

ソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた 自然換気システムの性能に関する 4 年間の実測調査

第 1 報——システムの運用状況と自然換気作用時の給排気風量

品 田 宜 輝^{*1} 木 村 建 一^{*2}
桂 木 宏 昌^{*3} 宋 城 基^{*4}

北九州市の大学校舎建築に導入されたソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムを対象とし、運用下におけるその性能を把握することを目的として開校後 4 年間に渡って実施した実測調査の結果を述べる。本報では実測対象建物の自然換気システムと補助空調システムの概要、本システムの運用状況、自然換気作用時の給排気風量の実測結果について報告する。自然換気が作用する時間は開校 3 年目まで増え続け、2 年目から 4 年目の自然換気作用時間は冷房期間の 33～61% を占めた。自然換気作用時間の 80% 程度が夜間であった。自然換気作用時の給排気風量は、年間の全時間平均で、地中ピットからの給気量は 6,000 m³/h 程度、ソーラーチムニーからの排気量は 4,000 m³/h 程度であり、4 年間を通してほぼ安定していた。この差は主に排気ファンによる影響であり、ソーラーチムニーからの排気量は風量の多い便所排気ファンの運転停止に左右されていた。給排気風量は、中間期に増加し、夏期に減少する傾向が見られた。

キーワード：自然換気システム・ソーラーチムニー・地中ピット・自然換気量・実測調査

はじめに

建築物における二酸化炭素排出量削減の推進を背景に、自然エネルギーを活用した自然換気が注目されている。太陽熱を利用した伝統的な自然換気の例としては、イランなど中近東の炎暑地域で多く見られるバド・ギア^{1),2)}が挙げられる。これは、塔状構築物内の空気が強烈な日射で暖められて発生する上昇気流による煙突効果と外部風による誘引効果とによって、外気を地中を経由して室内に導入する伝統的な自然エネルギーを活用した優れたシステムであり、ソーラーチムニーとも呼ばれる。日本のような蒸暑地域では加湿冷却は効果が少ないが、地中で冷却された外気が居

住空間に導かれる場合には外気負荷が大いに軽減されることになる。

2000 年 11 月に北九州市に新設された大学の新学部校舎建築にソーラーチムニーを含む自然換気システムが導入された。これはソーラーチムニーと地中熱を利用する地中ピットとを組み合わせた自然換気と補助空調との複合システムになっており、地球環境に配慮したシステムであるといえる。国内において延床面積数万 m² 規模の建築物にソーラーチムニーを自然換気装置として導入した初めての事例であり、今後ソーラーチムニーを利用した自然換気システムの設計手法や運用方法などを検討するためには、このシステムの性能を把握することが必要と考えられる。

本研究では、このソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システム(以下「本システム」と称す)の実際の運用下における性能を把握することによって今後の

^{*1} (株)テクノ菱和 技術開発研究所 早稲田大学理工学術院 総合研究所 正会員

^{*2} 早稲田大学 名誉会員

^{*3} (株)日本設計 環境・設備設計群 正会員

^{*4} 豊橋技術科学大学 正会員

類似のシステム設計のための基礎資料を得ることを目的として、2001年4月の開校から2005年3月まで4年間、実測調査を継続して実施した。

この4年間の実測においては、1年ごとに学生数が増えるにしたがって負荷も増えるという条件のほか、毎年の気候条件の相違もあるので、これらの要因分析も含めて結果をまとめることにしている。

本論文第1報では、実測対象建物と本システムの概要、実測調査研究計画について述べ、開校後に4年間実施した実測調査の結果から、本システムの運用状況と自然換気作用時の給排気風量について報告する。次報以下に、ソーラーチムニーと地中ピットの特性、エネルギー評価などについて順次報告したい。

1. 実測対象建物と本システムの概要

1.1 建物概要

本研究の対象とする校舎棟は、延床面積 $34,600\text{m}^2$ であり、北棟、南棟、事務棟の3棟から構成される。校舎棟外観を図-1に、北棟および南棟の全体平面配置を図-2に、それぞれ示す。

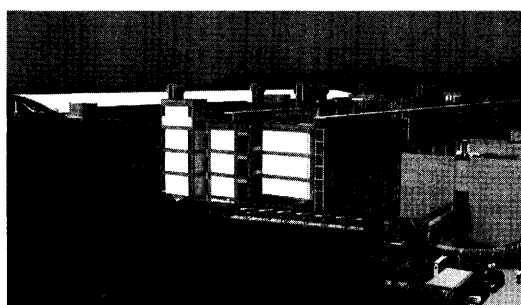


図-1 校舎棟外観

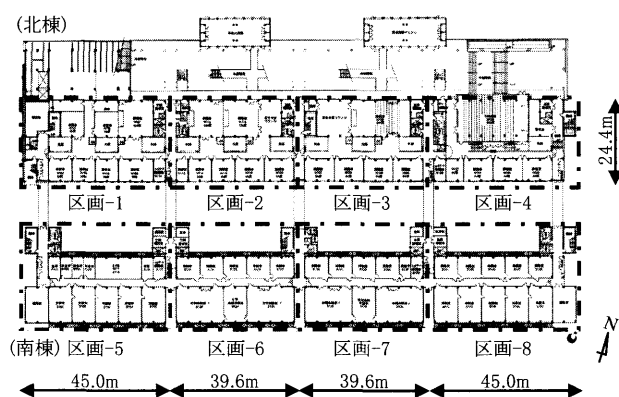


図-2 北棟および南棟の全体平面配置(1階)

北棟、南棟はそれぞれ地上4階建てであり、北棟は教室および教員の研究室、南棟は実験室で主に構成されている。また事務棟は北棟の西側に位置し、地上3階建てで、主に管理部門が集約されている。この校舎棟には工学系の1学部4学科が創設され、開校から4年後には学生がおおよそ

1,200人となった。北棟ならびに南棟はそれぞれ4区画から構成されており、各区画において自然換気システムとそれを補完する空調システムが独立している。

1.2 ソーラーチムニー

日射熱による煙突効果と外部風による誘引効果を利用して自然換気を促進させる装置として、この校舎棟の各区画の屋上にソーラーチムニーが設置されている。北棟屋上のソーラーチムニーの設置状況を図-3に、ソーラーチムニーとそれに接続する下部シャフト(以下「ソーラーチムニーシャフト」と称す)の垂直断面図を図-4に、それぞれ示す。

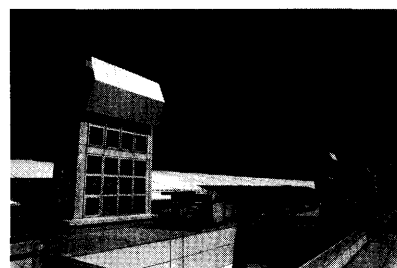


図-3 北棟屋上のソーラーチムニー

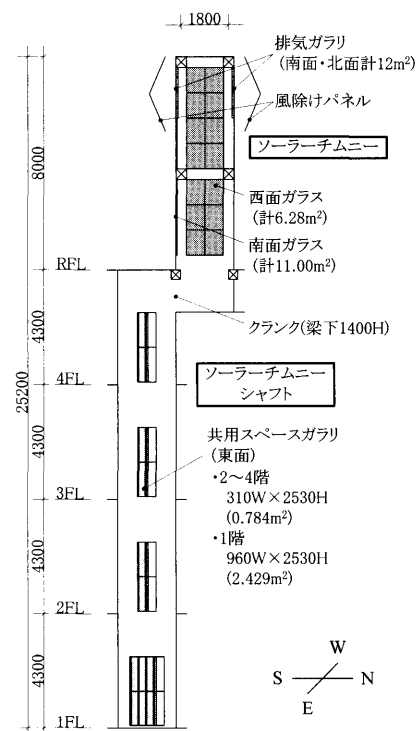


図-4 ソーラーチムニーおよび下部シャフト垂直断面図(区画-1)

