新環境下の電力系統における解析技術

正 員 舟橋 俊久*

Analysis Techniques in Deregulated Power Systems

Toshihisa Funabashi*, Member

In a deregulated power system, many distributed generations and power storages will be introduced. This article shows technical trends around power system analysis and summarizes roles of this technique in manufacturers. Then, some topics on today's power system analysis are represented, including synchronous /induction generator modeling, Microgrid's application and surge analysis of distributed generators.

キーワード：電力系統解析，分散型電源，モデリング，マイクログリッド

Keywords: power system analysis, distributed generation, modeling, microgrid

1. はじめに

電力需要の増加に伴い、電力系統は年々拡大し複雑化してきている。そのため、各種安定度問題・電力品質の評価や、新しい制御・保護システムの開発、その導入効果の検討などを正確かつ効率的に行うことが要求されてきている。特に近年は、電力系統に接続される分散型電源が増加し、その中でも太陽光発電や燃料電池など新エネルギー電源や二次電池を利用した電力貯蔵装置などではサイリスタ変換器などパワーエレクトロニクス機器を導入するケースが増加している。また、負荷機器においてもインバータエアコンに代表されるパワーエレクトロニクス応用機器が多数導入され従来の負荷特性が変化してきている。このように、大規模・複雑化する電力系統においては、解析によって系統の特性を正確に把握し、様々な現象を予測し、その対策として制御・保護システムを開発していくことがますます重要となる。

一般に“解析”は以下のように大別できる。

(1) 理論的解析：理論式による検討を主体とする。

(2) 実験的解析：縮小モデルなどによる実験を主体とする。

(3) シミュレーション：対象を数式モデルで表現し、デジタルコンピュータやシミュレータなどにより実施する。対象が大規模であったり複雑であったりする場合に有利である。

近年はコンピュータの能力およびシミュレーション技術

の目覚ましい向上により、デジタルコンピュータやシミュレータによるシミュレーションが多く利用されている。本稿では、このシミュレーションによる系統解析技術について、まず系統解析を取りまく技術動向、そして系統解析技術の役割について概観する。次に、系統解析に関する最近のトピックス（活用事例）を紹介する。

2. 電力系統解析を取りまく技術動向

2・1 電力系統の複雑化（分散型電源の普及） 環境問題対策や省エネルギー意識の高まりによりエネルギー利用効率の高いコージェネレーション（熱電併給）システムや風力発電、太陽光発電などの分散型電源が普及しつつある。電気事業法の改正により特定地点供給事業が創設されたことや、防災対策としての電源と兼用する動きが出ていることも一因であると思われる。これらの分散型電源が電力系統に連系される場合は、電力系統の電力品質、系統保護、及び保安面で悪影響を及ぼすことがないように、十分な事前検討を行う必要がある。更に、分散型電源から逆潮流を行う場合には転送遮断装置や単独運転検出装置などの保護制御装置を設置することが必要である。これらの保護制御装置は分散型電源が送電線や高圧配電線につながる負荷を背負ったまま単独運転状態になった時、分散型電源をすみやかに系統から切り離すために用いられる。

2・2 高い電力品質の要求 電力系統への落雷などによって発生する過電圧サージやサイリスタ変換器に代表されるパワーエレクトロニクス応用機器から発生する高調波電流が需要家の負荷機器などに悪影響を及ぼす場合がある。これらの問題を総称して電力品質と呼んでいる。近年、過電圧サージや高調波と並んで重要視されてきたのが瞬時電圧低下現象である。例えば、系統連系された自家用発電設

* (株) 明電舎

〒103-8515 東京都中央区日本橋箱崎町 36-2

Meidensha Corporation

36-2, Nihonbashi-Hakozakicho, Chuo-ku, Tokyo 103-8515

備においては落雷などにより送電線に事故が発生した場合、事故が除去されるか連系遮断器で電力系統を分離するまでの間、電圧は一時的に低下する。負荷設備の種類によってはこの瞬時電圧低下により、さまざまな影響を受ける場合がある。そこで、需要家側で高速に瞬時電圧低下を補償するための対策装置が開発・実用化されてきた。このように新しい保護制御装置の導入により、より高い電力品質を確保することが可能になった。さらに近年はこの電力品質に差を設け、コストに見合った品質での電力供給を行う品質別電力供給システムも研究されている。

