発電機保護用ディジタル保護リレー

高村 隆太(たかむら りゅうた)　井口 研二(いぐち けんじ)　福富 孝一(ふくとみ こういち)

1 まえがき

大容量化・複雑化する電力系統において，高速化・高精度化・小形化・無保守などのニーズと，マイクロプロセッサの機能の高度化・低価格のシーズが結びつき，ディジタル保護リレーが誕生した。ディジタル保護リレーの適用は送電線保護から始まり変電・配電・発電分野に順次適用され現在に至っている。

発電機保護装置への適用は，1988年の水力発電所に始まり，1997年の火力発電所に至った（**表1**）。

本稿では，今回600 MW大容量火力発電所の発電機保護に適用したディジタル保護リレーを紹介する。

2 発電機の保護システム

図1に火力発電所の単線結線図を，**表2**にリレー要素一覧表を示す。

なお，21G，78G，32PG，24Gなどの要素は，大容量火力発電所に適用するにあたり新たに追加した。

2.1 固定子の保護

発電機の固定子は，雷撃・地絡事故時の異常電圧などの高電圧が印加されると，絶縁物の劣化を起こし層間短絡，地絡，さらには相間短絡に至ることがある。また，冷却装置の故障・通風ダクトの目づまりなどにより固定子巻線が過熱され絶縁物の劣化を引き起こす。

(1) 87G

固定子巻線の相間短絡を発電機の負荷側と中性点側の変流器（CT）二次電流のベクトル差によって検出する。高感度設定のため，誤動作防止として比率特性をもった比率差動方式である。

(2) 87GT

発電機と主変圧器の内部短絡保護をする比率差動リレーである。

(3) 21G（JEM：44G）

距離リレーであり，主変圧器の事故を含んだ短絡後備保護である。

(4) 51VG，50G

発電機短絡・過負荷保護で，発電機内部短絡保護の後備保護も兼ねる。

(5) $59V_0G$

発電機負荷回路側の地絡を零相電圧により検出する。

(6) 64VG，64NG

中性点接地変圧器の二次側に設置され，固定子巻線の地絡を検出する。64NGは高感度のため，系統地絡時の誤動作防止として主変圧器の高圧側零相電流で抑制をかけている。

表1 ディジタル保護リレーの発電機保護への適用

発電所名	発電機容量	水力/火力	納入年
尾鷲第二発電所	7,450 kVA	水力	1988
秋葉第一発電所	27,000 kVA	水力	1989
秋葉第三発電所	47,600 kVA	水力	1991
秋葉第三発電所	1,700 kVA	水力	1991
秋葉第二発電所	28,000 kVA	水力	1994
砥山発電所	11,000 kVA	水力	1994
利賀川第一発電所	16,200 kVA	水力	1995
利賀川第二発電所	33,400 kVA	水力	1995
中国バイロンタン発電所	33,700 kVA	水力	1996
台湾・台塑石化股份有限公司	706,000 kVA	火力	1997出荷

2.2 回転子の保護

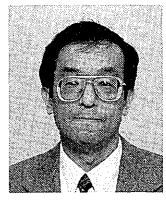
回転子巻線は，界磁巻線の過電流・不平衡負荷時の逆相電流などにより過熱される。界磁巻線の過電流は，自動電圧調整装置の過励磁制限回路で制限されている。

また，界磁回路は通常非接地のため一点地絡が生じていても問題ないが，二点地絡に発展すると地絡によって短絡された部分以外の電流が増大し，空げき磁束不平衡による振動が発生することがある。

