

水冷媒放射空調システム用パネルの性能評価手法に関する研究  
 (その4) CFD解析を用いた各種放射パネル性能の評価  
**Evaluation of Radiant Ceiling Panel using Water Medium**  
**(Part 4) Performance of Various Panel in CFD Analysis**

○竹内 慎 (大阪大学)                      山中 俊夫 (大阪大学)  
 甲谷 寿史 (大阪大学)                      松崎 眞子 (大阪大学)  
 氏原 正志 (株式会社サクラ)  
 Shin TAKEUCHI\*<sup>1</sup> Toshio YAMANAKA\*<sup>1</sup> Hisashi KOTANI\*<sup>1</sup>  
 Mako MATSUZAKI\*<sup>1</sup> Masashi UJIHARA\*<sup>2</sup>  
 \*<sup>1</sup> Osaka University \*<sup>2</sup> SASAKURA ENGINEERING CO.,LTD.

While radiation cooling and heating are spreading widely, radiant panel manufacturers have developed various panels. However, the detailed performance measurements have not been conducted sufficiently and the performance evaluation method has not been established yet. In this study, the purpose is to measure the performance of panels with various shapes, which are used in ceiling radiation air conditioning system. In this paper, the results of thermal performance Measurement of three panels in environmental test chamber and reproduction of the experiments in CFD analysis are reported.

1. はじめに

近年、インテリアゾーンの快適性が近年高く求められている。そこで、注目されているのが、放射空調である。放射空調の普及が進む中で、放射パネルメーカーは、各々様々なパネルを開発してきた。石井ら<sup>[1]</sup>はヨーロッパで放射パネルの評価手法として規定されているEN14240<sup>[2]</sup>を参考にして、環境試験室実験を行い、表面がフラットな天井放射パネルの熱性能について検証した。しかし、パネル形状によって放熱性能が異なることも報告されており、放射パネル敷設空間において、様々な室内環境が予想される。これらの経緯から本研究では、様々な室内環境下にて、放射パネル形状が放熱特性に与える影響について検討した。本報では、前報での室内温度の検討に加え、放熱特性に焦点を当て、各パネル使用時のパネル放熱量を放射・対流に分離し、その特性について見た。また、CFD解析によって、室内環境のより詳細な再現、およびパネル性能の把握をした。以上の結果を報告する。

2. 実験概要

実験概要については、前報で述べたため割愛する。本研究で用いた波型パネル、フラット型パネル、スリット付きフラット型パネルをFig.1～3に示す。以下、波型、フラット型、スリット型と省略する。

2.1 熱伝達率の算出

各パネル、各実験条件ごとに放射熱伝達率、対流熱伝達率、総合熱伝達率を算出する。Fig.4に熱流セ

ンサーを用いた放射・対流の切り分け概念図を示す。放射パネル面に放射率の異なる2つの熱流センサーを貼付し、測定を行うことで対流と放射を切り分けることが可能となる。本実験では、放射率0.86の熱流センサーと放射率0.05のアルミ蒸着熱流センサーを用いた。また、本研究で用いた3つのパネルの放射率はすべて0.98である。

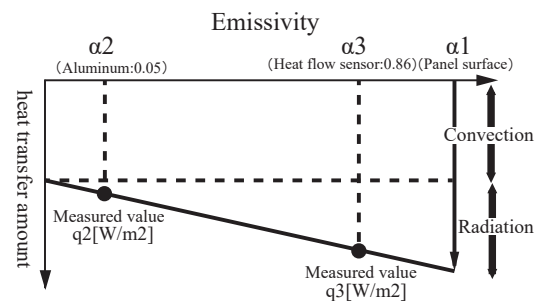


Fig.4 Concept of Separation to Radiation and Convection

Fig.4にて直線の傾きと直線の切片を求めることができる。それらを用いて、以下を算出する。

単位放射熱伝達量 [W/ m<sup>2</sup>] : 直線の傾き × α1

単位対流熱伝達量 [W/ m<sup>2</sup>] : 直線の切片

上の値をパネルと室内MRT、または空気温度との温度差で除したものがパネルの熱伝達率となる。Table1～3に各パネル、各条件ごとの放射熱伝達率、対流熱伝達率、総合熱伝達率を示す。また、それらの値を全条件について平均した値をTable4に示す。

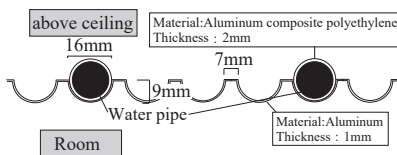


Fig.1 Detail of Corrugated Panel

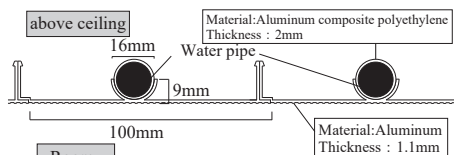


Fig.2 Detail of Flat Panel

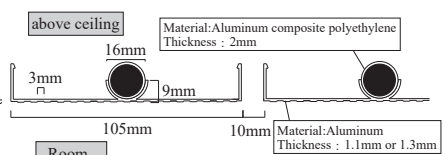


Fig.3 Detail of Flat with Slit Panel

Table1  $\alpha_r$  of Each Panel

Radiative heat transfer coefficient $\alpha_r$			
	Corrugated	Flat	Flat with Slit
Standard	4.0	5.3	4.0
Center load	3.6	4.8	3.6
Chilled wall	3.9	5.3	3.9
Heated wall	3.8	5.4	3.8
Low load	3.9	5.0	3.9
Low convection	4.0	5.3	4.0
High convection	3.4	5.4	3.4

Table2  $\alpha_c$  of Each Panel

Convective heat transfer coefficient $\alpha_c$			
	Corrugated	Flat	Flat with Slit
Standard	5.1	3.6	4.2
Center load	6.7	4.3	4.3
Chilled wall	5.0	4.4	4.2
Heated wall	5.4	4.0	4.2
Low load	4.6	3.8	4.0
Low convection	6.4	3.9	4.6
High convection	10.0	7.0	7.6

Table3  $\alpha$  of Each Panel

Total heat transfer coefficient $\alpha$			
	Corrugated	Flat	Flat with Slit
Standard	8.8	8.9	8.2
Center load	10.4	9.1	7.9
Chilled wall	8.6	9.7	8.1
Heated wall	9.2	9.4	8.0
Low load	8.5	8.8	7.9
Low convection	9.5	9.2	8.5
High convection	14.5	12.4	11.0

Table1を見ると、各パネルについて実験条件による差異は小さいことが確認できる。パネルごとに見ると、フラット型が他のパネルに比べて、値が大きいことが読み取れ、放射成分が大きいことが推測される。

Table2を見ると、各パネルについて実験条件による差異は、対流大条件のみ他より非常に大きくなっていることが分かる。また、波型については、負荷中心条件と対流小条件も大きくなっており、対流現象を促進することで、パネルの対流熱伝達率が增大することが推測される。パネルごとに見ると、波型が全体的に値が大きく、対流成分が大きいことが推測される。

Table3を見ると、各パネルに実験条件による差異は、やはり対流大条件で他より非常に大きくなっていることが分かる。パネルごとに見ると、どのパネルも同様の値を示しており、特筆すべき差異は見られない。

Table4を見ると、上で述べたようにフラット型の放射熱伝達率が大きいことが分かる。そして、波型の対流熱伝達率が大きいことが分かる。スリット型は総合熱伝達率が他より小さい。これは室内の温度が他のパネル使用時より低いと推測される。

## 2.2 熱伝達量の算出

上で算出した熱伝達率にパネル面積とパネルと室内MRT、または空気温度との温度差を掛けたものが、パネル熱伝達量となる。また、パネルの天井裏側面にも熱流センサーを貼付しており、その測定値から天井裏側熱伝達量も算出した。以上の放射熱伝達量、対流熱伝達量、天井裏側熱伝達量を合計したものがパネル放熱量である。

各パネルの熱伝達量を各実験条件ごとにまとめた図を Fig.5 に示す。Fig.5において、Coは波型、Flはフラット型、Slはスリット型を示している。

Fig.5において、パネルごとに傾向を見ると、フラット型の放射熱伝達分の比率が大きいことが分かる。また、波型とスリット型の対流熱伝達分の比率が大きいことが言える。さらに、スリット型は天井裏熱伝達分の比率が大きいことが分かる。条件ごとに傾向を見ると、多くの実験条件で波型の放熱量が一番大きい。逆に、多くの実験条件で、フラット型の放熱量が一番小さい。しかし、全体的な傾向として、各パネルごとに放熱量に大きな差異はないことが確認できる。

Table4 Average Heat Transfer Coefficient of Each Panel

Average heat transfer of all condition			
	Corrugated	Flat	Flat with Slit
Radiative heat transfer coefficient	3.8	5.2	3.8
Convective heat transfer coefficient	6.2	4.4	4.7
Total heat transfer coefficient	9.9	9.6	8.5

## Detail of panel heat transfer amount [W]

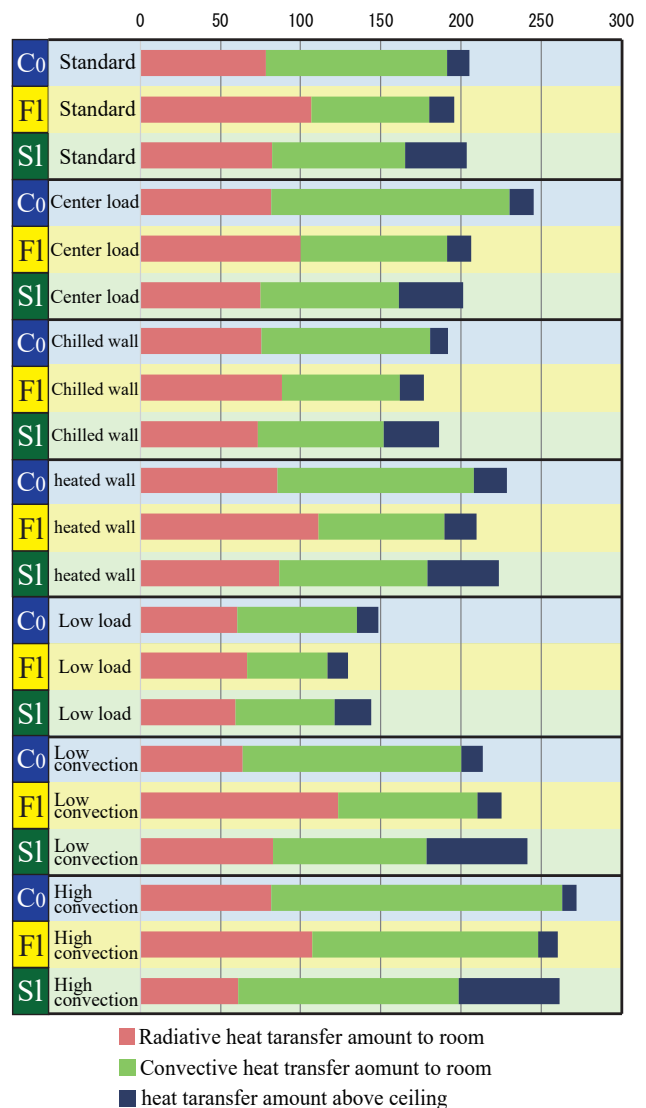


Fig.5 Detail of Panel Heat Transfer Amount

パネルごとに放熱量に大きな差異はないにも関わらず、試験室内の空気温度がパネルごとに異なることから、パネル放熱量の放射と対流、また天井裏への放熱分、それらの比率によって室内がどれだけ冷やされるかが変化することが推測される。

### 3 CFD 解析の概要

#### 3.1 解析方法

本解析は、前報、本報で述べた実験を再現することを目的としている。よって解析空間は試験室を精密に再現した。パネル面については、実験で配管によって冷やされている部分を温度規定部分として再現した。解析空間平面図、AA' 断面図、フラット型パネル再現図、スリット型パネル再現図を Fig.6 ~ 9 に示す。尚、波型については詳細に再現しようとする、メッシュ数が膨大になり、計算が困難だったため、CFD 解析による波型の再現は行っていない。

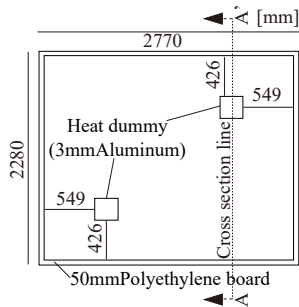


Fig.6 Plan in Analysis

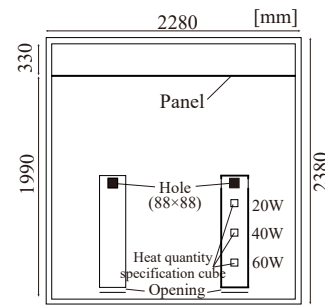


Fig.7 A-A' Cross Section in Analysis

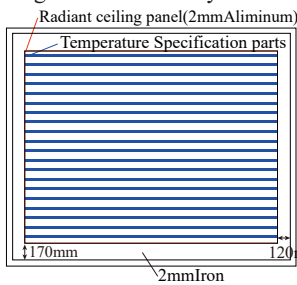


Fig.8 Flat Panel in Analysis

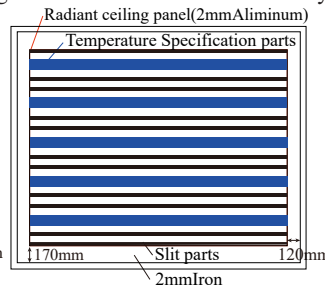


Fig.9 Flat with Slit Panel in Analysis

本研究における CFD 解析は汎用熱流対解析ソフト PHOENICS ver.4.3 を使用した。Table5 に解析条件、Table6 に実験を再現するための境界条件を示す。

Table5 Analysis Condition

Analysis condition		
CFD code	PHOENICS ver.4.3	
Turbulent model	Standard k-ε Model	
Algorithm	SIMPLE	
Discretization scheme	QUICK	
Wall	Enhanced Wall Treatment	
Density	Boussinesq Approximation	
Radiation model	Immersol	
Mesh		
Case name	X × Y × Z	Total mesh amount
Standard	95×115×78	852,150
Center load	98×121×78	924,924
Chilled wall	95×115×78	852,150
heated wall	95×115×78	852,150
Low load	95×115×78	852,150
Convection	129×115×86	1,275,810

Table6 Boundary Condition in Analysis

Boundary condition				
Case name	Panel set temperature	Boundary temperature	Heat load	Layout
Standard	20°C	25°C	240W	
Center load	20°C			
Chilled wall	20°C	23°C	160W	
heated wall	20°C	27°C		
Low load	19°C	23°C		
Convection	20°C	25°C	240W	

Fig.10 Temperature Contour of Each Panel

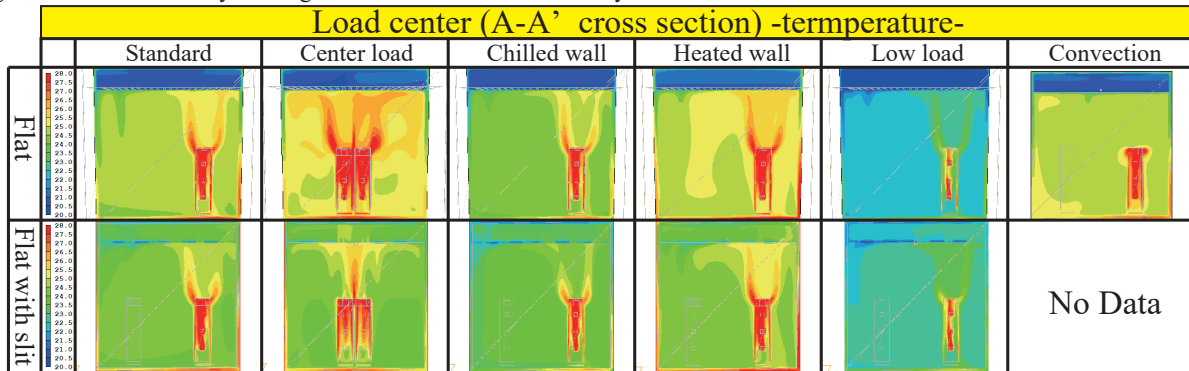


Fig.10 Temperature Contour of Each Panel

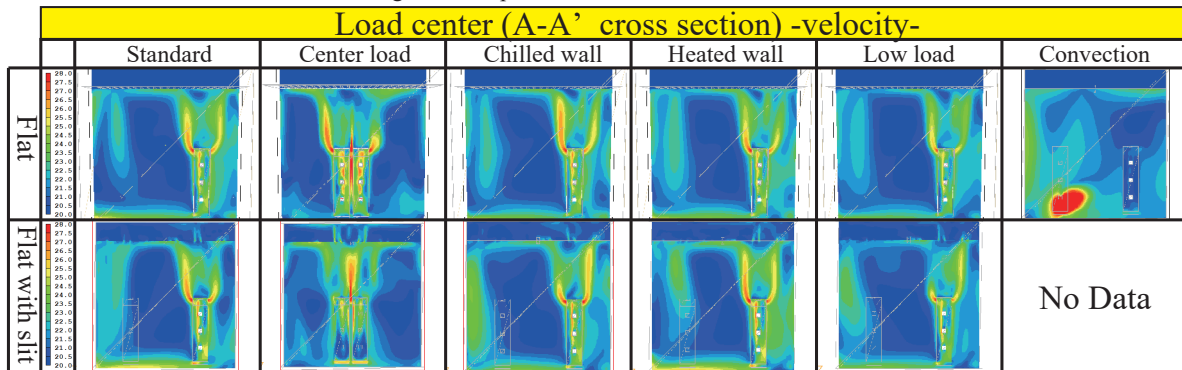


Fig.11 Velocity Contour of Each Panel

### 3.2 解析結果

#### (1) 温度・風速

Fig.10、Fig.11 に熱負荷体中心断面における温度コンター図と風速コンター図を示す。Fig.10を見ると、フラット型では天井裏が非常に冷えていることが分かる。それに対して、スリット型では、天井裏空気温度は居室側空気温度とあまり差異はないことが分かる。しかし、フラット型に比べスリット型は居室側空気温度が低いことが分かり、フラット型で天井裏で冷やされていた空気がスリット型ではスリットにより居室側に流れ込んでいることが推測される。Fig.11を見ると居室空間の気流の傾向としては両パネルとも大きな差異はないことが確認できるが、スリット型について、壁際の風速が大きいことが分かる。また天井裏空間については、フラット型は全く気流が起きていないが、スリット型については居室空間からの空気の流入が見て取れる。

Fig.12、Fig.13 にフラット型、スリット型使用時の基準条件実験の測定温度と CFD 解析結果の温度に比較図を示す。Fig.12を見ると、居室側空気温度と壁面温度について、実験値が解析より最大で1°C程度高いことが分かる。天井裏空気温度、床面と上スラブ表面温度については、ほぼ同値を示している。

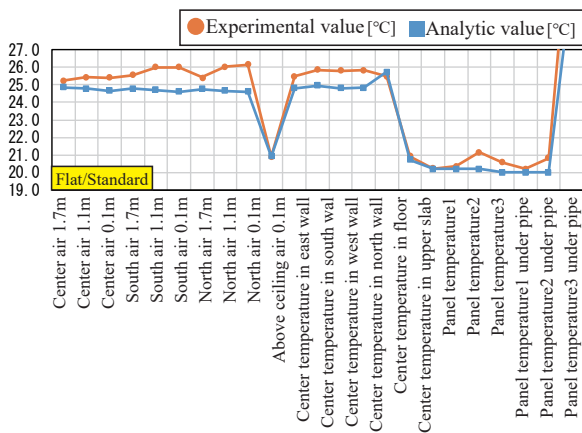


Fig.12 Comparison between Experiment and Analysis in Flat

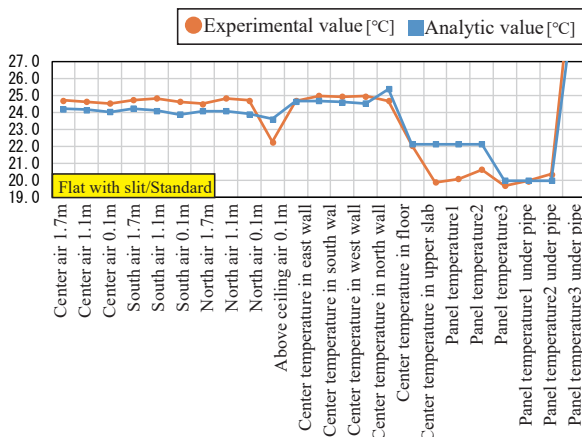


Fig.13 Comparison between Experiment and Analysis in Flat with Slit

Table7 Comparison between Flat and Flat with Slit in Experiment and Analysis

Heat transfer amount [W]	Flat	Flat with slit	Difference in analysis	Difference in experiment
	Analysis (Experiment)	Analysis (Experiment)		
Standard	264(191)	258(187)	6	4
Center load	265(197)	265(181)	0	16
Chilled wall	229(174)	225(172)	4	2
Heated wall	299(203)	292(215)	7	12
Low load	194(124)	165(117)	29	7
Convection	264(221)	No Data(232)	No Data	11

る。パネル表面温度については、実験値の方が高い。Fig.13を見ると、フラット型と同様に居室側空気温度、壁面温度は実験値の方が高いが、その差異はスリット型の方が小さい。しかし、天井裏空気温度については1°Cほど解析値が高く、解析では居室空間と天井裏空間の相互換気が積極的に行われたことが推測される。パネル面温度に関しては、配管直下のパネル表面温度は実験値と解析値がほぼ同値だが、配管直下でない部分には最大2°Cの差異が見られる。

#### (2) 放熱量

Table7 にフラット型とスリット型の解析値の放熱量の比較、および実験値の放熱量の比較を示す。Table7を見ると、実験におけるパネル放熱量より解析における放熱量が大幅に大きいことが分かる。Fig.12、Fig.13において、解析における居室側空気温度が低かったのはこのためだと考えられる。しかし、フラット型とスリット型の解析による放熱量の比較を見ると、負荷小を除き、差異が小さいことが分かる。実験における放熱量の比較でも、同様に差異が小さい。つまり、実験と解析の結果について、放熱量の大きさは異なるが、フラット型とスリット型の放熱量に差異があまりないことは一致し、実験結果の正しさを解析によって証明できたことが言える。

#### 4. おわりに

本報では、3つの異なる形状を持つ水冷媒式放射空調システム用パネルについて、放熱特性に焦点を当て、各パネル使用時のパネル放熱量を放射・対流に分離し、その特性について見た。形状によってパネル放熱量は変化しないが、対流成分・放射成分・天井裏側放熱成分の比率が変化し、それにより室の状況が異なることが分かった。また、CFD解析によって、室内環境のより詳細な再現、およびパネル性能の把握をした。パネルの表現方法に改善の余地があることが分かったが、パネル放熱量について、実験と同様の結果を得た。

#### 【謝辞】

本研究は(株)ササクラとの共同研究によるものであり、実験にご協力いただいた方々に心より感謝申し上げます。

#### 【参考文献】

- 1) 石井義章, 加藤駿, 宮下陽, 山北聡, 岩田博樹, 田辺新一: 環境試験室実験における天井放射パネル熱性能の把握, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 第3巻, pp.57-60, 2015.9
- 2) EN14240.2004.Ventilation for building-Chilled ceiling-Testing and rating, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

テキスタイルダクトと放射天井による対流・放射併用型空調に関する研究  
(その3) CFD解析によるテキスタイルダクト単体使用時の室内空気質・温熱環境評価

Air-Conditioning System Coupling Convection with Radiation

Using Textile Duct and Chilled Ceiling

(Part3) Evaluations for Indoor Air Quality and Thermal Comfort of

Air-Conditioning System Using Textile Duct by CFD Simulation

○鈴木 克治 (大阪大学) 桃井 良尚 (福井大学)

山中 俊夫 (大阪大学) 甲谷 寿史 (大阪大学)

Katsuharu SUZUKI\*<sup>1</sup> Yoshihisa MOMOI\*<sup>2</sup> Toshio YAMANAKA\*<sup>1</sup> Hisashi KOTANI\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Osaka University \*<sup>2</sup> Fukui University

Textile duct ventilation is a remarkable air-conditioning system because it can supply large air volume with a very low speed of air velocity. As compared with the conventional air-conditioning system, the ventilation rate can be reduced without compromising occupants' thermal comfort in the textile duct ventilation system, which can supply fresh air only around occupied zone. In this paper, the indoor air quality and thermal comfort were surveyed in the case of only using textile duct as air-conditioning system by CFD simulation. Finally the design chart of IAQ classified by Ar was suggested.

