

電力需給・周波数シミュレーション の標準解析モデル

電力需給解析モデル標準化調査専門委員会編

目次

1. まえがき	3	4. 需給・周波数制御システムモデルを用いた解析例	96
1.1 はじめに	3	4.1 シミュレーションにあたって	96
1.2 需給・周波数制御の概要と本稿の構成	4	4.2 需給・周波数シミュレーションの準備	97
2. 需給・周波数シミュレーションのための技術調査	6	4.3 解析例題	101
2.1 シミュレーションニーズ	6	4.3.1 解析例題の位置付け	101
2.2 需給・周波数制御の実態	11	4.3.2 解析例題 1-1 ベースケース(重負荷期)	102
2.3 需給・周波数シミュレーション方法	15	4.3.3 解析例題 1-2 ベースケース(軽負荷期)	105
3. 需給・周波数シミュレーション標準解析モデル の構築	22	4.3.4 解析例題 2 自然変動電源の連系による影響	109
3.1 標準モデルの考え方	22	4.3.5 解析例題 3 蓄電池制御の導入による効果	114
3.2 需要データ	28	4.3.6 解析例題 4 周波数制御方式の違い	120
3.3 自然変動電源の出力データ	41	5. あとがき	123
3.4 需要・自然変動電源予測データ	53	付録 1 ニーズおよび技術調査アンケート	124
3.5 発電機モデル	57	付録 2 電力各社の周期帯別の負荷変動量	127
3.6 LFC モデル	74	付録 3 未計測周期変動のスペクトル外挿手法	132
3.7 EDC モデル	80	付録 4 発電計画ツールの概要	137
3.8 慣性モデル・連系線潮流算出モデル	87	付録 5 MATLAB/Simulink モデルの概要	143
3.9 他エリアモデル	92	用語集	148

電力需給解析モデル標準化調査専門委員会委員

委員長 齋藤 浩海(東北大学)
幹事 舘 竜司(中部電力)
幹事補佐 佐藤 幸生(中部電力)
委員 原 亮一(北海道大学)
馬場 旬平(東京大学)
辻 隆男(横浜国立大学)
加藤 丈佳(名古屋大学)
雪田 和人(愛知工業大学)
杉原 英治(大阪大学)
造賀 芳文(広島大学)
阿彦 幸一(北海道電力)
阿部 公哉(東北電力)
荒川 雅昭(東京電力)
柴田 創(北陸電力)
福島 敏(関西電力)
柴田 保(中国電力)
田所 一茂(四国電力)
松下 哲也(九州電力)
古波津 敦(沖縄電力)
飯塚 俊夫(電源開発)
井上 俊雄(電力中央研究所)
澤 敏之(日立製作所)
梶原 俊之(東芝)
小島 康弘(三菱電機)
小島 武彦(富士電機)
田邊 隆之(明電舎)

主な参加者 葛西 将来(北海道電力)
高田 大(東北電力)
坂本 将造(東北電力)
加藤 浩二(東京電力)
飯塚 巧(東京電力)
大崎 聡志(中部電力)
大石 侑甫(中部電力)
渡邊 直(中部電力)
中地 芳紀(中部電力)
徳力 宣夫(北陸電力)
村上 樹里(関西電力)
安部 誠(関西電力)
高穂 洋(九州電力)
末吉 儀秀(沖縄電力)
黒岩 康生(沖縄電力)
天野 博之(電力中央研究所)
熊谷 正俊(日立製作所)
廣政 勝利(東芝)
高崎 耕太郎(東芝)
草野 日出男(東芝)
高口 雄介(三菱電機)
林 巨己(富士電機)

途中退任

幹事 下村 公彦(中部電力)
幹事補佐 三谷 嘉伸(中部電力)
委員 水野 隆裕(北海道電力)
菅沼 伸一(東京電力)
谷本 宏(関西電力)
高橋 知宏(中国電力)
政岡 喜美夫(四国電力)
福島 晋(九州電力)
山里 健一郎(沖縄電力)
渡辺 雅浩(日立製作所)

1. まえがき

1.1 はじめに

地球温暖化抑制や環境負荷低減の観点から、太陽光発電や風力発電などの自然変動電源が世界レベルで急速に普及している。これらは低炭素で再生可能なエネルギーとして大きな注目を集めているが、一方で、大量に導入された場合には、系統周波数の変動や調整力の不足といった、需給平衡と周波数安定性の面での問題が懸念されている。このため、大容量蓄電池を調整力として活用することなど、新たな解決策を視野に入れた検討が既に広く行われている。ただし、新たな解決策の有効性を稼働中の実電力システムで検証することは難しい場合がほとんどであるため、多くの検討は計算機シミュレーションに基づいている。したがって、今日はもちろんのこと今後も需給・周波数シミュレーションに対するニーズは益々高まっていくものと予想される。

