

環境共生型公共施設における省エネルギー手法の導入について

エコアイテム導入効果の実測結果とCFDによるアースチューブ性能の検証

青木 貴均* 尹 奎英** 旗手 康信*** 若目田 郁夫**** 吉岡 沙野** 奥宮 正哉*****

Concerning the Introduction of the Energy Conservation Technique in the Environmental Symbiosis Type Communal Facilities

Verification of the measurement result in terms of the effect of the eco-item introduction and earth tube performance by CFD
by Takahiro AOKI, Gyuyoung YOON, Yasunobu HATATE,
Ikuro WAKAMEDA, Saya YOSHIOKA and Masaya OKUMIYA

Abstract

Recently, the importance of the design construction case has been highlighted from global environmental protection and energy conservation perspectives. However, proper validation is indispensable to promote facilities by natural energy to design, construct, and evaluate the amenity and calculate the effect of the energy reduction. This paper indicates the energy performance of the building was verified for environmental communal facilities, where various eco-items, such as air flow windows and earth tubes using an underground pit, were equipped. Moreover, it included a comparison with the measurement result and forecast an external dewfall in the earth tube, with the utility evaluated by CFD.

要 旨

近年、地球環境保全や省エネルギーの観点から、地中熱や自然換気を利用した設計施工事例が増加している。しかしながら、これら自然エネルギーを利用した施設の普及を推し進めるためには、快適性の評価やエネルギー削減効果の算定など、設計・施工・運用において適切な検証が不可欠である。本例では、地下ピットを利用したアースチューブやエアフローウィンドウなど、各種エコアイテムを採用した環境共生型公共施設を対象として、建築物のエネルギー性能を検証した。また、流体解析技術（CFD）を利用して、アースチューブ内の外部結露の予測や実測結果との比較を行い、その有用性について評価を行った。

キーワード：省エネルギー／アースチューブ／実測調査／自然換気／CFD／結露

1. はじめに

温室効果ガスによる気候変動の深刻化や、化石燃料枯渇の懸念から、低炭素社会の実現に向けた議論が活発に行われている。国内では2050年までの長期目標として、二酸化炭素排出量を1990年度比で50～80%削減する事を目指しており、その前段階として、2025年度までに1990年度比で25%削減する事を国際公約として掲げている事から、今後さらなる省エネルギーに配慮した建築物の需要が増加するものと思われる。しかしながら、現在用いられているアースチューブ（以下、ET）やアトリウムなどの自然換気設備の有効性については、設計段階ではその効果

が算定されているものの、施工後の省エネルギー効果について検証している事例は限られており、各社が自社データとして測定・検証した結果を所有し、営業ツールとして活用しているのが現状である。それでも、環境配慮型設備導入時のイニシャルコスト・ランニングコストを算定できる事から、顧客への宣伝効果はかなり大きい。そのため、当社内でもその価値を重要視しているが、現状では測定自体が困難であることに加え、たとえ実測データを取得しても、結果の有効性検証からデータ整理・解析、エネルギー削減効果の算定など、業務自体に深い専門性が必要な上、作業時間が膨大となるため、当社単

* 技術研究所化学環境研究室

*** 青島設計

***** 名古屋大学環境学研究所

** 名古屋市立大学芸術工学研究科

**** 名古屋支店設備部門

独での対応が困難であった。本件では、名古屋大学・青島設計・施設職員など各関係者の協力を得る事により、名古屋市内で施工した環境配慮型の公共施設を対象にして、ETなどエコアイテムによる温度低減効果を計測し、建物のエネルギー削減効果を定量した。また、CFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体解析）を用いて、ETの結露発生箇所の推定や分岐経路の影響について検証した。

2. 対象建物とシステムの概要

対象建物は名古屋市に所在する行政支援・福祉施設である。2010年春に竣工されたこの建物は、延べ床面積が約9800m²・地上4階の鉄骨造建物となっており、公共施設として、支所・地区会館・保健所・図書館などがある。

これらの施設を結ぶ共用空間として、建物の南側に共用ホールを設置し、利用者のアクセスと利便性を高めている（図1参照）。この共用ホールの床面積は約730m²となっており、施設全体で利用者の往来が最も多い。また、共用ホールの天井高は6.5mで、南側の外周部は広いガラス窓となっている。

