

カーボンニュートラル賞

受賞名称	第5回カーボンニュートラル賞 近畿支部 奨励賞
カーボンニュートラル賞選考支部名称	第5回カーボンニュートラル賞選考委員会 近畿支部
業績の名称	立命館中学校・高等学校長岡京キャンパスにおける自然エネルギーを最大限に活かした環境配慮技術
所在地	京都府長岡京市調子1丁目-25-1
応募に係わる建築設備士の関与	鹿島建設株式会社 関西支店 宮崎 裕輔

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	鹿島建設株式会社 関西支店 松崎 公一					
建築主						
設計者	鹿島建設株式会社 関西支店					
施工者						
建物管理者						
建物利用者						
検証者						
延床面積	36,894	m ²				
階数	地上6階	地下1階	塔屋1階			
主用途	高等学校					
竣工年月日	2014年7月					

支部選考委員長講評

地域性を最大限に活かし、優れた建築計画により利用できる自然エネルギーを最大限に活用したシステムを構築し、また生徒の自発的行動を促す仕組みなど多岐にわたる環境技術をキャンパス内に導入され、運用実績においても一次エネルギー消費量が大きく削減された。

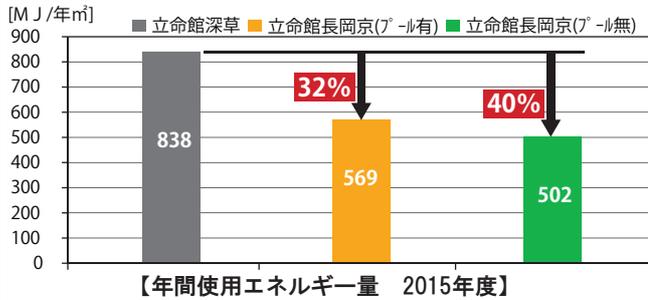
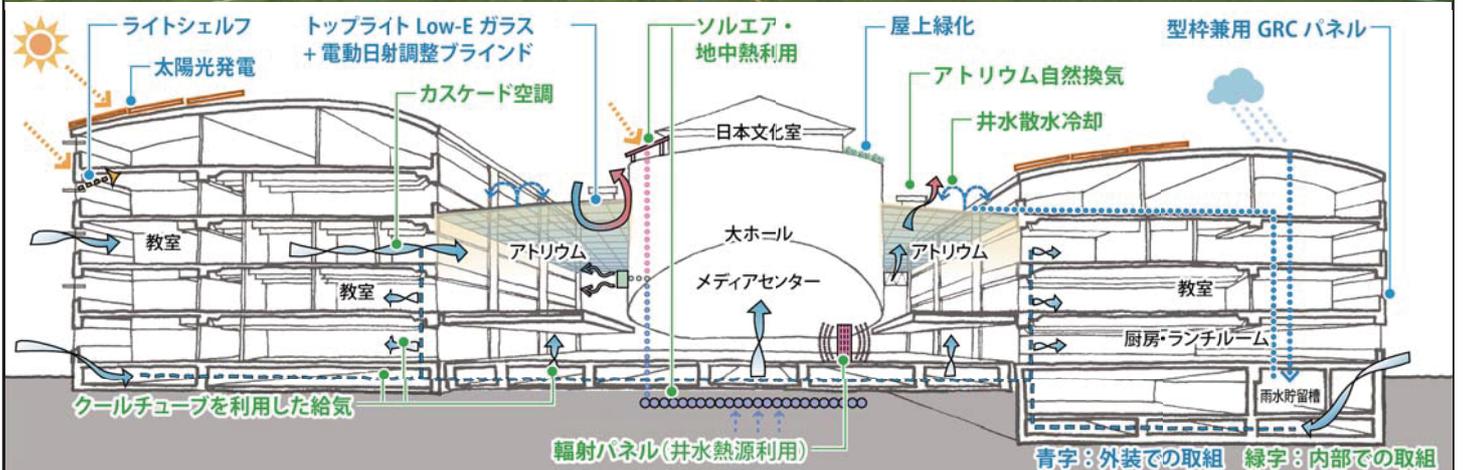
学校ならではの新しい取り組みとして、中央監視システムの構築にあたり、生徒達と協力してコンテンツの構築を行い、運用側のニーズを取り入れた試みがなされ、生徒達の自発的な環境行動を誘発するような「試す化」システムを構築し、運用することでさらなる省エネルギーの幅が広がる可能性を見出すことができるなど、高い評価に値する。

