

港湾および造船所向け多機能陸電設備

Multifunctional On-Shore Power Systems for Harbors and Shipyards

宮下 勉 MIYASHITA, Tsutomu

梅沢 一喜 UMEZAWA, Kazuyoshi

城市 洋 JOICHI, Hiroshi

近年、海運業や造船業においても環境負荷の低減が求められている。これに応えるため、富士電機は、商用（所内）系統から船内負荷への給電機能と船内発電機の負荷試験機能を併せ持った多機能陸電設備を開発した。本設備は屋外に設置されるため、メンテナンスが容易な配置や効果的な冷却方式を検討し、主要装置をコンテナハウスに収納した。コンテナハウスは複数台並列に接続できるため、大容量化が容易である。制御機能の特徴は、任意の電圧・周波数で船内負荷へ給電できること、船内発電機の負荷試験を抵抗消費だけでなく電源回生でも行えることなどである。

In recent years, even in the maritime and shipbuilding industries, reduction of environmental impact has come to be required. To meet that issue, Fuji Electric has developed a multifunctional on-shore power system equipped with both power supply functions for the on-board power systems and load testing functions for the on-board generator. Since this system is installed outdoors, we examined its placement to make maintenance easy and give it an effective cooling system and decided to install the main facilities in a container of use outdoors. The containers can be connected in parallel so that it is easy to enlarge the capacity. The facility's characteristic control functions include abilities to supply power to on-board power systems at the desired voltage/frequency and to conduct a load test for the on-board generators via load resistor or power regeneration.

① まえがき

近年、海運業や造船業においても環境負荷の低減が求められている。これに応えるため、富士電機は、商用（所内）系統から船内負荷への給電機能と船内発電機の負荷試験機能を併せ持った多機能陸電設備を開発した。本設備は、港湾や造船所といった塩害地の屋外に設置されることを考慮し、電力変換装置を組み込んだ変換器盤や制御盤をコンテナハウスに収納した。本稿では、コンテナハウスや変換器盤の構造と電力変換装置の制御技術について述べる。

② 概要

2.1 設備仕様

コンテナハウス1棟当たりの設備仕様は次のとおりである。コンテナハウスを複数台接続することにより大容量化が可能である。また、入力電圧および出力電圧はともに、任意に変更が可能である。

- (a) 容量：1,667 kVA 連続、過負荷耐量 115% 1時間
- (b) 入力電源：6,600 V または 3,300 V, 50 Hz または 60 Hz
- (c) 出力電源：11,000 V または 6,600 V, 50 Hz または 60 Hz
- (d) コンテナハウス寸法：W7,400 × D2,600 × H3,200 (mm)
- (e) コンテナハウス質量：約 21 t

2.2 制御機能の特徴

- (a) 商用（所内）系統から船内系統に任意の電圧、周波数の給電が可能である。
- (b) 電源回生または抵抗消費による船内発電機の負荷

試験が可能である。また、試験のための負荷パターン（有効電力、力率、電力変化量）は任意に設定でき、再現性にも優れている。

- (c) 船内変圧器の投入によって過大な励磁突入電流が流れても、トリップすることなく給電の継続が可能である。
- (d) 複数のコンテナハウスで運用することによって、一部の機器が故障しても、減機運転による給電の継続が可能である。
- (e) 商用系統や船内系統に対する自動同期投入および解列(注)が可能である。
- (f) 船内負荷の事故時など、船内系統に変動が生じたときに商用系統のじょう乱を抑制できる。
- (g) 船内からの遠方操作や状態監視が可能である。

③ 変換器盤などの収納構造

3.1 構造概要

本設備は港湾や造船所の屋外に設置されるが、変換器盤や制御盤を個々に屋外仕様とするには、寸法やコストの面から実現が難しい。そこで、装置一式を屋外環境に対応したコンテナハウスに収納した。また、同一構成のコンテナハウスを複数台並列に接続することによって大容量化に対応できる構造とした。図1にコンテナハウスの外観を、図2に外形図を、図3にコンテナハウス内部の盤配置図を示す。コンテナハウスの天井部には空冷式の負荷抵抗器を搭載している。内部は中央通路式とし、制御盤、変換器盤、補助盤をそれぞれマスタ側とスレーブ側が対向するように配置した。さらに、通路の一番奥には水冷式の熱交換器を

