UDC 621.316.57.064.45.027.6

屋外用空気しゃ断器の新系列

New Series of Outdoor Air-blast Circuit Breakers

森　増光*　日高敏治*
Masumitsu Mori　Toshiharu Hidaka

I. まえがき

富士電機では昭和35年から3～空気しゃ断器の自力開発に着手し，昭和39年秋に内外関係者各位を招いてRF 720形空気しゃ断器の展示会を行なった．このRF 720形空気しゃ断器は，常時充気式空気しゃ断器に当社独自のノズルパッキン方式を加えたしゃ断器で，この方式が空気しゃ断器の究極の方式であることは，世界のしゃ断器業界の動向より明らかなことである。

42年2月各電力会社の形式試験を好評のうちに終了した．この間，RF 720形として72～204kV の各電圧階級ごとのシリーズ化を完成し，現在百数十台の製造実績を有している．当社ではRF 720形シリーズ(30kA級)完成と前後して，84kV ユニット，しゃ断電流約20kAの中容量級のしゃ断器の開発を検討していた．これはしゃ断器界が大容量，高圧力に移行している現在，時代逆行の感があった．しかし，特に中容量しゃ断器を多く使用する一般需要家では，近年騒音，塩害，地価高騰などの各種の問題解決のため60，70kV級の開閉設備を屋内あるいは地下に設置する傾向が多くなり，これに適するものとして，小形軽量，キュービクル引出可能，耐汚損，取扱簡便なRF 725形中容量空気しゃ断器の開発に踏切り，このたび製品化した．RF 725形はRF 720形空気しゃ断器を開発した独自の国産技術をもとに実用性能の面を充分考慮したしゃ断器である．第1表にRF 720形との比較を示す。

一方，24，36kV 級の屋内用空気しゃ断器においては国内唯一の常時充気ノズルパッキン方式の採用により，優秀なしゃ断性能をもつ，小容量から大容量に至るまでのシリーズが完成されている．この技術をもとに，24，36kV 級の屋外用空気しゃ断器RF 702形をこのたび製品化した．RF 702形シリーズは，大しゃ断容量器を屋外用としてコンパクトにまとめたもので，既設の22，33kV 屋外変電所の容量増大，あるいは老朽化した場合の代替用として好適である。

RF 725，RF 702 形空気しゃ断器の開発により，当社の屋外用空気しゃ断器の系列は，24，36kVにRF 702形，72kV 以上にRF 720形，RF 725形の3シリーズによって構成されることになった．以下，系列およびRF 725，RF 702 形空気しゃ断器の構造，動作，試験内容につき紹介する。

第1表　RF 720形とRF 725形の比較
Table 1. Comparison of RF 720 and 725

	RF 720	RF 725
定格電圧	72/84 kV	72/84 kV
定格電流	2,000A	1,200A
しゃ断容量	3,500 MVA	2,500MVA
重量	2,700 kg	1,600 kg
外形寸法(横×幅×高)(mm)	4,100×1,270×3,480	3,470×1,020×3,415
空気タンク容量	1,200 ℓ	660 ℓ
コンタクト分解点検重量	38.5 kg	12 kg

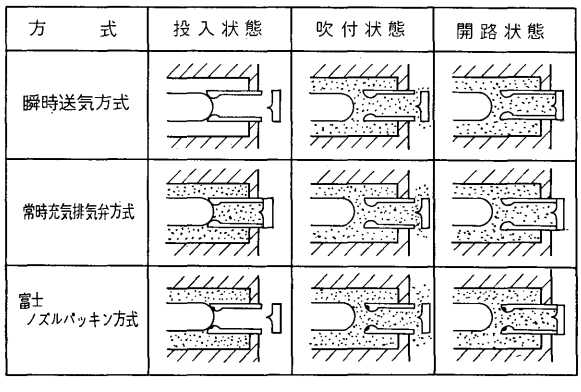
II. 屋外用空気しゃ断器の新系列

1. 特長

屋外用空気しゃ断器は各形とも従来の常時充気式の利点に加えて，さらに下記のような特長を有する。

1) ノズルパッキン形常時充気方式

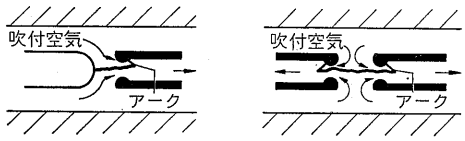
空気しゃ断器においては，高い吹付圧力の確保がしゃ断性能上特に重要である．吹付方法を大別すると「瞬時送気」方式と「常時充気」方式になる．「瞬時送気」方式は第1図に示すように，消弧室に圧縮空気を空気タンクより送気しながら開極するもので，定格圧力の60～70



第1図　富士常時充気式の特長
Fig. 1. A special feature of Fuji continuously pressurized ABB

* 川崎工場静止器部

%程度が開極時の初期吹付に利用できるに過ぎないとされている．一方「常時充気」方式は，第1図のように，さらに「排気弁」方式と当社で採用している「ノズルパッキン」方式に分けられる．前者は排気弁を開放しノズル内の圧縮空気を放出しながら開極し，コンタクト間に圧縮空気を吹付けるが，タンク圧力を100%利用できないことは明らかである．後者は投入状態において，ノズル内外の圧力差がタンク圧力そのままであるため，単にコンタクトを開くのみで，より強烈な空気吹付が行なわれる．ノズル形状としては，現在もっとも多用されている軸方向吹付を採用している．これはシングルフローとダブルフローに分けられ，シングルフローに比べダブルフロー方式は，ユニット電圧を高くとることができる．両者の基本的構造を第2図に示す．24，36kV のしゃ断器にはノズルパッキン・シングルフロー方式，72kV以上のしゃ断器にはノズルパッキン・ダブルフロー方式を採用し，すぐれたしゃ断性能を有すると同時にコンタクトの損耗も非常に軽微である。



第2図　シングルフロー(左) とダブルフロー (右)
Fig. 2.　Single flow (left) and double flow (right)

2)　84kV ユニット (72kV 以上)

1点84kV ユニットのため，1点42kV ユニットに比べ消弧室の数が少ない，保守点検の時間が短い，予備品などが少ない，据付面積が小さい，などの利点がある。

3)　チューリップ形コンタクト (72kV 以上)

(1)　バットコンタクトに見られる投入時のコンタクトのおどりが皆無である。

(2)　通電用のコンタクトラミネーションと発弧用のコンタクトラミネーションを分離したため，短絡しゃ断においてもコンタクトの損耗がきわめて小さい。

(3)　通電容量が空気圧に無関係であるため空気圧ゼロでも通電になんら支障がない。

4)　引出形に有利 (72/84kV)

近年 72/84kV 級の開閉設備が屋内あるいは地下に設置されるようになり，しゃ断器を引出して断路をとることが多い．72/84kV 器では，しゃ断室が直立しているので，引出形として使用する場合，キュービクル面積が小さく，点検も容易であるため最適の構造である。

5)　点検，組立が容易

軽合金使用と簡潔な構造により，内部点検が簡単に行なえる．また，現地据付に際しては，リンク機構などの合わせ作業がないので短時間に行なうことができる (例

第2表　空気しゃ断器の適用区分
Table 2.　Application of air-blast circuit breaker

形　　式	RF 702		RF 720	RF 725
電圧範囲(kV)	24	36	72～204	72～204
定格電流(A)	2,000	2,000	2,000, 3,000	1,200
最大しゃ断電流(kA)	39	26	31	22
操作圧力(kg/cm²)	15	15	15	15
しゃ断時間(∾)	3	3	3	3
制御電圧(V)	DC 100	DC 100	DC 100	DC 100

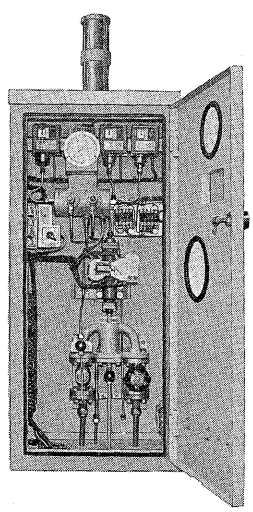
72/84kV 器で1時間弱)。

2.　新系列の概要

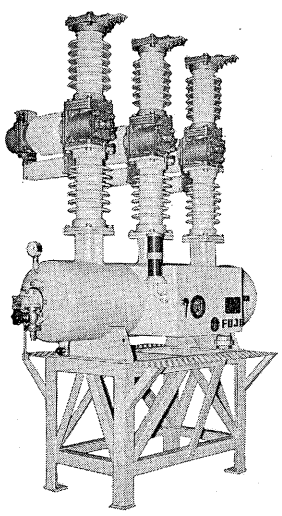
富士屋外用空気しゃ断器は，24，36kV にRF702形，72kV 以上にRF 720形およびRF 725形の3シリーズで構成されている．各形の概略の適用区分を第2表に示す。

