

【事業名】CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業

(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)

【代表者】立命館大学 教授 近本 智行

【実施予定年度】平成25～27年度

(1)技術開発概要

①【技術開発の概要・目的】

ボアホール地中採熱配管および水平埋設地中採熱配管などで地中熱を採熱し、躯体スラブに直接埋設した配管により放熱するという方法は国内では事例がない新しい手法である。提案システムは躯体スラブに直接埋設することで安価に施工することができ、今後の普及が期待できる。冬季は屋上押えコンクリート内埋設配管により太陽熱を採熱し、躯体スラブを通じて室内放射冷暖房を行う。ボアホール地中採熱配管、水平埋設地中採熱配管についても、安価な施工方法を提案する。また既存建物への本事業の開発技術の適用についても検討する。

②【技術開発の詳細】

本システムは夏季冷房用に地中熱を利用するためのボアホール地中採熱配管、水平埋設地中採熱配管と冬季暖房用の太陽熱集熱装置と室内への放射冷暖房を行う躯体スラブ埋設配管で構成される。また夏季冷房時の結露防止と除湿を行うシステムの併用が必要である。各要素技術の開発について下記に示す。

(1)躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムの開発

・従来の天井放射冷暖房パネルは高価であるため十分普及するに至っていない。本事業では躯体スラブに金属強化ポリエチレン配管を直接埋設して蓄熱放射冷暖房を行うシステムを開発した。従来の天井放射冷暖房パネルに比べて約1/5の費用で設置できる。

(2)ボアホール地中熱採熱配管の安価な施工方法の開発

・翼付鋼管再利用方式を開発した。排出残土が抑制でき汚泥処理プラントが必要ない。
・開発手法は比較的軟弱地盤に向きであり地盤状況によりボーリング方式と使い分ける必要がある。

(3)水平埋設地中熱採熱配管の安価な施工方法の開発

・平行方式、スリンキー方式について施工コスト、熱性能を比較検証した。
・スリンキー方式のほうが施工コストが安価で熱性能も遜色がない。

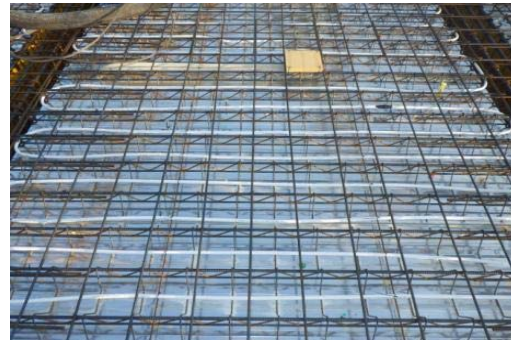
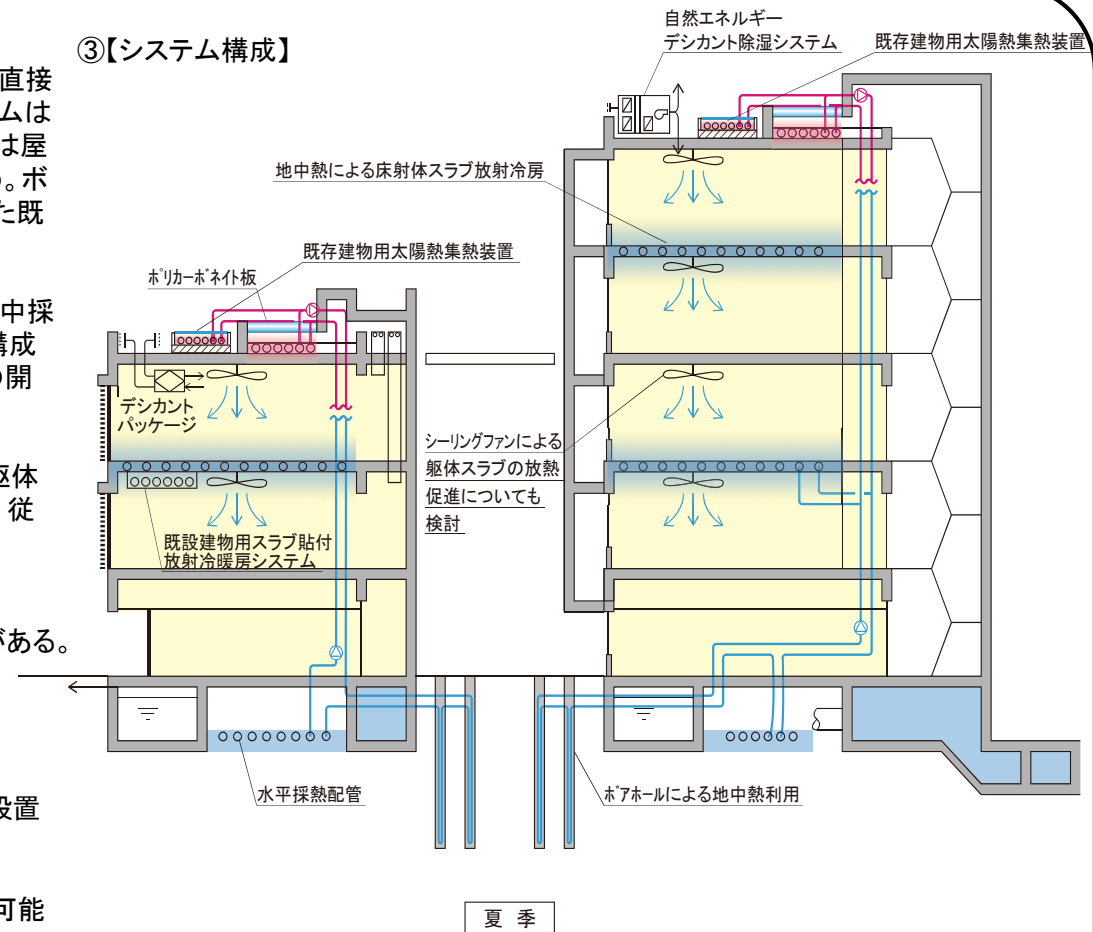
(4)太陽熱集熱配管システムの安価な施工方法の開発

