建物配置計画が街区の CO_2 排出量に及ぼす影響

空調排熱連成による省エネルギー性と屋外温熱空気環境の総合評価

本橋 比奈子*1・大黒 雅之*1・深尾 仁*1

Keywords : coupled exhaust heat of air-conditioning, heat island phenomenon, wind flow, open spaces,urban planning
空調排熱連成，ヒートアイランド，風の道，空地，都市計画

1. はじめに

ヒートアイランド対策として街区形態が屋外温熱環境に与える影響は大きく，風の道など屋外温熱環境や空気質を良好に保つための研究が進んでいる。[1)]

ヒートアイランド解析では各種人工排熱量に相当する熱を設定するが，従来，建物空調排熱量については建物の用途や規模から値を設定していた。しかし実際は，同じ建物でも周辺環境によって空調排熱量は異なることが考えられる。

本報では，外気や街区形状など周辺環境に応じた空調排熱量を算出するプログラムを開発し，それらを屋外温熱環境解析と連成させることにより，街区形態・断熱性・排熱形態が街区の省エネルギー性と屋外環境に与える影響について報告する。

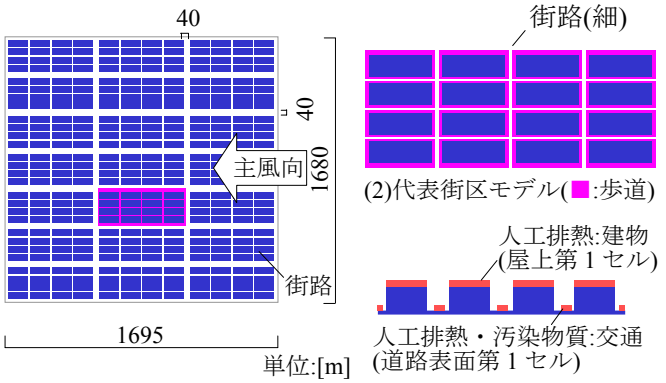
2. 空調排熱連成による屋外温熱環境解析

2.1 解析概要

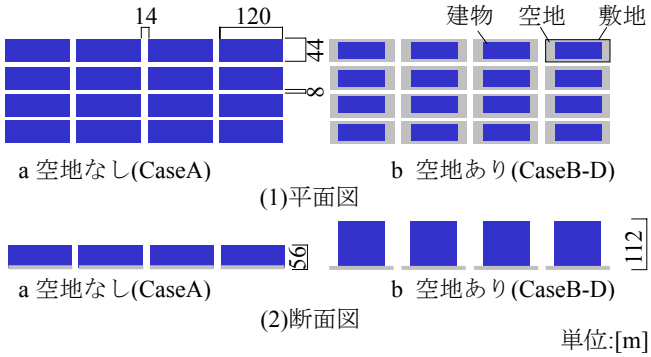
実在都市を参考にした市街地モデルを作成し，放射・熱収支解析・空調排熱解析・CFD 解析を連成し，夏期日中の温熱環境を再現する解析を行った。市街地全体の建物について空地の有無，断熱性能，排熱形態が屋外の温熱環境および空調排熱に及ぼす影響を検討した。これにより，平均風速・気温・湿度・濃度・MRT・SET*から，屋外環境が良好で，かつ省エネルギー性の高い街区のあり方を検討する。

2.2 解析モデル

図 1 に解析モデルを示す。約 1.7km 四方の仮想市街地である。街区容積率は 1100%とし，細街路に囲まれた建物は集約した。

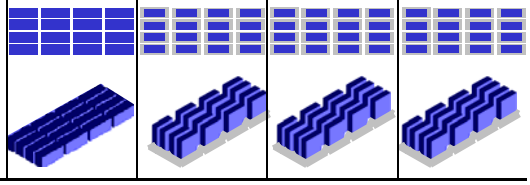


図－1　解析モデル
Fig.1 Analysis model



図－2　空地有・空地無モデル平段面図
Fig.2 Plan for city block model with open space or none

表－1　解析ケース
Table 1 Analysis cases

	CaseA	CaseB	CaseC	CaseD
空地	なし	あり	あり	あり
高さ[m]	56	112	112	112
断熱	なし	なし	あり	なし
排熱形態	顕熱 100%	顕熱 100%	顕熱 100%	顕熱 10% 潜熱 90%
街区形状				

