UDC 621.311.4-523：621.316.925

最近の電鉄変電所用制御保護装置

＊平野　肇(ひらの はじめ)・＊牧野　喜郎(まきの よしろう)・＊栗飯原　一雄(あいばら かずお)

1 まえがき

電鉄電気所（変電所，駅電気室など）の制御保護装置には従来，電磁形保護リレー，電磁形補助リレーが使用されてきた。これらは既に長年の実績と安定した性能をもっているが，近年一層の信頼性及び性能の向上，保守の省力化，スペースの縮小などが要求されている。一方，最近の半導体，マイクロプロセッサ技術などの進展に伴って，このような要求に合致する静止形保護リレー，ディジタル保護リレー，プログラマブルコントローラ（シーケンスコントローラ，マイクロコントローラ）の採用が増加している。

ここでは，これら最近の電鉄電気所用制御保護装置の概要と納入例について紹介する。

2 最近の電鉄電気所用制御保護装置の概要

2.1 静止形保護リレー

ここで静止形保護リレーとは，トランジスタを主体とした保護リレーをいい，富士電機では昭和36年に電力用として納入，電鉄用としては昭和52年に業界に先駆けて札幌市交通局麻生変電所，日本国有鉄道仙台駅配電所に相次いで納入した。

静止形保護リレーの特長は，

(1) 高信頼性

(2) 保守点検が容易

(3) 小形軽量

などであり，後述のシーケンスコントローラなどと組み合わせた場合，自動点検機能によって制御保護装置としての信頼性の向上，保守の省力化に大きく貢献できる。

リレーは標準シリーズとして各種用途が用意されているが，**図1**にひずみ波対策過電流リレー SAH17N-01形の原理ブロック図を示す。電鉄用整流器負荷の場合，電流波形がひずむため，従来から一般に使用されている波高値検出方式では，ひずみ波実効値に対し大きな誤差を生じ，フィルタ付加による基本波検出方式でもひずみ率が30％を超えると誤差が増大する。このため図のような全波整流平均値が，ひずみ率の大きい領域でもひずみ波実効値とよく近似していることに着目して，このような方式を採用している。

リレーの構造としてはプリント板形式（複数枚をユニットにまとめる形式），単体リレー形式があり，電鉄用ではスペース縮小の利点から，主としてプリント板方式を採用している。**図2**に保護リレー盤の外観を示す。

2.2 ディジタル保護リレー

静止形保護リレーはアナログ式であるのに対し，ディジタル保護リレーは主演算器にマイクロプロセッサを使ったリレーで，アナログ式に対する基本機能の相違点は次に示す(1)～(5)などである。

(1) ディジタル量で処理する。

(2) 計算，判断，制御が自由に行える。

(3) 時分割処理を行う。

(4) データの蓄積・記憶が自由に行える。

(5) 制御，演算プログラム（ソフトウェア）の変更だけで各種保護リレー機能が実現できる。

ディジタル保護リレーの特長は，以下に記す(1)～(4)などである。

(1) 機能・性能の向上：マイクロプロセッサのもつ高度な計算判断能力によって，系統条件に適合した複雑な特性をもつリレーが可能となり，ディジタル演算フィルタなどによりひずみ波に対しても安定である。また，他システムとの情報交換が容易である。