業績名称：立命館中学校・高等学校長岡京キャンパス

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの要旨

立命館中学校高等学校の概要

所在地：京都府長岡京市
 建物用途：教育施設
 敷地面積：42,483.32 m²
 〈教室・体育棟〉
 延床面積：36,893.76 m²
 階数：地下1階 地上6階
 構造：鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）
 〈体験学習棟〉
 延床面積：1,785.91 m²
 階数：地上3階
 構造：鉄筋コンクリート造



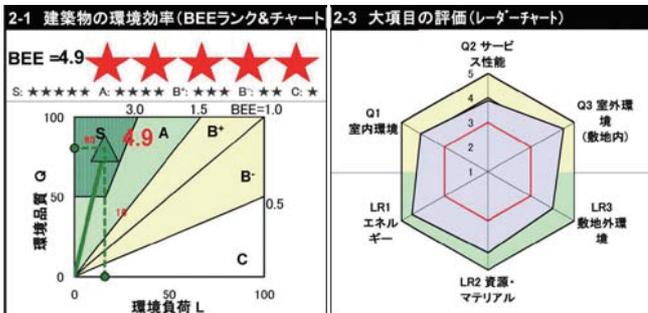
本プロジェクトは、京都市伏見区から長岡京市に移転する、生徒・教員数約2,000人の新キャンパス整備工事である。プロジェクト推進にあたり、「日本最先端のエコスクール建設」という大きなテーマを目標に掲げた。地域性を最大限に活用し、利用できる自然エネルギーを最大限に活用したシステムを構築し、また生徒の自発的行動を促す仕組みなど多岐にわたる環境技術をキャンパス内に導入した。それらが環境教育の場を提供し、さらなる生徒の好奇心を満たす結果となっている。

■ エネルギー消費実態

建物全体の一次エネルギー消費量を BEMS データから算出した。運用段階での省エネ性能として、2015年度の室内温水プールを含めない実績値は、単位床面積あたり 502[MJ/(m²・年)]となっている。これは同種の建物の統計値(出典：(財)省エネルギーセンター学校用途) 1,498[MJ/(m²・年)]から約67%の削減を達成した値である。なお、既に省エネが進められていた既存キャンパスからは約40%の削減となっているが、学校側は「将来的には更なる運用改善により50%以上の省エネを図りたい」と大きな目標へ向けて進んでいる。

■ CASBEE-新築による環境性能評価

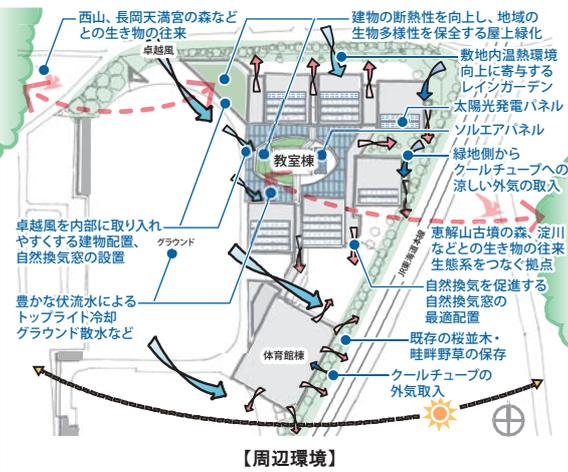
総合的な環境配慮を評価するCASBEEでは京都府においてトップクラスとなるBEE値=4.9を実現しており、当初目標とした「日本最先端のエコスクール」と呼ぶにふさわしいキャンパスとなった。



業績名称：立命館中学校・高等学校長岡京キャンパス

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの要旨

地域性を最大限活かした省エネルギー



本件では敷地の地域性というポテンシャルを利用し、自然エネルギーを最大限に活用することを第一のテーマとしている。また、生態系への配慮等、周辺環境への影響を最小限にしている。

