U.D.C. 621.316.925.45+621.316.57

超高圧新北陸幹線の人工故障試験における搬送保護継電装置および高速度再閉路型制弧遮断器

棚川　久*　滝田武夫**　森田誠一***　猿渡房吉****　磯崎　薫*****

Artificial Fault Tests for Carrier Protective Relay System and High Speed Reclosing Type Contrarc Circuit Breakers Equipped on Shin-hokuriku Extra-High Tension Main Line

By Hisashi Tanakawa
Kansai Electric Power Co.
Takeo Takita, Seiichi Morita
Kokubu Branch Works of Hitachi Works, Hitachi, Ltd.
Fusakichi Saruwatari
Taga Works, Hitachi, Ltd.
Kaoru Isozaki
Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

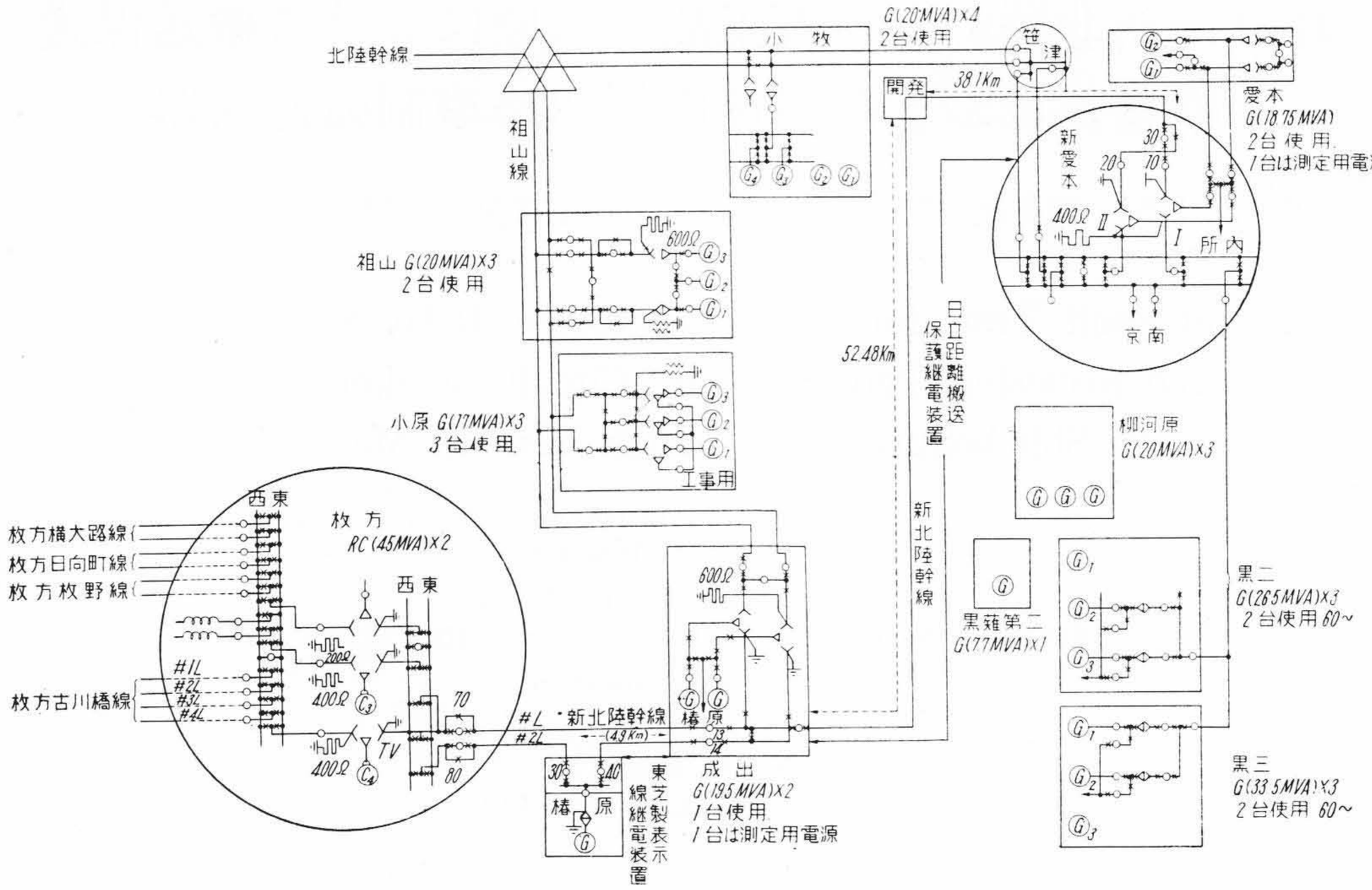
The Shin-hokuriku main line is a 275 kV extra-high tension transmission line belonging to the neutral point direct grounding system. For the protection of this main line for its section between Narude and Shin-aimoto substations Hitachi supplied some time ago Type CTB distance carrier protective relay system which have been put in service in combination with the extra high tension high speed reclosing type contrarc circuit breakers. These protective system and breakers were subjected to a series of overall artificial fault tests on a large scale for 4 days from Nov. 11th, 1954 for the study of the transient stability and the confirmation of the performance of them.

The tests were repeated 8 times including 6 internal fault tests and 2 outer fault tests. The faults within the section was tested as follows; one fault was given at Shin-aimoto and Narude to test one line grounding fault and two faults were tested between the substations. The grounding shortcircuit faults were caused as follows: three line shortcircuit at Kaihatsu, two line short circuit at Narude. Single-phase reclosing for one line grounding and three-phase reclosing for 2 line and three grounding were effected. As a result, it was confirmed that the operating time of the relay system averaged 2 cycles and the total breaking time 4.9 cyles; these results exceeded expectation and the reclosing no-voltage time proved to satisfy the users' expectation that was about 20 cycles.

〔I〕 緒　　言

新北陸幹線は 275 kV 超高圧送電線であつて，機器の絶縁耐力の低下を計り，接地故障時の異状電圧を低く押えるため中性点直接々地方式が採用されている。このため電力系統の事故波及防止，過渡安定度の向上ならびに近接通信線への誘導障害軽減の見地より保護装置は特に動作確実，迅速なることが強く要求された。したがつて保護装置性能の確認と昭和 27 年成出・枚方間における試験で不十分であつた過渡安定度の究明により試験が実際の運用面と結びつくことを眼目とし，全系統並列大負

*　関西電力株式会社給電課
** ***　日立製作所日立国分分工場
****　日立製作所多賀工場
*****　日立製作所戸塚工場



第1図　超高圧新北陸幹線試験系統図

Fig. 1.　Connection Diagram of Shin-hokuriku Super High Tension Line Under Field Test

荷送電状態のもとで人工故障試験を実施し，故障時の異状電圧のほか各種電圧，電流，電力，位相角の測定，発電機の自動電圧調整器の動作監視，通信線電磁誘導および保安器動作測定などを行い，あわせて日立距離搬送保護継電装置，日立 CCB をはじめ三菱 MCB，東芝表示線保護継電装置および ICB の各綜合動作性能を試験することになつた。

人工故障試験は昭和 29 年 11 月 11 日より 4 日間にわたり実施され，昭和 27 年に行われた試験に比し連繋系統がはるかに拡張されたため各所に分担配置された人員および測定用器材数において一段と大規模なものとなつた。なお送電負荷も不測の事態を慮り交流計算盤による予備計算を行つて検討を重ね，その結果この種試験としては受電端負荷150MW の送電条件を用いるなど種々の面で大いに注目に値するものがある。

試験回数は総計8回であつて，全試験を通じ所期の目的を達成する好成績を収め，本装置の購入仕様たる6～を上回る5～同時遮断を全うすることができた。以下本試験の全貌につき述べる。

〔II〕 人工故障試験の全貌

(1) 試験計画[1]

当初綜合人工故障試験は昭和 28 年を目標として計画されていたが，新愛本変電所，成出発電所間故障遮断時の異常電圧が危惧され，この検討を目的として数次にわたり現地試験が行われた。その結果並列運転容量の50%の発電機にダンパー巻線を付加すれば安全であるとの結論に達し，かつループ系統使用が取上げられ，新北陸幹線と 154 kV 送電線すなわち新愛本，笹津，小牧，成出のループ系統試験を行つて慎重を期し，試験時の高調波異常電圧，各機器の動作による不測の事態の発生しない限り営業運転へ影響をおよぼさないと考えられるに到つた。

かくして諸般の準備が整えられ，本試験では過去にえられた経験を基礎に関西電力全並列系統を用い，系統運営上の諸資料をうることをも含めて距離搬送保護継電装置ならびに高速度再閉路型制弧遮断器の動作性能試験を実施することとなり，同時に他区間の成出発電所，椿原発電所間においては東芝製表示線保護継電装置の試験もあわせ行われることになつた。

(2) 試験系統

試験系統は**第1図**のごとく構成され，枚方77kV系は関西電力全系並列であり，中部，北陸電力系は並列，中国電力系は全試験を通じ解列であつた。

また各試験における並列同期機容量は**第1表**に示す通りである。

第 1 表　人 工 故 障 試 験 並 列 MVA 一 覧 表

Table 1. Arrangement of Power Assignment (MVA) in System Under Field Tests

	試験番号	1	2	3	4	5	6	7	8
水力	枚方系 (試験系統)	334.3	334.3	334.3	334.3	334.3	334.3	334.3	334.3
	八尾系	43.0	74.0	90.0	43.0	58.5	43.0	74.0	43.0
	古川橋系	182.5	152.5	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0
	小曾根系	138.0	160.6	160.6	147.7	107.5	143.2	147.7	147.7
	伊丹系	99.6	108.6	108.6	108.6	108.6	108.6	108.6	108.6
	宇治系	51.5	51.5	51.5	37.5	51.5	37.5	37.5	37.5
	大和系	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
	支店系 (推定)	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3
	小計	904.6	937.2	925.7	851.8	841.1	847.3	882.8	851.8
火力	八尾系	53.1	15.6	15.6	53.1	53.1	53.1	61.9	53.1
	古川橋系	18.8	0	0	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8
	小曾根系	200.0	200.0	200.0	240.0	200.0	240.0	252.5	240.0
	伊丹系	296.9	281.3	281.3	250.0	250.0	250.0	359.4	250.0
	小計	568.8	496.9	496.9	561.9	521.9	561.9	692.6	561.9
調相機	枚方系 (試験系統)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
	八尾系	120.0	126.0	126.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
	古川橋系	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0
	小曾根系	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
	伊丹系	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
	小計	465.0	471.0	471.0	465.0	465.0	465.0	465.0	465.0
計		1,938.4	1,905.1	1,893.6	1,878.7	1,828.0	1,874.2	2,040.4	1,878.7