1)　RF 702形シリーズ

このシリーズは，24，36kV 級のしゃ断器で，定格電流2,000A を標準としている．しゃ断部は，長年の運転実績をもつ屋内用RF 701形の構造を基礎とし，先に発表した大容量器のコンタクトを使用して，この種のしゃ断器では他に類を見ない，低抵抗なしで再起電圧II号を保証するしゃ断性能を有している．本体は，しゃ断部，断路部，非直線抵抗，操作機構，空気タンクにより構成され，操作機構は，RF 725形と同一品を使用している．24，84kV 器ではすべて同一の別置制御箱を使用している．別置制御箱の外観を第3図に，RF 702形空気しゃ断器の外観を第4図に示す。



第3図　別置制御箱 (24～84 kV)
Fig. 3.　Control box



第4図　24/36kV 1,500 MVA 2,000A 空気しゃ断器 (RF 702 j /30/2000D)
Fig. 4.　24/36 kV 1,500 MVA 2,000 A air-blast circuit breaker (type RF 702 j/30/2000 D)

2)　RF 720 形シリーズ

このシリーズは最大しゃ断電流 31kA　84kV ユニットを基準にシリーズ化されており，RF 720 形を基本として用途により三つの形に分類される。

(1)　RF 720 形

一般用で並列抵抗なし。

(2)　RF 721 形

励磁電流が大きい場合およびリアクトル開閉用に適用し，電流さい断による異常電圧抑制用の非直線抵抗とそのしゃ断部を有する。

(3)　RF 722 形

近距離線路故障（SLF）に対処するため，低抵抗およびそのしゃ断部を加えた線路用しゃ断器。

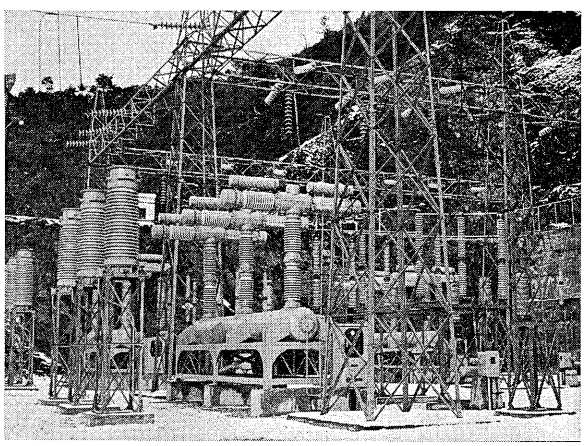
以上の分類の他に，汚損強度，定格電流によりさらに分類される．以上をまとめ第 3 表に示す。

第 5，6 図に各形の外観を示す。

第 3 表　RF 720 形シリーズ分類

Table 3.　Classification of RF 720 series

形　式	定標電流	汚　損	主　な　る　用　途
RF 720	2,000A	—	一　般　標　準
		耐 汚 損	一　般　汚　損
	3,000A	—	一　般　標　準
		耐 汚 損	一　般　汚　損
RF 721	2,000A	—	リアクトル開閉
		耐 汚 損	リアクトル開閉（汚損）
	3,000A	—	リアクトル開閉
		耐 汚 損	リアクトル開閉（汚損）
RF 722	2,000A	—	SLF
		耐 汚 損	SLF　（汚損）
	3,000A	—	SLF
		耐 汚 損	SLF　（汚損）



第 5 図　168kV 7,500MVA 2,000A 空気しゃ断器
（RF 720 J /140/2000D）

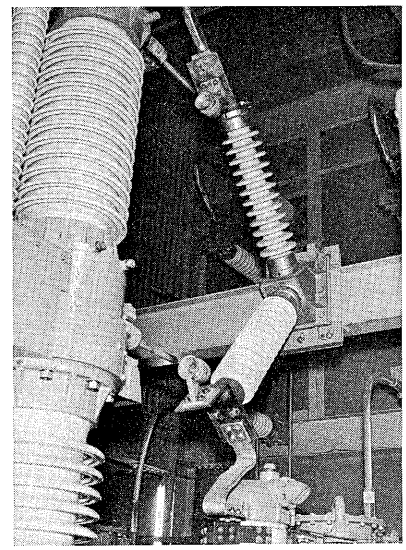
Fig. 5.　168 kV 7,500 MVA 2,000 A air-blast circuit breaker (type RF 720 J/140/2000 D)

第 4 表　形　式　の　説　明

Table 4.　Description of type-form letters

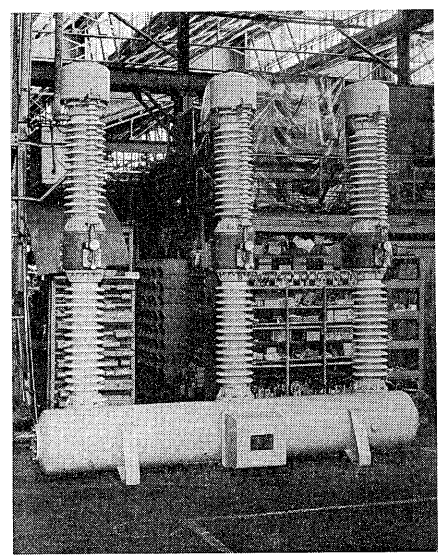
例 RF 720 C / 70 H / 2000 D

- D ；操作方式を示す文字（D 圧縮空気操作方式）
- 2000; 定格電流
- H ；耐汚損用の絶縁が施されていることを示す文字
- 70 ；定格電圧 $\times \frac{1}{1.2}$
- C ；定格しゃ断容量を示す文字
- 720 ；空気しゃ断器は 700 台の数字を使用し，形の類別を示す
- RF; 接頭記号



第 6 図　引出形の断路部（RF 720 C/70/2000D）

Fig. 6.　Disconnecting switch of draw-out type (type RF 720 C/70/2000 D)



第 7 図　72/84kV 2,500MVA 1,200A 空気しゃ断器
（RF 725 B/70/1200D）

Fig. 7.　72/84 kV 2,500 MVA 1,200 A air-blast circuit breaker (type RF 725 B/70/1200 D)

