フェリー向け陸上電力供給システム並びに 船舶用太陽光発電システム

森 本 敦

Onshore Power Supply System for Ferryboats and Photovoltaic Power Generation System for Ships

By Atsushi Morimoto

Amid calls for the reduction of greenhouse gases to prevent global warming, the marine industry has been considering strategies and countermeasures. This time, it was decided that an onshore power supply system will be installed for the first time in Japan on a large ferryboat on an exploratory basis, and at the same time the world's largest-class photovoltaic power generation system for marine use will also be installed on the ship. This article describes this project and its background and provides the project's technical aspects.

1. はじめに

地球温暖化防止を目的として温暖化ガスの削減が叫ばれている中、船用業界においても様々な対応策が検討されている。欧米の大型港湾では船舶からの排出ガスを削減する方法として、停泊中の船舶へ陸上の電力会社から給電することで船内発電機エンジンを停止させる設備の本格導入が進んでいる。当社はその検討に当初から参画、現在コンテナ船を対象とした船側受電システムを商品化している。

国内においても陸上電力供給システム（以下 陸電システム）の導入に関して近年盛んに検討が行われ、国内で初めて大型フェリーに試験導入することとなった。さらに新エネルギーの船舶導入も各方面で検討されていたことから、太陽光発電設備の搭載も同時に行うこととなり、当社で設計・施工を含めたフルターンキーでの受注となった。本稿では平成 21 年度に行われた本プロジェクト経緯とシステム概要を中心に紹介する。

2. 搭載船概要

本船は瀬戸内海を運航する大型長距離フェリーで、総トン数は約 9,800 トン、旅客定員最大約 700 名、車両積載能力最大 280 台、航海速度 23.2knot、大阪南港と北九州新門司港（図 1 参照）を約 12 時間で結んでいる。毎夜 20 時 00 分に出港し、翌日の朝 8 時 20 分に目的港に到着。約 12 時間の日中停泊を行い同日夜 20 時 00 分に元の港へ向け出港する定期運航船である（平成 22 年 3 月時点の運行時間）。

図 1 航路図

3. 経緯

この取組みは国土交通省の平成 21 年度“CO₂削減を目的とした国の補助事業”による実証実験で、その設計並びに施工工事一式を当社が受注したものである。

4. システム概要と運用方法

陸電システムは最大受電容量 650kW、第 4 甲板に設置した大型特製コンテナに搭載したケーブルリールにて AC6,600V の高圧で受電し、船陸電源切替は無停電にて行う。高圧給電・無停電切替にすることで切替作業を簡単化し、作業への負担を軽減した。船舶用太陽光発電システムの定格は 50kW（一般家庭の約 16 軒分）、最上甲板に 280 枚のパネルを設置、船内負荷の一部をまかなう。

各システムの運用方法については、陸電システムは本船が停泊中の荷役作業以外の時間帯に使用し、ケーブル接続作業は本船機関部員が対応する。太陽光発電システムは航行中には船内発電機との並列運転を行い、陸電受電後は陸上電力との系統連系を行う。概略系統図を図 2 に示す。

図 2 陸電・太陽光発電システム概略系統図

5. システム基本設計

5.1 陸上電力供給システム

商用としては国内初となる無停電切替設備を搭載した大容量陸電システムで、当社初となるフェリー向け陸電システムである。本船停泊中の船内負荷が約 250kW～400kW のため最大定格は 650kW とした。船内電気システムは AC440V であるが、電線本数・サイズの削減を行い接続作業の簡単化を図る目的から、給電は AC6,600V とし船内の変圧器にて AC440V へ降圧している。

船陸間の通信は高圧給電線と別配線とし、接点信号による通信方法を採用した。結果として船陸間の接続ケーブルは高圧給電線 1 本と通信線 1 本の計 2 本のみである。

図 3 システム搭載場所

1) ケーブルリールユニット

船主のメンテナンス性を考慮し、ケーブルリールは国内メーカーとの共同開発品を使用した。リールは高圧動力ケーブル 1 本と通信用ケーブル 1 本が同軸に装備されているため、同時に 2 本のケーブル操作が可能でケーブル長は約 15m である。ケーブルリールを搭載するコンテナは船体構造上の問題から規格サイズの方が使用できなくなったため、耐蝕性アルミ材を使いリールガイドが船体舷側に最適に伸長出来るように 3D 設計にてリールユニットを自作した。これによりケーブルリールの海水、風雨からの保護に加え、防爆区画である車両甲板での安全性確保が可能となった。(図 4, 5 参照)

