

平成28年熊本地震を受けた 電気設備自然災害等対策ワーキンググループ とりまとめ

はじめに

平成28年熊本地震は、震度7の地震が同一地域で連続し、余震も長期継続するなど、我々がこれまでに経験したことのない地震であった。今回の地震により、熊本県内では広く停電が発生し、電気設備についても大小様々な被害が発生するなど、電気設備及び電力システムの在り方について問題を投げかけるものでもあった。

そこで、平成28年熊本地震による被害状況や対応を振り返り、教訓や課題を抽出・検討し、今後の大規模災害への備えに活かしていくべく、本WGを再開することとした。

本WGは、元々、東日本大震災における教訓から、「発生の蓋然性が指摘されている自然災害等を広く対象として、現在の電気設備及び電力システムの耐性を評価し、自然災害に強い電気設備及び電力システムの在り方について検討を行う」ことを目的として設置されたものであり、平成26年6月には、中間報告書もとりまとめられている。しかしながら、上記のとおり、今回の検討趣旨は本WGの趣旨と合致するものであることから、本WGにおいて検討を行うこととした次第である。

なお、今回の検討（第9～11回WG）は、あくまで平成28年熊本地震で被害を受けた水力発電設備及び送配電等設備を対象に評価・検討を行ったものであり、原子力発電設備は検討対象ではない。太陽光発電設備をはじめとする新エネルギー発電設備についても、別途「新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ」において検討が行われているため、検討の射程外としている。また、当然のことながら、今回の検討は、熊本地震における関係者の対応の是非を検証するものではない点を補足させていただきたい。

1. 平成28年熊本地震の概要¹

(1) 地震の概要

- 平成28年4月14日(木)21時26分、熊本県熊本地方(北緯32度44.5分、東経130度48.5分)、深さ約10kmにおいて、マグニチュード6.5の地震(以下、「前震」という。)が発生し、熊本県益城町で震度7を観測した。更に28時間後の4月16日(土)1時25分には同地方(北緯32度45.2分、東経130度45.7分)、深さ約10kmにおいて、マグニチュード7.3の地震(以下、「本震」という。)が発生し、益城町及び西原村で震度7を、熊本県を中心にその他九州地方の各県でも強い揺れを観測した。震度7の地震が同一地域で連続して発生するのは、震度7が設定された昭和24年(1949年)以降初めてのことであった。
- その後も熊本県から大分県にかけて地震活動が活発な状態となり、12月13日まで震度7を2回、震度6強を2回、震度6弱を3回、震度5強を5回観測するなど、震度1以上を観測した地震は合計4,191回発生している。

(2) 被害の概要

- 今回の熊本地震により、熊本県や大分県を中心に、死者161名、負傷者2,692名、住宅の全壊8,369戸、半壊32,478戸といった被害が生じた(平成28年12月14日18時現在)。なお、本地震における津波の被害はなかった。なお、消防庁によれば、今回の熊本地震による火災は、熊本県内で前震により5件、本震により10件、合計で15件発生したが、これまで(平成29年2月現在)のところ、電気を復電した際に起こる「通電火災」の発生は確認されていない。
- また、複数の市町村では、災害対応の拠点となる庁舎も被災した。地震により庁舎が使用できなくなった熊本県内の5市町(八代市、人吉市、宇土市、大津町及び益城町)においては、公民館や体育館等にその機能を移転し、災害対応業務等が行われた。

¹ 中央防災会議防災対策実行会議 熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援策検討ワーキンググループ「熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援策の在り方について(報告書)」(平成28年12月)を参照。

(3) 停電の状況

- 4月14日(木)の前震により、最大16.7千戸(4月14日(木)22時)が停電したが、翌4月15日(金)23時に高圧配電線への送電が完了し、停電状態を解消した。
- 4月16日(土)の本震では、最大476.6千戸(4月16日(土)2時)が停電。4月20日(水)19時10分、崖崩れや道路の破損等により復旧が困難な箇所を除いて、高圧配電線への送電が完了した。また、傾斜した鉄塔の仮復旧工事の間、停電が長期化すると見込まれた地区には、発電機車により送電を継続していたが、4月27日までには仮復旧工事が完了し、4月28日(木)21時36分、全ての発電機車の切り離しを完了した。

2. 主要設備の状況

(1) 水力発電設備(黒川第一発電所)

① 電気事業者からの報告

(ア) 対応の経緯及び設備被害等の概要

- 4月14日(木)の前震時、黒川第一発電所は発電中であったが、地震後の臨時点検において異常が無かったことから、発電を継続した。しかし4月16日(土)の本震直後、送電線事故の波及により、発電を停止した。
- 本震発生後の4月16日(土)3時30分頃、熊本支社においてヘッドタンク(水槽)の水位低下を確認した。このため、同支社では、設備に何らかの異常が発生していると判断し、遠隔での取水停止操作を試みたが、通信線切断により遠隔操作が不能となっていることを確認した。そこで現地での取水停止操作を実施するため、同日3時45分頃、取水堰に社員を派遣した。しかしながら、取水堰への通常のアクセスルートが地震により遮断されていたため、到着までにはかなりの時間を要した(到着は同日7時16分頃。なお、通常であれば、所要1時間程度で到着可能。)。社員到着後、取水口を閉鎖し、河川からの取水を停止した(同日7時26分)。

