

# 建築・設備における未利用及び 自然エネルギー活用に関する一連の研究

金沢工業大学 垂水弘夫



## 2023年 日本建築学会通常総会 大賞・文化賞・学会賞・教育賞・著作賞・作品選奨 贈呈式 懇 親 会





都市排熱の面的利用と潜熱化に関する研究

1章

コージェネレーションシステムの  
建築への適用効果とCO<sub>2</sub>排出を  
意識した設備選択に関する研究

2章

北陸の住宅課題に対応した研究：  
断熱気密住宅を含む居住者意識  
調査と排湿外壁構造に関する研究

3章



## 建築・設備における未利用及び 自然エネルギー活用に関する一連の研究

金沢工業大学 垂水弘夫

4章

アースチューブの潜熱を含む  
地中熱利用効果に関する研究

5章

ビル基礎梁空間を利用した  
トレンチの地中熱利用効果  
に関する研究

6章

地下水利用放射空調  
システムに関する研究

7章

農業分野への貢献としての地下水  
冷却温室の開発に関する研究







## 背景

建築におけるエネルギー消費の抑制は、カーボンニュートラルの概念が登場し、それが目標となるよりもずっと以前から、建築と建築設備分野における大きな命題の一つであった。断熱材の適用が明記されたエネルギーの使用の合理化に関する法律が成立したのが1980年であり、その源は1972年に発生したオイルショックに遡る。以来この半世紀、建築環境工学と建築設備を専門とする研究者・技術者は、この命題を意識しながら様々な領域で研究を継続しており、竣工したZEB（Zero Energy Building）の要素技術などにその姿をみることができる。

また、エネルギー消費の抑制と同時に達成しなくてはならないのが、建築の内部で働き、生活する人々の健康と快適性の向上を担保することである。SDGsの理念に沿った建築と設備のあり方が問われ続けている。

## これまでの研究の現状と本論文の位置付け

建築におけるエネルギー消費の抑制には、躯体と設備に関して省エネルギー化を図る側面と、立地的に未利用エネルギーや自然エネルギーを活用する側面がある。本論文はこれら両面を中心に据えながら、エネルギー消費を伴わずに、あるいはエネルギー消費を最小化しながら温熱環境をコントロールする手法・技術の開発を含めて、以下の7つの研究課題から成っている。

- 1章 都市排熱の面的利用と潜熱化に関する研究
- 2章 コージェネレーションシステムの建築への適用効果とCO<sub>2</sub>排出を意識した設備選択に関する研究
- 3章 北陸の住宅課題に対応した研究：断熱気密住宅を含む居住者意識調査と排湿外壁構造に関する研究
- 4章 アースチューブの潜熱を含む地中熱利用効果に関する研究
- 5章 ビル基礎梁空間を利用したトレンチの地中熱利用効果に関する研究
- 6章 地下水利用放射空調システムに関する研究
- 7章 農業分野への貢献としての地下水冷却温室の開発に関する研究

以上の諸研究は、1) エネルギー消費はカスケード利用を基本とし発生した電力・熱は建物内で使用し、さらに排熱が大規模に存在するときは地域的な面的利用のための判断資料を作成する、2) 建築の周囲に存在する地中熱や地下水熱などの自然エネルギーを外気負荷削減や熱源として活用する際の効果のレベルを提示する、3) エネルギー消費削減を目指す中で衛生的な観点から除湿が求められる課題（トレンチ結露、湿気問題の解消）については新たな具体的対策を提案する、など建築と設備におけるエネルギー消費抑制のための研究として、撚糸のように繋がっている。



## 1章 都市排熱の面的利用と潜熱化に関する研究

都市排熱の面的利用として、まず東京都23区の当時の11清掃工場を対象に訪問調査を行い、それまで単に可燃性廃棄物の量に23区平均の発熱量を乗じて利用可能排熱量を予想していた先行研究に対し、焼却炉の熱特性・既設のボイラと発電機容量・地域のごみの月別発熱量を用いて、実務に耐え得る各清掃工場の利用可能排熱量を特定するとともに、周辺地域への熱供給の難易性を数理計画法に基づく算定モデルを作成して23区マップ上に提示することで、導入適性の高い地域の明示を可能としている。

また、都市排熱の潜熱化は、既に生産プロセスやビルから排出されている顕熱・潜熱を含む排熱について、さらに潜熱化を進めることで、都市の高温化を防ぐ方法を提案したものである。解析値の実現性を担保するため、一定量以上のエネルギーを消費している工場・事業場（ビルを含む）に届け出が義務化されている東京都のばい煙発生施設を対象に、燃料消費量や排ガス発生量の通年データを取得して、潜熱化による顕熱放出熱の抑制効果を初めて解析した。当時、都市の高温化を回避する手法の一つとして、各方面より別刷りの提供依頼があった。

## 2章 コージェネレーションシステムの建築への適用効果とCO<sub>2</sub>排出を意識した設備選択に関する研究

わが国へのコージェネレーションの1980年代導入初期に、コージェネレーションは発電と排熱利用で総合効率が80%近くにもなり、系統電力に比べて2倍ほど有利などと喧伝されていた状況に対し、茅陽一先生を代表とする科学研究費・エネルギー重点領域研究に参画し、建築物における系統電力購入とコージェネレーションシステムの運用併用による省エネルギー効果を代数式で表現し、建物の電力・熱需要に基づく熱電比やコージェネレーションの発電容量設置割合などのパラメータに基づき、シミュレーション結果を提示して、適切な省エネルギー効果推定の先駆けとなるとともに、関連してコージェネレーションシステムが適用された実建物に関するフィールド調査結果を報告している。

また、電力会社によって電源構成（火力、原子力、水力など）の割合や出力が異なることから、未公開運転データの一部を電力中央研究所の理解の下に入手し、建築物の立地地域によるCO<sub>2</sub>発生量の相違を空気調和システムの選択という面から提示した。



### 3章 北陸の住宅課題に対応した研究：断熱気密住宅を含む居住者意識調査と排湿外壁構造に関する研究

研究の拠点を北陸に移して後に取り組み始めた、断熱気密住宅に対する居住者意識調査及び、そこで最も問題意識の高かった屋内の湿気に対して取り組んだ排湿外壁構造に関する研究業績を示す。住宅金融公庫（当時）によれば、1990年代の北陸各県（富山、石川、福井）の新築住宅における複層ガラス採択率は1割に満たず全国でも最下位クラスで、温暖な関東都県よりも低い状況にあり、住宅の断熱・気密性能によるエネルギー消費の削減と良好な温熱環境形成との関係を把握し、早期に地元ユーザーに周知する必要があった。ほぼ同時期に、世帯の高齢化が進む状況を考え、高齢化と住宅設備選択の関係を省エネルギーの面から15年、30年などの期間に渡って評価するシミュレーションを考案し、院生による解析を指導した。

また、石川県中央保健所との共同研究において、湿気を訴える住宅を含む6棟の通年実測調査を行った際、同一地区に在りながら換気を励行している住宅では相対湿度が低いこと、冬期に換気を行わない住宅では暖房室のリビングでは高温・乾燥しているものの寝室などは低温・高湿度の時間が長く結露発生が問題化していることなどが明確となった。計画換気以外の湿気対策の重要性が認識され、これがエネルギー消費を伴わずに屋内からの排湿を可能とする排湿外壁構造の開発に繋がった。

### 4章 アースチューブの潜熱を含む地中熱利用効果に関する研究

京都大学の前田敏男先生や、東北大学の長谷川房雄先生以来研究されてきた地中熱利用や、アースチューブの性能把握に関して、環境省及び国土交通省の補助の下、富山県に新築されたモデルハウスを対象に2年間に渡る実測を継続して、潜熱除去の効果を初めて定量的に明確にし、北陸の埋設深2mの条件では、夏期においては顕熱除去よりも潜熱除去の効果が勝ること、また顕熱でみると夏期よりも冬期の熱取得効果が大きかったものが、潜熱除去を含めると夏期の効果が上回ることなどを明示した。その後も複数の住宅や施設で、アースチューブによるこうした熱利用効果を検証した。