(単位 MVA)

(注) 以上のほか中部電力 約 1,000 MVA, 北陸電力 400 MVA, 中国電力 解列中

新北陸幹線と 154 kV 側をループにする場合は新愛本，笹津，小牧，祖山間を 1 回線とし，祖山，成出間は 2 回線を使用した。また 154 kV 系を並列しないときは中性点接地抵抗使用箇所を新愛本(黒部系)400オーム，成出，祖山各 600 オーム(庄川系) とし，154 kV 系を並列する場合は新愛本 400 オーム，成出 600 オームとした。なお新愛本 2 号機，成出 2 号機はそれぞれ電源に充てられた。

試験系統の負荷条件は**第 2 表**のごとくであつて，試験条件によつて，枚方変電所着水はそれぞれ軽負荷 100 MW，中負荷 150 MW および重負荷 180 MW としている。

(3) 試験の種目

試験の種類および回数は**第 2 表** (次頁参照) に示すごとく総計 8 回行われうち 2 回は外部故障である。故障点は新愛本変電所，成出発電所および両所のほぼ中間に位置する開発とし，一線接地単相再閉路 4 回，二線接地三相再閉路 1 回，三線接地 1 回でありあらゆる故障条件を包含している。

遮断器は新愛本変電所は日立 No. 10 CCB と三菱 No. 30. MCB を切換使用し，成出発電所の新愛本側は日立 No. 3. CCB, 同所椿原側は東芝 No. 14. ICB, 椿原発電所は三菱 No. 40. MCB を使用した。

また故障発生方法としては開発は日立 NHL-PA 型断路器を使用し，新愛本，成出は射撃式故障発生装置が用いられ，すべて 0.3 ないし 0.5 mmφ のニクロム線ヒューズによる弧光地絡とした。

(4) 測定器材および測定要素

本試験の測定は試験系統と系統に連繋される機器のあらゆる要素を網羅している。このため測定用オツシログラフ台数も膨大となり，ブラウン管オツシロ 5 台，電磁オツシロ 27 台，自動オツシロ 7 台，総計 39 台の多きに達している。

成出，新愛本間各測定要素は**第 3 表** (5 頁参照) に示す通りである。

〔III〕 CTB 型距離搬送保護継電装置および超高圧高速度再閉路型制弧遮断器の概要

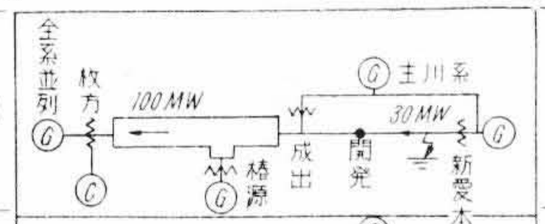
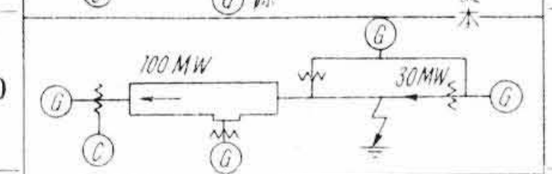
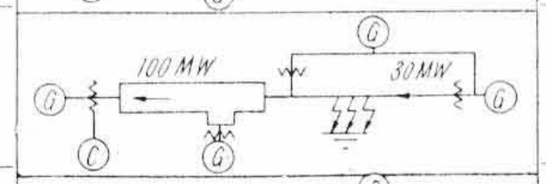
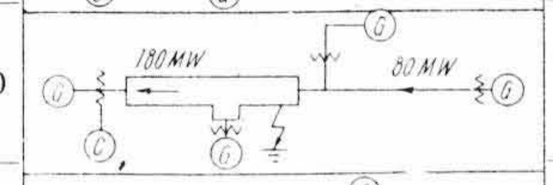
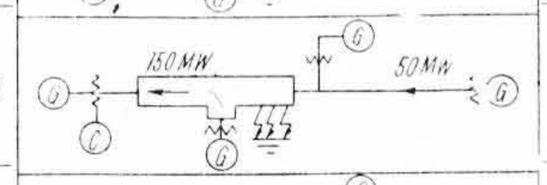
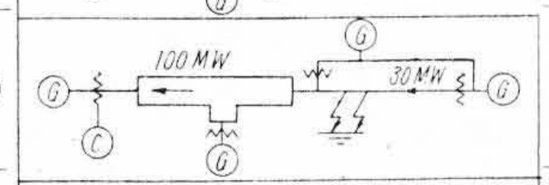
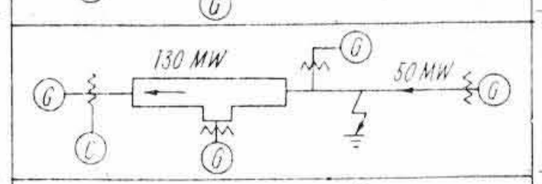
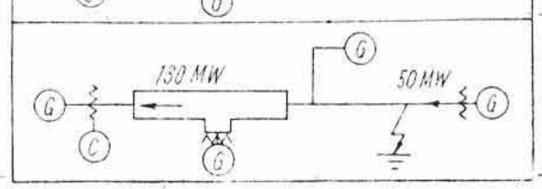
(1) CTB 型距離搬送保護継電装置

(A) 方式の大要

本装置に適用された方式は距離継電器のすぐれた選択性に搬送方式を併用したもので，現在最も進歩した保護継電方式である。また本装置の仕様として系統の安定度を高めるため高速度再閉路方式が採用されており，この点に関しても綿密な考慮が払われた。

第2表　試験系統の負荷条件および故障電圧電流一覧表

Table 2.　Arrangement of Load Condition, Fault Voltage and Fault Current Under Field Tests

試験番号	故障点，故障種類および時刻	天候および温度 新愛本 (°C)	成出 (°C)	椿原 (°C)	枚方 (°C)	使用遮断器 新愛本	成出	椿原	無電圧時間整定値 (~)	試験系統 負荷条件（調整値）	相別	故障点電流	270 kV 側対地電圧 (kV) 新愛本 故障前	新愛本 故障中	成出 故障前	成出 故障中	椿原 故障前	椿原 故障中	270 kV 側線路電流 (A) 新愛本(成出側) 故障前	新愛本 故障中	成出(新愛本側) 故障前	成出 故障中	成出(椿原側) 故障前	成出 故障中	椿原(成出側) 故障前	椿原 故障中	270 kV 側零相電流 (A) 新本愛 変圧器中性点	成出 変圧器中性点	成出 新愛本側	成出 椿原側	椿原 変圧器中性点	椿原 成出側	枚方 変圧器中性点	系統周波数
1	新愛本 C相1φ-E 11日3時40分	曇 8.5	晴 9	曇 7	晴 13	#3D MCB	#3 CCB		20		A		149	147	145	142	152	140	75	273	77.8	243	90	220	79	210									
											B		149	144	145	136	155	143	75	142	77.8	126	90	35	99	45		486		290	276	280	87.5	59.1
											ⓒ		149	4	145	68	147	75	75	838	81.2	1,132	90	510	73	530								
2	開発 A相1φ-E 12日1時48分	晴 6.5	晴 3	曇 2.5	晴 7.5	#3D MCB	#3 CCB		20		Ⓐ	232.5			146	57	150	56			50	1,140	90	590	99	615								
											B				148	140	151	145			39	112	90	220	97	220		640	940	370	374	404	102.5	58.5
											C				148	136	148	142			55	74	90	35	92	37								
3	開発 A, B, C相3φ-E 12日3時42分	曇 7.5	晴 3	曇 1.5	晴 6.5	#10 CCB	#3 CCB		20		Ⓐ	1,995	145	14.5	146	41			72	485	160	1,200	90	590										
											Ⓑ	1,950	146	14.5	146	41			72	484	139	1,311	90	650			DC 1,450	DC 1,120	DC 637	DC 426	DC 710	DC 680	÷0	56.4
											ⓒ	1,965	146	14.5	146	41			72	478	144	1,343	90	620										
5	成出（椿原側） A相1φ-E（外部） 13日23時36分	曇 9.5	曇 9.5	曇 7.5	晴 11.5		#14 ICB	#40 MCB	20		Ⓐ		145	41	145	÷0	148	13	170	532	238	520	150	1,380	168									
											B		145	143	145	138	147	140	180	184	203	209	160	220	168	250	522	1,400	513	1,632	845	945	270	60.3
											C		145	127	145	138	151	141	168	178	193	190	150	140	163	119								
6	成出（椿原側） A,B,C相3φ-E（外部） 14日0時41分	曇 9.5	曇 11	小雨 9.5	晴 11.5		#14 ICB	#40 MCB	20		Ⓐ	2,240	145	28.6	145	÷0	151	12	110	416	133	400	110	1,430	133	910								
											Ⓑ	2,310	145	25.7	145	÷0	153	12	112	414	128	420	110	1,480	131	884								
											ⓒ	2,220	145	26.8	145	÷0	152	13	108	411	12.2	420	110	1,550	109	20								
4	成出（新愛本側） A, C相2φ-E 14日3時13分	曇 9.5	曇 11	曇 8.5	晴 11	#30 MCB	#3 CCB		20		Ⓐ	2,580	144	45.7	147	÷0	?	15	79	491	?	1,600	95	770	95	916								
											B		144	113	147	116	?	117	79	77	?	?	95	95	95	104	590	2,050	2,180	950	960	870	330	59.2
											ⓒ	2,660	144	33.5	147	÷0	?	14	79	520	?	1,760	95	940	95	963								
8	成出（新愛本側） A相1φ-E 14日3時47分	曇 9.5	曇 11	曇 9	晴 11	#30 MCB	#3 CCB		20		Ⓐ	2,750	144	46.8	145	÷0	143	15	109	545	154	1,950	100	850	105	100								
											B		144	154	145	138	145	140	109	120	131	143	100	190	102	188	503	1,780	2,140	755	770	827	278	59
											C		144	135	145	140	144	140	108	119	136	116	100	50	99	60								
7	開発 B相1φ-E 14日5時24分	曇 9.5	曇 11	曇 8.5	晴 9.5	#30 MCB	#3 CCB		20		A		147	136	145	139	151	139	115	128	110	100	95	25	109	20								
											Ⓑ	2,265	148	30	145	58	144	62	117	750	135	1,234	95	570	108	617	1,160	688	620	375	312	350	130	59.2
											C		150	137	145	138	145	134	114	312	111	288	90	220	97	216								

