

副都心線向け高効率ヒートポンプ採用氷蓄熱システム

栗原 康成* 小山 剛弘*

Ice Thermal Storage Systems with High-efficiency Heat-pumps for Tokyo Subcenter Metro Subway Line

by Yasunari KURIHARA, & Takehiro KOYAMA

Ice thermal storage systems equipped with high-efficiency heat-pumps have been installed in air-conditioning facilities of Tokyo Subcenter Metro Subway line stations. The main features of these systems are: 1) Use of compact, high-efficiency heat-pumps, 2) Use of compact, high IPF (Ice Packing Factor) container type ice storage tanks, and 3) Use of an optimal air-conditioning control system which can match particular subway power consumption and air conditioning load factors. Compared to using conventional such air conditioning systems, the implementation of these ice thermal storage systems are expected to achieve a 40% reduction in annual running cost and a 24% reduction (670 tons) in CO₂ emission.

Keywords: Heat-pump, Ice making mode, Cooling ice melting mode, Chilling mode, Ice thermal storage system, Ice packing factor, Ice storage tank, Power consumption, Load prediction, Peak adjustment

1. はじめに

東京メトロ副都心線が池袋・新宿・渋谷の東京三大副都心を縦断する路線として2008年6月14日に開業した。本路線は現在西武有楽町線、西武池袋線、東武東上線と直通運転されており、2012年には東急東横線とも直通運転が予定されている。

今回開業した副都心線のうち明治神宮前駅、北参道駅、新宿三丁目駅、東新宿駅、西早稲田駅、雑司が谷駅の6駅に駅舎空調用熱源設備として高効率ヒートポンプ採用氷蓄熱システムが導入された。

近年は特に環境負荷低減が必須条件であり、更に経済性の高い本システムが評価され、導入に至った。

2. 地下鉄駅舎空調の特徴

地下鉄駅舎空調（冷房）は一般的なオフィスビル等の空調とは違い、特異な性質を有している。

まず大きく異なる点として、通常のオフィスビル空調に比べて30%程度空調運転時間が長い点である。これは早朝から終電時刻まで空調が必要なためである。その結果夜間の蓄熱運転時間が30%程度短くなるため、短

時間で蓄熱を行わなければならない。

次に異なる点としては、電力使用状況に特異な性質を有している。一般的なオフィス等は日中に電力ピークが発生するが、地下鉄全体（電車・駅舎）の使用電力は朝のラッシュ時に電力ピークが発生する。図1に電力ピークの比較を示す。

地下鉄では、電力消費が集中する日中の電力抑制運転（電力会社と契約し日中の電力を抑制すること）に加え、朝ラッシュ時の電力ピーク低減運転など特殊な制御が必要になる。

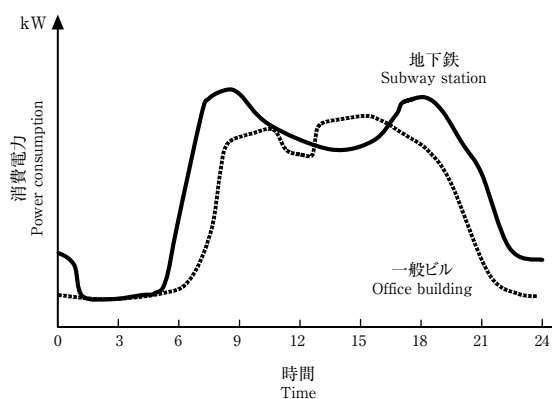


図1 電力ピークの比較

Fig. 1 Comparison in electric power peaks

* 荏原冷熱システム(株)

3. 納入設備概要

今回導入された駅は、渋谷から池袋へかけての幹線道路である明治通りに沿って建設されているためヒートポンプや水蓄熱槽などの機器設置場所、搬入口、搬出口の大きさに厳しい制限がある。これらの制限をクリアするには、小型で高効率な機器が必要であり、当社高効率ヒートポンプとコンテナ型水蓄熱槽はそれらの条件をクリアした。