本施設には環境共生に向けた各種の省エネ手法を取り入れており、太陽光発電・屋上緑化・雨水利用などが採用されている。また、前述の共用ホールには、ETと簡易エアフローウィンドー（以下、AFW）を採用している（図2参照）。

共用ホールは、ガスエンジンヒートポンプ（以下、GHP）を熱源とするパッケージ型エアコン（以下、空調機）により冷暖房を行っている。また、外気負荷低減のためにETを採用し、窓からの日射熱取得を抑えるためにAFWを設置、屋上・壁面緑化を行っている。さらに、室内負荷を低減する目的で、床吹き出し空調方式による居住域空調を行っている。

ETは地下ピットの人通路（600）を用いる事で、外気導入路を確保した。経路の全長は約120m、ピットの高さは約1.5mであり、地下ピットの全面積1900m²のうち、5割をETとして活用している。また、ETは建物の北西側から外気を取り入れ（取り入れ外気量は1500m³/h）、地下ピットを経由して、共用ホール用の空調機へ外気を導く。

AFWは高さ約6.5m、長さ約80mで東西に延びている。シングルガラスの室内側にロールスクリーンが設置されており、天井部には換気窓を有する。ロールスクリーンに当たった日射熱は、上昇気流により換気窓を通して外へ排出される。（図2参照）



図1 対象建物平面図（3F平面）

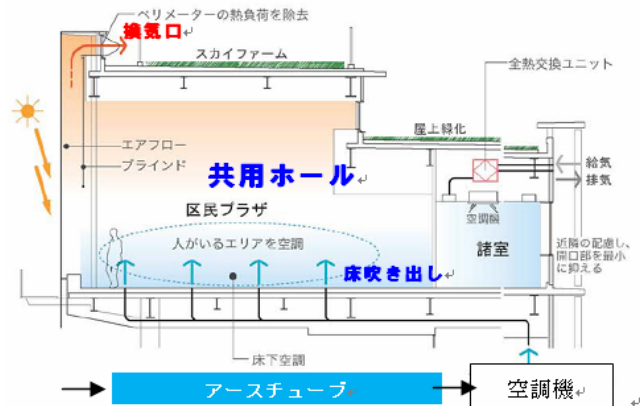


図2 共用ホール周りの省エネ取組み

3. 実測概要と評価指標

計測対象およびその手法・機器を表1に示す。温湿度の計測については、7月から連続測定を開始し、期間中のサンプリング間隔は5分とした。今回は夏期（8月）の計測結果を示す。

評価指標は、共用ホールにおける空調負荷削減・ホール内の温熱環境快適性・空調用エネルギー消費削減量とした。空調負荷削減については、ETによる外気負荷削減効果と、AFWによる室内負荷削減効果が主な対象となる。

表1 計測手法・計測機器の概要

設置場所	計測ポイント	計測機器	品番/型番	メーカー名
共用ホール	風速	熱線風速計	MODEL6034	日本カノマックス
	温度・湿度	おんどとり	TR-71S/71U	ティアンドデイ
	温度・風速	熱線風速計	MODEL6011	日本カノマックス
		熱線風速計	MODEL6002	日本カノマックス
		熱線風速計	MODEL6003/6004	日本カノマックス
	PMV	PMV計	AM-101	京都電子工業
	床吹出風量	風量計	SWF-125	コーナー札幌
AFW上部出口	熱線風速計	MODEL6542	日本カノマックス	
機械室	ファン動力	クランプ	CL-22AD、PC520M	三和電気計器
		データロガー	RVR-92	ティアンドデイ
	温度・湿度	おんどとり	TR-79U	ティアンドデイ
アースチューブ・屋上・スラブ下	風速	熱線風速計	AM-14SD	佐藤商事
	部材表面温度	表面温度計	TR-71Ui	ティアンドデイ
屋上	温度・湿度	おんどとり	TR-73U/TR-92S	ティアンドデイ
	日射量	全天日射計	MS-902	英弘精機
	日射量用	データロガー	GL-800	グラフテック社

