

高発熱ビル周辺の熱環境調査と排熱利用の可能性検討

地域環境計画分野

三毛 正仁

1. 研究の背景

近年、都市におけるヒートアイランド現象が深刻化し、その抑制対策の一つとして人工排熱の削減が、省エネルギー化とともに有効な対策であり期待されている。建物からの人工排熱は、都市中心部に多く発生するため、その削減は都市規模のヒートアイランド抑制だけでなく、建物周辺の熱汚染の緩和ともなる。さらに、都市内にはインターネットデータセンターや通信ビルなど年間を通して冷房を必要とするビルがある。このようなビルの室外機排熱は、ヒートアイランド現象を助長し、周辺の熱汚染、夏の熱帯夜への影響が懸念される。なお、本研究では、年間冷房ビルを高発熱ビルと呼ぶことにする。

2. 研究の目的

本研究の目的は、空冷式ビル用マルチシステムを持つ高発熱ビルからの排熱に関して、排熱の周辺温熱環境への影響を、実測と気流シミュレーションから把握すること。そして、ヒートアイランド現象緩和とエネルギーの有効利用を目標に、排熱を新たな未利用エネルギーとして着目し、地域熱源としての利用可能性を検討することである。

3. 高発熱ビル排熱の周辺温熱環境実測

3.1 実測概要

室外機の放熱は上向き、発熱密度 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 程度である H ビル(建築面積 1417m^2 , 階高: 7)・A ビル(建築面積 2070m^2 , 階高: 8)において、屋上周縁部と敷地境界部、及び周辺地域を対象とする。測定期間は、2004年11月23~24日の48時間である。表1に実測項目を、図1に実測項目、測器設置位置を示す。Hビル塔屋上に2種類の風向風速計を設置、また屋上周縁部を囲むように14点と、Aビルの南東側屋上周縁部4点に熱電対を設置し、屋上面での温度実測を行った。また、敷地境界とビルの谷の合計9箇所に、高さ1.5mで温湿度計を設置した。さらに、GPS付気温測定車で、夜間(20:00~21:00)において周辺温度の移動観測を行った。

3.2 実測結果

() 風向風速

風向は、朝と夕方が北からの風、日中は南からの風であった。風速は、2日間を通してあまり強くなく、概ね $1.0\text{m}/\text{s} \sim 2.0\text{m}/\text{s}$ の間であった。また、鉛直方向成分の風速は3次元超音波風向風速計の結果両日とも $0.5\text{m}/\text{s}$ 以

表1 測定項目及び測定機器

測定項目	センサー名称	機器名	製造メーカー	計測間隔	測定高さ
気温	熱電対 (0.3mm)	T型熱電対	自作	10秒	屋上面から2m
	温湿度センサー	RS-11	タバイエスベック株式会社	15分	地上から1.5m
	強制対流式温湿度プローブ	HMP-45D	VAISARA	3分	塔屋上から2m
風向風速	プロペラ式風向風速計	MA-120	英弘精機	3分	塔屋上から2m
	3次元超音波風向風速計	DA600-3TV (本体) OA-60TC (接続箱) TR-90AH (センサー)	KALJO	3分	塔屋上から2m
気温 (移動観測)	GPS付き気温測定車	データ収集ユニット	GPS: GARMIN 熱電対: T型熱電対	2秒	地上から1.5m

