

feature article

インド日系工業団地へのスマートグリッドの導入による電源ソリューションの開発

Development of Smartgrid Technology for Power Supply to Japanese Industrial Park in India

村井 大祐 Daisuke Murai

アショク アシタ Ashok Ashta

高田 俊幸 Toshiyuki Takada

世古口 雅宏 Masahiro Sekoguchi

佐藤 深大 Shindai Sato

山野 修平 Shuhei Yamano

インドではIT産業などを中心として経済発展が進んでいるが、今後は製造業の育成が課題となっており、日本政府の提案によるデリー・ムンバイ間の産業大動脈（DMIC）構想が進められている。しかし、産業インフラが未整備な工業団地も多く、恒常的な電力不足が発生しているため、DMIC域内のニムラナ工業団地に進出している日系企業は、商用系統の電力を使用せず、自家発電設備を導入している。日立グループは、工業団地への安価で安定した電力供給を実現するために、マイクログリッド・スマートグリッドを導入し、既設の異なる容量の自家発電設備を連系させることを検討（NEDO事業）中であり、2009年度は系統内で事故が発生した場合のシミュレーションによる評価および計測・保護装置の仕様検討を実施している。

1. はじめに

日本政府の提案によるDMIC（Delhi-Mumbai Industrial Corridor）構想は、デリー・ムンバイ間の6州（ウッタル・プラデシュ州、ハリヤナ州、ラジャスタン州、グジャラート州、マディヤ・プラデシュ州、マハラシュトラ州）の工業団地や港湾を貨物専用鉄道と道路で結び、一大産業地域とするインドの産業インフラ開発プロジェクトである（図1参照）。

日立グループは、日立インドビジネス支援センタ（以下、IBSCと記す。）と連携し、DMIC域内のニムラナ工業団地で、マイクログリッド・スマートグリッド技術の概念を応用した安定電力の供給システムを検討し、共同エネルギーセンター設立による産業インフラの構築をめざしている。

ここでは、ニムラナ工業団地におけるマイクログリッド・スマートグリッドの導入による電源ソリューションの開発について述べる。

2. ニムラナ工業団地における電力供給の課題と共同エネルギーセンター設立構想

インドにおける工業団地では、商用系統の電力の信頼性が低いことから、慢性的な電力供給不足が問題となっている。そこで、各企業は商用系統電力と連系せず、DEG（Diesel Engine Generator：ディーゼルエンジン発電機）を自家用発電設備として導入し、電力を賄っている。しかしそれらのDEGは、日本では非常用とされる設備であり、(1) 発電コストが高い、(2) 他の系統電源と連系することが難しいなどの課題がある。このため、各企業が所有するDEGを連系させ、安価で信頼性の高い電力供給を行うための共同エネルギーセンター設立構想が立案された。

2.1 ガスタービン発電機による共同エネルギーセンターの基本計画策定

日立グループは、前述した構想に対応するために、工業団地に進出している各企業（11社）に向け、ガスタービン発電によって安価で安定した電力を供給する共同エネルギーセンターの基本計画策定を2008年から開始した。こ



注：略語説明 DMIC（Delhi-Mumbai Industrial Corridor）

図1 インドの概略地図と国道NH8

デリーからムンバイに至る約1,500 kmの国道NH8はDMICの基軸として最も注目されている。

の計画は同年10月に日本・インド両政府によりアーリーバードプロジェクトとして認定され、日本大使館や経済産業省をはじめとした日本政府関係機関、インド政府、ラジャスタン州政府などの協力を得ることが可能となった。その結果、2009年2月には工業団地へ進出している企業を中心に、共同エネルギーセンター設立事業化検討委員会が発足し、日立グループは技術面でのアドバイザーとして委員会に参画している。

しかし、2008年末からの世界同時不況の影響により工業団地進出企業の生産計画は下方修正され、エネルギーセンター設立には時間を要するとの判断がなされた。そこで、フェーズを分けてエネルギーセンターの設立準備を進めることとなった。フェーズ1では、急成長を予測して設置した出力に余裕のある各企業の異なる容量のDEGを連系して電力を供給する。フェーズ2ではガスタービンを導入し、安定電力を供給する。

2.2 NEDO事業による安定電力供給システムの検討

今回の計画に対して、マイクログリッドの適用を検討した。これまで研究が行われているマイクログリッドは、限定された地域系統内（マイクログリッド）での系統制御・需給制御であった。しかし、フェーズ1において容量の異なる各企業のDEGを連系する場合、各企業は電力の供給側および需要側の双方になる可能性がある。また、DEGは最低出力から定格出力までの範囲が広く、負荷追従性に優れているが低負荷時は発電効率が悪く、排気ガス中の窒素酸化物成分が増大する。そのため、フェーズ1でDEGの連系を実現するためには、ソフトウェア面およびハードウェア面での五つの課題を解決する必要がある。

