

平成21年 5月20日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19760401  
 研究課題名（和文）高断熱事務所建物に適用可能な水方式による躯体蓄熱暖冷房システムの提案・開発  
 研究課題名（英文）Suggestion and Development of thermal storage heating and cooling systems by the water method applicable to highly insulated office buildings  
 研究代表者  
 菊田 弘輝（KIKUTA KOKI）  
 北海道大学・大学院工学研究科・助教  
 研究者番号：20431322

研究成果の概要：水方式による躯体蓄熱暖冷房システムは、高断熱建物における室内負荷の顕熱成分に対応するシステムである。CASBEEの最高ランクSに相当する建物を対象に、本システムのコミッショニング及びシステムチューニングを実施し、快適性・省エネ性・経済性の向上を確認した。また、低温温水による輻射暖房ならびに高温冷水による輻射冷房の可能性を示唆し、本システムと併用する形で、ダブルスキンにおける省エネルギー効果、トップライトボイド空間における各階の日射負荷の分配率を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	420,000	2,920,000

研究分野：建築環境・設備、環境計画・設計

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：高断熱事務所建物、躯体蓄熱、暖冷房システム、フリークーリング

タグチメソッド、ダブルスキン、トップライト、日射負荷

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 間欠運転から連続・夜間運転へ

寒冷地の高断熱事務所建物を対象とした場合、暖房期の室内発生熱は暖房用熱源として生きてくることから、低温度差の暖房システムを計画・設計することが可能となる。対照的に、冷房期の室内発生熱は当然暖房期と性格が異なるものの、室温が安定化すると考えられるため、室温変動の許容を前提とした冷房システムを計画・設計することが可能となる。

仮に、暖冷房の運転方法を連続運転にした場合、機器稼働時間の増加による熱源機器容量の縮小化、夜間運転にした場合、昼間電力の夜間電力シフトによる電力負荷の平準化に繋がる可能性がある。そのため、環境設備の改善によるイニシャルコストやランニングコストの削減が期待できる。以上のことから、建物の高断熱効果や躯体の蓄熱・蓄冷効果がある程度考慮されれば、暖冷房の運転方法の自由度も増すため、従来の間欠運転から連続・夜間運転への転換も考えられる。

## (2) 空気方式から水方式へ

一般事務所で使用されるパッケージエアコンのような暖冷房の運転方式は、建物全体の熱負荷を除去するため、暖房時に室温よりも高い空気を送風し、冷房時に室温より低い空気を送風することによって、室内の温湿度調整が為されている。しかし、このような空気方式では、搬送動力の削減にも限度があることから、高い省エネ性・経済性が望めない状況と言える。

現在、事務所のエネルギー消費比率の内訳では、暖冷房に関わる熱源・熱搬送のエネルギー消費比率が全体の40[%]、室内発生熱に関わる照明・コンセントのエネルギー消費比率は全体の35[%]を占めることが知られている。以上のことから、事務所特有の室内発生熱や使用実態に対して、搬送動力が小さい水方式による躯体蓄熱暖冷房システム（架橋ポリエチレン管を床スラブ内に埋設し、その管内に温冷水を流すシステム）の制御手法の問題が解決されれば、暖冷房の運転方式の自由度も増すため、従来の空気方式から水方式への転換も考えられる。

## 2. 研究の目的

間欠運転から連続・夜間運転へ、空気方式から水方式への新しい着想と、これまでの既存技術を発展させて、高断熱事務所建物に適用可能な水方式による躯体蓄熱暖冷房システムにおいて、制御手法に関わる合理的なシステムの提案・開発を実施することが目的である。

本システムは高温水や低冷水だけではなく、外気処理に一度使用した温冷水を再度カスケード的に利用することによって、省エネ時代に対応するシステムとして、あるいは架橋ポリエチレン管をそのまま通年に渡って使用することによって、複雑な機械設備を解消するシステムとしても期待できる。そして将来的には、建築と設備の一体化を可能とする環境設備計画を確立し、更なる快適性・省エネ性・経済性の向上を目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) 高断熱+水方式の短期・長期計測

- ① 冷房期・中間期・暖房期のデータ収集
  - ② 心理的評価と物理的評価との簡易比較
  - ③ フリークーリングによる床冷却の簡易評価
  - ④ BEMS を用いた室内温熱環境の評価
  - ⑤ 室内発生熱量の把握
  - ⑥ BEMS を用いた室内温熱環境の総合評価
  - ⑦ 熱源機器容量の評価
- (2) 高断熱+水方式の検討・開発
- ① 制御手法の提案と評価
  - ② 諸問題と標準化への対応
  - ③ CASBEE の高ランク取得と中間期の拡大

