HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	積雪寒冷型ダブルスキンの熱負荷低減手法に関する研究
Author(s)	菊田, 弘輝; 畑中, 壮大; 羽山, 広文 他
Citation	日本建築学会環境系論文集, 74(646), 1355-1362 https://doi.org/10.3130/aije.74.1355
Issue Date	2009-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50457
Rights	日本建築学会
Type	journal article
File Information	AIJ.646.1355-1362.pdf



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

日本建築学会環境系論文集 第74巻 第646号, 1355-1362, 2009年12月
J. Environ. Eng., AIJ, Vol. 74 No. 646, 1355-1362, Dec., 2009

積雪寒冷型ダブルスキンの熱負荷低減手法に関する研究

A STUDY ON THERMAL LOAD REDUCTION METHOD FOR DOUBLE SKIN IN COLD REGIONS

菊田弘輝*, 畑中壮大**, 羽山広文***, 絵内正道****
Koki KIKUTA, Masahiro HATANAKA, Hirofumi HAYAMA and Masamichi ENAI

In cold regions, it is necessary to correspond to solar heat gain and heating load in winter in addition to solar radiation shading and cooling load in summer. Therefore, it becomes important to do the plan and design that should correspond to both high insulation of building and overuse of glasses. "Double skin (DS)" has attracted attention as architectural methods corresponding to these. The aims of this study are to show the influencing factor of shape, specification and control technique that are directly linked to thermal load reduction method of DS and to reveal the optimum design condition and the energy saving effect after we verified heat characteristic for DS in cold regions.

Keywords: *Double skin, Thermal load reduction method, Annual cooling and heating load*
ダブルスキン，熱負荷低減手法，年間暖冷房負荷

1．はじめに

現在，CO_2 排出量が多い民生部門（業務部門＋家庭部門）の中で，建築分野に関連するエネルギー消費削減への対応の遅れは日々指摘されている．それは断熱技術（断熱厚さ，断熱位置）1つ見ても明らかであり，諸外国で広く普及している厚い断熱が容易な外断熱工法を採用した建物はごく僅かであり，建物の高断熱化への取り組みが遅れている．一方，意匠性に優れたガラスの多用化は急速に進行し，温暖地域に限らず寒冷地域でも一般的に広まっている．寒冷地域の場合，日射遮蔽や冷房負荷への夏対応に加えて，日射取得や暖房負荷への冬対応も欠かせないため，建物の高断熱化とガラスの多用化の両者に対応すべき計画・設計が重要となる．関連する研究動向として，石野・郡ら[1]の窓・空調システムや井上・一ノ瀬ら[2]の窓・制御システムが挙げられ，温暖地域ということも相まって夏対応が中心である．積雪寒冷型に限定すれば，日本は北欧やカナダに比べて未だ発展途上である一方，絵内ら[3]のアトリウムの計画・設計は先行研究として挙げられる．

ガラス素材を選択して積極的に昼光利用を行うことで，照明負荷あるいは暖房負荷の削減が期待できる．ただし，透過日射による冷房負荷の増大やドラフトによるペリメータ環境の悪化が懸念される．特に内部発熱が大きい事務所建物では，寒冷地域であっても夏対応が要求され，これらに対応する建築的手法として「ダブルスキン（DS）」が注目されている．空気層を複数階で連結した多層型DSあるいは各階で分割した各層型DSといった数多くの種類[4]が提案され，研究成果[5)~7)]も報告されている．特に温暖地域での採用事例が多く，寒冷地域での採用事例は未だ少ないのが現状である．しかし，寒冷地域に位置する諸外国での採用事例は非常に多く，他の窓システムに比べてメンテナンスやコストの問題が懸念されるものの，我が国でも省エネ性・快適性の向上に寄与する積雪寒冷型DSの提案が強く望まれる．その際に，寒冷地域で危惧される暖房負荷の増大に対して，日射取得熱（暖房熱源）と貫流熱（暖房負荷）とのバランスに配慮した最適な外皮性能を検討することは重要である．また，中間期の冷涼な外気を利用した自然換気や冬期のDS内の空気を利用した外気処理等の制御手法を検討することも不可欠である．

本研究の目的は，積雪寒冷型DSの熱特性について検証した上で，DSの熱負荷低減手法に直結する形状・仕様並びに制御手法の影響因子を示し，最適設計条件と省エネルギー効果について明らかにすることである．

2．積雪寒冷型DSの熱特性

2.1 実測調査概要

寒冷地域での採用事例は少なく，エネルギー消費等に関する報告も少ないため，DSを有する事務所建物の実測調査を行った．対象建物は2006年11月に北海道北見市に建設されたKビルである．建物外観を写真1，DS内を写真2，建物概要を表1に示す．DSは2階以上の南東・南西面に位置し，南東面のDS容積が大きいこと，外側ガラスが乳白であることが主な特徴である．外側建具面は高透過ガラス12[mm]（室外側フロスト加工）＋（室内側セラプリ（白）＋熱線反射膜コーティング），内側建具面は高遮熱断熱Low-E複層ガラス（Low-Eガラス6[mm]＋中空層12[mm]＋FLガラス6[mm]）である．日射遮蔽対策として内側ガラス室外側にブラインドが設置されてい

* 北海道大学大学院工学研究科 助教・博士(工学) Assis. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
** ㈱北海道日建設計 Hokkaido Nikken Sekkei Corporation
*** 北海道大学大学院工学研究科 教授・博士(工学) Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
**** 北海道大学 名誉教授・工博 Prof. Emeritus, Hokkaido Univ., Dr. Eng.

る．DS 制御概念図を図 1 に示す．DS は 3 種類の制御モードで制御され，その詳細[8]を以下に示す．

【排熱モード（夏期）】

日射により DS 内温度が外気温度よりも上昇するため，DS 底部（10[㎡]）と頂部（15[㎡]）にある換気口を開放し，DS 頂部より熱を排気する．

【自然換気モード（中間期）】

排熱モード（夏期）で制御されている時に，外界条件（外気温度：23 ～ 28[℃]，外気湿度:80[％] 以下，風速:4[m/s] 以下，降雨:無し）に応じて廊下（自動制御）及び室内（手動制御）にある換気口を開放し，室内を経由して DS 頂部より熱を排気する．

【断熱モード（冬期）】

断熱・気密性能を確保するため，DS に直結する全換気口を閉鎖する．ただし，①外気負荷低減のための DS 内空気の利用，②冷房負荷低減のための DS 内空気の排熱，③結露防止のための DS 内空気の排湿でファンを使用する場合のみ，DS 底部にある換気口を開放する．

測定概要を表 2，3 階平面図兼測定位置図を図 2 に示す．3 階事務室の南西側には応接室があるため，南東側の事務室内と DS 内を中心に 2007/8/23（木）～ 2008/2/22（金）の約半年間に亘って実測調査を行った．

2.2 実測調査結果

2.2.1 温度変動

実測期間中，各期間代表日（晴天日）を選出し，積雪寒冷型 DS の熱特性について検証した．各期間代表日の外気条件を表 3 に示す．北海道北見市は盆地に位置するため，寒暖差が激しく，最暑日には約 35[℃]，最寒日には約 -20[℃] 付近まで達し，高い日照率やフェーン現象でも有名である．

