社会インフラを支えるエンジン発電設備による BCP 対応技術

Advanced Control Technologies Corresponding Customer's Business Continuity Plan of Engine Power Generation that Powers Social Infrastructure

矢葺 丈之*1 Takeyuki Yabuki
岩脇 秀喜*2 Hideki Iwawaki
小坪 孝弘*2 Takahiro Koakutsu
唐津 拓也*1 Takuya Karatsu
上原 弘嵩*3 Hirotaka Uehara

大規模自然災害による長期停電リスクへの対応として，BCP 電源の重要性が高まっている。三菱重工エンジン＆ターボチャージャ株式会社（MHIET）では，BCP 電源として広く活用されているエンジン発電装置の製造と共に，常用発電装置と非常用発電装置の自立並列運用制御や複数台発電装置の高速同期制御といった発電技術により，エンジン発電装置の BCP 電源としての利用価値向上を図り，災害対策の面から社会インフラを支えている。MHIET の BCP 対応技術例の概要について紹介する。

1. はじめに

日本は地震，台風，豪雨などの自然災害が頻発する国であり，これらの災害は社会インフラに深刻な影響を与えることがある。そのため，企業や公共・医療機関における BCP（事業継続計画）の取組みが進められており，その中でも安定した非常用電源（BCP 電源）の確保は重要な課題である。

エンジン発電装置は非常用電源として広く活用されているが，BCP 電源としての利用価値向上を図るためには，エンジン発電装置の運用・制御といった BCP 対応技術が重要となる。三菱重工エンジン＆ターボチャージャ株式会社（以下，MHIET）は信頼性の高いエンジン発電装置の設計・製造と共に，BCP 対応技術による利用価値の高い製品を提供することにより，BCP 電源の安定供給に貢献している。

2. エンジン発電装置の機種構成

MHIET では，ディーゼルエンジンを使用した非常用発電装置と，ガスエンジンを使用した常用発電装置の製造を行っている。

(1) ディーゼルエンジン発電装置

主に非常用発電装置に適用しており，出力レンジとしては，200～3500kVA である。

始動時間が短く，ディーゼル燃料の備蓄に適する特徴から様々な用途の非常用電源・防災電源として，電源セキュリティの向上に貢献している。

(2) ガスエンジン発電装置

高効率なガス発電の特徴から主に常用発電装置に適用しており，出力レンジとしては，

・50Hz 機：500～2000kW（GSR，GNB），3800～5750kW（KU）

*1 三菱重工エンジン＆ターボチャージャ株式会社 エンジン・エナジー事業部 エナジー技術部 主席チーム統括
*2 三菱重工エンジン＆ターボチャージャ株式会社 エンジン・エナジー事業部 エナジー技術部 主席技師
*3 三菱重工エンジン＆ターボチャージャ株式会社 エンジン・エナジー事業部 エナジー技術部

・60Hz 機：450～1200kW（GSR），3650～5500kW（KU）

である。熱電併給を行う高効率コージェネレーションシステムとして省エネルギー・低炭素化に貢献すると共に，近年では BCP 電源としてのニーズも高まっている。

3. BCP 対応技術例について

MHIET のエンジン発電装置による BCP 対応技術例について紹介する。

3.1 ブラックアウトスタート

非常用電源として使用される発電装置は，商用停電発生時に運転を開始して負荷給電を行うため，商用電源がない状態で起動（ブラックアウトスタート）できる必要がある。

主に非常用用途で使用されるディーゼルエンジン発電装置は，エンジン起動時に必要な機関補機（冷却水ポンプ他）をエンジン機付としており，停電起動に対応している。

一方，主に常用用途で使用されるガスエンジン発電装置は，機関補機が電動型であり，起動時には補機電源が必要となる。2000kW 未満のガスエンジン発電装置（GSR，GNB）では，エンジン起動後に自ら発電した電力で補機類を速やかに運転するシステムを構築することで停電起動が可能なことから，BCP 対応を目的とした一般非常用機に適用可能である。また，起動開始から 40 秒以内での単機送電も可能であるため，平常時は常用発電装置として運用すると共に，停電時に防災設備への給電を行う常用防災兼用機にも適用可能である（図 1）。