このほかに界磁巻線の断線，自動電圧調整装置の不良，界磁回路短絡などにより，発電機が誘導発電機となり鉄心

高村 隆太

火力発電設備の制御・保護システムの設計に従事。現在，電力事業本部電力システム製作所発電システム部。



井口 研二

電力系統制御機器のエンジニアリング業務，保護継電装置の開発業務に従事。現在，東京工場電力システム部主任。

福富 孝一

火力発電設備の制御・保護システムの設計に従事。現在，電力事業本部電力システム製作所発電システム部主査。

図1　火力発電所の単線結線図

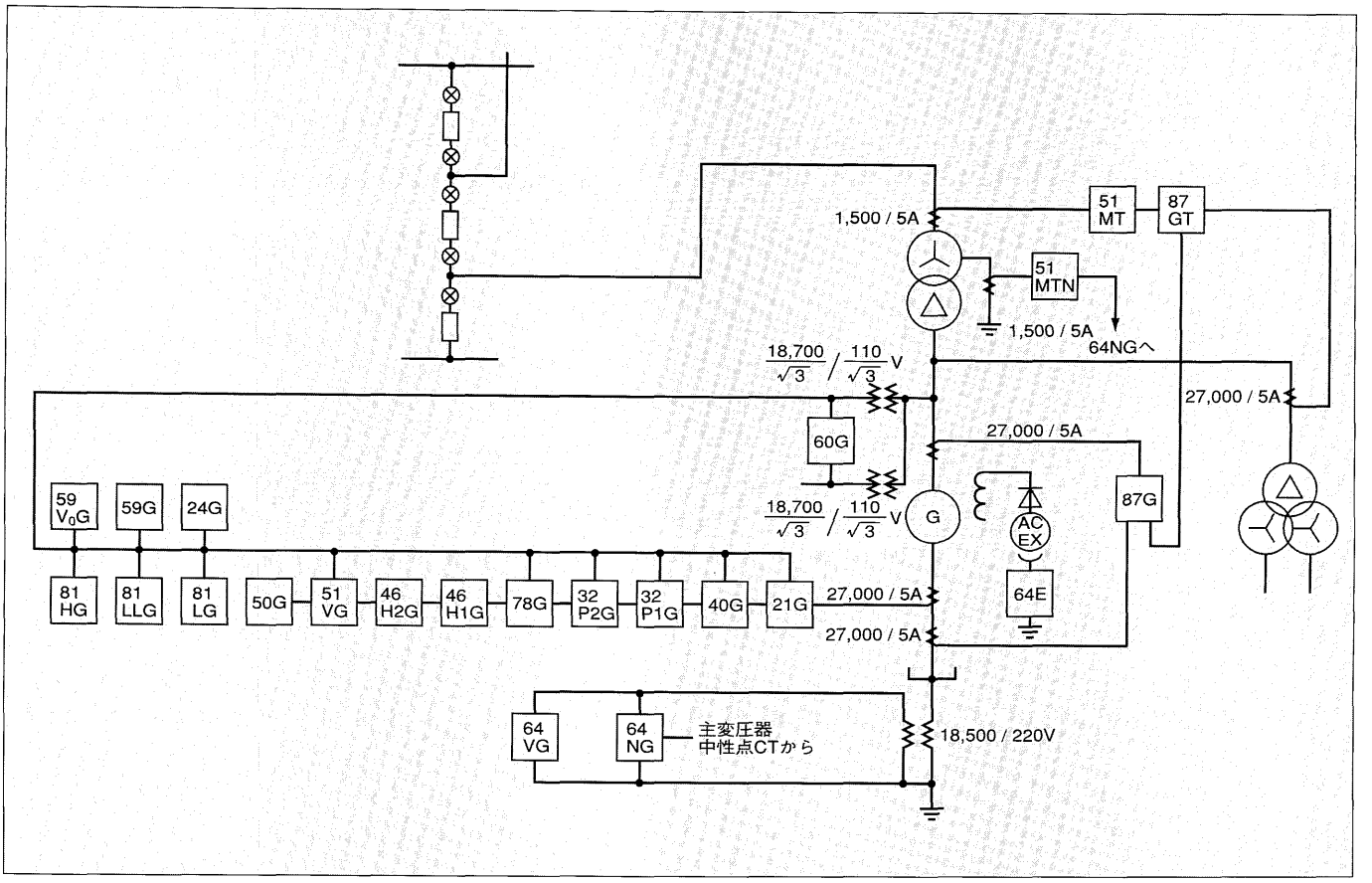


表2　リレー要素一覧表

保護目的	デバイス番号	名　称	トリップ	警　報	グループ1	グループ2	備　考
短絡保護	87G	発電機比率差動	○		○		比率差動形
	87GT	発電機・主変圧器総合比率差動	○			○	比率差動形
	21G	距離リレー（短絡後備）	○			○	オフセットモー特性
	51VG	発電機過電流	○		○		電圧抑制付き，反限時特性
	50G	発電機短絡過電流	○		○		瞬時特性
過電圧保護	59G	発電機過電圧		○		○	反限時特性
	24G	発電機過励磁	○		○		V/F，高・低設定
地絡保護	$59V_0G$	発電機地絡過電圧	○			○	PT二次零相電圧検出
	64VG	発電機地絡過電圧	○		○		20％地絡検出
	64NG	発電機中性点地絡過電圧		○	○		5％地絡検出
	64E	界磁地絡		○	○		10Hz外部電源重畳方式，警報
界磁喪失保護	40G	界磁喪失	○		○		オフセットモー特性
逆相保護	46H1G	逆相電流1段		○		○	瞬時特性＋タイマ
	46H2G	逆相電流2段	○		○		逆相耐量曲線にマッチした特性
発電機モータリング保護	32P1G	逆電力	○		○		二電力計法による逆電力検出
	32P2G		○			○	
周波数保護	81LG	不足周波数1段		○		○	低電圧ロック付き
	81LLG	不足周波数2段	○		○		
	81HG	過周波数	○		○		
脱調保護	78G	脱調	○			○	インピーダンスローカス検出