第5表 屋外用空気しゃ断器定格一覧表

Table 5. Table of ratings and specifications

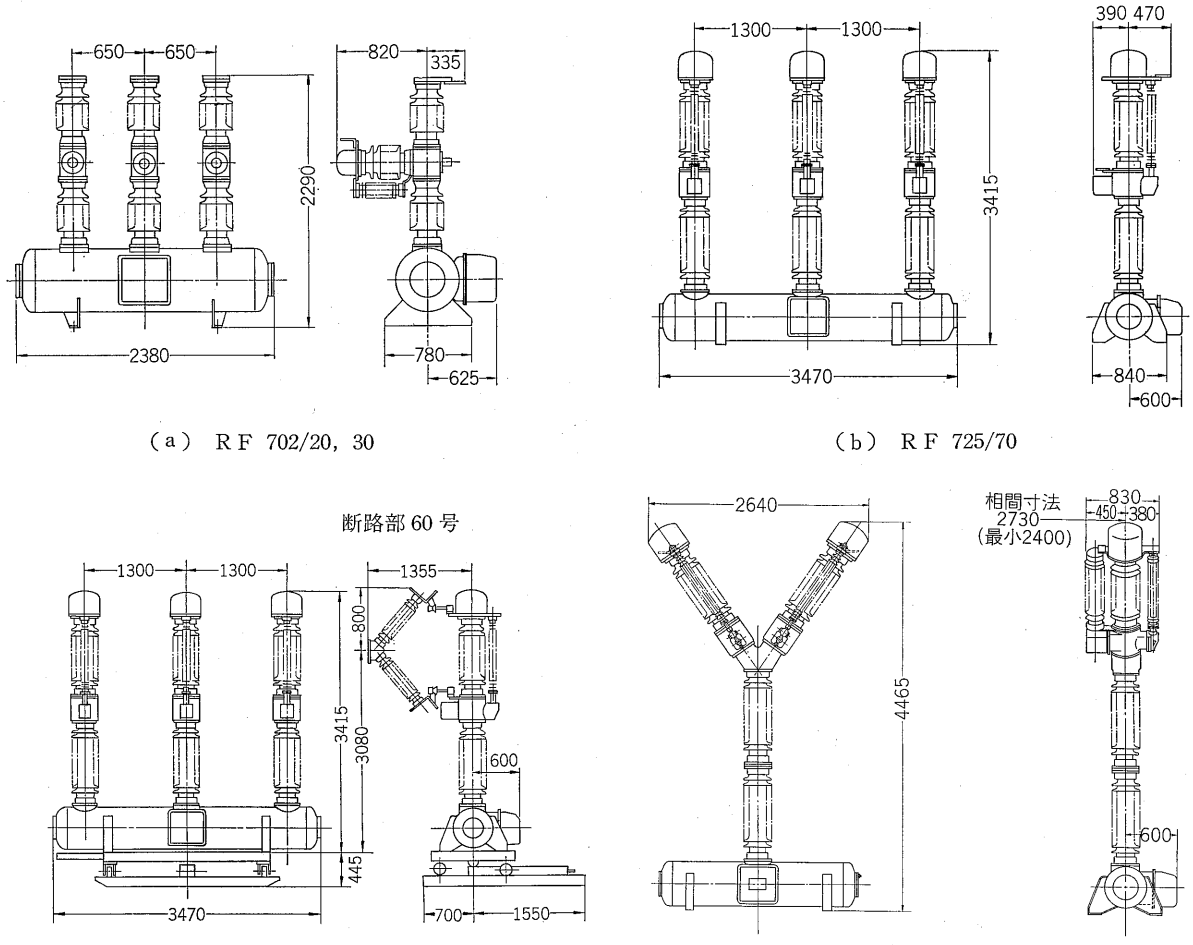
用途		形式	定格 電圧 kV	定格 電流 A	定格 しゃ断容量 MVA	定格 絶縁階級号	定格 再起電圧号 kHz	定格 短時間電流 kA	定格 投入電流 kA	定格 しゃ断時間 ～	定格 開極時間 s	無負荷投入時間 s	動作責務	再投入時間 s	空気タンク容量 ℓ	空気消費量(圧算)(大気換) ℓ 投入	空気消費量(圧算)(大気換) ℓ 引はずし	制御電流 A DC 100V 投入	制御電流 A DC 100V 引はずし	定格操作圧力 (kg/cm²)	重量(本体) kg	汚損保証値 mg/cm²
標準形		RF702j/20/2000D	24	2,000	1,500	30	II 9	36.1	98.5	3	0.03	0.10	甲	—	520	60	1,100	5	5	15	1,100	0.12
		RF702j/30/2000D	36		1,500		II 7	24.1	65.5					—	520	60	900				1,100	0.03
標準形（中容量）	汚損用	RF725 B/70/1200D	72	1,200	2,500	70	I 0.9	20.0	54.8	3	0.04	0.15	甲	—	660	50	1,200	5	5	15	1,600	0.05
			84				I 0.8	17.2	46.8													0.03
		RF725 G/140/1200 D	120		3,500	140	I 0.6	16.8	46.0				甲・再投入	0.25	1,300	100	2,400				3,600	0.03
		RF725 G/140/1200 D	168		5,000	140	I 0.5	17.2	46.8						1,300	100	2,400				3,800	0.03
		RF725 G/140/1200 D	204		7,500	140	I 0.45	21.3	57.8						1,300	100	2,400				3,800	0.03
標準形（大容量）		RF720 C/70/2000D	72	2,000 3,000	3,500	70	I 0.9	28.1	76.5	3	0.04	1.17	甲	—	1,200	135	1,950	5	5	15	2,700	—
			84			70	I 0.8	24.1	65.5													
	汚損用	RF720C/70H/2000D	72			70	I 0.9	28.1	76.5													0.03
			84			70	I 0.8	24.1	65.5													0.02
		RF720G/100/2000D	120		5,000	100	I 0.6	24.1	65.5				甲・再投入	0.25	2,300	430	4,000				5,200	—
	汚損用	RF720G/100H/2000D	120			100																0.03
		RF720J/140X/2000D	168		7,500	140	I 0.5	25.8	70.3						2,600	430	4,000				5,800	—
	汚損用	RF720J/140H/2000D	168			140																0.02
		RF720J/140/2000D	204		10,000	140	I 0.45	28.3	77.2						2,600	430	4,000				5,800	—
	汚損用	RF720J/140H/2000D	204			140																0.02
リアクトル開閉用	標準	RF721C/70/2000D	72	2,000 3,000	3,500	70	I 0.9	28.1	76.5	3	0.04	0.17	甲	—	1,200	185	2,000	5	5	15	3,000	—
			84			70	I 0.8	24.1	65.5													
	汚損用	RF721C/70H/2000D	72			70	I 0.9	28.1	76.5													0.03
			84			70	I 0.8	24.1	65.5													0.02
近距離故障用	標準	RF722C/70/2000D	72			70	I 0.9	28.1	76.5													—
			84			70	I 0.8	24.1	65.5													
	汚損用	RF722C/70H/2000D	72			70	I 0.9	28.1	76.5													0.03
			84			70	I 0.8	24.1	65.5													0.02
	標準	RF722G/100/2000D	120		5,000	100	I 0.6	24.1	65.5				甲・再投入	0.25	2,300	480	4,050				5,800	—
	汚損用	RF722G/100H/2000D	120			100																0.03
	標準	RF722J/140/2000D	168		7,500	140	I 0.5	25.8	70.3						2,600	480	4,050				6,400	—
	汚損用	RF722J/140H/2000D	168			140																0.02
	標準	RF722J/140/2000D	204		10,000	140	I 0.45	28.3	77.2						2,600	480	4,050				6,400	—
	汚損用	RF722J/140H/2000D	204			140																0.01

3）　RF 725 形シリーズ

RF 725 形シリーズは最大しゃ断電流 22kA　84kV ユニットを基本にしてシリーズ化されている．定格電流は 1,200A で，がい管は耐汚損用として，0.05 mg/cm² (69kV) に耐えるものを採用した．本形は RF720 形と本質的にはなんら変るところはないが，しゃ断容量および定格電流を小さくしたもので，それにより軽量，小形となっているため取扱はきわめて簡単である．RF 720 形同様，72/84kV 器は引出形が可能である．72/84kV 器の外観を第 7 図に示す．120kV 以上は，2 点のユニットをY形にシリーズ接続することにより構成され，空気タンクは各相別となる。

3．新系列の定格一覧

各形のしゃ断器の形式の呼称および定格を第 4，5 表に示す．また，第 8 図に RF 702 形と RF 725 形の外形寸法を示す．なお，RF 720 形については別掲のものを参照されたい．各標準形しゃ断器の電圧，しゃ断容量別による適用を第 6 表に示す。



（a）　RF 702/20, 30　　（b）　RF 725/70

（c）　RF 725/70 引出形　　（d）　RF 725/140

第 8 図　外形寸法（RF 725, 702）

Fig. 8.　Outline (RF 725, 702)

第 6 表　屋外用空気しゃ断器適用表（標準形）

Table 6.　Application of air-blast circuit breaker (standard type)

定格しゃ断容量(MVA) ＼ 定格電圧〔kV〕	24	36	72	84	120	168	204
1,500	RF702 j /20	RF702 j /30					
2,500			RF725B/70	RF725B/70			
3,500			RF720C/70	RF720C/70	RF725G/140		
5,000					RF720G/100	RF725G/140	
7,500						RF720 J /140	RF725G/140
10,000							RF720 J /140

III. RF 725 形空気しゃ断器

1. 定　　格

定格は第5表を参照されたい。

2. 構　　造

RF 725形屋外用空気しゃ断器は，72～204kVのしゃ断器を84kV ユニットにて構成している。

1) 72/84kV

1相1点切であり，一つのタンク上に3相直立している．操作弁は3相で1個，また，手動操作器，空気タンクへの給気用止弁，エアフィルタなどは別置の箱に収納し，これは空気しゃ断器本体とは別に，付近に設置する。

