UDC 621.317.799-523 : 621.316.064.1 : 621.316.57

最近の短絡試験の自動化技術

志賀　悟(しが　さとる)　　金高　康彦(かねたか　やすひこ)　　佐藤　浩(さとう　ひろし)

1　まえがき

電力用遮断器やガス絶縁開閉装置，変圧器，ケーブル及び配電盤などの短絡性能を検証する短絡試験・研究所においては，近年，機器開発における信頼性を向上させるため，検証条件設定の高密度化，測定データの多量化，高精度化，データ解析の高度化そして制御の複雑化が要求される。

一方，高電圧及び大電流を発生させるための短絡試験は多大な投資によって実現できるものであり，それらの機器は多数回，過酷条件下で使用されるため，機器保全の見地から機器の運転監視は極めて重要である。

電力分野においては，コンピュータを用いた自動計測や機器監視の導入が進められているが，開発に当たっては高電圧・大電流分野特有のサージ対策技術が重要となる。

今般，富士電機はこれらの技術を十分に付加した短絡試験の自動計測及び機器監視装置を完成させたので概要を紹介する。また，近年，被試験器の検証容量が短絡発電機の容量をはるかに超過し，このため合成試験が非常に重要となっている。ここでは合成試験における現状及び最新の技術についても紹介する。

2　短絡試験の自動化技術

2.1　試験設備への制御，監視の現状

短絡試験の実施に当たっては，複雑な制御と測定データの多量化及びデータ解析の高度化が要求される。近年，コンピュータの発達により従来のアナログ計測からディジタル計測方式が開発され，測定精度の格段の向上，解析時間の短縮など省力化が図られている。一方，数百 kA 以上の電流で，かつ数百 kV 以上の高電圧の発生を要求される短絡試験はばく大な設備投資によって実現できるものであり，設備機器の保全には万全を期す必要がある。

富士電機は昭和58年にコンピュータを用いた短絡発電機の運転監視，及び遮断器の監視システムを開発し，予知保全を行っている。これらの技術は発変電所の予知保全へも適用できる。今後は AI を用いた運転支援，保守支援，事故復旧支援へと機能を拡大していく予定である。

2.2　自動計測システム

2.2.1　システム構成

システムは，小電流の開閉から短絡試験に至るすべてを対象とし，電力分野特有のサージに対して接地，信号伝送方式，サージ保護機器の選択などに配慮したシステム構成となっている。**図1**にシステム構成図を示す。**図2**にデータ処理・解析部を示す。**図3**に中速データ取込み変換部を示す。

入力信号は種々の現象解析に対処するために，高速及び中速取込み部に分割され，それぞれ光ケーブルで磁気ディスクに書き込まれる。測定及び解析されたデータは CRT，プロッタに出力される。また，データは磁気テープに保存される構成になっている。

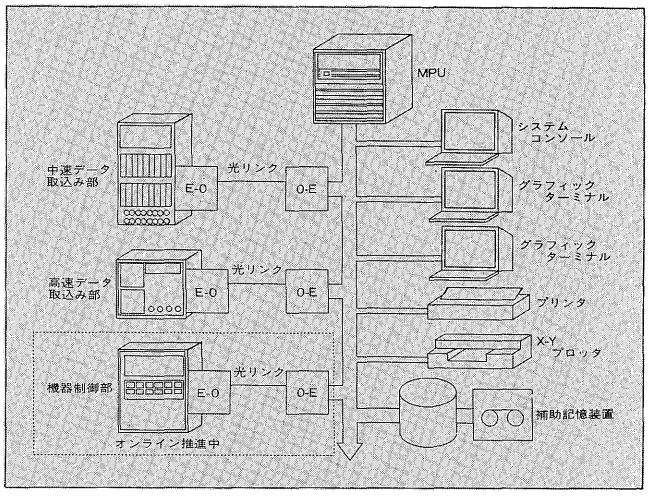
(1)　データ処理・解析部

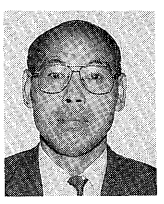
試験時の測定データは，高速オンライン処理システムの採用により，試験後約30秒間で処理・解析される。

(a)　主記憶容量　：2 M バイト，16ビット

(b)　補助記憶装置：磁気ディスク（40Mバイト）
　　磁気テープ（46M バイト/150ft）

図1　システム構成図



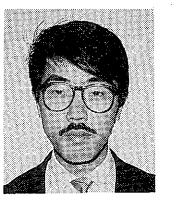


志賀　悟

昭和35年入社。電力用遮断器，開閉器，避雷器の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所機器技術開発部担当課長。

