

電力における地震防災システムの現状と問題点

朱牟田善治¹

¹正会員 工博 (財)電力中央研究所 地盤耐震部 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646)

本論は、電力システムの地震防災システムの現状と課題を整理することを目的とする。地震防災システムを広義に定義し、地震防災ハードウェアシステムと、地震防災ソフトウェアシステムに分類する。これらのハード、ソフトの地震防災システムが電力システムの地震防災対策に、どのような役割を担っているのか現状を調査する。この調査結果に基づき、電力システムにおける地震防災システムの課題を明らかにし、地震防災研究の今後の方向性について言及する。

Key Words : seismic countermeasure, restoration, monitoring system, scenario, electric power system, lifeline, earthquake disaster prevention

1 はじめに

電力システムは電気の発生、輸送、分配、消費といった機能を有し、①大量電力の一括輸送、②送電系統の相互間の連携、③電力の局所的分配、④需要家への分配を行っている。このうち、①②の機能をもつものは一次系統、そのうち特に重要な系統は基幹系統、③の機能を持つものは二次系統、④の機能を持つものは配電系統とそれぞれ呼ばれている。さらに、電力システムは、発電と消費が同時に行われる瞬時性、全系統が同一の周波数で運転されている同期性、さらに貯蔵が困難などといった他のライフラインにはない特徴を有している。このような電力システムは、地震時においても、災害対策本部等の活動、情報連絡、救助、医療、消防、緊急輸送、避難生活等のため、高い供給信頼性が求められている。

本論は、電力システムにおける地震防災システムの現状と課題を明らかにすることを目的とする。一般に、地震防災システムというと、UrEDAS¹⁾や SIGNAL²⁾などに代表される地震動モニタリングシステムを指すことが多い³⁾。本論では、地震防災システムをもう少し広義にとらえて、2つの視点から定義することにする。すなわち、電力システムの耐震化(被害防止)を目的とするハード対策の総称として地震防災ハードウェアシステムを定義する。一方、被害の最小化を目的とするソフト対策の総称として、地震防災ソフトウェアシステムを定義する。以下には、これら2つの地震防災システムの現状を概観し、電力システムにおける地震防災システムの今後の課題について考察してゆく。

2 地震防災ハードウェアシステム

(1) 個々設備の耐震設計の考え方⁴⁾

日本において、最も問題となる災害は地震であり、電力設備には、耐震性を考慮した設計がなされている。近年もっとも影響の大きかった1995年兵庫県南部地震後、防災基本計画(1995年中央防災会議)が策定され、構造物、施設等の耐震性確保についての基本的な考え方が示された。電力においても、この防災基本計画に添うように個々の設備の耐震性に関する再検討が行われ、以下のような耐震性に関する基本的考え方が示された。すなわち、一般的な地震動に際しては、機能に重大な支障が生じず、かつ高レベルの地震動に際しても人命に重大な影響を与えないことを基本として、以下の2つの区分により耐震性を図ることになっている：

耐震性区分Ⅰは、一般的な地震動に際し、個々の設備の機能に重大な支障が生じず、かつ高レベルの地震動に際しても人命に重大な影響を与えない耐震性を有すべきものであり、ダム、LNGタンク、油タンクが該当する。耐震性区分Ⅱは、一般的な地震動に際し個々の設備の機能に重大な支障が生じず、かつ高レベルの地震動に際しても著しい(長期的かつ広範囲)供給支障が生じることのないよう、代替性の確保、多重化等により、総合的にシステムの機能が確保される耐震性を有すべき物であり、区分Ⅰ以外の発電設備、送変電設備、配電設備、給電所、電力保安設備が該当する。

(2) 電力供給システムの設備形成の考え方⁵⁾

電力供給システムは、災害時にも機能を維持できるようにシステムとしての設備形成基準を設定している。ここでいう設備形成基準とは、電力系統の設備形成を行う上で確保すべき系統

信頼度レベルを定めたもので、系統の重要度や設備投資効果などに対する考え方の違いにより、各社間で基本的な考え方に大差なく、以下のとおりとなっている。

(a) 上位系統（基幹系統）

上位系では各社とも単一事故が発生しても供給支障が生じないことが基本となっている。また、安定度や電圧が適正に維持されることも基準に盛り込んでいる場合もある。

(b) 下位系統（2次系統以下）

下位系では単一事故に対して短時間の供給支障は許容している場合が多いが、万一供給支障が発生した場合には、系統切り替えや配電線切り替えにより対処可能としている。

ここでいう、単一事故とは電力設備のうち1単位（1器）に発生した事故をいい、その種類には送電線1回線事故、1バンク（変圧器）事故、片母線事故、発電機1台事故がある。また、下位系も上位系とはほぼ同様であるが、発電機1台事故を除いている会社もある。

