

業務用空調を対象とした地下水利用によるエネルギー削減効果に関する研究

高橋 大智

指導教員

赤林 伸一 教授

1 研究目的

我が国の業務部門におけるエネルギー消費の推移^{文1)}によると、暖冷房による消費は全エネルギー消費の約1/3を占めており、暖冷房機器の省エネルギー化が課題となっている。特に、ヒートポンプにより暖冷房を行う空調機の場合、稼働時の暖冷房負荷、外気温に応じて成績係数 (COP) が大きく変化するため、空調用エネルギー消費量の削減には厳寒期や暑熱期を含めた年間の COP を向上させ、省エネルギーを図ることが重要となる。

本研究では、地下約 10m 以下で年間を通じて水温が約 16℃と一定な地下水を利用し、空調用室外機の吸込空気と熱交換を行い、COP の向上を図る場合の空調用エネルギー消費量の削減効果の検討を行うことを目的とする。

まず最初に、地下水と熱交換した空気を室外機へ給気するためのダクト内部の気流性状に関する数値流体解析 (CFD) を行い、ダクト形状による給気効率^{*1)}の向上について検討を行う。次に、全国 842 地域の気象条件、建物条件ごとに熱負荷計算を行い地下水と吸込空気を熱交換した場合の年間の暖冷房 COP、年積算空調用エネルギー消費量を算出し、地下水利用による全国の空調用エネルギー削減効果について検討を行う。

2 研究概要

2.1 CFD 解析の概要：表 1 に各解析 case の概要、表 2 に CFD 解析条件、図 1 に各ダクト形状の CFD 解析モデルを示す。解析対象はダクト^{*2)}と給気用チャンバーにより構成され、各空調用室外機は熱交換コイルチャンバー側か

表 1 各解析 case の概要

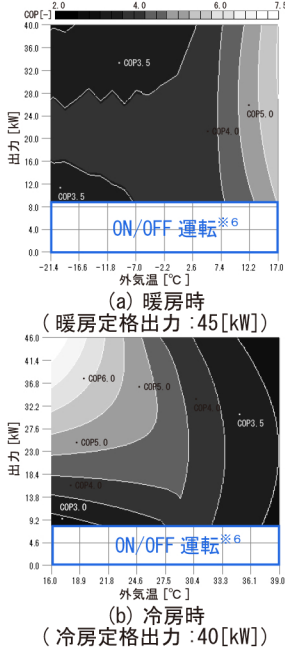
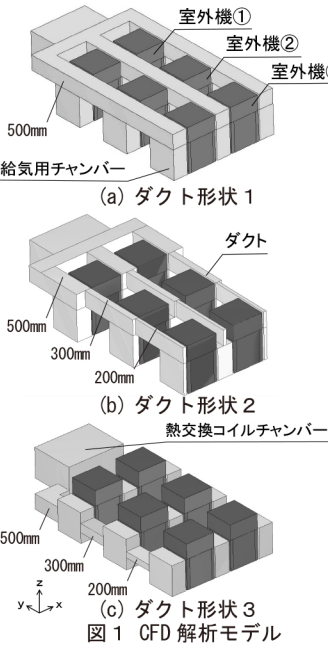
解析case	ダクト形状	ダクトサイズ[mm]	ダクト内流量 [m³/s]
1	1	500(現状使用されているダクト)	11.15
2	2	上流: 500 中流: 300 下流: 200	11.15
3	3	上流: 500 中流: 300 下流: 200	11.15
4	3	上流: 500 中流: 300 下流: 200	13.38

表 2 CFD 解析条件

乱流モデル		標準k-εモデル	
解析領域		25[m] (x) × 60[m] (y) × 30[m] (z)	
境界条件	流入	Ymax: 1/4乗則(基準高さ10[m]、流速0.1[m/s])	
	流出	Ymin面	自然流出
		Zmax面	表面圧力境界条件(0.0[Pa])
	壁境界	Xmax面	対象境界条件
		Xmin面	フリースリップ
		Zmin面	対数則
		部分面	対数則
流体と接するすべての面		対数則	
解析領域メッシュ数		102 (x) × 251 (y) × 57 (z)=1,459,314	

