

自然冷媒CO₂ / アンモニア冷却システム

(株)大林組 名古屋支店 二宮 勉
(株)東洋製作所 中部支店 山本 弘・原田 大陸

キーワード / 熱源設備・自然冷媒・展示施設

1. はじめに

昨年、目標入場者数1,500万人を大きく上回り、大成功裏に閉幕した愛知万博はまだ記憶に新しい。今年の夏には跡地を整備、万博記念公園「モリコロパーク」として再公開され、再び多くの方が開催時の賑わいを思い起こしながら入園されるのではないだろうか。

開催時の入場者約2,200万人のうち、約700万人がグローバルハウスのマンモスラボを見学し、常に長蛇の列ができる人気パビリオンとなった。あたかも生きているような皮膚感に見入った方も多かったのではないだろうか。

本報ではこの設備冷却システムを中心に紹介する。



写真 - 1 マンモスラボ外形写真

表 - 1 建物概要

建物名称	マンモス ラボ
所在地	愛知県長久手町
建築主	(財)2005年日本国際博覧会協会
設計・監理	(株)大林組 名古屋支店 1級建築士事務所
施工建築	大林・鴻池・鉄建・矢作共同企業体
(空調衛生)	大気社・三晃空調・朝日工業社・川崎設備共同企業体
(電気)	トーエネック・日本電設・ダイダシ・住友電設共同企業体
(冷凍設備)	(株)東洋製作所
施工期間	平成16年9月1日～平成17年1月31日
敷地面積	-
建築面積	225.49m ²
延床面積	212.9 m ²
構造	RC+S造
階数	地上1階
主用途	博覧会施設
冷凍熱源	CO ₂ /NH ₃ 熱源ユニット
冷凍方式	ノンドライ方式(無風冷却システム)
温度	-15
湿度	80%
室内圧	-20Pa
ハイオハザード	レベルP2相当
排水処理	オートクレーブ滅菌処理
排気処理	HEPAフィルタ処理
停電対応	専用発電機設置
冷凍機故障対応	本予備2機設置および輸送用冷凍コンテナ常時待機

2. 設備開発コンセプト

本設備は、愛知万博のテーマ「自然の叢智」、サブテーマ「循環型社会」を念頭に、環境およびリユースを大前提に計画、さらに冷凍マンモスを安定した低温・高湿に保持するためにCO₂ / アンモニアシステムの熱源、ノンドライ方式冷却(輻射無風冷却システム)を採用した。

展示室内の温湿度環境は、ロシアでの保管環境と同等(-15, 80%)に維持することが求められ、特に冷却による乾燥防止のための輻射無風冷却システムと無換気を採用し、壁面の霜付による湿度低下対応は蒸留水入りSUSパンを都度室内に置き、湿度維持を行った。(凍結までの20～30分間の加湿)

(環境問題)

冷却装置の内部には、熱媒体である冷媒を充てんしている。この冷媒は近年環境問題で規制の対象になっているものがある。具体的に述べると、R-12に代表されるCFC(クロロフルオロカーボン)はオゾン層破壊から、

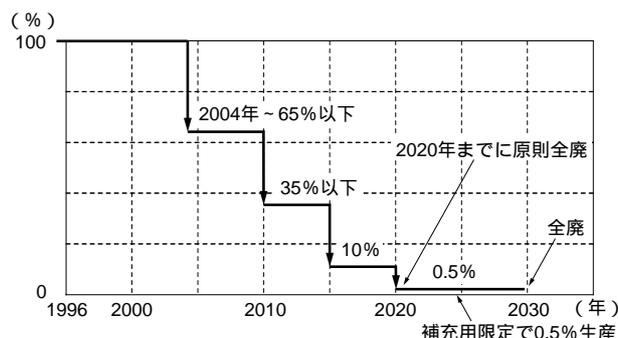


図 - 1 HCFC削減スケジュール

表 - 2 代替フロン系冷媒と自然冷媒の比較

冷媒	HCFC-22	HFC-134a	R-410A	R-407C	R-404A	R-507A
ODP	0.055	0	0	0	0	0
GWP	1,700	1,300	1,980	1,650	3,780	2,210
可燃性	不燃	不燃	不燃	不燃	不燃	不燃
毒性	弱	弱	弱	弱	弱	弱
許容濃度(ppm)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
沸点(°C)	-41	-26	-52	-44	-46	-47
冷媒	NH ₃	CO ₂	プロパン	インブタン	水	空気
ODP	0	0	0	0	0	0
GWP	1>	1	3	3	0	0
可燃性	弱燃	不燃	強燃	強燃	不燃	不燃
毒性	強	弱	弱	弱	弱	弱
許容濃度(ppm)	25	5,000	-	-	-	-
沸点(°C)	-33	-56.6* -1	-42	-12	100	-

