

# 病室の省エネルギーと快適性向上

－ 次世代エコホスピタルの実現に向けて －

山口 一 川上 梨沙 富岡 一之 大塚 俊裕 町田 晃一 辻 裕次  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (設計本部) (設計本部)

## Energy Saving and Comfort Improvement in the Hospital Ward

- Development of the Next Generation Eco-Hospital -

by Makoto Yamaguchi, Risa Kawakami, Kazuyuki Tomioka, Toshihiro Otsuka,  
Koichi Machida and Yuji Tsuji

### Abstract

A hospital is a building with high energy consumption. On the other hand, patients spend 24 hours a day in the hospital wards and rooms, so greater quality of life (QOL) is required. The first half of this paper introduces radiant air conditioning systems for hospital wards and rooms, which achieve both energy efficiency and comfort.

Smells in hospitals are broadly classified into the odors of disinfectants and medicines in medical treatment rooms, and the smells of food and fecal matter, etc., in hospital wards and rooms. The second half of this paper introduces an example of a countermeasure against odors by installing a semiconductor sensor with high reactivity to chemicals in hospital wards and rooms, and when an odor occurs the sensor reacts promptly, and locally extracts the odor.

### 概要

病院は、エネルギー多消費型の建物といわれている。一方で、病室は患者が24時間生活する場でもあり、患者のQOL(Quality of Life ; 生活の質)の向上がますます求められている。本稿では、省エネルギー性と快適性を両立させた独自の病室向け放射空調を紹介する。本システムは、室内温度の偏りや気流感が非常に少なく、これらに感受性の高い患者に適していると考えられる。また、病室における食事や排泄物などの臭気対策が求められている。本稿後半では、臭気に反応性の高い半導体センサーを病室内に設置し、これらの臭気が発生した場合に本センサーが迅速に反応し、臭気を局所排気する最新の対策の事例を紹介する。

### 1.はじめに

病院は、他用途の建物と比較した場合、エネルギー消費の高い建物といわれている。その中でも、病棟におけるエネルギー消費量は全体の約34%とその多くを占めており、省エネルギー対策が求められている。

一方で、病室は患者が24時間生活する場でもあり、患者の快適性を含め、QOL(Quality of Life ; 生活の質)の向上がますます求められている。病室の空調方式は、ファンコイルユニットなどに代表される対流式空調システムが一般に採用されてきているが、吹出口からの冷風や温風が患者に直接あたることや、場所によって生ずる温度ムラによる不快感が問題になることがあった。これらの問題点を解消するため、省エネルギー性と快適性を両立させる手法として、「4床病室向け放射

空調システム」の開発を行ったので、本稿前半では、その事例について紹介する(図-1)。

また、病院における臭気は、診察室などの消毒薬品や医薬品の臭いと、病室における食事や排泄物などによる臭いに大別される。前者の臭いは、医療行為に伴う病院特有で、悪臭と感じない場合も多い。

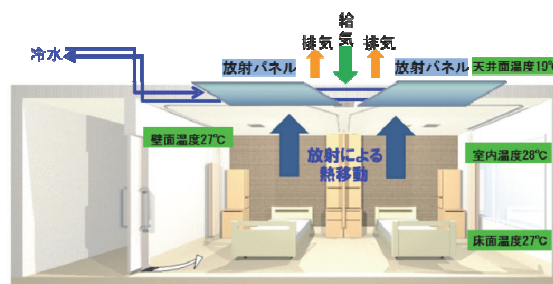


図-1 4床病室の放射空調システム

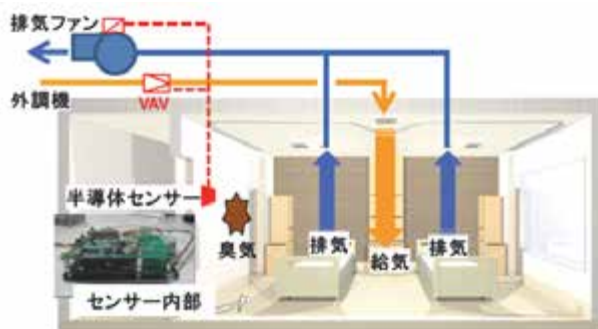
医療施設で働く看護師などは、治療や投薬の臭いより、おむつ交換時のような特定時の大便臭・尿臭を苦にしている<sup>3)</sup>。ポータブルトイレを病室に持ち込むことも増え、臭気が室内に漂い、天井・カーテン・寝具などに染み付く場合もある。このように、医療施設の臭気対策は、おむつ交換など瞬間的に拡散する臭気と、病室に染み付いた残留臭を考慮する必要がある。介護施設の臭いも病院と同様、介護・治療に伴う臭いと、要介護者の排泄物、人体から発生する臭いがあり、臭い問題としての共通点が多い<sup>4)</sup>。