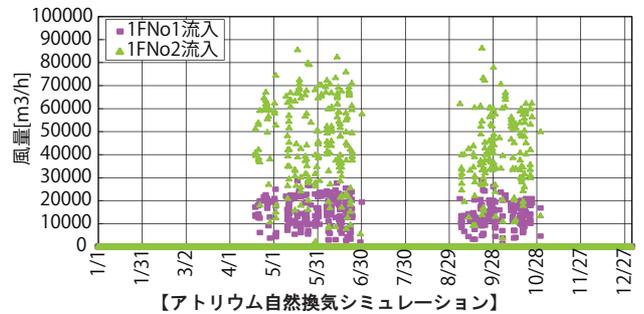
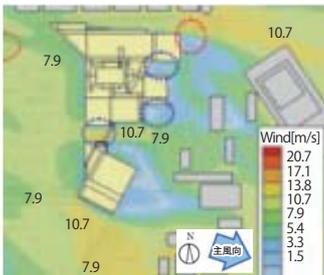
■ 生物多様性の推進

敷地は西山と桂川の間地点に位置しており、生物の橋渡しとなる樹木や緑があった。それら元々の敷地に生息していた土壌・緑化を仮置きしておき、新キャンパスの屋上緑化に再利用して DNA の継承と屋根断熱性能向上の両立を図る「ブラウンルーフ（粗放的な自然屋上緑化）」を計画した。

■ 卓越風を最大限に自然換気利用できる建物形状

敷地特性である西からの卓越風を利用するべく、敷地西側に運動場を設け、卓越風を両手で集めるような弓なり配置の校舎棟形状を計画した。またその卓越風が集まる中央にアトリウムを設け、風圧効果により自然換気能力を高めることを考えた。

4層のアトリウムをフロア毎に分け自然換気の流入・流出量を計算した。アトリウムの気積は約15,000m³であり、最大6回/hの自然換気風量が見込める計算結果となった。



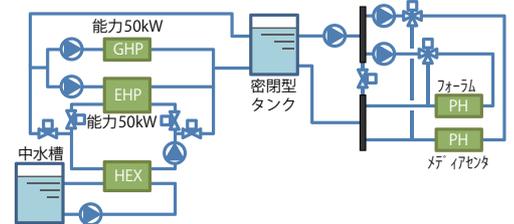
ゼロエネルギーアトリウム

ゼロエネルギーアトリウム：輻射

キャンパスの中心となるアトリウム空間をエコスクールの象徴として位置づけ、季節に応じた各種自然エネルギーの活用と建築的対策の組み合わせにより、年間エネルギー収支をゼロ化する「ゼロエネルギーアトリウム」を計画した。

■ 輻射パネル利用空調方式の導入

アトリウムに併設しているメディアセンターおよびアトリウム最下層部には、垂直型の結露型輻射パネルを設置している。結露型輻射パネルは通常の空調機用冷温水温度での送水が可能である。このシステムにおいては、ファン動力の削減を行いながら、メディアセンターの静寂性を保ちつつ、輻射パネルを生徒が実際に手を触れることのできる場所に設置することで、熱伝達の「輻射（放射）」を実感できる環境学習の狙いも併せ持つ。



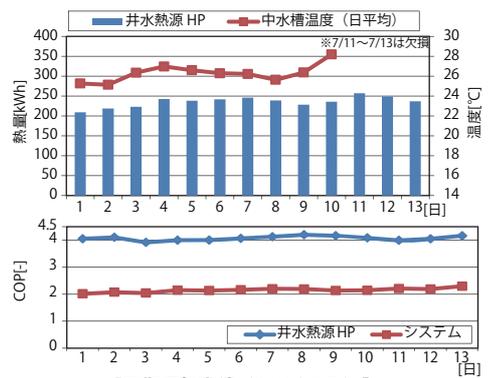
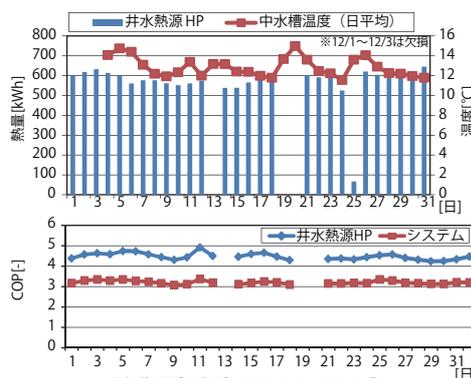
■ 熱源は井水熱利用

敷地特性の1つである伏流水を水源とした、井水熱源ヒートポンプを設置し、散水や便所洗浄水に用いる雨水・井水熱を空調熱源として利用している。また中水熱利用ができない場合、GHPチャラーを補助として運転する。外気の湿度を極力呼び込みたくないため、外調機を設置し、除湿後導入している。