## 5章 ビル基礎梁空間を利用したトレンチの地中熱利用効果に関する研究

第5章では、ビルの地中熱利用として、基礎梁空間に外気を導入するトレンチの外気負荷削減効果を複数の建物を対象に調査し、一般的な土に接するコンクリート壁を利用するケースと、トレンチ内に無断熱の大口径金属製ダクトを設置し、ドレン水进行处理しながら熱利用を図るケースとを比較して、大口径金属製ダクトを用いた地中熱・間接利用法の位置付けを明確にした。金属製ダクトの風量設定等によりコンクリート地中壁を介した直接利用と同等以上のレベルの熱利用が可能となり、結露及びカビの発生など衛生上の問題を危惧してなかなか進まなかったビルの地中熱利用に、一つの選択肢を提供できたものである。

## 6章 地下水利用放射空調システムに関する研究

地下水を熱源とする放射空調システムのPMV制御に関する研究を初めとして、クールスポットの設定に関する被験者研究に至るまでの、一連の研究について研究業績を示している。最近の研究では、従来屋外で利用されることが多かったドライミストを、屋内のクールスポットで人体の速やかなクールダウンに用いる方法を提案し、ZEBで多く採用される放射空調について、エネルギー消費面で親和性の高いドライミスト利用に関する研究業績を提示した。

## 7章 農業分野への貢献としての地下水冷却温室の開発に関する研究

農業用温室の地下水を用いた夏期冷却効果と12月までのトマト優良品収穫量との関係を解析することで、夏期夜間の1℃の乾球温度低下が、秋以降の収穫量の増加に影響することを捉えた研究について示す。農業分野では、トマト栽培は2月の温室内定植から12月まで、つる下ろしを行いながら同一株を生かして継続される。この際に問題となるのが夏期における温室内の高温化と乾燥である。石川県農業試験場から相談があり、地下水を用いた夏期冷却試験に5年間に渡り取り組んだ。当初は高温になる昼間の冷却に重点を置いて空気調和機の性能向上に腐心したが、後半に気が付きがあり、夜間に温室の側窓及び外気取入れ口を閉鎖して内気循環により地下水冷却を実施することで夜温を対照温室よりも低下させること、昼間の乾燥には温室内に直接ミスト噴霧を行うことで対処するなど、まさに建築設備分野で培ってきた技術の適用により、農業分野に貢献できた研究業績がある。優良品の収穫量が約12%増加する研究成果を背景に、県の指導の下、地下水を豊富に有する石川県内のトマト農家において、この栽培方法が普及しつつある。





## 1.1 都市排熱の面的利用

### 論文1

パリの地域熱供給の例をみるまでもなく、清掃工場排熱は都市排熱の中でも大きなポテンシャルを有している。東京都23区の11清掃工場（当時）を対象に、ごみ焼却排熱に関わるシステムフローを調査した上で、毎時の排熱量を把握するために熱精算図を作成した。

最大排熱量は[（高圧コンデンサ蒸気消費熱量）+（低圧コンデンサ蒸気消費熱量）- {（ボイラ給水保有熱量）-（空気予熱器出口復水保有熱量）}]で求まる。しかし実際の排熱量には、ごみ焼却量等に連動して時刻変動があることから、安定して利用可能な排熱量を把握する必要がある。通年のデータ分析に基づき、平均値ではなく、（平均-不偏分散平方根）の値を設定することで、各清掃工場をならして85%、ある清掃工場では97%の年間日数において、当該設定値以上の排熱が利用出来ることを明らかにした。

### 論文2

東京都23区を経緯度メッシュの基準メッシュ（東西約1130m、南北約920m）に分割した熱需要地に対し、排熱源である各清掃工場からの熱輸送問題を、 $C_{ij}$ （清掃工場*i*から熱需要者*j*への単位供給熱量当たり抵抗）と $X_{ij}$ （清掃工場*i*から熱需要者*j*への熱供給量）の積和を最小化する目的関数を設定し、シンプレックス法により最適解を得ている（図1：人口密度480人/haの例）。計631メッシュの中で、排熱利用の難易を数量的に比較することを可能としたものであり、排熱を利用する施設の戦略的立地の検討などに有用である。また、他の排熱源を付加する拡張性も有している。なお、「1.1」に関連して参考文献1)～3)がある。

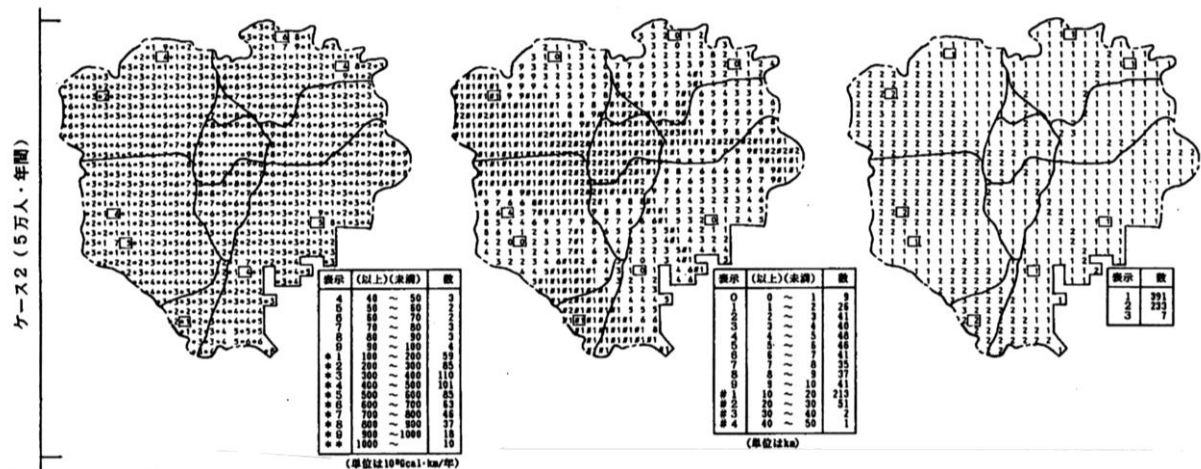
1. 垂水弘夫, 早川一也, 藤井修二: 都市排熱の地域冷暖房への導入に関する研究, その1 清掃工場における利用可能排熱量の推定, 日本建築学会計画系論文報告集, 第347号, pp.11-20, 1985.1 [https://doi.org/10.3130/aijax.347.0\\_11](https://doi.org/10.3130/aijax.347.0_11)
2. 垂水弘夫, 藤井修二, 久保猛志, 早川一也: 都市排熱の地域冷暖房への導入に関する研究, その2 清掃工場を熱源とする地域熱供給問題の検討, 日本建築学会計画系論文報告集, 第378号, pp.28-37, 1987.8 [https://doi.org/10.3130/aijax.378.0\\_28](https://doi.org/10.3130/aijax.378.0_28)
3. Hiroo Tarumi, Shuji Fujii and Naohisa Ito: Conversion of Exhaust Heat to Latent Heat for the Management of Thermal Environment in Urban Areas, Elsevier Sequoia S.A., The Journal Energy and Buildings, Vol.16, pp.609-616, 1991



# 1.2 都市排熱の潜熱化

## 論文3

排熱の大気等への放出は、都市の高温化をもたらし、さらに建築物の冷房需要が高まるなど、エネルギー消費の悪循環を招く可能性がある。ここでは、クーリングタワーを用いて顕熱を潜熱化する方法の有用性を、シミュレーションモデルを作成して評価した。潜熱化される熱量の割合を最大化することが目的関数となる一方、制約条件として、このクーリングタワーの運転に必要な電力の発生に伴って発生する排熱量Aが、潜熱化された熱量Bよりも小さくなければならない ( $R=A/B$ )。東京都23区のばい煙発生施設届出データに基づき、産業部門では業種別に、民生分問では建物用途別に年間エネルギー消費量、排ガスの持つ顕熱量及び潜熱量を把握し、算定モデルに適用した。排ガスの温度レベルにもよるが、Rを19%以下に抑えられることが示されたものである。(Fig.2)



