

最近の系統安定化技術の動向

系統運用部担当（前系統運用部長）

竹安 一郎



1 まえがき

当社の電力需要は、過去10年間に最大電力で約1.5倍、電力量で約1.4倍に増加しており、今後は年3%程度の安定成長が予想されている。この電力需要の増大に対応した電力設備の拡充に伴って電力系統は拡大化を続けてきたが、設備開発における立地難などにより電源の大規模集中化と偏在化、輸送設備の重潮流化と長距離化をきたし、これによる系統の安定性低下が問題となっている。一方、電力需要は量的増大とともに使用形態の著しい高度化により電力に対する依存度が高まり、停電や周波数変動の影響増大、特に広範囲かつ長時間に及ぶ大規模停電は、欧米の事例を見るまでもなく社会的に重大な問題となってきている。

系統安定化技術は、このような諸問題に対処するため近年急速に発展した工学分野であり、基幹系統の拠点となる大容量の発・変電所や給電運用システムに適用されて電力の安定供給に効果を発揮している。

ここでは、系統安定化技術の適用の背景ならびに現状技術レベルと将来の展望について概要を述べる。

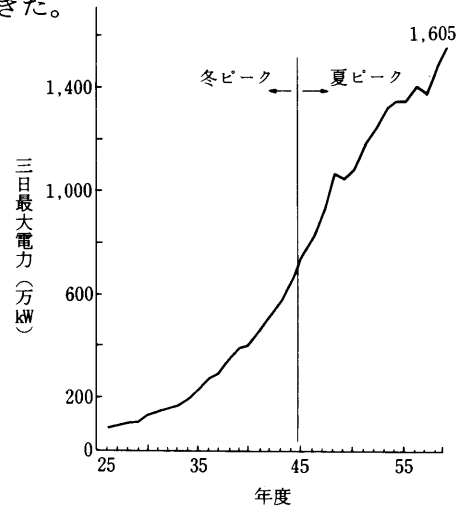
2 電力システムの信頼性と系統安定化技術

(1) 電力システムの概要

電力システムは、発電設備と送・変・配電設備からなる電力系統によって巨大システムを構成している。その電力系統は電力需要とともに成長拡大を続け、現在わが国では北海道から九州までを

結ぶ設備容量約1億4千万kWの一大連系系統にまで発展した。

当社の電力系統は、60Hz系統の最東端に位置し500kVと275kVとで骨幹を形成して大部分を放射状系統で運用しており、電源の約8割が東部(変)以東の系統に集中しているのが特徴である。その電力需要は第1図に見るように急速な成長を続けてきたが、これに対し電力設備面では高位電圧の導入、発電機単機容量の増大など大規模化で対処してきた。



第1図 最大需要電力の推移 (発電端)

一方、系統運用面では良質の電力を確実に供給するため、需給調整と系統監視・操作などの合理的運用に努めてきた。特に中央給電指令所では自動給電システムを導入して、オンラインによる電圧・無効電力制御(VQC)や自動周波数制御(AFC)を常時行うほか、事故波及を未然に防止するため主要点の電圧・潮流・周波数、運転予備力保有量などの系統状態をオンライン自動監視して必要な系統操作を行い、事故発生に備えている。

(2) 電力システムの信頼度

ア サービスレベルの現状

当社における電力設備の故障は、ここ数年、年間に1,000件近く発生しており、約7割は雷害によるもので、77kV以下の系統に集中している。この内、供給支障(停電1分超過)となるのは年間120~150件である。

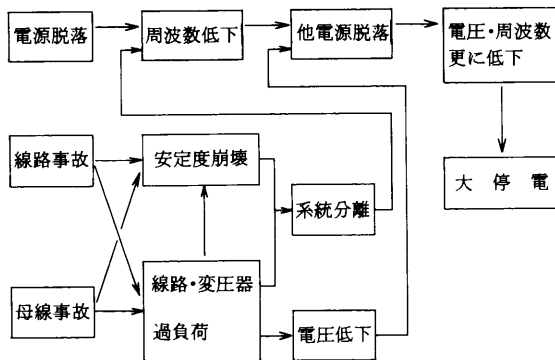
イ 大規模停電事故とその背景

故障停電は、その範囲の広さから局所停電（ローカル変電所単位～配電線単位）と広範囲停電（複数の県～大都市の大部分）とに分けられる。また、広範囲かつ長時間にわたる停電を大規模停電と呼び、社会的影響の重大性から最近特に注目されるようになった。わが国では大規模停電は40年の御母衣事故以来発生していないが、海外では最近数件が連続している。特にフランスやスウェーデンの事故は全土の半分以上が5時間以上も停電するという過酷なものであった。

