

## 《特集：室内の換気と空気浄化①》

〔展望・解説〕

## 船舶の換気・空調システム



池田良穂\*

## Ventilation and Air Conditioning Systems of Ships

Yoshiho IKEDA

## 1. はじめに

2020年2月に、横浜港に帰港した11万総トンのクルーズ客船「ダイヤモンド・プリンセス」での新型コロナウイルスの集団感染は世間を震撼させた。そしてクルーズ客船は換気の悪い閉塞空間という風評がマスコミ等を通じて拡散した。さらに船内客室に隔離された乗客の間で、隔離後も感染が広がったという間違った情報は、今でも、巷で信じられているから恐ろしい。改めて、日本における科学リテラシー普及の必要性を痛感する1年間であった。

本稿では、この「ダイヤモンド・プリンセス」の換気・空調設備にも触れながら、船舶の換気・空調システムについて概説したい。

## 2. 自然換気と強制換気

船舶は、海の上を航走するので、自然の風を取り入れるのは比較的容易であった。かつて客船の上には、たくさんのキセル型の通気筒(カ

ウルヘッド型ベンチレーター)が林立していた(Fig. 1)。特に大型高速の定期客船では、大出力の蒸気タービン機関での石炭燃焼に大量の空気が必要となったため、たくさんの通気塔が必要となった(Fig. 2)。このキセル型通気筒では吸入口を船首方向に向ければ、動力なしに空気を取り込むことができた。

ディーゼル機関の時代になっても、船には通気筒が必須であった。電動ファンで強制的に空

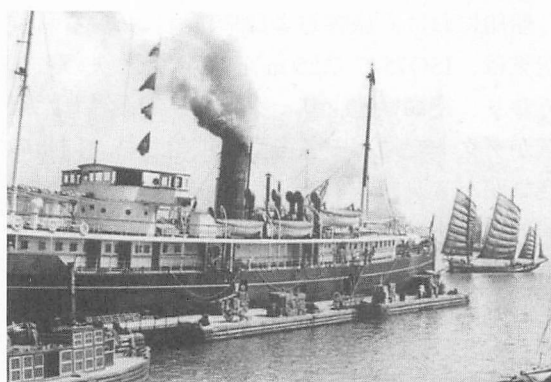


Fig. 1 Cowl head ventilators bristling on deck of a small passenger ships in old days

\*大阪経済法科大学

Email : tyi00716@osakafu-u.ac.jp

原稿受付日 令和3年3月1日

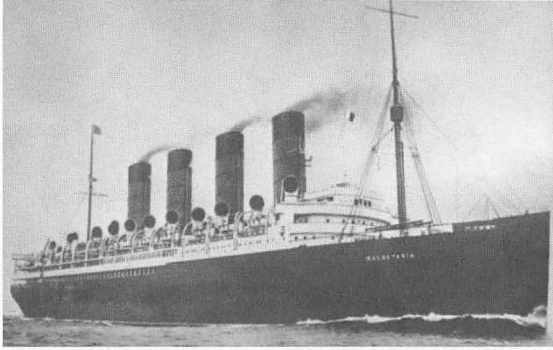


Fig. 2 Many large ventilators for taking a lot of air into engines of a trans-Atlantic Liner

気を取り込むようになると、雨や海水が入りにくいように、帽子があってその下から空気を取り込むキノコ型、取り入れ口が下を向いたグースネック型などが現れたが、今では、電動ファンの能力も向上して、壁に吸入口を開けたタイプが主流となり、船のデッキ上の通気筒の数は少なくなり、通気塔が林立する光景は姿を消した。

船では、エンジン以外にも大量の空気が必要なことがある。例えば、最近の船で大きな強制換気が必要なのは自動車専用船である。船内に自走で数千台の車を積み下ろしする時に、車から排出される大量の排気ガスが船内に溜まるのを防ぐためである。

船舶における旅客および乗組員に必要な新鮮空気は、ISO7547で $25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{人}$ 以上と決められており、空調機室より一次調温・調湿された空気がダクトを通過して各客室に供給され、同量の空気がバスルームの換気口からダクトを通過して船外に排出されている。ちなみに「ダイヤモンド・プリンセス」では $382 \text{ m}^3/\text{h}/\text{人}$ となっており、この基準の15倍近い。

