

オフィス建築を対象とした環境創造技術に関する実証研究

(その 2) 外装 3 種類の熱性能比較、温熱環境及び空調処理熱量の評価

EXPERIMENTAL STUDY TO ACHIEVE THE OPTIMAL ENVIRONMENT FOR OFFICE BUILDING

Part2 Comparison of Thermal Performance of Three Exterior Packages, and Evaluate of Indoor Thermal Environment and Air Conditioning Load

浅野 涼太*1 村江 行忠*2 栗木 茂*3 鈴木 孝彦*1 伊藤 優*1

Ryota ASANO, Yukitada MURAE, Shigeru KURIKI, Takahiko SUZUKI and Yu ITO

In this study, we evaluated thermal performance of three different exterior packages and indoor thermal environment for office rooms, air conditioning loads. The results are fellows, 1)The calculate value and measured value of heat transmission coefficient were DS<CDS<BL. Since the calculated value of CDS is only the double skin part, it is necessary to consider the whole surface including the panel.2) Comparing the upper and lower temperature inside the cavity of DS and CDS, there was a difference of 15°C at the maximum. In order to discharge the heat inside the CDS cavity, it is necessary to widen the upper opening. 3)Solar heat gain coefficient was BL<DS<CDS. Comparing the 1st and 2nd floors for the double skin office room, the 2nd floor was larger, and both exteriors reached the maximum at 16:00.4) The glove temperature of interior and perimeter of each room was almost equal at air conditioning time. 5) Except for FL+100mm and FL+2800mm, the temperature distribution between interior and perimeter was uniform. 6) Attaching the mechanism of natural ventilation, it is necessary to consider the deterioration of the thermal performance of the exterior. 7) Since the air conditioning load quantity by the perimeter zone occupies a large proportion, it is a task to reduce the air conditioning load by reviewing exterior specifications and controlling solar radiation using blinds.

Keywords : Experimental building, Double skin, Thin double skin,, Heat transmission coefficient, Thermal environment, Air conditioning load

実証建物 ダブルスキン 薄型ダブルスキン 熱貫流率 温熱環境 空調処理熱量

1. はじめに

既報¹⁾の実証建物において 2017 年 4 月から運用を始め、各種環境技術を検証している。本報では夏期代表日の外装の熱性能、夏期冬期の温熱環境、及び空調処理熱負荷について検証した結果を報告する。

2. 実測条件

南側外装概要を図-1 に示す。ダブルスキン(以下 DS)は 2 層吹抜けが全面にあり、アウターは透明単板ガラス 8 mm, インナーは日射遮蔽型 Low-E 複層 8 mm + 空気層 12 mm で構成されており, DS 上部に開閉可能な換気窓(開口面積 0.58 m²×4)を設けている。薄型ダブルスキン(以下 CDS)は幅 1.2m の 2 層吹抜けのダブルスキンと幅 0.6m パネル部(アルミ板 2.0 mm + 吹付ロックウール 30 mm)の計 1.8m×4 グリッド, アウターは透明単板ガラス 6 mm, インナーは日射遮蔽型 Low-E 複層 6 mm + 空気層 6 mm で構成されており, 常時開放された換気スリット(開口面積 0.02 m²×4)を設けている。バルコニー+ルーバー(以下, BL)の窓ガラスは日射遮蔽型 Low-E 複層 6 mm + 空気層 6 mm である。DS, CDS のブラインドはキャビティ内, BL は室内側に取り付けており, ブラインド角度を 45°に固定にした。

事務室内の測定点を図-2 に示す。事務室はそれぞれ 7.2m×10.2m×H2.9m であり, 外装から 2.2m をペリメータ, 以降をインテリアとし, 天井吹出口の設置位置を決定した。人体発熱を模擬した電気毛布