冬期の運用実績では、月積算でHP単体COPは4.47、システムCOPは3.20であり、高い効率を得られた（HPチャラーの送水温度は42℃、輻射パネルへの送水温度は34℃）。

夏期の運用実績では、月積算でHP単体COPは4.07、システムCOPは2.15であった。夏期については負荷率がやや低い運用となっており、補機動力の割合が相対的に大きくなったために冬期と比べて効率が低下したと考えられる（HPチャラーの送水温度は11℃、輻射パネルへの送水温度は20℃）。

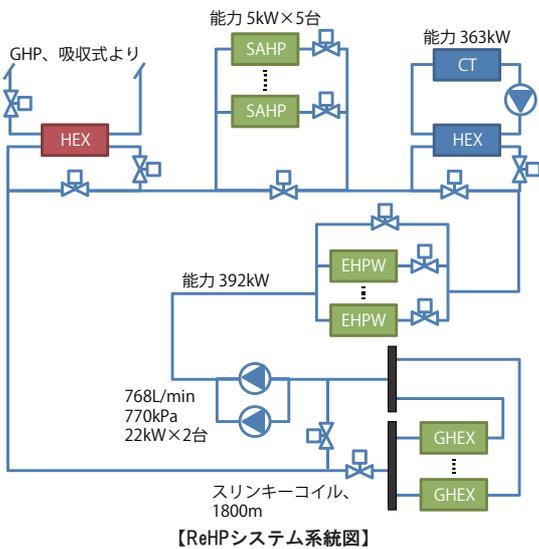
井水熱源HPの熱源である中水槽の温度については、冬期は12～15℃、夏期は25～28℃程度と安定している。冬期中水槽温度は外気温度と比べて高く、夏期は外気温度と比べて低い。空冷システムと比較して優れた条件で運用できていることが判る。



業績名称：立命館中学校・高等学校長岡京キャンパス

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの要旨

ゼロエネルギーアトリウム：ReHPシステム



【ソルエアヒートポンプ外観】



【スリンキー式地中熱コイル】

■ ReHPシステム

ReHP®(リヒープ、Renewable Energy Heat Pump System) (当社開発) は、建物周囲の太陽熱、空気熱、地中熱、水熱など複数の再生可能エネルギーを熱源利用する、高効率な水熱源ヒートポンプシステムである。当社開発のソルエアヒートポンプ®(以降 SAHP®) により、太陽熱集熱、放射冷却、空気熱交換を行い、スリンキー式地中熱コイルから地中熱をくみ上げる複合熱源システムを採用し、水熱源空調に利用している。

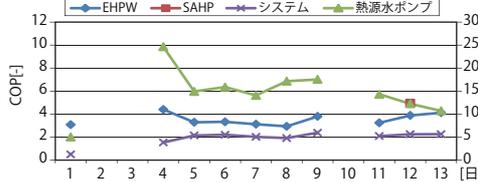
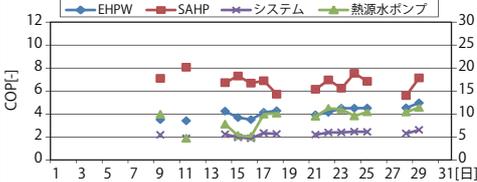
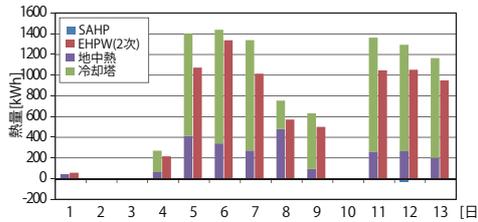
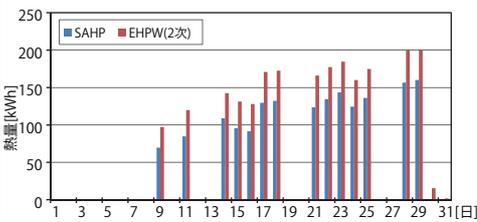
■ 運用実績

冬期：EHPWの単体COPは月積算で4.06、SAHP®の単体COPは6.65と運転COPとしては非常に高い値であった。熱源水ポンプのWTFは7.32とやや低く、熱源水搬送動力には改善の余地がある。システムCOPは2.16であった。