### 3. 船内空調の歴史

客船では、乗客の快適な船内生活を確保する

ために、単に換気だけでなく、温度と湿度の調整も必要となる。例えば冬場の航海では、エンジン等からの排熱やボイラーを利用して、船内に暖気または蒸気を供給することが可能であった。いわゆるセントラルヒーティングである。各船室の天井には、ダクトからの暖気の吹き出し口があり、その流量を調整することで各部屋の温度調整ができた。

しかし、夏場の航海では事情が違った。特に大西洋や太平洋等の大洋を東西に渡る航路では、きつい日射で南側の船体鋼板が焼けて熱くなり、さらに日差しが差し込む南向きの船室は特に不快で、料金も安く設定されていたほどだ。

記録に残る最初に冷房装置が搭載された船舶は、米戦艦「ワイオミング」とされ、遠心冷凍機を使ったもので、1925年のことであった。1930年代には大西洋横断航路の定期客船でも1等のサロンや客室に冷房装置が搭載されていたという。日本では、1936年に関釜連絡船「興安丸」(Fig. 3)「金剛丸」に冷房装置が搭載され、容量170 kWの遠心冷凍機と、単一ダクトで冷風を各室に送風するエア・ハンドリング・ユニットを組み合わせたものであった。日本の外航客船で最初に冷暖房可能な空調設備が取り付けられたのは、1940年に竣工した日本郵船の「新

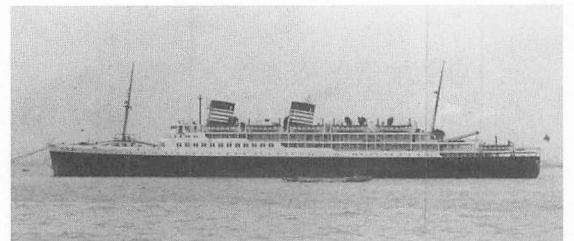


Fig. 3 The Koan Maru on which a cooling equipment for passengers was first installed in Japanese passenger ship (photo. By M. Yamada)

田丸」で、1、2等の公室と1等客室の温度調整がなされたという。同船は、欧州航路用に完成したが、第2次大戦の勃発によって、太平洋航路に転配となり、さらに1年後には太平洋戦争が始まって航空母艦に改造された。

#### 4. 空調の原理

ここで、少し空調の原理に触れておきたい。空調とは空気調和の略で、空気の温度と湿度、清浄度、気流などを調整することである。空気の温度調整には、一般家庭のエアコンのように、室内機と室外機の間で冷媒ガスを循環させ、圧縮機で高圧にして液化する時に発生する熱で高温を得て、その液体を膨張弁のノズル穴から噴射して気体に戻る時に周りの熱を奪って冷却されることを利用して低温を得ている。発熱部と冷却部にそれぞれに金属製の熱交換器を設置して、そこに外部からの空気を通すことで、温かい空気と冷たい空気を作ることができる。冷媒ガスにはフロン類が広く使われていたが、オゾン層を破壊する環境問題から、順次使用が制限されており、代替フロンとしてハイドロフルオロカーボン(HFC)やハイドロフルオロオレフィン(HFO)が開発されている。

空気の冷却方式は、空調利用場所で液体状態の冷媒を膨張気化させて空気を冷やす直接膨張式と、大型のチリングユニット(チラー)で製造した冷水等をエア・ハンドリング・ユニットに送って空気を冷やしてから利用場所に送風する間接膨張式があり、多くの船舶では両方のシステムが使われており、比較的狭い区画の空調には前者が、広い客室および公室区画等には後者が使われていることが多い。

#### 5. 客船の換気・空調

大型客船の換気では、吸引した空気は空調機を通して温度および湿度をコントロールした上

で、船内の各部屋に送られている。冷房時には、間接膨張式の冷熱器チラーで冷水を作り、それで冷却された熱交換器で空気を冷やしてから部屋にダクトを通して送風された。一方、暖房では蒸気利用の温水ヒーターで温めて送風するのが一般的であった。

