

【課題名】自然エネルギーとヒートポンプを併用する躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムに関する技術開発(委託)

【代表者】立命館大学 近本智行

【実施年度】平成30～31年度

(1)課題概要

①【課題の概要・目的】

平成25～27年度「地中熱、太陽熱を直接利用する躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムに関する技術開発」では冷房時10.0kg-CO₂/m²年以上を達成したが、暖房時は太陽熱による温度上昇に時間がかかり十分な成果が得られなかった。また自然エネルギーのみを利用するため、他の空調システムを併用する必要があり、イニシャルコストが課題であった。本研究ではヒートポンプ併用により室内負荷を「自然エネルギーとヒートポンプを併用する躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システム」(以下、本システム)のみで実現する。また暖房時の循環水温度をヒートポンプで保つことで太陽熱の有効利用が可能となる。トータルシステムとしてのイニシャルコストを削減して本システムの効率向上と普及を目指し、空調1次エネルギー消費量50%以上削減(実証建物で基準1,021MJ/m²年:WEBプログラム計算)に対して目標491MJ/m²年、BEI=0.48)を目標とする。

②【技術開発の内容】

○重要な開発要素

A1.【躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システム単独による室内環境維持に関する検討】本システムを導入した室空間について、設定室温を28℃まで緩和しても快適性を維持できるか、実証試験によりPMV(Predicted Mean Vote)を計測して検証する。放射冷暖房環境での設定室温緩和と快適性の関係について被験者実験で確認する。室内温度分布を測定し、上下・平面分布に偏りが無いかを検証する。被験者試験は従来空調システム化の対象群との比較を行う。

A2.【地中への季節間蓄熱効果の検討】ポアホール、水平埋設配管、水熱源ヒートポンプ、躯体スラブ放射冷暖房を組み合わせた実証試験により地中への季節間蓄熱効果を検証する。地中への季節間蓄熱効果により、夏季冷房時の温排熱の50%を冬季暖房に活用できることを検証する。またこの時の太陽熱利用とのバランスについて検討する。冬季暖房時の冷排熱の50%を夏季冷房に活用できることを確認する。冬季冷排熱を利用した地中熱直接利用による冷房、地中熱を熱源としたヒートポンプによる冷房、夏季温排熱を利用した地中熱直接利用による暖房、地中熱を熱源としたヒートポンプによる冷房の各モード切替運転のシステム検証を行う。季節間蓄熱はポアホールを主として検証する。各モードでの利用熱量、エネルギー消費量を計測し、1次エネルギー消費量、システムCOPを算出して検証を行う。

A3.【太陽熱集熱器とヒートポンプ運転の日射量による切替運転制御】ヒートポンプと太陽熱集熱器の切替制御を実証試験で検証する。検証は、日射量から推定できる太陽熱集熱量と躯体スラブ放射冷暖房に有効に活用できた熱量の比率により評価を行う。太陽熱集熱器は躯体スラブ放射冷暖房を利用した室面積の2.6%設置し、躯体スラブ放射冷暖房使用室単位面積当り年間5.4kWh/m²年の温熱を利用できることを確認する。夏季の太陽熱集熱量をシミュレーションまたは他施設の運転実績にて確認し、冬季暖房利用で設定した太陽熱集熱器の夏季の活用について検討する(外調機、デシカントシステムへの活用)。検討は冬季暖房用として容量を決定した太陽熱集熱器の夏季活用時の空調1次エネルギー消費量削減効果で評価する。

○その他の開発要素:

A4.【既存建物用放射冷暖房システムの検討】

A5.【躯体スラブ放射冷暖房システムの冷房能力アップ時の結露対策効果の検討】

B. 従来システムとのライフサイクルコスト比較検証、実証試験による評価

従来空調システムに比べて本システムの方がライフサイクルコストが安価であることを確認する。年間運転による実証試験により室内空調負荷を従来空調システムの約42%の消費エネルギーで処理できることを確認する。従来システムはビルマルチ空冷パッケージエアコンを想定し、システムCOP、APF等の指標を用いて評価する。適用用途・手法を限定したデータも取得する。

