

外皮性能と外気導入制御による負荷削減効果と室内環境品質への影響

正会員 ○品川浩一 1* 正会員 村上周三 2*
正会員 石野久彌 3* 正会員 郡 公子 4*
正会員 柳井 崇 5* 正会員 川津行弘 5*

BEST シミュレーションツール 熱負荷計算
高性能外皮 外気導入制御 IEQ

1.はじめに

外皮性能の設計段階の評価は、PAL や PAL* といった年間積算負荷での評価が従来から行われてきた。しかし、空調負荷計算にはそれ他にも重要な評価軸があり、「ピーク熱負荷」は設備機器容量（≒電力デマンド）に、「ペリメータの温熱環境」は室内環境品質（IEQ）、「負荷率特性」は機器台数分割や自動制御方法（≒省エネ設計）、といった計画時の検討として重要な要素である。

BEST の特徴として、最大・年間熱負荷計算と同時に、室内温湿度だけでなく OT や PMV などの室内環境を評価できることがある。加えて、DSF（ダブルスキン）などの高性能外皮だけでなく、自然換気や外気冷房・CO₂ 制御・全熱交換器などの導入効果も計算可能となった。本報では、オフィスビルの基準階を対象とし、高断熱・窓システム・自然換気などの建築手法、CO₂ 制御などの外気導入手法による最大熱負荷、年間熱負荷、および、室内環境品質について、BEST1610 による感度解析を行う。

2.対象モデルおよびシミュレーション概要

表-1 に共通計算条件、表-2 に示す 2 ケースの外皮仕様と内部発熱の組み合わせ、6 ケースの外気導入制御について計算を行った。ただし、BEST 専門版における建築熱負荷計算の最小外気量制御は、外気量を在室率に比例し調整する計算であるが、外気および室内 CO₂ 濃度、人体の CO₂ 発生量を考慮すると、より外気負荷を削減することも可能である。CO₂-A は BEST の標準の計算機能ではないが、設計外気量と人員スケジュールによってモデル化したケースである。なお各ゾーンの装置容量は、BEST 最大負荷計算結果の結果を用いた。

3.年間装置負荷の影響

図-1 にフロア全体の年間装置負荷の比較を示す。外気冷房および自然換気は、どの地点でも冷房顕熱負荷の削減が大半を占めている。全熱交換器・CO₂ 制御は暖房顕熱負荷の削減が大きい。また、全熱交換器は、札幌および仙台において冷房負荷の削減効果がほとんどみられない。CO₂ 制御では、札幌>仙台>東京>那覇の順に冷房顕熱負荷が増加しており、室内外エンタルピーによるチェックが必要であることがわかる。なお、基準仕様および高性能仕様の傾向はほぼ同じであり、外気導入制御による空調負荷削減量についてもほぼ同等であった。

図-2 に基準仕様における装置負荷の月変動の比較を示す。自然換気および外気冷房は、中間期に冷房装置負荷が削減されており、札幌および仙台では冷房期も削減されている。CO₂ 制御における冷房顕熱負荷の増加は、潜熱（除湿）負荷の小さな中間期に起こっており、この

表-1 共通計算条件

仕様	
気象	拡張アメダス標準年気象データ 2000 年、札幌、仙台、東京、那覇
建築	約 55m×27m (有効率:75%) 階高:4.5m、天高:3.0m 地上 11 階(対象 5 階) 隙間風:全ゾーン 0.1 回/h ブラインド:直達日射により操作 家具顕熱熱容量:15J/lit・K ゾーン間換気:250CMH/m 計算時間間隔:20 分
空調	夏期:26℃・50%(冷却/除湿)、冬期:22-26℃・40%(冷却・加熱/加湿)、中間期:22-26℃(冷却・加熱)、札幌:冬期 11-4 月・夏期 7-9 月、仙台・東京:冬期 12-3 月・夏期 6-9 月、那覇:冬期 1-3 月・夏期 5-10 月、空調:7-21 時、外気導入:8-21 時

