

オフィスビルにおける自然換気併用ハイブリッド空調システムに関する研究 —自然換気実行条件の緩和による冷房負荷削減効果の検討—

2008541003 市場 忍

白石研究室

ハイブリッド空調, BEMS, 熱・換気回路網, ディファレンシャル

1.はじめに

前報にて示した自然換気と機械換気を併用したハイブリッド空調システム(以下、ハイブリッド空調)は、BEMS (Building and Energy Management System) によって屋内外の物理環境をモニタリングし、①冷房負荷削減、②室内温熱環境の改善、③自然換気設備の安全性の確保といった各種条件を満足した際に自然換気を行うように給排気口の開閉が自動制御されている。しかし、これらの実行条件に関しては、明確な設定基準が定められている訳ではなく、運用段階において過度に安全側(②や③を重視)に設定されるが故に、本来の省エネ性能(①)が発揮できないケースも多い。従って本報では、前報にて提案したハイブリッド空調の解析モデルを用いて、自然換気実行条件に関するケーススタディを行い、冷房負荷削減の可能性について検討を行う。特に、実際の運用データの分析に基づき、合理的に②及び③の条件を緩和した際の定量的効果について評価を行う。

2.建物概要

本研究の対象建物基準階のモデル図を図1に、概要を表1に示す。自然換気は、執務空間の南北に設置してある定風量機能を備えた給気口から行い、執務空間中央にあるあるシャフト部を經由し、シャフト部頂上にある排気窓より排気する仕組みとなっている。

表2：自然換気実行条件

室内条件 (自然換気実行時)	設定値	ディファレンシャル	動作
1)室内温度設定値-1℃<室内温度	24℃	2.0℃	設定値-1以下で禁止 設定値-1+2℃で許可
2)室内エンタルピー>外気エンタルピー		0.5kJ/kg	外気エンタルピーが室内エンタルピー以上で禁止 室内エンタルピー-0.5kJ/kg以下で許可
外気条件 (自然換気実行時)	設定値	ディファレンシャル	動作
3)外気温度<外気温度上限設定値	26.0℃	0.5℃	設定値以上で禁止 設定値-0.5℃以下で許可
3)外気温度>外気温度下限設定値	15.0℃	0.5℃	設定値以上で禁止 設定値+0.5℃以上で許可
4)外気露点温度<外気露点温度上限設定値	15.0℃DP	0.5℃DP	設定値以上で禁止 設定値-0.5℃DP以上で許可
4)外気露点温度>外気露点温度下限設定値	5℃DP	0.5℃DP	設定値以上で禁止 設定値+0.5℃DP以上で許可

表2に自然換気実行条件を示す。この条件に基づき対象建物では表3に示す、A~Dのモードで自然換気を行っている。ディファレンシャル¹⁾は制御プログラムを組む上で必要なものであり、給気口及び排気窓が極端に開閉しないための制御条件である。これらの統括、制御はBEMSによって行われている。

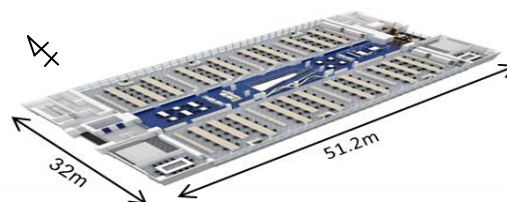


図1：対象建物基準階(3階)

表1：建物概要

所在地	福岡県北九州市	階数	地上5階
建築面積	2,330m ²	構造	S造
延床面積	10,387m ²	竣工	2011年12月

表3：自然換気有効・無効モード

自然換気有効	給気口	排気窓	機械給排気	除熱排気ファン
A.自然給排気モード	開	開	OFF	OFF
B.自然給気機械排気モード	開	閉	OFF	ON
C.機械給排気モード	閉	閉	ON	OFF
自然換気無効	給気口	排気窓	機械給排気	除熱排気ファン
D.通常空調モード	閉	閉	ON ※全熱交換	OFF