2・3 パワーエレクトロニクス応用機器の導入 パワーエレクトロニクスを応用した機器の系統への導入により、その制御も含めた現象の詳細な解析が重要となってきた。更に、近年はパワーエレクトロニクス応用機器の負荷機器への導入も進んでおり、インバータエアコンなど系統の負荷特性や安定度に影響を与える機器も現れ始めた。

2・4 解析ニーズの多様化 上に示したように電力系統が複雑化する一方で、瞬時電圧低下などの電力品質問題が社会に与える影響は大きくなり、保護制御装置には新技術が導入されて来ている。このような電力系統の動向に対応すべく、系統解析のニーズはより多様化している。例えば複数の分散型電源が導入される配電線における単独運転検出装置の整定値の決定、需要家設備における瞬時電圧低下が負荷機器に与える影響をコストを考慮しつつ極小化する方法の検討、パワーエレクトロニクス応用装置による電圧補償・高調波補償効果の把握などは、従来にはなかった新しい解析ニーズと言えるだろう。

2・5 解析ツールの充実 系統解析ソフトウェアのプラットフォームとしては、主にパーソナルコンピュータやEWS (Engineering Workstation) が用いられている。これらのコンピュータの速度対価格比・容量対価格比は飛躍的に向上したため、従来の大型コンピュータによる解析は現在ではほとんど行われていない。EWS だけでなくパーソナルコンピュータにおいても GUI が普及し、使い勝手の面でも充実した。

従来の系統解析ソフトウェアは潮流計算、過渡安定度など実効値計算ソフトウェアがほとんどであったが、近年はより詳細な検討が可能な EMTP (Electromagnetic Transients Program) に代表される瞬時値計算ソフトウェアの普及が著しい。EMTP は開発元の BPA (米国ボンネビル電力庁) がパブリックドメインに近い形で全世界のユーザグループに配布したことにより広く普及した。この EMTP の計算原理を基本として発展させ、よりユーザフレンドリーな GUI を装備したソフトウェアや、リアルタイムでの動作を可能としたデジタルシミュレータも普及している。

3. 系統解析技術の役割

電力系統における系統解析技術の役割は系統の計画・運用、機器の電氣的・機械的設計、技術者の教育・訓練など多岐にわたる。ここでは主に電力機器や保護制御装置を製

作する側(メーカ)における系統解析技術の役割について考えてみたい。メーカにとっては、電力系統に設置されるこれら機器や装置の物理的ふるまいを解明することが系統解析技術の大きな役割である。系統解析技術によって電力機器や保護制御装置の開発の効率化、最適設計を目指している。また、顧客へのコンサルティングにおいて系統解析技術は支援的役割を担う。さらに、系統解析技術そのものをプログラムの形で製品に組み込む場合もある。以下に例をあげつつ説明する。

3・1 製品開発の効率化 新製品の開発において、その製品が電力系統の中でどのような役割を果たすべきか、また果たすことができるのかを検討するために系統解析技術が必要になる。例えば、近年、パワーエレクトロニクス機器を用いた電圧・無効電力補償装置が実用化されている。このような補償装置が系統へ設置される前に、装置の補償性能や系統へ悪影響を与えないことの確認を行う必要があるが、このような装置は系統に連系すること、装置が大容量となる等の理由で、実機による動作解析が困難である。このためシミュレーションによる解析が重要となってくる。

3・2 設備・装置の最適設計 近年、エネルギーの有効利用及び設備運用の信頼性向上の観点から、自家用発電設備(コージェネレーションシステムを含む)が急速に普及しつつあり、その適用は広範囲な産業に及ぶ。これらの産業用発電プラントは通常、その安定性・電力品質を確保するため電力会社の系統と連系して運用される。しかし、電力系統で事故があったり、自家用発電設備が事故停止したりした場合、プラント全体の電圧、周波数が不安定となり極端な場合には全プラントが停止に至るようなケースもあり得る。そのため、需要家側で選択負荷遮断を行うことによりプラント全体の安定性を確保するなどの対策が望まれる。

以上のように産業用発電プラントの安定性・電力品質を確保するためには適切な保護制御装置の適用が必要となる。このような保護制御装置の適用について、最適なシステムを構築するための詳細な検討を行うためには動的なシミュレーションが不可欠である。