ソーラーチムニーは、外形寸法が奥行 2.15m × 幅 4.10m × 高さ 8m で、屋上床面より4階建て校舎棟の2層分程度立ち上がっている。南面と西面は主にガラス面で構成されており、ガラスを透過した太陽熱をソーラーチムニー内の壁体が吸収することによりソーラーチムニー内の空気を暖め、それによる上昇気流で建物内の空気を引き上げて自然換気を促す。ソーラーチムニーは、壁体が押出成形セメン

ソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムの性能に関する4年間の実測調査(第1報)

ト板 60mm 厚、ガラスが線入型ガラス 6mm 厚で、ガラスの面積は南面 11.00m²、西面 6.28m²、合計 17.28m²である。南面と北面の上部にはそれぞれ 6m² の排気ガラリ(防虫網付き)が設置されている。この排気ガラリの外側には外部風の流入を防ぎながら外部風による誘引効果を得られやすいような形状に工夫された風除けパネル⁴⁾が設置されている。

ソーラーチムニーシャフトは、1.8m×3.6m×高さ 17.2m で、東面には各階の共用スペースからの排気が流出するモーターダンパー(MD)付ガラリが設置されている。ガラリの寸法は空調時の排気風量を基準に定められており、図-4に示すように1階のガラリが他階と比べて大きくなっている。

ソーラーチムニーシャフトと屋上のソーラーチムニーの接続部は、計画段階では直線状であったが、平面計画の都合による設計変更に伴ってクランク状になり、これはソーラーチムニーの性能にとって不利な条件となった。

1.3 地中ピット

地中ピットは、地中の恒温性を利用して、外気温が地中温度より高い夏季には導入外気を冷却し、外気温が地中温度より低い冬季には導入外気を加熱する。地中ピットの平面図を図-5に、写真を図-6に、それぞれ示す。

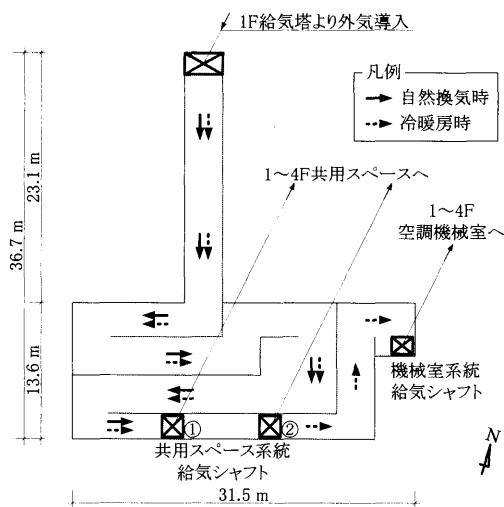
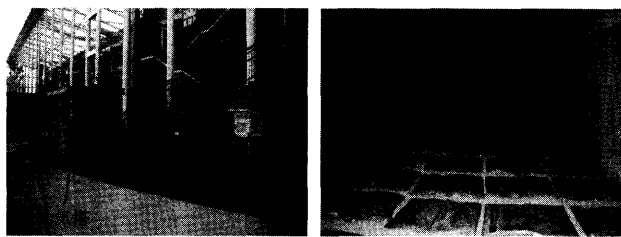


図-5 地中ピット平面図(区画-1)



(a) 外気導入部の給気塔

(b) 地中ピット内部

図-6 地中ピットの状況

外気導入部の給気塔は、校舎棟の北側に位置する。給気塔の外形寸法は 2.0m×3.6m×高さ 3.0m である。外気導入口は地面より 1.8m~2.8m の高さに位置し、その面積は 11.2m²である。

地中ピットは、各区画において1階床下を巡るように配置されている。地下水位は低く、湧水はほとんどない。区画や場所によって若干の相違はあるが、内部の垂直断面積は 4~7m²程度、天井高は 2.2~2.7m 程度、床面レベルは地下 3m 程度、長さは 140m 程度であり、空調時の同時使用率を考慮した外気導入量を元に風速が 1.0m/s 以下になるように設計されている。地中ピットの床面には調湿を主な目的としてセラミック炭が1区画あたり 5t 程度敷設されている。また1階床下に位置する部分の天井面には、断熱材としてポリスチレンフォーム 25mm 厚が設置されている。

1.4 自然換気補助空調システム

室内環境を適正に維持するために、この自然換気システムを補助する空調システムが設置されている。その運転には自然換気モードと冷房/暖房モードとがある。別棟にキャンパス全体のエネルギー供給を管理するエネルギーセンターがあり、その中の中央監視室で冷房モードと暖房モードの切り替え設定が手動で行われている。

各区画には、自然換気または冷暖房の際に空気が流通する3種類のシャフトが設けられている。1区画内のシャフトの配置状況を図-7に示す。自然換気モードと冷房/暖房モードでは、これらの空気の流通経路を切り替える。

共用スペース系統給気シャフトは2本あり、それぞれ 1.5m×2.0m×高さ 17.2m で、自然換気作用時に各階の共用スペースへ外気が流入するMD付ガラリが設置されている。シャフト1本当たりのガラリの寸法は、1階が 510W×2,530H(1.290m²)、2~4階が 310W×2,530H(0.784m²)である。

機械室系統給気シャフトは1.8m×3.6m×高さ 15.8m であり、各階空調機械室の外気取り入れダクトへ通じる。

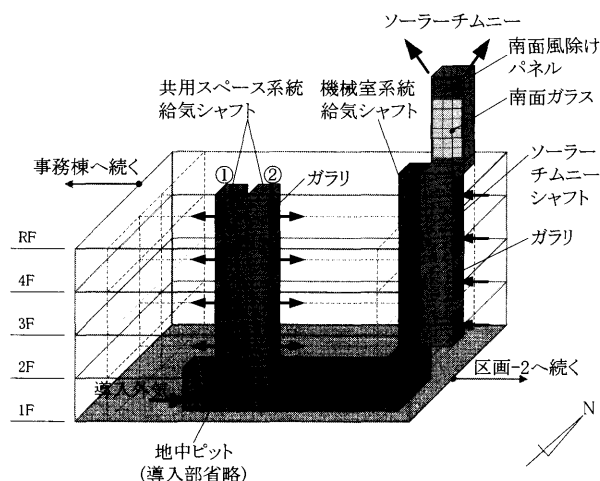


図-7 シャフト配置状況(区画-1)

(1) 自然換気モード

本システムでは、中央監視側で冷房モードに設定する春から秋の期間に、1つの区画内において、教室や研究室に設置された空調運転スイッチ、すなわち定風量装置(CAV)