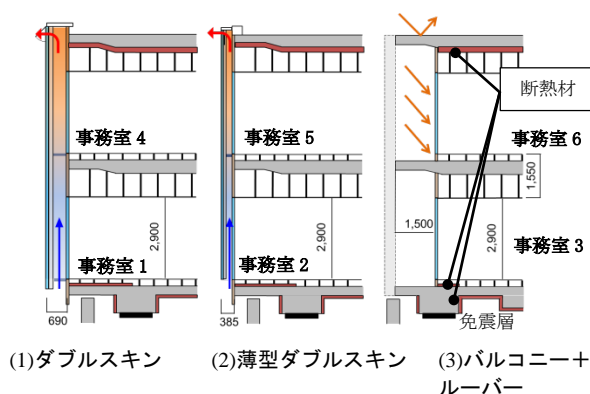


図-1 南側外装概要

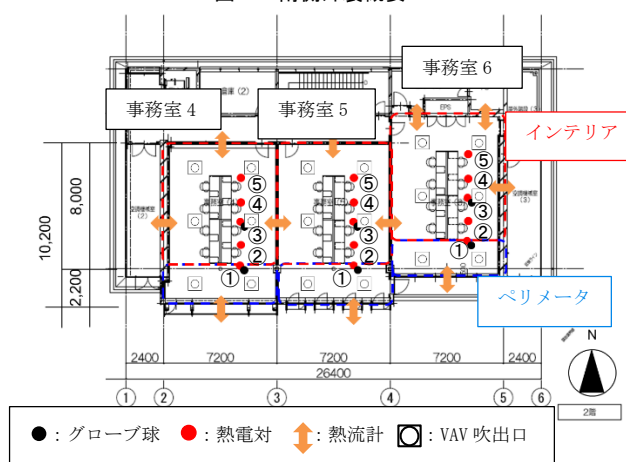


図-2 測定点平面図

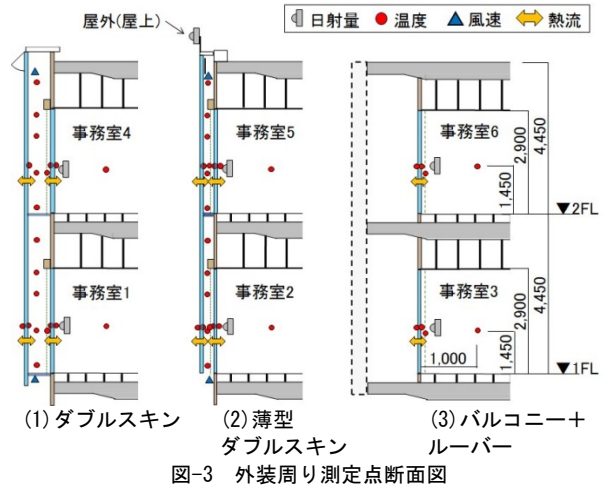
*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士 (工学)
 *2 戸田建設株式会社技術開発センター 工学修士
 *3 戸田建設株式会社技術開発センター

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.
 Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.
 Research and Development Center, TODA CORPORATION

(55W×8人)を設置し、8:00~18:00(以下、在室時間帯)に発熱している。空調設定室温は夏期26℃、冬期22℃とし、在室時間帯に空調した。DS上部の換気窓について夏期は8:30~17:30に開放し、冬期は開放しなかった。

図-3に外装周り測定点を示す。ガラス表面温度、ガラス面熱流、ブラインド表面温度、室内側鉛直日射量、ペリメータ空気温度を測定している。DSおよびCDSにおいては、キャビティ内の上下温度分布および上下風速を測定している。

表-1に測定項目を示す。室内の上下空気温度、グローブ温度^{注1}、熱流及び南面鉛直日射量はワイヤレスデータロガー(HIOKI LR8416)を用いて1分間隔で連続的に記録した。



3. 熱性能測定結果

3.1 熱貫流率測定結果

熱貫流率は天候の安定した日を対象に、2017年8月15日~17日0時~5時、日射熱取得率や熱流は2017年8月9日のデータを用いた。表-2に実測値から求めた熱貫流率の平均値とDS、CDSのTHE BEST Program(以下、BEST)の計算値(既報¹⁾)、BLのガラス単体のカタログ値を示す。熱貫流率平均値は、DS、CDS、BLの順に高い結果となった。DSの測定値は計算値とほぼ同じとなったが、CDSは測定値の方がやや小さくなった。これは、BESTにおいてはCDSの袖壁を考慮していないためである。BLはガラス単体より熱貫流率が小さく、ブラインドや縦ルーバーにより対流熱伝達が小さくなったと考えられる。

図-4にCDSの熱貫流率計算時の熱流の流れと量を示す。夜間において、袖壁からCDS内に熱が流入している状態であった。これは、昼間に袖壁に日射があたり、蓄熱された熱がCDS内に放出されていることが示唆される。

3.2 日射量及びキャビティ内温度測定結果

図-5に南面鉛直日射量と各室内への透過日射量を示す。ブラインドにより直射光が遮られているため、ガラスの性能が異なってもほぼ同じ値となった。

図-6にキャビティ内温度を示す。DSとCDSの温度差は最高で約15℃となった。CDSの上部開口面積が小さく(0.02㎡)、十分に排熱されていない可能性が示唆される。

3.3 日射熱取得率比較

図-7に開口部日射熱取得率を示す。シングルスキンであるBLが最も小さい。縦ルーバーとバルコニーによりガラス面への日射が遮られたためと考えられる。DSとCDSを比較してCDSが大きくなったのはCDSの方がインナー-Low-Eガラスの中空層の厚みが薄いためである。また、1階と2階を比較するとどちらも2階の方が大きかったのは、キャビティ内温度が高かったためである。いずれの外装も16時の日射熱取得率が最も大きくなった。DSとCDSについて

