

Princess Cruises 向け超大型豪華客船の建造

Debut of First Japanese Large Passenger Cruise Ship for Princess Cruises



斧口 淑郎^{*1}
Yoshiro Onoguchi

岩本 松幸^{*2}
Matsuyuki Iwamoto

千住日出海^{*3}
Hideumi Senju

加永 龍昭^{*4}
Tatsuaki Kanaga

寺田 伸^{*5}
Shin Terada

Princess Cruises 社向け客船 “Diamond Princess” 及び “Sapphire Princess” がそれぞれ2004年2月26日、5月27日当社長崎造船所で竣工、無事船主へ引き渡された。本船は世界最大客船オペレーターであるCarnival グループ・Princess Cruises社のグランドシリーズ最新鋭船として、新しいコンセプトを織り込み、最新テクノロジーを用いた環境にやさしい発電推進・廃棄物処理システム等を搭載した新世代超大型客船であり、両姉妹船は現在米国・メキシコ西海岸クルーズで活躍中である。

1. はじめに

“Diamond Princess” 及び “Sapphire Princess” は(図1)、大手海外クルーズ船社向けにわが国としてはじめて受注・建造した、約116 000総トンの大型豪華客船である。

本報では、本船の概要を紹介すると共に大型客船の設計・建造の技術的課題・特徴として環境対策、排煙・風対策、低振動・低騒音への取り組み、及び2002年10月1日第1番船建造中火災事故発生後の復旧工事の概要について述べる。

2. 本船の概要

本船の主要目を表1、また乗客用スペースの配置を図2に示す。



図1 本船全景 カナダ Victoria沖を並走中の姉妹、左：Sapphire Princess 右：Diamond Princess

2.1 客室

全1 339室のうち72 %が海に面したアウトサイドキャビンとなっており、しかもこれらの78 %の部屋には専用バルコニーが設置されている。また、車椅子等のハンディキャップのある方にも対応できる客室も多数(計29室)配置されている。

2.2 客用公室スペース

船上での楽しみの一つである食事については、

表1 本船主要目

船級	ロイド船級協会
総トン数	約116 000
全長 (m)	約290
垂線間長 (m)	246.0
船幅(型) (m)	37.5
水面上高さ (m)	54.0
計画喫水 (m)	8.05
運航速力 (kt)	22.1
主発電機関	
ディーゼル発電機関 (kW)	2 × 9 450
	2 × 8 400
ガスタービン発電機関 (kW)	1 × 25 000
推進用モータ (kW)	2 × 20 000
プロペラ数	2 × 固定ピッチ
舵数	2
サイドスラスター数	3 × 前部, 3 × 後部
フィンスタビライザー	1 対
総客室数	1 339
乗組員室数	650
最大搭載人員数	4 160