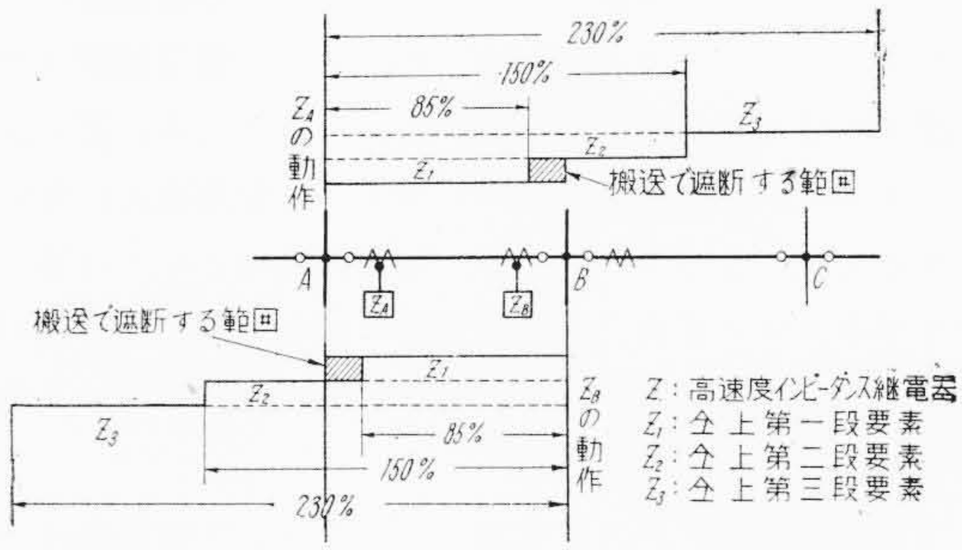
第3表 オシログラフ測定要素

Table 3. Arrangement of Oscillograph Elements

場所	機番	エレメント番号	測定要素
新愛本変電所	MS-3	1	50_1A (AB相短絡継電器 第一段)
		2	50_2A (AB相短絡継電器 第二段)
		3	50_1B (BC相短絡継電器 第一段)
		4	50_2B (BC相短絡継電器 第二段)
		5	故障相電流
		6	396X 動作コイル電流
	MS-4	1	50_1C (CA相短絡継電器 第一段)
		2	50_2C (CA相短絡継電器 第二段)
		3	発振電流
		4	故障相電流
		5	64-1 (故障相接地継電器 第一段)
		6	64_2A (A相接地継電器 第二段)
	MS-4′	1	64_2B (B相接地継電器 第二段)
		2	64_2C (C相接地継電器 第二段)
		3	故障相電流
		4	27A-b (A相差電圧継電器)
		5	27B-b (B相差電圧継電器)
		6	27C-b (C相差電圧継電器)
成出発電所	MN-3	1	50_1A (AB相短絡継電器 第一段)
		2	50_2A (AB相短絡継電器 第二段)
		3	50_1B (BC相短絡継電器 第一段)
		4	50_2B (BC相短絡継電器 第二段)
		5	故障相電流
		6	396X 動作コイル電流
	MN-4	1	50_1C (CA相短絡継電器 第一段)
		2	50_2C (CA相短絡継電器 第二段)
		3	発振電流
		4	故障相電流
		5	64-1 (故障相接地継電器 第一段)
		6	64_2A (A相接地継電器 第二段)
	MN-4′	1	64_2B (B相接地継電器 第二段)
		2	64_2C (C相接地継電器 第二段)
		3	故障相電流
		4	27A-b (A相差電圧継電器)
		5	27B-b (B相差電圧継電器)
		6	27C-b (C相差電圧継電器)
	MN-7	1	A相CCB (#3) 引外電流および投入電流，ストローク重量
		2	B相CCB (#3) 引外電流および投入電流，ストローク重量
		3	C相CCB (#3) 引外電流および投入電流，ストローク重量
		4	A相電流
		5	B相電流
		6	C相電流

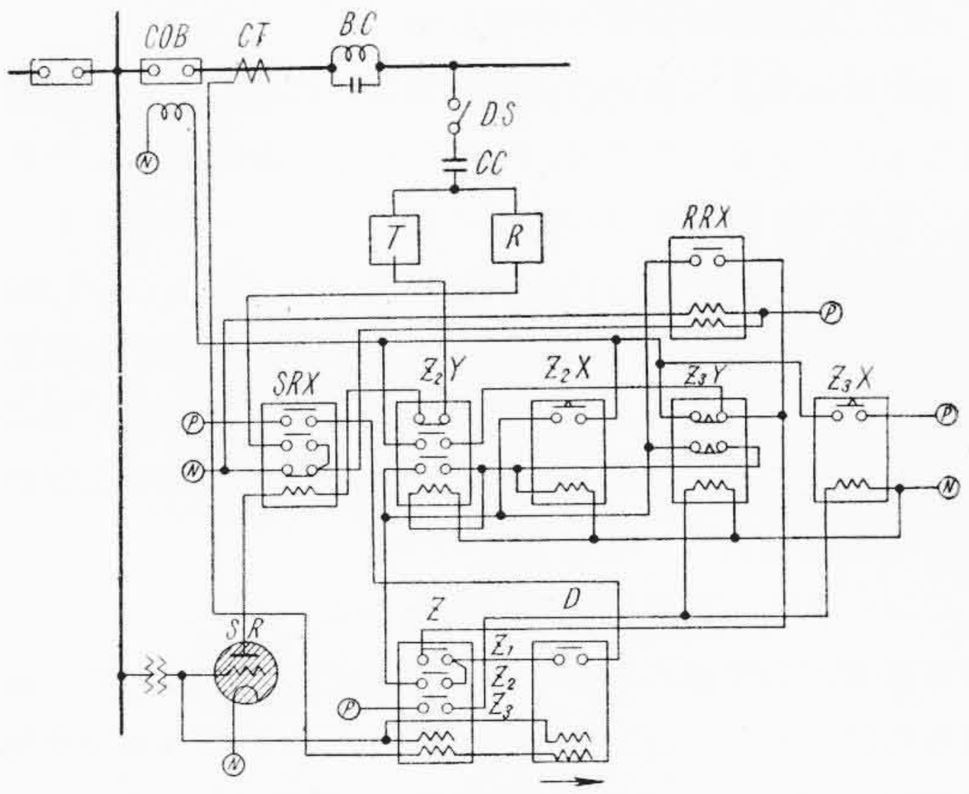
CTB 型距離搬送保護継電装置の主保護継電器としては短絡故障に対して AZ 型 QC 式高速度インピーダンス継電器[2]を，また一線接地故障に対しては AX 型 QC 式高速度リアクタンス継電器[3]が使用されている。

AZ 型 QC 式高速度インピーダンス継電器は3つの測定要素より成り，第一段は，0.3 ないし3オーム，第二段は 0.5 ないし5オーム，第三段は1ないし10オーム間を整定できる。本継電器を搬送装置と組合わせる場合は**第2図**に示すごとく，保護区間の両端より区間長の15%程度の部分を除く内部故障に対してはインピーダンス継電器の第一段要素 Z_1 により搬送に関係なく両端の遮断器を高速度同時遮断する。つぎに Z_1 の不動作範囲すなわち区間両端よりそれぞれ 15% の範囲の故障に対しては第二段要素 Z_2 の動作により搬送波の送信を止め，相手端の受信継電器 RRX が接点を閉成して遮断器を引外す。**(第3図)** この場合故障点に近い端子では Z_2 とともに Z_1 も動作するので Z_1 により遮断が行われることがある。なお Z_2 および Z_3 には限時継電器を組合わせて後備保護に充てるから別箇に後備保護継電器を設置する必要がない。また Z_3 にはさらに限時継電器を附属させ電力動揺時の誤動作を防止する。



第2図 距離継電器の整定

Fig. 2. Setting of Impedance Relay



Z: 高速度インピーダンス継電器
D: 高速度電力方向継電器
SR: 故障検出継電器
SRX: 同上用補助継電器
Z_2Y: Z_2 用高速度補助継電器
Z_2X: Z_2 用限時動作継電器 (後備保護用)
Z_3X: Z_3 用限時動作継電器 (後備保護用)
RRX: 受信補助継電器
Z_3Y: Z_3 用限時動作継電器 (電力動揺時誤動作防止用)

第3図 CTB 型距離搬送保護継電装置動作説明図

Fig. 3. Schematic Diagram for Type CTB Carrier Current Protective Relaying Set with Distance Relay

つぎにAX型QC式高速度リアクタンス継電器が直接接地系の地絡保護用として新たに開発された。インピーダンス継電器によると一線接地故障時の距離測定は線間短絡故障のごとく単純ではなく，故障時の電弧抵抗および大地抵抗の影響による距離測定誤差を生ずる。また普通のリアクタンス継電器では，送電線の負荷が大きく，力率100%近くで運転している場合，継電器から見たリアクタンス分が動作リアクタンス以下であれば常時動作していることになり，区間外故障で継電器接点が閉路していると誤動作の原因となる。かゝる観点から両特性の長短を補いこの中間の特性を与えるため半径の大きなインピーダンス特性をオフセットし，抵抗分の影響を極力少くしかつ常時動作の弊を除くとともに送電線インピーダンスに適応させるため，オフセット量を可変にしてインピーダンス角を調整できるようにした。本継電器のオフセット用タップは45°，60°，85°とし，整定範囲は第一段インピーダンス要素を0.3ないし3オーム，第二段リアクタンス要素は0.5ないし5オームを連続的に整定できるようになつている。また後備保護用としては第二段リアクタンス要素と限時継電器の組合わせおよびKO型QC式接地過電流継電器と限時継電器の組合わせを用いた。