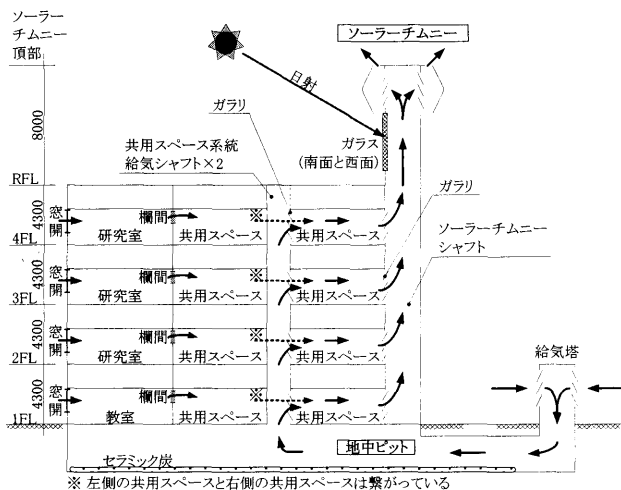


図-8 自然換気モードの日中のエアフロー

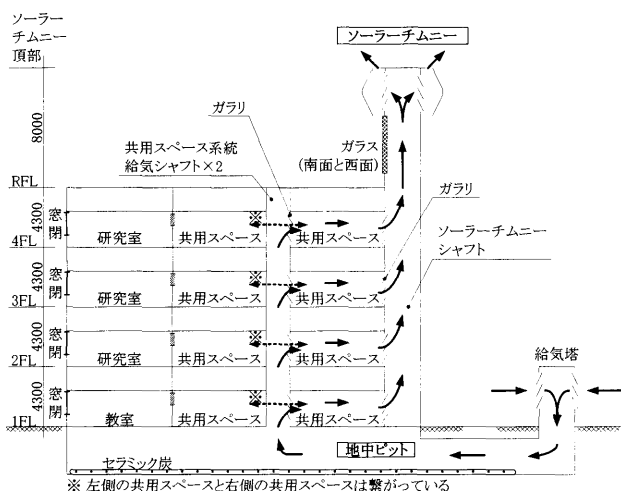
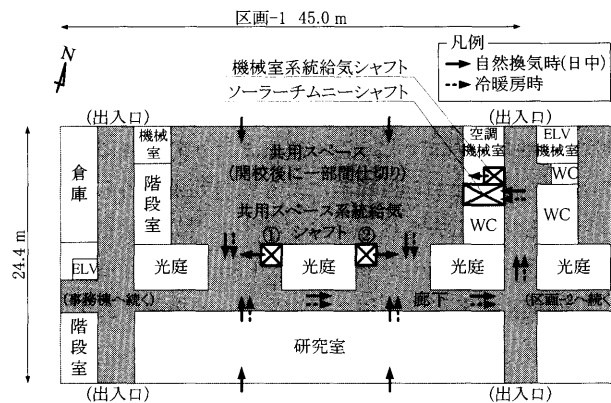


図-9 自然換気モードの夜間のエアフロー

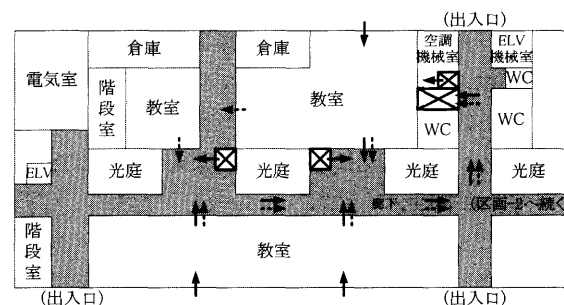
スイッチを全て OFF にした場合、またはスケジュール管理等により 1 階から 4 階の外気処理空調機(以下「外調機」と称す)を全て停止した場合に自然換気モードとなる。外気条件による運転モードの自動切換は行っていない。

自然換気モードの日中のエアフローを図-8 に、夜間のエアフローを図-9 に、各階の平面エアフローを図-10 に、それぞれ示す。自然換気的主要対象は共用スペースの部分であり、この空間は廊下とそれに接する自習スペースなどを含む。自然換気モード時には共用スペース系統給気シャフトおよびソーラーチムニーシャフトに設けられた各階のガラリが“開”となる。

日中は、教室や研究室等の窓が在室者によって人為的に開放されることにより、積極的に自然換気が行われる。図-8、10 に示すように、窓から教室や研究室に流入した外気は、欄間を通して共用スペースへ流れ、各階ガラリからソーラーチムニーシャフトへ流出し、屋上のソーラーチムニーから屋外へ排出される。また、給気塔から導入された外気が、地中ピットを全長 140m 程度の内の 100m 程度を通過し、共用スペース系統給気シャフトから各階の共用ス



(a) 2～4 階



(b) 1 階

図-10 各階の平面エアフロー(区画-1)

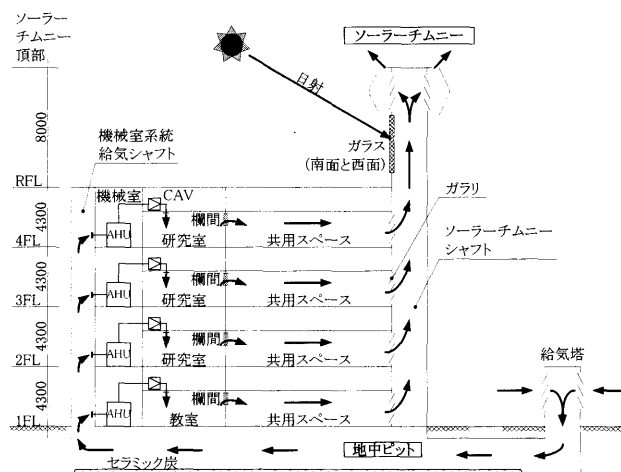


図-11 冷房/暖房モード時のエアフロー

ースへ流入し、各階ガラリからソーラーチムニーシャフトへ流出し、屋上のソーラーチムニーから屋外へ排出される。

夜間は、セキュリティの観点から教室や研究室等の窓は閉鎖される。図-9 に示すように、給気塔から導入され地中ピットを通過した外気が、日中と同様に屋上のソーラーチムニーシャフトへ流れることにより、ナイトバージが積極的に行われる。

中央監視側で暖房モードに設定する冬期は自然換気は行われない。この時、共用スペース系統給気シャフトおよびソーラーチムニーシャフトの各階ガラリは全て閉鎖される。

(2) 冷房/暖房モード

年間を通じて、1 つの区画内において、教室や研究室に

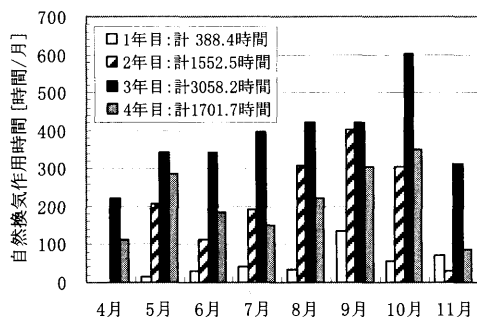


図-13 自然換気モード発生時間の経年変化

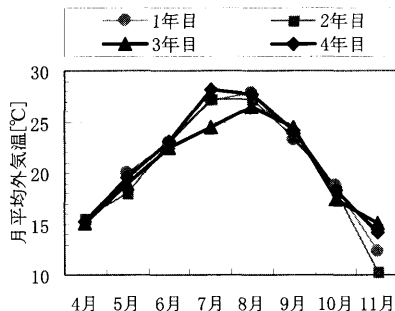


図-14 自然換気作用期間の月別平均外気温

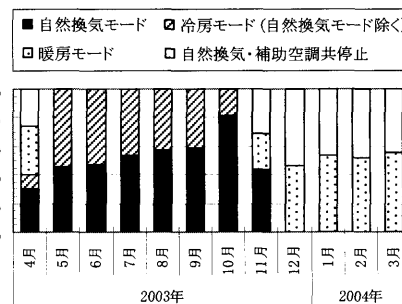


図-15 3年目の運転モード時間割合

1年目は、開校時に中央監視側で4日間冷房モードが設定されたが、4月5日から暖房モードとなり、エネルギーセンターからの供給熱源を温水から冷水へ切り替えた頃の5月11日に再び冷房モードとなった。そして供給熱源を冷水から温水に切り替えた頃の11月8日に暖房モードとなり、3月末まで暖房モードが継続された。

2年目は、5月中旬に冷房モードへ、11月上旬に暖房モードへ、それぞれ切り替えられた。エネルギーセンターの設備担当者にヒヤリングを行った結果、2年目は4月下旬頃に温水供給を停止していたが5月中旬になって冷房モードへ切り替えたことが分かった。そこで、自然換気を活用できる期間に自然換気が作用する機会を増やす方法として、4月に温水供給を停止する際には同時に設定を冷房モードへ切り替えるよう、改善提案した。