2) 120kV，168kV，204kV

1相2点切であり，一つのタンク上にY形の各相が立っている．操作弁は各相別個に設けており，単相再閉路も行なえる．別置箱については，72/84kV 器と同様である。

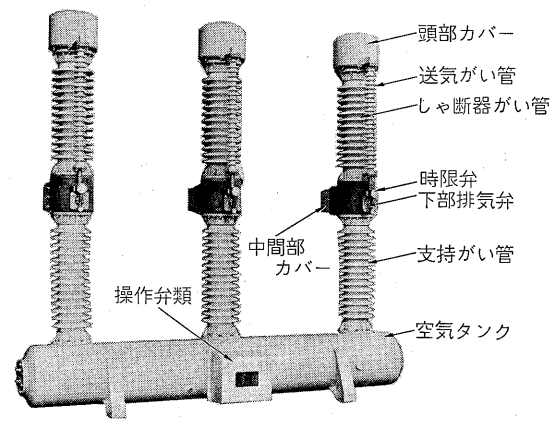
これら部品の基本的な組合わせを第7表に示す．図より明らかなように，84kV ユニットと操作弁類に，数点の部品を加えることにより，120kV以上のしゃ断器を組立てることができるので，完全なる部品の互換性を有する．直列2点以上の場合には，電圧を各ユニットに平均して分担させるよう，分圧コンデンサが各しゃ断部に平行して取付けてある．第9図に 72/84kV の外観，第10，11図に断面説明図を示す．構造の詳細を図によって説明すると，大地電位に空気タンクと操作弁，ロック弁，投入弁，電磁弁があり，その上に支持がい管があり，内部には操作空気の送排気用の絶縁管が立っており，その上に中間機構――しゃ断電極およびこれの駆動装置，下部排気弁，排気弁の動きを電極の動きに対し，ある時限をもって行なわせるための時限弁，その他エアリングバルブなどがある．その上にしゃ断室がい管と送気がい管，最上部は頭部機構と称し，固定コンタクトと上部排気弁がある。

第7表　RF725 形空気しゃ断器の基本構成

Table 7. Basic constitution of RF 725 air-blast circuit breakers

電圧 (kV)	72/84	120	168/204
構　成			
しゃ断点数/相	1	2	2
支持がい管数/相	1	2	2
空気タンク数/相	1	1	1

注：(1) 72/84KV器 空気タンクは三相で1個



第9図　RF725B/70/1200D 空気しゃ断器

Fig. 9. RF 725B/70/1200 D air-blast circuit breaker

3. 動　　作

1) しゃ　断

第 10 図において

① 引はずし電磁励磁

② Ⓐ部に圧縮空気（以下空気と称す）が入り，引はずし弁が左方に動作。

③ 空気タンクの空気がⒹ，ⒺをへてⒻ部に入り，しゃ断電極ピストンを押し下げる。

④ コンタクトが開極し，ノズルパッキンのシールが解かれ，コンタクト間に吹付空気が流れてアークを消弧する。

⑤ 一方，Ⓓ，Ⓔをへた空気はⒼにもまわり，時限弁が右方に動作。

⑥ 空気圧がⒽ，Ⓙ，Ⓚおよび Ⓘにまわり，上部排気弁，下部排気弁を動作させ，コンタクトからの排気をとめる。

⑦ 一方，Ⓛ部にも空気が入り，ロック弁を右方に動作させ投入準備完了。

2) 投　　入

第 11 図において

① 投入電磁弁励磁

② Ⓒ部に空気が入り，排気弁が左方に動作。

③ Ⓐ，Ⓑ部の空気が大気に抜けて引はずし弁が右方にもどる。

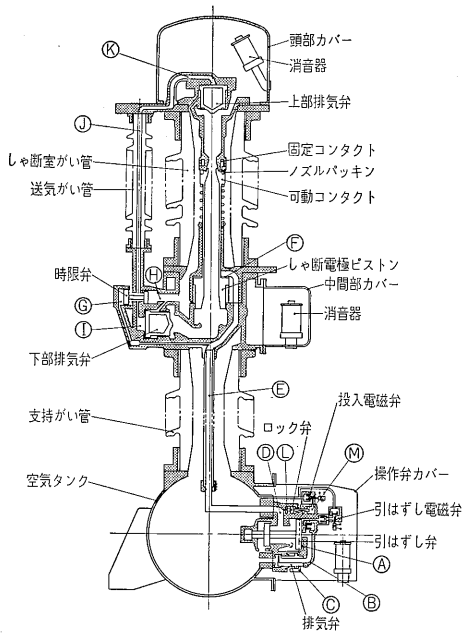
④ Ⓕ部の空気がⒺ，Ⓓをへて大気に抜ける。

⑤ しゃ断電極が上方にもどり投入。

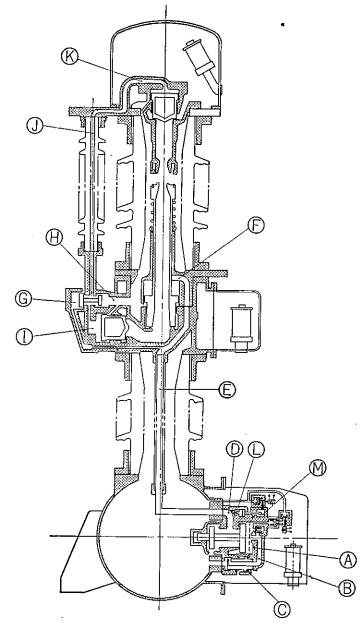
⑥ Ⓖ部の空気が抜け，時限弁が左方に動作。

⑦ Ⓘ，Ⓙ，Ⓚの空気が大気に抜け，下部排気弁および上部排気弁が左方，上方にもどり，通電筒内部の空気を大気へ抜く。

⑧ 一方，Ⓛ部の空気も抜け，ロック弁が左方にもどり，Ⓒ部の空気が大気に抜ける。



第 10 図　断面説明図（投入状態）
Fig. 10.　Schematic diagram (closed position)



第 11 図　断面説明図（しゃ断状態）
Fig. 11.　Schematic diagram (opened position)

⑨　排気弁が右方にもどり，空気タンクの空気がⒷ内に入りしゃ断準備完了。

3)　引はずし自由

投入信号が出ている間に，リレー回路から引はずし信号が入ってくると，しゃ断器は一度完全に投入してから（引はずし信号回路には補助開閉器の a 接点が直列に入っているゆえ），しゃ断動作を行ない，この位置に止る．しゃ断後もなお投入信号が引続いて出ている間は投入をしない．一度，投入信号を切って再び入れてやると初めて投入する。

このロック操作は，空気的にはロック弁で行なう．すなわち，しゃ断後も投入信号が引続いて出ている間は，ロック弁弁体はⓁ側とⓂ側の空気による押し合いとなるが，この場合受圧面積の関係で弁体は上方にセットされて動かないので，投入信号はⒸ側へは到達せず，したがって投入は引続いて行なわれない．再び投入するには，一度投入電磁弁の励磁を止め，Ⓜを大気圧とし，ロック弁弁体を下方へ下げて，Ⓜ，Ⓒを連通させてから，再び励磁すると投入ができる。

4. 試　験　結　果

試験は，84kV ユニットで JEC 145 および電力用規格B 112にしたがい参考試験も含め各種試験を実施した．以下主なるものを記す。

1)　温　度　試　験

標準とする定格電流は 1,200A であるが，試験結果によれば1,600A まで通電可能である．試験はしゃ断試験前コンタクトとしゃ断試験後のコンタクトを三相連続開閉後試験したもので，しゃ断試験後のコンタクトでも1,600A まで JEC 規格値内に納まっている．1,200A，1,600A，60Hz の試験を行なったので結果を第 12 図に示す。

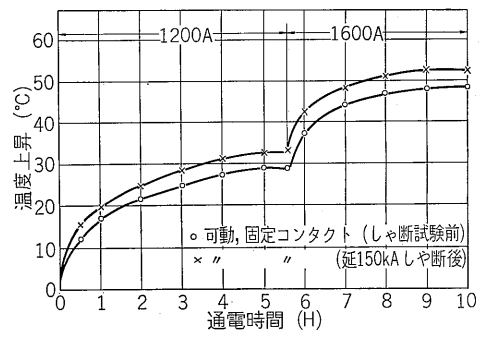
2)　しゃ断試験

(1)　短絡電流しゃ断試験

社内 1,500MVA短絡試験設備により，30, 60, 110% 短絡電流をしゃ断した．試験は Weil 等価試験法により行なった．結果を第 8 表に示す．再起電圧については IEC(案) は JEC 145 I 号に比べ過酷である．今回の試験は IEC（案）を考慮して行なった．IEC（案）と JEC 145 の比較を第 9 表に示す．（なお，IEC規格は現在審議中で最終決定をみていない)。

