

2020年東京オリンピック・パラリンピックにおける東京電力パワーグリッドの取り組み —大会を支える高信頼度ネットワークの構築—

北島 尚史

2020年東京オリンピック・パラリンピックの開催にあたり、開催都市のみならず国を挙げたイベントを成功させるために、各種インフラ、特にエネルギー供給に関する確実な安定供給は必須である。本稿では、主たる会場や施設への電力供給システムを担う東京電力パワーグリッド（株）の、大会に向けての設備形成や運用における取り組みや課題について、至近の大会（2012年ロンドン、2016年リオデジャネイロ）での事例も含めて紹介する。

キーワード：供給信頼度、設備の多重化・多ルート化、ロックダウン

1. はじめに

2020年東京オリンピック・パラリンピック（以下、「2020年東京大会」と記載）は、2020年7月24日～8月9日（オリンピック大会）、8月25日～9月6日（パラリンピック大会）の期間で開催されることが決定している。本原稿執筆時は、2016年リオデジャネイロ大会が開催されており、ちょうどあと4年後ということになる。

オリンピック大会は開催都市のみならず国を挙げたイベントであり、大会運営にあたっては周到な準備が求められる。

電力やガスなどのインフラ設備についてもその例に漏れず、可能な限り、通常の設備形成や運用を上回る信頼度を確保して大会に臨むこととなる。

2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会（TOCOG）では、すでにインフラ設備についての検討を開始しており、大会期間中の電力供給に関しては、電力会社の送配電部門も協同で具体的な検討を行っている。本稿では、オリンピック・パラリンピック大会における電力供給の特徴や課題などについて述べる。

2. 2020年東京大会におけるエネルギー供給と組織委員会の体制

大会の成功に向けては、開催に必要なさまざまな機会や業務を特定し、効果的な連携を図って、着実な準備を進めることが不可欠である。

東京2020組織委員会では、52のファンクショナルエリア（FA）を設定し、おのおのの機能や業務を明確化した。

このうち、エネルギー関連についてはNRGという名称のFAが設定されており、そのミッションと主要目標は以下のように定められている [1]。

1. ミッション (Mission)

皆が自己ベストを尽くせるよう、すべての競技会場及び非競技会場におけるオリンピック・パラリンピックの全クライアントのエネルギー需要に応じ、大会を通じて効率的で安定したエネルギー供給を実施する。

また、その実施に必要な都市インフラ整備については、レガシー活用を検討・考慮し、ステークホルダーと調整する。

2. 主要目標 (Key Objectives)

- ・会場のエネルギー需要とクライアントへのサービスレベルに応じたエネルギー（電力及びガス）を供給すること。また、それに必要な設備等を検討、設置すること。

- ・不測の事態においても安定したエネルギー供給を継続すること。

- ・全会場のエネルギー供給に関する準備計画策定に際し、日本国政府、電力及びガス事業者との協業を推進すること。

- ・大会期間中、一時的な電力の追加供給に対応し、全ての大会運営（競技・非競技を含む）の支援、会場の支援を必要に応じて実施すること。

きたじま たかし
東京電力ホールディングス（株）技術・環境戦略ユニット
技術統括室長
〒100-8560 東京都千代田区内幸町1-1-3
kitajima.takashi@tepco.co.jp

業務・役割	大会前	大会中	大会後	パラリンピックにおける相違点
クライアントサービスレベルと電力需要を特定する。	✓			
電力供給先の重要度に応じた電力供給のサービス要件をレビューする。また、電力供給の重要度が高い特定の会場や、開会式、閉会式などの特定のイベント、セキュリティなどのサービス要件をレビューする。	✓			
グリーンエネルギーの活用や持続可能性プロジェクトの達成を実現するための手法と手順を提案する。	✓			
各FAに対する詳細なエネルギー供給サービスの要件を定義する。	✓			
会場ごとに詳細な設計図面および仕様を作成する。	✓			選手の動線、区画の変更にもとづき、競技エリア（FOP）照明の仕様変更、調整が必要になる可能性有り。
定められた工期を順守し、安全なエネルギー供給サービスを提供する。	✓	✓		
競技会場、非競技会場の電力設備整備後、構成システムのテストを実施する。	✓			
電力事業者等と協力し、包括的な監視・管理体制を構築するとともに、包括的な大会のエネルギー運用を実施する。		✓		
設計関連のデータ及び、実際の大会時の消費電力を収集、分析するとともに、IOCと協力して次の大会に向けたエネルギー報告書を作成する。		✓	✓	