3年目以後は、この提案を元に4月中旬に冷房モードへの切り替えが行われるようになり、自然換気が作用する冷房モードの設定期間が年間の57%程度を占めるようになった。

3.2 冷房モード設定時における自然換気モード発生時間

中央監視側で冷房モードに設定している時の自然換気モード発生時間の経年変化を月別に図-13に示す。自然換気モードの発生時間は、図-8、9に示した共用スペース系統給気シャフトの各階ガラリが開いて自然換気が作用した時間数をもとに示している。

1年目は、自然換気作用時間が388時間となり、冷房期間185日間の9%しか自然換気が作用しなかった。これは、外調機が夜間も運転していたことを示すデータから、室内の空調運転スイッチの消し忘れが多かったことによると推察される。校舎棟の運用開始に当たり、居住者に対する空調システムの利用方法の周知が不足していたと思われる。

2年目は、自然換気作用時間が1,552時間となり、1年目と比べて大幅に増加した。これは、空調スイッチの消し忘れが少なくなったことと教室を使う時間帯に応じた外調機のスケジュール運転が組み込まれるようになったことによると推察される。

3年目は、自然換気作用時間が3,058時間となり、冷房期

間209日間に対して61%を占め、4年間で最も長くなった。

自然換気作用時間が増加した主な理由としては、4、5月は前述の改善提案による、7、8月は図-14に示すように夏季の外気温が低かったことによると考えられる。また外調機運転のスケジュール管理が前年より改善されたことも影響していると考えられる。3年目の月別運転モード発生時間の割合を図-15に示す。5月から9月にかけては1ヶ月間の半分程度、10月は1ヶ月間の8割程度の時間において自然換気が作用した。また、冷水と温水の切り替え時期である4月と11月には、中央監視側で冷房モードを設定した期間のほとんどで自然換気が作用した。

4年目は、自然換気作用時間が1,702時間となり、3年目と比べて45%ほど減少した。6月から8月の夏季に自然換気作用時間が半分程度となったのは、図-14に示すように夏季の気温が高かったことによると考えられる。また開校後初めての卒業研究が始まり室内の使用状況が変化したこと、計画人員に達し負荷が増大したことも影響していると考えられる。

自然換気が作用した時間帯は、4年間を通じて18時から翌朝8時までの夜間が多く、自然換気作用時間の75.5～89.2%を占めた。

4. 自然換気作用時の給排気風量の推定

4.1 測定方法

換気量の測定方法としてトレーサガスを用いる方法も考えられたが、実測調査が長期連続測定になることから、ソーラーチムニーならびに地中ピットの内部に熱式風速計を常設し、風速を測定して風量を求める方法を採用した。外気雰囲気や屋内からの排気を熱式風速計で長期間に渡り連続して測定するに当たっては、風速計のセンサ部が時間経過とともに汚れて感度が低下することが懸念された。そこで3ヶ月に1回程度の頻度で実施した季節別集中測定の際にセンサ部分をエタノールで洗浄した。

4.2 地中ピットからの外気導入量およびソーラーチムニーからの排気量の推定方法

地中ピットからの外気導入量およびソーラーチムニーか

ソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムの性能に関する4年間の実測調査(第1報)

らの排気量は、それぞれの内部に図-12 に示すように熱式風速計(0.1~25m/s, 指向性)を常設して風速を10分間隔で測定し、この測定値に式(1)に示すように測定断面の平均風速へ換算する定数(以下「面風速換算係数」と称す)を乗じて平均風速を求め、これに式(2)に示すように断面積を乗じ、推定することとした。

$$\bar{v} = v_0 \cdot R \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、

\bar{v} : 常設風速計設置断面の平均風速 [m/s]

v_0 : 常設風速計で測定した風速 [m/s]

R : 面風速換算係数 [-]

$$Q = \bar{v} \cdot A \cdot 3,600 \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに、

Q : 風量 [m³/h]

A : 常設風速計設置断面の面積 [m²]

3,600 : 換算定数 [s/h]

4.3 面風速換算係数 R の決定

面風速換算係数は、常設風速計設置断面の風速分布を測定し、常設風速計による風速と風速分布測定点の風速との関係を捉えて求めた。

風速分布の測定は、気流方向を確認する必要があるため、三次元超音波風速計を用いて行った。ソーラーチムニー内常設風速計設置断面の風速分布測定点を図-16 に、風速分布の測定状況を図-17 に示す。

ソーラーチムニーおよび地中ピットの常設風速計設置断面の面積は、それぞれ7.91m²、4.32m²である。各断面の風速分布測定点は、それぞれ30点、12点とした。三次元超音波風速計を用いて多点同時に測定することは物理的にできないため、超音波風速計を順次トラバースして各点を測定した。超音波風速計で風速分布測定点を1点測定する時には、同時に常設風速計による風速測定も行った。この測定は、超音波風速計、常設風速計のいずれも時間刻み Δt が1秒、サンプル数が10個、平均化時間が1秒×10個=10秒で行った。そしてその風速分布測定点の超音波風速計による風速の常設風速計風速に対する割合を求めた。その後、この割合に各点が受け持つ面積の比率を乗じて全点の値を合計し、面風速換算係数の1データとした。常設風速計平均値と面風速換算係数との関係を図-18 に示す。

図-18 は、データ数を増やすために、開校前に実施した初期実測調査の結果^{7),14)}と開校後に実施した季節別集中測定の結果とを合わせて示しているが、開校後の測定結果を合わせても面風速換算係数の平均値はほとんど変わらなかった。また、常設風速計平均値が変化しても面風速換算係

数は比較的安定する傾向が確認された。そこで図-18 に示す平均値をソーラーチムニーと地中ピットそれぞれの面風速換算係数として用いることとした。ソーラーチムニーの面風速換算係数は0.3程度となり、地中ピットの値と比べて小さくなった。これはソーラーチムニーシャフトとソーラーチムニーとの接続部が図-4 に示すようにクランク状になっており、ソーラーチムニー内では常設風速計が設置されている北側部分の風速が速くなったためと考えられる。

