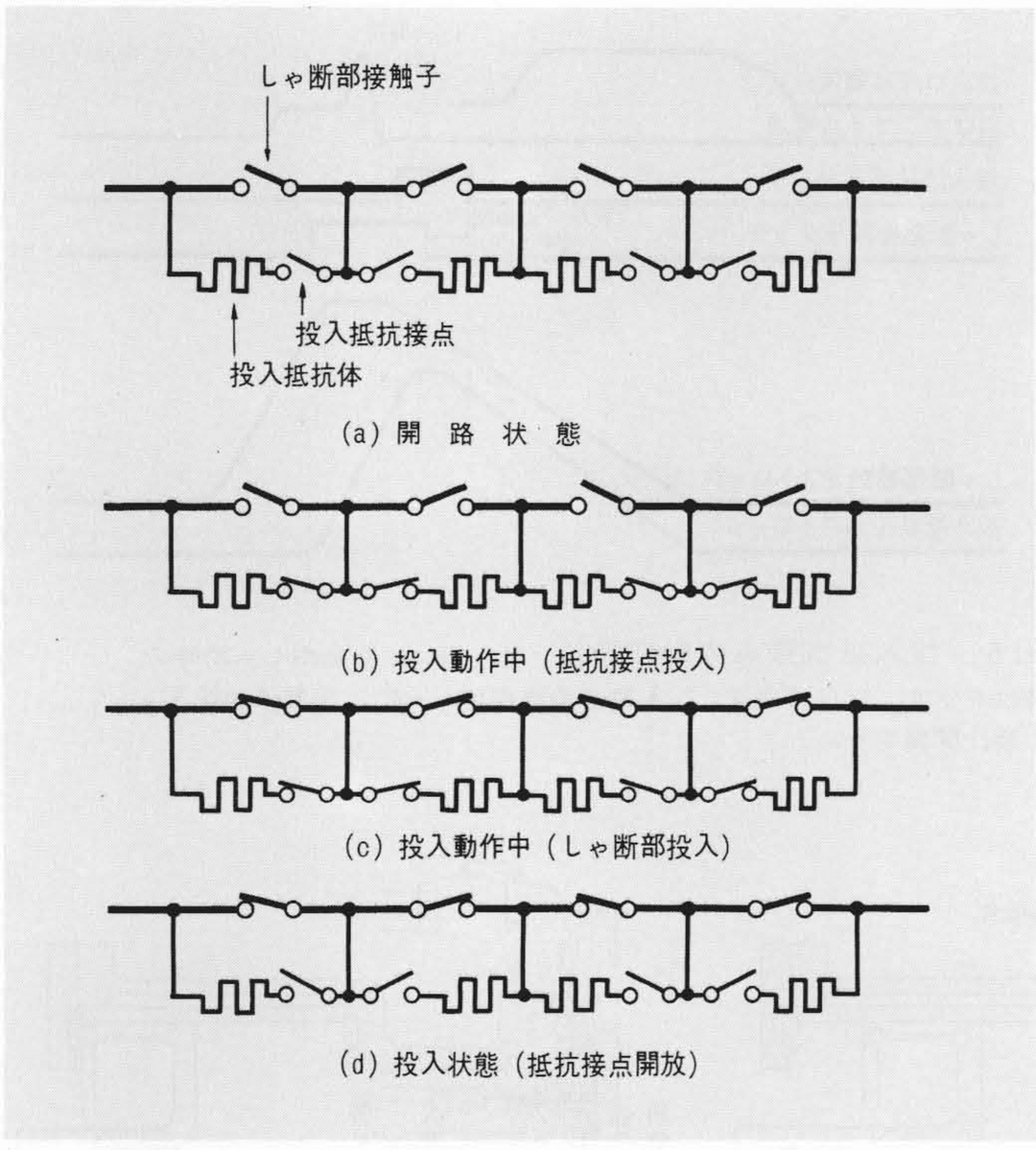


図 7 投入動作説明図 投入動作時のしゃ断部接触子及び投入抵抗接点の動作順序を示す。

断部タンク及びブッシング内部には5kg/cm²のSF_6ガスが密封されている。しゃ断部は4しゃ断点構成で，従来と同じく絶縁支持筒で支持され，電圧分布改善用コンデンサ及び投入サージ抑制用の投入抵抗装置が各しゃ断点に並列に設置されている。

4.2 操作方式

開路動作は,開路用電磁弁コイルを励磁してパイロット弁，充気弁を動作して開路用操作弁の左側に高圧空気を送入し，操作ピストン及びそれに連結されている操作棒を矢印の開路方向に引っ張り，しゃ断部内の絶縁操作棒を介してパッファシリンダを高速に駆動し，パッファ シリンダ内のSF_6ガスを圧縮して接触子間に発生したアークに吹き付けて消弧する。