第1表 海外における大規模停電

場所	発生年月日	一次原因	供給支障	停電時間
ニューヨーク	52. 7.13	多重雷	5.8GW	25H
米西部	57.12.22	鉄塔倒壊	12.4	3.5
ケベック州	52. 9.20	PTの破損	10.0	6.5
同上	57.12.14	CTの破損	15.2	7
フランス	53.12.19	送電線の過負荷	29.0	8.5
スウェーデン	58.12.27	LSの過熱によるアーム脱落	11.4	5.3

これらの大規模停電は、一般に最初の単純な故障が波及して設備の過負荷、安定度崩壊、周波数異常を引き起こし、大停電に至ったものと推測される。



第2図 事故波及の経過

(3) 系統安定化技術の役割

ア 系統安定化技術の必要性

停電の原因は

- ① 需給のアンバランス
- ② 設備故障や作業
- ③ セキュリティ不良

とに大別できる。

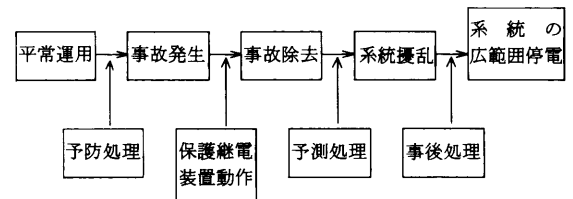
最近では立地条件、環境問題などで設備増強が困難となり、系統体質の低下によるセキュリティ不良が問題となりつつある。その対応には系統構成面からの体質強化に努める一方、合わせて安定化機器の設置、安定化制御の導入などによって事故の波及拡大による系統崩壊の防止を図る「系統安定化技術」を適用するのが合理的である。

イ 系統安定化の基本的な考え方

系統安定化に当たっては、事故の波及拡大における時間的・地域的要素を考慮して

- 停電を極力狭い範囲に限定できること
 - 事故の連鎖的拡大を抑制できること
 - 事故後の復旧操作が容易にできること
- などの基本性能を満たす必要がある。

系統の一時的故障が大停電にまで発展する過程には予防・予測・事後といった三つの処理段階があり、系統安定化に当たってはそれぞれに対応した対策を実施している。



第3図 系統安定化対策の処理段階

3 系統安定化技術の現状

(1) 系統安定化対策の変遷

ア 対策の種類

系統安定化対策は、安定化機器による方式と安定化制御装置による方式とに分類される。

第2表 系統安定化対策の種類

処理段階	系統安定化装置		主要機能
	安定化制御装置による方式	安定化機器による方式	
予防処理	信頼度監視制御(給電自動化)		事故波及回避
予測処理	事故継続分離装置	制動抵抗装置(SDR)	安定度維持
	脱調予測電制装置(TSC)	直列コンデンサ(SrC)	
	脱調波及未然防止リレー	静止形無効電力補償器(SVC)	
		高速バルブ制御(EVA)	
		安定化励磁制御(PSS)	
	集中制御形系統安定化システム(CSC)	発電機超速応励磁装置	周波数維持
事後処理	周波数分離		周波数回復
	過負荷分離(OL)		過負荷解消
	脱調分離(SOR)		安定度回復

イ 研究開発と導入状況

系統安定化技術の開発は、その時代の系統側のニーズを背景に進められてきたが、その根底には系統解析技術の進歩やメーカーの製作技術のレベルアップが大きく貢献しており、今後の期待も大きい。