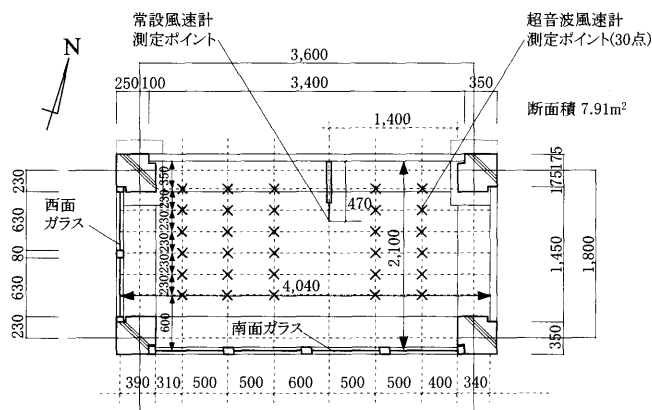


図-16 ソーラーチムニー内常設風速計設置断面の風速分布測定点

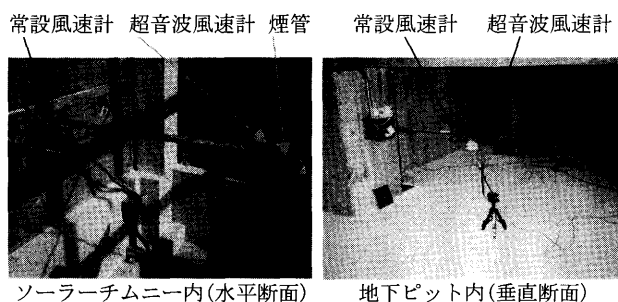


図-17 常設風速計設置断面における風速分布の測定状況

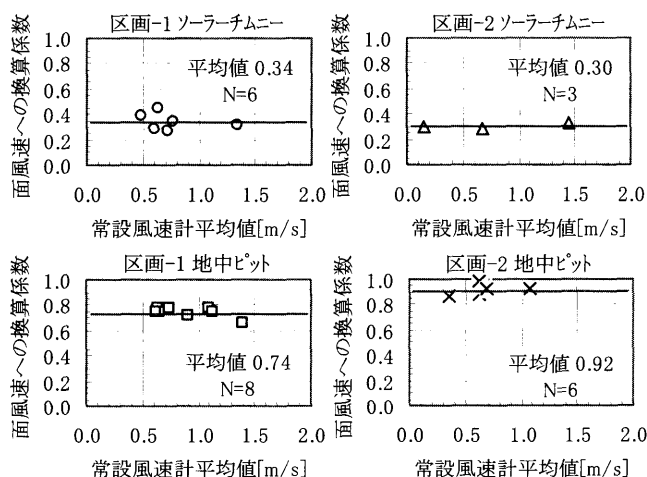


図-18 面風速換算係数

4.4 自然換気作用時の給排気風量の推定

自然換気作用時のソーラーチムニー内風速および地中ピット内風速の例を図-19 に示す。図-19 の右の縦軸には、風

速の測定値から式(1)，(2)により換算した風量の値を示す。

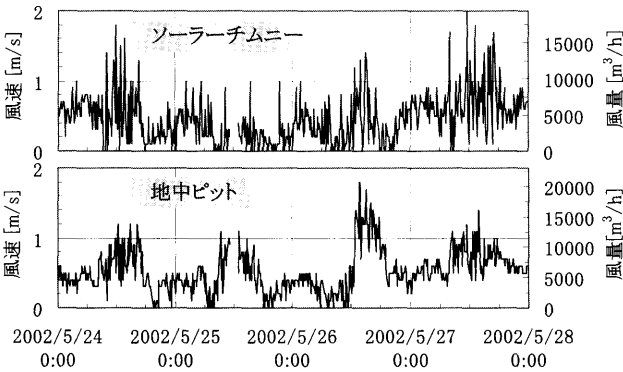


図-19 自然換気作用時のソーラーチムニー内風速
および地中ピット内風速と風量の例

開校前の初期実測調査では、窓や扉等の開口部を全て閉めて排気ファンを停止し、外乱となる要素をなるべく排除するように条件を整え、風速を1分間隔で計測して風量に換算し、20分間の平均値を連続して取った。その結果、地中ピットからの給気量とソーラーチムニーからの排気量を示す波形は概ね一致し、それぞれの風量はほぼ等しい結果となった。^{7),14)} 一方、開校後の運用下における長期連続測定では、図-19に示すように地中ピットからの給気量とソーラーチムニーからの排気量には差が見られた。これは、10分間隔で測定した風速の瞬時値を風量に換算していることも影響していると考えられるが、実際の運用下では、窓や扉の開閉、便所、倉庫、エレベータ機械室の排気ファン、研究室等の天井扇の運転が成り行きであったためと考えられる。このようにして、測定対象区画-1への自然流入量または区画-1からの自然流出量を推定する方法を定めることとした。

4.5 自然流入量および自然流出量の推定方法

測定対象区画-1に関わる排気ファンの中で風量が特に大きいのは便所用である。この排気ファンは、区画-1，2の2区画共用である。その風量は1区画あたり3,210m³/hであり、図-19に示した自然換気作用時の地中ピットからの給気量とソーラーチムニーからの排気量に対して小さくない。そこで、中央監視側で記録している運転／停止状況を元に、便所用排気ファンの風量を加味し、測定対象区画-1への自然流入量または区画-1からの自然流出量を式(3)に示す形で推定することとした。

$$Q_A = Q_C + Q_F - Q_P \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに、

- Q_A ：正值は自然流入量，負値は自然流出量 [m³/h]
- Q_C ：ソーラーチムニーからの排気量 [m³/h]
- Q_F ：便所ファン排気量 [3,210m³/h/区画]
- Q_P ：地中ピットからの給気量 [m³/h]

自然流入量，自然流出量の結果については5.2で述べる。

5. 自然換気作用時の給排気風量

5.1 年別，月別の傾向

4年間の長期連続測定の結果を元に推定した各年の自然換気作用時の地中ピットからの給気量およびソーラーチムニーからの排気量を表-2に示す。

表-2 各年の地中ピット給気量およびソーラーチムニー排気量

		1年目	2年目	3年目	4年目
自然換気作用時間 [h/年]		307	1,553	3,058	1,702
地中ピットからの給気量	合計 [千m³/年]	2,214	11,154	18,661	10,330
	全時間平均 [m³/h]	7,207	7,185	6,102	6,070
ソーラーチムニーからの排気量	合計 [千m³/年]	1,628	6,879	12,623	7,295
	全時間平均 [m³/h]	5,300	4,431	4,128	4,287

自然換気作用時間が最も多かった3年目は、地中ピットからの給気量が1,860万m³/年、ソーラーチムニーからの排気量が1,260万m³/年であった。

自然換気作用時間が多い2年目から4年目では、各年の合計風量を自然換気作用時間で除した全時間平均風量は、地中ピットからの給気量が6,070～7,185m³/h、ソーラーチムニーからの排気量が4,128～4,431m³/hであった。測定対象である区画-1の共用スペースの容積はおおよそ1万m³であり、対象空間の換気回数としては地中ピットからの給気量が0.6～0.7回/h相当、ソーラーチムニーからの排気量が0.4回/h相当であった。ソーラーチムニーからの排気量は地中ピットからの給気量の2/3程度であった。この両者の差は便所排気ファンの排気量が主で、残りは窓明けなどによる自然排気量と考えられる。

地中ピットからの給気量およびソーラーチムニーからの排気量の月別時間平均値を図-20に示す。自然換気作用時の給気量・排気量は、夏季に少なく、春と秋に多くなる傾向が見られた。これは、外気温が低い時期に室内外温度差が大きくなり、煙突効果によって給気量・排気量が増えたものと考えられる。

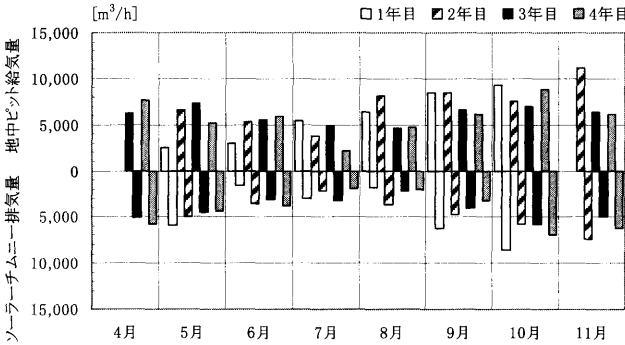


図-20 地中ピットからの給気量およびソーラーチムニーからの排気量の月別時間平均値

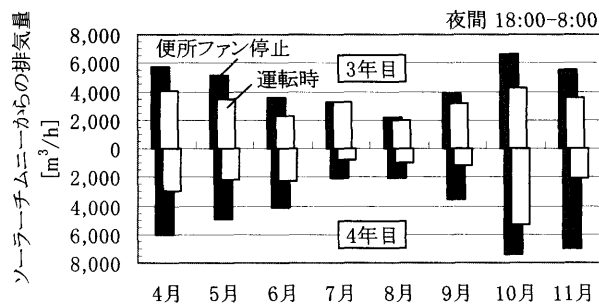
ソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムの性能に関する4年間の実測調査(第1報)