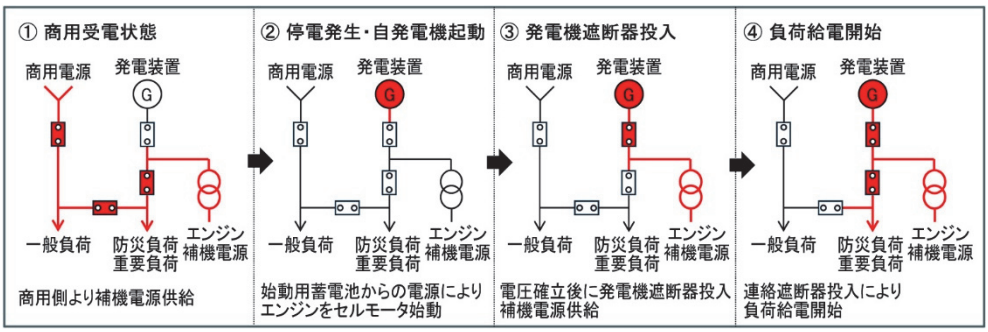

図1 ガスエンジン発電装置の停電起動（常用防災兼用機の例）

3.2 高速同期制御

複数台の発電装置を並列運転するためには，発電機にストレスを与えないように，発電機間で同期をとる（電源間の周波数・電圧・位相を合わせた後に接続する）必要がある。

一般的な同期制御方式では，発電装置の周波数・電圧を調整し，投入母線側電源との周波数差・電圧差が許容値以内であることを条件として，電圧位相が合致した点（同期点）で遮断器を投入する。この方式では，発電装置の電圧調整・周波数調整動作が必要であり，また同期点の出現周期は 1/Δf（例えば周波数差 Δf＝0.1Hz の場合は 10 秒周期）となることから，同期投入完了までには一定の時間を要する。この同期投入に要する時間の問題を解決するため，非常用発電装置を短時間で並列運転するための手段として MHIET では高速同期制御方式を準備している。

一般的な同期制御方式と高速同期制御の比較を表 1 に示す。高速同期は無電圧の母線に対する発電装置の同期方式であり，商用停電時等における同一容量の複数台発電機並列運転時に適用が可能である。

高速同期の運転手順を図 2 に示す。発電装置起動時に，発電機を無励磁（発電機電圧が発生しない状態）で全発電機の出力端子を接続し，定格回転速度到達後に全発電機の励磁を一斉に開始する。発電機を無励磁で接続した状態では，各発電機の位相は異なるため，発電機の励磁開始により発電機間に電流が流れるが，この電流が同期化力として作用することにより，各発電機の位相が一致して同期が完了する。図 3 に高速同期時の実機挙動例を示す。

高速同期方式は同期発電機の特性を積極的に利用したものであり，本同期方式を採用することにより発電装置起動後に短時間での同期並列運転が可能となる。特に負荷投入量の制約等か

ら複数台並列での負荷給電を要することが多いガスエンジン機関の常用防災兼用機や，高容量・高起動性が求められるデータセンター向け非常用ディーゼル発電装置への適用が有効である。

表1　同期制御方式の比較

方式	一般的な同期制御	高速同期制御
対象	有電圧の母線に対する同期制御 (LIVE BUS SYNCHRONIZING)	無電圧の母線に対する同期制御 (DEAD BUS SYNCHRONIZING)
適用	商用電源や他発電機電源に対する同期制御に適用可能	商用停電時における同一容量の複数台発電機同期制御に対して適用可能(商用電源との同期には適用不可)
制御概要	起動した発電装置の周波数・電圧を調整して投入母線側に合わせた後，電圧位相が合致した点(同期点)で遮断器を投入	発電機無励磁の状態で遮断器を投入し，複数台発電機の出力端子を接続した後，一斉に全発電機の励磁を開始する
同期の所要時間	発電機間の同期制御を行う場合は，負荷変動等により母線側電源安定度が低下するため，同期投入完了までに時間を要する傾向となる(30～180 秒程度)	発電機励磁開始後，数秒で同期が完了 始動から 40 秒以内の複数全台の負荷送電が可能となる