ソフトウェア面の課題として、(1) 各企業へ信頼度の高い電力を供給しつつ、コストおよび環境負荷が全体で最小

となるようDEGを制御する方法の確立、(2) 異なる容量のDEGを協調させて制御する方法の確立、(3) 系統内で事故が発生した場合の需要側および供給側の制御方法の確立がある。ハードウェア面の課題として、(4) 需要側、供給側双方の状態を監視・制御する設備機能の確立、(5) 受電点での保護方式の確立が挙げられる（図2参照）。

そこで、マイクログリッドに加え、電源および負荷を協調制御させる技術であるスマートグリッドを応用することにより、これらの課題の解決を図った。その検討について、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「提案公募型開発支援研究協力事業」の助成金を活用することを考え、公募に応募し、2009年6月に事業が採択された（事業期間：2009年度～2010年度）。その際、インド工科大学（Indian Institutes of Technology）ハイデラバード校を共同研究機関として選定した。ハイデラバード校は新設校でもあり、日立グループはこの研究を通じてインドの教育水準のさらなる発展にも貢献したいと考えている。NEDO事業では、2009年度にソフトウェア面の課題(3)のシミュレーション評価、およびハードウェア面の課題(4)、(5)に対する設備の仕様検討を実施した。本章で述べた課題に対する具体的な研究要素について、以下に述べる。

3. 工業団地内のDEG連系制御の検討

まず、DEGの連系制御について述べる。これまで研究されているマイクログリッドでは、分散電源が監視制御システムからの制御指令に良好に反応する高機能の電源であった。したがって、商用系統との関係も、連系運転時は商用系統に与える外乱を抑制するための連系線潮流の制御などが研究の主題であり、単独運転への移行は非常時対応の制御が前提となっていた。

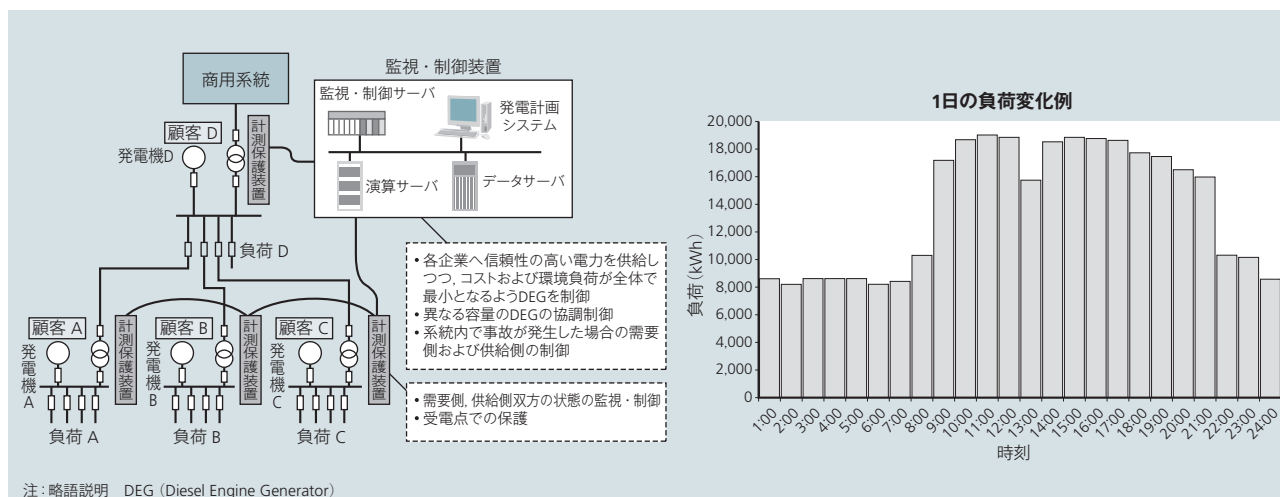


図2 スマートグリッド監視・制御装置の構成

グリッド全体を統括する監視・制御装置は、各発電設備と子局を介して通信回線で結合され、必要なグリッド情報を取得して、制御信号を伝送する。

しかし、フェーズ1では、監視制御システムによる制御が難しい電源を有する各企業を自律的な制御単位ととらえて体系を構築する必要がある。これは日立グループが定義しているスマートグリッドの特徴の一つである、「最適、自律型 (Adaptive and Self Healing)」の系統運用が可能となる機能を備えたシステムである。