投入動作は，閉路用電磁弁コイルを励磁して開路用操作弁に高圧空気を作用させ，矢印の投入方向に駆動して行なう。

4.3 しゃ断部，投入抵抗装置の構造及び動作

しゃ断部のコンタクト部分は，主接触子とアーク接触子から成り，開路動作の場合はまず主接触子が離れ，しばらくしてワイプ構造のアーク接触子が離れる。パッファ シリンダ内の圧縮ガスは，圧力上昇及び接触子間距離がしゃ断可能な位置に達したときに同期して吹き付ける軸方向同期吹付構造を用いている。

投入動作の場合は，投入抵抗接点を投入した後，約8ms後にしゃ断部接触子を投入し，抵抗接点は投入動作の終期に開路する構造を用いている。投入動作時のしゃ断部接触子と投入抵抗接点の動作を簡略化して**図7**に示す。

5 試験結果

交流しゃ断器規格(JEC-181)，電力規格(B-112)に規定されている項目につき，参考試験項目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が，そのうちの主なものを次に記す。

5.1 開閉特性試験

開閉特性試験結果の一例は**表3**に示すとおりである。なお，10,000回連続開閉試験を実施したが，特性変化，部品の摩耗及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

試験に当ってはJEC-181に基づき，実負荷試験とワイル合成試験を併用して性能の検証を行なった。試験結果の概要を**表4**に示す。

進み小電流しゃ断は無再点発弧であり，変圧器励磁電流の遅れ小電流しゃ断時の過電圧も2倍以下であった。通常短絡試験のほかに脱調及び近距離線路故障(SLF)しゃ断試験を実施したが，いずれも良好な結果を得た。代表的なオシログラムは**図8**に示すとおりである。

なお550kVしゃ断器では投入抵抗装置をもっているが，脱調時の投入条件を想定した試験も実施し，投入抵抗体が多数回投入時の熱責務に耐え得ることを確認している。

5.3 耐電圧試験

表5に示す耐電圧試験を実施し，良好な結果を得ている。コロナ試験は常規対地電圧の1.5倍で実施し，ERAコロナ試験器によって内部コロナを測定したが，有害なコロナの発生は認められなかった。また，万一ガス漏れのためにSF_6ガス圧力が大気圧に下がったときでも，対地間は常規対地電圧の1.3倍に耐え得ることを検証している。

なお，大きな電気的ストレスが加わる有機絶縁物などの信頼性を検証するため，常規対地電圧の1.3倍で2年余にわたる長期課電試験を実施し，課電後の耐電圧及びコロナ特性も良好であった。

5.4 温度上昇試験

定格電流4,000A，8,000Aの両しゃ断器について実施したが，いずれも規格値に対し十分余裕のあることを確かめた。

5.5 耐震試験

接地タンク構造のためもともと耐震性の良い構造であるが，しゃ断器を構成するしゃ断部，絶縁支持筒などのコンポーネントをはじめ，耐震強度が問題になるブッシングについても大形加震機による加震試験を実施し，十分な耐震性能をもっていることを確認した。

5.6 汚損試験

ブッシングについては，財団法人 超高圧電力研究所 武山研究所において平等汚損のほかに不平等汚損（径方向及び長さ方向)状態での等価霧中試験，活線洗浄試験を行ない，汚損量0.06mg/cm^{2}に耐え得ることを確認した。

5.7 その他の試験

以上述べた試験のほかに，短時間電流試験，気密試験，互換性試験，過負荷温度試験，騒音試験などをはじめ，付属品，部品についても各種の過酷試験を行ない，実用性能についても検証したがいずれも良好な結果を得た。

6 しゃ断器の特長

以上述べた550kV 50kA 4,000/8,000A 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器の特長は次に述べるとおりである。

(1) パッファ形大容量2サイクルしゃ断器である。

既開発で実績のある50kA 4,000/8,000A 2サイクル パッファ形シリーズと同じ大容量しゃ断部ユニットと，同一構成の高速度操作器を用い，構造，動作原理とも簡単なパッファ形

表3 開閉特性試験結果　550kV 50kA 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器の投入操作，引はずし操作及び引はずし自由操作の各試験結果を示す。

空気操作圧力 (kg/cm²)	制御電圧 (V)	投入操作	引はずし操作	引はずし自由操作	
		投入時間 (s)	開極時間 (s)	投入時間 (s)	開極時間 (s)
13.0	60	—	0.018	—	0.018
13.5	75	0.101	—	0.098	0.017
15.0	100	0.091	0.016	0.091	0.016
16.5	125	0.084	0.015	0.084	0.015
16.5	60	0.093	0.016	0.087	0.016