4. 実測結果

4.1 AFW と ET の空調負荷削減効果

図3にET内一出入口空気温度の経時変化を示す。8/3～8/27の間、外気取り入れ直後のピット内温度は最高で36.0であり、期間平均で30.5であった。ETの取り入れ口から35m地点、120m地点（取り出し口）の期間平均温度は、それぞれ25.5、24.7であり、取り入れ外気温度がETを通る事により、下降した事がわかる。

図4にET内一出入口空気絶対湿度の経時変化を示す。外気の絶対湿度変動に対して、ET内出口空気の絶対湿度変動は小さい。また、ET内出口空気の絶対湿度は外気の絶対湿度に比べて高くなっている時間帯が多くみられた。この結果により、ETを通過する事で、取り入れ外気は加湿されたこととなる。この理由として、ピット表面からの結露水、コンクリートからの吸放湿、雨水や地下水の浸透など外部からのピットへの流入などが考えられる。

図5にET内のピット表面温度と外気の露点温度を示す。8/3～8/9までの間は外気の露点温度はピット表面温度に比べて低く、結露発生の可能性はないと考えられる。一方、8/10～8/15の間は外気の露点温度が比較的高く、ピット表面温度よりも、露点温度が高い時間帯がみられる事から、この時間帯については、ピット表面での結露が起こる可能性があると思われる。しかしながら、現場確認の際には、ピット表面の濡れは確認できなかった。

図6にETによる交換熱量の経時変化を示す。交換熱量は外気の比エンタルピー変化量から算出した全熱交換量と、温度降下量から算出した顕熱交換量をそれぞれ示す。検討期間中の外気負荷（空調機のレターン空気（以下、換気）と外気の比エンタルピー差をもとに算出）は平均で32.9MJ/h、期間積算で10.65GJである。