室内・DS 内温度変動を図 3，DS 内上下温度変動を図 4 に示す．DS 内温度は外気温度よりも高く，ピーク温度は夏期（a）8：00 に 38.8[℃]，中間期（b）10：00 に 35.0[℃]，冬期（c）12：00 に 23.5[℃] まで上昇していた．冬期において DS 内温度がペリメータ温度まで上昇し，室内からの熱損失が緩和され，断熱モードが効果的に機能していたと判断できる．内側ガラス室内側表面温度の執務時間帯（9:00 ～ 17:00）の平均値は（a）29.0[℃]，（b）28.3[℃]，（c）24.1[℃] を示した．夏期・中間期においてインテリア温度は約 26[℃] と良好であったが，ペリメータ温度は午前中のみ 28[℃] 以上を記録し，内側ガラスからの再放射が影響していた．一方，執務時間帯の水平方向（ペリメータ－インテリア）の室内温度差の平均値は（a）1.5[℃]，（b）0.8[℃]，（c）-1.9[℃] となり，時間的・空間的な温度むらは小さかった．また，執務時間帯の垂直方向（9



写真 1　建物外観



写真 2　DS 内

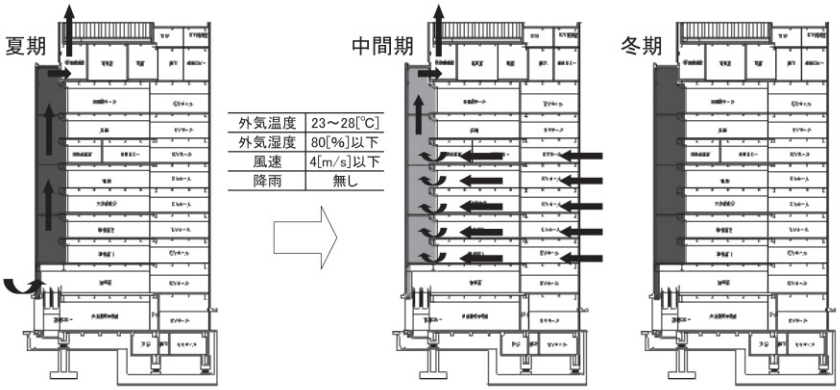


図 1　DS 制御概念図

表 1　建物概要

建物名	Kビル	高さ	49.99[m]
建設地	北海道北見市	延床面積	9099.55[㎡]
建物種別	銀行，事務所	敷地面積	2112.81[㎡]
構造	鉄骨造	建築面積	1192.64[㎡]
階数	地下1階，地上10階，塔屋1階		
熱源設備	空冷ヒートポンプ（313[kW]×2[台]）		
	A重油真空式温水機（569[kW]×2[台]）		
空調設備	VAV単一ダクト方式		
	DSを利用したハイブリッド空調		
換気設備	機械換気，DSを利用した自然換気		
その他	太陽光発電パネル（56.8[kW]）		
	外断熱工法，免震構造		

表 2　測定概要

測定項目	測定機器	測定間隔
室内鉛直面全天日射量	小型日射計	10分
水平面全天日射量	中央監視装置	1分
内側ガラス室内側表面温度	熱電対	10分
内側ガラス室内側表面熱流	熱流板	10分
室内温度	温湿度記録計	10分
DS内温度	中央監視装置	60分
3階系統冷温水流量	超音波流量計	10分
3階系統冷温水往還温度	中央監視装置	10分

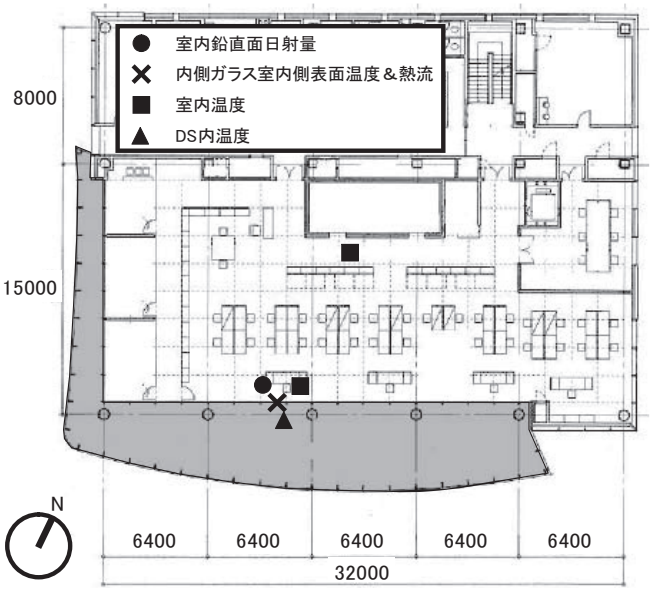


図 2　3 階平面図兼測定位置図

階-3階)のDS内上下温度差の平均値は(a)2.5[℃],(b)3.4[℃],(c)4.5[℃]，標準偏差は（a）0.9[℃]，（b）1.5[℃]，（c）1.8[℃]となり，夜間または冬期に大きくなる傾向を示した．方位や形状の異なる南西側を中央監視で参照すると，ピーク時間は当然異なるが，ピーク温度は空気層の違いよりも日射量の違いの方が影響していた．

2.2.2 熱性能評価

DSの熱性能を評価するため，DS熱貫流率（U）[W/㎡]及びDS日射熱取得率（η）[－]を算出した．その算定式[9]を以下に示す．

$$U = \frac{q_i}{(\theta_o - \theta_i)} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{\left(H_{tot} - H_{(I=0)}\right)}{I_V} \tag{2}$$

q_i：ガラス表面熱流[W/㎡]，θ_o：外気温度[℃]，θ_i：室内温度[℃]

$H_{tot} = q_i + I_{Vi}$：室内総侵入熱量[W/㎡]，I_{Vi}：室内側透過日射量[W/㎡]

$H_{(I=0)} = U(\theta_o - \theta_i)$：夜間窓面熱流量[W/㎡]，$I_V$：屋外窓面日射量[W/㎡]

DS熱貫流率を図5，DS日射熱取得率を図6に示す．日射量がゼロとなる時間帯（0:00～5:00，19:00～23:00）の平均値で評価したUは（a）0.50[W/㎡・K]，（b）0.94[W/㎡・K]，（c）1.07[W/㎡・K]になった．一方，南東鉛直面の日射量がピークとなる時間帯（9:00～12:00）の平均値で評価したηは（a）0.17，（b）0.18，（c）0.16になった．DSは片側Low-E複層ガラス（中空層12[mm]）のU(1.9[W/㎡・K])やη（0.53）よりも熱性能に優れていたと判断できる．

表3 各期間代表日の外気条件

期間	代表日	外気温度[℃]				水平面全天日射量
		平均値	最低値	最高値	標準偏差	[Wh/㎡・day]
(a)夏期	2007/8/28(火)	19.6	12.1	26.8	5.1	5668
(b)中間期	2007/10/4(木)	14.2	8.0	20.2	3.9	4279
(c)冬期	2008/1/29(火)	-8.4	-15.9	-1.0	5.3	2542