図1 NRGの業務と役割 [1]

また、NRGの大会前から大会終了後までの業務と役割についても、図1のように定められている。

3. わが国における電力システムと供給信頼度

電気は、生活に欠かせないエネルギーであり、また、ほかのインフラ（通信、交通、水道など）が機能するためにも必要である。

電気は、水力・火力・原子力・再生可能エネルギーなどの発電設備から交流電力として発生し、送電・変電・配電といったネットワークを通して需要家（工場、事業所や一般家庭など）に送り届けられる。これを電力システムと呼ぶ。

電力システムの機能が損なわれると、需要家の停電につながる可能性がある。一般的な停電の原因は、発電所や送電線・配電線、変電所などの電力設備が自然災害により損傷する場合はじめ、設備の経年劣化などに起因して故障するといった内的要因、さらにクレーンによる送電線の切断や自動車の電柱接触による折損といった外的要因など、さまざまなものがある。電力会社は、電気の供給の重要性に鑑み、供給信頼度のレベルを定めて、それを充足するような設備形成を行っている。

供給信頼度は大きく分けて、電源（発電能力）の信頼度と、ネットワーク（送配電能力）の信頼度の二つがある。

3.1 電源の供給信頼度

われわれが使っている交流電力は、発電する量（供給）と使う量（需要）とが、瞬時瞬時で一致しないといけないという特徴をもっている。このため、電力会社（系統運用者）が常に需給バランスの監視・制御を行っている。

需給バランスを常に一致させるために、系統運用者

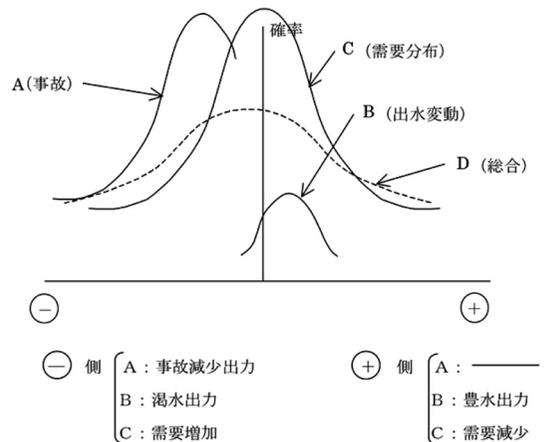


図2 需給変動確率分布曲線

は需要の予測を行い、発電側に出力の指令を出す。ところが、発電所は、メンテナンスによる停止のほか、トラブルで停止することもある。また、水力発電所のように、河川の水量によって出力が変動する、あるいは太陽光発電所や風力発電所のように、そのときの天候などによって発電出力が変動するものがあり、電力システムに連系されているすべての発電機がフル出力できる訳ではない。一方、需要も一日の生活パターンによって増減するほか、気温その他の要因で変動する。

火力発電所のトラブルによる停止や水力発電所の出力変動は、過去の実績によりそれらの減少度合いと確率との関係が知られている。図2に示すように、火力・原子力発電所の停止確率(A)や水力発電所の変動確率(B)を確率分布曲線で表すことができる。また電力需要の変動についても、図2(C)のように、最高気温(平年値)の需要を中心とする正規分布曲線で表現することができる。

