KTビルの空調設備計画

鹿島建設㈱　建築設計本部　設備設計統括グループ　弘　本　真　一

■キーワード／省エネルギー・空調効率・施工合理化

1．はじめに

本計画では，都市部の狭小敷地という制約の中で，高いスペース効率とコスト合理性に配慮しながら環境性能を最大限まで高めるという課題に取り組んだ。都市部のオフィスビルの市場ニーズに加え，労働者の高齢化や労働者不足といった社会的課題に対し，施工品質の確保，工程管理，高い生産性を実現するための施工技術を開発・実践している。さらに汎用的な設備システムの採用を前提とした中規模賃貸ビルに適応性の高い空調・照明の省エネルギー技術を開発・導入し，外装計画の最適化による環境性能向上等と合わせ，平成28年度基準の省エネ計算で国内オフィスビルでは初のZEB Readyの認証を取得した。

計画にあたっては，下記４つの具体的な方針を立て，都市型中規模オフィスビルにハイレベルな省エネルギーが提供できるモデルビルを実現した。

・新開発の空調／照明の省エネ制御により，エネルギー消費量を半減
・自然光の活用と開口部の熱負荷抑制を両立し，外部熱負荷を半減
・オフィス設備容量の最適設計によりスペース効率向上に寄与し，設備容量を半減
・ユニット化・プレファブ化による設備工事の労務量を半減

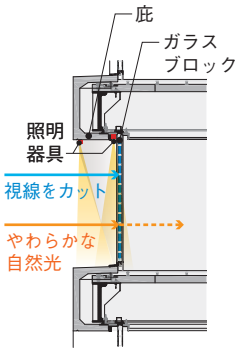
2．建物概要

建 物 名 称　KTビル
所　在　地　東京都港区元赤坂１丁目３番８号
建　築　主　鹿島建設㈱
用　　途　事務所
敷 地 面 積　1,866.08㎡
建 築 面 積　1,188.94㎡
延 床 面 積　11,791.87㎡
建 物 高 さ　54.91m
構　　造　Ｓ造(CFT造)，一部RC造
階　　数　地下１階，地上12階，塔屋１階
工　　期　平成26年９月～平成28年８月
設計・監理　KAJIMA DESIGN
施　工　者　鹿島建設㈱　東京建築支店

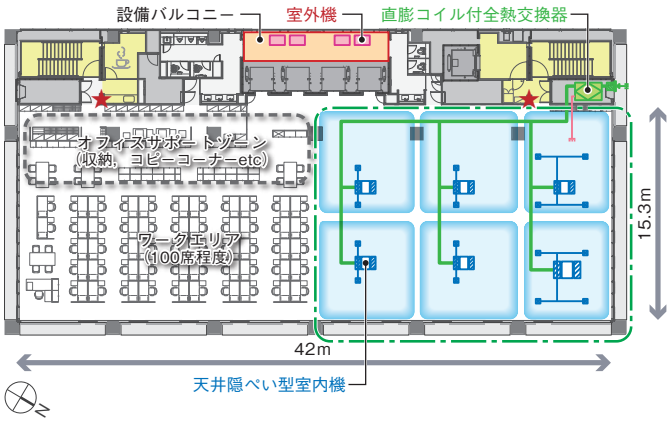
南北の接道を整形に貫く敷地形状の素性を生かし，南北面には眺望用の開口(写真－１)，東西面は負荷低減を意識した外装計画としている。特に東面は，隣接建物からの視線カットしつつ，自然の明るさを享受できるよう，ガラスブロックにて構成した。日没後には外部からガラスブロックに照明を当て，内部空間の明るさ感を確保できるしつらえとなっている。(図－１)