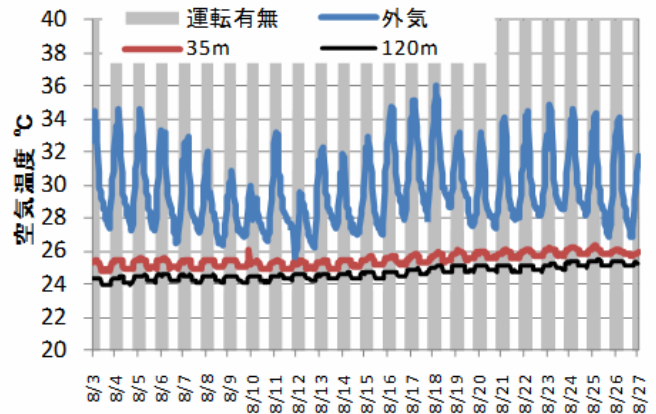


図3 ET内出入口空気温度の経時変化

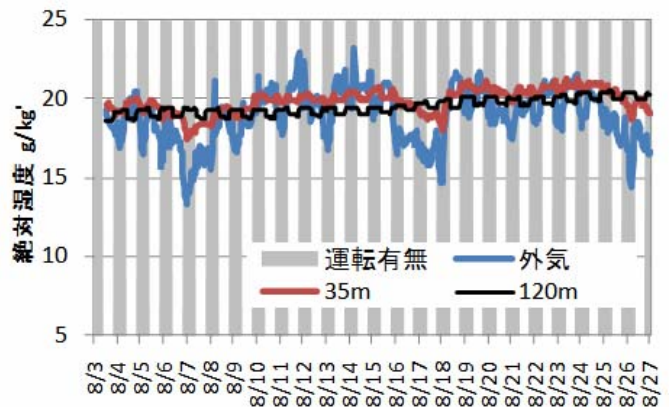


図4 ET内出入口空気絶対湿度の経時変化

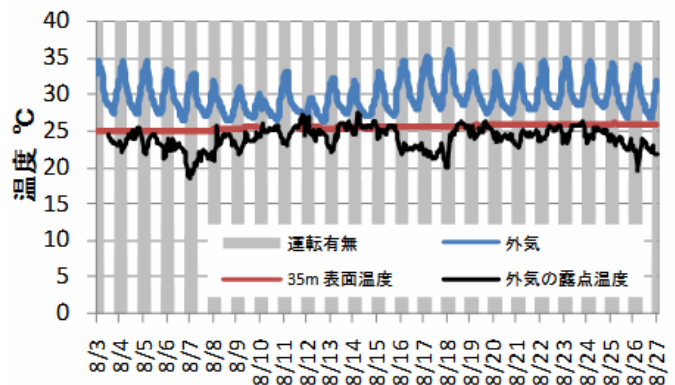


図5 ET内表面温度（取入口35m地点）

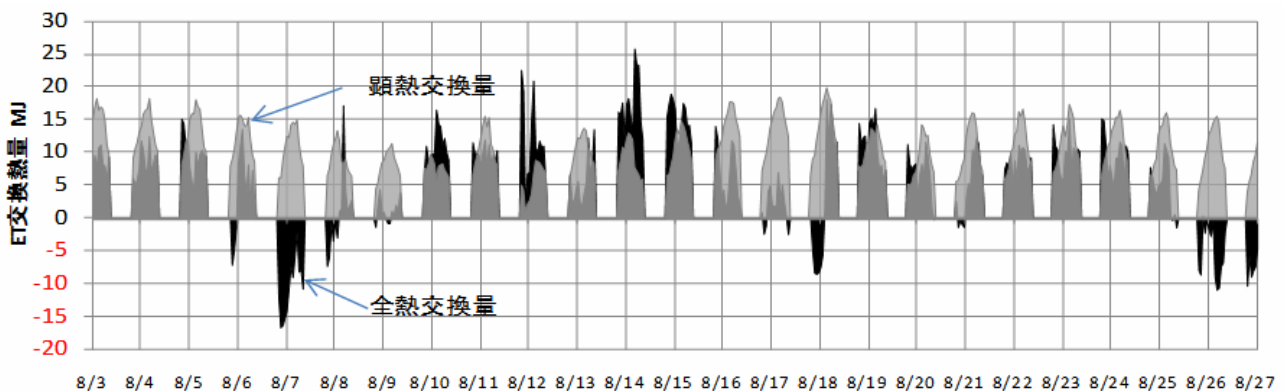


図6 ET交換熱量の経時変化

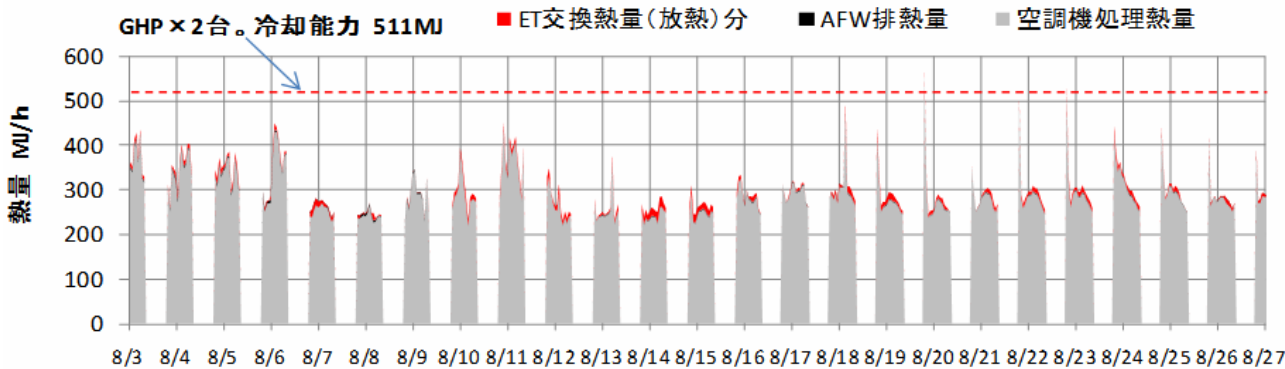


図7 空調機処理熱量とET・AFWの負荷削減量

図6の全熱交換量を確認すると、8/3～8/9、8/18、8/26～8/27の間にマイナス値となり、この時間帯はETにより外気負荷を増加させる結果となった。検討期間中、ETにより外気負荷低減に寄与した全熱交換量は2.34GJであり、逆に負荷を増やした全熱交換量は0.34GJと試算された。結果的に検討期間中の外気負荷削減量は2.0GJとなるため、ETによる外気負荷低減率は18.7%となる。これに対して、顕熱交換量は期間平均で11.2MJ/h、期間積算で3.63GJ（外気負荷の約34.1%）となる。つまり、ET内の湿度が低減できれば、外気負荷低減率は約34.1%まで見込めるものと考えられる。