5.2 昼夜別、便所排気ファン運転・停止別の傾向

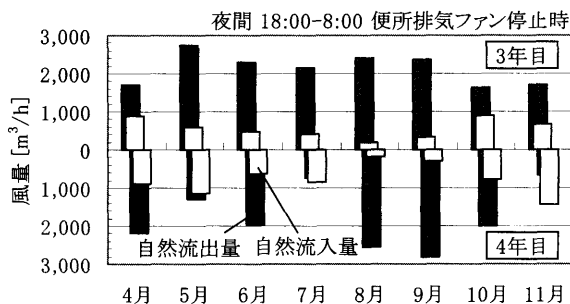
各月における地中ピットからの給気量、ソーラーチムニーからの排気量、式(3)によって推定した自然流入量、自然流出量の時間平均値を昼夜別、便所排気ファンの運転・停止別に求めてみた。3年目の例を表-3に、3年目と4年目の比較を図-21に、それぞれ示す。

表-3 3年目の月別時間平均風量

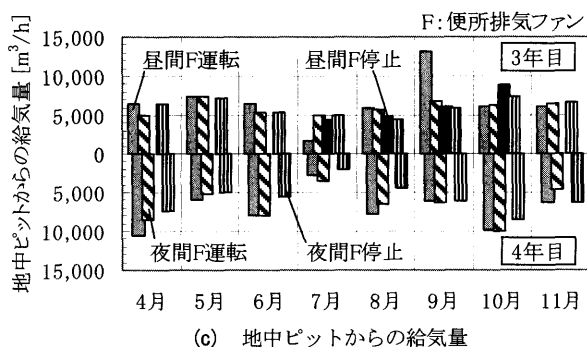
時間帯	月	便所排気ファン運転					便所排気ファン停止				
		作用時間 [h]	地中 ピット 給気量 [m ³ /h]	ソーラー チムニー 排気量 [m ³ /h]	自然 流入量 [m ³ /h]	自然 流出量 [m ³ /h]	作用時間 [h]	地中 ピット 給気量 [m ³ /h]	ソーラー チムニー 排気量 [m ³ /h]	自然 流入量 [m ³ /h]	自然 流出量 [m ³ /h]
昼間 8時～ 18時	4月	70.8	6,493	4,592	2,236	927	0.0	—	—	—	—
	5月	76.8	7,452	3,586	1,150	1,806	0.0	—	—	—	—
	6月	54.2	6,537	2,053	835	2,109	0.0	—	—	—	—
	7月	11.5	1,618	1,839	3,477	46	10.0	4,412	2,537	484	2,359
	8月	21.0	5,882	1,499	862	2,035	30.0	4,757	2,600	496	2,653
	9月	30.0	13,088	7,669	1,108	3,316	10.0	6,061	1,942	50	4,169
	10月	150.0	6,128	4,828	2,685	774	30.0	8,855	4,834	448	4,469
	11月	129.8	6,101	4,772	2,495	614	0.2	—	—	—	—
	合計	544.2	—	—	—	—	80.2	—	—	—	—
夜間 8時～ 8時	4月	31.2	5,053	4,020	2,671	494	118.3	6,492	5,699	898	1,690
	5月	52.5	7,318	3,452	1,071	1,727	211.7	7,314	5,165	584	2,733
	6月	55.8	5,448	2,269	1,241	1,210	230.8	5,384	3,565	484	2,302
	7月	44.0	5,092	3,307	1,998	573	330.3	5,001	3,252	397	2,147
	8月	51.0	5,822	1,962	828	1,478	321.2	4,356	2,130	176	2,401
	9月	60.0	6,911	3,122	877	1,457	323.3	5,892	3,874	336	2,354
	10月	71.7	6,239	4,207	1,803	624	350.0	7,371	6,624	872	1,619
	11月	39.0	6,423	3,542	1,445	1,116	143.0	6,579	5,532	661	1,708
	合計	405.2	—	—	—	—	2,028.7	—	—	—	—



(a) 夜間のソーラーチムニーからの排気量



(b) 夜間便所ファン停止時の自然流入/流出量



(c) 地中ピットからの給気量

図-21 3年目と4年目の月別時間平均風量の比較

自然換気が作用した時間帯は、4年とも夜間(18:00～翌朝 8:00)が多いが、3年目と4年目は夜間の中でも便所排気ファンが停止する時間帯(21:00～翌朝 8:00)に多くなった。

図-21(a)に示すように、ソーラーチムニーからの排気量は、夏季に少なくなっているが、7月、8月の夜間便所排気ファン停止時には、2,000m³/h程度の排気が行われていた。また夜間の便所排気ファン運転時と停止時のソーラーチムニーからの排気量を比較すると、停止している時の方が排気量が多い。

図-21(b)に示すように、便所排気ファン停止時には、自然流入量よりも自然流出量の方が上回ることが多い。

便所排気ファン運転時の各風量を昼間と夜間とで比較して見たが、ここでは明確な傾向の違いは見られなかった。

調査対象区画-1の自然換気対象エリアの容積は、およそ1万m³である。図-21(c)に示すように、地中ピットを経由した導入外気量ベースの月平均値から求めた自然換気回数は、4年間を通じ、便所排気ファン運転時は日中で最大1.3回/h、便所排気ファン停止時は夜間で最大0.9回/hであった。また、昼間に便所排気ファンが停止することはメンテナンス時等を除いて一般的にはないため、2年目の8月、3年目の8月と10月に実施した季節別集中測定の際に、終日便所排気ファンを停止することを試みた。その結果、便所排気ファンを停止した日中の自然換気回数は、3年目8月0.5回/h、10月0.9回/hであった。

5.3 各階の給排気風量

調査対象の区画-1における自然換気作用時の各階の給排気量を把握するため、1年目の季節別集中測定の際に2本の共用スペース系統の給気シャフトから共用スペースへ流入する給気量と共用スペースからソーラーチムニーシャフトへ流出する排気量を測定した。測定は、図-22に示すように熱式微風速計(無指向性)を用い、各階のガラリ合計12ヶ所において1ヶ所当たり6～18点の風速分布を順次測定した。しかし、1年目の運用下で自然換気の状態になっていない状況も多く、測定しても40分程度の時間幅における各階の給排気量を捉えることはできなかった。また、煙管(北川式)を用いて気流を可視化した結果、ソーラーチムニーシャフトでは、上層階を中心に時折逆流する現象が見られた。

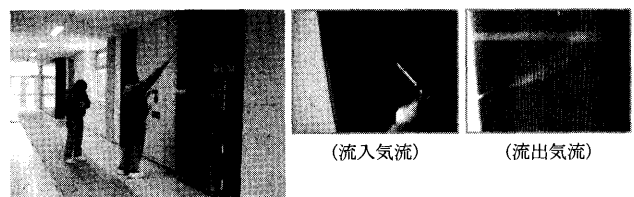


図-22 共用スペースガラリ面の風速分布測定状況

そこで、2年目に各階の給排気量を同時に数秒間隔で連続計測するシステムを別途開発し、夏季の季節別集中測定時に測定対象の区画-1を自然換気の状態として実測を行った。この計測システムの開発および実測の詳細については、既報¹⁵⁾にて報告している。

この計測システムは、図-23に示す構成となっており、2点の圧力差を連続的に計測し、そのデータを数秒間隔で記録するものである。事前に実験室や現場において超音波風速計あるいは熱式風速計等と比較して校正しておき、現場で計測した圧力差を用いて計算することで、流入あるいは流出する空気の流れ方向と風速とを求めることができる。