(2) 系統安定化対策の実施状況

現在、国内の各電力会社では第5表に示す系統安定化対策を実施しており、各社間に系統規模や系統構成の違いによる特徴が端的に現れている。当社では他社に先駆けて、次のような対策シス

第3表 安定化機器の原理

安定化機器	安定化原理
超速応励磁	発電機の電圧を保持して、同期化力を増大
制動抵抗器	並列の抵抗負荷を投入し、発電機の減速力を増大
高速バルブ制御	タービン出力を高速で絞って発電機の減速力を増大
直列コンデンサ	線路リアクタンスを補償して同期化力を増大
PSS	発電機のAVRに補助信号を導入して、ダンピングを増すように励磁を制御
SVC	サイリスタ制御により、リアクトルやコンデンサに流れる電流を調整

第4表 系統安定化対策の開発経過

安定化対策	年 代		
	S40	50	60
発電機PSS		北海道新冠△	渥美他 ○
制動抵抗器	尾鷲三田○		渥美 ○
高速バルブ制御			知多5,6○
直列コンデンサ		関西大黒幹△	
SVC			△.....○
SSC	西名古屋他○	西部CSC他 ○	
SOR	西名古屋他○		

テムを構成している。

ア 安定度対策

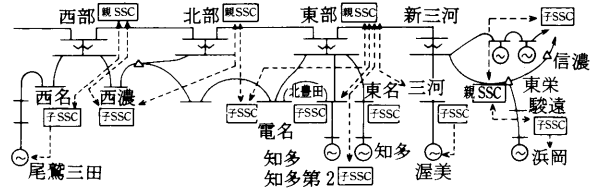
系統故障時における脱調を防止するため、発電機の制御を中心に安定化システムを構成している。また、万一脱調に移行した場合には、波及防止のため総合形の脱調系統分離リレーで処理できるようにしてある。

第5表 国内電力各社の系統安定化対策実施状況

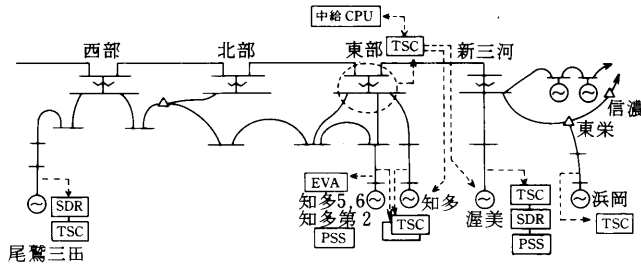
対策別	方式別	会社別 (D:中部)									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
周波数維持	予測演算方式				○	○	○	○	○		
	周波数リレー	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
過負荷防止	過負荷検出リレー	○	○	○	○	○			○	○	○
安定度維持	PSS	○	○	○	○		○		○	○	○
	EVA				○						
	SDR				○						
	SrC						○				
	電源制限(TSC)		○	○	○		○		○	○	○
	系統分離(SOR)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

イ 周波数対策

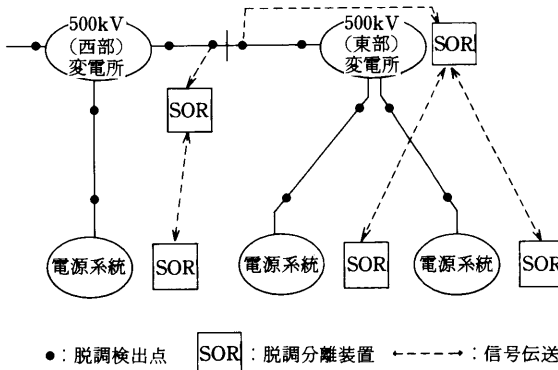
系統分断時における周波数異常の発生を未然に防止するため、CSCシステムを構成し、幹線故障遮断時に過剰電源または負荷を制御して緊急時の需給バランスを確保している。