＊1　技術センター建築技術研究所環境研究室

空地有ケースについては 50%の空地を設け，容積率を揃えるため建物高さを 2 倍とした。図 1(2)に評価範囲を示す。市街地モデル境界の影響を受けにくい市街地中央に位置する代表街区を評価範囲とし，本節ではその中の歩道部，GL+1.5m の居住域を評価対象とした。

外気負荷算出のための外気条件は，空調機に取り込まれると予想される建物近傍第 1 セルの平均値とした。

2.3　解析ケース

表 1 に計算ケースを示す。①空地有無，②断熱強化，③排熱形態の違いの影響について検討する。

2.4　解析条件

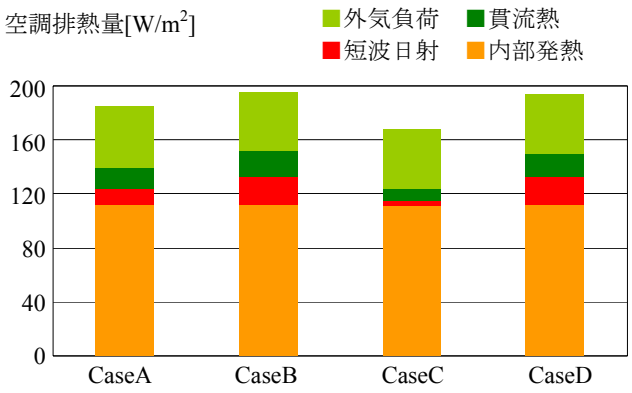
放射・熱収支解析，各部材の物性値等，計算諸条件を表 2 に示す。気象条件については，最も温熱環境が過酷となる夏期日中の値を設定する。

2.5　解析手法

放射・熱収支解析より建物に入る日射熱量，貫流負荷を計算する。一方 CFD 解析結果より外気取り込み空気と想定される建物近傍空気のエンタルピーを計算し，外気負荷を計算する。これらの負荷と建物内部発熱量を合算し COP を仮定して空調排熱量を算出した後これを条件として再度 CFD 解析を実施する。この手順を数回繰り返し連成を行う。

表－2　計算条件
Table 2 Analysis condition

計算領域	5000(m)×5000(m)　×400(m)[注 1)]				
計算 mesh	[X]×[Y]×[Z]=150 万 mesh [注 2)]				
乱流 model	標準 k-ε モデル[注 3)]				
流入境界	$U(z)=3.9(h/74.5)^{0.25}$ [注 4)] 温度 32.0[℃]，湿度 51.0[%]				
流出境界	諸量の法線方向の勾配ゼロ				
建物概要	(用途)事務所ビル，(延床面積)73920[m^2]				
人工排熱[注 5)]	発生位置:図 1 参照　COP: 3.0 (建物内部負荷):照明 25[W/m^2], OA 機器 35[W/m^2],人体 23.664[W/m^2] (外気負荷):0.2[人/m^2],25[m^3/人], 室内設定 26℃-50% (交通)　顕熱:92.8[W/m^2] 潜熱(水分量):1.75E-06[kg/s/m^2] 基準汚染物質: [1.3g/s/m^3]				
境界条件	上空・両側面:free-slip 街区表面:一般化対数側 街区以外:Z_0 型対数側[注 5)] 対流熱伝達率:11.6[W/m^2K]				
物性値	貫流率	内部温度	短波反射率	短波透過率	長波反射率
外壁	4.90	26.0	0.19	0.40	0.10
屋根	1.37	26.0	0.30	-	0.10
道路表面	2.01	26.0	0.20	-	0.10
空地・歩道表面	3.31	26.0	0.30	-	0.10
外壁(断熱)	2.04	26.0	0.40	0.045	0.10
屋根(断熱)	0.67	26.0	0.30	-	0.10



図－3　空調排熱量(延床面積当り)
Fig.3 Exhaust heat amount by air-conditionning (gross floor area)

3.　結果と考察

評価範囲においての空調排熱量(延床面積当り)を図 3 に示す。歩道部地上 1.5m 地点における平均気温，SET*，風速，MRT，絶対湿度，汚染物質濃度を図 4-6 に，外気取入口の各要素の平均値を図 8-9 に示す。歩道部地上 1.5m の各要素の水平分布を図 10-14 に示す。

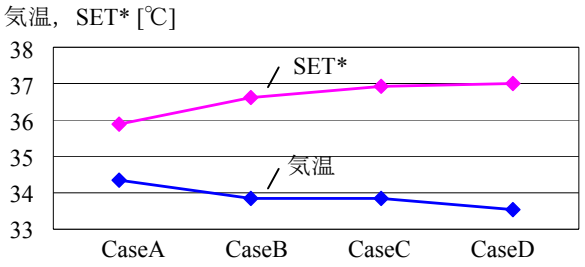
3.1　空地有無が与える影響(CaseA，CaseB)