(2)　特殊条件しゃ断試験

異相地絡しゃ断，脱調しゃ断，近距離線路故障しゃ断を社内 Weil 等価試験法で行なった．脱調しゃ断は50% I，2.0E と 25% I，2.5E（IEC 案）の組合わせにより行なったが問題なくしゃ断した．参考までに近距離線路故障はしゃ断点にサージインピーダンスと同程度の



第 12 図　温度試験結果
Fig. 12.　Results of current carrying test

第8表 Weil 回路短絡試験結果

Table 8. Synthetic tests results by Weil-circuit

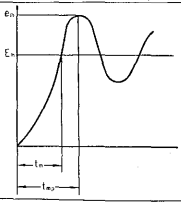
試験種類	動作責務	試験電圧 (kV)	しゃ断電流 (kA) 目標値	しゃ断電流 (kA) 実施値 対称分	しゃ断電流 (kA) 実施値 直流分 (%)	投入電流 (kA) 目標値	投入電流 (kA) 実施値	アーク時間 ~	再起電圧 周波数 (kHz) 目標値	再起電圧 周波数 (kHz) 実施値	再起電圧 波高値 (kVp) 目標値	再起電圧 波高値 (kVp) 実施値	再起電圧 上昇率 V/μs 目標値	再起電圧 上昇率 V/μs 実施値	操作圧力 (kg/cm²g)
短絡試験	30% "O"	92	6.0	6.1	17	—	—	0.51	4	13.9	134	169	1,070	4,700	15.0
		87		6.2	11	—	—	0.50		13.9		159		4,420	
		90		6.1	10	—	—	0.50		13.9		166		4,610	
	60% "O"	89	12.0	12.8	6	—	—	0.47	2.93	6.25	134	163	785	2,040	12.7
		90		12.6	13	—	—	0.51		6.25		165		2,060	
		90		13.0	45	—	—	0.54		6.25		165		2,060	
	110% "O"	74	21.9	21.8	9	—	—	0.53	0.8	2.34	134	137	214	640	12.7
		78		21.2	22	—	—	0.55		2.34		143		667	
		74		21.1	26	—	—	0.55		2.34		137		640	
脱調しゃ断試験	50% "O"	100	10.0	10.5	3	—	—	0.45	0.8	1.67	178	185	285	617	12.7
		99		10.4	11	—	—	0.47		1.67		182		607	
	25% "O"	109	5.0	10.4	1	—	—	0.49		1.67	191	200	306	667	
		109		10.5	6	—	—	0.47		1.67		200		667	
異相地絡試験	87% "O"	87	17.4	17.5	23	—	—	0.54	0.8	1.39	154	160	246	444	12.7
		90		17.7	2	—	—	0.51		1.39		165		458	
低減電圧実負荷試験	110% 0-1M-CO-3M-CO	20	21.9	22.0		55.0	60.0	0.5	—	10	—	31.4	—	0.437	12.7

注 (1) しゃ断電流値は，72 kV 2,500 MVA，試験電圧は 84 kV を考慮した．すなわち 72/84kV 2,500 MVA 両者の定格を満足するよう試験条件を決めた。

(2) 規格 JEC-145，B-112 準拠

第9表 IEC（案）とJEC145 の短絡試験条件の比較

Table 9. Conditions of short-circuit-current breaking tests of IEC (S 76) and JEC 145

	IEC〔17A(S)76〕72.5kV定格 規格値	IEC〔17A(S)76〕72.5kV定格 実施値	JEC 145 84kV定格
基準回復電圧 $\frac{E_m}{\sqrt{2}}$(kV)	$72.5\times\frac{\sqrt{3}}{2}$ =63kV	73kV	$84\times\frac{\sqrt{3}}{2}$= 72.8kV
波高値 e_m(kV)	125kV	137kV	$72.8\times0.9\times\sqrt{2}\times1.3$= 121kV
r.r.r.v(V/μs)	$\frac{E_m}{t_m}$=745V/μs	836 V/μs	$\frac{e_m}{t_{mp}}$=214 V/sμ
f (kHz)	$\left(\frac{1}{2\,t_{mp}}=2.38\text{KHz}\right)$	(2.34KHz)	$\frac{1}{2\,t_{mp}}$=0.8kHz
基本波			

直線抵抗を入れることにより異常なくしゃ断できた．結果を第8表に示す。

(3) 小電流しゃ断試験

充電電流，励磁電流しゃ断試験を行なった．いずれも問題なく，結果を第 10 表に示す．励磁電流は7.5A を変圧器励磁電流で，15.8A を L に並列に $0.7\sqrt{L/C}$ の

第 10 表 小電流しゃ断試験結果

Table 10. Results of interrupting small inductive and capacitor current

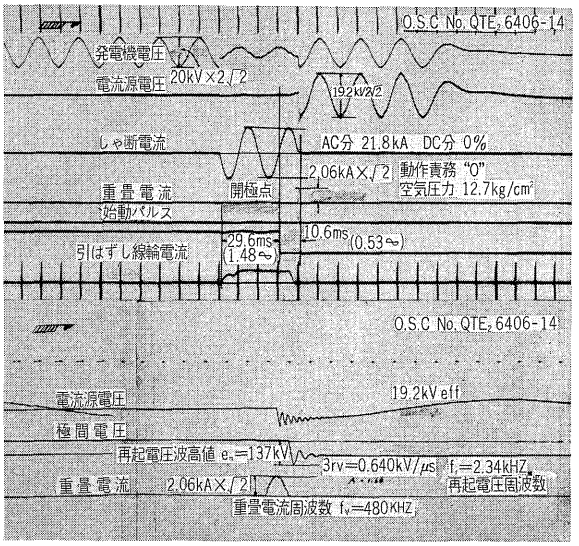
試験種類	試験電圧 kV	しゃ断電流 A	再点弧回数 回	再発弧回数 回	試験回数 回	しゃ断時の過電圧倍数	圧力 kg/cm²	備考
励磁電流	73	7.5	0	0	12	1.5 以下	16.5	開極位相をπ/6間隔で位相制御
	73	15.8	0	0	12	2.0 以下		
充電電流	63	10	0	0	12	1.3 以下	12.7	

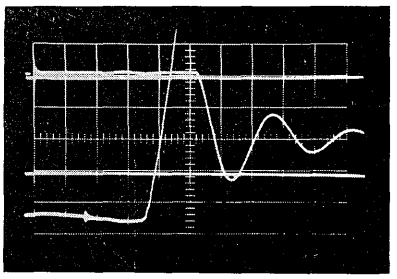
注：過電圧倍数は試験電圧波高値に対する倍数で表示。

抵抗を入れた電気学会推奨案の等価回路により行ない，いずれも過電圧倍数 1.0～2.0 倍程度である。

3) 騒音測定

最近ABBの操作音が問題になり多くの低騒音形が発表されている．RF 725 形空気しゃ断器は特殊な消音器は備えていないが従来にくらべかなり低くなっている．短絡電流しゃ断時でも 10m 距離において約2ホン程度無負荷時より上昇するにすぎなかった．工場内における測定結果を第 16 図に示す．当社の各種しゃ断器の納入場所における騒音測定によれば，工場内における測定に対して，屋外据付で約4～6ホン，屋内据付で建屋（鉄板構造）より1mのところで測定し約 17 ホンの低下が認められた．これらの結果よりRF 725 形においても，