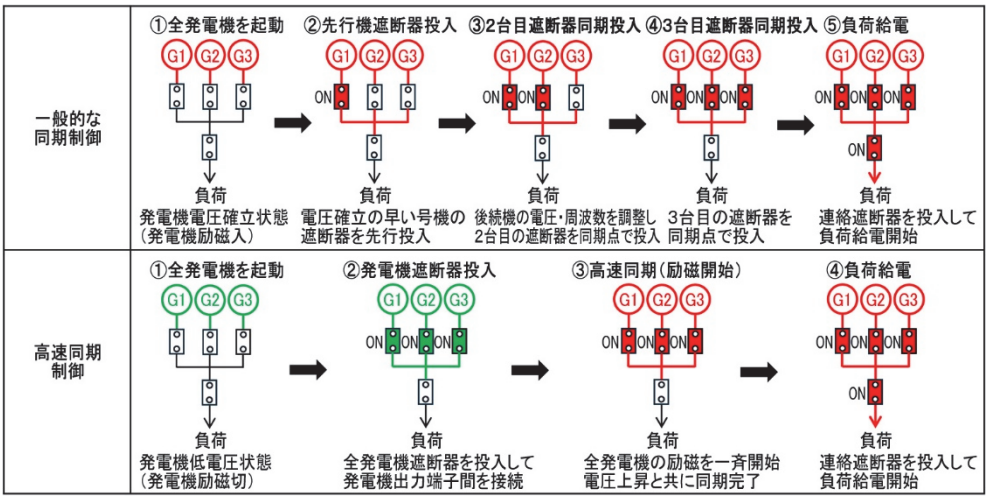

図2　高速同期の運転手順

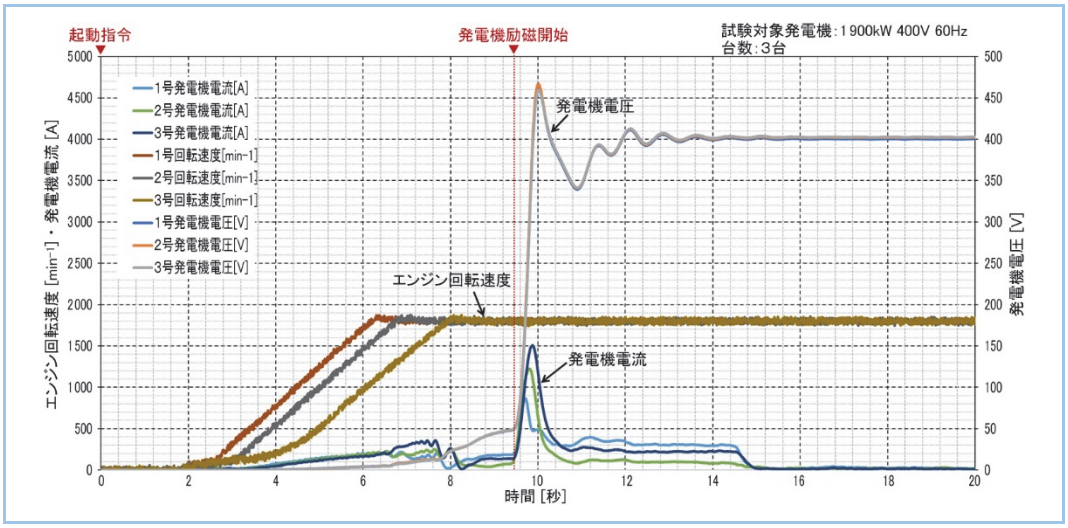

図3　高速同期時の挙動

3.3　異機種原動機自立並列制御

大型オフィスビルにおいては，停電時に防災負荷及び保安負荷へ電源供給する非常用発電装置(主にガスタービンまたはディーゼル発電装置)と，発電効率の高い熱電併給の常用発電装置(主にガスエンジン発電装置)が設置されることが多い。このようなケースにおいては，一般停電時に常用発電装置と非常用発電装置を自立並列運転させることにより，BCP 電源供給範囲の拡大・長時間化が可能となる。

通常，常用発電装置と非常用発電装置の原動機種類・製造メーカは異なり，原動機特性の異

なる異機種発電装置の自立並列運転を実現するためには，運用制御において特殊なエンジニアリングが必要となる。MHIET では常用ガスエンジン発電装置（以下，CGS）において，非常用発電装置（以下，EG）との自立並列運転に対応した多数の実績を有する。

異機種自立並列運転への移行手順については，商用停電発生時に負荷追従性の高い EG が先行して負荷給電を開始し，その後 CGS が EG に対して同期投入を行い自立並列運転に移行する。

自立並列運転中は，CGS と EG 間の負荷分配を適切に維持する必要があるが，その負荷分配は CGS 側の出力調整により行う。CGS と EG 間の負荷分配率については，主に次のような内容を考慮して決定している。

① 原動機特性を考慮した負荷分配制御

負荷追従性については EG が優れることから，負荷変動への追従については EG 側を主体として，CGS 側は基本的に出力一定運転とする。

② 軽負荷運転の抑制

CGS は基本的に発電機定格出力の 50%以上となるように運転し，エンジンの長時間運転に適した負荷配分を行う。

③ 発電機逆電力防止

CGS は EG の最低負荷を考慮した目標値で出力一定運転をすることで，構内軽負荷時の発電機逆電力を防止する。

自立並列時における CGS（GSR・GNB クラス）と EG の負荷分配の一例を図 4 に示す。

このように，CGS と EG 間の同期制御及び負荷分配調整については CGS 側が担当するため，EG 側は状態信号出力（有効電力値信号，遮断器状態信号等）の準備は必要となるが特別な制御構築は不要である。

