大規模電力系統シミュレータの開発

正員 土井 宏 祐 (関西電力)

正員 後藤 益 雄 (日立)

正員 河合 忠 雄 (日立)

正員 鈴木 智 宏 (富士電機)

正員 横川 純 男 (富士電機)

Development of Advanced Power System Analogue Simulator

Hirosuke Doi, Member (Kansai Electric Power Co., Inc.), Masuo Goto, Member, Tadao Kawai, Member (Hitachi Ltd.), Tomohiro Suzuki, Member, Sumio Yokokawa, Member (Fuji Electric Corporate R & D Ltd.)

The digital simulation method has been utilized to analyze phenomena in power system. Since different algorithms can be applied, depending on the phenomena to be analyzed, digital simulation allows for high-precision analysis.

However, it also has a disadvantages: it produces continuous phenomena which occur in actual systems only fragmentarily. Thus, when discussing important projects at research centers such as IREQ in Canada, use an analogue simulator to continuously analyze the phenomena from the moment the fault occurs until steady state.

These analogue simulators however, consists of only a few generator models. They are only effective for analyzing phenomena in small-scale systems and do not allow for analysis of phenomena in large-scale systems over a long period of time.

For this reason, the Kansai Electric Power Company (KEPCO) in cooperation with Hitachi, Ltd. and Fuji Electric Co., Ltd., has developed the world's largest power system simulator (APSA: Advanced Power System Analyzer). The simulator will be used to analyze the evolution of accidents in actual systems and to analyze continuous system phenomena over long period.

This paper describes an outline of the simulator.

キーワード：電力系統シミュレータ，アナログシミュレータ，自動結線装置，発電機モデル

1. ま え が き

ディジタル計算機の進展と共に電力系統の現象解析には実効値ベースの安定度計算プログラムやEMTPなどによるディジタルシミュレーションが多く用いられてきた。ディジタルシミュレーションは解析対象となる現象領域によって異なるアルゴリズムを適用するため、それぞれの現象領域において高精度の解析ができる半面、実系統に発生する連続現象を断片的にしか再現できない欠点ももっている。

このため、世界の重要プロジェクトの検討には、事故発生の瞬間から定常領域までの現象が連続して解析できるアナログシミュレータが併用され、解析精度の向上を図ると共に、予期せぬ現象の発生の有無の推定に役立てられている。

日本においても、電力中央研究所の大容量回転機形(100 kVA, 3 kV)をはじめとする、アナログシミュレータがその役割を担ってきた。世界においても、カナダのIREQなどの研究機関および各メーカーのアナログシミュレータが活用されている⁽¹⁾。

しかし、これらのアナログシミュレータは、いずれも数機の発電機モデルによって構成されるシミュレータであり、その機能を発揮できるのは小規模な系統の現象解析に限られ、大規模な系統を対象とした解析では多くの場合定性的な検討の域を越えることができないのが実情である。

半面、電力系統は大規模化、複雑化の傾向をたどっており、より高い信頼度が要求されるようになってきている。また、このような電力系統における系統構成の適正化、信頼度向上のための制御技術の開発、新技術を適用した新たな機器の導入など、数多くの技術課題の検討が必要となってきている。

このような背景から、関西電力では日立製作所と富士電機の協力を得て、発電機モデル 30 台、送電線モデル 300 台をはじめとし、各種電力機器モデルを含めると総数 500 ユニットを超える大規模なアナログ形の電力系統シミュレータを開発製作した。完成したシミュレータは、略称を APSA (Advanced Power System Analyzer) と称し、数 m 秒の過渡現象から数十分にわたる現象まで対応できる解析機能を有しており、電力系統に発生するほとんどの現象の解析が可能である。

本論文では、APSA の開発技術と、実系統試験の結果と比較した性能試験の一例について述べる。

2. APSA の概要

APSA は図 1 に示す機器で構成されており⁽²⁾、その定格は直列機器の損失と並列機器の負担および設置スペースなどの関係から 50 V、0.5 A としたが、いずれも解析対象とする現象を考慮して 300 V、5 A の最大連続容量としてある。

APSA のように、極めて多数のユニットを使用した大規模アナログシミュレータを実現する最も大きな技術課題として、下記が挙げられる⁽³⁾⁽⁴⁾。

- ・ユニット単体の精度、再現性の確保
- ・コンパクト化
- ・結線、操作の省力化

このため、APSA では次の技術的対応策を取ることで、高性能なシミュレータを完成することができた。

- ・多数のタイプの表現が可能な発電機モデルと負荷モデルの開発
- ・低損失、特性可変形の変圧器モデルと送電線モデルの開発

特に、アナログ形シミュレータの運用上最も重要な課題は、設定作業や解析処理をいかに自動化・省力化

図 1 APSA の構成
Fig. 1. Construction of APSA.