*1 長崎造船所所長室主幹

*2 長崎造船所造船設計部機装設計課主席

*3 長崎造船所造船設計部船装設計課主席

*4 長崎造船所造船設計部電装設計課主席

*5 長崎造船所造船設計部船殻設計課

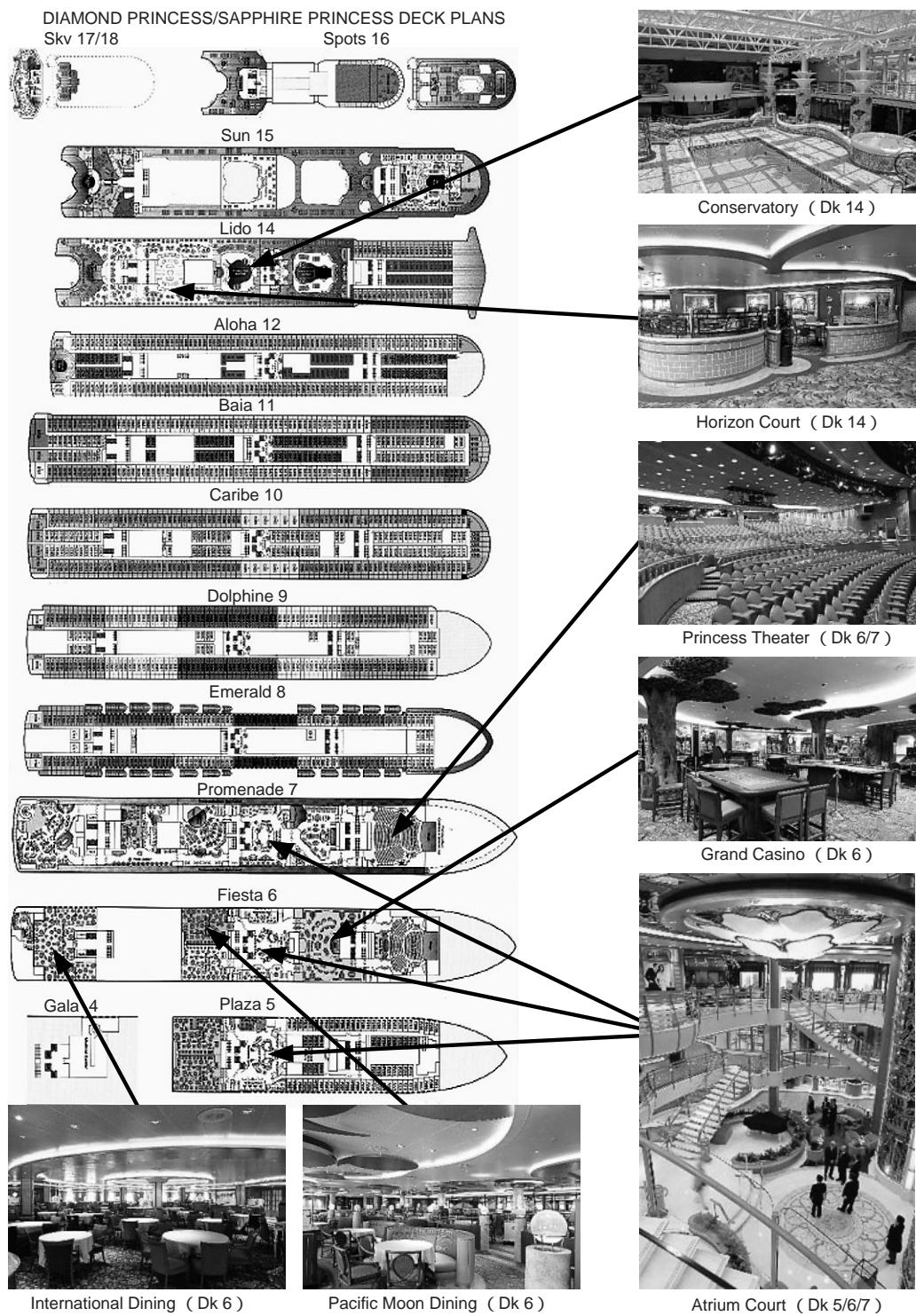


図2 客用スペース配置図及び主要公室

Princess Cruises社のパーソナル・チョイス・ダイニング<お好きなときに、お好きな方と、お好きなテーブルで>コンセプトのもと、

- 1つのメインレストラン
- 4つのテーマレストラン
(イタリアン / アメリカン・ステーキ / メキシカン / アジアン 各テーマ料理のサービス)
- サバティーニ (本格イタリアン料理のサービス)
- ホライゾンコート: 24時間の食事サービス

多種多様なレストランが配置されている。

また、その他公室設備についても、乗船客を飽きさせないバラエティーに富んだ各種ラウンジ、1日2度ミュージカルなどが上演される700席の大型シアター、ラスベガスの雰囲気をそのまま体験できるカジノ、3層吹き抜けエントランスホール、船上最大級のインターネットカフェ、ジム・マッサージ室を備えたスパ、開閉式ドームプールや大小の屋外プール、ミニゴルフコースなど数多くの設備が設けられている。