金高　康彦

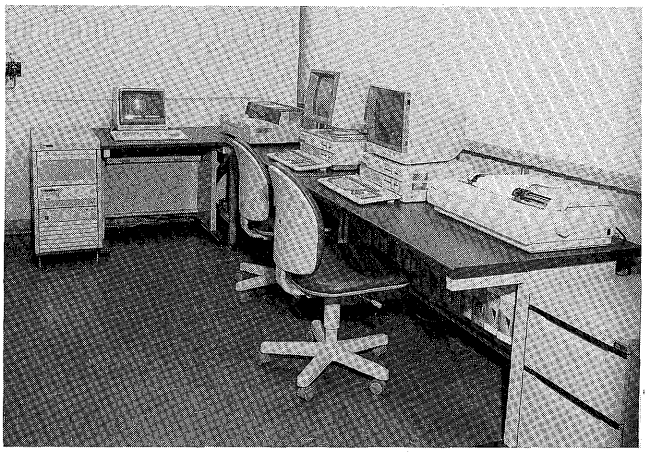
昭和46年入社。電力用遮断器，開閉器の研究・開発試験に従事。現在，(株)富士電機総合研究所機器技術開発部。



佐藤　浩

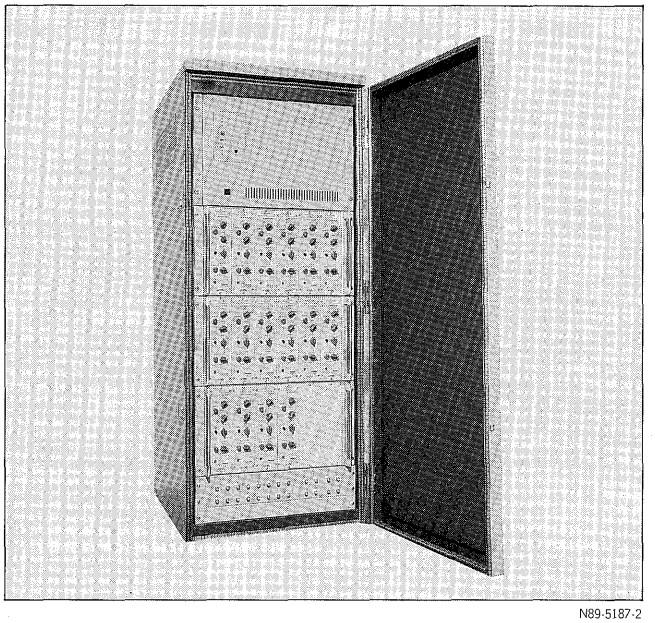
昭和60年入社。電力用遮断器，開閉器の研究・開発試験に従事。現在，(株)富士電機総合研究所機器技術開発部。

図2　データ処理・解析部



N89-5187-1

図3　中速データ取込み・変換部



N89-5187-2

(c)　ターミナル　：グラフィックターミナル×1
1,120×750点
グラフィックターミナル×2
640×400点

(d)　光伝送装置　：最高伝送速度　4Mビット/秒
ファイバ長　50m

(2)　中速データ取込み・変換部

測定データの周波数帯域は，直流から数kHzまでを対象としている。各チャネルは，それぞれ絶縁されている。

(a)　チャネル数　：16ch（絶縁アンプ付）
(b)　入出力絶縁耐圧：直流5 kV
(c)　入力レンジ　：±10mV～±1,000V
(d)　周波数帯域　：直流～100kHz（−3dB）
(e)　A-D変換部　：12ビット，2 μs/ch