図 2 入力画面の例
Fig. 2. Example of input data for simulation.

できるかということにあり、APSA ではこの点に最大の腐心をはらい、次の 2 機能を開発した。

- ・高機能マン・マシン性を有するコンピュータ・サポートシステム
- ・系統構成を自動設定する自動結線システム

系統解析にあたって不可欠な、系統構成の入力から、アナログ回路の構成までを上記 2 機能の採用によって次のように自動化・省力化することができた。

すべてのデータはワークステーションの画面より図2のように図形の形で入力され、系統構成をホストコンピュータが認識し、シミュレーションが可能なモデルユニットの候補を選定する。自動結線用のCPUは、この候補の中から最も結線距離が短くなる個体を決定し、シミュレーション回路を自動構成する。また各機器モデル用の各定数は、フロントエンドプロセッサを介して各モデルへ伝送されシミュレーションに必要な状態が完成する。

その他、必要に応じて回路構成、定数設定の状態がチェックできると共に、シミュレーション中の状態の監視から結果の分析まで、幅広くコンピュータのサポートを受けて実行することが可能となった⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

3. APSAの開発技術

高性能アナログ形電力システムシミュレータ APSA を実現するにあたり、新しく開発した技術について述べる。開発した機器モデルの仕様と制御機能は次の三つの条件をベースに構築した⁽⁷⁾。

- ・電力システム機器モデルの特性が、実機の特性に広範囲に対応できること
- ・電力システム現象が正確に表現され、かつ再現性を有すること
- ・500 ユニットに及ぶ大規模シミュレータが運転支援システムにより効率的に運用されること

〈3・1〉 発電機モデル 電力システム解析で、発電機の挙動は最も重要な要因である。そのため発電機モデルは実機の物理特性により忠実な表現、および高い模擬精度が要求される。このような観点から次のような基本仕様を決めた⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

- ・発電機の諸定数などはワークステーションから自由に選定できる
- ・発電機本体特性は同期機、誘導機、可変速機のいずれにでも選択変更できる
- ・軸ねじれ共振、過渡ねじれトルクの解析のため4質点の軸系モデルを設ける
- ・励磁系、調速系、タービン系はマイクロコンピュータで多種の特性に対応可能とする

発電機本体は同期機、誘導機、可変速機などのタイプ変更用のデジタル演算形(15台)と、高い周波数領域の解析用のアナログ演算形(15台)の2機種を開発した。いずれも AVR, GOV の制御系はデジタル演算のため、前者をデジタル形、後者をハイブリッド形と称する。

図3がデジタル形発電機モデルの構成図で出力増幅器を介してアナログ系統に接続される。

図3 デジタル発電機モデルの構成
Fig. 3. Construction of digital type generator model.

いずれの発電機モデルも(1)式および(2)式で表されるパークモデルを採用し、デジタル発電機モデルではタイプ変更用として、誘導機モデルの(3)式および可変速モデルの(4)式も採用した⁽¹⁰⁾。

同期機の方程式
電圧、電流に関して、

$$\left. \begin{aligned} P\psi_d &= e_d + \psi_q \omega + r_a i_d \\ P\psi_q &= e_q - \psi_d \omega + r_a i_q \\ P\psi_{fd} &= e_{fd} + r_{fd} i_{fd}, P\psi_{1d} = -r_{1d} i_{1d} \\ P\psi_{1q} &= -r_{1q} i_{1q}, Te = \psi_d i_q - \psi_q i_d \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

運動方程式に関して、

$$\left. \begin{aligned} p\delta &= \Delta\omega \\ p\Delta\omega &= \frac{\omega_0}{M} \{ Tm - (\psi_d i_q - \psi_q i_d) \} \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