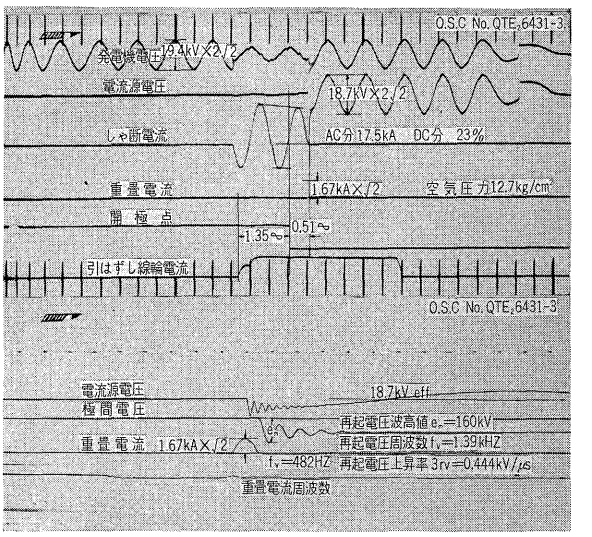


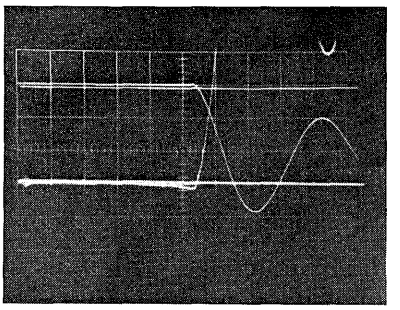


$f=2.34\text{kHz}$
$e_m=137\text{kV}$
$3rv=640\ \text{V}/\mu\text{s}$

第 13 図　110%短絡しゃ断試験オシロ (72/84kV)

Fig. 13. Oscillograms of 110% interrupting tests (72/84 kV)

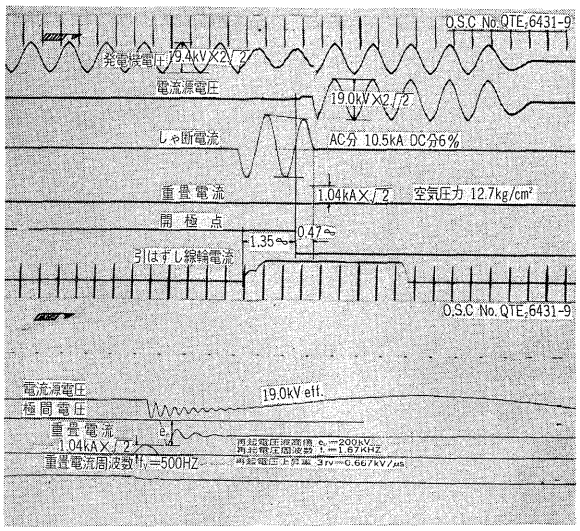


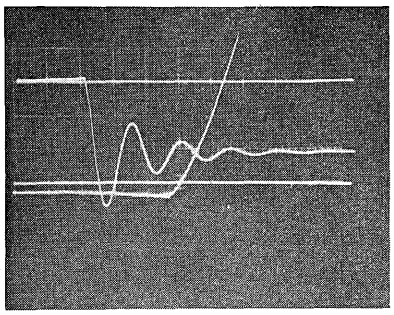


$f_r=1.39\text{kHz}$
$e_m=160\text{kV}$
$3rv=444\ \text{V}/\mu\text{s}$

第 15 図　異相地絡しゃ断試験オシロ (72/84kV)

Fig. 15. Oscillograms of double phase-to-ground faults (72/84kV)

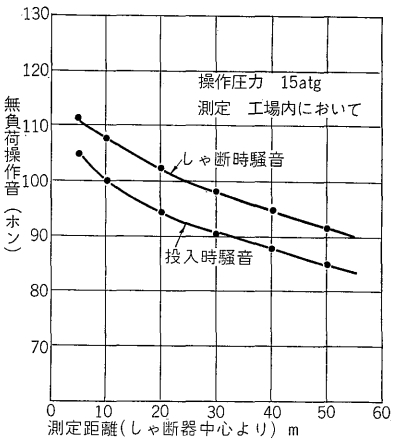




$f_r=1.67\text{kHz}$
$e_m=200\text{kV}$
$3rv=667\ \text{V}/\mu\text{s}$

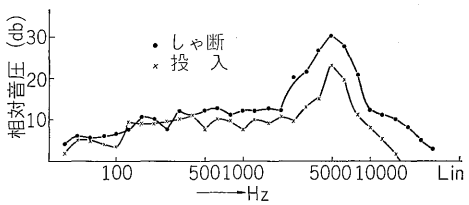
第 14 図　脱調しゃ断試験オシロ (72/84kV)

Fig. 14. Oscillograms of out-of phase breaking (72/84 kV)



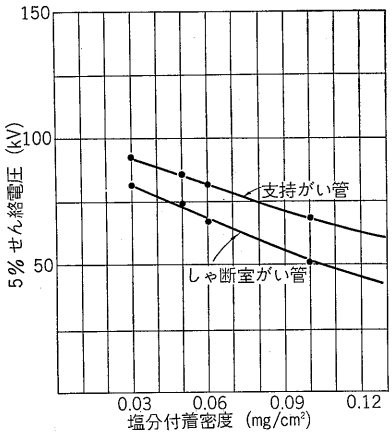
第 16 図　騒音特性 (72/84kV)

Fig. 16. Characteristics of operating noise (72/84 kV)



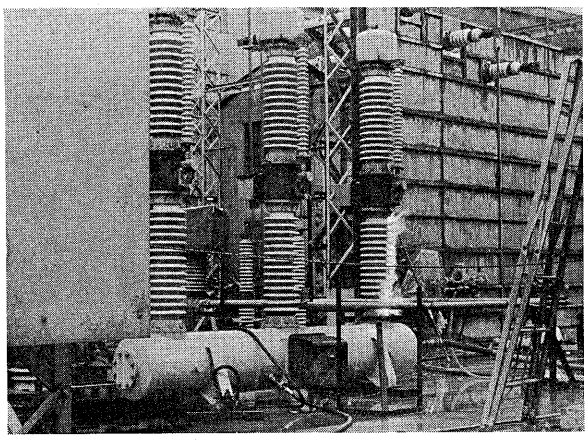
第 17 図　騒音の周波数特性 (72/84kV)

Fig. 17. Frequency analysis of operating noise (72/84 kV)



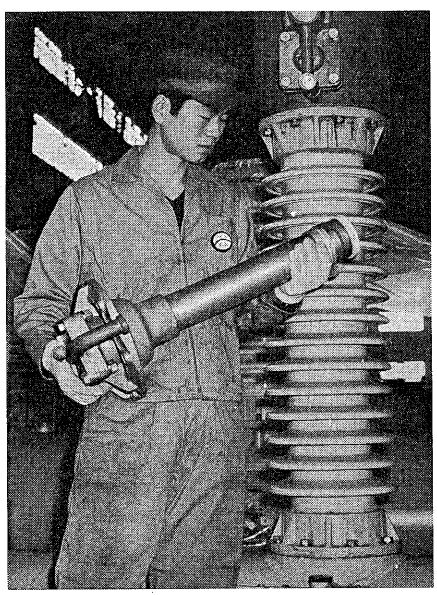
第 18 図　汚損試験結果

Fig. 18.　Contamination test result



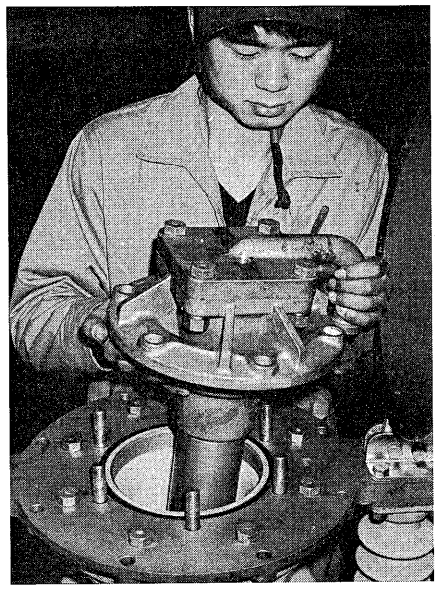
第 19 図　汚損試験状況

Fig. 19.　Flash-over testing of salt contaminated insulators



第 20 図　頭部機構（重量 12kg）

Fig. 20.　Head part mechanism (weight 12 kg)



第 21 図　72/84kV コンタクト点検作業（72/84kV）

Fig. 21.　Contact overhauling (72/84kV)

現地据付場所では第 16 図の値より数ホンの低下が期待できる．周波数特性を第 17 図に示すが，図から明らかなように 5,000Hz 付近にピークがあるので，この周波数の音を減音すればかなりの低騒音になるものと思われる．現在試験を続行中である。