- 一方、ヘッドタンクでは、本震発生後、ヘッドタンクを支える基礎地盤が崩落し、ヘッドタンクや水路内に貯まっていた水（合計約1万m³）が流出した。
- 九州電力においては、黒川第一発電所の設備損壊事象について、地震、斜面崩壊、設備の損壊及び水の流出の因果関係（斜面崩壊メカニズム）を明らかにするべく、有識者及び関係行政機関等で構成される「黒川第一発電所設備損壊事象に係る技術検討会」（以下、「検討会」という。）を設置し、平成28年7月から11月にかけて、計4回の検討会を開催した。

(イ) 検討会の評価

- 今回発生した地震、斜面崩壊、設備の損壊及び水の流出の関係（斜面崩壊メカニズム）は、現地踏査やボーリングなどの現地調査、当日の地震や発電状況等の記録、数値シミュレーションなどに基づくと、以下の通りと推定される。
 - A) 地震の揺れにより岩盤を巻き込んだ大規模な斜面崩壊が発生
 - B) 斜面崩壊により基盤地盤が失われたヘッドタンク等の設備が損壊、水が流出
 - C) 流出した水が斜面に堆積している崩壊土砂を巻き込み、下方に流下
 - D) 流下した水及び土砂が集落に流入
 （「黒川第一発電所設備損壊事象に係る技術検討会報告書」²より抜粋）

- 以上A)～D)から、黒川第一発電所における設備損壊事象は、今回の地震で引き起こされた斜面崩壊により設備が損壊して発電用水が流出し、流出した水が斜面に堆積している崩壊土砂を巻き込み、水及び土砂が集落に流入したものと推定される。なお、黒川第一発電所のヘッドタンクについて、現在の技術基準³に基づき耐震性を評価した結果、ヘッドタンクは現在の技術基準を満たしていることが確認された。

² <http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0060/1176/5flp61h18o.pdf>

³ 耐震性に関する基準（発電用水力設備に関する技術基準を定める省令第29条）は、昭和40年（1965年）に制定されたものであるため、大正3年（1914年）に設置された本ヘッドタンクには適用されない。

- また、検討会の委員からは、今後の水力発電設備における更なる安全性向上に向けて、以下のような示唆・助言が寄せられた。
 - 災害経験を今後を活用していくことが必要ではないか
 - 費用等総合的に判断し、リスクの高い箇所から優先順位をつけて対応することが必要ではないか
 - 被害を最小化するような準備を事前に考え、備えておくことが必要ではないか
 - 斜面リスクの把握が重要ではないか
 - 山の上や斜面などに設置しなければならない水力発電設備に対する地震の影響を把握していくことが鍵ではないか
 - 取水口ゲートの遠隔制御などの設備の信頼性向上が必要ではないか
 - 地域とのリスクコミュニケーションが必要ではないか

(ウ) 電気事業者の評価

- ヘッドタンクについては、現在の技術基準が求める耐震性能を有していることが確認された。また、発災時の対応については、余震が継続し、道路が至るところで遮断されていた当時の状況の中で、速やかな取水停止操作を行うために、最善の対応を実施できたといえる。
- 黒川第一発電所における設備損壊事象が発生したメカニズムとしては、今回の地震で引き起こされた斜面崩壊により設備が損壊して発電用水が流出し、流出した水が斜面に堆積している崩壊土砂を巻き込み、水及び土砂が集落に到達・流入したものと推定される。
- したがって、今後の水力発電設備の保全においては、リスク評価の結果を踏まえ、被害を最小化するための準備を事前に考え、備えておくことが非常に重要である。地域の理解と協力を得ながら、発電所ごとの立地条件に応じて、ハード・ソフトの多重化による設備の信頼性向上や地域とのリスクコミュニケーション等に取り組んでいくことが必要であると考える。

② 当WGの評価

- ヘッドタンクについては、現在の技術基準が求める耐震性能を有していると評価できる。このため、検討会における検証結果を踏まえると、ヘッドタンクの損壊は、地震動そのものが原因ではなく、地震動による斜面崩壊により基盤地盤が失われたことが、損壊の原因であったと評価できる。したがって、今後は、設備の耐震性に問題はなくとも、斜面崩壊等により設備損壊が発生する可能性があることを踏まえた対応が必要である。その一方で、水力発電設備は、新旧含め、全国に約1,700存在し、無人遠隔管理の設備が多い。かかる現状を踏まえると、対応の迅速性という観点からは、すべての設備について一律に対策を講じるのではなく、設備が有するリスクを踏まえ、優先順位を付けて対策を講じていくことが望まれる。その際の対策例としては、以下のようなものが挙げられる。

【対策例】

- 公衆災害リスクの高い発電所の整理と優先順位付け
 - 設備や地盤の信頼性向上
 - 取水口ゲート通信設備の遠隔化・自動化、2回線化等
 - 平時からの地域とのリスクコミュニケーション
 - 土砂災害警戒区域等のハザードマップへの追記
 - 災害時の速やかな情報提供
 - 非常災害対応マニュアルの整備及び訓練
 - 迅速な巡視点検、適切な計測監視、異常の通知（アラーム等）
-
- このうち公衆災害リスクの評価手法については、既存の水力発電設備に対して、ハザードマップ等より地すべり等のリスクを有する地点を抽出し、優先順位を付けて検討していくことが考えられる。その具体的方法としては、土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域等の情報を収集し、既存の水力発電設備と重なる地点を抽出した上で、抽出した地点において想定される水の流出量の大きさや周辺の公衆施設・民家などへの影響を踏まえて公衆災害リスクの評価を行う、といった手法が考えられる。