1. はじめに

大風量・低風速吹き出しにより、居住者にドラフト感を与えない空調システムとして、近年テキスタイルダクト (以下、TD) が注目されている<sup>1)2)</sup>。これは通気性のある不燃性の布でできた円筒形や半円筒形のダクトであり、Fig. 1に示すように温度差によって居住域周辺に新鮮空気を提供するため、従来型混合換気と比較して、居住域の室内空気質・温熱環境改善に役立つと考えられる。Fig. 2に、床面を天井面とみなしてTDより暖房気流を吹き出した冷房想定気流の可視化写真 (冬季に撮影) を示す。他にもTDには次のような利点がある。

- ・従来の混合換気方式に比べて低風速で吹き出すため、居住者にドラフトを感じさせず、汚染質を混合しない。
- ・レイアウトの面でフレキシビリティに優れ、取り付けが簡単で、洗濯もでき、衛生的である。

桃井ら<sup>3)</sup>はTDと水冷式の放射天井を併用した空調システムを有するオフィスを模擬した実験を行い、サーマルマネキンを用いて温熱環境評価を行っている。本研究では、TDを用いた室の空気質・温熱環境評価を行い、最適な空調システムの組み合わせ及び設計手法の確立を目指す。本報では、TDのみを空調システムとして用いた標準的なオフィスを想定した室の空気質・温熱環境をCFD解析し、空気質指標をAr数で整理した結果を示す。

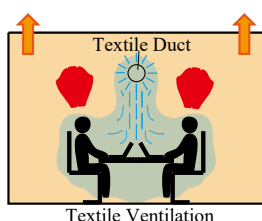


Fig. 1 Air Distribution Strategy

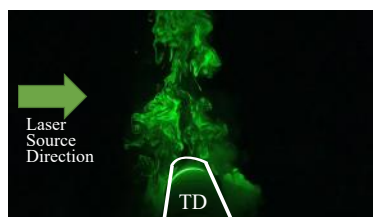


Fig. 2 Visualization of TD Plume

2. 標準オフィスモデル

解析空間として、Fig. 3に標準的な3.6×3.6mモジュールで構成され2つの執務空間をもつセンターコア方式のようなオフィスを示す。実際の解析空間はインテリアゾーン内に存在するものとし、Fig. 3に示す1モジュールの一部分のみを解析した。解析空間は上下左右対称となるようにし、側壁に対象境界面を採用して解析を簡略化した。TD方式と比較する混合換気 (MV) 方式の吹き出し口のモデル化手法をFig. 3中の左に示す。Fig. 4に平面レイアウト及び天井レイアウトを、Fig. 5にパースを、Fig. 6に立面図を示す。各モジュールには6人が作業を行えるワークスペース (人体6人、机6つ、ノートPC6つ、OA機器2つ) が設けられている。また、Fig. 6のように本解析では主に「吹出し方式に関する検討」と「TD設置位置に関する検討」を行い、それぞれTD方式はMV方式よりも優れているか、またTDの設置位置はどこ (机の上、人体の上、廊下の上) が良いか、という観点から解析結果を整理した。また前者では、MV方式モデルの階高を3.0mまたは2.6mの2通り設定した。これは、TD方式は天井裏のダクティングが不要なため、天井高を

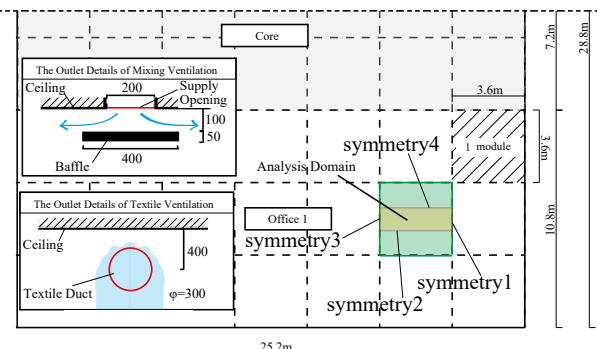


Fig. 3 Plan of Standard Office

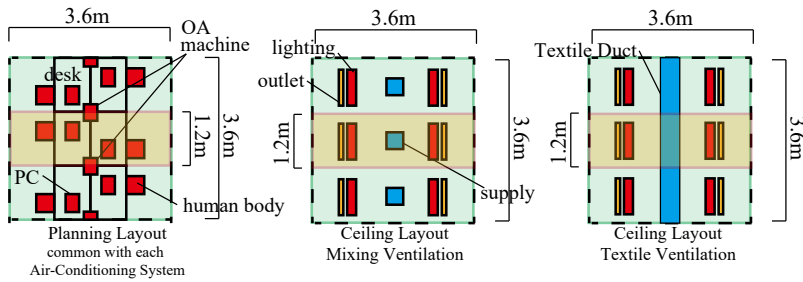


Fig. 4 Planning with each Model (Mixing / Textile)

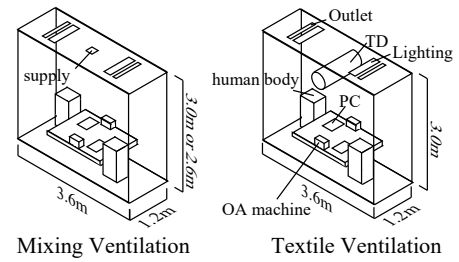


Fig. 5 Perth with each Model (Mixing / Textile)

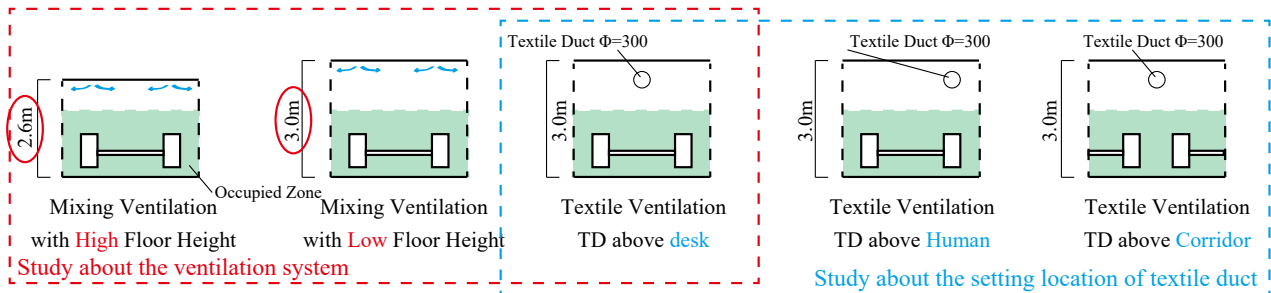


Fig. 6 Elevation of Analysis Domain (ventilation system / setting location of TD)

MV方式に比べて高であるためである。一方、階高を変えたことによる影響も考慮するため、MV方式ではTD方式と同じ階高の条件も設定した。Table 1に発熱条件を示す。発熱条件には、「全員着席時」と「半分着席時」の二通りを想定し、各値は文献<sup>4)</sup>により決めた。Table 2に解析条件を示す。流れ場・温度場・濃度場(CO<sub>2</sub>、トレーサーガス)を解析し、誤差の収束、収束解を得られたか、熱量収支バランス等の観点から解析精度を担保した。また、Table 3に各解析ケースの境界条件を示す。各境界条件は完全混合時に熱負荷を取り除ける換気量、温度差を設定した。MV方式では温度差は2,4,6°C差、TD換気方式では温度差は8,12,16°C差としたが、これは予備解析で8°C以上の温度差にしないとTDからの気流が下降しなかったためである。

### 3. 乱流モデルとメッシュ分割による予備解析

TDを空調システムとして用いる場合、Chenらによって標準k-εモデルの有用性が示されている<sup>5)</sup>。また、吹出し気流が10<sup>2</sup>[m/s]オーダーと非常に低風速になるため、乱流モデルとして低Re型k-εモデル(Abe-Kondoh-Naganoモデル; AKN)についても検討を行った。また、乱流モデルの違いとメッシュの細かさをパラメータとして予備解析を行った(Table 4)。

メッシュ数は、標準分割(standard)では壁面回り・人体回りは20mm、周辺は40mmで分割し計836,700メッシュ、詳細分割(fine)では壁面回りは10mm、人体回りは20mm、周辺は40mmで分割し計5,735,400メッシュとした。Fig. 7に各ケースの壁面近傍第一メッシュの平均(および最大、最小)y<sup>+</sup>[-]を示す。細かく分割したcaseC,Dで壁面近傍第一メッシュが粘性底層付近まで達している。SKEでは壁面数としてEWTを採用しているため、y<sup>+</sup>[-]値の影響はないと思われる<sup>6)</sup>。

Table 1 Heat Value Condition

Name	Heat Value[W]	Number [-]		Note
		All member	Half member	
Human body	60	2	1	with CO <sub>2</sub> supply surface
Laptop	30	2	1	-
Lighting	32	2	2	60% on Lighting position, 40% on desk and floor
OA Machine	150	1	1	calculated as 1,500W each module and 30% of load ratio
Total Heat Gain [W]		394	304	

Table 2 Analysis Condition

CFD Code	ANSYS FLUENT 16.1		
Turbulent Model	Standard k-ε Model Low Re k-ε Model (Abe-Kondoh-Nagano;AKN)		
Algorithm	SIMPLE		
Discretization Scheme	Body Forced Weighted(pressure term) / QUICK (others)		
Mesh	Mixing Ventilation	836,700	
	Textile Ventilation	5,735,400	
Inlet	The Boundary Condition is referred Table 3.		
Outlet	Natural Flow out (Flow Reserved)		
Wall	Floor and Ceiling	no slip, Insulation, Enhanced Wall Treatment	
	Side	symmetry	
Contaminant	tracer-gas	generated as space uniform(Passive Contaminant)	
	CO <sub>2</sub>	0.02[m <sup>3</sup> /h], 100% of CO <sub>2</sub> is generated by human body.	
Density	Boussinesq Approximation		

Table 3 Boundary Condition

Mixing Ventilation					
case No.	Velocity [m/s]	Temperature[°C]	Target Temp.[°C]	Room Height[m]	Heat Value[W]
1	4.11	24	26	3.0 or 2.6	394
2	2.04	22			
3	1.35	20			
4	3.17	24			
5	1.58	22			304
6	1.04	20			
Textile Ventilation					
case No.	Velocity [m/s]	Temperature[°C]	Target Temp.[°C]	Duct Diameter[m]	Heat Value[W]
1	0.036	18	26	0.3	394
2	0.028	16			
3	0.023	14			
4	0.028	18			
5	0.022	16			304
6	0.018	14			

Table 4 Preliminary Analysis cases

		Mesh	
		standard	fine
Turbulent Model	SKE	case A	case C
	AKN	case B	case D

Fig. 8 に予備解析の結果を風速ベクトル図で示す。TD からの明確な下降気流が見られるのは caseD のみであり、他のケースでは下降気流となっていない。よって、以後 TD 方式の場合は caseD を用いる。一方、MV 方式の場合は caseA で十分な精度が得られた。

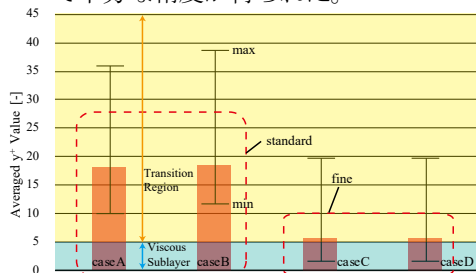


Fig. 7 Averaged  $y^+$  Comparison (Preliminary Analysis)

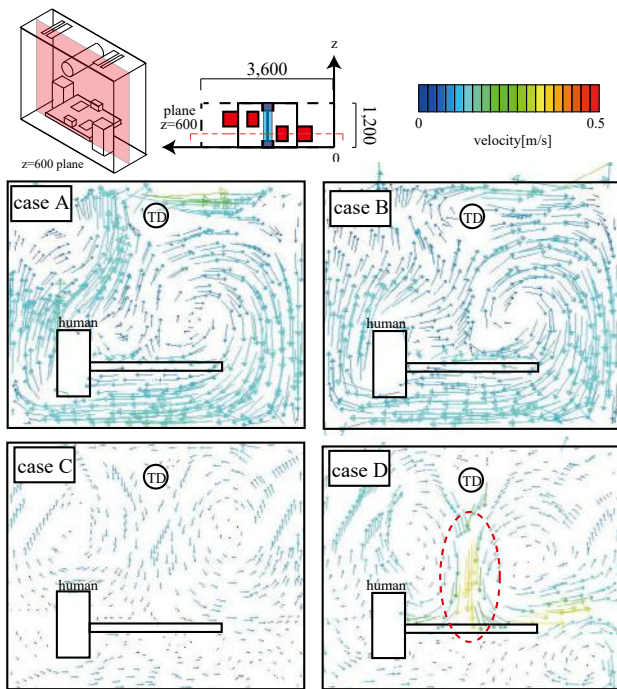


Fig. 8 Velocity Vector on plane  $z=600\text{mm}$  (Preliminary Analysis)

#### 4. 吹出し方式に関する検討

Fig. 9 に TD を机の直上に設置した条件 (case1) の結果 (風速コンター、鉛直分布) を示す。TD には  $0.036\text{m/s}$  の初期風速のみ与えたが、TD 直下 ( $(x,z)=(1,800,600)$ ) では一部風速が最高  $0.4\text{m/s}$  にまで達している。これは、Fig. 8 のベクトル図 (caseD) より、周辺空気の巻き込みにより風速が増加したものと考えられる。

次に、各ケースの上下温度差分布を Fig. 10 に示す (ただし TD 換気方式の case5, 6 は収束が不十分である可能性がある)。一般的な居室において、居室上部で高温で、床近傍が低温である室内では、熱的不快感を生じ、ASHRAE Standard 55-2013<sup>7)</sup> によると頭部温度と脚部温度差が  $3^\circ\text{C}$  以内となることが居住者の温熱環境上望ましいとされている。一般的に頭部が脚部より冷える逆転現象 (頭寒足熱) が起こることはま

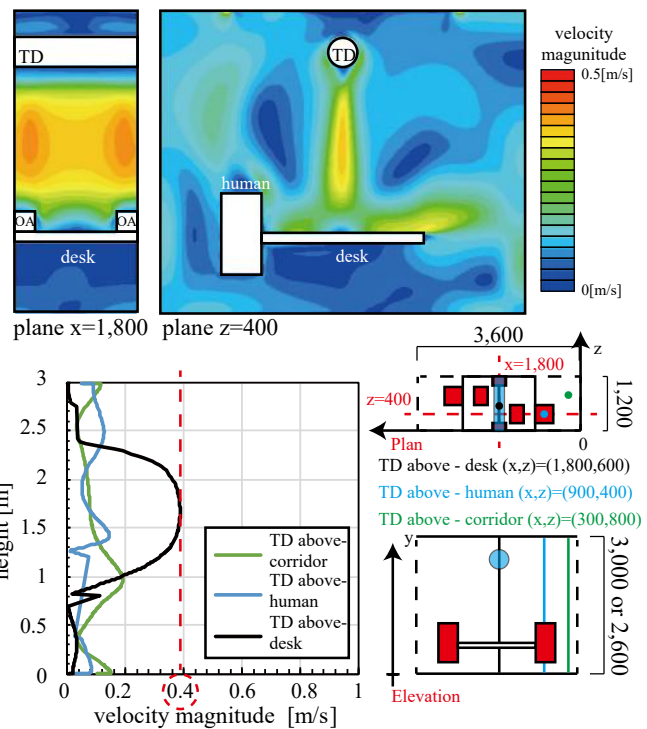


Fig. 9 Velocity Contour and vertical distribution (case1)

れだが、これはより望ましいこととされている。結果より、上下温度差はいずれの換気方式でも推奨値以下であるが、TD 方式において「頭寒足熱」が観測され、より望ましい温熱環境を形成したといえる。TD による下降気流が頭部を局部的に冷却するためである。

Fig. 11 に各ケースの規準化居住域濃度  $C_n$  を (居住域平均濃度  $C_a$  と排気濃度  $C_e$  の比 ( $C_n=C_a/C_e$ )) を示す。居 TD 方式において、MV 方式の場合よりもわずかに優れた値を示した。MV 方式では階高によらず特に高風速の case1 で滞留が見られた。よって空気質・温熱環境双方の面から TD 方式は MV 方式よりも優れているといえる。

#### 5. TD 設置位置に関する検討

Fig. 12 に 3 か所の TD 設置位置 (Fig. 6 右側に示す 3 か所で、机上、人体上、廊下上) について検討した上下温度差分布を示す。机上で最も良い値を示すのは、TD 下降気流が机に衝突し、冷気が居住域に効率的に供給されるためと思われる。一方人体上に設置した場合、TD 下降気流が人体からの上昇プルームと衝突し、居住域に冷気が到達しないため、上下温度差ができると考えられる。

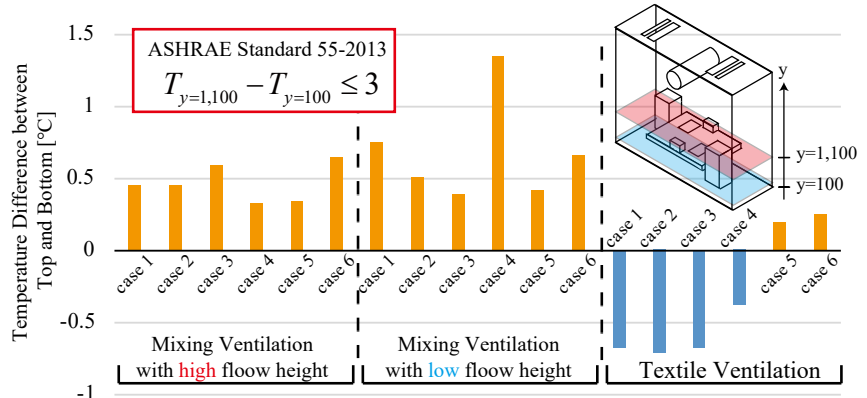


Fig. 10 Temperature Difference between Top and Bottom (ventilation system)

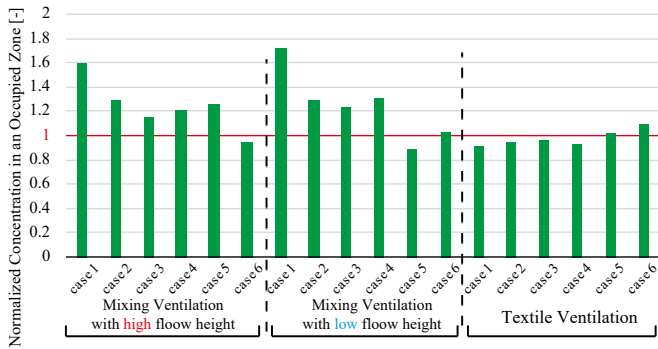


Fig. 11 Normalized Concentration in an Occupied Zone (ventilation system)

#### 6. Ar 数 - 空気質指標関連

アルキメデス数  $Ar$  は室の気流分布を支配する吹き出し気流風速と温度差を考慮した無次元数であり、 $Ar$  数により空気質指標を整理する。 $Ar$  数を下式で表す。

$$Ar = \frac{g\beta L(T_{out} - T_{in})}{u^2}$$

$g$ ; 重力加速度 [ $m/s^2$ ],  $\beta$ ; 体膨張率 [ $1/K$ ],  $L$ ; 代表長さ [ $m$ ],

$u$ ; 吹き出し風速 [ $m/s$ ],  $T_{in}$ ; 吹き出し温度 [ $K$ ],  $T_{out}$ ; 周辺温度 [ $K$ ]

MV 方式の場合代表長さには吹き出し口の短辺スロット幅を用いるのが一般的であるが、本解析では  $Ar$  数が小さくなりすぎることと、階高の影響を考慮し、階高を用いた。Fig. 13 に、 $Ar$  数を横軸に、汚染質除去効率 ( $CRE$ )、規準化居住域濃度 ( $C_n$ )、居住域平均空気齢、空気交換効率を縦軸にプロットした図を示す。

- ①  $Ar$ - $CRE$  相関 ... 混合換気方式の場合は正の相関、TD 方式の場合設置位置によらず横這いである。
- ②  $Ar$ - $C_n$  相関 ... 混合換気方式の場合、階高の差によらずやや負の相関が見られる。TD 方式の場合、設置位置によらず横這い～やや正の相関がみられる。
- ③  $Ar$ -居住域平均空気齢 ... 対数関数的正の相関をもつ。
- ④  $Ar$ -空気交換効率相関 ... 混合換気方式の場合、階高によらず正の相関が見られ、TD 方式の場合、設置位置によって関係が異なり、TD 位置によって室の空気質が異なる。

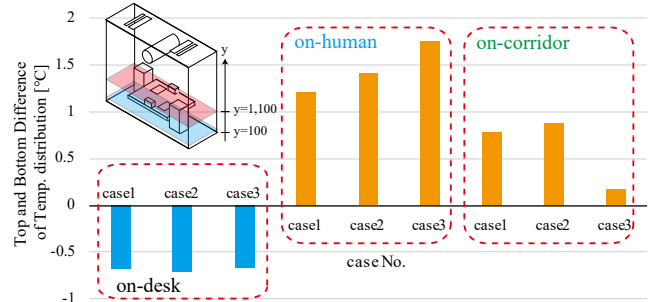


Fig. 12 Temp. Difference Top and Bottom (location of TD)

#### 4. おわりに

本報では TD 方式を採用したオフィスの CFD 解析を行い、各空気質指標を  $Ar$  で整理した。また、予備解析により TD を CFD 解析に用いる際に最も適切な乱流モデルの選択、メッシュ分割を明らかにした。また、流れ場 ( $Re$  数) と各空気質指標との相関は、 $Re$ - $C_n$  相関を除いて基本的に負の相関関係であった。風速コンター図を確認すると、TD 方式において吹き出し気流が居住域に到達し、居住域が良く換気されている様子がうかがえた。

#### 【参考文献】

- 1) 中川浩明：不燃性と通気性を有するソックダクトの性能評価及び業務用厨房における実測評価，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.41-44,2015.9
- 2) P.V.Neilsen: Air Distribution in Rooms Generated by a Textile Terminal-Comparison with Mixing and Displacement Ventilation, ASHRAE Transaction, Part8, pp.733-739, 2005.6
- 3) Y.Momoi, G.Ntosti, S.Moiragias, Z.Bolashikov, A.Melikov. Thermal Environment of Textile Based Ventilation Combined with Chilled Ceiling. Proceedings of Clima 2016 congress, Aalborg, Denmark. 2016.
- 4) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学便覧基礎編，p338, 2010. 2
- 5) Fujiang Chen, Huanxin Chenb, Hong Wanga, Shuli Wanga, Jinliang Wanga, Xiaobing Wanga, Zhong Qiana; Parametrical analysis on characteristics of airflow generated by abric air dispersion system in penetration mode; Energy and Buildings 67; pp.365-373; 2013
- 6) 空気調和・衛生工学会：CFD ガイドブック，pp. 16-20, 2017. 11
- 7) ASHRAE, 2013, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta:ASHRAE

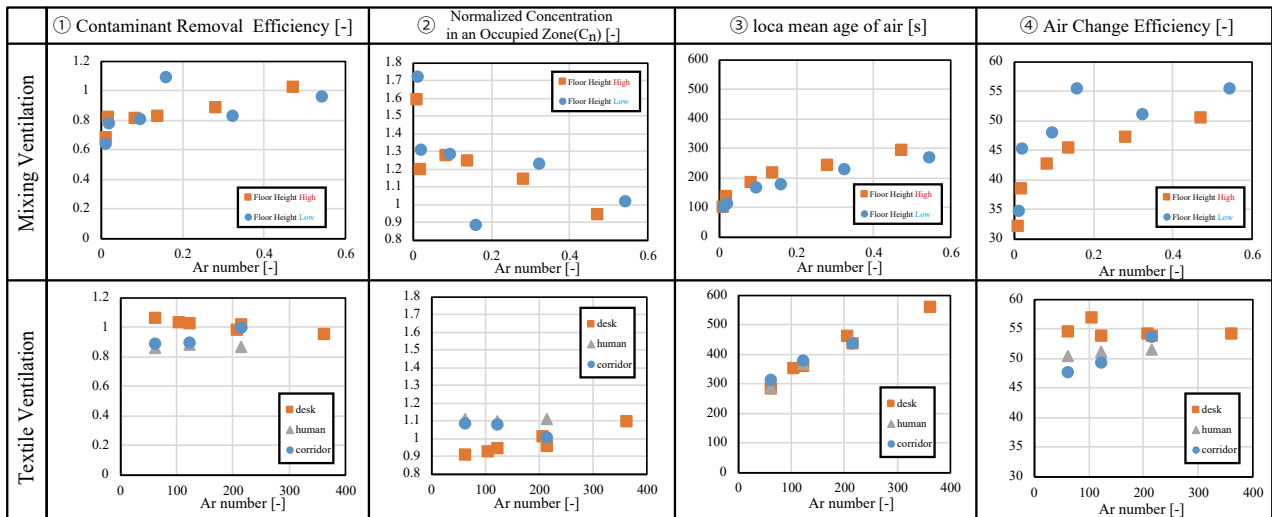


Fig. 13 the Correlation between Ar number and Index of Indoor Air Quality (All cases)

折板状反射体の日射反射性能に関する研究  
- 折板形状による反射率の異方性発現効果 -

Research on Reflection Performance of Folded Plate

— Expression Effects of Anisotropy Reflectance by Folded Plate Shape —

永目 享大 (大阪市立大学)

西岡 真稔 (大阪市立大学)

鍋島 美奈子 (大阪市立大学)

Kodai NAGAME\*<sup>1</sup> Masatoshi NISHIOKA\*<sup>1</sup> Minako NABESHIMA\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Osaka City University

A reflection technique that can change the performance of reflecting solar radiation such as solar radiation absorptivity rate while controlling the direction of reflection is required, as a method for controlling heat island phenomenon and the cooling and heating load in summer and winter. In this paper, focusing on the folded plate, numerical simulation revealed the influence of the shape of the reflector and the material of the reflective surface on the performance of reflecting solar radiation. As a result, it is possible to change the solar radiation absorptivity rate by 27% in the south and reflect the sunlight upwards.