4)　汚　　損

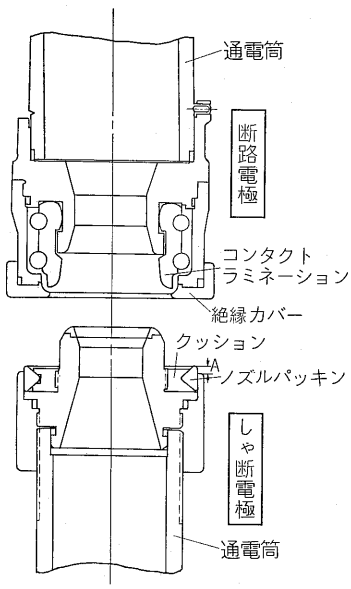
近年騒音とともに汚損も重要視されるようになってきた．RF 725 形は耐汚損形として下ひだつきがい管を採用した．等価霧中試験法による結果を第 18，19 図に示す。

5)　コンタクト点検時間の測定

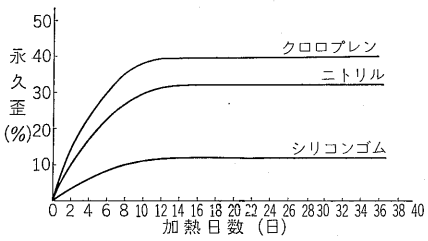
第 20 図に示すように頭部機構が重量 12kg と人力でも充分もてるので，足場組立，頭部機構分解点検，可動コンタクト分解点検の 1 台分の合計時間は一人で約 1.5 時間あれば充分である．第 21 図に作業を示す。

6)　ノズルパッキンの変形と寿命

ノズルパッキンが延 190kA しゃ断後もわずかの消耗でまだ充分使用に耐えることはすでに報告ずみであるが，今回劣化と永久変形につき試験を行なったので報告する．試験は，第 22 図の断路電極としゃ断電極を投入状態で固定し，恒温槽に入れて加熱して劣化を促進しながら，永久変形量を測定した．試料のノズルパッキンとしては，標準品のシリコンゴムのものと，比較のため富士標準のニトリルゴム（耐熱配合），クロロプレンゴム（耐熱配合）の 3 種で行なった．温度は 95°±1℃，期間は 34 日間，変形率としては図の A 寸法をとって，A－A′/A×100 とした（A：最初の寸法　A′：試験中の各時点で測定した寸法)。

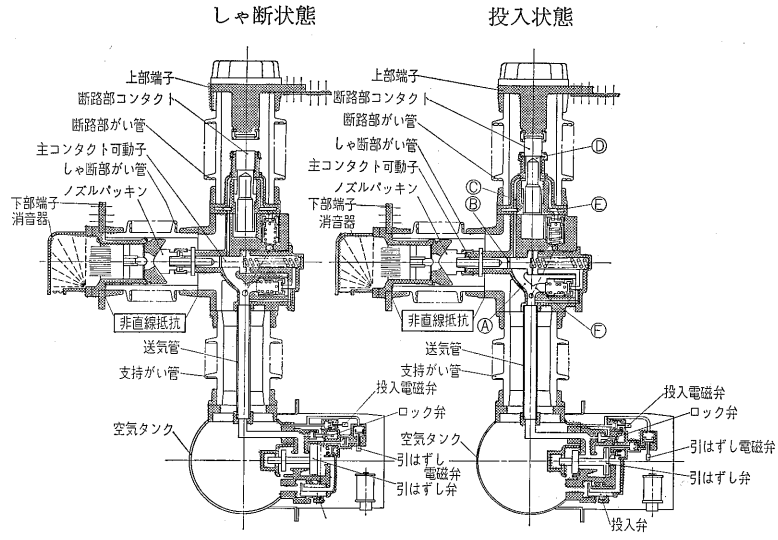


第 22 図　ノズルパッキン試験装置
Fig. 22.　Testing equipment of nozzle packing



第 23 図　ノズルパッキン試験結果 (加熱状態)
Fig. 23.　Deformation of nozzle packing (heating condition)

結果を第 23 図に示す．求久変形量は 16 日間で飽和し，その後は増加していない．3 種類のゴムのうちシリコンゴムの変形量が最も少なく，その値はたわみ代の約 10% で使用上問題とならないことは容易に首肯できよう．なお試験後 3 種類のパッキンにて空気もれ試験を行なったがいずれも，もれは発生しなかった。



第 24 図　断 面 説 明 図
Fig. 24.　Schematic diagram

IV. RF 702 形空気しゃ断器

標準器の 24/36 kV　1,500 MVA　2,000A，三相器に加えて国鉄き電用として，24kV，290MVA，600A の単相器の開発を完了した．さらに海外受注品として，23kV　2,000MVA (非対称),4,000A　の大電流器および，14.4 kV　1,500 MVA　4,000 A　(しゃ断電流 72kA) の大容量器を十数台目下製作中である．第 11 表に特殊品の定格を示す．標準器および単相器に関しては短絡試験，温度試験，耐圧試験などの社内形式試験を終了した．以下に，本器の構造，動作，外形，試験結果などの概略を述べる。

1. 構　　造

標準器の外形および寸法を第 4 図に，内部構造を第24図に示す．本体は一般に架台上に設置されるが，直置も可能である．以下主要部分の構成および用途を述べる。

第 11 表　RF 702 特殊品定格一覧表
Table 11.　Table of ratings and specifications of RF 702 except the standard

規格	形式	定格 電圧 kV	電流 A	しゃ断容量 MVA	絶縁階級号	再起電圧 号 kHz	短時間電流 kA	投入電流 kA	しゃ断時間 ∼	開極時間 s	無負荷投入時間 s	動作責務	再投入間時 s	空気タンク容量 ℓ	空気消費量 (大気圧換算) ℓ 投入	引はずし	制御電流 A DC 100V 投入	引きはずし	定格操作圧力 (kg/cm²)	重量 (本体) kg	汚損保証値 mg/cm²
JEC	RF702d^{I}/20/1200D	24	600	290	20A	II 15	12	32.8	3	0.03	0.1	再投入	0.5	180	20	275	5	5	15	600	0.06
ASA	RF702 j/30/4000D	23	4,000	2,000 (Asy)	200 kV	—	52.5	80	3	0.03	0.1	再投入	0.3	520	60	1,100	5	5	15	1,500	0.06
ASA	RF703 j/12/4000D	14.4	4,000	1,500	150 kV	—	72	115	3	0.03	0.1	乙	—	760	60	1,430	5	5	15	1,500	0.06

1) 空気タンク

定格圧力 15 kg/cm²•g よりCO動作2回可能な容量の圧縮空気を貯えている。

2) 操作機構

操作機構は引はずし弁，ロック弁，投入弁，引はずし電磁弁，投入電磁弁により構成され，全体をコンパクトにまとめた分解点検の容易な構造となっている．なお各弁の用途に関してはRF 725と同一操作機構であるのでⅢ．を参照されたい。

3) 支持がい管

大地と充電部の絶縁を行なう。

4) しゃ断部

コンタクトの点検を容易にするため，しゃ断部は水平配置にしてある．内部にノズルパッキン方式のコンタクトを有し，電流のしゃ断を行なう。

5) 異常電圧抑制用抵抗

非直線特性を有する抵抗で，遅れ小電流しゃ断時の異常電圧抑制用として，しゃ断部と並列に水平に配置される。

6) 断路部

回路の絶縁保持および投入を行なう．なお圧縮空気中断路のため，開極距離はわずかですみ，投入時の先駆放電によるコンタクトの損耗も軽微である。

2. 動作

操作機構についてはⅢ．とまったく同一である。

1) しゃ断

操作機構より送られた圧縮空気は，しゃ断部のピストンを駆動し開極を行なう．ここにノズルパッキンにより押えられていた圧縮空気は，その圧力を100%利用して吹付を行ないアークが消弧される．一方，しゃ断部ピストンの動作により空気通路Ⓑと©が一致し，圧縮空気はこの間をとおって断路部のピストンを駆動し，しゃ断部がアーク消弧後，非直線抵抗電流をしゃ断して断路する．また通路Ⓕをとおった圧縮空気は，時限装置をとおってしゃ断部ピストンの裏側に入り，両者の押圧力が一致した時点でスプリング力により再閉極し，ノズルパッキンにより再びノズル内外を空気的に分離する．ここにしゃ断は完了する。