- 今回の事案を通じ、設備の地盤そのものが崩壊するようなケースにあっては、設備側の対応には限界があることが明らかとなった。これを踏まえると、平時からのリスクコミュニケーションは、重要な対応策の一つである。ただし、その実施にあたっては、どのような情報をどのように提供する事が住民の真の「安心」に資するのか、自治体とも事前によく意見交換を行い、意識のすり合わせをして実施することが望まれる。

(2) 送電設備（特に、66 キロボルト黒川一の宮線）

① 電気事業者からの報告

(ア) 設備被害の概要

- 送電設備については、九州電力管内全域の鉄塔総数約 28,000 基のうち、その 23%が震度 5 弱以上の地震動を受けたものの、早期復旧を要する被害は、支持物で 16 基、がいし 3 基、電線 1 径間のみであった。また、地中送電設備については、被害は発生しなかった。
- 鉄塔については、地震動そのもので倒壊・折損したものはなかったが、大規模な土砂崩れにより鉄塔 1 基が傾斜した。当該鉄塔（黒川一の宮線の No. 7）の周辺地域では、最大震度 6 強を観測している。また、地盤変状による部材損傷のため、建て替え等の改修が必要となった鉄塔は 14 基であった。傾斜・部材損傷の被害が生じた鉄塔の大半が、黒川一の宮線で発生したものである。
- 送電設備における被害が集中した黒川一の宮線については、電力系統としては末端部にあたり、系統切り替えによる対応ができなかったことから、仮鉄塔・仮鉄柱により対応した。速やかに復旧計画を立案するとともに、九州電力社員及び協力会社計 650 名による、昼夜交代制の復旧体制を構築した。並行して、自治体（南阿蘇村）の協力も得ながら、用地交渉にあたった。なお、今回の災害現場の特殊性から、一部の現場において、仮鉄塔・仮鉄柱での復旧対応が困難なことが判明したため、他の送電線工事現場で使用予定であった鉄塔を、急遽この現場で使用することとした。工事は順調に進み、4

月 27 日（水）22 時に、仮復旧工事を終了した。

(イ) 電気事業者の評価

- 送電設備のうち、架空送電設備の被害率⁴は、鉄塔等の支持物 0.25%、がいし 0.05%、電線 0.02%と極めて僅少であり、基本的な耐震性は確保されていると評価できる。また、液状化を原因とする供給支障やケーブル系統での電気事故も発生しておらず、設備に問題はなかったといえる。
- なお、傾斜した黒川一の宮線の No.7 鉄塔については、建設時のボーリング調査などを踏まえ、崖崩れなどの影響を受けないよう、もともと、崖から 50 メートル離れた平地側に建設したもの。しかしながら、今回のように、設備近傍の地面そのものがなくなるという事態は、稀な事象と考えている。
- また、設備被害に伴う供給支障への対応については、黒川一の宮線において系統切り替えによる対応ができず、仮鉄塔・仮鉄柱により対応した。しかしながら、この仮復旧工事については、本震発生から 12 日間という短い期間の中で、用地交渉を完了させ、仮鉄塔 3 基・仮鉄柱 14 基を設置し、総計約 5 キロメートルの仮送電線ルートを構築して電力供給を再開することができており、概ね迅速に電力供給再開できたといえる。なお、このように迅速な仮復旧が実現できた要因としては、①用地交渉における自治体の協力、②復旧資機材の事前準備と臨機応変な対応（他の送電線建設工事で使用予定であった鉄塔を融通）、③DNAとして継承されている作業員の高い使命感といった点が挙げられる。

② 当WGの評価

- 今回の地震を受け、供給支障につながる設備被害が複数箇所が発生したものの、設備被害が発生した震度 5 弱～7 の各震度における設備の被害率は、いずれも極めて低く、設備の基本的な耐震性能は確保されていたといえる。これまでの地震対策が有効に機能していると評価できるものであり、引き続き、今回の地震及び過去の自然災害から得られた教訓を踏ま

⁴ 早急復旧を要する被害数/設備数(震度 5 弱以上所在)

え、継続的に対策を講じていくことが望まれる。

- 傾斜が生じた鉄塔 1 基については、傾斜の原因は地震動ではなく、土砂崩れにあると考えられる。当該鉄塔は、建設の際に行った地盤評価を踏まえ、崖から 50 メートル離れた地点に建設されていたところ、当該事情が今回の被害拡大防止にどれだけ寄与したか、その因果関係の詳細は不明であるものの、土砂災害が非常に多発した地域にあって、当該鉄塔が倒壊を免れたことは、評価できると考える。
- 一方、鉄塔近傍まで土砂崩れが迫り、このため鉄塔が傾斜し、結果として鉄塔が使用不能となった。この事実を踏まえ、今後鉄塔等の送電設備を建設する際には、引き続き、地盤調査等を通じて可能な限り強固な地盤を選択することは勿論であるが、地すべり等のリスクも勘案した上で、建設地点を決めるべきである。また、特にカルデラ地域においては、火山灰の介在によって地すべり等が起こりやすいので、そのような地域にあっては、斜面近傍に建設しない等の配慮が必要である。既存設備については、周辺地域のハザードマップ等の更新があった際には、必要に応じ、補強（抑止杭等）や基礎の打ち直し、設備の移転といった対策を講じることが必要である。
- 次に、送電設備の設備被害に伴う供給支障に対するバックアップについては、送電ルートの冗長性が概ね確保されていたことで、系統切り替え等により大規模な供給支障は回避されており、バックアップは十分な水準であったと評価できる。一方で、今回傾斜した鉄塔が配置されていた系統（黒川一の宮線）は、系統末端に位置することもあって単一ルートとなっており、系統切り替えによる対応が困難な地域であった。立地やコストの問題から、冗長性が確保されていないルートは一定数存在することを前提とすると、冗長性が確保されていないルートのうち、電力供給という観点から重要なものについては、あらかじめ、送電設備損壊時の復旧対応⁵を考え

