

# 火力発電所の訓練用模擬発電系統設備

Simulation Power Generation System Equipment for Training at Thermal Power Stations

飯田 昭司  
IIDA Shoji

池田 史晃  
IKEDA Fumiaki

小野 正信  
ONO Masanobu

近年、火力発電所にはデジタル自動電圧調整装置(AVR)やデジタル保護継電装置が適用されてきているため、デジタル装置の保守・取扱い訓練が必要とされている。このたび当社は、火力発電所の発電機や主回路機器の縮小モデルとデジタルAVRやデジタル保護継電装置を組み合わせた、高度な教育・訓練が可能な模擬発電系統設備を開発して東京電力(株)に納入した。

With the application of digital automatic voltage regulation (AVR) equipment and digital protection relay systems to thermal power stations in recent years, personnel training in the maintenance and handling of digital equipment is required. We have developed simulation power generation system equipment which enables advanced education and training in both digital AVR and digital protection equipment, by providing reduction models of the generator and main circuit equipment of a thermal power station. This system has been supplied to The Tokyo Electric Power Co., Inc. (TEPCO).

## 1 まえがき

最近の火力発電所には、最新のデジタル技術を取り入れたAVRや保護継電装置が納入されてきている。それに伴い、従来のアナログ装置に比較して高機能なデジタル装置の特性を生かすために、保守、取扱いの訓練がより重要になってきている。

これらに対応するため、東京電力(株)火力技能訓練センターに、火力発電所の発電機、変圧器、系統など、主回路の縮小モデルと実機のAVRや保護継電装置を組み合わせた実際の火力発電所とほぼ類似した模擬発電系統設備を納入した。この設備は、各種デジタル装置単体の取扱いや試験訓練はもちろんのこと、運転中に各種系統動揺や事故を発生させ、各デジタル装置の応答をビジュアルに解析、確認することで、より高度な教育・訓練を可能とすることが最大の特長である。以下に、この模擬発電系統設備の概要について述べる。

## 2 システム構成

### 2.1 主回路構成

火力発電所の主回路を模擬するための模擬発電系統設備は、別置き5 kVAの発電機とそれを駆動するタービンに相当するインバ-タ駆動用誘導電動機セット、主回路盤に収納した、主変圧器、所内変圧器、計器用変圧器(PT)、計器用変流器(CT)、送電線リアクトル、事故を模擬するためのコンタクタなどから構成されて、火力技能訓練センター内の200V系統に接続されている。単線結線図を図1に、また各機器の定格を表1に示す。

表1. 機器定格

Ratings of simulation power generation system equipment

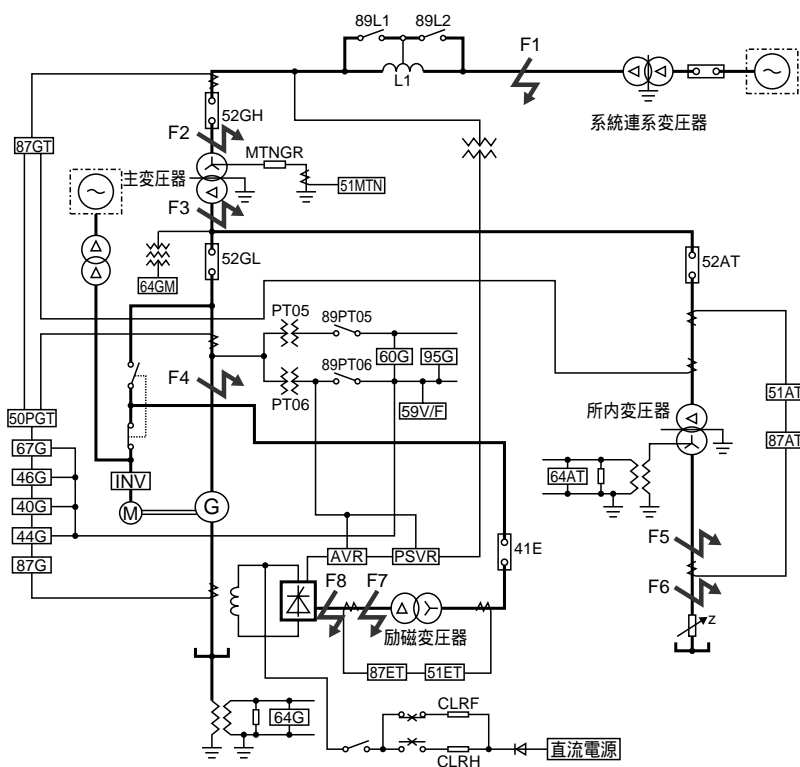
項目	連続定格
発電機	5 kVA - 4 P - 200 V - 14.43 A - 50/60 Hz - 0.9 pf
誘導機	11 kW - 1,500 rpm
回転速度検出歯車	1,500 rpmにて4.0 kHz以上となるようにインポリュート歯車の歯数 160枚
フライホイール	MGセットを含む完成定数 5~8秒
主変圧器	5 kVA - 200 V/500 V - 50 Hz IZ = 11.90 %
所内変圧器	1 kVA - 200 V/100 V - 50 Hz IZ = 5.46 %
系統連係用変圧器	5 kVA - 500 V/200 V - 50 Hz IZ = 14.46 %
所内負荷	(350 W - 100 V - 10 - 5.77 A)* 三相
送電線	1回線で0.375 P.U./回線のインピーダンスとする
発電機遮断器	連続200 V - 15 A定格, 遮断時75 A
系統側遮断器	連続500 V - 6 A定格, 遮断時35 A