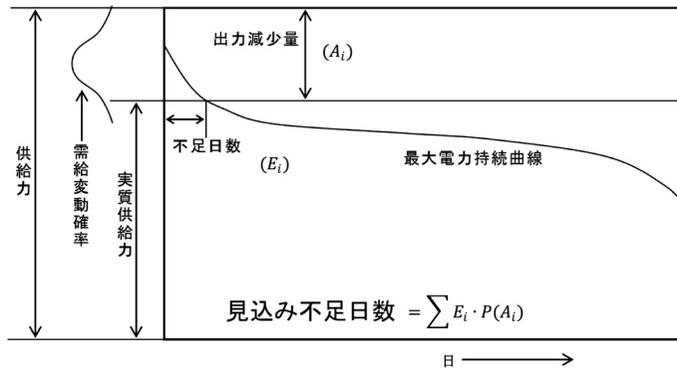


図3 見込み不足日数の算出

こうした需給の変動に対して、系統運用者は、想定される需要に対して、常にある余力（これを予備力という）を保有して運用することとしている。予備力については、供給信頼度のレベルから定められている。供給信頼度のレベルとしては、供給支障の「期待値」が採用されている。具体的には、「供給不足見込み日数0.3日/月」というものである。

上述のとおり、電力系統には水力・火力・原子力・再生可能エネルギーといったさまざまな発電機が多数連系されていることから、発電機の停止確率や河川の出水の実績に基づき確率分布曲線を作成し、また電力需要も気温によって変動することからこれを正規分布曲線とにおいて、それらを合成して全体的な需給の確率分布曲線を作成する（図2(D)）。この曲線と、1カ月の毎時間の電力需要を大きさの順に並べた「需要持続曲線」に基づき、需給バランスが変動（不足）する確率と、その際に起きる不足日数の大きさの積により、供給支障の頻度を期待値として計算する。すなわち図3において、需給変動確率（図2の(D)と同じもの）に基づき、ある出力減少量 A_i が発生する確率 $P(A_i)$ とその際に起こる供給不足日数 E_i を積分した $\sum E_i \times P(A_i)$ が「供給不足見込み日数」となる。なお実際は、「供給不足見込み日数0.3日/月」に相当する発電能力の予備力として、最大需要の8~10%を確保することとしている。

3.2 系統の供給信頼度

ネットワークの供給信頼度は、電源のそれとは異なり、確定論的に定義されている。すなわち、「ネットワークの構成要素（変圧器、送電線、遮断器など）のどれか一つが使えなくなっても、供給支障が発生しないような設備形成をする」というものである。これを「 $n-1$ ルール」と呼んでおり、この原則は国際的にも使われている。

以下、東京電力パワーグリッド（株）の基準を記載

するが、ほかの送配電事業者においても、電力広域的運営推進機関の定める送配電等業務指針に則り作成しており、同レベルと考えてよい。なお、下記基準は電圧階級ごとに定められており、基幹系統とは500kVならびに275kV、地域供給系統とは154kVならびに66kV、配電系統とは22kV以下の系統を指す。

・基幹系統

- a. 単一設備事故^{※1}の場合には、
 - (a) 供給支障を生じないこと
 - (b) 主要な電源の発電力制限を生じないこと
- b. 二重設備事故^{※2}の場合には、大幅な供給支障を生じないものとし、かつ、電源脱落ならびに系統分断をできるだけ生じないようにする。
- c. 工事、補修等のため、軽負荷時に設備を一部停止する場合においても、a, bに示す供給信頼度が極力低下しないようにする。

(注)

- ※1 単一設備事故とは、電力系統を構成する発電機1台、変圧器1台、送・配電線1回線など設備1単位の事故をいう。（後略）
- ※2 二重設備事故とは、電力系統を構成する発電機2台、変圧器2台、送電線2回線または送電線1回線と変圧器1台など設備2単位の同時事故をいう。（後略）

・地域供給系統

- a. 単一設備事故の場合には、短時間に供給回復ができることを原則とする。
- b. 需要密度が高いなど停電の社会的影響が高い地域に対しては、単一設備事故の場合において、極力供給支障を生じないようにする。（配