アウトフレームデザインは，整形な空間を実現し，構造体の庇効果により日射遮へい性能を高めており，BPI値は0.71を達成している。

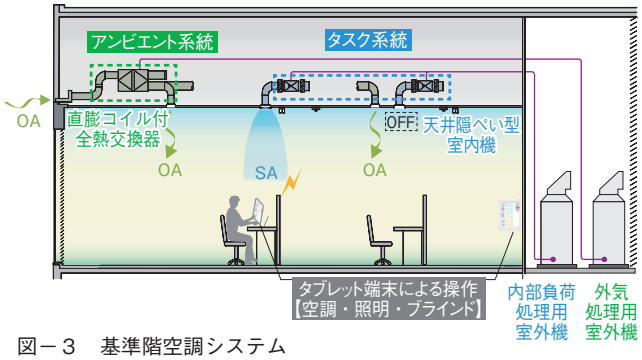
写真－１　建物外観(北面)



図－１　東面ファサード断面図



図－２　基準階プラン，空調ゾーニング



図－３　基準階空調システム

３．ZEB Readyの普及へ寄与する設備計画

３－１　オフィス空調計画

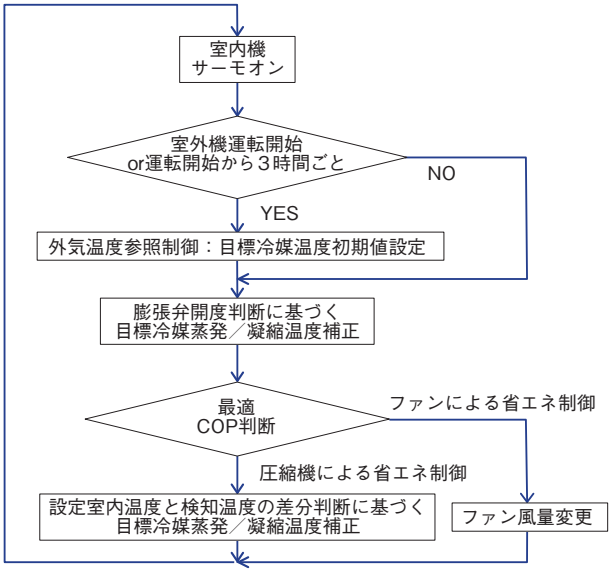
個別分散型空気熱源ヒートポンプエアコン（ビルマルチ）をベースとし，室外機系統を内部負荷処理用と外気処理用で分割した「タスク／アンビエント方式」としている。タスク空調として偏在する内部発熱負荷の追従と個人の温熱環境の嗜好性に追従する内部負荷処理系統（以下，内調機）と，アンビエント空調としてベース稼働する外気処理系統（以下，外調機）とに系統を分けて計画した。内調機はスパンごとに天井隠ぺい型室内機（高顕熱型冷暖同時運転型室外機）を設置し，外調機は直膨コイル付全熱交換器（冷暖切替型室外機）とした。１フロア当たり２ゾーンの構成とすることで，システムが平面プランに対して正対称となる計画とした。（図－２・３）

３－２　設備容量の最適化

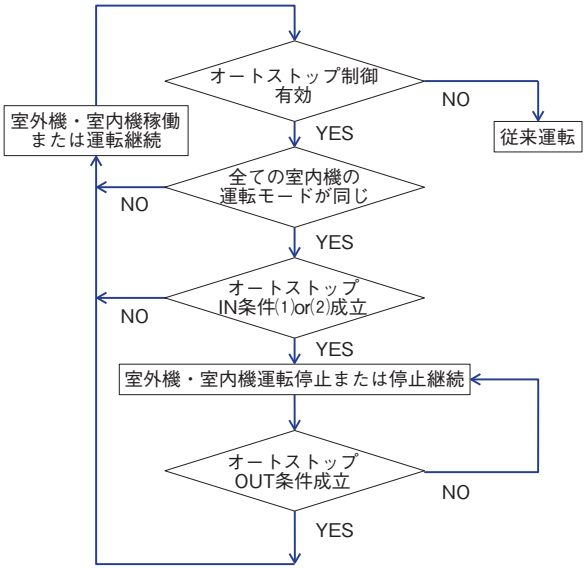
本計画は既存ビルの建て替えであることから，解体前に既存ビルの利用実態と負荷を分析することで，設備容量の最適化をはかった。既存ビルの代表フロアにおける照明・コンセント電力の測定結果より，空調装置容量は照明10W/㎡，コンセント10W/㎡の内部発熱条件にて選定可能と判断した。また，本システムでは冷媒温度最適化制御を行うため，室内機は冷媒蒸発温度を緩和した状態（11℃）でピーク負荷が処理可能な容量とした。この結果，基準階１フロアでは室外機装置容量88kWとなり，基準階空調面積（664.5㎡）当たり133W/㎡である。これは，自社施設の比較で2007年竣工の鹿島赤坂別館（全館ビルマルチによるオフィスビル，第47回空衛学会賞技術賞受賞）の約50％の空調装置容量となった。