O D P : 出展(オゾン層保護法等)
G W P : 出展(IPCC2001 3次レポート, 100年積分値)
許容濃度 : 出展(日本産業衛生学会勧告値等)
* - 1 : 三重点温度

1995年に生産中止となっている。また、現在、最も使用されているHCFC(ハイドクロロフルオロカーボン)も2020年消費量が補充用を除き全廃される。図-1にHCFC削減スケジュールを示す。

ここで、代替フロン系冷媒と自然冷媒の比較を表-2に示す。

この表より、代替フロン冷媒はODP(オゾン層破壊係数)が0(ゼロ)であるが、近年地球温暖化が叫ばれるなか、GWP(地球温暖化係数)が、規制のかかったHCFC-22(R-22)以上の数値となっている。

また、この表から分かるように、自然冷媒で、可燃性が少なく、温度を低くできるのは、アンモニアとCO₂(二酸化炭素)である。

アンモニアは冷媒として優良ではあるが、万が一マンモスを展示している庫内に漏れた場合の庫内研究者の保護、およびマンモスへのダメージ低減を考慮する必要がある。

一方、CO₂は毒性がないが、常温(30 程度)では7 Mpa(70kg/cm²)程度の高圧状態となる。そのため、大規模冷却設備には、単独で冷凍サイクルを作るには不適な圧力特性を持つ。そこで、少量のアンモニアでCO₂を冷

表-3 装置概要

冷凍設備機器リスト			
名称	機器仕様	台数	
CO ₂ / NH ₃ 熱源ユニット	形式	エバコン一体形コンデensingユニット	1
	冷却能力	17.44kW (CT: 35 / ET: -35)	
	圧縮機	往復動式 15.0kW	
	エバコンファン	ファン: 0.75kW×2 + ポンプ: 0.75kW	
	カスケードコンデンサ	プレート式熱交換器	
	冷媒	1次冷媒: NH ₃ 35kg 2次冷媒: CO ₂ 40kg	
	配管	液配管: 15.9 / ガス配管: 25.4	
NH ₃ 除害設備	散水方式		



写真-2 冷却装置外形

却し、冷却したCO₂で(圧力は1.5から2.0Mpa)庫内を冷却するシステムを採用した。

3. 設備概要

マンモスラボの外形写真は、写真-1に示す。

また、表-3に装置概要、写真-2に冷却装置外形、図-2に冷却装置概略図を示す。

3-1 CO₂/アンモニア 二次冷媒循環システム

図-3に、本装置が採用したCO₂/アンモニアシステムの概略フローシートを示す。

本装置は、アンモニア冷凍機、エバコン、アンモニアレシーバ、CO₂/アンモニアカスケードコンデンサ、CO₂レシーバが主な構成機器となる。

このシステムは、アンモニア冷凍機を用い、写真-2の装置内カスケードコンデンサでCO₂を液化凝縮させる。凝縮したCO₂は二次冷媒として、庫内の蒸発器の高さがカスケードコンデンサより下にある場合は、CO₂を自然落下で蒸発器に供給し、両者の落差が取れないときは、ポンプで搬送する。本装置では、カスケードコンデンサと蒸発器と高さでCO₂の落差が取れたため、ポンプなしのシステムを採用した。また、二次側に圧縮機が必要ないため、二次冷媒の冷凍機油の混入がない。冷凍機油の寝込みによる蒸発器での伝熱低下の心配もなく、冷却能力の持続があるものとした。