3.熱・換気回路網解析の概要

熱・換気回路網解析の概要を表4に示す。解析モデルについては、前報にて提案したハイブリッド空調の解析モデルを用いている。気象データは、北九州市八幡地区の拡張アメダス標準年データを採用し、計算期間、空調設定値、空調時間帯、ナイトパーズ時間帯については表4に示す。表2に示す1)～4)の4条件が満たされていれば、表3に示すモードに従って給排気口を開放するフィードバック制御を組み込んでいる。また、全熱交換器のモデルを組み込み、潜熱負荷の解析を考慮しているが、ディファレンシャルについてはシミュレーションでは考慮していない。

4.自然換気実行条件の緩和

BEMSデータの分析結果に基づき、春期・秋期、空調・ナイトパーズ時間帯について、表2に示す自然換気実行条件に関するケーススタディを行い、冷房負荷削減の可能性について検討を行う。

4-1 BEMSデータに基づく4条件の緩和

図2に中間期の自然換気無効に対する4条件(表2)の寄与率を、図3、図4にBEMSデータの春期及び秋期の室内温度とエンタルピーの時系列変化を示す。これらを参考に、春期・秋期、空調・ナイトパーズ時間帯

帯の自然換気実行条件についてケーススタディを行う。

1) 室内温度 (図3(a)、図4(a))

春期、秋期ともに、自然換気実行条件の設定値の -2°C ～ -3°C まで低下していることが確認できる。しかし、温度条件を下げ過ぎると、常に室内温度条件が自然換気許可に該当するため、春期においては、設定値 -2°C 及び -3°C の2ケースを検討する。また、秋期に

表4：熱・換気回路網解析の概要

気象データ	北九州市八幡 (拡張アメダス標準年データ)
計算期間	2011/4/1～2011/11/30(冷房期間のみ)
空調設定値	冬期： 22°C 中間期： 24°C 夏期： 26°C
空調時間帯	(平日) 8:30～22:00 (土曜) 9:30～22:30
ナイトパーズ時間帯	(平日) 22:00～8:30 (土曜) 22:30～8:30

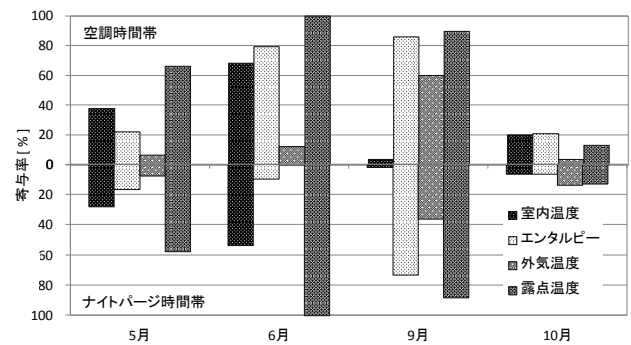
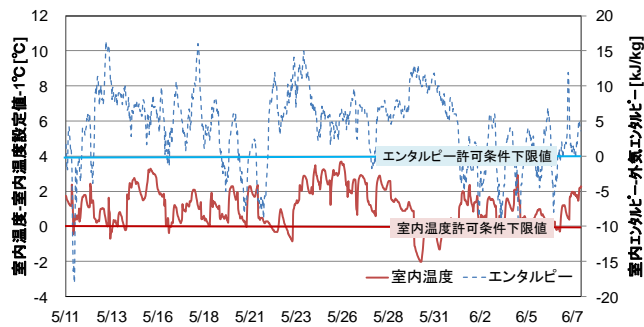
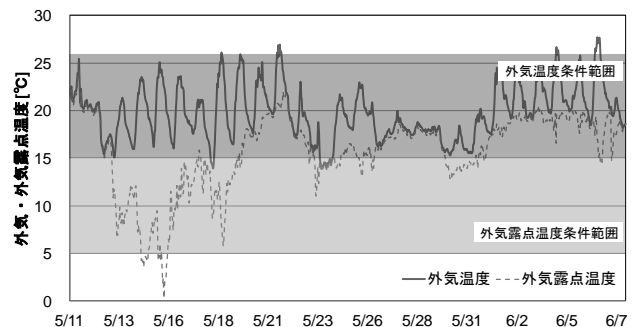


