

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 13 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360280

 研究課題名（和文）省エネルギー性と浮遊微生物濃度実態に着目した  
 地中冷温熱利用外気導入方法の総合評価

 研究課題名（英文）Synthetic evaluation of energy-saving efficiency and air contamination  
 by microbe in air supply system using underground pit

研究代表者

龍 有二 (RYU YUJI)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：20191695

研究成果の概要（和文）：空調用外気負荷低減を目的とした地中冷温熱利用外気導入システムを対象として、その熱湿気挙動、省エネルギー性、空気質（浮遊微生物濃度）の特性を明らかにした。特に、空気質に関して、冬期以外の浮遊真菌濃度は維持管理基準値を超えていること、冷房期間中のピット内の平均湿度と危険湿度出現率が極端に高いこと、浮遊微生物の幾何平均径及びその分布結果より、浮遊真菌の粒子特性は外気導入方法の影響を受けることがわかった。

研究成果の概要（英文）：The energy-saving efficiency and indoor air contamination by microbe in buildings were examined from the viewpoints of air supply method and geothermal utilization pit. The main conclusions obtained from this research are as follows. (1) With the exception of the winter season, most of the airborne fungi concentrations have exceed the academic standard value. (2) For a period of cooling operation, average relative humidity and appearance rate of dangerous humidity indicated very high value in the pit. (3) As a result of aerodynamic median diameters, distributions of aerodynamic diameter showed a different tendency by air supply methods.

交付決定額

(金額単位：円)

|         | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2009 年度 | 5,700,000  | 1,710,000 | 7,410,000  |
| 2010 年度 | 4,100,000  | 1,230,000 | 5,330,000  |
| 2011 年度 | 2,800,000  | 840,000   | 3,640,000  |
| 総 計     | 12,600,000 | 3,780,000 | 16,380,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：環境設備計画、省エネルギー、空気質、地中冷温熱

## 1. 研究開始当初の背景

「空調用エネルギー消費に伴う炭酸ガス排出量削減」と「シックハウス対策として重要視されている必要かつ十分な換気量の確保」という空調・換気システムの2つの課題に矛盾することなく対処するシステムとして、建物内で必要とされる新鮮空気を地中冷温熱で冷却（夏季）加温（冬季）して導入する「地中冷温熱利用外気導入方式」が改めて注目されている。その省エネルギー効果や涼房効果

に期待して住宅やビルに導入した例も少ない。しかしながら、建物と外気導入経路との熱的連成系を考慮した省エネルギー性能や、真菌および細菌などの空気中浮遊微生物濃度実態、運転・制御条件と外気導入経路の管理方法などを考慮した総合的な評価研究は未だ十分進んでいないのが現状である。ここ数年、地中冷温熱利用外気導入方式の代表例として、地下ピットを外気導入経路として利用する方式が採用されつつあるものの、

空気中の粉塵や浮遊微生物に関する諸問題、運転・管理手法などまだ数多くの課題が残っている。

## 2. 研究の目的

本研究では、外気導入経路を地下あるいは半地下に埋設する地中冷温熱利用外気導入方式に着目し、本方式の熱・空気環境を明らかにするとともに、省エネルギー性と良好な空気環境を兼ね備えた、すなわち、地球環境負荷および健康リスクを最小化する地中冷温熱利用外気導入方式の設計・管理指針の作成を目指すものである。特に、今後普及の可能性が高いと思われる地下ピット方式を主な研究対象として選定し、実際に使用されている実システムの長期実測調査により、導入空気の状態（浮遊真菌・細菌濃度および粉塵量）、熱湿気挙動、冷暖房負荷削減効果を定量的に明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の(1)～(4)に示す研究方法によって「地中冷温熱利用外気導入方式」(図1参照)の性能解析、総合評価を行う。  
(1)「地中冷温熱利用外気導入方式(地下ピット方式)」を採用した複数施設の長期熱環境調査および消費エネルギー調査を行い、地下ピット方式の熱湿気挙動や冷暖房負荷削減効果などを明らかにする。