誘導機の方程式

$$\left. \begin{aligned} p\psi_d &= e_d + \psi_q \omega + r_1 i_d \\ p\psi_q &= e_q - \psi_d \omega + r_1 i_q \\ p\lambda_d &= -r_2 i_{rd} + \lambda_q S \\ p\lambda_q &= -r_2 i_{rq} - \lambda_d S \\ Te &= \lambda_d i_{rq} - \lambda_q i_{rd} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

可変速機の方程式

$$\left. \begin{aligned} p\psi_d &= e_d + \psi_q\omega + r_a i_d \\ p\psi_q &= e_q - \psi_d\omega + r_a i_q \\ p\psi_{fd} &= e_{fd} + r_{fd} i_{fd} \\ p\psi_{fq} &= i_{fq} + r_{fq} i_{fq} \\ T_e &= \psi_{diq} - \psi_{qi} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

特に、ディジタル形ではアナログシミュレータに用いる発電機モデルとして実時間性が要求されるため、従来 20 m 秒程度必要としていた計算時間を、図 4 に示すように 4 台の μ CPU による並列演算を採用し、約 1.4 m 秒と実系統に使用している、ディジタル形保護リレーのサンプリングレート並みに短縮している⁽¹¹⁾。文献(11)では本手法の原形を報告している。本システムでは軸トルク演算や制御系の詳細ブロック演算を新たに取入れたため、32 ビット CPU や DSP を使用し

図 4 μ Pc の演算時間の測定結果

Fig. 4. Measurement of operation time on micro processor.

て、処理速度を文献(11)に比べて更に向上させている。

また、ハイブリッド形では従来アナログ演算回路の欠点であった定数設定の再現性困難を解消するため、図 5 に示すような自動定数設定回路を付加した。一般に高帰還増幅器の帰還抵抗などを離れた構造にすると回路の安定性に問題がでることが多く、APSA でも同様の問題が発生したが、アナログ基板のレイアウトを工夫することと、発振防止・ドリフト減少などの安定化回路を付加することで解決することができた。

〈3・2〉 負荷モデル 電力系統の過渡現象や動特性を解析する場合、負荷特性の表現も重要である。特に、系統の周波数および電圧に依存する特性が非常に重要となる⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

APSA の負荷モデルは、図 6 の構成になっており、主幹系統の一変電所から眺めた負荷特性を表現することが多いため、周波数および電圧特性だけでなく系統保護リレーなどからの制御動作および負荷自身が系統

図 6 負荷モデルの構成

Fig. 6. Construction of load model.

図 5 ハイブリッド発電機モデルの構成

Fig. 5. Construction of hybrid type generator model.

$I_0=0.125$ A	: 定格電流(モデル定格)
$V_0=50.0$ V	: 定格電圧
$I_{max}=0.250$ A	: 最大出力電流
$\alpha=0.0$	: 電圧特性指数
$\beta=0.0$	: 電圧特性指数
$P_{L0}=10.825$ W (1.0pu)	: 有効電力 初期値
$Q_{L0}=5.413$ Var (0.5pu)	: 無効電力 初期値
$T_{r1}=1.00$ s	
$T_{r2}=0.00$ s	

図 7 負荷モデルの電圧変動に対する動特性
Fig.7. Dynamic characteristic of load model.

のじょう乱原因となる場合のシミュレーション用として、任意の負荷変動も発生できるようにしてある。

負荷特性は周波数の静特性および電圧の静・動特性を考慮した(5)、(6)式で表現し、図7のような電圧急変時の負荷の瞬時変化量や回復速度が表現できるモデルとなっている⁽¹⁴⁾。

また、これらの特性定数および運用条件は、すべてワークステーションからの遠隔設定が可能である。

$$P_L = V_L^2 \frac{P_{L0}}{V_{L0}^2} \frac{1 + T_{p2}S}{1 + T_{p1}S} \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{\alpha-2} + P_{L0} \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{\alpha} K_p \Delta f \dots \dots \dots (5)$$

$$Q_L = V_L^2 \frac{Q_{L0}}{V_{L0}^2} \frac{1 + T_{q2}S}{1 + T_{q1}S} \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{\beta-2} + Q_{L0} \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{\beta} K_q \Delta f \dots \dots \dots (6)$$

