U.D.C. 621. 316. 57. 025. 145. 027. 7/. 8. 064. 46

超高圧・超々高圧用63kAパッファ形 ガスしゃ断器の技術開発 **Development of Extra High Voltage 63kA**

Puffer Type Gas Circuit Breakers

電力系統の増大に伴い、近い将来短絡容量が50kAを超える系統が現われるものと 予想される。これに対処するため、日立製作所はこのたび超高圧・超々高圧用63kA 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器を開発した。開発に当たっては信頼性確保に努め、 既開発50kAしゃ断器としゃ断部タンク,操作器,しゃ断部可動部など基本構造は同一 とし、動的パッファ圧力解析による/ズル構造の最適設計と並列コンデンサの適切な増 量など小幅な変更にとどめた。したがって50kA定格からの格上げが容易である。この しゃ断器は、既に2,000台以上の納入実績をもっているOFPT系列の一つである。 本稿は63kAパッファ形ガスしゃ断器の設計思想,解決した技術課題について述べ たものである。

筑紫正範*	Tsukushi Masanori
平沢邦夫*	Hirasawa Kunio
吉 岡 芳 夫**	Yoshioka Yoshio
佐々木幸司***	Sasaki Kôji
中野清蔵***	Nakano Seizô
細川正男***	Hosokawa Masao

言 1 緒

我が国の電力系統は着実に成長しつつあり,系統の短絡容量 もそれに伴い増大し、1975年に改訂された交流しゃ断器規格

しゃ断部構造により120kV定格も構成が可能である。 図3に、しゃ断部構造と軸方向同期吹付方式のしゃ断動作

(JEC-181)による超高圧・超々高圧系の定格しゃ断電流の 最大値 50kA を超える系統が近い将来現われるものと予想され ている。一方、一部外国では既に定格しゃ断電流63kA,80 kAのしゃ断器が使用されている。

日立製作所は、単一圧力のSF6ガスパッファ形ガスしゃ断 器による我が国で最初の超々高圧550kV50kA2サイクルしゃ 断器を開発¹⁾し、72kV 20kAから550kV 50kA 定格まですべて パッファ形ガスしゃ断器で系列化しており,既に2,000台以 上が実系統で使用されている。今回、これまでの技術的成果 をベースとして超高圧・超々高圧用63kAパッファ形ガスしゃ 断器の開発に成功した。

開発に当たっては、信頼性の確保に努め、更に既開発 50kA 定格しゃ断器を将来必要に応じ63kA 定格へ格上げのための改 造を容易とすることを目標とした。以下に開発に当たっての 設計思想, 解決した技術課題について述べる。

2 63kAしゃ断器の定格と開発課題

2.1 定格及び構造

図1に今回開発した300kV63kA2サイクルパッファ形ガス しゃ断器の外観を、図2に全体構造を示す。外形寸法は既開 発50kAパッファ形ガスしゃ断器と同一である。本器はブッシ 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 すことによりコンパクト変電所用しゃ断器にも適用すること ができる。しゃ断部タンク及びブッシング内部にはSF6ガス が密封されている。しゃ断部は2しゃ断点(550kV定格は4しゃ 断点)構成で、電圧分布改善用コンデンサ(分圧コンデンサ) が各しゃ断点に並列に設置されている。

を示す。負荷電流は、固定主接触子から可動主接触子、パッ ファシリンダ集電子へと流れる〔同図(a)〕。しゃ断動作初期 〔同図(b)〕, 主接触子の開離後, アーク接触子が開離してアー クが発生する。この時点では、パッファ室のSF6ガスの圧力 上昇(パッファ圧力)は低いため、アークへの吹付けを行なわ ずパッファ圧力を高める。パッファ圧力が十分高まった後, 軸方向の両側からSF₆ガスをアークへ吹き付ける軸方向同期 吹付方式によりアークをしゃ断する〔同図(c)〕。



以上述べた本器の構造は、操作器、しゃ断部タンクなどは 50kA 定格と同一であり、絶縁ノズル、接触子及び分圧コンデ ンサの容量が 50kA 定格と異なる。 表1に63kA開発機種の定格表を示す。なお、今回開発した

300kV 63kA 2 サイクルパッファ形ガスしゃ断器 超高圧 63 × I kA2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の一相分外観を示す。

27

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

504 日立評論 VOL. 60 No. 7(1978-7)