2.2.3 換気性能評価

DSの換気性能を評価するため，制御モードに応じてそれぞれの換気量を算出した．DS内上下温度差を考慮するため，多数室モデルによる換気回路網モデルを想定した．換気回路網モデルを図7に示す．本計算では圧力仮定のクロス法[10]を用いて収束計算を行い，実測値を境界条件として各節点間の流量を算出した．

DS換気量・換気回数を図8に示す．執務時間帯の平均DS排気量は(a)3989[㎥/h]，(b)4715[㎥/h]，平均換気回数は（a）1.0[回/h]，(b)1.2[回/h]となった．また，午後以降に直接日射が透過する南西面では南東面に比べてDS容積は小さいことから，換気量自体も若干減少していた．算出された換気量を用い，DS排熱量（Q_E）[kW]及び自然換気除去熱量（Q_N）[kW]を算出した．その算定式を以下に示す．

$$Q_E = C_P \rho_o V_E (\theta_{it} - \theta_o) \tag{3}$$

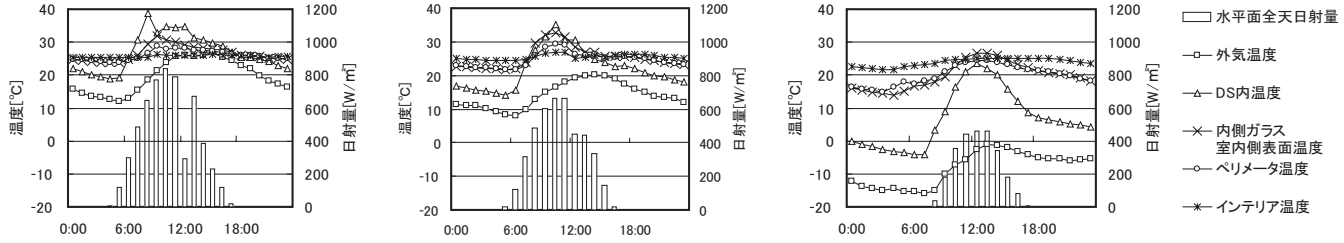
$$Q_N = \rho_o V_N (h_i - h_o) \tag{4}$$

C_P：空気定圧比熱[kJ/kg・K]，ρ_o：外気密度[kg/㎥]

V_E：DS頂部排気量[㎥/s]，θ_{it}：DS頂部温度[℃]，θ_o：外気温度[℃]

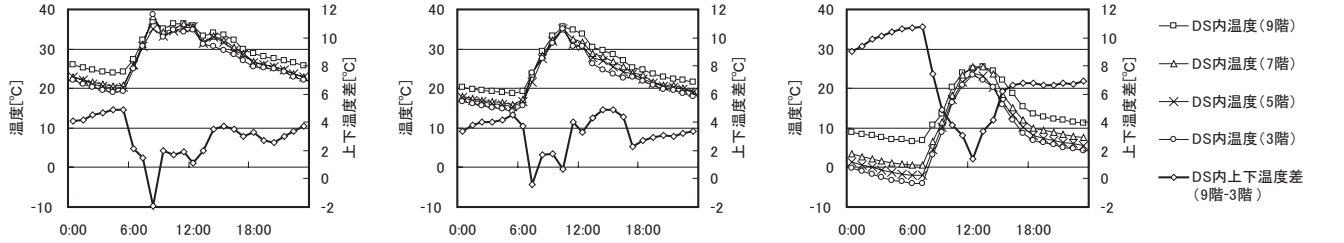
h_i：室内エンタルピー[kJ/kg(DA)]，h_o：外気エンタルピー[kJ/kg(DA)]

V_N：3階フロア外気侵入量[㎥/s]



(a) 夏期　(b) 中間期　(c) 冬期

図3 室内・DS内温度変動



(a) 夏期　(b) 中間期　(c) 冬期

図4 DS内上下温度変動

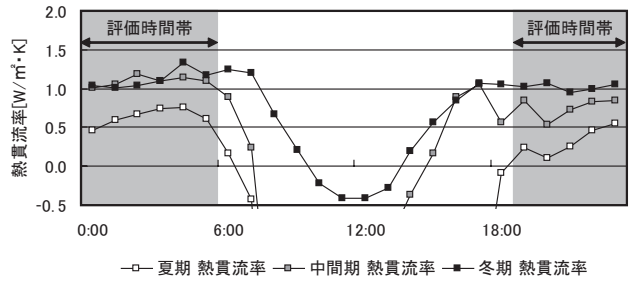


図5 DS熱貫流率

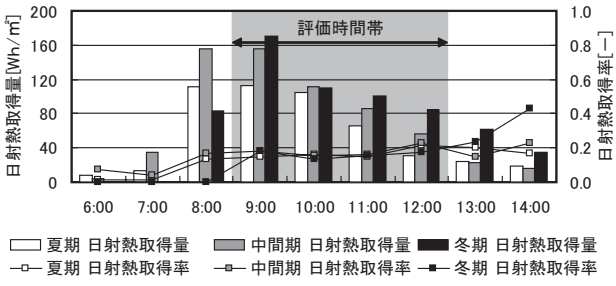


図6 DS日射熱取得率

DS 排熱量・自然換気除去熱量を図 9 に示す．執務時間帯の平均 DS 排熱量は（a）12[kWh]，（b）21[kWh] になり，夏期において頻繁に自然換気モード（中間期）の外界条件を満たす状況が確認され，自然換気除去熱量の最大値が 8.6[kWh] になった．

2.2.4 DS による省エネルギー効果

これまでの性能評価を参照し，DS による省エネルギー効果について検証した．ガラス仕様を表 4，DS との比較（2007/8/24 ～ 2008/2/26，3 階のみ）を図 10 に示す．ガラス仕様を変更した際のエネルギー消費量であり，3 階系統冷温水流量が測定された約半年間の積算値である．DS の冷暖房エネルギー消費量は最も少なく，複層ガラス・ブラインド室内側の 10[％] 削減の省エネルギー効果が試算された．ただし，乳白である外側ガラスの高遮熱効果により暖房熱源となる日射取得が少なく，DS（22244[kWh]）は複層ガラス・ブラインド室内側（21580[kWh]）を僅かに上回る結果を示した．従って，DS または他のガラス仕様を選択する判断材料のためにも，外界条件に相応しい積雪寒冷型 DS の最適な形状・仕様並びに DS を利用した空調や換気の最適な制御手法を検討する必要があると考えられる．

3．積雪寒冷型 DS の最適設計条件と省エネルギー効果

3.1 数値解析概要

3.1.1 計算フロー

実測調査でも明らかなように，年間を通じた評価が必須であるため，DS を有する事務所建物の数値解析を行った．評価対象は年間冷暖房負荷とした．計算法は DS 制御モードに応じた通風量の変動を考慮するため，非定常解析である逐次積分法 [11] と定常解析である換気回路網 [10] の連成計算である．計算フローを図 11 に示す．モデル条件の入力では建物モデル，物性値，開口面積，流量係数，計算時間間隔，設定温湿度等を入力し，室内温湿度，表面温度，換気量，冷暖房負荷等が出力される．