・押さえコンクリート埋設配管、ポリエチレン配管設置型、真空式集熱装置について比較した。設置型は安価であるが、躯体との断熱、水分蒸発による結露防止が必要である。

(5)夏季の結露防止、外気除湿システム

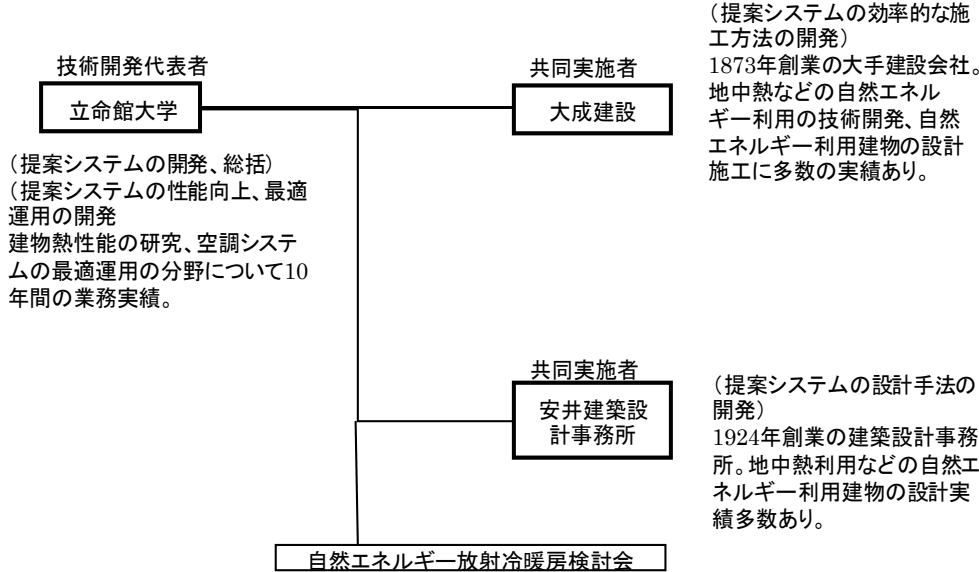
・外気処理空調機、デシカント空調機、シーリングファン等の併用により結露防止、外気除湿が可能である。地中熱・太陽熱を利用した自然エネルギーデシカント空調機を開発を行った。

