電力系統シミュレーション技術の変遷と今後の動向

正 員 後藤 益雄*

Historical and Future Trends of Electric Power System Simulation Technology

Masuo Goto*, Member

This paper describes historical trends of electric power system simulation technology. The first paper concerning power system simulation study was published in 1916, sixteen years later after the year 1900 when a practical high voltage three-phase ac power transmission line was constructed and put into operation in USA. Historical trends of power system simulation technology can be divided into three stages from the viewpoint of epoch-making progress. The first stage is to simulate the power system behaviors by using a miniature power system circuit called as artificial transmission line. The second stage started from simulations of transient behaviors by the differential analyzer which enables to simulate transient behaviors by calculating mathematical representation model without using miniature machines and circuits. Many simulation tools were developed for calculating the transient and dynamic behaviors by mathematical models. The third stage is the digital simulation technology. This paper introduces the developed simulation technologies and describes the background and needs of the developed technology, furthermore observes on simulation technologies to be developed in the future from the viewpoint of historical trends of simulation technology.

キーワード：模擬送電線設備，交流計算盤，微分解析器，ディジタル計算機，ハイブリッドシミュレータ，実時間ディジタル

Keywords：artificial transmission line, AC network analyzer, differential analyzer, digital computer, hybrid simulator, real time digital simulator

1. まえがき

電気事業は電球を発明したエジソンが，電灯への電力供給を行うため，ニューヨークで直流による電力供給事業を始めたのが，その発端で 1885 年と言われている。その後，直流派と交流派の熾烈な競争があったが，ニコラ・テスラの発明による交流発電機，変圧器を用いた，ナイアガラバップァロー間に 40kV の三相交流の送電線が建設，運営され，勝負がついたと言われている。これが，1900 年で現在の交流電力系統が確立されたと考えられている。

本稿では 1900 年以降，主に交流電力系統のシミュレーション技術に関して，歴史的な発展過程について述べるとともに周辺技術の進展に伴って登場したシミュレーションの特徴技術を文献を基に紹介し，考察する。

2. シミュレーション技術の誕生と進歩発展

電力系統のシミュレーション技術の誕生，進歩発展等を年表形式で示すと，ほぼ図 1 のように示すことができる。図 1 は文献の発刊された年代を基軸として示しているの

で，実際に装置が開発されたり，使われたりしたのは，図 1 の年代より若干さかのぼる事になる。また，図 1 にはシミュレーション技術に関係の深い技術開発や理論，手法の提案等の他，電力系統での大きな出来事等も時代背景を示すものとして調査した範囲内で併せて示した。

シミュレーション技術は図 1 に示すように，これまで多くの方法が提案され実用化されてきたが，シミュレーション技術の誕生あるいは画期的な進展というのは 3 つの技術，手法に絞り込むことが出来ると考えられる。

その第 1 は模擬回路による方法で，1910 年代中頃，ミニチュア電力系統を用いることから始まり，ついで，シミュレーションの効率を上げるため，定常状態を表現できる交流計算盤の開発へと進歩した。

その第 2 は微分解析器に代表される演算装置によるシミュレーションである。微分解析器は微分方程式で表された動特性を解析出来るもので，この微分解析器の発明は動特性解析に画期的な効果をもたらした。

その第 3 はディジタル計算機によるシミュレーション技術であることは異論を挟む余地のないところであろう。プログラム変更により解析内容を変更できる柔軟さとデータ処理能力等シミュレーション機能は飛躍的に高まった。

これ以降，各種の技術，方法が提案，実用化されてきているが，それらは前述した 3 つの技術の組み合わせもしくは

* 名古屋大学 エコトピア科学研究機構 エネルギーシステム
(中部電力) 寄附研究部門
〒464-8603 名古屋市千種区不老町
EcoTopia Science Institute, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603

図1 電力システムシミュレーション技術の変遷

Fig. 1. Historical trends of power system simulation technology.

