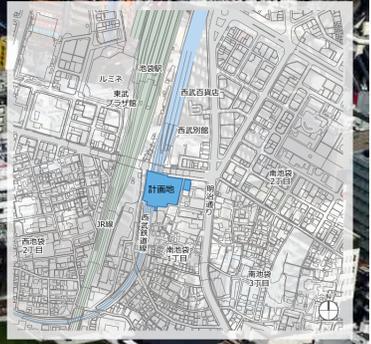




ダイヤゲート池袋

大樹の外皮で呼吸するウォールスルー併用空調システム



建築概要～池袋のシンボルツリー～

池袋の象徴となる、「新たな大樹を植える」ことが計画のコンセプトである。樹木のように構造体自身が造形の象徴となり、素材形状や無垢感を大切に計画することで、建築のもつ本来の力、ダイナミズムを「大樹」として表現した。大樹の外周部には内部と呼吸をするウォールスルー空調機が配置されている。省エネルギーやヒートアイランド抑制、ライフサイクルデザインにも配慮された、大樹のような息の長い建築を目指している。

外装デザイン

V柱と外装ブレースの構造体そのものが特徴的な外観デザインであるこのビルは、事業主である西武グループのゆかりの地に建つシンボルツリーとなる。鉄道のダイヤグラム（運行図表）を想起する外観は、事業主である鉄道会社の安全と安心のシンボルにもなる。

- 高層部はオフィス内部からのビューも意識したアウトブレースのスレンダーな部材で構成で軽快さを表現
- 免震層下部は鉄道を跨ぐ敷地条件を生かしたV字形の柱で、ダイナミックかつ重厚さを表現

夏の池袋を冷やす駅上空空間の創出

- 将来的に池袋駅と接続する鉄道上空デッキは、第2の大地と定義し、「ダイヤデッキ」という名の第2の大地をつかった。
- 人工物に覆われた都市部において、ダイヤデッキや外構部には、豊かな緑を配した屋外空間をつくり込み、憩いの場の創出とヒートアイランド対策を兼ねた。敷地の緑化率は35%以上となる。
- 電車を見下ろせるスポットや、雨天や暑い日でもくつろげる場所を生み出すなど、地域の賑わいを創出する空間とした。

大樹の風合いを加える形状、素材感

外観デザインの要素を取り入れ、大樹としての自然の風合いを加える形状、素材の使い方としている。低層部を大きな木の幹をイメージし、高層部は木の中としてみずみずしい明るい感じを想起させるようにした。



設備のコンセプト

自然エネルギー活用の省エネビル

敷地の卓越風による涼風換気や外気冷房利用を行う。超節水型衛生器具及び雨水濾過利用により、水の省資源化を図った。オフィスで使用比率の高い雑用水に対して、高い雨水寄与率を目指す。

非常時の信頼性の高い設備計画

72時間対応の発電機により想定需用電力の大半をバックアップを行う。3日分の上水・雑用水貯留及びピットに排水用貯留槽を確保し、入居者及び帰宅困難者の受け入れ対応を行う。

ヒートアイランド抑制への貢献

都心に建つ大樹のようなビルとして蒸散と排熱の分散化により、ヒートアイランド抑制の貢献を試みた。熱源機器は屋上に集中設置とし、水蓄熱槽の活用により日中の熱源機器運転による排熱を極力抑えた計画とした。外構やデッキ上の緑化を積極的に行った。