⁵ 今回の地震対応にあっては、電気事業者において 20 万ボルトといった大型鉄塔の在庫があったこと、また、こうした鉄塔を応急的に建てる際の工法を保持していたことが、早期

ておくことが必要である。

(3) 変電設備

① 電気事業者からの報告

(ア) 設備被害の概要

- 変電設備については、九州電力管内全域の変電所総数 488 か所のうち、約 22%が震度 5 弱以上の地震動を受けたものの、運転継続が困難となる被害は、変圧器で 5 台、断路器では 19 台のみであった。このうち変圧器については、ブッシングのずれやそれに伴う漏油等が発生したものの、防油堤の存在により、構外への油の流出や、周辺環境への影響はなかった。
- 変電設備については、上記のような設備被害が発生したものの、系統切り替えや復旧資機材による取り替えにより、電力供給に大きな支障を及ぼすような事態は生じなかった。

(イ) 電気事業者の評価

- 変電設備のうち、主要設備の被害率⁶は、変圧器 1.6%、断路器 1.1%、遮断器の被害なしと極めて僅少であった。また、変圧器からの漏油も、周囲の環境に影響を及ぼすほどの被害には至っておらず、変電設備については、基本的な耐震性は確保されていると評価できる。
- 設備被害に伴う供給支障については、系統切り替えや復旧資機材による取り替えにより、大規模かつ長期にわたる供給支障は回避されており、変電設備のバックアップは十分であるといえる。

② 当WGの評価

- 今回の地震を受け、運転継続不可につながる設備被害が複数箇所が発生したものの、設備被害が発生した震度 5 弱～7 の各震度における設備の被害率は、いずれも極めて低く、設備の基本的な耐震性能は確保されていたといえる。これまでの

の仮復旧に貢献した。

⁶ 運転継続不可となる被害数/設備数（震度 5 弱以上所在）

地震対策が有効に機能していると評価できるものであり、引き続き、今回の地震及び過去の自然災害から得られた教訓を踏まえ、継続的に対策を講じていくことが望まれる。

- 変電設備の設備被害に伴う供給支障に対するバックアップについては、系統切り替えや復旧資機材による取り替えにより、大規模かつ長期にわたる供給支障は回避されており、バックアップは十分な水準であったと評価できる。
- なお、変圧器については、ブッシングのずれやそれに伴う漏油等が発生したものの、防油堤の存在により、構外への油の流出や、周辺環境への影響はなかった。当該変圧器に講じられていた対策と同等のものであれば、現状、変圧器における地震発生時の対策は、十分な水準にあると評価できる。
- また、WGでは、変電設備のうち重要なものについて震度計を設置し、地震発生時に当該設備がどれほどの地震動を受けたのか等に関する基本的なデータを取得・分析することで、当該設備に対する今後の耐震対策の検討に役立てることが有益であるとの指摘もあった。

(4) その他設備（配電設備等）

① 電気事業者からの報告

(ア) 設備被害の概要

- 架空配電設備については、供給支障につながる被害として、支持物（電柱）の倒壊が35本、流出が56本発生した。これらは、いずれも地盤の影響（崖崩れ等）や建物倒壊によるものであり、地震動そのものによる支持物倒壊等の被害は、確認されていない。次に、電線については、322径間で断線し、また変圧器については316台でブッシングの破損が生じた。一方、地中配電設備については震度が大きい震源地付近に設備がなく、それ以外の地中設備も被害はなかった。また、上記配電設備の被害に伴う感電等の公衆災害も発生しなかった。
- 配電設備については、上記のような設備被害が発生したもの

の、発電機車による供給や復旧資機材による取り替えにより、電力供給に大きな支障を及ぼすような事態は生じなかった。

- また、発電設備については、管内の火力発電所・地熱発電所ともに、最大で震度5強の地震動を受けたものの、発電支障に至る設備被害は発生しなかった。（水力発電所については前述）

(イ) 電気事業者の評価

- 架空配電設備の被害率⁷は、支持物0.13%、電線0.04%、変圧器0.14%と極めて僅少であり、基本的な耐震性は確保されていると評価できる。また発電設備（火力・地熱）については、発電支障に至る設備被害がそもそも発生しておらず、こちらにも、基本的な耐震性は確保されていると評価できる。
- 設備被害に伴う供給支障については、発電機車によるスポット・エリア供給や復旧資機材による電柱、架空配電線等の取り替えにより、大規模かつ長期にわたる供給支障は回避されており、配電設備のバックアップは十分であるといえる。