夏期：EHPWの単体COPは月積算で3.44、SAHP®の単体COPは4.94と運転COPとしては非常に高い値であった。熱源水ポンプのWTFは14とやや低く、熱源水搬送動力には改善の余地がある。システムCOPは2.07であった。

地中熱コイル：地中熱交換器の期間平均放熱性能は13.3W/m、最大放熱性能は56.2W/mとなり予測シミュレーションを上回る結果となった。

以上のように、必ずしも高い効率とは言えないが、複数熱源を組み合わせた水熱源ヒートポンプシステムであるReHP®の計画と運用に関する知見を得た。本システムの発展のためには、補機動力(ポンプや冷却塔)の確実な低減方策を検討するとともに、それに繋がるEHPWそのものの変流量対応、効率向上、熱源水温度範囲などの改善も望まれる。



【冬期運転実績 (2015年12月)】

上：処理熱量、中：効率、下：温度

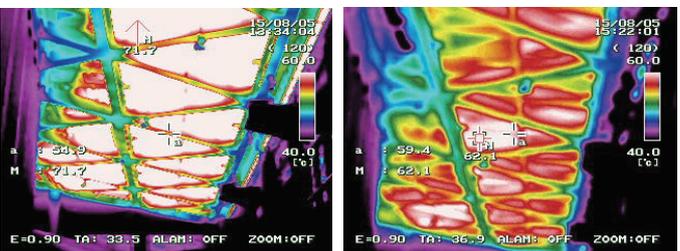
【夏期運転実績 (2016年7月)】

上：処理熱量、中：効率、下：温度

ゼロエネルギーアトリウム：屋根散水

アトリウム空調負荷を抑えるべく電動日射ブラインドと、中水(主に井水)を水源とするトップライト散水を導入した。

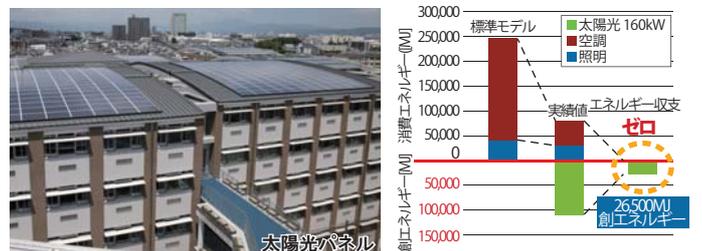
トップライト下部の温度が設定温度以上となると散水する。トップライトはLow-Eのペアガラスを採用しており、外部側の表面温度下がり幅と内部側の表面温度推移は差があるものの、平均5°C程度温度が低下する効果が期待できることがわかった。



【トップライトサーモカメラ (左:散水前 右:散水後)】

ゼロエネルギーアトリウム：検証

各自然エネルギー利用や建築ルーバー等の省エネ対策により、一般的なアトリウムと比較し空調負荷を75.4%削減することが可能となった。そこへ太陽光パネル160kWを設置し、利用しているエネルギーを創エネで年間を通してすべて賅うことができる「ゼロエネルギーアトリウム」を構築することができた。



【年間エネルギー収支 実測 2015年度】

業績名称：立命館中学校・高等学校長岡京キャンパス

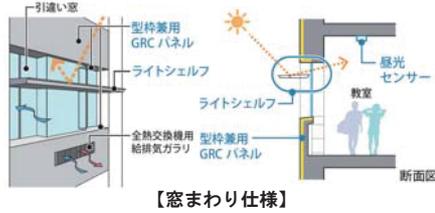
■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの要旨

教室における取り組みと快適性の検証

常時利用される教室においては、省エネルギーの積み重ねが大きな効果を生む。

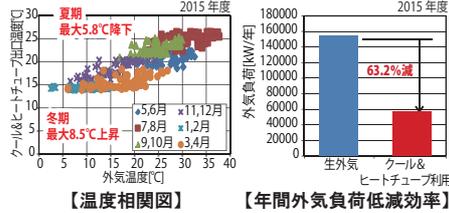
■ 窓まわり

教室は窓面積が法規定されており、外皮負荷が大きくなる傾向にある。そこで外皮負荷の抑制を意図して、高断熱サッシ・高断熱ガラス (LowE ガラス) を導入し、併せて日射を防ぎながら昼光利用できるライトシェルフを計画して、窓周りの工夫を行った。