表-1 測定項目

測定項目	測定箇所	高さ[mm]	測定機器
空気温度	ペリメータ (測定点①) インテリア (測定点②~⑤)	FL+100 FL+600 FL+1100 FL+1700 FL+2200 FL+2800	熱電対
	キャビティ内	FL+100 FL+1100 FL+1900 FL+2800 FL+3700	
表面温度	アウターガラス ブラインド インナーガラス	FL+1450	熱電対
表面熱流	室内壁面 アウターガラス インナーガラス CDS袖壁	FL+1450	Z2016(HIOKI)
	床面 天井面	FL+0 CL-0	
グローブ温度	ペリメータ インテリア	FL+1100	熱電対
鉛直日射量	インナーガラス室内側(DS CDS) ブラインド室内側(BL)	FL+1450	MS-602(栄弘精機)
外気温度			熱電対
南面鉛直日射量	屋上		MS-602(栄弘精機)

表-2 測定値から計算した熱貫流率平均値及び計算値 (2017/8/15~17 0時~5時 W/m²K)

	DS	CDS	BL
2階	1.02	1.36	1.59
1階	1.19	1.35	1.58
計算値	1.11	1.43	2.12

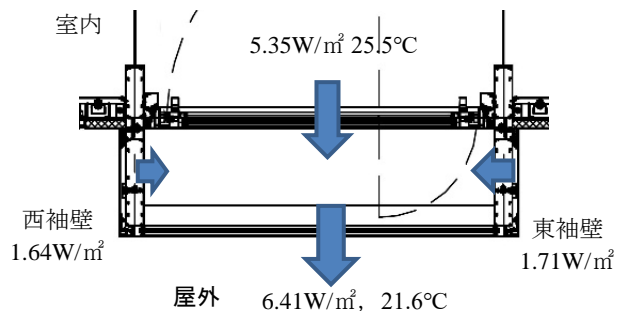


図-4 薄型ダブルスキン 夜間熱流 (2017/8/15~8/17)

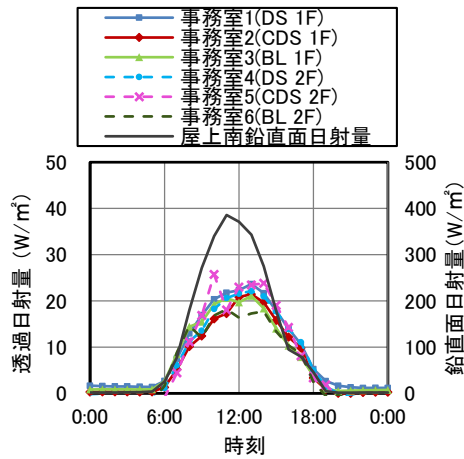
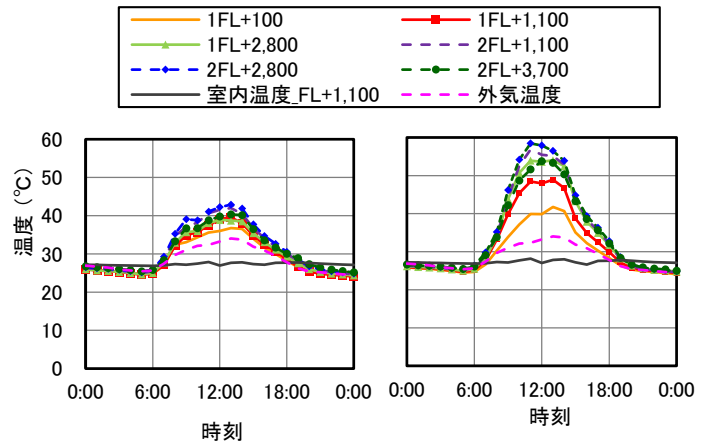


図-5 南面鉛直日射量及び室内側透過日射量 (2017/8/9)



(1) ダブルスキン (2) 薄型ダブルスキン
図-6 キャビティ内上下温度分布 (2017/8/9)

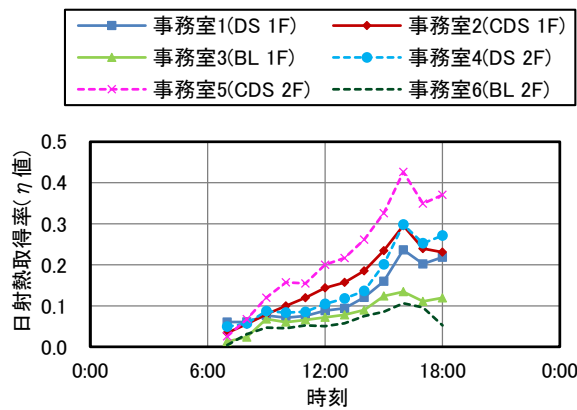


図-7 開口部日射熱取得率 (2017/8/9)

