

電力中央研究所

上之 蘭 博

1. はじめに

電力システムの巨大化、高密度化により、電力システムの構成は益々複雑化し、それとともに、その特質に顕著な変化が現れ始めてきており、従来とは異った観点からの判断が要請されるようになりつつある。

また一方において、電気事業をとりまく環境や社会的要請も複雑、高度化してきており、高信頼度で低コストの電力供給を行なうための困難さが、一次エネルギーの多様化を含めて一段と増加してきている。

このような情勢に対応して、電力システムの適切かつ効率的な拡充、ならびに円滑かつ高度の運用・制御を行なうため、各方面で種々の研究が進められているが、その一端を以下に説明する。

2. 電力システムの動的安定性

電力システムの安定度に関する研究は、電力系統計画の運用・制御の基本検討事項として、現在世界各国で最も重点的に、かつ幅広い内容をもって進められている。

2.1 安定度解析手法

近年の安定度解析手法は、電力システムの拡大に伴い広範囲な多機系統を取扱う必要が生じたこと、これにより系統の分割化と集約化の困難性、現象の複雑性（例えば電力動揺周期に極めて長周期成分が含まれること、各地域毎の現象に著るしい差が生ずることなど）

が増加したこと、各種制御装置の性能が一段と向上し、従来のように簡略モデルでは不十分であり、場合によっては解を誤る恐れがあることなどにより後述するような詳細モデルを用い、かつ長時間（5～20秒）に亘る現象が解析できることが要求されてきている。

これに対して、詳細なシミュレーションモデルを用い Runge-Kutta 法などの精度の高い数値積分法での計算により数百機程度の系統まで解析できるようになってきている。またこの種の解析手法の妥当性を検証するため系統動揺現象の観測結果、現場試験結果と解析結果との対比と、その相違に対する原因究明が行なわれている。一方リアプノフ関数を用いた多機系統の安定度解析も報告されているが、この実用性については今後の研究課題として残されている。

従来の定態安定度解析は、微小電力動揺に対する制御装置の影響が無視できなくなった現在、その有用性について疑問が投げかけられてきている。これに代えて、上述の動的安定度解析手法をそのまま適用する方法、解析モデル表現は同一であるが安定判別に周波数応答法や、固有値法を用いる方法が開発されている。しかしながら解析目的に対するシミュレーションの妥当性、解析系統規模、解析精度と解析時間など、今後一層の努力を払う点が多くある。

## 2.2 系統構成要素のモデル

解析に用いるシミュレーションモデルについては極めて詳細に行なわれている。特に非線形要素に対する配慮を十分行なう必要がある。

### (1) 発電機

Park の基本式を用いるが制動巻線回路を2個以上で表現したり、空隙磁束の飽和を考慮したりする場合がある。

### (2) 自動電圧調整器

制御系内に含まれるリミッタは勿論のこと、励磁機磁束の飽和も考慮する場合がある。

### (3) 調 速 機

主制御弁 (CV) ばかりでなく、緊急時や大外乱発生時に動作する中間制御弁 (ICV) の動作も考慮する。また場合によってはボイラ、原子炉などの応動特性を一部含めることがある。

## 2.3 系 統 縮 約

如何に系統を詳細に模擬して解析を行なう必要があるとはいえ、解析できる系統規模には計算機の能力、実用的計算時間などから自ら制限があり、この問題の解決には系統縮約手法の開発が不可欠である。

これがため、種々の方法が世界各国で発表されているが未だ実用的に確立されたものはない。現在比較的各所で研究されている方法としては、電力動揺 (または電圧、電流動揺) の Coherency による方法、固有値による方法、工学的手法 (並列インピーダンス法など) があるが、制御系を含めた縮約方法、等価縮約系統の等価発電機、等価制御系、等価負荷への転換などに困難な点が多い。

## 2.4 負 荷 特 性

解析結果に与える影響の大きなものとして負荷特性があるが、動的な系統解析に適用できる一般的なデータは未だ得られていない。特に周波数特性、大巾な電圧変動に対する特性についてはこのようにいえる。最近では誘導機負荷の系統安定性に与える影響は極めて大きいとする報告も現れている。系統安定度における負荷特性の表現方法について実測データの蒐集を含めて早急に解決する必要がある。

### 3. 系統制御

#### 3.1 常時制御

常時の系統制御については既にオンライン制御の段階にあるが、系統特性の変化により根本的な見直しが必要となりつつある。

電圧制御については、外輪系統を含めて潮流の大幅な増加、潮流方向の時間的変化、主幹系統の長距離化などにより、特定地点の調相設備の運用・制御や変圧器タップ制御のみでは運転目標電圧の維持が困難化し、電圧異常低下現象が生じたり、誘導電動機系における電圧安定度問題の論議を巻き起したりしている。また同種の問題として直流送電における電圧安定度も研究の対象となっている。