図2：中間期の自然換気無効に対する各条件の寄与率

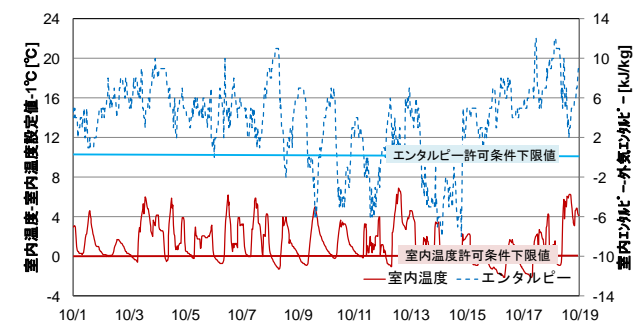


(a) 室内温度・エンタルピー

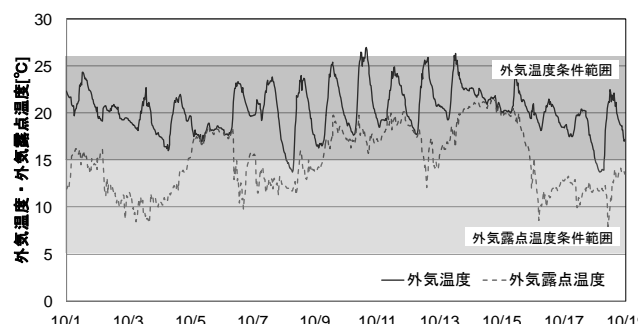


(b) 外気温度・外気露点温度

図3：春期のBEMSデータ



(a) 室内温度・エンタルピー



(b) 外気温度・外気露点温度

図4：秋期のBEMSデータ

表 5：春期解析ケース

条件	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
室内温度	室内温度設定値-1℃	室内温度設定値-2℃	室内温度設定値-3℃	室内温度設定値-3℃	室内温度設定値-3℃
エンタルピー	室内>外気	室内>外気	室内>外気	室内+5kJ/kg>外気	室内+5kJ/kg>外気
外気温度	15℃<外気<26℃	15℃<外気<26℃	15℃<外気<26℃	15℃<外気<26℃	15℃<外気<26℃
外気露点温度	5℃DP<露点<15℃DP	16℃DP	16℃DP	16℃DP	4℃DP, 16℃DP

表 6：秋期解析ケース

条件	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
室内温度	室内温度設定値-1℃	室内温度設定値-3℃	室内温度設定値-3℃	室内温度設定値-3℃	室内温度設定値-3℃
エンタルピー	室内>外気	室内>外気	室内+2kJ/kg>外気	室内+5kJ/kg>外気	室内+5kJ/kg>外気
外気温度	15℃<外気<26℃	15℃<外気<27℃	15℃<外気<26℃	15℃<外気<26℃	14℃<外気<27℃
外気露点温度	5℃DP<露点<15℃DP	15℃DP	16℃DP	16℃DP	16℃DP

おいては、室内温度の自然換気無効に対する寄与率が低い場合、設定値-3℃にて検討を行う。

2) エンタルピー (図 3 (a)、図 4 (a)) 1)

ナイトパーズ時間帯については、潜熱負荷を考慮する必要がないため、条件の緩和を行える可能性があると考えられる。春期においては、自然換気許可可能と考えられる室内エンタルピー-外気エンタルピー差は-5kJ/kg~-10kJ/kg であるが、ナイトパーズ時間帯の自然換気無効に対する寄与率が低い場合、空調の立ち上がり時の潜熱処理負荷を考慮し、-5kJ/kg で検討を行う。秋期においては、室内エンタルピー-外気エンタルピー差は-2kJ/kg 及び-5kJ/kg で検討を行う。

3) 外気温度 (図 3 (b)、図 4 (b))

春期及び秋期ともに、概ね自然換気実行条件の範囲内に該当している。よって、秋期のみ自然換気無効寄与率が高いため 14℃<外気温度<27℃で検討を行う。

4) 外気露点温度 (図 3 (b)、図 4 (b))

