

## ダイヤモンドプリンセスでの感染と換気設備



2020.9.16

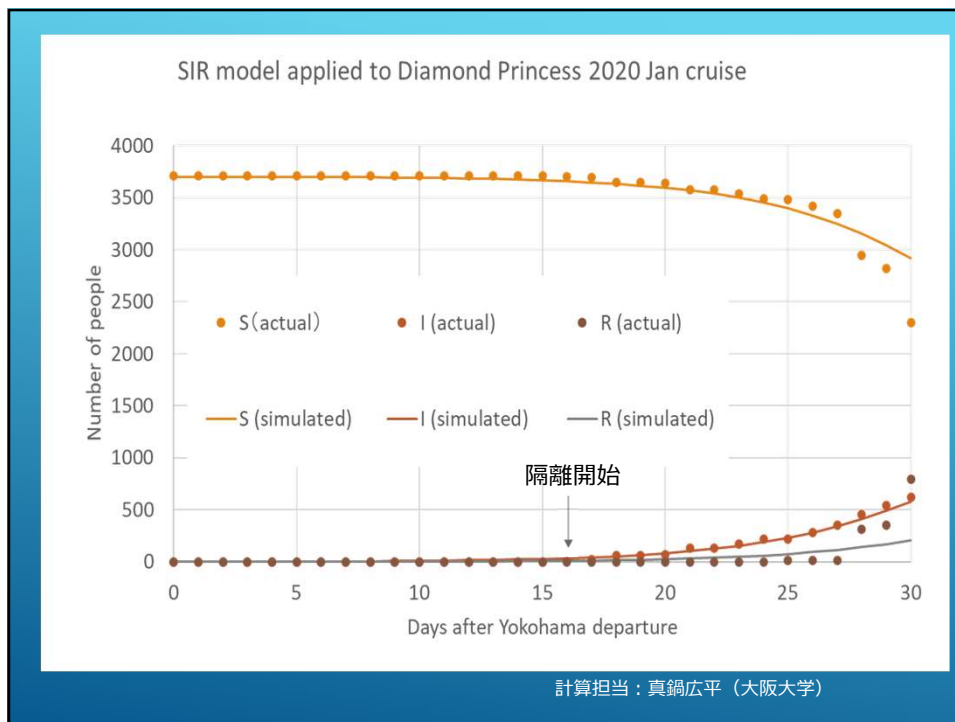
大阪大学 梅田直哉

三菱造船 加藤秀総

大阪経済法科大学・大阪府立大学名誉教授 池田良穂

## ダイヤモンドプリンセスの感染禍

- ▶3700名余りの乗客・乗員を乗せ、2020年1月20日に横浜から15泊の東南アジアクルーズに出港。
- ▶6日目に香港で下船した乗客が、新型コロナウイルスによる肺炎を発症したことが判明。
- ▶クルーズ13日目の那覇寄港時にダイヤモンドプリンセスに連絡。
- ▶その後も船上ではそれまでと変わらぬサービスが続けられた。
- ▶最終港である日本の政府は危機感をもち、那覇での検疫を取り消し、全速で横浜まで帰港して再検疫を受けることを指示。
- ▶2月3日の夜に横浜沖に到着し、症状のある乗客273名のウイルス検査
- ▶10人の感染が5日朝に判明した。
- ▶感染者を陸上の医療施設に移し、残りの乗客は船室隔離。
- ▶2週間にわたり、症状が出て感染が判明した乗客は順次陸上の病院に搬送された。
- ▶隔離期間は新型コロナウイルスの潜伏期間の目安となっていた2週間。
- ▶隔離が終了した時点で621人の乗客の感染が判明した。