３－３　高効率化をめざした個別分散型ヒートポンプの最適制御の開発

本計画は既存ビルの建て替えであることから，解体前に本計画では，個別分散空調のさらなる高度利用を掲げ，ビルマルチシステムの改良を試みた。汎用化や普及性を妨げることのないよう，ビルマルチ空調システムのハードの構成はそのままに，新開発の省エネ制御をインストールした基盤を改装設置した。



図－４　冷媒温度最適化制御フロー



図－５　オートストップ制御フロー

(1)　冷媒温度最適化制御

これまでのビルマルチは，冷媒蒸発／凝縮温度が負荷にかかわらずほぼ一定であり，負荷追従性に対して改良の余地があった。また，実運用では部分負荷運転状態が多く，非効率な運転時間が多いことも学会等で指摘されていた。本制御では，空調負荷を複数のセンシングにより推定し冷媒蒸発温度（冷房）／凝縮温度（暖房）を自動的に可変する制御を実施している。具体的には，内調機系統では，①外気温度，②膨張弁開度，③設定室内温度と検知温度の差分を用い，外調機系統では外気温度より冷媒蒸発温度（冷房）／凝縮温度（暖房）の目標値を可変している。（図－４）

(2)　タスク空調系統のオートストップ制御

本制御では負荷発生状況により外調機系統を優先的に運転させ内調機系統を停止することで，室内環境を維持しつつ，室外機の部分負荷運転を抑制して室内機ファン動力を削減する狙いがある。また従来機器では

一般的に検知温度が設定室内温度－１℃以下(冷房時)／＋１℃以上(暖房時)になると圧縮機が停止，室内機が送風状態となり，設定室内温度以上(冷房時)／以下(暖房時)になると圧縮機を再稼働させる制御(以降，サーモON－OFF制御)が働く。オートストップ制御では検知温度が設定室内温度以上(冷房時)／設定温度以下(暖房時)で室内機および室外機の系統全てが停止する制御ロジックを構築した。(図－５)

(3) 外気処理用室内機の省エネ制御

既製品の外気処理用室内機を改装し，CO_2濃度制御と外気冷房制御を導入した。CO_2センサや湿度センサをRA接続口付近に追加し，中央方式と同様に室内CO_2濃度や外気条件に応じた外気量制御が可能になっている。

４．労務量削減をめざした施工合理化手法の実践

本計画では，労働力不足による労務費の高騰，熟練作業員の高齢化に対応するため，設備工事全体で労務量50％削減を目標に，さまざまな施工合理化手法を開発・採用し，取り組みを推進した(写真－２)。設計段階では，機器配置や設備ルートが平面プランに対して対称とし，スパンごとの空調能力を同容量とすることで，ユニット化を推進しやすい計画を行った。さらに工事着工前から設計者と施工者が協働し，現場での作業量を減らす具体的な検討を行い，①合理化部材の採用，②工場組立加工，③機械化，④ユニット化などの観点で対策を実施した。