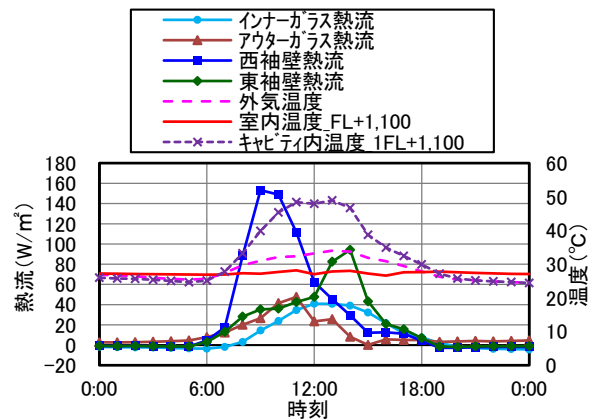


図-8 薄型ダブルスキン1階4面の熱流及び温度(2017/8/9)

は鉛直面日射量が下がり始めた後もキャビティ内温度がすぐに下がらなかったためと考えられる。

3.4 薄型ダブルスキン熱流

図-8 に CDS 1 階 4 面の熱流及び温度を示す。キャビティ内から外部への流出を正とする。アウターガラスは 24 時間流出、東西袖壁は 6 時～19 時に流出となった。午前中は西袖壁に日射があたり 9 時に流出量が最大となった。午後になると東袖壁に日射があたり 14 時に流出量が最大となった。インナーガラスの室内への熱の流出は、鉛直面日射量及び CDS キャビティ内の温度に合わせて変化しており、12 時に最大で 40.9W/m²の流出となる。夜間 20 時～7 時は流入で、6 時に最大となり 3.6W/m²となった。キャビティ内からアウターガラスの通過熱流を見ると、1 日を通して流出となり 11 時が最大となった。11 時のインナーガラス、アウターガラス、東西袖壁の通過熱量の合計は 403W となった。

4. 室内環境測定結果

4.1 夏期

夏期は日中最高気温が高く、日射量の多い日である 2017/7/21 を評価対象とした。図-9、10 にペリメータ(測定点①FL+1100 mm)とインテリア(測定点③

FL+1100 mm)のグローブ温度・南面鉛直日射量、図-11 にペリメータの空気温度、図-12 にガラス表面温度を示す。空調時間帯において、各事務室のペリメータのグローブ温度はインテリアに比べて約 0.5℃高くなり、インテリア、ペリメータのグローブ温度は 26℃前後と各事務室でほとんど違いがなかった。ガラス表面温度を比較すると、事務室 5 が最高で 32℃になり、事務室 3、6 は東側に面しているため 7～10 時まで表面温度が他室に比べ上昇した。CDS 事務室はガラスの面積が他室の 2/3 であること、BL 事務室は室内側にブラインドがあることから、それぞれガラス面からの放射の影響が少なくなり、外装による熱環境の違いがあまり現れなかったと考えられる。

4.2 冬期

冬期について、図-13、14 にペリメータ(測定点①FL+1100 mm)とインテリア(測定点③FL+1100 mm)のグローブ温度・南面鉛直日射量、図-15 にペリメータの空気温度、図-16 にガラス表面温度を示す。日中最高気温、日射量が小さい 2018/2/22 と日射量の多い 2018/2/23 を示すと、2/22 の在室時間帯の各事務室のグローブ温度はインテリアがペリメータに比べて約 0.3℃高くなり、2/23 ではペリメータがインテリアに比べて約 0.3℃高くなった。2/22 は事務室 4 のペリ

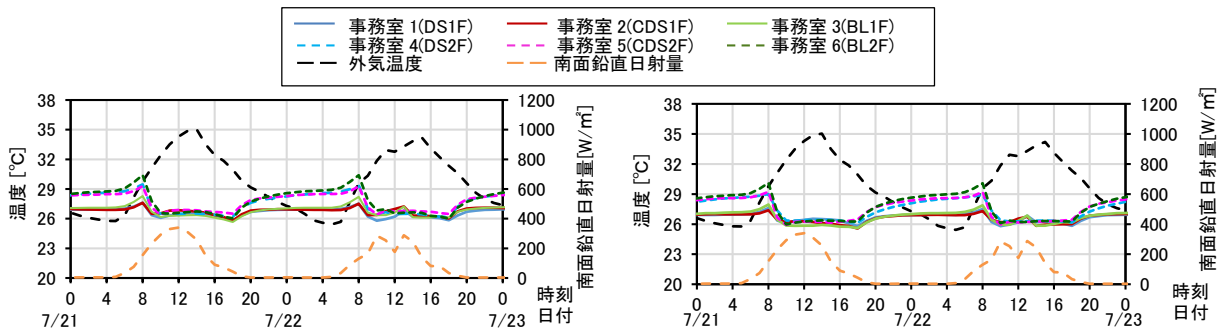


図-9 ペリメータグローブ温度(夏期)
(2017/7/21~7/22)