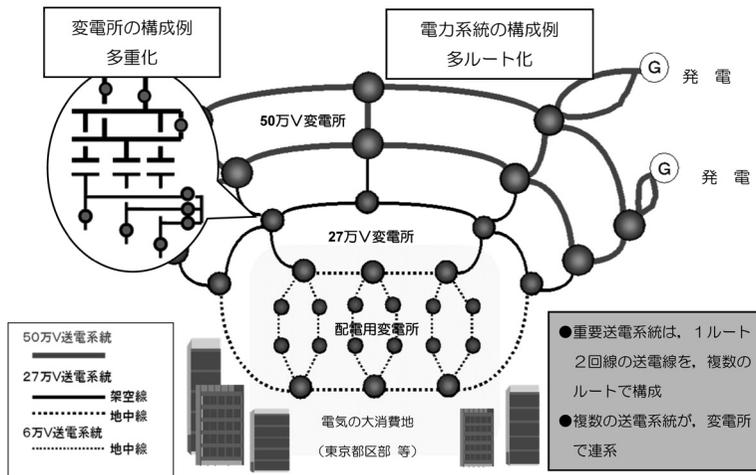


図4 電力システムの多重化・多ルート化

供給方式	特徴
①本線・予備線	・通常は本線から受電し、本線事故時(n-1)には予備線から受電 ・本線から予備線への自動切り替えにかかる時間は、一般的に数秒～十数秒(一旦停電あり)
②本線・予備電源	・通常は本線から受電し、本線事故時(n-1)には予備電源線から受電 ・本線から予備線への自動切り替えにかかる時間は、一般的に数秒～十数秒(一旦停電あり) ・予備電源線の電源となる変電所が異なるため、本線の電源変電所が全停となっても供給継続可能(一旦停電あり)
③環線(ループ)	・常時2回線受電でありn-1事故時においても停電しない
④スポットネットワーク	・常時3回線受電でありn-1事故時においても停電しない

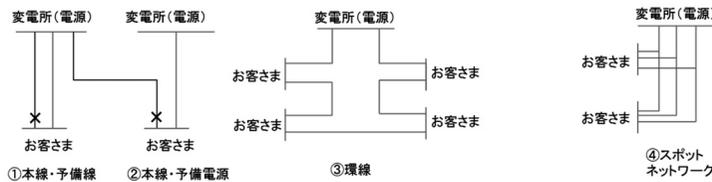


図5 配電系統における系統構成の例

電系統も同じ)

・配電系統

高圧配電系統においては、単一設備事故後の場合に事故区間を除く健全区間に対して、短時間に供給回復ができることを原則とする。(中略)
22kV配電系統においては、本・予備線系統や分割連系系統等の系統構成の特徴を考慮し、短時間に事故復旧が可能なように計画する。

こうした「n-1」ルールを確保するため、送配電の系統においては、多重化や多ルート化による設備形成を指向している(図4, 図5)。

わが国における電力の供給信頼度は、諸外国と比較して高く、お客さまの停電時間も短い(図6)。

1軒当たりの停電時間(分/年)

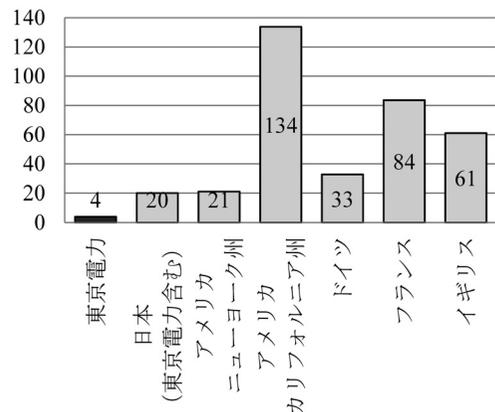


図6 1軒当たりの停電時間の国際比較

4. オリンピック大会における設備形成

1 節でも述べたが、オリンピック大会は国を挙げてのイベントであり、大会中は、会場をはじめとして国際報道センター (IBC) や選手村などの関連施設も含めたエネルギー供給にも特段の信頼性が求められる。IOC もホスト国の大会委員会に対して、エネルギー供給に対して高い信頼度を要求し、その実施状況についてもきめ細かく確認される。