空調機の負荷削減効果について、図7に空調機の処理熱量とET交換熱量、AFWの排熱量を示す。

AFWの排熱量は、排気量（300CMH）と空調機の換気量並びに、排気との比エンタルピー差を基にして算出した。しかしながら、AFWの排気温湿度は欠測している為、今回は温度については外気温度と、絶対湿度は換気湿度と等しいと仮定した。この仮定により、今回の効果算定は安全側の見積もりになっている。8/3～8/27の検討期間中において、空調機の処理熱量積算値は、94.3GJ（8.7GJは外気負荷処理分）であり、ET交換熱量は2.0GJ、AFW排熱量は0.6GJであった。この結果から、ETとAFWによって削減できた空調処理熱量は2.6GJとなるため、期間積算処理熱量の約2.8%と試算された。

4.2 居室内の温熱環境検証

図8にPMV（Predicted Mean Vote：予想平均冷温感申告）の経時変化を示す。PMVの計測は7/31の10時40分から約6時間行った。計測点は、共用ホール中央部のAFW窓付近1.5m地点である。クロ値（Clo値：着衣の断熱・保温性を示す指標）と、Met（Metabolic equivalent：活動量を示す指標）値

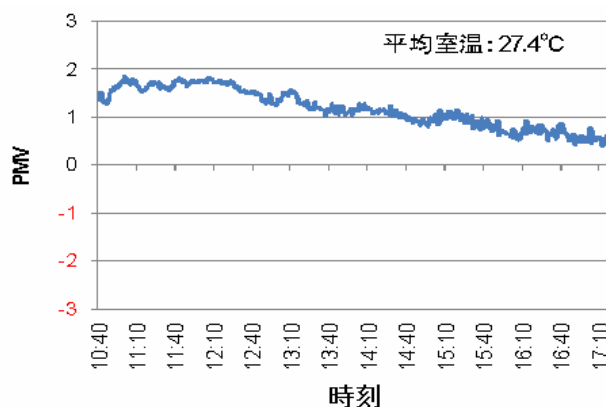


図8 共用ホール内部のPMV計測結果（7/31）

はそれぞれ0.6、1.2とした。PMV値の平均値は1.2となるため、利用者はやや暑く感じる結果となっている。この理由として、共用ホール内の設定温度は28となっており、当日の平均室温は27.4となったため、温度差が小さい事が主な原因として考えられる。実際の快適性については、施設管理者からのヒアリングでも問題点はなく、共用ホールの居室内温熱環境は、良好な環境が保たれている事を確認した。

5. 空調負荷削減による省エネ効果

ETとAFWにより削減された空調負荷から得られるGHPのガス消費量削減量を算出し、省エネ効果の試算を行った。検討期間中において、GHPのガス消費量と空調機処理熱量から、時刻ごとのGHPによるCOP（Coefficient Of Performance：冷暖房平均エネルギー消費効率）を算出した。また、ETとAFWにより削減できた空調負荷削減量を、算出したCOPで除することで、ガス消費量の削減量を算出した。検討期間中のガス消費量は、平均で4.8Nm³/h、期間積算で1543Nm³であった。図9にETとAFWを採用したことによって削減できたガ