昔から客船の空調は100%新鮮空気を設計条件としていることが多かったが<sup>(1)</sup>、1990年代に入ってクルーズ客船の大型化が急速に進んだ過程で、温度調整された空気の一部を省エネ対策として船内で循環させる方式が取り入れられた。2004年に三菱重工で建造された「ダイヤモンド・プリンセス」では、新鮮空気の割合が客室で30%、公室・階段室で50%、病室と厨房は100%とされている<sup>(1)</sup>。ただし、冒頭に紹介した同船での新型コロナウイルスの集団感染では船内隔離時に、客室から廊下を通して流れる空気の船内循環ループを止めて、すべて外気に切り替えられたので、マスコミ等が報じるような船内での空気循環はなかったこととなる<sup>(2)</sup>。また、換気回数は、1時間に客室が8回、公室は10~15回、メディカルセンターは30~50回であり、陸上と同水準となっている。

また、同船はコロナ禍後の再就航にあたり、空気吸入口にMERV-13レベルの高性能フィルターを設置して、空気中の粒子の除去を行い、さらに空気が循環する船内エリアでは、紫外線照射によりウイルス・菌を取り除く空気清浄システムを導入している。また、船内医務室ではHEPAフィルターを通した空気の吸排気を行い、かつ陰圧管理がなされている<sup>(4)</sup>。

なお最近の建造客船の多くでは、客室の空調にはファンコイルユニット方式が採用されることが多くなり、この場合にはチラーからの冷水等の冷媒が各客室まで送られ、空気は各室内で空気が循環することとなり、客室間および客室・廊下間での空気循環はなくなった。

## 6. 船舶独特の空調仕様とは

船舶の空調が、一般の陸上の空調と異なる点は以下の通りである。

### 6-1 船舶特有の各種規則への対応

外航船舶に関する規則は、国連の専門機関である国際海事機関(IMO)が国際規則として決められており、それぞれの船舶の所属する国(旗国)によって検査・監督される。また主要海運国にある船級協会(Table 1)が、その検査を代行することも多く、それぞれが船級協会規則をもっている。なお、内航船舶については、国内法に基づいて日本国政府が直接検査・監督を行う。また、国際標準化機構(ISO)の規格基準にも合格しておかなければならない。

船の持ち主である船主が、自国以外の国に船の船籍を置く便宜置籍船が多いことも問題を複雑にする。例えば、日本の船主が実質的に所有する船のうち便宜置籍船の占める割合は約66%である。船についての税金が安いことや、人件費の安い国の船員をかなり自由に使うことができることが便宜置籍とする主な理由となっている。

多くの便宜置籍国は、国として船舶を検査・監督をする能力をもっておらず、船級協会が代行している。どこの国の船級協会でも承認されても、その効力は世界中に及ぶ。

船舶の空調設備についても、設計、材料、施工、完成の各段階で、旗国または船級協会の承認が必要となる。

### 6-2 独特のゾーニング

船舶には、国際規則に基づく各種のゾーニングがあり、空調設備はそれに対応して配置される。船舶の主甲板以下は、水密の隔壁によっていくつもの区画に分けられている。また、客船の場合には、主甲板より上の上部構造物の中は、火災時の安全性のために40mごとの防火区画に分けられている。こうした船舶固有のゾーニングに加えて、各区画そして各部屋の使用目的と時間、空調温度に合わせて空調対象区画ごとの負荷計算を行って空調設計を行う必要がある。

### 6-3 船体動揺

海という過酷な自然環境下で運航される船舶の空調設備においては、船体動揺に対する対応が必要となる。日本の船級協会である日本海事協会の規則では、Table 2に示す耐揺動基準が設けられている。すなわち、ドレン処理、潤滑油の供給、水冷凝縮器の冷媒液の取り出し等についても、この環境下で可能な設計が求められる<sup>(2)</sup>。

Table 1 Classification Societies in the world

国名	名称	略称
日本	日本海事協会	Class NK
アメリカ	American Bureau of Shipping	AB
イギリス	Lloyd's Register of Shipping	LR
フランス	Bureau Veritas	BV
ノルウェー・ドイツ	DNV-GL	DNV
イタリア	RINA S.p.A	RINA
ロシア	Russian Maritime Register of Shipping	RS
韓国	Korean Register	KR
中国	China Classification Society	CCS

Table 2 Criterion of ship motions for designing Air Conditioning Systems on ships