労務量削減実績では，同規模オフィスビルの平均実績値と比較して，設計段階でのモジュール化された合理的な基準階プランニング等により21.8％の削減率を達成した。施工段階の取り組みとしては，ユニット化工法を中心とした施工合理化手法の採用により21.0％の削減率となり，設計と施工を合わせた削減率として42.8％の削減率となった(表－１)。

５．個別分散空調の省エネ性能評価

５－１　シミュレーションによる省エネ効果予測

導入した高効率制御の省エネ効果を検証するため，システムシミュレーションを実施した。計算ケースとしては，標準的なオフィスビルを想定したケース(Case0)に対し，①設備容量の最適化，②冷媒温度最適化制御，③外気処理系統の省エネ制御，④オートストップ制御の順に導入・検証した(表－２)。図－６に示す基準階１フロアの年間一次エネルギー消費量では，基準ケースCase0の615.5MJ/㎡に対し，各取り組みを全て導入したCase4は317.4MJ/㎡と約半分になることが分かる。特に設備容量半減の効果が大きく，超低負荷運転の回避による室外機のCOP向上効果が得られた。新能力制御および外調系の制御も大きな省エネ効果が得られている。

【室外機ユニット】

【スプリンクラーヘッダユニット】

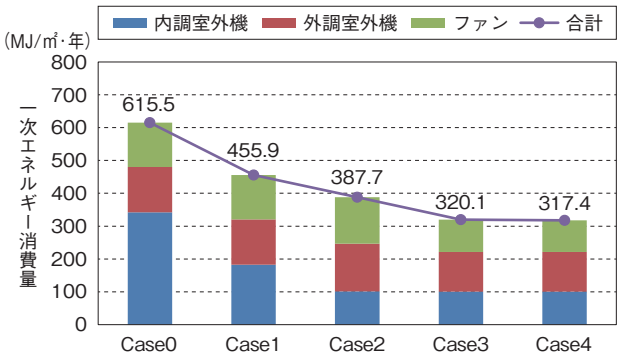
写真－２　開発・実践した代表的な合理化工法

表－１　設備別労務削減実績

	当社社内平均実績労務人数(人)	設計段階		施工段階		設計・施工統合	
		削減人数(人)	削減率(%)	削減人数(人)	削減率(%)	削減人数(人)	削減率(%)
空調設備	2,936	1,046	35.6%	483	16.5%	1,529	52.1%
衛生設備	1,196	89	7.4%	308	25.8%	397	33.2%
電気設備	2,207	248	11.2%	541	24.5%	789	35.7%
合　計	6,339	1,383	21.8%	1,332	21.0%	2,715	42.8%

表－２　計算ケース

Case No.	設備容量	新能力制御	外調系の制御	オートストップ制御
Case0	標準的なオフィスビル設計	なし	なし	なし
Case1	KTビル(Case0の1/2)			
Case2		あり		
Case3			あり	
Case4				あり



図－６　年間一次エネルギー消費量

５－２　運用実績による省エネ性能の検証

パイロットフロアである７階を対象に，2017年９月１日～2018年８月31日の１年間の運用データを用いてビルマルチシステムのCOPおよびシステム効率の分析を行った。

(1)　負荷率とCOPの相関分析

内調機冷房時の負荷率とCOPの相関図を図－７に示す。グラフに用いたデータは平日コアタイム（８時～19時）に限定している。各プロットは１分間隔の値で，運転／停止前後の数分間のデータは除いている。負荷率は定格能力基準で算出しているため，室内外の温湿度条件によっては100％を超える時間が発生している。

内調室外機の冷房運転では，負荷率は20～100％程度で分布し，最も発生頻度が高いのは40～50％である。設備容量を半減していること，オートストップ制御により通常よりも空調運転時間が短いことなどから，低負荷運転を回避し，適正な負荷率で運用できている。