(3)　高速データ取込み・変換部

測定データの周波数帯減は，数kHzから数MHzまでを対象としている。各装置は，それぞれ絶縁されている。

(a)　チャネル数　：6 ch
(b)　記憶容量　：2,048ワード/ch×1

図4　計算例

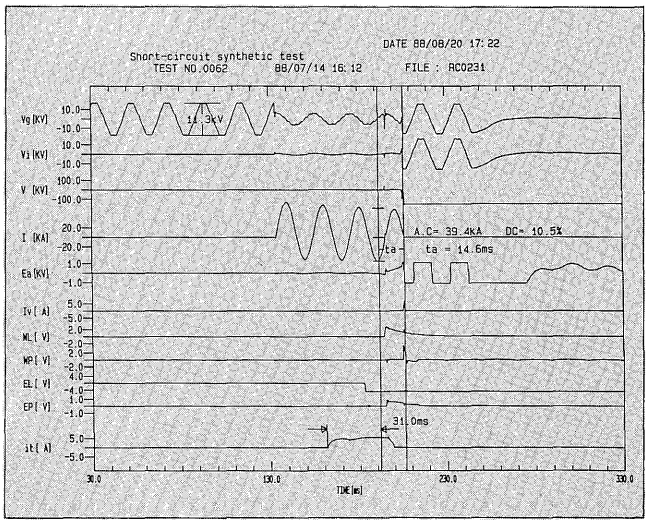
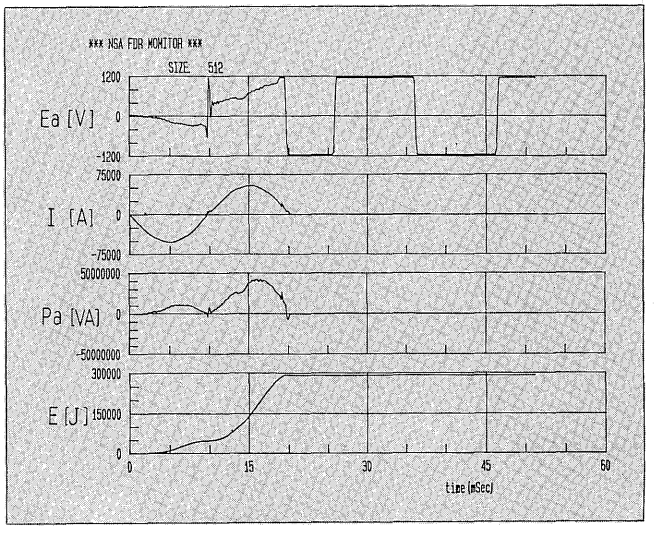


図5　解析例



4,096ワード/ch×2

(c)　分解能　：8ビット，10ビット
(d)　サンプリング：最大10ns，20ns
(e)　入力レンジ　：±50mV～±50V

2.2.2　データ解析・処理例

図4に計測例を示す。試験項目別に標準化し収集された測定データは，試験終了後グラフィックターミナルへ出力され，試験条件及び遮断性能を確認することができる。

図5に解析例を示す。短絡遮断試験中のアーク電圧及び遮断電流から，パワー，エネルギーなどの解析処理も同時に実施している。

また，随時対応の解析は，必要に応じてターミナル上で設定可能となっている。

2.3　短絡発電機の運転監視

開発試験器の検証容量の増加に伴い，高電圧及び大電流発生の機会が多く，短絡発電機の運転に対する責務が過酷になりつつある。したがって，従来にも増して，点検周期の見直し，日常監視を多方面から強化する必要がある。

表1　発電機運転監視項目

	大分類	小分類	監視部位	監視内容
運転監視	全体系	冷却系	油槽	漏油
			クーリングタワー	量，温度
	駆動電動機	回転部	ブラシ	寸法，火花発生，回転速度
		固定部	巻線	温度，変形突出，発煙
	発電機	回転部	主軸	振動，荷重，変位
			制動巻線	溶断，折損
		固定部	軸受	焼損（油面，温度）
			軸受台	振動，温度
			巻線	電圧，回数，温度
	補機	励磁機	ダイオード	電流波形
			保護ヒューズ	断線検出
		クーリングタワー	電動機	欠相運転
		ブレーキ	制動面	ギャップ監視

ここでは，短絡発電機の監視部位と監視内容及び検出方法について述べる。

2.3.1　監視項目

表1に監視項目一覧を示す。大分類としては，冷却系，駆動電動機，発電機，補機の4項目がある。小分類では，回転部と固定部に区別され，それぞれの監視部位と監視内容は対になっている。

監視方法としては，装置が動作すると直ちに運転に対して警報及び停止信号を発令するか，あるいは常時レベルを検知し，設定値を超えた場合にのみ警報及び停止信号を発令する2種類の方法を採用している。

2.3.2　監視システム

図6にシステム構成を示す。電圧入力スキャナユニット及び温度測定用20チャネルを発電機室に設置し，データロガー，CPU及び出力装置を運転制御室に設置し運転監視を実施している。

特に制動巻線の突出，溶断検出として機械的及び光学的検出を実施している。また，振動についても発電機の回転速度の上昇と下降時を区別してモニタし，状態監視とその相違を発電機運転者が目視できるように工夫されている。