2) 電源ユニット

船内へ導かれた AC6,600V の陸電を受電する高圧陸電受電盤と降圧用変圧器を搭載した電源ユニットについてもケーブルリールユニットと同様に耐蝕性アルミ材を使用し最適設計にて製作した。(図 4, 5 参照)

図4 ユニット 3D 設計

図5 電源ユニット (左) とケーブルリールユニット (右)

3) 高圧用・通信用コネクタ

船陸間接続の高圧用・通信用コネクタに関しても国内メーカーとの共同開発品を使用，接続時の安全性や防水性を向上した．高圧動力コネクタの最大受電容量は 200A，接続方式は共にねじ式である．

4) 陸電・太陽光監視制御モニター

陸電システムの監視・記録並びに船陸電源切替制御を一括で行うことを目的に，機関監視制御室へモニターを追設した．タッチパネル方式を採用したモニター画面では船内電源の状態を MIMIC で確認することが出来るほか，陸電関係の警報，受電記録確認並びに電源切替操作が可能である．(図 6 参照)

図6 陸電・太陽光監視制御モニター

5) ユニットデザイン

ケーブルリールユニット並びに電源ユニットには環境配慮，CO₂削減，陸電をキーワードにイメージを作成しデザインを施した．(図 5 参照)

図7 南港 F4 バース陸電接続状況

5.2 太陽光発電システム

船舶向け太陽光発電システムの実績は業界でも少なく，一部の船社が実験目的で太陽電池メーカーと共同で小容量を搭載しているものがほとんどであった．そこで当社は将来の商用搭載を視野に入れシステム設計を行うこととした．

搭載場所は最上甲板である第 8 甲板に限定，スペース的な制限から定格 50kW とし，将来的に船内電気系統と直結するシステムが主流になると考えられることから非常配電盤への給電にて計画．航行時は船内発電機，停泊時は陸電と連系可能なシステムとした．(図 8，図 9 参照)

図8 第8甲板 施工前 (左) 施工後 (右)

図9 50kW 太陽電池アレイ (搭載工事完了後)

1) 太陽電池

将来の他船への適用も視野に入れ、基本仕様である出力特性、耐候性、固定・接続方法、コストに加えてメンテナンス性なども考慮し、現状では最適と考えられる製品を選定した。

接続は電池、パワーコンディショナー仕様から 14 枚直列 4 並列の 56 枚により 10kW を構成するものとし、電池の傾斜角度は降雨時の排水性を考慮して 5 度の傾斜を設けた。船舶の厳しい使用環境への追加策として、配線サポートと絶縁物を兼ねたパネル補強枠を電池毎に取付け、取付ボルトはすべて SUS 製を使用、長期振動に対してのゆるみ防止対策も行った。搭載後の甲板メンテナンスにも対応できるよう通路の配置、転落防止などにも配慮した。

図 10 太陽電池傾斜角度

2) パワーコンディショナー

太陽電池から出力される直流電力を船内で使用できる交流電力に変換、船内系統に接続するのがパワーコンディショナーの役目である。本取組みでは太陽光発電システムの部分故障時のシステム継続性を重視、出力 10kW のパワーコンディショナーを 5 台使用、各々 10kW の独立システムとして定格 50kW システムを構築した。独立システムとすることで運転継続性の面以外でも修理、メンテナンス、MPPT（最大電力追従制御）向上などにも役立つため、複数台のパワーコンディショナーによるシステム構築がより良いと考える。

3) 接続箱

各太陽電池からの配線を整然と行い、保守・点検時に回路を分離し作業を容易にする役目を担っている。接続箱についても 10kW ごとに独立させて設けることとした。設置場所が暴露甲板のため、箱体を防水構造にしさらに防錆性も考慮した仕様とした。

図 11 パワーコンディショナー（左）接続箱（右）

4) 観測機器並びにデータ収集装置

太陽電池の出力は日射と温度に影響を受けるため、最上甲板に日射計並びに温度計を設置し環境計測を行うこととした。これらの観測データと各パワーコンディショナーの入出力情報、さらに陸電関連データを本船事務室に搭載したデータ収集装置に取り込み、システムの常時監視と長期に渡るシステム性能評価がスムーズに行えるよう配慮した設計を行った。