3. 環境対策への取り組み

最近は、クルーズ客船の就航海域で環境保護に対する規制が年々強化され、アラスカ等では船舶による環境汚染に対し、入港制限や罰金などを課するケースが出てきている。Princess Cruises社のゼロエミッション／クリーンディスチャージをキーワードとした環境ポリシーのもと、本船には最新テクノロジーを用いた環境にやさしい発電推進・廃棄物処理システムが採用されている。

3.1 発電・推進システム

本船は、NOxの大幅低減及びスモークレスを目指し、次世代排煙低減型中速ディーゼル機関4基、ガスタービン1基より構成される複合発電システムと、2基の推進電動機、及び通常型軸系・固定翼プロペラからなる電気推進システムが採用されている。配置面では、船底付近の機関室に配置されたディーゼル機関に対し、ガスタービンはコンパクトで小型軽量であり振動・騒音レベルも低く、客用スペースの拡大を目的とし煙突基部の上方区画に設置されている（図3）。

発電機は通常の均等負荷分担運転に加え、燃料費節減のためのDG PRIORITY MODE（ディーゼル機関主体の運転モード）及び環境に優しい排煙低減のためのGT PRIORITY MODE（ガスタービン主体の運転モード）の不平衡負荷分担運転も可能となっている。

3.2 ゴミ・汚水処理設備

近年のクルーズ客船の大型化に伴い、総乗船人員は数千人規模に達し、船内生活で大量に発生するゴミや汚水の処理が、環境保護面からもクローズアップされている。

3.2.1 ゴミ処理設備

船内で発生するゴミ焼却用に、排ガス処理装置を装備した最新鋭の焼却炉が2基（1600 kW × 2）装備

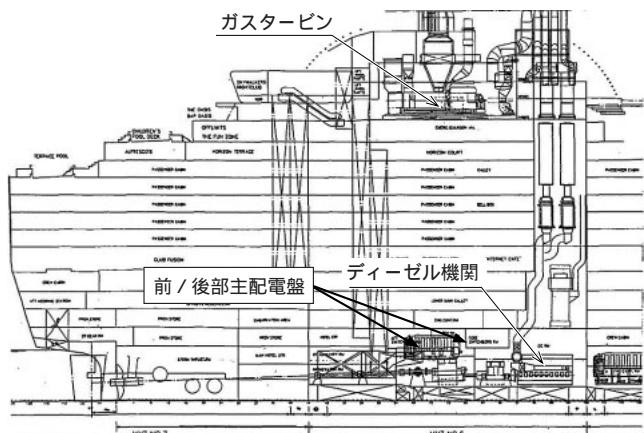


図3 発電機関配置図 ディーゼル機関はDeck 1、ガスタービン Deck16 煙突基部に配置されている。

されている。本排ガス処理装置は、世界で最も厳しい排出基準の一つであるGerman Rule17. BIMSCHV規定値をベースとしており、冷却塔、反応器、フィルタから構成され、焼却炉の排ガスからHCl, NOx, SOx, ダイオキシン、重金属類、ダストなどを除去し、クリーンな排ガスとして大気放出する処理装置である。

3.2.2 汚水処理装置

船内で発生した汚水は、汚水処理装置にて船外排出可能な状態まで浄化し排出される。本船には最新鋭の汚水処理装置が装備されており、不純物を除去し、BODs、大腸菌、汚濁度、固形物などを従来システムの1/10程度にまで減らすことができる。

IMO/USCG 汚水排出基準比較を表2に示す。本表に示すとおり、アラスカ海域では排出基準が強化されているが、この厳しい基準を十分満足する処理装置としている。

4. 排煙・風環境対策への取組み

客船の煙突形状は、オペレーター・シリーズ船により特徴的な形状となっている。本船はグランドシリーズとの位置付けではあるが、ガスタービンの煙突基部への配置、大型ディスコの煙突後部配置及び煙突両舷に本船の特徴であるメタリックシルバー色のポッド形状の装飾（GRP製）が配置される等、従来のグランドシリーズとは異なる要素を持ち、本船独自の煙突形状の開発がなされた。