現在、臭気対策のため、脱臭装置を空調系に組み込んだり(脱臭機能のある空気清浄器を設置したり)、脱臭機能のある内装材を使用したり、消臭剤による消臭などが主流である<sup>2)</sup>。これらの脱臭・消臭法を表一1にまとめた。

表一1 脱臭・消臭法

方法	原理
局所排気	発生時に悪臭物質が室内に拡散する前に排気する。
触媒法	光触媒、白金系やパラジウム系の触媒を利用して脱臭する。
放電分解法	電極から発生する電子やイオンにより脱臭する。(コロナ放電、プラズマ放電等)
薬液吸収・薬液酸化法	気液接触で、悪臭物質を薬液に吸収させ、化学的に中和する。
塩素処理法	塩素ガス、NaClO等と悪臭物質を気液接触させ酸化分解する。
オゾン酸化法	オゾンの悪臭物質の酸化分解とオゾン自体のにおいマスキング効果。
吸着法	活性炭、シリカゲル、ゼオライト、活性白土等の吸着剤に吸着する。
イオン交換樹脂法	悪臭物質のイオン性を利用してイオン交換樹脂で吸着する。
マスキング法	芳香性物質で悪臭物質を隠蔽する。
中和法	悪臭物質と化学的に反応(中和)する薬品を使って分解させる。
水洗法	水に溶解させ水に移行する。

本稿の後半では、特別な装置などを用いず、室内に設置されている空調機のみでの対策を考えた。室内臭気の脱臭で、最も基本とすることは、発生した臭気を室内に拡散させず、瞬時にその場で換気(排気)することである。そのためには、臭気に反応性の高いセンサーを室内に設置し、臭気が発生した場合に本センサーが迅速に反応し、臭気を局所排気するシステムを確立することが必要である。今回は、当該目的を満たすべく、半導体センサーを応用した臭気モニタリングと換気制御の系を開発したので紹介する(図一2)。



図一2 半導体センサーを用いた換気制御

## 2.放射空調システム

### 2.1 放射空調とは

放射空調システムの主な特徴は、①省エネルギー性が高いこと、②気流による不快感や温度ムラが少なく快適性に優れること等である。放射空調システムは、夏期低湿なヨーロッパを中心として採用事例が多いが、日本では高温多湿からくる湿度制御の難しさや初期投資の大きさ等から、今まで日本での普及は遅れていた。最近、オフィスを中心に、省エネルギー性、快適性、知的生産性の向上を目的とした放射空調を採用する事例がみられ、デシカント空調等の技術の向上が図られてきている。今回紹介する4床病室の放射空調システムは、この技術を病室向けに応用したものである<sup>5)</sup>。

放射とは、放射による熱移動によって冷暖房を行う方式である。たとえば、夏は気温が高いがトンネル内は涼しく、冬は気温が低い日日向では暖かい現象をいう。従来型の対流式空調システムとの主な違いは、温度制御に、給気口より吹出した冷風(あるいは暖風)により、室内空気を攪拌するか否かである。両方式の比較を行うと表一2となる<sup>注1)</sup>。放射空調は、気流感や温度ムラが少ないので、快適性に優れるといわれている。一方で、室内環境変化に対する追従性が遅いなどの弱点もあるため、導入にあたっては、断熱強化、湿度コントロール、立ち上り時間への配慮が必要となる。このように放射空調は、その特徴を十分に把握した上で設置計画を立てる必要があるが、病院用途では、患者が長時間過ごす病室や透析室に適している。

表一2 空調方式の比較

	放射空調 "かきまぜない"	対流式空調(従来型) "かきまぜる"
システム図		
快適性(気流感)	◎	△
快適性(温度ムラ)	◎	○
室内環境変化に対する追従性	△	◎
イニシャルコスト	△	◎
ランニングコスト	◎	○