今回納入した機器の構成は、各駅共通で、高効率ヒートポンプ、コンテナ型水蓄熱槽、制御盤、制御機器類となっている。明治神宮前駅、北参道駅については更にブライン-水熱交換器も納入した。

ヒートポンプの外観を写真1、コンテナ型水蓄熱槽の外観を写真2、制御盤の外観を写真3に示す。

ヒートポンプは、空調運転及び蓄熱運転用として用いられ、COP5.6（成績係数：消費した動力に対して得られる熱量の比、大きいほど高効率である）を発揮する



09-65 01/223

写真1 ヒートポンプ
Photo 1 Heat-pumps



09-65 02/223

写真2 コンテナ型水蓄熱槽
Photo 2 Ice storage tanks



09-65 03/223

写真3 制御盤
Photo 3 Control panel

ことができる水冷式スクリーチャーである。また、このヒートポンプはモジュラータイプであり、幅700 mm、高さ1695 mm、奥行1320 mmの小型機を複数台（最大5台）組み合わせ、万一故障（システム故障以外）が発生しても故障機だけを停止させて正常機で運転を継続することができるようになっている。

モジュラータイプの特長を生かし、低負荷でも効率的な運転が可能であり、更に冷媒ガスは、オゾン破壊係数「0」のHFC-407Cを採用するなど省エネルギーかつ環境負荷への影響を考慮した機器となっている。

水蓄熱槽は、本システムの中で最も大きな設置スペースを必要とする機器である。当社のシリーズの中からIPF（水充填率）が最も高いコンテナ型水蓄熱槽を納入した。このコンテナ型水蓄熱槽は、IPF90%を誇るコンパクトで高効率な水蓄熱槽である。なお、各駅の設置スペースを最大限利用できるようにサイズの異なる4種類のコンテナ型水蓄熱槽を組み合わせ配置している。

制御盤は、ヒートポンプ、ブラインポンプ、冷水ポンプ、制御機器類の運転をすべて制御しており、システムとして効率良く運転できるように設計されている。また盤面上はカラー液晶のタッチパネルを採用しており、現在の運転状況、運転履歴、警報履歴が画面を切り替えることにより確認できるようになっている。特に地下鉄特有の計画停電や地下鉄空調負荷に対応した負荷予測制御など、管理者が管理しやすい制御を提供している。