横揺れ	22.5°
縦揺れ	7.5°
横傾斜	15°
縦傾斜	5°

#### 6-4 温度条件の変化

船舶の場合には、世界中を航行する可能性があるため、その変化する外部環境に対応できることが必要となる。外気温湿度の条件としては、冷房については乾球温度30～35℃、相対湿度70%、暖房については乾球温度-20～0℃、相対湿度50%が想定されるが、航路によってはさらに過酷な条件が課されることもある。さらに大型船は鋼鉄で作られているため、外気温は35℃でも日射によって外板は60℃程度まで上昇することにも注意が必要となる。

また、冷却水の温度も、熱帯地域の航行時には28～32℃程度に対応ができる必要がある。

#### 6-5 振動騒音

船舶独特の振動としては、船の巨大なエンジンの振動、船を推進させるプロペラの回転およびその周りの船体外板の振動が起振力となって、船内各部に振動が伝搬される。特に、大馬力のディーゼル主機の場合には振動問題が顕著になる。船用専用機器では、これらの船舶固有の振動への対応が必要となる。特に、省エネによってロングストロークのディーゼル機関を搭載した大型貨物船では、この機関振動が大きくなる傾向にある。一方、最近の大型クルーズ客船では、ディーゼル電気推進が採用されることが多く、エンジンが複数の発電機に分散されるうえ、振動を抑えるための弾性マウントを採用することによって振動伝搬を抑えることができしており、起振源自体が低レベルになってきている。

空調設備自体から発生する振動については、鋼板の船体を通じて伝わる固体振動と、ダクト内の空気伝播による騒音が問題となる。

#### 6-6 塩害

潮風および海水に対する耐食性については、外気の取入口、冷却器・加熱器、熱交換機類について、耐食性のある材料を選ぶ必要がある。

特に空冷凝縮器については、荒天時の波しぶきに注意が必要となり、その設置位置や材料の耐食性の検討が不可欠である。

### 7. 空調設備の配置

船舶の空調設備の配置は、船種によって大きく異なる。

貨物船(Fig. 4)の場合には、ブリッジ、事務室、食堂、サロン、機関制御室、20名前後の船員居室が空調の対象となり、これらが配置されている数層の甲板ごと、またはさらに左右舷ごとのゾーンに分けての空調となり、空調のゾーニングはせいぜい10程度となる。こうした場合には、デッキユニット型船用エアコンによって複数の部屋にダクトを通じて調整空気を送るセントラル方式、もしくは部屋ごとに個別空調するパッケージ型エアコンが設置される。ただし、100%新鮮空気が必要なギャレー(厨房)用には、専用の船用エアコンも販売されている。

一方、クルーズ客船では、レストラン、ラウンジ、サロン、劇場、スパ、ジム等の多くの乗客が使う様々な公室、さらに大型船では2,000室以上にも及ぶ個室の客室があり、100を超えるゾーニングに分けた空調設備が必要となる場合もある。



Fig. 4 A smaller house with 4 decks of a cargo ship

1例として、「ダイヤモンド・プリンセス」(Fig. 5: 11万総トン、総乗員4,000名)の場合について紹介すると、4台の6,374 kWの水冷ターボ式チリングユニット(1台の予備)、3,270 kWの温水用スチーム熱交換器2台を船底にある機関室に設置し、8~9甲板の空調機室に88台の遠心式のエア・ハンドリング・ユニットを設置している(Fig. 6)<sup>(1)</sup>。空気の吸排気口は、7~8層目甲板の間にある救命ボート格納場所の内側に設けられ(Fig. 7)、左舷側には新鮮空気の入入口を、右舷には排気口を設けて、新鮮空気と排気が混じり合わないようにしている<sup>(1)</sup>。