3 地震防災ソフトウェアシステム

(1) 系統保護システム

電力システムには、災害時に系統事故が発生した際に、系統全体に波及しないように保護リレーシステムが導入されている。保護リレーシステムの目的は①電力系統に発生した地絡、短絡などの系統事故の除去、②系統の安定度の維持（電圧、周波数維持）、③事故設備の損傷の軽減、④保安の確保であり、電力系統を構成する送電線、母線、変圧器など設備ごとに保護リレーシステムを設置している。保護リレーシステムには、事故区間を限定し、高速に動作する主保護リレーと、主保護リレーによる遮断失敗、遮断器不動作、主保護リレーロック時などに対応するために後備保護リレーが設置されている。

この保護リレーシステムは、以下のような条件を満足するように構築されている。

- (a) 選択性：遮断区間が最小となるような条件を満足するように構築されている。
- (b) 信頼性：誤動作、誤不動作を防止し、万一このような不良動作が生じても大規模事故に繋がらない。
- (c) 感度：系統の運転状態によって、その保護性能に影響を受けない感度を有する。
- (d) 速度：安定度の維持、機器の損傷軽減、事故波及の防止に必要な動作速度を有する。

(2) 電力広域連携システム

1951年以來、日本においては全国を九つの地域に分割し、それぞれの地域を担当する電力会社が電力を供給

する体制がとられている。各電力会社の系統は、中部電力以西の60Hz系統ならびに東京電力・東北電力の50Hz系統がそれぞれ交流で連携されており、東京電力（50Hz）と中部電力（60Hz）の間、東北電力（50Hz）と北海道電力（50Hz）の間が直流を介して連携されている。よって、地震などの災害時などに設備被害などによって、電力不足になると、その要請に基づいて、ただちに他電力会社から応援人員や電力を供給できるような体制となっている。

(3) 初動復旧システム

電力各社では、災害時に、各社の災害対策マニュアルに基づき、非常事態を発令する。また、本店と各支店には災害対策本部を設置し、支社、営業所、電力所には、支部を設置して災害情報の収集・分析・判断・伝達が即座に行えるような体制を整えている。対策本部では、収集した情報に基づいて以下の項目に示す内容についてとりまとめ、関係各所に復旧対策について必要な指示を行うことになっている：①復旧応援要員の必要の有無、②復旧要因の配置状況、③復旧資材の調達、④宿泊施設、食料等の手配、⑤電力系統の復旧方法、⑥復旧作業の日程、⑦仮復旧の完了見込み、⑧その他必要な対策。

(4) 復旧要員システム

非常災害時の復旧要員の出勤については、社員行動指針により各社とも確保することとなっている。休日、夜間などで万一通信手段が途絶した場合においても、社員がラジオ等の情報をもとに、発令の伝達がなくても各自の判断で行動がとれるように、災害時に関する社員の行動指針を明確にしている。

(5) 復旧資機材および輸送手段の確保システム

資機材については、通常の工事対応のための在庫に加え、万一に備え各設備ごとの応急復旧用資機材を各地の資材センターなどに確保している。また、これらの資機材の輸送力として各社保有の車両の他、トラック、ヘリコプター、船舶などを災害時に利用できるような体制を整えている。

(6) 地震動モニタリングシステム

地震動モニタリングシステムとは、地震動を遠隔監視（モニタリング）するシステムを意味する³⁾。本論では、地震動をオフライン収集するシステムも地震動モニタリングシステムの一つと広義にとらえることにする。高田⁶⁾によれば、地震動をモニタリングする目的は以下の3つに大別できる。