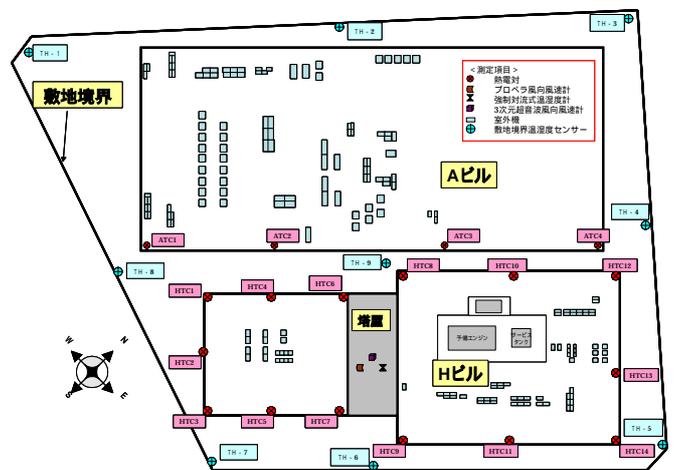


図1 測器設置位置

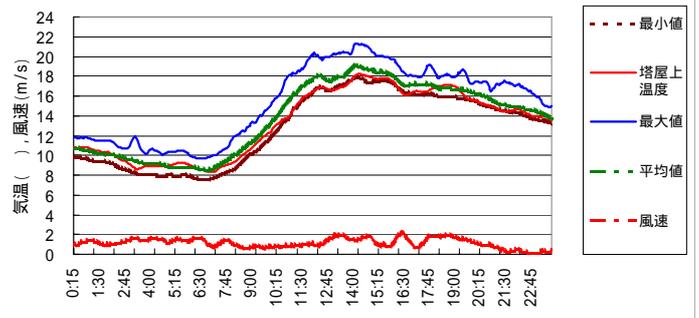


図2 屋上温度と風向風速

下であったため、水平方向からの風向風速を主として検討を行った。そのため、プロペラ式風向風速計の実測値を風向風速として分析を進めた。図2に、各時刻の熱電対最小値、最大値、平均値それに塔屋上部温度と風速の結果を示す。なお、解析には30分移動平均値を使用した。また、11月24日の結果を中心に述べる。

() 温度差

図2より、各時刻における熱電対の30分移動平均値 - 最小値(以降温度差と表示)には、夜間において約4以下の範囲で温度差が生じている。さらに、塔屋上部は、屋上面より0.8程度高いことが分かる。

() 風向風速と温度差分布

各時刻の熱電対の温度差を4風向(北西~北東、北東~南東、南東~南西、南西~北西)と無風時(風速 0.5m/s 未満)の5つに分類し、さらに0.5m/s刻みの風速により分類した。そして、分類項目別に温度差の平均値を取った。このとき、風速が2.0m/s以上になるとデータ数が少なくなったため平均値が大きくなってしまふことから本検討対象からは除外した。また、北西~北東、南東~南西時のデータ数が多くなり、この風向時と無風時とを比較し、風向風速と温度差の関係を検討した。

図3に建物配置と熱電対位置を図4に北西~北東時の結果を示す。

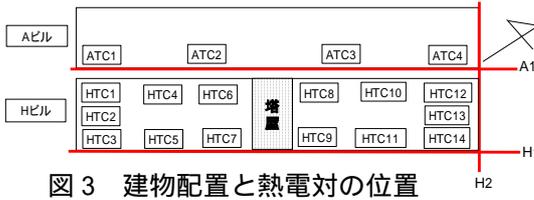


図3 建物配置と熱電対の位置

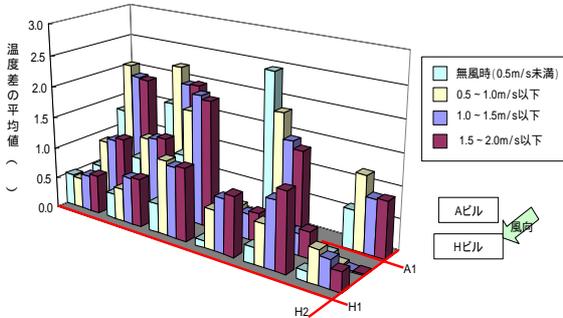


図4 温度差の平均値分布(北西~北東)

HTC13は特異な分布を示したが、周囲には室外機がなどの要因がないためその原因は不明であり検討から除外する。Hビルにおいて無風時の平均値は有風時に比べて小さい。このことから、無風時には、排熱は上空へ拡散されていくことが分かる。風上側 HTC12 と風下側 HTC8,9 を比較すると、HTC8,9 の平均値は高く、風速に比例している。本実測条件下では、風向北西~北東、南東~南西時、風速 2.0m/s 以下で屋上高さでの排熱の影響が確認された。

() 周辺への影響

図5に実測対象ビル周辺図と11月24日の移動観測の結果、さらに、同時刻における敷地境界温度の平均値を示す。Hビル・Aビルの周囲は周辺道路よりも温度が高く出ている。Hビル東側道路と西側道路の温度差はGPS付き気温観測車からも、敷地境界に設置した温度センサーからも約0.5と同じ結果が得られている。今回調査できる、地上部に一部空調機がおかれており、その影響と推察される。