② 当WGの評価

- 今回の地震を受け、設備被害が複数箇所が発生したものの、設備被害が発生した震度5弱～7の各震度における設備の被害率は、いずれも極めて低く、基本的な耐震性能は確保されていたといえる。これまでの地震対策が有効に機能していると評価できるものであり、引き続き、今回の地震及び過去の自然災害から得られた教訓を踏まえ、継続的に対策を講じていくことが望まれる。
- 設備被害に伴う供給支障に対するバックアップについては、発電機車によるスポット・エリア供給や復旧資機材による電柱、架空配電線等の取り替えにより、大規模かつ長期にわたる供給支障は回避されており、バックアップは十分な水準であったと評価できる。（復旧オペレーションの詳細は後述）

⁷ 供給支障につながる被害数/設備数(熊本県、大分県における震度5弱以上所在)

- その他設備（火力・地熱発電所、地中配電設備）については、特に目だった被害もなかったため、現状取り組まれている対策に新たな課題は見つけられなかった。

3. 復旧オペレーション

(1) 停電の復旧

① 電気事業者からの報告

(ア) 復旧経緯等

- 前震（4月14日（木）21時26分頃）発生後、九州電力は直ちに非常災害対策本部を設置するとともに、九州各県から、被害が集中した熊本配電センターへの応援を派遣した。地震により最大16.7千戸の停電が発生したものの、益城町役場や避難所等の重要施設に対しては発電機車によるスポット送電を行うとともに、配電設備の復旧を行い、4月15日（金）の23時には、高圧配電線までの送電を完了（停電状態を解消）した。
- 本震（4月16日（土）1時25分頃）発生時には、地震に伴う変圧器の停止や鉄塔傾斜、配電設備の流出等により、最大476.6千戸の停電が発生した。発電機車によるスポット送電を行うとともに、順次設備の復旧を行い、阿蘇地区以外については、2日後の4月18日（月）21時50分に高圧配電線までの送電を完了した。
- スポット送電に関しては、本震発生から3時間後に、四国電力より応援に関する打診あり。これを受け同日6時30分に、九州電力から中国電力・四国電力に対し、スポット送電に必要な発電機車の応援を要請した。その後、自治体や経済産業省等からの要請も踏まえ、自社及び中国電力・四国電力の発電機車を使い、避難所や医療施設等へのスポット送電を逐次開始した。
- 阿蘇地区については、鉄塔が傾斜した黒川一の宮線の仮復旧には時間を要するため、停電が長期化すると見込まれたこと

から、発電機車による面的送電を実施し、5日後の4月20日（水）19時10分に、崖崩れや道路の損壊等により復旧が困難な箇所を除き、高圧配電線の送電を完了した。なお、黒川一の宮線の仮復旧工事は、4月27日（水）22時に終了し、その後発電機車から商用電源に随時切り替えを行い、翌4月28日（木）21時36分に全ての発電機車の切り離しを完了した。

（イ） 電気事業者の評価

- 設備被害率は低く、崖崩れや道路の損壊等により復旧が困難な場所を除き、地震発生から5日で高圧配電線への送電が完了したことから、速やかな停電復旧を果たせたといえる。すなわち、ハード・ソフトを含めた総合的な電力供給システムとしての耐震性は、十分確保されていたと評価できる。黒川一の宮線における仮鉄塔・仮鉄柱による仮復旧工事についても、前述のとおり、迅速な対応ができたといえる。
- また、停電解消までの間における発電機車によるスポット送電についても、熊本県の災害対策本部や経済産業省とも連携の上、50カ所に及ぶ重要施設に対し、速やかに送電できたといえる。なお、スポット送電先については、多方面から一度に数多くの情報が寄せられたため、社内でその優先順位付けに苦慮した面もあったことから、今後は、情報の連絡窓口を一本化する等の検討が必要ではないか。

② 当WGの評価

- 今回の地震を受け、最大476.6千戸の停電が発生したものの、平時からの資機材の備えや訓練等により、速やかな停電復旧対応がなされたと評価できる。引き続き、万一に備えた資機材の確保と、平時からの訓練等を継続していくことが期待される。
- また、電気事業者間における災害時の相互応援・協力体制については、応援が実施された経緯を踏まえると、適切に構築

されていると評価できる。

- 停電復旧を待つ間のスポット送電については、結果として、当時の状況にかんがみ概ね適切に実施されていたと評価できる。しかしながら、優先的にスポット送電すべき施設等の情報伝達ルートについては、改善の余地があると考え。すなわち、当時、どの施設に優先的にスポット送電すべきかについて、複数のルート（災害対策本部、県、市町村、等）から電気事業者へ情報がもたらされたことから、電気事業者内において情報の整理等を行う際に、一部混乱が見られた。災害時において、優先復旧すべき重要設備の状況をどのように把握し、優先順位を、誰がどう決定し、それをどういうルートで電気事業者へ伝えるべきか、改めて検討する必要がある。また、電気事業者においては、平時から、管轄地域内の実情も踏まえつつ、管轄地域内の重要施設⁸の把握を進めており、その取組を継続することが肝要である。

（２） 電源車による面的送電

① 電気事業者からの報告

（ア） 対応の経緯等

- 本震発生から3時間後に、四国電力より応援に関する打診あり。これを受け、同日6時30分に、九州電力から中国電力・四国電力に対し、スポット送電に必要となる発電機車の応援を要請した。その後、自治体や経済産業省等からの要請も踏まえ、自社及び中国電力・四国電力の発電機車を使い、避難所や医療施設等へのスポット送電を逐次開始した。【再掲】
- 阿蘇地区については、本震発生日早朝のヘリ巡視の結果、送電線による供給が可能と判断したため、追加の発電機車の要請等は不要と判断。しかしながら、同日午後実施した地上からの巡視の結果、当該地区の送電線が使用不能と判明した。これを受け、電源容量等諸条件の検討を行った結果、発電機