(2) 一層の高信頼性：自己診断機能，自動監視システムによって装置故障早期発見が図れ，リレー特性が経年的に安定である。

(3) 保守の省力化：自動点検機能の充実，自動試験機能の付加により定期点検作業能率の向上，定期点検間隔の拡

図1 過電流リレー（形式：SAH17N-01）原理ブロック図

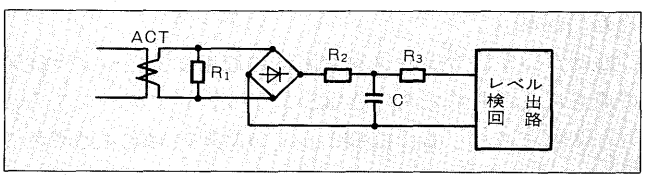
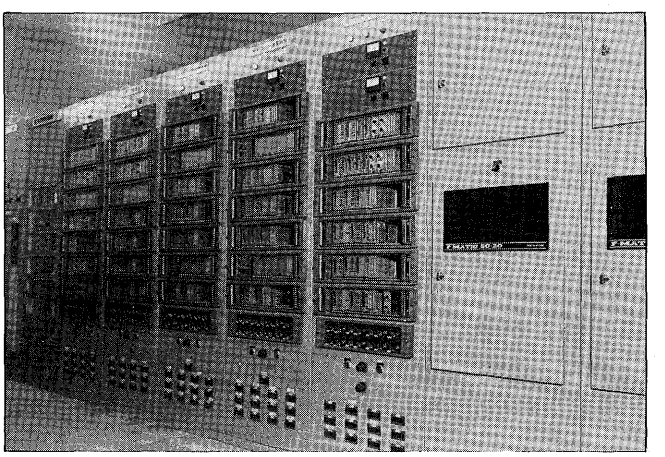


図2 静止形保護リレーの外観



＊輸送特機事業部 技術部

張などにより大幅な省力化となる。

(4) 小形化，低負担化：半導体素子の高集積度化，1台のプロセッサによる複数保護継電器の集約処理，アナログICの採用などにより静止形保護リレーより更に小形化，低負担化となる。

表1に静止形保護リレーとディジタル保護リレーとの点検機能の比較を示す。

図3に札幌市交通局鉄北変電所納入ディジタル保護リレーのシステム構成を，**図4**に同リレーの外観を示す。この装置の構成はMPU（Main Processing Unit）4セットを使用，最終出力リレーを除き完全2系列化している。実装要素はリレー数に置き換えると，1系列あたり次のとおりである。

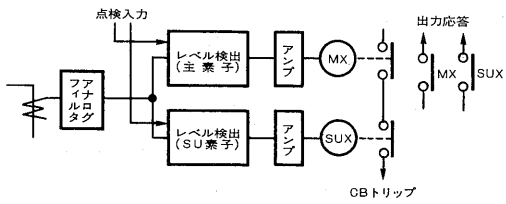
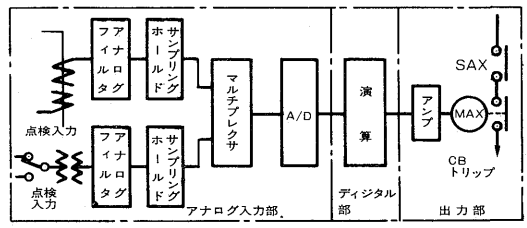
過電流リレー：13個
地絡過電流リレー：2個
不足電圧リレー：6個
比率差動リレー：3個
地絡過電圧リレー：3個
地絡方向リレー：4個

2.3 プログラマブルコントローラ

プログラマブルコントローラ（以下，PCと略す）は，シーケンス制御において，従来，線をつないで所要の制御を行うハードワイヤードロジック式の代わりに，プログラムによって制御を行うストアードプログラム式（又はソフトワイヤードロジック式）の制御装置である。PCはシーケンスコントローラ又はシーケンサなどとも呼ばれているが，ここでは電気学会，NEMA規格などに準じ，総称としてPCと呼ぶ。

富士電機では多年にわたる豊富な制御技術の蓄積を背景として，昭和46年にいち早くPCを納入し，以後，シリーズの整備拡充を重ねながら現在ではシーケンスコントローラSCシリーズ，マイクロコントローラMICREX-Eシリーズ，汎用プログラマブルコントローラFUJILOGシリーズと幅広いニーズに対応，各種分野に多数の実績をあげてきている。電鉄用としては，業界に先駆けて前述の札幌市