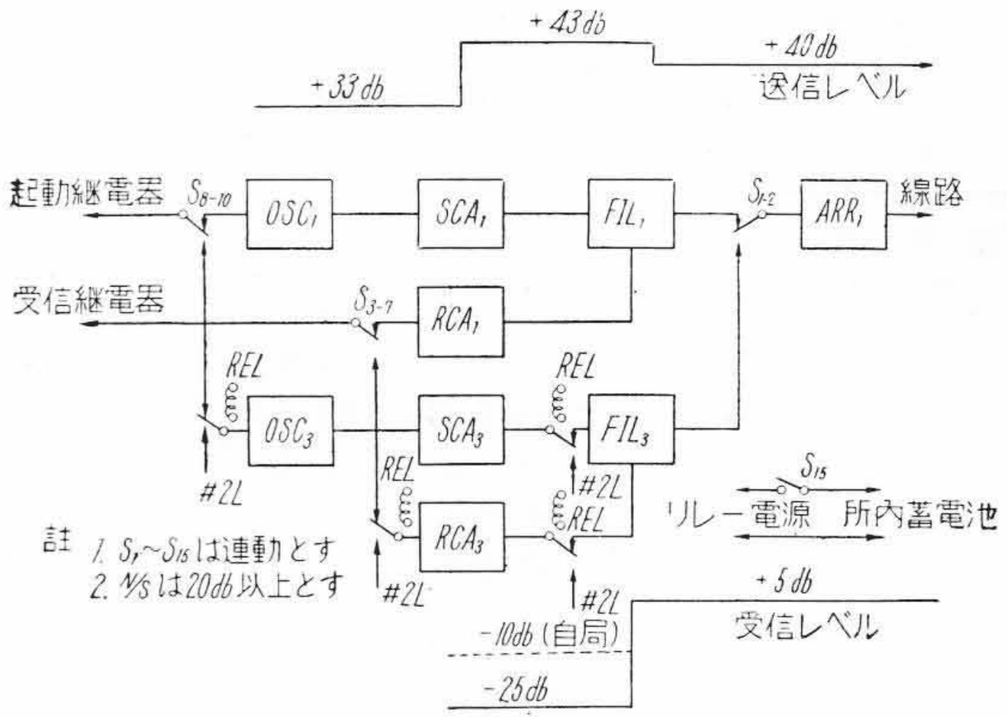
なおインピーダンス継電器，リアクタンス継電器は方向性を有しないからそれぞれKHV型QC式短絡方向継電器，KHVG型QC式接地方向継電器を併用している。

（B）　故障検出装置と発信制御

故障検出装置は搬送保護継電装置の性能を左右する重要なものである。故障検出用電圧降下率継電装置は放電管，電源変圧器，整流回路より成つており一線接地および短絡故障に共用し，いずれの場合でも2ないし7msの高速度で動作し，電力動揺のごとき比較的緩漫な電圧降下に対しては動作しない。また本装置と搬送装置間には補助継電器を設けず，このため故障発生より発信開始までの時間が著しく短縮されている。

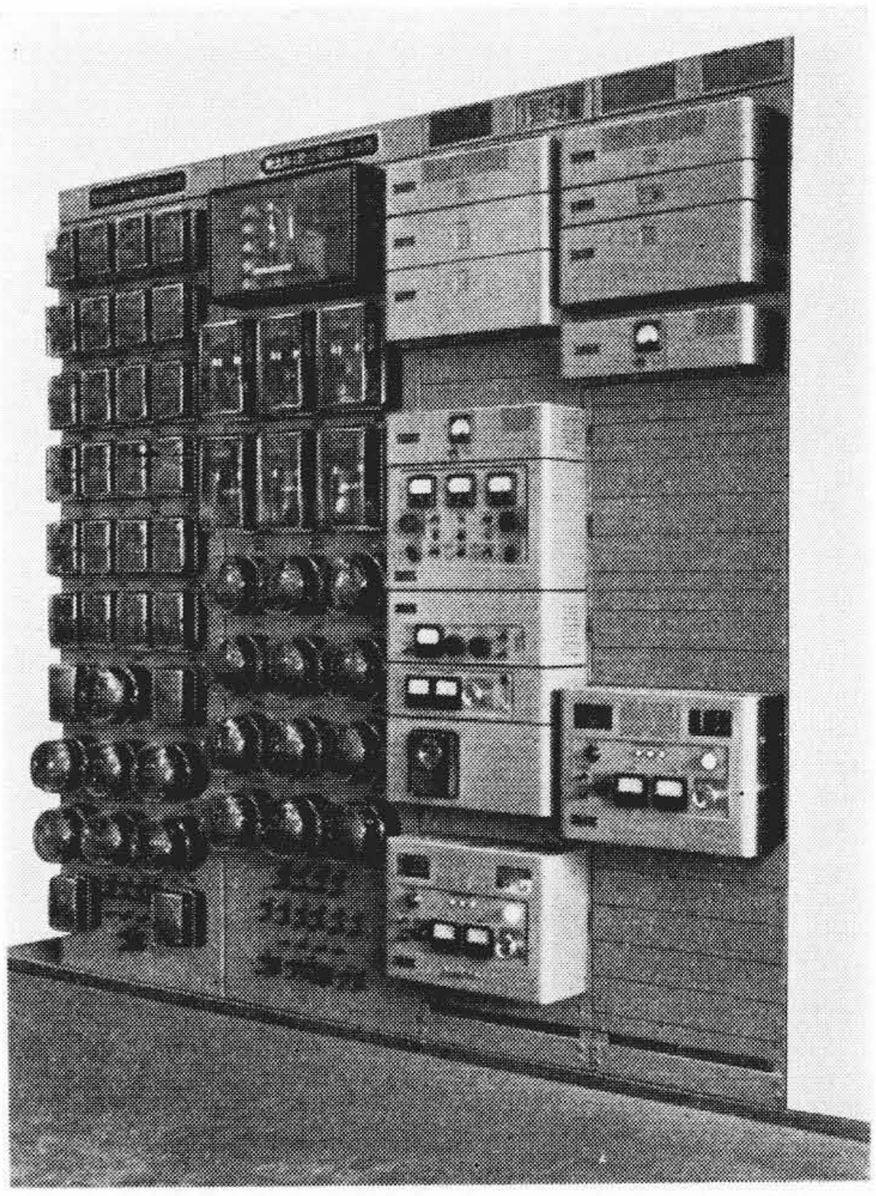
（C）　再閉路装置と故障相選別方式

本装置の再閉路に関する要求事項を満足するため一線接地故障に対しては単相再閉路，二線および三線接地短絡故障に対しては三相再閉路を行う場合と，いずれの故障に対しても再閉路を行わない場合の選択が任意な切換方式を使用した。また故障時の単相または三相引外回路には故障選別用CDV型T式高速度差電圧継電器を使用した。この継電器は計器用変圧器二次相電圧をおのおの二相分ずつ整流器を介して二重巻線輪に導入し，常時は互に磁束を打消すように励磁されるので動作しないが一線接地では故障相および120°進み相用の継電器が動作し，二線接地短絡故障のときは健全相用継電器のみ動作



第4図　PK-2型搬送装置のレベルダイヤグラム

Fig. 4.　Level Diagram of Type PK-2 Carrier Set



第5図　CTB型距離搬送保護継電装置

Fig. 5.　Type CTB Carrier Current Protective Relaying Set

する。また三線接地の場合は継電器はすべて動作しないから，これらの接点を連動し遮断器引外回路をつくれば単相または三相引外回路が形成される。

（D）　装置の仕様および性能

本装置の仕様と性能は大略下記のごとくである。

（a）　方　式　間接方向比較故障時送出阻止釈放式
非変調単一周波式

（b）　発　信……水晶制御発振方式
受　信……水晶濾波器によるストレート検波

（c）　使用周波数……210kc

（d） 送信出力..... 10 W
（e） 許容線路損失..... 40 db
（f） レベルダイヤグラム（**第4図**参照）
（g） 装置の時定数..... 3 ms 以下

第5図は成出発電所設置の CTB 型距離搬送保護継電装置の外観図を示す。

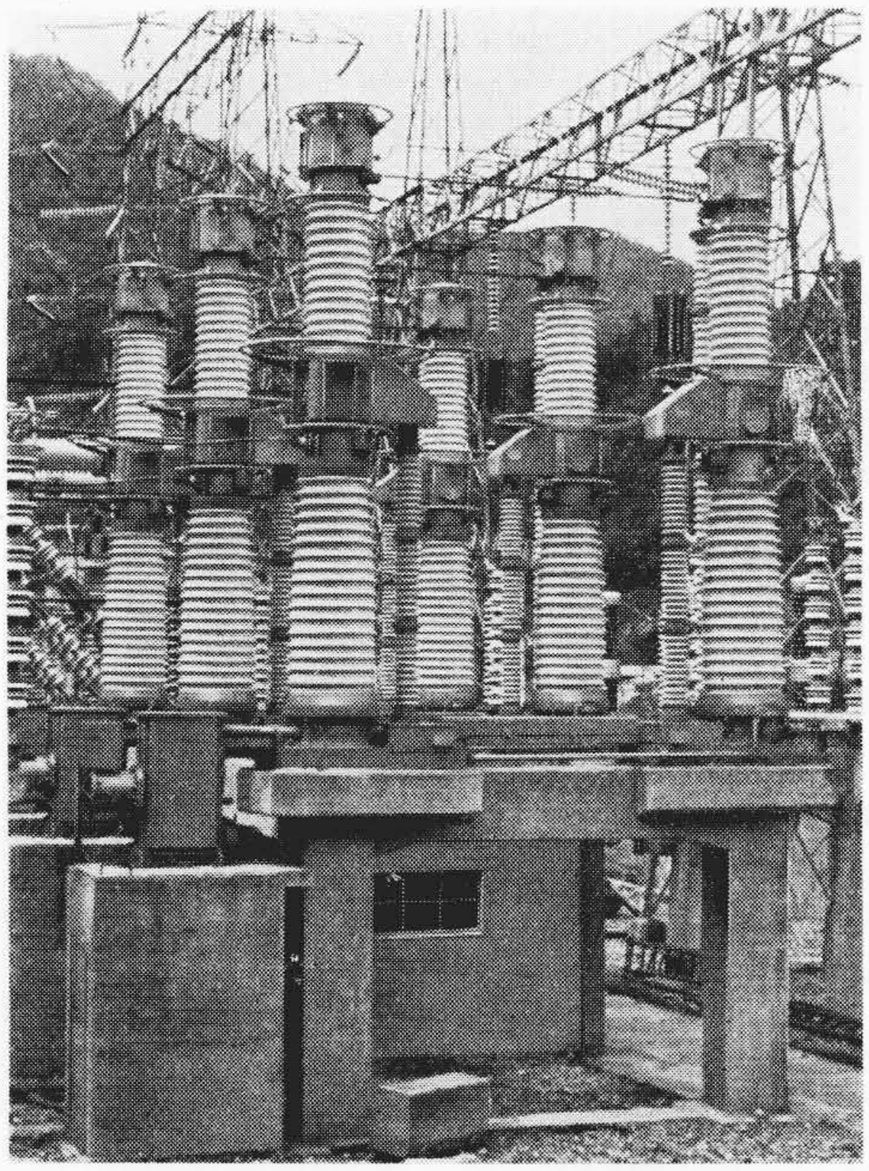
（2） 287.5 kV 制弧遮断器の構造

新北陸幹線に使用されている 287.5 kV 制弧遮断器は成出発電所に3台，新愛本変電所に1台，合計4台である。今回の試験に供された遮断器は成出，新愛本それぞれ1台ずつで，両者とも同じ構造である。**第6図**は成出発電所に設置されているものの外形写真で，その仕様はつぎのごとくである。