煙突・ディスコの形状及びその回りの化粧構造については、船主の意図する外観デザインを生かしつつ、煙突からの排ガスがオープンデッキ、ディスコ、化粧煙筒、空気取入口などに触れないようにする必要があり、基本設計段階から長崎研究所と協同して風洞試験により形状の最適化に取り組んだ。

煙突形状の最適化に当たっては、ガスタービン室のスリム化、複数排ガス管の集合配置による排煙上昇の

表2 汚水排出基準

項目	USCG 33 CFR 159PT-1-300	IMO MEPC .2(VI)	USCG/ Alaska 40 CFR 136
テスト期間	10日間	10日間	10日間
浮遊物質 (mg/l)	150以下	50以下 (100 at sea)	30以下
生物化学的 酸素要求量 (mg/l)	規定なし	50以下	30以下
ふん便性 大腸菌群数 (pcs/100 ml)	200以下	250以下	20以下
PH値	規定なし	規定なし	6.0-9.0
塩素イオン (mg/l)	規定なし	実用可能範囲 で少なく	10.0以下

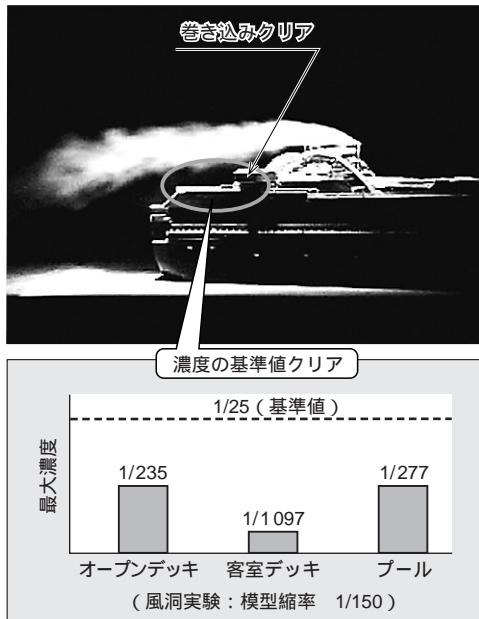


図4 風洞試験結果 採用煙突デザインの正面風向風状態での風洞試験結果を示す。Open Deckへの排煙巻き込み・落下は認められない。

促進、及び煙突周り化粧構造物の開口率（外観デザインとの調和も含め）等がキーポイントとなった。図4に採用煙突形状の風洞試験結果の一例を示すが、オープンデッキへの排煙巻き込み・落下もなく、排煙濃度要求基準も満足されている。

5. 低振動・低騒音化への取組み

客船はその静謐性が商品価値を決める重要な要素の一つであり、振動・騒音の低減は最重要技術課題である。この低振動・低騒音化へ向け、低起振力プロペラの開発及び設計段階における最適な船体防振設計・騒音予測を展開するとともに、建造中の起振機実験、造船所試走運転での検証・フィードバックを行い、海上公試運転で所期の目的通り、許容値を満足する“静かな居住空間”を実現できたことが確認された。

5.1 低起振力プロペラの開発

本船のプロペラ開発にあたっては、キャビテーションの抑制とプロペラ効率の向上という相反する要求を同時に満足させるべくプロペラ翼形状の最適化が図られた。具体的には、種々のプロペラ形状案を立案し、数値シミュレーションにて性能を評価・検討して候補プロペラ形状を絞り込み、模型試験を実施し採用プロペラを決定するという手順で開発が実施された。

また、採用プロペラを決定する模型試験は、船主殿要求もあり、当社長崎研究所での模型試験に加えて、欧州の大型キャビテーション水槽にて模型船の船後状態において当社開発プロペラと、第三者（欧州水槽）