Fig. 5 Diamond Princess

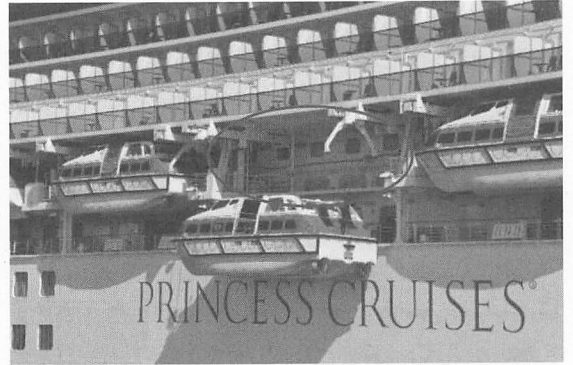


Fig. 7 Air inlets located behind life boat stations of Diamond Princess

チリングユニットで生成された冷却水がエア・ハンドリング・ユニットに送られて、熱交換器で空気の冷却、除湿を行われ、その空気がダクトによって船内各室に分配されている。なお、各室の天井内に、風量調整ダンパとサイリスタ式電気再熱器が組み込まれた吹出ユニットがあり、各室の温度調整が可能となっている<sup>(1)</sup>。なお、同船では、各客室からの排気は、ユニットバスから排出された空気は船外に出されているが、客室ドアの空気口からの排気は廊下に出されて、エア・ハンドリング・ユニットによって再循環していた<sup>(1)</sup>。ただし、前述したように、最近の建造客船の客室では、家庭用エアコンと同様に、温度調整が容易なファンコイルユニット方式を採用される場合が多く、この場合には、空気は客室内だけで循環することとなる。

次に、日本近海で活躍する宿泊施設をもつカーフェリーについてみてみよう。日本では、300 km以上の航路に就航する長距離フェリー、一部の中距離フェリー、奄美・沖縄、伊豆諸島・小笠原諸島等の遠距離離島航路船などが旅客用の宿泊施設を有している。この一例としてフェリーさんふらわあ(Fig. 8)の事例をみる<sup>(5)</sup>と、同社は、関西と九州の間に3航路をもち、

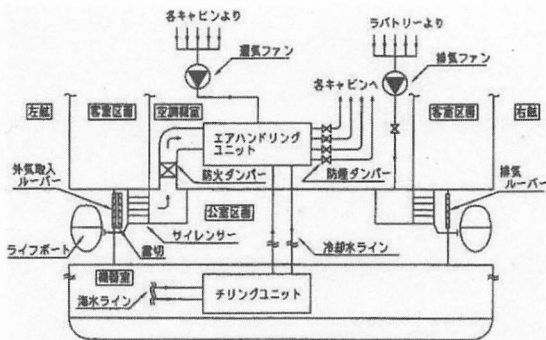


Fig. 6 Arrangement of Air conditioning system of Diamond Princess<sup>(1)</sup>



Fig. 8 Large Japanese ferry Sunflower Satsuma operated in long distance route

6隻の大型フェリーを運航しており、一般社団法人日本旅客船協会の新型コロナウイルス感染予防対策ガイドラインを遵守した上で、さらに独自の自社基準を設けて船内空気清浄度を向上させる対策を行っている。換気レベルとしては、公室区画(Fig. 9)で10~19分で1回の空気入れ替えを行っており、空気取入口には抗菌・抗ウイルスフィルターを取り付けて、空気清浄化を行っている。さらに、各公室に、1分間当たり最大 $15\text{ m}^3$ の能力の、HEPAフィルター付業務用空気清浄機(Fig.10)を設置して空気を循環

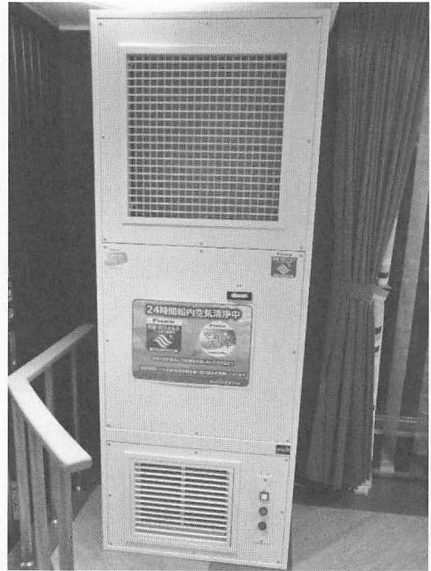


Fig.10 Air purifier at Restaurant of Sunflower Satsuma

させて、医療機関並みの空気清浄度を維持している。また、宿泊用大部屋では、ストリーマ技術を採用した業務用空気清浄機「パワフル光クリエール」を設置して、カビ、細菌、ウイルス除去を行い、新型コロナウイルスについても不活性化することを確認しているという。

## 8. 船内空調に関する学会提言

2020年2月の「ダイヤモンド・プリンセス」での集団感染発生を受け、日本クルーズ&フェリー学会では緊急検討作業グループを結成して、以下のような提言をまとめて公表した<sup>(4)</sup>。