PTヒューズ断検出	60G	電圧平衡		○	○	○	高速動作・緩復帰
主変圧器保護	51MT	主変圧器過電流	○		○		反限時特性
	51MTN	主変圧器地絡過電流	○			○	瞬時特性＋タイマ

や巻線が過熱されたり，系統全体の安定性が失われること（脱調）がある。

(1) 46H1G，46H2G

不平衡負荷や断線事故による逆相電流を検出し，46H1Gが瞬時＋タイマで警報，46H2Gはトリップである。なお，46H2Gは逆相耐量曲線（$I_2^2 t=K$）に沿った特性を実現している。

(2) 64E

界磁地絡リレーで，10 Hzの外部電源重畳方式を採用しているので，検出感度は一定である。

(3) 40G

発電機が並列運転している場合，界磁喪失が発生するとインピーダンス軌跡が $-X_d$ と $-X_d'/2$ の間を通過するので，それを距離リレーで検出する。

(4) 78G（JEM：56G）

インピーダンスローカス方式の脱調リレーである。

2.3 その他の保護

(1) 32PG（JEM：67PG）

同期発電機は系統と並列運転状態で原動機入力が無負荷運転以下となると，系統から電力をとって同期電動機となりタービン翼の過熱が発生するので，逆電力を検出し発電機のモータリング保護をする。

(2) 59G

遠方負荷遮断時の容量性負荷による自己励磁現象，自動電圧調整装置不良などによる過電圧を検出する。

(3) 24G（JEM：59V/F）

発電機は定格電圧において周波数だけが低下すると過励磁となる。また，主変圧器も同様である。電圧検出に周波数検出を付加して過励磁を検出する。

(4) 81L，81H（JEM：95L，95H）

発電機の定格電圧時の許容周波数変動範囲は±5％であり，タービンの連続運転可能周波数は－5～＋3％である。系統周波数変動が主機の運転範囲を超える場合は，このリレーにて系統分離，選択負荷遮断などを行う。

(5) 60G

保護リレー用PT回路にヒューズがある場合，そのヒューズ断で誤動作するリレーがあるので，他のPT回路との電圧平衡を監視し，ヒューズ断時には21G，51VG，59V_0G，40G，32PG，78Gをロックする。