また、CO₂の潜熱を利用できるため、一般に採用されているブラインと比較すると、COPは約25%も向上す

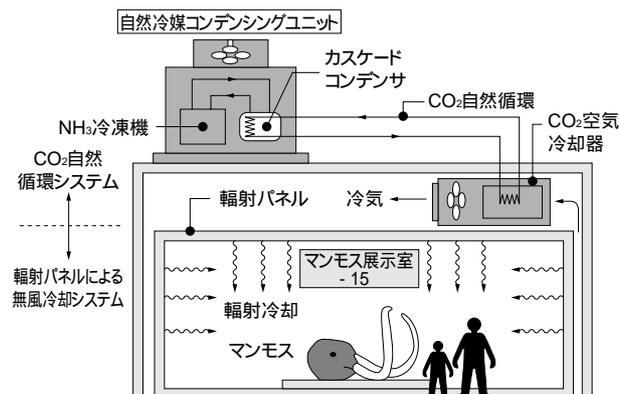


図-2 冷却装置概略図

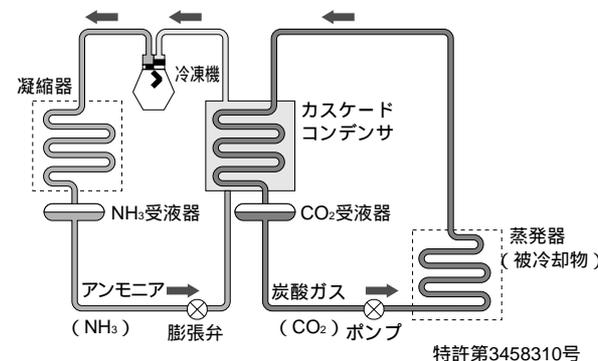


図-3 CO₂/アンモニアシステムフロー

る。(東洋製作所実験データより)

さらに、CO₂の冷凍効果(蒸発器に入る冷媒液のエンタルピー差で、冷媒1kgあたりの冷却熱量)は最良の冷媒特性をもつアンモニアの14倍もあるため、少量の循環量でよい。

CO₂の制御は流量制御用の電磁弁だけで、庫内温度が上昇してきたとき、電磁弁を開弁状態にして、CO₂を蒸発器へ供給し、庫内温度が所定温度まで到達したならば、電磁弁を閉弁状態として、CO₂の供給を停止する。複雑な膨張弁やコントロールバルブの制御は行わないシンプルなシステムにした。

蒸発器でガス化したCO₂は本装置内のカスケードコンデンサが低温化しているため、そこで再凝縮を行い、液化CO₂となって蒸発器へ供給される。

CO₂の圧力上昇防止対策として、CO₂膨張タンクの設置やCO₂圧力保持用圧縮機の組み込みなどの方法が考えられたが、本装置は負荷変動が少ないことから、アンモニア冷凍機によるCO₂上限圧力一定制御運転をすることにした。なお、デフロストは構造をシンプルにするため、電気ヒータ方式を採用した。

このような方式により、省エネルギー・省コストの装置を提案した。

安全対策としては、万が一のアンモニア漏えい時には、写真-2冷却装置の給排気ダンパの強制閉止、密閉したユニット内の散水を行い、散水されてアンモニア水となった溶液はいったん装置内水槽へ貯水され、後日排水処理施設へ搬送する方式構造とした。

さらに震度4.5以上の地震があった場合、いったん自動停止し、装置点検後、安全を確認したうえで装置を再起動することにした。

3-2 ノンドライ方式冷却

(輻射熱利用の無風冷却システム)

環境重視の冷却装置システムは、上記に述べたが、冷凍マンモスの庫内低温・高湿保持のため、庫内の天井ならびに壁を二重構造とした輻射熱利用無風冷却システムとした。

一般の冷蔵保管庫であれば、庫内を冷風強制循環するものであるが、この冷風強制循環方式では高湿保持は困難で、冷凍マンモスに乾燥ダメージを与えてしまう。

そこで、本装置は、天井裏に蒸発器(ユニットクーラー)を設置し、二重になったジャケット部の金属板を冷却し、冷え切った金属板からの輻射熱で、庫内を冷却するノンドライ方式を採用した。この方式であれば、庫内は無風状態となり、展示物の乾燥・冷凍やけ・変色防止が可能となる。ロシアでのマンモス保管庫となっている食料保存用氷穴の環境に近づけたものとなり、ロシア政府からも保管許可をいただけるものとなった。ちなみに、このノンドライ方式は、裸ものの蟹などの水産物に実績

があり、乾燥・変色・冷凍やけの対策で使用される。

さらに、展示物の照明は、照明による冷凍マンモスへのダメージがないものとするため、自然光ランプと光ファイバ照明による照明熱および紫外線をカットしたもので、冷凍マンモスをライティングから保護する対策を講じた。