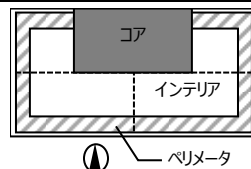


表-2 ケースと計算条件

基準	外皮仕様	透明単板(東京・那覇)、透明複層(札幌・仙台)、窓面積率 40%、外壁 U 値=1.7W/m ² K
	内部発熱	照明 16.3 W/m ² 、機器 12 W/m ² 、人員密度 0.1 人/m ² 、事務室スケジュール ¹⁾
高性能	外皮仕様	単層 DSF(外側透明単板+Low-E 高日射遮蔽)、窓面積率 60%、外壁 U 値=0.8 W/m ² K
	内部発熱	照明 11.0 W/m ² 、機器 8 W/m ² 、人員密度 0.1 人/m ² 、事務室スケジュール ¹⁾
外気導入	通常	5CMH/m ²
	NV	通常+自然換気 自然換気期間・時間:4-11 月・24 時間、下限外気温:15℃、上限外気相対湿度:90%、上限外気露点温度:空調時 19℃、上限屋外風速:10m/sec、内外エンタルピチェックあり、冷房中も許可、下限室温:空調時 24℃・非空調時 22℃、(換気口)単位外皮長さあたり有効開口面積:0.005 m ² /m(風圧考慮)
	外冷	通常+外気冷房 下限外気温:8℃、内外エンタルピチェックあり、外気露点温度:上限 19℃・下限 0℃、下限室温:夏期・中間期 24℃・冬期 26℃、最大外気量:15CMH/m ²
	CO ₂ -P	通常+CO ₂ 制御(在室率連動 ^{*1)} 下限外気量比(設計外気量に対する比):0.25 (1.25CMH/m ²)
AHEX	通常+全熱交換器	内外エンタルピー、内外温度チェックあり 熱回収効率:全熱交換効率 30%、下限外気量比:0.25
	CO ₂ -A	通常+CO ₂ 制御(CO ₂ 濃度 ^{*2)} 室内外 CO ₂ 濃度差設定:650ppm、人体からの CO ₂ 発生量 0.02 m ³ /(h・人)、下限外気量比(設計外気量に対する比):0.1 (0.6CMH/m ²)

※:最大負荷計算条件:季節係数(内部発熱補正):冷房=1.1/暖房=0.3、予冷熱時間:1 時間、気象:BEST 設計用データ(2000 年)