敷地と気象分析

池袋という都市部の気候特性と周囲が鉄道線路に囲まれて開けた敷地の特徴を生かした建築計画とした。

日射負荷低減に配慮したコア計画

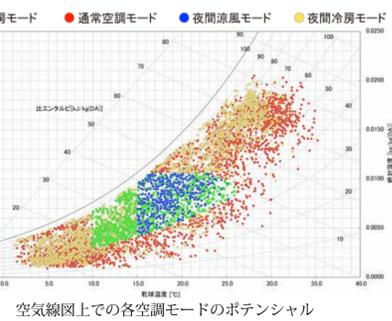
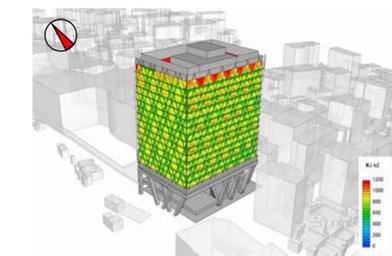
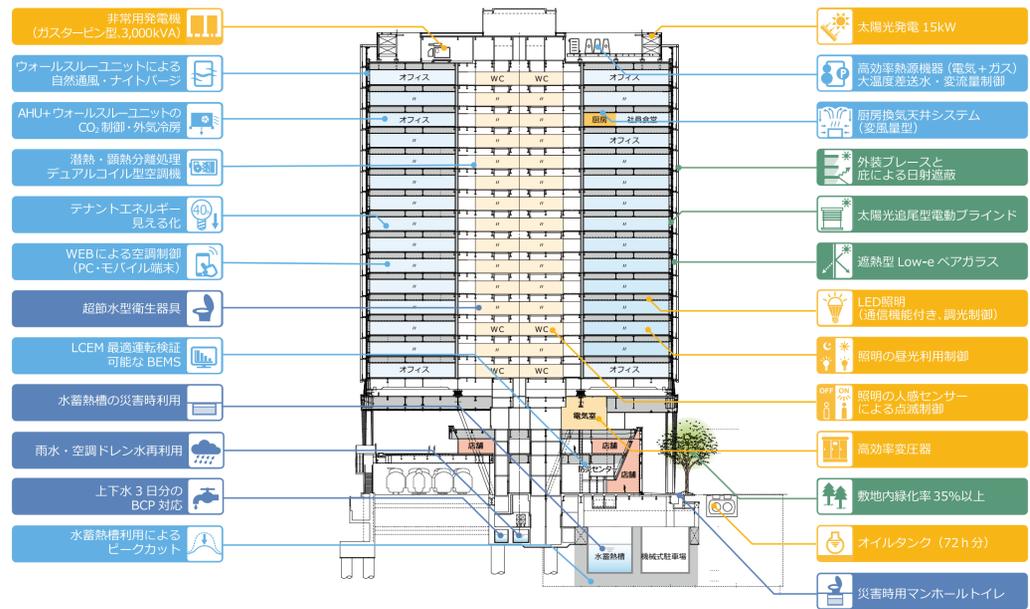
線路上空を活用した基準階オフィスは日射負荷低減に配慮をした南側コア配置北面を主体とした事務室で自然採光、眺望性を確保

卓越風を取込みやすい給気口位置

涼風換気時の自然給気取込口を鉄道上空の卓越風を取込みやすい南側外壁面に配置

都市部での自然エネルギー利用

冷涼な外気を導入する「外気冷房モード」や「夜間涼風モード」により全体の空調時間の約30%程度で自然エネルギーを活用



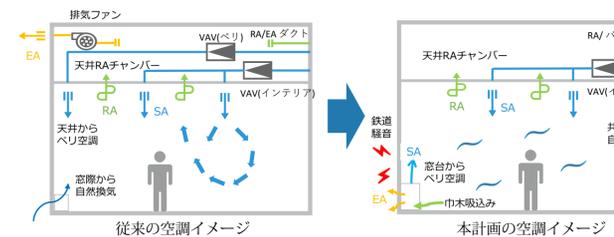
空調システムのコンセプト

WTU 併用の理由 ～テナントオフィスの室内快適性の向上～

- 温熱環境が厳しい窓廻りで一台毎に冷暖フリー運転
- 実際のテナント間仕切り対応→個別制御性・快適性を確保
- 基準階貸床レンタル比、明確な課金
- 外装デザイン、ダイナミックな2辺支持ガラスとの調和

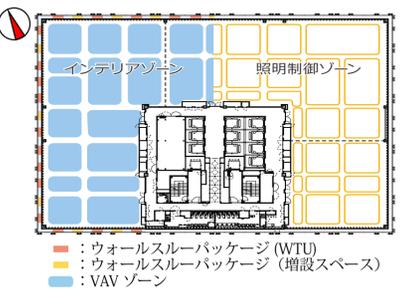
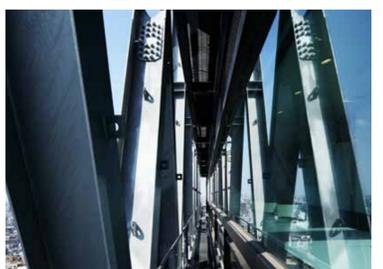
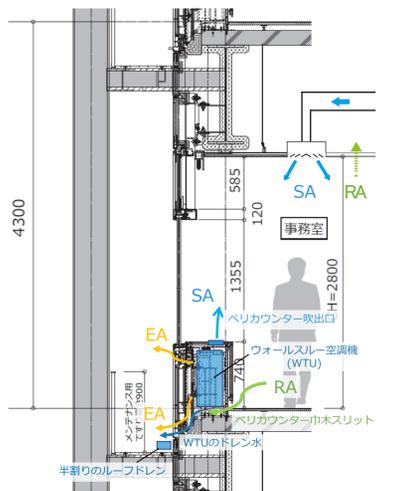
排気利用型なのか？ ～空気質と省エネ性の向上～

- 単一ダクト VAV 方式のデメリットの低負荷時の気流分布の改善
- 気流分布や空気交換効率が良い健康的なオフィスの構築
- 鉄道騒音や外気温の影響を緩和した涼風換気、外気冷房を実現