3.1.2 条件入力

建物モデルは K ビルを参考に，札幌と東京に建設された RC 造外断熱建物（延床面積:7360[㎡],階数:10 階）を想定したモデルである．建物モデルを図 12，構成部位仕様を表 5，開口仕様を表 6 に示す．計算対象は DS を有する 3 ～ 10 階，冷房設定温度は 26[℃]，暖房設定温度は 22[℃]，設定湿度は 50[％] とした．外界条件は HASP 気象データ，内部発熱量は 41.6[W/ ㎡]（在室人数 : 0.2[人 / ㎡]，人体発熱 : 58[W/ 人]，照明発熱 : 20[W/ ㎡]，機器発熱 : 10[W/ ㎡]），

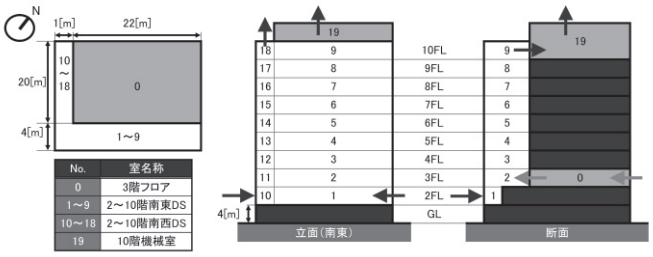


図 7　換気回路網モデル

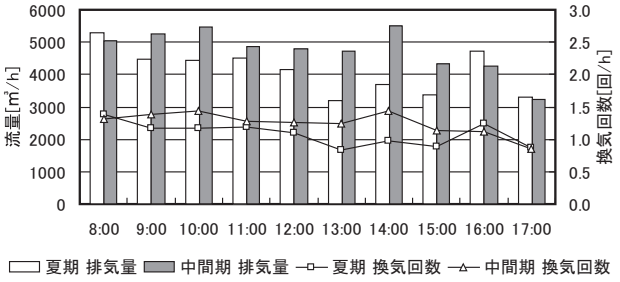


図 8　DS 排気量・換気回数

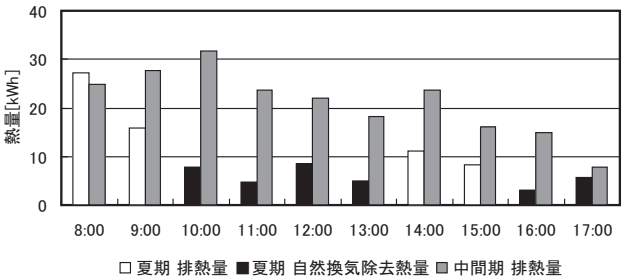


図 9　DS 排熱量・自然換気除去熱量

表 4　ガラス仕様

ガラス仕様			U[W/㎡・K]	η[－]
単板ガラス・ブラインド室内側	透明フロートガラス		4.5	0.44
複層ガラス・ブラインド内臓	透明フロート二重		2.4	0.29
複層ガラス・ブラインド室内側	Low-Eクリア＋透明		1.7	0.39
ダブルスキン	外側＋内側ガラス（実測値）	夏期	(0.50)	(0.17)
		中間期	(0.94)	(0.18)
		冬期	(1.07)	(0.16)
	内側ガラス		1.8	

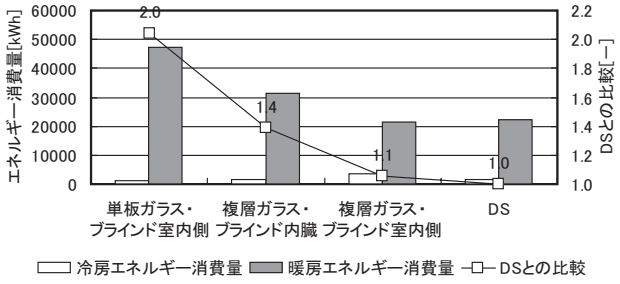


図 10　DS との比較（2007/8/24 ～ 2008/2/26，3 階のみ）

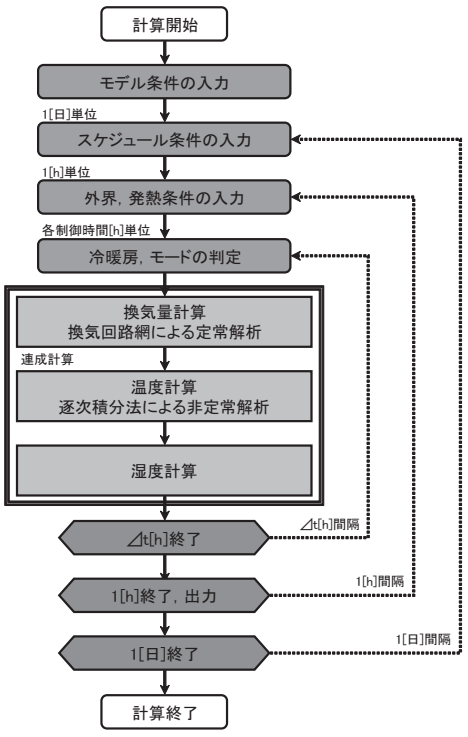


図 11　計算フロー

外気導入量は 30[㎥ / 人・h]，対象時間は 9 時間（9:00 ～ 18:00），対象面積はコア部分を除いたペリメータとインテリアの面積（各階：480[㎡]）とした．

3.1.3　モード判定

DS 制御モードを図 13 に示す．各期間に応じて DS は 5 種類の制御モードで制御される．夏期・中間期は排熱モード（日中）または断熱モード（夜間）をベースに DS 底部と頂部にある換気口を開放し，制御条件を満たす場合，自然換気モード（日中）またはナイトパージモード（夜間）に切り替わる．冬期は断熱モードをベースに DS 底部と頂部にある換気口を閉鎖し，制御条件を満たす場合，排熱モードまたは空気利用モードに切り替わる．

3.1.4　連成計算

換気回路網による定常解析では，実測調査と同様に圧力仮定のクロス法を用いて収束計算を行った．ただし，風の影響は考慮していない．逐次積分法による非定常解析では，一次元モデルと仮定して逐次計算を行った．湿度計算では，空気中の水蒸気移動は全て換気に依存され，計算後にエンタルピーや潜熱負荷の計算を行った．ここでは DS モデルの計算過程で重要となる日射及び熱伝達率の扱い [12] について解説する．