定格電圧.....287.5 kV
定格電流..... 800 A
遮断容量..... 5,000 MVA
動作責務..... 0–12～–CO–1 分–CO
遮断時間..... 3～

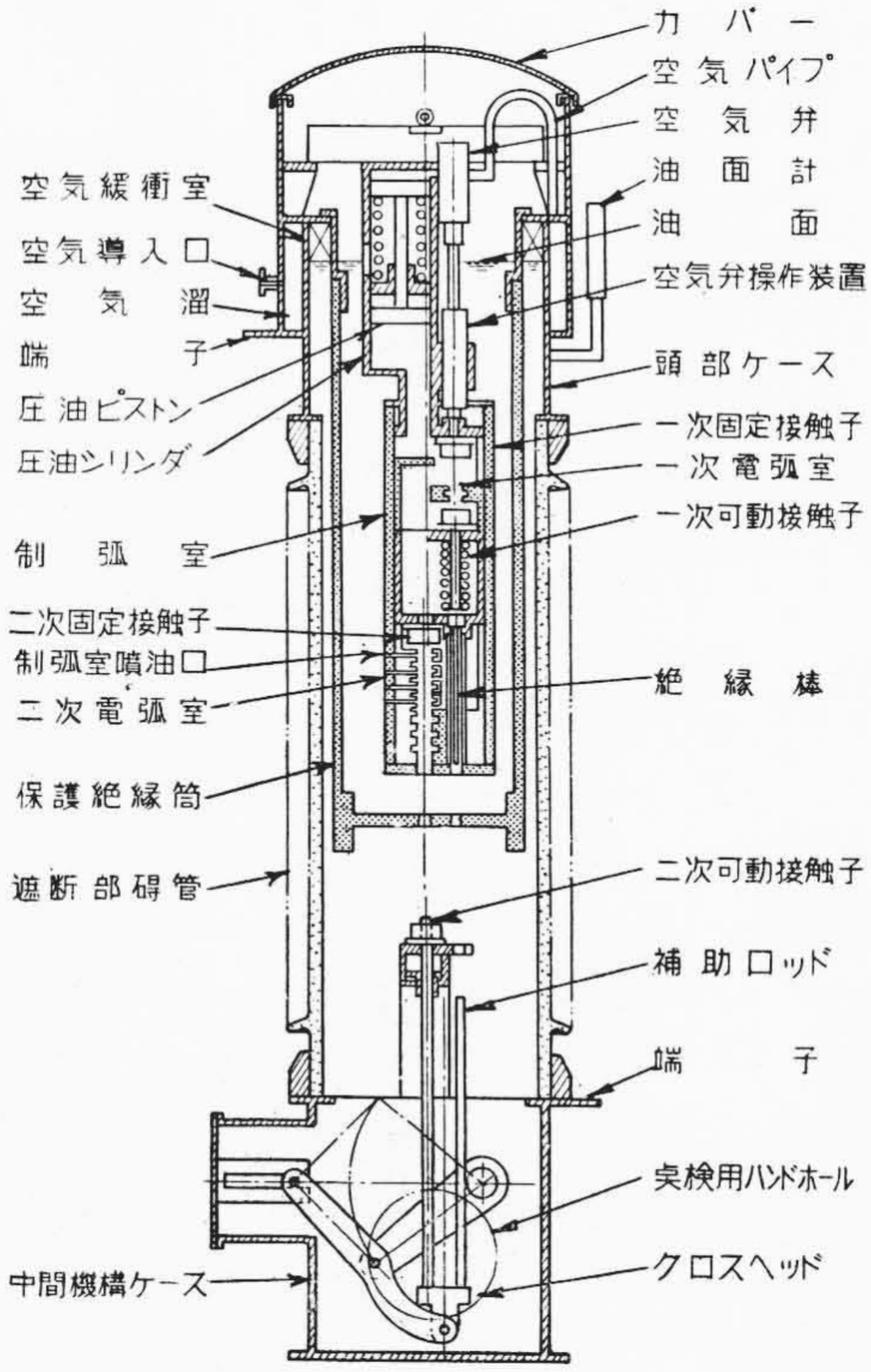
遮断部は変流器を内蔵した支持碍管の上にのっており，1 相につき2組の遮断部が直列に使用されている。遮断部の構造は**第7図**のごとく，一次電弧室と二次電弧室とがあり，一次電弧によつて発生した油圧を二次電弧に加えて消弧するいわゆる自力型である。圧力発生の少い小電流遮断に備えて，圧油ピストンがあり，これを 7 kg/cm² の強力な圧縮空気によつて動作させているのが特長である。したがつてバネによつて動作させる圧油ピストンのものに比較して強力な油流を発生することができ，しかも操作部の負荷が軽いから高速度操作が容易である。こゝに使用される圧縮空気は 25 kg/cm² より 7 kg/cm² に減圧乾燥されたもので，遮断部の傍に立てられた送気用碍管を経て頭部ケース内の空気溜に導かれている。したがつて碍管および遮断部の絶縁を空気中の水分で劣化するおそれはない。このことは工場における長期絶縁試験および運転中の遮断器の点検によつて十分たしかめられている。

操作部の構造は**第8図**(次頁参照)のように機械的引外自由を基本とする機構で，引外機構としては引外自由の第1引外と非引外自由の第2引外とを有している。これはいずれもローラーとボールベヤリングを主体とした構造で，極力摺動部分を少くするように設計されてあるから，その高速度動作性能は使用中に変化するおそれが少い。再閉路を行う場合はまず第一引外（非引外自由）コイルによつて引外される。したがつて投入用圧縮空気を遮断動作中の随意の時期に操作シリンダーに送り込んでも直ちに再閉路することができる。この場合可動接触子はかならずしも全行程動く必要はない。再遮断するには第2引外（引外自由）コイルによつて引外されるから，



第6図 関西電力成出発電所 287.5 kV 制弧遮断器

Fig. 6. 287.5 kV Contrarc Circuit Breaker at Narude Power Station of Kansai Electric Power Co., Ltd.



第7図 287.5 kV 制弧遮断器の遮断部

Fig. 7. Interrupting Part of 287.5 kV Contrarc Circuit Breakers

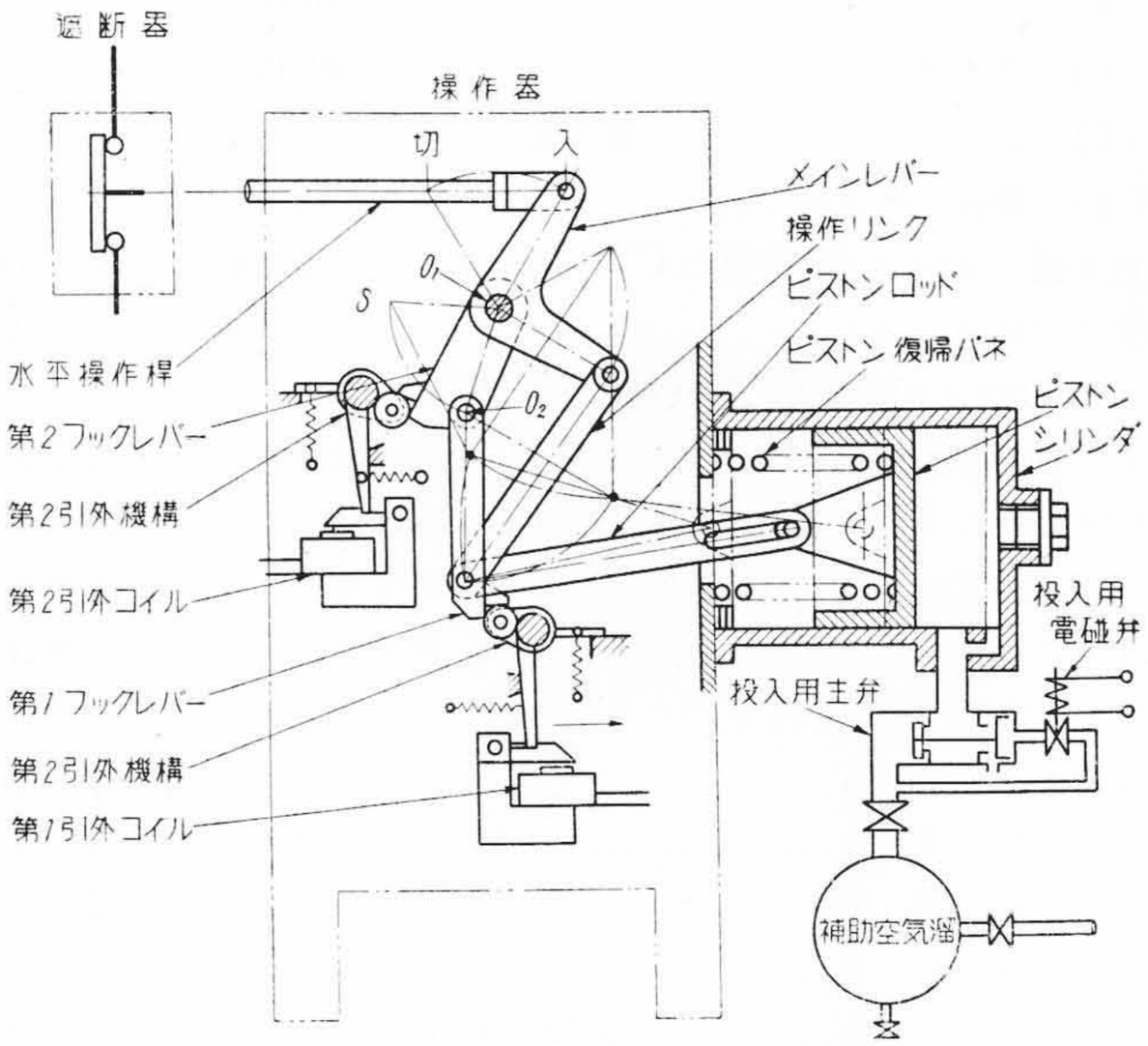
投入用空気が操作シリンダー内部に残溜しても第1回遮断と同様に急速に遮断することができる。再閉路を行わない一般の遮断は常に第2引外によつて行われる。