4. 運転概要

万博開催中は、マンモスラボ内の冷却設備制御盤(写真-4)により、庫内温度はリアルタイムに内部パネルに表示され、監視できるようにした。時刻ごとに並び1



写真-3 天井裏のユニットクーラー



写真-4 冷却設備制御盤

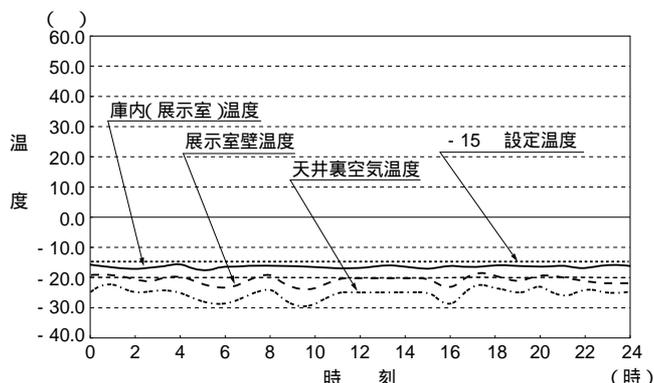


図-4 愛知万博マンモスラボ温度データ



写真 - 5 冷凍マンモス搬送コンテナ(名古屋)



写真 - 6 お台場フジテレビでの展示

日(前24時間)のトレンドグラフで観測できる。

なおこの方式では、パネル印刷機能は搭載しなかったため、弊社が温度記録計で取ったデータを図 - 4 に示す。

図 - 4 より、天井裏空気温度が - 25 前後で波打つ温度曲線が、展示室壁面で - 20 前後の温度となり、壁からの輻射熱で、温度曲線が非常に緩やかな庫内温度(展示室温度)の - 15 に制御されていることが分かる。

庫内は無風のため、ドラフトは感じず、展示室に入室したときは寒さの体感温度も緩い。しかし、長時間いると、体の表面からでなく、芯の方から冷却され、輻射方式であることが実感できる。

5. 愛知万博以後の冷凍マンモス

愛知万博で人気のあった冷凍マンモスは、愛知万博開催1周年のイベントとして、再度日本へ入国し、お台場のフジテレビから始まり、名古屋、豊橋市自然史博物館、お台場日本科学未来館と各地で展示している。

その展示の様子を写真 - 5・6 に示し、ラボの仕様は表 - 4 にまとめた。

表 - 4 移動式マンモスラボ仕様

項目	単位	型式・仕様	備考
ラボ寸法	mm	W4,200×D4,250×H4,000	
展示室寸法	mm	W3,500×D3,550×H2,400	
ラボ冷却温度		- 30	
展示室内温度		- 15 ~ - 17	センサ調整
展示室冷却方式	-	間接輻射無風冷却方式	
展示室内湿度	%	80%±成りゆき	展示室内加湿装置あり

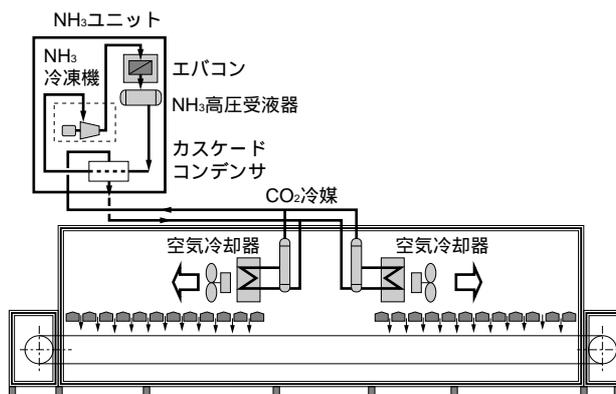


図 - 5 食品フリーザーの事例

表 - 5 食品フリーザー仕様

フリーザー寸法	W2,700 × L14,000 × H2,900
庫内温度	- 35
蒸発温度	- 45
凍結品	菓子
処理量	400kg/H
デフロスト方式	散水デフロスト
冷凍機	75kW(1ユニット)

6. その他 CO₂/アンモニアシステムの事例

ここで、その他の事例として、食品のフリーザーについて示す。

フロー図および仕様は図 - 5、表 - 5のとおりである。

密閉できるCO₂/アンモニアユニット内のカスケードコンデンサで、- 45 でアンモニアが蒸発し、CO₂を冷却する。そのCO₂がフリーザー内の空気冷却に自然循環し、庫内温度を - 35 にし、食品を凍結するものである。

7. おわりに

現状、さらに将来も、自然冷媒に匹敵する地球にやさしい代替フロン冷媒が出現する可能性は少ない。地球規模の温暖化は毎年進行するなか、日本の環境省は「省エネルギー型低温用自然冷媒装置の普及モデル事業」の名目で、経済産業省は「ノンフロン型省エネルギー冷凍空調システム開発」として、自然冷媒普及に対して、補助金制度を実施している。その意味で、本報で自然冷媒の設備紹介を行い、普及していくことに期待する。