外皮で呼吸をするウォールスルー空調機

大樹の外皮で呼吸する一枚の「葉」のように外装にWTUは分散配置され、WTUは室内空気を排気（呼吸）し、室内潜熱をドレンを各階屋外で蒸発（蒸散）を行う。



空調システムと技術検証の要点

開発した空調機と技術的課題

高層ビルで排気能力を確保できるか？

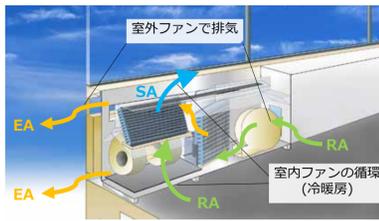
室内排気をコンプレッサの熱交換に使用するモードを追加したウォールスルー空調機 (WTU) を開発した。高層ビルの外部風圧下でも排気能力を確保することが、開発した空調機の冷暖房能力やエアバランスでの肝であり、技術的な課題を「実験」と「シミュレーション」を繰り返して検証、改善をして実用化をした。



排気利用型ウォールスルー空調機 (WTU)



基準階内観イメージ



排気運転 (冷暖房換気モード) のイメージ図

「シミュレーションでの予測と実験での検証で実用化」

2014年5月 外装スリット形状を決める検討

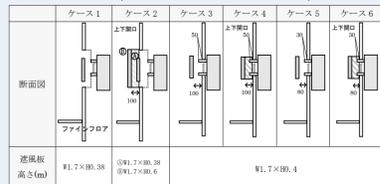
排気しやすいファサードのサッシ形状を検証

高層ビルでは外部風により外装サッシに風圧が掛かり、排気能力の低下懸念がありました。シミュレーションアプリ「Wind Tunnel」で外部風を受けにくいファサード形状を何通りも試行した後、選定した6パターンのサッシ形状にて排気風量のシミュレーション検証を行い、外装サッシの形状を決定した。

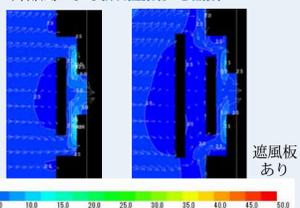
■ CFD 解析条件

CFDソフト	FlowDesigner
解析領域	正面風: 6.3m × 11.45m × 7.3m (h) 斜め風: 14.3m × 11.45m × 7.3m (h)
メッシュ	正面風: 約33万 (X:74 Y:58 Z:76) 斜め風: 約40万 (X:88 Y:57 Z:80)
乱流モデル	斜風: 約40万 (X:88 Y:57 Z:80)
差分スキーム	一時風上差分
壁面条件	速度: free-slip 壁面: 一般化対数則
流入条件	流速規定
流出条件	自由流出
外部風条件	① 30.0m/s (東京の最大瞬間風速) ② 16.0m/s (東京の最大風速、東京タワー107m地点での最大風速) ③ 4.0m/s (東京の平均風速)
ガラス開口面積	0.12m ² (W0.6 × H0.2)
ファンの機外静圧	34.3Pa
発熱条件	—

■ 検討ケース (遮風板の有無・位置・長さ)



外装の排気スリットを上下2段に分散外部風による排気量減少を低減

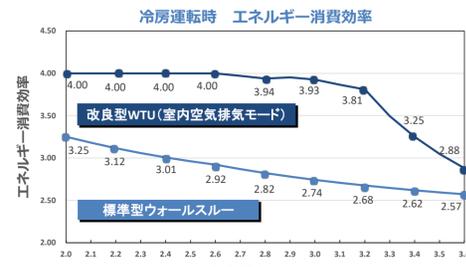


平面図と風向の検討ケース

排気利用型ウォールスルー空調機の概要

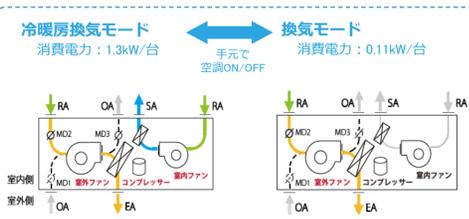
WTUの運転パターンは「排気運転」と「循環運転」大きく2種類ある。標準機は「循環運転」のみだが、本計画では外装サッシやチャンパー形状の工夫を実施し、超高層ビルで室内空気を排気可能な機器を開発した。

排気運転により、空調システム全体でCO₂制御や外気冷房・自然通風対応など多機能化と付加価値向上を図った。

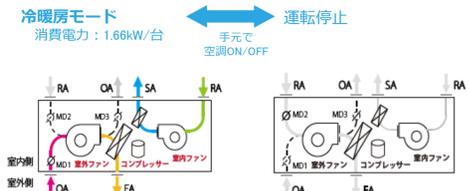


夏季は室外よりも低い温度条件、冬季は室外よりも高い条件で運転標準型に比べてエネルギー消費効率30%程度向上

排気運転 (本件にて開発、特許取得)