表1 静止形保護リレーとディジタル保護リレーの点検機能比較

方式		静止形保護リレー		ディジタル保護リレー		
ハードウェア構成ブロック図						
日常点検機能	自動点検	点検周期	1～7日(外部タイマ)及び任意	1～30日(自己タイマ)及び任意		
		点検内容	点検入力端子に外部点検指令を与え，最終出力リレー応答をチェック	アナログ入力点検		補助PCT一次から点検入力を取り込み，演算部で入力変換データチェック及びリレー出力をチェック
				ディジタル部ハードウェア点検		点検プログラム指令で各部診断
				出力部シーケンス点検		演算部から強制出力し，最終出力応答をチェック
	常時監視	監視内容	レベル検出部の1要素だけが一定時間以上動作することを監視	入力部	零相監視	零相電圧，電流が一定時間以上継続しないことで，入力部機能をチェック
					基準電圧監視	入力チャネルの一部に直流電圧を常時印加し，サンプルごとにこの電圧でAD変換部チェック
				演算部	パリティチェック	ROM，RAMの読出し時のチェック
					WDT	MPUの周期性チェック
					CLK監視	クロックのチェック（停止すると検知）
				その他	電源監視	電源装置監視機能によるチェック
					個別リレー監視	個別リレーの連続動作チェック
					断線監視	微弱電流によるトリップ回路チェック
					整定値チェック	絶対値，相対値チェック
定期点検	点検周期		1回/1～3年	1回/6年		
	点検内容		目視・外観点検	目視・外観点検		
			交流入力印加によるリレー特性チェック（数点）	交流入力印加によるアナログ部チェック（数点）		
			出力シーケンスチェック	出力シーケンスチェック		

（注） ディジタル保護リレーのブロック図は片系（図3のA系又はB系）で，二つのMPUのうち一つを示す。

交通局麻生変電所，日本国有鉄道仙台駅配電所に静止形保護リレーとともに SC シリーズを納入した。

富士電機の PC の特長を次に記す。

(1) 高信頼性

高信頼度設計，高信頼度部品の採用，信頼性試験，論理回路の二重化あるいは始動時の自己診断プログラムによるハードウェア診断，マイクロプロセッサ間の相互監視，自己診断などにより高い信頼性を実現している。

(2) 保守点検が容易

各プリント板，ユニットの故障表示ランプによる故障箇所の識別，あるいはプログラムローダによる故障情報の読取りなどによって保守が容易である。

(3) 小形軽量

半導体素子の高集積度化などにより小形軽量となる。

(4) 簡単でわかりやすいプログラミング

4 命令（R：READ，A：AND，O：OR，W：WRITE）を基本とするプログラミング言語，あるいは CRT ローダによりシーケンス作成の要領で画面と対話しながらプログラム作成が可能などにより簡単にプログラミングができる。

(5) 計算機などとの結合が容易

他システムとのインタフェースモジュールの付加が可能であり，これによって計算機，データウェイ，パーソナルコンピュータなどとの結合が容易である。

前述した富士電機の PC の各シリーズにおける機能は大略次のとおりである。

(1) シーケンスコントローラ SC シリーズ

シーケンス制御機能を基本とし，数値演算，A/D，D/A 変換，計算機とのリンケージが付加できる PC の基本形式である（以下，本シリーズを SC と略す）。

(2) マイクロコントローラ MICREX-E シリーズ

SC シリーズの付加機能も標準としているほか，アナログ制御，監視操作インタフェースの充実，最適制御プログラムの選択が可能，マイクロデータウェイ（DPCS）結合により階層化・分散化構成が可能である。また故障診断機能，故障時のリトライ機能などの RAS 機能が充実してい