③【システム構成】

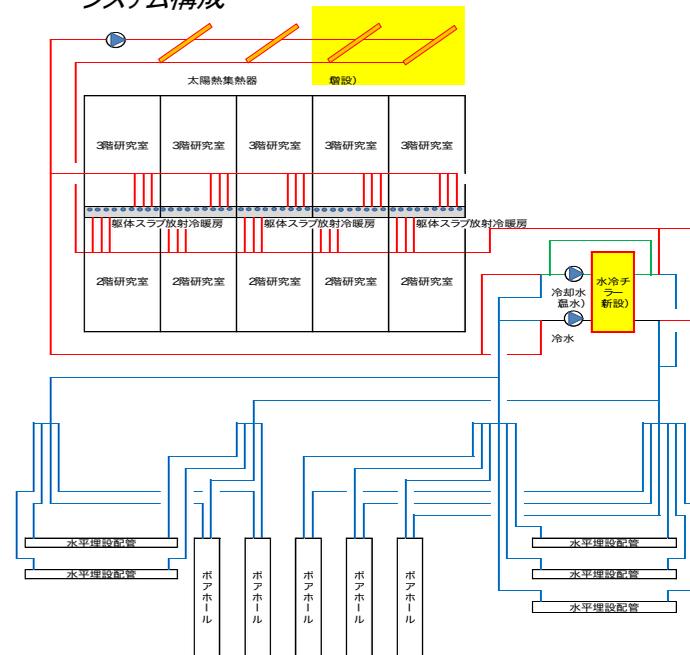
既存の地中熱・太陽熱を利用する躯体スラブ放射冷暖房システムに水熱源ヒートポンプ、太陽熱集熱器増設を行い、自然エネルギーとヒートポンプを併用する躯体スラブ放射冷暖房システムを構築する。

2次側ファンコイルユニットを使用せず、放射冷暖房のみで空調を行う。

④【技術開発の目標・リスク】

○想定ユーザ・利用価値:これからZEB建物新築またはZEB建物への改修を計画する建築主。安価に確実にZEB建物を実現できることを示す。
○目標となる仕様及び性能:ZEB ready以上の省エネルギー性能の実現。ランニングコストの削減効果によりイニシャルコストの増加を10年以内に回収できること。従来空調システムとの比較のみでなく、システム導入時のイニシャルコスト、ランニングコストについて具体例を設定し比較する。実証結果に基づき設計手法を再検討する。

・システム構成

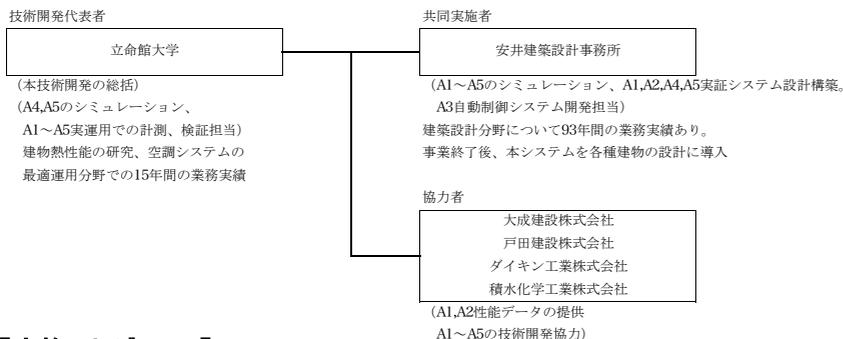


○開発工程のリスク・対応策:躯体スラブ放射冷暖房の能力を上げた時の夏季冷房時の結露に対するリスク。ヒートポンプ併用のために自然エネルギー利用(地中熱、太陽熱)の利用時間、利用量が減少するリスク。躯体スラブからの放熱損失のリスク。シミュレーションおよび実証運転によりリスクの解消を検証する。

(2)実施計画等

①【実施体制】

立命館大学、安井建築設計事務所は平成25～27年度地中熱・太陽熱を直接利用する躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムに関する技術開発をともに実施したメンバーであり、その知見を活かして本技術開発に取り組む。技術開発代表者の立命館大学は学内に立命館サステナビリティ学研究センター、地球環境委員会を組織するなど地球環境負荷低減、CO2排出量削減研究に先進的に取り組み、多くの実績、幅広いネットワークを有している。本技術開発では立命館大学は実証フィールドとなるトリアの提供、本システムのシミュレーションおよび実運用における計測、検証を行う。安井建築設計事務所はシミュレーションに基づく実証システムの設計、システム構築、自動制御システムの開発を行う。事業終了後、安井建築設計事務所は本システムを各種建物の設計に組み込む。