P: 極数 pf: 力率 IZ: インピーダンス P.U.: 単位法

### 2.2 訓練用機器設備

2.2.1 励磁装置 5 kVAの発電機の励磁はサイリスタ励磁方式で、自励と他励の切換えが可能な回路構成として、いる。また、AVRは実機と同一のデジタル型(実機は二重化構成が一般的であるが、教育用のため一重化構成)とアナログ型の両方を設置し、切り換えて使用できることから、励磁装置としては多彩な運用が可能である。更に、送電電圧制御装置(PSVR)も、実機と同一のものをAVRに組み合わせて訓練できるようになっている。

2.2.2 保護継電装置 保護継電装置は、実機と同一のデジタル型(実機は二重化構成が一般的であるが、教育用のため一重化構成)を設置し、保護要素は、実際のタンデム機でサイリスタ励磁方式を採用している火力発電所をモデルとして選定している。



- F1 ~ F8: 事故点
- INV: インバータ
- M: モータ
- 51AT: 所内変圧器過電流
- 52AT: 所内変圧器遮断器
- 64AT: 所内変圧器過電圧
- 87AT: 所内変圧器比率差動
- z: 調整用抵抗器
- G: 発電機
- 40G: 発電機界磁喪失
- 44G: 発電機後備保護
- 46G: 発電機逆相過電流
- 60G: 発電機電圧平衡
- 64G: 発電機地絡過電圧
- 67G: 発電機逆電力
- 87G: 発電機比率差動
- 95G: 発電機周波数
- 51ET: 励磁変圧器過電流
- 87ET: 励磁変圧器比率差動
- 87GT: 発電機主変圧器比率差動
- 50PGT: 発電機起動時短絡保護
- 64GM: 主変圧器低圧側地絡過電圧
- 52GH: 発電機高圧側遮断器
- 52GL: 発電機低圧側遮断器
- 51MTN: 主変圧器地絡過電流
- MTNGR: 主変圧器中性点抵抗器
- PT05, PT06: 発電機計器用変圧器
- 89PT05, 89PT06: 断路開閉器
- 89L1, 89L2: 断路器
- L1: リアクトル
- CLRf: 初期励磁抵抗 (自動定格起動用)
- CLRh: 初期励磁抵抗 (自動半速起動用)
- 41E: 界磁遮断器
- 59V/F: 発電機主変圧器過励磁

図1. 単線結線図 模擬発電系統設備の電源系統を示す。  
One-line diagram of simulation power generation system equipment

2.2.3 系統設備の制御, 記録解析装置 上記主回路機器やデジタル装置の総合的な監視制御は, シーケンサや監視操作盤(オペレータコンソール盤: 以下, オペコン盤と略記)で, 電気量の記録解析は, オシログラフ(以下, オシロと略記)とパソコン(PC)を組み合わせ, 高度な解析が可能な装置で実施しており, これらの組合せシステムを図2に示す。

模擬発電系統設備の概観を図3に示す。

### 2.3 訓練装置の機能と特長

2.3.1 発電機の起動, 停止操作 発電機の起動から系統運用, 停止まではボタン一つでできるように自動化

されている。特に起動時は, 停止から定格回転数まで一気に上昇させるパターンと, 低速・半速回転での事故模擬による保護継電器特性の確認ができるように, 段階的に上昇させる図4に示す三つのパターンでの選択が可能である。出力制御は, インバータ用制御装置で実施している。

2.3.2 事故発生模擬操作 系統上8か所での三相・単相の短絡, 地絡事故(45種類)や界磁喪失などの発電機事故模擬(15種類)は, 監視操作盤のボタン操作で指令可能である。

2.3.3 記録解析操作 解析装置の特長として, 単なるリレー動作信号や電圧, 電流の波形だけでなく, 実効値や瞬時値の測定, 高周波解析, ベクトル表示, 事故データの軌跡