図7にシステム全景を示す。

2.3.3　適用例

図8に振動及び温度のモニタ例を示す。図は左側から発

図6　システム構成図

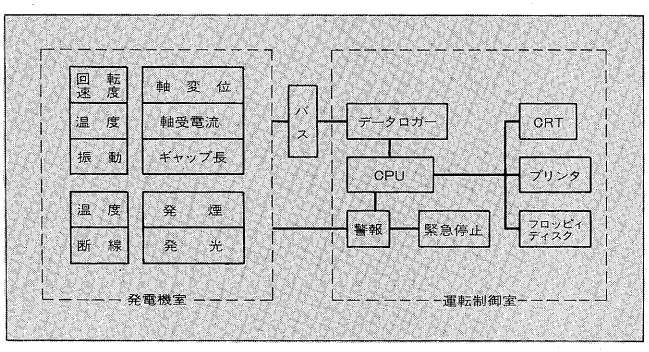
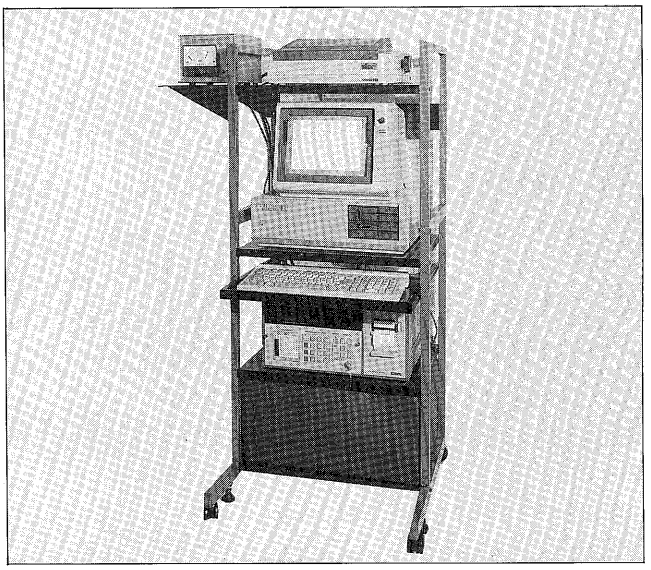
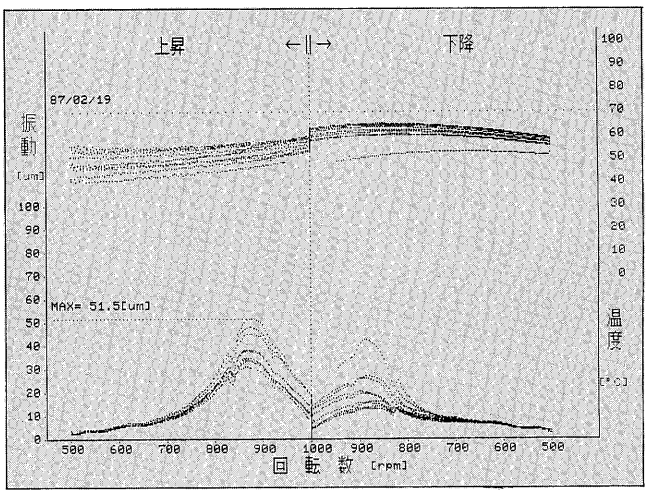


図7　システム全景



N89-5318-1

図8　モニタ例



電機の回転速度が上昇し，定格回転速度で短絡試験を実施する。更に試験終了後，駆動電動機の電源遮断により回転速度が下降する。以上の動作時の各部位の特性を連続的に表示している。更に，運転日報や月報を作成，出力保存が可能である。

2.4　試験設備の状態監視

2.4.1　電流源回路

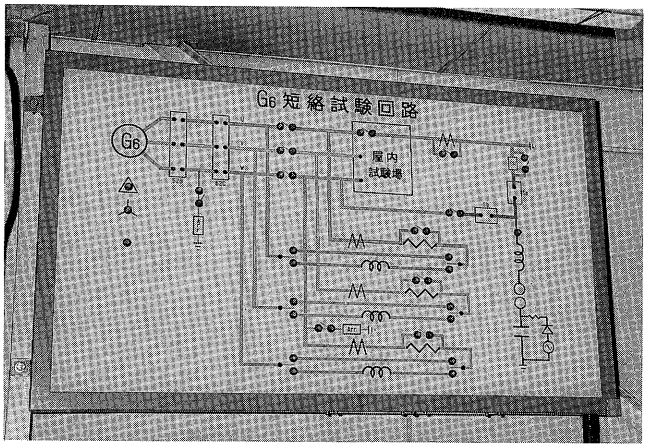
試験設備の状態を常時監視し，安全かつ効率良く検証を進めるために，運転制御室で各回路の状態監視を実施している。

図9に短絡試験回路の表示パネルを示す。電流源回路で主に発電機及び避雷器の結線，電流調整用限流リアクトルと力率調整用抵抗の結線などが三相回路とランプ回路で表示され，運転者が目視できるように工夫されている。