〈3・3〉 変圧器モデル 縮小形変圧器モデルは、電力系統解析において過渡現象の減衰特性、励磁特性、飽和特性の実機に対する等価性が重要である。図8が変圧器モデルの構成で、理想変圧器と電圧タップおよび漏れリアクタンスを表現する外付けのリアクタで構成している。実機並みの特性とするために次のような特長を有している。

- ・損失と励磁電流を極力小さくするため、理想変圧器の鉄心材料にパーマロイを使用すると共に環状鉄心構造を採用した。
- ・励磁特性および飽和特性を可変とするために、変圧比一定の一次・二次連動の飽和開始電圧設定タップを設けた。

図 8 変圧器モデルの構成 (1相分)
Fig.8. Construction of transformer model (single phase component).

図 9 送電線モデルの構成
Fig.9. Construction of transmission line model.

- ・定電圧自動運転を可能にするため、不感帯および動作速度が設定できる負荷時切換えタップを設けた。

これにより、特性が可変で低損失・低励磁電流の電圧制御機能を有する変圧器モデルが実現できた⁽¹⁵⁾。

〈3・4〉 送電線モデル 送電線モデルは、実際の送電線に近い特性を実現することが重要である。図9が送電線モデルの構成の一例で全受動素子で、直列インピーダンスから自回線内および回線間の静電結合・電磁結合まで表現している。

送電線としての等価性を保つため次の基本仕様を設定した。

- ・500 kV 送電線の 810 mm²×4 導体並みの低損失を確保するため 60 Hz での $Q(=\omega L/R)$ を 30 以上とする
 - ・定格電流の 1,000 % の電流でも飽和しない
 - ・定格電圧の 600 % の過電圧耐量を有する
 - ・リアクタンス誤差を 1 kHz で 1 % 以下にする
- 300 ユニットにおよぶ送電線モデルを限られたスペ

表 1 送電用モデル用鉄心材料と特性
Table 1. Transmissionline model core and characteristic.

比較項目 鉄心材料	飽和磁束密度	所要体積 同一インダクタンス	鉄員	$Q = \omega L/R$ の実現性	周波数特性
フェライト	○ 4,000 gauss	△ 5	◎	◎ 30 以上も可能	◎
ケイ素鋼板	◎ 20,000 gauss	◎ 1	△～○ 鉄心の厚み・処理による	○ 30 程度が限度	○

◎：優れている ○：適用可能 △：適用に要検討

図 10 自動結線の概念

Fig. 10. Concept of automatic network configuration by matrix array switch.

ースに設置するには、鉄心入りのリアクトルを使用せざるを得ない。鉄心材料としては表 1 に示すように特性的にフェライトが適しているが、磁束密度が低く物量の低減としては逆効果となる。そこでケイ素鋼板を薄くすることで特性向上を図り、結果的には厚さ 0.05 mm でほぼ目的の特性を達成することができた⁽¹⁵⁾。

〈3・5〉 自動結線システム 500 ユニットを超える APSA を手動により任意の系統構成に接続することは不可能に近く、今まで、大規模なアナログシミュレータの実現を見なかった要因の一つでもある。

このため APSA では、図 10 に示すような自動結線システムを採用し、回路構成の省力化を図った⁽¹⁶⁾。

図 10 は、自動結線システムのハードウェアの概念で、各モデルユニットの端子に接続された接続リレーのマトリックスの交点を選択接続することで、任意の系統構成を作成することが可能である。

しかし、500 ユニットのモデルの両端子を自由に接続させようとする、500×500 で 25 万点の交点をもったマトリックスを設ける必要があり、これも実現性

図 11 階層形マトリックス結線方式

Fig. 11. Matrix switching method for hierarchical system.

図 12 総接点数とブロック数の関係 (500 ユニット時)

Fig. 12. Relationship of no. of total switches between no. of sub-block systems (at 500 units).