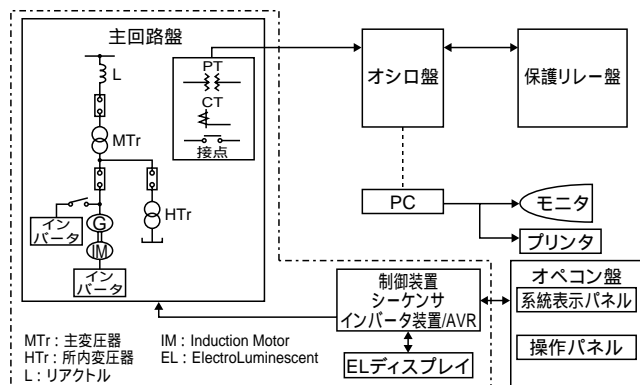


図2. システムの構成 設備間の入出力のインタフェースを示す。  
System configuration

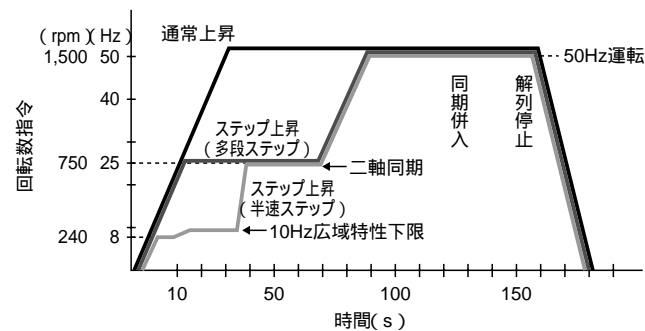


図4. 起動特性パターン 通常起動は30秒以内で定格回転数に達し, 併入操作ができる。  
Starting pattern



図3. 模擬発電系統設備の概観 発電制御訓練に使用される模擬設備全体を示す。  
Simulation power generation system equipment

表示がCRT(画像表示装置)上にビジュアル化されているため、より高度な教育訓練が可能である。

2.3.4 各デジタル装置固有の入出力操作 デジタルAVRやデジタル保護継電装置は実機と同一のディスプレイ装置、過渡事象記録装置、専用の保守ツールを備えており、これらを使用して設定変更や必要な記録などを実施する。

2.3.5 監視、警報 装置の監視に必要なメータと保護装置が動作した場合、警報表示は監視盤で集中監視する。

### 3 訓練内容

#### 3.1 デジタル保護継電装置の挙動・動作確認

設定変更はアナログ型の保護継電器の場合、設定変更ハードウェア上のタップやダイヤルを直接操作して行うが、デジタル型の場合は専用ツール(パソコンヒューマンインタフェース)を使用しての入力が必要で、ツールの使用訓練が可能である。この装置のもっとも特長とするのは、系統で実際の事故を発生させての継電器の応答を詳細に確認解析が可能であることである。また、一つの事故に対して関連する複数の保護要素が動作するケースでも、解析、確認できることが特長である。

3.1.1 波形の測定画面 事故波形のベクトル表示や実効値測定画面の一例を図5に示す。事故時の電圧、電流波形と位相が確認できる。

3.1.2 リレーの動作解析 事故波形とリレー動作信号を、一画面でCRT表示することが可能である。

3.1.3 リレー動作確認 動作したリレーは決められた動作をしているのかを確認する。そのため、リレーの整定値

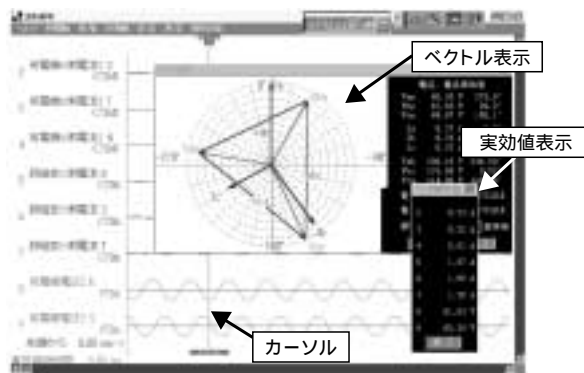


図5. 事故波形のベクトル表示 事故時の電圧、電流波形と位相が確認できる。

Vector display of failure wave

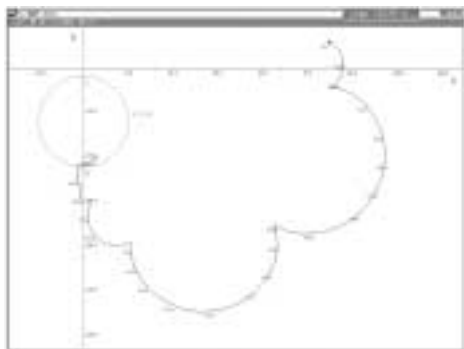


図6 . 界磁喪失40Gリレー動作軌跡 事故時の40Gリレー動作インピーダンス軌跡の動きを示す。  
Operation of 40 G relay

を基に特性カーブを画面に描き、その特性カーブ上に事故時の電流、電圧の軌跡を描く。これによりリレー整定値に対して、動作すべき事故電流量によって動作しているかを確認できる。界磁喪失リレー(40G)の解析画面の一例を図6に示す。事故インピーダンスの軌跡は、40Gのリレーの不動作域から動作域に移行している。

