

高発熱ビル排熱の周辺地域における利用可能性検討

熱源システム 熱搬送システム 未利用エネルギー
新エネルギー

正会員 ○三毛 正仁^{*1} 同 藁谷 至誠^{*3}
同 関口 圭輔^{*2} 同 植草 常雄^{*3}
同 須藤 美音^{*1} 同 西岡 真稔^{*5}
同 中尾 正喜^{*4} 同 鍋島美奈子^{*6}

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。一方、都市内には通信ビルやインターネットデータセンターなど機器発熱のため年間を通じて冷房を必要とするビルが存在する。このようなビル(本研究では高発熱ビル)の顕熱としての室外機排熱は、ヒートアイランド現象や周辺の熱汚染を助長している。ここで、高発熱ビルの年間排熱量を①高発熱スペース: $2.0 \times 10^7 \text{ m}^2$, ②平均発熱密度: 75 W/m^2 と仮定して試算すると、 $11,300 \text{ TCal/年}$ となる。この熱量は、NEDOが定義している未利用エネルギーである地下鉄の駅からの排熱($1,494 \text{ TCal/年}$)や、変電所排熱($4,858 \text{ TCal/年}$)と比較しても大きな熱量である。また、高発熱ビルは都市内部に多く存在するという利点も有する。

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排熱に関して、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。また、排熱利用システムを仮定し、空冷 HP チラーやガスボイラーを使用している場合の現状システムとの比較を年間の 1 次エネルギー削減量と削減コストについて行い、排熱利用システムの有用性を検討することである。

3. 排熱利用の可能性検討

高発熱ビルの排熱を周辺エリアの給湯のみや、暖房のみ、または併用した場合について、排熱量と熱需要量との需給バランスについて検討する。

3.1 対象エリア

対象としたエリアは D エリア(商業地域)と H エリア(住宅地域)である。図 1,2 にその概要を示す。

3.2 排熱利用量の算出

GIS に建物用途、建築面積、階数を入力し、建物用途別に時刻変動を考慮した熱負荷原単位を入力し、熱需要量を求めた(式(1)~(3))。高発熱ビルからの排熱量は一定であるが、熱需要量は時刻により変動する。

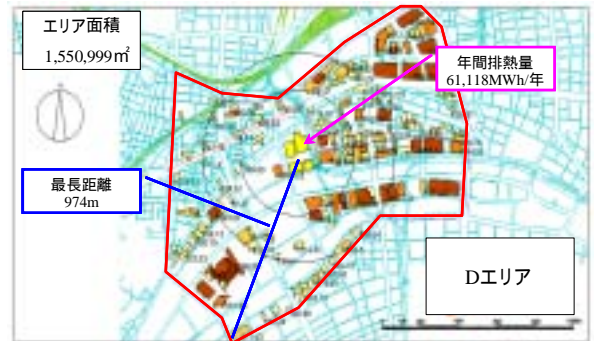


図 1 D エリア概要



図 2 H エリア概要

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

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

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

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

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

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

$$Y = Q_{ui, j} / H_{i, j} \times 100 \quad (7)$$

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($\text{W/m}^2 \cdot \text{年}$) b : 月別負荷変動比率(%)

c : 季節別時刻負荷変動比率(%) d : 時刻別負荷変動比率(%)

f : 延床面積(m^2) i : 時間 j : 月 S : 総和

基礎式

そこで、同一時刻の熱需要量 Q_d と排熱量 H を比較して低い値を実際に利用できる排熱量として求め(式(4),(5))により年間の排熱利用量を算出する。最後に、エリア内熱需要量に対する高発熱ビル排熱量の需給率を(式(6))で、高発熱ビル排熱量に対する排熱利用量の排熱利用率を(式(7))で算出する。

3.3 排熱の有効利用性

高発熱ビル排熱を **D,H** エリアの給湯のみ、暖房のみ、その両方に併用した場合の **3** ケースについて、需給率と排熱利用率から排熱の利用可能性を検討した。図 3,4 より給湯と暖房併用時の年間排熱利用率は **D** エリアで **85%**、**H** エリアで **46%** となり、大きな人工排熱の削減効果が見込まれる。また、2 月月間の排熱利用率は、図 5,6 より **D** エリアで **100%**、**H** エリアで **83%** となり、冬季には暖房需要の増加に伴い、より有効な人工排熱の削減手法となる。一方、暖房需要がない 8 月月間排熱利用率は **D** エリアで **67%**、**H** エリアで **15%** となり小さくなる。