⁸ 重要施設としては、官公庁等の復旧対策本部や主要病院、避難所といったものが考えられるが、熊本地震の際は、水道施設、ガソリンスタンド、小規模な病院等への優先供給ニーズが寄せられた。

車について他電気事業者からの追加応援を受けることがより早期の復旧に資すると判断し、同日夕方、追加応援を要請した。また、合わせて、燃料確保のためのタンクローリーの派遣についても、他電気事業者に依頼した。

- 追加要請の結果、4月20日（水）朝までに、他電気事業者から合計110台の発電機車が阿蘇地区に集結。自社分59台と合わせて、計169台の発電機車を活用し、面的送電を実施した。

(イ) 電気事業者の評価

- 時々刻々と状況が変化していたことを踏まえると、面的送電による対応への方針転換や、それを受けた他の電気事業者に対する応援要請は、妥当なタイミングで行われたといえるのではないか。また、今回面的送電が実施できた背景には、当該エリアに配電線の設備被害がほとんどなかったことや送電すべきエリアの負荷とバランスがとれること、あるいは発電機車の駐車スペースが容易に確保できたこと等、いくつかの好条件が重なったこともあるのではないか。
- また、他の電気事業者において、追加応援要請がなされていない段階から、連絡体制の強化や応援可能な車両の確認を進めるなど、先手先手で応援要請を見据えた準備を行ったことも、早期復旧を果たせた要因といえるのではないか。
- 発電機車への燃料供給については、今回は大きな支障は生じなかったものの、円滑な燃料供給に向けては、燃料供給事業者と電気事業者との間で、平時からの関係構築と密なコミュニケーションが必要ではないか。また、大規模災害時などは、一企業だけでは十分な燃料確保が困難な場合も想定されることから、国（経済産業省）も交えた、燃料供給体制の検討・構築が必要ではないか。

② 当WGの評価

- 意志決定のタイミングについては、各局面において九州電力が把握できていた情報（鉄塔の状況の確認結果等）や、面的

送電の実施可否にあたって様々な検討（電源容量、必要となる発電機車の台数、輸送ルート、燃料調達手段等）が必要であったことを踏まえると、九州電力による面的送電実施の決断及び他の電気事業者への追加応援要請のタイミング（本震発生日の夕方）は、概ね妥当であったと評価できる。

- 九州電力からの要請を受け、他の電気事業者から速やかに発電機車と必要な人員が提供されており、電気事業者間における災害時の相互応援・協力体制は、適切に構築されていると評価できる。また他の電気事業者においては、発電機車の追加要請がまだなされていない段階から、「もしも」に備えて、連絡体制の強化や応援可能な車両の確認などの準備を行っていた。災害時においては、今後とも、先手先手で自発的に準備を進めていくことが強く期待される。また、各電気事業者において、今回の面的送電に係る一連のオペレーションに参加したことで得られた気づき・教訓を、適切かつ確実に社内で引き継いでいくとともに、業界内においても水平展開していくことが期待される。
- 次に、面的送電の評価であるが、仮鉄塔等による復旧に時間を要することが予想されていた中、被災エリアにおける長期的な停電を速やかに解消する上で、発電機車による面的送電は、非常に大きな役割を果たしたと評価できる。これほどの規模（計 169 台）での発電機車による電力供給は、初の試みであったが、今回の一連の対応は、今後地震等の災害により同様の状況に陥った場合の対策の「ひな形」の一つとなりうる事例であるといえる。
- ただし、同時に、面的送電は必ずしも『万能薬』ではない、という点は、改めて認識する必要がある。電気事業者の評価にもあるとおり、送電すべきエリアの設備被害や負荷の状況、駐車スペースの有無等の諸条件によっては、面的送電が必ずしも実施が可能ではない場合もある点に留意が必要である。したがって、今後の停電復旧対応としては、従前より行っている系統復旧による再送電を基本ラインとしつつも、現場の状況等によっては、面的送電が有効なオプションになりうる

ことを踏まえ、復旧計画を立案していくべきと考える。

- 発電機車への燃料供給については、周辺電気事業者、燃料供給事業者からの応援等もあり、概ね円滑に実施されたと評価できる。ただし、今回の燃料供給にあたって、現場で多少の混乱⁹が生じたこともまた事実であり、今後の災害時において、一層円滑な燃料供給を実現するべく、燃料供給事業者と電気事業者との間で、平時からの関係構築に努めるとともに、災害時における協力協定の締結など、具体的な協力体制を構築していくことが必要である。

4. 今後の対応

<主要設備>

(1) 水力発電設備（貯水槽、水圧管路）

① 基本的な考え方

- 耐震性については、これまでの地震対策が有効に機能していると評価できることから、取組を継続実施することが有効である。一方、地すべり等への対応については、設備側における対策には限界があることを踏まえ、地すべり等が発生した場合にいかに「減災」するか、という観点からの対策が必要となる。

② 耐震性

- 水力発電設備の設置者（以下、「設置者」という。）は、これまでの自然災害から得られた教訓を踏まえ、継続的に地震対策を講じていくことが重要である。特に、現在の耐震基準の適用を受けない古い水力発電設備においても、公衆災害リスク評価の結果を踏まえ、必要に応じ耐震評価を行い、設備改修等の予防保全策を行うことが求められる。