は変形，改良と行っても過言ではなかろう。

3. 電力システム技術の発展に寄与したシミュレーション技術の足跡とその概要

〈3・1〉 模擬送電線設備 電力システムのシミュレーションに関する文献が最初に現れるのは1910年代中頃である⁽¹⁾。文献(1)では送電線の特性を模擬する装置として発表されている。送電線のLRC定数を可変にして調整し，最長200マイル(320km)，相間距離最大120インチ(3m)の任意設計の送電線の特性をシミュレーションできるようにしたものである。装置構成は図2に示すように，LRCの要素を接続して送電線の特性を模擬するようになっている。この装置は送電線のほかに通信線の特性のシミュレーションも可能であるとしているが，電線路のシミュレーションのみで，発電機等を含む電力システムのシミュレーションが出来る装置とはなっていない。電力潮流や送電系統問題を扱う模擬送電線設備は1920年代に現れている⁽²⁾。

〈3・2〉 短絡電流計算盤及び交流計算盤 米国において，1910年代後半に発電機容量が増大(100,000～200,000kVA)するようになると，短絡電流の算定が重要な検討課題になった。このため文献(3)のような論文が発表されるようになり，また，短絡電流を簡単に求められるように1919年にGEにて短絡電流計算盤(直流回路模擬)が開発された(図3参照)⁽⁴⁾。この装置は短絡電流計算に力を発揮したが，直流回路による短絡電流計算盤では事故電流は比較的正確に算出できるものの，定常状態における電流計算では，あまりに誤差が大きくて，使用できなかった。定常状態における電流分布は従来の模擬送電線に頼るしかなかったが，模擬送電線は回転機を用いるので運転操作に手間と時間がかかる。そこで，1925年にMITより，回転機を一切使用しない交流システムの模擬回路方式として，発電所を模擬する発電機の代わりに3相の移相器を用いた模擬方式に関する論文“Artificial Representation of Power Systems”⁽⁵⁾が発表された。これは電源端と負荷端の電圧，電流ベクトルを表現するため，電圧位相差を移相器を用いて実現しようとするものである(図4参照)。交流計算盤が考案される直前，対称座標法が提案，確立されており⁽⁶⁾，この対称座標法は交流計算盤そのものの構成や利用方法に大変役立った。ある

図2 模擬送電線ユニット

Fig. 2. Artificial transmission line.

図3 短絡電流計算盤

Fig. 3. Short-circuit calculating table.

図4 移相器

Fig. 4. Phase shifter.

いは対称座標法が確立したため，交流計算盤が大きく進歩し，また普及したとも言えよう。1930年代には大規模な交流計算盤のPR資料⁽⁷⁾(図5参照)や交流計算盤を用いた解析手法，解析結果の論文が数多く発表されている⁽⁸⁾。

〈3・3〉 微分解析器 シミュレーションの分野で画期的な進展を見たのは微分解析器(Differential Analyzer)⁽⁹⁾の開発と言えるであろう。微分解析器は微分方程式で表わされ

図5 交流計算盤 (MIT/GE)

Fig. 5. AC network analyzer.

図7 微分解析器の概観写真

Fig. 7. Differential analyzer.

図6 微分解析器の動作原理説明図

Fig. 6. Principle of the Kelvin wheel-and-disc type mechanical integrator.

た過渡現象をシミュレーションできるので、電力の分野にとどまらず、各分野の動特性解析に飛躍的な進展をもたらしたと思われる。1984年にIEEEの100周年記念事業の一環として発行された電気関係の技術史⁽¹⁰⁾には電力系統技術関連の紹介としてこの微分解析器が大きく紹介されていることからわかる。Vannevar Bush(MIT)が発明したこの微分解析器はKelvin wheel-and-disc typeと言われる機械式の積分器を用いたもので、図6に示すような構成と原理で積分が行われる⁽¹¹⁾。装置全体の概観を図7に示す。一方、発電機や送電系統の安定度問題はすでに1920年頃から指摘されており⁽¹²⁾、安定度の解析には微分解析器は必要不可欠の装置で、このような動特性解析の必要性も背景にあった。安定度問題に関しては同期機の動特性が大きく影響するので、これを微分解析器で扱うべく、この時代に、同期機の数式表現の研究が進み、2反作用理論に基づくParkの式が完成している⁽¹³⁾。1930年代はこれらの武器をもとに同期機の基本特性の研究が進み、数多くの論文が発表されている⁽¹⁴⁾。

図8 オペアンプによる演算ブロック

Fig. 8. Block diagram for basic feedback computer.

図9 デジタル計算機による最初の回路計算

Fig. 9. The first circuit analysis by digital computer.