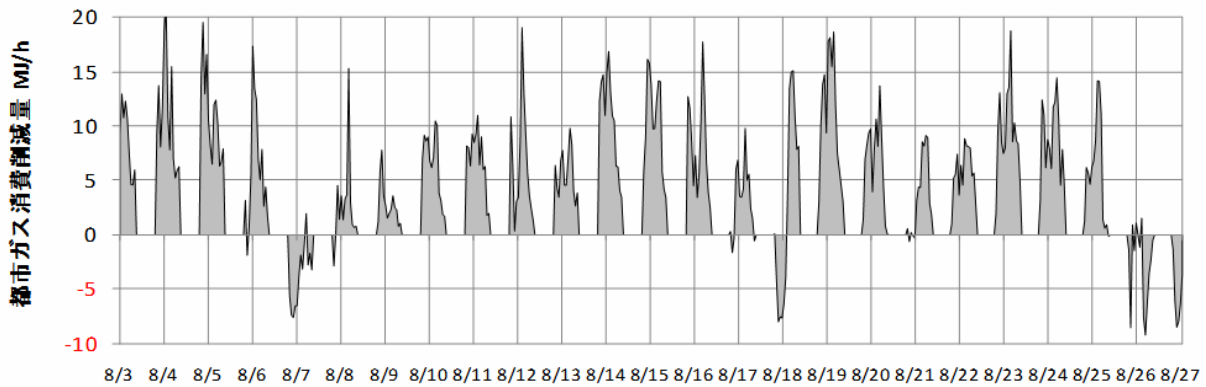


図9 検討期間中における共用ホール専用 GHP のガス消費削減量

ス消費量の経時変化を示す。マイナス値は、ET と AFW によって熱負荷が増加した事を示している。検討期間中において、熱負荷が増えた時間帯も一部で確認されたが、ほとんどのケースで、ET と AFW によりエネルギーの削減が行われている事が示された。省エネ効果はガス消費量で最大 $0.43\text{Nm}^3/\text{h}$ ，期間積算で 42.7Nm^3 （期間積算ガス消費量の約 2.8%）と試算した。

6. CFDによるETの性能評価

今回の ET 実測結果では、ET 内に水分が貯留する事から、設計通りの性能がうまく働いていないものと考えられるが、現場を確認しても、水が溜まっている理由が流入外気からの外部結露なのか、雨水や地下水の浸透によるものか、原因の特定が難しい状況であった。そこで CFD を用いて、実際に地下ピットを ET として利用する際に、ET 内の表面・露点温度を確認する事で、外気からの結露が発生する可能性が見られるか、解析による検証を行った。また、温度比較による外気負荷削減効果など、実測値との整合性の検証や、ET 内分岐経路による主経路への影響の評価も併せて行った。解析時の主な条件を表 2

に示す。使用ソフトは STREAM for Windows HPC Version 8 を用いた。ET 解析モデルを図 10 に示す。また、ET の主経路を実線、分岐経路を点線で示す。取入れ外気は 2010/08/14-PM0 時の値 (31.4°C -相対湿度 70%) を用いた。地面からの温度は、名古屋市気象台のデータを参照し、 22.5°C とした。また、コン

表 2 解析設定条件

項目	設定条件
解析領域	$72.53 \times 29.05 \times 7.75 \text{ m}^3$
メッシュ数	449×178×30 計 2237816
解析概要	非圧縮性、乱流 (標準k-εモデル) 定常解析
解析項目	流れ、熱、湿度
壁境界	ノースリップ (流体-固体間)
熱境界	対数則条件 (流体-固体間) 熱伝導 (固体-固体間)
CPU	Pentium(R)4 3.4GHz
メモリ	2.99GB RAM
物体からの吸放湿	考慮しない

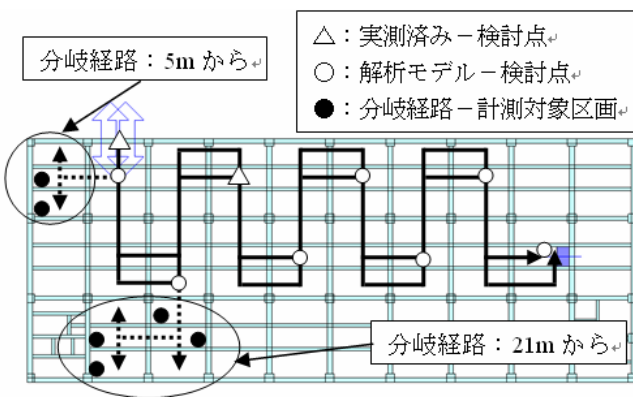


図 10 ET 解析モデル (平面図)