(2)建物(1階部分、地下ピット部分)と地盤を含めた熱的連成系モデルを作成し、シミュレーションにより外気導入経路の長さ・形状・仕様等と省エネルギー性能との関係を明らかにする。さらにこの結果を整理し、本システムの熱的設計指針作成を目指す。

(3)北九州市事業化支援センターおよび北九州市立大学校舎棟の地下ピット方式を対象に、導入空気の状態(浮遊真菌・細菌濃度および粉塵量)を長期的に測定する。とくに、導入空気の状態(浮遊微生物濃度と外気の状態(微生物濃度との関係や地下ピットの湿度との関係を把握するとともに、微生物の粒径や分類についての知見も得る。さらに「微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準・同解説」(建築学会2005)の基準値との比較を行い、本システムの空気汚染の状況について評価する。

(4)上記の(1)～(4)の結果を整理することにより、健康リスクを招かず、省エネルギー効果を最大化する地中冷温熱利用外気導入方式の設計・管理指針の作成を目指す。

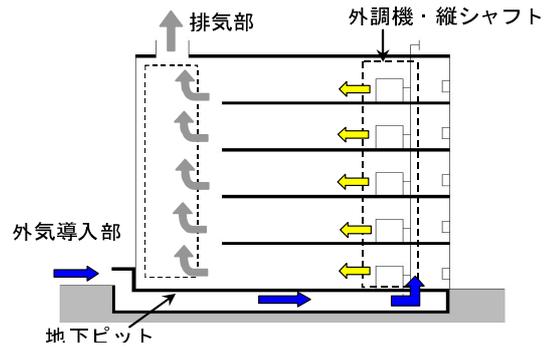


図1 研究対象地下ピット

## 4. 研究成果

(1) 研究・事務所複合施設に採用された地中熱利用外気導入システムを対象に、建物内及びピット内の温湿度長期実測と空調消費電力測定を実施し、その省エネルギー性能について検討した。得られた知見は以下とおりである。

①地中熱利用システムは夏期8月に25～26℃、冬期12月に約14℃の出口温度が確保でき、安定した予冷予熱性能が得られる。

②クールピット方式での夏季の外調機運転は日平均外気温22℃以上の気象条件が基準となる。

③ピット内の冷却熱流は地盤に接する北側壁(建物外周部)よりピットの床面ならび配管ピット側(建物外周部から離れている面)のほうが大きいことがわかった。

④地中熱利用装置の省エネルギー性能を検討するため、ピットから外気を導入する場合と屋上外気を導入する場合の二つケースで比較実験を行った。その結果、ピットから外気を導入した場合の各階外調機消費電力量は外気を直接導入するより平均で30～40%削減される

(2) 地下ピット内の熱伝達特性の動的変化を把握することを主たる目的とし、北九州学術研究都市内の事業化支援センターを対象とした非定常CFD解析モデルを作成し、夏期冷房時および冬季暖房時の24時間(1日)の解析を行った。なお、地盤の初期条件には熱回路網解析の年間シミュレーションの結果を用い、CFD解析でも助走期間として別途24時間の解析を行っている。非定常CFD解析では、初期条件として用いた地下ピット躯体及び地中温度分布に関して改善の余地は残るものの、実測結果と解析結果の比較より、夏期及び冬季共に地下ピット出口温度及び顕熱冷却(加熱)熱量を概ね再現することができた。

シミュレーション結果より、夏期日中は、流入空気温度が高くなるため、地下ピットを冷熱源として有効に活用できているが、一方

で朝方はその効果は非常に小さくなる上、結露発生の可能性も示唆された。冬季は一日を通じて、地下ピットを熱源として有効に利用可能であった。

(3)省エネルギー型空調システムを採用した建物での浮遊微生物汚染の実態を把握することを目的として、事務所兼研究施設において、室内と外気の浮遊微生物濃度、微生物粒子の特徴、浮遊細菌の形状および染色性について調査を行った。その結果、地中熱利用ピットや自然換気装置が採用されている建物では、浮遊微生物濃度が高濃度となりやすく、特に浮遊真菌濃度では維持管理規準を満足できないこと、地中熱利用ピットおよび自然換気装置の運転時に、室内と外気の浮遊微生物濃度に明確な相関性が見られ、室内微生物濃度は地中熱利用ピットおよび自然換気装置により、外気の影響を受けやすいことが分かった。さらに、平均粒径とグラム染色の結果より、浮遊真菌の濃度や菌種は外気の影響を受けやすいが、浮遊細菌では影響を受けにくいことが分かった。