〈3・4〉 アナログ計算機 Vannevar Bushの開発した微分解析器は機械式であったが、これを電気回路で演算するようにした装置がアナログ計算機である。文献⁽¹⁵⁾はこの分野の最初の論文と思われるが、文中ではelectronic computerと呼んでいる。真空管による直流増幅器を用いてオペアンプを構成し、演算の方法を述べている(図8参照)。この論文では適用例として飛行機の動作解析を示している。このアナログ計算機は直ちに大型の装置が開発され、翌年には電力系統解析に用いられている⁽¹⁶⁾。文献⁽¹⁶⁾では発電機の軸ねじれトルクを解析している。このアナログ計算機が開発されて以降は微分解析器による解析は完全に姿を消している。

〈3・5〉 デジタル計算機 デジタル計算機はシミュレーションの分野においても非常に大きな進展をもたらした。デジタル計算機そのものは様々な過程を経て発展してきたが、ここでは電力系統応用に関する史料について述べる。デジタル計算機を用いた電力系統の計算に関する最初の論文は文献⁽¹⁷⁾と思われる。文献⁽¹⁷⁾では、解析例として2-メッシュ系統の電圧電流計算の例を示している(図9参照)。

この論文では、現在のような潮流計算を行っているのではなく、単に電圧電流の一次の連立方程式を解く手順について述べ、多数回の演算を必要とすると言う事が書かれている。この時期ではまだ、メモリ容量も少なく、計算速度

も遅くまだ実用的には有用な手段とはなっていない。論文でも有効だとは述べておらず、単にこのような分野にも応用が考えられると言うことを社内外に注意を引く事が論文の目的と述べている。実際に有用な手法が提案されたのは潮流計算を確立したと言われている有名な Ward & Hale の論文(18)であろう。この論文ではループ系統に対し、潮流計算を行い、収束性の問題等についても深く論じられている。また、デジタル計算機は安定度計算にも応用されている。安定度解析に応用した最初の論文は文献(19)で、基本的には交流計算盤で行っていた手順をデジタル計算機のプログラムに置き換えて行ったと述べている。当時、同期安定度の解析は、段々法と呼ばれる方法で、交流計算盤の発電機単位の発電機出力変化から回転子の挙動を表わす微分方程式を解いて Δt 秒後の発電機位相角を机上で計算する事により、発電機の位相角変動を求めていた。文献(19)では図 10 に示す系統の安定度解析を行っている。このようにデジタル計算機が多くの系統シミュレーションに用いられるようになると、特に大規模系統を扱う場合、計算機のメモリ容量と計算速度がネックになってきた。

これに対しては計算機の性能改善のほかに応用側の工夫で画期的な改善が図られた。すなわち、回路網の解析に出てくるマトリクス演算にスパース行列処理を考案して、使用メモリ容量、計算速度を飛躍的に改善したのである⁽²⁰⁾。応用側の工夫として、当初は、G Kron らにより分割処理の方法が研究され効果をあげたが、分割処理の手間や効率の点から、スパース行列処理法 (LU 分解法) にとって変わられ、分割処理の方法は現在では多用されてはいない。

また、デジタル計算機はサージ解析の分野にも大きな進展をもたらした。この分野での大きな進展は EMT P の開発⁽²¹⁾であろう。Bargeron 法がデジタル解析に適していることを発見して適用したものである。EMT P は当初の目的はサージ解析であったが、その後、発電機をはじめ系統内の各種機器、制御装置等を総合的に解析できる機能を有するシミュレーションプログラムに発展した。後述するように現在もこの応用展開の研究が続けられている。

〈3・6〉 ハイブリッド計算機 ハイブリッドというの

図 10 安定度解析系統図

Fig. 10. One line diagram for stability study.

は混成であり、図 1 ではアナログとデジタルの混成という意味で示している。アナログとデジタルのそれぞれの長所を生かしたシミュレーション方法は応用面でいろいろ考えられる。これらは一時期応用面から活躍する事例もあったが、シミュレーション技術上画期的な革新をもたらすようなことはなく、あくまで一応用例と言えよう。デジタルシミュレーションの技術進展に伴い、出番がなくなっていた。

〈3・7〉 ハイブリッドシミュレータ ハイブリッドシ

ミュレータという呼称は定着した呼び名とは言えないが、ここでは異なる模擬手法の装置を組み合わせたシミュレータと言う意味で用いている。ハイブリッド計算機による模擬では模擬対象を全て数式モデル表現する手法であったため、数式モデル化の手順が必要になるのに比べ、ハイブリッドシミュレータではこれを改善して、実際の機器を接続するが如く、シミュレーション対象機器を接続して構成できることを特長としている。最初に提案された装置はパリティシミュレータと呼ばれた装置である⁽²²⁾。パリティシミュレーションとはその装置の接続端子の情報が模擬対象と対応するような方式であると文献(22)では説明している。例として、インダクター L を模擬する方法を図 11 に示す。同図 (a) はアナログ計算機表現を示し、(b) はパリティシミュレーション表現を示している。すなわち、(b) の場合、2つの端子には電圧がかかり、対応する電流が流れるので、インダクターの両端子に対応している事がわかる。模擬装置そのものはアナログ回路で構成しているが、ミニチュアモデルでもなく、回路への接続はミニチュアモデルのように接続できるユニークなシミュレーション方法である。

