

ホワイトリング

Whitering

青木七郎*・湯澤秀樹**

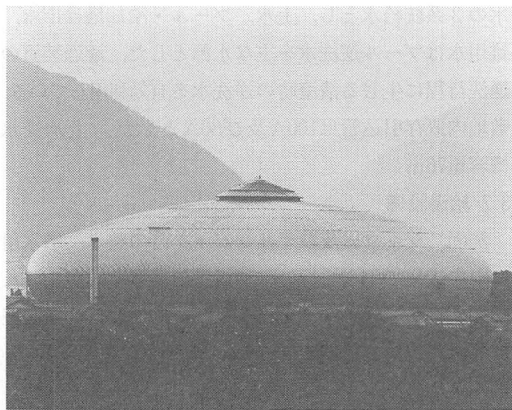
Hichiro Aoki Hideki Yuzawa

1. はじめに

長野市真島総合スポーツアリーナ（愛称ホワイトリング）は、1998年第18回冬季オリンピック競技大会のフィギュアスケートとショートトラックスピードスケート競技の会場として計画された市民体育館である。

敷地は長野市の南、りんごなどの果樹園がひろがる田園地帯の一面にある。この辺りは近くに千曲川と犀川が流れ、遠くから眺めるとホワイトリングのかすかな緑色をおびたステンレス屋根は静謐なきらめきを放ち、あたかもこの2つの川の流れからこぼれ出てきらめく「みずたま」のような美しさを見せている。この「みずたま」の中の41m×66mの広さに約30mの高さを有するアリーナが、全世界から華麗で優美なフィギュアスケート競技や力強いショートトラックスピードスケート競技を見るために集まった人々の歓声と拍手に沸く日もすぐそこである。ホワイトリングは、「環境五輪」をテーマとするオリンピック競技会場として良質な競技環境の確保と観客の快適性維持という性能に併せて環境負荷が小さいことが強く求められており、エネルギー保全と環境保全に留意した計画を行っている。

多くの人々が集まり、高度な競技を鑑賞するためには、競技を演出する照明や空間の快適性を保つ空調などで消費されるエネルギー及び便所などで用を足す水などが必要となる。消費されるものの量が大きくなれば当然排出されるものの量も大きくなり、空間や活動する人の数が大きくなればその傾向は更に強くなる。エネルギー保全・環境保全で重要なことの一つは、建物で消費されるものの量を小さくすることにある。ホワイトリングでは、自然採光、自然通風、地下水の利用等の自然エネルギーの有効活用とアリーナの使用



写1 ホワイトリング

途に応じて屋根内空気の流れを制御することによる大きな屋根面からの熱負荷低減により、化石燃料使用量の低減を図っている。また、節水器具の設置と地下水を便所洗浄水として利用することにより、上水使用量の低減を図っている。

次に重要なことは建物で実際に消費されるものの量を把握し、それが適正であるかを監視することである。ホワイトリングでは、エネルギー使用量、上水・井水使用量を中央監視設備で監視し、建物の管理者が適正なエネルギー管理を行うことをサポートしている。

2. ホワイトリングの施設概要

2.1 建築概要

ホワイトリングはメインアリーナとサブアリーナから構成される（図-1、表1）。メインアリーナは41m×66mの広さのフロアにバスケットコート3面を確保でき、ポータブルフロアを外して下地コンクリートに埋設された架橋ポリスチレン管にブラインを流すことによりアイスリンクを設置する。メインアリーナは、アイスリンクのまわりに観客席を視認性を考慮して効果的に設けることを考えて短辺92m長辺104mのスーパー楕円の平面計画としている（図-2）。2階全周に