2.4.2　電圧源回路

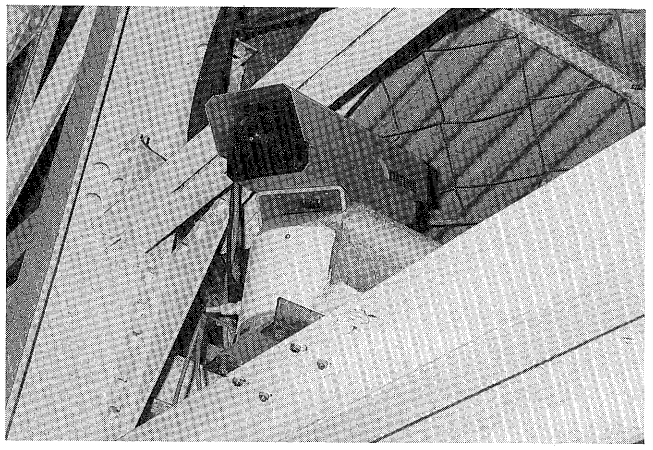
コンデンサバンクから構成されている電圧源回路は電流源回路同様，検証試験に使用されている。電流零点において発生するパルスによって放電するギャップなどの状態監

図9　短絡試験回路表示パネル



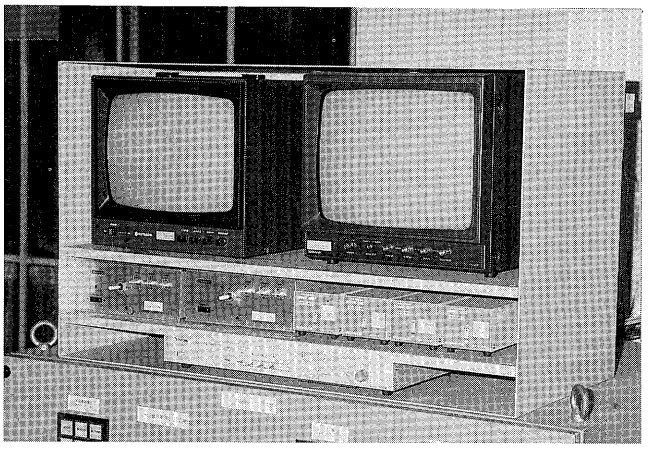
N65-3007-2

図10　旋回式 ITV カメラ



N65-3007-9

図11　モニタ画面



N65-3007-1

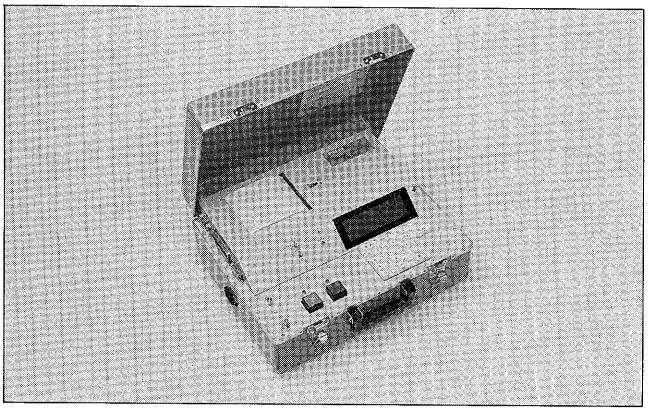
視は，工業用テレビ（ITV）を多用している。特定機器専用の固定式及び**図10**に示す旋回式を用途に応じて回路に配置している。

運転制御室には，**図11**に示すモニタ画面を設置し，コントローラで場所を選択する機能が装備されている。

2.4.3　AI 診断へのアプローチ

電力用遮断器の短絡試験設備には，高い信頼性と安定した特性が要求される。これらの設備を維持するために幾つかのエキスパートシステムが考えられている。

図12　遮断器動作特性測定器



N89-5251-7

図13　システム構成図

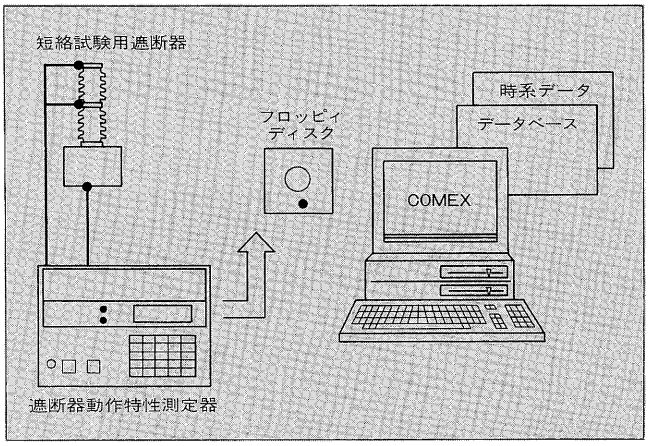


図12に遮断器動作特性測定器を示す。設備点検時に収集された測定データは，測定器のフロッピィディスクに保存され，オフラインで COMEX を用いたエキスパートシステムに入力され診断を行うものである。**図13**にシステム構成図を示す。