- (a) 記録収集：構造物の耐震設計のバックデータ収集のため、地震波形を観測する。

(b) 応急対策：人名の危険や2次被害が予測され、緊急遮断などの応急対策を行うため、主に地震加速度やSI値を観測する。

(c) 復旧対策：地震による被害を的確に把握し、有効な復旧対策を行うために、主に地震加速度を観測する。

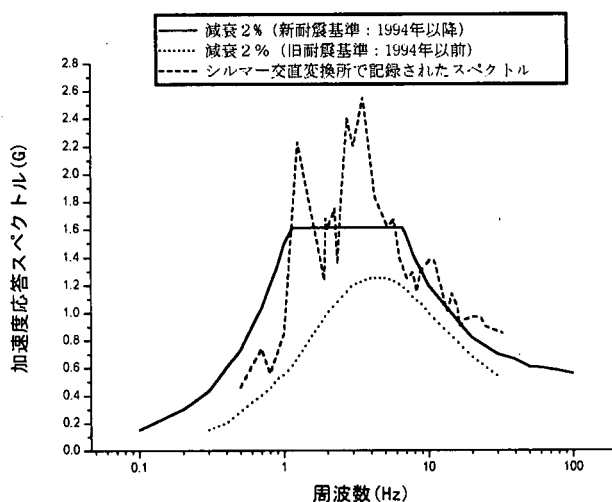
日本の電力会社の場合、ほぼすべての電力会社が地震動モニタリングシステム（地震観測システムを含む）を導入している。ただし、電力各社の地震動モニタリング情報の主な利用目的は、安全審査対応に代表されるように①記録収集を行うことにある。上記のうち、②応急対策や③復旧対策に、具体的に地震動のモニタリング情報を活用している例はほとんどない。一部、地震動がある一定レベルを超えた場合には通常、安全点検を行うが、この安全点検を行うかどうかの意志決定を行うため、地震動モニタリングを行っている電力会社もある。

電力システムの場合、地震動をモニタリングして積極的に地震対策（特に、応急対策と復旧対策）に生かしている例はほとんど見られない。これは、地震動をモニタリングするよりも、被害箇所を直接モニタリングするシステムが、電力の場合には有効であるとの判断があるためである。すなわち、キャリア（電力潮流などのオンライン情報）を観測することによって、被害状況を直接把握するほうが、地震動情報から被害規模や箇所を推定するよりも、より確度の高い設備被害情報が得られることがその理由となっている。以下にキャリアモニタリングシステムの概要について述べる。

(7) キャリアモニタリングシステム

電力システムにおいては、電力を運用管理している中央給電指令所、給電所、制御所が、システムの監視・制御に必要なキャリアと呼ばれる電力オンライン情報（電流や電圧値、遮断器の開閉情報など）を、常時、モニタリングしている。このシステムを本論では、キャリアモニタリングシステムと呼ぶ。地震などの非常時には、このキャリアモニタリングシステムにより、①停電している部分、単独系統となっている箇所、ループ状態の識別、②動作したリレー、トリップした遮断器、③潮流、過負荷設備、電圧異常、④供給支障、⑤脱落した電源および立ち上がり時間、⑥監視不能な設備、制御不能設備、などの状況が把握できるようになっている。

特に、地震時には、事故箇所を早期に特定することが、被害を最小限に抑えるうえでも重要となる。この事故箇所を特定するためには、キャリアモニタリングシステムにより得られる遮断器の開閉情報等に基づき、事故が発生した区間（遮断器の設置されている区間）の判定が早期に行えるようになっている。しかし、地震時のように、複数の送電線の遮断器が同時にトリップ（電流が遮断さ



図一1 ロスアンジェルス水道電力局の変電設備の耐震設計用加速度応答スペクトル（文献7）を参照

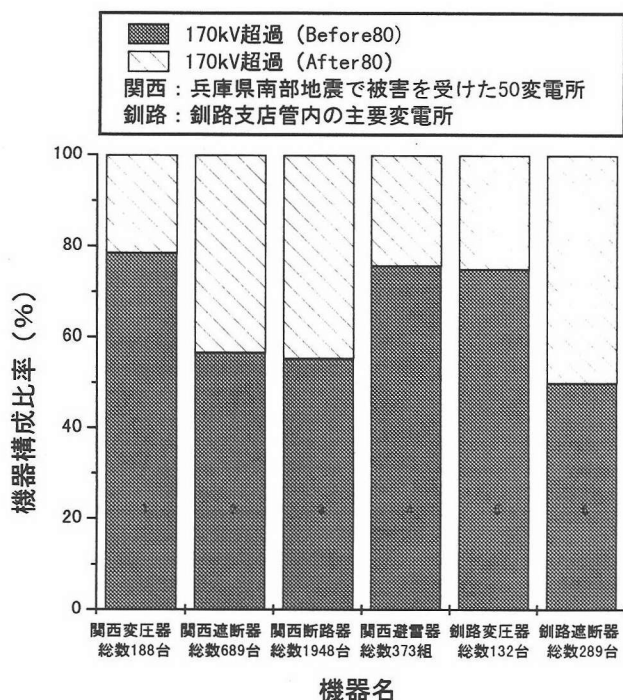
れた状態）したときや、送電線と遮断器が複合トリップしたときなどは、キャリアモニタリングシステムから得られるオンライン情報だけでは事故区間判定が困難な場合がある。このような状況では、巡視などにより、現場から入ってくるオフライン情報により事故区間判定を行う。