この方法で送電線を含め電力系統の全ての要素を模擬したシミュレータがドイツの FGH 研究所に設置、運用されてきた⁽²³⁾ (図 12 参照)。この回路は電子回路レベルで動作するので、交流部分は電圧 5 (Vrms)、電流 10 (mA rms) 程度で運用でき、装置がコンパクトと言う特長を有する。が、次に述べる方式に比べるとアナログ計算機の変形と見ることでもできる。

これに対し、系統構成要素の 1 部 (送電線、変圧器等) に実系統のミニチュアモデルに近いモデルを用いた、極小容量の模擬送電線設備のようでもあるが、主要要素の発電

(a) Analog computer representation of an inductor.
(b) Parity simulator representation of an inductor.

図 11 アナログ計算機モデルとパリティモデル

Fig. 11. Analog computer model and parity model.

機等は回転機のような電気機械ではなく演算装置のみで、端子から見た特性は発電機が接続された特性になっているシミュレータがハイドロケベックの研究所 IREQ で開発された⁽²⁴⁾。この方式をデジタル技術を用いて更に発展させたものが関西電力のシミュレータ APSA⁽²⁵⁾ (図 13 参照)、中部電力の PSA である。また、これらはデジタルタイプのシミュレータに対してアナログタイプのシミュレータとして現在活用されている。

〈3・8〉 デジタルシミュレーションの展開 デジタル計算機を用いたシミュレーションでは飛躍的に自由度が増え、機能が高くなった反面、アナログに比べて演算速度が遅く、その改善が望まれてきた。特にリアルタイムで現象をシミュレーションする必要性のある場合には高速化が必須であるため、図 1 の年表に示すように、種々工夫がされてきた。DDA (Digital Differential Analyzer) は微分方程

図 12 パリティシミュレータ (FGH)

Fig. 12. Parity simulator (FGH in Germany).

図 13 ハイブリッドシミュレータ (APSA, 関西電力株)

Fig. 13. Hybrid simulator (APSA: KEPCO).

図 14 リアルタイムデジタルシミュレータ
Fig. 14. Real time digital simulator.

式を解く事に特化した演算装置であったが、使い勝手の面で普及はしなかった。また、ベクトルプロセッサを用いた高速シミュレーションも開発されたが⁽²⁶⁾、これもプログラム開発に多くの手間がかかることから、特殊の用途に限定された。

一方、計算機自身の性能が半導体素子の技術進歩に伴い、飛躍的に高まり、またマイクロチップ化したことにより、きわめて多数のプロセッサを並列動作させることが可能となり、EMTP のような瞬時値プログラムをリアルタイムで演算させることが可能となった。現在では、このようなリアルタイムデジタルシミュレータが製品化され複数のメーカーから販売されるようになって来た⁽²⁷⁾ (図 14 参照)。

また、このようなリアルタイムデジタルシミュレータとアナログシミュレータを結合して両者の長を合わせ持つシミュレータの開発研究が進められている⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾。

4. シミュレーション機能・性能の進展過程

シミュレーションする場合、その目的により機能や性能等の評価は当然異なってくるが、ここでは機能・性能を次の 4 点に絞り、それらが進展してきた過程を図 15 のレーダーチャートに示す。図中、①～④は下記に対応する。

- ①：模擬機能 (静特性、動特性等)
- ②：パラメータ変更の範囲と容易さ (運転条件、機器定数等)
- ③：運用・運転の容易さ (データ処理含む)
- ④：演算速度 (実時間性等)

図 15 から分かるように、シミュレーション技術は時代とともに、それぞれの時代のシミュレーション技術に不足の機能、性能を改善付加するように進展してきた。上記の 4 つの座標で表すと Real Time digital simulator は完成された形に見えるが、この方式も、高速スイッチング素子の挙動をシミュレーションする場合は現状では十分な精度が出ない状況である。将来、飛躍的に高速な演算素子が実用化されるようになれば、これらの高速スイッチング素子の挙動も高精度でシミュレーション可能になると考えられる。また一方、新たな課題の出現も有り得るので、このことを考えると完成の形と断定することはいつの時代でも困難であろう。従って、図 15 は完成までの道のりではなく、これまでの課題の克服状況を示したものと言える。

今後の電力系統のシミュレーション技術の動向としては

図 15 シミュレーションの機能・性能改善の変遷

Fig. 15. Trends of function and performance of simulation.