(2)　月別COPの分析

月別室外機単体COPでは，内調機は年間を通じてCOP４～５，年間積算で４前後と非常に高い効率で運用できている（図－８）。設備容量半減，冷媒温度制御およびオートストップ制御の導入により高負荷率・高効率な運転を実現できていることを確認した。

(3)　冷媒温度最適化制御の実績評価

内調機室外機の冷房運転では，大部分の蒸発温度が10～15℃の範囲であり，通常の蒸発温度（６℃）に比べ高い温度で運転している。冷媒温度が高くなるに従いCOPも向上しており，高い効率で運転していることが分かる。（図－９）

(4)　オートストップ制御の発生頻度

季節別の運転モード（制御ステータス）の発生時間割合を図－10に示す。凡例の「その他制御」とは油戻し運転やデフロスト運転など，通常の冷暖房運転を行っていないモードを指す。空調負荷の大きい夏期・冬期では60％前後，負荷の小さい中間期では80％程度の割合でオートストップが発生していることが分かる。

(5)　室内機ファンの省エネ効果

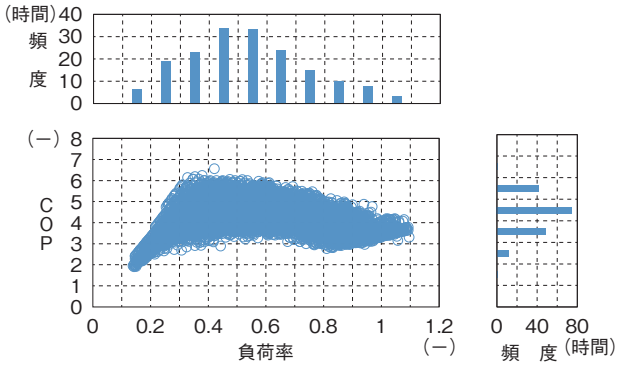
オートストップ中の室内機ファン停止による省エネ効果の検証を行った。オートストップ制御を行わない場合，室内機ファンは停止せず，最小風量で運転することになる。そこで，各月のオートストップ時間と最小風量時のファン電力を掛け合わせた電力量を削減できているものとして計算を行った。オートストップありの方が実測データであり，なしの方が上記電力量を加算した値である。各月の削減率は30～80％程度であり，大幅に削減できていることが分かる。（図－11）

(6)　空調システム効率の評価

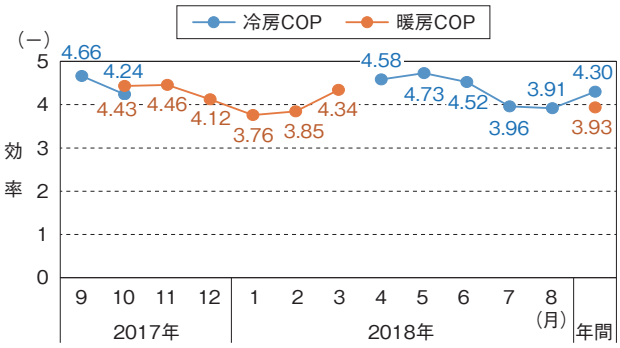
KTビルと赤坂Ｋタワー，鹿島赤坂別館の空調システム効率の比較を行った（図－12）。ここで定義する空調システム効率とは，下記のとおりシステムが処理した熱量をシステムが消費した全合計電力量で除して求める一次エネルギー換算効率である。