日射の扱いとして，DS へ入射した日射はガラス間で相互反射するため，DS を半透明体 2 枚の組合せと仮定し，総合透過率・吸収率・反射率を用い，各部位への吸収成分と室内への透過成分に分離している．その際に，各部位へ吸収される日射成分は室外側表面，室内へ透過される日射はペリメータの床表面に与えた．その算定式を以下に示す．尚，添字の 1 は外側ガラス，2 は内側ガラスを意味する．

$$\bar{\tau}_{12} = \frac{\tau_1 \tau_2}{1-\rho_1 \rho_2} \tag{5}$$

$$\bar{a}_1 = a_1\left(1+\frac{\tau_1 \rho_2}{1-\rho_1 \rho_2}\right), \quad \bar{a}_2 = \frac{\tau_1 a_2}{1-\rho_1 \rho_2} \tag{6}$$

$$\bar{\rho}_{12} = 1-\left(\bar{\tau}_{12}+\bar{a}_1+\bar{a}_2\right) \tag{7}$$

$\bar{\tau}$：総合透過率［－］，$\bar{a}$：総合吸収率［－］，$\bar{\rho}$：総合反射率［－］

τ：透過率［－］，a：吸収率［－］，ρ：反射率［－］

熱伝達率の扱いとして，DS を通過する風量は常時変動するため，強制・自然対流熱伝達率・Gebhart の吸収係数を用い，対流成分と放射成分に分離している．その際に，断熱モードのみ自然対流と仮定した．その算定式を以下に示す．

$$\alpha_{cv} = 5.8+3.9v \quad (v \le 5), \quad \alpha_{cv} = 7.1v^{0.78} \quad (v > 5) \tag{8}$$

$$\alpha_c = c\left(\theta_s - \theta_f\right)^{0.25} \tag{9}$$

α_{cv}：強制対流熱伝達率［W/ ㎡・K］，v：風速［m/s］

α_c：自然対流熱伝達率［W/ ㎡・K］，c：係数（＝ 1.98［－］（垂直壁表面））

θ_s：流体温度［℃］，θ_f：表面温度［℃］

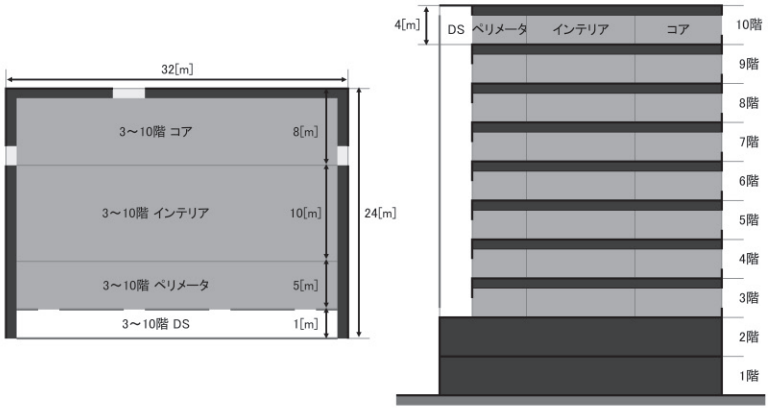


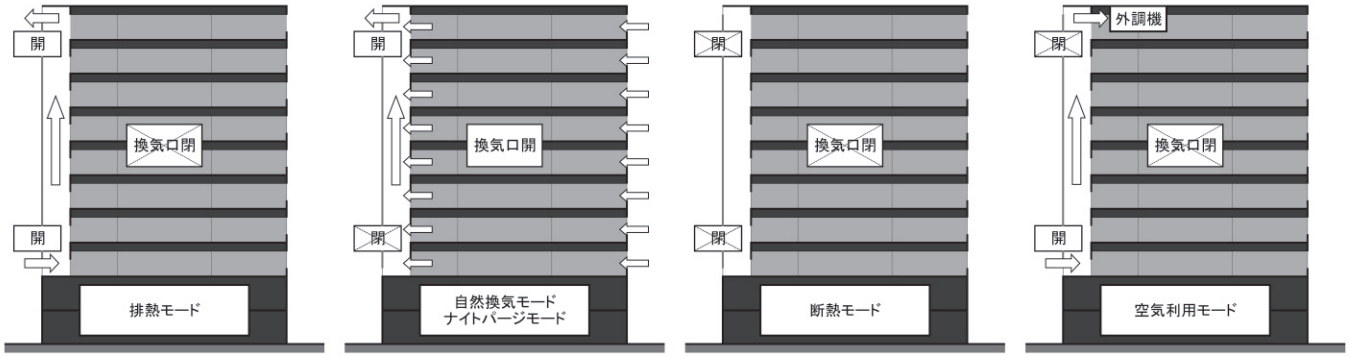
図 12　建物モデル

表 5　構成部位仕様

部位	仕様	厚さ [m]	比重 [kg/㎥]	比熱 [J/kg･K]	熱伝導率 [W/m･K]
外壁	EPS	0.10	30	1250	0.037
	コンクリート	0.12	2400	790	1.3
床	コンクリート	0.15	2400	790	1.3
屋根	押えコンクリート	0.08	2400	790	1.3
	EPS	0.15	30	1250	0.037
	コンクリート	0.15	2400	790	1.3

表 6　開口仕様

開口	幅 [m]	高さ [m]	面積 [㎡]	個数 [個]	流量係数 [－]
外気⇔DS底部	32.0	0.2	6.4	1	0.30
DS頂部⇔外気	32.0	0.2	6.4	1	0.46
外気⇔インテリア	2.0	1.4	2.8	3	0.44
ペリメータ⇔DS	0.5	2.0	1.0	4	0.61



期間	時間帯	制御モード	制御条件
夏期 中間期	8:00～18:00	排熱モード	ベース
	9:00～18:00	自然換気モード	室内エンタルピー ＞ 外気エンタルピー 室内温度 ＞ 22[℃]
	18:00～翌8:00	断熱モード	ベース
	18:00～翌9:00	ナイトパージモード	室内エンタルピー ＞ 外気エンタルピー 室内温度 ＞ 20[℃]

期間	時間帯	制御モード	制御条件
冬期	9:00～18:00	断熱モード	ベース
		排熱モード	ペリメータ 冷房負荷発生
		空気利用モード	DS内平均温度 ＞ 設定温度
	18:00～翌9:00	断熱モード	ベース

図 13　DS 制御モード

$$B_{ij} = \varepsilon_j \varphi_{ij} + \sum_{k=1}^{n} (1-\varepsilon_k)\varphi_{ik} B_{kj} \tag{10}$$

$$q_i = \varepsilon_i \sigma \sum_{j=1}^{n} B_{ij} (T_j^4 - T_i^4) S_i \tag{11}$$

B：Gebhart の吸収係数［－］，ε：放射率［－］，φ：形態係数［－］

q：放射熱伝達量［W］，T：表面温度［K］，S：面積［㎡］

σ：ステファン・ボルツマン定数（＝ 5.67×10^{-8}［W/㎡・K⁴］）

3.1.5　分析フロー

年間冷暖房負荷に対する各パラメータの関係を効率的かつ合理的に評価する方法として，田口玄一が構築したタグチメソッド[13),14)]を用いた．一般的に品質工学とも呼ばれ，値のばらつきを抑え目標値に近づける工学手法の 1 つである．

分析フローを図 14，パラメータと水準を表 7，ガラス物性値を表 8，L_{18} 直交表を表 9 に示す．各パラメータの水準の組合せが均等になるようにパラメータと水準を L_{18} 直交表（18 ケース）に割り付け，その組合せで年間冷暖房負荷（Q）［kWh/year］を算出し，SN 比平均値と SN 比影響度を求める．SN 比（η）［－］の算定式を以下に示す．

$$\eta = 10\log(1/Q^2) \tag{12}$$

SN 比平均値を比較すると，熱負荷低減に寄与するパラメータの水準を把握でき，SN 比平均値を最大とするパラメータの水準の組合せが最も熱負荷を小さくする．また，SN 比影響度を比較すると，各パラメータで水準を変更した際の熱負荷への影響度を把握でき，SN 比平均値の最大値と最小値の差から求まる．