図1に示すように主流はデジタルシミュレーションになるが、電力系統を有りのままに表現する模擬送電線は今後も残るであろう事、両者の特長を生かしたハイブリッドシミュレータも特殊用途に存続発展するのではないかと考える。そして、それぞれの方式において、機能や性能の向上を目指して開発が続けられると思われる。デジタルシミュレーションにおける例をあげれば、次のような課題が挙げられる。

- (1) 解析結果のよりわかりやすい表現法(可視化技術)
- (2) 動特性が大幅に異なる要素の混在したシステム(Stiff system)への対応(応答の速い現象と遅い現象の同時解析, 実効値解析と瞬時値解析の同時解析等)

5. まとめ

電力系統シミュレーション技術に関して、文献をもとに背景、周辺技術等についても併せて調査紹介し、シミュレーション技術の変遷と進展過程について考察した。一般に技術が進展するには、世の中のニーズ、関連技術の進展等が大きな要因になっているが、電力系統のシミュレーション技術について、どのような背景と、周辺技術が進展に影響してきたかその一端を明らかにした。

(平成15年8月5日受付, 平成15年11月26日再受付)

文 献

- (1) C. Edward, Magnusson, and S.R. Burbank: "An Artificial Transmission Line With Adjustable Line Constants", *AIEE*, Vol. XXXV Part II, pp.1137-1153 (1916-9)
- (2) O. R. Schurig (GE): "A Miniature A-C. Transmission System For the Practical Solution of Network and Transmission-System Problems", *AIEE*, Vol. XLII, pp.831-840 (1923-6)
- (3) H. R. Wilson: "An Approximate Method of Calculating Short-Circuit Current in an Alternating-Current System", *General Electric Rev.*, Vol.19, No.6, pp.475-479 (1916-6)
- (4) W. W. Lewis: "Calculation of Short-circuit Currents in Alternating-current Systems", *General Electric Rev.*, Vol. XXII, No.2, pp.140-145 (1912-2)
- (5) H.H. Spencer and H.L. Hazen (MIT): "Artificial Representation of Power Systems", *AIEE*, Vol. XLIV, pp.72-99 (1925)
- (6) C.L. Fortescue: "Method of Symmetrical Co-ordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks", *AIEE*, Vol. XXXVII, Part II, pp.1027-1140 (1918)
- (7) H. L. Hazen, O. R. Schurig, and M. F. Gardner: "The M.I.T. Network Analyzer -Design and Application to Power System Problems-", *AIEE*, Vol.49, No.12, pp.1102-1114 (1930-7)
- (8) E.W. Kimbark (Polytechnic Institute): "Network Analyzer Solution of Multiple Unbalances", *AIEE*, Vol.56, No.12, pp.1476-1482 (1937-12)
- (9) V. Bush (MIT): "The Differential Analyzer, A New Machine For Solving Differential Equations", *J. Franklin Institute*, Vol.212, No.4 (1931-10)
- (10) J. D. Ryder and D. G. Fink (IEEE): *Engineers and Electronics*, pp. 100-105, IEEE Press (1984)
- (11) H.P. Kuehni and H.A. Peterson (GE): "A New Differential Analyzer", *AIEE*, Vol.63, pp.221-227 (1944-5)
- (12) C. P. Steinmetz (GE): "Power Control and Stability of Electric Generating Stations", *AIEE*, Vol. XXXIX, pp.1215-1287 (1920)
- (13) R.H. Park: "Two-Reaction Theory of Synchronous Machines - Generalized Method of Analysis- Part I", *AIEE*, Vol.48, pp.716-727 (1929); Part II, Vol.52, pp.352-355 (1933)
- (14) E. Clarke, C.N. Weygandt, and C. Concordia (GE): "Overvoltages Caused