4. 気流シミュレーションによる排熱の影響調査

4.1 解析概要

気流シミュレーションには、Stream for Windows (CRADLE社)を用いた。また、排熱源である屋上面

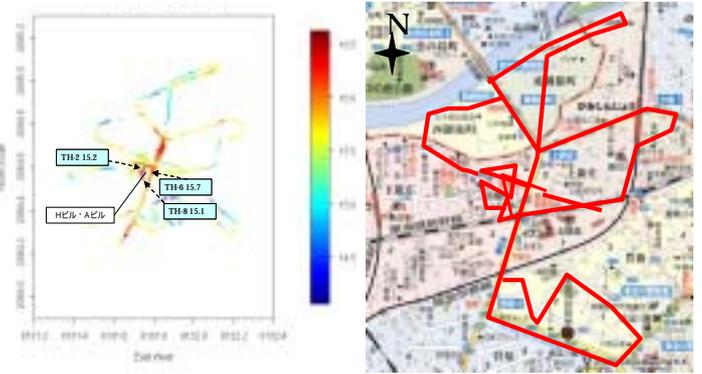


図5 周辺温度と実測対象ビル周辺図

に設置された室外機は地上30mの高さの位置である。

(1) 解析対象領域

本研究での解析対象領域は、Hビル・Aビルを含む X:600m x Y:200m x Z:70m (2mメッシュで300 x 100 x 35ポイント)を対象とする。

(2) 解析条件

実測日の代表的な時間帯を対象とした定常計算とし、乱流モデルは標準k-モデルとする。境界条件を図6に示す。なお、屋上面の室外機は室外機のグループを1つの室外機としてモデル化し、熱量を与えた(表2)。

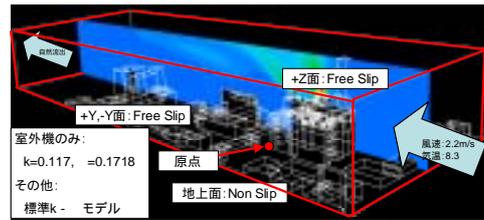


図6 境界条件

表2 室外機の発熱量

	稼動台数	総熱量
	(台)	(kW/h)
Hビル	47	6405.8
Aビル	67	6267.3

作成したモデルを図7に示す。

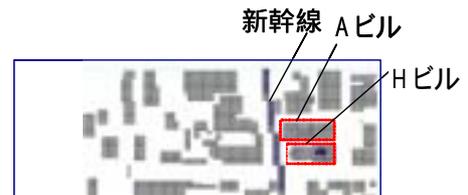


図7 解析モデル

4.2 シミュレーション結果

排熱源風下端から6mの位置において、排熱源から排熱源10m上空の間では2~5程度高い空気が存在する(図8)。

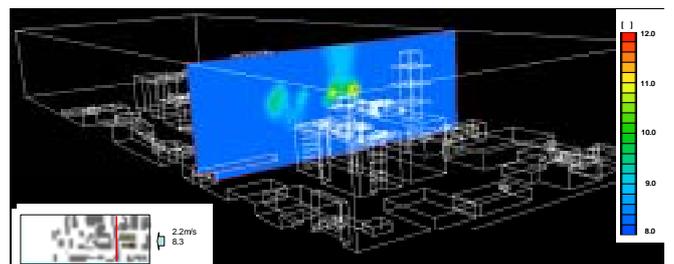


図8 敷地境界地点の温度分布

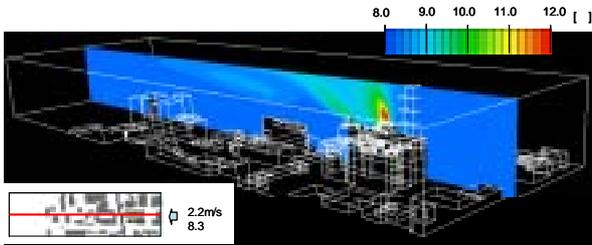


図9 周辺への排熱影響

図9より周辺の温度分布を見ると、排熱源風下端から55m離れても、排熱源から20m上空には約1.0上昇した空気が存在する。だが、地上付近での影響は見られなかった。上空では排熱は広範囲にまで影響を及ぼしていることが分かる。仮にこの位置に高さ50m以上のビルが存在するとその影響が懸念される。本研究では、屋上面温度においてシミュレーション結果と実測値を比較し、両者の間に誤差が生じることを確認している。また、本解析は一定風向・風速を仮定した定常計算であるため、実際よりも熱の拡散が小さく、上空の温度上昇を過大評価している可能性も考えられる。