* (株)日建設 東京本社設備設計室室長

** " " 設備設計室

〒112 東京都文京区後楽町2-1-3

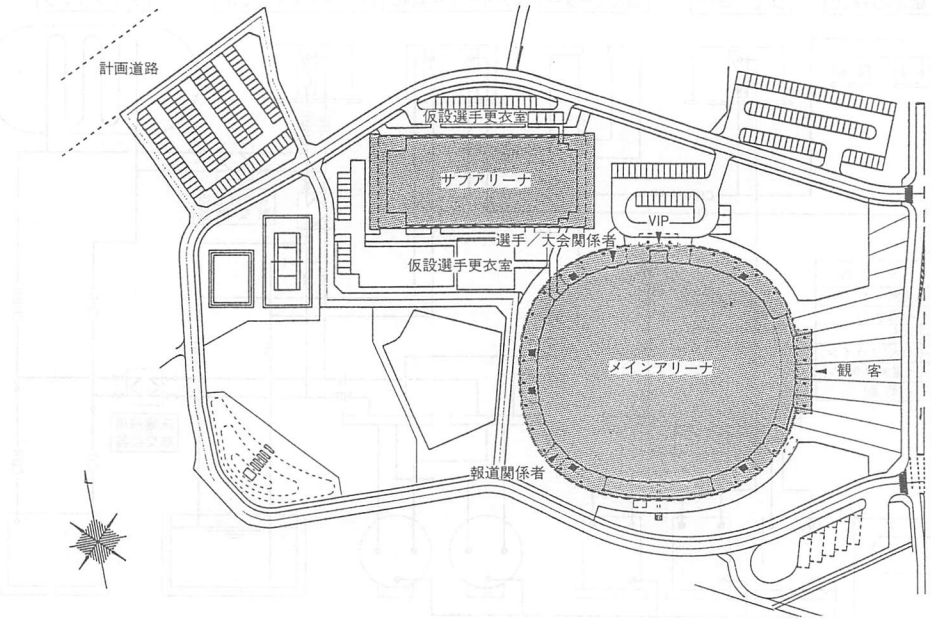


図-1 配置図 (S= 1/3200)

表 1 メインアリーナ施設概要

主要用途 面積	体育施設	スケートリンク
	敷地面積	: 43,715.71 m ²
	建築面積	: 10,788.02 m ²
	延床面積	: 16,057.86 m ²
	建ぺい率	: 24.7% (許容: 70%)
階数	地上	3階
	最高高	: 39.75m
主要寸法	アリーナ天井高	: 27m
	主なスパン	: アリーナ 41m × 66m
		リンク 30m × 60m
		ドーム長辺 104m 短辺 92m
構造	主要構造	: 鉄筋コンクリート造 屋根 鉄骨造
	杭・基礎	: 直接基礎
空調設備	空調方式	: アリーナ 単一ダクト方式+客席ヒーター 諸室 単一ダクト+ファンコイルユニット方式 一部パッケージ方式
	熱源	: 油焚温水ヒーター、油焚冷水発生機
衛生設備	給水	: 加圧給水方式(上水、井水 2系統)
	給湯	: 中央式給湯方式(雑湯用) 局所式給湯方式(飲料用)
	排水	: 建物内分流方式
電気設備	受電方式	: 6.6 kV 2回線受電
	設備容量	: 2400 kVA
	予備電源	: ガスタービン発電機 300kVA
防災設備	消火	: 屋内消火栓設備、屋外消火栓設備 スプリンクラー消火設備
	排煙	: 機械排煙、自然排煙 アリーナは蓄煙(38条認定)
	昇降機	: 乗用 13人、45m/分 1台 乗用 11人、60m/分 1台

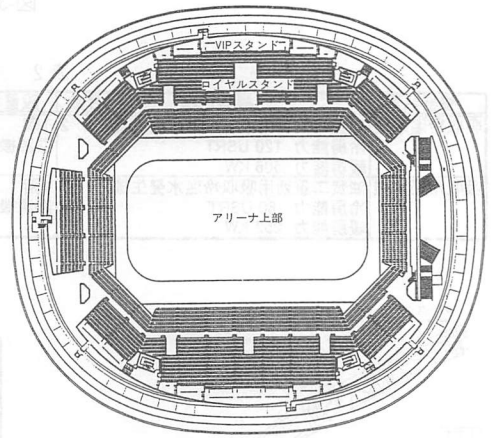


図-2 メインアリーナ平面図 (S= 1/1600)