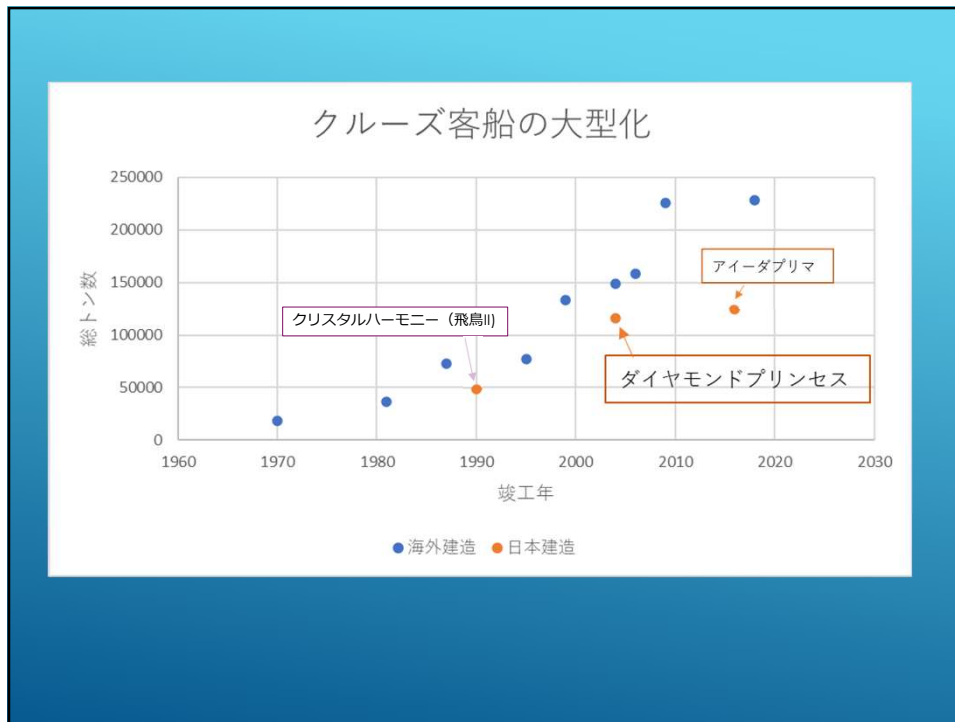


## 1. 大型客船における空調システムの設計基準

空調システムの構成について、その設計基準のもとになっているのは、以下の考え方

- 乗客用の区画(客室+公室)は居住性から臭気対策が重要で、100%新鮮空気(FA)が基本。
- 高温高湿度の新鮮空気を温調、調湿するには大容量の熱交換が必要（空調機の冷却/暖房能力が大きくなり、それに伴い空調システムの消費電力があがる）
- 空調システムの消費電力は、船全体の消費電力に占める割合も大きく、これを抑えることは船の電力事情としては大きな課題である。

上記に着目しながら、船の規模、発電量に合わせて、空調方式/空調能力/消費電力をうまくバランスさせることが重要



## 2. クルーズ業界における空調システムの考え方

客船の空調システムは、その時代、環境の変化に合わせて空調システムの構成が変遷してきている。

### 飛鳥II(旧クリスタルハーモニー)が建造されていた頃(1990年初頭迄)

- ◆ 設計標準は100%FA設計となっており熱交換器(レゴターム)を用いて排気から給気へ熱交換することで潜熱(25%位)を回収している。
- ◆ 客室の温度調整においては冷気と暖気をそれぞれのダクト(ツインダクト)を經由して各部屋へ給気し、末端の吹出ボックスで冷気/暖気の混合比を変える様式となっている。
- ◆ 排気については、一部を自室内の衛生区画(バスルーム)よりダクトを介して船外へ排気、多くは各室出入口扉の通風口(ドアルーバー)経由で通路に導かれ通路より、ダクトを介して各空調機室へ戻りレゴターム経由で船外へ排気。

## 2. クルーズ業界における空調システムの考え方

### 1990年中頃の大型客船(7万GTクラスメガシップ)の方式

- ◆ 客室数や公室面積の増加により空調システムの消費電力を押える設計として空気循環を採用することが主流となった。

ダイヤモンドプリンセスでは循環空気量は客室区画の空調機で70% (30%は新鮮空気処理)、公室区画の空調機で50% (50%は新鮮空気処理) となっており、米国でコロナ被害を受けたグランドプリンセスとも全く同じ構成となっている。

- ◆ 空気循環を採用する場合には特に喫煙による副流煙を避ける為に客室と公室(限られた喫煙公室は除く)は禁煙である運用が前提となる。
- ◆ 客室の温度調整においては総ダクト長が長くなるツインダクト方式を止めて、シングルダクトで各部屋へ給気し、末端の吹出ボックスで風量調整+電気ヒータでの加熱による温調方式となった。
- ◆ 排気については、一部を自室内の衛生区画(バスルーム)よりダクトを介して船外へ排気、多くは各室出入口扉の通風口(ドアルーバー)経由で通路に導かれ通路より、ダクトを介して各空調機室へ戻りそのまま船外へ排気。