放射空調の場合、結露防止のため、断熱強化や湿度コントロールが必要となる。

### 2.2 4床病室向け放射空調システム

放射空調システムの一般病室への採用に向け、実物大病室モデルをモックアップし、病室における放射空調システムの性能検証と被験者アンケートによる放射

空調システムと対流式空調システムの快適性の比較を行った。

まず、病室での負荷計算(清水建設負荷計算ソフト Load2000:HASP/ACLD/8501 準拠)を、必要な放射パネルを、北側4床病室を対象に、インテリアとペリメータ毎に行った。放射パネル(0.8m<sup>2</sup>/枚)は、ペリメータ側10枚、インテリア側8枚とした。天井面全体に対するパネルの布設率は40%となった。実際には、4床病室ハーフカット実験室を用いたので、ペリメータ側5枚、インテリア側4枚を布設した(図-3)。放射パネル、給排気口、ベッド、カーテン、床頭台、テレビ等を実装し、実際の病室を模擬的に再現した。給排気口の位置については、事前のCFD(Computational Fluid Dynamics)解析の結果と病室の家具配置等を考慮し、通路中央の天井から給気を行い、各ベッドの頭上部から排気を行う方式とした。給排気量は、対流式空調システム(従来空調)との比較実験が可能のように可変とした(写真-1~3)。両空調方式を同等な条件で試験するため、等価温度 $\theta$ を同等とすべく調整した。また、実験室の負荷条件を表-3に示す。

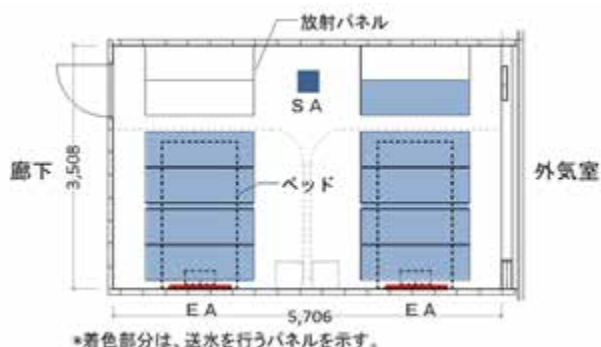


図-3 放射空調パターン(平面図)

放射空調システムにおける室内の温度分布に関する結果は、冷房時、暖房時とも、ベッド上部において概ね1℃以内の良好な温度分布になることが示された(図-4)。放射空調システムと対流式空調システムの温湿度、気流について、冷房時の比較を示す(図-5)。対流式空調システムについては、天井カセット型、床



写真-1 実験室全景



写真-2 ベッド周り

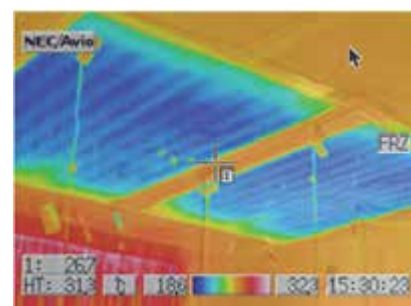


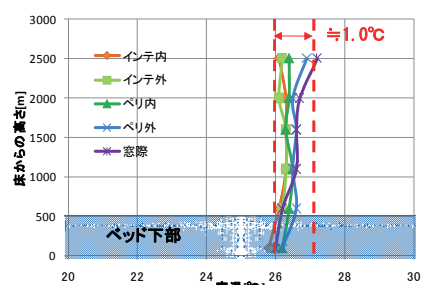
写真-3 放射パネル(サーモカメラで撮影)

表-3 実験室負荷条件

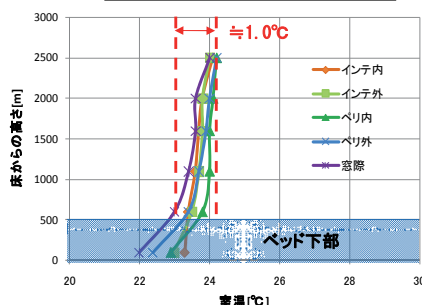
	外気室条件		室内条件			
	温度	日射量	設定温度	設定湿度	照明・コンセント負荷	人体負荷
冷房	30.8℃	125W	26、27℃	50%程度 成行	15W/m <sup>2</sup>	2名実負荷
暖房	9.7℃	-	23℃	40%	15W/m <sup>2</sup>	2名実負荷

- 外気室と実験室の窓はシングルガラス(透明8)のため、ペアガラス(透明8+8)の条件に補正。  
- 4床室の設計条件をハーフカットモデル(2床)に補正。  
- 設定条件は、インテリア側、ペリメータ側とも同条件。

置型、天井隠蔽ダクト型等の方式があるが、気流に関して最大限配慮が可能な天井隠蔽ダクト型を比較対象とした。この条件で比較した結果、温度、湿度および



上下温度分布(冷房時)