はギャラリーが設けられ、観客の休憩スペース及び入退館時の動線として活用する。観客席は北側がメインスタンド、南側がバックスタンドとなっている。固定席は約5000席あり、オリンピック時には仮設で増設され7531席になる。サブアリーナは矩形の平面で、機能優先の体育館として設計されている。

2.2 空調設備概要

主要熱源設備は、運転管理者が不要な油焚ボイラ、

冷水発生機、熱交換器で構成している。熱源設備は冬に暖房、夏に冷房に切り替わるため、アイスリンク使用時に「もや」が発生した場合にアイスリンクサイドから吹き出す冷風は、製水用冷凍機から供給されるブラインとの熱交換により作り出す。本敷地は、潤沢かつ顕熱的にも利用可能な地下水に恵まれており、この地下水を暖房時にはプレヒーティング用、冷房時にはプレクーリング用のヒートソースとして利用する。外気処理用エネルギーのうち、暖房時63%、冷房時35%を井水利用により賄う。地下水の空調利用は熱交換器を介して間接的に行うことで水質保全に留意し、利

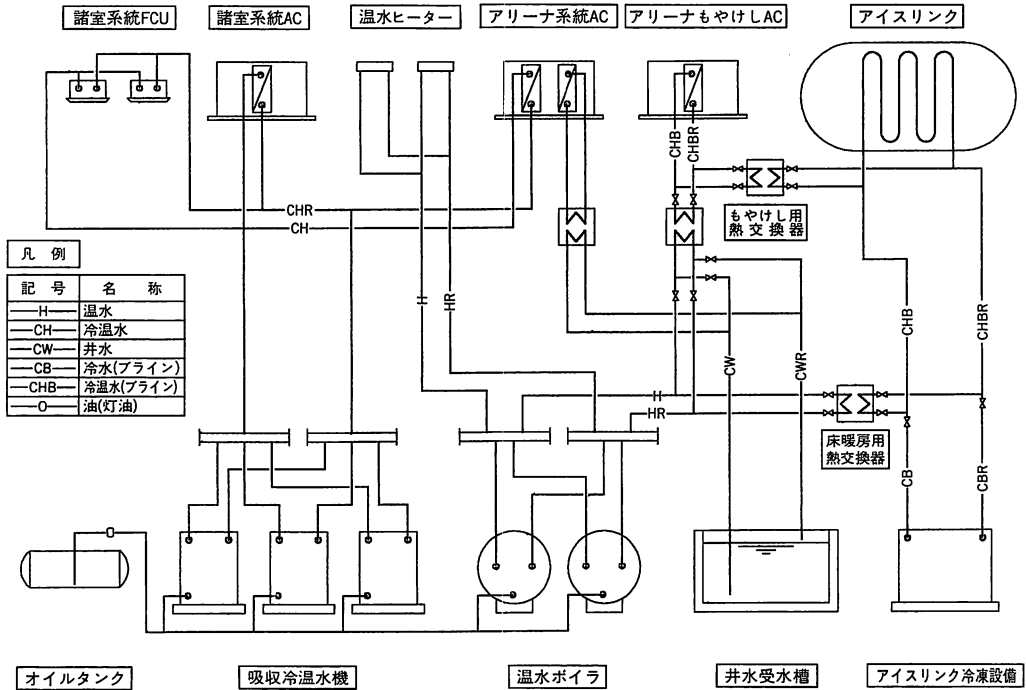


図-3 熱源構成図

表 2 主要熱源設備仕様

機器名称	機器仕様	台数	設置場所	機器名称	機器仕様	台数	設置場所
吸収冷温水機	油焚二重効用吸収冷温水発生機 冷房能力 120 USRT 暖房能力 506 KW	2	1階 熱源機械室	ボイラー	油焚真空式ヒーター 低Noxタイプ 形式 給湯・暖房2回路 給湯能力 314 KW 暖房能力 447 KW	2	1階 熱源機械室
吸収冷温水機	油焚二重効用吸収冷温水発生機 冷房能力 60 USRT 暖房能力 252 KW	1	1階 熱源機械室				