D エリアと **H** エリアの排熱利用率の違いは、**D** エリアは商業施設や宿泊施設が多いため熱需要量が多く、**H** エリアは集合住宅地域であるため熱需要量は小さいという地域特性の差によるものである。

4. 排熱利用システムの有効性検討

排熱を利用せず、需要側ビルがガスボイラーや空冷 **HP** を使用している場合の現状システムと排熱を地域熱源に利用する排熱利用システムについて、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。

4.1 検討ケースと検討モデル

高発熱ビルは、現状で空冷 **HP** 空調機を使用しているが、排熱利用システムでは水冷 **HP** 空調機により温水を製造し、ポンプにより熱輸送する。輸送管路は需要側ビルと高発熱ビルを直線で結び、曲がりの相当長は直線長さの **0.5** 倍とした。検討ケースは **2** ケースあり、**Case1** は現状システムの需要側ビルが空冷 **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、輸送管設置に関わる工事費の減価償却分は簡単のため耐用年数 **15** 年と仮定し工事費の **1/15** とした。また、需要側ビルの熱需要量は全て排熱量で賄えると仮定する。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

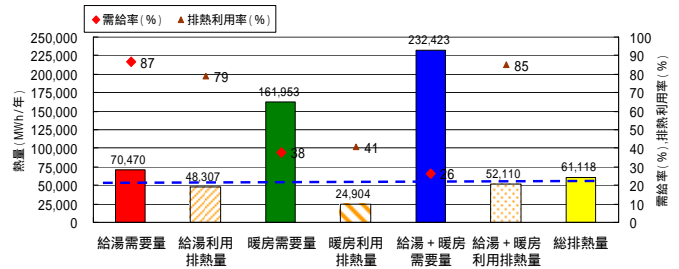


図 3 D エリア年間熱需給バランス

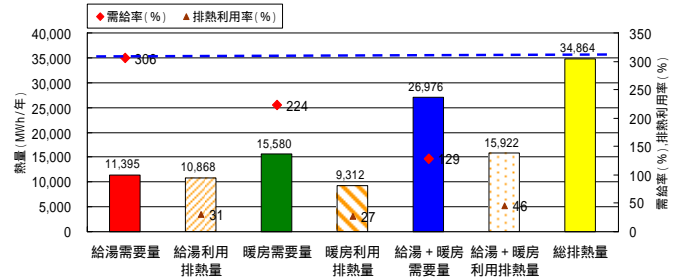


図 4 H エリア年間熱需給バランス

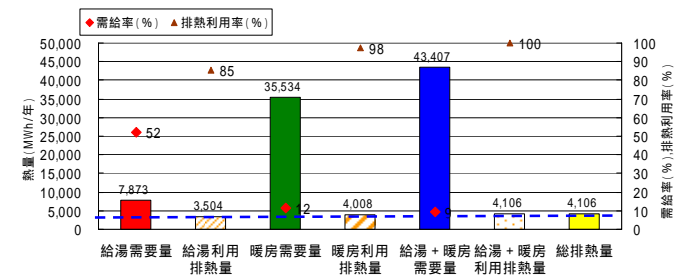


図 5 D エリア 2 月月間熱需給バランス

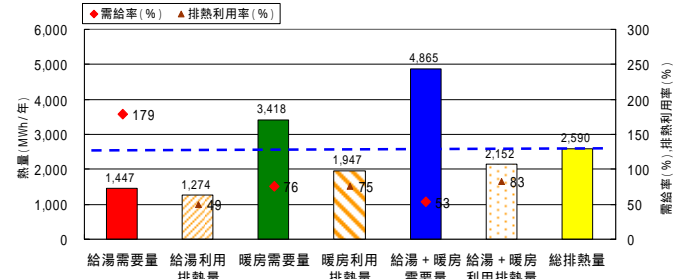