### ④ 日射取得熱量の把握

### ⑤ 分離方式の提案と評価

本研究での水方式による躯体蓄熱暖冷房システムは、高断熱建物における室内負荷の顕熱成分に対応するシステムである。実測調査+数値解析+模型実験を通して、上記の項目について検証する。

## 4. 研究成果

### (1) 高断熱+水方式の短期・長期計測

① CASBEE の最高ランク S に相当する建物を対象に、POEM-0 を用いた心理的評価と物理的評価との簡易比較について、快適性の観点から検証した。更に、フリークーリングによる床冷却の簡易評価について、熱収支の観点から検証した。

② 床冷房における制御手法のコミッションングを行った結果、フリークーリングによる省エネルギー効果として、フリークーリング寄与率、熱源システム COP、夜間移行率を明らかにした。更に、システムチューニング後の省エネルギー実績が定量化され、札幌の一般的な事務所ビルに比べても40[%]以上の削減率となった。

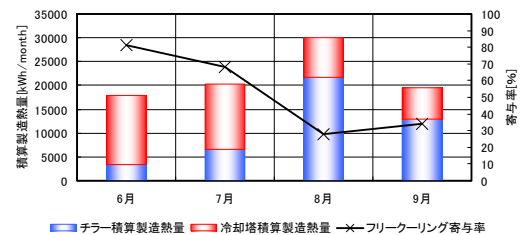


図1 積算製造熱量とフリークーリング寄与率

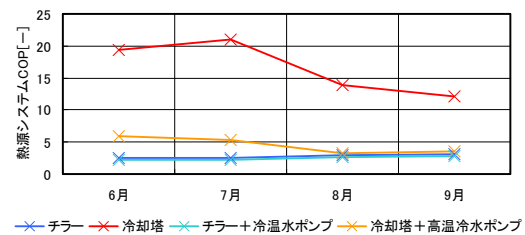


図2 熱源システム COP

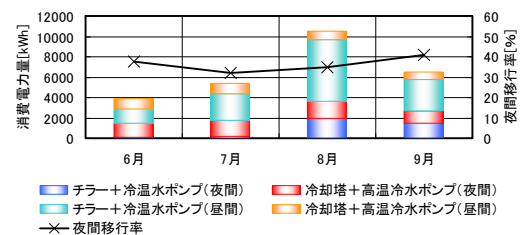


図3 消費電力量と夜間移行率

(2) 高断熱+水方式の検討・発展

① 札幌・仙台・東京・福岡の4地域を対象に、ガラス被覆空間を有する建物のPALに対してタグチメソッドを用い、PALを低減する建物の仕様を検討し、改善仕様と最適仕様を明らかにした。得られた改善仕様を参考に、簡易予測制御を適用した配管設置型の床暖冷房システムの設定水温について分析し、連続運転や改善仕様に伴い、低温温水による輻射暖房ならびに高温冷水による輻射冷房の可能性が示唆された。

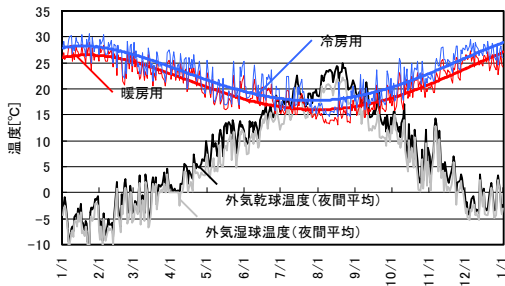


図4 近似設定水温のスイングの一例(札幌)

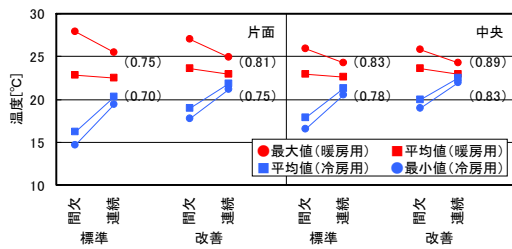


図5 近似設定水温の温度特性(札幌)

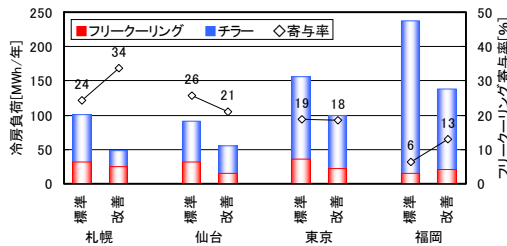


図6 冷房負荷とフリークーリング寄与率

② 水方式による躯体蓄熱暖冷房システムと併用する形で、北国の冷涼な気候を有効に活用した外気冷房・自然換気・夜間換気を積極的に駆使し、(a)ダブルスキン、(b)トップライトボイド空間を有する建物について検討した。