図 5 に CGS・EG 自立並列時に負荷変動が発生した際の実機挙動を示す。自立並列時の負荷変動時挙動については，原動機機種・特性や発電機容量の組合せによって変わるが，負荷変動に対して負荷追従性の高い EG 側が先に応動し，その後 CGS が追従する挙動となる。

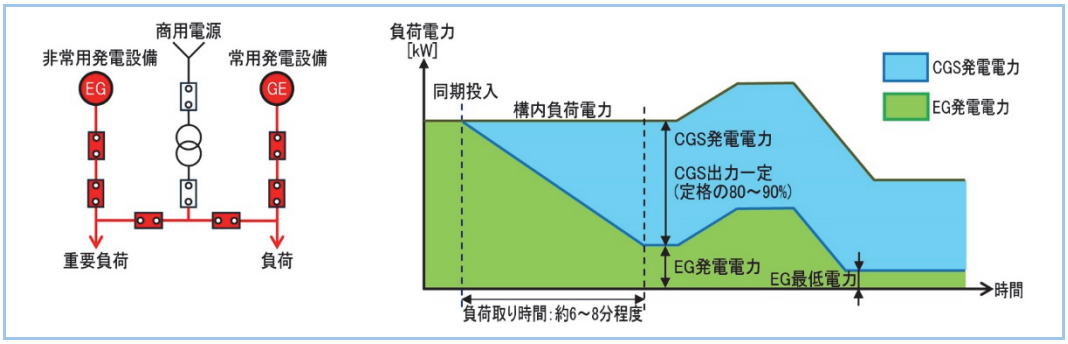

図4 CGS と EG の負荷分配例

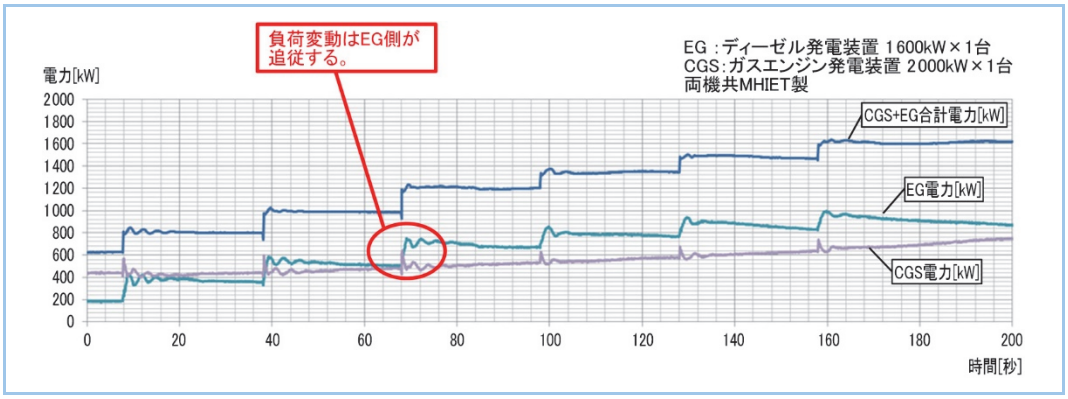

図5 自立並列時における負荷変動時実機挙動

3.4 潮流制御による重要負荷への無停電給電

通常の常用発電装置は，商用電源に連系して運転を行い，エネルギーコスト削減を目的とした発電装置の発電電力を最大限に有効利用する運用を行う。一方，商用電源の異常（停電や瞬時電圧低下等）がお客様の生産ラインや設備運用に多大な影響を与えるケースにおいては，重要負荷の電源セキュリティ向上の観点から常用発電装置が導入されることがある。

このようなケースでは，図 6 に示すように，発電装置と商用電源との間に母線遮断器を設置し，重要負荷は母線遮断器に対して発電装置側に配置する構成にする。商用電源異常が発生した際には，高速動作型の不足電圧継電器等で異常を検知し，母線遮断器開放により発電装置と重要負荷を商用系統から切り離して重要負荷を発電装置自立給電に移行する。