〈注〉解列：電力系統から電気設備を切り離すこと



図1 コンテナハウス

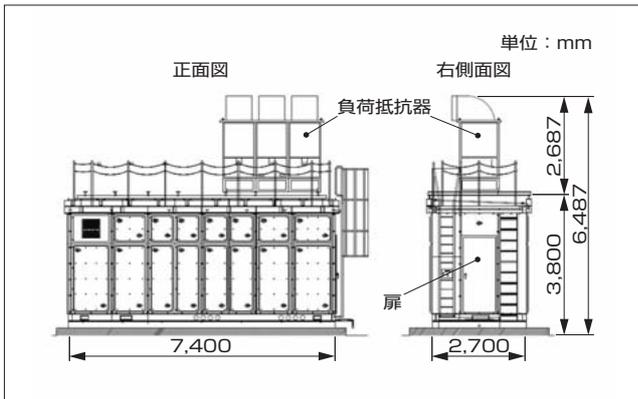


図2 コンテナハウス外形図

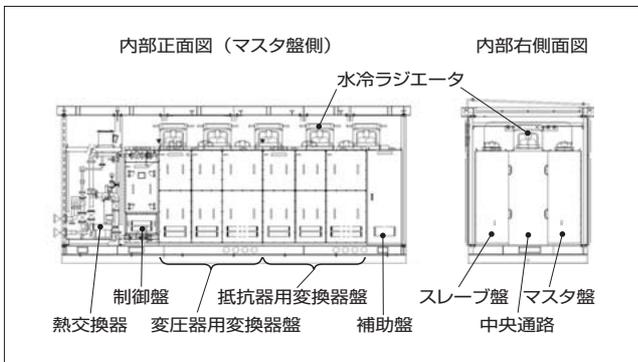


図3 コンテナハウス内部盤配置図

配置し、通常のメンテナンスを全て通路から行えるようにした。コンテナハウスは完全密閉ではなく、耐塩フィルタを備えた換気ファンによって外気を取り込んで与圧している。これにより、隙間からの海塩粒子やじんあいの侵入を防いでいる。

本設備には、変圧器用変換器盤と抵抗器用変換器盤の二つの変換器盤があり、基本構造は同一としている。これにより、変換器盤内部のパワースタック、リアクトル、コンデンサなどの機器も同一であるため、メンテナンスが容易である。また、これらは、風力発電用コンバータ盤をベースにして構造と冷却システムの最適化を行っている。

3.2 コンテナハウス内設備の冷却

本設備の各変換器盤には、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子を搭載したパワースタックを3台収納している。素子を効率よく冷却するため、アルミニウム製の水冷ヒートシンクを用いている。

また、リアクトルも水冷式とした。銅巻線内に直接冷媒を流して冷却する直接水冷方式を採用し、高い冷却能力を得ている。冷媒には、不凍液に比べて熱輸送量の大きい純水を使用している。純水の使用に当たり次の課題があった。

- (a) パワースタックのヒートシンクはアルミニウム製であり、冷媒を純水にすると腐食する恐れがある。
- (b) 同一水冷系統上にアルミニウムと銅が存在するため、異種金属接触腐食の影響が懸念される。

そのため、長期耐食試験を行い、アルミニウム表面に被膜を生成することで腐食が抑えられ、品質を確保できることを確認した。

一方、変換器盤や制御盤には空冷機器もあるため、コンテナハウス内の空気を冷却する必要があった。そこで、コンテナハウスの天井部に水冷ラジエータを配置し、変換器盤から排出された空気をこのラジエータで冷却して通路に戻し、再び盤内に供給する方式とした。ラジエータを冷却する純水用の配管は変換器盤の配管と並列に接続した(図4)。

水冷系統は、マスタ側の変換器盤、スレーブ側の変換器盤、ラジエータの3系統とした。変換器盤内のパワースタックとリアクトルは直接純水で冷却されるのに対し、各盤の空冷機器は循環空気を介してラジエータで冷却されるため、熱冷却バランスが非常に重要であった。そこで、図5に示すモデルを用いて熱解析ソフトウェアで各機器の熱冷却やコンテナハウス内の気流解析を行い(図6)、必要となる純水の流量とラジエータ数を決定した。その結果、熱交換器から404 L/minの純水を供給し、変換器盤にはそれぞれ127 L/min、ラジエータには150 L/minを分配することとした。