## 2. クルーズ業界における空調システムの考え方

### 2010年頃からは「アイーダプリマ」で採用したFCU方式へ変化

- ◆ 電子部品であるPLCの価格が下がり、それを使用しているファンコイルユニット(FCU)のコストも下がって来たことからチラー水を各客室へ分配し、各室において自室内の空気を循環して空調をする方式に流れが変わり、大量の空気を空調機より給気する必要が無くなって来た。
- ◆ 各室への供給風量は規則で定められた必要最小限の新鮮空気量とすれば良いので、これにより空調機において大幅な省エネが実現化した。
- ◆ これに伴い、空調機室から各室に引き回すダクトを通過する風量が少なくなったことから、このダクトサイズも小さくなりダクトの総物量が減る事にもなった。
- ◆ この頃、各室への供給風量が減少したことから、客室や公室に関しては循環空気をとらないようになって来たため、再び熱交換器(レゴターム)を介して、排気から潜熱を回収するようになった。

## 2. クルーズ業界における空調システムの考え方

### 2010年頃からは「アイダプリマ」で採用したFCU方式へ変化(つづき)

- ◆ 規則で定められた必要最小限の新鮮空気量の考え方は、ISO7547で定められた必要風量は25m<sup>3</sup>/h/人以上であることから、この風量については空調機室より一次温調・調湿された空気が各室へダクトを介して給気され、同量の空気が自室内の衛生区画(バスルーム)よりダクトを介して船外へ排気されることになる。
- ◆ 従って、各室の出入口扉を経由して通路へ空気が流れるということは無くなり、客室、公室としては100%新鮮空気のセントラル空調システムとFCUを用いた個室循環の組み合わせを採用していくこととなった。
- ◆ 客室に面した通路については、根元の空調機は客室の空調機と同じとなるが、独立した系統となっており、基本的に通路毎で空気バランスは平衡状態となっている。
- ◆ 通路の排気については客室の排気と同様に、ダクト(客室とは別系統)を介して、船外への排気となる。

## 3. ダイヤモンドプリンセスの概要

### ダイヤモンドプリンセスの主要目

船 級	:ロイド 船級協会
総トン数	:116,000 GT
全 長	:290.0 m
船 幅	:37.5 m
最大船幅	:41.5 m
深 さ	:41.3 m
水面上高さ	:54.0 m
計画喫水	:8.05 m
航海速力	:22.1 knots



総客室数:1,337室  
(海側率72%、バルコニー付率56%)  
乗員室数:650室  
最大搭載人員数:4,160名

#### 4. 空調システムの設計基準(1/2)

##### 空調システムの設計温湿度条件

	夏季	冬季
外気温湿度	35°C、80%RH	-5°C、85%RH
船内温湿度	24°C、50%RH	22°C、30-50%RH

本船建造当時のクルーズ業界の標準的な温湿度条件

#### 4. 空調システムの設計基準(2/2)

##### 新鮮空気量の考え方

	新鮮空気量の割合
居室(乗客、乗務員共)	30%
公室(乗客、乗務員共)	50%
階段室	50%
調理室	100%
病室	100%

- ・本船の建造当時、省エネ対策として新鮮空気を一部取り入れて還気させることが一般的になっていた。
- ・調理室、病室は、衛生と臭気対策の観点から新鮮空気100%の条件とした。

## 5. 空調システムの設計思想

・ダイヤモンドプリンセスは14層のデッキ(船尾部では17層)と主防火区画7ゾーンで構成されている。

・空調システムはこの主防火区画ごとにシステムを構築しており、主防火区画を跨いで空調しないように設計された。

・また、空調システムは居室区画、公室区画、調理室、病室、階段室、業務区画で空調装置を分けており、区画毎に空調管理できるようになっている。

・そのため、空調システムの系統数は右のように船全体で85系統となった。

ゾーン1	: 7系統
ゾーン2	: 14系統
ゾーン3	: 9系統
ゾーン4	: 10系統
ゾーン5	: 11系統
ゾーン6	: 21系統
ゾーン7	: 13系統