3.2 節で述べたように、電力システムの供給信頼度はその重要性から元来非常に高くなっているが、オリンピック大会開催にあたっては、IOC が特別に要求する信頼度を満足することが必要となる。

前節で述べたように、二つの供給信頼度のうち、電源の供給信頼度については、2020 年度夏期の時点において想定される電力需要に対して、電力系統全体として適正な発電能力と予備力を保有しているかということになる。これについては、需要想定と供給力の両面での評価が必要となるわけであるが、電力需要については経済動向などの予測に基づき、現状からの増分は小さいと想定されている。したがって、2020 年度夏期の時点における発電設備の確保がポイントとなる。

一方、送配電の供給信頼度については、競技が行われるエリア、個別会場、あるいは個別関連施設など、それぞれのケースに応じて評価・検討を行う必要がある。電力供給を行う施設が新たに建設されるのか既存なのか、需要密集地域なのかそうではないのか、既存の送配電ルートに余裕があるのかないのかなど、信頼度確保の難易度はさまざまであり、一つひとつの供給地点に対して詳細な検討が必要となる。

以下、筆者が調査した至近の大会、すなわち 2012 ロンドン大会および 2016 リオデジャネイロ大会における送配電の供給信頼度確保対策、2020 東京大会での検討にあたっての課題などを述べる。

4.1 ロンドン大会の例

ロンドン市の電力インフラは、日本で言う基幹系統と地方供給系統・配電系統の事業が分割されている。すなわち、ナショナルグリッド社 (275 kV 以上) と UK パワーネットワーク社 (132 kV 以下) が設備の所有・維持を行っている。2012 年のロンドン大会では、メインスタジアムを中心とするオリンピック・パークが新たに建設され、それを含めて 34 の競技施設で開催された。オリンピック・パークの建設に併せて、UK パワーネットワーク社は、電力供給のための変電所をパーク内に新設した。この変電所は、二つの異なる変電所か

ら 132 kV で電気を受電できるようになっており、万一トラブルなどでどちらか一つの変電所からの供給ができなくなっても、もう一つの変電所から別系統から供給を受けることが可能な構成となっている。また、複数の変圧器など電気設備は一つの建屋に設置されているが、内部は防火仕様の壁で仕切られており、火災などで変電所の全機能が停止することのないようになっており、オリンピック大会における供給のための特別な設計がなされている [3]。

4.2 リオデジャネイロ大会の例

リオデジャネイロ市の電力インフラもロンドンと同様、送電と配電の事業者が異なっている。すなわちナショナルグリッド社が送電系統 (230 kV 以上)、Light 社 (138 kV 以下) が配電 (および小売) を行っており、それぞれ設備を所有している。2016 リオデジャネイロ大会においても、オリンピック・パークが新設され、そこで多く競技が集中して開催されており、Light 社が 138 kV の変電所をオリンピック・パーク内に新設した。これについても基本的にはロンドン大会と同様な設備形成、すなわち、異なる二つの変電所からの供給が可能な構成としている [4]。

4.3 東京大会の特徴と設備形成にあたっての留意点

東京大会の特徴として、ロンドンやリオデジャネイロのようにオリンピック・パークを新設して競技会場を集中するのではなく、既存の施設を極力活用した会場選定がなされていることが挙げられる。したがって、既存設備に対する電力供給のインフラもすでに存在することから、次の二つの観点での検討が必要となる。まず 1 点目は、通常の電力需要ではなく、競技開催時における電力需要の想定を特別に行い、それが既存のインフラで信頼度を確保しつつ供給が可能かどうかということである。この検討・評価の結果、もし必要があれば設備の増強を行うこととなる。2 点目は、オリンピック大会という観点から、さらに高い信頼度を確保するための設備形成を構築するかどうかということである。これについては、供給する設備 (会場など) ごとに、対策の難易度や工事期間、工事費の多寡が異なるので、検討にあたっては、送配電事業者 (東京電力パワーグリッド) と大会組織委員会との密接な協議を重ね、設備形成を確定していくこととしている。