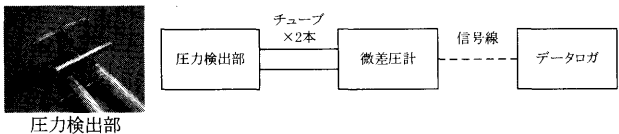


図-23 開発した計測システムの構成

測定時には、圧力検出部を図-24に示すように共用スペースのガラリ部に設置し、計測システムを図-25に示すように配置した。図-24はガラリ内部の状況が分かりやすいように右側の点検口を開いた状態を示しているが、測定時には点検口を閉じた。

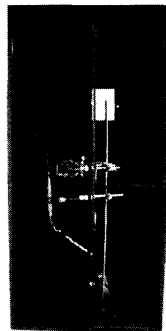
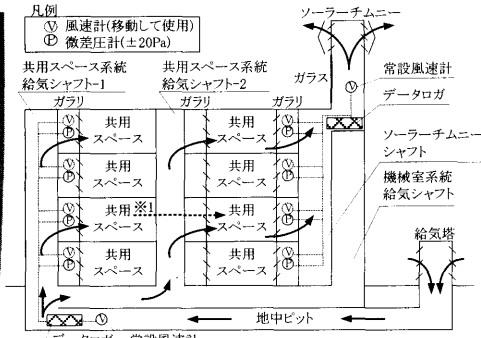


図-24
ガラリ部状況



※1:左側の共用スペースと右側の共用スペースはつながっている

図-25 計測システムの配置状況

各階の給排気量を2秒間隔で同時測定した結果を図-26に示す。共用スペースシステム給気シャフトから共用スペースへ流入する給気量の増減は、2～4階は同様の傾向を示し、1階は他階に比べ変動幅が大きい。ソーラーチムニーシャフトのガラリでは時折逆流が生じており、共用スペースからソーラーチムニーシャフトへ流出する排気量の増減は、1～4階ではほぼ同じタイミングで変動している。全般的に給気量が排気量をやや上回ることが多い。

図-26に示した各階の共用スペースからソーラーチムニーシャフトへ流出した排気量の合計とソーラーチムニーから大気への排気量との関係を図-27に示す。各階排気量の合計とソーラーチムニーから大気への排気量は全体的に概ね一致している。

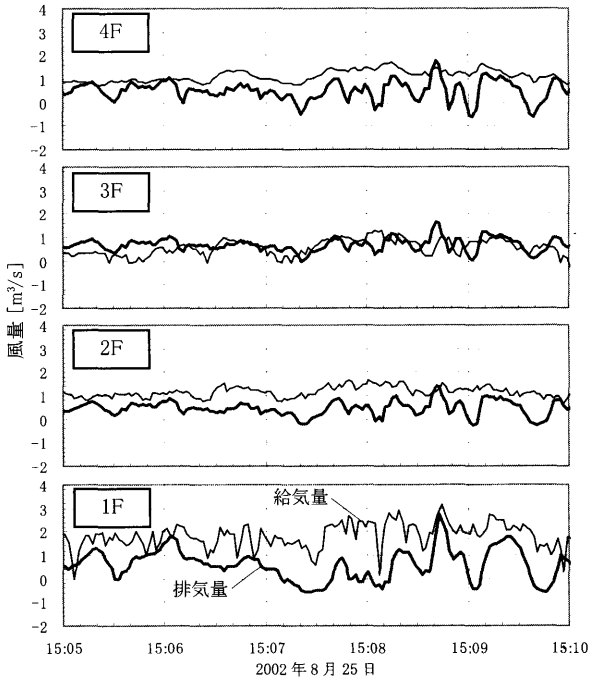


図-26 2秒間隔で測定した各階給排気量の経時変化の例

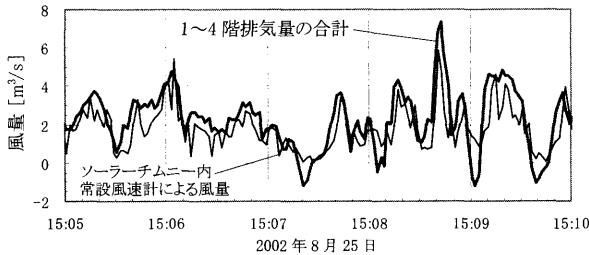


図-27 各階排気量の合計とソーラーチムニー排気量の経時変化

6. 自然換気量の予測値と実測値との比較

本システムのソーラーチムニーの性能予測として、計画段階には、趙らが、一次元流れモデルによる略算、シミュレーション、模型実験により、日射によってソーラーチムニーの内壁が温まった場合の温度差換気の効果について、検討した。^{3),5),6)} また、設計段階では、桂木らが、シミュレーションにより、外部風の流入を防ぎながら誘引効果を高める風除けパネルの形状と取り付け位置について、検討した。⁴⁾ 風除けパネルの検討では、換気量の予測は行われていない。ここでは、温度差換気の予測に対して述べる。

予測時には、主な条件として、ソーラーチムニーおよびソーラーチムニーシャフトの水平断面積を4.93m²または3.53m²、ソーラーチムニー高さを8m+排気口高さ、ガラス設置面を南側1面のみ、排気口設置面を南側1面（+北側にバランスダンパー）、ソーラーチムニー入口空気温度を26℃、外部風なし、クランクなし、であった。そしてシミュレーションの主な結果として、①ソーラーチムニーおよびソーラーチムニーシャフトの水平断面積がソーラーチムニーシャフト1階から4階ガラリ総面積の約2倍である4.93m²、②ソーラーチムニーおよびソーラーチムニーシャフトの長

ソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムの性能に関する4年間の実測調査(第1報)

辺と短辺との長さ比が 3:1, ③ソーラーチムニー上部排気口とソーラーチムニーシャフト1階から4階ガラリー総面積との面積比が 6:1, ④ソーラーチムニー高さが屋上床面より 9.4m の場合に, ソーラーチムニー北側内壁表面温度は最大で 62.5℃, ソーラーチムニー内風速は 0.33m/s, ソーラーチムニーからの排気量は 5,900m³/h となった.³⁾

竣工した校舎棟のシステムでは, ソーラーチムニーおよびソーラーチムニーシャフトの水平断面基本モジュールが寸法 1,800×3,600, 断面積 6.48m²と予測時より大きくなっていた。また, ガラス設置面が南側と西側の2面, 排気口が南側と北側の2面で計 12m², ソーラーチムニーの下端がクランク状となり, ①ソーラーチムニーおよびソーラーチムニーシャフトの水平断面積 6.48m²がソーラーチムニーシャフト1階から4階ガラリー総面積 4.781m²の 1.36 倍, ②ソーラーチムニーおよびソーラーチムニーシャフトの長辺と短辺との長さ比が 2:1, ③ソーラーチムニー上部排気口 12m²とソーラーチムニーシャフト1階から4階ガラリー総面積 4.871m²との面積比が 2.5:1, となった。ソーラーチムニー高さは 8.0m で予測時と同じであったが, このように諸条件が異なっていたため, 予測結果と実測結果との正確な比較はできなかった。

ここで, 4年間の夏季におけるソーラーチムニーの北側と東側の内壁表面温度を確認した。図-28 に例を示すが, 内壁表面温度は最大でも北側 37℃程度, 東側 42℃程度までしか達していなかった。予測時に仮定されたガラス面の日射透過率0.9および壁体の日射吸収率0.7の各値については, 見込みがやや過剰であったと思われる。また, ソーラーチムニーの壁体に, 内壁表面を黒色で塗装する, 外断熱を施す等の対策を講じることにより, 北側および東側の内壁表面温度をより上昇させることができるものと考えられる。