各駅に納入した機器の仕様一覧を表（納入仕様一覧）に示す。

4. 運転制御概要

水蓄熱システムの運転制御概要を示す。水蓄熱システムの運転には大きく分けて蓄熱運転、放熱運転、追掛運

表 納入仕様一覧
Table Delivery specifications

駅名 Station name	品名 Name of equipment	数量 Quantity	仕様 Specifications	
明治神宮前 Meiji-jingumae	ヒートポンプ Heat-pump	1基	製氷能力 Ice making capacity	861 kW
			追掛能力 Chilling capacity	1206 kW
			圧縮機 Compressor	90 kW × 5台
	水蓄熱槽 Ice storage tank	6基	合計蓄熱能力 Total thermal storage capacity	20130 MJ
	プレート式熱交換器 Plate type heat exchanger	1基	交換熱量 Exchange calorie	1225 kW
	水蓄熱制御盤 Control panel	1面		
北参道 Kita-sando	ヒートポンプ Heat-pump	1基	製氷能力 Ice making capacity	828 kW
			追掛能力 Chilling capacity	1161 kW
			圧縮機 Compressor	90 kW × 5台
	水蓄熱槽 Ice storage tank	12基	合計蓄熱能力 Total thermal storage capacity	19370 MJ
	熱交換器 Heat exchanger	1基	交換熱量 Exchange calorie	1179 kW
	水蓄熱制御盤 Control panel	1面		
新宿三丁目 Shinjuku-sanchome	ヒートポンプ Heat-pump	2基	製氷能力 Ice making capacity	532 kW
			追掛能力 Chilling capacity	935 kW
			圧縮機 Compressor	90 kW × 4台
	水蓄熱槽 Ice storage tank	11基	合計蓄熱能力 Total thermal storage capacity	24880 MJ
	水蓄熱制御盤 Control panel	1面		
東新宿 Higashi-shinjuku	ヒートポンプ Heat-pump	1基	製氷能力 Ice making capacity	708 kW
			追掛能力 Chilling capacity	1419 kW
			圧縮機 Compressor	90 kW × 5台
	水蓄熱槽 Ice storage tank	7基	合計蓄熱能力 Total thermal storage capacity	16544 MJ
水蓄熱制御盤 Control panel	1面			
西早稲田 Nishi-waseda	ヒートポンプ Heat-pump	1基	製氷能力 Ice making capacity	866 kW
			追掛能力 Chilling capacity	1212 kW
			圧縮機 Compressor	90 kW × 5台
	水蓄熱槽 Ice storage tank	8基	合計蓄熱能力 Total thermal storage capacity	20240 MJ
水蓄熱制御盤 Control panel	1面			
雑司が谷 Zoshigaya	ヒートポンプ Heat-pump	1基	製氷能力 Ice making capacity	719 kW
			追掛能力 Chilling capacity	1008 kW
			圧縮機 Compressor	90 kW × 4台
	水蓄熱槽 Ice storage tank	7基	合計蓄熱能力 Total thermal storage capacity	16820 MJ
水蓄熱制御盤 Control panel	1面			

転の三つの方式がある。

(1) 蓄熱運転

図2に蓄熱運転フローを示す。夜間に深夜電力を用いてヒートポンプを運転して不凍液（ブライン）を -5°C まで冷却し水蓄熱槽へ送る。水蓄熱槽内にはポリプロピレン製チューブが水没しており、チューブ内を -5°C のブラインが流れ、チューブ外側の水を製氷し蓄熱している。蓄熱運転時の主な制御として、蓄熱が完了したことを感知する蓄熱完了制御、ブライン-水熱交換器が凍結して破裂することを防止する凍結防止制御、氷が多く余ったときに水蓄熱槽の破損を防ぐ過冷却防止制御などが組み込まれている。更に地下鉄は、定期的に計画停電により点検作業を行う。そのため、本システムでは初期設定を行うことにより都度の盤面操作なしにシステム故障を回避し、また計画停電作業後には冷凍機の状態を確認しながら蓄熱運転を自動復帰できるように工夫されている。

(2) 放熱運転

図3に放熱運転フローを示す。放熱運転は、蓄熱運転で製氷した水の熱を使用し冷水を供給する運転である。ブライン-水熱交換器で温められた不凍液（ブライン）

を水蓄熱槽へ送り冷却し、熱交換器に 5°C で戻す。熱交換器部分では冷水出口温度を 7°C 一定に制御し負荷側へ供給している。

放熱運転を行う時間帯は駅電力ピークである朝のラッシュ時間帯と電力会社ピーク調整契約である日中の時間帯となっている。この時間帯ヒートポンプは停止しており、運転しているのはポンプだけである。そのため放熱運転中は駅舎冷房用熱源システムとしてほとんど動力を使用しない時間帯である。

放熱運転時の主な制御として、2次側冷水供給温度制御、放熱が完了したことを感知する放熱完了制御、最適な運転を行う負荷予測制御などが組み込まれている。負荷予測制御は、朝のラッシュ時間帯及び日中の時間帯に放熱運転を行い、更にできる限り蓄熱槽に貯めた熱量を使い切るように当日の負荷熱量を予測し放熱運転を行う時間を調整する制御である。