〔IV〕 試験結果とその検討

(1) 搬送保護継電装置の試験結果と検討

第4表はCTB型距離搬送保護継電装置動作一覧表(4)である。

区間内接地故障は両端および中間の3点に発生させたが，特に新愛本変電所は零相，正相ともその背後インピーダンスは約2倍の変動を示しており，接地距離継電器にとつて非常に苛酷な条件となつている。しかし接地保護リアクタンス継電器は85%の零相電流補償を施しているので，中間の開発故障では両端とも接地第一段要素，一端に偏した故障における遠隔端は接地第二段



第8図　高速度再閉路操作機構

Fig. 8. Operating Mechanism for High-Speed Reclosing

第4表　試験結果一覧表　Table 4. Results of Tests

試験番号	動作選択 開閉継位置 43-1	43-2	43-3	新愛本 動作リレー	リレー表示	遮動断器作	遮断時間(～) リレー	遮断器	再時閉路間(～)	成出 動作リレー	リレー表示	遮動断器作	遮断時間(～) リレー	遮断器	再時閉路間(～)	無時通電間(～)	無時電圧間(～)	備考
1	自	単相	切	接地C相1段	64_1-C 1φ		4.9			接地C相2段十受信リレー	64_2-C		5.5					
				再閉路リレー	327	0-C	2.1	2.8	20.0	再閉路リレー	1φ	0-C	2.38	3.12	22.5	23.1	19.4	
2	自	単相	切	接地A相1段	64_1-A 64_2-A 1φ	0-C	3.9		19.5	接地A相1段	64_1-A 64_2-A	0-C	5.1		25.3	26.5	18.3	
				再閉路リレー	327		1.2	2.7		再閉路リレー	1φ		2.55	2.55				
3	手	三相	切	接地A相1段	50_1-A 50_2-A 50_1-C 50_2-C 64_1-A 64_2-A 52TX-1 327	0 0 0	5.3 5.7 5.9 2.6	2.7 3.1 3.3		短絡C相1段	50_1 B 50_1 C 50_2 A 50_2 C 52TX-1 327	0 0 0	4.95 4.8 4.12 1.58	3.37 3.22 3.54				C相1線地絡後約0.3～にて2A, B相地絡し，三相接地となる C相1線地絡時を動作時間算出の規準とする
5	手	単相	切	—	327	—				—	327	—						
6	手	単相	切	—	327	—				—	327	—						
4	自	三相	入	接地A相2段十受信リレー	50_2-C 64_2-A 52TX-2 3φ	0-C 0-C	5.0 4.2 4.65		26.85 27.60	短絡C相1段	50_1 C 50_2 C 52TX-2 3φ	0-C 0-C	4.42 3.91 4.22	2.89	25.38 26.22	27.43 27.89	24.73 25.93	A相1線地絡後約0.6～にてC相地絡し，二相地絡となる A相1線地絡時を動作時間算出の規準とする
				再閉路リレー	327	0-C	2.3	1.9 2.35	27.10	再閉路リレー		0-C	1.53	2.38 2.69	25.11	27.53	24.68	
8	自	単相	切	接地A相2段十受信リレー	64_2-A 1φ	0-C	5.0		20.5	接地A相1段	50_2 A 64_1 A 64_2 A	0 0	4.98					
				再閉路リレー	327		2.25	2.75		短絡A相2段	52TX-1 327	0	2.52	2.46				
7	自	単相	切	接地B相1段	64_1-B 64_2-B 1φ	0-C	3.9		18.6	接地B相1段	64_1-B 64_2-B 1φ	0-C	4.95		23.8	24.85	17.55	
				再閉路リレー	327		1.4	2.5		再閉路リレー	327		2.25	2.7				

要素が動作し，外部故障時に問題となる第一段のオーバーリーチは認められず確実な動作を行つており，かつ開発故障の試験番号2と7では新愛本変圧器バンク台数が変化しているにかゝわらず動作時間がほぼ同一であること，また試験番号7における新愛本の故障相電流と故障相電圧より算出せるインピーダンスは1.32オーム<60°であり，接地継電器第一段の整定は1.05オームの整定にもかゝわらず動作したことからこの継電器に零相補償を施したことが非常に有効であることが立証された。

区間内短絡故障としては試験番号3の開発三線接地および試験番号4の成出2線接地が行われた。いずれの故障も各相の故障発生に時間的な不揃があり，前者の場合C相はA,B相より0.3サイクル後れまた後者の場合C相はA相より0.6サイクルの後れ時間を示している。特に試験番号4は最初三線接地故障の予定であつたにもかゝわらず射撃式故障発生装置の不具合で予期せぬ二線接地故障を惹起した。しかしながらかゝる苛酷な試験条件にもかゝわらず各継電器はいずれも正規動作を行つている。

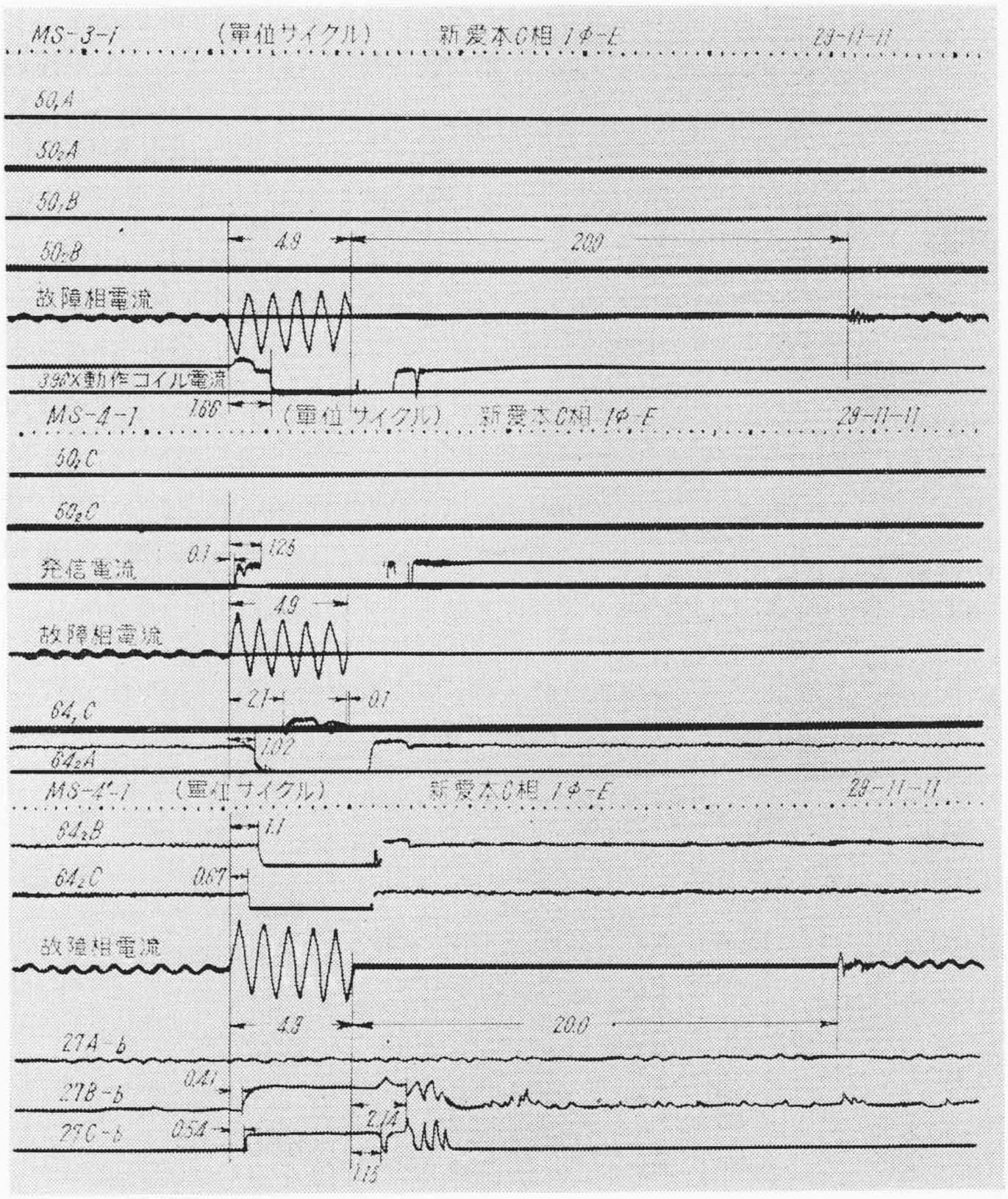
つぎに試験番号8の成出側一線接地故障において故障相選別用差電圧継電器の復帰時間が早いため，単相再閉路を行わなかつたが，試験後その対策を研究し継電器の復帰特性を改良して現地試験を行つた結果動作は頗る良好であつた。

区間外故障の試験番号 5, 6 では成出側は故障発生後0.14および0.15サイクルの高速度で確実に連続発信し，新愛本側の遮断器引外を完全に阻止している。また本継電方式では故障発生時，受信継電器はまだ搬送装置のエリミネータ電源により保持されており，かつ再投入時は送受信を継続しているので，故障発生瞬時および遮断器投入時の雑音には全く影響されず，たゞ搬送波停止後の遮断器遮断時，特に伝送路A相の場合に雑音が発生し10ないし 30 mA 程度の受信整流電流が認められる。しかしながら故障時送出阻止釈放の本方式ではこれらに基く不動作あるいは誤動作のおそれは皆無であり，確実な選択動作を行うことが確認された。