1. はじめに

近年、都心部でヒートアイランド現象が顕在化しており、これに対する抑制策として建物外皮を高反射化し、日射受熱量を低減する対策が普及しつつある。代表的な方法として、高反射率塗料を用いる方法があるが、高反射率塗料は拡散反射性を持つため、(1) 低層面や側壁面に適用した場合、Fig.1 のように反射日射が周辺の建物や地物に吸収され、日射の吸収位置が移転するだけの結果となってしまふ。(2) また、冬季においては高反射化により、受熱量が低減することで暖房負荷が増加してしまうといった問題が挙げられる。これらの問題を踏まえて、Fig.2 のように、夏季には、半球反射率を大きくし、かつ天空方向への反射量を大きくする。その上で冬季には、半球反射率を低くすることができれば、より有用性の高い技術と言えるだろう。

上記のような反射技術として、折板状反射体に着目した。折板状反射体は2つの反射面から構成されており、その構造から太陽光を上方向へと反射することを狙っている。また、2つの反射面にそれぞれ反射性能の異なる反射材を設置することで、太陽高度の変化に対する、半球反射率の異方性を発現させることが期待される。

既往研究において、古林ら<sup>[4]</sup>は季節によって反射率が変化する折板状反射体を提案・試作し、BRDFを測定することでその有用性を示した。しかし、冷暖房負荷に影響を及ぼす日射吸収率を季節により、どの程度変化させることができるのか、また折板状反射体を設置した際に地表面や周辺建物への反射量がどの程度あるのか把握できていない現状にある。また、季節・時刻により細かく変化する太陽高度と、折板状反射体の複雑な形状から、

日射反射性能の実験的検討は困難が予想される。

そこで本研究では、数値シミュレーションによって評価を行うこととし、折板状反射体の形状・反射面の素材が日射吸収率や上方向反射率などの日射反射性能に及ぼす影響についてケーススタディを通じて明らかにすることを目的とする。また、折板状反射体の街路壁面設置を想定し、街路を模擬した数値計算により、周辺建物や地表面に与える影響についても検討を行う。

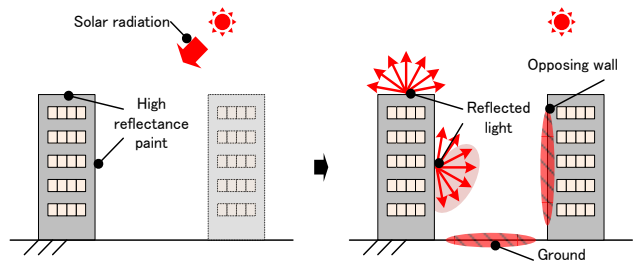


Fig.1 High reflectance paint

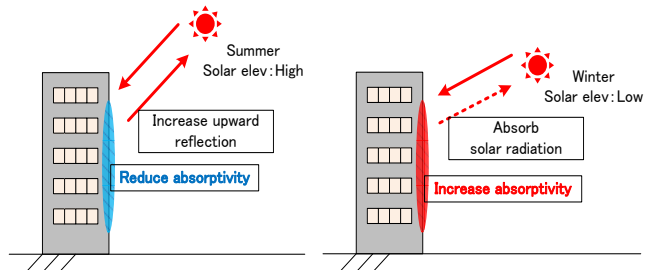


Fig.2 Useful reflection technology

## 2. 本研究で対象とする折板状反射体

本研究では、異なる3種類の折板状反射体について検討を行う。2枚の反射面のプロポーシオンから1:1型折板状反射体(略称1:1型)、1:2型折板状反射体(1:2型)、1:3型折板状反射体(1:3型)と呼ぶこととする。それぞれの反射体寸法の詳細をFig.3,4,5に示す。1:1型は最も標準的な再帰反射体の形状であり、反射体開口部に垂直に入射する光に対して再帰反射量が最も大きくなるように設計されている。1:2型、1:3型は天空方向への反射量を増やすことを狙った形状となっている。

## 3. 数値計算概要

### 3.1. 使用する反射モデル

反射面については式(1)で表される修正Phongモデルを用い、反射特性を再現する。鏡面反射面における拡散反射率 $k_d$ 、鏡面反射率 $k_s$ は分光光度計UV-3600(SHIMADZU)により測定した分光反射率をもとに算出する。BRDF(式(1)の $\rho$ )については変角光度計GSMS-4(MCRL)により入射角が-45度に対する反射角別の反射強度を反射角-75度~75度の範囲において5度ピッチで測定する。この測定値を用いると、式(1)における未知パラメータは $n$ のみとなり、既往研究<sup>[2]</sup>と同様に最小自乗法によりこれを決定する。拡散反射面における拡散反射率 $k_d$ は鏡面反射率 $k_s$ を0とし、既往研究<sup>[1]</sup>により測定された半球反射率をもとに決定する。本研究で反射素材として用いる白色拡散面・灰色拡散面・黒色吸収面・アルミ輝面におけるパラメータをTable.1に纏める。尚、本研究で鏡面反射面として用いるアルミ製輝面は、太陽熱発電などに用いられる極めて高反射な素材である。

$\rho = k_d \frac{1}{\pi} + k_s \frac{n+2}{2\pi} \cos^n \alpha \quad (1)$	
$\rho$ :BRDF	$k_d$ :Diffuse reflectivity
$k_s$ :Specular reflectivity	$n$ :Phong parameter

### 3.2. 数値計算方法

本研究では、数値計算法として、モンテカルロパストレーシング法を用いる。この方法を用いた放射伝熱解析では、日射を複数のエネルギー粒子として表し、乱数を用いて決定したエネルギー粒子の吸収や反射といった挙動の追跡を行うことで解析を行う。反射面に入射したエネルギー粒子においては式(2),(3)によって確率的に反射方向を決定する。拡散反射面では、Lambertの余弦法則をもとに鏡面反射面では、修正Phongモデルをもとに重点サンプリング法を適用する。尚、反射面に入射した光源の挙動は拡散反射率 $k_d$ 、鏡面反射率 $k_s$ 、0~1の一樣乱数 $\xi_3$ を用いて以下の式(4)より判別する。<sup>[3]</sup>

### 3.3. 数値計算概要

折板状反射体における数値計算はFig.6のように5面から成る閉空間を形成し行う。Fig.6のA面は日射の入射位置となる折板状反射体における開口部であり、本稿

では、反射体の「開口面」と呼ぶ。開口面では、エネルギー粒子の射出と反射した粒子の吸収が行われ、吸収した粒子の方向ベクトルと、その粒子数により反射方向とその方向別の反射強度を算出する。

射出点はFig.7のように開口面を三角形に等しく分割し、その重心に配置する。エネルギー粒子は入射条件を与えて射出し、受照面(Fig.8)に粒子が到達すると、そこで反射モデルに従い、拡散反射、あるいは鏡面反射が起きる。そして反射位置、および反射日射の方向ベクトルを求め、次の到達面への粒子を追跡する。周期境界面(Fig.9)へと到達した粒子は、Fig.9に示すように反対側の面へ平行移動させることで、連続した空間を想定する。最終的にエネルギー粒子が開口面に到達するまで、この操作を繰り返せば、入射から反射に至るプロセスを計算することができる。

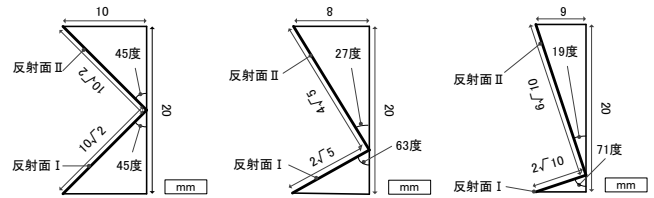


Fig.3 1:1 type

Fig.4 1:2 type

Fig.5 1:3 type

$(\theta, \phi) = (a \cos \sqrt{\xi_1}, 2\pi \xi_2)$		(2)
$(\alpha, \phi) = (a \cos \xi_1^{1/(n+1)}, 2\pi \xi_2)$		(3)
$\theta$	:polar angle	$\phi$ :azimuthal angle
$\xi_1, \xi_2$	:uniform stochastic variables over the interval [0,1]	
$\alpha$	:the angle between the perfect specular reflective direction and the out going direction	
$0 < \xi_3 < k_d$	:Diffuse reflectivity	(4)
$k_d < \xi_3 < k_d + k_s$	:Specular reflectivity	
$k_d + k_s < \xi_3 < 1$	:Absorption	

Table.1 Reflective material parameters

	$k_d$	$k_s$	$n$
White diffusion surface	0.85	0	—
Gray diffusion surface	0.32	0	—
Black absorbing surface	0.09	0	—
Aluminum bright surface	0.09	0.71	3137

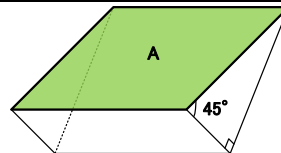


Fig.6 Opening surface

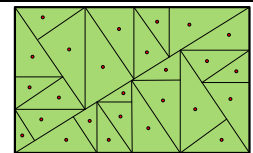


Fig.7 Injection point

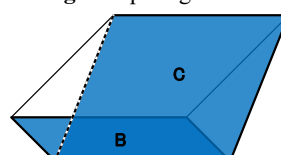


Fig.8 Receiving surface

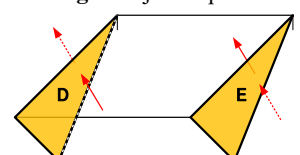


Fig.9 Periodic interface

#### 4. 折板状反射体の日射反射性能

##### 4.1. 計算条件とケーススタディの構成

東京の緯度・経度の位置に折板状反射体を設置する条件でケーススタディを行う。反射体開口面に与える粒子数は、524288点としている。ケーススタディと反射面の素材構成を Table.2,3 に示す。

##### 4.2. 検討方法

上述の検討ケースを対象に数値計算を行い、以下のステップに従い検討を行う。

##### (1) STEP1 日射反射性能 (時別値) の算出

入射粒子の個数を $N_{in}$ 、開口面を通過した粒子数を $N_r$ 、反射粒子のうち、折板状反射体の開口面の法線に対して上方向に射出された粒子数を $N_{up}$ とすると日射吸収率は式(5)で、上向き反射率は式(6)で表される。この計算により1日の時刻別の日射反射性能を算出する。結果の一例を Fig.10 に示す。

$a_{in} = 1 - \frac{N_r}{N_{in}} \quad (5)$
$\rho_{up} = \frac{N_{up}}{N_r} \quad (6)$
$a_{in}$ :Solar absorptivity $\rho_{up}$ :Upward reflectivity

##### (2) STEP2 日射反射性能 (積算値) の算出

入射する直達日射量が時刻により異なることを考慮するために、STEP1により算出した時刻別の吸収率・反射率と入射する直達日射量により各日の日積算日射量を算出する。入射する直達日射量は Bouger の式 (大気透過率=0.7) により算出する。尚、本稿では日射の入射方向に対する反射特性の把握を趣旨としているため、指向性を持たない天空日射については分析を行わない。

##### (3) STEP3 日射反射性能の比較

STEP2により算出した日積算日射量をもとに1日を通じた日射吸収率・上向き反射率を算出し、季節による比較を行う。W/B における結果を Fig.12 に、MIRO/B における結果を Fig.13 に示す。この結果をもとに以下で考察を行う。

##### 4.3. 考察

1:2型の MIRO/B では、夏季の日射吸収率を約60%程度に抑え、冬季は約90%程度まで高める効果が得られ、夏の冷房負荷を抑制し、さらに冬季の暖房負荷を低減することが期待できよう。また、夏季の上向き反射率も90%以上と大きい値を示し、ヒートアイランド抑制につながる結果となった。

Table.2 計算条件とケーススタディ

Orientation	South side		
Date	August 21	December 21	
Times of day	True solar time 8-16		
Reflector shape	1:1 type	1:2 type	1:3 type

Table.3 Construction of reflective surface material

Name	Reflective surface I	Reflective surface II
W/B	White diffusion surface	Black absorbing surface
MIRO/B	Aluminum bright surface	Black absorbing surface

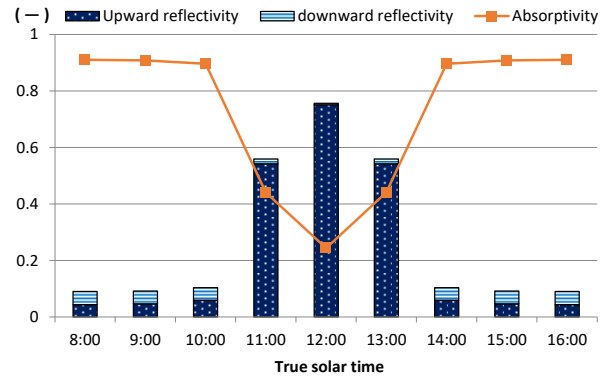


Fig.10 Solar absorptivity · reflectivity (Value by time)

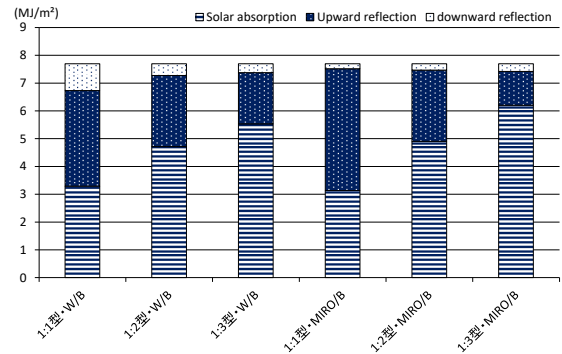


Fig.11 Daily solar radiation

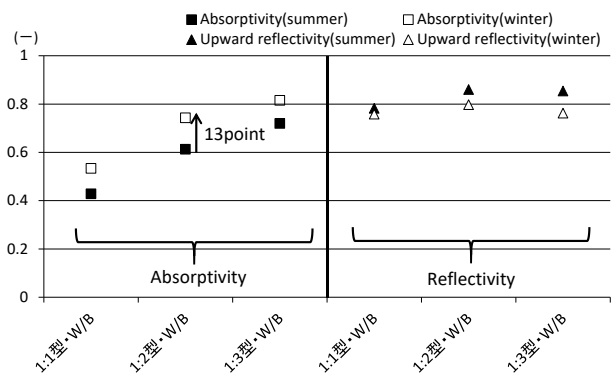


Fig.12 Comparison of reflection performance (W/B)

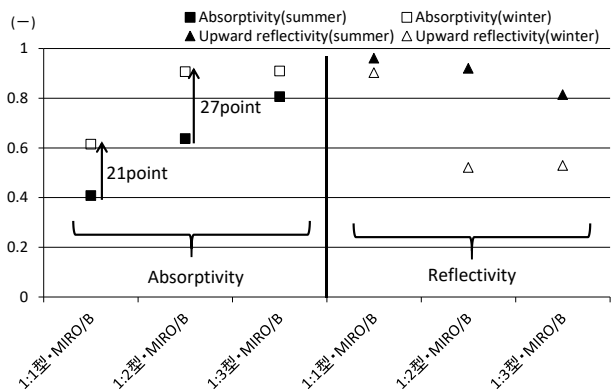


Fig.13 Comparison of reflection performance (MIRO/B)

## 5. 街路モデルを用いた数値計算

### 5.1. はじめに

これまでに、折板状反射体単体の数値計算概要と結果について示してきたが、街路を模擬した数値計算においては、その計算方法を拡張する必要がある。拡張の方法としては、まず折板状反射体を設置した壁面に粒子が入射した場合、反射体における開口面の入射点をランダムに決定し、その点から入射した粒子の反射計算を行う。その計算から得られた粒子の反射方向を保存し、壁面の入射点において保存した方向へと再び粒子を射出する。

### 5.2. 街路形状モデル

本研究では、Y軸正を北、X軸正を東としたD/H（建物間隔Dに対する建物高さH）が1の街路形状モデルを作成した。Fig.14の射出面よりエネルギー粒子を射出する。射出した粒子は折板状反射体を設置した壁面へと入射し、反射あるいは吸収される。対向壁面と地表面は完全吸収面としており、最終的にこの面に吸収された粒子数により、反射量を算出する。尚、Fig.15のように壁面と地表面を周期境界面で囲むことで無限に長い東西街路を想定する。

### 5.3. 計算条件とケーススタディの構成

計算条件として、射出面に与える粒子数は8120点とし、入射角は夏季・春秋季・冬季の南中時太陽高度を基に設定している。この前提条件のもと、エネルギー粒子の粒子数を $N_{ray}$ 、反射体設置壁面へ入射したエネルギー粒子数を $N_{in}$ 、反射体を設置した壁面に吸収された粒子数を $N_{absorb}$ 、地表面に吸収された粒子数を $N_{ground}$ 、対向壁面に吸収された粒子数を $N_{wall}$ とし、以下の式(7),(8),(9)に示す項目を算出する。これにより、折板状反射体を壁面に設置した際に地表面や対向壁面へと与える影響を把握する。計算条件とケーススタディをTable.4に示す。

### 5.4. 計算結果

上述のように算出した反射性能をFig.16に示す。地表面方向への反射量はW/B、MIRO/BにおいてW/Wと比較すると全ての形状で抑制することができた。対向壁面方向への反射量もW/B、MIRO/Bでは、ほとんどのケースで抑制することができたが、MIRO/B 1:1型の50度・70度では、鏡面反射の反射角が小さくなるため、対向壁

面方向の反射量が大きくなってしまったことが分かった。

## 6. まとめ

折板状反射体における数値計算により、1:2型のMIRO/Bでは、夏季に日射吸収率を60%程度に抑え、冬季には約90%まで高めることができ、季節によって反射率が可変であることを明らかにした。また、街路モデルを用いた数値計算により、夏季、冬季ともに側壁面の高反射化対策としての有用性を示した。

### 【参考文献】

- [1] 古林薫ほか「折板状反射面を有する建物壁面の下向き日射の低減効果」空気調和・衛生工学会論文集 (247), 1-7, 2017-10
- [2] 西岡真穂ほか「建物外皮の高反射化を目的とする指向性反射体の研究—コーナーキューブ型反射体の数値シミュレーション—」日本熱物性シンポジウム講演論文集, 2012-10, pp.152-154
- [3] E. Lafortune.etal “Using the modified Phong reflectance model for physically based rendering” Technical Report CW197, Dept. Comp. Sci, K.U. Leuven(1994)

$\rho_{ground} = \frac{N_{ground}}{N_{in}} \quad (7)$
$\rho_{wall} = \frac{N_{wall}}{N_{in}} \quad (8)$
$a_{in} = \frac{N_{absorb}}{N_{in}} \quad (9)$
$\rho_{ground}$ : Ground reflectivity $\rho_{wall}$ : Opposing wall reflectivity $a_{in}$ : Receiving surface absorptivity

Table.4 Calculation condition and case study

Number of particles	8120 pieces		
	30°	50°	70°
Angel of incidence	30°	50°	70°
Reflector shape	1 : 1 type	1 : 2 type	1 : 3 type
Reflective surface material	W/B	W/W	MIRO/B

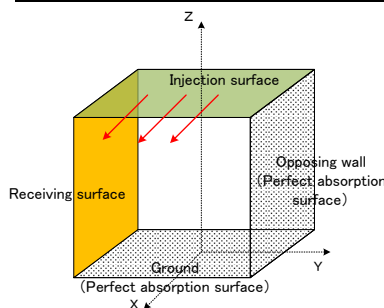


Fig.14 Street model

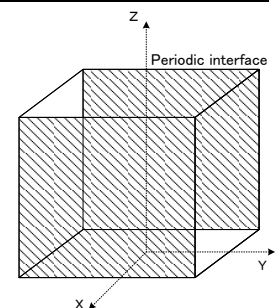


Fig.15 Periodic interface

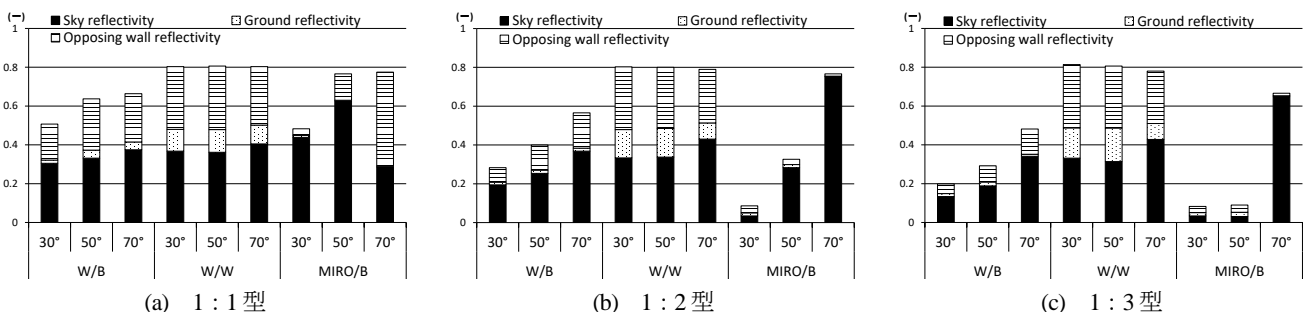


Fig.16 Reflection performance in street model

## 水質モデルを用いた加古川流域から播磨灘への窒素流出解析

### Analysis of nitrogen discharge from the Kako River Basin to Harima Nada using water quality model

○森 正 憲 (大阪大学) 古賀 佑太朗 (兵庫県環境研究センター)  
嶋 寺 光 (大阪大学) 松 尾 智 仁 (大阪大学)  
近 藤 明 (大阪大学)

Masanori MORI\*<sup>1</sup> Yutaro KOGA\*<sup>2</sup> Hikari SHIMADERA\*<sup>1</sup> Tomohito MATSUO\*<sup>1</sup> Akira KONDO\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Osaka University \*<sup>2</sup> Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences

In Harima Nada, nutrient concentration has decreased due to regulation for water quality improvement, which may be attributable to recent decrease in fishery yield. In order to evaluate the attribution quantitatively, it is necessary to grasp the dynamics of nitrogen in rivers flowing into Harima-Nada. In this study, hydrological transport of total nitrogen in the Kako River Basin, which is the largest among basins around Harima Nada, was analyzed by using water quality model. While the model well captured temporal variations of river flow, it tended to overestimate nitrogen concentration probably because of an overestimate of nitrogen load originating from area sources.