期間にだけ室内外温度によるチェックを行うということも考えられる。なお、基準仕様および高性能仕様の装置負荷の月変動は、年間負荷同様ほぼ同じ傾向であった。

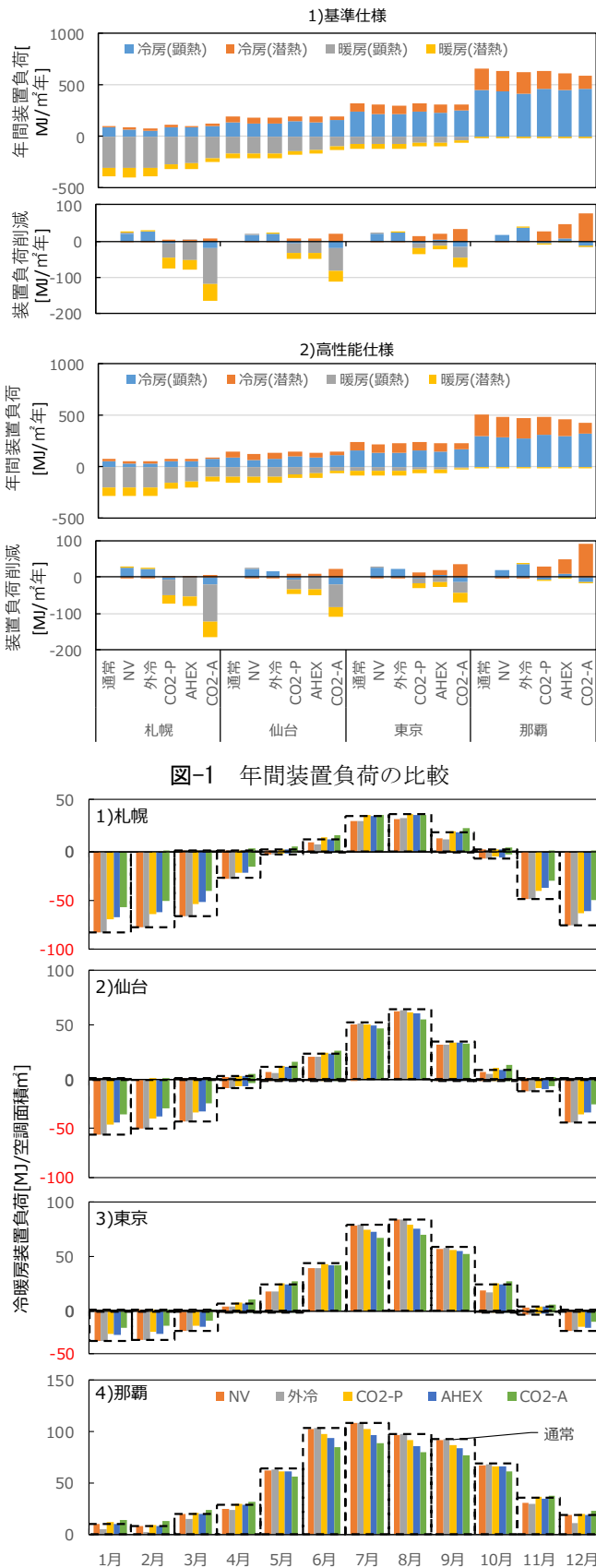


図-2 月別装置負荷の比較 (基準仕様)

4. 冷暖房日積算最大日における影響

図-3 に東京におけるフロア全体の装置負荷の時刻変動を示す。日積算最大日は基準仕様・高性能仕様ともに同じ日であったが、基準仕様の冷房は 10~11 時、高性能仕様は 8~9 時の時間積算負荷がピークとなった。基準に比べ、高性能は時間変化が小さく、暖房では昼以降は負荷がほぼない。特に CO₂制御の場合、暖房負荷が朝の立ち上がり以降に発生していない。これは、オーバーシュートが発生しにくく、空調制御が容易となるといえる。また、他の地点では CO₂制御や全熱交換器によってピーク日が変わるため、最大負荷計算時の気象の選択が重要であり、機器選定に影響を与える。