3　富士電機の合成試験技術

3.1　合成試験設備

合成試験の等価条件は，以下のものが必要になる。

(1)　遮断電流とアーク電圧及び注入エネルギーが合致すること。

(2)　遮断器端子からみた短絡駆動点インピーダンス関数が合致すること。

(3)　過渡回復電圧が合致すること。

富士電機は，以上の条件を満足する電流注入法（ワイル法）を採用し，技術的には以下の特徴を有している。

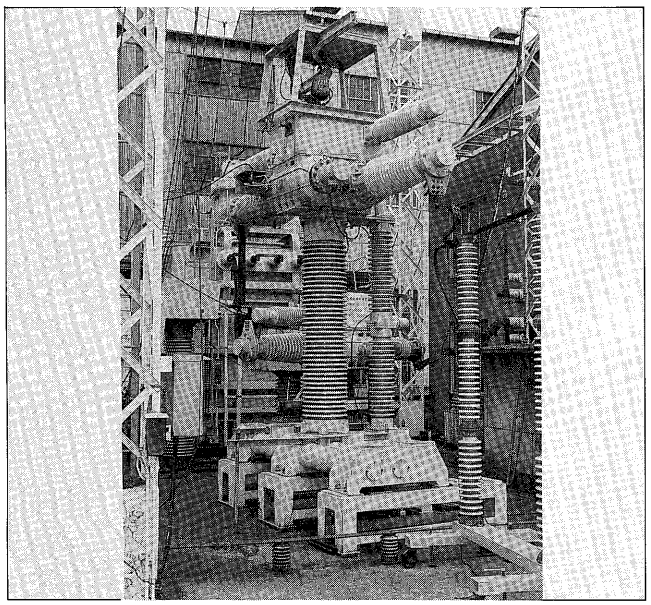
3.1.1　電流源回路

(1)　補助遮断器として**図14**に示す同期式 1 サイクル遮断器を採用し，アーク電圧による電流源電流のひずみを抑制している。

(2)　短絡電流は発電機から直接供給し，発電機のサージに対する保護は酸化亜鉛形避雷器を用いている。

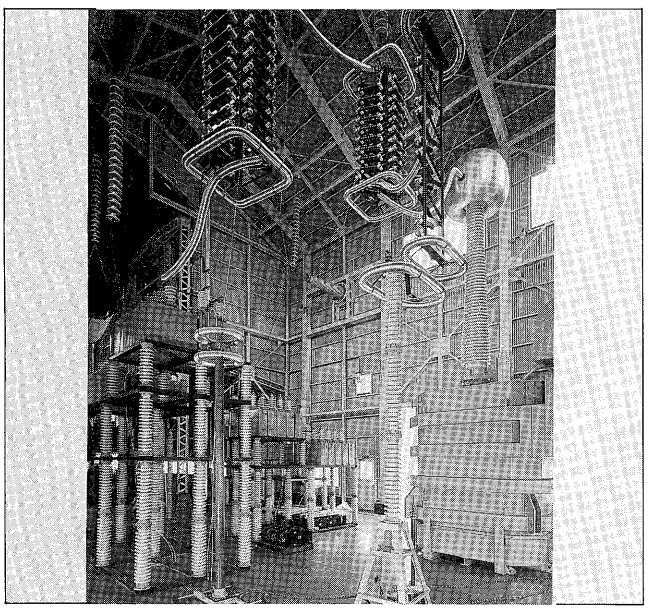
3.1.2　電圧源回路

図14 同期式1サイクル遮断器



N65-3007-14

図15 合成短絡試験電源（直流 700kV）



N89-4022-28

(1) 充電装置の定格出力は700kV/0.3A（連続）でサイリスタ制御による自動充電方式となっており，30秒で充電が完了するように設定されている。

(2) 放電ギャップは ϕ1,000の球ギャップを用い，電極部は放電による電極消耗を軽減させるためグラファイト材を用いている。ギャップのトリガは光ファイバ伝送方式を採用し，絶縁と誘導の防止を図っている。

(3) コンデンサの放電は伸縮できる断路方式を採用し，またスペースの有効活用を図っている。

なお，電圧源回路のコンデンサは1,080kJを所有しており，本設備により300kV及び362kV一点切り遮断器の合成試験が実施できる。**図15**に電源装置を示す。