#### はじめに

瀬戸内海では、高度成長期には富栄養化の影響で赤潮が頻発していたが、瀬戸内海環境保全特別措置法による規制等により水質汚濁流入負荷量は大きく減少し、水質の改善が進んできた。その一方で、1990年代後半以降瀬戸内海における漁獲量は減少傾向にあり、ノリの色落ちも報告されている<sup>1)</sup>。

上記の問題の要因の1つに貧栄養化が考えられる。溶解無機態窒素(DIN)をはじめとする栄養塩は、海洋生物の餌となる植物プランクトンの成長に必須であるが、瀬戸内海で漁獲量の減少が確認されたのと同時期に、瀬戸内海東部の播磨灘においてはDIN濃度の低下が進んでいる<sup>1)</sup>。

このような課題を解決するための栄養塩管理対策の検討には、長期の栄養塩流出量評価が必要である。また、DIN濃度変化には流入河川による窒素負荷量の変化が影響を与えていることが明らかになっている<sup>2)</sup>。また、複数の流入河川中で加古川が最大の流域面積を持っていることが分かっている<sup>3)</sup>。

以上より本研究では、長期の栄養塩流出解析のための基礎研究として水文・水質モデルを構築し、播磨灘への流入河川の中で最大の流域面積を持つ加古川流域を対象に、流量、総窒素濃度の再現や、流域内の総窒素の寄与率の算出などといった総窒素(TN)の流出解析を行った。

#### 1. 解析方法

##### 1. 1 水文・水質モデルの概要

水文モデルで流域界・水路網データ、土地利用データ、気象データから流域内の降雨流出過程が計算される。続いて水質モデルにて、水文モデルにより計算された陸域流出量、河川水位・流量と、窒素負荷発生源データから河川水中窒素の動態が解析される。

##### 1. 2 計算条件

計算領域は Fig.1 に示す加古川流域である。流域全体を1852の標準地域メッシュ(3次メッシュ)に区分し、計算期間は2015年の1年間とした。

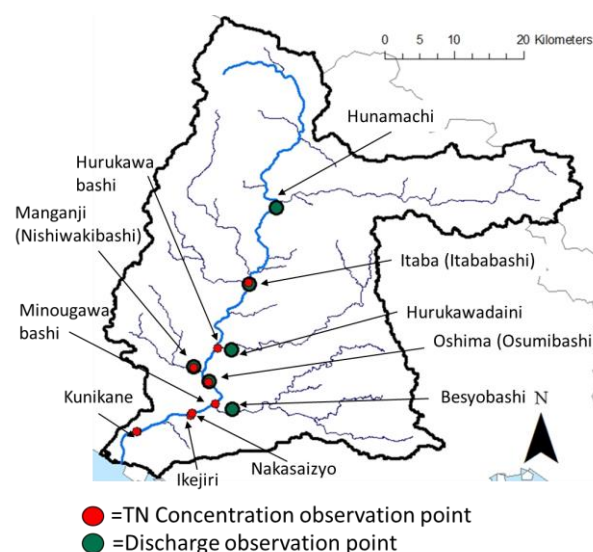


Fig.1 Kako River basin and observation point

Table.1 に各観測点における調査観測項目を、Table.2 に降雨後に実測を行った日時を示す。降雨後は河川への面源からの総窒素負荷が増加することが知られている。この中で流量の計算結果を本流の上流と下流に位置する板波と大島で、総窒素濃度の計算結果を降雨時に実測を行った板波橋と中西条について示す。中西条についてのみ、降雨後の2時間ごとに実測を行った。また、同じ地点で得られた実測値でも、観測所名が流量および平水時の総窒素濃度と、降雨後の総窒素濃度で異なるものが存在するので、Fig.1, Table.1 内の丸括弧に降雨後の総窒素濃度が得られた観測所名を示す。

Table.1 Observed items at each observation point<sup>4)5)</sup>

Area	Discharge	After rain (TN)	In ordinary water (TN)
Hunamachi	○	—	—
Itaba	○	○ (Itababashi)	○
Hurukawa daini	○	—	—
Hurukawa	—	○	—
Manganji	○	○ (Nishiwakibashi)	—
Oshima	○	○ (Osumibashi)	—
Minougawabashi	—	○	—
Besyobashi	○	—	—
Nakasaijo	—	○ (Every 2 hours)	—
Ikejiri	—	—	○
Kunikane	—	—	○

Table.2 Survey date at the time of rain<sup>4)</sup>

Year	Survey date	Survey date (Nakasaijo)
2015	8/20	—
	9/17	9/16-17
	10/28	10/27-28
	11/18	11/17-18

Table.3 に山林、水田、畑、市街地の土地利用割合を、Fig.2 に各土地利用の流域内における分布を示す。流域内には山林が多く存在することが分かる。窒素負荷発生源データとして面源からの降雨流出に伴う総窒素負荷、点源として下水処理場と事業所からの窒素負荷を考慮した。面源負荷は Table.4 に示す土地利用ごとの窒素の浸出率

を用いて、降水量の時系列変化に応じて総窒素負荷が分配されると仮定した。水処理場と事業所からはそれぞれ排水の流量および窒素濃度の日平均値、年平均値を入力し計算を行った。また、全計算格子において流出した総窒素負荷を発生源別に集計し、年間の窒素負荷の寄与率を算出した。面源負荷の影響を調べるために、全ての汚染源を考慮した計算に加え、面源負荷を考慮しない計算を行った。

Table.3 Land use ratio in the Kako River basin<sup>6)</sup>

Land Use	Forest	Rice field	Farm	City	Water
Ratio (%)	66.4	18.7	1.0	11.3	2.6

Table.4 Area source load unit for each land-use category<sup>7)</sup>

Land use	Forest	Rice field	Farm	City
TN leach rate (kg/ha/year)	5.78	5.0	2.4	4.5

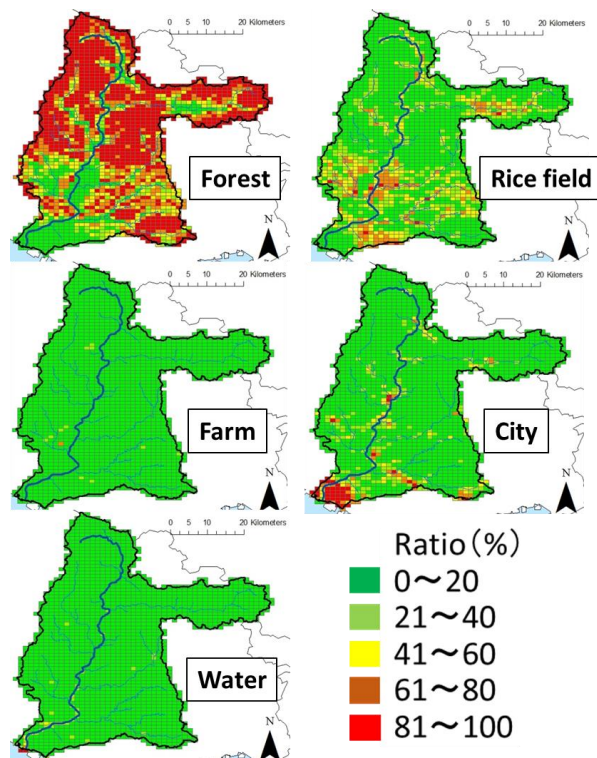


Fig.2 Distribution of land use ratio within Kako River basin

## 2. 計算結果

Fig.3, Fig.4 に板波と大島における流量時別値の計算値と実測値を、Fig.5 に全流量観測点における年平均流量の実測値と計算値の比較を示す。年平均流量は全体的に過大評価傾向ではあるが、板波と大島において実測値の変動傾向を計算値が捉えており、良好な結果といえる。

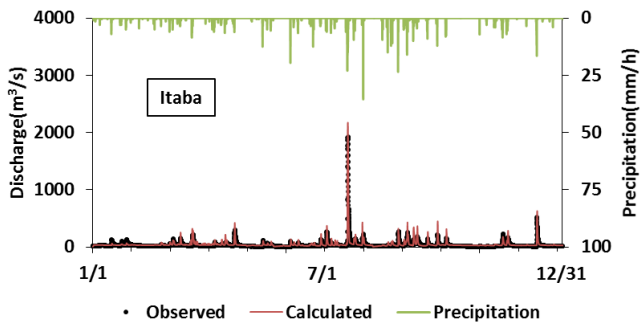


Fig.3 Calculated and observed hourly flow rate at Itaba in 2015

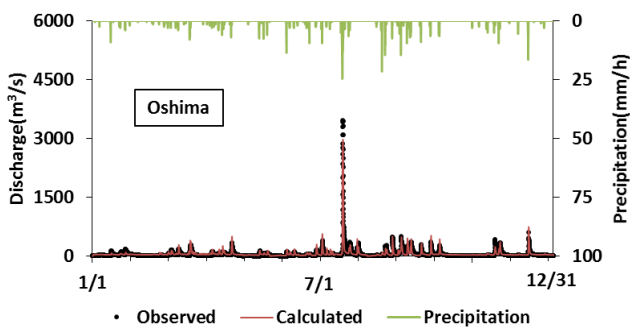


Fig.4 Calculated and observed hourly flow rate at Oshima in 2015

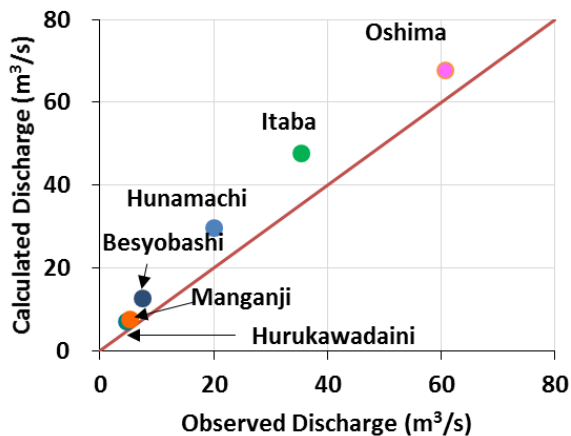


Fig.5 Scatter plot of calculated and observed annual mean flow rates

Fig.6, Fig.7に板波橋と中西条における総窒素濃度の計算値（面源負荷あり，なしの2ケース）と実測値の時系列変化を示す。面源負荷がない場合は総窒素濃度の変動が抑えられていることから，降雨後の濃度は面源負荷からの総窒素流出に依存していることが分かる。また，Fig.8に降雨後の実測が実施された10月27～29日の中西条における総窒素濃度の実測値と計算値を示す。面源負荷を考慮した場合には，実測値と比べ，降雨後の総窒素濃度が過大評価されていることが分かる。

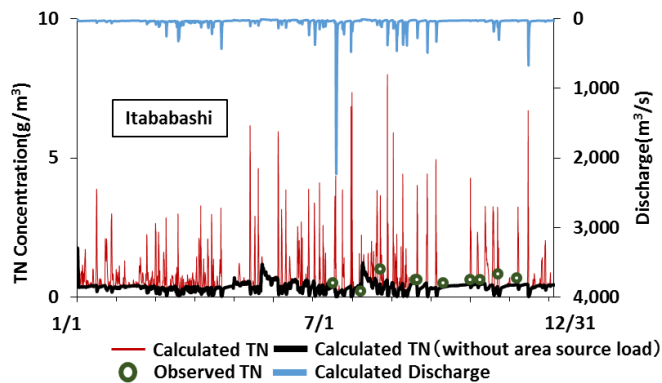


Fig.6 Calculated and observed TN concentrations at Itaba in 2015

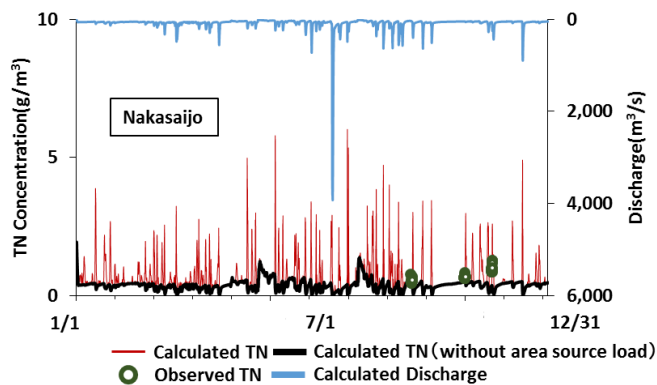


Fig.7 Calculated and observed TN concentrations at Nakasaijo in 2015

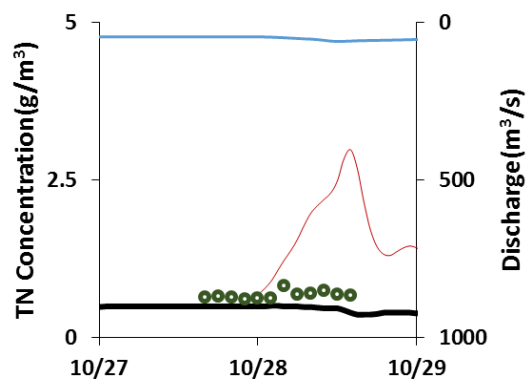


Fig.8 Calculated and observed TN concentrations on October 27-28 at Nakasaijo in 2015

Fig.8 Calculated and observed TN concentrations on October 27-28 at Nakasaijo in 2015

Fig.9に全総窒素濃度観測点における，平水時および降雨後の平均総窒素濃度の実測値と計算値（実測値が得られた時間での平均）を示す。平水時の計算値は過小評価されており，降雨後の計算値は過大評価されていることが分かる。

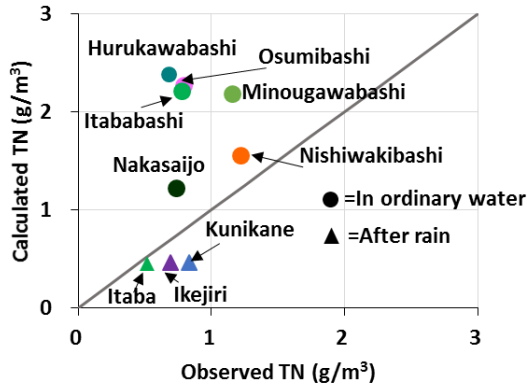


Fig.9 Scatter plot of mean calculated and observed TN concentrations

Fig.10 に流域内の総窒素負荷の発生源別の寄与率を示す。山林が最大の寄与率を示しており、2 番目に大きいのが事業所であった。山林の寄与率の大きさは流域内の山林の面積率が反映されたものと考えられる。

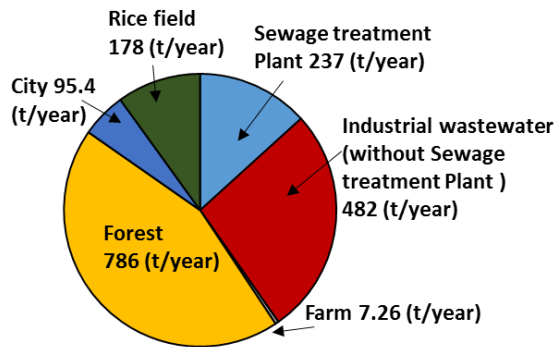


Fig.10 TN contribution rate by source

### 3. 考察

降雨後の総窒素濃度が過大評価されている原因に、降雨流出による面源からの総窒素負荷を過大評価していることが考えられる。本研究にて使用しているモデルにおいては、入力した原単位に従って総窒素負荷の時間配分が時間ごとに変化する降水量に応じて決定されるが、面源負荷の計算に用いる原単位は降雨そのものの負荷も含んでいる他、先行降雨継続時間や先行晴天期間などの降雨直前の初期条件に依存するものである<sup>8)</sup>。さらに雨天時のデータのみで算出した原単位で求めた負荷量と晴天時データもおりませで算出した原単位の負荷量とでは約3倍もの違いがあったことが報告されている<sup>9)</sup>。よって面源負荷の原単位は晴天時と降雨時で別々の値を用いることが必要と考えられる。また池淵周一ら<sup>10)</sup>によると、溶存態無機窒素、溶存態無機りん、懸濁態りんは広葉樹林流域が大きいほど流出負荷量が大きくなり、懸濁態窒素については針葉樹林流域が大きいほど流出負荷量が増加するという傾向がある。今回は山林による面源負荷は

一定としており、樹種による値の違いは考慮していないため、今後山林の樹種構成を考慮して面源汚濁負荷原単位を設定することで、より正確な総窒素濃度が算出できる可能性がある。

### 4. 結論

本研究の結論を以下にまとめる

- 構築した水文・水質モデルは、加古川流域における河川流量を良好に再現したが、降雨流出時の総窒素濃度を過大評価した。
- 総窒素濃度の過大評価の原因は、面源負荷の過大評価であることが示唆された。
- 山林からの総窒素寄与が最大であった。

今後の課題として、原単位の設定を降雨時と晴天時で分け、面源からの降雨流出の過大評価を改善することが挙げられる。また山林の樹種を考慮するなど、土地利用の区分を細分化し、より正確な面源から発生する総窒素負荷量を計算することも考えられる。

### 参考文献

- 1) 瀬戸内海の貧栄養化について - 兵庫県立農林水産技術総合センターひとこと  
[http://www.hyogo-nourinsuisangc.jp/15-one/one\\_2709.html](http://www.hyogo-nourinsuisangc.jp/15-one/one_2709.html)
- 2) 播磨灘の栄養塩環境と兵庫県漁業の実態及び窒素供給取り組み事例 - 環境省  
[https://www.env.go.jp/council/former2013/11seto/y111-hearing03b/mat03\\_1.pdf](https://www.env.go.jp/council/former2013/11seto/y111-hearing03b/mat03_1.pdf)
- 3) 瀬戸内海に流れる河川一覧  
[http://earthresources.sakura.ne.jp/er/EV\\_SNK\\_K.html](http://earthresources.sakura.ne.jp/er/EV_SNK_K.html)
- 4) 古賀佑太郎, 宮崎一, 藤森一男, 松林雅之: 加古川流域における降雨時の窒素, りん負荷量の調査, 公益財団法人ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要, 第7号, pp8-14
- 5) 国土交通省 水文水質データベース  
<http://www1.river.go.jp>
- 6) 国土数値情報ダウンロードサービス  
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj>
- 7) 国土交通省 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説  
<http://www.mlit.go.jp/common/001065300.pdf>
- 8) 海老瀬潜: 面源負荷の流出に及ぼす水文条件の影響, 国立公害研究所研究報告, 第95号, pp57-70
- 9) 村田智史: 水田からの汚濁負荷流出原単位に関する研究  
<http://kaihatsu2.sse.tottori-u.ac.jp/dev/main/study/summary/.../murata03.pdf>
- 10) 池淵周一: 流域森林等の変化をシナリオとしたシミュレーションの実施, 森林理水機能調査 (森林整備手法等基準調査) 報告書, pp264-274, 2015

# 設計施工一貫におけるBIMの取組み事例

## Examples of BIM created by the collaboration between design and construction teams

○栗原 玄太（鹿島建設） 堀江 宏（鹿島建設） 加藤 誠（鹿島建設）

Genta KURIHARA\*<sup>1</sup> Hiroshi HORIE\*<sup>1</sup> Makoto KATO\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Kajima Corporation

### 1. はじめに

近年、Building Information Modeling が急速に普及してきている。従来は、建物全体をモデリングせずに、部分的な納まり検証や施工段階における納まり検証兼作図ツールとしての活用が多かった。現在では、部材データやソフトウェアが充実してきたこともあり、設計段階における作図ツール、合意形成ツールとしても十分活用できる程に浸透してきている。

本プロジェクトでは、設計施工工事としての利点を最大限に生かすべく、入手段階から建物の維持管理までを見据えた一貫通貫、まさにワンストップをお客様に提供するためにBIMで何が出来るかを設計と施工が一丸となって取り組んだ。その事例の一部を紹介する。

対象建物の概要を表1に示す。

表.1 建物概要

建物用途	オフィス、ホテル、飲食店舗、ホール、駐車場
延床面積	合計約55,000m <sup>2</sup> (オフィス約27,000m <sup>2</sup> ホテル約16,000m <sup>2</sup> )
ホテル客室数	352室
構造	SRC造/RC造
階数・高さ	地下2階/地上25階、116m
竣工予定	2020年1月

### 2. 設計施工一貫によるOneStopSolution

本プロジェクトでは、設計施工を活かした取組みとして、基本計画段階から、設計+現場の垣根を超えたBIM協力体制を立ち上げた。ほかにもグループ会社の他、設備協力会社にも早期に参画頂き図面作成を行った。

BIM戦略会議を開催し、3D画面を見ながら設計進捗・3Dモデル入力状況の確認、課題の抽出を行った。

早期から施工側が参画することで、設計施工の力を活かした作り込みを行うことができ、着工後の手戻りを大幅に削減することができた。

### 3. 取組事例

#### ① 設備の見える化 ② 桁割/ギャットユニット化検討

地下から屋上まで全ての設備機器BIM作成に取り組み各部の干渉や建築・構造との調整を実施した。ギャットのユニット化を目指し、デジタルモックアップを作成した。

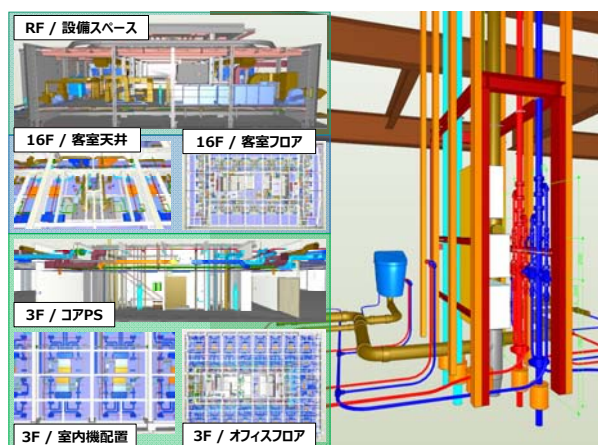


図.1 取組事例 ①②

#### ③ 気流解析

作成したBIMを活用し、モデル形状を利用して気流解析を実施した。モデルを活用することで、図面としてだけではなく、形状や属性を持った建物データベースとしての様々な活用方法を試した。

#### ④ 総合BIMプロット図

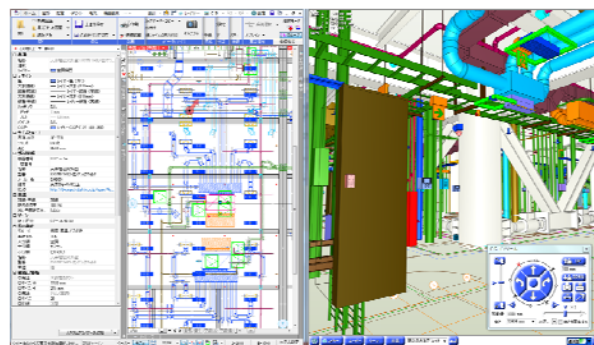


図.2 取組事例 ④

#### ⑤ 設計時における搬出入計画

などBIMを使って様々な検討を実施した。

### 4. 最後に

今後も、設計施工力を活かしたBIMの取組みとして、施工中のAR/VR技術の活用、竣工後のFM連携やIoT技術によるビックデータ活用なども視野に入れ、入手段階から建物の維持管理までの一貫通貫ビジネスに挑戦していきたい。

# サステナブル建築物への取り組み（計画・設計）

## Design of the Sustainable Building

○名倉 宏明（大林組） 西脇 里志（大林組）  
井守 紀昭（大林組）

Hiroaki NAGURA\*<sup>1</sup> Satoshi NISHIWAKI\*<sup>1</sup> Noriaki IMORI\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Obayashi Co. Ltd.