対象建物では、既に結露が発生しているため、露点温度については、現状の自然換気実行条件である 16℃ DP を上限値の目安として設定する。

秋期においては、全ての時間帯において現状の露点条件下限值 5℃DP を満たしている。しかし、春期においては、現状の露点温度条件の 5℃DP よりも低い日があるため、4℃DP まで低下させて検討を行う。

以上より春期及び秋期の緩和前の自然換気実行条件を Case1、条件変更後を Case2~Case5 として表 5 及び表 6 にまとめた。

4-2 ディファレンシャルの設定値の検証

図 5 (a) ~ (b) に代表日とする 10/1 の BEMS デ

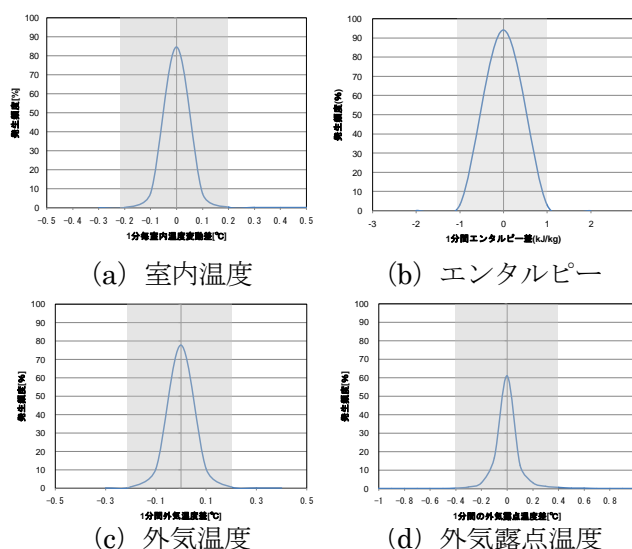


図 5：各条件の 1 分間変動差の発生頻度

表 7：10月1日のディファレンシャルによる閉時間(h)

	室内温度	エンタルピー	外気温度	外気露点温度
閉時間	0.0	0.1	0.0	2.3
ディファレンシャル条件による閉時間	0.0	0.0	0.0	2.2□
ディファレンシャル条件変更後の閉時間	-	-	-	1.58
自然換気時間の増加	-	-	-	0.6

ータによる、各自然換気実行条件の 1 分間変動差の発生頻度を示す。各条件の 1 分間の変動差を参考に、ディファレンシャル値 (表 2) の緩和・検討を行った。

変動差の発生頻度より、室内温度は 2.0℃から 0.5℃、外気温度は 0.5℃から 0.3℃に変更の余地があることが分かった。エンタルピーと外気露点温度については、現在使用している条件で問題ないことが確認できた。

表 7 に、10/1 のディファレンシャルの影響を考慮した自然換気時間を示す。主に外気露点温度のみディフ

ァレンシャルの考慮によって、給気口の無効時間が生じている。外気露点温度のディファレンシャルを0.5℃から0.3℃に変更したところ、自然換気時間が0.6h程度増加した。開閉信号の前後関係により、1分間毎に開閉信号が変化する時間帯は存在しなかった。

以上より、ディファレンシャルの条件緩和による自然換気時間の増加と開閉信号の問題の有無を確認することができた。

5.解析結果 (図6、図7、図8) 2)

5-1 BEMS データに基づく4条件の緩和

自然換気時間の解析結果を図6に、空調機処理熱量を図7にそれぞれ示す。

春期のCase1~3及び秋期のCase1、2の比較により、室内温度条件の緩和が自然換気時間の増加と空調処理熱量の減少に効果的であることが確認できた。春期のCase2とCase3の比較においては、室内温度条件を緩和することでナイトパーシ時間帯の自然換気時間は増加したが、空調時間帯の増加は小さいため、室内温度条件1℃の違いに対しての空調処理熱量の減少は低く、条件をさらに緩和しても空調時間での自然換気時間の増加は見込めないことが示唆される。

春期および秋期のCase3、4共にエンタルピー条件を緩和しているが、ナイトパーシ時間帯のみの緩和のため、自然換気時間の減少は春期で12時間、秋期は0時間と効果が小さく、空調立ち上がり時の空調処理熱量の減少についても、春期で2kWhと削減効果が殆ど期待できないことが分かった。