循環運転

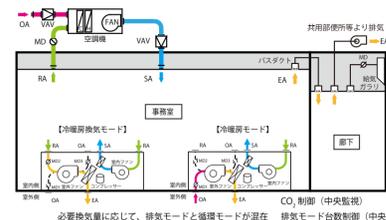


オフィスの空調システム

～排気利用型ウォールスルー併用空調システム～

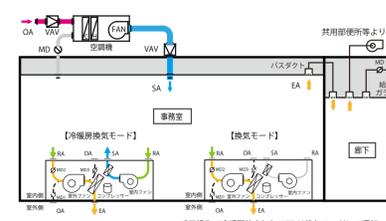
①通常空調モード

室内CO₂濃度により、排気運転のWTPの台数制御をしながら運転を行う。WTUの排気量に応じて外気取入VAVの比例制御を行い、排気した分の外気導入を行う



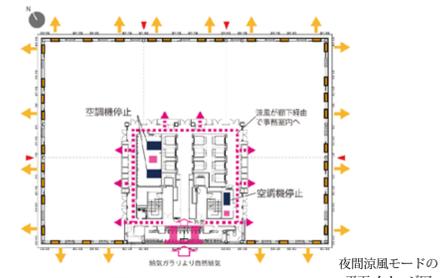
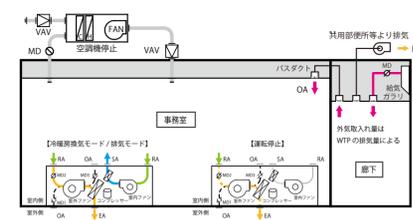
②外気冷房モード

空調機は全外気運転となり、WTPは全台排気運転を行う。空調機から外周部のWTPへの流れとなり、12m³/h/m²(約4.5回換気)の高性能フィルターを通した外気冷房が可能



③夜間涼風モード

廊下の外気取入用モーターダンパーを開放、廊下を給気経路としてWTUの排気運転を行う。外周部のWTUに向かう空気の流れで快適性と必要換気量を維持しながら省エネ運転



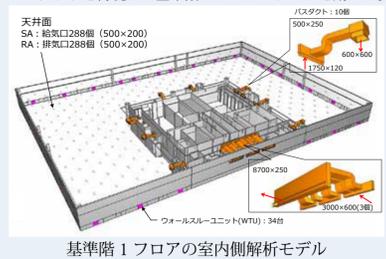
2017年4月 BIMモデルを活用した基準階解析モデル

解析モデル概要

躯体は建築BIMから空調ダクトは設備BIMから取り込んで解析モデルとした。

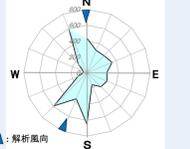


室内側は天井制気口、外周部のWTU、給気ガラリ及びバスダクトを再現した基準階1フロアのデータを用いた。



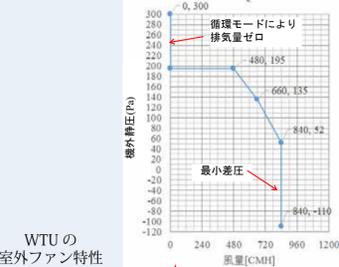
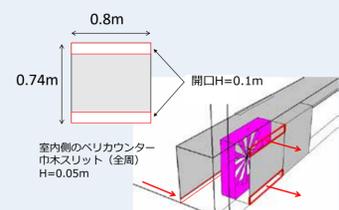
■ CFD 解析条件

CFDソフト	STREAM
解析領域	113m × 90m × 12.3m(h)
メッシュ	約600万 マルチブロックでメッシュ細分化 (最小メッシュ X:0.05 Y:0.05 Z:0.03)
乱流モデル	標準k-εモデル
差分スキーム	QUICK
壁面条件	速度: 壁面: 一般化対数則 温度: 断熱
流入条件	外部風速: 微風速 (0.1m/s), 5.0m/s, 10.0m/s (春～夏) 外部風向: SSW, N 外部温度: 18℃, 15℃ (5月), 35℃ (8月) 空調: 流量規定 外部: 表面圧力境界 空調: 流量規定 ※検討ケースによってはWTU機器特性を反映
流出条件	空調: 流量規定
発熱条件	日射負荷: 曇天、5月の日射量、8月の日射量 ※射撃の当たる面はブラインドを閉じた条件 内部負荷: オフィス空間の発熱エリアに空間発熱 高負荷: 51.0W/m ² (人体0.2人、照明10W、コト30W) 低負荷: 22.8W/m ² (人体0.05人、10W)
ガラス性能	日射熱取得率0.41
空調モード	選択可能な4種のうち3種類 「通常空調モード」: コアタイム時間帯 「外気冷房モード」: 中間期 「夜間涼風モード」: 残業時



■ WTUの室外ファン特性

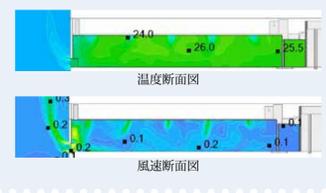
WTU形状は実大サッシ形状と取りまわりを参考にし、サッシと接続した実大実験結果と制御方法を考慮したWTUの室外ファン特性を与えた。