(3) 追掛運転

図4に追掛運転フローを示す。放熱運転と異なり、ヒートポンプを運転し空調を行う運転である。追掛運転は、放熱完了時や負荷予測制御により蓄熱量を維持する場合に行う運転である。その他、2次側冷水供給温度制御や

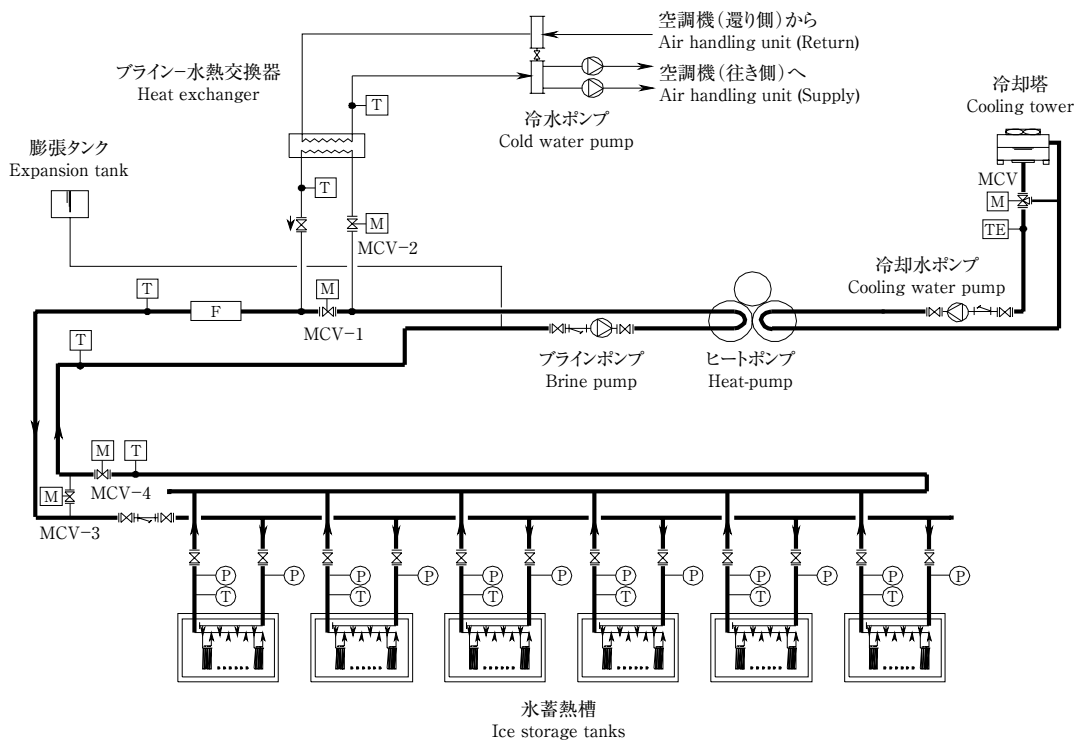


図2 蓄熱運転フロー図

Fig. 2 Ice making mode flow chart

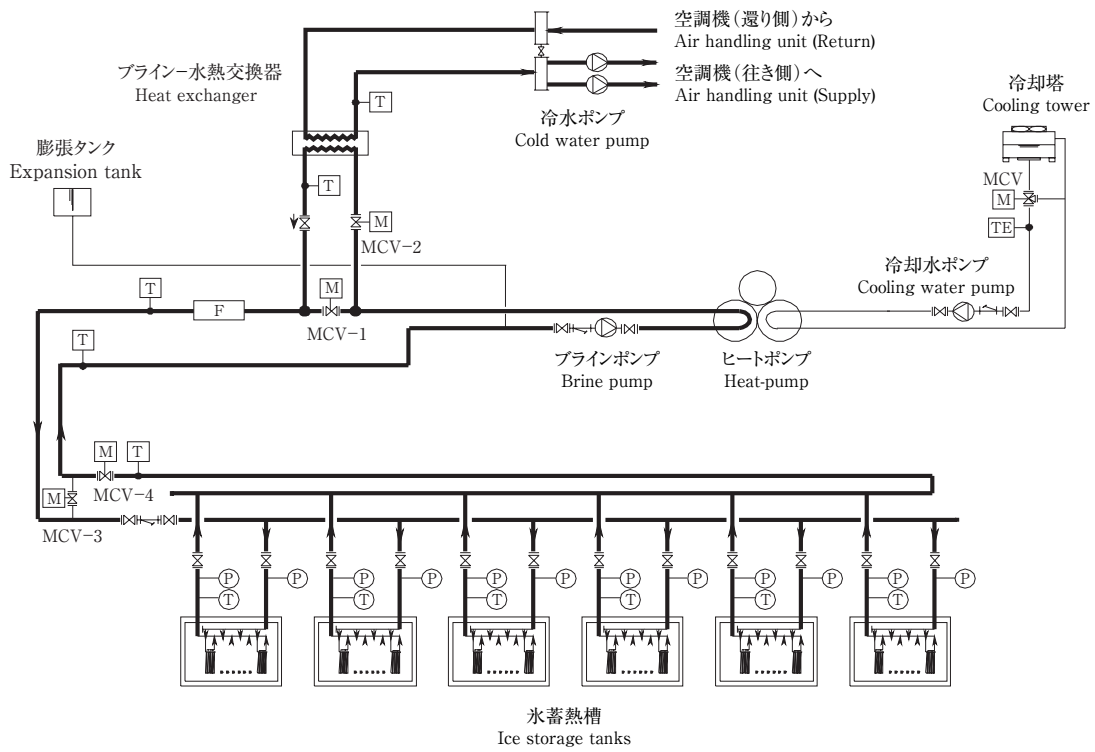


図3 放熱運転フロー図
Fig. 3 Cooling ice melting mode flow chart

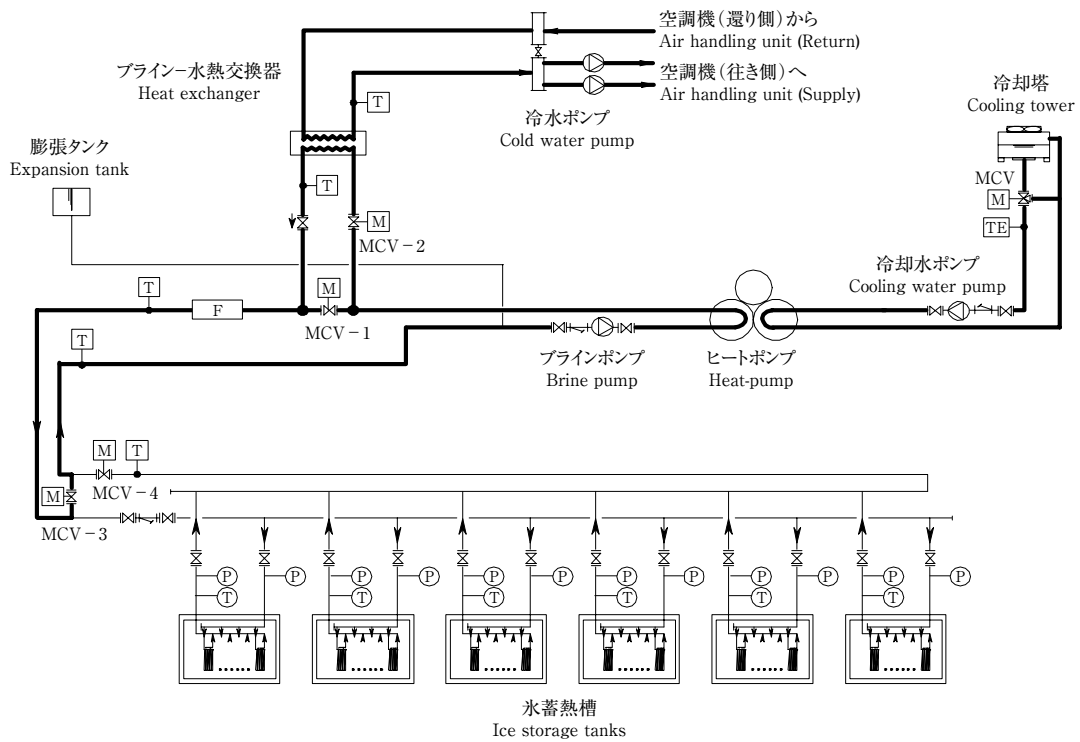


図4 追掛運転フロー図
Fig. 4 Chilling mode flow chart

外気温度による熱源システム抑制制御などが組み込まれている。

5. 結果