図 3 より，空地有の CaseB は空地無の CaseA と比較して空調負荷は 1 割程大きい。これは CaseB では，図 8・11 に示すように，取入外気部の温度が低下して外気負荷が若干減少するが，一方，隣棟間隔が広がり建物が密集し日射が遮られていた部分に日射が当たり日射負荷が増大するため結果として負荷が増大する側になっている。図 10 からも，CaseB では MRT が上昇しており，建物間に日射が差し込んでいることが分かる。

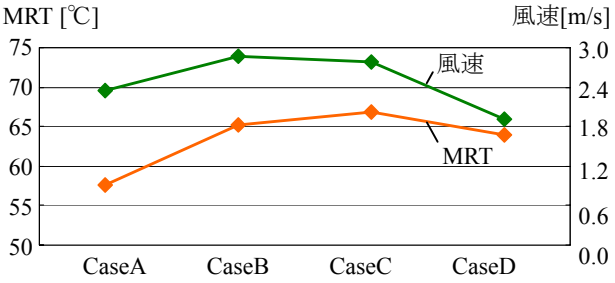
一方，空地を設けたことにより，建物間の通風が良好になり汚染物質濃度が低下していることが風速の向上，濃度の低下から分かる（図 5，図 6，図 13，図 14）。図 13 から，CaseA に比べ中央部分の街路における風速が増していることが分かる。ただし，図 4・5 に示すように歩道が日向となり MRT が上昇するため，SET*は悪化している。以上の結果から，省エネルギーの観点からは，空地による風の道の確保と同時に，建物の日射遮蔽や断熱性を強化することが重要であることが判る。また，屋外温熱環境の観点からは，MRT 上昇を抑えるために日陰の形成が重要となる。

3.2　日射遮蔽・断熱の有無が与える影響(CaseB，C)

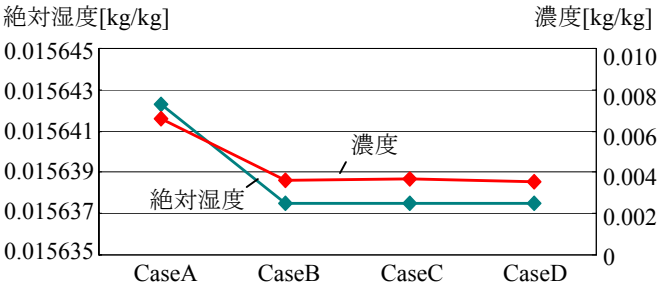
断熱有の CaseC は断熱無の CaseB と比較して空調負荷が約 2 割ほど小さく，全ケースの中で最も小さい。これは建物に日射遮蔽・断熱を施したことにより，建物に入る日射負荷が低く抑えられたことが理由にあげられる。



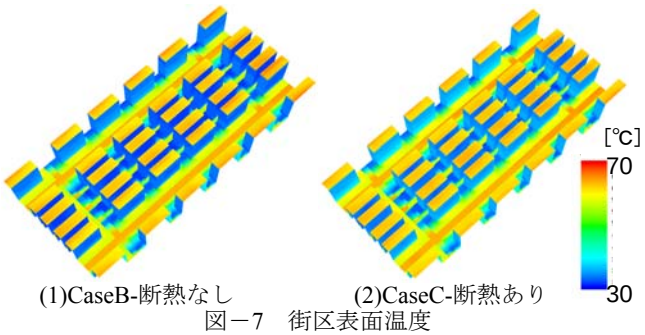
図－4　気温，SET*(地上 1.5m)
Fig.4 Average temperature and SET*(GL+1.5m)



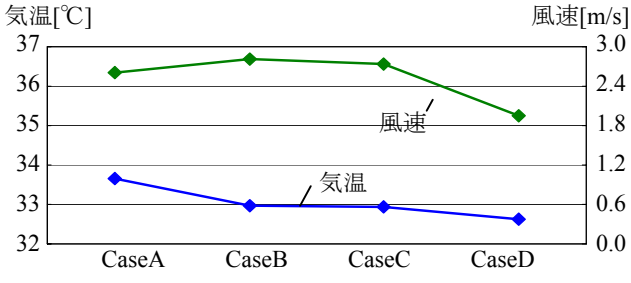
図－5　風速，MRT(地上 1.5m)
Fig.5 Average velocity and MRT(GL+1.5m)