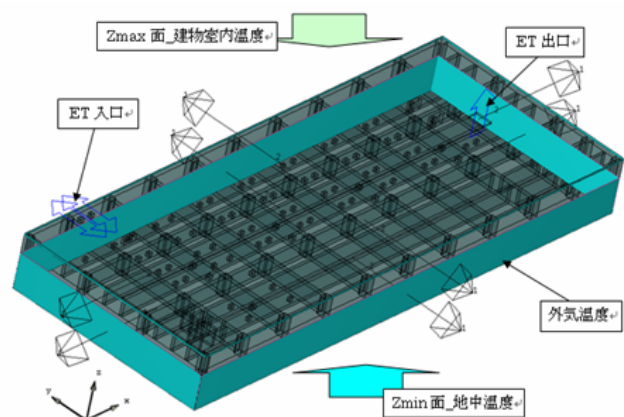


図 11 解析条件設定位置

クリート表面は断湿条件とした。解析条件設定位置を図 11 に示す。各検討点の ET 内表面温度を測定し、外気の露点温度との比較を行った。

さらに、分岐経路が主経路に対して、ET の熱負荷にどのような影響を及ぼすか、地下ピット分岐経路の各区画中央一高さ 1m における空気温度により評価した。実測を行った箇所に関しては、表面コンクリート温度・露点温度の差を比較すると共に、空気温度の変動を調査する事により、結果の整合性並びに、外気負荷削減効果と結露可能性の検証を行った。

7. 検証結果

7.1 実測値との結果比較－温度差

ET 内コンクリート表面温度・ET 内空気露点温度について、実測値との比較を行った結果を図 12 に示す。0m 地点の実測値と解析値を比較した所、実測値では表面温度と露点温度の間の差は 2 程度であったが、解析結果は 4 以上の差が表れた。35m 地点では、実測値では表面温度と露点温度の差がほとんど見られなかったが、解析結果では 3 近い差が表れた。この理由として、コンクリートの表面熱伝達率が実際の結果と比べて大きくなっている事や、設定した地中温度が実際の温度に比べて高めに設定されている事の 2 点が主な理由と思われる。なお、解析モデル中の Y⁺ (乱流境界層の厚さ) 値は、壁面近傍で 8~20, ピット区画内で 25~50 となった。また、コンクリートからの熱伝達係数は、ピット全体で 3~6 (W/m²・K) であった。

7.2 解析結果検証－結露の可能性について

ET 内における結露発生位置について、CFD による予測を行った結果を図 13 に示す。夏期条件では、ET は外気に対して冷却効果をもたらす為、入口から 53m まで進む間に、取入れ空気温度は、3℃以上低減する結果となった。一方、ET 内の表面温度も少しずつ低下し、87m 付近では空気温度とほぼ同じ値になった。しかしながら、ET 内空気温度の実測結果と比較した所、実測結果の方が温度の低下が著しく、35m 地点では 4 近い差が表れる結果となった。また、外気取り入れ時の露点温度と比較した所、CFD の結果では、最も表面温度が低い 80m 以降でも、コンクリート表面温度は、露点温度以下に到達しなかったにもかかわらず、実測結果では外気露点温度以下となる為、外気による結露が発生する結果となっている。この誤差も 7.1 と同様のものと

考えられる。なお、35m 以降では CFD でも表面温度と空気温度の差が殆ど見られなくなる為、結露発

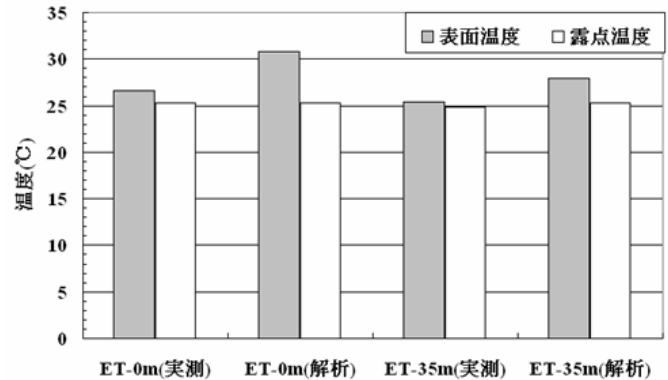


図 12 実測値との比較 (表面・露点温度)