5. 排熱利用の可能性検討

あるエリアにおいて、高発熱ビルの排熱量と熱需要量との需給バランスについて検討する。

5.1 対象エリア

対象エリアはDエリアとHエリアで、図10,11にその概要を示す。



図10 Dエリア概要



図11 Hエリア概要

5.2 排熱利用量の算出

GISを利用して、建物用途、建物面積、階数と算出式から熱需要量を求めた。熱需要量は(3)式より算出できる。使用した原単位は(社)空気調和・衛生工学会「CGS設計に関する研究」の数値である。

算出された熱需要量と排熱量を(4)式を用いて比較し、(5)式より総和を取ることで排熱利用量を算出する。

5.3 排熱の有効利用性

排熱を給湯のみ、暖房のみ、その両方に併用した場合について(6)式の需給率と(7)式の排熱利用率から排熱の利用可能性を検討した。図12~13から給湯と暖房の併用時にDエリアでは85%、Hエリアでは46%の人工排熱削減が見込まれる。Dエリアは、熱需要の多い商業施設や宿泊施設が多いエリアであるため排熱利用量が多く、Hエリアは、集合住宅地区であるため排熱利用量が小さい。実際に排熱を利用する場合には地域特性を考慮する必要があり、またGISはその検討ツールとなる。

6. 排熱利用システムの有効性検討

$$Q_{dM,i,j} = a \times b \times 0.01 \times c \times M_d \quad (1)$$

$$Q_{di,j} = \sum_{M=1}^5 Q_{dM,i,j} \quad (2)$$

$$Q_d = \sum_{i=1}^{8760} Q_{di,j} \quad (3)$$

$$Q_{ui,j} = \text{Min}(Q_{di,j}, H_{i,j}) \quad (4)$$

$$Q_{uS} = \sum_{j=1}^{12} \sum_{i=1}^{24} Q_{ui,j} \quad (5)$$

$$X = H_{i,j} / Q_{di,j} \times 100 \quad (6)$$

$$Y = Q_{ui,j} / H_{i,j} \quad (7)$$

記号の意味

Q_d : 熱需要量(MWh) Q_u : 排熱利用量(MWh)

H : 排熱量(MWh) X : 需給率(%) Y : 排熱利用率(%)

M : 建物用途(1: 集合住宅 2: 業務施設

3: 商業施設 4: 宿泊施設 5: 医療施設)

a : 年間原単位(W/m²・年) b : 月別負荷変動比率(%)

c : 季節別時刻負荷変動比率(%)