図 6 H エリア 2 月月間熱需給バランス

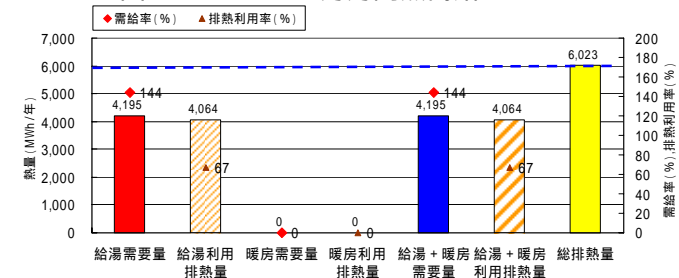


図 7 D エリア 8 月月間熱需給バランス

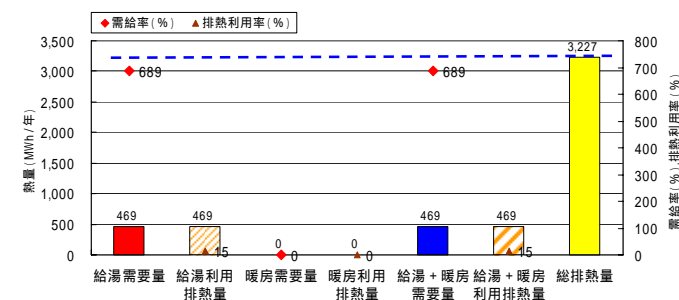


図 8 H エリア 8 月月間熱需給バランス

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 9,10 に示す。

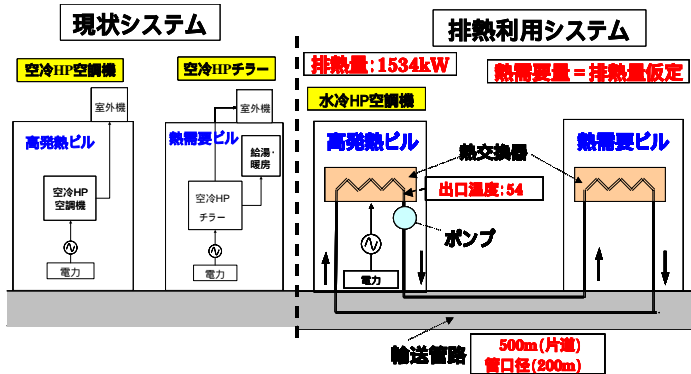


図9 Case1モデル(空冷HPとの比較)

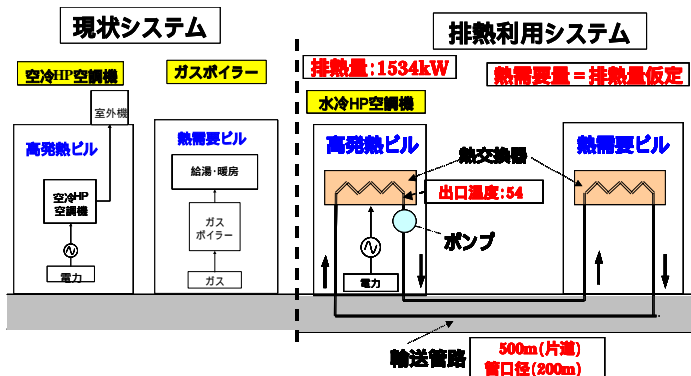


図10 Case2モデル(ガスボイラーとの比較)

4.2 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11,12に示す。前述したが、排熱量と熱需要量が等しいという仮定条件のため、排熱利用システム導入後は、補助熱源が不要となる。高発熱ビル側の年間1次エネルギー消費量は増加するが、高発熱ビルと需要側ビル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25%、Case2で約48%削減される(図11)。このことより環境面での排熱利用効果が見込まれる。なお、1次エネルギー換算値は、電気2350kCal/kWh、ガス45MJ/m³とした。

また、削減コストについては、地域トータルでCase1、Case2ともに約22%削減される(図12)。これは、1次エネルギー消費量が削減されることに起因する。一方、高発熱ビル側の削減コストは、排熱利用システム導入後には、約38%増加する。本研究では検討していないが、この増加分のコストを排熱の熱販売単価の設定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になる。ただし、排熱供給対象エリアの面積を小