上下温度分布(暖房時)

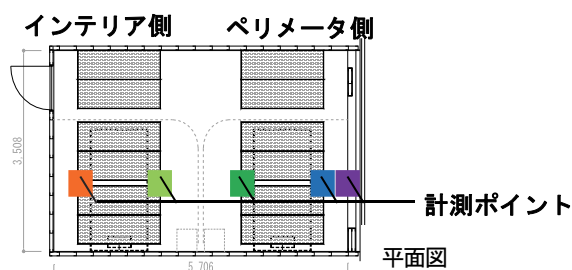
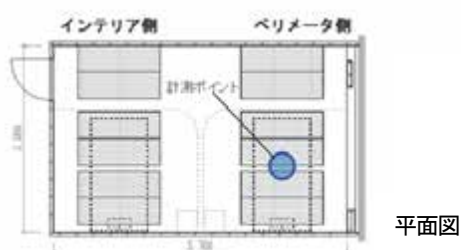
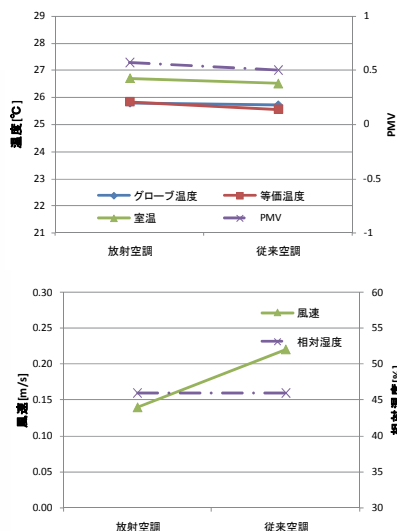


図-4 放射空調システムの上下温度分布



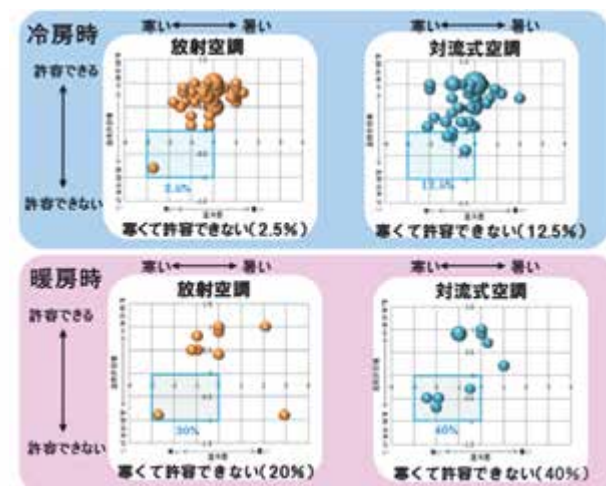
図一五 放射空調と対流式空調の温湿度、気流速度比較(冷房時)

PMV(Predicted Mean Vote ; 予想平均温冷感申告) はほぼ同等となったが、ベッド上の気流速度は、放射空調システムが低い結果となった。

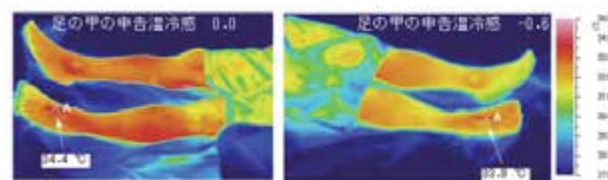
この条件下で、被験者アンケートを実施したので、その一部を紹介する。被験者には空調方式についての説明は行っていない。両システムの冷房時と暖房時の結果を図一六に示す。

被験者は、実際の入院患者に近い年齢構成とし、一般公募により、男性20人、女性20人の計40人、男女60歳以上を50%という年齢構成とした。最適な温熱環境に調整した放射空調システム、あるいは対流式空調システムの両方を、被験者にベッド上で体感後、主に温熱感、気流感、室内環境の許容の可否についてアンケートを実施した。体感試験では、暑いか・寒いかの温冷感の度数を横軸に、許容できるか否かの温度許容値を縦軸にとり、各々の被験者の回答数を円の大ききで示した。両システム共に、最適な温熱環境に調整しているため、概ね良好な結果となったが、放射空調の方が、冷房時・暖房時とも、「寒くて許容できない」割合が少ない結果となった。