表 3 アリーナ系統空調設備仕様

機器名称	機器仕様	台数	設置場所
空調機 アリーナ3F系統	ユニット型空調和機 ファン 25000 CMH × 343 Pa(機外静圧) 冷温水コイル(井水) 冷却能力 59.3 KW 加熱能力 118.6 KW 冷温水コイル 冷却能力 106.3 KW 加熱能力 67.7 KW フィルタ プレフィルタ+中性能フィルタ	4	1階 設備室(1)~(4)
空調機 アリーナ2F系統	ユニット型空調和機 ファン 15000 CMH × 392 Pa(機外静圧) 冷温水コイル(井水) 冷却能力 35.0 KW 加熱能力 71.2 KW 冷温水コイル 冷却能力 67.8 KW 加熱能力 40.6 KW フィルタ プレフィルタ+中性能フィルタ	4	1階 設備室(1)~(4)
空調機 もやし用	ユニット型空調和機 ファン 10000 CMH × 441 Pa(機外静圧) ブラインコイル(井水) 冷却能力 16.9 KW フィルタ プレフィルタ+中性能フィルタ	2	1階 設備室(5)(6)
排気ファン アリーナ系統	両吸込シロッコファン No. 2 × 7028 CMH × 343 Pa	18	屋根裏
遠気ファン アリーナ系統	直動型軸流ファン No. 8 × 20000 CMH × 343 Pa	4	1階 ファンルーム(1)~(4)

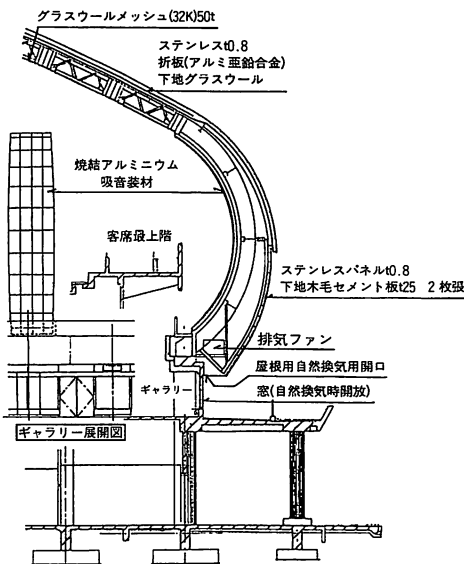


図-4 メインアリーナ断面詳細 (N.S)

表4 主要製氷設備仕様 (リース工事)

機器名称	機器仕様	台数	設置場所
ブラインクーラーユニット	型式:密閉モーター直結駆動水冷式屋外型 容量:メインリンク用 54.4 USRT サブリンク用 54.4 USRT 冷媒:アンモニア	5基 2基	屋外
冷却塔	低騒音型 450 USRT	1基	屋外
アンモニア換外設備	スクラパー	1基	屋外

用後は還元井を用いて地中に戻すことにより環境保全に留意した(図-3, 表2)。

諸室の空調は、外調機による外気供給とファンコイルによる室温制御により行う。省エネルギーのため各室毎に外気供給システムのCAVとファンコイルユニットのスイッチを設け、かつ中央監視装置から遠方発停を行うことにより必要な室に対してのみ空調を行う。アリーナの空調・換気は、8台の外調機、天井内排気ファン、椅子ヒーター、自然換気口(2階ギャラリー、屋根下部、トップライト)をアリーナの使用形態、使用時期に応じて使い分けて行う(図-4, 表3)。冷凍設備は環境保全の観点より地球温暖化係数0であるアンモニアを冷媒とする冷凍機としている。なお、冷凍設備は使用機関がオリンピック等に限られるためサブアリーナの冷却配管と冷凍設備はリース工事対応としている(表4)。