の面で問題がある。そこで APSA では図 11 のように、大規模マトリックスの対角項付近を切り出した小マトリックス (サブブロック) と、このサブマトリックス間を結ぶ補助マトリックス (セントラルブロック) に分割した階層形マトリックス方式を採用し、総接点数の低減を図った。

階層形マトリックス方式を採用する場合に重要なのはサブブロック数の選び方で、図 12 に示すようにサブブロック内の合計接点数は分割数が多いほど減少するが、セントラルブロック内の接点数は増加し、総接点数は途中から増加することになる。APSA では総接点数が最小となる 20 ブロックにマトリックスを分割すると共に、送電線のように極性をもたないユニットの片端子を固定結線することにより、約 9,000 点の交点のマトリックスで自動結線用マトリックスを構成した。

幸いにも、電力系統は比較的放射状の構成に近く、このような簡略化を行っても結線の自由度は、あまり

制約を受けることはない。

4. 総合特性試験結果

APSA の基本的な特性試験と実系統試験結果との対比試験結果の例をいくつか以下に述べる⁽¹⁷⁾。

〈4・1〉 軸ねじれトルク 発電機モデルは、前述の(2)式の運動方程式を(7)式に置換えることによって、4 質点の軸系模擬できる機能を有している。

$$\begin{aligned}
 & M_1 p^2 \delta_1 + D_{12} p (\delta_1 - \delta_2) + K_{12} (\delta_1 - \delta_2) \\
 & \quad + D_{11} p \delta_1 \\
 & = T_{m1} \\
 & M_2 p^2 \delta_2 + D_{23} p (\delta_2 - \delta_3) + D_{21} p (\delta_2 - \delta_1) \\
 & \quad + K_{23} (\delta_2 - \delta_3) + K_{21} (\delta_2 - \delta_1) + D_{22} p \delta_2 \\
 & = T_{m2} \\
 & M_3 p^2 \delta_3 + D_{34} p (\delta_3 - \delta_4) + D_{32} p (\delta_3 - \delta_2) \\
 & \quad + K_{34} (\delta_3 - \delta_4) + K_{32} (\delta_3 - \delta_2) + D_{33} p \delta_3 \\
 & = T_{m3} \\
 & M_4 p^2 \delta_4 + D_{43} p (\delta_4 - \delta_3) + K_{43} (\delta_4 - \delta_3) \\
 & \quad + D_{44} p \delta_4 \\
 & = T_{m4}
 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (7)$$

図 13 は、全負荷遮断時の軸ねじれトルクのシミュレーション結果で EMTP による計算結果ともよく一致しており、モデル化の正確さが検証されている⁽¹⁸⁾。

図 13 全負荷遮断時の軸ねじれトルクの比較

Fig. 13. Comparison of shaft torsional torque at shut down on full power operation.

図 14 負荷の電圧・電力特性

Fig. 14. Voltage characteristic of load power.

〈4・2〉 電圧安定性 電力系統における負荷の消費電力(S)と受電端電圧(V_r)の関係は、(8)式の関係で表される。この関係を送受電端間のリアクタンス(X_L)をパラメータとしたグラフで表すと図 14 となる。

$$\begin{aligned}
 & S^2 \pm 2S\sqrt{1-P_f^2} \left(\frac{1}{X_L} - Y_C \right) V_r^2 \\
 & + \left(\frac{1}{X_L} - Y_C \right)^2 V_r^4 - \left(\frac{V_s V_r}{X_L} \right)^2 = 0 \quad \dots (8)
 \end{aligned}$$

S : 皮相電力, P_f : 力率, Y_C : 補償コンデンサ, V_s : 送電端電圧, $\pm$ は Q_L の符号と対応する

図 14 において、A 点で運転中の負荷の電源と負荷を結ぶリアクタンスを増加させると、定インピーダンス負荷の場合は B 点に、定電力負荷の場合は C 点に運転点が移動することになる。もし定電力負荷において C 点が存在しないほどリアクタンスを増加させると、受電電圧は限りなく低下してしまうことになる。これが電圧安定性の中で言うところの電圧崩壊現象である。

今回、負荷モデルを用いてこの現象を定電力負荷についてシミュレーションしてみたのが図 15 および図 16 である。図 15 は C 点が存在する場合で、電流が増加し電圧が低下しても一定値に落ち着き、電力も安定化している安定なケースである。

図 16 は C 点が存在しないほど大幅にリアクタンスを増加させた場合で、電流の増加と共に電圧も低下し電力の回復できない不安定なケースである。

このように、APSA の負荷モデルは電圧安定性の解析にも十分使用できることが検証された。

〈4・3〉 実系統試験結果との比較 性能検証試験

図 15 電圧安定性の試験結果
(安定なケース)

Fig. 15. Test results of voltage stability
(stable case).