### 1. はじめに

1885年開業以来、発展を続け大阪みなみの核として持続する南海なんば駅に隣接して、新たに誕生する「なんばスカイオ」のサステナブル建築物への取り組みを紹介する。

#### 建物概要

地上31階 地下2階  
延べ面積 約84,000 m<sup>2</sup>  
用途：商業、事務所、他  
竣工予定 平成30年9月



図2 オフィスの空調システム

### (2) 運動促進セキュリティシステム

活動量計とセキュリティシステムをマッチングし、健康アイテムをビルインフラと結びつけて、健康意識の向上や行動誘発によりワーカーの健康をサポートする。



図3 運動促進セキュリティシステムの概念

### 2. サステナブル建築物等先導事業（省CO<sub>2</sub>先導型）

本計画は、省CO<sub>2</sub>と絡めて「健康」、「エネルギー融通」及び「BCP」の3つの課題を軸に事業に取り組んだ。

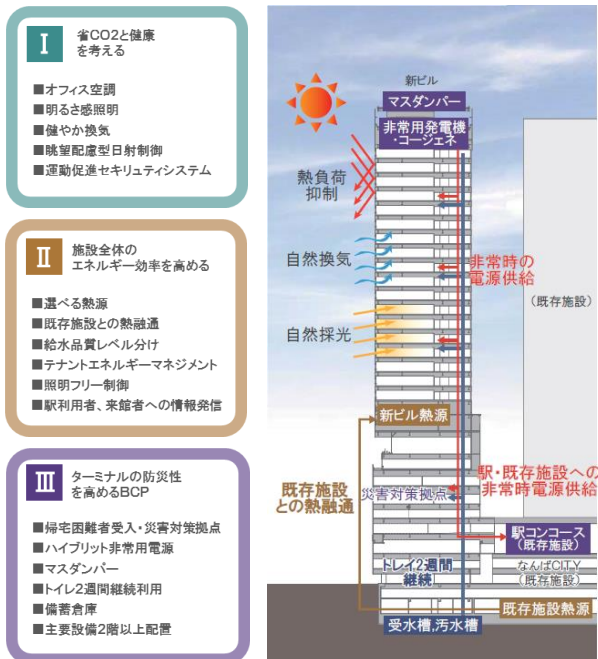


図1 取り組んだ技術

### 2.1 主な導入技術

#### (1) オフィス空調

オフィス空調は、空調域の縮小化と高顕熱制御および足元の冷気滞留改善により、省CO<sub>2</sub>と快適性（＝健康）に配慮したシステムとした。

### (3) 既存施設との熱融通

既存施設の熱源から熱融通を受けて互いのエネルギー効率の向上を図るとともに、節電運用の取組を継承する。

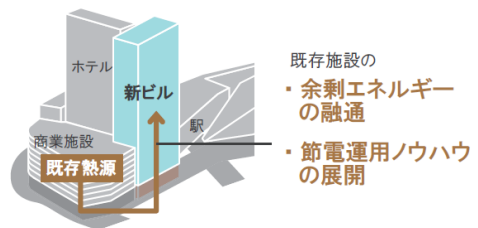


図4 既存施設との熱融通

### (4) ハイブリッド非常用電源

発電機は、デュアル式とし備蓄油と中圧ガスによる長期運転により BCP 性能を高め、さらにコージェネによる熱電供給を組み合わせることで平常時の省CO<sub>2</sub>を図る。

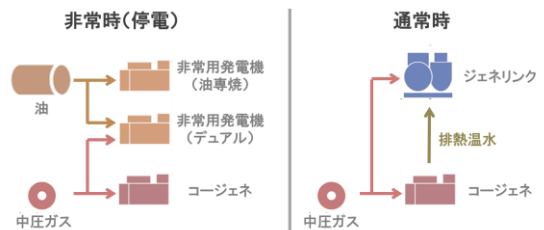


図5 BCPと省CO<sub>2</sub>の機能

# 大阪ガス新情報発信拠点の計画 ～地域社会への貢献と先進エネルギーシステムの具現化～

The Planning of Osaka Gas's New Information Transmission Center

-The Contribution to the Local Community and The Embodiment of Advanced Energy Systems-

大阪ガス株式会社  
Osaka Gas Co., Ltd.  
中嶋俊介  
Shunsuke Nakajima

キーワード：社会貢献 (Social Contribution)、環境教育 (Environmental Education)、コージェネレーションシステム (Cogeneration System)、再生可能エネルギー (Renewable Energy)、エネルギーマネジメント (Energy Management)、見える化 (Visualization)、防災力 (Resilience)

## 1. はじめに

本建物「hu+gMUSEUM (ハグミュージアム)」は、大阪ガス株式会社の新しい情報発信拠点として2015年1月にグランドオープンした。大阪府内に点在していた既存の複数のショールームを集約し、一体的で魅力溢れる情報発信活動を行うことが計画された。

本建物が立地するのは、大阪ガス発祥の地であり、現在はドーム球場、事務所・地域冷暖房プラントビル、ショッピングセンター、ホームセンターといった大規模な施設が建ち並ぶ熱供給事業地区となっている。さらに、2011年に要件緩和された特定電気事業の許可を受け、プラントビルでの発電電力に大阪ガス泉北製造所等からの系統電力を加え、地区内の施設への電力供給も行われている。

このような経緯を踏まえ、本建物は、「地域との交流を通じた社会貢献」と「先進エネルギーシステムの具現化」を推進・発信するエネルギー事業者の拠点となることを目指し、建築計画や設備計画、展示計画の検討が行われ、建設された。

そして、施設オープン後は、次世代の人材育成の場の提供という新しい情報発信の形を体現し、その活動をCSR報告書をはじめとする様々な媒体を通して発信している。また、先進エネルギーシステムは、運転エネルギーデータの分析などによる検証を行い、学会や専門誌、講演等でその取り組みと成果を積極的に発信している。



写真1 北東外観

人とガスが出会うと  
ぬくもりが生まれる。  
未来が生まれる。



hu+gは「human+gas」、  
人とガスを結ぶミュージアムです。  
ガスが本来持つ価値である、  
人を幸せにする「ぬくもり」と、  
その先にあるあたたかな「未来」を、  
実現する場所になります。

## 建築概要

建築名称 : hu+gMUSEUM (ハグミュージアム)

建築主 : 大阪ガス (株)、大阪ガス都市開発 (株)、  
(株) オーژیスポーツ

設計 : (株) 安井建築設計事務所

施工 : (株) 竹中工務店

建設地 : 大阪市西区千代崎三丁目

用途 : 集会所 (展示施設)

地域地区 : 商業地域

敷地面積 : 3,867 m<sup>2</sup>

建築面積 : 2,966 m<sup>2</sup>

延床面積 : 10,149 m<sup>2</sup>

構造・階数 : 鉄骨造・地上5階

工事期間 : 2013年1月～2014年12月

開業 : 2015年1月



図1 平面図・断面図

## 2. 地域との交流を通じた社会貢献

「Daigas グループは、自らの企業活動を世の中に正しく理解していただくため、情報を積極的に公開し、経営の透明性を高めるとともに、社会とのコミュニケーションを推進します。また、良き企業市民として、地域社会に貢献するよう努めます。」と宣言し (Daigas グループ CSR 憲章Ⅲ)、「事業活動で培ってきた資産を活かし、「エネルギー環境教育」や「食育活動」「火育・防災教育活動」等を通じた次世代育成など、社会とのコミュニケーション活動に継続的に取り組んでいます。」と報告している (図 2-1)。

### 2-1. 活動拠点としての hu+gMUSEUM (図 2-2)

本建物は、この CSR の取り組みを推進する場として、2015 年 1 月のグランドオープン以降、多くの方々にご来館いただき、来館者数は累計約 90 万人 (2017 年度末時点) に達した。

1F は、都市ガスの環境性・省エネルギー性や安全・安心の取り組みを発信することを目的に、ガス導管や緊急車両などの実物を見て、触れる展示コーナーとしており、ガラスのカーテンウォール越しに外からも賑わいを感じ取れるよう工夫している ①。2F には高天井を利用した 2 階建てのスマートハグハウスを設置 ②、3F の体験フロアや 5F の業務用厨房「涼厨」体感ルーム等もあわせ、都市ガスを利用した快適で便利な暮らしを体感できる体験コーナーとして充実を図っている。さらに各階 EV ホール付近に館内省エネルギーの見える化モニタを設置し、エネルギーや環境、防災について考えるきっかけ作りを行っている。

#### □見学ツアーの取り組み (全館)

展示・体験コーナーを専属ガイドが分かりやすく紹介する館内見学ツアーや、高効率なコージェネレーションシステム、ガス熱源、再生可能エネルギー利用設備等を見学し、より高度な知識の取得を目指すエネルギーシステム見学ツアーを設け、来館者への「エネルギー環境教育」に活かしている。

#### □環境配慮への取り組み (全館)

2016 年度には設計段階での高い省エネルギー性能を評価され、BELS の 5 つ★認証を取得した ③。また、イベント単位のエネルギー計量により、国のカーボンフットプリント認証を受け、CO2 排出量を実質ゼロにするなどカーボンオフセットにも取り組んでいる ④。

### 2-2. 次世代の人材育成の場の提供 (図 2-2)

さらに、本建物では多様な体験型プログラムを建築・設備に落とし込むことで、小学生を中心とした次世代の人材育成の場の提供にも力を入れている。

#### □エコ・クッキング※ (4F キッチンスタジオ)

※エコ・クッキングは東京ガス(株)の登録商標です。

「エコ・クッキング」は地球環境のことを考えながら、買い物・調理・食事・片づけなど、食に関する一連の行動を学ぶことができる体験学習で、4 階に設置した最大 100 名を収容可能なキッチンスタジオで開催している ⑤。調理台毎に使用した水や都市ガス消費量を計測し、ごみの量とあわせて CO2 排出量として表示する仕組みは、子どもたちが互いの行動を見比べ、自らの行動を見つめ直す機会となっている ⑥ ⑦。



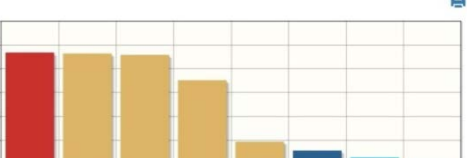
図 2-1 CSR レポート 2016 (抜粋)



エコ/クッキングの様子 (4F)



キッチンのガス・水の計量メーター



キッチンのCO2排出量比較システム



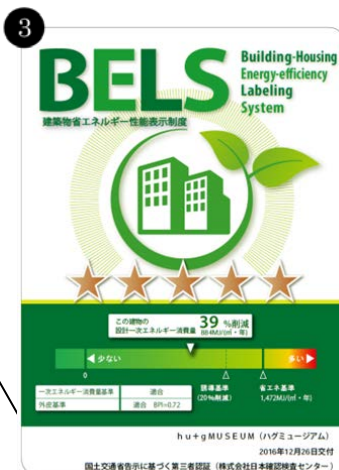
スマートハグハウス (2F)



展示コーナー (1F)



火おしの様子 (1F)



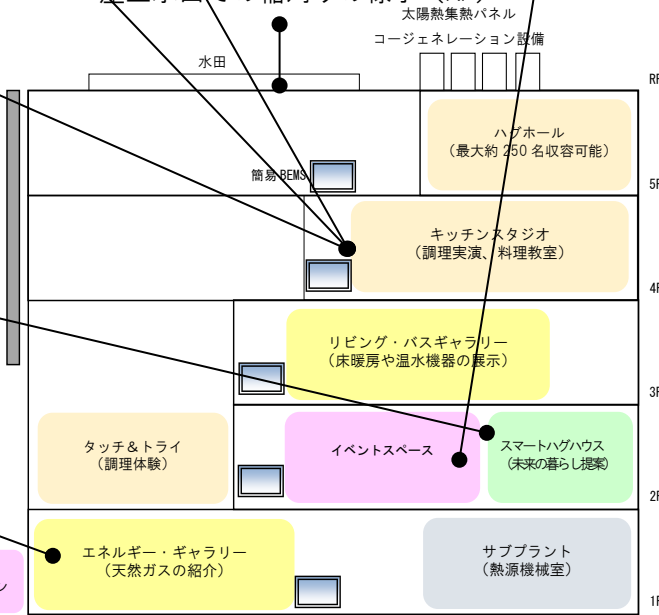
5つ★を取得したBELS 認証



カーボンフットプリント  
認証



屋上水田での稲刈りの様子 (RF)



地球環境を守るためどのようなことをすればよいか、わかりましたか  
 火・エネルギーについてわかりましたか

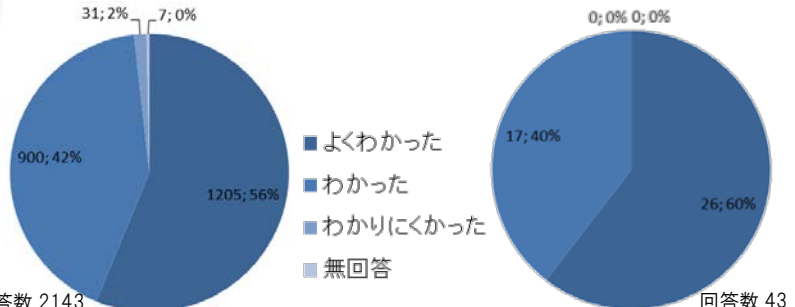


図 2-2 hu+gMUSEUM での地域貢献活動

### □食育・生物多様性教育（RF 水田・畑他）

屋上に設けた約 100m<sup>2</sup>の水田と約 12m<sup>2</sup>の畑では、近隣の小学生を対象にした「食育」活動を行っている。田植えから稲刈り・脱穀・炊飯試食までの「農作物を食物にする」過程を体験でき、約 45 kgのお米が収穫された<sup>8</sup>。さらに水田に生息する生物を観察する自然観察会も開催し、「生物多様性」について考える場にもなっている。

### □火育・防災教育（1F デッキ・展示コーナー、4F キッチンスタジオ他）

その他、火おこしできる外部デッキ<sup>9</sup>、キッチンスタジオ等を活用した「火育」や「防災教育」など体験を通じて豊かな心を育み、生きる力を高めるプログラムを提供している。

これら教育プログラムの開催にあわせて実施している子どもたちへのアンケートでは、地球環境の保護や火・エネルギーについての理解度が非常に高まったという結果が得られた<sup>10</sup>。普段当たり前のように使っているエネルギーの大切さを実感し、「電気やガスの無駄遣いをなくす」「ごみを減らす」といった具体的なエコ行動も多く回答されており、子どもたちにとっての気づき場の提供に寄与している。

## 3. 先進エネルギーシステムの具現化

本建物は、エネルギー会社の展示施設として、先進性を表す意匠や、展示内容更新のフレキシビリティを確保するとともに、高い環境性能や防災性能を有することを目指した。後述する取り組みにより、高度な省・創エネルギー、レジリエンスを社会に展開するトップランナーとしての役割を担っている。

## 4. 省エネルギーを目指す建築計画

### 4-1. 建物配置と平面計画

本計画では、展示施設の特性を踏まえて建物全体として意匠計画と環境・設備計画の統合を目指した。

最寄り鉄道駅から建物へのアクセス経路に当たる、北・東面は、賑わいや活動が外部へ発信できるよう、ガラスのカーテンウォールによる吹抜け構造としており、様々な映像を表示するハグビジョンが透けて見るとともに、北面からの自然採光を利用することで照明負荷の削減を図っている。東面には木の外装部材と壁面緑化により親自然を表現し、北面には金属外装パネルを配して先進性を表す外観としている（写真 4-1）。この金属外装パネルは「ウォールダクト」と名づけ、換気装置としての役割も持たせている（4-2. 参照）。建物構造は鉄骨造で、約 15m のロングスパンとすることで展示施設としてのフレキシビリティを確保している。南面には、建物コアを配置して夏期の冷房負荷を抑制する計画としている。また、展示用設備の更新が容易となるように、設備バルコニーを配置し、主にバスルーム体感や温水床暖房のための給湯器が設置されている。

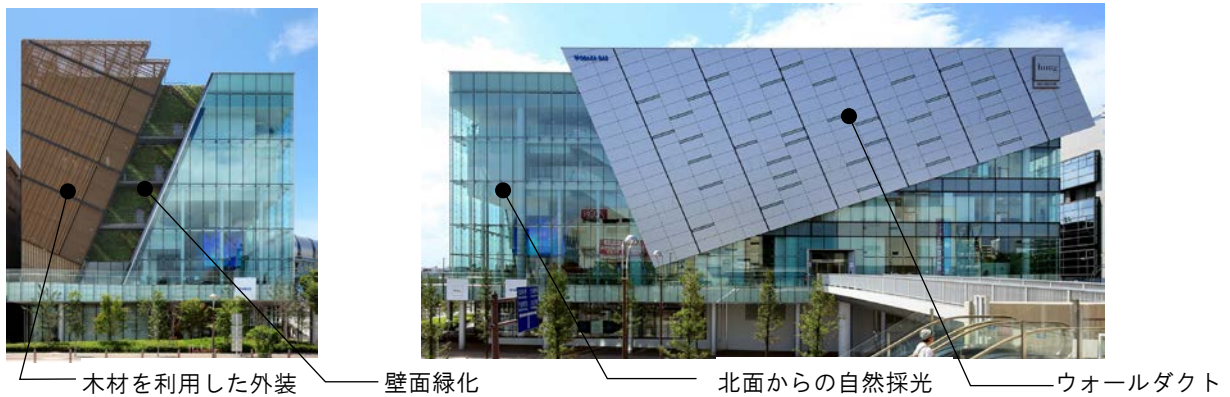


写真 4-1 立面計画（東面／北面）

## 4-2. 金属外装パネルによる換気システム

### 4-2-1 計画主旨とシステムの概要

ウォールダクトは、建物外壁の外側に通気層と外装アルミパネルを設置し、外部からの流入熱（あるいは流出熱）を抑制する狙いがある。また、建物外壁と外装アルミパネル間の通気層に空調された室内空気を室内排気口より排出することで、外気よりも室内温度に近い空気層を形成し、空調負荷を低減することを狙って計画した。図4-1に、ウォールダクトのシステム概要（断面図）、図4-2に、ウォールダクト内部の各排気口の位置を示す。室内からの排気は機械換気によりウォールダクト内に供給されており、ウォールダクト頂部からの排気はダクト排気口から自然流出されている。

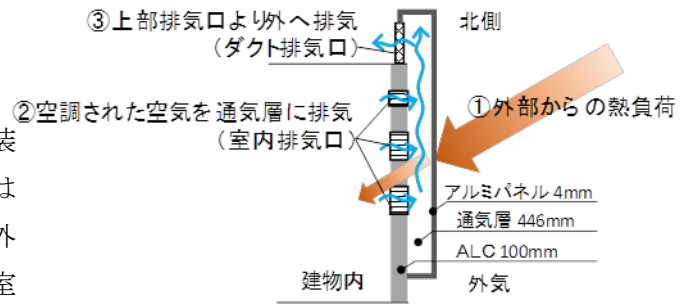


図4-1 ウォールダクトの概要

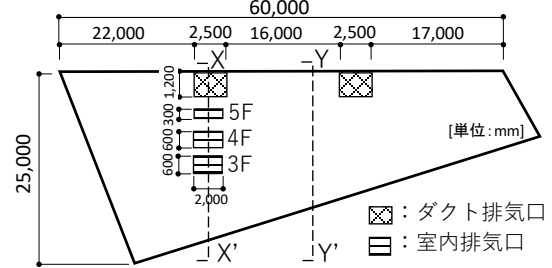


図4-2 ウォールダクト排気口の配置

### 4-2-2 実測による断熱効果の検証

夏期の実測は2015年8月5日～26日にかけて行った。図4-3に、現状の外装アルミパネルを設置した場合と設置しない想定でALCのみとした場合の1日の断熱による流入・流出熱量の算定値を示す。夏期の室内への流入熱量差は最大5.4kWであり、中央監視データによる熱源システムCOP 2.1で除することで消費エネルギーを比較すると、ウォールダクトの断熱性により約44%の省エネルギー効果があった。冬期も同様の手順で消費エネルギーを算出すると、最大約20%の省エネルギー効果となった。熱貫流率は、ALCのみの場合は1.3 W/(m<sup>2</sup>·K)、ウォールダクトがある場合は1.1 W/(m<sup>2</sup>·K)である。相当外気温度は実測の日射量と外気温度より算出し、室内温度は建物内壁の壁温度の実測値を用いた。

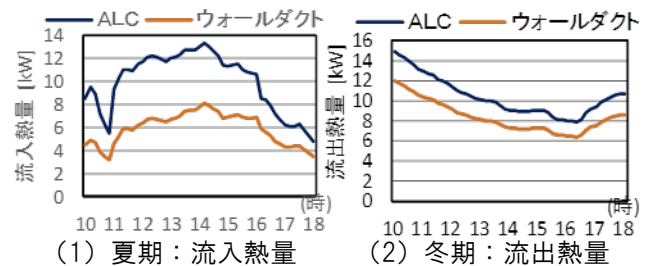


図4-3 ウォールダクトの有無による比較

## 5. 高度な省エネ・創エネ設備

### 5-1. コージェネレーション設備を中心とした

#### 電力・熱ネットワークの構築

#### 5-1-1 計画主旨とシステムの概要

本建物では、屋上に自立分散型電源として非常用発電機兼用のコージェネ CGS-1（発電出力210kW×1台）、系統電力のデマンド抑制用としてマイクロコージェネ MCGS-1（同31kW×7台）を設置し、発電電力の建物内利用と排熱の空調利用・地域内融通を計画した。発電により発生する排熱と隣接するホームセンターからの排熱は温水として回収し、1階プラントの排熱投入型吸収冷温水機300RT×3台で空調用冷水の製造に利用される。建物熱需要が少なく冷温水機で利用しきれない場合は、地域熱供給用の熱導管に送水し地域内メインプラントでの有効利用を図る。冬期で建物暖房需要がある場合は、空調用温水の熱源として利用する（図5-1）。

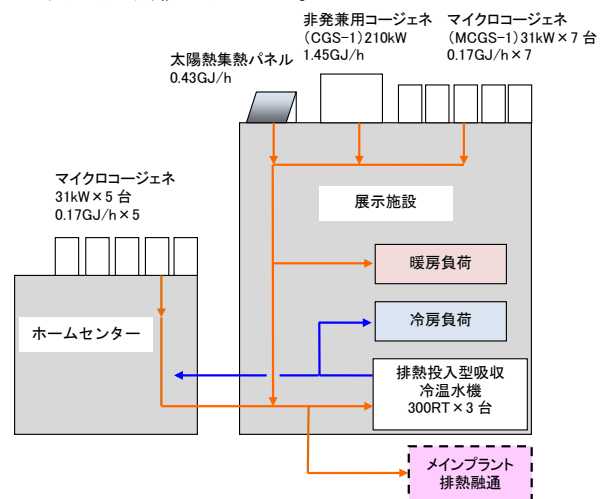


図5-1 本建物の排熱利用の概念図

## 5-1-2 コージェネレーション設備の効果の評価

本建物の実績値（コージェネ設備を運転した場合）と、コージェネ設備を運転しない場合（コージェネの代わりに一般受電を行い、空調負荷はガス吸収冷温水機により処理したと仮定）を比較評価した。

### □一次エネルギー消費量

2015-2016 年度における一次エネルギー消費量の推移を示す（図 5-2）。コージェネによる発電と排熱の空調利用による一次エネルギー消費量は、2015 年度ではコージェネを運転しないと想定した場合と比べて、95%に相当した。月ごとに比較すると、暖房利用を行い排熱融通が本格化した 2015 年 12 月以降でエネルギー消費量の削減割合が高くなっている。2015 年の 5 月～7 月の運用開始当初はコージェネをほぼ定格で運転して発電を行ったため、冷温水機で利用できる能力を上回る排熱量が発生して効率が上がらなかったが、8 月からは発電量を抑えることで排熱量をコントロールして効率を改善した。また中間期の 10 月、11 月は CGS-1 の運転を停止して排熱量を抑制している。