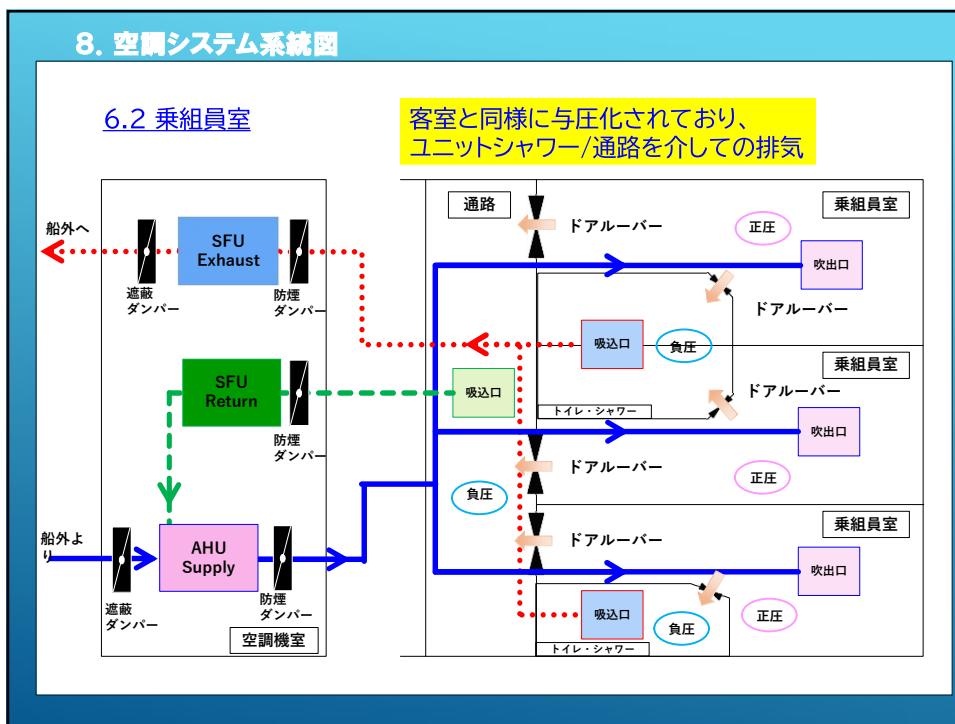
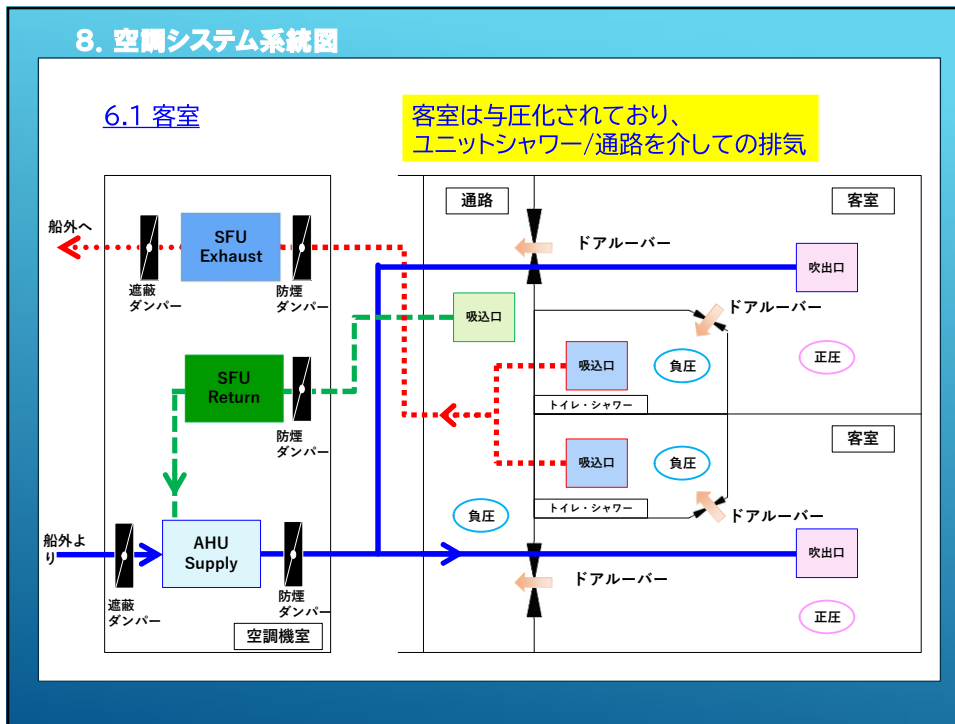
## 6. 空調方式について

### 本船の空調方式

本船の空調方式はセントラル方式を採用しており、チリングユニットを船内最下層に配置し、各空調機室に配置したエアハンドリングユニットに冷却水を分配している。

### 空調システムの主要機器

・エアハンドリングユニット:AHU	…	85台
・シングルファンユニット:SFU	…	147台
・チリングユニット:CCU	…	4台
・ファンコイルユニット:FCU	…	44台
・防火ダンパー:FD	}	… 870個
・防煙ダンパー:SD		
・遮蔽ダンパー:SH		
・制御パネル	…	85台