③ 地すべり等への対応

⁹ 発災初期、電源車の台数や配置場所が刻々と変化する中、電気事業者が燃料配送を依頼した事業者が他の事業者に配送を依頼するケース等において、その旨が現場へ十分に伝わっておらず、受入が円滑に進まない場面があった。

- 設置者は、水力発電設備の公衆災害リスクを適切に評価した上で、評価結果に基づき、対策を講ずべき設備の優先順位付けを行い、リスクに応じて必要な対策を講ずることが必要である。講ずべき対策の具体例は、2.(1)②記載の通りであり、以下のような優先順位付けの考え方に基づき、優先順位付けに応じた対策を実施することが期待される。
- 国は、設置者によるリスク評価が円滑に進むよう、必要に応じ、最新の知見も取り込みながら、「自然災害に対する水力発電設備対応マニュアル（試行版）」を見直していくことが重要である。
- 設置者は、公衆災害リスクの評価等に関し、平成29年度前半までに、ハザードマップ等により公衆災害リスクのおそれのある箇所を抽出する。その上で、平成29年内には、優先順位付けに着手するとともに、特に公衆災害リスクが高いと考えられる水力発電設備については、地元との対話機会や更新・補強工事等の実施に合わせて、必要な予防保全策の検討・実施にも着手することが望ましい。なお、優先順位付けについては、平成30年度までに全ての箇所を完了させることとする。
- また、現在、当WGの検討を受けて、L2地震動に対するダムの耐性評価も進められているが、原則としては、L2地震動に対する評価を先行実施することとする。ただし、公衆災害リスクが高いと考えられる水力発電設備については、L2地震動に関する評価と並行して、優先順位付けに応じた予防保全策を進めることが望まれる。

＜リスクに応じた優先順位付けの考え方の具体例＞

- ・ A→Bの順に検討。Aにおいて影響度が小の場合（A-c）は、Bの評価は行わない。
- ・ リスク評価にあたっては、「自然災害に対する水力発電設備対応マニュアル（試行版）」などを参照。

		B. 地すべり等のリスク※		
		a : 高（土砂災害特	b : 中（土砂災害	c : 低

		別警戒区域等)	警戒区域等)	
A. 公衆被害の程度	a : 大 (人的・物的被害あり)	①	②	④
	b : 中 (人的被害なし・物的被害あり)	②	③	④
	c : 小 (被害なし)	⑤		

※「地すべり」や「急傾斜地の崩壊（がけ崩れ）」に係る土砂災害警戒区域等の設定が行われていない場合についても、地すべり等への配慮が必要と思われる地域については、「大規模地すべり等安定性評価マニュアル（試行版）」等を参照して評価を行う。また、設備の設置環境に応じて、地すべり以外にも想定される外力（地震、洪水等）を事業者が設定し、評価を行うことが望まれる。

<順位付けに応じた対策>

予防保全策	対策例	設備の優先順位				
		①	②	③	④	⑤
避難対策 (ソフト対策)	・ 平時の地域とのリスクコミュニケーション ・ 災害時の公衆被害縮減に向けた周辺自治体への速やかな情報提供 ・ 土砂災害警戒区域等のハザードマップへの追記※ ¹	○	○	○	○	—
操作要領対策 (ソフト対策)	・ 非常災害対応マニュアルの整備及び訓練	○	○	○	○	—
状態監視・評価策 (ハード・ソフト対策)	・ 巡視点検の強化 ・ 計測監視・異常の通知（アラーム等）の高度化	○	○	○	—	—
設備制御対策 (ハード対策)	・ 取水口ゲート通信設備の遠隔化・自動化、2回線化等	○	○	—	—	—
設備補強対策 (ハード対策)	・ 設備や地盤の信頼性向上（修繕、補強、建替、地盤改良等）※ ²	○	—	—	—	—

※ 1 : 自治体への水力発電設備の位置情報提供等

※ 2 : 地すべり等を原因とする設備損壊に対しては、土地所有者等による地すべり等の対策が必要であることに留意

(2) 送電設備

① 基本的な考え方

- 耐震性や供給支障時のバックアップについては、これまでの地震対策が有効に機能していると評価できることから、取組を継続実施することが有効である。一方、地すべり等への対応については、鉄塔等送電設備の建設地点の決定にあたっては地すべり等のリスクも勘案するとともに、既存設備についても、その立地環境の変化に応じて、対策を実施することが求められる。

② 耐震性

- 電気事業者は、これまでの自然災害から得られた教訓を踏まえ、継続的に地震対策を講じていくことが重要である。

③ 地すべり等への対応

- 電気事業者は、今後鉄塔等の送電設備を建設する際、地盤調査等を通じて可能な限り強固な地盤を選択するとともに、地すべり等のリスクも勘案した上で建設地点を決定することが重要である。その際、特にカルデラ地域においては、地すべり等が起きやすいことから、急峻な斜面近傍での建設をできる限り避ける等の配慮をすることが重要である。
- 電気事業者は、既存設備の立地地点のリスクに変更が生じた場合（ハザードマップの更新等）には、必要に応じ、設備の補強（抑止杭等）や基礎の打ち直し、設備の移転といった対策を講じることが必要である。