3・3 コンサルティング 顧客へのコンサルティングにおいて系統解析技術は支援的役割を担う。例えば、電気鉄道の分野で省エネルギー化などを目的として電力回生ブレーキを備えた各種新車両が導入され送り出し電圧の制御が可能なサイリスタ整流器や交流側への電力回生が可能なインバータ装置などが用いられる。このような新しい車両や装置による回生電力を有効に活用するためには、き電システムの設計時にその電力特性を詳細に解析し検討する必要がある。その中から装置やシステムの提案をしていくことが重要である。

4. 電力系統解析におけるトピックス

4・1 同期発電機のモデリング 電力系統の安定度解析のために最も重要な同期発電機のモデリングは R.H. Park

の基本式をベースになされておりすでに確立した感がある。しかしながらこの Park モデルに問題点が無いわけでは無く種々の検討が依然として加えられている。ここでは、それらの検討の中から 2 例を紹介したい。

発電機界磁電流の挙動を詳細に模擬する場合には従来の古典的発電機モデリングでは実現象に合わないことが報告されている。例えば三相突発短絡試験時の界磁電流波形は従来の発電機モデルによるシミュレーション結果と一致しない。これに対し I.M. Canay は回転子 d 軸回路の主磁束とは別に界磁回路と制動回路のみに鎮交する磁束に対応する相互漏れリアクタンス (Canay リアクタンス) を導入し、実測結果に基づいて適切にこの値を選択すれば発電機界磁電流の解析結果は実測結果とよく一致する事を示した。これまで国内では安定度解析において Canay リアクタンスは無視される事が多かったが、文献(1)ではこの Canay リアクタンスに着目し、その影響を固有値解析によって理論的に検討し、その正負によって動態安定度への影響が逆であることを示している。また公開されている Canay リアクタンスの値について統計的な分析を行っている。

第 2 の検討例は、dq 軸等値回路に用いる定数の取扱いに関するものである。測定等によって得られる諸定数から、Park モデルの等価回路定数を導出する段階において一般には近似式が用いられているが、文献(2)ではこの問題点を指摘し、正確な変換式を提案している。この変換式は、上述の Canay リアクタンスを考慮した場合についても検討されている。

4・2 誘導発電機のモデリング 風力発電ではその経済性・メンテナンス性の良さから誘導発電機が用いられる事が多い。従来の系統解析では同期発電機のモデルはよく用いられるが誘導発電機モデルについてはあまり検討されていない。文献(3)では過渡安定度解析を目的として誘導発電機の詳細モデルが検討されている。また、文献(4)は上記誘導発電機モデルを用いて過渡安定度を検討した例である。

4・3 自励式変換器のモデリング 分散型電源や電力貯蔵装置の多くは直流出力であり、自励式交直変換器を用いて交流系統へ連系される事が多い。これらの分散型電源、及び自励式変換器の各種外乱に対する挙動の解析は変換器に用いられるスイッチ素子の ON/OFF を詳細に模擬し電圧・電流を各相毎に扱う瞬時値解析により行なわれてきた。この瞬時値解析は状態変数の数が多く、小さい時間刻みで計算する必要があることから、電力系統における複数台の変換器における相互作用の解析手法としては現実的ではない。

一方、複数台の発電機の接続された電力系統の解析手法として、高周波数に対するフェーザを用いる実効値解析がある。実効値解析では、三相交流電圧・電流・インピーダンスの正相成分を用いて電力回路を扱っており、発電機の応答に対して変換器の応答が非常に速いことから、変換器を変圧器の漏れインピーダンスの背後電圧として表してい

た。この場合 PLL (Phase Locked Loop) 回路などによる変換器動作のダイナミクスが十分に考慮されているとは言えず、変換器が多数連系された場合の解析モデルとしては不十分であった。

文献(5)では、以上の点に鑑み、変換器間の相互作用を解析するためのモデルとして変換器動作のダイナミクスを考慮した実効値モデルを提案している。提案モデルでは、変換器用変圧器にかかる電圧・電流を dq 軸変換した微分方程式として表すことで、変換器の過渡応答を考慮している。