また今回の試験は無電圧時間を 20 サイクルとしている。なお試験番号4では計画の 15 サイクルより 20 サイクルに延ばしたのは試験番号3の開発故障オツシログラムより容量性続流が17サイクル程度続き，他区間継電器が誤動作すると報告されたためであつたが，後日これは測定回路の不備によるものであつて，かゝる続流は存在せず，全試験を通じて故障点は瞬時消弧していることが判明した。したがつて無電圧時間は単相，三相再閉路とも試験時の値より短縮しうると考える。

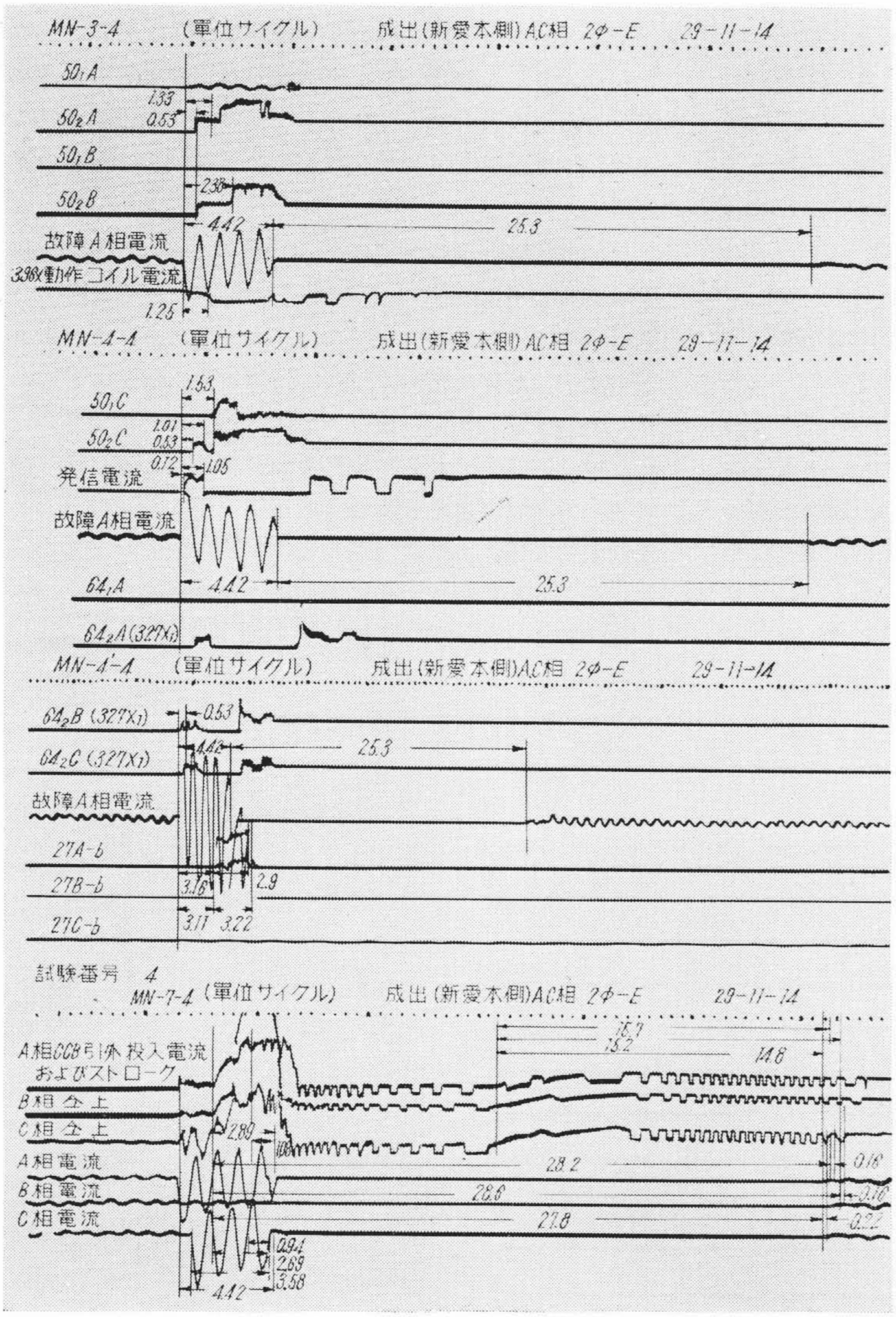
以上のごとく全試験を通じて試験条件は実故障と全く同様に苛酷なものであつたが，継電装置は本質的になんら危惧すべき点も認められず終始適確な故障選択動作を行い，距離搬送保護継電装置としての高性能を如実に発揮するとともに，試験によつて始めてあきらかにされた検討事項もすべて解決し，超高圧送電線保護装置として十分その責務を全うしうることが立証された。

第9図，第10図（次頁参照）および**第11図**（次頁参照）は人工故障試験オシログラムである。



第9図　動作オシログラム（試験番号1 新愛本C相1線接地）

Fig. 9. Operating Oscillogram (Test No. 1 C-phase Grounded at Shin'aimoto)



第10図　動作オシログラム　(試験番号 4　成出AC相線接地)

Fig. 10.　Operating Oscillogram　(Test No. 4 A, C Phase Grounded at Narude)

(2)　制弧遮断器の試験結果とその検討

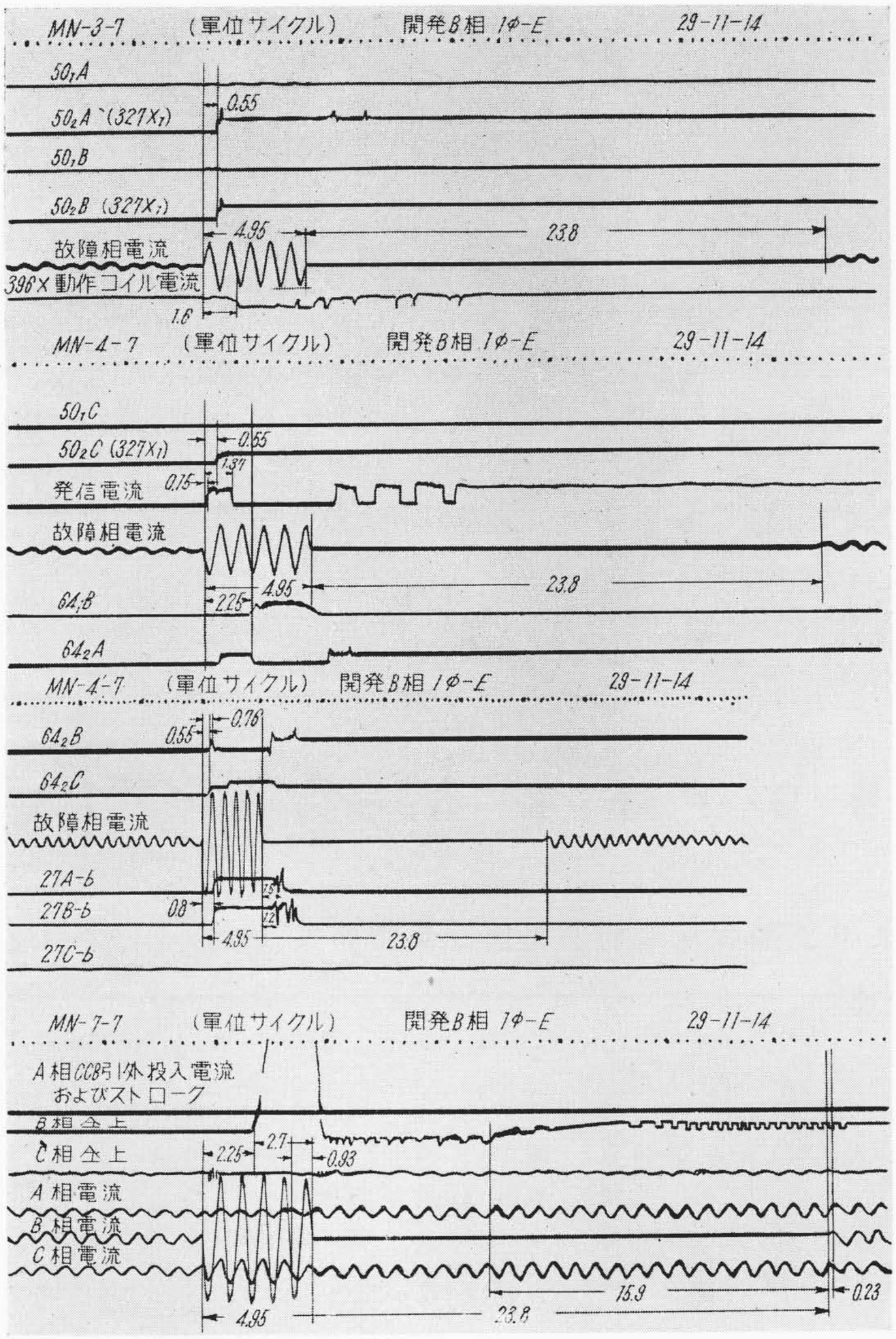
試験は新愛本側制弧遮断器にて三相遮断1回，成出側遮断器にて三相遮断1回，三相再閉路1回，単相遮断1回，単相再閉路3回を行つた。成出側の単相遮断1回は動作責務としては再閉路であつたが，差電圧継電器の復帰時間が早過ぎたため再閉路しなかつたものである。これらの試験の結果を要約すると**第5表**のごとくで，試験番号2のオシログラムが**第12図**である。試験電圧は対地 144 kV, 相間 250 kV, 遮断電流は 600～2,250 A で，遮断容量は三相換算にして最大 970 MVA である。遮断器の定格遮断容量 5,000 MVA に対しては 20% 以下で，自力消弧を基本とした制弧遮断器に取つてはアーク時間が比較的長くなる範囲である。今回の試験結果のアーク時間を図示すると**第13図** (12頁参照) のごとくで電流の増加に伴つて多少アーク時間の短縮される傾向が見られ，2,000 A 以上ではほぼ1サイクル以下に推定される。新愛本側においては電流が少い上に，再起電圧の点で成出側より苛酷であるにもかゝわらず，アーク時間では特にその差異は認められず 1.4～ 以下に入つている。これは圧油ピストンによる他力消弧が有効に働いているためで，電流の大小によつてアーク時間に影響する割合の少いことを示している。