2016 年度はコージェネを運転しないと想定した場合と比べて 87%となった。隣接するホームセンターからの排熱の受け入れを優先し、建物側の熱需要を考慮して CGS-1 を停止、MCGS-1 の運転台数を減らした結果、2015 年度と比べ、夏期、中間期に省エネ効果が現れた。一方で、冬期は、CGS-1 も稼働させた方が省エネルギーとなることが確認できた。

### □CO2 排出量

コージェネによる発電と排熱の空調利用による CO2 排出量は、コージェネを運転しないと想定した場合と比べて毎月削減されており、年間で 86～87%に相当している（図 5-2）。

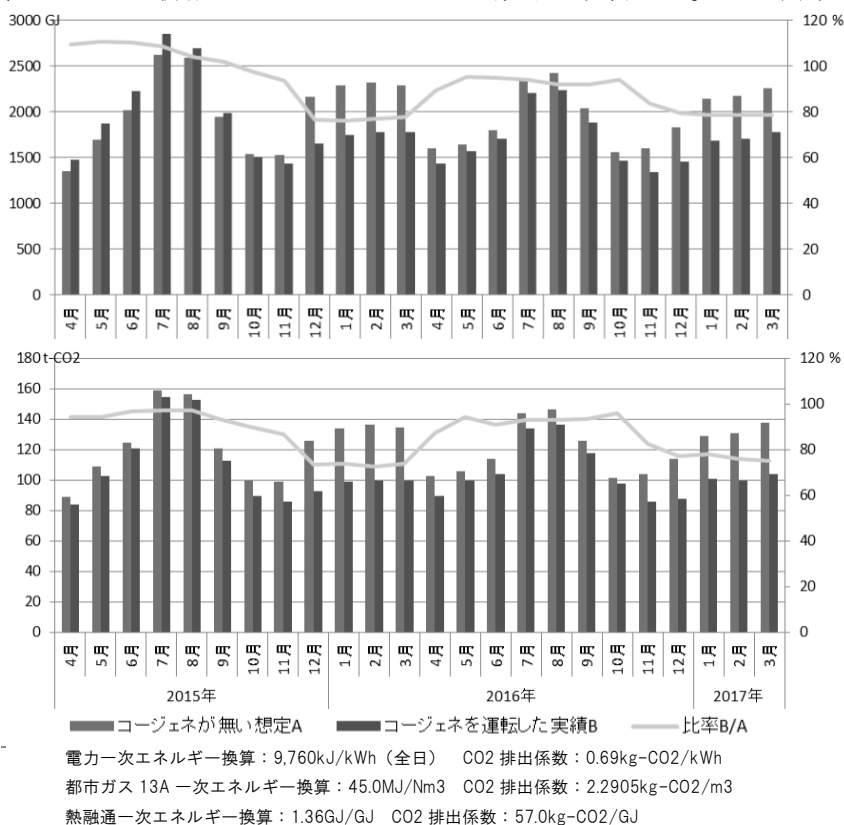


図 5-2 一次エネルギー消費量（上）と CO2 排出量（下）

## 5-2. 太陽熱の空調・給湯カスケード利用

### 5-2-1 計画主旨とシステムの概要

自然エネルギーである太陽熱を空調用熱源水と給湯器の給水予熱に利用する省エネルギーシステムを導入した。屋上設置の集熱パネルで得られた温水は貯湯槽に貯留し、88℃以上で利用できる場合は空調熱源（排熱投入型吸収冷温水機）へ供給し、給湯器の給水予熱にもカスケード利用できる配管系統とした。集熱温度が 88℃より低い場合は給湯器の給水予熱のみに利用する制御とした（図 5-3）。

### 5-2-2 太陽熱集熱量と利用量の評価

2015 年 8 月以降の太陽熱利用量の実績を図 5-4 に示す。8～10 月は集熱量が大きく空調利用ができる温度の温水が得られるため、空調利用熱量が大きくなった。11 月以降は集熱量が小さく、空調利用できる温度の温水が得られないため、給湯利用量が大きくなった。太陽熱利用率は空調利用が大きい 8 月と

10月で最も高く52%であった。給湯利用が中心となる12月～3月の太陽熱利用率は夏期より小さくなり、20～30%で推移していた。期間平均の太陽熱利用率は37%であった。

また、冬期には貯湯槽水位を低く変更することで、貯湯槽内温度が低くなりすぎないようにし、気温が低く日射量が小さい冬期でも、給湯予熱利用量を確保した。

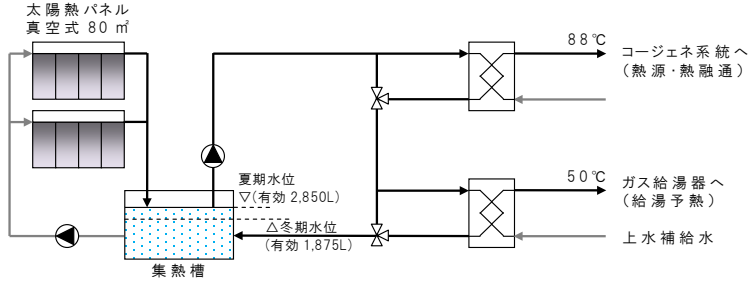


図 5-3 太陽熱利用概要図

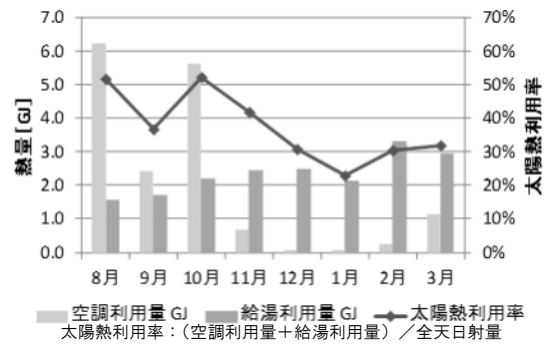


図 5-4 太陽熱利用量と利用率

### 5-3. 地中熱を利用した床輻射冷房システム

#### 5-3-1 計画主旨とシステムの概要

キッチン性能を体験できる2階タッチ&トライコーナーに地中熱を利用した床輻射冷房システムを計画した。ヒートポンプなどの熱源機を介さず、仮設杭と共に埋設されたポリエチレン配管とポンプを用いて地中熱を採熱し、床パネルに埋設された配管に直接通水させるシステムである（写真5-1）。

#### 5-3-2 システムの検証

夏期（2015年7月1日～9月30日）の外気温度、冷水の往還温度、冷水流量、床表面温度のデータを抽出して分析を行い、定常時の往還温度差は平均2.6℃であることを確認した。また、休館日（8月26日）に外調機を停止させ、通水開始の11時と定常時の15時にサーモカメラにより床表面の熱画像を撮影し、地中熱輻射冷房のみの性能を検証した（図5-5）。通水開始時には冷房エリアと非冷房エリアで床表面温度差はほとんど見られないが、定常時においては明らかにエリア間の床表面温度に差がみられた。



写真 5-1 対象空間（タッチ&トライ）

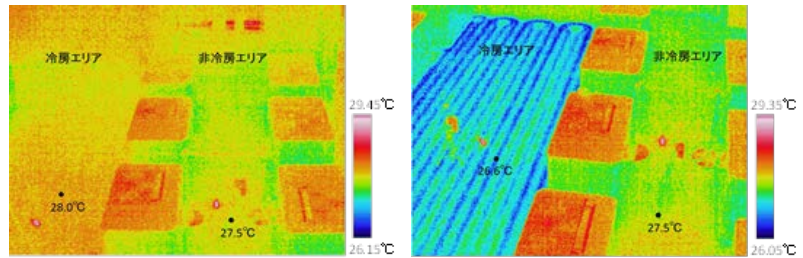


図 5-5 床表面温度分布 左:通水開始時(11時)右:定常時(15時)

## 6. エネルギーマネジメント

### 6-1. 在室者検知空調制御システム

#### 6-1-1 計画主旨とシステム概要

展示施設は、日・時間によって来館者人数が大きく変動する特徴がある。本建物では、来館者による見学行動に着目し、快適性を確保しながら省エネルギー性を高めるため、在室者人数に応じて空調・換気量を制御するシステムを導入試行した。4階展示エリアでは、天井に人検知センサを設置し、その検知個数に応じて

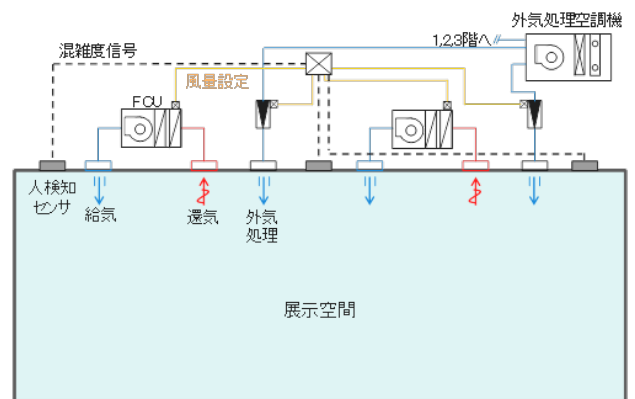


図 6-1 在室者検知空調システム概要

混雑度を判定し、ファンコイルユニット及び外気処理空調機系統の風量制御（強・中・弱）を行っている。システム概念図を図 6-1 に、展示エリアの平面図を図 6-2 に示す。

### 6-1-2 システムの検証

4 階展示空間のエリア 1~4 を対象として、在室者検知制御なし（2015 年 8 月 24~25 日）と制御あり（2015 年 8 月 27~28 日）の 2 ケースの比較を行った。

エリア 1~4 の FCU 電力量の合計日積算値の比較を図 6-3、外気処理風量の日積算値の比較を図 6-4 に示す。FCU 電力量は、制御ありの 8 月 27 日、28 日が、制御なしの 24 日に比べて両日とも 33% 小さい値となり、外気処理風量は、制御なしに比べて 22~23% 少ない値となった。混雑度に応じて外気導入風量を制御することにより外気処理熱量及び外気導入ファン電力量を低減でき、省エネルギー効果が高いと考えられる。

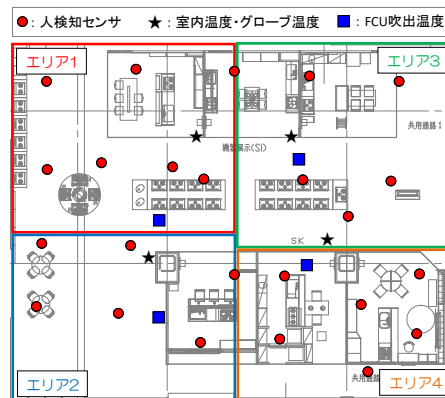


図 6-2 展示エリア平面図

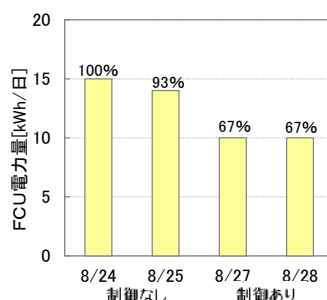


図 6-3 FCU 電力量の比較

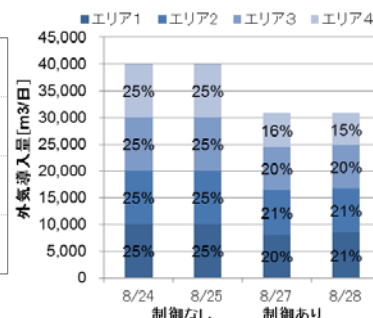


図 6-4 外気処理風量の比較

## 6-2 エネルギー見える化・分析評価

### 6-2-1 計量システムと見える化の概要

本建物では、設備機器の監視、記録を行う中央監視設備の他に、約 700 点の計測ポイントを持つ BEMS を導入し、エネルギー使用状況分析ができるようにしている。さらに得られたデータを簡易 BEMS へ提供し、現在のエネルギー使用量や発電量の把握、前日との比較、フロア毎の比較などを各フロアでモニタに掲示することで、来館者への環境教育や運用者の啓発に役立っている（写真 6-1）。



写真 6-1 簡易 BEMS による見える化

### 6-2-2 一次エネルギー消費量

2015 年度と 2016 年度における建物全体の一次エネルギー消費量の推移を図 6-5 に示す。なお、メインプラントへの排熱融通、ホームセンターへの冷水融通は差し引いて評価している。年間の一次エネルギー消費量の合計は 2015 年で 22,567GJ/年 (2,224MJ/m²・年)、2016 年で 21,404GJ/年 (2,109MJ/m²・年) であり、レファレンス※1 に対して 8% 減、13% 減、本建物の設計時点における目標値※2 に対しては +6%、±0% となっており、オープン 2 年目から、目標通りのエネルギー削減を達成した（図 6-6）。なお、運転管理者は定期的に運用状況を確認して、継続的にエネルギー消費量の削減を図っている。

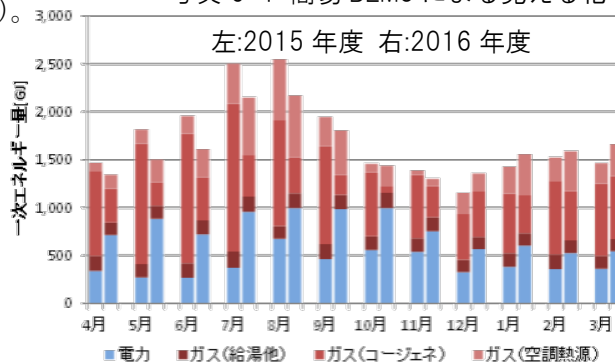


図 6-5 一次エネルギー消費量

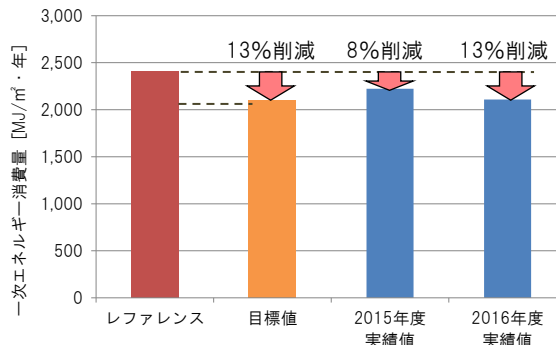


図 6-6 年間一次エネルギー消費量原単位

※1 一次エネルギー消費量原単位（その他物販）：非住宅建築物の環境関連データベース（日本サステナブル建築協会）地域区分 J、面積区分 4（10,000 m²以上 30,000 m²未満）、2,411MJ/m²・年

※2 平成 25 年度住宅・建築物省 CO2 先導事業応募時の検討における一次エネルギー消費削減量をレファレンスより差し引いて想定した。

## 7. 災害時のレジリエンス機能

### 7-1. 計画主旨とシステムの概要

本建物はエネルギー事業者の情報発信拠点として、災害時の機能継続に対する備えについても、最新の設備を展示するとともに、万が一、実際に災害が発生した場合でも、来館者の一時避難施設として機能が維持できるように設備を稼動することを目指した。

屋上に設置された非常用発電機兼用コージェネ（CGS-1）は特別に耐震性能を評価した防災認定ガス導管より都市ガス供給が行われ、消火ポンプや排煙機などの防災負荷の電源となっている。また、マイクロコージェネ（MCGS-1）は停電対応型を採用して、地震等による停電時にも蓄電池により起動して電力を供給することができ、エレベーターや非常用コンセントなどの保安負荷の電源となっている

（図 7-1）。これらの自立分散発電機は常時も発電を行い、夏期のピーク電力需要の 70%を賄っている。

### 7-2. 一時避難施設としての機能維持

地震などの大災害が発生して来館者が帰宅困難となることを想定して、5階のハグホールは一時避難場所として計画されている。MCGS-1 から館内に保安負荷電力を供給し、照明の点灯やエレベーターの運転を行い、避難者の館内の移動を可能とする。また、ハグホールの空調は停電対応型 GHP を採用し、停電時でも内蔵する自家発電機からの給電により稼動できるシステムとしている（写真 7-1）。加えて、5階に展示されている業務用厨房機器の一部は、災害時でもガス・電力が供給できるシステムとして、避難者へ炊き出し食を提供できるようにしている。

このように都市ガスを中心とした様々な設備システムを実際に設置し、それらを用いて一時避難施設の機能を確保することで、エネルギー事業者が実現するレジリエンスを社会に発信している。

## 8. おわりに

本建物は、エネルギー会社の新しい情報を発信する拠点として建設され、2015年1月のオープン以降、約90万人の来館者（2017年末時点）に対して、展示や体験を通してエネルギー、環境、防災について考えるきっかけを提供している。さらに、火育、防災、食育などのプログラムを提供し、次世代の人材育成の場として地域の方々と共に歩んでいる。

また同時に、建築と設備を一体的に計画することで、意匠性に優れ、かつ省エネルギー性能の高い建築とした。設備面ではガスコージェネレーションを中心とした電力・熱ネットワークにより高い省エネルギー性能を確保している。建物全体の運用では、レファレンスに対して2015年度で約8%、2016年度で約13%の一次エネルギー消費量の削減を達成しており、竣工後に取り組んだBELS認証では、BEI=0.61、BPI=0.72で5つ★を取得した。

今後も運用方法の改善に努め、更なる省エネルギー化を推進していく所存である。

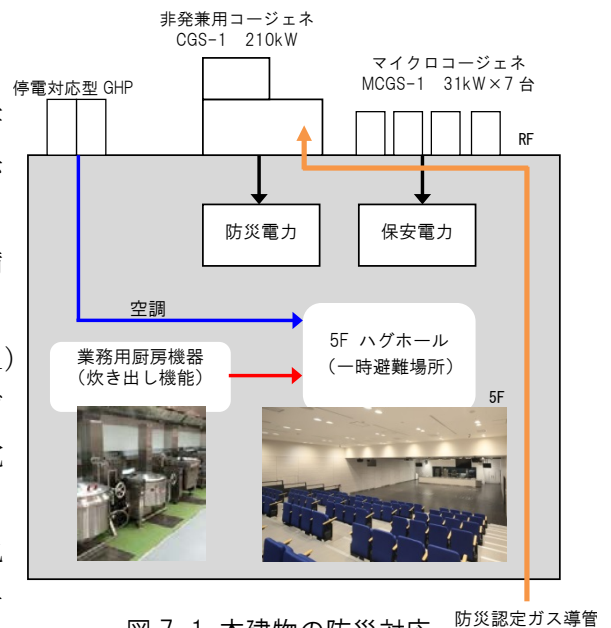


図 7-1 本建物の防災対応



停電対応型マイクロコージェネ

停電対応型 GHP

写真 7-1 機能継続対応設備

# 社会医療法人生長会 ベルランド総合病院の空気調和・衛生設備 Heating, Air-Conditioning and Sanitary Facility of Bell-land General Hospital

清水建設株式会社

SHIMIZU CORPORATION

太田昭彦、浅野勝弘、中村友久、吉澤茂之

Akihiko OTA, Katsuhiko ASANO, Tomohisa NAKAMURA, Shigeyuki YOSHIZAWA

キーワード：省エネルギー(Energy Saving)、コージェネレーションシステム(Cogeneration System)、  
病棟エコ換気システム(Eco Ventilation System for Hospital Room)、  
森からの自然外気利用(Forest Air used for Ventilation)、  
熱源システム予測制御(Predictive Control for Heat Source)

## 1. はじめに

当病院は、AIF 理念（愛の医療と福祉の実現）に基づいて患者・家族本位の急性期医療を実践し、周産期・救急・がん・小児・循環器などの分野で地域における中核的な役割を担ってきたが、開設後約 30 年が経過し、施設の狭隘・老朽化による病院建替の必要に迫られていた。建替にあたっては AIF 理念を引継ぐとともに、さらには患者・家族にとって最適な療養環境を提供する関西エリアのトップブランドとして揺るぎない地位を確立することを目標とした。

## 2. 計画コンセプト

計画のコンセプトとしては、以下の 4 つを掲げた。

- ・「パートナー本位の急性期医療の実現」
- ・「CS\*と ES\*に優れた最高水準の医療施設整備」
- ・「機能の継続性の確保」(BCP)
- ・「ライフサイクルバリューエーション」(ECO)

BCP は地域の中核を担う病院としては当然であり、また、ECO を実現することは、環境にも優しくという病院の思いでもある。

BCP については災害に強く、また ECO にも貢献できる熱源を採用し、ECO については、アクティブ要素のみならず、パッシブ要素も取組み、自然に恵まれた当地の特性を活かした建築・設備一体となった計画を行っている。

\*CS：Customer Satisfaction・・・顧客満足

\*ES：Employee Satisfaction・・・従業員満足

写真-1 建物外観



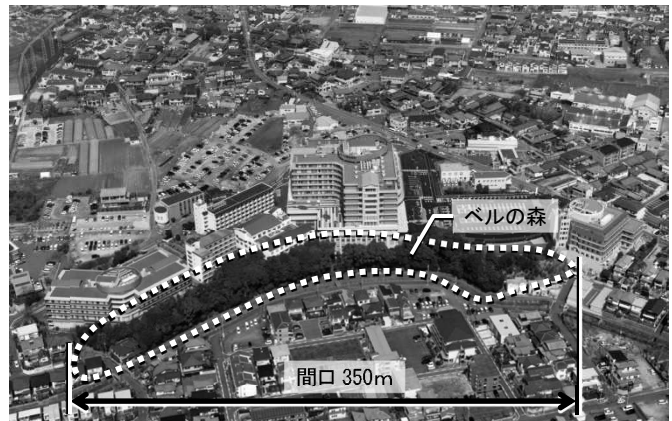
表-1 建築概要

建築名称	社会医療法人生長会ベルランド総合病院
建築主	社会医療法人生長会
設計・監理	清水建設(株)関西支店一級建築士事務所
C M	株式会社 昭和設計
所在地	大阪府堺市中区東山
用途	病院 477床
敷地面積	33,882.35 m <sup>2</sup>
建築面積	6,152.03 m <sup>2</sup>
延床面積	42,966.72 m <sup>2</sup>
構造	RC造(一部S造)付加制震構造
階数	地下2階・地上10階建
工期	2013年4月1日～2015年3月31日

### 3. ベルの森

新病院外観構成のモチーフともなった敷地南側に大らかな曲線を描いて長さ 350mにもわたって広がる弓型の緑地は高低差も 10mあり、その豊かな自然の中には数々の動植物が生息しており、堺市から保存緑地として指定されている。この恵まれた敷地の持つ自然の力を少しでも子ども・家族・スタッフの方々に行き渡るよう、建物の外と内をつなげる工夫を各所に取り入れる計画とするとともに、省エネルギー利用にも活用している。

写真-2 敷地俯瞰（ベルの森）



### 4. CGSを導入した熱源システム

建物の年間負荷特性や冷暖切替の必要性等を考慮し、空調熱源は中央熱源と個別熱源の併用方式を採用している（図-1）。

中央熱源は BCP を考慮し、中圧ガスを熱源とする機器構成とした。発電能力 400kW の CGS2 台を設置する計画とし、季節毎の冷暖房負荷に応じて、暖房熱交、給湯予熱槽、ジェネリンクに排熱供給を行い、電力デマンドを優先としつつ、排熱利用効率を最大となる様に CGS の台数制御を行う。また、BCP を鑑み個別熱源には電気方式を採用した。