空調システム効率＝
（室外機処理熱量＋全熱交換器交換熱量）
÷内調系・外調系の室内外機合計電力

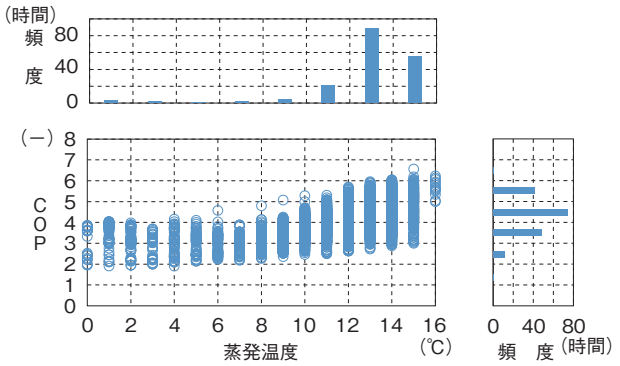
KTビルと同じく空調システムをビルマルチで構成した鹿島赤坂別館では，空調システム効率は年間実績で0.88であった。また，セミセントラル方式（セントラル方式とビルマルチの併用）を採用した赤坂Ｋタワーでは0.90であった。KTビルの年間実績値は1.33であり，これらの２つの建物に対して約1.5倍の効率を実現した。なお，４月と10月に効率が低下しているのは，空調負荷が極めて小さくなっているためである。



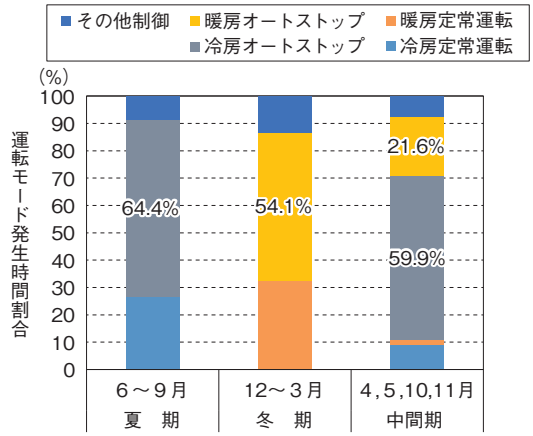
図－７　内調機 負荷率とCOPの相関（冷房）



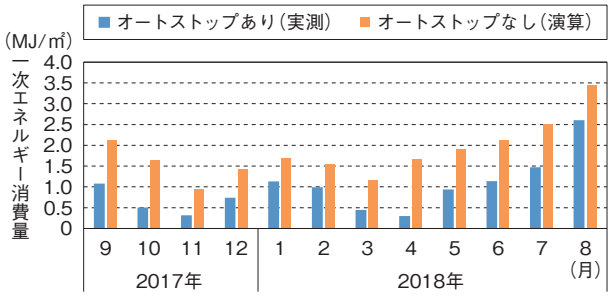
図－８　月別室外機単体COP（内調機）



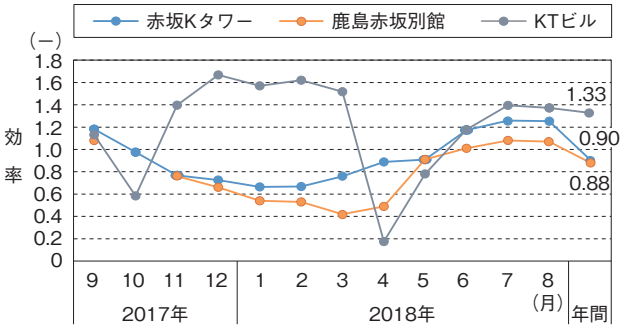
図－９　内調機 蒸発温度とCOPの相関（冷房）



図－10　運転モード発生頻度



図－11　内調系室内機エネルギー消費量の比較

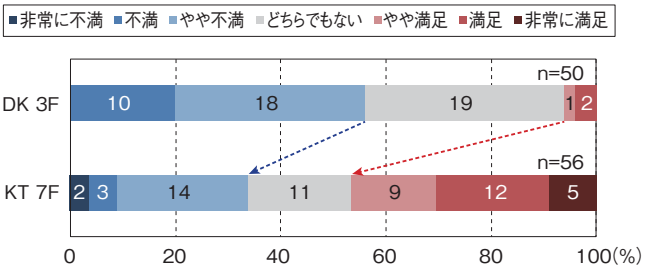


図－12　空調システム効率(一次エネルギー基準)