図 16 電圧安定性の試験結果
(不安定なケース)

Fig. 16. Test results of voltage stability
(unstable case).

図 17 試験系統

Fig. 17. Field tested power system.

(最大周期 1.18 s, 最大振幅 4.6 MW)

(a) 実系統試験結果

(最大周期 1.06 s, 最大振幅 7.9 MW)

(b) APSA による実験結果

図 18 安定度限界付近の電力動揺の比較
Fig. 18. Comparison of power swing at
stability limit.

の一つとして、昭和 48 年 10 月に関西電力の大黒部幹線 (275 kV, 244 km) に補償度 22 % の直列コンデンサを設置したときに実施した送電容量試験および人工故障試験の再現を APSA を用いてシミュレーションした。このときの試験系統を図 17 に示した。

実系統では、黒四 P/S の発電機出力が各々 0.8~0.85 pu でほぼ連続動揺状態となったので、この断面を実測と APSA のシミュレーションと比較したのが図 18 である。この結果、シミュレーションのほうが若干動揺周期が短く、振幅も大きくなっているが、動揺状況はいずれも安定限界の様相を示しており、この後若干の出力増加により発散傾向の不安定となることから、送電容量限界を見る安定度試験シミュレーションとしては十分に実用的な結果を現しているものと判断される。

(a) 実系統試験結果
($V_{Amax}=1.44pu$, $V_{Bmax}=1.33pu$, $V_{Cmax}=1.20pu$)

(b) APSA による実験結果
($V_{Amax}=1.45pu$, $V_{Bmax}=1.33pu$, $V_{Cmax}=1.20pu$)

(1) 城端 S/S 母線電圧

(a) 実系統試験結果 ($I_{Amax}=3.00pu$)

(b) APSA による実験結果 ($I_{Amax}=3.08pu$)

(2) 新黒三 P/S・城端 S/S 間線路電流

図 19 事故時電圧・電流波形の比較
(A 相 1 線地絡事故)

Fig. 19 Comparison of measured results
on field test vs. simulated by APSA (one
line ground fault at phase A).

実系統における人工故障試験ケースの中から逆相・零相回路の等価性まで確認できるケースとして、城端 SW/S の直列コンデンサ至近端での一回線 A 相地絡故障を選定した。

この実測とシミュレーション結果を比較したのが、図 19 である。

シミュレーション結果の波形から APSA の故障発生位相の制御および遮断器モデルの電流零点における開放機能が正しく動作していることが判断できる。

また、電圧・電流の過渡変化値も実測の数%程度の差で再現されており、実測時の測定誤差を考慮するとほぼ完全な再現シミュレーションが行われたことがわかる。

5. む す び

今回開発した大規模電力系統用のアナログシミュレータ (APSA) の概要から、その開発技術および性能試験結果の一部について記述したが、性能試験については、まだ試験の必要な項目を多く残している。

関西電力では平成元年度末までかけて、過去にバックデータの整っている系統試験の再現試験などを行い、システムの総合的な性能を十分把握したうえで、平成 2 年度より本格運用に入る計画である。

また、APSA の開発については、各大学の先生方および電力中央研究所の方々をはじめ、数多くの方々の助言をいただき、本日の完成を迎えることができたので、ここに謝意を表します。

(平成元年 11 月 13 日受付)