3.2　数値解析結果

3.2.1　年間冷暖房負荷の計算

各階の年間冷暖房負荷（ケース 1）を図 15，床面積当りの年間冷暖房負荷（3 ～ 10 階：5888［㎡］）を図 16 に示す．各都市及び各ゾーン共に上階へ上がるにつれて，熱負荷が大きくなる傾向を示した．ペリメータの床面積がインテリアの床面積の半分であるのに対し，

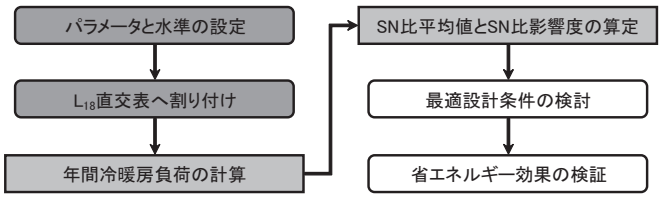


図 14　分析フロー

表 8　ガラス物性値

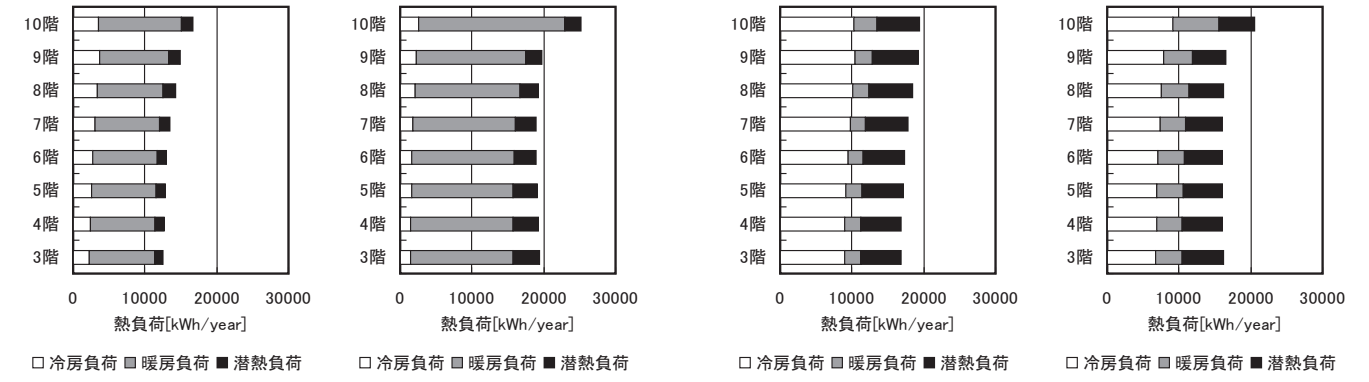
			外側ガラス	内側ガラス		
			断熱性能			
				水準 1	水準 2	水準 3
日射遮蔽性能	水準 1	ガラス厚さ[m]	0.012	0.036	0.018	0.03
		熱貫流率[W/㎡・K]	5.7	1.6	2.5	3.2
		日射熱取得率[－]	0.48	0.33	0.35	0.34
		透過率[－]	0.229	0.245	0.282	0.181
		吸収率[－]	0.725	0.509	0.394	0.719
		反射率[－]	0.046	0.245	0.324	0.101
	水準 2	ガラス厚さ[m]	0.012	0.036	0.03	0.018
		熱貫流率[W/㎡・K]	5.7	1.7	2.5	3.3
		日射熱取得率[－]	0.63	0.49	0.5	0.5
		透過率[－]	0.539	0.375	0.375	0.362
		吸収率[－]	0.277	0.431	0.431	0.571
		反射率[－]	0.184	0.193	0.193	0.068
	水準 3	ガラス厚さ[m]	0.012	0.018	0.012	0.03
		熱貫流率[W/㎡・K]	5.7	1.8	2.6	3.2
		日射熱取得率[－]	0.78	0.63	0.62	0.64
		透過率[－]	0.693	0.525	0.525	0.502
		吸収率[－]	0.243	0.202	0.202	0.401
		反射率[－]	0.064	0.272	0.272	0.097

表 7　パラメータと水準

パラメータ	水準		
	第1水準	第2水準	第3水準
自然換気（夏期・中間期）	有	無	
ナイトパージ（夏期・中間期）	有	無	有（ダミー）
空気利用（冬期）	有（常時）	有（28[℃]以上）	無
DS層数	全層	4層	各層
DS設置方位	東	南	西
外側ガラス日射遮蔽性能[－]	η=0.48	η=0.63	η=0.78
内側ガラス断熱性能[W/㎡・K]	U=1.6～1.8	U=2.4～2.6	U=3.2～3.4
内側ガラス日射遮蔽性能[－]	η=0.33～0.35	η=0.48～0.50	η=0.62～0.64

表 9　L_{18} 直交表

ケース	パラメータ							
	自然換気	ナイトパージ	空気利用	層数	方位	外側日射遮蔽	内側断熱	内側日射遮蔽
1	有	有	有（常時）	全層	東	0.48	1.6～1.8	0.33～0.35
2	有	有	有（28）	4層	南	0.63	2.4～2.6	0.48～0.50
3	有	有	無	各層	西	0.78	3.2～3.4	0.62～0.64
4	有	無	有（常時）	全層	南	0.63	3.2～3.4	0.62～0.64
5	有	無	有（28）	4層	西	0.78	1.6～1.8	0.33～0.35
6	有	無	無	各層	東	0.48	2.4～2.6	0.48～0.50
7	有	有（ダミー）	有（常時）	4層	東	0.78	2.4～2.6	0.62～0.64
8	有	有（ダミー）	有（28）	各層	南	0.48	3.2～3.4	0.33～0.35
9	有	有（ダミー）	無	全層	西	0.63	1.6～1.8	0.48～0.50
10	無	有	有（常時）	各層	西	0.63	2.4～2.6	0.33～0.35
11	無	有	有（28）	全層	東	0.78	3.2～3.4	0.48～0.50
12	無	有	無	4層	南	0.48	1.6～1.8	0.62～0.64
13	無	無	有（常時）	4層	西	0.48	3.2～3.4	0.48～0.50
14	無	無	有（28）	各層	東	0.63	1.6～1.8	0.62～0.64
15	無	無	無	全層	南	0.78	2.4～2.6	0.33～0.35
16	無	有（ダミー）	有（常時）	各層	南	0.78	1.6～1.8	0.48～0.50
17	無	有（ダミー）	有（28）	全層	西	0.48	2.4～2.6	0.62～0.64
18	無	有（ダミー）	無	4層	東	0.63	3.2～3.4	0.33～0.35