図-10 インテリアグローブ温度(夏期)
(2017/7/21~7/22)

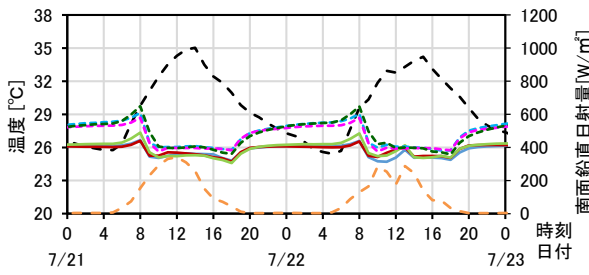


図-11 ペリメータ空気温度(夏期)
(2017/7/21~7/22)

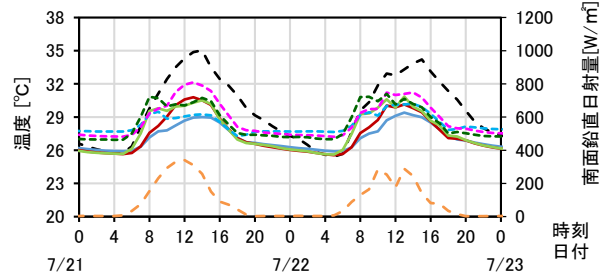


図-12 室内側ガラス面表面温度(夏期)
(2017/7/21~7/22)

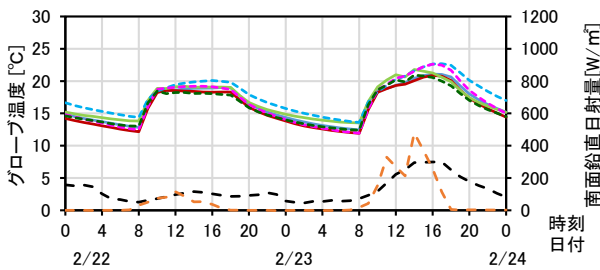


図-13 ペリメータグローブ温度(冬期)
(2018/2/22~2/23)

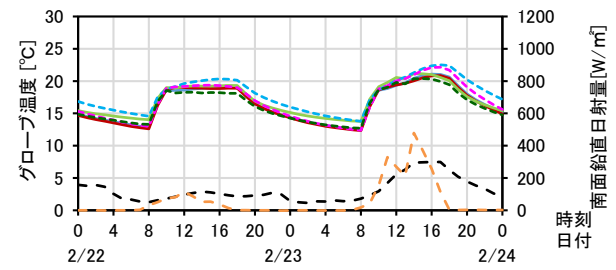


図-14 インテリアグローブ温度(冬期)
(2018/2/22~2/23)

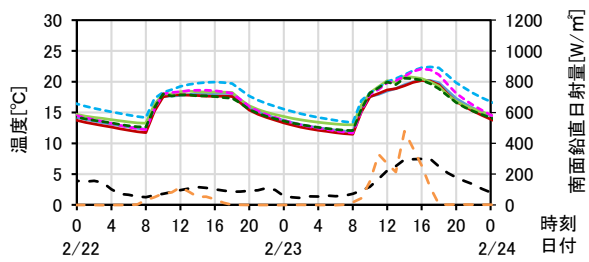


図-15 ペリメータ空気温度(冬期)
(2018/2/22~2/23)

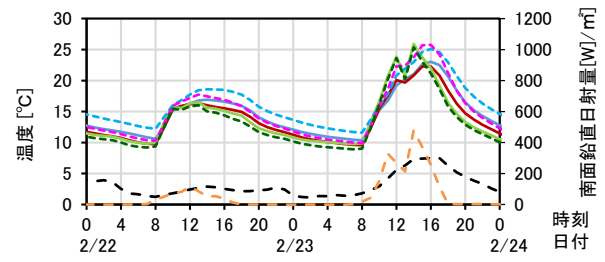


図-16 室内側ガラス面表面温度(冬期)
(2018/2/22~2/23)