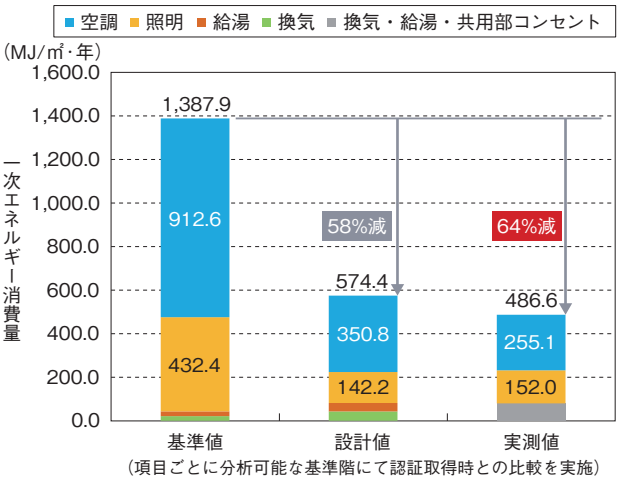
以上から，システム設計の工夫と独自の省エネ制御の導入により，既存のビルマルチシステムをベースとしながらも，トップランナーの効率を実現できることを確認した。本計画で導入したこれらの省エネ制御は他の案件へも容易に展開可能であり，ZEB Readyの普及に大きく貢献できるものと考えている。

6．働き方・ウェルネスに関するアンケート調査

快適性や働き方・ウェルネスを評価するため，個人属性やオフィス環境と執務者の健康性・快適性についてアンケート・室内環境調査を実施した。また，建て替え前に同敷地に建設されていた旧ビル(DKビル，1988年竣工)で実施した同様のアンケート・室内環境調査と比較することで，建て替え後の環境性能の向上についても検証した。



図－13　オフィス空間満足度



図－14　基準階年間一次エネルギー消費量

図－13に，机・什器などのインテリアに関するオフィス空間の環境満足度に関する調査結果を示す。DKビルと比較しKTビルのオフィス空間満足度は，不満側が減少し，満足側が増加しており，空間性能が向上したことが確認された。

7．建物全体の環境性能評価

7－1　年間エネルギー実績

2017年9月～2018年8月の基準階代表フロア(7階)での年間一次エネルギー消費量を図－14に示す。基準階年間一次エネルギー消費量(その他を除く)の基準値・設計値と実測値の比較のため，基準値・設計値においてはBELS認証時に使用したエネルギー消費性能計算プログラムから基準階1フロア分の情報を抽出し，再計算を行っている。

年間一次エネルギー消費量の基準値との比較では，設計値・実測値ともに一次エネルギー消費量の削減割合は50%以上となっている。さらに実測値においては基準値からの削減割合が64%であり，年間一次エネルギー消費量(その他を除く)がZEB Ready認証取得時の設計値同等以上であることを確認した。

7－2　CASBEE－建築2014年版による環境性能評価

本建物は，CASBEE－建築(新築)2014年版において，都市型中規模オフィスでは国内でトップレベルのスコア「BEE＝8.1」で2016年に第三者認証を取得した(現在認

証有効期限内のものでは国内トップ)。

汎用性に配慮した省エネルギー技術の採用，都市部にありながら多様な環境配慮技術を導入したことに加え，施工合理化やリサイクル材の積極的活用など，計画から施工まで一貫して環境負荷削減に取り組んだことがハイスコアを獲得した要因である。

8．おわりに

KTビルでの試みは，市場性の高い個別分散型ヒートポンプシステムをベースとして，さらなる省エネルギー制御を開発することで，都市型中規模オフィスのZEB化の普及に寄与することを期待したものである。現在，他案件にて本計画と同様の計画を要望されるなど，顧客の反応も良い。あらためて本計画にて，既製品の枠組みを超えてさまざまな開発や検証に協力いただいた工事関係者，メーカの方々に，誌面をお借りして深く感謝申しあげたい。