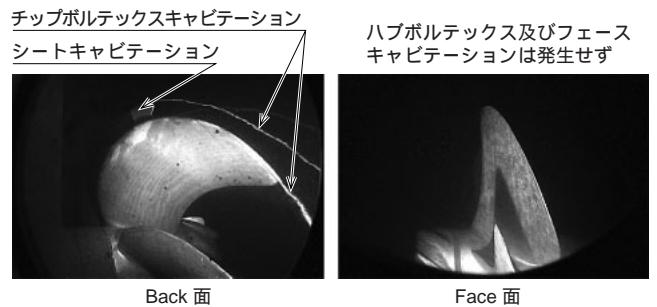


図5 実船キャビテーション観察結果 模型試験と同様良好なキャビテーション性能が確認された。

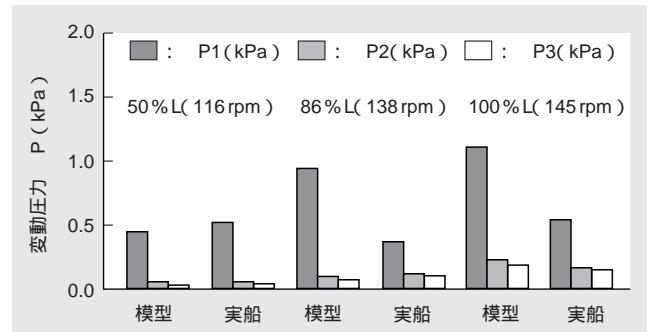


図6 実船サーフェースフォース計測結果 模型試験の半分程度の大きさであり低起振力プロペラであることが確認された。

設計プロペラの比較模型試験が実施され、総合的に最も性能の良い当社デザインのプロペラ（内回り）が採用された。

5.1.1 実船検証試験結果

造船所試走運転でのキャビテーション観察及び変動圧力計測結果を図5及び図6に示す。実船最大出力でのキャビテーション発生状況は、チップボルテックスキャビテーションと薄いシートキャビテーションが発生しているのみであり、模型試験結果とほぼ同様の良好なキャビテーション性能であることが確認された。

また変動圧力は模型試験結果の約半分の大きさであり、所期の目標以上の低起振力プロペラであることが検証された。

5.2 船体防振設計

本船はディーゼル主機関及びガスタービンにより主発電機を駆動する電気推進方式を採用しているため、主要な起振源はプロペラ起振力となる。一方船体構造はその上部が全長にわたり居住区画であるため、一般商船と比較して剛性の低い部材の組合せとなる。したがって設計段階においてはプロペラ起振力による船体各部の応答予測をベースとした詳細な振動検討が実施された。

5.2.1 全船詳細振動応答検討

船尾部に入力されたプロペラ起振力は主船体の節振動を介して船長方向に伝播され、これがピラーや鋼壁

を介してデッキの局部振動を発生させる。この振動伝播特性を定量的に評価するためには全船を有限要素法等でモデル化することが必要であるが、一般に全船モデルを用いて計算する場合、計算機能力や出力ハンドリングの煩雑さからモデルの精密化には限界がある。本船の設計にあたっては当社長崎研究所にて開発されたモーダル伝播解析法を適用し、船長方向に分割された複数の詳細モデルから得られる振動特性を結合することにより、船の全域にわたり詳細な振動特性が検証された。本解析のイメージを図7に示す。

また、客船特有の調度品や家具等による振動減衰への影響については、客室モックアップでのハンマリング試験により減衰程度を推定し、振動応答計算時に考慮された。

これら解析により得られた船体各部の振動特性は、その共振回避状況や応答レベルに応じて構造補強、重量付加等の適切な対策が講じられ、船体構造図面へ織り込まれた。

5.2.2 実船振動試験及び船体振動計測結果

建造段階においては、船尾部に搭載した起振機による実船振動試験で起振源からの振動伝播特性が検証された。本試験において振動応答超過が予想される箇所については構造補強などの対策が講じられた。