表5 耐電圧試験結果　550kV 50kA 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器の商用周波，標準インパルス及び開閉インパルスの試験条件と結果の概要を示す。

種別＼区分	対地間	極間	条件	結果
商用周波	750kV	750kV	乾燥1分間 注水10秒間	良
標準インパルス (±1.5×40μs)	1,800kV	$1{,}800+\frac{550}{\sqrt{3}}\sqrt{2}$ kV (インパルス)（商用周波)	乾燥 注水	良
開閉インパルス (±250×3,500μs)	1,175kV	1,175kV	乾燥 注水	良

表4 しゃ断試験結果　550kV 50kA 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器のしゃ断試験結果の概要を示す。

試験種類		SF_6ガス圧力 (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 (%)	投入電流 (kA)	アーク時間 (c)	再起電圧 上昇率 (kV/μs)	再起電圧 第1波高値 (kV)	試験回数	備考
進み小電流	短絡試験前	4	実負荷	O	119	196A	—	—	0.06～0.49	—	—	12	再点発弧なし
	短絡試験後	4	実負荷	O	119	196A	—	—	0.08～0.47	—	—	12	再点発弧なし
遅れ小電流		6	実負荷	O	104	20A	—	—	0.11～0.47	—	—	12	過電圧2倍以下
短絡電流		4	実負荷	O－0.35s －CO－CO	135	1.7	0～36	4.5～4.7	0.6 ～0.64	1.3	280	1	—
		4	実負荷	O－0.35s －CO－CO	14.5	50	4～58	132～136	0.7 ～0.84	0.7	35	1	—
		4	ワイル合成	O	135	30	4～8	—	0.6 ～0.76	1.3	265	3	—
		4	ワイル合成	O	135	50	4～58	—	0.65～0.84	1.1	265	3	—
近距離線路故障しゃ断 (SLF)		4	ワイル合成	O	104	30	0～5	—	0.65～0.79	2.3	140	2	60%SLF
		4	ワイル合成	O	104	37.5	4～10	—	0.7 ～0.85	2.5	84	2	75%SLF
		4	ワイル合成	O	104	45	2～5	—	0.65～0.77	3.3	30	2	90%SLF
脱調しゃ断		4	ワイル合成	O	207	12.5	0～2	—	0.62～0.65	1.6	366	2	—