2.3 衛生設備概要

給水系統は飲用水系統と雑用水系統の2系統に区分

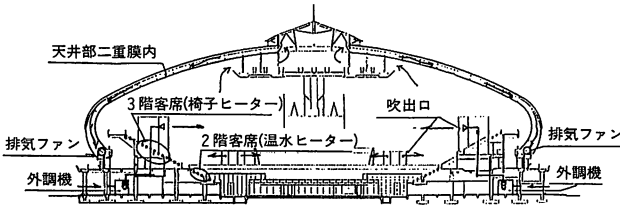


図-5 アリーナ暖房イメージ図

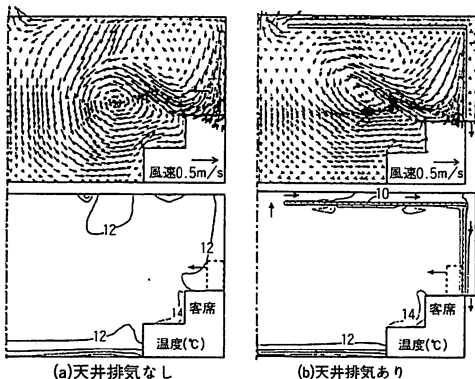


図-6 天井排気の効果検討結果

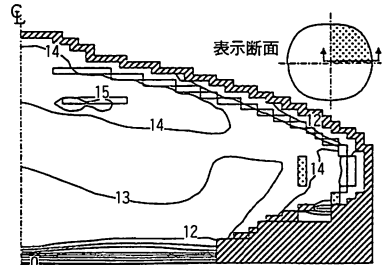
し、加圧給水方式で給水する。使用水量が施設の利用形態により大きく変動するため、便器洗浄水等の雑用水の水源を地下水とし、かつ死水の発生防止と周辺施設の給水状況に影響を与えないように受水槽内の貯水量を調整可能にしている。

3. 省エネルギー計画

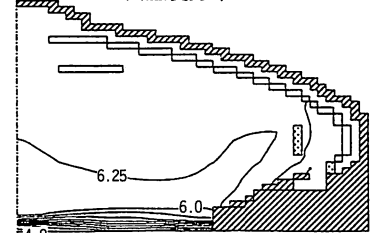
本施設は、オリンピック競技会場としての使用と、その後の市民体育館という2つの目的を有しており、利用用途に応じた屋内環境の実現とエネルギー保全・環境保全がバランス良く成立していることが求められる。施設の計画にあたっては、エネルギー保全・環境保全の重要なキーワードである省エネルギーのための建築的な配慮をするとともに、使用内容と想定される各種の使用条件に対応した合理的な空調・換気により、省エネルギーを図りうるよう考慮した。

3.1 アイスリンク利用時の空調計画

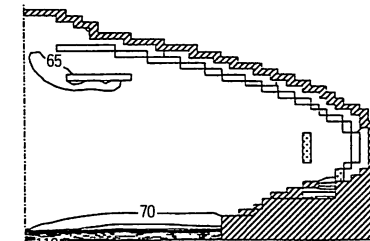
アイスリンク利用時の空調計画では、観客席は「あたたかさ」が求められ暖房が必要となるが、暖気によ



(a)温度分布



(b)絶対湿度分布



(c)相対湿度分布

(観客数: 8000人, 外気温度: -7℃)

図-7 アリーナ内温度・湿度分布計算結果

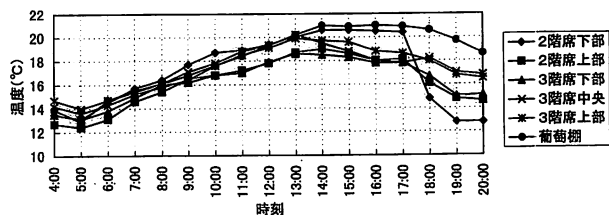


図-8 アリーナ内温度分布計測結果

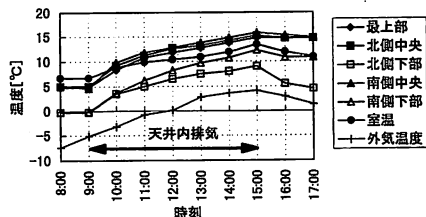


図-9 天井内温度分布計測結果

てアイスリンクの水が溶けたり、観客席から発生した水蒸気がアイスリンク付近で冷却されて「もや」が発生することがないようにする工夫が必要である。また、省エネルギーの観点からは垂直温度分布がつかやすい大空間内の観客席の暖房をいかに効率的に行うかということが課題である。設計初期段階から数値計算を用いて検討を重ねた結果、アリーナの屋根部分の断熱性能を高めて外部からの熱負荷を軽減し、観客席部分のヒーターによる局所暖房を行うことにより、この条件を満足する計画とした(図-5)。