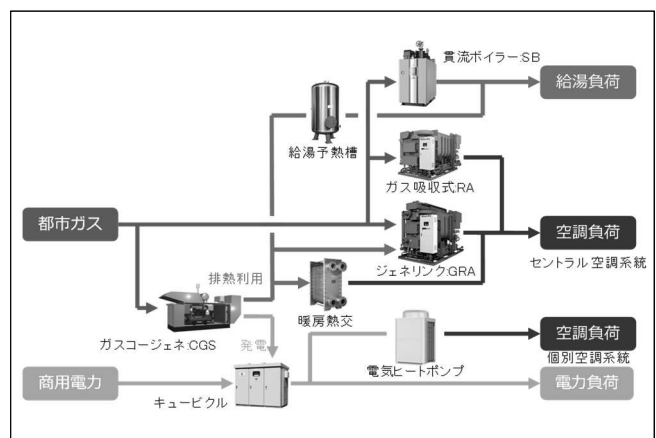


図-1 熱源システムフロー図

### 5. 病棟エコ換気システム

#### 5.1 病棟エコ換気システム概要

病院では一般的に病室の必要換気量を HEAS 基準の最小必要外気量に則り 2 回換気としている。しかしながらこの数値は、『建築物における衛生的環境の確保に関する法律』（ビル管法）による換気量と比べると約 2 倍の外気量となっており（図-2）、それに見合う外気導入量を処理するエネルギーが必要となるため、通常の建物よりも省エネルギー性能は悪くなる。そこで換気量低減を図るために、病室換気の主目的である室内の臭気注目し、臭気が 1 日の中でどのような挙動を示すかを建替前の病室で臭気実測を行った（図-3）。この際、臭気強度（図-4）の設定目標としては、病院はオフィスほど匂いに敏感な施設ではないため、臭気強度 2（何らかのにおいがわかる弱いにおい）から臭気強度 3（楽に感知できるにおい）の間に収めることとした。

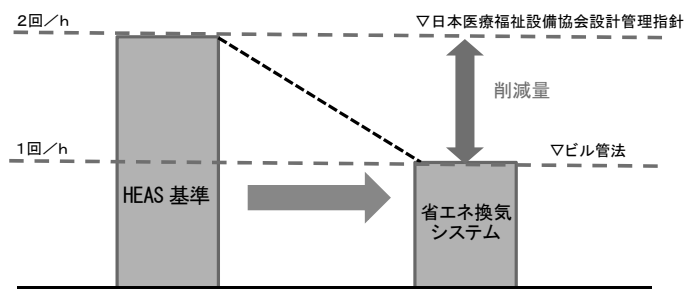


図-2 病室換気量

図-5 に臭気実測の結果を示す。日中は排泄処理、食事等のイベントの際に臭気が多く発生し

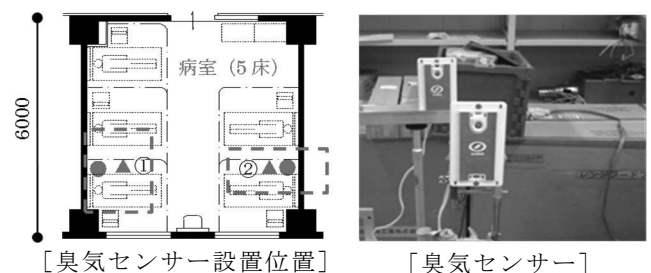


図-3 実測状況

ていることがわかる。また夜間はイベント等がないため、臭気は穏やかに低下し、臭気強度 2~3 の間に収まっている。このことから、比較的臭気強度の低い夜間は換気量を低減する制御が効果的であると考えられる。

臭気強度	6段階臭気強度表示法	インブタノール濃度 (ppm)	センサー値 (V)
4	強いにおい	70	5<
3	らくに感知できるにおい	4	3.3
2	何らかのにおいがわかる弱いにおい	0.2	1.3
0~1	無臭~やっと感知できるにおい	0~0.01	≤1.0

図-4 臭気強度

この結果を反映し、図-6 に示すような夜間換気量をビル管法風量に抑える制御を行う省エネルギー換気システムを採用した。

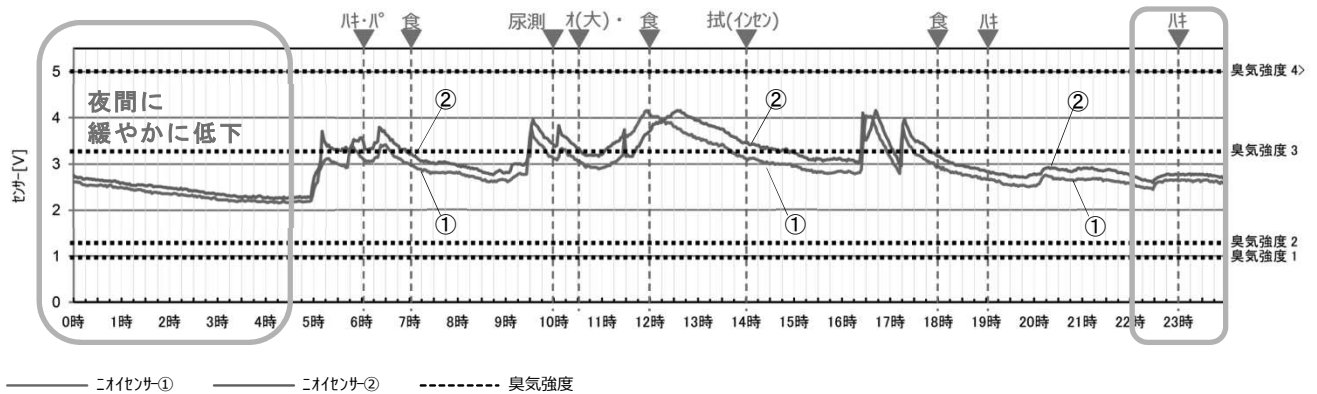


図-5 病室臭気実測結果

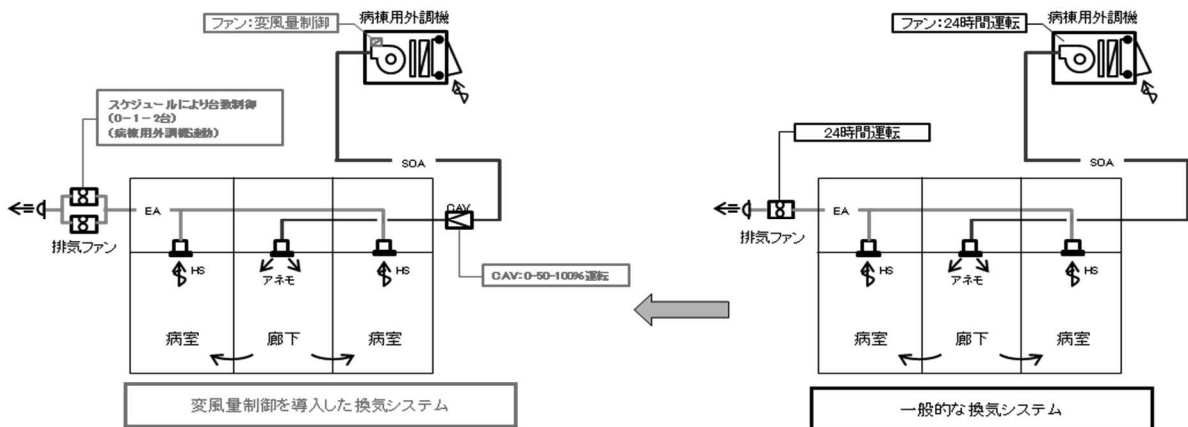


図-6 病棟エコ換気システム

## 5.2 病棟エコ換気システムの導入効果検証

実際の病院の運用形態をもとに、エコ換気とする時間帯は 23 時 (消灯時間以降) ~ 5 時 (朝食前) とした。その間の換気量を半分に絞る (排気ファンを 2 台運転から 1 台運転に台数制御を行う) 制御を行い、夜間の外気負荷を 50% 削減する。これを病棟全床 (477 床) に適用した場合の年間月別の換気量に対する空調負荷を、通常換気、エコ換気別に図-7 に示す。また、図-8 に病棟換気による外気負荷の年間合計、エコ換気による削減量を示す。冬期暖房負荷において 291,640MJ の外気負荷の削減効果が見込めることがわかる。冬期においては夜間の内外気温度差が大きく、外気負荷が大きくなるため、エコ換気による外気負荷削減効果が顕著に表れる。

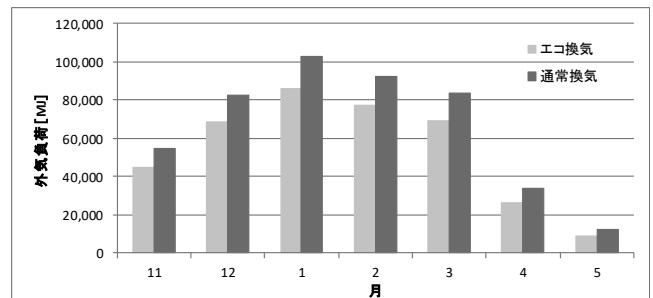


図-7 月別病室外気負荷

なお、この検証は病棟排気量を導入外気量とし、年間の外気温度変動からその外気負荷を計算したものであり、排気ファンの消費電力の減少分は見込んでいない。

## 6. 自然外気の有効利用技術の導入

### 6.1 ベルの森からの外気取入れ効果

B1階の診察・診療システムにおいて、ベルの森から冷涼な外気を外調機に導入し、外気負荷の低減を図っている。

図-9にベルの森の外気実測結果を示す。屋上の外気温と比べ、日中で最大5.8℃、平均で約2℃ベルの森のほうが低い外気温となった。これはベルの森が常に日陰である、傾斜地のため風が流れやすい、地面が土のため地表面放射熱が低い等に起因するものと考えられる。

図-10に夏期における該当外調機の運転時間月合計、ベルの森による削減外気負荷を示す。夏期ピークの8月において約9,300MJの外気負荷低減となった。

### 6.2 講堂の外気冷房制御効果

B1階の講堂は在室人員が多いため、そもそもの外気導入量が多くなることから外気冷房制御を導入している。外気冷房の条件としては、外気の温度・絶対湿度・室内外エンタルピー差などを判定値とした。

図-11に外気の時間毎年間の温湿度を空気線図にプロットした散布図に、外気冷房運転可能範囲を示す。時間頻度として年間の約22%程度が外気冷房運転条件範囲に該当する結果となった。範囲としては4~6月、10~11月の中間期に集中して見られる。

図-12に月別の外気冷房運転時間（実際に運転した時間）の合計と、その外気負荷を示す。中間期では外気冷房時間が長く見られ、11月では約240時間（8時間/日）外気冷房を行っていることがわかる。またその外気負荷削減量はピークで約55,000MJ/月の削減に相当することがわかる。

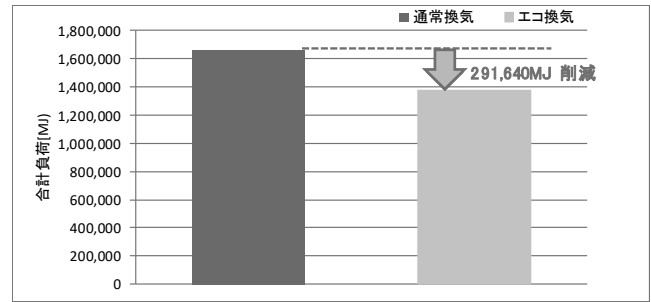


図-8 エコ換気システムによる外気負荷削減量

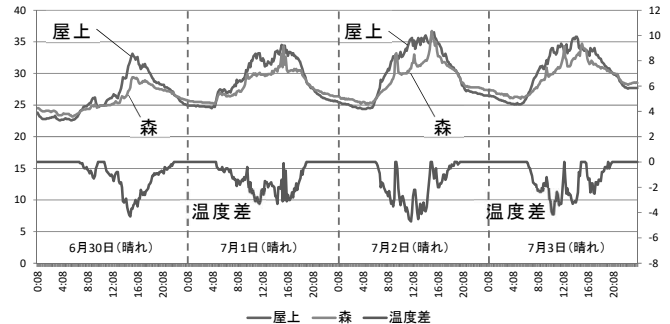


図-9 ベルの森 外気温度差実測結果

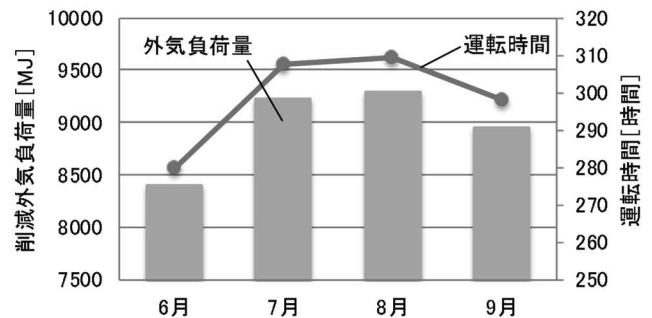


図-10 ベルの森からの外気取入れによる負荷削減量

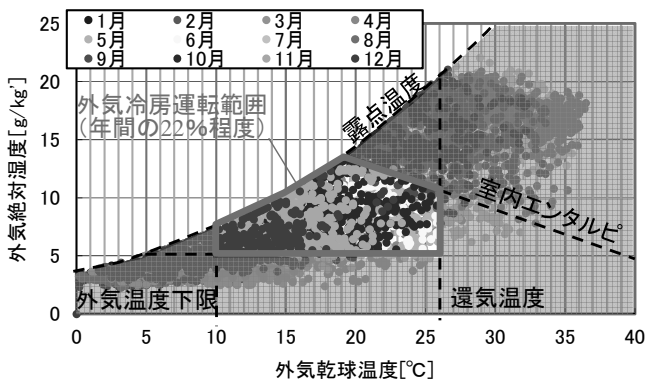


図-11 外気温湿度出現散布図 (空気線図)

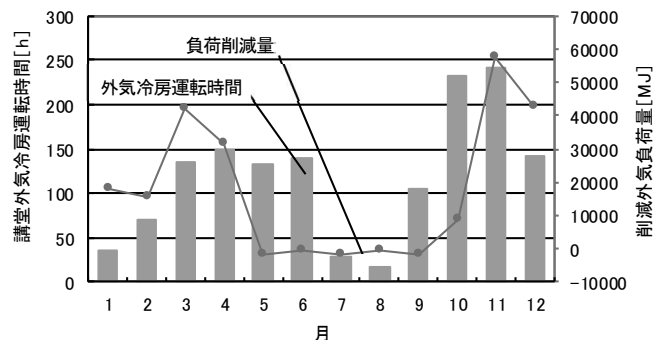


図-12 講堂空調機外気冷房運転時間と外気負荷削減量

## 7. 省エネ運転ナビ

### 7.1 省エネ運転ナビ概要

図-13 に省エネ運転ナビの予測制御概念図を示す。中央監視システムのサブシステムとして熱源システムの予測制御（省エネ運転ナビ®）を導入している。気象予報データを基に負荷予測値を算出し、予測値を基に設備機器の翌日の運転スケジュール作成や、翌日の制御方式を判定する

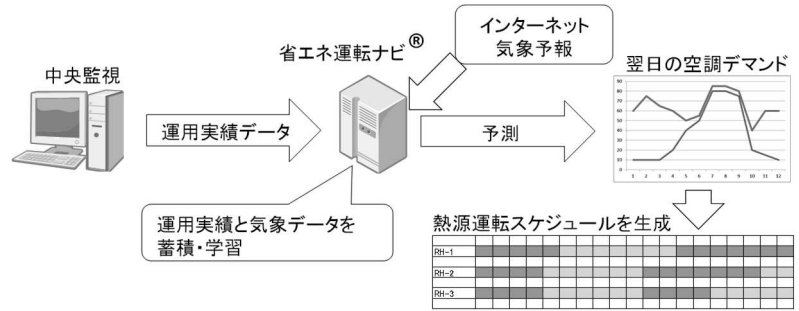


図-13 熱源システム予測制御の概念図

ることによって最適な熱源制御が可能となる。過去の熱源運転について、気象実績と建物空調負荷実績を用いて、評価することも可能である。

本建物では特に、CGSの発電と排熱利用を最適化することに注目し、予測システムの改良を行っている。竣工後1年の実績データの蓄積に基づいて省エネ運転ナビ®の運用を開始した。

### 7.2 結果解析

図-14 に夏期代表日（2015年8月5日）のガス使用量・受電電力量・1次エネルギー量・CGS運転台数・排熱有効利用率・電力デマンドについての実績値と省エネ運転ナビ®に従った運転との比較を示す。この表から省エネ運転に従った運転を行うと一次エネルギー消費量が削減されることがわかる。排熱利用率の平均効率においても省エネ運転のほうが5%程度上昇している。

2015年8月5日（水）

実績値	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1日合計
ガス使用量合計	2,295	2,160	2,115	2,160	2,070	3,465	7,895	10,395	10,665	11,385	10,935	11,835	11,745	11,925	11,700	12,240	11,295	7,650	6,750	7,200	6,390	3,465	3,195	270	184,860
受電電力量	11,029	11,126	10,736	10,736	10,834	11,614	9,858	9,370	11,126	12,395	12,298	11,614	11,419	11,907	12,005	12,786	11,614	12,619	11,252	10,472	8,933	11,712	11,517	11,322	258,738
1次エネルギー量	13,324	13,286	12,851	12,896	12,904	15,079	17,553	19,765	21,791	23,780	23,233	23,449	23,164	23,832	23,705	25,026	22,909	20,904	18,593	18,352	15,721	15,177	14,712	11,592	443,598
CGS運転台数(実績)	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	
排熱有効利用率(実績)	0%	0%	0%	0%	0%	56%	64%	58%	59%	60%	55%	62%	61%	60%	59%	62%	62%	65%	64%	61%	59%	0%	0%	0%	60%
電力デマンド(実績)	1,130	1,140	1,100	1,100	1,110	1,190	1,010	960	1,140	1,270	1,260	1,190	1,170	1,220	1,230	1,310	1,190	920	780	700	850	1,200	1,180	1,160	
省エネ運転	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
ガス使用量合計	2,295	2,160	2,115	2,160	2,070	5,715	7,470	10,395	10,665	11,385	10,935	11,835	11,745	11,925	11,700	12,240	11,295	7,650	6,750	7,200	6,390	3,465	3,195	270	173,025
受電電力量	11,029	11,126	10,736	10,736	10,834	9,156	9,858	9,370	11,126	12,395	12,298	11,614	11,419	11,907	12,005	12,786	11,614	12,619	11,252	10,472	8,933	11,712	11,517	11,322	267,835
1次エネルギー量	13,324	13,286	12,851	12,896	12,904	14,871	17,328	19,765	21,791	23,780	23,233	23,449	23,164	23,832	23,705	25,026	22,909	20,269	18,002	17,672	15,323	15,177	14,712	11,592	440,880
CGS運転台数(省エネ)	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	
排熱有効利用率(省エネ)	0%	0%	0%	0%	0%	58%	68%	58%	58%	60%	55%	62%	61%	60%	59%	62%	62%	86%	82%	77%	66%	0%	0%	0%	65%
電力デマンド(実績)	1,130	1,140	1,100	1,100	1,110	938	1,010	960	1,140	1,270	1,260	1,190	1,170	1,220	1,230	1,310	1,190	1,293	1,153	1,073	915	1,200	1,180	1,160	

図-14 実績値と省エネ運転ナビ®との比較表（2015/8/5）

同日のCGS運転台数・排熱有効利用率・CGS推奨運転台数の実績値・省エネ運転別グラフを図-15に示す。日中は2台運転でほぼナビ通りの運転となっているが、立ち上がり・立ち下がり時間付近では1台運転に絞ることでより高い排熱有効利用率となることわかる。

さらに図-16に受電電力量・CGS発電量の積み上げグラフを示す。CGS1台運転のラインを超えるとCGSが1台動き、2台運転ラインに近づくともう1台が運転し、契約電力量をデマンドが超えないような制御となっていることわかる。

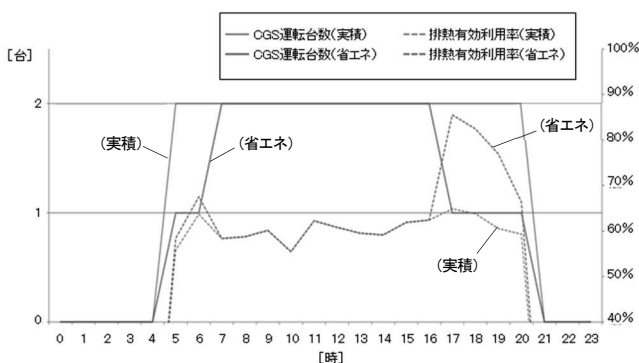


図-15 運転台数と排熱有効利用率（2015/8/5）

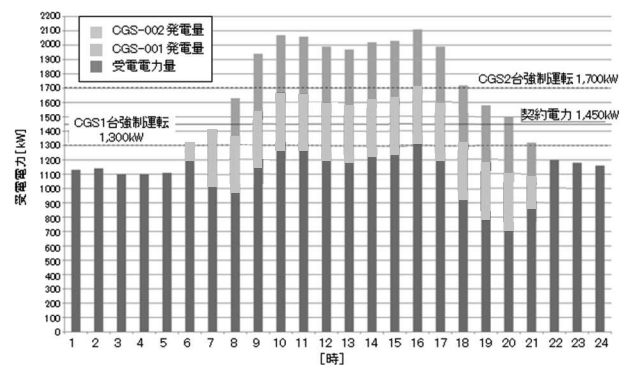


図-16 総需要電力量（2015/8/5）

## 8. 衛生設備

### 8.1 給水設備について

#### (1) 給水設備計画

給排水システムフローを図-17に示す。上水受水槽・雑用水槽容量は、災害時の確保すべき水量として3日間以上を確保するとともに、外部に上水受水槽を設置することで、災害時に給水車が容易に給水出来る計画とした。また、敷地内にある井戸を有効活用して雑用水には井水を利用することとし、災害時のインフラ途絶時にも雑用水については井戸が濁水とならない限り継続使用を可能としている。なお、井水は敷地内の特別養護老人ホームと看護学校に、上水は看護学校に、それぞれの受水槽より給水を行っており、敷地内全体のインフラ供給を兼用している。

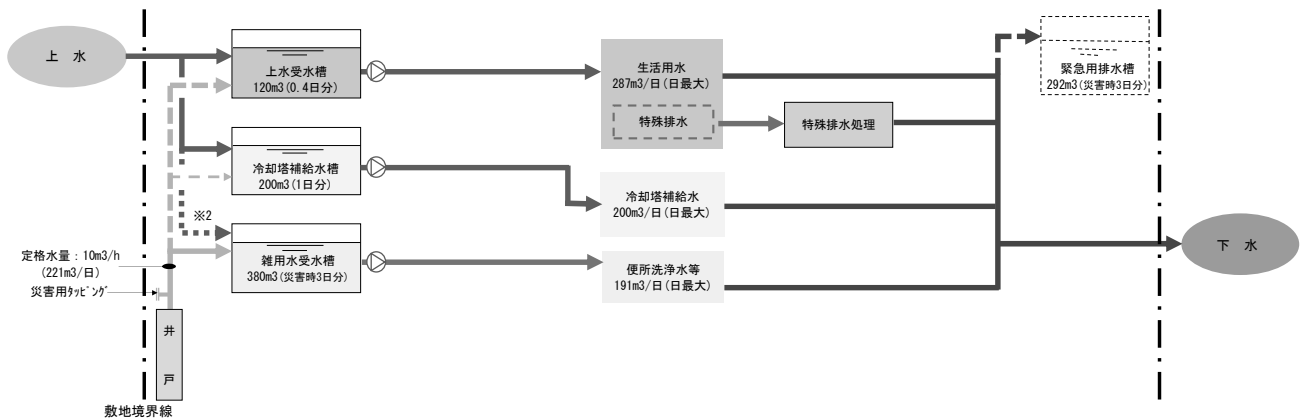


図-17 給排水システムフロー図

#### (2) 給水使用量における既存病院との比較検討

図-18に建て替え前の旧病院と建て替え後の新病院における、上水（市水を利用）と雑用水（井水を利用）の年間使用量実績を示す。建て替えにあたりベッド数には変更がない。よって使用量について単純比較を行うと、上水では年間約9,440m<sup>3</sup>（54L/床・日）の削減、雑用水では年間約37,800m<sup>3</sup>（217L/床・日）の削減となり、特に雑用水については使用量が大幅に削減され、その削減率は64%となっている。

雑用水使用量の大幅な削減の達成は、新病院では節水便器等を積極的に採用したことに起因すると類推される。

上水の削減率は14%と建て替えによる効果は小さいが、旧病院時にシャワーカーン等が節水器具等に交換されていたことを鑑みると全館自動水栓の採用効果が反映された結果と考えられる。削減した上水のCO<sub>2</sub>排出削減量としては、約1,880kg/年\*（10.8g/床・日）となった。