4・4 マイクログリッド需給制御への応用 分散型電源や負荷などを独立の小系統内に集中配置し、統合された形で効率よく運用する小さな系統 (マイクログリッド) が提案され種々の研究がなされている⁽⁶⁾。電力系統からマイクログリッドへの電力供給を一定または指定した受送電パターンに制御することによって電力系統の負荷平準化に寄与することができる。また、経済性・エネルギー効率を考慮した運転計画により分散型電源を効率的に運用することができる。マイクログリッド需給制御システムは、マイクログリッド全体の運用計画ならびに監視制御を行うシステムである。以下にこのシステムにおいて系統解析技術がどのように活用されるかを筆者らの検討例によって説明する。

(1) 運用計画 翌日の需要予測を行い、経済的かつ効率の分散型電源の運転と予備発電能力などの供給安定度を考慮した運用計画を作成し、分散型電源の運転時間ならびに負荷追従を行う分散型電源とその出力制御パターンを決定する。ここで、天候、風向・風力、日射量データなどから風力発電ならびに太陽光発電の発電予測を行う。分散型電源の効率運転には熱需要を考慮する。

需要予測の処理では過去の学習データにより学習済みのニューラルネットワークに対して、予測日の気温・負荷および類似日の気温・平均負荷のデータを入力して補正量を求め、この補正量を類似日平均負荷に加えて予測負荷を算出する。ただし台風や祝日等の特異日や急激な気候変化に対してはファジィ推論による補正を行う⁽⁷⁾。

(2) 短時間需給予測による運用計画の補正 運用計画により作成した運用パターンに対して現在需給量をもとに 15 分から 3 時間後の需給量を予測して負荷追従制御に使用する供給目標値の予測精度を向上する⁽⁸⁾。また、短時間需給予測の結果から負荷変動に対応する発電予備力が不足する場合には運用計画を補正する。

(3) 負荷追従制御 運用計画による出力制御値ならびにリアルタイムの総需要量と総発電電力量から負荷追従出力調整値を決定する。制御系は二重ループを形成しており、内部制御ループでは発電電力、外部制御ループでは発電電力量を制御する。これらの制御性能はシミュレーションにより確認された⁽⁹⁾。

詳しく述べるスペースはないがマイクログリッドのような統合型制御に対して分散型制御も検討されている⁽¹⁰⁾。

4・5 配電系統用三相潮流計算 太陽光発電や小規模風力発電、燃料電池などの単相分散型電源が配電系統に接

続されると、予期せずに配電系統が三相不平衡となる事が考えられる。この場合の線路潮流を解析するには分散型電源を考慮可能な配電系統用の三相潮流計算プログラムが必要となる。

文献(11)では、DISFLO法を基本とした三相潮流計算プログラムを開発している。DISFLO法はループのない木構造の配電系統に対して適用可能であり、系統末端部から上流部に向けて線路電流を計算し、上流部から末端部に向けて母線電圧を計算していく手法である。

4・6 分散型電源のサージ解析 分散型電源が系統に連系された場合、系統連系インバータなどスイッチングデバイスを含む新しい電力変換機器とともに導入される場合が多く、電力系統運用の観点からは既存の技術では対応しきれない新しい現象や事故が予想され、現実起こっている。また、風力発電設備や太陽光発電設備などの設備が露出しているものでは、雷の直接侵入を考慮する必要がある。

(1) 風力発電設備 文献(12)では、風力発電設備における雷サージの影響を解析により検討している。風車ブレードへの落雷の場合、接地抵抗が高くなると過電圧保護対策の効果が弱まること、接地線を介して他の風車から過電圧が伝搬することなどの結果が得られている。

文献(13)では、風力発電設備に多く見られる環状接地に着目し、FDTD法により雷撃時の接地電位上昇の解析を試みている。解析の結果、環状接地電極は同電極内の大地電位差抑制に効果的であるが、雷の規模、大地抵抗などの条件によっては電気設備等を破損させるような大地電位差が生じる可能性があることが指摘されている。

(2) 太陽光発電設備 太陽光発電設備では、太陽電池モジュールが直列回路を構成しており、そこに誘導回路が形成される。そのため、近傍への雷撃があると、正極電線と負極電線の間に過電圧が誘起される。雷撃点からの距離が離れるに従ってこの過電圧は急速に減少するので、落雷想定位置との距離に応じて太陽電池アレーの保護回路を設定すべきであると言える⁽¹⁴⁾。