(6) 51MT，51MTN

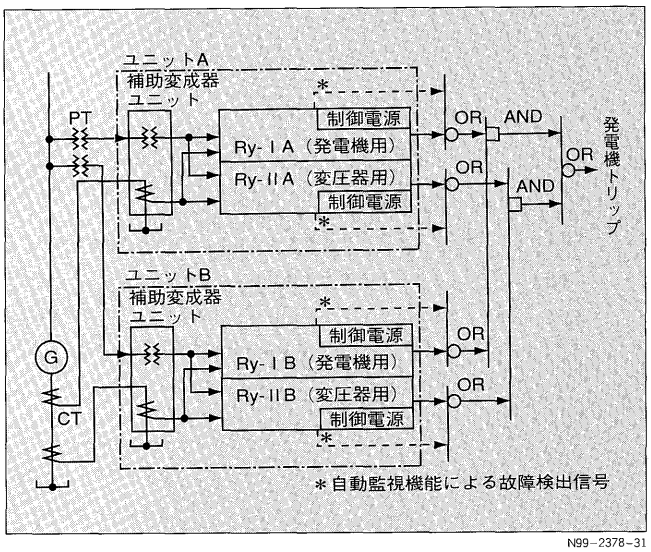
主変圧器の過電流と地絡過電流を検出する。

3 ディジタル保護リレー

3.1 システム構成

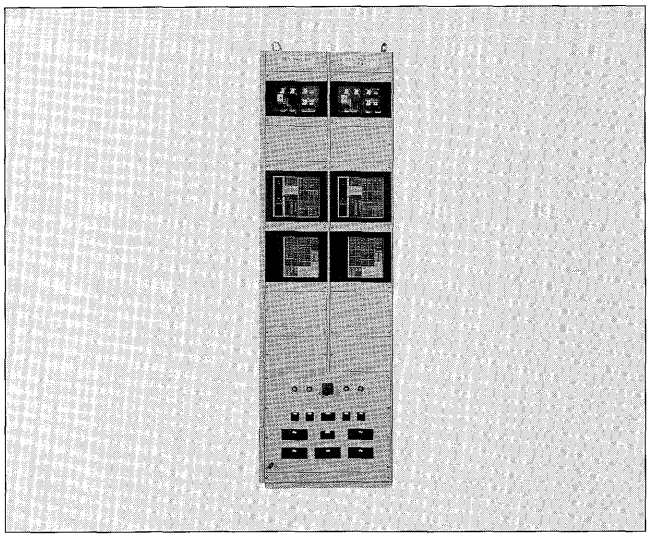
発電機の保護装置は，機器の損傷，あるいは事故時の系統への影響を最小限にとどめるため，非常に重要である。したがって，以下のとおり信頼性向上を図っている。**図2**にディジタル保護リレーシステムの構成，**図3**にディジタル保護リレー盤の外観を示す。

図2　ディジタル保護リレーシステムの構成



N99-2378-31

図3　ディジタル保護リレー盤の外観



(1) 誤動作防止

まったく同じ保護機能をもったディジタルリレーを二組用意し，双方のアンド出力でトリップさせることで，リレー誤動作による発電機誤トリップを防止している。

(2) 誤不動作防止

後述する自動監視機能によりリレーの故障を早期に発見することで，リレー故障による誤不動作の影響を小さくしている。また，万一故障が発見された場合，当該リレーの出力を故障信号でバイパスすることにより，残った健全ユニットにより発電機保護ができるシステムとしている。

(3) 保護要素の分散

各ユニットは，保護機能の演算時間の確保と過度の集中化を避けるために二つの演算ユニット（MPU）で構成されている。二つのMPUへの保護要素は，発電機用と主変圧器用を基本にして主保護と後備保護を考慮してグループ1とグループ2に分けている（**表2**）。

3.2 ハードウェア構成

大容量火力発電所は水力発電所に比べて保護要素数が多

く，かつ，保護インタロックが複雑なため，従来の16ビットマイクロプロセッサに替えて，32ビットマイクロプロセッサを採用した。また，アナログ入力部にはディジタルフィルタを採用することで，部品点数を削減し信頼性向上を図るとともに，基本波はもちろんのこと高調波を容易に抽出できるようにした。**図4**にディジタル保護リレー本体のハードウェア構成を示す。