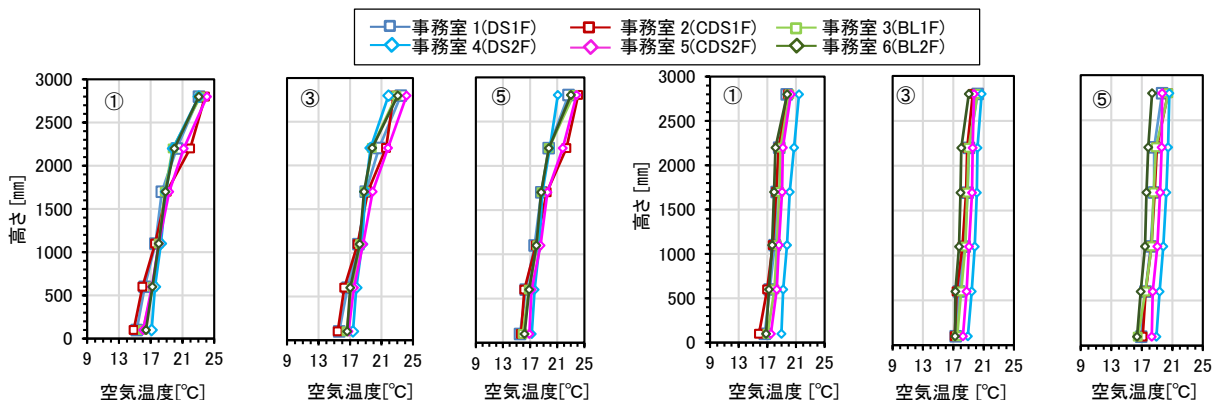


図-17 上下温度分布 (2018/2/22 左:10:00 右:14:00)

メータ空気温度が約 20℃に対し、ガラス表面温度が約 18.5℃、2/23 は事務室 4 で空気温度が約 22℃に対し、ガラス表面温度が約 23.0℃であることから窓面の日射が影響すると言える。事務室 3, 6 のペリメータのグローブ温度について、2/23 のガラス表面温度が 12:00 で 23.6℃、14:00 で 25.4℃と日射量に呼応して温度変化していたが、夏期と同様に、室内側ブラインドによりガラス面の影響をあまり受けていなかったと考えられる。2/22 の 18:00 以降のグローブ温度低下を見ると、事務室 5 は翌日 6:00 には事務室 3, 6 と同等まで下がった。DS と同様、日中に CDS キャビティ上部に暖気が滞留し、ガラス表面温度が BL 事務室よりも高くなるものの、日没後は CDS パネル面から熱が逃げていたため、ガラス面とパネル面の放射の影響を受けていたと考えられる。

図-17 に測定点①③⑤について、空調開始 2 時間後(10:00)、空調開始 6 時間後(14:00)の上下温度分布を示す。ペリメータ(測定点①)とインテリア(測定点③⑤)の温度差を見ると、FL+100 mm と FL+2800 mm を除き、各事務室は±0.7℃以内であった。足下温度差について FL+100 mm と FL+1100 mm の上下温度差の時間経過を見ると、事務室 4 ペリメータで空調開始 2 時間後の上下温度差が 1.2℃であったのが、空調開始 6 時間後では 0.8℃、事務室 5 で 2.0℃から 1.2℃、事務室 6 で 1.6℃から 1.0℃と DS<BL<CDS の順に大きくなった。CDS 事務室は外装の 1/3 がパネルであり、パネル放射で冷やされた空気が下降していたためと考えられる。

5. 室内熱収支

室内温度測定に加え、室内温熱環境や室内熱負荷に与える影響として室内熱収支を算出した。各面からの流入熱流量は各面の中央に貼り付けた熱流計の測定値と面積を乗ずることにより算出した。事務室 2, 5 の CDS パネル部の流出入熱流量は熱貫流率^{注2}にパネル部の面積と室内外温度差を乗ずることで算出した。なお、CDS パネル部の熱貫流率は 2018 年 4 月 27 日～5 月 1 日の夜間(0:00～6:00)測定値の平均値として、事務室 2 は 4.5W/m²K、事務室 5 は 3.7 W/m²K を用いた。(図-18)

CDS パネルについて、既報りでは断熱が有効に働くとの見解であったが、自然換気を行うための機構を設けたことにより、気密性の低下や、断熱材が充填されていない箇所があるため、パネルの熱貫流率が高くなったと考えられる。

夏期の室内熱収支を図-19 に、冬期の室内熱収支を図-20 に示す。夏期冬期ともに躯体面や間仕切壁、非空調室側の壁面よりも窓面や CDS パネル面といった外装面からの流出入が顕著であった。冬期について、外装面の室内から室外への熱流出に加え、床面の熱流出が顕著であった。1 階床下の免震層は半屋外空間であり、図-21 に示した温度変動を見ると、外気温度よりも約 3.0℃高い程度であった。