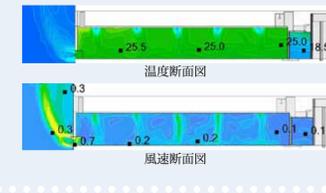
2017年5月 各空調モード時の基準階室内環境

外気冷房モードは、無風時で4.5回/h程度を確保。日射があり内部発熱を最大限に見込んだ条件でも、中間期では通常空調時に近い温熱環境になることが分かった。夜間涼風モードでは、約3回換気程度の涼風効果により26~27℃程度の涼風効果により26~27℃程度の良好な室内環境となった。

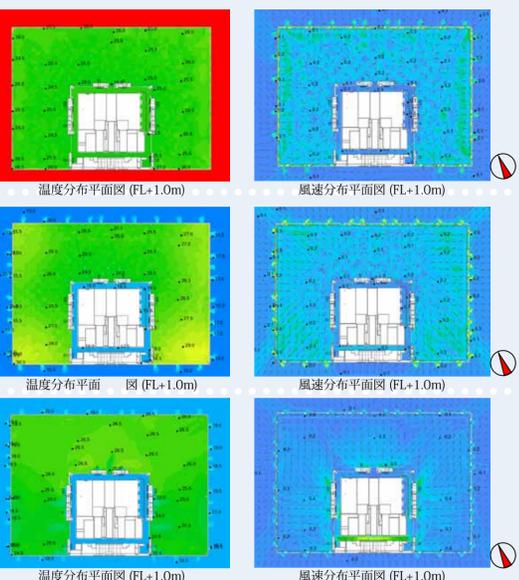
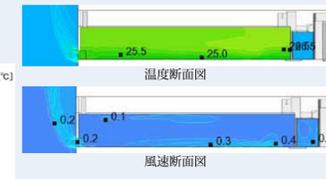
通常空調モード



外気冷房モード



夜間涼風モード



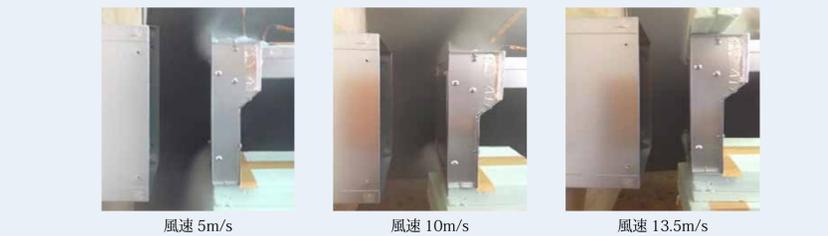
2014年8月 縮小スケールの模擬サッシ実験

風圧に対して目標排気量が確保できるか検証

CFD検討で決定したサッシ形状にて縮小スケールのサッシ模擬品を製作。耐風圧試験装置により模擬した屋外風の風角度や風速を変えてファンの風量を測定。
・風速: 5m/s, 10m/s, 13.5m/sで排気可能風量を測定
・風角度3種類 (正面, 斜め45°上, 斜め45°下) で排気可能風量を測定
→サッシ正面よりも斜めにずれると排気量は低下するが、可視化実験にて上下片方の開口が排気口となり、排気が可能なることを確認



縮小スケールの模擬サッシ



風速 5m/s

風速 10m/s

風速 13.5m/s

2017年3月 実大サッシと接続した実験

WTUの水密・耐風圧性能を検証

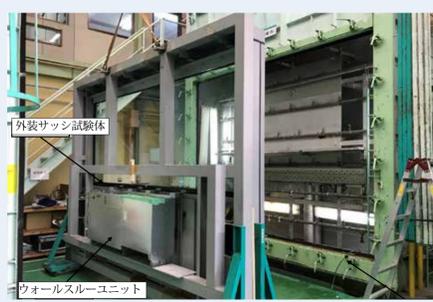
CFD検討と縮小模擬サッシ実験によって決定した実大の外装サッシにWTU実機を接続して試験を実施。水密・耐風圧性能の他、WTU排気能力試験及びWTU各モーターダンパーの動作を確認した。

動的耐風圧性能試験

循環運転 (冷暖房モード) に設定したWTUに対して正圧3.980Pa (風速81.4m/sec)、負圧-3.760Pa (風速79.2m/sec) 時において有害な残留変形・破損が無いことが無いことを確認

水密性能試験

循環運転 (冷暖房モード) に設定したWTUに対して正圧3.980Pa (風速81.4m/sec)、散水量8L/m²/min、水流量30L/min時において、WTUやサッシとの接合部からの漏水が無いことを確認