- by Unbalanced Short Circuits -Effect of Amortisseur Windings-", *AIEE*, Vol.57, pp.453-468 (1938-8)
- (15) J. R. Ragazzini, R. H. Randall, F. A. Russell: "Analysis of Problems in Dynamics by Electronic Circuit", *Proc. of the I.R.E.*, pp.444-452, May (1947-5)
- (16) E.L. Harder (Westinghouse) and G.D. Mccann (CariforniaTech.): "A Large-Scale General-Purpose Electric Analog Computer", *AIEE*, Vol.67, pp.664-673 (1948)
- (17) P. D. Jennings and G. E. Quinan(Puget Sound Power & Light): "The Use of Business Machines in Determining the Distribution of Load and Reactive Components in Power Line Networks", *AIEE*, Vol.65, pp.1045-1046 (1946)
- (18) J.B. Ward and H.W. Hale (Purdue Univ.): "Digital Computer Solution of Power-Flow Problems", *AIEE, Power Apparatus Syst.*, No.24, pp.398-404 (1956-6)
- (19) D.F. Shackle, C.M. Murphy, R.W. Long, and E.L. Harder (Westinghouse): "Transient Stability Studies-I, Synchronous and Induction Machines", *AIEE, Power Apparatus Syst.*, No.16, pp.1563-1581 (1955-2)
- (20) N. Sato and W.F. Tinny(BPA): "Techniques for Exploiting the Sparsity of the Network Admittance Matrix", *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, Vol. 82, pp. 944-950 (1963-12)
- (21) H. W. Dommel: "Digital Computer Solution of Electro-magnetic Transients in Single- and Multiphase Networks", *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, Vol.PAS-88, pp.388-399 (1969-4)
- (22) J. G. Kassakian (MIT): "Simulating Power Electronic System - A New Approach", *Proc. IEEE*, Vol.67, pp.1428-1439 (1979-10)
- (23) R. Joetten and T. Wess, J. Walters, H. Ring (FGH): "A New Real-Time Simulator For Power System Studies", *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, Vol. PAS-104, No.9, pp.2604-2610 (1985-9)
- (24) M. M. Gavrilovic and J. Belanger: "IREQ'S AC Power System Simulator: Modeling Techniques and Application Practice", Tenth Pan-American Conference of Electrical and Mechanical Engineering and Allied Branches (COPIMERA) (1984-9)
- (25) H. Doi, M. Goto, T. Kawai, S. Yokokawa, and T. Suzuki: "Advanced Power System Analogue Simulator", *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol.5, No.3, pp.962-968 (1990-8)
- (26) K. Saikawa, M. Goto, Y. Imamura, M. Takato, and T. Kanke: "Real Time Simulation Sysytem of Large-Scale Power System Dynamics for Dispatcher Training Simulator", *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, Vol.PAS-103, No.12, pp.3496-3501 (1984-12)
- (27) D. A. Woodford et al (Manitoba): "Canadian Developments in Power System Simulation", *IEEE Canadian Rev.*, pp.15-18 (1989-12)
- (28) N. Sato, T. Nakazawa, A. Yamazaki, H. Taoka, I. Iyoda, and H. Noguchi: "Real-Time Digital Simulator for Power System Analysis", *T. IEE Japan*, Vol.113-B, No.8, pp.855-864 (1993-8) (in Japanese)
佐藤信之・中澤太郎・山崎 彰・田岡久雄・伊予田功・野口秀夫:「デジタル型リアルタイム系統解析シミュレータの開発」, 電学論B, **113**, 8, pp.855-864 (1993-8)
- (29) Y. Tanaka, H. Nishigaito, H. Konishi, and M. Nishimura: "Studies on Combining Method between Analog Simulator and Real Time Digital Simulator for Power System Analysis", *T. IEE Japan*, Vol.120-B, No.2, pp.154-160 (2000-2)
田中愁佳夫・西垣内秀俊・小西博雄・西村正志:「電力系統解析装置におけるアナログ部とデジタル部の結合方法に関する研究」, 電学論B, **120**, 2, pp.154-160 (2000-2)

後 藤 益 雄

(正員) 1942年5月9日生。1965年3月大阪府立大学工学部電気工学科卒業。同年4月日立製作所入社。同社日立研究所, 国分工場, 電力事業部にて, 電力システムの解析, 制御保護システムの研究開発に従事。2001年1月より名古屋大学理工学総合研究センター客員教授。2004年4月より同大学エコトピア科学研究機構客員教授。工学博士。技術士(電気・電子部門)。IEEE Fellow。1970年度オーム技術賞, 1990年度電気学会進歩賞, 2003年度電気学会論文賞受賞。