次に、配管解析ソフトウェアで各配管の圧力損失を分析し、所定の流量を確保できるかどうかを確認した。流量不

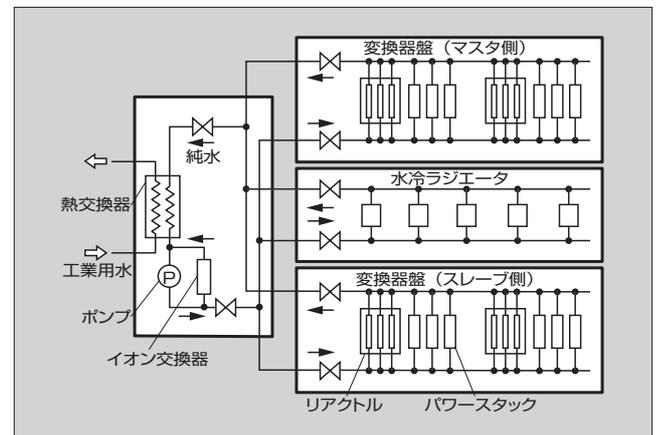


図4 コンテナハウス内水冷系統図

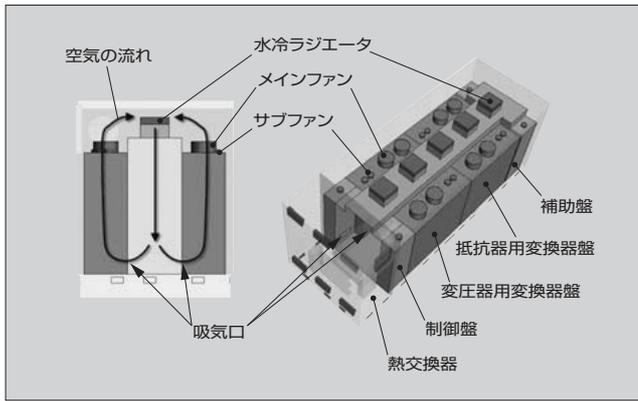


図5 コンテナハウスの気流解析モデル

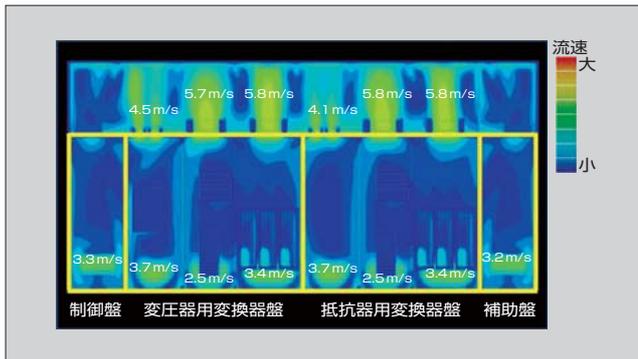


図6 コンテナハウスの気流解析結果

足が懸念される部位は配管径を大きくしたり、圧力損失の少ない機器に変更するなどして改善した。

熱交換器は外部から供給される工業用水を用いて冷却する方式とし、計器類をメンテナンスが容易な位置に配置した。これらの工夫により、最適な構造と冷却システムを構築できた。

4 電力変換装置の制御技術

本設備は、同一の電力変換装置を用いて制御モードを電源供給モードと負荷試験モードに切り換えることで、船内負荷への電源供給機能と船内発電機の負荷試験機能という異なる機能を併せ持つ。

電力変換装置の制御技術について、船内へ最大で5,000 kVA の電源を給電する場合を例にして説明する。

4.1 電源供給モードの制御

船内へ最大で5,000 kVA の電源を給電するために、1,667 kVA の電力変換装置を3台並列（コンテナハウスを3棟並列）で運転する。

電源として次の機能を持っている。

- (a) 船内電気設備が軽負荷の場合は、電力変換装置を3台並列運転から2台並列運転に移行して効率的な運用を行う。
- (b) 電力変換装置が故障した場合は、故障した装置を解列し、ほかの健全な装置で運転を継続する。