春期および秋期のCase1、5の比較により、春期Case5の自然換気時間は222h増加、空調機処理熱量は957kWh減少、秋期のCase5の自然換気時間は185hの増加、空調機処理熱量は1027kWh減少し、全てのCaseの中で最良の条件であることが確認できた。

5-2 まとめ

春期および秋期のCase5の緩和条件が最も効果的であるため、年間の冷房電力消費量に着目し、緩和前のCase1と緩和後のCase5の比較を行った(図8)。電力消費量については、対象建物の処理熱量と消費電力量の関係から性能曲線を作り、これを用いて基準階の空調と全熱交換器による年間冷房電力消費量の算出を行った。

Case1とCase5の冷房消費電力量より、10月の減

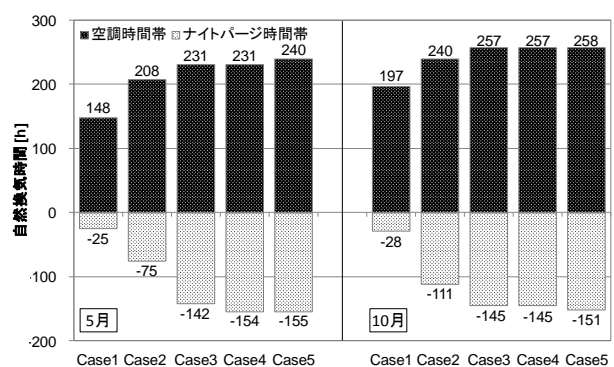


図6：自然換気時間 (5月及び10月)

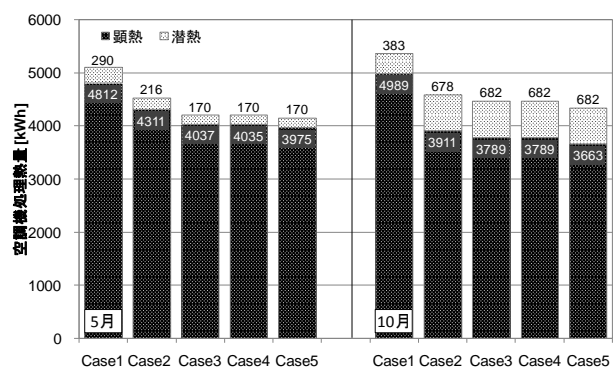


図7：空調処理熱量 (5月及び10月)

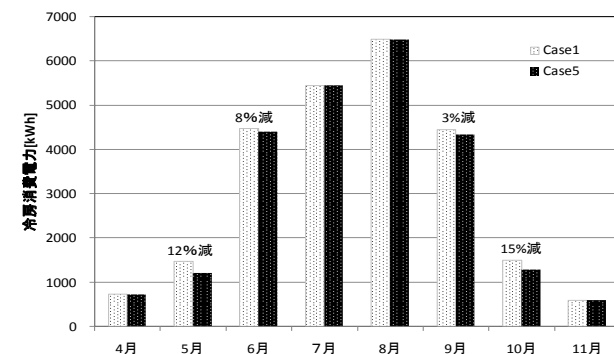


図8：年間の冷房電力消費量

少率が15%と最も高く、中間期においては6%減少していることが確認できた。よって、季節別、時間帯別に自然換気条件を緩和することで冷房消費電力量の削減が可能であることが分かった。

6.総括

- 1) 自然換気時間の増加と空調処理熱量の減少には室内温度条件の緩和が大きく関係している。
- 2) ディファレンシャル条件を室内温度0.5℃、外気温度を0.3℃の緩和することで自然換気時間が増加する。
- 3) 中間期はCase5の自然換気条件を使用することで自然換気時間及び冷房電力消費量の削減が期待できる。

【参考文献】

- 1) 田辺ら：高層オフィスビルにおける自然換気設備の運用実績及び運用条件拡大の検討，日本建築学会，2008年9月
- 2) 張ら：オフィスにおける自然換気併用ハイブリッド空調に関する研究第2報，空気調和・衛生工学会論文集，2003年1月