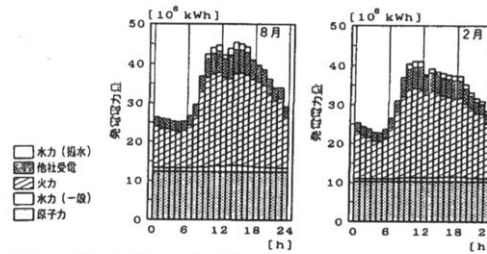


図2 第3水曜日受電実績データ (1992年度, 東京)

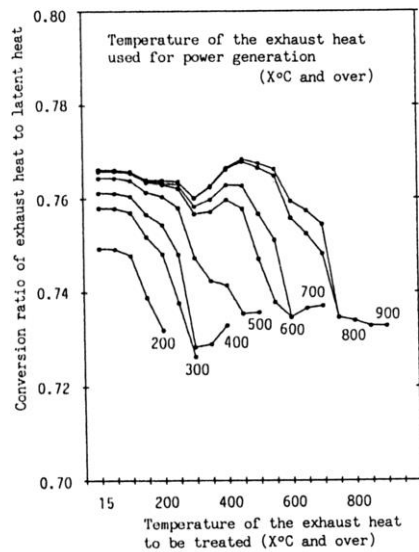


Fig.2 Conversion ratio of exhaust heat to latent heat (業績3)

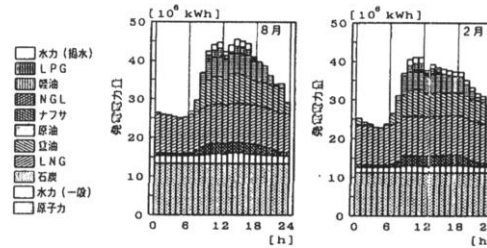


図3 電源構成により内訳された時刻別発電電力量 (1992年度, 東京)

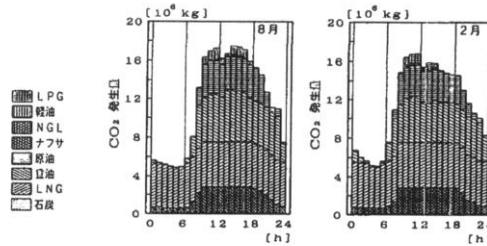


図4 系統電力の時刻別CO<sub>2</sub>発生量 (1992年度, 東京)

図3 地域別・時別の系統電力CO<sub>2</sub>発生原単位設定のフロー東京の例 (業績6)

|                     |      |    |    |     |    |    |
|---------------------|------|----|----|-----|----|----|
| A.全回答               | 1068 | 12 | 41 | 121 | 68 | 65 |
| B.1.0cm程度+二重窓・複層ガラス | 36   | 44 | 17 | 111 | 25 | 3  |
| C.5cm程度・5cm未満+単板ガラス | 289  | 11 | 51 | 121 | 69 | 41 |
| I.風通しが非常に良い         | 236  | 21 | 41 | 25  | 50 |    |
| ロ.風通しが良い            | 665  | 10 | 51 | 91  | 74 | 2  |
| ハ.風通しが良いとは云えない      | 164  | 41 |    | 73  | 20 |    |
| B+イ                 | 12   | 50 | 8  | 81  | 33 |    |
| B+ロ                 | 21   | 43 | 24 | 14  | 19 |    |
| C+イ                 | 68   | 19 | 41 | 22  | 54 |    |
| C+ロ                 | 182  | 11 | 31 | 121 | 73 |    |
| C+ハ                 | 39   |    |    | 79  | 21 |    |

壁・窓の断熱と風通しの状況

冬季・夏季ともに快適

冬季に快適

夏季に快適

冬季・夏季ともに不快

その他

\* (B+ハ)の組み合わせは回答数が3件のため割愛した

図4 断熱水準と風通しの程度を指標とする住宅の冬季・夏季における快適性評価 (業績7)

#### 【参考文献】

1. 早川一也, 藤井修二, 垂水弘夫: 都市排熱の解析における電子計算機の応用, 日本建築学会, 電子計算機利用シンポジウム論文集, 第5号, pp.289-294, 1983.3
2. 垂水弘夫: 建築環境工学用教材・環境編 (共著), 日本建築学会編集, 丸善, (執筆分担) 1章 都市環境 都市エネルギーと都市設備 (pp.4-5), 1988.10
3. 垂水弘夫: 地域冷暖房システム (共著), 井上書院, (執筆分担) 2.3地域冷暖房と排熱利用 (pp.130-150), 2.4地域冷暖房実施例における熱需要調査 (pp.151-158), 1992.3

## 2章 コージェネレーションシステムの建築への適用効果とCO<sub>2</sub>排出を意識した設備選択に関する研究



### 2.1 コージェネレーションシステム

#### 論文4

国内でのコージェネレーションの事例数が二桁に留まっている時期に、熱電比が大きいホテル建築への適用効果を把握すべく、従来システムに対する省エネルギー率、排熱回収率を指標として特別に通年シミュレーションを行い、原動機（ディーゼルエンジン、ガスエンジン）と熱源機（ボイラ、吸収式冷凍機、ヒートポンプ）の選択が結果に及ぼす影響を捉えた。

#### 論文5

コージェネレーションの系統連系は、1986年の資源エネルギー庁通達によって可能となり、早期にその実態と効果を社会に明示する必要があった。しかしそれまでコージェネレーションによる発電電力と系統からの受電電力を、通年の時系列データとして把握・解析した研究は皆無であり、月別の発電受電時別パターンの作成を通じて、逆潮流を生じない運転と制御や、契約電力設定に関する知見が得られた。また、時刻別の稼働実態データが得られることで、当該建物へのコージェネレーション発電容量の増設が有効であるか、判定に資する発電電力量の増加と稼働率のシミュレーションが可能となることを提示した。なお、「2.1」に関連して参考文献4)～10)がある。

4. 垂水弘夫, 早川一也, 藤井修二, 海蔵寺博史: コージェネレーションシステムの省エネルギー効果の評価に関する研究, 日本建築学会環境工学論文集, 第6号, pp.147-152, 1984.11
5. 垂水弘夫, 久保猛志: 系統連系コージェネレーションシステムに関する調査研究, リゾートタイプホテルにおける時刻別運転データの分析と検討, 日本建築学会計画系論文報告集, 第434号, pp.19-24, 1992.4 [https://doi.org/10.3130/aijax.434.0\\_19](https://doi.org/10.3130/aijax.434.0_19)
6. 垂水弘夫, 久保猛志, 竹内進: 建築物におけるエネルギー使用に伴うCO<sub>2</sub>発生量の評価, 系統電力の電源構成による地域性を考慮した空調システムを選択, 日本建築学会計画系論文集, 第463号, pp.55-64, 1994.9 [https://doi.org/10.3130/aija.59.55\\_1](https://doi.org/10.3130/aija.59.55_1)





## 2.2 CO<sub>2</sub>排出を意識した設備選択

### 論文6

電力会社の電源構成は、会社によってもまた時間帯によっても異なるものであり、単位消費電力当たりのCO<sub>2</sub>発生量も時々刻々変化する。当時まだ明らかにされていなかった電力の特別CO<sub>2</sub>発生原単位を、大手電力会社9社に関する各電源（火力、水力、原子力など）の通年運転データを入手して解析し、定めるところから研究はスタートした。次に大型のオフィスビル及びホテル建築の電力・熱需要パターンに対し、空気調和システムの熱源構成として（系統電力＋ボイラー＋電動ターボ冷凍機）などベーシックなシステムその他、コージェネレーション、夜間蓄熱運転などを加えた7タイプを適用して、各地域において最もCO<sub>2</sub>発生が小さいシステムの比較検討を行ったものである。CO<sub>2</sub>発生原単位や空調熱源機のタイプ・効率などは時代により変化して行くが、こうした評価の方法と必要性は普遍と考えられる。（図3）