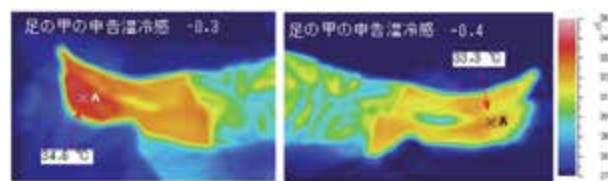
次に、冷房時の被験者の体表面温度をサーモカメラで撮影した。対流式空調システムに比べ放射空調システムは、試験前後において、体表面(特に足先)が冷えにくいことが確認でき、上記のアンケートと一致する



図一六 放射空調と対流式空調の被験者アンケート結果



写真一四 放射空調時における足部の体表面変化



写真一五 対流式空調時における足部の体表面変化

結果となった(写真一四、五)。以上の試験結果により、対流式空調システムに比べ、放射空調システムのほうが、より快適な環境を提供できることが示された。

### 3.半導体センサーとは<sup>7-10)</sup>

#### 3.1 半導体センサーの検知メカニズム

一般に、半導体の電気伝導度は、キャリアの実効電荷、移動度、濃度の積に比例すると考えられる。酸化錫や酸化亜鉛など金属酸化物の表面で起きる還元性ガスによる電気伝導度の変化は、これら三因子の変化に起因するが、センサーの作製方法やそれを構成する粒子の形やサイズなどによって、各々のセンサーの性能の違いとなる。酸化錫や酸化亜鉛などの金属酸化物は、結晶中に自由電子(伝導電子)が存在しn型半導体性能を有する。さらに結晶表面には、空気中に存在する酸素が、金属酸化物半導体の結晶中に存在する伝導電子の一部を捕獲し、吸着している。これら吸着酸素は、ポテンシャルバリアを構築し、キャリア移動を妨害させることで、センサーの電気抵抗を増大させる。室内の

臭気や化学物質などの還元性ガスが共存すると酸化反応し、捕獲していた電子を半導体の結晶中へ再び放出する。この結果、伝導電子が増加することで、半導体の電気伝導度が増加し、センサーの電気抵抗は減少する。この過程には、半導体表面での還元性ガスの吸脱着反応が供する。また、反応速度を速めるために、ガス検出部を加熱ヒータなどによって高温状態に保持することが重要である。

臭気のような還元性ガスによるセンサー電気抵抗の変化は、その濃度と指数関数の関係を持ち、一定の濃度範囲において、次式で表すことが可能である。

$$R = K C^n \dots \dots \dots (1)$$

$R$ : センサー抵抗値、 $K$ ,  $n$ : 定数、 $C$ : ガス濃度

半導体式センサーの反応性は(1)式のように、センサー部の抵抗値で評価するが、センサー部がブリッジ回路などの電気回路に組み込まれて使用する場合、抵抗値変化を電気回路の偏差電位として取り出し、電気的出力( $V$ )で評価する。臭気感度  $\Delta V$  は清浄空気中の電気的出力を  $V_0$ 、臭気がある時の出力値を  $V_t$  とすれば式(2)と定義される。

$$\Delta V = V_t - V_0 \dots \dots \dots (2)$$

$\Delta V$  と臭気濃度  $C$  の関係式は、(1)式と同様に次式となる。

$$\Delta V = K' C^{n'} \dots \dots \dots (3)$$

$K'$ ,  $n'$ : 定数

### 3.2 半導体センサーの構造と動作原理

図-7 に、半導体センサーの具体例として、2 端子構造の熱線型半導体センサーの概要を示す。センサーは、貴金属線のコイル上に多孔質の金属酸化物を焼結し、直径 0.4mm 程度の球体の二端子構造をしている。コイルは、半導体を加熱するためのヒータと、半導体の抵抗値変化を検出するための電極とを兼ねている。実際には、このセンサーをブリッジ回路などの電気回路の 1 辺に組み込み、使用することが一般的である。センサーの構造を電気回路的にみると、コイルの抵抗 ( $R_h$ ) と半導体の抵抗 ( $R_s$ ) が並列と成っており、金属酸化物半導体表面に還元性のガス分子が吸着すると、半導体の抵抗が減少し、センサー全体の抵抗 ( $R$ ) も低下する<sup>8,10)</sup>。