f : 延床面積(m²) i : 時間 j : 月 S : 総和

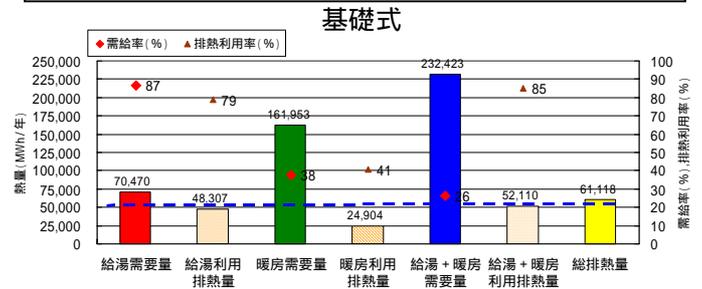


図12 Dエリアにおける検討結果

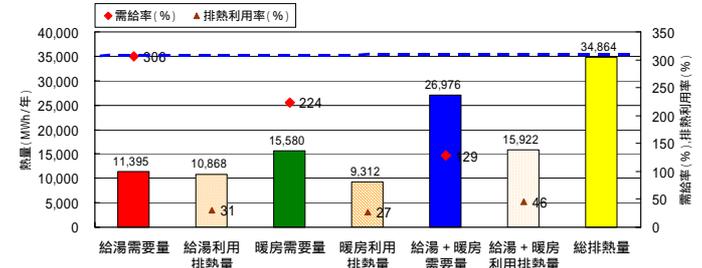


図13 Hエリアにおける検討結果

現状システムと排熱利用システムについて、高発熱ビル、需要側ビルトータルの1次エネルギー消費量と年間コストの比較から、排熱利用システムの効果を検討する。

6.1 検討ケースと検討モデル

高発熱ビルは、現状システムでは、空冷HP空調機を使用している。排熱利用システムでは水冷HP空調機を使用し、熱輸送にはポンプを使用する。本研究での検討ケースは2ケースあり、Case1は現状システムの需要ビルが空冷HPチラーを使用していた場合、Case2は、需要側ビルがガスボイラーを使用していた場合である。これらのケースにおいて、排熱利用システム導入後の効果を検討する。1次エネルギー、年間コストともに空調機の外気温度特性とポンプ輸送動力を考慮している。また、年間コストは、熱輸送に関わるランニングコストに輸送管設置に関わるイニシャルコストを年経費(耐応年数15年)に換算したコストを加えた。仮定条件は、熱需

要量と排熱量が等しいものとする。そのため、排熱利用システム導入後の需要側ビルには補助熱源設備が不要となる。次に、高発熱ビル側の熱交換器の出口温度は54とする。そして、1534kW(本研究で対象とした現状システムにおける空冷HP空調機の冷房能力で1000kW相当)の熱量を、500m離れた需要側ビルへポンプは定常運転で供給するとする。ケースごとの検討モデルを図14,15に示す。

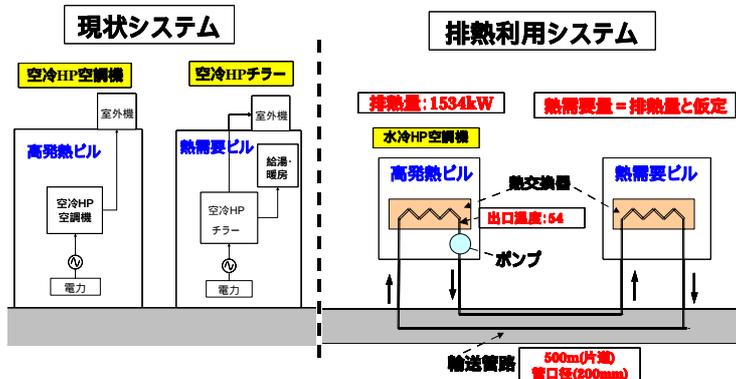


図14 Case1モデル

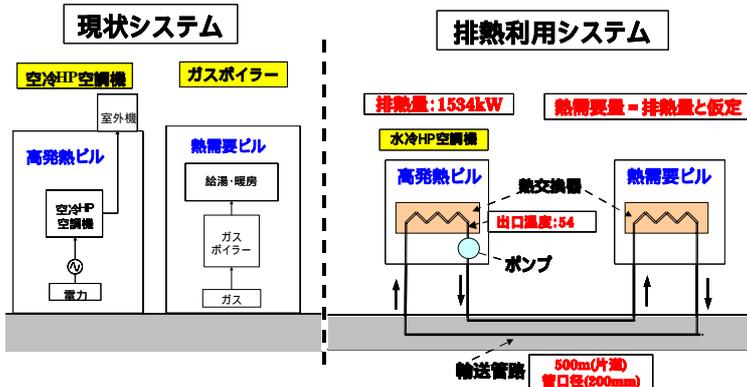


図15 Case2モデル

6.2 排熱利用システムの効果

1次エネルギー消費量とコストの検討結果を図16,17に示す。高発熱ビル側と需要ビル側のトータルでの効果を比較したときに、1次エネルギーは、Case1で約48%、Case2で約17%削減される。また、コストは、Case1、Case2ともに約22%削減される。一方、高発熱ビル側のコストは、約38%増加する。この増加分のコストを熱販売単価などの検討を行うことで、事業性としての価値も見出せることが分かる。