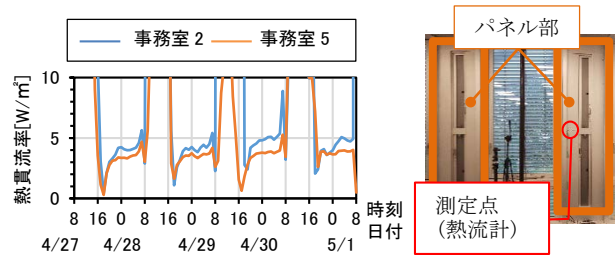


図-18 CDS パネル熱貫流率(2018/4/27～5/1)
(左:測定値 右:測定点)

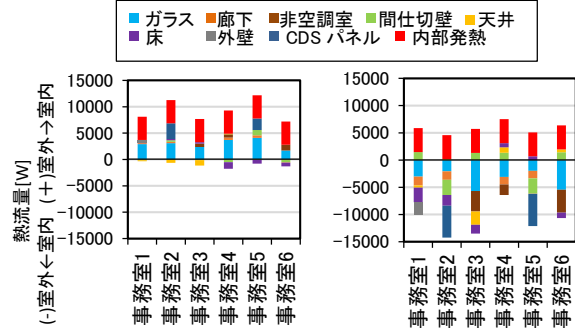


図-19 夏期室内熱収支
(2017/7/21 8:00-18:00)

図-20 冬期室内熱収支
(2018/2/22 8:00-18:00)

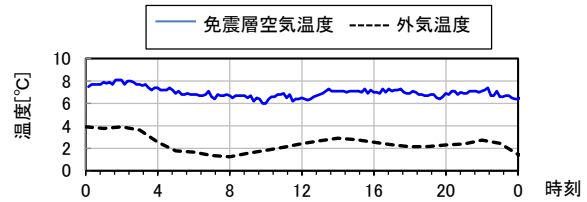


図-21 免震層空気温度(2018/2/22)

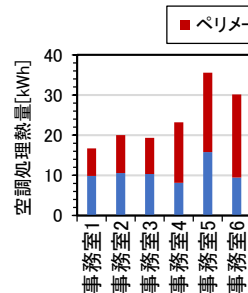


図-22 夏期空調処理熱量
(2017/7/21 8:00-18:00)

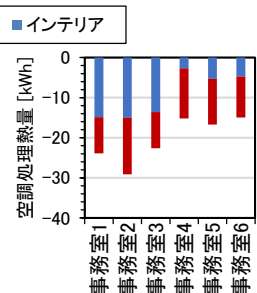


図-23 冬期空調処理熱量
(2018/2/22 8:00-18:00)

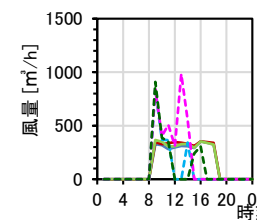
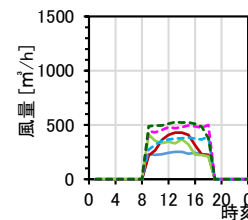
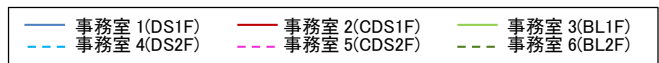


図-24 夏期 VAV 給気風量
(2017/7/21 左:インテリア 右:ペリメータ)

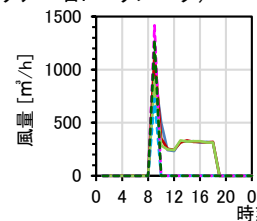
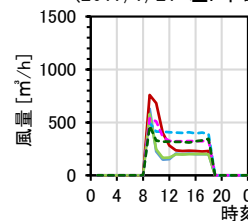


図-25 冬期 VAV 給気風量
(2018/2/22 左:インテリア 右:ペリメータ)

6. 空調処理熱量評価

図-22, 23 に各事務室の夏期代表日と冬期代表日の空調処理熱量^{注3}を示す。夏期は事務室5が35.6kWhと最も高く、事務室1が16.7kWhと最も低くなった。冬期は事務室2が29.1kWhと最も高く、事務室6が15.0kWhと最も低くなった。夏期、冬期ともに図-19, 20に示した通り、事務室2, 5はCDSパネル面からの熱流入が大きいのである。