#### 【参考文献】

4. 藤井修二，垂水弘夫，湯浅和博，早川一也，赤木直義：コージェネレーションシステム選定プログラムの開発，日本建築学会，電子計算機利用シンポジウム論文集，第9号，pp.169-174，1987.3
5. 藤井修二，垂水弘夫，湯浅和博：コージェネレーションシステムの建築への適用に関する研究，建物用途および運転条件を考慮した評価，日本建築学会計画系論文報告集，第387号，pp.14-22，1988.5
6. 垂水弘夫：コージェネレーションシステム（共著），電気学会技術報告，第263号，（執筆分担）1.緒言（p.3），2.コージェネレーションシステムの実態調査（pp.3-26），4.コージェネレーションシステムの設計と評価 4.1コージェネレーションシステムの評価手法（pp.94-109），1988.1
7. 藤井修二，垂水弘夫，湯浅和博，新邦夫，早川一也：民生用コージェネレーションシステムの実態調査，日本建築学会計画系論文報告集，第389号，pp.46-52，1988.7
8. 垂水弘夫：コージェネレーションのシステムと技術（共著），電気学会技術報告，第357号，（執筆分担）1.緒言（p.1），2.コージェネレーションシステムと機器（2.1，2.2）（pp.1-11），5.コージェネレーションの普及実態（5.1）（pp.97-106），1990.12
9. 垂水弘夫：コージェネレーションシステムの技術と利用動向（共著），電気学会技術報告，第485号，（執筆分担）1.緒言（p.1），2.コージェネレーションシステムの現状と動向（2.1）（pp.1-10），5.3逆流なし系統連系の事例データ分析（pp.159-165），1994.4
10. 垂水弘夫：都市形分散電源システム（共著），電気学会技術報告，第609号，（執筆分担）1.緒言，2.都市形分散電源システム（pp.1-9），1996.10

# 3章 北陸の住宅課題に対応した研究：断熱気密住宅を含む居住者意識調査と排湿外壁構造に関する研究



## 3.1 断熱気密住宅を含む居住者意識調査

### 論文7

断熱構造工事等に関する公的利用率が全国水準よりもかなり低い数値に留まっていた地域的背景があり，戸建て住宅を対象に断熱仕様・暖冷房実態・温冷感に関する比較的大規模なアンケート調査を実施した。（富山・石川・福井の各県ごとに1000戸ずつ，計3000戸に地域を定めて訪問・口頭依頼を行い，A4版18ページの調査票を郵送により回収した。1101件の有効回答が得られ，回収率は36.7%であった。）結果として，躯体・窓の断熱仕様の高さや冬期における温冷感ランク，湿気感ランク，結露発生割合との間に高い相関が確認されるとともに，閉じられる住宅（断熱・気密）と開けられる住宅（風通しの良さ）の両方の機能を有する住戸において，冬の寒さ・夏の暑さに対する不満回答が大きく減少することも明らかとなった（図4）。また，大半を占める断熱5cm以内・単板ガラスの住宅群では，現在の住宅の不満な点27項目の中で，結露が発生するが43.7%で最大の回答割合であることも明確になった。なお，「3.1」に関連して参考文献11）～16）がある。

7. 垂水弘夫，久保猛志，酒井健興：北陸の戸建住宅における温冷感を中心とした居住者意識調査，熱性能・暖冷房等の実態と快適性評価の高い住宅の抽出，日本建築学会計画系論文集，第488号，pp.25-34，1996.10 [https://doi.org/10.3130/aija.61.25\\_6](https://doi.org/10.3130/aija.61.25_6)
8. 垂水弘夫，田口浩太：排湿外壁構造の排湿効果に関する基礎的研究，人工気象室を用いた試験棟実験，日本建築学会環境系論文集，第76巻，第661号，pp.239-246，2011.3 <https://doi.org/10.3130/aije.76.239>
9. 垂水弘夫，坂本剛：フィールド試験棟を用いた排湿外壁構造の排湿効果に関する実験的検討，日本建築学会環境系論文集，第80巻，第712号，pp.527-534，2015.6 <https://doi.org/10.3130/aije.80.527>



## 3.2 排湿外壁構造の開発

### 論文8

この研究は、エネルギーを消費することなく、屋内外の水蒸気分圧差を利用して自律的に湿気を戸外へと放出する外壁の開発を行ったものである。調湿建材では室内の湿気を吸湿して、その後室内の相対湿度が下がった時に再度室内へ水分を放湿するが、排湿外壁は厚さ10mm程度の稚内層珪質頁岩を主原料とするブロックを介して、室内から吸湿した水蒸気をそのまま透過させて外壁の通気層内に放湿させるアイデアである。人工気象室内に4坪試験棟を建築し、窓下の畳程度の大きさの排湿外壁パネルに、ほぼA4サイズの排湿ブロックを12枚単位ではめ込んで実験を行った。排湿係数 ( $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )、排湿勾配 ( $\text{g} / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ) を整理し、建材負荷率 ( $\text{m}^2 / \text{m}^3$ ) と相対湿度低減に要する時間数との関係を導出して、排湿外壁構造を住宅外壁に適用する際の実務に資する資料を作成した。(図5, 6, 7)

### 論文9

排湿外壁構造を隙間相当面積 $0.26\text{cm}^2/\text{m}^2$ の性能を有するフィールド試験棟に設置して、外壁が直接外気に触れる条件の中で、冬期排湿性能実験を行った。金沢と東京の冬期1月の平年値より、冬期・暖房時の屋内外水蒸気分圧差は金沢よりも東京の方が大きい。金沢でフィールド試験を実施することは、東京など住宅数も多い太平洋側の地域に対して安全側の結果を提示することに繋がる。生活行為と人体からの水蒸気発生を時間ごとに模擬可能な水蒸気発生モニタリングシステムを構築し、屋内外の水蒸気分圧差と排湿量の関係を時系列で捉えた。次のステップとして過去11年間の気象庁外気温湿度データを解析し、これに実測結果を適用することで一冬の排湿量を月別及び期間で推定可能な算定モデルを提示した。なお、「3.2」に関連して特許を取得している。参考文献17)。