ところで電力システムは、多数の発電プラント、複雑な送配電ネットワーク、各種の制御系など、特性が異なる多数のサブシステムから構成されるシステム、すなわち System of Systems である。そのため、様々な物理現象と人為的現象が異なる時間スケールで同時に進行する。したがって、電力システムのシミュレーションを行う場合には、検討対象の現象を明確に絞り込み、その現象に関わる電力システムの構成要素を数学的に適切にモデル化することが重要になる。幸いなことに、これまでの多くの電力技術者や研究者らによる試行錯誤と努力の結果、電力システムの各種物理現象に関わるシステム構成要素や制御系が適切にモデル化され、解析する方法が体系化されてきている。ただし、シミュレーションでは、モデル化の過程において検討対象外の現象が無視されているので、仮にシミュレーション結果と検討対象の実現象の間に許容されないほどの誤差が見られる場合には、そのシミュレーション結果の信頼性は低く、再度、検討対象の現象に関わるシステム構成要素を見直し、より正確なモデル化を行う必要がある。これは、シミュレーションに基づいて何らかの意思決定を行う際には決して忘れてはならない点である。

近年、これまでに確立されてきた電力システムの数学モデルを用いて、その動的振舞いを計算機シミュレーションにより再現あるいは予測するための標準モデルが開発されてきている。わが国においては、1999年に電気学会 技術報告第 754 号において過渡安定度解析を主な用途とした電力システムの標準モデルが公開されている。この標準モデルは、わが国の電力システムの特徴を模した EAST10 モデルや WEST10 モデルといった発電機の詳細な電気機械的動特性を含む縮約系統モデルであり、それらのモデルパラメータが無償で公開されている。それ故、電力システムの安定性に関する多くの研究・開発事例では、今日においても、こ

の標準モデルが使用されている。このようにモデルの標準化は、電力システムの研究・開発に有用な共通基盤を与えることになり、結果として、電力システムの研究・開発の向上に大きく貢献している。

一方、需給・周波数シミュレーションに関するモデルの標準化について、過去の電気学会の技術報告を調べてみると、1975年の第40号「電力系統の負荷・周波数制御」、1989年の第302号「電力系統の需給制御技術」、2002年の第869号「電力系統における常時及び異常時の負荷周波数制御」に、解析用モデルの一部調査結果が報告されているものの、共通基盤としての標準モデルが構築されるまでには至っていない。また、国内外の研究事例を見る限り、研究・開発の目的に応じて独自に作成したモデルを使用している場合が多い。

そこで、近年の需給・周波数シミュレーションに対するニーズの高まりを受け、その共通基盤の構築と効率的なシミュレーション環境の整備を目的として本調査専門委員会が発足した。2年間という短期間ではあったが、委員と作業会メンバーの献身的な活動により、世界においても通用する需給・周波数シミュレーションのための発電プラントや負荷周波数制御などの標準モデルを開発した。合わせて、シミュレーションの入力として使用する電力需要と自然変動電源出力の標準的な時系列データも実測データに基づいて整備した。

また、開発した標準モデルを用いて構成した需給・周波数制御システムモデル（本稿では AGC30 モデルと称する）を MATLAB/Simulink で作成し、その電子データを CD-ROM に収録して公開することにした。このような公開方法により、電力システム工学が専門ではなく、実測データの入手も困難な方であっても、需給制御ならびに周波数制御に関心があり、かつ MATLAB/Simulink を利用できれば、需給・周波数シミュレーションを容易に実行できるものと考えている。特に AGC30 モデルは、国内の電力事業に携わる技術者と電力システム工学を専門とする大学の研究者およびモデルの潜在的な利用者である再エネ発電の関連団体へのアンケート調査に基づいて作成されているので、需給・周波数シミュレーションに対するニーズおよびわが国の電力システムにみられる平均的な特徴を反映したモデルといえる。したがって、ユーザーフレンドリーな MATLAB/Simulink 環境で作成された AGC30 モデルをベースに、様々な用途に合わせた需給・周波数シミュレーション用のモデルが開発され、それらが将来の電力需給構造に最適な需給制御技術の研究と開発に資することを期待している。なお、上述した形態で調査専門委員会の成果を公開することは、電気学会においては初めての試みである。公開方法の詳細については電気学会ホームページ（URL:<http://www.ice.jp/>）に掲載する予定である。

ここで AGC30 モデルや標準データを利用する際の留意点を一言述べておきたい。前述したとおりシミュレーション結果と実現象の間には誤差が存在する可能性がある。その