6.3 排熱利用システムの最適点

排熱量を、管口径、輸送距離を表3の範囲でパラメータ変化させ、排熱利用システムの効果が最も大きくなる最適点を求めた(表4)。

表3 パラメーター変化の範囲

項目	単位	パラメーター範囲
冷房能力	kW	100,200,500,700,100,000,000,000
輸送距離	m	501,002,005,001,000
管口径	mm	65,80,90,100,125,150,175,200,250,300,350,400,450,500

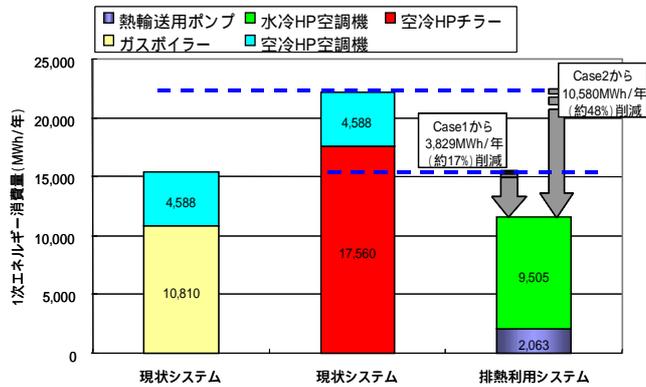


図16 年間1次エネルギー量の比較

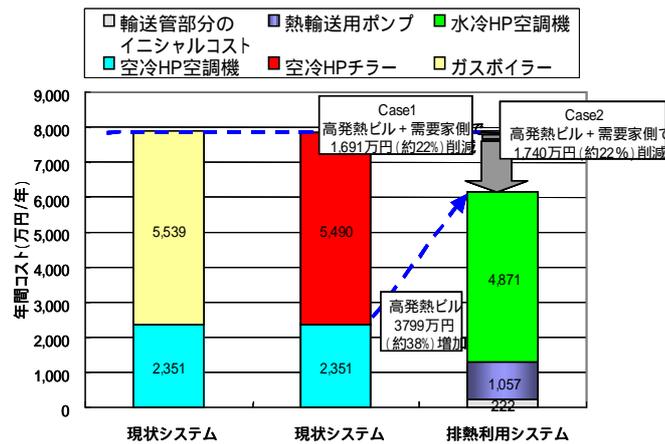


図17 年間コストの比較

表4 パラメーター変化時の最適点

	排熱量(冷房能力) kW	管口径 mm	輸送距離 m	1次エネルギー削減量 MWh/年		コスト削減率 %	
				削減量	削減率	削減率	削減率
Case1	153.4(100)	100	50	449	100	50	218
	306.8(200)	175	50	940	175	50	462
	767(500)	300	50	2,423	300	50	1,205
	1073.8(700)	350	50	3,418	225	50	1,717
	1534(1000)	250	50	4,919	250	50	2,490
		450	1000	4,919			
Case2	2301(1500)	500	50	7,462	350	50	3,777
	3068(2000)	500	50	9,971	400	50	5,058
	153.4(100)	100	50	1,124	100	50	966
	306.8(200)	175	50	2,290	175	50	1,959
	767(500)	300	50	5,798	300	50	4,946
	1073.8(700)	350	50	8,143	225	50	6,955
Case2	1534(1000)	250	50	11,669	250	50	2,034
		450	1000	11,669			
	2301(1500)	500	50	17,587	350	50	3,093
	3068(2000)	500	50	23,471	400	50	4,145

7.まとめ

高発熱ビル排熱の周辺への影響は、屋上高さでの風向による温度差が実測、気流シミュレーションともに認められた。地上高さでの影響は、認められなかった。

また、排熱利用システム導入後には、年間1次エネルギー量と年間コストが削減されることからエネルギー有効利用だけでなく、ヒートアイランド対策としての効果が期待できる。

<参考文献>

- (1) CFDによる建築・都市の環境設計工学 村上周三、東京大学出版
- (2) 実務家のための最新ポンプ設備工学ハンドブック (社)農業土木事業協会発行、昭和63年12月
- (3) 地域冷暖房技術手引書<改訂新版> 社団法人日本地域冷暖房協会発行 2002年11月改訂新版発行
- (4) 年間冷房型パッケージ空調機の高効率化に関する研究 植草常雄(博士論文).P86.1999年6月