(a) 札幌，ペリメータ　(b) 札幌，インテリア　(c) 東京，ペリメータ　(d) 東京，インテリア

図 15　各階の年間冷暖房負荷（ケース 1）

暖房負荷は約 0.6 倍，冷房負荷は 1.5 倍前後となり，夏対応に配慮した適切なゾーン空調が必要である．更に，札幌ではインテリアの暖房負荷，東京では両ゾーンの冷房負荷と潜熱負荷が熱負荷の大半を占めていた．同様に全 18 ケースを計算した結果，大小で約 1.5 倍の違いがあり，SN 比を用いて熱負荷に対する各パラメータの関係を評価した．

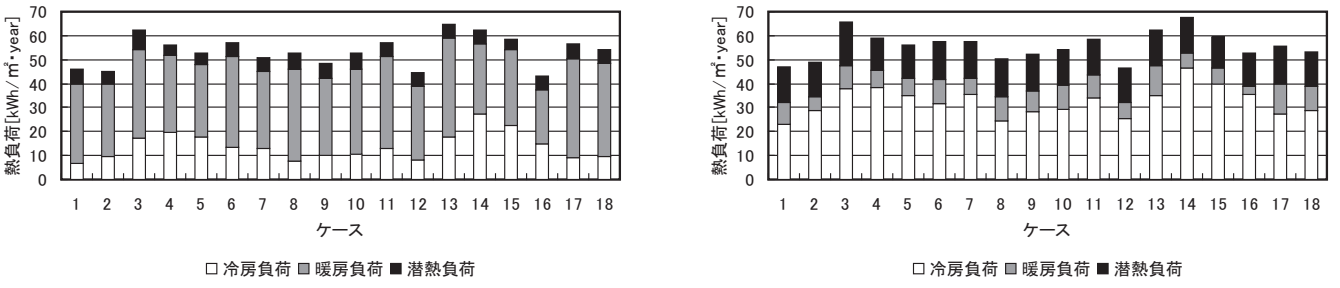
3.2.2　最適設計条件の検討

SN 比平均値・SN 比影響度を図 17 に示す．SN 比平均値は換気やガラス関連のパラメータにおいて冷房と暖房で異なり，ここでは年間（潜熱含む）で最適設計条件を検討した．図中で囲った各パラメータの水準を選択すれば，DS の最適設計条件を意味する．

SN 比影響度が大きかった熱負荷低減に寄与する上位 3 パラメータの水準を見ると，札幌では内側ガラスに高い断熱性能を求めることが最も効果的であった．他にもナイトパージを行うことで，夏期・中間期夜間の冷涼外気による冷房負荷の低減，南側に DS を設置することで，冬期日中の日射取得による暖房負荷の低減に寄与していた．しかし，外側・内側ガラスに日射遮蔽性能を求めても，結果的に夏期（日射遮蔽）と冬期（日射取得）の影響が相殺され，熱負荷の低減に寄与していなかった．対照的に，東京では外側・内側ガラス日射遮蔽性能が効果的であり，また上位ではないが，内側ガラス断熱性能の SN 比影響度も比較的大きかった．因みに，層数の中で 4 層の SN 比平均値（札幌：-34.24[dB]，東京：-34.62[dB]）が最も大きかった要因として，自然換気の際に DS 上層部において室内への逆流が生じ，上下温度差が大きい全層では冷房負荷が増大したためであると考えられる．ただし，DS 上層部における形状・仕様，制御手法を改善することで，冷房負荷だけではなく空気利用も含めた暖房負荷の低減が期待できる．

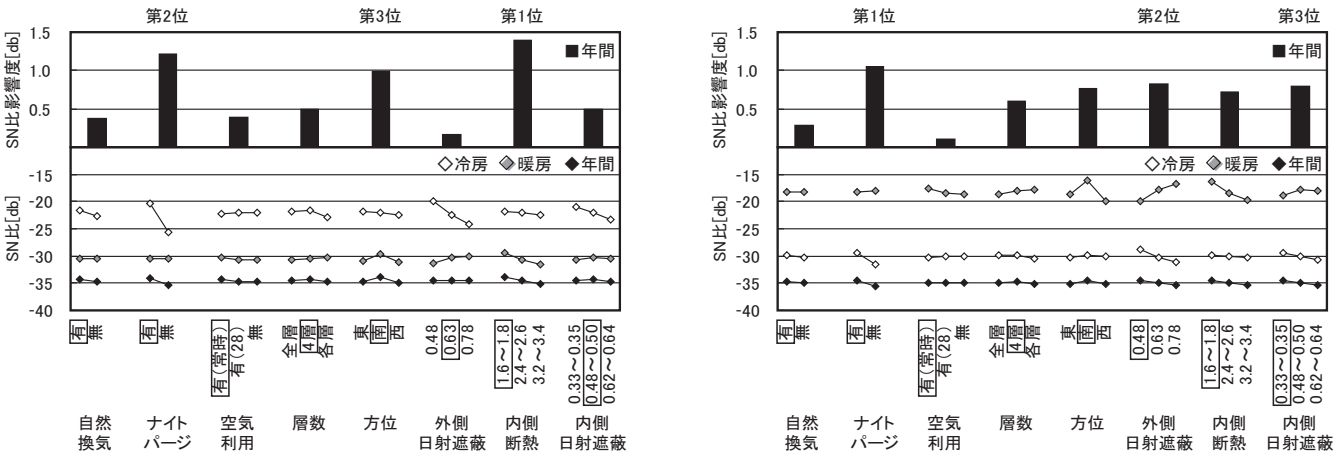
3.2.3　省エネルギー効果の検証

省エネルギー効果を図 18 に示す．熱負荷低減に寄与する上位 3 パラメータの水準を変更し，各パラメータの省エネルギー効果について検証した．それ以外のパラメータの水準は全て最適設計条件に相当する水準とした．



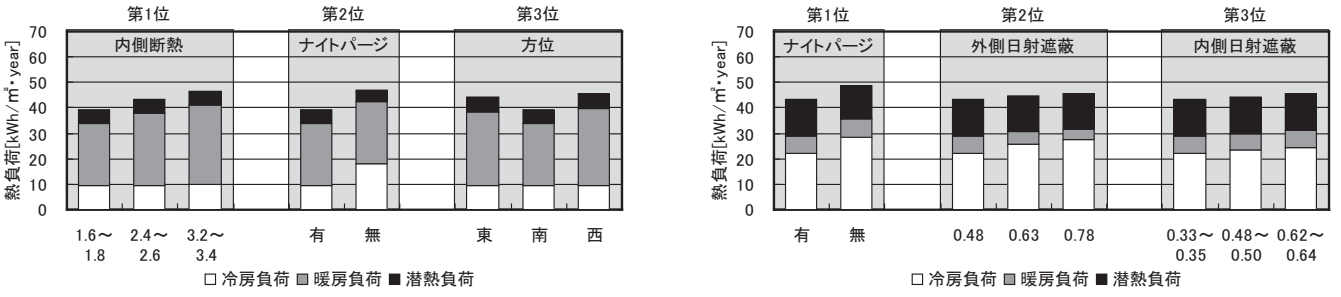
(a) 札幌　　(b) 東京

図 16　床面積当りの年間冷暖房負荷（5888[㎡]）



(a) 札幌　　(b) 東京

図 17　SN 比平均値・SN 比影響度



(a) 札幌　　(b) 東京

図 18　省エネルギー効果

札幌では内側ガラス断熱性能を変更した場合，高断熱効果により15.6[％]（水準3→水準1）あるいは9.7[％]（水準2→水準1）の省エネルギー効果が得られた．また，DS設置方位を変更した場合，内側ガラス断熱性能と同様に暖房負荷が低減され，日射取得効果により11.1[％]（東→南）あるいは13.7[％]（西→南）の省エネルギー効果が得られた．一方，東京ではナイトパージを行うことで，約11[％]の省エネルギー効果が得られた．対照的に，外側・内側ガラス日射遮蔽性能を変更しても極端に大きな省エネルギー効果は得られず，水準3と水準1の差は5[％]程度であり，ブラインド等を使用した可変性のある日射遮蔽対策が求められる．