図 4 ディジタル保護リレー盤の外観

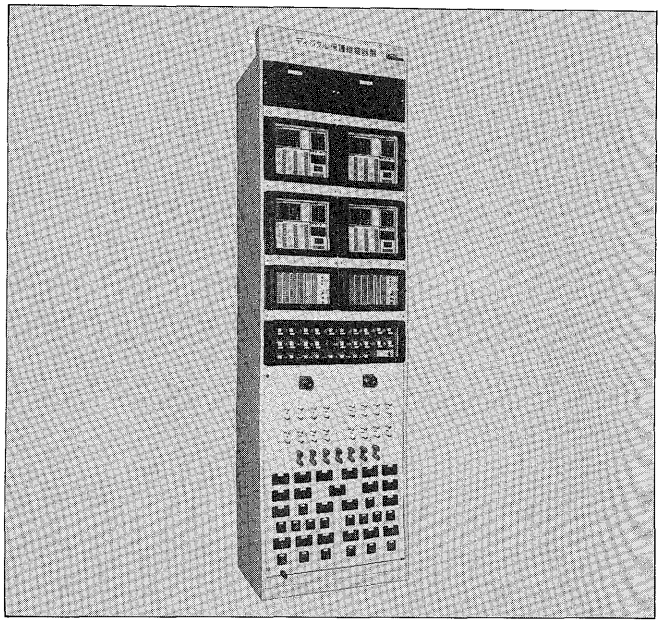
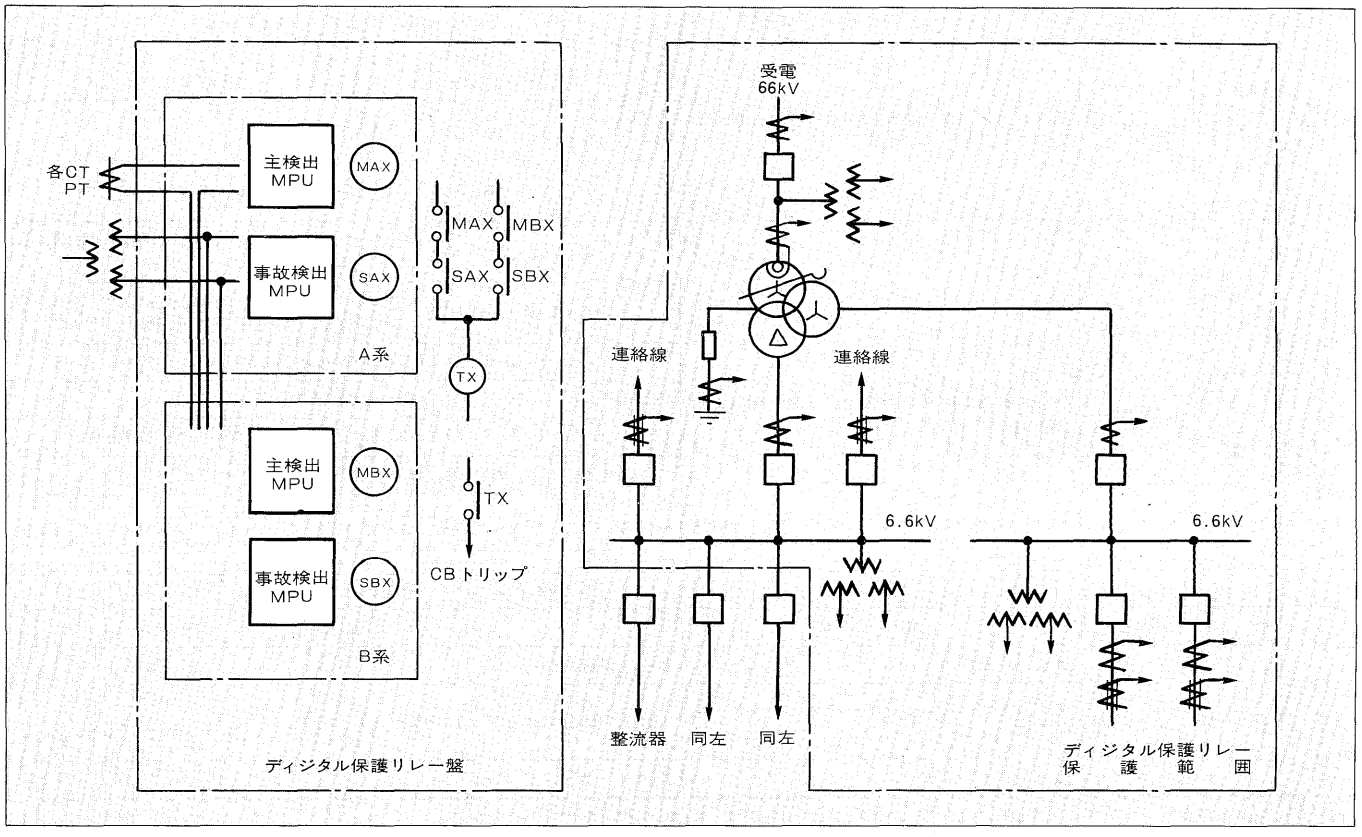


図 3 ディジタル保護リレーのシステム構成



るなど，一層の機能向上と広範囲への適用を図ったものである。このため単なるPCでなく，電力管理システム（本号の別稿「電鉄変電所用電力管理システムの動向」を参照いただきたい）の変電所側コントローラともなるものである（以下，本シリーズをMCと略す）。