ら順に室外機①, ②, ③と設定する。CFD 解析は等温で行い、給気効率の算出は熱交換コイルチャンバー内で一定量のトレーサガスを一様に発生させ、各室外機の吸込口における濃度分布から計算する。尚、本モデルはy軸を対象軸とした線対称であるため、モデル中心に対称境界条件を用いて解析を行う。

2.2 暖冷房 COP・空調用エネルギー消費量の解析方法：図 2 に解析対象室外機の COP マトリックス^{*3)}を、表 3 に熱負荷計算条件を示す。解析対象地域は全国 842 地域とし、気象データは日本建築学会拡張アメダス気象データ(標準年)を用いる。空調負荷の計算は熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS により行う。解析対象モデルは延床面積の異なる 4 つの建物モデル^{*4)}とし、空調負荷に応じて空調機の稼働台数を変化させる場合(台数制御)と変化させない場合、吸込空気熱交換時のバイパスファクター (BF) ^{*5)}を 100%(外気給気), 30%, 10%と設定した場合のそれぞれについて年間計算を行う。算出した空調負荷と各時刻の外気温を COP マトリックスと照合することで年間の暖冷房 COP を算出し、年積算空調用エネルギー消費量を算出する。



3 解析結果

3.1 CFD 解析の解析結果：図3に各室外機への給気効率及び平均給気効率を示す。case1では各室外機の給気効率に偏りがあり、平均給気効率は66.1%である。case2,3では、case1のダクト形状に対し、ダクト断面積を変化させ、上流から下流にかけて段階的に断面積を小さくすることにより、ダクト内圧力分布が改善され、各caseの平均給気効率は80%前後となる。更にcase4では、ダクトが給気チャンバー中央を貫通するよう設計し、給気風量を1.2倍とすることで平均給気効率は90.4%と向上する。

3.2 暖冷房 COP・空調用エネルギー消費量の解析結果：図4に全国842地域における空調用エネルギー削減率マップ^{※7}(caseB・BF10%・台数制御あり)を、図5に東京・新潟における各caseの年平均COP, 空調用エネルギー削減率(BF10%・台数制御あり)を、図6に主要11都市における空調用電力消費量, 年平均COP, 空調用エネルギー削減率(caseB)を示す。北海道や東北地方で空調用エネルギー削減率が比較的大きい(図4)。解析対象の延床面積で比較(図5)すると、地域ごとではどのcaseでも空調用エネルギー削減率及び年平均COPは概ね等しい値となる。また、外気と直接熱交換する場合(BF100%)と比較(図6)して、地下水を用いて熱交換を行う(BF30%, 10%)ことでCOPが上昇しており、空調稼働時の地下水温度と外気温度の差が大きい地域ほど地下水利用によりCOPが上昇する。空調機の稼働台数の

制御を行う場合では、空調負荷の少ない地域でもCOPが上昇する。BF10%・台数制御ありの場合、11都市の年平均COPは1.5程度上昇し概ね5.4程度となり、削減率は11都市の平均で26.2%となる。

4 まとめ

- ①給気ダクト形状を改善し、給気風量を増加することで、室外機への給気効率は約90%と上昇する。
- ②空調稼働時の地下水温度と外気温度の差が大きい地域ほど、COPが上昇し、空調用エネルギー削減率が大きい。

※1 室外機の吸込空気量に対する地下水と熱交換を行った空気量の割合。
 ※2 ダクト給気口と室外機吸込口は50mm離れて設置されている。
 ※3 本研究で対象とする業務用空調機の暖房最大出力は外気温により変化するが、本論文では一律40kWを暖房最大出力とする。
 ※4 本研究で対象とする建物は介護老人保険施設を想定している。
 ※5 熱交換部を通過した全空気量に対する熱交換部に触れずに素通りした空気量の割合。
 ※6 ON/OFF運転は定格出力の20%以下の空調負荷時に切替わりとし、その時のCOPは暖冷房ともに出力40kWのCOPの50%と仮定した。
 ※7 BF100%, 台数制御なしの場合の解析結果を削減の基準値とする。
 文1) 経済産業省資源エネルギー庁：平成25年度エネルギーに関する年次報告, 2014年