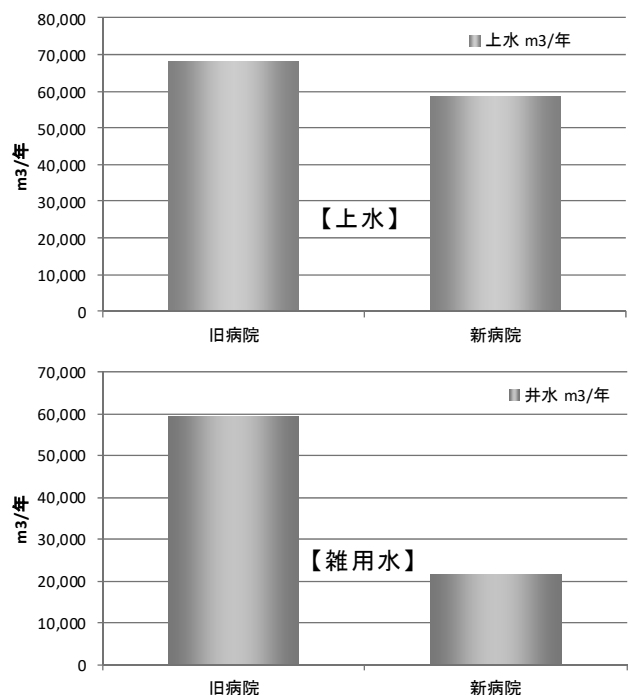


図-18 上水・雑用水使用量実績

\*上水 1m<sup>3</sup>あたり 200gCO<sub>2</sub> 排出として算出。

### 8.2 給湯設備について

#### (1) 給湯設備計画

給湯システムのシステムフローを図-19に示す。給湯方式は、ガス焼き温水ボイラー+CGS 排熱回収予熱槽による全館中央熱源方式を採用した。CGSの排熱は、ジェネリンクによる冷水製造を優先としているが、給湯予熱としても利用することで、年間を通して余すこと無く有効に活用している。

## (2) CGS 排熱利用による給湯省エネ効果検証

図-20 に給湯予熱槽の排熱回収熱量、ボイラーの発生熱量の積み上げを示す。

給湯に要するエネルギーのうち、予熱槽の排熱回収熱量は給湯量全体の平均で 67% を占めており、省エネに大きく貢献していると判断できる。病院という建物用途の特性上、給湯負荷は年間を通してほぼ一定で存在し、通年で CGS 排熱を有効に利用できていることがうかがえる。5 月以降で予熱槽割合が増えている理由は、

CGS の運用改善により運転時間・台数を見直したためである。冬期になると CGS 排熱は主に温水発生熱源（熱交換器・ジェネリンク）として優先使用されるため、給湯への割合が減少している。

図-21 に予熱槽の排熱回収熱量をボイラー使用した場合のガス消費量を示す。月平均で約 8,200 m<sup>3</sup> N、年間で約 98,000 m<sup>3</sup> N のガス量が削減されている。

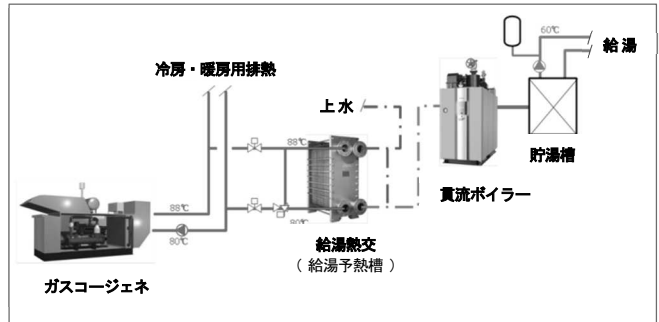


図-19 給湯システムシステムフロー図

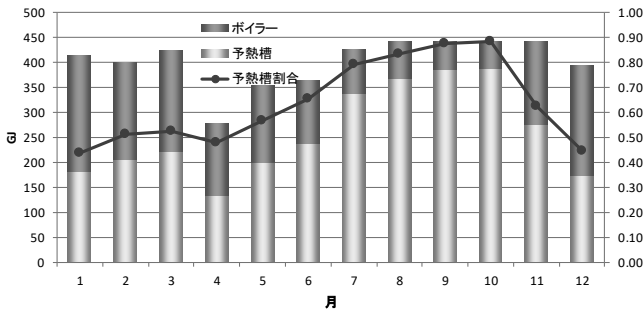


図-20 月別給湯使用熱量

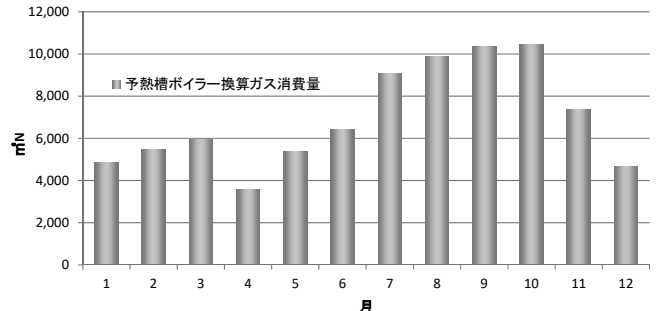


図-21 予熱槽回収熱量のボイラー換算ガス量

## 9. エネルギー評価

### 9.1 計画値に対する実績値

病院全体のエネルギー消費量の計画値と実績値の比較について、図-22 に年間一次エネルギー消費量を示す。前項で述べた様々な省エネルギー手法の採用と季節毎の CGS 運転モード切替などを行うことにより、当初予定の省エネ率を達成することができた。なお図中の導入前の数値は PAL・CEC 標準値から算出している。

※季節毎の運転モード切替

- ・冷熱源：CGS 排熱利用優先(4～11 月)
- ・温熱源：CGS 排熱利用優先(12～3 月)

図-23 に月別一次エネルギー消費量の設備別内訳を示す。図中の「その他」はボイラーのガス消費量を示すが、冬期以外の期間では CGS 排熱利用による削減効果がみとれる。なお、この消費量は ZEB 基準に則り医療用機器動力、医療用コンセント等については除外して算出している。

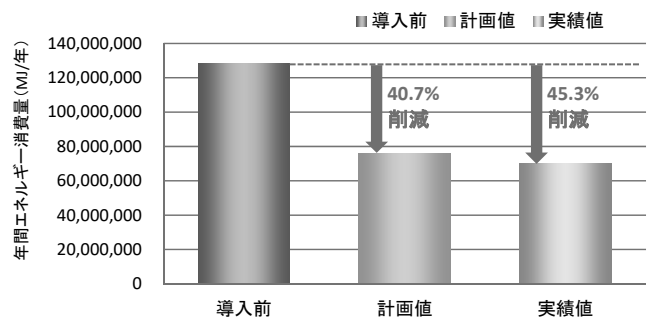


図-22 年間一次エネルギー消費量推移

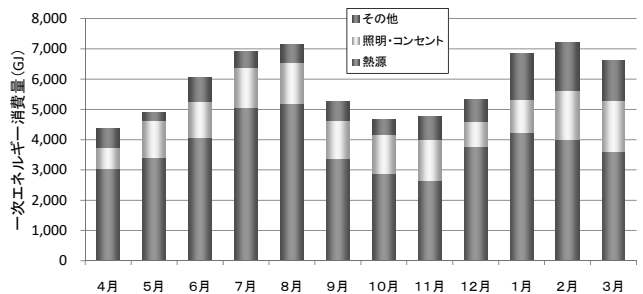


図-23 月別一次エネルギー消費量内訳(計量区分別)

## 9.2 一般病院との比較

図-24 に単位面積あたりの年間一次エネルギー消費量の当病院の実績値と、省エネルギーセンターの示す病院の平均値を示す。

当病院の値は  $2,620\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$  となり、省エネルギーセンターが発表している病院の平均値  $4,050\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$  と比べて約 35%の減を達成し、省エネルギー性能に優れた病院となっている。

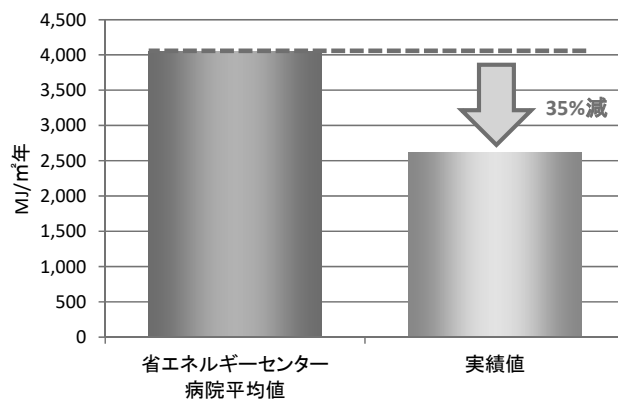


図-24 単位エネルギー消費量比較

## 10. まとめ

当病院ではここで紹介した設備的な省エネルギー技術だけではなく、建築的な配慮を含むさまざまな省エネルギー化に取り組んでいる。

その結果、昨年度の年間一次エネルギー消費量は、一般病院に対して約 35%減を達成し、急性期病院かつ総合病院のために大型医療機器や治療機能が多く、大きなエネルギーを投入しているにもかかわらず、エネルギー消費の少ないエコホスピタルを実現している。

最後に、計画から竣工までご協力頂きましたベルランド総合病院関係者の皆様、(株)昭和設計の皆様、建設に参加いただいた多くの皆様に紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 辻裕次、中村友久、竹島卓磨、山口一：多床病室の臭気特性と換気量制御に関する研究 (第 1,3 報),平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演会梗概集
- 2) 辻裕次、中村友久、竹島卓磨、山口一：室内環境に合わせた病室の換気量制御に関する研究(第 1,3 報),2013 年度日本建築学会大会学術講演会梗概集
- 3) 中村友久：病院施設の省エネルギーと BCP 対応事例ーベルランド総合病院,第 45 回日本医療福祉設備学会
- 4) 病院設備 2016 年 9 月号

# 立命館大学大阪いばらきキャンパス～地域と連携したエコアクションキャンパス

Ritsumeikan University Osaka Ibaraki Campus ~ Eco Action Campus in cooperation with the community

(株)竹中工務店 大阪本店 設計部 設備部門

Takenaka Corporation、Osaka Main Office

Mechanical and Electrical Engineering Section、Design Department

布上 亮介、佐藤 弘康、君塚 尚也、西川 経太

Ryosuke Hogami, Hiroyasu Sato, Naoya Kimizuka, Keita Nishikawa

**キーワード：**環境行動促進 (Environmental Action promotion) 伝統的省エネ技術 (Traditional energy-saving technology) 非常時エネルギー融通 (Emergency energy interchange) エコアクションキャンパス (Eco Action Campus) 地域社会連携 (Community collaboration)

## 1. はじめに

立命館大学が、新たな教学展開と既存キャンパス（京都市、草津市）の高度化を目指し、京都・大阪の中間に位置する大阪府茨木市で、2015年4月に大阪いばらきキャンパスを開設した。学舎・図書館・体育館・食堂・1,000人収容のホールを有した2学部4研究科、学生数約6,000人の新キャンパスである。さらに2016年度には、総合心理学部を開設した。（写真-1、図-1）

茨木市の中心エリアに近接する都市型キャンパスという立地特性も踏まえ、教学コンセプトに、「アジアのゲートウェイ」、「都市共創」、「地域・社会連携」を掲げている。

新キャンパス（以下OIC）は、立命館基本計画『R2020』を旗印に、エコキャンパス実現のため「学校ならではの省エネルギー：「見える化」の発展形として利用者参加型省エネ技術の導入」と「建築でできる省エネルギー：伝統的省エネ技術（障子、格子、縁側）を現代の建材で工夫」を柱とした様々な省エネ手法を取り入れた。

また、防災を通じた地域と連動したまちづくりにも取り組んでいる。以下順を追って記載していく。

## 2. 建築概要

建築場所：大阪府茨木市岩倉町2-150

用途：大学

敷地面積：98,331.84 m<sup>2</sup>



写真-1 建物外観



図-1 キャンパス見取図

建築面積：29,956.85 m<sup>2</sup>  
 延床面積：110,202.46 m<sup>2</sup>  
 構造種別：S・SRC造 階数：地上9階  
 建物高さ：39.5m  
 工事期間：2013年4月～2015年3月  
 建築主：学校法人立命館  
 設計監修：学校法人立命館キャンパス計画室  
 基本設計・設計監理統括・外構設計監理・CM：(株)山下設計

建物実施設計・施工：(株)竹中工務店構造  
 地上S造、地下SRC、RC、S造  
 工期 2010年9月～2012年7月

### 3. 設備概要

#### 3.1 電気設備概要

受変電 22kV 本・予備2回線受電  
 特高 Tr 1,500kVA×2  
 高压 Tr 合計7,050kVA  
 予備電源 非常用兼用コージェネレーション設備  
 815kw×1台、太陽光発電 合計70KW  
 照明 大教室：LED照明、人数カウント制御によるエリア点消灯制御 (MOTTAINAI システム)  
 WC：LED DL、人感センサー制御  
 弱電 電話・LAN・テレビ共聴・非常呼出・インターホン・ITV・入退室管理  
 昇降機 非常用エレベーター×3基  
 乗用エレベーター×16基  
 エスカレーター×7基

#### 3.2 空調設備概要

空調方式 中央熱源・個別熱源方式 (電気・ガス併用)  
 床置 AHU+ダクト (大教室)  
 床置 AHU (アンダーフロア空調：ホール・図書館)  
 FCU・PAC (一般居室)  
 熱源 ガス吸収式冷温水発生機 300USRT×2台、排熱投入型ガス吸収式冷温水発生機 550USRT×1台、ソーラーケリング 96USRT×1台、空冷ヒートポンプチラー 200HP×3台、高効率 GHP・EHP (個別熱源)

#### 3.3 給排水衛生設備概要

給水 加圧給水ポンプによる圧送式

(上水、雑用水、井水処理水を利用)  
 給湯 局所給湯方式  
 (電気温水器、ガス瞬間湯沸器)  
 排水 建物内汚水・雑排水分流式、建物外汚水・雨水分流、災害時排水貯留

## 4 省エネ手法

### 4.1 学校ならではの省エネルギー

#### ◆WAON カードの活用

環境行動促進のインセンティブ付与方策として、隣接する大型商業施設との連携により、既に全国で普及している電子マネー (WAON カード) を活用し、従来の事業個別のポイント制度に比べ、汎用性、普及性の高い方策を目指した。(図-2)

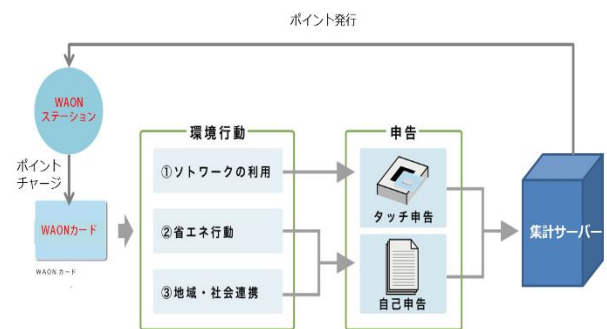


図-2 WAONカードの活用

#### ◆MOTTAINAI システム

教室の稼働率は約60～70%が平均である。そこで、少人数使用時に、照明の点灯範囲、空調・換気の稼働範囲を制御し、かつ、誰も使用しない時に設備停止すれば省エネになる。本計画ではITVカメラの画像解析により在室人数をリアルタイムにカウントし、人数に応じて前方から照明を点灯、空調換気を段階運転させることで親近感のある授業と、省エネを両立できる設備を整えた。(図-3)

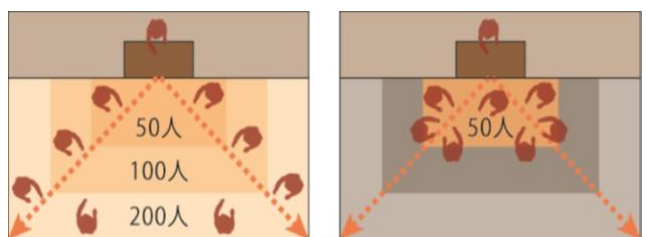


図-3 MOTTAINAI システム

#### ◆スマート講義システム

授業に使用される教室は、エネルギー使用量の観点で割り当てられることは今までなかった。O I Cでは季節、方位、利用人数から空調負荷のより低い部屋を優先して割り当てるよう、エネルギー使用量の大小で色分けした講義スケジュール表を作成した。

例えば夏期の午前中は建物西側に講義開催教室を集中配置させ、また、エネルギーセンター棟に近い棟から教室を割り振ることで熱源からの配管ロスおよび隣室非空調部を削減することができる。(図-4)

教室利用の工夫 (概念的イメージ図)

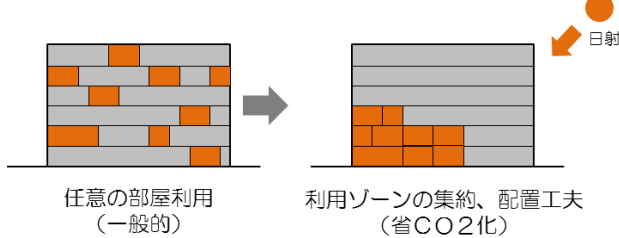


図-4 スマート講義システム

#### 4. 2 建築でできる省エネルギー

##### ◆ダブルスキン (SHOJI システム)

日本の伝統「障子」を発展させたダブルスキン外皮「SHOJI システム」(サッシ、エコ耐震壁、樹脂製障子の3層複合鋼製外皮)で耐震性能および環境性能の強化を図るとともに省エネ意識を向上させる。(図-5)

カーテンウォールと波型穴あき鋼板耐震壁、断熱障子から構成され、使用者が操作可能な可視性のあるダブルスキン

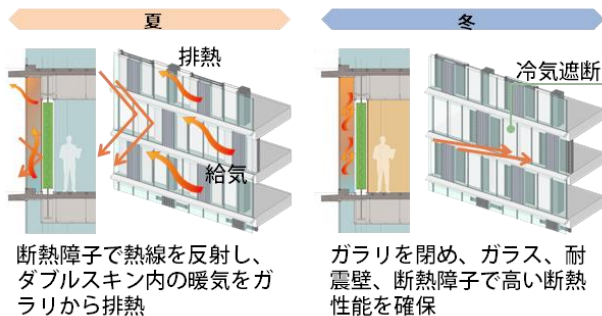


図-5 SHOJI システム

##### ◆日射制御

正方形のALCとガスバリウム鋼板をユニット化した費用対効果の大きいエコ外皮窓形状の工夫(縦窓+横窓)により日射・視線を制御する。(図-6)

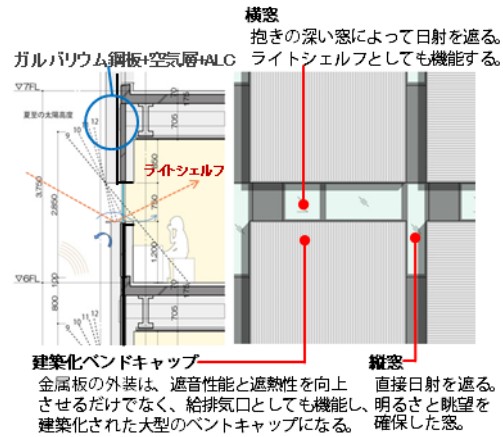


図-6 SHOJI システム

##### ◆菱形格子 (タイル打込 PC 木漏れ日外皮)

形状の工夫 (菱形) および方位に応じた配置で熱負荷を軽減させる。また拡散光利用により室内照明負荷を低減する。(図-7)

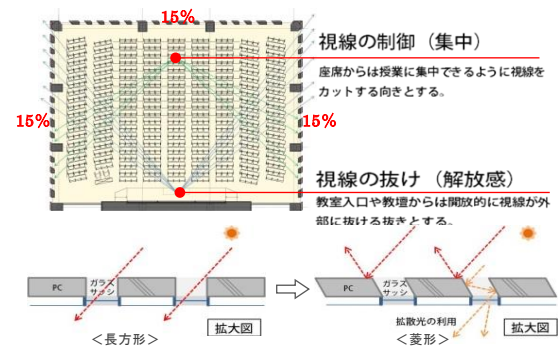


図-7 菱形格子

#### 5 災害に強いまちづくり

大災害時のキャンパス内一時避難収容人数は3,000人を想定し、インフラ整備を計画した。災害発生時は、事業継続性確保の観点から、まず学園構成員(学生・教職員等)の安全確保および施設機能保全の対応を想定している。さらに、学園および地域の被災状況に応じて、学校施設(一部)への市民受け入れ等の協力を行う予定である。キャンパス内および防災公園の一時避難収容人員構成を第1表に示す。

電気は信頼性の高い中圧認定路線ガスを利用したコージェネ設備により、想定デマンドの40~50%程度の電源確保が可能である。また飲料水・雑用水は(コージェネ発電電気を活用)井水処理水で賄い、下水本管破断時は20 m<sup>3</sup>の排水貯留余力を確保することでインフラの自立性を高める。さらに、上記インフラより、隣接する

施設	立命館大学 大阪茨木新キャンパス		防災公園 (事業者: 茨木市)
	学舎、アリーナ・学生施設	市民開放施設	
対象者	学園構成員	学園構成員＋一般市民	一般市民
一時避難 収容人数(目標)	約2,200人	約800人	約6,600人
施設利用目的	学園構成員の一時避難 (事業継続性確保)	防災公園との連携 (地域防災協力)	主に周辺住民の一時避難
備考	食堂(1F) 600人/1,000㎡ アリーナ(2F) 1,500人/2,500㎡ 研修室ゾーン(5F)100人/1,500㎡	平土間ホール、廊下等(1F) 800人/1,300㎡ 屋内施設として公園に隣接する特性を活かし、 防災公園機能と連携 ～市の備蓄倉庫の整備 ～避難弱者の屋内収容 など	面積:1.5ha 自家発電設備:あり(検討中)

表-1 施設ごとの役割想定

防災公園にも電気・水が供給できる設備とした。

隣接する大型商業施設と連携し、公共電力網が遮断し商用電源が停止した場合は、O I Cの防災盤と本建物西側に建つ大型商業施設のイベント盤を、建物内に備蓄されたケーブルで相互に接続、お互いのコージェネ設備を活用し電力バックアップを可能としている。さらに、双方の建物から茨木市の防災公園へ10kw(照明、給湯、携帯充電等)の送電が行える。(図-8)



図-8 非常時電力融通

### おわりに

立命館地球環境委員会で学園として2008年度比で2020年にはエネルギー消費量原単位を学園全体で25%削減する目標を策定しており、O I Cでは35%削減を目標に活動を進め開学3年目に目標を達成した。

最後に、本業績をおさめるにあたってご指導、ご協力をいただいた関係者の皆様から感謝申し上げます。

### ※主な受賞 (2018年7月現在)

- ・2015年度 グッドデザイン賞受賞(公益財団法人 日本デザイン振興会)
- ・2015年度 コージェネ大賞民生部門特別賞受賞(一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)
- ・2015年度 日経ニューオフィス賞:近畿ニューオフィス推進賞受賞(一般社団法人ニューオフィス推進協会)
- ・2015年度 おおさか環境賞(里山活動):協働賞受賞(大阪府)
- ・2015年度 日本空間デザイン賞:入選(日本空間デザイン協会)
- ・2015年度 大阪ランドスケープ賞 大阪府知事賞(大阪府)
- ・2015年度 「建築と社会」賞(作品部門)(一般社団法人日本建築協会)
- ・2015年度 「建築と社会」賞(作品部門)(一般社団法人日本建築協会)
- ・2015年度 リデュース・リユース・リサイクル推進協議会会長賞((一社)産業環境管理協会)
- ・2015年度 サステイナブルキャンパス賞(建築設備部門)(CAS-Net JAPAN)
- ・2016年度 環境・デザイン賞:都市・ランドスケープ部門((一社)建築設備総合協会)
- ・2016年度 電気設備学会施設奨励賞 技術部門((一社)電気設備学会)