これら電圧問題の解決のため、調相設備の適正配置決定手法、連続制御調相設備の開発と適用、発電機を含めた調相設備の運用・制御方式の検討が改めて行なわれつつある。

周波数制御については、社間連系潮流制御とAFC制御との協調について近代制御理論を適用した最適制御方式の検討が進められているが、系統規模の拡大、発電所の運転制約などのため、AFC発電所の適正な地域分布と電源の多様化、調整容量の適正化（最少化）、AFC発電所間の相互協調（安定性向上）などについて十分な検討が必要となってきた。

#### 3.2 信頼度制御

信頼度制御は予防制御、緊急制御、復旧制御とに大別されるが、現在は電気所における局地制御が行なわれている段階である。しかしながら電力系統の急速な複雑化は局地制御の欠点を助長する傾向にあり、これを解決するための研究が活発に進められている。

事故波及による広範囲な停電を防止するため、系統分離、電源制限、負荷制限などの対策が採られるが、この適用条件、適正対策量、

操作シーケンスなどの決定は数ヶ所の電気所からの情報を用いて理想的には時々刻々行う必要がある。これがため、系統の状況を正確に把握するための系統状態推定手法、制御論理、設定値決定手法などの開発が進められている。これと平行して計算機適用保護システムの開発が行なわれているが、将来は信頼度制御システムとして一体化される性質のものである。

理想的な予防制御を行なうことは、現在のような電力系統の体質が続く限り、仲々困難であるが、与えられた環境の中での最善策決定のための論理が開発されている。すなわち、送電線過負荷、発電所運転制約、電圧異常などを考慮に入れた経済負荷配分決定手法、安定度を考慮した系統切換、負荷切換決定手法など。

狭義の信頼度制御には含まれないが、系統の信頼度向上に極めて有効な各種安定度向上方策の研究も精力的に行なわれている。ハード面の技術開発と同時に、これらの方策の適用場所、適用量、最適制御方法の検討も重要である。

信頼度制御の全自動化は階層制御システムの在り方によって異なるが、相互に協調をとる形で進めるべきであり、これがためには現在ローカル的に行われている個別制御、局所制御を如何に総合化し、逆に機能を下位にどのように分担させるかについてトータルシステムの観点から十分検討する必要がある。特に現時点の系統制御が直接制御機能に重点が置かれており最適制御機能、最終的な適応制御機能については殆んど考慮されていないことを考えるとなおこのようにいえる。

## 4. 運用計画

### 4.1 短期運用計画

日負荷率の低下傾向の持続，中間負荷用電源としての火力発電の運転制約（最低負荷制限，起動停止日数制限，環境規制，年間燃料使用量制限など），所要予備力の確保などの諸点かう揚水を含めた経済運用方法，貯水池式水力の運用方法などを如何なる論理で決定するかと重要となりつゝある。今後，原子力発電比率の増大，火力発電燃料の多様化，環境規制の一段の強化などの要因により運用計画決定は困難となり，引いては経済性に大きな影響を与える結果となる。

### 4.2 長期運用計画

原子力発電比率，火力発電総台数の著るしい増加により定期補修スケジュールを夏季ピーク時にも組込む必要がでてくるのは時間の問題である。この場合，如何なる電源構成の下で，如何なる運用を行なえば最少の電源設備で最大の信頼度が確保でき，かつ経済性も追求できるかを決定することは極めて重要である。多くの制約条件を考慮に入れながら最適解を与える手法の開発が急がれる。この手法は当然のことながら電源計画手法としても活用されることになる。

## 5. その他

### 5.1 電気・機械系の複合現象

最近の問題として直列コンデンサ適用系統におけるSSR問題がある。これは電気系の直列共振周波数とタービン発電機軸系の共振周波数とが競合してタービン軸系の振動が仲々減少せずタービン軸の疲労破壊にまで進展する可能性がある現象である。

これと同様にタービン軸系の疲労破壊を誘引するものとして，発

電所近傍事故に対する再閉路失敗がある。

このように電気系ばかりでなく機械系も含めて検討しなければならない現象があり、これらに対して電力系統の複雑化は問題の解決を一段と困難とし、計算精度の一層の向上が要求される。

## 5.2 新技術の導入

UHV送電，直流送電など新送電方式の採用，新発電方式，エネルギー貯蔵方式の導入など電力系統構成，運転方法の大巾な変更は解析手法，運用・制御方式などの決定方法に新しい発想を採り入れることが要求される。

## 6. おわりに

以上電力システムの研究の現状を中心に記述したが、こゝ当分は信頼度制御に関係のある課題の解決に世界的な研究は進むものと考えられる。

将来に向ってはやはり電源計画，系統計画の根本的な見直しが行なわれ、その中に日本の特殊な環境条件が強く反映されことになろう。