③【システム構成】



(2)技術開発計画

①【実施体制】



外部委員を含めたアドバイザリーボード組織を組織して、本受託事業の進捗や方向性について検討を行う。

②【実施スケジュール】

1) 設計方法に関する技術開発	技術開発経費	2013年度	2014年度	2015年度
		10,180 千円	6,060 千円	4,560 千円
①設計手法に関する検討		シミュレーションソフト開発	採熱配管長さ・集熱面積を載せたシミュレーション	改良型太陽熱集熱装置シミュレーション
②最適な躯体スラブ埋設配管材料の検討		躯体スラブ試験体熱性能試験		他用途建物向け小型ヒートポンプ併用井水利用のシミュレーション検討
③既存建物のスラブ下に設置する放熱配管システムの検討		スラブ下放熱配管製作・取付	夏季実測・データ分析	
④既存建物屋上に設置する太陽熱集熱配管システムの検討		設置型太陽熱集熱装置製作・取付	冬季実測・データ分析	太陽熱集熱装置改良、真空式集熱装置設置 夏季実測・データ分析
⑤躯体スラブ蓄熱放射冷暖房システムと併用する最適除湿システム等の検討		パッケージ型デシカント設置	夏季実測・データ分析	自然エネルギー利用デシカント空調機 夏季実測・データ分析
2) 効率的な施工方法に関する技術開発	技術開発経費	26,820 千円	44,720 千円	4,170 千円
①地中水平埋設配管の施工方法の検証		施工データ整理		従来方式と開発方式の熱性能データ計測・分析
②躯体スラブ埋設配管の施工方法の検証		施工データ整理		
③太陽熱集熱装置の施工方法の検証		施工データ整理		改良型太陽熱集熱装置の施工コスト検討
④ポアホール掘削装置の試作、試験		計画・試験施工	従来方式と開発方式の熱性能データ計測・分析	従来方式と開発方式の熱性能データ計測・分析
⑤効率的な施工およびイニシャルコスト低減に対する評価		従来方式施工データ収集・開発方式との比較	従来方式と開発方式の熱性能データ計測・分析 開工法の適用が有効な比較施工・施工データ分析地域のマッピング検討	従来方式と開発方式の熱性能データ計測・分析 施工コスト・熱性能比較まとめ
3) 性能向上および最適運用に関する技術開発	技術開発経費	10,640 千円	11,910 千円	20,719 千円
①提案システムを採用した建物におけるシミュレーションによる検討		最適運用に向けてのシミュレーション		
②提案システムを採用した建物における計測計画の作成および計測装置の設置		計測システム設置		
③提案システムを採用した建物の実運用における効果検証および運用改善の検討			夏季実測・データ分析 冬季実測・データ分析 太陽熱集熱装置改善検討	夏季(7月~9月)実運用時の実測・データ分析 運転パターンを変えた場合の実測・データ分析 冬季実測・データ分析
	一般管理費	7,146 千円	9,404 千円	4,417 千円
	合計費用	54,786 千円	72,094 千円	33,886 千円

③【目標設定】

○最終的な目標:

性能仕様: 躯体スラブ埋設配管の単位面積当たりのCO2排出削減量として冷房時10.0kg-CO2/m²年、暖房時6.5kg-CO2/m²年を目標とする。(躯体スラブ埋設配管面積に対する地中熱採熱配管長さ2.3m/m²、太陽熱集熱面積0.2m²/m²、地中採熱配管平均採熱量12W/mの場合)、耐用年数50年以上(ポンプを除く)
システムの1次エネルギー換算COP 10以上
省エネルギー率: 20%以上(立命館大学BKC新棟Ⅱ研究室部分従来型空調システム比)

④【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

- ・2014年夏に本事業の提案システムの低コスト化を公表。
- ・2015年夏に本事業のCO2排出量削減効果を公表。
- ・2016年、地中熱利用用薄肉ポリエチレン配管販売開始。(積水化学工業)
- ・2016年を目処として、関連企業における提案システムを採用した建物の設計施工開始。

(兵庫県私立中学高等学校にて、水平埋設配管地中熱採熱+床スラブ放射冷暖房システムを施工中。2017年竣工予定。)

(滋賀県内北部某市庁舎にて井水熱ヒートポンプ+水平埋設配管地中熱採熱+床スラブ放射冷暖房システム実施設計中。2017年着工予定。)