今回導入した6駅に対して夏季運用状況の確認を行った。各駅とも計画どおり、朝7時までに蓄熱運転が完了し、朝のラッシュ時間帯、電力会社ピーク調整契約である日中の時間帯をそれぞれ放熱運転で対応し、蓄熱運転で貯めた熱量を当日使い切る運転を行っていることが確認できた。参考として雑司が谷駅の夏季運転データを図5（雑司が谷駅運転データ）に示す。

6. おわり

今回新規開業した副都心線6駅に高効率ヒートポンプを用いた氷蓄熱システムを導入し、予定どおりの性能を確認することができた。これら各現場ではスペース制限が厳しく、環境負荷低減、経済性の高い空調システムが採用条件であり、当社機器並びにシステムはそれら条件を満たすものとして評価、採用された。

本システムでは大きく四つの特長があり省エネルギー、運用コスト削減を図っている。

- (1) 高効率ヒートポンプ採用による消費電力低減
- (2) 深夜電力の有効活用
- (3) 電力会社とのピーク調整契約
- (4) 朝ラッシュ時の地下鉄全体（電車・駅舎）の電力ピーク低減

以上の特長から、従来方式の空調システムと比較して年間約40%の大幅なランニングコスト削減と24%（670トン）もの二酸化炭素削減が見込まれている。