WTUの排気能力を検証

排気能力試験

・冷暖房能力確保のためには480CMH排気能力が必要
→正圧・負圧とも200Pa (風速18.3m/s) まで480CMH以上の風量
・正圧時は抵抗が増加するため排気量が減少する一方、負圧時は排気量が多くなりすぎることがわかった

試験圧力 (風速換算)	目標風量	排気風量
60Pa (約10.0 m/sec)	840CMH	1,130CMH
130Pa (約14.7 m/sec)	660CMH	923CMH
200Pa (約18.3 m/sec)	480CMH	674CMH
-60Pa (約10.0 m/sec)	840CMH	1,054CMH
-130Pa (約14.7 m/sec)	840CMH	1,100CMH
-200Pa (約18.3 m/sec)	840CMH	1,130CMH

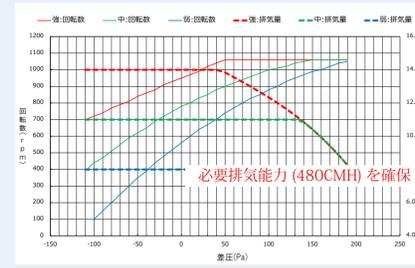
排気能力試験結果

2017年4月 実験後の改良

WTUの制御を改良→CFDに反映

室外ファンの制御変更

・等回転数制御から可変速回転数制御へ変更
・変更後の可変回転数制御では195Pa (風速換算約18m/s) でも必要排気能力 (480CMH) を確保→冷暖房能力の担保が可能
・正圧・負圧を検知可能な耐風圧センサーにセンサーを改良



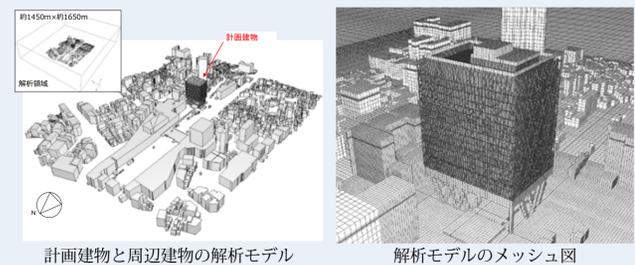
室外ファンモーター特性【可変速回転数制御】

「実環境に近い建物内外環境の詳細検証」

2018年 4月 周辺建物を含めた解析モデル

計画建物と周辺建物の解析モデル

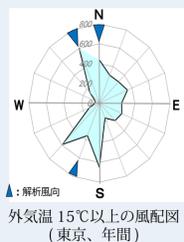
- 約 63m × 約 45m の建物、約 780m × 約 910m 程度の領域で周辺建物データを取り込んだ
- 周辺が開けている外部風による影響を把握するため計画建物を含めた建物全体を対象としてより実際の環境に近い精緻な解析を行った



CFD 解析条件

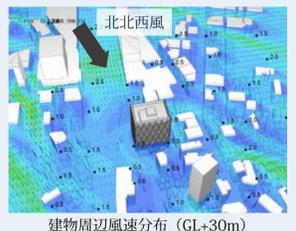
室内側は、従前の検討と同様に基準階 1フロアの天井面制気口、外周部の WTU、給気ガラリ及びバスダクトを再現した基準階 1フロアのデータを用いた

CFD ソフト	STREAM	
解析領域	1450 m × 1650 m × 400m(h)	
メッシュ	約 4,300 万 (最小メッシュ X:0.07 Y:0.07 Z:0.03) 室内解析フロアの 7F,11F,15F はマルチブロックでメッシュ細分化	
乱流モデル	標準 k-ε モデル	
差分スキーム	QUICK	
壁面条件	速度	上面・側面: free-slip 下面: べき乗則
	温度	壁面: 一般化対数則 断熱
流入条件	外部風速: べき乗則流速 (粗度区分IV)、基準高さ 5.0m/s 外部風向: SSW, N, NNW 外部温度: 18℃ 空調: 流量規定	
流出条件	外部: 表面圧力境界 空調: 流量規定 ※検討ケースによっては WTU 機器特性を反映	
発熱条件	日射負荷: 曇天、5月の日射量、8月の日射量 ※直射の当たる面はブラインドを閉じた条件	
	内部負荷: オフィス空間の発熱エリアに空室発熱 低負荷: 22.8 W/m ² (人体 0.05 人、照明 10 W、コンセント 10 W)	
ガソ性能	日射熱取得率: 0.41	



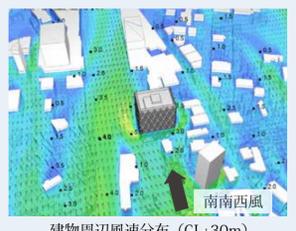
北北西風条件

計画建物北側及び、鉄道軌道を含んだ北北西方向に大型建物があるため、北北西風は高さ 30m 程度までは風速は減衰し、高さ 60m 以上でも 2.0m/s 程度となった。