- ・2018年より、一般企業による提案システム採用建物の設計施工開始。
- ・2020年の学校、庁舎等の新築建物における提案システム採用件数10件(採用床面積15,000m²)。
- ・2020年~2025年の学校、庁舎等の新築建物における提案システム採用件数50件(採用床面積100,000m²)。
- ・2025年~2030年の学校、庁舎等の新築建物における提案システム採用件数100件(採用床面積200,000m²)。
- ・2025年~2030年の学校、庁舎等の既存建物における提案システム採用件数20件(採用床面積30,000m²)。

○事業展開における普及の見込み

新築建物(~2020年)

実用化段階イニシャルコスト目標: 1.6万円/m²(←技術開発段階4.2万円/m²)

実用化段階単純償却年: 11.4年程度(従来型システムとのコスト差額+10.6万円/m²)

既存建物(~2030年)

既存建物に設置可能な安価な放射冷暖房装置の開発により新築建物への導入コスト1.6万円/m²を達成する。

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

- ・2015年7月1日～9月30日の地中熱利用による躯体スラブ放射冷暖房実績ではトリシア2(躯体スラブ放射冷暖房面積 259.33㎡)において3,227kgCO₂の削減を達成した。単位面積当たりのCO₂排出削減量は12.44kgCO₂/㎡であり、目標の10kgCO₂/㎡を上回ることができた。
- ・トリシア2の床スラブ放射冷暖房配管埋設面積は259.33㎡、地中熱利用はポアホール340m、水平埋設配管1,473mで目標10kgCO₂/㎡は達成できた。太陽熱は実測では目標6.5kgCO₂/㎡は達成できなかったが、実測結果とシミュレーションから配管長さを75m/㎡とし、約100㎡設置できれば目標を達成できると思われる。
- ・トリシア2の実績データと太陽熱シミュレーションより目標を達成できるイニシャルコストは下表となった。

	設置面積又は長さ	単価	合計[円]
躯体スラブ埋設配管	259 ㎡	5,500 円/㎡	1,426,315
ポアホール	273 m	17,500 円/m	4,782,958
水平埋設配管	1,184 m	1,300 円/m	1,539,309
太陽熱集熱装置	100 ㎡	16,000 円/㎡	1,600,000
合計	床スラブ設置面積当たり	36,049 円/㎡	9,348,582

②【CO₂削減効果】

○2020年時点の削減効果 (試算方法パターン C, II-i, ii)

- ・期待される開発システムの新築建物への導入面積 15,000㎡
- ・開発システムの導入面積当たりのCO₂削減量: 16.5kgCO₂/㎡年
- ・年間CO₂削減量: 24.75万t-CO₂
- ・イニシャルコスト低減目標 3.2万円/㎡×補助金1/2で導入コストを1.6万円/㎡に抑えて単純償却年数を11年程度とし導入促進を図る

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン C, II-i, ii)

- ・期待される開発システムの新築建物への導入面積 315,000㎡、既存建物への導入面積 30,000㎡。
- ・開発システムの導入面積当たりのCO₂削減量: 16.5kgCO₂/㎡年
- ・年間CO₂削減量: 569.25万t-CO₂
- ・新築建物は低コスト化技術開発により導入コストを1.6万円/㎡以下とし補助金なしでの普及を図る。既存建物は導入コストを3.2万円/㎡以下とし、補助金を併用して導入を図る。

③【成果発表状況】

- ・2015年～2016年日本建築学会大会、空気調和・衛生工学会大会その他発表「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研究(その1～14)」
- ・2015年～2016年日本建築学会大会発表「大学における環境配慮技術実験および環境教育実践の場の構築(その1,2)」
- ・2015年月11月23日 日本経済新聞「配管に水を循環 ビル冷房2割割安」
- ・空気調和・衛生工学2016年5月、「躯体蓄熱による環境負荷低減」(p.19～p.26; 近本智行)

④【技術開発終了後の事業展開】

(技術開発事業が終了した後、その成果を用いた事業展開、拡大シナリオ及びその問題点等について、できるだけ詳細な見通しに記載してください。)

○量産化・販売計画

- ・2018年までに学校、庁舎等の建替事業のプロポーザルに開発システムの導入を提案し、2020年までに竣工件数10件以上の実績を作り、CO₂削減効果を公表する。小型ヒートポンプ併用や井水熱利用を開発システムに組み込み、導入可能な建物用途を広げる。
- ・2020年までに太陽熱集熱装置の開発を行い、目標達成の実績を作る。
- ・2020年までに地中熱利用についての低コスト化を実現、2025年までに太陽熱利用について低コスト化を実現する、(単純償却年数10年程度)
- ・2020年までに開発システムの施工方法とCO₂削減効果、ライフサイクルコスト(単純償却年数10年程度)を公表し、一般の設計者、施工者の開発システム導入を促す。
- ・2025年までにZEB建物への標準導入技術と位置付ける。