(3) 汎用プログラマブルコントローラ FUJILOG シリーズ

比較的小規模用のシーケンス制御専用の汎用PCで，機能ごとのユニットを組み合わせて使用し，小規模駅電気室などに適用できる。

図5にMICREX-E HDC形の外観を示す。

3 電鉄電気所への納入例

制御保護装置を一つのシステムとして電鉄用に適用した場合，その目的に沿って様々な組合せ，使用方法が考えられる。**表2**に代表的な制御保護システムの構成例を示す。

システム構成を決める上で留意すべき点は，対象とするシステムの特性とこれら装置の導入効果（①回路が複雑でPCの導入だけでも十分効果がある，②リレー自動点検により信頼性が向上する，③保守省力化の効果が大きい，④規模が大きくスペース縮小化で効果があるなど）と，経済性を考え合わせることである。

実際のシステム構成上では，制御保護機能がPCに集中するのを避けるため，バイパス制御保護〔保護リレーによる該当遮断器（以下，CBと略す）直接トリップ，現地及び遠方でCB単独制御を可能とする回路構成〕などの手法を適宜採用している。

3.1 変電所納入例

札幌市交通局では「静止形保護リレー＋SC[(1),(2)]」方式と，「ディジタル保護リレー＋MC」方式の変電所があり，前者では指令所からデータウェイ経由で，任意に保護リレーの点検が可能である。点検は2要素の片方ごとに模擬入力を印加する方法で，列車運行終了後に行うのを原則としている。これは点検時保護協調が困難なケースもあるので，万一ミストリップしても列車運行に支障を与えないようにするためである。「ディジタル保護リレー＋MC」方式では，リレー自身が点検を行い，不良の場合は指令所に伝達する。

また，いずれの方式の場合もシーケンス試験機能をもち，SCあるいはMCからCBへトリップ信号を出して応動を確認する。

麻生変電所納入装置は運転開始以来5年の実績をもつが，SC異常は全く発生しておらず，保護リレーもタイマ要素を再調整した程度で，十分期待にこたえている。

東京都交通局都営新宿線（10号線）納入例は「静止形保護リレー＋電磁形補助リレー」方式である。この場合は変電所の主回路，制御回路がシンプルなこと，指令所計算機による集中制御機能にウェートをもたせていることから，現地での押しボタンスイッチによる自動点検入力印加で十分な保守省力化，スペース縮小化の効果を発揮している。

某社向けに「電磁形保護リレー＋MC」方式の装置を製作中である。この装置は，顧客内の変電所間シーケンスの標準統一化と既設老朽化による更新を目的としている。

この例は，複雑な連動回路（タイマ運転，再閉路，電圧条件によるCB自動投入など）をMCで処理し，従来のハードウェア回路の簡素化と信頼性向上の利点をもつものである。MC機能には**表2**の「電磁形保護リレー＋PC」基本機能に加えてCRTディスプレイをもつ。ディスプレイは，従来の故障表示器に代わって現在の故障表示，過去の故障表示，CB動作表示，CB動作回数表示などを行う。同時にプリンタも付属し，ディスプレイ内容の印字と計測印字（受電電圧，高配電圧・電流など一定期間内の最大，最小，平均値）も行う。バイパス制御保護方式としては，保護リレーによる該当CB直接トリップ，連絡遮断，操作盤上スイッチによるCB単独制御（MC側との切換を条件とする）などがある。

現在，同社向けとしてこのほか前述の機能に保護リレーも静止化し，自動点検機能による大幅な信頼性向上，保守省力化，スペース縮小化を図った方式も製作中である。

3.2 新幹線き電用変電所納入例

電鉄プラントの特長は，変電所などのき電設備が線状に連なっていることである。更に新幹線のような交流き電方式では，異電源の突合せを防止することが必要であり，隣り合うき電設備（以下，ポストと略す）間での情報授受は制御上の重要な要素となる。