さくすると熱需要量も減少するため、排熱利用による効果も減少してしまう。このため、排熱を有効に利用

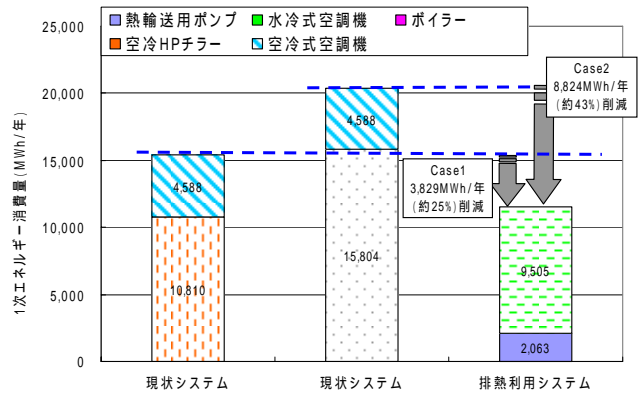


図11 年間1次エネルギー量の比較

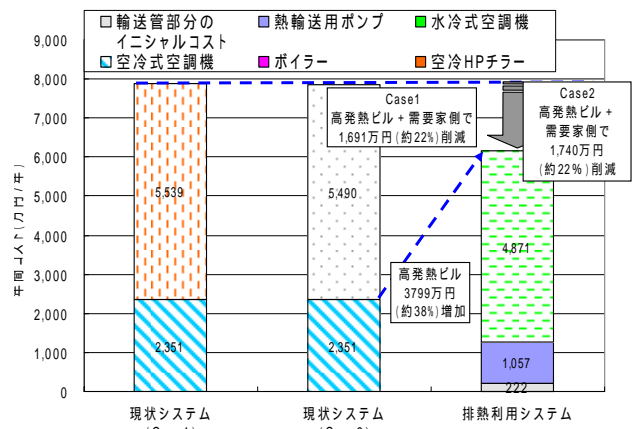


図12 年間コストの比較

するには、その適用先を十分に検討する必要がある。

5. 排熱利用システムの最適点

4.2で示したように、高発熱ビル排熱の利用には、環境面と事業面において有効な可能性が見込まれる。しかし、排熱量や熱輸送距離、熱需要量などは建物規模や地域特性などの諸条件により変化するため、排熱利用の有効性も変化する。だが、実存する地域を対象にしてこのような諸条件をパラメーター変化させた検討を行うことは検討段階では不可能である。そこで、本研究では実存する地域ではないが、排熱量、熱輸送管の管口径、熱輸送距離をパラメーターとして変化させ、様々なパターンでの排熱利用の有効性をテーブルとして作成する。

5.1 パラメーター範囲と検討ケース

変化させるパラメーターの範囲を表1に示す。

表1 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	100,200,500,700,1000,1500,2000
排熱量	kWh	153,307,767,1074,1534,2301,3068
輸送距離	m	50,100,200,500,1000
管口径	mm	65,80,90,100,125,150,175,200,250,300,350,400,450,500

表1に示す排熱量とは、空調機の冷房能力1kWに対す

る回収熱量（凝縮熱量）の事である。検討ケースは 4. と同様である。

5.2 検討結果

排熱量 1534kW(冷房能力 1000kW)における検討結果を例にして図 13～16 に示す。同じ輸送距離、管口径であれば、空冷 HP チラーとガスボイラーと比較すると 1 次エネルギー削減量は約 2.4~3.4 倍の差であり、削減コストは約 0.6~0.8 倍の差である。同じ排熱量において 1 次エネルギー削減量は管口径が太くなるにつれて、熱輸送用ポンプの動力が小さくなるという比例関係であり、環境性での効果が大きくなる。一方で、削減コストは、管口径が太くなると輸送管設置に関わるインシヤルコストが増加するため経済性での効果は比例関係ではない。次に、パラメーター変化時の排熱利用による効果の最適点を表 2 に示す。

表 2 パラメーター変化時の最適点

	排熱量(冷房能力)	流量	管口径	流速	輸送距離	1次エネルギー削減量	管口径	流速	輸送距離	コスト削減料
	kW	m ³ /min	mm	m/s	m	MWh/年	mm	m/s	m	万円/年
Case1	153.4 (100)	0.44	100	0.93	50	449	100	0.93	50	218
	306.8 (200)	0.88	175	0.61	50	940	175	0.61	50	482
	767 (500)	2.20	300	0.52	50	2,423	300	0.52	50	1,205
	1073.8 (700)	3.08	350	0.53	50	3,418	225	1.29	50	1,717
	1534 (1000)	4.40	250	1.49	50	4,919	250	1.49	50	2,490
	1534 (1000)	4.40	450	0.46	1000	4,919				
Case2	153.4 (100)	0.44	100	0.93	50	1,124	100	0.93	50	966
	306.8 (200)	0.88	175	0.61	50	2,290	175	0.61	50	1,969
	767 (500)	2.20	300	0.52	50	5,798	300	0.52	50	4,946
	1073.8 (700)	3.08	350	0.53	50	8,143	225	1.29	50	6,955
	1534 (1000)	4.40	250	1.49	50	11,669	250	1.49	50	2,034
	1534 (1000)	4.40	450	0.46	1000	11,669				
	2301 (1500)	6.60	500	0.56	50	17,587	350	1.14	50	3,093
	3068 (2000)	8.80	500	0.75	50	23,471	400	1.17	50	4,145