4 地震防災システムの課題

(1) 地震防災ハードウェアシステムの課題

a) 設計基準の設定

図一1は、1994年ノースリッジ地震において被害を受けたロスアンジェルス水道電力局（DWP）の変電設備の耐震設計用加速度応答スペクトルを示している。DWP⁷⁾では、ノースリッジ地震後に耐震設計基準の改訂を行い、図中点線で示される耐震設計用加速度応答スペクトルから実線の加速度応答スペクトルへと引き上げた。しかし、図の破線に示すようにノースリッジ地震で被害を受けたシルマー交直変換所で記録された地震動は2Hz～5Hzの周波数領域で、新基準の加速度応答スペクトルを大きく越えている。この点に関してDWPは、将来おこるであろう地震に対して、今回の耐震基準の改訂がどこまで有効かについては一切保証できないが、同基準の妥当性については関係機関から合意を得ているとしている⁷⁾。このような耐震基準設定の問題は電力システムの耐震化を検討するいろいろな場面で問題となっており、総合的な視点から合意を得るための方法論の構築が望まれている。



図一 2 主要変電設備の設置年別別の構成比率 (文献8) からの引用)

b) 設備の更新・補強対策

いったん合意を得た設計基準が設定されたとしても、現状の電力システムにおいては膨大な規模の設備がその対象となるため、現実にはすべての設備を改訂された基準に一律に改修することは難しい。たとえば、1995年兵庫県南部地震後、全国の主要なシステムを構成する現行の耐震設計基準に準拠していない変電設備(17万V以上)については順次、今後3年以内を目処に現行の耐震基準レベルへの改修を行うことが目標設定された。ところが、図一2は近年の地震で被害を受けた主要な変電設備を現行の耐震設計基準が制定された1980年前後で2つに分類し、その割合を%で示している⁹⁾。この図は、近年の地震で被害を受け、耐震意識が高まっている地域であるにも関わらず、いまだに多くの主要機器は改修されないうままであることを示している。このようにある合意のもとに目標設定がなされたとしても、それを実施する段階で現実には実施できない場合も多い。このような状況では限られた費用や時間の中で被害を最小限にするために、補強や更新を行うべき機器を合理的に選別する戦略を、長期的な視点から社会的な影響を考慮して検討することが必要とされる。

(2) 地震防災ソフトウェアシステムの課題

a) オンライン情報の活用

電力各社では、様々なオンライン情報を収集している。このような情報を、災害時にリアルタイムで活用し、

どこからどのように復旧するのかなどの意志決定に有効に活用することが、今後の防災対策としては重要である。すなわち、現時点までの情報に基づき、次の時点の復旧行動の最適化を図っていく。このように時間スケールで情報をアップデートして復旧対策に利用するという視点が災害時には重要であり、今後の課題といえる。

b) 停電情報システムの構築

地震時に停電が①どの地域で発生し、②いつ解消するかという情報は、被災者にとって重要な情報であり、阪神大震災においても、電力会社への問い合わせ件数が最も多いものであった⁴⁾。特に、阪神大震災のような大規模な被害が電力システムに発生した場合には、被災後なるべく早い時点で地域別の復旧日時についておおよその見通しを示すことが、公衆の不安解消の観点から必要である。また、復旧が進むにつれて、被災者側としてはよりきめの細かい正確な復旧見通しが必要となるものと考えられ、需要家における適切な安全対策を促す観点からも、需要家や自治体がかつとも入手したい情報のひとつとなる。