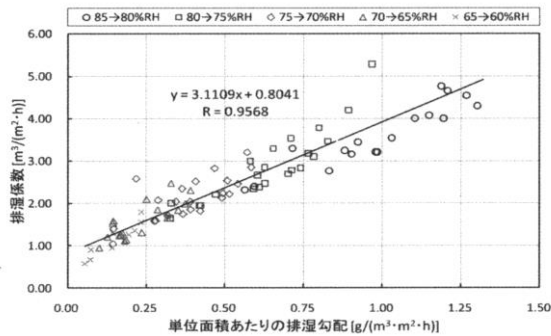


図5 排湿係数と実測値の相関関係（業績8）

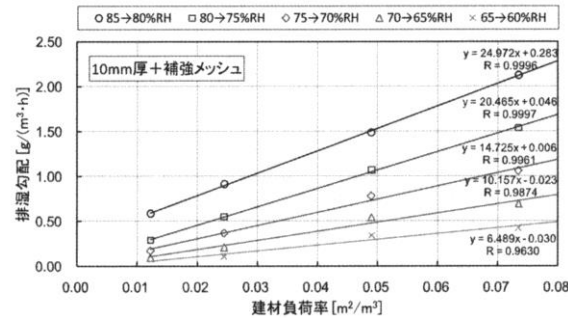


図6 建材負荷率と排湿勾配の関係（業績8）

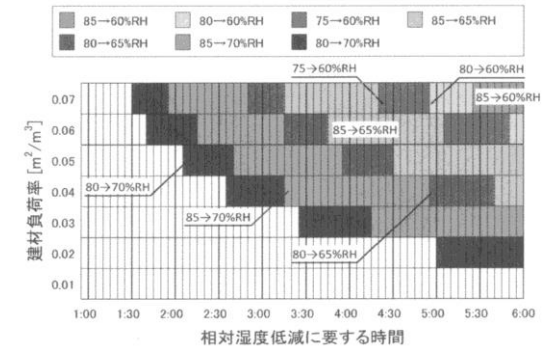


図7 建材負荷率と相対湿度低下に要する時間数（業績8）

#### 【参考文献】

1. 垂水弘夫：北陸の住宅に関する意識調査，北陸電力株式会社委託研究報告書，pp.1-408，1995.3
2. 垂水弘夫訳：R-2000高断熱・高気密住宅の計画・施工マニュアル，カナダホームビルダーズ協会編，井上書院，pp.1-282，1997.7
3. 垂水弘夫：住環境調査，石川県中央保健所委託研究報告書，2000.3
4. 西村仁，池田真樹，藤村知春，垂水弘夫：北陸の次世代省エネルギー基準全電化住宅を対象とした温熱環境と暖冷房用エネルギー消費に関する実態調査，日本建築学会環境系論文集，第582号，pp.37-44，2004.8
5. 平松義久，浅森智子，垂水弘夫：家族成長を考慮した住宅エネルギーシステムの評価，日本建築学会環境系論文集，第594号，pp.45-52，2005.8
6. 浅森智子，垂水弘夫：世帯の高齢化を考慮した住宅エネルギーシステムの評価，日本建築学会環境系論文集，第618号，pp.93-100，2007.8
7. 垂水弘夫（発明者）：排湿外壁構造，特許第4682334号，2011.2特許査定，2008.7出願，特願2008-183159，2010.1公開，特開2010-19054



## 4章 アースチューブの潜熱を含む地中熱利用効果に関する研究



### 論文10

アースチューブはビルや工場敷地に設置される場合もあるが、多くは住宅や小規模建築で採用される。1980年頃から先行研究がみられる中、埋設深さ・長さや季節による入口出口間の温度上昇・低下の関係を捉えたものが大半で、潜熱分を評価した研究例は報告されていなかった。環境省及び国土交通省の補助の下、富山市内のモデル住宅に、一般に山留工事が不要な埋設深2mのアースチューブを設置した。配管は橢円配置の総延長100mで、住宅の0.5回/hに相当する換気量を設定して、2年間に渡る温湿度実測を行った。この結果、顕熱分だけをみると夏期除去熱よりも冬期取得熱の方が大きいですが、潜熱分を含めると夏期除去熱が冬期取得の2倍に達する様な日も出現する。この現象について、湿り空気線図上にアースチューブ吸込み口・吹出し口における日平均の温度と絶対湿度の状態点を取ることで、除湿プロセスの可視化に努めた。また、0.5回/h程度の換気量でアースチューブを利用する範囲において、2年目の地中温度が1年目よりも冬期に低下する、あるいは夏期に上昇するなどという状況は生じないことを確認できた。（図8、9、10）

### 論文11

埋設深2mのアースチューブを高岡市のコミュニティ施設に設置したケースについて、論文10と同様の結果が得られるかを検証した。論文10の住宅は丘陵地、この施設は平地に位置しており、5年後の実測である。アースチューブからの吹出し温度は外気に比べて夏期に3～4℃程度低く、冬期に5～6℃程度高くなる点、また、夏期に顕熱除去熱量に潜熱除去熱量を加えることで、冬期の顕熱取得熱量の1.5倍程度（月平均）に達する点など、論文10とほぼ同様の結果が示された。なお、「4」に関連して、冬期に住宅の付設温室による加熱空気をアースチューブに導入する住宅換気システムについて、特許を取得している。参考文献18）。

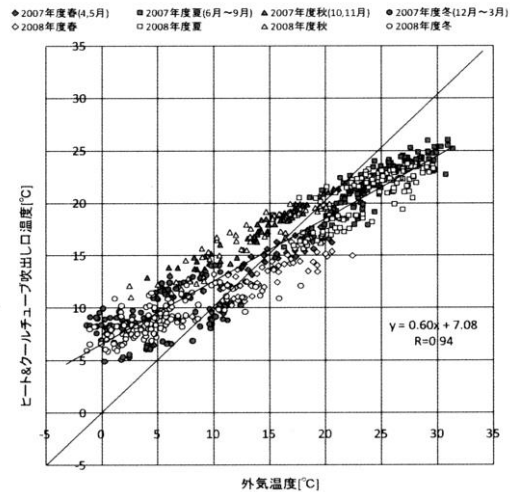


図8 外気温度と屋内吹出し口温度との関係  
(業績10)

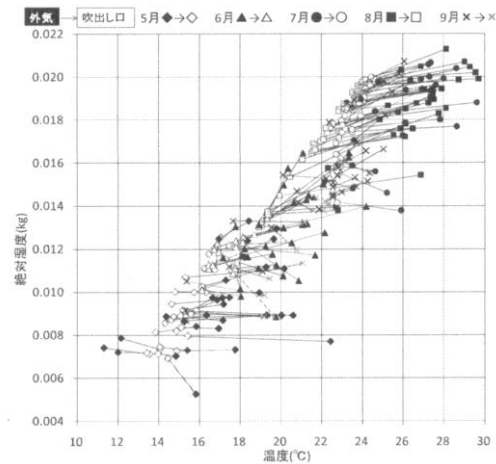


図9 吸込み口・吹出し口間の日平均温度・  
絶対湿度差(業績10)

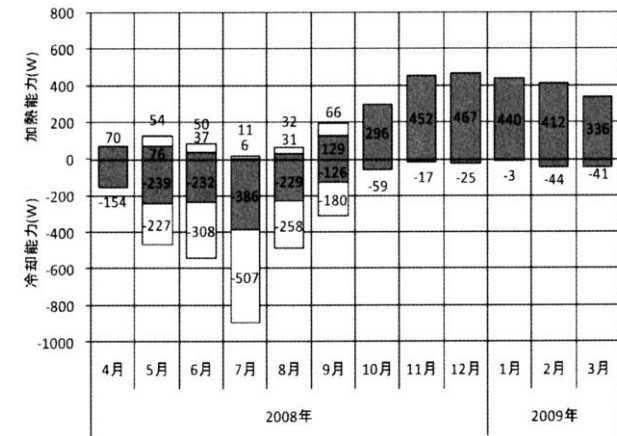


図10 アースチューブの月平均冷却・加熱能力  
(業績10)

10. 垂水弘夫, 簗原由紀: ヒート&クールチューブ住宅の地中熱利用効果に関する調査研究, 北陸に立地する戸建モデル住宅を対象として, 日本建築学会環境系論文集, 第75巻, 第651号, pp.423-429, 2010.5 <https://doi.org/10.3130/aije.75.423>
11. 垂水弘夫, 神保歩未, 飯田太郎, 横山天心: 埋設深2mのアースチューブに関する冷却及び加熱効果, 高岡市のコミュニティ施設における通年実測調査, 日本建築学会技術報告集, 第22巻, 第52号, pp.1035-1040, 2016.10 <https://doi.org/10.3130/aijt.22.1035>

【参考文献】

18. 垂水弘夫(発明者): 住宅換気システム(付設温室アースチューブ住宅換気システム), 特許第5483051号, 2014.1特許査定, 2009.3出願, 特願2009-048676, 2010.9公開, 特開2010-203657

# 5章 ビル基礎梁空間を利用したトレンチの地中熱利用 効果に関する研究



## 論文12

ビルにおける地中熱利用としてのトレンチについては、2000年代に入って先行研究がみられ始めた。この研究では、2015年竣工の大学に設置されたトレンチを対象に、通年実測による性能把握を行ったものである。高さ1.35m×幅1.94mのコンクリート製のトレンチ断面が、約56m続く地下回廊となっている。アースチューブと異なり、夏期の潜熱除去熱量はかなり小さいこと、冬期の顕熱取得熱量が夏期の顕熱除去熱量の2倍以上となることなどが見い出された。当該トレンチは地下1階部分に相当する位置にあることから、地下に複数階を有する場合には様相が異なる可能性があるが、ビルなどでも外気負荷の潜熱分を地中熱利用によって積極的に前処理したいときは、アースチューブの選択が考えられることを示唆した。（2021年竣工のS建設北陸支店nZEBでは、アースチューブを採用）