さらに、複数の地中熱利用ピットを有する建物において、外気導入方法と地中熱利用ピットに着目し、規準の検証、ピット内の温熱環境と浮遊細菌・真菌濃度の関係等について詳細な調査を行った。その結果、浮遊細菌濃度は、地中熱利用ピットより外気導入を行っている室内(ピット系)と一般的な空調システムを採用している室内(一般空調系)とも、概ね維持管理規準濃度を満足していた。また、在室者が多い部屋や長時間滞在する部屋で高濃度となる傾向が見られ、外気導入方法による濃度差は見られなかった。浮遊真菌濃度では、12月～3月の冬期以外のほとんどの測定で維持管理規準を超えていた。また、外気導入方法による濃度差は、空調期間中は一般空調系がやや低かったが、明確な差は見られなかった。地中熱利用ピットについては、平均温度、平均相対湿度、危険湿度出現率とも、細菌よりも真菌の相関係数が高く、浮遊真菌濃度のほうがピット内の温熱環境の影響を受けやすいことが分かった。また、危険湿度出現率と浮遊微生物濃度の推移は、比較的模式が似ており、危険湿度出現率と浮遊真菌濃度の推移との間に関係性が見られることから、浮遊真菌濃度の変動を推測する指標となると考えられ、微生物濃度低減対策にも寄与できると思われる。さらに、冷房期間中の地中熱利用ピット内の平均湿度は80%、危険湿度出現率は85%と極端に高く、特に梅雨期間中の7月から8月1回目の危険湿度出現率は100%であり、結露対策が施されていても、夏期にピット内で高湿度状態が長時間続き、対策としては不十分であることが示された(図2参照)。

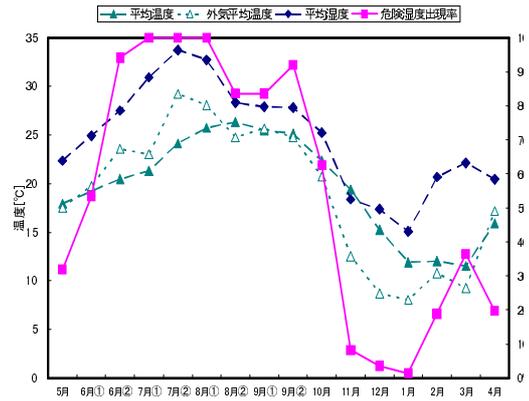


図2 ピット内環境の推移

また、浮遊微生物濃度が高濃度となりやすい建物において、日本建築学会規準で定められた測定法を用いて、外調機フィルタの性能の違いによる浮遊微生物濃度の変化、浮遊微生物粒子の特性、微生物の捕集・除去効果と室内微生物汚染の実態を把握し、基礎データを収集することを目的として調査を行った。その結果、空気経路上の浮遊微生物濃度の推移は、細菌・真菌ともにピットで高くなり、吹出し口でフィルタにより捕集され、急激に低くなり、リフレッシュスペースでは吹出し口と同程度の濃度となった。また、春や秋の中間期が高く、冬期は低くなる。フィルタ性能と吹出し口の浮遊微生物濃度との関係について、浮遊細菌では明確な差は見られなかったが、浮遊真菌では高性能フィルタを使用した場所で、僅かながら低濃度となった。フィルタによる浮遊微生物粒子の除去効果を検討するため、吹出し口とピット内浮遊微生物濃度の比率をS/P比と定義し、S/P比(吹出し口とピット内濃度の比率)は概ね1.0未満であり、細菌の平均は0.17、真菌の平均は0.24と低く、フィルタ性能が高いほどS/P比が低くなった。ピットと吹出し口の幾何平均径(年平均値)から、細菌・真菌ともにフィルタにより粒径の大きな浮遊微生物が捕集されていた。また、真菌では、フィルタ性能が高いほど、幾何平均径が粒径の小さな段数相当径に集中する傾向があること等を明らかにした。