(a)実測調査によるコミッショニング及び逐次積分法と換気回路網を連成させた非定常解析を行った。その結果、前者では、夏期・中間期・冬期それぞれの熱貫流率、日射熱取得率、省エネルギー効果を明らかにした。後

者では、札幌において内側ガラスの断熱性能を変更した場合、暖房負荷が削減され、9.7[%]の熱負荷低減効果が得られた。更に、ナイトバージを行うことで札幌では16[%]、東京では11[%]の熱負荷低減効果が得られ、寒冷地特有の冷涼な外気利用による省エネルギー効果が最も大きくなることが確認された。

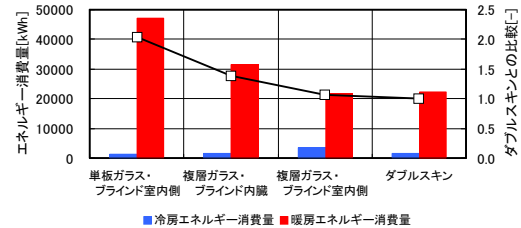


図7 DSによる省エネルギー効果

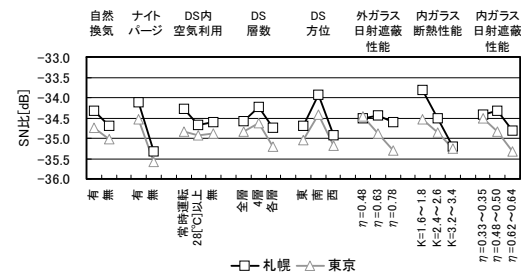


図8 SN比平均値

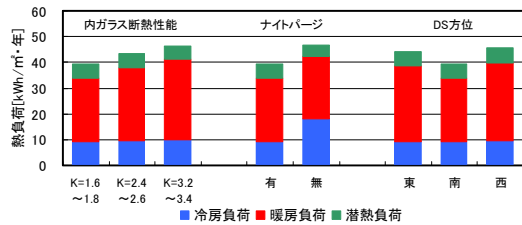


図9 省エネルギー効果(札幌)

(b) 建物の高断熱・高气密化に伴い、熱・光環境を形成する内的因子(室内発生熱)及び外的因子(日射取得熱)の中で、トップライトからの日射取得熱を定量的に把握することが、本システムにおける環境設備計画(最上階のオーバーヒート、熱源機器容量の過大設計等)にとって必要不可欠であることが確認された。発光効率を用いた測定照度から日射負荷を推定する手法を提案し、その妥当性について感度解析を行った。その結果、照度に関する発光効率から日射量が算定され、最終的にトップライト型ボイド空間への入射光による各階の日射負荷(直達日射と天空日射)の分配率が推定可能となった。

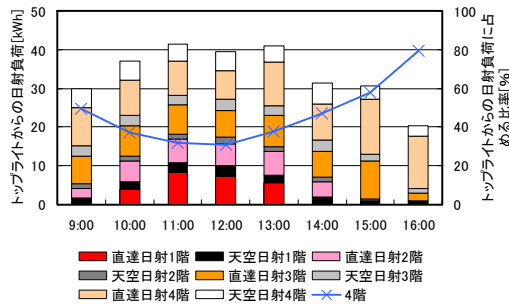


図 10 トップライトからの日射負荷の内訳 (札幌)

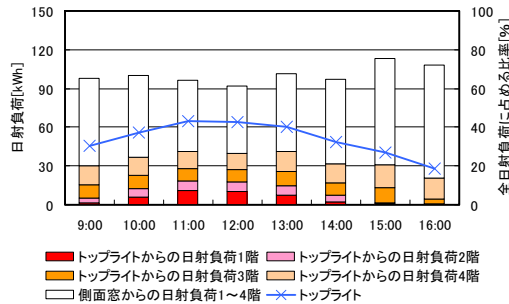


図 11 全日射負荷の内訳 (札幌)