## 論文13

コンクリート製のトレンチで地中熱利用を計画するとき、最も危惧されるのは表面での結露発生とカビの問題であろう。この研究では、地下空間内にφ800の無断熱金属製の外気取り入れダクトを約74m設置することで、論文12のコンクリート製トレンチと比較してどの程度の熱的效果が得られるか、同一敷地内・同一年通年の比較実測を行ったものである。金属製ダクト内に発生したドレン水については排水が可能で、衛生上の問題を生じにくい。検証の結果、地下空間内に無断熱金属製ダクトを設置する地中熱間接利用において、冬期の取得熱及び夏期の除去熱の何れも上回る事が確認された。風量の設定などによって熱量は変化するものであるが、地中熱利用を衛生面を考慮しながら検討する際の、一つの手法を提示できたと思われる。（写真1, 2 図11） なお、「5」に関連して参考文献19）がある。

12. 垂水弘夫, 神保歩未, 塩谷正樹, 岩瀬和夫: ヒート&クールトレンチの熱的效果に関する調査研究, 学校建築を対象として, 日本建築学会技術報告集, 第23巻, 第54号, pp.573-578, 2017.6 <https://doi.org/10.3130/aijt.23.573>

13. 垂水弘夫, 神保歩未, 塩谷正樹, 岩瀬和夫: トレンチ内敷設ダクトによる地中熱・間接利用効果の検討, 従来型の地中熱・直接利用例との比較を通じて, 日本建築学会技術報告集, 第25巻, 第59号, pp.255-259, 2019.2 <https://doi.org/10.3130/aijt.25.255>



写真 1 トレンチ内に敷設した無断熱金属製ダクト  
23号館 地中熱・間接利用

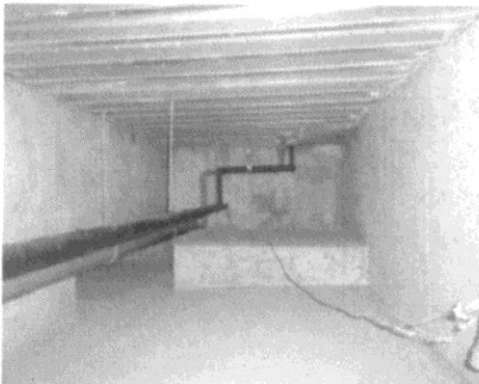


写真 2 コンクリート製トレンチ 15号館 地中熱・直接利用

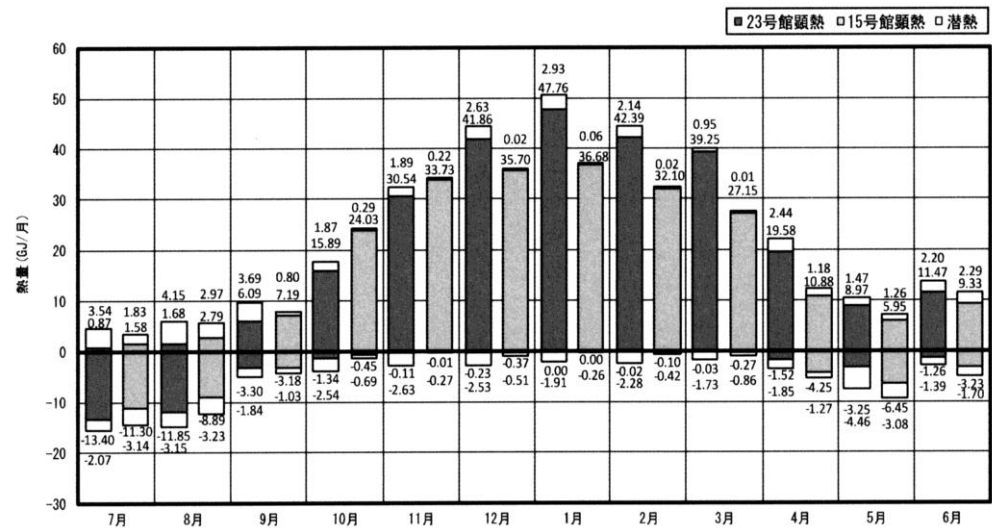


図11 月別のトレンチ取得・除去熱量比較  
(各月の左側:23号館、右側15号館、2016.7~2017.6)  
(業績13)

【参考文献】

19. 垂水弘夫, 神保歩未, 塩谷正樹, 岩瀬和夫: ヒート&クールトレンチの地中伝熱数値解析による熱的効果推定法の検討, 空調調和・衛生工学会論文集, 第263号, pp.11-18, 2019.2



### 論文14～18

地下水を熱源とする放射空調システム及び天井放射空調実験室を大学の研究施設として整備し、PMV制御を取り入れながら、天井放射空調室の冷房を地下水との熱交換水の循環だけで可能とする研究に取り組んだ。地下水の汲上げポンプ及び熱交換水の循環ポンプの電力消費は必要になるが、熱源機である水熱源ヒートポンプを運転しないため、大幅なエネルギー消費の抑制が可能となる。

#### (論文14)

PMV制御の導入効果を、室内9箇所の測定ポイント実測値を用いて従来型の室温制御と比較・検証し、室内PMV分布の均一化や低負荷時におけるハンチング現象解消などに役立つことを示した。

#### (論文15)

地下水汲上げポンプ及び冷温水2次ポンプをインバータ化し、井水取得熱量・放射パネル供給熱量、そして結果としてのシステム電力消費の削減効果を検討した。外調機（デシカントタイプヒートポンプ）の電力消費を含め、インバータ化前の3分の2程度にまで削減可能であることを明らかにした。

- 
14. 垂水弘夫, 小林泰典, 桑原亮一, 岩瀬和夫, 岡崎俊春: 地下水利用・天井放射空調システムに関する実験的研究, PMV制御の導入による夏期室内温熱環境の改善効果を中心として, 日本建築学会技術報告集, 第19巻, 第42号, pp.639-644, 2013.6 <https://doi.org/10.3130/aijt.19.639>
  15. 垂水弘夫, 坂本泰邦, 桑原亮一, 西澤淳, 岩瀬和夫: 地下水利用・天井放射空調システムに関する実験的研究, 地下水汲上げ量及びシステム循環水量のPMV制御, 日本建築学会技術報告集, 第20巻, 第44号, pp.191-195, 2014.2 <https://doi.org/10.3130/aijt.20.191>





### (論文16)

当該放射空調実験室にはエアコンも装備しており、ほぼ同水準の温熱環境にコントロールする際の放射空調と対流空調におけるエネルギー消費量を、夏期及び冬期、連続運転及び間欠運転の条件の下に把握して、地下水利用放射空調システムの有効性を示した。エアコン対流空調と比較して、24時間・連続運転時に40%程度、12時間・間欠運転時に50%程度にまで夏期エネルギー消費を抑制可能であった。

### (論文17)

当該放射空調実験室は天井放射と床放射を切り替えて運転できるように構成しており、両者の夏期比較実験を行った。天井放射により室内のPMVを0.5前後となるように運転するとき、床放射では0.7前後となること、また、汲上げポンプと冷温水2次ポンプの電力消費量は、天井放射の平均6.0kWh/日に対し、床放射では平均7.0kWh/日へと15%程度増加することなどを把握した。天井放射ではアルミ製の金属パネルを露出させて天井面として設置できるが、床放射の場合は床材の熱抵抗などが加わるため、この程度の差異が生ずると考察された。

### (論文18)

冷房負荷は中間期にも発生するため、晴天日を対象に放射空調のペリメータゾーン冷房運転効果を実験的に把握した。ベネチアンブラインドのスラット角を0°、30°、90°と変化させながら、室内に日射熱が入る条件で天井放射空調とエアコン対流空調の電力消費量を比較した。窓外が見え、冷房負荷が最大となるスラット角0°の条件下において放射空調の電力消費はエアコンの65%前後に留まり、夏期だけでなく中間期においても放射空調利用の優位性が確認された。