5. オリンピック大会における設備運用

4.3 節で述べたような、高い信頼度を確保できる設備形成とすることに加えて、大会期間中に不測の事態が起きないように、また万一起こっても迅速に対応にあ

たれるよう、設備の運用についても特別な体制や手当をとるべく検討を進めている。本節では、至近のロンドン大会・リオデジャネイロ大会での運用で特徴的である「ロックダウン」について紹介する。

5.1 ロンドン大会・リオデジャネイロ大会でのロックダウン

ロンドン大会およびリオデジャネイロ大会では、電力設備の「ロックダウン」が実施された。ロックダウンとは、大会期間とその前の一定期間、競技会場や大会関連施設に供給する電力設備の改修作業を行わず、改修に起因するトラブル発生のリスクを減らすという対策である。ロンドン大会では開会式の100日前、リオデジャネイロ大会では1カ月前からロックダウン期間を設けており、必要な設備改修や工事、制御装置の点検などは、ロックダウンが開始される前にすべて完了させた。

ロンドン大会、リオデジャネイロ大会におけるロックダウンの期間や対象設備については大会組織委員会との協議で選定された。すなわち、まず大会組織委員会が重要施設（競技会場、国際放送センター、選手村、交通機関など）を定め、それらに関連する電力設備が対象として定められた。

ロックダウンの対象設備については、大会期間中も特別な監視体制がとられる。たとえば地域供給用の変電所は、通常は無人であり、集中制御の制御所から監視および操作されるが、大会期間中はすべての変電所に複数人のオペレータが24時間体制で常駐し（シフト勤務）、電力系統に万一のトラブルなどが発生した場合は、変電所で直接操作ができるような体制とした。

5.2 2020 東京大会での課題

東京大会は、既存の施設を活用しており会場や関連施設が広く分散していることから、今後大会組織委員会と検討することとなるロックダウンのエリアや対象となる電力設備も広範囲かつ分散される可能性がある。したがってたとえば、大会期間中に限られた要員をどのように配置するか、あるいは、ロックダウン前にどうしても集中してしまう改修工事などをいかに均平化するかなど、これまで経験のない最適化などに関する

検討が必要となる可能性がある。

また、会場のセキュリティ運営をあらかじめよく理解し、それに即した運用も必要となる。会場およびその近隣に立ち入るためには、大会組織委員会から事前に「アクセディテーションカード」を発行してもらい携帯することが必須となる。筆者もリオデジャネイロ大会の設備視察のため、個人のアクセディテーションカードを半年以上前から申請し、準備を行った。たとえば業務目的であってもこれを所有していないと会場エリアに立ち入ることができない。このため、東京大会におけるロックダウンの検討時には、どの電力設備にどれだけの要員を配置するか、それも個人のレベルまでかなり前から決めておく必要があることを念頭において準備を進めていくことになる。加えて、たとえば非常時の対応として、送配電事業者として非常用発電設備などを配備することも考えられるが、現状保有している限られた台数をどのように配置するかなど、通常業務とは異なった視点での検討が求められる。

6. おわりに

2020 東京大会まで、あと3年有余の期間があるが、電力インフラの設備形成には設計や工事などのリードタイムがある程度必要であり、それらを考慮すると、場所によっては決して十分な余裕を有しているわけではなく、大会組織委員会との協議などを着実に進めていくことが求められる。また大会期間中の運用についても、東京という過密大都市で分散開催されるという特徴を十分踏まえた課題の抽出と、その解決に際してのさまざまな知見や手法を広く求め、活用していくことが必要と考えている。

参考文献

- [1] 東京オリンピック・パラリンピック協議大会組織委員会、東京2020大会開催基本計画、2015年2月。
- [2] 東京電力ホールディングス、数表で見る東京電力、http://www.tepco.co.jp/about/fact_database/index-j.html
- [3] UK Power Network 社への聞き取り調査（2015年4月実施）に基づく。
- [4] Light 社への聞き取り調査（2016年8月実施）に基づく。