発電装置による自立給電移行時に，負荷変動が大きい場合（特に系統解列前の発電電力＜重要負荷電力の場合）には，発電装置の能力を超過する負荷急増により運転継続不能になることや，周波数・電圧変動が非常に大きくなる恐れがある。このような事態を防止するため，商用電源との連系時に母線遮断器（自立運転移行時の開放遮断器）における潮流電力が 0（または発電設備→商用方向の小さい値）になるように発電装置の出力を制御して，自立運転への移行を確実化すると共に，発電機電圧・周波数変動を最小限に抑えるようにしている。

また，雷や台風被害の多い地域では，気象情報等により商用停電リスクが高まった際には，事前に重要負荷への給電を商用給電から発電機給電に切り替えることが行われる。

このような重要負荷への無停電給電切換を行うシステムでは，商用停電リスクが低下した際には，解列した母線遮断器を同期投入することにより，重要負荷を無停電で商用給電に復帰できるようにしている。

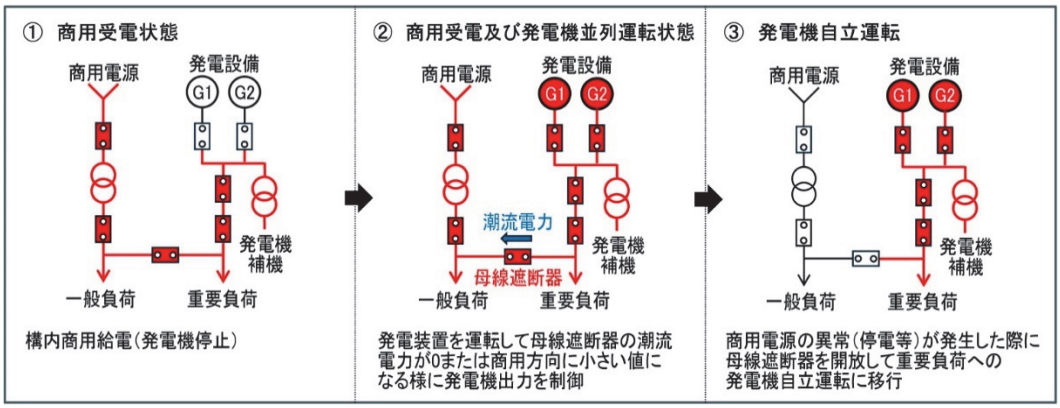

図6 重要負荷への無停電給電

3.5 冗長化システム

高い電源セキュリティが求められるデータセンター等の非常用発電装置においては，大容量・高起動性と共に冗長化が求められる。MHIET では，データセンター向け用途に対応した高出力性能を有するディーゼル発電装置と共に，冗長化に対応したシステムを提供している。

冗長化については，バックアップ機を設置する n+1 方式（必要台数＋予備機）とすることが基本となる。またシングルポイント（単一箇所の故障で発電装置全体の運用に影響を及ぼす箇所）をなくすことが重要であり，システム共通となる制御部の二重化や，システム共通部自体をなくすといった対応が必要となる。このような電源の冗長化対応については，受変電設備・負荷設備等も含めた対策が必要であり，お客様の設備ごとに最適なシステム構築を行っている。

4. まとめ

業務用施設等における BCP 電源確保の手段として，エンジン発電装置は引き続き重要な役割を果たしていくものと考えられる。エンジン発電装置を有効に活用するためには，お客様の設備に最適な運用・制御といった BCP 対応技術が重要であり，MHIET はディーゼル発電装置・ガス

発電装置といった信頼性の高いエンジン発電装置を非常用・常用の用途に応じて適切に提供すると共に，ブラックアウトスタート・高速同期技術・異機種原動機自立並列制御・潮流制御による重要負荷への無停電給電・冗長化システムといった BCP 対応技術により，エンジン発電装置の更なる利用価値向上を図っていく。

また，カーボンニュートラルの実現に向けて再生可能エネルギーの導入が拡大している。太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギーは出力変動する不安定な電源のため，商用停電時にはエンジン発電装置から見て負荷変動要因となる。そのため，非常用発電装置との連系運転のためには，太陽光発電の最大出力を制限する必要があり，BCP 電源として有効に活用できていないのが現状である。MHIET では，エンジン発電装置と太陽光発電及び蓄電池を組み合わせたハイブリッド発電システム（EBLOX）を製品化している。EBLOX を適用することにより再生可能エネルギーを BCP 電源として有効活用することが可能になると共に，周波数・電圧変動の低減といった電源品質の向上も図れることから，EBLOX の適用拡大を目指していく。

参考文献

(1) 田中ほか，分散電源時代に向けたトリプルハイブリッド発電システム“EBLOX”“COORDY”の開発，三菱重工技報 Vol.56 No.2（2019）