まず、現存船の場合は、船室が独立空調か否かで対応を別とすべきとした。独立空調の場合は、特段の対策を要しない。独立空調でない場合は、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べきである。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



Fig. 9 Restaurant of Sunflower Satsuma

上で乗員が速やかに遮断することが必要である。

次に、新造船または改造船で安全性の付加価値を与える場合は、以下の対策が考えられる。

- 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。

以上の対策をとれば、大規模感染症蔓延期にクルーズ客船を無症状の感染者隔離施設としての活用することも可能となる。

なお、今次の新型コロナウイルスの感染では、飛沫および接触感染が主であり、エアロゾル感染がどの程度あるかは明瞭となっていないので、主に空調に着目した本提言が的を得ているかには疑問も残るが、次に来るかもしれない新感染症パンデミックにおいては空気感染の可能性もあるので役に立つこともあるだろう。

## 9. おわりに

クルーズ客船「ダイヤモンド・プリンセス」の新型コロナ集団感染事件から、客船の換気・空調の問題が世間の注目を浴び、マスコミ等を通じて間違った情報が拡散して風評被害が広がった。

しかし、実際の船舶の換気・空調は、陸上施設と遜色はなく、本稿が、その間違った風評を正すことにお役に立てれば幸いである。

### <参考文献>

- (1) 小佐古修士・椎山邦昭, 大型客船の空調システムの設計についての紹介, KANRIN (日本船舶海洋工学会会誌), 17号 (2008.3).
- (2) 大川良一, 空調—船舶用エアコンの現状と今後の動向—, 関西造船協会会誌らん, 45号 (1999.10).
- (3) 観光経済新聞, ダイヤモンド・プリンセスへの最先端テクノロジー「オーシャン・メダリオン」導入, 2020.11.28, <http://www.kankokeizai.com/プリンセス・クルーズ, ダイヤモンド・プリンセス/>.
- (4) 日本クルーズ&フェリー学会緊急作業グループ, 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&フェリー学会論文集, 第10号 (2020.3).
- (5) ㈱フェリーさんふらわあ, フェリーさんふらわあ船内の空気清浄度を医療レベルに保つ取り組み, バイクプロス (2020.8.4).

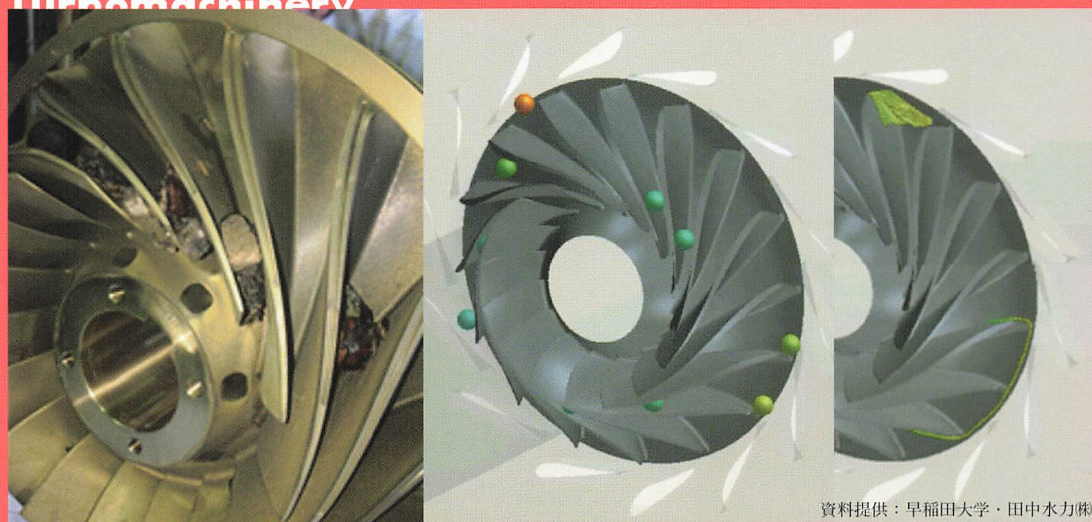


# 2021 6 ターボ機械

Turbomachinery

特集：室内の換気と空気浄化①

Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery



資料提供：早稲田大学・田中水力研

Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery  
Turbomachinery