4．まとめ

積雪寒冷型DSの熱特性について検証した上で，DSの熱負荷低減手法に直結する形状・仕様並びに制御手法の影響因子を示し，最適設計条件と省エネルギー効果について明らかにした．以下に，得られた成果を簡潔にまとめる．

1) 実測調査結果よりDSを有する事務室内の時間的・空間的な温度むらは小さく，インテリアとペリメータ間で2[℃]以内に収まっていた．また，DS内上下温度差は夜間または冬期に大きくなる傾向を示した．
2) 熱性能評価では熱貫流率（冬期：1.07[W/㎡・K]）と日射熱取得率（冬期：0.16）を定量化した．換気性能評価では夏期において頻繁に自然換気モード（中間期）の外界条件を満たす状況が確認され，自然換気除去熱量（夏期：8.6[kWh]）を算出した．
3) DSにより複層ガラス・ブラインド室内側の10[％]削減の省エネルギー効果が試算された．ただし，条件によりDSの暖房エネルギー消費量が他のガラス仕様を上回る可能性があることから，最適な形状・仕様並びに制御手法を検討する必要がある．
4) 計算フローと連成計算プログラム（換気回路網・逐次積分法）を作成し，実測調査を考慮したDS制御モード（排熱・自然換気・ナイトパージ・断熱・空気利用モード）と分析フロー（タグチメソッド）を整理した．
5) 夏対応に配慮した適切なゾーン空調が求められ，札幌ではインテリアの暖房負荷，東京では両ゾーンの冷房負荷と潜熱負荷が熱負荷の主体であった．
6) タグチメソッドを用いて最適設計条件を検討し，積雪寒冷型DSの熱負荷低減手法として，内側ガラス断熱性能（第1位），ナイトパージ（第2位），DS設置方位（第3位）を示し，それらの省エネルギー効果について検証した．
7) DSの熱負荷低減手法として，ナイトパージは札幌と東京で共に効果的であり，内側ガラス断熱性能による省エネルギー効果も寒冷地域の札幌だけではなく，温暖地域の東京でも比較的大きく，ガラスの多用化の中でも建物の高断熱化は必要不可欠である．

謝辞

本研究の一部は，平成19～20年度科学研究費補助金（若手研究(B)）「高断熱事務所建物に適用可能な水方式による躯体蓄熱暖冷房システムの提案・開発」（研究代表者：菊田弘輝）により行った．また，Kビル・メンテナンス会社・施工会社の関係者，佐藤秀紀氏・高瀬敏洋氏（㈱北海道日建設計）には多大なご協力を頂いた．記して感謝する．

本研究に関連した既発表文献

1) 畑中壮大，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，佐藤秀紀：寒冷地型ダブルスキンの熱負荷低減手法に関する研究 その2 熱負荷低減手法による省エネルギー効果の検証，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp.965-966，2009.8
2) 畑中壮大，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，佐藤秀紀：寒冷地型ダブルスキンの熱負荷低減手法に関する研究 その1 計算モデルおよび数値計算概要，空気調和・衛生工学会北海道支部 第43回学術講演会論文集，pp.135-138，2009.3
3) 畑中壮大，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，佐藤秀紀，高瀬敏洋：寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その5 夏期・中間期における熱除去性能，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp.1819-1822，2008.8
4) 菊田弘輝，畑中壮大，絵内正道，羽山広文，佐藤秀紀，高瀬敏洋：寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その4 夏期・冬期におけるダブルスキンによる省エネルギー効果，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp.1207-1208，2008.9
5) 畑中壮大，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，佐藤秀紀，高瀬敏洋：寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その3 夏期・冬期におけるダブルスキン近傍の熱挙動，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp.1205-1206，2008.9
6) 畑中壮大，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，佐藤秀紀，高瀬敏洋：寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その2 冬期における熱性能評価，日本建築学会北海道支部研究報告集 No.81，pp.209-212，2008.6
7) 畑中壮大，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，佐藤秀紀：寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その1 夏期・中間期における熱性能評価，空気調和・衛生工学会北海道支部 第42回学術講演会論文集，pp.151-154，2008.3

参考文献

1) 郡公子，石野久彌：熱負荷計算のための窓性能値に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No.600，pp.39-44，2006.2
2) 一ノ瀬雅之，井上隆，関佑介，横田雄史：建築と設備が一体化したペリメータレス空調システムの性能および省エネルギー効果の実測評価，日本建築学会環境系論文集，No.639，pp.651-658，2009.5
3) 絵内正道：積雪寒冷型アトリウムの計画と設計，北海道大学図書刊行会，1995.2
4) 郡公子，石野久彌，鈴木康仁：最近のダブルスキンの傾向と日射遮蔽性能に関する研究，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp.381-384，2008.8
5) 飯塚宏ら：南西面にダブルスキンを有するアトリウムの温熱環境に関する研究 その1～8，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，1999.9～2002.8
6) 田辺新一ら：寒冷地に建つアトリウムとダブルスキンファザードを持つ複合施設の環境性能評価 その1～5，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp.1337-1346，2007.8
7) 奥宮正哉ら：ダブルスキンの熱的性能の評価に関する研究 その1～2，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，2007.8～2008.9
8) 佐藤秀紀，小黒理，永瀬修，高岡正広：ダブルスキンを有する事務所ビルの光環境・温熱環境に関する研究 第1報 建物概要，第13回衛生工学シンポジウム論文集，pp.115-118，2005.11
9) 堀慶朗，吉牟田圭一，横山計三，井上隆：各階換気型ダブルスキンの熱的性能に関する実験報告，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp.1213-1214，2006.9
10) 石原正雄：建築換気設計，㈱朝倉書店，1969.3
11) 荒谷登，鈴木憲三:建築家のための熱環境解析入門，北海道大学図書刊行会，1993.10
12) 田中俊六，武田仁，岩田利枝，土屋喬雄，寺尾道仁 ：最新建築環境工学，㈱井上書院，2006.3
13) 立林和夫：入門タグチメソッド，㈱日科技連出版社，2006.3
14) 広瀬健一，上田太一郎：Excelでできるタグチメソッド解析法入門，㈱同友館，2005.4

（2009年7月6日原稿受理，2009年9月1日採用決定）