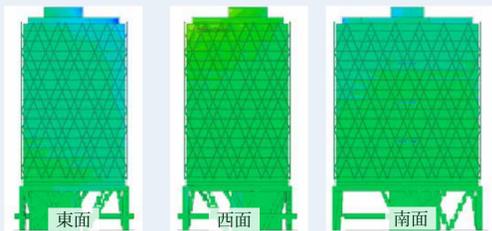
南南西風条件

計画建物南側や西側は鉄道軌道があるため開けた空間である。南南西風は減衰せずに建物に当たり、風上の南側壁面は正圧となった。高さ 60m 以上では周辺に高層建物が少ないため、風速は 5m/s 程度となった。

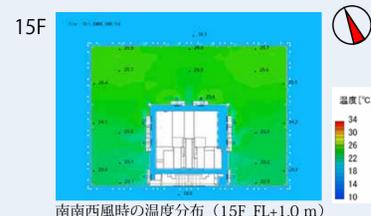
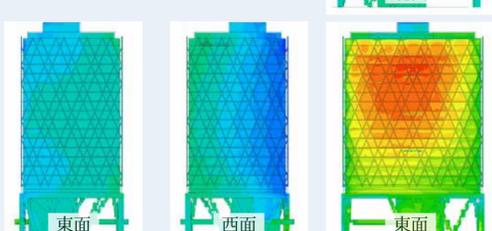


周辺建物を含めた建物外装の解析

- 風上側の北面や西面は高さに寄らず風圧係数は 0-0.4、壁面圧力は 10Pa 程度。
- 風下となる南面や東面では、60m 以上の高層部の風上側の一部で -10-20Pa 程度の負圧となった。



- 風上側の南面の風圧係数 0.5-1.0、壁面圧力最大 20Pa 程度。
- 給気ガラリが位置する南面中央部が周辺よりも高い傾向。風下となる北側壁面は全体的にやや負圧で、風圧係数 -0.2 ~ -0.4、壁面圧力 -5Pa 程度。



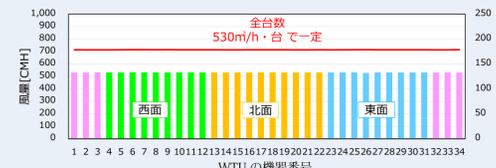
涼風モード解析結果

WTU 排気ファン活用で風の有無や風向に依存しない涼風効果の安定性

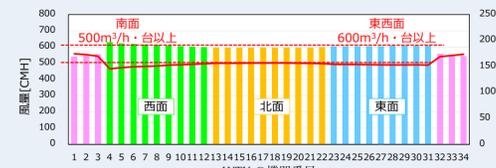
高さや風向で換気量に若干の差はあるが、いずれも約 3 回換気以上の涼風効果高層階ほど建物の負圧面での室内外差圧が小さく、各 WTU による排気量が多くなる傾向があり、1フロアあたりの換気量も多くなった。

高さや風向による換気量及び換気回数

回数 (高さ)	南南西風	北北西風	北風	無風
15F (72 m)	20,201 m ³ /h (約 3.4 回/h)	19,467 m ³ /h (約 3.3 回/h)	18,610 m ³ /h (約 3.3 回/h)	18,006 (約 3.1 回/h)
11F (54 m)	20,134 m ³ /h (約 3.4 回/h)	19,508 m ³ /h (約 3.3 回/h)	18,690 m ³ /h (約 3.3 回/h)	
7F (37 m)	18,337 m ³ /h (約 3.1 回/h)	17,927 m ³ /h (約 3.1 回/h)	17,830 m ³ /h (約 3.1 回/h)	



無風時の WTU 排気量及び風圧 (代表基準階)



南南西風時の WTU 排気量及び風圧 (15F)



「実測+アンケートによる実環境の検証」

2019年 1月 竣工前検証

竣工前の気流環境と換気性能を検証

気流環境検証

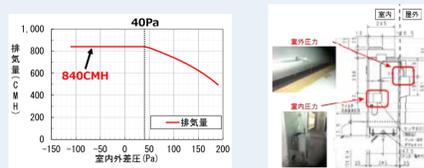
居住域では 0.1-0.2m/s 程度の微風が流れ
冷房時に不快とされる許容限界値の 0.25m/s 以下



トレーサーガスによる検証 スモークによる気流の可視化

換気性能検証

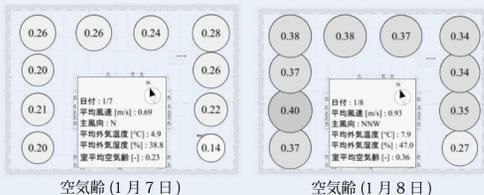
外周部の各方位で WTU に内蔵の差圧計により、室内外差圧測定を行っており、換気量は差圧測定結果と WTU の室外ファン特性から算出を行った。