海上公試運転時の船体振動計測結果の一例として振動応答レベルの船長方向分布を、設計段階の解析による予測値とともに図8に示す。全ての計測点で許容値

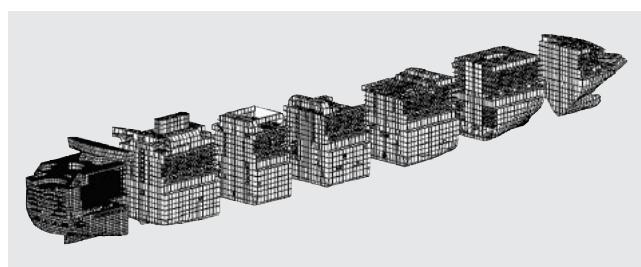


図7 詳細解析モデル

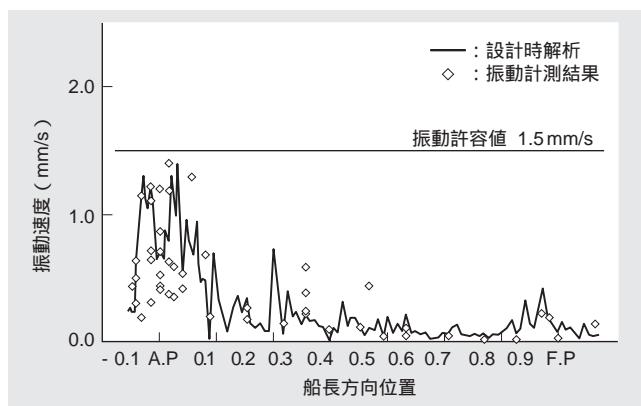


図8 振動応答レベル船長方向分布 全ての計測点で許容値を満足、設計段階での推定値ともよく一致している。

を満足することが確認されるとともに、今回適用した詳細応答解析法が十分実用的な精度を有することも確認された。

5.3 低騒音設計

具体的な騒音規制値としては、(1)定常騒音値、(2)居室間の遮音度、(3)機器運転時の過渡音、(4)衝撃音がある。各騒音規制課題に対し、以下の取り組みを実施し、規定値を満足する低騒音客船であることが確認された。

(1) 定常騒音値の規制

設計初期段階に船全体の騒音予測計算を実施するとともに、この分野で実績のあるDNV(ノルウェー船級協会)にプロペラ起振力・船尾部の騒音予測計算を依頼し、騒音予測の検証を実施した。本予測計算結果をもとに騒音対策書を作成するとともに、試運転等での二千点におよぶ計測とそのフィードバックを重ねることで、その完成度を高めた。実施対策の一例として、船尾居室区画を図9に示す。

(2) 居室間の遮音度

エンターテインメントが行われる劇場・ラウンジと客室との遮音度を規定している。特に重防音構造、防振床施工などを重点的に検証・実施した。

(3) 機器運転時の過渡音

機器運転状態と停止状態での騒音値の差が、規制値(2~3 dBA)以内に収まることが要求されており、就寝中に不快な思いをせぬように定められたものである。きめ細かな機器・配管への防振対策及び周囲の防音対策が要求され、結果的に本対策に最も苦戦することとなった。