## 9. ダイヤモンドプリンセス 船内隔離の対応(懸案事項)

本船における船内隔離の対応を実施するにあたって懸案事項としては以下のことが考えられた。

- ① 船内給気風量不足による船内温度の上昇
- ② 船内正負圧バランスの調整

### ① 船内給気風量不足による船内温度の上昇

循環システムを閉鎖したことにより、設計上、客室/乗務員室の給気量は通常の30%となるため室温の調整が懸念された。  
 実際は、AHU能力は変化せず、設計以上の新鮮空気を取り込んだ状態となり、循環システム閉鎖後に船内環境を確認したところ、温度上昇は感じられたが、生活できないレベルではないという報告を受けた。  
 本船では対策実施当時、3月でまだ外気温も高くなく冷暖房なしでも生活できる温度環境であったことも幸いしたと考える。

### ② 船内正負圧バランスの調整

階段室など公共の区画で一部陰圧となってしまったが、最も守るべき居室は与圧化できたため優先度を考え、問題なしと判断した。  
 本船は、船全体では与圧コントロールとなっていたため、循環システムを閉鎖することで若干ながら船全体は陰圧となったが、運用上の問題にはならなかった。

## 10. ダイヤモンドプリンセス 船内隔離の対応

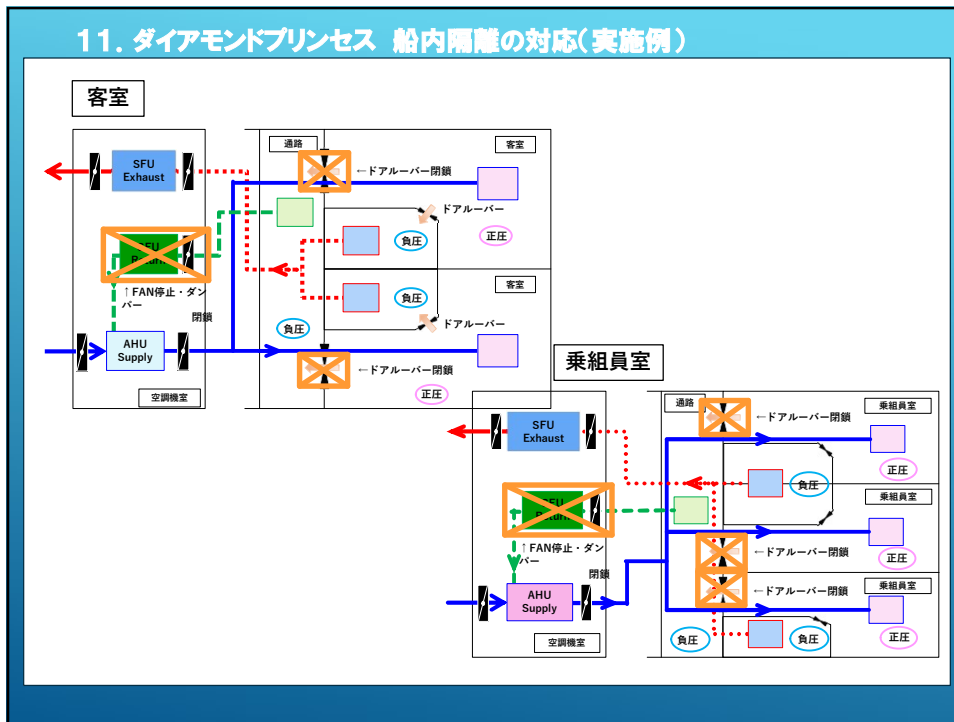
- 本船が横浜に入港後、厚生労働省から派遣された医療スタッフから連絡を受けた時には、すでにウイルス感染者は発見されており、感染拡大を防ぐため、医療スタッフからの提案は、船内の空気循環を止めたということであった。

- ① 本船は、系統図の通り、船全体で空気循環をしているため、循環用のファンを停止し、それにつながる防火/防煙ダンパーを閉鎖
- ② 客室/乗組員室の空気が室外に漏れると周囲の区画へ空気が拡散されるため、ドアルーパーを閉鎖し、居室と通路の空気のやり取りを閉鎖