(1) アリーナの換気方式

アリーナの周囲に観客席を有する大空間特有の現象として、暖房時に観客席で暖められた空気が上昇し、屋根との接触により徐々に冷却されてアリーナ中央で下降気流となる大循環流が生じることが多い。この結果、観客席の高湿度の空気がアイスリンク付近に下降することによる「もや」の発生や水質の悪化などの危険が生じる。この大循環流を生じさせないための方策の一つとしてアリーナ天井内を排気ルートとすることを計画した。簡易モデルによる計算結果から天井部分の断熱性能を高めることにより観客席付近からの暖気の上昇速度を抑え、かつアリーナ頂部から排気をとることにより、アリーナ中央部分での下降気流の抑制が可能であることを確認した(図-6)。また、2月に開催されるオリンピックを想定した詳細モデルによる計算結果から次のことを確認した(図-7)。

- ①アイスリンク上部2～3mの間で冷気の安定成層が形成され、気流速も極めて小さいのに対し、観客席付近の温度は13～14°C程度に維持される。
- ②アイスリンク表面近傍の一部を除いて相対湿度が100%RHを超える部分はない。また、相対湿度が100%RHを超える部分の層の厚さは1m以下で絶対湿度が非常に低い状態にあり、「もや」が発生する可能性は非常に低いと考えられる。但し、外界の気象条件によりアリーナに供給される外気の湿度が計算条件よりも高い場合には「もや」の

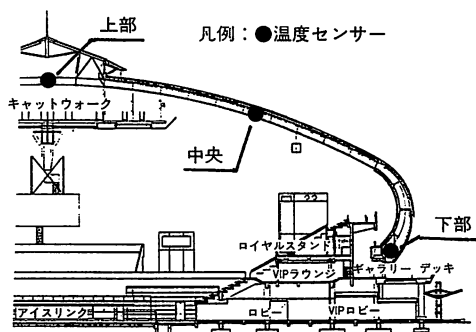


図-10 温度センサー設置位置

発生する危険性は高まる。「もや」を消すためには空気の拡散を行うことが有効であり、空気拡散時にアイスリンクの水質の悪化を生じないためにはできるだけ低温の空気を送風することが必要となる。本施設では、アイスリンクサイドに冷風を吹出す空調機を2台設置して「もや」消しを行う計画としている。

(2) 観客席の暖房方式

2階観客席下部に温水ヒーター(1席当りの発熱量:116W)、3階観客席に電気式椅子ヒーター(1席当りの発熱量:40W)を設置し、局所暖房を行っている。観客席のヒーター発熱量を変えているのは、2階観客席はアイスリンク面に近く底冷えしやすいため足元から暖めることを目的としているのに対し、3階観客席は周囲空気温度が高いため着席時の不快感を和らげることを目的としているためである。

(3) アリーナ内温度分布の計測結果

平成9年1月に開催された全日本フィギュアスケート大会の観客席各部の温度計測結果を図-8に示す。大会3日目なのでアリーナの躯体が暖まっている影響もあるが、観客在館時(10:00～17:00)の客席温度は16°C～20°C程度に維持されており、目標温度(13°C)よりも暖かい状態にある。また、大会期間中「もや」の発生はなかった。