②【実施スケジュール】

	2019年度	2020年度 (2021年12月まで延長)
要素技術A1の開発	シミュレーション・設計その他 6,250千円	
要素技術A2の開発	シミュレーション・設計その他 6,250千円	
要素技術A3の開発	太陽熱集熱器増設・制御システム開発 7,932千円	
要素技術A4の開発	製品開発 5,150千円	
要素技術A5の開発	シミュレーション・給気露点温度検証 1,252千円	
B.統合システムの最適化	システム構築 10,514千円 (2019年度) / 6,966千円 (2020年度)	
C.実証	実運用による検証 12,530千円	
その他経費	4,964千円	6,651千円
合計	38,062千円	26,156千円

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	安井建築設計事務所
--------------	-----------

- ・対象建物: 庁舎、事務所、学校など
- ・2021年以降、設計プロポーザル等で本システムの提案を行い、採用建物を増やしていく。
- ・2021年以降、採用建物の実績運用データを公表し、本システムのメリットを広報する。
- ・2025年以降、他社設計での本システムの導入

○事業展開における普及の見込み

- ・導入コスト目標: 従来空調システムの20%増以内。
- ・運用コスト目標: 従来空調システムの50%以下
- ・製品単純回収年数: 10年程度 (導入コスト差額 ÷ 年間運用コスト差額)

○年度別販売見込み

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

年度	2021	2025	2030
目標導入建物数	3	15	50
目標累積建物数	3	18	68
目標単位面積(延床面積基準)当り価格	20千円/㎡	19千円/㎡	16千円/㎡

【現時点見込み】

年度	2021 (販売開始年 度を記載)	2023	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	2	1	50	200
目標累積販売台数(台)	2	3	53	253
目標販売価格(円/台)	20千円/㎡	20千円/㎡	16千円/㎡	13千円/㎡

○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・個別空調制御に対する温熱環境などにおける優位性の立証
- ・漏水等への懸念の解消
- ・冷房時の結露対策

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

自然エネルギーとヒートポンプを併用する躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムのみにより、室内環境については、被験者試験、室内温度分布、気流シミュレーションにより快適性を確認した。また夏季の室内温度の緩和、冬季は床放射暖房の場合、設定温度の緩和が可能であることを確認した。室内負荷については、ZEB

(Zero Energy Building)で想定される最大負荷(冷房22.5W/m²、暖房22.1W/m²)に対応可能なことを実測により確認した。エネルギー使用状況については、躯体スラブ放射冷暖房、地中熱交換器、太陽熱集熱装置、水冷チラーに加えて、外気処理空調機の予冷予熱を加えた改善システムとすることで、熱バランスを調整して、1次エネルギー消費量319MJ/m²年、BEI (Building Energy-efficiency Index)=0.31となり、目標を達成できることが示された。

②【エネルギー起源CO2削減効果】

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システム単位面積当たりの単年度CO2削減量(kg-CO2/m ² ・年)	26.0 kgCO2/m ² 年
開発品(躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システム)の法定耐用年数	15年

年度	2021	2023	2030	2050
目標導入面積 [m ²]	2,658	1,000	50,000	200,000
目標導入面積 [m ²]	2,658	3,658	53,658	253,658
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	0.10	0.04	1.95	7.80
累積CO2削減量(万t-CO2)	0.10	0.14	2.09	9.89
CO2削減コスト(円/t-CO2)	51,282	51,282	41,026	33,333

【現時点見込み】

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO2/台・年)	33.8 kg/CO2/m ² 年
開発品(装置/システム)の法定耐用年数	15年

現時点見込みの年次は固定

年度	2021	2023	2030	2050
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	0.13	0.05	2.54	10.14
累積CO2削減量(万t-CO2)	0.13	0.18	2.72	12.86
CO2削減コスト(円/t-CO2)	39,448	39,448	31,558	25,641

③【成果発表状況】

- ・自然エネルギーとヒートポンプを併用する躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムに関する技術開発(その1)～(その20): 日本建築学会2019年度大会、2020年度大会、2021年度大会、空気調和・衛生工学会2019年度大会、2020年度大会、2021年度大会
- ・自然エネルギーとヒートポンプを併用する躯体スラブ蓄熱式放射冷暖房システムの実運用に向けた研究(その1)～(その6): 空気調和・衛生工学会近畿支部2019年度、2020年度学術研究発表会