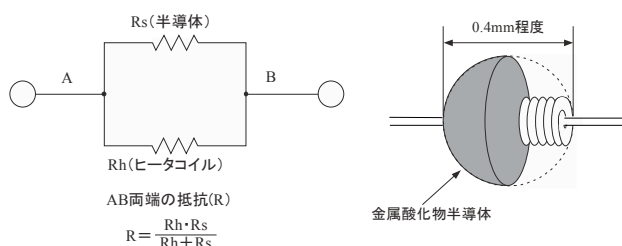


図-7 半導体センサーの構成

### 3.3 半導体センサーの選択

半導体センサーは高感度であるが、特定のガスに対する選択性を持たすことが困難であった。したがって、金属酸化物半導体の材料選択や触媒添加による表面処理により、これらの欠点を改良し、臭気物質に高感度に反応する仕様とした<sup>9,10)</sup>。また、半導体センサーは、専用ユニットに組み込んだ(写真-6)。

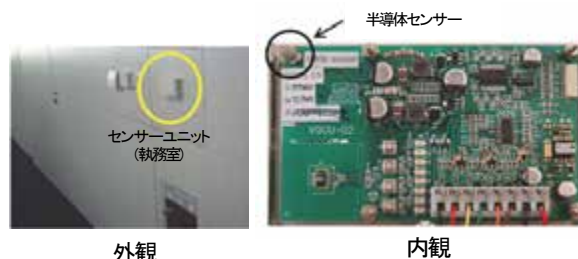


写真-6 半導体センサーユニット

### 3.4 半導体センサーと臭気濃度との相関

12m<sup>3</sup>の大型チャンバーに半導体センサーを設置し、酢酸エチル、トルエン、イソブタノール及びアセトアルデヒドを別々に気化させ、センサー値をモニタリングしながら、段階的にチャンバー内の対象化学物質を希釈させた(写真-7)。同時に、TENAX GR 管で対象物質を捕集し、ガスクロマトグラフ(GC:FID [水素炎イオン化検出器]、島津製作所 GC-17A、キャピラリーカラム ; J&W 社製ワイドボアカラム 125-1035)にて分析・定量した。アセトアルデヒドの測定には、DNPH(2,4-ジニトロフェニルヒドラジン)サンプラ (Waters 製)を用いて、30L の試料空気を捕集し、ア



写真-7 大型チャンバー

セトニトリルで溶媒抽出後、高速液体クロマトグラフ (Hewlett Packard ; HP1100)にて分析・定量した。試料空気の捕集位置は、床から 1.2m 高とした。

4 種類の化学物質の臭気強度を、大型チャンバー内で当初 3~4 になるように調整し<sup>11)</sup>、清浄空気と換気し、チャンバー内の化学物質濃度を段階的に低下させた。同時にチャンバー内の化学物質を測定し、半導体

センサー値と化学物質濃度の相関を求めた(図-8)。各々の物質は、センサー値と Weber-Fechner の法則に則り、よい相関を示すが<sup>注2)</sup>、若干反応性が異なることを確認した。また、エタノールや事務所内の複合臭も同様な相関を示すことを確認している<sup>10,12,13)</sup>。

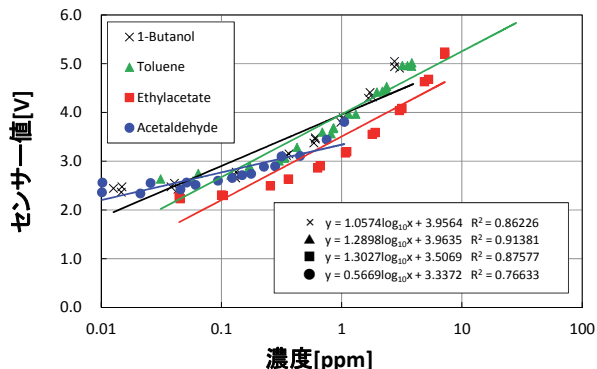


図-8 半導体センサー値と物質濃度の関係

### 3.5 病室での半導体センサーの適用検討

急性期総合A病院の病室のベッド頭上に、2台の半導体センサーを設置し、病室で発生する臭気について、1週間のセンサーによるモニタリングを行った。本病室の換気方式は、第3種機械換気であった。全てのイベントに対し、センサー値が全く同じに反応していることを確認できなかった(図-9)。これは、イベント発生を看護師のアンケートに依存しており、正確な臭気の発生時間や細かいイベントまで把握しきれていないことが原因の1つと考えられる。但し、おむつ交換や食事などのイベントが発生する昼間にセンサーの反応性が高く、活動が低下する夜間や早朝の時間帯には、センサー値が低いことが判明した。さらに、今回設置した2つのセンサー値のパターンは殆ど同じであり、これらのセンサーが臭気のパターンをモニタリングしていることは確実であると考えられる。