3.2 新アーク延長方式

高電圧交流遮断器の合成短絡試験において，発電機で発生する低電圧の電流源回路で，電流零点を含む長いアーク時間を必要とする場合が発生する。その場合に，電流源回路電流の零点前に高周波電流注入方法を用いている。そのアーク電流延長回路の制御に非直線抵抗体を使用した。

図16 アーク延長回路

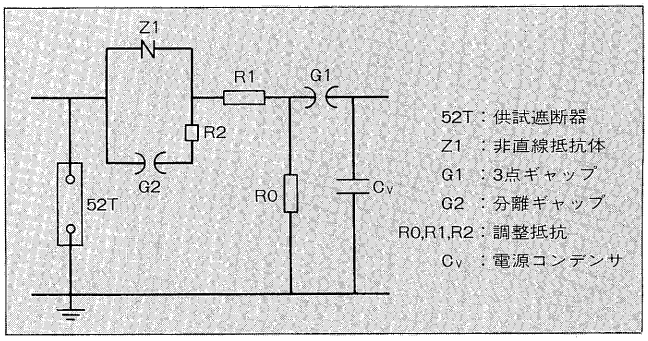
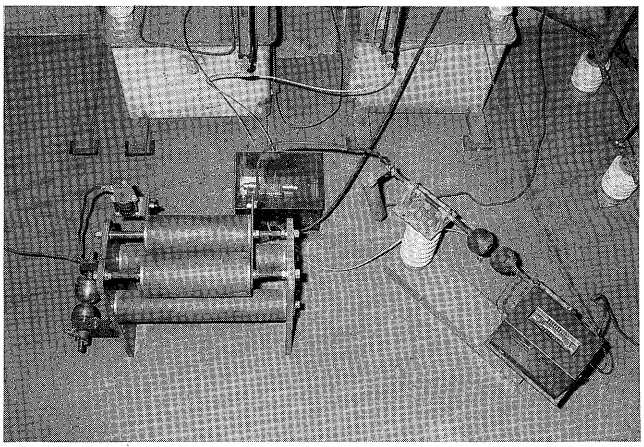


図17 アーク延長装置



N65-3007-7

図16に回路図を示す。アーク電流延長回路に直列に非直線抵抗を配置することで，電流源回路との分離と注入電流値の設定が容易である。更に並列にギャップを付加し，注入電流の時間幅を広げることが可能である。

図17に設備化された装置の全景を示す。

3.3 三相合成短絡試験

高電圧大容量遮断器が処理すべき故障条件としては，①小電流遮断，②端子短絡遮断，③近距離線路遮断，などで代表される動作責務がある。

ガス絶縁開閉装置（GIS）の三相一括形遮断器としては，大電流で高電圧の端子短絡遮断条件で，①極間遮断性能，②相間耐電圧性能，③対タンク耐電圧性能，を検証する必要がある。

図18に合成試験回路を示す。あらかじめ定められた第1相遮断相A相遮断瞬時に，ワイル法による電圧源回路V1を印加する。更に第2，3相遮断瞬時にB相を補助遮断器としたスキーツ法による電圧源回路V2を各々，A相，C相に印加する。

ここでV1回路には，C_dとR_dの直列回路を付加し，V2回路の電圧は，V1と逆極性とすることで，直接試験の相間電圧に合致させている。

図18 三相合成試験回路

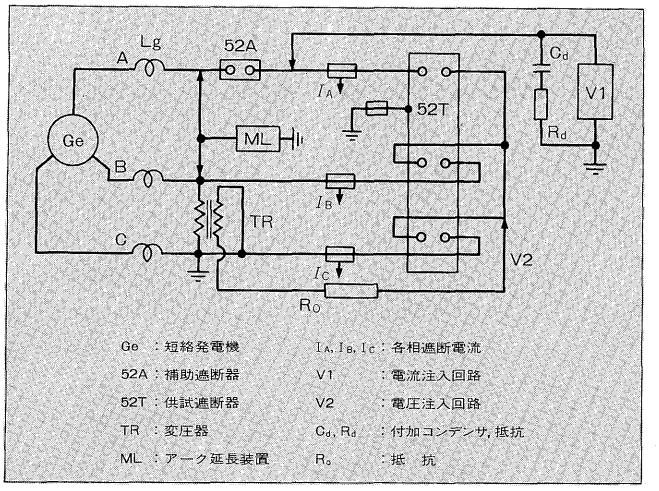
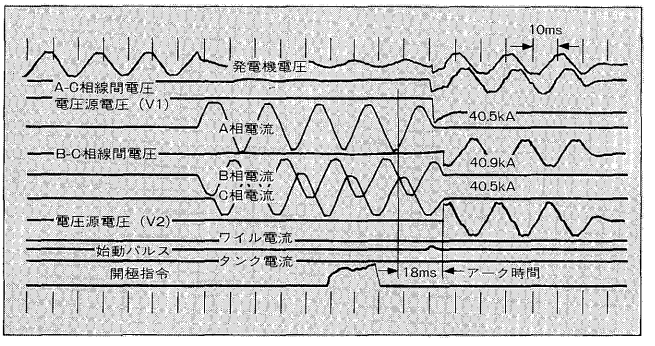