排気量と室内外差圧の関係 + 室内外差圧測定結果

実測各日の気象条件と換気量

日付	1/8	1/9-①	1/9-②	1/11
主風向	N, ESE	WNW	WNW	NW, WNW
平均風速 [m/s]	0.68	3.92	3.76	3.47
合計換気量 [m ³ /h]	28,560	28,480	28,517	28,270

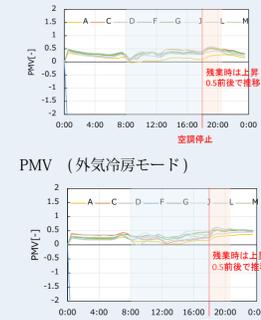


2019年 5月&8月

各空調モードでの室内環境を検証

- 各空調モードともに PMV は概ね -0.5 ~ +0.5 の快適範囲
- 室内風速は各空調モードでインテリア・ペリメータともに夏季冷房時の推奨風速 (0.25m/s) 以内となり、ドラフトを感じない程度の微気流が流れている

PMV (通常空調モード)



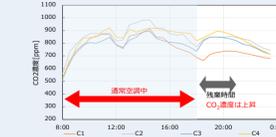
室内風速 (通常空調モード)



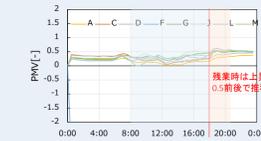
上下温度分布 (通常空調モード)



CO2 濃度 (通常空調モード)



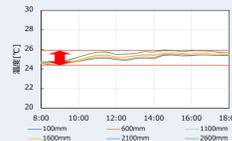
PMV (外気冷房モード)



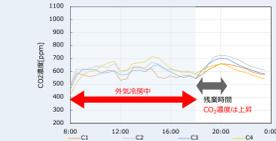
室内風速 (外気冷房モード)



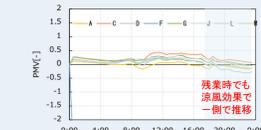
上下温度分布 (外気冷房モード)



CO2 濃度 (外気冷房モード)



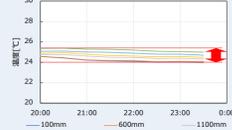
PMV (夜間涼風モード)



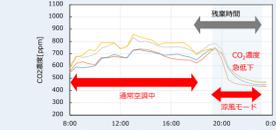
室内風速 (夜間涼風モード)



上下温度分布 (夜間涼風モード)



CO2 濃度 (夜間涼風モード)

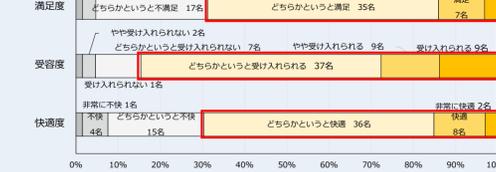


竣工後 春期及び夏期実測&アンケート

冷房時の微気流による快適さを確認

夏季冷房時の執務者アンケート 気流を快適に感じる側の人約 85% を占め、多くの執務者が気流環境を快適に感じていることが確認された。

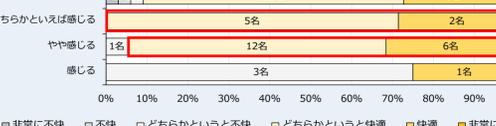
執務空間の満足度・受容度・快適度評価



気流による快適感



気流感と気流による快適感の相関



「参考文献、特許」

- 学会発表 「室内の排気熱をカスケード利用した改良型設置ウォールスルー空調システムの検討」
- 2016年 空調和衛生工学会大会学術講演論文集, vol. 3, pp.213-220, 2016.9
- その1 改良型設置ウォールスルー空調機の実大性能実験結果, その2
- 2017年 空調和衛生工学会大会学術講演論文集, vol. 3, pp.193-204, 2017.9
- その3 改良型設置ウォールスルー空調機の実大性能実験結果, その4 CFD の BIM 連携と境界条件, その5 外気冷房, 自然通風時の CFD 解析結果
- 2018年 空調和衛生工学会大会学術講演論文集, vol. 3, pp.193-204, 2018.9
- その6 周辺建物を含めた自然通風の CFD 解析結果

- 2019年 SBE 2019 (Sustainable Built Environment Conference) 発表
- Part1 Outline of the wall-through type air conditioning system for a high-rise office building, which cascade-uses the exhaust heat
- Part2 CFD study with consideration of surrounding buildings of wall-through type air conditioning system
- Part3 Actual performance study on natural ventilation effect of wall-through type air conditioning system for a high-rise office building
- 2019年 空調和衛生工学会大会学術講演論文集
- 「排気利用型ウォールスルー併用空調システムを導入した高層オフィスの性能検証および運用評価」
- 第1報 建物概要・空調システムの概要, 第3報 涼風換気時の竣工前検証結果

- ・特許申請
- 排気対応型設置ウォールスルー空調機及びこの空調機を備えた空調システム
- 特開 2018-17431 (P2018-17431A)