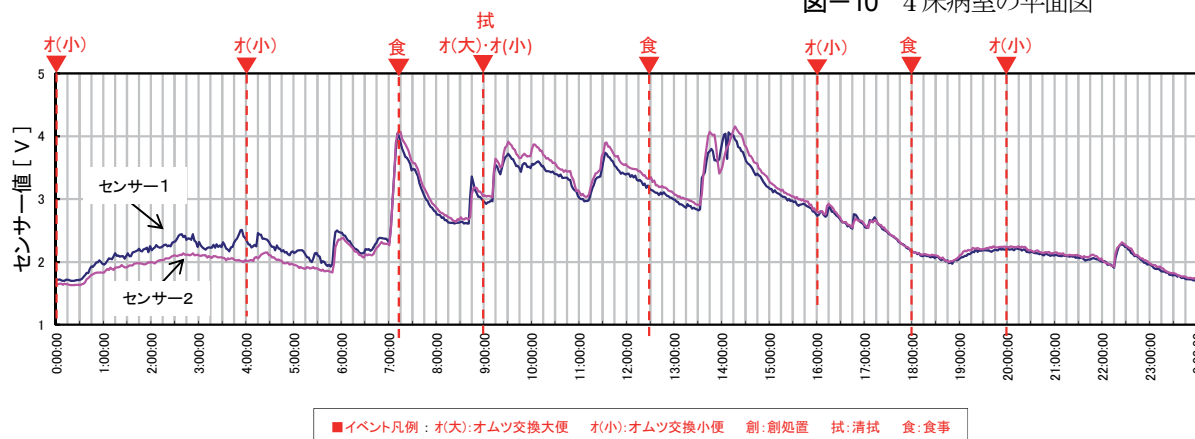


図-9 病室での半導体センサーによる臭気モニタリング

### 3.6 病室での半導体センサーによる換気制御

最終的に実際の4床病室(6m×6m、約100m<sup>3</sup>)で効果を検証した。給気口は天井中央に設置し、排気口は各ベッドの頭上の天井に計4つ配置した。半導体センサーは天井上の排気チャンバー内に設置した(写真-8、図-10)。



写真-8 4床病室ベッド周り

本病室の換気風量は、センサーの出力値<sup>(V)</sup><sup>注3)</sup>によって、外調機側のVAV(Variable Air Volume; 可変定風量装置)によりダンパーの開度と排気ファンをインバーター制御した。また、風速計を天井の給気口と

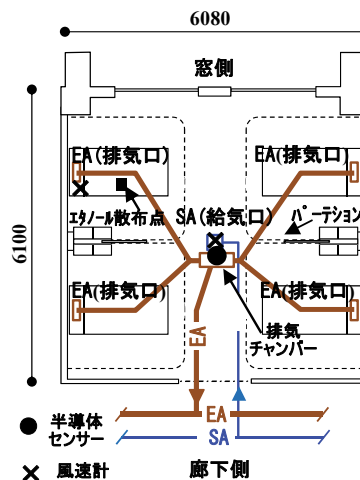


図-10 4床病室の平面図

ベッド直上の天井排気口に設置し、センサーによる換気制御を検証した(図-11)。

今回は、臭気の模擬ガスとしてエタノールを用い、ペリメータ側のベッド位置より発生させた。本試験では、エタノール発生<sup>注4)</sup>より、10数秒後にはセンサー値は上昇し、外気導入量を1回/hから3回/hに上昇させるように自動制御した。エタノール濃度は、数分後には殆どブランク値付近まで低下し、ブランク値へ復帰するには約10分間を要した。2度目の繰り返し試験も、同様な結果を得ることができ、迅速な排気効果とドリフトがないことを確認した。

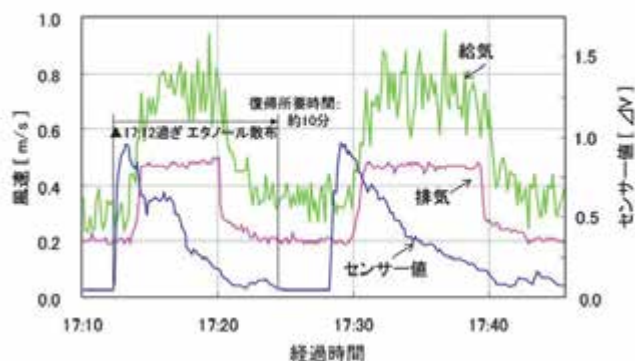


図-11 半導体センサーによる換気制御

#### 4.おわりに

本稿では、我々が取り組んでいる次世代型エコホスピタルの中から、病室の省エネルギーと快適性向上を目指した放射空調システムと半導体センサーによる換気制御について紹介した。放射空調システムによる患者の快適性向上と省エネルギーを図ることが可能となった<sup>注5)</sup>。今回、半導体センサーによる臭気物質のモニタリングと換気制御に関し、良好な結果を得ることがで