- 乗客は客室からの外出を禁じるとの方針もあり、ウイルス未感染の乗客に対する感染リスクを低減するため、客室は与圧コントロールする必要があった。

- ① 客室は室内空気をユニットシャワーからの吸込と通路への吐出でバランスをとっていたため、通路への吐出を閉鎖したことで、客室内は与圧状態となった。

## 11. ダイヤモンドプリンセス 船内隔離の対応(実施例)



## クルーズ客船の新型コロナウイルス等感染防止についての提言

日本クルーズ&フェリー学会・大阪大学海事戦略研究イニシアティブ  
合同緊急検討作業グループ（梅田直哉、加藤秀総、竹田太樹、渡辺孝則、池田良穂）

### 1. 現存船

#### A) 船室が独立空調の場合（おおむね2010年以降の建造船で主流として採用されているファンコイルユニット方式）

換気系統への配慮（要すれば、2項に準拠）の他、特段の対策を要しない。

#### B) 船室が独立空調でない場合

船内循環の排気リターンラインを遮断する方法のマニュアルを船内又は船社に常備すること。そして、船内に感染者が出た場合には、感染者を船内病院併設病室に隔離するとともに、すべての船室の排気リターンラインを船上で乗員が速やかに遮断すること。

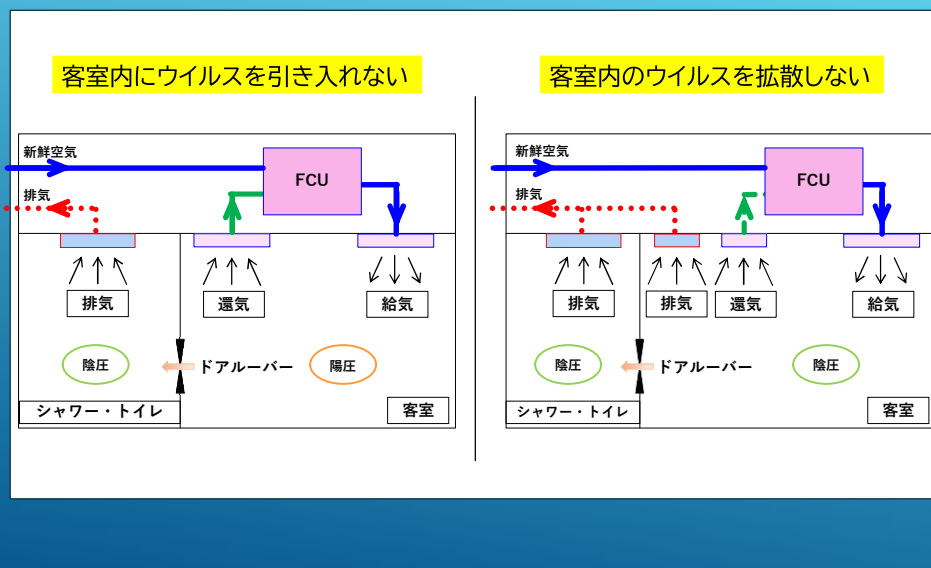
## 2. 新造船または改造船で安全性の付加価値を与える場合

- 1) ファンコイルユニット方式で船室の空調を独立させる。
- 2) 船室入り口に、空気調節のための前室を設け、その両側の扉を気密かつインターロック機能を持たせる。
- 3) 圧力センサーを船室内に設ける(集中監視のため)。そして、感染者発生時には吸排気口のHEPAフィルターを装備したバイパスラインを経由させる。
- 4) 感染者が出た船室では、船室内の排気風量を増やすことにより陰圧とする。
- 5) 非感染者の船室内では、船室内の新鮮空気量を増やすことにより陽圧とする。
- 6) 感染者発生時の船内の給食は、前室内の棚での受け渡しとして、給食者と居室者の接触を避ける。

▶ このレベルの客船は、今回のような大規模感染症蔓延期には、病院船としての用船も可能となる。

## 12. 今後の展望(コロナウイルス対策)

▶ 各客室の使用目的に合わせて、その客室を陽圧/陰圧化する。



## まとめ

- クルーズ客船における空調システムの変遷を概説するとともに、2020年1月～2月におけるダイヤモンドプリンセス船内での新型コロナウイルス発生を受けて緊急実施した、空調面での船内隔離の対応を説明した。
- さらに、今後のクルーズ再開に向けた客船の感染症対策のあり方について、日本クルーズ&フェリー学会の提言を紹介した。