④【技術開発終了後の事業展開】

○量産化・販売計画

- ・2023年までに躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システム採用案件の成果発表、普及に向けた講習会等の開催。
- ・2023年までに配管メーカーとの連携による製品発表、カタログ配布等を行う。
- ・2025年までにシステム全体の低コスト化、高効率化及び省力化を推進。
- ・2023年までに既設建物用自然エネルギーとヒートポンプを併用した配管放射冷暖房システムのシステム開発、低コスト化を推進。
- ・2025年までに上記システムを実建物に導入。

○事業拡大シナリオ

年度	2021	2023	2025	2030 (最終目標)
成果発表		成果発表・普及に向けた講習会等の開催		
メーカーとの連携	メーカーとの調整	製品発表・カタログ等の配布		
低コスト化、高効率化、省力化	検証の実施	実用化に向けた検討	成果発表	汎用システムとして普及
既設建物用配管放射冷暖房システム	システム開発	低コスト化、省力化検討	実建物へ導入	汎用システムとして普及

○シナリオ実現上の課題

- ・成果発表、普及に向けた講習会等により本システムのメリットをアピール
- ・配管メーカー、機器メーカーとの連携により低コスト化、高効率化、省力化の推進
- ・既設建物用配管放射冷暖房システムの開発、製品化



○参考資料1 CO2削減効果について

○販売開始年(2021年)時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II - i)

- ・販売開始年の実績は2件、合計設置床面積は2,658㎡。
- ・CO2排出削減量の原単位は33.8kgCO2/㎡年。
- ・法定耐用年数は15年。
- ・累積CO2削減量: 0.13万t-CO2
- ・CO2削減コスト: 39,448円/t-CO2

○2023年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II - i)

- ・2022年～2023年の設置予想面積は1,000㎡。累積設置床面積は3,658㎡。
- ・CO2排出削減量の原単位は33.8kgCO2/㎡年。
- ・法定耐用年数は15年。
- ・累積CO2削減量: 0.19万t-CO2
- ・CO2削減コスト: 39,448円/t-CO2

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II - i)

- ・2024年～2030年の設置予想面積は50,000㎡。累積設置床面積は53,658㎡。
- ・CO2排出削減量の原単位は33.8kgCO2/㎡年。
- ・法定耐用年数は15年。
- ・累積CO2削減量: 2.72万t-CO2
- ・CO2削減コスト: 31,558円/t-CO2

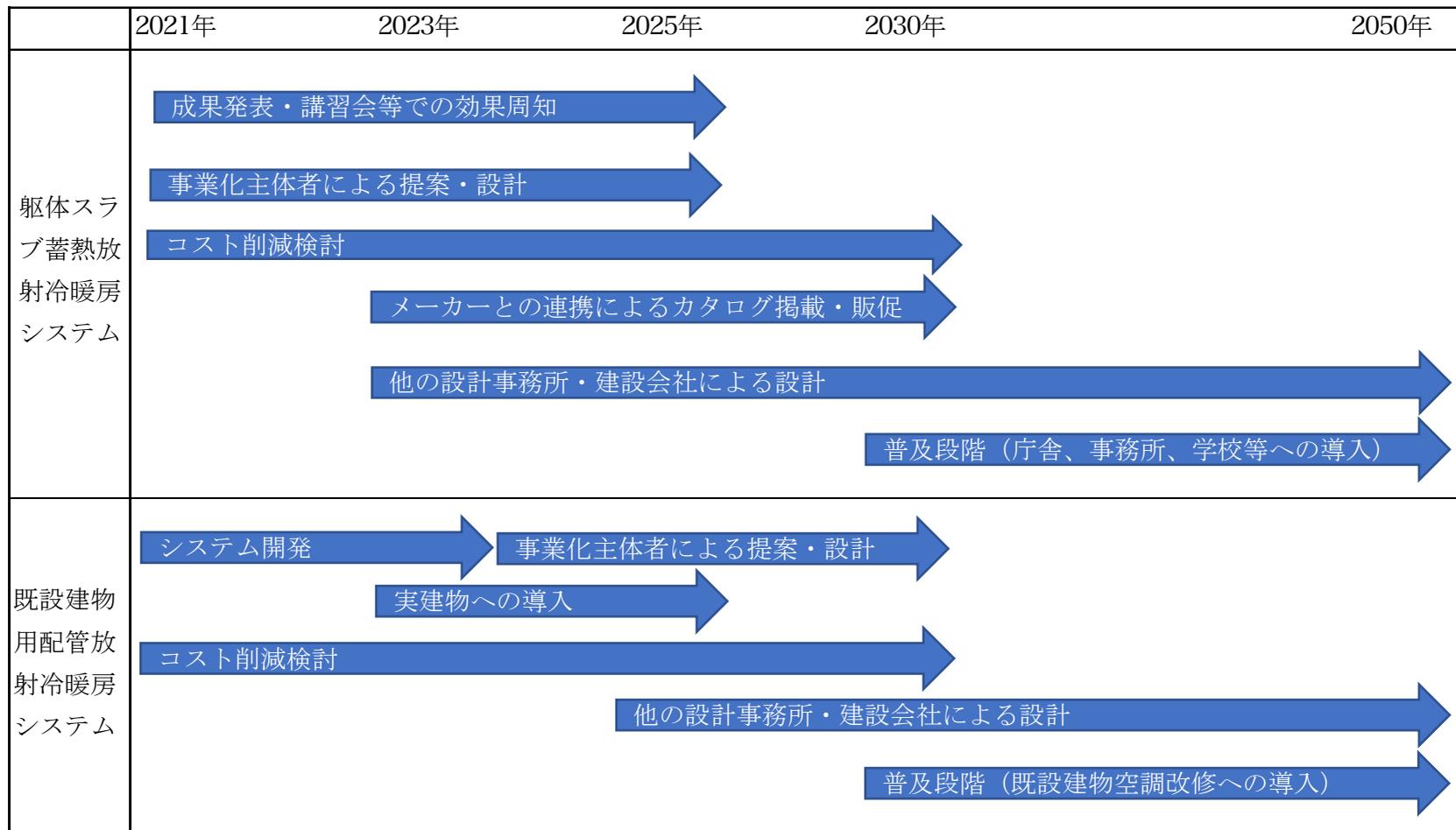
○2050年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II - i)