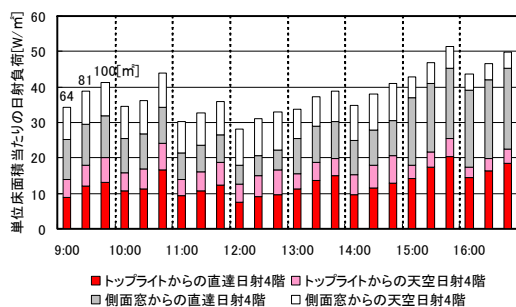


図 12 ボイド面積別の単位床面積当たりの日射負荷の内訳 (4階) (札幌)

## 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1件)

- (1) 菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、宮坂敏一、RC造戸建の外断熱住宅における躯体蓄熱型冷房システムに関する性能評価—床冷房の可能性と問題点—、日本建築学会環境系論文集、No.626、pp.463-470、2008、査読有

〔学会発表〕(計30件)

- (1) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、佐藤秀紀、寒冷地型ダブルスキンの熱負荷低減手法に関する研究 その1 計算モデルおよび数値計算概要、空気調和・衛生工学会北海道支部 第43回学術講演会、2008. 3. 15、北海道大学

- (2) 伊藤匡貴、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、トップライト型ボイド空間における各階日射負荷推定手法に関する研究、空気調和・衛生工学会北海道支部 第43回学術講演会、2008. 3. 15、北海道大学
- (3) 菊田弘輝、泉孝典、絵内正道、羽山広文、断熱建物におけるトップライト型ボイド空間の熱・光環境計画に関する研究 その2 模型実験における入射光による各階の日射負荷の推定、平成20年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会 合同研究発表会、2008. 11. 6～7、とりぎん文化会館
- (4) 菊田弘輝、畑中壮大、絵内正道、羽山広文、佐藤秀紀、高瀬敏洋、寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その4 夏期・冬期におけるダブルスキンによる省エネルギー効果 2008年度日本建築学会大会、2008. 9. 18～20、広島大学
- (5) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、佐藤秀紀、高瀬敏洋、寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その3 夏期・冬期におけるダブルスキン近傍の熱挙動、2008年度日本建築学会大会、2008. 9. 18～20、広島大学
- (6) 今井綾子、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、高瀬敏洋、平屋建てRC造外断熱建物の環境性能に関する実測調査 その2 夏期・冬期におけるピット経由給気効果の検証、2008年度日本建築学会大会、2008. 9. 18～20、広島大学
- (7) 泉孝典、絵内正道、羽山広文、菊田弘輝、トップライト型ボイド空間を対象とした光・熱環境計画に関する研究 その1 模型実測による各階における直達日射の挙動推定、2008年度日本建築学会大会、2008. 9. 18～20、広島大学
- (8) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、佐藤秀紀、高瀬敏洋、寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その5 夏期・中間期における熱除去性能、平成20年度空気調和・衛生工学会大会、2008. 8. 27～29、立命館大学
- (9) 菊田弘輝、今井綾子、絵内正道、羽山広文、平屋建てRC造外断熱建物の外皮計画及び暖冷房計画に関する研究 その2 床暖冷房システムにおける自然エネルギー利用の検討、平成20年度空気調和・衛生工学会大会、2008. 8. 27～29、立命館大学
- (10) 今井綾子、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、平屋建てRC造外断熱建物の外皮計画及び暖冷房計画に関する研究 その1 簡易外断熱モデルを用いた外皮計画