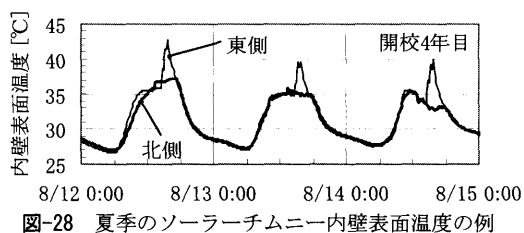


図-28 夏季のソーラーチムニー内壁表面温度の例

結 論

北九州市の大学校舎建築に導入されたソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムを対象として, 開校後4年間の実測調査を行い, その結果から, 本システムの運用状況と自然換気作用時の給排気風量について検討し, 以下の結論を得た。

- 1) 自然換気対象期間である冷房期間は年間の 46～58% であり, 4年目に最も長くなった。特に3年目から自然換気を積極的に行う運用になっている。システム運

用の適, 不適によって自然換気の作用時間は変りうることがわかった。

- 2) 自然換気作用時間は, 3年目まで増え続けた。2年目以降は冷房期間の 33～61%を占めており, 外気や活動の状況がその主な変動要因と推察される。夜間が自然換気作用時間の8割程度を占めていた。
- 3) 自然換気作用時の給排気風量は, 年間の全時間平均で, 地中ピットからの給気量 6,000m³/h, ソーラーチムニーからの排気量 4,000m³/h 程度で安定していた。
- 4) ソーラーチムニーからの排気量は便所排気ファンの運転の有無に大きく左右されることを明らかにした。
- 5) 月平均の地中ピット経由導入外気量ベースの自然換気回数は, 便所排気ファン運転時は日中最大 1.3 回/h, 夜間最大 1.0 回/h, 便所排気ファン停止時は日中最大 0.9 回/h, 夜間最大 0.9 回/h であった。
- 6) 本実測調査のために開発した多層階の給排気量の多点同時連続計測システムを用い, 夏季に各階のガラリーにおいて2秒間隔で実測を行った結果, 共用スペースからソーラーチムニーシャフトへ流出する排気量の増減は1～4階でほぼ同タイミングで変動していること, ソーラーチムニーシャフトのガラリーで時折逆流が生じていること, 各階の共用スペースからソーラーチムニーシャフトへ流出した排気量とソーラーチムニーから大気への排気量とは全体的に一致していることなどを確認することができた。

謝 辞

調査の実施にあたり, 北九州市立大学管理課の皆様にご協力をお願いした。また, 本論文を纏めるにあたり, 早稲田大学の田辺新一教授に貴重なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Mat Santamouris, Francis Allard: Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook(1998-5)
- 2) 木村建一・タヘリ ローヤ: 気候と民家構造, IBEC(1985-7), pp. 8-15
- 3) 趙晟佑・木村建一: 校舎建築の自然換気システムにおけるソーラーチムニーの性能予測に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.537(2000-11), pp. 37-42
- 4) 桂木宏昌・木村建一・趙晟佑・榎本丈二: ソーラーチムニーを利用した自然換気システムの研究 (その 1) システムの概要とソーラーチムニー頂部の気流特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2(2000-9), pp. 523-524
- 5) 趙晟佑・木村建一・桂木宏昌・榎本丈二: ソーラーチムニーを利用した自然換気システムの研究 (その 2) ソーラーチムニー

- の性能予測に関するシミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2(2000-9), pp. 525-526
- 6) 趙晟佑・木村建一：ソーラーチムニーによる自然換気システムの性能予測に関する実験研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.81(2001-4), pp. 11-19
 - 7) 榎本丈二・木村建一・品田宜輝・桂木宏昌：ソーラーチムニーと地中ピットを組み合わせた自然換気システムの実測研究 (その 1) システムの設計と開校前の実測調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2001-9), pp. 37-40
 - 8) 品田宜輝・木村建一・桂木宏昌・榎本丈二：ソーラーチムニーと地中ピットを組み合わせた自然換気システムの実測研究 (その 2) 開校前後の運用状態における換気性能実測調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2001-9), pp. 41-44
 - 9) 品田宜輝・木村建一・桂木宏昌・榎本丈二・宋城基：ソーラーチムニーと地中ピットを組み合わせた自然換気システムの実測研究 (その 3) 開校 1 年目の自然換気作用実績と建物冷却効果, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9), pp. 1633-1636
 - 10) 品田宜輝・木村建一・桂木宏昌・榎本丈二・宋城基：ソーラーチムニーと地中ピットを組み合わせた自然換気システムの実測研究 (その 5) 開校 2 年目の自然換気作用状況と冷却効果, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2003-9), pp. 1185-1188
 - 11) 品田宜輝・木村建一・桂木宏昌・榎本丈二・宋城基：ソーラーチムニーと地中ピットを組み合わせた自然換気システムの実測研究 (その 7) 開校 3 年目の自然換気作用状況とクールピットにおける熱交換量, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2004-9), pp. 433-436
 - 12) 品田宜輝・木村建一・桂木宏昌・宋城基：大学校舎棟における自然エネルギー利用自然換気システムの開校後 4 年間に渡る作用状況とクールピットにおける熱交換量, 太陽/風力エネルギー講演論文集(2005-10), pp. 83-86
 - 13) Yoshiteru SHINADA, Ken-ichi KIMURA, Hiromasa KATSURAGI and Sung-ki SONG : Natural ventilation system for a school building combined with solar chimney and underground pit, CLIMA(2007-6), Helsinki, Finland, Vol. 2, pp. 539-546
 - 14) 品田宜輝・木村建一：ソーラーチムニーと地中ピットとを組み合わせた自然換気システムの基本性能に関する実測調査, 日本建築学会環境系論文集, 74-636(2009-2), pp. 169-175
 - 15) 品田宜輝・木村建一：多層建築の自然換気システムにおける各階給排気量の多点同時連続計測システムの開発と現場実測結果, 日本建築学会環境系論文集, 74-639(2009-5), pp. 595-601

(平成 21. 5. 11 原稿受付)

Field Investigation on the Performance of Natural Ventilation System Combined with Solar Chimney and Underground Pit for Four Years Part 1 —— System Operation and Supply/Exhaust Air Volumes of Natural Ventilation

by Yoshiteru SHINADA ^{*1}, Ken-ichi KIMURA ^{*2}, Hiromasa KATSURAGI ^{*3} and Sung-ki SONG ^{*4}

Key Words: Natural Ventilation System, Solar Chimney, Underground Pit, Air Volume of Natural Ventilation, Field Measurement

Synopsis : The specific features of the natural ventilation system combined with solar chimney and underground pit installed in the new university buildings in Kitakyushu City are described together with the measured results of supply/exhaust air volumes, when the natural ventilation took place, for four years after the school opening. The period of natural ventilation increased to cover 33-61% of the cooling period from 2nd to 4th year, being amounted to 80% at night hours for four years. During the period of natural ventilation, the supply air volume through underground pit to the occupied spaces was found about 6,000 m³/h and the exhaust air volume from the occupied space to solar chimney about 4,000 m³/h on annual average, being

quite stable for four years. The rate of supply and exhaust air volumes through the grilles installed between the corridors and the vertical shafts were estimated from the air velocity across the grilles measured by the special device developed for this purpose. It was found that the exhaust volume from the occupied space to the solar chimney shaft and that from the solar chimney to the outside air were coincided as a whole. The tendency of supply/exhaust air volumes was found to increase in the intermediate seasons and decrease in summer. Exhaust air volume from solar chimney was affected by the operation mode of toilet exhaust fan with a rather large air volume to a considerable extent. The maximum amount of air change rate by natural ventilation based on outside air intake volume through the underground pit was estimated to 1.3 h⁻¹ during the daytime and 1.0 h⁻¹ during night time while the toilet fan operating.

(Received May 11, 2009)

^{*1} Technical R&D Division, Techno Ryowa Ltd., Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Member

^{*2} Waseda University, Honorary Member

^{*3} Environment-M/E Eng. Dept., Nihon Sekkei Inc., Member

^{*4} Toyohashi University of Technology, Member