表 | 日立63kAパッファ形ガスしゃ断器定格表 日立63kAパッファ 形ガスしゃ断器の定格表を示す。

· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1	2	3		
	OFPTB-	OFPTB-	OFPTB-		
摘要	200-63L-PA(R)	250-63L-PA(R)	500-63L-PA(R)		
定格電圧(kV)	240	300	550		
	2,000	2,000	2,000		
定格電流(A)	3,000	4,000	4,000		
	4,000	8,000	8,000		
参考しゃ断容量 (GVA)	26	33	60		
定格しゃ断電流(kA)	63	63	63		
定格投入電流(kA)	158	158	158		
定格短時間電流 (kA)	63	63	63		
定格しゃ断時間 (~)	2	2	2		
絶縁階級(号)	170	200	500H		
SF ₆ ガス圧力(bar20°C)	6	6	5		
操 作 圧 力(bar)	15	15	15		
しゃ 断 点 数(点/相)	2	2	4		

2.2 設計思想

本器の設計思想の根底は信頼性の確保に置き,以下の各項 を定めた。

(1) 既に多数の納入実績のある50kA定格以下のパッファ形が スしゃ断器の基本構造を引き継ぎ,信頼性を確保すること。
(2) 当面50kA定格とし,将来系統短絡容量が50kAを超える 時点で,63kA定格へ格上げのための改造を容易にしたこと。
これにはしゃ断部タンク,操作器など主要構成は50kA定格と



同一であることが前提条件となる。

(3) 50kA 定格の実績と信頼性をそのまま引き継ぐため,操作 力の増大を抑えること。

(4) しゃ断容量増大のための再起電圧調整用コンデンサを, 対地間でなく極間に配置すること。容量的には制限されるが, 分圧コンデンサと兼用できるので構成法,絶縁設計などに従 来技術を適用できる利点がある。

(5) 多数回大電流しゃ断に対するアーク接触子の信頼性確保



8 million

(c) 中期行程

図3 63kAパッファ形ガスしゃ断器のしゃ断動作 63kAパッファ 形ガスしゃ断器のしゃ断部構造と軸方向同期吹付方式によるしゃ断動作を示す。

2.3 開発上の技術課題

設計思想を実現するための技術課題は次の点にある。

 (1) 同一パッファ室容積で26%増大した電流をしゃ断する技術 効果的なパッファ圧力の上昇としゃ断責務軽減のため再起電 圧上昇率(rate of rise of recovery voltage(以下, rrrv と略す))低減の技術

(2) 操作力の増大なしにパッファ圧力の増大を図る方法

パッファ圧力特性の解明と定量的な解析によるパッファ圧 力の増大に影響する諸因子の明確化

(3) コンデンサ容量の増大

許されるスペース内で配置可能なコンデンサの容量を増大すること。

(4) アーク接触子の大電流しゃ断時消耗対策

63kAしゃ断に10回以上耐えるアーク接触子の開発

8 63kAパッファ形ガスしゃ断器の技術開発

3.1 パッファ形ガスしゃ断器のしゃ断特性

パッファ形ガスしゃ断器は、しゃ断動作によりパッファ圧力を 高めるため、パッファ圧力としゃ断部構造とは密接な関係にあ り、63kAしゃ断器の開発に当たっては効果的なパッファ圧力上 昇とその有効な利用が最重要課題である。そこで、実験用モ デルしゃ断器を用いて、しゃ断特性について詳細に検討した。 (1) 電流しゃ断時のパッファ圧力特性

油ダッシュポット 投入 操作ピストン 空気タンク た気弁

図2 300kV 63kA 2 サイクルガスしゃ断器全体構造図 300kV 63kA 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。

 $\mathbf{28}$

電流しゃ断時のパッファ圧力特性は、アークの影響を受ける ため無負荷時の圧力に対して変化する。図4はモデルしゃ断器 のパッファ圧力を直接測定した結果の一例である²⁾。電流しゃ断 時は、無負荷時よりも圧力が急激に上昇している。この圧力 上昇の度合いが、ノズルが完全に閉ざされたと仮定した場合 よりも高くなっていることは、アークが単にガス流路を塞ぐ以



図4 電流しゃ断時のパッファ圧力特性 モデルしゃ断器による電流しゃ 断時のパッファ圧力測定を示すもので,無負荷時の倍以上の圧力上昇が生ずる。

外にもパッファ圧力増大に影響していることを示している。

図5は、ノズル面積を変えて電流しゃ断時のパッファ圧力 と無負荷時の圧力とを測定した例を示すものである。ノズル 図6 しゃ断限界電流とパッファ圧力 しゃ断限界電流はパッファ圧 力の0.52乗に比例する(モデルしゃ断器による実測)。