ニムラナ工業団地でのグリッドの監視・制御システムは、運転効率、信頼性および分散電源間の協調制御を行うための重要な役割を担い、商用系統とグリッドを連系させて運転する場合には、相互に乱れを与えないように連系線潮流の制御を実施する計画である。このため、前章で述べたソフトウェア面の課題 (1) ~ (3) の対策となる監視・制御システムを検討した (図3参照)。

3.1 燃料コスト最小化、環境負荷低減を実現する発電計画システム

電力使用量が小さいときにはDEGの運転台数を減らして、最適な負荷率で運転すれば、DEG発電端効率を上げることができ、環境負荷を低減することが可能となる。

工業団地内では、各企業は個別にDEGで電力を供給しているので、夜間や工場休業日などには電力負荷が小さくなり、DEGの運転効率が悪くなってしまう。そこで、多数の企業のDEGを連系することにより、負荷および電力を融通させ、発電設備の高効率運用が可能となる。

発電計画システムでは、1日や1週間、年間の負荷変動実績に基づいて負荷予測を行い、発電機の最適な運転計画を立案する。

3.2 分散電源の協調制御

各企業の負荷には、電気炉のように大きな変動幅で急激に負荷が変化するものがある。このようなランダムな負荷変動に対しては、各企業のDEGのガバナ (調速機) を負荷に合わせて制御することにより、周波数変動を小さく抑える協調制御方式を検討した。

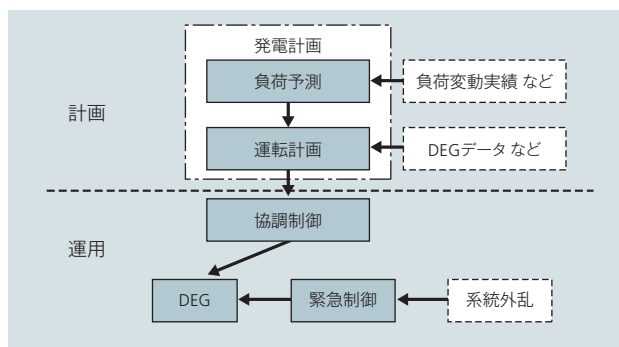


図3 制御機能の概念

負荷予測を行い、運転計画に基づいてDEGを協調制御する。系統外乱を検出した場合には緊急制御を行う。

ここで、各企業が所有するDEGの制御特性の詳細仕様が不明で、数学的なモデル化が困難なため、実負荷とグリッド周波数を実測し、その測定データからDEGの制御特性を推定する手法を採用する。さらに実測データによってガバナ特性を推定することで、より精密な周波数制御が可能となり、各状況に応じて発電機の運転台数を低減できる。

3.3 系統外乱発生時の緊急制御システム

各企業は電力の供給側、需要側の両方になる場合があるため、企業単位で連系線潮流の監視や事故時保護を行う多階層的なシステム設計が必要となる。

商用系統で事故などが発生した場合には、各企業の電力の信頼性を保つために商用系統との切り離しを行う。系統との連系状態からグリッド単独運転へ移行する必要性が想定されるため、ガバナ制御やゲイン切り替えなどにより、複数の発電機を協調させるコストパフォーマンスのよい制御方式を開発する必要がある。またグリッド内連系線事故によるルート遮断後の周波数維持をはじめ、過渡安定度、電圧安定度維持問題が予想される。これらの系統外乱発生時における電力品質への影響については、グリッドを電気回路モデルで表現したシミュレーションにより評価を実施した。

監視・制御サーバでは連系線の断線をはじめ、グリッド内の各種事故を検出して、演算によって最適な制御方式を決定する。例えば発電量が負荷に対して過剰になり、ガバナの制御では間に合わない場合には、特定の発電機を高速遮断する。発電量が不足の場合は負荷を遮断する。

4. 計測・保護マルチ装置の検討

ここでは、前述したハードウェア面での課題 (4)、(5) に対する検討結果について述べる。需要側にも供給側にもなり得る企業を連系させるために、計測・保護装置には、電力潮流や機器の状態などを双方向に伝送する情報収集端末としての機能が必要となる。また同時に、事故時には瞬時に開閉器を制御し、事故波及を最小限に抑える保護機能が必要となる。

4.1 情報収集端末

グリッド内を運転制御するためには、電力品質にかかわるさまざまな情報が必要であり、電圧、電流だけでなく、周波数、力率、高調波など各種情報を計測する必要がある。

また、企業間の連系点では、双方向に電力が流れるため、計測値もこれに合わせた監視が必要となる。電流、電力、電力量をそれぞれ方向別に計測し、需要側となったときの使用電力量や供給側となったときの発電送出電力量を把握