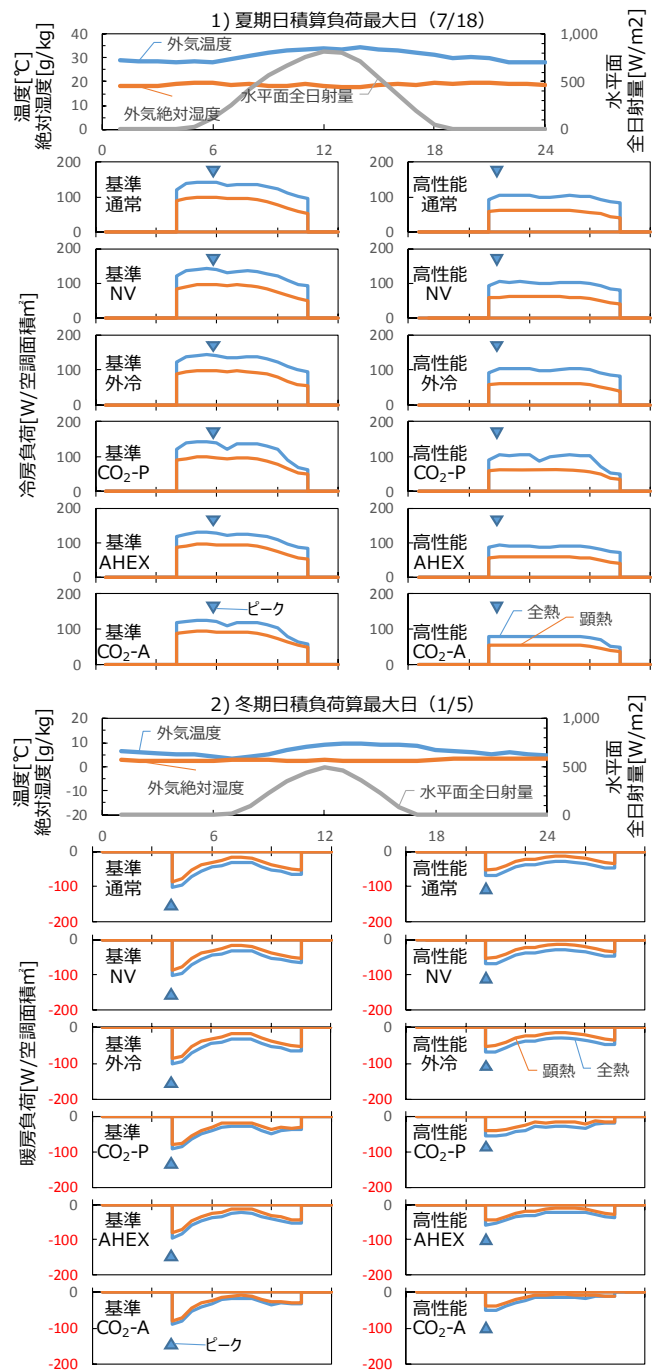


図-3 装置負荷の時刻変動の比較 (東京)

5. 負荷率および潜顕比の影響

図-4 に仙台におけるフロア全体の装置負荷のデュレーションカーブを示す。外気導入が通常の場合、高性能外皮導入によって、最大負荷は冷房23%・暖房31%、年間負荷は冷房25%・暖房30%、空調時間は冷暖房共に約10%が削減されている。つまり、内部発熱低減などZEB化が進むことによって、高性能外皮側で暖房負荷が増加することはない。外気導入手法の負荷削減効果は、外皮性能によらず、冷房では自然換気が、暖房では全熱交換器制御およびCO₂制御が大きい。冷暖房の合計では、両外皮共に全熱交換器制御および自然換気が大きい。

外気導入制御によって、中央部分の負荷が減りピークとオフピークの差が大きくなるため、その際に熱源の台数分割やベース熱源の高効率化などの配慮が重要となる。

また、自然換気による削減効果は高性能外皮の方が大きく冷房運転時間が短縮される。よって、自然換気には高性能外皮との組み合わせが重要である。

図-5 に仙台の基準仕様における潜熱と顕熱の内訳を表示した装置負荷のデュレーションカーブを示す。自然換気・外気冷房における冷房顕熱負荷は低負荷域で削減される。冷房潜熱負荷の大半が外気負荷であることから、潜熱分離空調導入効果をより効果的とする。CO₂制御・全熱交換器における暖房負荷において、顕熱負荷は中央値付近において、潜熱負荷は全体で削減されている。潜熱処理（加湿）は、一般的に採用される水加湿の場合、コイル出口温度に影響を与えるため、熱源機出口温度緩和による効率上昇を検討することにつながる。

図-6 に札幌、東京、那覇における装置負荷のデュレーションカーブを示す。外気導入制御および外皮性能の影響は、各地点共、絶対値は異なるものの、仙台と同じ傾向となっている。