(3) しゃ断電流とrrrv

パッファ形ガスしゃ断器についてrrrvとしゃ断電流の関係 を調べた。図7に示すように, rrrvを低減させると, しゃ断 電流は(2)式に従って大きくなることが明らかとなった。



面積を変えても, 圧力上昇が急激に変化する点でのノズル電 流密度は, ほぼ同一である。

これらのデータは、パッファ圧力解析上の重要なデータとなった。

(2) パッファ圧力としゃ断性能

次段階としてこの電流しゃ断時のパッファ圧力がしゃ断性 能とどのような関係にあるのかを検討した。図6は、モデル しゃ断器のパッファ圧力としゃ断電流の関係について検討し た例を示すものである³⁾。試験回路のrrrvは電流に比例する 条件で(1)式が得られ、しゃ断性能は圧力の上昇とともに向上 することが明らかとなった。

 $I_c \propto P^{0.52}$ (1)

ここに I_c :しゃ断可能電流(kA)

P: 電流しゃ断点のパッファ圧力(bar)



以上(1),(2)式から63kAしゃ断に必要な条件を求めてみる と、図8に示すようになる。同図は50kAしゃ断責務を基準と して示したものであり、63kAをパッファ圧力の増大だけでしゃ 断するためには、50kAしゃ断時の56%増のパッファ圧力が必 要であることが(1)式より得られる(④点)。また、rrrvの低減 だけで63kAをしゃ断するためには、50kAしゃ断時の55%まで rrrvを低減させる必要のあることが(2)式より得られる(〇点)。 いずれの手段も単独では極端にすぎ、両者の協調をとって開 発することが設計思想を実現する最も合理的な方法である。 すなわち、⑧点に示すようにrrrvを50kAしゃ断時の82%ま で下げ、しゃ断可能電流を54kAまで増大させ、パッファ圧力 を35%増大させることにより54kAから63kAまでしゃ断電流を 増大させて目標を達成する方法である。

63kAしゃ断時のrrrvは、図8に示すように50kAしゃ断時の96%である。







図 7 rrrvとしゃ断限界電流 しゃ断可能なrrrvは、しゃ断電流の
 2.6乗に逆比例する(モデルしゃ断器による実測)。

29

506 日立評論 VOL. 60 No. 7(1978-7)





ノズル閉塞 図10 ノズル閉塞のパッファ圧力特性に及ぼす影響 状態では、ノズルの蒸発ガスがパッファ圧力に大きな影響を及ぼす。

計算プログラムを開発した4)。

図9は、計算波形と実測とを比較した一例を示すものであ

図 8

大とrrrvの低減の協調をとり達成した。

3.2 パッファ圧力の解析と応用

パッファ圧力の効率の良い増大を図るためには、パッファ 圧力特性を定量的に解析する必要がある。

(1) SF₆ガスの非理想性理論

SF6ガスのような重い気体(空気の5倍)は、高圧、低温で その状態が理想気体則から離れ SF6 ガス固有の状態則に従う ことはよく知られている。この特性を定量的に明確にしない 以上、パッファ圧力特性は実際と全く違ったものとなる。そ こで、非理想気体に関する従来の計算モデルの検討、パッフ ァ圧力特性の多くの実測などより, Beattie-Bridgemon状態 方程式に基づくSF6 ガスの非理想性を考慮したパッファ圧力

り、SF6ガスを理想気体と仮定した計算プログラムでは50% 以上も差が出るが、本プログラムの計算結果は、実測波形を 非常によく再現している。

(2) 電流しゃ断時のパッファ圧力

電流しゃ断時のパッファ圧力を計算するためには、アーク の諸特性を数式で表現する必要がある。著者らは、アーク電 力が高温度のアーク柱を流れるエネルギー源として、ノズル 外へ搬出されると考えるエンタルピーフローアークモデル5) を拡張し、ノズル内のアークの状態を図10に示すようにモデ ル化した。

図10(a)は、電流値が小さくアークの断面積がノズル断面積 よりも小さい場合である。アークの周囲を流れる冷たいガス 流とアーク柱を流れるガス流とを算出し、パッファ圧力を計