東北・上越新幹線変電所の装置については，富士時報第55巻第10号「日本国有鉄道新幹線新大宮変電所納入電力系統制御システムDECS」で紹介しているのでここでは簡単に紹介する。このシステムでは隣接ポスト間の情報量を増やすこと，各ポストに制御判断機能をもつ制御装置として

図5 マイクロコントローラ MICREX-E HDC形の外観

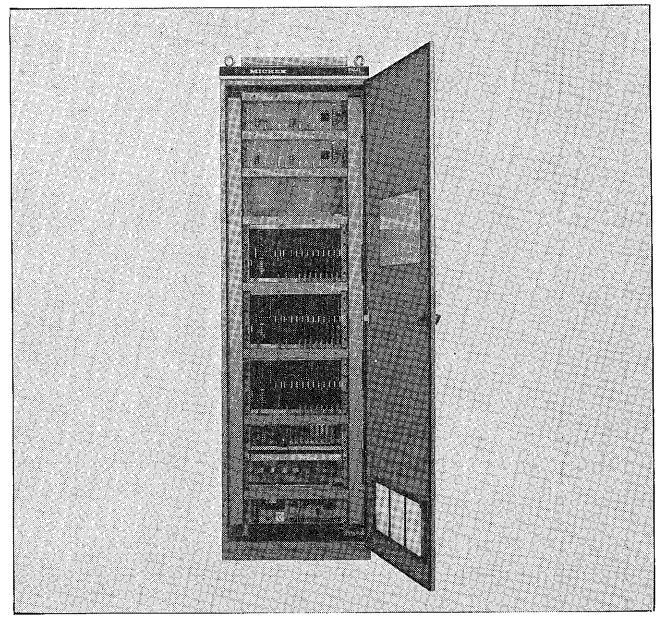
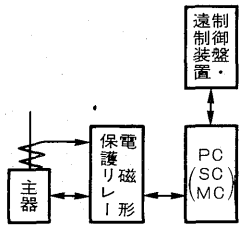
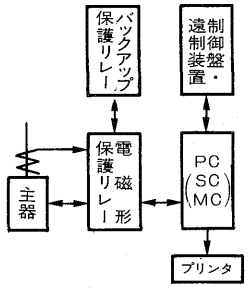
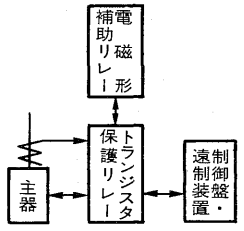
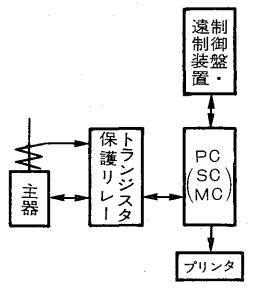
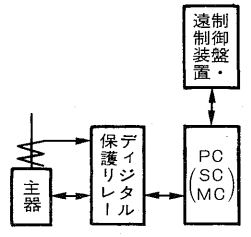