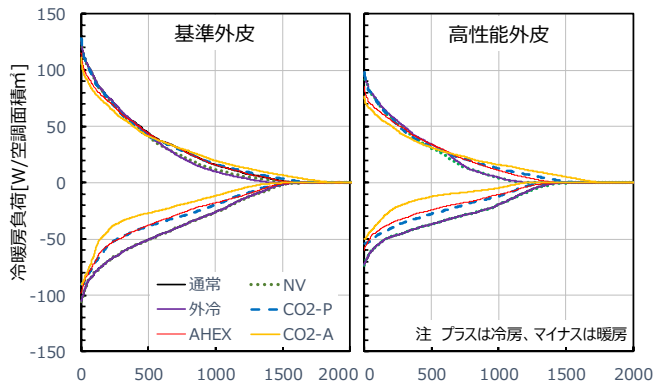


図-4 装置負荷デュレーションカーブ (仙台)

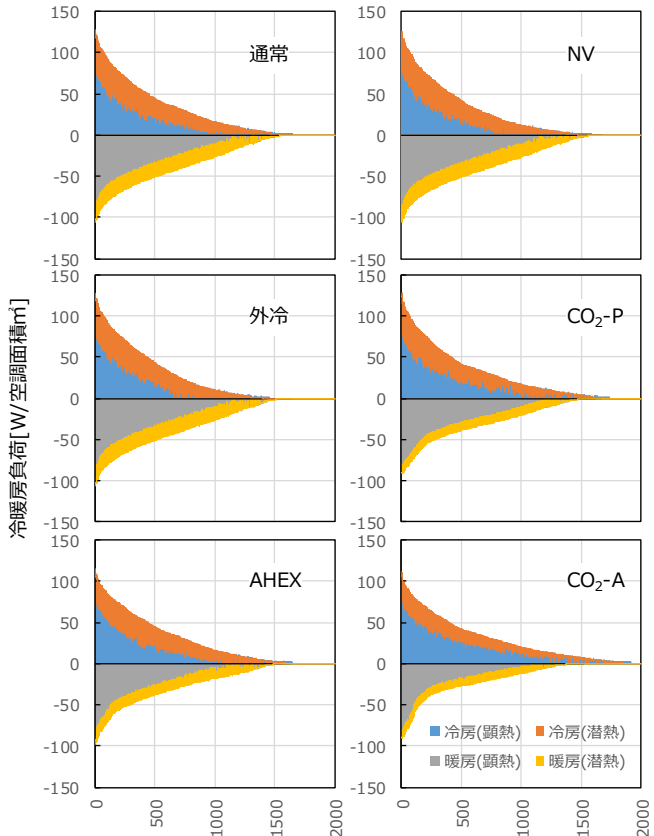


図-5 装置負荷の内訳の比較 (仙台・基準仕様)