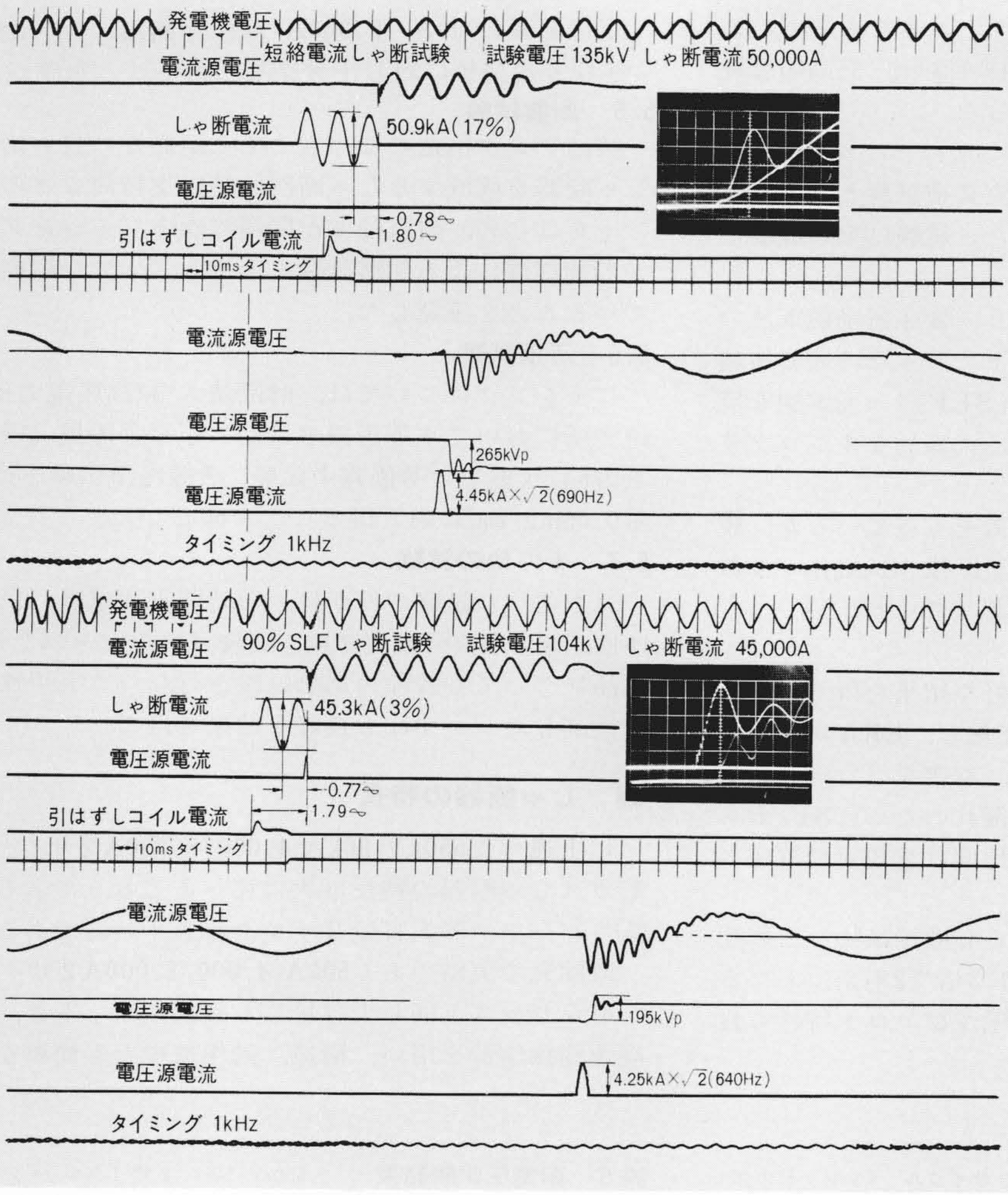


図8　しゃ断試験オシログラム
短絡電流しゃ断試験及び90%SLFしゃ断試験時の代表的なオシログラム及び再起電圧波形を示す。

2サイクルしゃ断器である。

(2)　しゃ断性能が優れている。

軸方向同期吹付方式消弧室の開発により，アーク時間の短縮としゃ断能力の向上を図り，短絡しゃ断性能はもとより近距離線路故障しゃ断，脱調しゃ断に対しても優れた性能をもっている。

(3)　小電流開閉性能が優れている。

進み小電流は無再点弧でしゃ断でき，遅れ小電流しゃ断時の過電圧は2倍以下で，有害な過電圧は発生しない。なお投入サージ抑制のために投入抵抗装置を設けている。

(4)　大電流8,000A通電は自冷式である。

発生熱量の低減と効果的な熱放散を図った，しゃ断部，タンク，ブッシング構造により，自冷式で8,000A通電ができる。

(5)　ブッシング変流器が内蔵できる。

変流器が内蔵できるため据付スペースは小さくて済み，また両側変流器の配置により盲点故障が防止できる。

(6)　耐震性能が優れている。

接地タンク構造のため，がい管でしゃ断部を支持する必要がなく，耐震性に優れている。

(7)　極間汚損による性能の低下がない。

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。

(8)　ガス コンプレッサ，保温装置などの補機が不要である。

単一圧力式でガス圧が低いため液化の心配がなく，ガスコンプレッサや液化防止用保温装置などの補器が不要である。

(9)　保守点検の省力化が可能である。

接触子の損傷が少なく，SF_6ガス系に高圧ガス吹付弁や制御弁がないため構造が簡単で部品点数が少なく，しゃ断部なども地上から作業できる位置にあるため保守点検が簡単で，且つ点検周期が長く，保守点検の省力化が推進できる。

7 結　　言

以上，550kV 50kA 4,000/8,000A 2サイクル パッファ形ガスしゃ断器の概要について紹介した。本ガスしゃ断器は，既に多数の実績がある超高圧以下のガスしゃ断器に基づいたものであり，ここに構造が簡単で信頼性，保守性，経済性などの面からも優れたパッファ形しゃ断器で，超々高圧までの全シリーズが完成した。最後に本開発に当たり，御指導いただいた日立製作所の桑山，山崎，細包の三氏ほか関係各位に対し，深く謝意を表わす次第である。

参考文献

(1)　中野，椿ほか：「大容量単一圧力パッファ形ガスしゃ断器の開発」日立評論 **54**, 1071(昭47-12)

(2)　平沢，吉岡ほか：「パッファ形ガスしゃ断器による2サイクルしゃ断の技術」日立評論 **55**, 969(昭48-10)

(3)　Tsubaki, Nakano, Itoh, Hirasawa, Yoshioka "Development of 240/300kV 50kA 2,000A/4,000A/8,000A, 2cycle Puffer Type SF_6 Gas Circuit Breaker" Hitachi Rev. **23**-343 (Sept. 1974)