第6図 CSCシステム



第4図 脱調未然防止対策

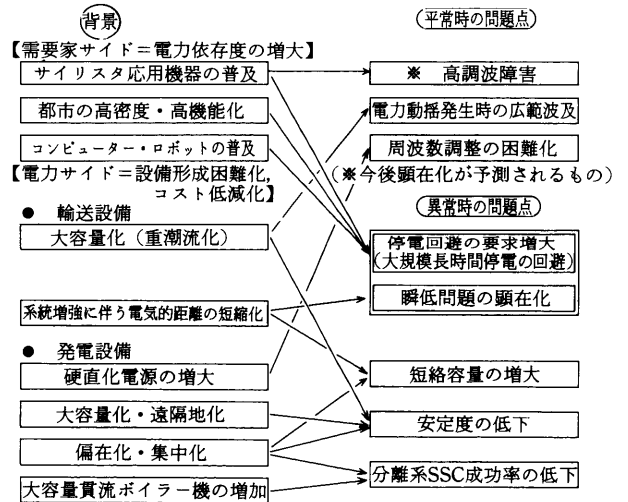


第5図 脱調系統分離リレーシステム

4 将来技術の展望

(1) 系統運用面の今後の課題

今後の電力システムは、需要家サイドからの停電や瞬時電圧低下の回避の要求増大、系統サイド



第7図 系統運用面の問題点

における事故波及要因の増大など従来にも増して
 厳しい問題を抱えており、その対応が系統運用面
 の大きな課題である。

とくに系統安定化面では、現状技術で対処する
 場合には

- 安定化機器の所要容量の増大、設置箇所の輻
 輳化
- 安定化制御システムの大規模化、複雑化を招
 き、信頼性・経済性の面での支障が予想されそ
 の対応が困難になるとみられる。

(2) 技術開発

ア 将来技術の方向性

将来の巨大系統の安定運用を維持するためには
 系統増強を進める一方、前述の既存技術における
 課題を解決し、さらに新たに系統運用の高度自動
 化、新種安定化機器の開発などを推進させる必要
 がある。特に安定化システムの制御については最
 新のコンピュータ利用技術やセンサ技術の導入に
 よって最適化・総合化を進める予定である。現在
 考えられている技術開発項目はおよそ第6表に示
 すとおりである。

第6表 技術開発項目

対策別	項目	備考
安定度対策	オンライン監視制御	各社
	発電機安定度余裕監視 (ASMARC)	当社、メーカ
	発電機多変数制御 (TAGEC)	関西、メーカ
	脱調予測制御	当社
	系統総合監視制御	当社
	静止形無効電力補償器 (SVC)	当社、東電、 関西
	超電導コイルエネルギー 貯蔵 (SMES)	メーカ
	フライホイール(F.W)	メーカ
周波数対策	SSC制御の最適化	当社
	系統自動復旧	各社

イ 開発状況

当社では、系統安定化制御システムを重点に第
 7表の研究開発を進めており、その一部は近く実
 用化できる見通しである。

第7表 当社における系統安定化技術の開発状況

テーマ	目的	概要	経過
発電機安定 度余裕監視 装置 (ASMARC)	発電機脱 調未然防 止	コンピュータを使って 発電機の端子電圧、負 荷電流などの入力情報 から、発電機の安定運 転状態を直接監視する 装置(横山水力(発) 西名古屋火力(発)に てテスト実施済)	実証 段階
脱調予測制 御	系統間脱 調未然防 止、脱調 波及防止	幹線の電力動揺のP,Q 変化から脱調移行現象 を検出して、所要の電 源を制御する装置 コンピュータを使って 制御の最適化を考慮 (検出装置を試作中)	基礎 段階
SSC制御の 最適化	周波数異 常未然防 止	従来のSSC制御に系統 故障時の電圧低下によ る負荷脱落や電源プラ ントの動特性の影響を 加味するため、制御量 の補正制御方式を開発 導入	実用 段階

5 まとめ

最近の系統安定化技術の動向について概要を述
 べた。今後はコンピュータや情報伝送などにおけ
 る最新技術を積極的に取り入れて、さらに高度の
 系統安定化システムの実現を図っていきたい。

他方、燃料電池・SMESなどの新発電、貯蔵シ
 ステムの実用化も将来に予想されることから、これ
 による電力システムへのインパクトがもたらす新
 たな課題にも今後対処していくことが必要となろ
 う。