表2　代表的制御保護システムの構成例

方式		電磁形保護リレー＋プログラマブルコントローラ	電磁形保護リレー(自動点検付)＋プログラマブルコントローラ	静止形保護リレー 電磁形補助リレー	静止形保護リレー＋プログラマブルコントローラ	ディジタル保護リレー＋プログラマブルコントローラ
システム構成	ブロック図	 遠制装置：遠方監視制御装置の略				
	概要説明	制御盤・遠制装置信号による入一切，保護リレー動作による制御保護連動をPCで行う。	制御盤・遠制装置信号による入一切，保護リレー動作による制御保護連動及び保護リレーの自動点検をPCで行う。	制御盤・遠制装置信号による入一切，保護リレー動作による制御保護連動を電磁形補助リレーで行う。	制御盤・遠制装置信号による入一切，保護リレー動作による制御保護連動及び保護リレーの自動点検をPCで行う。	制御盤・遠制装置信号（又はデータウェイ信号）による入一切，保護リレー動作による制御保護連動をPCで行い，保護リレー自動点検はリレー自身で行う。
保護リレーの日常点検	方式	定期点検時，試験器材を用意，主器の運転を停止し，リレー個々に試験する。	PCの自動点検機能により入力部へ，模擬入力を与える。良否判定はPCで行う。	リレー収納箱内の手動点検ボタンにより試験を行う。 直列二重化方式による常時監視を行う。	PC自動点検機能により，レベル検出部へ模擬入力を与える。良否判定はPCで行う。 直列二重化方式による常時監視を行う。	リレー自身で自動点検，常時監視を行う。
	点検中の事故対応	――	バックアップリレーにより保護する。	直列二重化の1要素ごとに点検，事故時両要素動作によりトリップ出力する。	① 直列二重化の1要素ごとに点検，事故時両要素動作によりトリップ出力する。 ② トリップロックし，両要素同時に点検，事故時は事故検出リレーでトリップロック解除する。 のいずれかとする。	トリップロックするが，点検時間が早いので特別な事故対応は行わない。
	点検結果の確認	試験器の指示を読み取り，記録する。	判定結果異常の場合は制御盤に該当番号の表示を行い，制御所にも異常を伝達する。プリンタを接続した場合は全リレー点検結果を印字する。	ランプ点灯により確認し記録する。	判定結果異常の場合は制御盤に該当番号の表示を行い，制御所にも異常を伝達する。プリンタを接続した場合は全リレー点検結果を印字する。	判定結果異常の場合は，リレーの整定，表示部に異常内容の表示を行い，制御所にも異常を伝達する。更に詳細チェックもリレー自身で可能なようになっている。
シーケンス試験		PCにより自動シーケンス試験を行う。（主にトリップロック方式の場合）	PCにより自動シーケンス試験を行う。（主にトリップロック方式の場合）	外部から個別に入力印加して動作確認する。	PCにより自動シーケンス試験を行う。（主にトリップロック方式の場合）	PCにより自動シーケンス試験を行う。（主にトリップロック方式の場合） リレー自動点検機能により出力部シーケンス点検を行う。
信頼性		制御部静止化，PC自身の点検機能，シーケンス試験機能により高い。	制御部静止化，PC自身の点検機能，リレー自動点検，シーケンス試験機能により高い。	保護リレー静止化により高い。	最小限の補助リレー以外は静止化され，PC自身の点検機能，リレー自動点検，シーケンス試験機能により極めて高い。	最小限の補助リレー以外は静止化され，リレー及びPC自身のきめ細かい点検機能により極めて高い。

MC を設置することにより，ポスト間レベルでの系統保安確保と，電力系統の自動構成を可能とするいわゆる機能分散形の制御保護システムとしている。

新大宮変電所に納入した制御保護装置のシステムブロック図を**図 6** に示す。図中の連動論理盤が制御保護の中枢であり，MC をデュープレックス構成として使用している。

これは「電磁形保護リレー＋MC」方式であり，主回路停電状態で交流模擬入力を PCT 二次側から印加し，保護リレー動作自動点検を行っている。また，シーケンス制御については，ハードリレーロジック回路出力を MC に取り込み，ソフトウェア処理結果との照合を行った上で最終出力を許可する方式や，重要制御条件は入力を三重化して取り込み，多数決論理演算（2 out of 3）処理する方式により誤制御に対する信頼性を向上させている。

保守にかかわるデータの収集・記録も重要な作業であるが，この変電所ではデータの処理及び記憶機能をもつ保全データ取込み装置を設置し，CB の動作回数，事故電流，負荷電流を記憶している。MC はこのデータも取り込んで，操作盤への表示，タイプライタ印字，遠方監視制御装置へのデータ転送を行っている。