2) 投入

操作機構の動作により，制御空気はすべて大気へ排気され，断路部ピストンは下側からの加圧により投入が行なわれる．投入時にしゃ断部はまったく動作しない。

3) 引はずし自由

空気的にロック弁で，電気的には電磁接触器で行なわれる．内容についてはⅢ．を参照されたい。

3. 試験結果

電力用規格 B-112 規定の形式試験および参考試験をすべて問題なく終了した．ここに二，三の代表的な試験について結果の概要を述べる。

1) 短絡試験

試験は社内1,500MVA短絡試験設備により

(1) 24kV 1,500MVA 再起電圧周波数 9kHz，単相 実負荷，動作責務 O−1分−CO−3分−CO

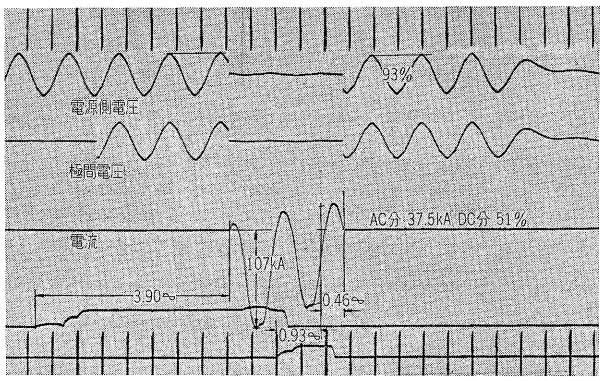
(2) 36kV 1,500MV 再起電圧周波数 7kHz，Weil 法 等価試験

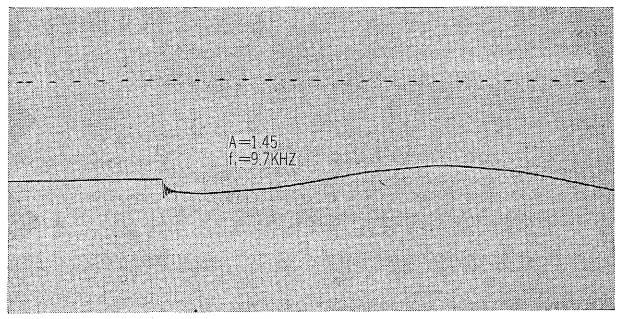
で行ない，いずれも満足できる結果を得た．第 25 図に試験結果の一例を示す。

なお，国鉄き電用の定格として 24kV 290MVA(単相)，再起電圧周波数 15kHz，動作責務O−0.5秒−CO−1分−CO，実負荷，の条件で行なった．試験結果を第26図に示す．国鉄き電用器と標準器とは，しゃ断部のコンタクト構造が一部異なるのみで他の構造はまったく同一である。

2) 温度試験

24kV 1,500MVA の短絡試験終了後のコンタクトを使用して，定格電流 2,000A の温度試験を行なった．

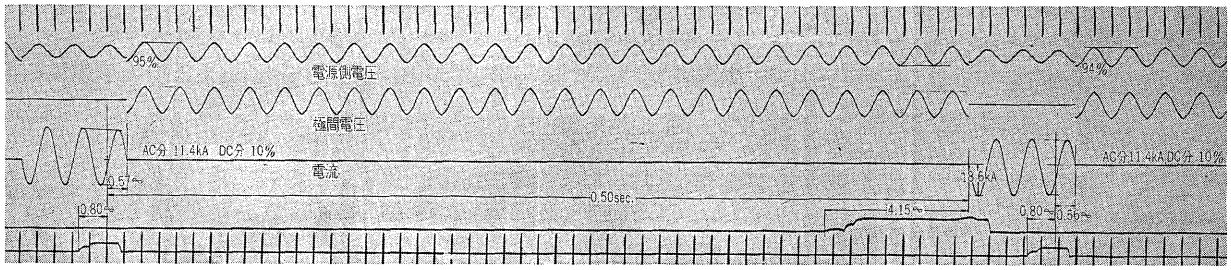


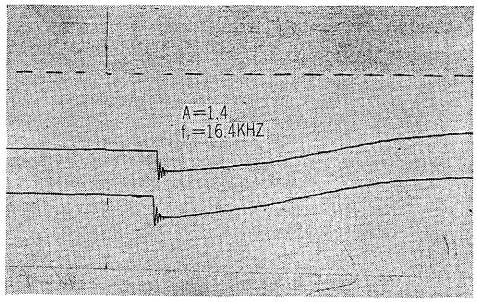


オシロ番号	試験電圧 (kV)	投入電流 (kA)	しゃ断電流 AC分 (kA)	しゃ断電流 DC分 (%)	アーク時間 (~)	開極時間 (~)	全しゃ断時間 (~)	再起電圧周波数 (kHz)	振幅率	回復電圧 (%)	動作責務
16	20.6	107	37.5	51	0.46	0.93	1.39	9.7	1.45	93	CO

第 25 図 実負荷短絡試験オシログラム (RF702 形)

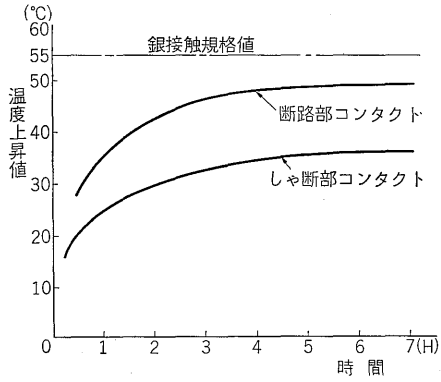
Fig. 25. Oscillograms of short-circuit interrupting tests (type RF 702)



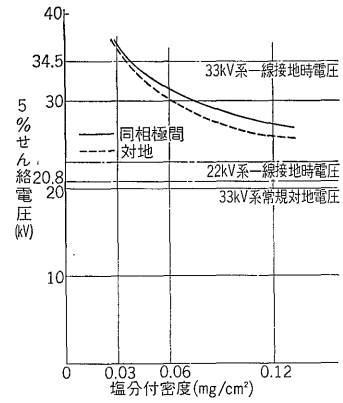


オシロ番号	試験電圧 (kV)	投入電流 (kA)	しゃ断電流 AC分 (kA)	しゃ断電流 DC分 (%)	アーク時間 (≈)	開極時間 (≈)	全しゃ断時間 (≈)	再起電圧周波数 (kHz)	振幅率	回復電圧 (%)	動作責務
8	20.7	—	11.4	10	0.50	0.80	1.30	16.4	1.4	89	O-0.5 s-CO
8	20.7	18.6	11.4	10	0.56	0.80	1.36	16.4	1.4	88	

第 26 図　実負荷短絡試験オシログラム（RF 702形単相器）
Fig. 26. Oscillograms of short-circuit interrupting tests (Type RF 702 Single pole)



第 27 図　温度試験結果（短絡試験後）
Fig. 27. Results of current carrying test (after short-circuit interrupting tests)



第 28 図　汚損試験結果
Fig. 28. Contamination test result

通電路中最も温度上昇の高い断路部コンタクトおよびしゃ断部コンタクトについて，温度上昇曲線を第 27 図に示す。

3) 汚　損　試　験

社内短絡試験設備および能美防災㈱の注水設備により汚損試験を行なった．第 28 図にその結果を示す。

4) 小電流しゃ断試験

RF 702 形空気しゃ断器のしゃ断部および断路部は，屋内用RF 701 形空気しゃ断器とまったく同一機構となっているので，RF 701 形の試験成績がそのまま採用できる。

RF 701 形においては，進み小電流 47.5A (36kV)，52.5A (24kV)，しゃ断で過電圧倍数 1.7 以下，遅れ小電流 7 A (36kV)，13.2 A (24kV) しゃ断で過電倍数 1.8 以下である。

V. む　す　び

RF 725 形と RF 702 形屋外用空気しゃ断器の概要と，当社の屋外用空気しゃ断器の全シリーズを紹介した．しゃ断器の実用性能の向上がますます重要視されてきている今日，ノズルパッキンを採用したこれらのしゃ断器は，しゃ断性能の優秀性と簡素化された操作，構造により，需要家各位に充分満足していただけるものと確信する．数少ない純国産品の空気しゃ断器の一つとして各方面に，ご愛用いただければ幸いである。

参考文献

(1) 岩下，川畑：富士時報 **39**，No.12 (昭 41)
72～168kV 空気しゃ断器
(2) 野口，山口：富士時報 **41**，No.9 (昭 43)
屋内用空気しゃ断器

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。