(4) 衝撃音

直上デッキでのダンス、スポーツ、作業車走行などにより発生する騒音に対する真下の部屋の騒音値

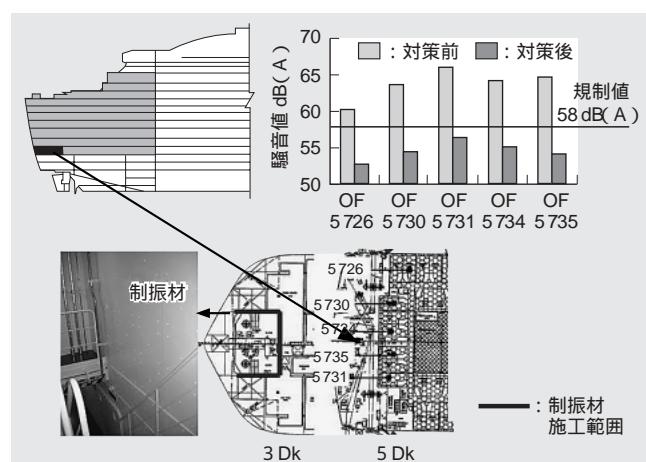


図9 船尾区画騒音対策例 プロペラ直上の下層甲板壁に制振材施工によりDeck 5 乗組員居室の騒音レベルが規制値以下のレベルを達成。

を規定しており、モックアップでの試験計測等をもとに、制振甲板施工等の防音対策を実施した。

6. 保安・防火設備

総乗船人員が4,000人以上となる本船では、各種保安・消火設備（火災探知システム、スプリンクラー消火装置、固定式炭酸ガス消火装置、局所水噴射消火装置、防火扉、水密扉、空調・通風防火ダンバ等々）の情報は膨大となる。

Princess Cruises社では、偶発的に起こる火災や浸水等の被害に適切に処置するため、本船の保安・消火装置全体を統合監視・操作する Safety Management System (SMS) を開発しており、本船にもその最新バージョンが装備されている。

SMSは、膨大な情報を乗員に見やすい形で表示し、多数の定められた手順の中から状況に応じた適切な処置、例えば、火災検知から当該空調・通風装置、防火扉等の制御を実施するための意志決定を支援できるようになっている。

7. 建造中火災事故からの復旧

2002年10月1日、第一回造船所海上試運転を間近に控えた第1番船で、Deck 5の客室より出火し、船体の約4割を焼損するという火災事故が発生した（人身事故はなし）。

幸い機関部区画への被害はなく、船主及び当社は復旧し建造継続することで合意した。

両船は船名を入れ替え、後続船として建造中であった船を第1番船“Diamond Princess”とし、火災事故に遭った船を“Sapphire Princess”とし、それぞれ引渡しを2004年2月末、5月末に変更した。

これは、一つの造船所で大型客船2隻をほぼ同時建造することに相当し世界初の挑戦でもあり、Diamond Princessは従来通り本工場で建造を行い、Sapphire Princessは香焼修繕Dockへシフトし、損傷部撤去解体・復旧・建造工事を取り進めた。

合わせて、再発防止に向け、関係先と協議の上防火／消防要領の抜本見直しが行われ、両船への適用が速やかに実施された。

船主・ロイド船級協会をはじめとしてすべての関係各位の協力・信頼・チームワークのもと、2003年9月復旧工事を終え、新たに“Sapphire Princess”として無事進水を迎える事ができた（図10）。



図10 Sapphire Princess 進水 復旧工事を終え新に Sapphire Princess として無事進水式を迎える。

8. ま と め

客船建造は、欧州大手4造船所の寡占状態であったが、今回あらためて当社が世界一流の客船建造ヤードであることを世界に披露するとともに、造船業のすばらしさを示したと考える。

一方クルーズマーケットは、2001年9月11日米国同時テロ以降の落ち込みよりすでに回復し、米国及び近年成長の著しい欧州マーケットを中心に、持続的な成長を維持することが見込まれ、年間8隻程度の大型客船の需要が引き続き期待されている。

今回の両船の建造で得た経験を生かし、かつ更なる工夫・改善努力を続け、今後とも日本の客船建造ヤードとして継続的な建造を目指して行きたい。

最後に本船建造に当たり多大のご指導・ご協力を頂いたPrincess Cruises社、ロイド船級協会をはじめ、本船建造に携ったすべての関係各位に深く感謝致します。



斧口淑郎



岩本松幸



千住日出海



加永龍昭



寺田伸