無負荷時パッファ圧力計算波形と実測の比較 SF。ガスを 図 9 非理想気体として扱うことにより、実測とよい一致を示した。

図|| 電流しゃ断時のパッファ圧力計算波形と実測の比較 エン タルピーフローアークモデルを用いたプログラムにより,電流しゃ断時のパッ ファ圧力解析を可能とした。

30

算する。

図10(b)は、電流値が大きい場合であり、ノズルがアークで 閉塞すると、アークの上流側で発生するアークパワーはノズ ル材料を蒸発させ、高温の蒸発ガスがパッファ室に逆流し、 SF6 ガスと混合してガス温度を急激に増加させる。この期間 SF6 ガスの流出はほとんどなくなり、パッファ圧力は蒸発ガ スの影響で完全閉塞時の圧力よりも高くなる。この期間のパ ッファ圧力は、SF6 ガスの状態方程式から得られる⁶⁾。

図11は計算結果と実測とを比較した一例であり、良い一致 を示している。

以上述べた研究成果により、パッファ形ガスしゃ断器のシ ミュレーション精度は著しく向上し、合理的設計が可能とな った。

(3) 63kA ガスしゃ断器開発への応用

本プログラムは、63kAパッファ形ガスしゃ断器開発に際し 全面的に使用した。特に、ノズル構造とパッファ圧力特性に ついて、多くの構造因子の評価を詳細に行ない、しゃ断性能 上の構造因子について明確な指針を得、信頼性のあるしゃ断部 を開発することができた。図12に50kAしゃ断器と63kAしゃ 断器のパッファ圧力特性を示す。

3.3 rrrvの低減

(1) 並列コンデンサとrrrv

空気しゃ断器では, rrrvの最も過酷な近距離線路故障 (Short



図13 並列インピーダンスと再起電圧波形の低減 並列インピーダ ンスにより、SLFLや断時再起電圧は低減される。



Line Fault:SLF)しゃ断対策として、しゃ断器に並列に低 抵抗を配置して、再起電圧波形全体を低減させる方法を用い ている(図13)。しかし、ガスしゃ断器では、SF6ガスの絶縁 回復速度の速いことよりしゃ断成否は再起電圧波形の初期部 分で決まってしまい、並列抵抗は不要である。すなわち、ガ スしゃ断器のrrrvに対する責務軽減は、小容量の並列コンデ ンサの設置で可能である。小容量の並列コンデンサは、図13 に示すように再起電圧波形の初期部分にだけ影響し、かつガ スしゃ断器は、この部分のrrrvの低減で十分しゃ断性能の向 上が図れる。

(2) 63kAしゃ断に必要な並列コンデンサ容量

図14は、並列コンデンサ容量と再起電圧初期部分のrrrvの 関係を示したものである。63kAしゃ断をrrrvの低減だけで可 能とするためには、図8で示したように50kAしゃ断時の55% まで低下させねばならず、これは50kA定格の分圧コンデンサ の10倍以上の容量が必要となり、極間に配置することが難し くなる。しかし、ノズル構造の改良によりパッファ圧力を35



図14 rrrvと並列コンデンサ容量 並列コンデンサ容量の増大により rrrvは低減する。

%増大させることができたので, rrrvの低減は図8から50kA しゃ断時の96%程度でよく, したがって, コンデンサ容量は 50kA定格の3倍量とした。なお, 550kV定格は1しゃ断点当 たりのrrrvが軽減されるので50kA定格の1.5倍量でよい。

一方,コンデンサ自体の改良研究も進め,従来より75%容 量増大を図った結果,極間に配置することが可能となった。 3.4 接触子の消耗

アーク接触子の形状については、その断面積を50kA定格の 1.6倍とした。このアーク接触子は、63kAしゃ断10回以上に 十分耐えることをしゃ断試験により確認した。

4 しゃ断試験結果と特長

4.1 しゃ断性能

しゃ断試験結果を表2に示す。

300kA定格は2しゃ断点構成の1しゃ断点対象,550kV定格 は4しゃ断点構成の1しゃ断点対象に試験を実施した。また, しゃ断部構造は120kV定格から550kV定格まで同一である。 (1) 短絡しゃ断試験 63kA定格にとって最も過酷となるSLFしゃ断,端子短絡しゃ 断も良好な結果を得た。代表的なオシログラムを図15に示す。 (2) 進み小電流しゃ断試験は,短絡電流しゃ断後の接触子でも 実施し,無再発点弧で良好な結果を得た。