- ・2031年～2050年の設置予想面積は200,000㎡。累積設置床面積は253,658㎡。
- ・CO2排出削減量の原単位は33.8kgCO2/㎡年。
- ・法定耐用年数は15年。
- ・累積CO2削減量: 12.86万t-CO2
- ・CO2削減コスト: 25,641円/t-CO2

○参考資料2 事業化計画について

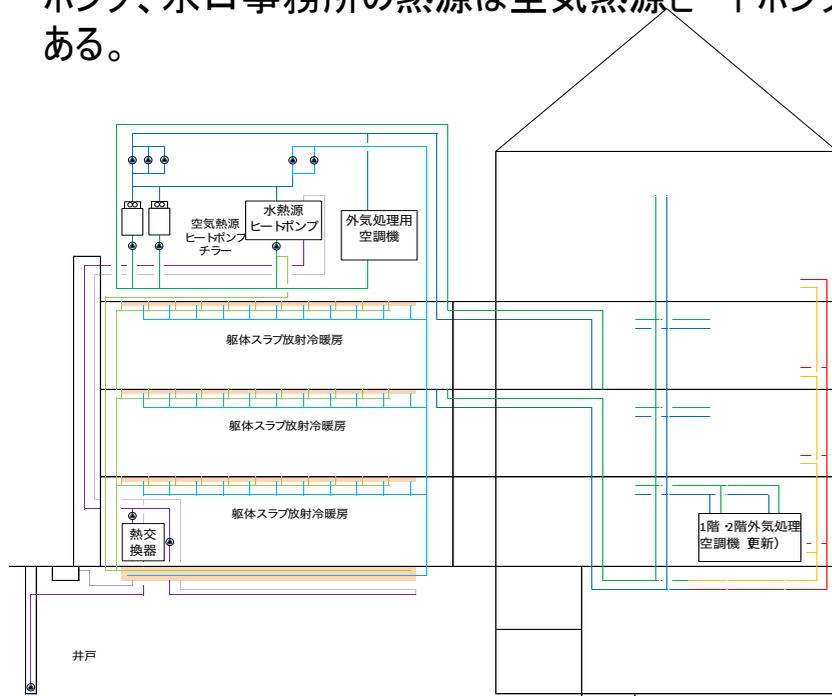
2050年のカーボンニュートラル実現に向けてCO2排出量削減を進めることが必要となったことから、本システムのCO2排出量削減効果について成果発表、講習会等での効果周知を行う。本システムはライフサイクルコストでは従来空調システムよりも約30%低減できることがメリットとなるが、イニシャルコストが高い点が導入の削減になっているのでコスト削減の検討を進める。2025年まで事業主体者による提案、設計を実施して普及を進めるとともに他の設計事務所、建設会社の設計にも盛り込まれるように普及を推進する。