図 6　新大宮変電所制御保護装置のシステムブロック図

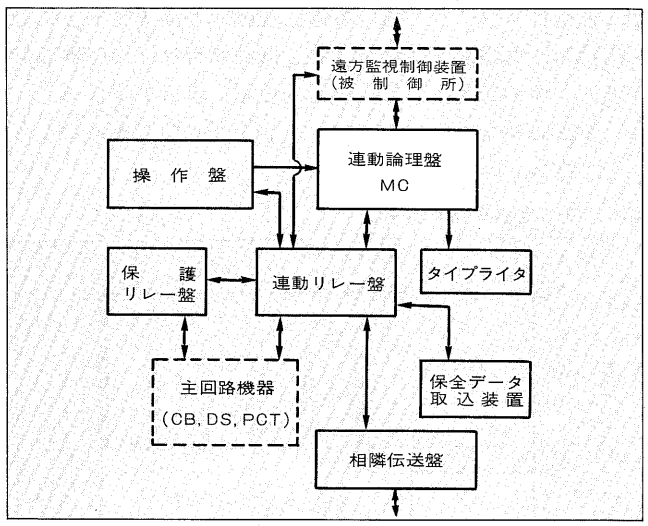
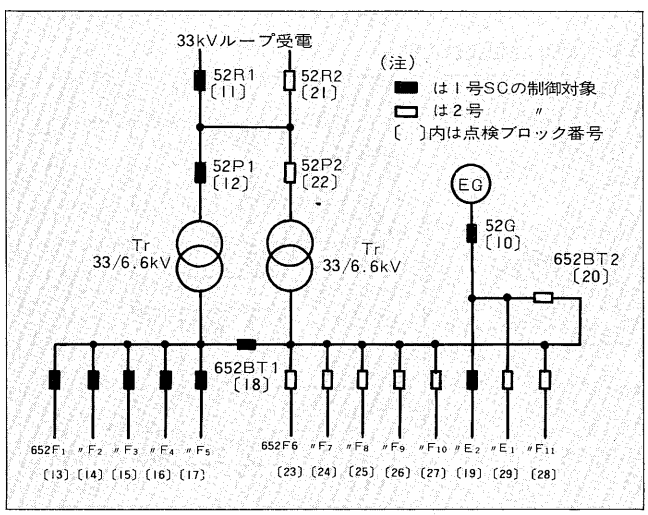


図 7　日本国有鉄道仙台駅配電所の主回路ブロック図



3.3　駅電気室納入例

日本国有鉄道のき電用変電所では，従来から配電盤・シーケンスの標準化を図り，これらに所定の条件授受を行うピンを設け，点検装置を搭載した移動検測車（マイクロバス）との結合により自動的に盤の機能チェックを行っている。しかしながら，駅電気室設備は回路が標準化しにくいケースがほとんどであり，前述のような機能チェックが難しい。また，電源停止を許されない場合もあるので，使用状態で盤の機能チェックを行う必要がある。

これらをカバーする点検機能と，より一層の信頼性向上をねらいとして実現したのが，日本国有鉄道仙台駅を初めとする制御保護装置[(3)]である。**図 7** に日本国有鉄道仙台駅配電所の主回路ブロック図を示す。この制御保護装置は「静止形保護リレー＋SC」方式である。

SC は 2 台構成で，主回路を二重化している点から各主回路系統ごとに 1 台ずつの SC が制御を行い，停電時の電源切換シーケンスなど重要制御項目については，両 SC にプログラムをストアし，相互予備の方式を採っている。

保護リレーの点検は，1 日 1 回タイマにより 8 時30分ごろ，低レベル素子（SU）と主素子に同時に模擬入力を印加する方式を採用している。この方式では保護リレー点検で CB トリップ回路に出力するので，CB を応動させない点検方式では，トリップロックリレーをあらかじめ動作させ，模擬リレーで動作確認している。また，常時はトリップコイルに微弱電流を流し，トリップコイルの断線監視を行っている。

上述の制御保護装置は現在，日本国有鉄道大規模駅電気室の標準となっており，富士電機では現在までに 4 駅分を納入した。更に他社向けとして，SC だけの納入実績（18 セット）がある。

4　あとがき

以上，最近の電鉄電気所用制御保護装置の概要・納入例について述べたが，今後，いわゆるインテリジェント化されたものがより多く採用されてくると思われる。この結果，使用方法も多様化することが可能となるが，これらにはユーザー各位の御意見が重要であり，これらを反映させたより良いシステム作りに努力したいと考える。

参 考 文 献

(1)　新井隆ほか：札幌市交通局・麻生変電所の変電設備，富士時報，**51**，4，pp. 188～192（1978）
(2)　長谷川省二ほか：札幌市交通局・麻生変電所納入静止形制御保護装置，富士時報，**51**，4，pp. 193～197（1978）
(3)　牧野喜郎ほか：日本国有鉄道・仙台駅の配電用交流電源装置，富士時報，**51**，4，pp. 178～187（1978）

e-Front runners

＊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。