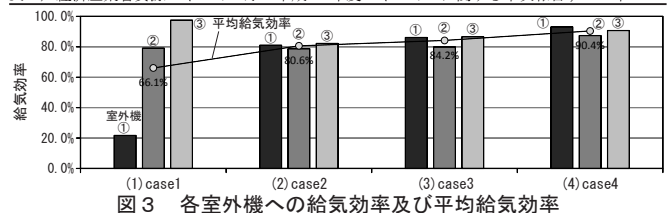


図3 各室外機への給気効率及び平均給気効率

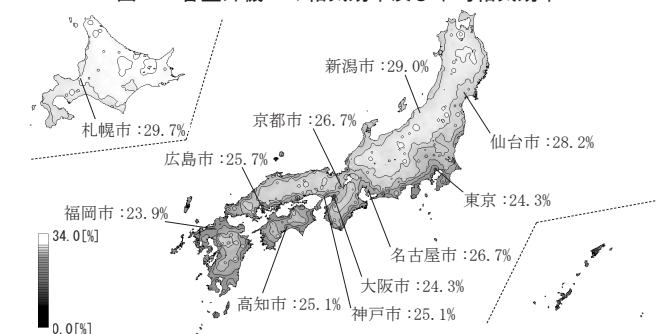


図4 全国842地域における空調用エネルギー削減率マップ (caseB: 延床面積2000m²・BF10%・台数制御あり)

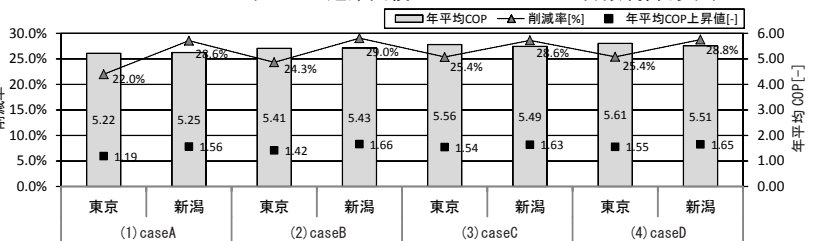


図5 各caseの年平均COP, 空調用エネルギー削減率(東京・新潟) (BF10%・台数制御あり)

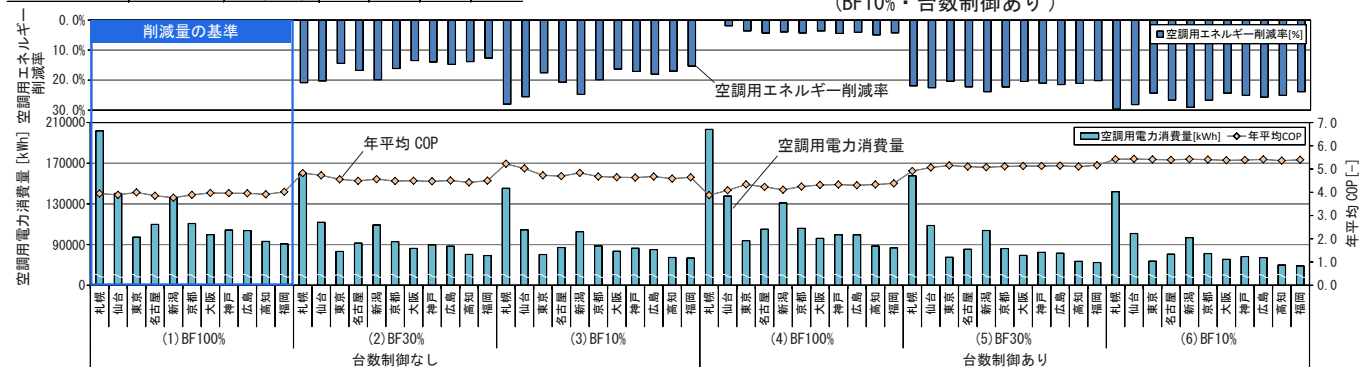


図6 主要11都市における空調用電力消費量, 年平均COP, 空調用エネルギー削減率(caseB: 延床面積2000m²)