○事業拡大シナリオ

年度	2016	2020	2025	2030 (最終目標)
低コスト化技術開発	地中熱利用で1.0万円/㎡以下	地中熱太陽熱利用で1.6万円/㎡以下	既存建物で3.2万円/㎡以下	単純償却年数10年以下
CO ₂ 削減実績	地中熱は目標達成	太陽熱実績で目標達成、地中熱はさらに運用改善	さらなる効率向上	ZEB建物への導入標準化
開発システムの応用、多用途の建物への導入	小型ヒートポンプ、井水熱利用との併用技術確立	太陽熱をヒートポンプと併用し、デシカント空調機活用		多用途の建物への導入
既存建物への導入		既存建物への導入実績		既存建物への導入コスト3.2万円/㎡以下

○シナリオ実現上の課題

- ・事業化に向けたさらなる低コスト化技術の開発、実証
- ・太陽熱集熱装置の改善と実証
- ・データ分析による運用改善
- ・2020年までの補助金導入
- ・既存建物への導入技術の確立 等

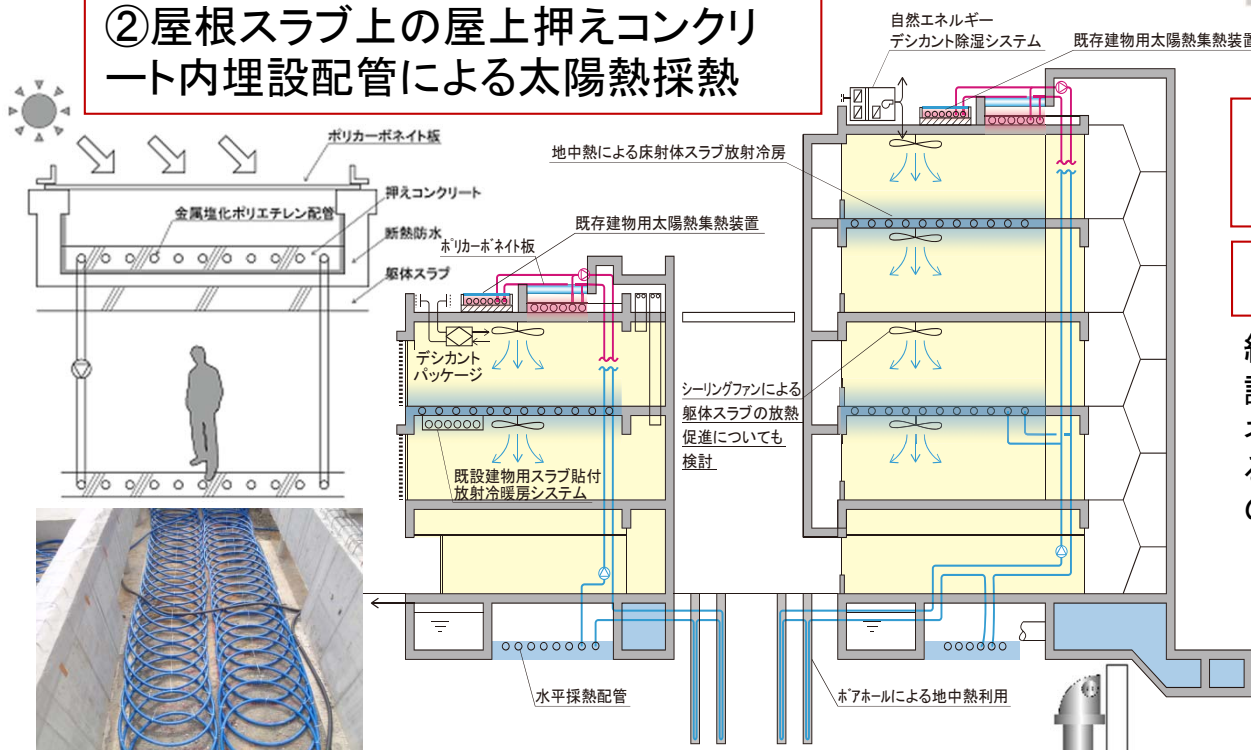
○参考資料

本システムの特徴

①ポンプのみ利用の低コスト・高COPシステム

配管とポンプだけを用いて、地中熱、太陽熱を採熱し、躯体スラブを利用して直接室内に放熱するシンプルなシステム。ヒートポンプなどの機器を用いないので、イニシャルコストが安価で耐用年数も長く、ポンプ動力のみなので高COP。