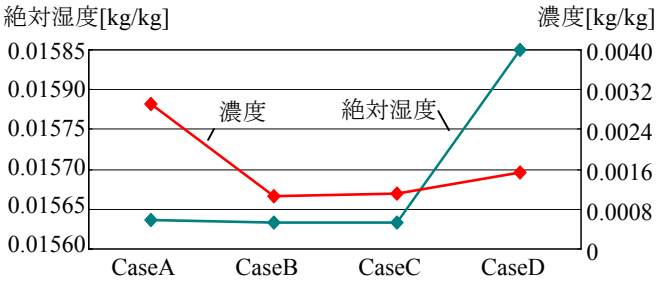
図－6　絶対湿度，濃度(地上 1.5m)
Fig.6 Average humidity ratio and concentration (GL+1.5m)



図－7　街区表面温度
Fig.7 Surface temperature of city block



図－8　風速，気温(空調機導入外気)
Fig.8 Average velocity and temperature (air coming into building)



図－9　絶対湿度，濃度(空調機導入外気)
Fig.9 Average humidity ratio and concentration (air coming into building)

ただし，SET*は断熱有の CaseC の方が約 0.4℃程高く MRT も上昇している。これは，図 7 に示すように断熱強化により CaseC の方が外壁の表面温度の上昇，および明色ブラインドによる日射遮蔽を考慮し，外壁面の短波長反射率を上げたことにより，屋外空間における周囲からの照り返しが増加したためと考えられる。

以上の結果から，屋外環境への配慮として地上付近の日射遮蔽手法として，緑化や庇など人体への照り返しのない手法を取ることや，人体に影響しない範囲で高反射化を行うよう考慮することが重要となる。

3.3　空調排熱形態が与える影響(CaseB，CaseD)

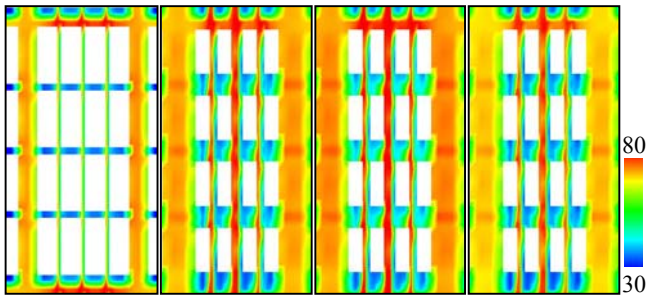
図 4，図 8 より，100%顕熱排熱とした CaseB よりも 90%を潜熱排熱とした CaseD の方が歩道と取入外気の気温が低く抑えられている。顕熱発熱量が少ないために外気温が低下したためと考えられる。ただし，図 9 の外壁近傍では絶対湿度・濃度が他のケースに比べ上昇しており，図 3 に示すように外気負荷は CaseB と比較してほとんど減少しない。一方，気温低下により貫流熱が若干低下し空調排熱量もわずかに少なくなった。

また，屋外の SET*は，風速の低下により CaseB と比較してやや悪化している（図 4，図 5，図 12，図 13）。潜熱排熱により，街区からの顕熱が減少し，混合が弱まったことによると考えられる。

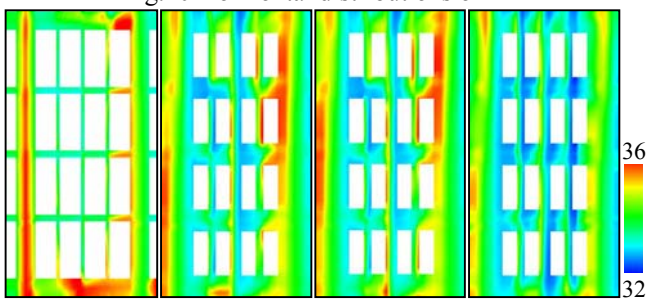
以上の結果から，潜熱による排熱は気温低下に有効であるが，併せて風通しへの配慮が重要と考えられる。