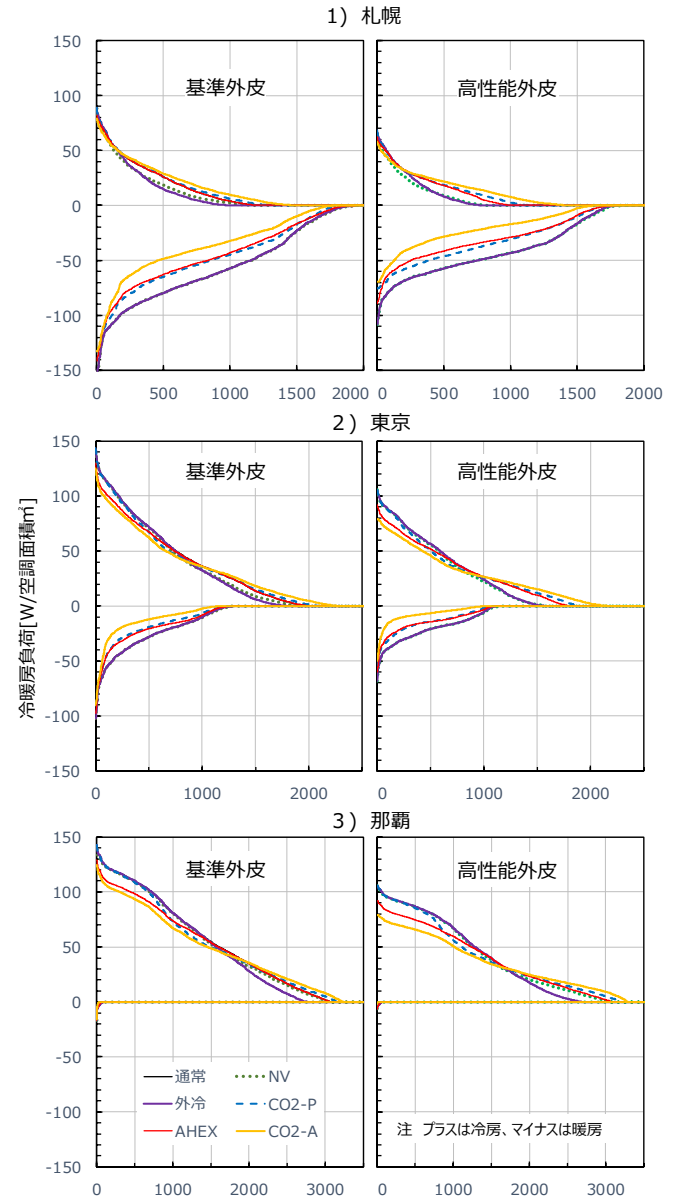


図-6 装置負荷デュレーションカーブの比較

6.室内環境品質の影響

図-7に空調時・非空調時のOTを箱ひげ図で示す。どの地点でも、インテリア・ペリメータ共に空調時では差が小さいものの、非空調時には外皮性能の影響が大きい。那覇は年間冷房であるため、室温の上限である26°C近辺となる。非空調時は、50%の範囲(箱部分)が、インテリアほどの地点においても17から28°Cの範囲に入っている。しかし、仙台の基準外皮のペリメータでは、その範囲を下回るものがある。両外皮仕様共、自然換気によってOTの最大/最小/中央が約1°C改善されるが、最大/最小は外皮性能による影響の方が大きい。

図-8に非空調時の各ゾーンの平均温湿度状態を空気線図上にプロットしたものを示す。外皮性能の高性能化によって、また、地点が札幌→仙台→東京→那覇となるにしたがって、ビル管法の温湿度範囲内の時間数が増えている。最も影響の大きな札幌では、17°C以下の時間が高性能外皮によって、インテリア:1,660→483時間、ペリメータ2,328→730時間と大幅に改善されている。これは全非空調時間帯5,871時間なかで20~30%の改善となっている。28°Cを越える時間についても改善されており、高性能外皮のインテリアではほとんどの時間帯で28°C以下となっている。

ペリメータの温湿度がインテリアに影響を与えており、非空調時もある程度の温湿度が確保する、BCP対策としては高性能外皮が必須であるといえる。

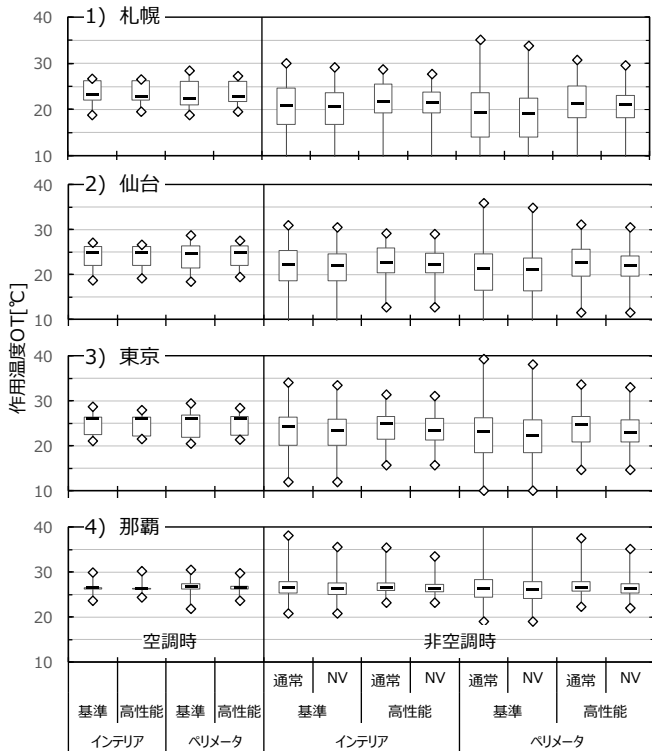


図-7 室内環境(作用温度)の比較

- * 1 日本設計
- * 2 建築環境・省エネルギー機構 理事長 工博
- * 3 首都大学東京 名誉教授 工博
- * 4 宇都宮大学大学院工学研究科 教授・工博
- * 5 日本設計 工博