■ クール&ヒートチューブ

外気温度と出口温度の各月相関図から、夏期は最大 5.8℃の外気温度低減降下があり、冬期は最大 8.5℃の外気温度上昇効果があることを確認した。クール&ヒートチューブによる外気負荷は、概ね 63.2%程度低減する結果となった。



■ 生徒との連携

中央監視では、生徒達と協力してコンテンツの構築を行い、運用側のニーズを取り入れた。独自のテーマとしてゲーミフィケーションを誘発する「見える化」を超えた「試す化」を掲げた。

各教室に iPad を設置し、生徒が誰でも触れることができるようにした。省エネに対する関心が増し、更に他クラスや1年前の同教室クラスと競争することで楽しみ・達成の実感を受けて自発的な環境行動に到達する「試す化」システムが完成した。

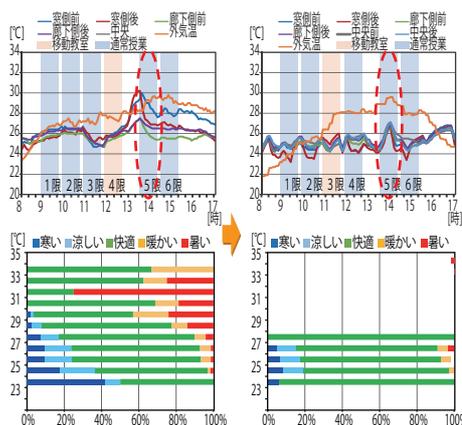
「ECO WEEK」と呼ばれる、生徒が自発的に行っている省エネ運動に対し、iPad を利用する企画を立てた。この活動には、立命館大学近本研究室がサポートしている。

iPad を利用しない ECOWEEK では一次エネルギーで約 8%の削減値だったものが「試す化」の iPad を用いることにより、約 14%の削減となり省エネ幅が増加する結果となった。



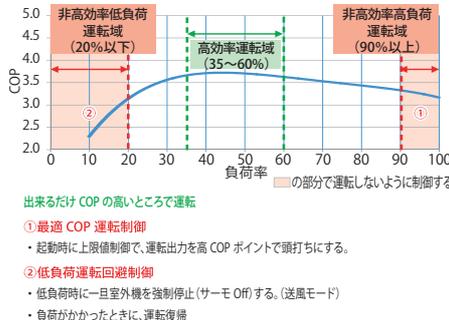
■ 移転前後比較

夏期実測値によると、移転前では窓側と廊下側で温度差があったが、移転後では平面温度分布は解消されている。また温冷感アンケートにおいても、「暑い寒い」が改善しているのがわかる。中間期・冬期においても同傾向を示した。

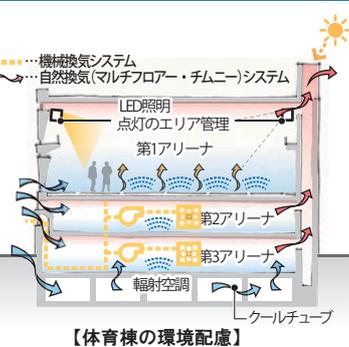


■ GHPの回転数制御システム

パッケージは中間期などの部分負荷・低負荷運転時に効率が落ちる傾向にある。実在するビル群では、低負荷時の効率改善をコンプレッサーインバーター制御に頼るしかなく、結果、低 COP で運転していることが多い。省エネルギー性の向上を目指し、今計画では積極的に低 COP 運転の状況を回避 (サーモ OFF) するシステムを構築している。



体育館における取り組みと快適性の検証



■ 取り組みと快適性の検証

体育館では、極力空調を行わないことが省エネにつながる。自然換気を促進する工夫として、マルチフロア・チムニーを設置(四つ角)した。曇りの日と比較し晴れの日にはチムニー内上下温度分布が生じ換気量が増えていることがわかる。チムニーが処理した排熱量と内外温度差を示し、効果を検証した。また、煙突効果の利用により、地下のアリーナでも自然換気が可能となった。チムニーは内部側をガラスブロックにすることで、自然光の取り入れ効果も併せ持つ。また、体育棟にもクール&ヒートチューブを導入している。データ解析により教室棟と同等の効果を確認し、省エネルギーに寄与していることがわかった。