(c) 船内発電機から本設備、または本設備から船内発電機への無瞬断給電切替えを行う。

3台並列の電力変換装置が負荷を分担して安定に運転するために、各電力変換装置は負荷電流から有効電力成分と無効電力成分を算出する。有効電力成分に反比例して出力電力の周波数を低下させるドループ制御と、無効電力成分に反比例して出力電圧を低下させるドループ制御とを組み合わせ、並列間の負荷をバランスさせている。

電力変換装置間の並列投入と解列においては、運転中の電力変換装置に対して負荷の急変が発生しないように、負荷バランスを緩やかに制御する自動負荷移行制御を行っている。図7に、電源供給モードにおける電力フローを示す。商用（所内）系統から受電する50 Hz または60 Hz の6.6 kV の電力をコンバータ1は直流に変換し、入力電流を力率1、ひずみ率5%以下で制御している。

コンバータ2で船舶側に、船内システムの周波数、電圧に変換して出力する。電力変換装置3台の負荷が均等になるように運転する。図8に、電力変換装置を2台とした場合の並列投入および解列時の波形を示す。1台運転から2台目が運転して並列投入となるときには、1台目に対して電圧並列準備中の2台目が電圧追従および周波数追従で同期を合わせる。同期後、遮断器が投入されると並列投入を行った2台目は電流を流すことなく並列状態となる。その後、並列投入時の電圧追従補正を緩やかに解除することで、並列投入号機は負荷を緩やかに分担し、並列間の横流は5%

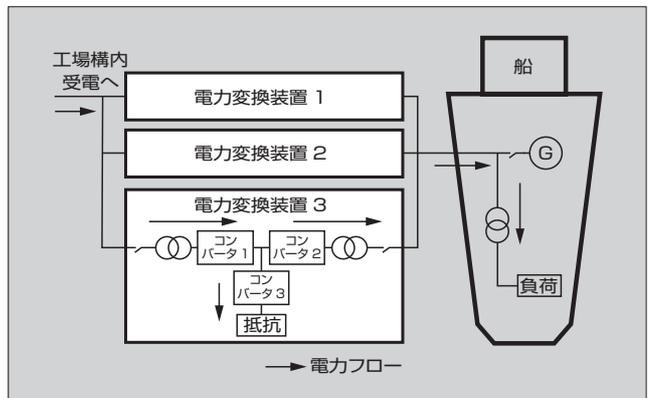


図7 電源供給モードにおける電力フロー

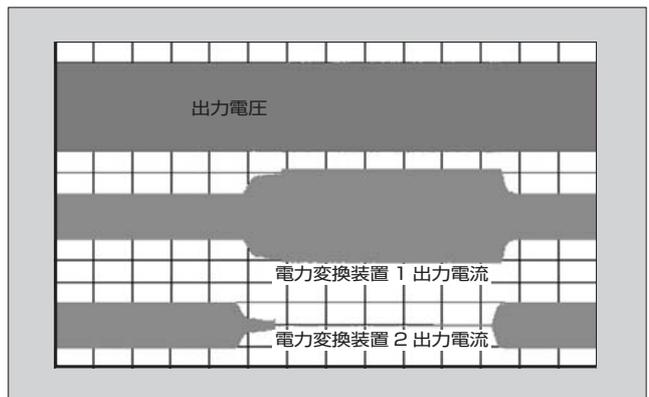


図8 並列投入および解列時の波形

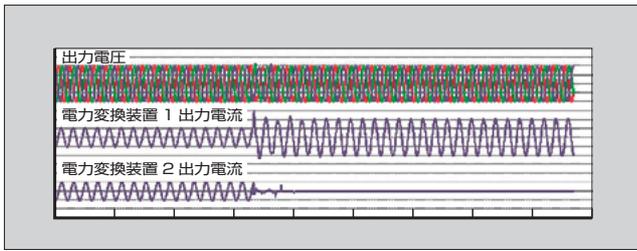


図9 2台並列運転時における1台故障時の波形

以内に整定する。図9に、2台並列運転において1台が故障した場合の波形を示す。2台で負荷を分担して運転している状態で1台が故障して停止した場合は、残りの運転中の電力変換装置で安定した給電を継続する。