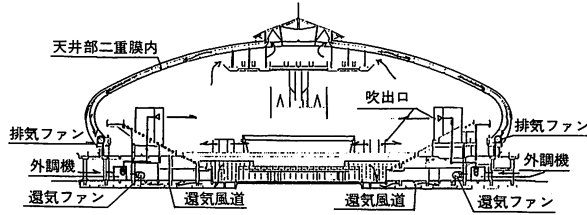
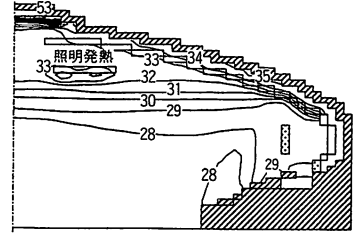


図-11 アリーナ冷房イメージ



(観客数:5000人, 外気温度: 33°C)

図-12 冷房時アリーナ内温度分布計算結果

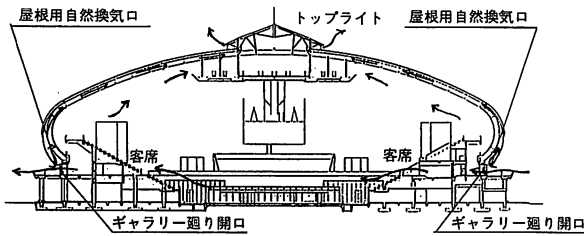
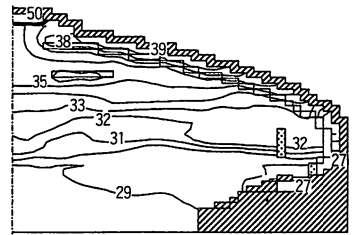


図-13 アリーナ自然換気イメージ図



(観客数:1000人, 外気温度: 26°C)

図-14 自然換気時アリーナ内温度分布計算結果

(4) 天井内排気による断熱性能の向上

大会2日目のアリーナ天井内温度、室温、外気温度の時刻変動を図-9に示す(アリーナ天井内温度計位置は図-10参照)。天井内排気開始(9:00)以降の天井内温度は、最上部・中央部で室温より高く、下部で室温に徐々に近づいていく。天井内排気終了後の天井内温度は、最上部・中央部の温度はゆるやかに室温に近づき、下部では急速に5°C程度低下する。この実測結果から天井内排気により天井内温度と室内側の温度差が小さくすることが可能であり、天井部分の断熱性能が向上していることが示された。

3.2 冷房時の空調計画

夏期に大きな大会が開催され、冷房を行う場合の空調システムイメージを図-11に示す。冷房時においてもアイスリンク利用時と同じように天井内排気により断熱効果を高めることができる。アイスリンク利用時には全外気運転としているのに対し、冷房時にはアリーナ床面からレタンをとり、風量制御を行うことにより省エネルギー性を高めている。詳細モデルを用いた数値計算結果によれば、観客席付近の温度は28°C程度に維持される(図-12)。

3.3 アリーナ使用人員が少ない場合の空調計画

市民体育館としての一般的な利用形態では、アリーナ使用人員数が少ないことが予想される。夏期及び中間期には屋根下部の自然換気口とトップライト部の開口および2階ギャラリー全周の窓を開け放して果樹園や田園を吹き渡る風を天井内とアリーナ内に呼び込む

(図-13)。詳細モデルを用いた数値計算結果によれば、無風状態で外気温度が26°Cの場合のアリーナ床付近の温度は29°C程度に維持される(図-14)。

4. エネルギー管理計画

1階管理事務室の中央監視盤において施設内設備の稼働状態の監視及びエネルギー管理を行っている。監視記録は時刻別データとして帳票出力される。

主な監視内容を下記にまとめる。

■受電設備

電圧、電流、力率、電力量

■空調・衛生設備

上水使用量、雑用水使用量、下水排出量
油使用量、外気温湿度、アリーナ天井内温湿度
各室温度

5. おわりに

大空間の特徴的な大屋根に様々な機能を持たせ、質の高い競技環境を実現したホワイトリングが1998年の大イベントを迎えようとしている。長野オリンピックでの成功することを願うとともに、計画の当初からご指導いただいた長野市オリンピック局施設課の関係各位ならびに工事関係各位に厚く御礼申し上げます。