図 12 データ収集装置

5) 陸電・太陽光監視制御モニター

太陽光発電システムの各パワーコンディショナーの状態表示を行っており、異常が発生した場合に警報表示を行う。また、現在の発電量の表示も可能である。

6) 架台・配線

暴露甲板に搭載される太陽電池の架台は防錆性や風圧などを考慮した強固なものを設置、線材に関しては船用電線を可能な限り使用し、電線の固縛に関しても JG 規則を準拠した。

6. 太陽光発電船舶適用時の課題

船舶向け太陽光発電システムとして考慮しておきたい技術的要件としては太陽光パネルの耐振動、耐塩害並びに耐風圧などを主としてあげることが出来る。本取組みとしては、短納期やコスト面での制約があったものの耐塩性を持ったパネルの選定、数回に渡る本船振動計測の実施、耐風圧のための検討・対策を可能な限り行った。

今後の本格的な船舶搭載へ向けデータを蓄積していく必要があるため、本取組みの事例を経過観察しつつ最適システムの検討・構築が必要である。

図 13 本船振動計測

7. 施工工事

計画決定時期の関係で造船所へ入船することが不可能となったため、運航中の日中停泊時にすべての改造工事を行なった。短工期から主工事場所を南港、補助工事場所を新門司とし両港での工事を計画し、重機を使つての重量物搭載や溶接などの大掛かりな作業は南港、内装・防熱など人力のみの作業を新門司で行い工期短縮を図った。結果として約1ヶ月は両港での工事、その後は基本的に南港中心で、必要に応じて新門司港でも工事を行った。特筆すべき点は、業界でもまれな運航中の大規模施工工事で毎夕数百名を乗船させ出港する船特有の課題が数多くあった。12時間停泊ということから工事時間は潤沢にあると想定していたものの、実際には荷役時間や乗組員の就寝を妨げない配慮などから作業内容によっては1日2〜3時間しか施工出来ないことや、乗客が乗船するために内装は毎日完全に元通り復旧する必要があった。もちろん1〜2月の真冬の荒天・低温度により作業者が更なる影響を受けたことは言うまでもない。

図14 南港 F4 バースでの施工工事

図15 第8甲板工事(左) 船内工事(右)

8. 評価

陸電システムは当初計画された運用目標である①簡単接続 ②ワンプッシュ切替を達成した状態で納入を完了。

太陽光発電システムについても計画出力が発電されることを確認した。運用開始から4年経過したが、現在でも問題はなく順調に稼働している。

環境効果面でのCO₂削減量については、一般的に日本国内で陸電を使用することにより停泊中は約60%削減(同発電量比 表1参照)、太陽光発電については約90%以上削減(同発電量比 表1参照)が可能で、現在もデータ収集装置により受電並びに発電データの計測を継続している。

太陽光発電の発電データ例を図16に示す。

図16 太陽光発電システム発電データ例(24H)

表1 各電源のCO₂排出量

電源種類	1KWH発電時のCO ₂ 排出量	備考
船舶発電機(DG)	約800g - CO ₂ /KWH	* 船社資料より算出
陸電システム 電力会社(関西電力)	338g - CO ₂ /KWH	* 官報H19.9.27による
太陽光発電システム (多結晶製品)	約45g - CO ₂ /KWH	* 20年稼働ベース

9. 今後の課題

【陸電】

- ・陸側接続箱の接続作業改善
- ・陸電電力価格低減

【太陽光発電】

- ・船舶向け最適システムの構築
- ・システム価格低減
- ・製品保証
- ・太陽電池架台の最適化
- ・電池などによる出力の安定化
- ・長寿命・メンテフリーの実証
- ・大容量化の検討

10. おわりに

近年、船舶電気業界で盛んに要求され始めた環境対応製品としてフェリー向け陸電システムは初の国内導入、太陽光発電設備は当社初の挑戦にもかかわらず、船舶として 50kW の設計・施工を成し得た。これらの導入により本船停泊中の CO₂ を始めとした排出ガスの大幅な削減が可能となる。この 2 つの設備のコラボレーションは、船舶が陸電を受電した際、電力会社へ支払う電力料金を太陽光発電により発電した電力量分削減が可能となる特徴を有しており、船主の陸電料金負担軽減に寄与している。

本事例は国内港湾ならびに国内船主が船舶停泊時の排出ガス削減への意識を高めることとなり、モデルシステムとして注目を浴びることとなった。

なお、本稿は第 57 回特別基金講演会に発表したものである。

著者紹介

姓 名 森本 敦

・ 1985 年生

・ 寺崎電気産業（株）