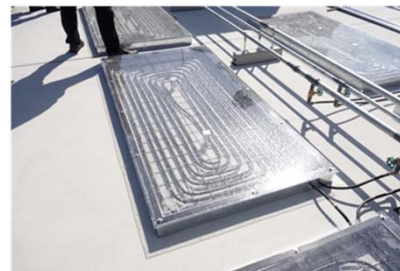
②屋根スラブ上の屋上押えコンクリート内埋設配管による太陽熱採熱



③施工が容易な水平埋設配管スリンキー方式による地中熱採熱

④繰り返し鋼管利用可能な翼付き杭ボアホールによる地中熱採熱

⑤新築だけでなく既設改修へも適用



屋上設置型の太陽熱採熱配管ユニット。

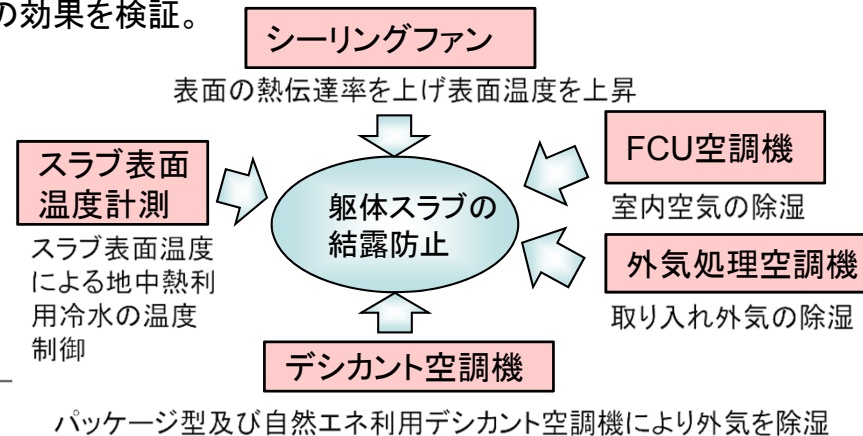


スラブ下面設置型の放熱配管ユニット。




⑥躯体温度を安定させ、放射を利用することで体感温度を向上

⑦除湿方式の最適組み合わせの検討

結露防止手法、除湿システムとしてFCU空調機、外気処理空調機による除湿、パッケージ型デシカント空調機及び自然エネルギーデシカント空調機による除湿、シーリングファンによる結露防止、スラブ温度による地中熱利用冷水の温度制御の効果を検証。



○参考資料
水平埋設配管方式

技術	既存技術	開発技術 1	開発技術 2
方式	平行配管	スリンキー(P250)	スリンキー(P500)
特徴	鉄網を使用して配管を平行に固定	配管搬入時の巻物の性状を利用してインシュロックで配管同士を固定	
施工			

ボアホール方式



既存技術(水堀工法)

- ボーリングマシン
- 利根社製 ソニックドリル MODE SD-150B

開発工法(翼付鋼管再利用方式)

- EAZET
- 日本車両製造社製 DHJ-12-2

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）
- 評価コメント
 - － 現実的な提案を着実に技術開発しており、問題点の抽出や解決策の検討は高く評価する。
 - － イニシャルコスト削減等の課題があるものの、実際に普及拡大が見込まれる。
 - － 全国の学校や庁舎といったターゲットに対する普及ポテンシャルとCO₂削減ポテンシャルを明確にし、ターゲットに広く情報が行き届くよう努めることを期待する。
 - － 本事業の実施内容について積極的に成果を広く公表し、その際は環境省「CO₂排出削減強化誘導型技術開発・実証事業」である旨を周知することを求める。
 - － 環境省補助金要項に従い採択時に告知したように、補助事業により整備された施設、機械、器具、備品その他の財産には、環境省補助事業である旨を必ず明示すること。