まとめ

外気性能と外気導入制御による空調負荷および室内環境品質の影響を示した。エネルギー消費量に関しては、変风量などの空調システムや制御設定値によって、大きく影響を受けるため、連成計算が必要となってくる。

【謝辞】本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」・「統合化WG(石野久彌主査)」・「建築SWG(郡公主主査)」の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。

【文献】1) 平成25年 省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 I 非住宅建築物(第2版)、IBEC

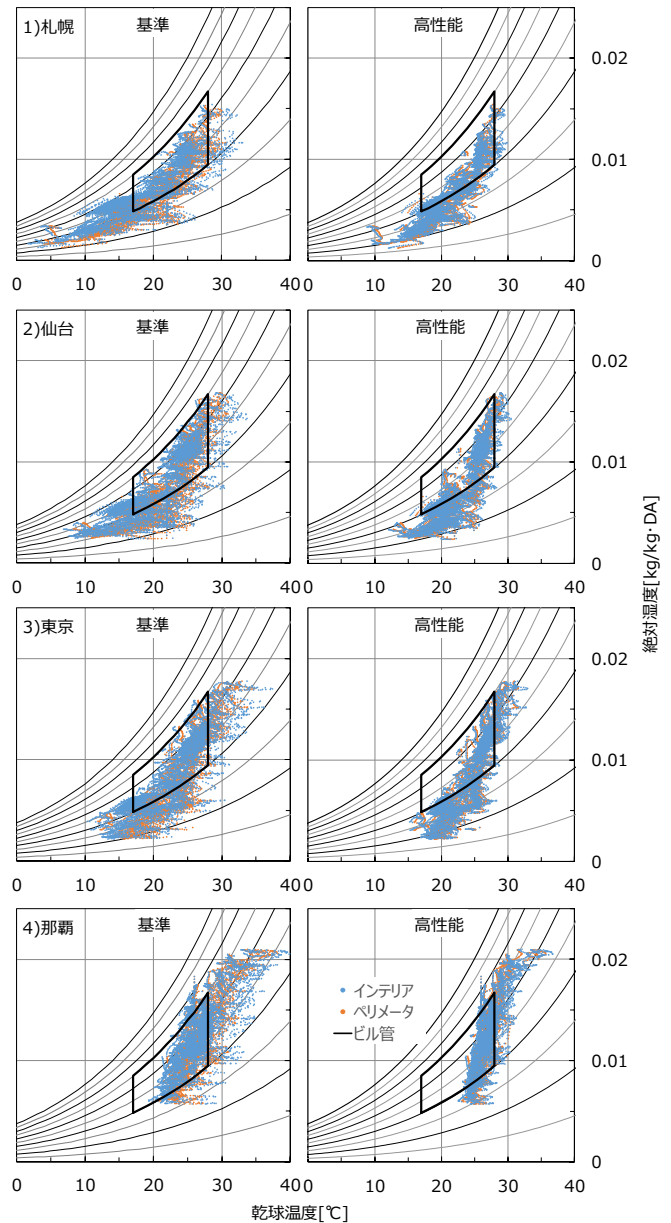


図-8 非空調時室内環境の比較

- * 1 NIHON SEKKEI, INC.
- * 2 Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, D.Eng.
- * 3 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., D.Eng.
- * 4 Prof., Graduate School of Engineering, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.
- * 5 NIHON SEKKEI, INC., Dr. Eng.