4.2 負荷試験モードの制御

負荷試験モードにおける電力フローを図10に示す。船内発電機の負荷試験を実施するために、制御モードを前述の電源供給モードから、コンバータ2が発電機出力電圧に連系し、電力と力率の指令に追従して制御を行う負荷試験モードに変更する。

図10に示すように、発電機からの電力は商用（所内）システムに回生されるため、従来のような抵抗器負荷でエネルギーを消費することなく試験が行える。しかし、電力会社への回生が行えない場合は、所内の電気設備で消費する必要がある。負荷試験を円滑に継続するために、コンバータ3を運転して抵抗で電力を消費する。また、発電機試験中に瞬停などの系統異常が発生した場合は、コンバータ1は連系を継続し運転する〔FRT（Fault Ride Through）機能〕。このため、システムに戻せない場合の電力はコンバータ3を運転して抵抗で消費する。

発電機負荷試験の負荷急変試験において、5,000kVAを階段状に印加すると系統へ急激な逆潮流が生じ、電圧変動が発生する。このため、電圧変動が発生しないように回生電力を緩やかに変化させる機能を持っている。図11にそ

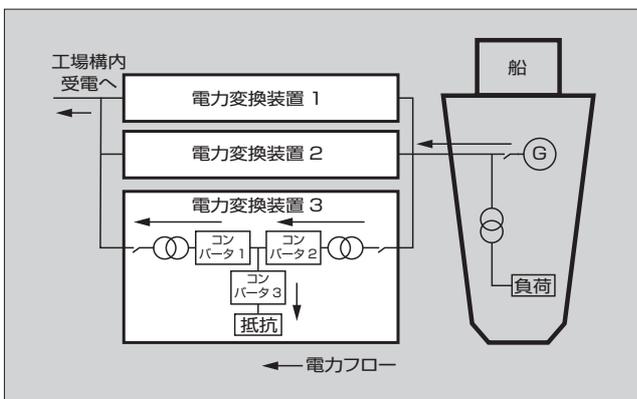


図10 負荷試験モードにおける電力フロー

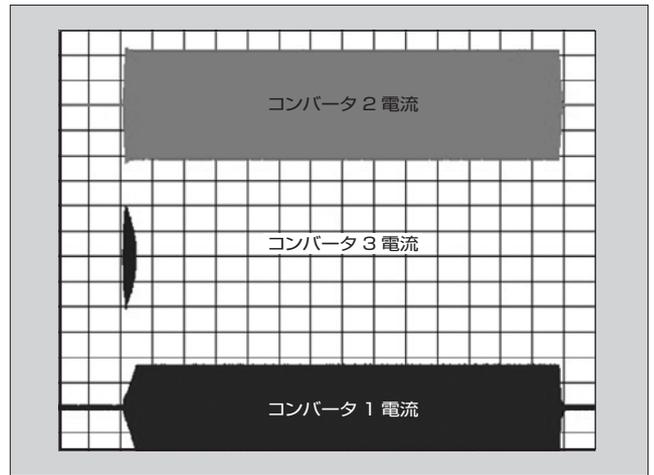


図11 負荷急変試験時の波形

際の電流波形を示す。コンバータ2は発電機負荷の急増に対応して動作し、コンバータ1は設定された電力変化率で電力を受電側に出力する。このとき余剰電力は、コンバータ3に接続された抵抗で消費することにより運転を継続する。

5 あとがき

船内負荷への給電機能と船内発電機の負荷試験機能を併せ持った多機能陸電設備について、その構造および制御技術について述べた。本設備の適用拡大に向け、さらなる機能向上を図っていく所存である。



宮下 勉

電動力応用プラントのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部産業プラント事業部産業技術第一部課長補佐。



梅沢 一喜

無停電電源装置、パワーコンディショナの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部パワーサプライ事業部開発部課長。技術士（電気電子部門）。電気学会会員。



城市 洋

産業用インバータの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部神戸工場パワエレ設計部課長補佐。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。