(3) その他の分散型電源 燃料電池や二次電池などの新しい電源および電力貯蔵設備については、発電所内設置や風力発電設備などとの併設、あるいは需要家近傍への設置など種々の形態があるが、どの形態においても基本的には本体およびインバータ等の設備はシールドされた建屋もしくは盤内におさめられている。D-SMES (Distributed SMES) のように移動可能な機器も実用化されているが、これらの分散型電源に関するサージ解析例はほとんど見られず今後の課題と言えよう⁽¹⁵⁾。

5. おわりに

新環境下の電力系統における解析技術について、その周辺の技術動向、解析技術の役割、そして最近のトピックスを紹介した。最後に、本稿をまとめるにあたって貴重な意見をいただいた(株)テブコシステムズの小柳薫氏、京都大学の舟木剛氏、および筆者の属する委員会・共同研究グ

ループの方々に感謝の意を表する。

(平成16年4月30日受付)

文 献

- (1) K. Koyanagi, D. Hiramatsu, K. Hirayama, and Y. Uemura: "Study on Small Signal Stability Based on a Synchronous Generator Model with Field Mutual-leakage Reactance", *IEEE Trans. PE*, Vol.124-B, No.7, pp.947-955 (2004-7) (in Japanese)
小柳 薫・平松大典・平山開一郎・上村洋市:「界磁相互漏れリアクタンスを考慮した発電機モデルによる動態安定度解析」, 電学論 B, 124, 7, pp.947-955 (2004-7)
- (2) J. Tamura, R. Takahashi, Y. Tada, and A. Kurita: "A Consideration on the Characteristics of d and q Axis Parameters of Synchronous Machines (Part3)", The Papers of Technical Meeting on RM, IEE Japan, RM-02-106, pp.69-73 (2002) (in Japanese)
田村淳二・高橋理音・多田泰之・栗田 篤:「同期機の d, q 軸諸定数の特性に関する一考察 (第3報)」, 電気学会回轉機技術研資, RM-02-106, pp.69-73 (2002)
- (3) T. Senjyu, N. Sueyoshi, K. Uezato, and H. Fujita: "Transient Current Analysis of Induction Generators for Wind Power Generating System", *IEEE Trans. PE*, Vol.123-B, No.5, pp.608-615 (2003-5) (in Japanese)
千住智信・末吉儀秀・上里勝実・藤田秀紀:「風力発電システムにおける誘導発電機の故障電流解析」, 電学論 B, 123, 5, pp.608-615 (2003-5)
- (4) T. Senjyu, N. Sueyoshi, K. Uezato, H. Fujita, and T. Funabashi: "Transient Stability Analysis of Induction Generator Using Time Domain Torque Characteristic", *IEEE Trans. PE*, Vol.123-B, No.12, pp.1462-1470 (2003-12) (in Japanese)
千住智信・末吉儀秀・上里勝実・藤田秀紀・舟橋俊久:「出力トルク特性を用いた誘導発電機の過渡安定度解析」, 電学論 B, 123, 12, pp.1462-1470 (2003-12)
- (5) T. Funaki, T. Hikiyama, and Y. Tada: "VSC Modeling for Stability Analysis Simulation with Considering Dynamic Behavior of Converter", The Papers of Joint Technical Meeting on PE & PSE, IEE Japan, PE-03-148, PSE-03-159, pp.55-60 (2003) (in Japanese)
舟木 剛・引原隆士・多田泰之:「ダイナミクスを考慮した自動式変換器の実効値モデリング」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研資, PE-03-148, PSE-03-159, pp.55-60 (2003)
- (6) Y. Zoka, H. Sasaki, N. Yorino, J. Kubokawa, and K. Kawahara: "An Examination of Load Following Performance of Distributed Energy Resources Installed in Micro Grid", The Papers of Joint Technical Meeting on PE & PSE, IEE Japan, PE-03-170, PSE-03-181, pp.95-99 (2003) (in Japanese)
造賀芳文・佐々木博司・余利野直人・久保川淳司・川原耕治:「マイクログリッドの負荷追従特性に関する一考察」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研資, PE-03-170, PSE-03-181, pp.95-99 (2003)
- (7) T. Senjyu, H. Takara, K. Uezato, and T. Funabashi: "24-hour-ahead Load Forecasting Scheme for Dispersed Generators", Proc. Twelfth Annual Conference of Power & Energy Society, IEE Japan, Vol.A, pp.217-222 (2001) (in Japanese)
千住智信・高良仁之・上里勝実・舟橋俊久:「分散型電源の運用に適した24時間先電力需要予測手法」, 平成13年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集, 分冊 A, pp.217-222 (2001)
- (8) T. Senjyu, H. Takara, K. Uezato, and T. Funabashi: "One-Hour-Ahead Load Forecasting Using Neural Network", *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol.17, No.1, pp.113-118 (2002)
- (9) T. Senjyu, H. Takara, K. Uezato, T. Funabashi, and T. Ito: "Load Following Control for Dispersed Generators Using PI Controller", *T. IEE Japan*, Vol.122-C, No.8, pp.1333-1340 (2002-8) (in Japanese)
千住智信・高良仁之・上里勝実・舟橋俊久・伊藤孝充:「PI制御器による分散型電源の負荷追従制御」, 電学論 C, 122, 8, pp.1333-1340 (2002-8)
- (10) K. Okuyama, T. Kato, K. Wu, Y. Suzuoki, and T. Funabashi: "Load Leveling in Distribution System by Autonomous Control of Distributed Generators", *IEEE Trans. PE*, Vol.123-B, No.3, pp.304-314 (2003-3) (in Japanese)
奥山賢治・加藤丈佳・呉カイ・鈴置保雄・舟橋俊久:「分散電源の自律制御による需要地系統の負荷平準化」, 電学論 B, 123, 3, pp.304-314 (2003-3)
- (11) K. Sugawara, T. Satoh, Y. Mishima, and K. Nara: "Development of the three-phase power flow calculation program for power distribution systems taking into account distribution generators", The Papers of Joint Technical Meeting on PE & PSE, IEE Japan, PE-03-153, PSE-03-164, pp.85-89 (2003) (in Japanese)
菅原健作・佐藤泰司・三島裕樹・奈良宏一:「分散型電源を考慮可能な配電系統用三相潮流計算プログラムの開発」, 電気学会電力技術・