- の検討、平成 20 年度 空気調和・衛生工学会大会、2008. 8. 27～29、立命館大学
- (11) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、佐藤秀紀、高瀬敏洋、寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その 2 冬期における熱性能評価、日本建築学会北海道支部 第 81 回研究発表会、2008. 6. 28、北海道工業大学
- (12) 今井綾子、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、高瀬敏洋、平屋建て RC 造外断熱建物の環境性能に関する実測調査 その 1 冬期における床暖房及びピット経由給気効果の検証、日本建築学会北海道支部 第 81 回研究発表会、2008. 6. 28、北海道工業大学
- (13) 菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、夏期・中間期におけるフリークーリングによる省エネルギー効果の検証、日本建築学会北海道支部 第 81 回研究発表会、2008. 6. 28、北海道工業大学
- (14) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、佐藤秀紀、寒冷地におけるダブルスキンを有する事務所建物の環境性能評価 その 1 夏期・中間期における熱性能評価、空気調和・衛生工学会北海道支部 第 42 回学術講演会、2008. 3. 15、北海道大学
- (15) 泉孝典、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、トップライト型ボイド空間を対象とした光・熱環境計画に関する研究 その 1 模型実測による各階の天空日射負荷の推定、空気調和・衛生工学会北海道支部 第 42 回学術講演会、2008. 3. 15、北海道大学
- (16) 菊田弘輝、今井綾子、絵内正道、羽山広文、平屋建て RC 造外断熱建物の環境計画に関する研究 その 2 床暖冷房システムにおける簡易予測制御の分析、空気調和・衛生工学会北海道支部 第 42 回学術講演会、2008. 3. 15、北海道大学
- (17) 今井綾子、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、平屋建て RC 造外断熱建物の環境計画に関する研究 その 1 簡易外断熱モデルを用いた年間熱負荷の分析、空気調和・衛生工学会北海道支部 第 42 回学術講演会、2008. 3. 15、北海道大学
- (18) 菊田弘輝、泉孝典、絵内正道、羽山広文、断熱建物におけるトップライト型ボイド空間の熱・光環境計画に関する研究 その 1 入射光による各階の日射負荷の推定、平成 19 年度 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会 合同研究発表会、2007. 10. 25～26、札幌コンベンションセンター
- (19) 菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、外断熱住宅における躯体蓄熱型冷房システムによる床冷房の可能性と問題点、平成 19 年度 空気調和・衛生工学会大会、2007. 9. 12～14、東北工業大学
- (20) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査 その 11 冬期における床暖房の立ち上がり特性、平成 19 年度 空気調和・衛生工学会大会、2007. 9. 12～14、東北工業大学
- (21) 白石洋平、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査 その 10 中間期における室内環境の水平温度分布、平成 19 年度 空気調和・衛生工学会大会、2007. 9. 12～14、東北工業大学
- (22) 泉孝典、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、寒冷地における設計用気象データに関する研究 高断熱建物の開口計画の際に考慮すべき気温・日射・風向等の地域気候特性の把握、平成 19 年度 空気調和・衛生工学会大会、2007. 9. 12～14、東北工業大学
- (23) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査 その 9 冬期における床暖房効果の検証、2007 年度 日本建築学会大会、2007. 8. 29～31、福岡大学
- (24) 白石洋平、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査 その 8 冬期における室内環境の快適性評価、2007 年度 日本建築学会大会、2007. 8. 29～31、福岡大学
- (25) 菊田弘輝、絵内正道、羽山広文 寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査 その 7 中間期におけるフリークーリングの検証、2007 年度 日本建築学会大会、2007. 8. 29～31、福岡大学
- (26) 泉孝典、絵内正道、羽山広文、菊田弘輝、寒冷地における設計用気象データに関する研究 気温・日射・風速等地域気候及び地域特性を生かした外断熱システムの仕様設定、2007 年度 日本建築学会大会、2007. 8. 29～31、福岡大学
- (27) 泉孝典、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査 その 6 吹抜けを有する建物においてトップライトが室内照度に与える影響の把握、日本建築学会北海道支部 第 81 回研究発表会、2007. 7. 21、北海道職業能力開発大学校
- (28) 畑中壮大、菊田弘輝、絵内正道、羽山広文、寒冷地における高断熱事務所建物の環境性能に関する実測調査 その 5 中間期における床冷却効果の検証、日本建

- 築学会北海道支部 第 81 回研究発表会、  
2007. 7. 21、北海道職業能力開発大学校
- (29) 白石洋平、菊田弘輝、絵内正道、羽山  
広文、寒冷地における高断熱事務所建物の  
環境性能に関する実測調査 その 4 中  
間期における室内環境の快適性評価証、  
日本建築学会北海道支部 第 81 回研究発  
表会、2007. 7. 21、北海道職業能力開発  
大学校
- (30) 菊田弘輝、吉川真弓、絵内正道、羽山  
広文、温暖地における外断熱住宅の躯体  
蓄熱型冷房システムに関する性能評価、  
日本建築学会北海道支部 第 81 回研究発  
表会、2007. 7. 21、北海道職業能力開発  
大学校

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

菊田 弘輝 (KIKUTA KOKI)  
北海道大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：20431322

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

泉 孝典 (IZUMI TAKANORI)  
㈱大林組 (当時：大学院生)  
吉川 真弓 (YOSHIKAWA MAYUMI)  
札幌市 (当時：学部生)  
白石 洋平 (SHIRAISHI YOHEI)  
㈱コスモスイニシア (当時：大学院生)  
畑中 壮大 (HATANAKA MASAHIRO)  
㈱北海道日建設計 (当時：大学院生)  
今井 綾子 (IMAI AYAKO)  
北海道大学・大学院工学研究科・大学院生  
伊藤 匡貴 (ITO MASAKI)  
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・  
大学院生 (当時：学部生)