文 献

- (1) Laurie Snider, "The Power System Simulator Complex at IREQ", Congress paper, 7th COPIMERA (1977) Santiago
- (2) 沖・西森・吉田・土井・後藤・横川:「高性能系統解析試験装置の概要」, 昭 62 電気関係学会関西支部連大, No. G 4-1
- (3) 沖・森岡・河合・永倉・横川・鈴木:「大規模アナログ電力系統シミュレータの開発(その 1・設備概要と技術課題)」, 昭 63 電気学会全大, No. 927
- (4) 土井・沖・後藤・横川:「大規模アナログシミュレータの高性能化に対する技術課題について」, 昭 62 電気学会電力技術研究会, PE-87-103
- (5) 竹中・田中・谷口・長尾・森岡・吉田・福本・沖:「高性能系統解析試験装置の運転支援プログラムの開発」, 昭 63 電気学会電力技術研究会, PE-88-86
- (6) 森岡・吉田・島村・中村・佐藤・湯谷:「大規模アナログシミュレータの運用システム」, 平元電気学会電力技術研究会, PE-89-117
- (7) 沖・吉田・土井・河合・横川:「大規模アナログシミュレータの開発(その 1)―技術課題と対応策―」, 昭 63 電気学会電力技術研究会, PE-88-83
- (8) 西森・須崎・小海・後藤・鈴木・沢里:「大規模アナログ電力系統シミュレータの開発(その 2・発電機ユニット)」, 昭 63 電気学会全大, No. 928
- (9) 福本・森岡・後藤・野原・小海・鈴木・富沢:「大規模アナログシミュレータの開発(その 2)―発電機・負荷モデル―」, 昭 63 電気学会電力技術研究会, PE-88-84
- (10) 土井・森岡・後藤・野原・影山:「大規模アナログシミュレータ用デジタル形発電機ユニット―誘導機・可変速機模擬について―」, 平元電気学会全大, No. 968
- (11) Y. Kokai, I. Matori & J. Kawakami: "Multiprocessor Based Generator Module for a Real-time Power System Simulator", 88WM 181-O presented at the IEEE/PES 1988 Winter Meeting, New York (1988)
- (12) 広部・須崎・中西・富沢:「高性能系統解析試験装置用デジタル形負荷モデル」, 昭 62 電気関係学会関西支部連大, No. G 4-2
- (13) 福本・森岡・後藤・野原:「高性能系統解析試験装置用ハイブリッド演算形負荷モデル」, 昭 62 電気関係学会関西支部連大, No. G 4-3
- (14) 福本・吉田・野原・後藤・中西・富沢:「大規模アナログ電力系統シミュレータの開発(その 3・負荷ユニット)」, 昭 63 電気学会全大, No. 929
- (15) 広部・須崎・久和・西・斎藤・中西:「大規模アナログシミュレータの開発(その 3)―変圧器・送電線モデル―」, 昭 63 電気学会電力技術研究会, PE-88-85
- (16) 広部・土井・佐藤・竹内・中村・河合:「大規模アナログ電力系統シミュレータの開発(その 4・自動結線システム)」, 昭 63 電気学会全大, No. 930
- (17) 須崎・土井・後藤・久和・鈴木・今村:「大規模アナログシミュレータ構成ユニットの特性」, 平元電気学会電力技術研究会, PE-89-116
- (18) 須崎・土井・小海・真鳥・後藤:「大規模アナログシミュレータ用デジタル形発電機ユニット―軸系模擬について―」, 平 1 電気学会全大, No. 967

土 井 宏 祐 (正員)

昭和 20 年 2 月 13 日生。40 年 3 月大阪府立今宮工業高校電気科卒業。同年 4 月関西電力(株)入社。配電系統の設計業務および系統運用計画業務に従事。45～55 年, および 60 年度以降は同社総合技術研究所において電力系統解析, 制御の研究に従事。IEEE 会員。

後 藤 益 雄 (正員)

昭和 17 年 5 月 9 日生。40 年 3 月大阪府立大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月(株)日立製作所入社。工学博士。同社日立研究所にて電力系統の解析, 制御の研究に従事。61 年より同社国分工場にて, 主として電力系統解析業務を担当。45 年度オーム技術賞受賞。IEEE 会員。

河 合 忠 雄 (正員)

昭和23年9月21日生。46年3月東北大学工学部電子工学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社。現在同社国分工場送変電システム設計部に所属。主として電力系統用制御保護装置およびSVC, HVDCシステムの開発に従事。63年度電気学会進歩賞受賞。

鈴 木 智 宏 (正員)

昭和28年12月22日生。54年3月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月富士電機(株)入社。主として、電力系

統の解析, 制御・監視装置の研究開発に従事。現在, 総合研究所系統制御技術開発部に勤務。

横 川 純 男 (正員)

昭和8年5月5日生。33年早稲田大学理工学部電気工業科卒業。同年4月富士電機(株)入社。現在総合研究所系統制御技術開発部に勤務。

この間, 主として電力系統制御システムの企画設計と開発に従事。54年度オーム技術賞受賞。IEEE 会員。