図19 三相合成試験オロシログラム



更に試験相A，B相に前述したアーク電流延長回路を設置し三相とも延長可能にし，所定のアーク時間を得ることも可能な構成になっている。

図19に三相試験で得られたオシログラムを示す。

3.4 4パラメータ合成試験

JEC，IEC，ANSIなどに規定されている過渡回復電圧（TRV）は，定格電圧が120kV以上の遮断器については4パラメータで表現されている。120kV以下では，2パラメータTRV波形で実施されており，回路構成上特に考慮する必要は生じていない。しかし，4パラメータTRV波形については，設備容量，試験実施上の制御などが複雑となる場合がある。

そこで等価性を維持し，かつ経済的に実施可能な4パラメータTRVの合成試験方法が必要になる。

図20に4パラメータの合成試験回路を示す。破線の部分は従来のワイル回路である。そのR_e，C_eの直列ダンピング回路に更に一つの単一振動回路を設けてある。

すなわち，C_e，R_e回路で波高値（U_c）を，付加した回路で初期波高値（U1）を得ることが可能である。

図21に試験で得られたTRV波形を示す。

図20 4パラメータ合成試験回路

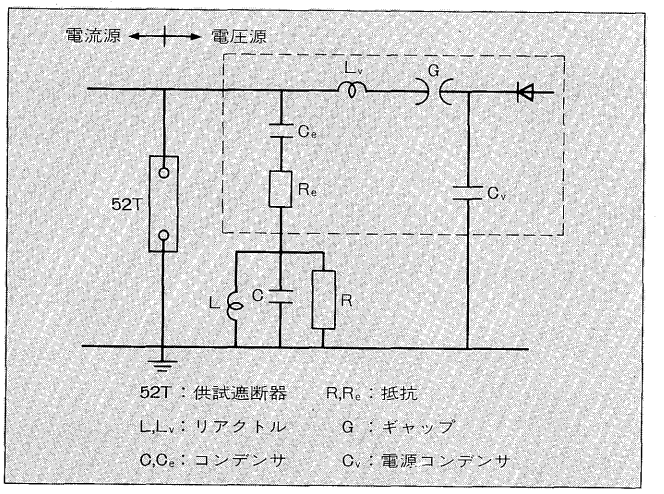
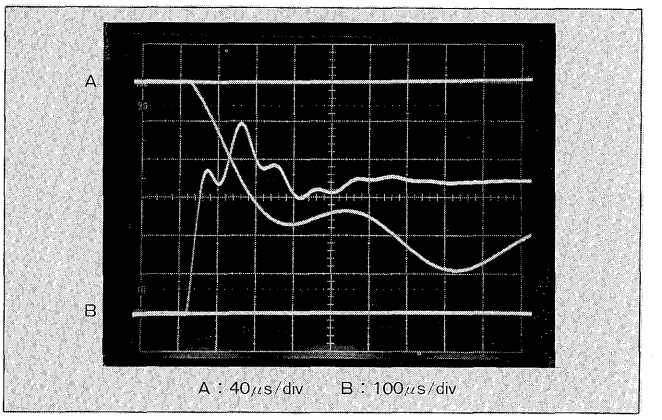


図21 TRV波形



4 あとがき

短絡試験における自動計測，機器監視と合成試験技術の現状を述べた。短絡試験所においては電力分野特有のノイズ対策が重要であり，より一層の技術向上が必要である。

今後はAIを応用した機器の運転，保守，事故復旧支援と機能拡大を図っていく所存である。

参考文献

(1) 岩井弘美ほか：4パラメータ合成試験法，昭和50年電気学会全国大会，No.1347（1975）
(2) 森田公ほか：高圧しゃ断器の試験法と試験技術（その2），富士時報，Vol.52，No.2，pp.137-142（1979）
(3) 岩井弘美ほか：短絡試験におけるデータ処理システム，電気学会東京支部大会，No.176（1981）
(4) 加藤信一ほか：充電電流しゃ断試験におけるデータ処理，昭和58年電気学会全国大会，No.1208（1983）
(5) 岩井弘美ほか：最近の開閉装置の試験，電気学会研究会資料，SPD-88-4（1988）

＊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。