6.まとめ

排熱を周辺地域の熱源として利用することは、人工排熱削減効果が得られることからヒートアイランド現象緩和効果が期待される。さらに、排熱を大気中に放出しないため、排熱源周辺の熱汚染の緩和効果が推察される。排熱利用率は排熱供給対象エリアの建物延床面積に比例するが、熱輸送管の距離などの問題が生じるため、その対象エリアの検討は慎重に検討する必要がある。

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ため、エネルギー有効利用効果も期待される。ただし、本研究での検討は配管の放熱を無視し排熱量と熱需要量が等しいという仮定を設けている。そのため、今後、配管の放熱や排熱温度、需要温度の差異による利用率の低下などを考慮し、検討精度を高める必要がある。

<参考文献>

- (1) 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

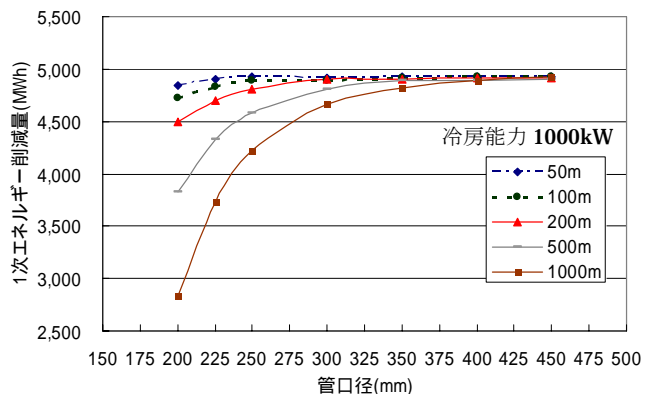


図 13 距離と 1 次エネルギー削減量 (Case1)

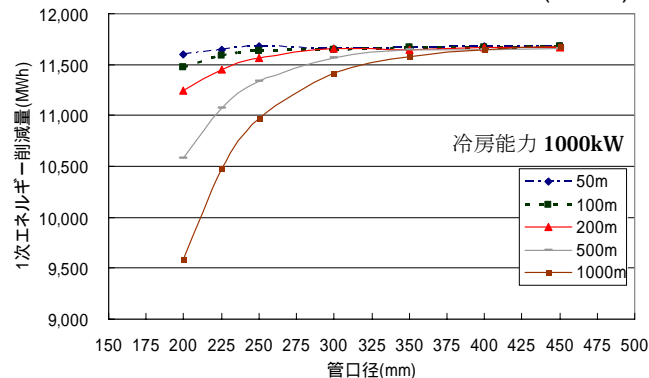


図 14 距離と 1 次エネルギー削減量 (Case2)

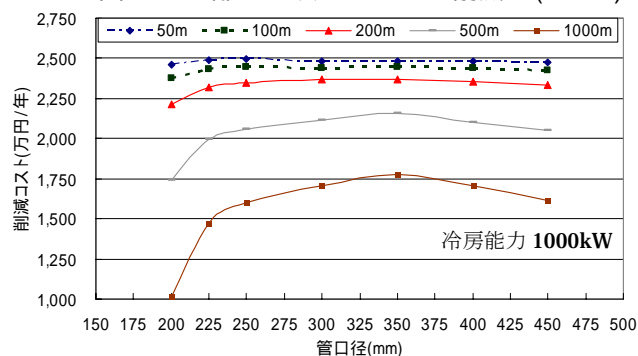


図 15 距離と削減コスト (Case1)

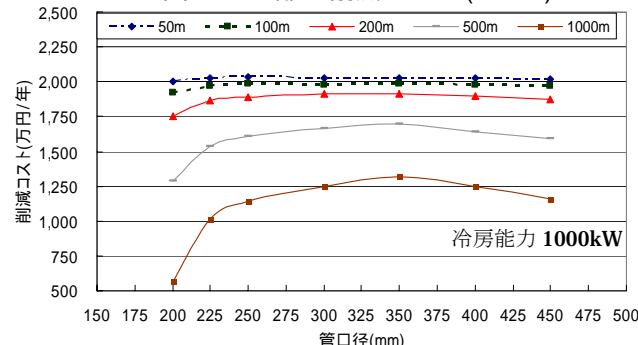


図 16 距離と削減コスト (Case2)

- (2) 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
- (3) 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

*1 総合設備コンサルタント・修士(工学)
 *2 (株)NTT ファシリティーズ研究開発本部
 *3 (株)NTT ファシリティーズ研究開発本部
 *4 大阪市立大学大学院工学研究科・教授・博士(工学)
 *5 大阪市立大学大学院工学研究科・講師・博士(工学)
 *6 大阪市立大学大学院工学研究科・助手・博士(学術)