- 電力系統技術合同研資, PE-03-153, PSE-03-164, pp.85-89 (2003)
- (12) Y. Yasuda, T. Hara, and T. Funabashi: "Lightning Surge Analysis on Grid-Connected Wind Power Generations", The Papers of Joint Technical Meeting on PE & PSE, IEE Japan, PE-03-144, PSE-03-155, pp.31-36 (2003) (in Japanese)
安田 陽・原 武久・舟橋俊久:「電力系統に連系された風力発電設備の雷サージ解析」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研資, PE-03-144, PSE-03-155, pp.31-36 (2003)
- (13) K. Yamamoto and A. Ametani: "A Study of the Protection Effect of the Ring Earth Electrode against Ground Potential Rise when a Lightning Strikes in a Wind Power Plant", Proc. Twenty First Annual Conference of the Institute of Electrical Installation Engineers of Japan, pp.9-10 (2003) (in Japanese)
山本和男・雨谷昭弘:「風力発電設備落雷時における環状接地電極の大地電位上昇抑制効果に関する研究」, 平成 15 年度電気設備学会全国大会講演論文集, pp.9-10 (2003)
- (14) K. Taketani: "Lightning Protection for the Photovoltaic Generation System", *J. IEIE Japan*, Vol.21, No.5, pp.53-59 (2001) (in Japanese)
竹谷 幸:「太陽光発電設備の雷保護について」, 電気設備学誌, 21,

No.5, pp.53-59 (2001)

- (15) 新電力機器を含む過渡現象解析手法調査専門委員会:「新電力機器を含む電力系統の過渡現象とその解析手法」, 電気学会技術報告, (2004) 発行予定

舟 橋 俊 久 (正員) 1951 年 3 月 25 日生。1975 年 3 月名古屋大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月(株)明電舎入社。電力系統の解析業務に従事。2001 年 4 月より琉球大学客員教授を兼務。2004 年 4 月より電気学会「低圧・制御回路のサージ現象調査専門委員会」委員長。博士(工学)。英国技術士(C.Eng.)。IEE 会員。IEEE シニア会員。