(1) 制御電源（D/D）

入力：DC110 V

出力：DC＋5 V，DC±15 V，DC＋24 V

(2) 整定パネル（**図5**）

整定は選択キーでリレー要素を選択し，テンキーで数値を入力して完了ボタン（SET END）を押すことで行う。

(3) 表示パネル（**図6**）

リレー動作表示，自動監視不良表示，および点検操作を行う。また，モニタユニットを接続するコネクタと強制動作ジャックがあり，動作試験時の操作性を考慮している。

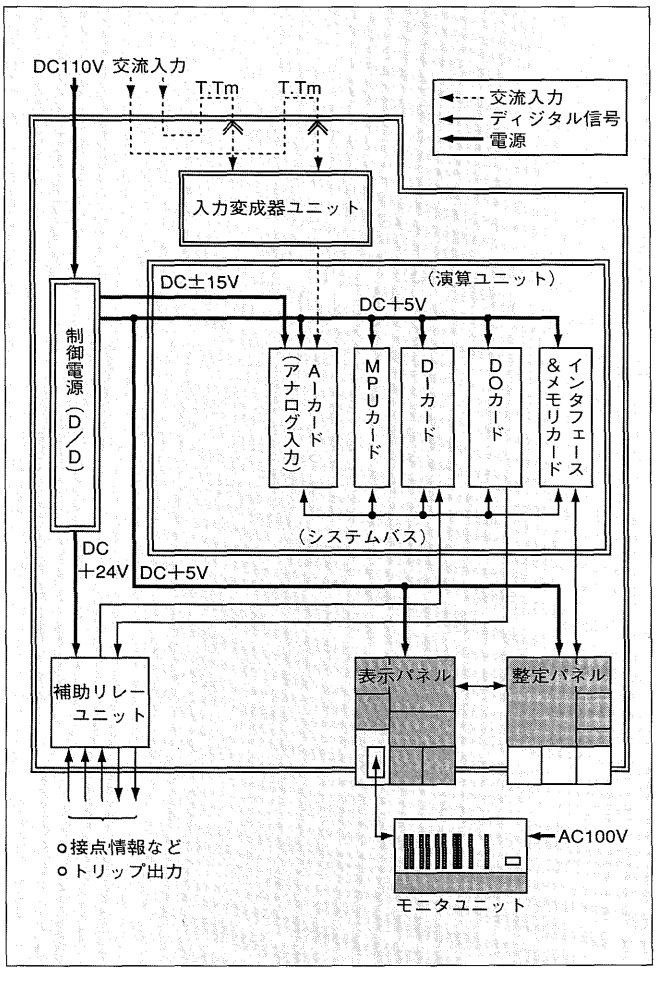
(4) 補助リレーユニット

外部接点条件入力の絶縁ユニット，外部表示・トリップ出力を外部へ接点出力する小形補助リレーが収納されており，表示パネルの裏に位置する。

(5) 入力変成器ユニット

発電機主回路のPT・CT出力を適切な電圧レベルに変換するとともに強電レベルとの絶縁を図っている。

図4　ハードウェアの構成



(6) 演算ユニット

整定パネルの裏に位置し，各種プリント基板で構成され，保護リレー演算などを実行する。

(a) MPUカード

32ビットマイクロプロセッサと浮動小数点コプロセッサにより数値演算・論理演算を行い，ディジタル保護リレーの主演算部として機能する。

(b) AIカード

アナログフィルタによる高調波成分の除去，12ビットA-D変換器によるアナログ入力値のディジタル値への変換，ディジタルシグナルプロセッサ（DSP）を使用したディジタルフィルタ処理などの入力信号処理を行う。なお，サンプリング時間は4,800 Hz（50 Hz系）または5,760 Hz（60 Hz系）で従来の8倍の速さである。