### 3.2 励磁制御装置(AVR, PSVR)の挙動・動作確認

定数変更は、アナログAVRではハードウェア上でのタップやダイヤルでの直接操作での訓練を、またデジタルAVRとPSVRは、専用の保守ツールからの入力訓練が行える。静特性試験は、外部からの電圧、電流入力での訓練が可能である。動特性試験は今回の装置の特長の一つであり、従来実施できなかった、実機に近い条件でのアナログAVR、デジタルAVRとPSVRの動特性試験、すなわち 起動確認試験、ステップ応答、系統安定化装置(PSS)応答試験、負荷遮断試験、制限装置動作試験が自由に実施可能である。

3.2.1 PSS動作確認試験 実際に系統に並列した状態でPSSを制御状態とし、AVR内部にて発電機電圧設定に

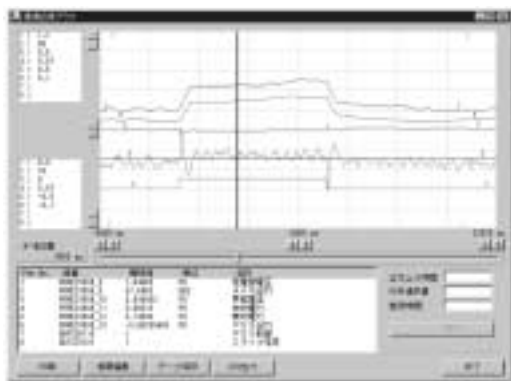


図7 . 負荷時PSS使用ステップ応答試験過度記録データ PSSの動作効果が確認できる。  
Step response test using power system stabilizer (PSS)

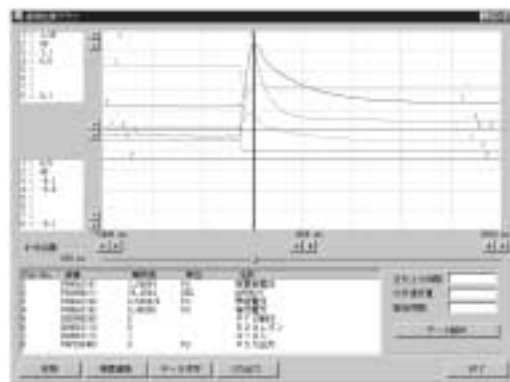


図8 . AVR負荷遮断時データ 発電機電圧の上昇応答が確認できる。  
Load shutdown test data of AVR

ステップ信号を与えるケースと、模擬系統の一部にて事故を起こすケースなど、様々なケースにおけるPSSの動作確認が可能である(図7)。

3.2.2 負荷遮断試験 この試験により、負荷遮断による発電機電圧など、制御諸量の挙動を確認できる(図8)。

## 4 あとがき

この設備は、模擬発電系統設備と保護継電装置及び励磁制御装置で、実プラント並みの回路構成と挙動を実現するために、検討と試行を重ねた結果開発された、初の本格的な客先向け実習訓練用設備である。この設備で総合動作確認を経験することにより、電力系統設備や制御装置に対する認識と理解を深めることができ、机上教育にとどまらない教育・訓練用として、客先より非常に高い評価を得ている。この設備の納入は、客先の製品知識向上につながるだけでなく、過去の不適合事象の再現検証や新規開発装置の実証試験、この設備を通じたCS(顧客満足度)リサーチなど、多様な付加価値が期待されており、今後のマーケティングの主翼を担うものと自負している。



飯田 昭司 IIDA Shoji

電力システム社 府中電力システム工場 発電制御システム部。発電向けデジタル保護リレー装置のシステム設計に従事。

Fuchu Operations - Power Systems



池田 史晃 IKEDA Fumiaki

電力システム社 府中電力システム工場 発電制御システム部。発電向け励磁制御装置のシステム設計に従事。

Fuchu Operations - Power Systems



小野 正信 ONO Masanobu

電力システム社 火力事業部 火力改良保全技術部主務。

国内事業用火力発電所の電気機器保守・改良保全のエンジニアリング業務に従事。

Thermal Power Systems & Services Div.