3.4　CO_2 排出量への影響

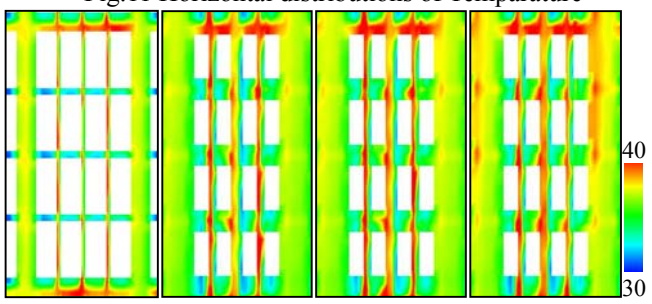
図 3 に示す排熱量に相当する消費電力を COP を 3 として逆算し，CO_2 原単位[注 6)]を乗じることにより，CO_2 排出量を推定した。その結果，日中のピーク時(正午)の場合，空調機からの CO_2 排出量は 1 代表街区当り，CaseA(空地有)に対し CaseB(空地無)は約 1.07(ton/hour)増加，CaseC(断熱)は約 1.71(ton/hour)減少，CaseD(排熱形態)は 0.94(ton/hour)の増加となった。



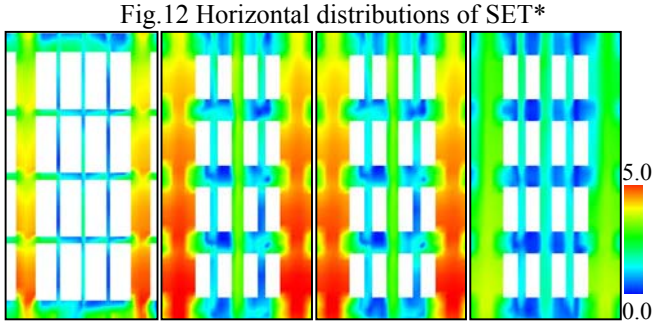
図－10　MRT 分布(地上 1.5m) 単位:[℃]
Fig.10 Horizontal distributions of MRT



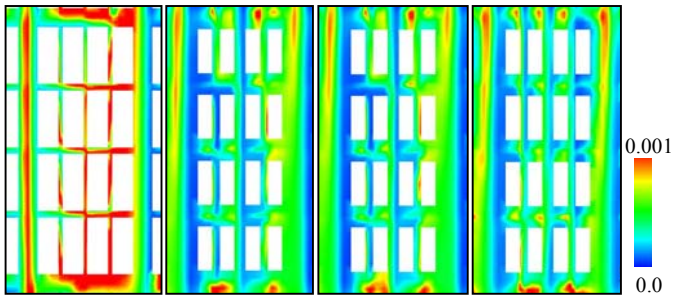
図－11　気温分布図(地上 1.5m) 単位:[℃]
Fig.11 Horizontal distributions of Temparature



図－12　SET*分布図(地上 1.5m) 単位:[℃]
Fig.12 Horizontal distributions of SET*



図－13　風速分布図(地上 1.5m) 単位:[m/s]
Fig.13 Horizontal distributions of velocity



図－14　汚染物質濃度分布図(地上 1.5m) 単位:[kg/kg]
Fig.14 Horizontal distributions of concentration

4.　まとめ

① 空調排熱連成による夏期の屋外温熱空気環境解析を行い，空調排熱量と屋外環境について検討した。
② 省エネルギー性の観点からは，空地による風の道の確保と同時に，建物の日射遮蔽や断熱性を強化することが重要である。
③ 建物の日射遮蔽および断熱強化により空調排熱量は最も抑えられるが，地上付近の日射遮蔽の計画では，屋外環境への配慮として照り返し防止が重要となる。
④ 潜熱による排熱は気温低下に有効であるが，合わせて風通しへの配慮が重要となる。

注釈

注1)　街区周辺も含む。
注2)　事前に細かいメッシュによる解析と比較しながら問題のない範囲でメッシュの削除を行った。
注3)　k ,ε については日本建築学会建築物荷重指針の乱れの強さ推定式を参考に設定した。
注4)　2002 年東京都管区気象台(大手町)のデータより 7-8 月における晴天日の日中 10 時-16 時の平均風速とした。
注5)　1/4 乗則プロファイルを保つように Z_0 を決定した。
注6)　CO_2 排出係数の値は 0.339(kg/kWh)を用いた。[文 3)]
又，定常解析による負荷より算出しているため，実際より大きめの値になっている可能性がある。

参考文献

1)　例えば，市川徹，大岡龍三，他:空調排熱が屋外温熱環境に与える影響に関する研究,日本建築学会大会(2003)
2)　大黒雅之，森川泰成:街区及び敷地レベルを対象としたヒートアイランド解析評価システムの開発,大成建設技術センター報第 38 号(2005)
3)　H18 年度電気事業者別排出係数の公表について，環境省