(c) DIカード

10 msの遅延フィルタ回路を経由して，接点情報などの外部ディジタル信号を内部に取り込む。

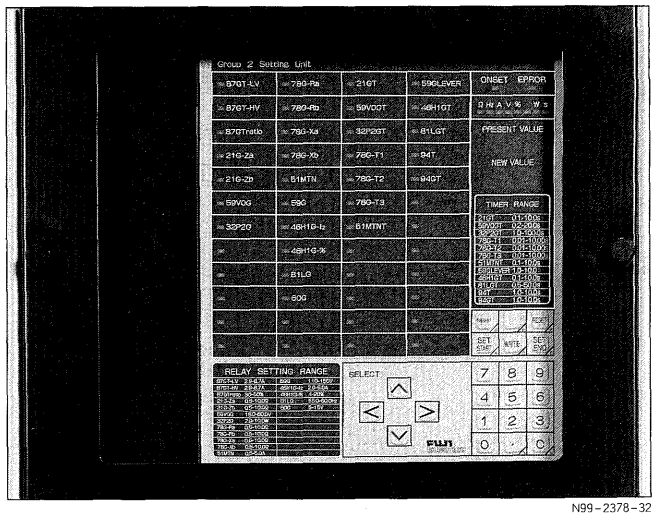
(d) DOカード

演算結果のトリップ信号や状態信号を外部へ出力する。

(e) インタフェース・メモリカード

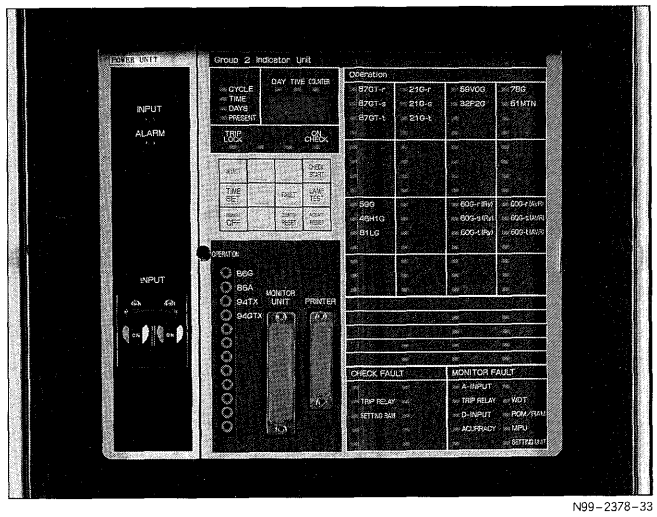
整定ユニット，表示ユニットの入出力データを制御す

図5　整定パネル



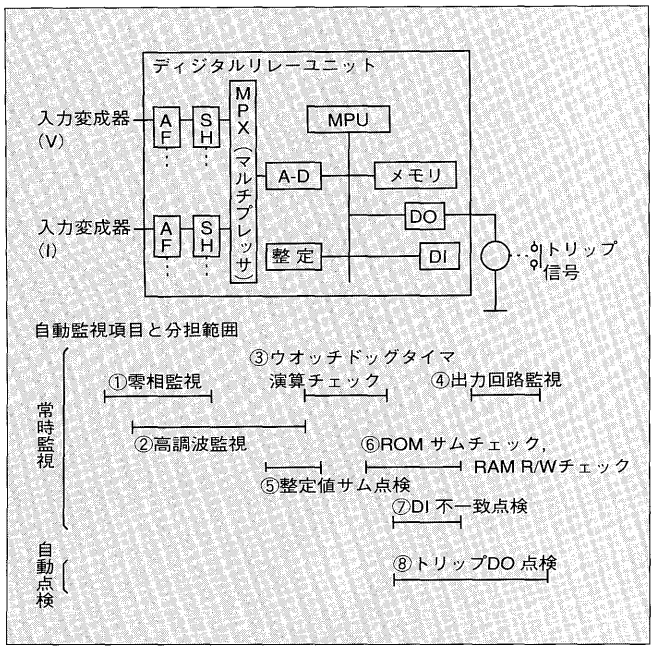
N99-2378-32

図6　表示パネル



N99-2378-33

図7　自動監視項目と対象範囲



るカードで補助機能を分担する。また，時計用 IC や整定値記憶用の不揮発性 RAM が収納されている。

3.3　自動監視

ディジタル保護リレーは，高信頼性の確保，保守の省力化を図るために，常時監視と自動点検により全構成部分を対象に正常動作・異常動作の判定を行っている。なお，自動点検中に事故を検出した場合は，直ちに点検を中断して保護動作に復帰する。**図7** に自動監視項目と対象範囲を示す。

(1)　零相監視

零相電圧および零相電流が基準値以上で継続していないかを監視し，アナログ入力部の異常を検出する。

(2)　高調波監視

AI カードに一定の第3調波を電圧・電流に入力してその検出値が期待値どおりかを監視することで，A-D 変換器を含んだアナログ入力部の異常を検出する。

(3)　ウオッチドッグタイマ演算チェック

プログラム実行周期を監視し，MPU の異常を検出する。

(4)　出力回路監視

補助リレーの接点を読み返すことで継続監視し，出力回路の異常を検出する。

(5)　整定値サム点検

整定値のサム結果（加算結果）が期待値と一致するかを点検する。

(6)　ROM サムチェック，RAM R/W チェック

プログラムなどが格納されているリードオンリーメモリ（ROM）のサム結果が期待値と一致するかを点検する。また，データなどが格納されるランダムアクセスメモリ（RAM）にデータをライトし続けてリードして正常に読み書きできるかを点検する。

(7)　DI 不一致点検

一つの信号を a 接点・b 接点入力としたり，同一信号を2点入力するなどして，接点入力の不一致を監視し，ディジタル入力回路の異常を検出する。

(8)　トリップ DO 点検

トリップ回路をロックして実際にトリップ信号を出力し，その信号を読み返してチェックすることで，トリップ信号回路の健全性を定期的に自動点検する。

4　あとがき

以上，火力発電所に適用したディジタル保護リレーについて述べたが，リレー要素は発電機の容量，水力，火力で一部異なる。

ディジタル保護リレーは，プロセッサの高機能・高速化，DSP の採用などにより，より高精度化，高機能化，多機能化すると考えられる。また，メタルクラッド開閉装置，パワーセンタの保護にもディジタル保護リレーが採用され，保護システムのオールディジタル化が進むと考えられる。今後は，それらの実現に向けて，保護機能の向上はもちろんのこと，他装置との伝送による結合などさらなる高機能化，保守性の向上，小形化に鋭意努力する所存である。

参考文献

(1)　竹村健ほか：最近のディジタル保護技術，富士時報，Vol. 59, No.7, p.484-492 (1986)

(2)　井口研二ほか：最近のディジタル保護リレー装置，富士時報，Vol.61, No.12, p.785-789 (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。