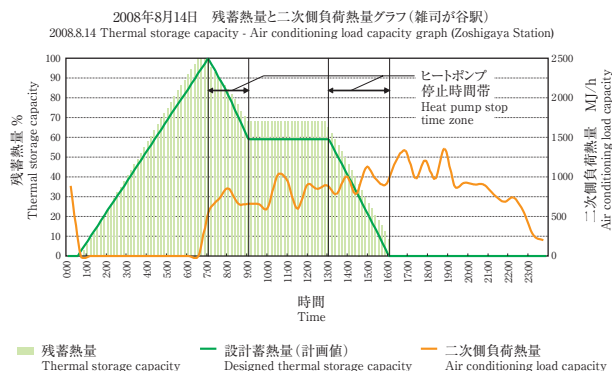


図5 雑司が谷駅運転データ
Fig. 5 Zoshigaya Station data

当社ではこれまで大阪地区、神戸地区、東京地区において合計17物件に氷蓄熱システムを用いた地下鉄駅舎空調を施工してきた。今回新たに6駅に導入されたことにより合計23物件に当社の氷蓄熱システムが導入されたことになった。

今回導入された6駅とも計画どおりの運転を行うことができたのは、駅舎冷房の特性を良く理解していることに加え、高効率ヒートポンプを採用しその特長を十分発揮できるようにシステム構築を行ったためであると考えられる。

現在世界的に環境負荷低減が叫ばれているなか、今後も高効率ヒートポンプを用いた空調システムの導入が進むものと思われる。当社としても、これら機器並びにシステムの導入により社会貢献を果たすべく、より一層の努力を行う所存である。

終わりに本設備導入に関して御協力頂いた関係各位に謝意を表す。