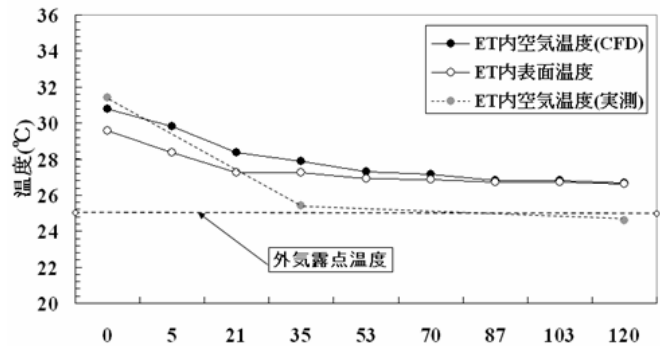


図 13 CFD による ET 内結露可能性の検討

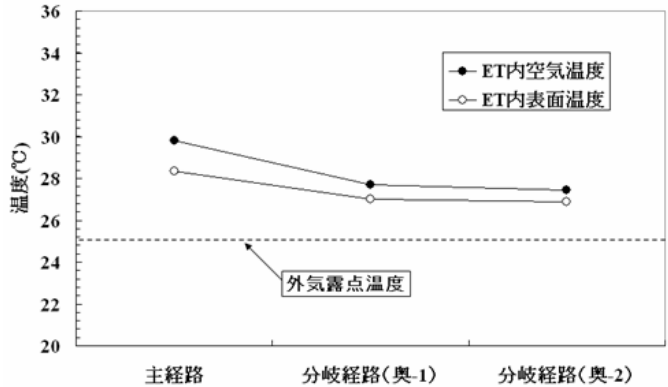


図 14 ET 分岐経路の温度変化 (5m 地点)

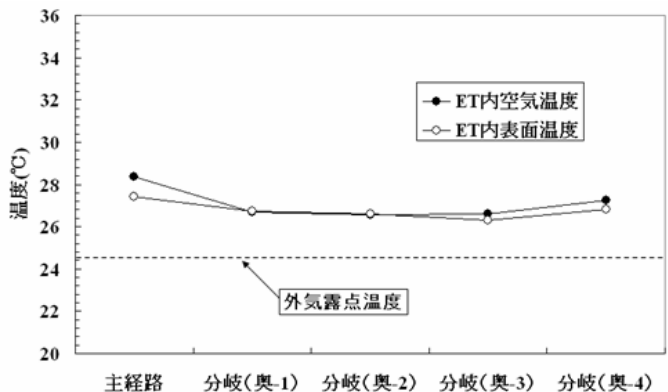


図 15 ET 分岐経路の温度変化 (21m 地点)

生の可能性は高くなるものと思われる。

7.3 解析結果検証－分岐経路の影響について

ET 内で分岐経路がある場合、ET 主経路に与える影響について、CFD により検証した結果を図 14、図 15 に示す。その結果、5m 地点は分岐経路から奥に進むに従って空気温度が低下したが、21m 地点では分岐の途中で空気温度・表面温度が最も低下し、奥に進むに従って再び温度が上昇した。この理由として、解析モデルの設定温度並びに熱伝導による影響が考えられる。しかしながら、分岐経路の奥でも、コンクリート表面温度は外気露点温度を下回らなかったため、ET 内で外気からの結露が発生する可能性は低いと想定できる結果が得られた。

8. まとめ

建物の運用時に各種省エネルギー手法が、設計時に想定している性能を発揮しているか確認する事を目的として、夏期における ET および AFW についての検証を行った。その結果、共用ホールに導入した ET と AFW により、空調用エネルギー消費量の削減に寄与したことがわかった。また、PMV の計測を行った結果、共用ホールの居室内温熱環境は省エネ手法の導入によらず、良好に保たれた事が確認できた。

ET について CFD 解析を行い、その整合性の検証並びに結露予測や分岐経路の外気負荷削減効果について検証した。その結果、外気導入による結露発生の可能性が低い事を確認した。また、分岐経路を施工することで、ET の熱交換効率がさらに高まる可能性が示唆された。

謝辞

今回の検討を行うにあたり、ご協力いただきました当施設の市職員ならびに施設管理者の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] 尹奎英, 他: 環境共生型公共施設における省エネルギー手法の導入効果に関する実証調査 (その 1), アースチューブと簡易エアフローウィンドウの導入効果検証, 空気調和衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, Vol.12, No.4-1, pp.133-136, 2011
- [2] 青木貴均, 他: 環境共生型公共施設における省

エネルギー手法の導入について (その 2), CFD によるアースチューブ導入効果の検証, 日本建築学会大会学術梗概集, pp.1055-1056, 2011

- [3] 日本建築学会: シンポジウム「建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン 2050」－行動計画の策定に向けて－, 日本建築学会, 2010.1