ところが、情報を提供する電力事業者側からすると停電情報を需要家に公開することは、現時点では非常に困難である。まず、正確な復旧の見通しをつけるには、復旧の進捗状況に応じて確実な情報が必要となる。緊急時の混乱しているときにそのような情報を収集し、総合的に判断できる立場にある(または環境を与えられている)実務者はほとんどいない。また、低頻度しか発生しない地震に対して、過去の記録や経験的な知見などもほとんど残っていることはなく、どのくらい停電復旧に時間がかかるのかについては起きてみないと判らないというのが実情である。さらに、たとえ停電情報が、地震時にある程度把握できたとしても、停電情報を広く一般に公開するためには、情報提供対象者、広報手段、具体的内容、情報提供のタイミングなど⁴⁾、技術的課題に加え、政治的な検討を必要とする事項が多く存在する。

このように、需要家が必要性を感じており、技術的な課題のまだ数多く残されているにも関わらず、電力事業者は、今後停電情報システムに関する研究を行うような必要性をいまのところ、あまり、感じていない。これは、停電情報システムの有効性について、以下の点で疑問視している実務者が多いことに主な理由がある。

①電力に関しては他のライフラインと較べて復旧が早く、事後の復旧対策に関しては、すでに相当の検討を行っており、これ以上、コストのかかる対策は、費用対効果の面でもあまりメリットがない。

②住民への広報以外に、停電情報システムの活用の仕方・意義が明確でない。電力事業者にとってのメリットが何か不明。

このように社会的なニーズのある停電情報システムに対して、そのシステムの効果を具体的に示し、その適用可能性について検討することは、急務な課題といえよう。

5. まとめ

本論では、電力システムの地震防災システムをハードウェアシステムとソフトウェアシステムに大別し、それぞれの現状を整理し、今後の課題を明らかにすることを目的とした。本論で検討した内容は、以下のように要約することができる：

- (1) 電力システムを構成する個々の設備には、耐震設計がなされており、その耐震レベルは、大まかに耐震性区分Ⅰと耐震性区分Ⅱに分かれる。
- (2) 電力供給システムは、設備形成基準を上位系統および下位系統ごとに設定している。しかしながら、地震時のような低頻度大災害の多重事故が発生した場合を想定した設備形成基準はない。
- (3) 地震時のような災害時には、基本的に運用で対処することになっており、系統保護システムや他電力との協力体制など事後対策が詳細に検討されている。
- (4) 電力システムの場合、応急対策や復旧対策などの事後対策には地震動モニタリングシステムは積極的に使われてはならず、そのかわりにキャリアモニタリングシステムが多く用いられている。
- (5) 地震防災ハードウェアシステムの課題として、設計基準の設定の問題や長期的かつ社会的影響を考慮した膨大なシステムからなる電力システムの更新・補強対策を挙げることができる。
- (6) 地震防災ソフトウェアシステムの課題として、キャリアモニタリングシステムから入手できるオンライン情報の有効活用とともに需要家ニーズの高い、停電情報システムの具体的な検討を挙げることができる。

電力各社が今後、費用対効果の低い防災対策を積極的に推進することは、期待できない。このため、費用対効果に関する評価法の検討は今後ますます必要となるであろう。しかしながら、地震被害は、未知で、未経験なところに特徴があり、評価結果に対して絶対的な保証ができないことが多い。このような場合には、評価に対する精度保証を最優先にするのではなく、社会的合意（コンセンサス）を得るように多面的な観点から、多くのシナリオ（シミュレーション）を構成する構成論的な検討がますます注目されるべきであろう。

参考文献

- 1) 中村豊：研究展望：総合地震防災システムの研究，土木学会論文集，No. 531，pp. 331-340，1996。
- 2) 清水善久：早期地震時被害推定システム-SIGNAL-，計測と制御，Vol. 36，pp. 41-44，1997。
- 3) 山崎文雄：リアルタイム地震防災システムの現状と展望，土木学会論文集 No. 577，pp. 1-16，1997。
- 4) 電気設備防災対策検討委員会：地震に強い電気設備のために，資源エネルギー庁編，電力新報社，1996。
- 5) 電力系統の事故時復旧調査委員会：電力系統の事故時復旧操作，電気学会技術報告（Ⅱ部），第354号，電気学会，1990。
- 6) 都市防災と環境に関する研究会編：地震と都市ライフライン，京都大学出版会，1998.1。
- 7) The Power system seismic program management committee of the city of Los Angeles Department of Water and Power: Intermediate term plan for seismically hardening the Los Angeles transmission-level power facilities, City of Los Angeles Department of Water and Power, 1995.
- 8) 朱牟田善治：最近の地震による変電設備の被害の特徴と耐震対策，土木学会論文集，No. 598，pp. 427-438，1998。