#### <参考文献>

- 1) 病院の省エネルギーポイント、(財)省エネルギーセンター (2009)
- 2) 東レリサーチセンター、脱臭・消臭技術の最新動向 (2009)
- 3) 光田恵：医療施設における、空気調和・衛生工学、第80巻、第8号、pp.657-660 (2006)
- 4) 岩橋尊嗣：消臭剤・脱臭剤、空気調和・衛生工学、第80巻、第8号、pp.637-639 (2006)
- 5) 熊野直人ら：次世代エコホスピタルに関する研究、(第1～6報) 日本建築学会大会梗概集 (2011)
- 6) 空気調和・衛生学会：空気調和・衛生工学便覧、第14版 (2010)
- 7) 江原勝夫：臭気の測定センサとその動向、臭気の研究、第28巻、第4号、pp.1-8 (1997)
- 8) 福井清：酸化錫半導体ガスセンサを用いたニオイの計量、臭気の研究、第20巻、第4号、pp.1-8 (1989)
- 9) 山口一、半導体センサーを用いたシックハウス対策への応用、化学工学、第71巻、第9号、pp.579-584 (2007)
- 10) 山口一、富岡一之、大塚俊裕、中山正樹、真継常義、竹林芳久：実建物における室内化学物質モニタリングシステムの検証、室内環境、第13巻、第2号、pp.119-129 (2010)
- 11) 永田好男、竹内教文：三点比較臭袋法による臭気物質の閾値測定結果、大気汚染学会講演要旨集、p.528 (1988)
- 12) 山口一、富岡一之：半導体センサによる総揮発性有機化合物 (Total Volatile Organic Compounds: TVOC) 簡易測定法の開発、日本建築学会環境系論文集、第599号、pp.79-87 (2006)
- 13) 山口一、川上梨沙、富岡一之、大塚俊裕、町田晃一、中村友久、辻 裕次：半導体センサーによる室内化学物質濃度のモニタリングと換気制御の研



写真-9 4床病室内観

きた。本稿の目的である空調のみで臭気対策を行うためには、病室内の給排気口や半導体センサーを適切に設置し、発生したガス発生が室内に拡散する前に効果的に排気させることが重要であると考えられる。

今回、実際の4床病室では、給気口は天井中央に、排気口は各ベッド頭上の4か所に、センサーを室内でなく排気チャンバー内に設置することで、模擬ガス発生からの感知時間を短縮させた。対象空間において、対象物質の発生位置や発生量に応じ、センサーや給排気口の位置や数をCFD (Computational Fluid Dynamics; 気流数値解析)等の解析により、適正に配置することが重要であると考えられる。

本技術は、順天堂大学病院の新病棟の4床病室と個室に設置した(2013年12月竣工、写真-9)。今後、本技術の効果を継続的に検証していきたい。

プロジェクト・アーキテクト・基本設計・工事監理:(株)  
(株)日本設計  
実施設計・施工:清水建設(株)

\*本研究は、順天堂大学、早稲田大学、清水建設(株)の共同研究の成果である。

究、4床病室における汚染物質除去の検証：日本建築学会環境系論文集、第79巻、第702号、pp.681-688（2014）

14) 病院設備設計ガイドライン（空調設備編）HEAS-02-2013、（一社）日本医療福祉設備協会（2013）

<補注>

- 1) HEAS-02-2013では<sup>14)</sup>、通常の病室で、外気導入風量は2回/h、還気風量は6回/h程度であるが、本病室では温度制御に放射空調を採用しているため、還気なしで外気導入のみの運転を行っている。
- 2) 文中の(3)式は(指数式)は、図8のように対数式に変換できる。
- 3) センサーの出力値よりセンサーのブランク値を減じた値。
- 4) 発生させるエタノール濃度は、エタノールの嗅覚閾値(0.52ppm)を基準に、嗅覚閾値濃度の2倍(約1ppm)に設定した。
- 5) 今回紹介した放射空調、センサーによる換気制御の他、廻りの深い外壁・Low-Eガラス及びLED照明などで、従来の一般的な病棟と比較し、25%のLCCO<sub>2</sub>の削減が可能となった。