また既設建物に導入できる配管放射冷暖房システムの開発を進めて、2025年までに実建物への導入を行う。

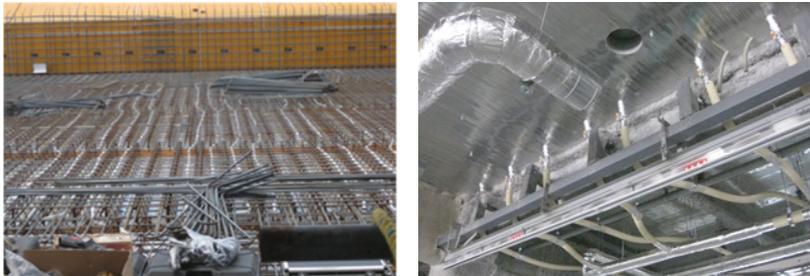


○参考資料3 その他

躯体スラブ放射冷暖房システムについては「高島市役所庁舎」「S工業水口事務所」で本格的な導入を行った。高島市役所庁舎の熱源は井水および井水熱利用水熱源ヒートポンプ、水口事務所の熱源は空気熱源ヒートポンプチャラーである。



高島市役所庁舎 空調系統図

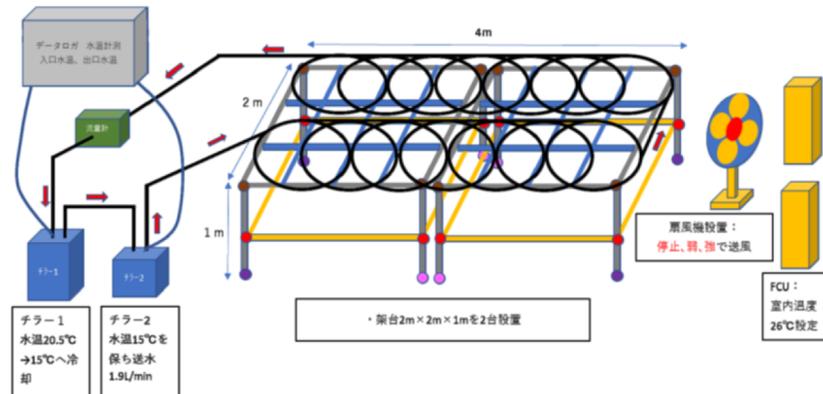


高島市役所庁舎 躯体スラブ放射冷暖房システム施工状況

本技術開発の既設建物用天井放射冷暖房システムの成果を受けて、さらに安価に施工可能な配管放射冷暖房システムを開発中である。



本技術開発の既設建物用天井放射冷暖房システム



上記の成果を受けて開発中の配管放射冷暖房システム

CO2排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- ・ 評価点 6. 4点(10点満点中。(10点:特に優れている、8点:優れている、6点:問題ない、4点:多少問題がある、2点:大きな問題がある))

・ 評価コメント

[評価された点]

- 自然エネルギーとヒートポンプの特徴を活かした総合システムの提案であり、一次側のエネルギー評価に加えて二次側の室内環境性能評価も実施するとともに、細かな仕様を含む様々な検討が行われ、予定通りの成果が得られたものと評価する。さらなる効率の追求が期待される。

[今後の課題]

- 輻射熱冷暖房の研究はこれまで長期にわたり実施されてきたが、事業化への十分な解決策は見出されていない。輻射冷暖房の普及を可能にする新たな視点を提示することが望まれる。
- 既存ストックの改修に関しても触れているが、本技術は新築対応がメインとなると考えられる。コストアップ要因の課題解決に加えて、バリエーションのあるアセンブリ設備システムとの組み合わせに応じた制御技術の確立が望まれる。

[その他特記事項]

- 利用者からの評価を反映した更なるシステム開発が望まれる。

[事業化に向けたコメント]

- 脱炭素の文脈のなかでの競争優位性を早期に検証して明確にすること、また、フラッグシップとなりうる事業の見込みをたてる必要がある。
- 「事業化を担う主たる事業者」が、ゼネコンや空調メーカーに働き掛け、事業を具体化するビジネスプラン、普及戦略を提示することが望まれる。
- 本技術の成果は新築対応がメインとなると想定される。その場合、初期コストが高くなるので、全体システムの普及に併せて部分的なシステム導入も検討し、事業化の実績を重ねることが望まれる。また、設備設計のためのガイドラインを作成すること。