インテリアとペリメータで空調処理熱量の割合をみると、1階事務室は夏期冬期ともに6:4程度であるが、2階事務室は3:7程度になった。図19, 20に示す通り、外装面の熱流入が大きいので、ペリメータで処理する熱量が多くなったためである。冬期の2階事務室について1階に比べてインテリアの処理熱量が小さいのは、図-20に示す通り、1階では床下への熱流出と、2階では屋上スラブからの熱流入があったことが示される。事務室5の夏期インテリアの処理熱量が同じフロアの手続き室4, 6よりも大きいのは、窓面やCDSパネルといったペリメータ分も処理していた可能性がある。また、2階事務室の冬期ペリメータ熱処理量で外装の差が見られなかったのは事務室4, 6においてインテリア分も処理していたためと考えられる。

夏期、冬期の空調吹出し風量^{注4}(図-24, 25)を見ると、1階事務室はインテリア、ペリメータの風量は立ち上がり時を除き、ほぼ一定であるが、2階事務室は間欠運転する傾向にあった。夏期のペリメータ風量について、BL事務室は日の出(5時)以降の温度上昇が大きくなったため、DS, CDS事務室と比較して、立ち上がり時の風量を多く必要としたと考えられる。

7. おわりに

実測結果から外装3種類の熱性能比較と事務室の温熱環境、空調熱処理量の評価を行い、以下の知見を得た。外装仕様の見直しに加え、ブラインドによる日射制御を活用し、ペリメータゾーンの処理熱量削減を検討することが課題となる。

- 1) 熱貫流率の実測値、計算値は共にBL>CDS>DSの順に小さくなった。DSの実測値は計算値と同等であったが、CDSは薄型ダブルスキン間にパネル部があるため、面全体での熱性能を検討する必要がある。BLはブラインドや縦ルーバーの影響により実測値が計算値よりも小さくなることを確認した。
- 2) DSとCDSのキャビティ内上下温度を比較すると、最高温度で約15°Cの差があった。CDSキャビティ内の熱をより多く排出するためには上部開口を大きくする必要がある。
- 3) 日射熱取得率はCDS>DS>BLの順に小さくなった。いずれの外装も16時が最大となったが、ダブルスキン事務室については日射が減った後でもキャビティ内の温度が下がらなかったためBLよりも高くなった。

- 4) 夏期の室内温熱環境について、各事務室の空調時間帯のインテリアとペリメータのグローブ温度はほぼ同等であり外装による差が見られなかった。
- 5) 冬期の室内温熱環境について、DS, CDS事務室の空調時間帯のインテリアとペリメータのグローブ温度はほぼ同等であった。
- 6) 上下温度について、インテリアとペリメータはFL+100mmとFL+2800mmを除き、ほぼ一様に空調できていた。事務室2, 5はCDSパネルによるコールドドラフトが懸念される。
- 7) 室内熱収支について、窓面やCDSパネル面といった外装面の流入が顕著であることを確認した。CDSパネルに自然換気用の機構を設けることによる気密性の低下や断熱材非充填部の熱性能低下を考慮する必要がある。
- 8) 空調処理熱量について、夏期は事務室1(1階DS)で最小、事務室5(2階CDS)で最大、冬期は事務室6(2階BL)で最小、事務室2(1階CDS)で最大となった。1階事務室のインテリアとペリメータの熱処理量の割合は夏期冬期ともに6:4程度であったが、2階事務室の処理熱量の割合は3:7程度であった。

参考文献

- 1) 伊藤他: オフィス環境を対象とした環境創造技術に関する実証研究(その1)環境技術実証建物の概要と外装3種類の熱性能および自然換気に関する実証, 戸田技術研究報告第43号, 2017.11

[注釈]

- 注1 直径40mmのピンポン球を黒く塗装したものをを用いて測定したものをグローブ温度として扱った。追加実測にてベルソン式黒球のグローブ温度と乖離が少ないことを確認した。
- 注2 CDSパネル部の熱貫流率Uは次式で算出した。

$$U = q / (\theta_i - \theta_o)$$

$$q: \text{パネル面通過熱流}[W/m^2] \quad \theta_i: \text{事務室内温度}[^\circ\text{C}]$$

$$\theta_o: \text{外気温度}[^\circ\text{C}]$$
- 注3 空調処理熱量Wは次式で算出した。

$$W = \int Cp \cdot \rho_a \cdot Q \cdot \Delta\theta dt$$

$$Cp: \text{空気の定圧比熱 } 1.006\text{kJ/kg K}$$

$$\rho_a: \text{空気密度 } 1.2\text{kg/m}^3 \quad Q: \text{吹出し風量}[m^3/h]$$

$$\Delta\theta: \text{給気還気温度差}[^\circ\text{C}]$$
 吹出風量と給気温度、還気温度は中央監視データを用いた。
- 注4 空調システムは1階事務室インテリア、1階事務室ペリメータ、2階事務室インテリア、2階事務室ペリメータで分かれている。冬期のペリメータはインテリアVAVと同一空調システムである。