- 
16. 垂水弘夫, 坂本泰邦, 神田奈々江, 西澤淳, 桑原亮一, 岩瀬和夫: 地下水利用・天井放射空調システムのPMV制御に関する実験的研究, 放射・対流空調及び連続・間欠運転条件における温熱環境とエネルギー消費, 日本建築学会技術報告集, 第21巻, 第48号, pp.703-707, 2015.6 <https://doi.org/10.3130/aijt.21.703>
  17. 垂水弘夫, 神田奈々江: 地下水利用・天井放射空調システムに関する実験的研究, PMV制御下における夏期天井放射及び床放射の比較検討, 日本建築学会技術報告集, 第23巻, 第53号, pp.195-200, 2017.2 <https://doi.org/10.3130/aijt.23.195>
  18. 垂水弘夫, 神田奈々江: 地下水利用・天井放射空調システムのPMV制御に関する実験的研究, 中間期の晴天日におけるペリメータゾーン冷房運転効果, 日本建築学会技術報告集, 第23巻, 第55号, pp.909-914, 2017.10 <https://doi.org/10.3130/aijt.23.909>



## 論文19

放射空調室をPMV0.0, +0.5, +1.0の各レベルで制御し卓上扇風機とエアコンの使用を許容して, 男女3名ずつから成る被験者6名の体温調節行動冷房試験(1.2Metの軽作業)を夏期晴天35日間を通じて実施した結果, +1.0レベルではエアコンの追加運転が発生すること, +0.0レベルにすると放射空調の運転用電力消費が増加することなどにより, +0.5レベルの放射空調PMV制御における電力消費量が最も少なく済むことを見出した。また, 卓上扇風機の使用による電力消費はごく僅かで, この判断に影響を与えるものではない。

## 論文20~23

ZEBなど放射空調オフィスでは, 長時間在室者を対象とした比較的マイルドな冷房運転が実施されるため, 外出行動後にはクールダウンと能率的な仕事への早期復帰のためのクールスポットが必要とされる。4~6名の夏期被験者試験を5年間継続し, クールスポット設定条件のあり方を多角的に検討した。

### (論文20)

一連の最初の被験者試験で, クールスポットの乾球温度を22, 24, 26℃の3段階に設定するとき(クールスポットからの退去は個人で判断), 外出行動後のクールスポット滞在時間と放射空調に戻って後に全身温冷感が快適となるまでの時間を合わせた時間数は, 温度設定が低いほど男女ともに短くなる傾向を把握した。

- 
19. 垂水弘夫, 神田奈々江, 服部恭努: 地下水利用・天井放射空調システムに関する実験的研究, 在室者の体温調節行動に伴う電力消費を含めた夏期PMV制御目標値設定に関する考察, 日本建築学会技術報告集, 第23巻, 第55号, pp.915-920, 2017.10 <https://doi.org/10.3130/aijt.23.915>
  20. 垂水弘夫, 服部恭努: 放射空調オフィスにおけるクールスポットの有効性評価に関する研究, 被験者試験を通じた滞在時間・温熱環境条件の検討, 日本建築学会技術報告集, 第25巻, 第59号, pp.261-266, 2019.2 <https://doi.org/10.3130/aijt.25.261>



### (論文21)

WELL認証を意識し、放射空調室内でのフィットネス（自転車デスク、トレッドミルデスク）行動を取り入れた試験を行った。全身温冷感と熱的快適性申告における対応関係を検討した上で、クールスポット設定の新たな評価指標として初期温冷感復帰時間を定義し、ペダリングとデスク歩行後に初期温冷感復帰時間を短縮できるクールスポット設定を検討した。

### (論文22)

エアコンで冷却するクールスポットに隣接してドライミストエリアを設け、予め人体がドライミストに曝露されることで、初期温冷感復帰時間の短縮効果を検討した。トレッドミルデスク及び自転車デスクなどの人体負荷が比較的小さい行動においては、エアコンで冷却したクールスポットを経由せずにドライミストエリアを単独で経路する方が初期温冷感復帰時間が短くなること、屋上歩行（2.4Metに10分間従事）ではドライミスト30秒曝露後に22℃設定のエアコン・クールスポットに滞在する初期温冷感復帰時間は5分27秒で、ドライミスト30秒曝露単独の6分54秒よりも短くはなるが、その差は1分半程度であることなどが把握された（clo値は0.5）。

- 
21. 垂水弘夫, 服部恭努: 放射空調オフィスにおけるクールスポットの温熱環境設定に関する研究, WELL認証を意識したフィットネスへの対応, 日本建築学会技術報告集, 第25巻, 第61号, pp.1173-1178, 2019.10 <https://doi.org/10.3130/aijt.25.1173>
  22. 垂水弘夫, 小池怜奈: 放射空調オフィスにおけるクールスポット設定に関する研究, ドライミストエリア併設効果の検証, 日本建築学会技術報告集, 第27巻, 第66号, pp.773-778, 2021.6 <https://doi.org/10.3130/aijt.27.773>



# (論文23)

ドライミスト曝露時間を30秒から45秒、60秒へと延長した場合の効果把握する試験を行った。屋上歩行試験において、ドライミスト60秒の単独曝露による初期温冷感復帰時間6分2秒に対し、ドライミスト45秒曝露・クールスポット22℃・気流0.35m/s時に最短の5分38秒となり、その差は30秒以内にまで短縮された。ドライミストへの人体曝露時間の調整により、エアコンを用いた低温のクールスポット形成はほぼ不要であることが示された。(図12, 13) なお、「6」に関連して参考文献20), 21) を挙げる。

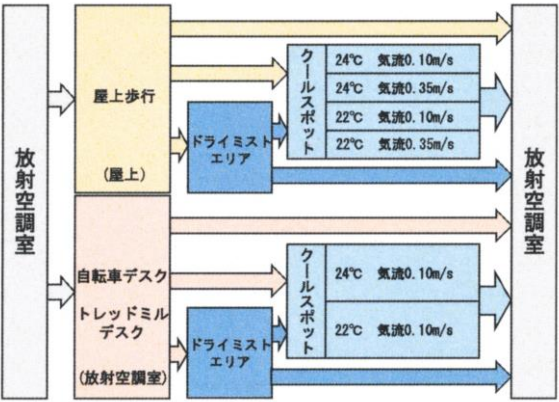


図12 被験者試験ケース組合わせ (業績23)



図13 ドライミスト曝露時間数に応じた初期温冷感復帰時間(分:秒 表示)(業績23)

23. 垂水弘夫, 小池怜奈, 塩谷正樹, 岩瀬和夫: 放射空調オフィスにおけるクールスポット設定に関する研究, ドライミスト曝露時間延長の検討, 日本建築学会技術報告集, 第28巻, 第68号, pp.308-313, 2022.2 <https://doi.org/10.3130/aijt.28.308>

【参考文献】  
 20. 高田暁: オフィスにおける次世代型温熱快適域の提案, 日本建築学会, 建築環境設計のための次世代型温熱快適域シンポジウム, pp.8-10, 2012.12  
 21. 都築弘政, 宮下陽, 松崎里穂, 田辺新一, 三宅絵美香: 暑熱屋外から入室後の快適性向上のためのクールスポットの提案, その1 被験者実験概要と生理量測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学Ⅱ, pp.421-422, 2015.9

# 7章 農業分野への貢献としての地下水冷却温室の開発に関する研究



## 論文24

石川県農業試験場の敷地内に地下水冷却温室と対照温室の2棟を設置し、同時期に定植したトマトの生育と温室内外の温熱環境をモニタリングすることで、地下水利用による夏期温熱環境改善効果とトマト収量増加の状況を明確にした。汲み上げた地下水を空気調和機のコイル内に通水し水スプレーも行い、穴開き冷風ダクトで送風して、トマト株上部の成長点を冷却・加湿する。6～8月の3か月平均で、地下水温室は対照温室に対し、日平均乾球温度が26℃以下の日数が+3.6日/月（12.7に対し16.3）、8～18時の飽差が3～9g/m<sup>3</sup>の範囲の時間数が+2.1h/月（44.8に対し46.9）、作用温度は-2.3℃（29.9に対し27.6）となり、トマト良品収量は+1.7個/本・月（7.1に対し8.8）と、12%の増加が認められた。