④ 供給支障時のバックアップ

- 電気事業者は、引き続き冗長性の確保に取り組むとともに、冗長性が十分に確保されていないルートのうち、電力供給という観点から重要なルートについては、あらかじめ送電設備損壊時の復旧対応を検討しておくことが重要である。

(3) 変電設備

① 基本的な考え方

- 耐震性や供給支障時のバックアップについては、これまでの

地震対策が有効に機能していると評価できることから、取組を継続実施することが有効である。

② 耐震性

- 電気事業者は、これまでの自然災害から得られた教訓を踏まえ、継続的に地震対策を講じていくことが重要である。

③ 供給支障時のバックアップ

- 電気事業者は、引き続き十分なバックアップ体制の維持に取り組むことが重要である。

(4) その他設備（配電設備等）

① 基本的な考え方

- 耐震性や供給支障時のバックアップについては、これまでの地震対策が有効に機能していると評価できることから、取組を継続実施することが有効である。

② 耐震性

- 電気事業者は、これまでの自然災害から得られた教訓を踏まえ、継続的に地震対策を講じていくことが重要である。

③ 供給支障時のバックアップ

- 電気事業者は、引き続き十分なバックアップ体制の維持に取り組むことが重要である。

<復旧オペレーション>

(5) 停電の復旧

① 基本的な考え方

- 平時からの資機材の備えや訓練、電気事業者間の相互応援・協力体制等により、速やかな停電復旧対応がなされたと評価できることから、取組を継続実施することが有効である。一方、事業者間の連携や重要施設に関する情報伝達については、いくつか課題も見受けられたことから、改善に向けた取組が求められる。

② 平時からの準備

- 電気事業者は、引き続き、万々に備えた資機材の確保と、平時からの訓練や電気事業者間の連携の確認等を継続することが重要である。

③ 優先送電すべき重要施設

- 国は、災害時において優先的に復旧すべき重要施設の状況を誰がどのように把握し、復旧の優先順位を誰がどう決定し、それをどういうルートで電気事業者に伝えるべきか、検討を行うことが必要である。
- 電気事業者は、平時から、管轄地域内の実情も踏まえつつ、管轄地域内の重要施設等の把握を行うことが重要である。

(6) 電源車による面的送電

① 基本的な考え方

- 今回、面的送電の有効性が確認されたことから、今後災害等により停電が発生した場合には、面的送電の可能性を踏まえた対応が求められる。電気事業者においても、面的送電の可能性を念頭においた準備等が求められる。

② 水平展開

- 電気事業者は、今回の面的送電を含め、復旧に係るオペレーションに参加することで得られた気づき・教訓を、適切かつ確実に各社内で引き継いでいくとともに、業界内においても水平展開していくことが重要である。

③ 今後の災害時における対応

- 電気事業者は、今後の災害等による停電発生時には、電気事業者において従前より行っている系統復旧による再送電を基本ラインとしつつ、現場の状況等によっては面的送電も有効なオプションになりうることを踏まえ、復旧計画を立案し対応することが重要である。
- 電気事業者は、被災電気事業者から応援要請が来る可能性があることを踏まえ、要請がない段階であっても、自発的に準

備（要員への連絡体制の強化、応援派遣可能な車両の確認、資機材の確認等）を進めることが重要である。

④ 事業者間の連携

- 電気事業者は、電気事業者間のみならず、関係する他の事業者との間においても、協力関係を構築することが必要である。特に、今後の災害時における電源車に対する一層円滑な燃料供給に向けて、燃料供給事業者と電気事業者との間で、災害時における協力協定の締結など、具体的な協力体制を本年内に速やかに構築していくことが期待される。

おわりに

本 WG では、九州電力（株）の協力を得て、水力発電設備をはじめとする各種電気設備の耐性や、発電機車等による復旧オペレーションの在り方等について評価・検討を行い、その結果を報告書としてとりまとめた。

地すべり等による設備損壊が発生した水力発電設備については、設備側での対応には限界があることを踏まえ、地すべり等が発生した場合にいか「減災」するかという観点が必要であることが提言された。今後は、設置者において水力発電設備の公衆災害リスクを適切に評価した上で、評価結果に基づき、優先順位を付けて必要な対策を実施していくことが期待される。報告書では、平成 29 年前半までに公衆災害リスクのある箇所を抽出するとともに、平成 30 年度までに全ての箇所の優先順位付けを完了させることを求めている。さらに、設置者においては、可能な範囲で、優先順位付けと並行して予防保全策の検討・実施を行っていくことが望まれる。

また、復旧オペレーションについては、今回の地震対応を通じて、発電機車による面的送電の有効性が確認された。これは、いつでも使える「万能薬」ではないものの、今後の停電復旧対応時には、面的送電も有効なオプションになりうることを念頭に復旧計画を立案していくことが期待される。

今回の熊本地震のような設備損壊時や停電発生時において、迅速かつ適切な復旧を実現するためには、電気事業者のみならず、国や自治体、関係機関などの関係者が、それぞれの役割を、自律的にかつ適時適切に果たしていくことが重要である。かつて、本 WG の中間報告書で示したとおり、電気事業者にあっては電力の安定供給という使命と責任の下、災害に強い設備づくりや早期復旧に向けた防災体制の確立が必要であるし、国や自治体、関係機関などには、こうした事業者の取組を連携して支援していくことが重要である。

最後になるが、熊本地震を契機とする本 WG の検討が、我が国における災害対応体制強化の一助となることを願ってやまない。