第5表　287.5 kV 制弧遮断器の人工故障試験結果

Table 5.　Results of Fault Tests by 287.5 kV Contrarc Circuit Breakers

試験番号	オシロ番号	故障相	故障点(1)	動作責務	動作遮断器	電圧(2) (kV)	遮断電流 (A)	アーク時間 (～)	全遮断時間 (～)	再投入時間 (～)	無電圧時間 (～)	備考
1	MN-7-1	C	新	1φ 0-C	成出	144	1,110	1.3	3.1	25.6	22.5	
2	MN-7-2	A	開	1φ 0-C	成出	145	1,450	0.8	2.6	27.9	25.3	
3	MN-7-3	A B C	開	3φ 0	成出	144	1,300 1,410 1,450	1.3 1.1 1.3	3.5 3.3 3.5			
	MS-5-3	A B C	開	3φ 0	新愛本	144	620 620 600	0.7 1.1 1.4	2.9 3.3 3.6			
4	MN-7-4	A B C	成	3φ 0-C	成出	144	1,920 — 2,000	1.1 — 0.9	2.9 — 2.7	28.2 28.6 27.8	25.3 — 25.1	B相接地せず
7	MN-7-7	B	開	1φ 0-C	成出	144	1,390	0.9	2.7	26.5	23.8	
8	MN-7-8	A	成	1φ 0-C	成出	144	2,250	0.7	2.5			リレー誤動作のため再閉路せず

(注)　(1)　故障点　新，開，成はそれぞれ新愛本，開発，成出である。　(2) 電圧は対地を示す。



第11図 動作オシログラム (試験番号7 開発B相1線接地)

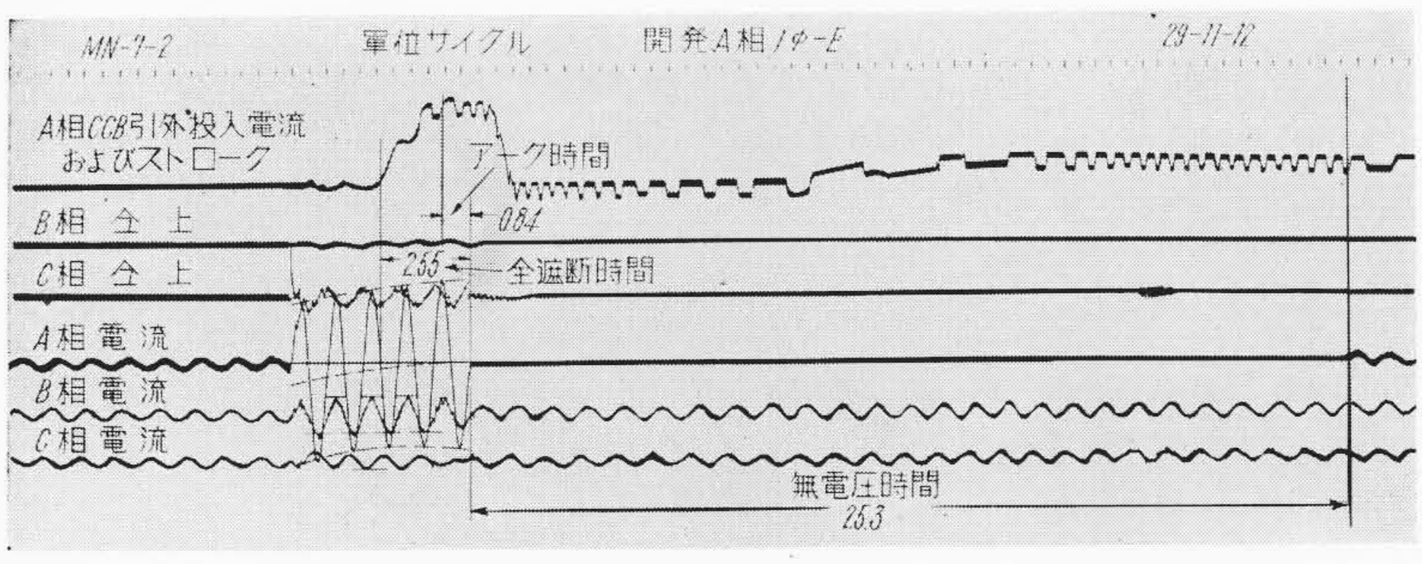
Fig. 11. Operating Oscillogram (Test No. 7 B-phase Grounded at Kaihatsu)

全遮断時間は試験の大部分が3～以下であるが，試験番号“3”の場合に3～を超過している。これは再閉路を伴わぬ遮断の場合であつて，第2引外機構による開極時間が第2引外のそれより約0.5～長いためである。第1，第2引外機構は本質的には同じ構造であるが，第2引外はリンク機構配置の関係から，開極時間がのびたものである。しかし遮断電流が増加すればアーク時間が短縮されるから，大部分は3～以下に入るものと考えられる。なおこの結果にもとづき，その後の設計は第2引外機構による開極時間も，第2引外と同様になるような構造を採用している。

〔V〕 結　　言

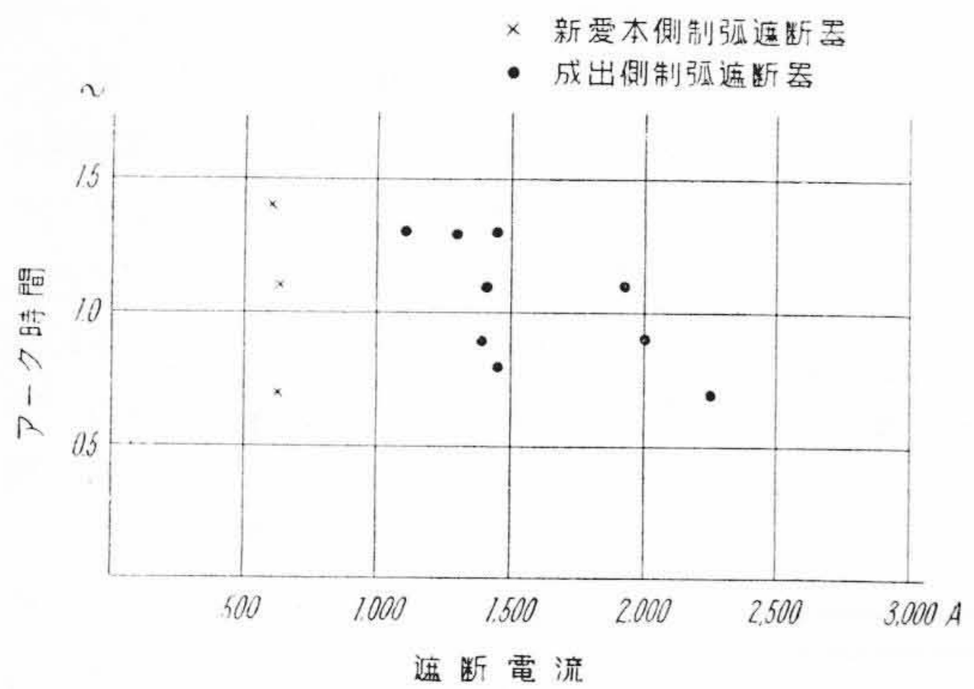
超高圧新北陸幹線に設置された日立CTB型距離搬送保護継電装置は高速度再閉路型制弧遮断器の使用と相まつて最もすぐれた高速度保護継電方式であり，保護系統の重要性から要求される動作責務の苛酷なることも蓋し当然である。

今回の人工故障試験によつて本方式ならびに設備とも十分保護の任を全うしうることが実証され，成功裡に試験を完了できたことは特筆に値する。また本試験によりえられた膨大な記録は超高圧送電線の今後の運用あるいは将来の計画に対して貴重な資料となり，さらに世界的現地試験の記録として永世に残ることを確信する。



第12図 1線接地再閉路のオシログラム (試験番号2)

Fig. 12. Oscillogram of 1φ Reclosing (Test No. 2)



第13図　人工故障試験における 287.5 kV 制弧遮断器のアーク時間特性

Fig. 13. Arcing Time Characteristic of 287.5 kV Contrarc Circuit Breakers at Staged Fault Tests

終りに臨み本試験を終始強力に推進せられかつ常に貴重な御助言を賜つた通産省の関係各位をはじめ電力中央研究所，工業技術院電気試験所の関係各位ならびに関西電力株式会社本店および現地の関係各位に対し深い敬意と謝意を表する次第である。

参考文献

（1） 新北陸幹線人工故障試験計画書　昭和29年8月　関西電力

（2） 猿渡：　日立評論　**34**　939　(昭 27. 8)

（3） 猿渡，渡井：　日立評論　**35**　1569　(昭 28. 11)

（4） 継電器についての結果整理報告　(昭 30. 1)　試験結果整理リレー小委員会

特許と新案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案　(その 1)

区別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
特許	215056	二段作動継電装置	日立工場	今尾　隆	30. 7. 20
〃	215052	巻上機のクラッチと制動機との互鍵装置	亀有工場	神尾昌史	〃
〃	215053	自動排水装置	亀有工場	久保沢稔	〃
〃	215057	爪クラッチの位相表示装置	亀有工場	渡部富治	〃
〃	215055	ポット精紡糸の木管巻取方法	川崎工場	薄正四 大谷巌	〃
〃	215058	油圧駆動自動タレットレース	川崎工場	宇佐見武司 石原坦	〃
〃	215054	電子顕微鏡暗視野撮影法	多賀工場	只野文哉 菰田孜	〃
〃	215060	黒心可鍛鋳鉄予備加熱焼鈍法	戸畑工場	金田宣男 宮崎安功 西村弥 藤井恒	〃
特許	215059	任意函数波発生装置	中央研究所	三浦武雄 池上和一	30. 7. 20
実用新案	431366	回転電機冷却装置	日立工場	菊地弥十郎 高橋昭吉	30. 7. 26
〃	431367	回転電機の回転子回転装置	日立工場	小野崎一男 坂本馨	〃
〃	431368	超同期電動機電機子線輪	日立工場	木村源蔵	〃
〃	431369	大型電機回転子の低速回転装置	日立工場	滑川清	〃
〃	431372	直流機界磁線輪	日立工場	坏秀雄	〃
〃	431374	セグメント式案内軸受	日立工場	長尾善右衛門	〃
〃	431375	推力軸受	日立工場	長尾善右衛門	〃
実用新案	431379	浮子型開閉器	日立工場	渡辺豊彦 本間千代一	30. 7. 26

（第26頁へ続く）