31



図12 63kAしゃ断器と50kAしゃ断器のパッファ圧力特性 63kA しゃ断器と50kAしゃ断器の90% SLFしゃ断時のパッファ圧力特性の比較を示す。

日立評論 VOL. 60 No. 7(1978-7) 508

	験			対象	定 格	SF。 ガス圧力 (kg/cm²)	試験方法	動作責務	試 験 電 圧 (kV)	しゃ断電流		1 <u>4</u> 7	$\overline{\mathbf{v}} = \mathbf{v}$	再 起	雷厅	=#*		
試		種	類	550 kV	300 k V					対称分 (kA)	直流分 (%)	72 八 電 流 (kA)	アージ 時間 (~)	上昇率 (kV/µs)	第 I 波高值 (kV)	い 験 回 数	備考	
進	2	短絡試験	前	0	0	4	合	成	" O "	126	405A	-		0.01~0.34		_	12	再発点弧なし
小	電流	短絡試験	後	0	0	4	実	負荷	"O"	126	15A			0.01~0.48			12	再発点弧なし
	ħ			0		5.5	実	負荷	"O"	100	6 A			0.08~0.39	-		12	過電圧2倍以下
遅		小雷	流	0		5.5		"	" 0 "	100	20A	-	X	0.06~0.39		-	12	"
		,	//10		0	6.5		"	" O "	100	6 A			0.18~0.47	-		12	"
					0	6.5		"	" O "	100	20A			0.16~0.49			12	"
短	絡	電	流	0	0	4	7-	(ル合成	"0"-0.35S-"CO"- 1M-"CO"	129	63.0~ 66.5	8.4~ 56	145~ 156	0.84~1.02	1.9~2.03	260~264	2	
近日	巨離	90% SLF		0		4	7-	ル合成	" 0 "	100	56.7	0~10		0.74~0.89	4.9~5.5	37~43.4	4	~
線	路	75% SLF		0		4		"	" O "	100	47.5	$2\sim 5$		0.90	4.4~4.5	108	2	
故	障	60% SLF		0		4		//	" O "	129	38.3	0~13		0.84~0.94	4.3~4.4	242	2	
(S	_F)	90% SLF			0	5		"	"O"	95	56.7	2 ~ 8		0.73~0.88	7.2~8.2	35~41.5	4	
脱	調	L Þ	断	0	0	4	7-	ル合成	"0"	198	17.5	7~10		0.62~0.80	2.4	362	3	

表2 しゃ断試験結果 300kV/550kV 63kA 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。



しゃ断試験オシログ 図15 短絡電流しゃ断試験及 ラム び90% SLFしゃ断試験時の代 表的なオシログラムを示す。

4.2 63kAしゃ断器の特長

以上述べた超高圧・超々高圧用 63kA パッファ形ガスしゃ断 器の特長は、以下に述べるとおりである。

既開発50kAパッファ形ガスしゃ断器と同一しゃ断部タン (1)ク,操作器で構成しているので、50kA定格からの格上げのた

めの改造が容易である。

動的パッファ圧力解析により、しゃ断部構造の最適設計 (2)を行ない、操作力の増大なしにパッファ圧力を増大させた。

(3) 並列コンデンサを極間配置の可能な範囲で増量し, rrrv の低減によるしゃ断性能向上を図った。

(4) 接触子の消耗については, 接触子形状を大形化すること により信頼性の向上を図った。

また,しゃ断性能に関する詳細な基礎研究成果を適用する ことにより、50kA定格から操作力の増大なしに63kAパッファ 形ガスしゃ断器の開発を可能とした。

参考文献

- 1) 本田, 細川ほか4名:550kV 50kA2サイクルパッファ形ガス しゃ断器,日立評論,57,911~916(昭50-11)
- 2) 夏井, 平沢ほか:パッファ式ガスしゃ断器におけるノズル閉 塞現象, 昭50電全国大会, No.1350 (昭50-4)
- Y. Yoshioka, Y. Nakagawa : Investigation of Interrupting 3) Performance of a Puffer Type GCB. IEEE 1978 Summer meeting No. A78-597-7 (1978-7)
- 4) 平沢:SF₆ガスの非理想性を考慮したノズル流計算,昭49電 東海支部大会, 4a-B-12 (昭49-3)

5 結 言

32

以上,超高圧・超々高圧用63kA2サイクルパッファ形ガス しゃ断器の技術開発の概要について述べた。63kAパッファ形 ガスしゃ断器の開発を可能とした技術は、従来の技術の蓄積 の上に立つものであり既開発品の信頼性をそのまま継承して いる。

- L.S.Frost et al.: Composition and Transport 5) Properties of SF₆ in a Simplified Enthalpy Flow model. PIEE 59 (1971)
- Y. Yoshioka, M. Tsukushi et al.: A Method and 6) Application of Theoretical Calculation for On-load Pressure Rises in Puffer type GCB. IEEE 1978 Summer meeting No. F78-682-7 (1978-7)