## 論文25

農業用温室における一層の夏期温熱環境改善のため、地下水を利用した夜間内気循環と昼間ミスト噴霧に取り組んだ。夜間内気循環では、19：30～4：30に温室側面の換気窓と冷却装置ファン近くのシャッターを閉鎖し、内気循環を実施して冷却を促進する。また昼間温室内ミスト噴霧は、冷却装置内の水スプレーだけでなく温室内にもノズルを設置して地下水噴霧を行うことで、温室内の乾燥状態を緩和する。対照温室との比較により、夜間内気循環は乾球温度で-1.0℃、黒球温度で-1.6℃の効果が認められた。また、昼間ミスト噴霧を含む湿気環境の改善は、6～8月の期間を通じた相対湿度でみると+2.2%RHであるが、これを農業分野で用いられる飽差で表すと地下水温室において1.7g/m<sup>3</sup>の低下となった。このときの対照温室の飽差は12.0 g/m<sup>3</sup>であることから、地下水温室の加湿による改善効果は1割5分程度あると考察された。（図14, 15）



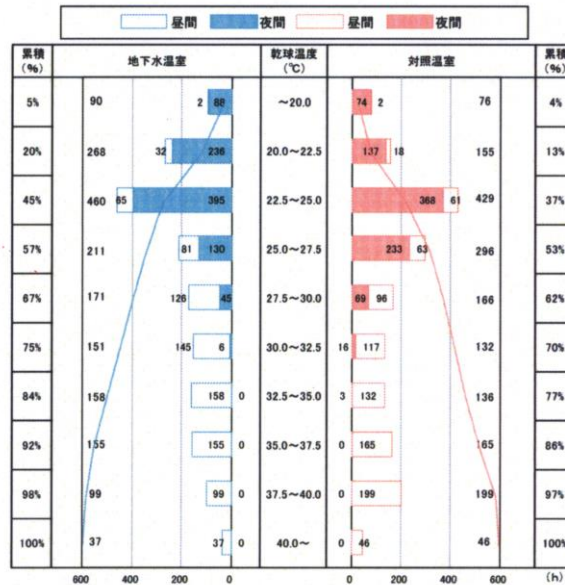


図14 温室内乾球温度の夏期出現時間数分布  
(左:地下水温室、右:対照温室) (業績25)

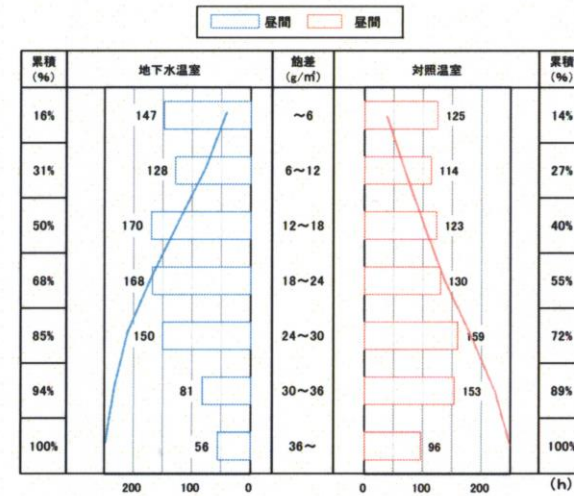


図15 飽差の夏期出現時間数分布 (業績25)

24. 垂水弘夫, 北原慎太郎: 農業用温室の地下水利用による夏期温熱環境改善効果に関する研究, 対照温室におけるトマト収量及び温熱環境との比較検討を通じて, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第57号, pp.737-741, 2018.6 <https://doi.org/10.3130/aijt.24.737>
25. 垂水弘夫, 北原慎太郎, 工藤凛: 農業用温室の地下水利用による夏期温熱環境改善効果に関する研究, 夜間内気循環及び昼間ミスト噴霧について, 日本建築学会技術報告集, 第25巻, 第60号, pp.789-793, 2019.6 <https://doi.org/10.3130/aijt.25.783>



## リモートセンシング関係

- 1) 1989.11 都市域におけるLandsat Thematic Mapper Imageの解析 ミクセル状態の土地被覆情報との対応
- 2) 1994.11 表面結露計測へのマルチスペクトルスキャナの応用 MSSデータと結露水量との対応について
- 3) 1996.2 表面結露計測へのマルチスペクトルスキャナの応用 ガラスおよびアルミ板を対象として
- 4) 1999.3 表面結露計測へのマルチスペクトルスキャナの応用

## ビル内廃棄物関係

- 1) 1993.12 廃棄物処理の観点からみた事務所ビルの建築設計計画に関する調査研究 ビルメンテナンス従業員を対象とした作業環境の実態調査
- 2) 1995.5 廃棄物処理の観点からみたビルの建築設計計画に関する調査研究 建物用途別および種類別廃棄物排出量と分別収集の実態
- 3) 1996.2 廃棄物処理の観点からみたビルの建築設計計画に関する調査研究 廃棄物の運搬・保管・処理に係わるビルの諸条件の実態

## 紫外域日射関係

- 1) 2000.6 紫外域日射分光観測に基づく生体影響紫外線DUVの特性解析
- 2) 2001.7 生体影響紫外線DUVの雲量および簡易天気分類に基づく解析
- 3) 2002.4 紫外域日射に関する許容被照時間数の地域特性解析
- 4) 2003.2 生体影響紫外線DUVの時別特性解析 金沢における紫外域日射及び気象観測データを用いて、
- 5) 2004.6 生体影響紫外線DUVの天気及び雲量・出現高さ・雲形に基づく天空状態別解析
- 6) 2006.4 ストリートキャニオンにおける紫外域日射の人体被照量推定に関する研究



先ずは、鹿児島大学名誉教授の赤坂裕先生に感謝を申し上げます。無理を言って3年次から研究室に出入りさせて頂き、FORTRANを用いた地中伝熱数値解析への取り組みを通じて、建築環境工学の素晴らしさ・面白さを見せて頂きました。先生の人間性も相俟って、大学での教育・研究の道に進む契機になりました。

東京工業大学の大学院進学後は、故早川一也先生、藤井修二先生のご指導の下、コージェネレーションなどの省エネルギー設備のほかに、都市スケールでの熱環境及びエネルギー消費抑制をテーマとする研究に取り組む機会を頂きました。また、数多くのゼミの先輩・後輩に恵まれ、現在も多くの方と交流があり、それが心の支えとなっています。当時の建築学教室には、意匠の清家清、篠原一男、歴史の平井聖、構造の藤本盛久、和田章など錚々たる諸先生がいらして、査読論文を弛まず発信し続けることで大学の社会への責任を果たすというモチベーションを与えて頂きました。暖かい雰囲気の中にもピリッとした空気が漂う中で、助手時代を含め12年間を過ごせたことは、今振り返って幸いなことであつたと思われます。

金沢工業大学に着任後は、私学故に学生が多く、教育に時間を要することはありましたが、それを補って余りあるだけの設備や研究装置の整備などで、助けて貰いました。本研究にあげた地下水利用放射冷暖房室と設備システム、排湿外壁構造の開発に用いた日射人工気象室などの研究装置が、これにあたります。また、東京工業大学の助手になって以降の約40年間、半分以上の期間は科学研究費を頂きましたし、財団からの助成や企業との共同研究により、やりたい研究を自由に順調に進めることができました。支えて頂いた関係各位のお蔭と感謝しております。故人の松尾陽先生には、孫弟子にあたるせいか、機会あるごとにご支援とご指導を頂戴しました。ここに記して学会賞受賞を報告させて頂きます。

また、何といっても記すべきは、研究室に来てくれた院生達であつたと思います。俱に小さな発見を目指し、自然エネルギー活用建築・設備に関する諸研究を、査読論文レベルで纏めてくれました。上記の先生方を含め、人に恵まれたことが今回の日本建築学会賞（論文）受賞に繋がったと感じています。長い間見守って頂いた、あるいは暖かく接して頂いた皆様に感謝を申し上げ、結びと致します。