することで、複数企業間での電力融通量が明確となり、費用負担の管理が可能となる。

現在、必要となる情報項目ごとに、計測・保護機器の構成やデータ収集周期、通信方式などの検討を行っており、今後は情報漏えいなどに対するセキュリティ面の検討も実施する予定である。

4.2 受電点の保護方式

複数の企業間で電力融通を行う電力系統では、受電点の保護装置では自設備が電力供給側か需要側かを明確に認識している必要がある。

例えば受電点の電力潮流が受電方向の場合、供給側として運転していると内部事故を意味するが³、需要側として運転していると正常受電を意味する。同様に受電点の電力潮流が送電方向の場合も異なる結果となる。

そのため、発電機への各種制御指令と受電点の電圧・電流信号から切り替えのタイミングを正確にとらえる計測・保護装置の構成を検討した(図4参照)。

保護においても、計測と同様に方向別に管理することが求められ、双方向保護機能の実装が必要となる。

また、DEGが複数連系するグリッドにおいて、発電機、連系線などで事故が発生した場合、場所によって発生する波形に特徴がないかを前述の数学モデルを用いたシミュレーションによって検討している。

5. おわりに

ここでは、ニムラナ工業団地におけるマイクログリッド・スマートグリッドの導入による電源ソリューションの開発について述べた。

2009年度は、各企業のDEGを連系させた場合に起こりうる問題点をシミュレーションにより評価し、計測・保護装置の仕様検討を実施した。2010年度は、引き続き研究を続け、スマートグリッドを用いた電源の連系制御技術を完成させる。

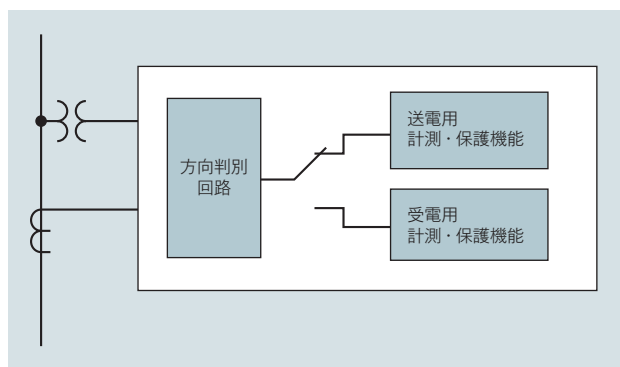


図4 計測・保護マルチ装置の構成

装置内部に潮流の方向判別回路を持ち、方向別に計測・保護の管理が可能となる。

将来的には、このグリッドに太陽電池などの自然エネルギーを接続するなど、この研究を通じてインド版マイクログリッド・スマートグリッドの基礎づくりに貢献したいと考えている。また、この技術を確立することで、DMICにおける他の工業団地へも同様の電源ソリューション技術を展開することが可能になると考える。このニムラナ工業団地での取り組みが、今後インドで展開が予想されるスマートコミュニティの先行モデルとなり、インド国内および産業インフラ環境が未整備である新興国での展開の足がかりとなるよう、電力、電機、情報通信などの各分野で日立グループが有する技術の総力を挙げてこの構想の実現をめざしていく。

参考文献など

- 1) 今村：インドのニムラナ工業団地における電力供給事業、日立評論、91、6、536～537 (2009.6)
- 2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、<http://www.nedo.go.jp>

執筆者紹介



村井 大祐

2004年日立製作所入社、トータルソリューション事業部 環境エネルギーソリューションセンタ 所属
現在、省エネルギーシステムの計画業務に従事



アショク アシタ

2008年Hitachi India Trading Pvt. Ltd. 入社、インドビジネス支援センタ 所属
現在、事業開発およびCSR推進に従事



高田 俊幸

1992年日立製作所入社、電力システム社 電機システム事業部 電機ソリューション本部 電源システム部 所属
現在、電源システム計画に従事



世古口 雅宏

1979年日立製作所入社、情報制御システム社 電力システム本部 電力流通エンジニアリング部 所属
現在、電力流通システム全般のシミュレーション解析業務に従事
工学博士
電気学会会員、IEEE会員



佐藤 深大

1994年日立製作所入社、電力システム社 日立事業所 国分生産本部 受変制御部 所属
現在、保護リレーの開発業務に従事



山野 修平

1995年日立製作所入社、トータルソリューション事業部 環境エネルギーソリューションセンタ 所属
現在、省エネルギーシステムの計画業務に従事