(4) 地中冷温熱利用外気導入方式において、省エネルギーと健康的な室内環境の両立を考えると、トレードオフの関係にあるため、慎重に検討しなければならない。また、ピットが汚染源である可能性が高いことを突き止めることはできたが、ピット内に敷設されているセラミックス系調湿・脱臭材の経年変化や汚染の詳細について、調査を行うことができなかった。そのため、セラミックス系調湿・脱臭材の維持管理についての提案も、十

分に行うことができなかつた。今後は、セラミックス系調湿・脱臭材の表面に堆積していた付着物についての分析を行い、ピット内の浮遊微生物との関係性についても調査する必要があると思われる。また、フィルタに関する知見としては、高性能フィルタを用いると浮遊真菌濃度は低下したが、日本建築学会が示す規準濃度以下に抑えることはできなかった。高性能フィルタは浮遊粒子の捕集効率が高くなるが、圧力損失が大きくなり、空調機ファンの電力消費量が増加し、騒音の原因にもなり、今後の検討課題である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 芦谷友美、白石靖幸、安永龍一、龍有二、CFD 解析による夏季及び冬季の地下ピット内伝熱性状の動的評価 - 土壌熱交換システムの冷却・加熱効果の予測手法に関する研究 (その1) -、日本建築学会環境系論文集、査読有、Vol. 77、No. 677、2012、pp. 575-582
- ② 石松維世、松鶴悟実、龍有二、地中熱利用ピットを有する建物における浮遊微生物の濃度変動と温湿度環境、日本建築学会環境系論文集、査読有、Vol. 77、No. 676、2012、pp. 491-498
- ③ 松鶴悟実、石松維世、龍有二、地中熱利用外気導入システムに組み込んだ外調機のエアフィルタによる浮遊微生物の除去効果に関する調査研究、日本建築学会技術報告集、査読有、Vol. 16、No. 33、2010、pp. 573-578

[学会発表] (計21件)

- ① Tomoya SAKAMOTO、Evaluation of Heat Transfer Characteristics in an Underground Pit System Based on CFD Analysis、The Yellow Sea Rim International Exchange Meeting on Building Environment and Energy Feb. 2-5、2012、Kitakyushu
- ② 石松維世、地中熱利用ピットを有した建物における温湿度環境と浮遊微生物濃度、日本建築学会 2011 年度大会学術講演梗概集、2011 年 8 月 23 日-25 日、東京
- ③ Yumi Ashitani、Evaluation of Heat Transfer Characteristics in an Underground Pit System Based on CFD Analysis、8th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA)、November、9-12、2010.
- ④ 桑本大将、地中熱利用型空調システムの

省エネルギー性能に関する研究、日本建築学会 2011 年度大会学術講演梗概集、2010 年 9 月 10 日、富山

- ⑤ 松鶴悟実、省エネルギー型外気導入システムを採用した事務所兼研究施設における微生物による室内空気汚染に関する調査研究、プレ ISCC2010 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究発表会 2010 年 6 月 9 日、東京
- ⑥ 松鶴悟実、事務所兼研究施設における微生物による室内空気汚染に関する研究、空気調和・衛生工学会九州支部報告、2009 年 5 月 25 日、福岡

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

龍 有二 (RYU YUJI)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授  
研究者番号：20191695

##### (2) 研究分担者

白石 靖幸 (SHIRAISHI YASUYUKI)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授  
研究者番号：50302633

小島 昌一 (KOJIMA SHOICHI)

佐賀大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：90305029

石松 維世 (ISHIMATSU SUMIYO)

産業医科大学・産業保健学部・講師  
研究者番号：40289591

谷口 初美 (TANIGUCHI HATSUMI)

産業医科大学・医学部・教授  
研究者番号：00037483