

地域冷房用氷水搬送システムの開発（その3）

——最適システムの検討と経済性——

小野島 一 武 元 和 治
宮 川 保 之

Development of Ice/Water Transportation System for District Cooling (Part 3)

——Suitable System and Economic Evaluation——

Hajime Onojima Kazuharu Takemoto
Yasuyuki Miyagawa

Abstract

In this research, an economic evaluation of performed on the best suited system for district cooling using Ice/Water Mixture Transportation. As a cost study, the cooling plant for a district consisting of a hotel and office buildings was hypothesized. A heat source using turbo refrigerators with water thermal storage and one using Ice/Water Mixture Transportation were compared from the point of cost effectiveness.

As a result, it was found that the systems were more profitable than the normal water thermal storage systems because the cost of district piping is quite large and reduced by use of the latent heat of ice. Especially, when the volume of the thermal storage tank is limited, the system using water storage cannot maintain enough peak shift as compared with an ice storage system.

As the piping system for the Ice/Water Mixture Transportation, the Ice Delivery System, which has smaller district piping, was more suitable than the Loop Piping System, because the diameter of piping is determined by the average load.

概 要

本報告では氷水搬送システムを用いた地域冷房システムを想定した場合の、最適システムについて検討し、その経済性の面から見た評価を行った。ホテル、事務所ビルから構成される地域熱供給プラントを想定し、一般的に用いられるターボ冷凍機と水蓄熱槽からなるシステムと、ハーベスト式製氷機と氷水搬送システムを用いたシステムを比較した。その結果、地域冷房システムでは地域配管が占めるコストが非常に大きく、氷蓄熱・氷水搬送を用いたシステムのコストアップは、一般の水蓄熱のシステムより小さいことがわかった。水蓄熱の場合、蓄熱槽の大きさに限界があるため、ランニングコストの面から見ても氷蓄熱を利用した氷水搬送システムが有利になる。氷水搬送システムの配管方式による比較では、アイスデリバリー方式は平均負荷で配管径が決まるため、地域導管をより小さくすることができ、イニシャルコストを下げるので、ループ配管方式に比べ経済的なシステムであることがわかった。

1. はじめに

近年、ビルのインテリジェント化によって、建物の冷房負荷が増大している。そのため建物の空調用冷熱エネルギーの需要が増大し、夏期の電力供給状況におけるピークは、大きな問題になっている。これに対応して、当社ではハーベスト式氷蓄熱システムを開発し、電力需要のピークシフトに対応している¹⁾。一方、ウォーターフロント計画や地域再開発計画などでは、1箇所のエネルギープラントから、建物群へ熱エネルギーを供給する地域熱供給システムが実施されることが多い。このような、大型のシステムにおいては、冷水の顕熱による冷熱搬送（温度差7～10°C）では熱輸送施設に多大なコストがかか

る。これに対応して、当社ではハーベスト式製氷機から得られた氷の潜熱を用いて、効率的に冷熱を輸送する氷水搬送システムを開発した²⁾。本報では、このハーベスト式氷蓄熱システムと氷水搬送システムを地域冷房システムに適応する場合の、その最適システムと経済的効果について、コストスタディーによって検討した。

2. 地域冷房施設における最適システム

2.1 システムバリエーション

氷蓄熱・氷水搬送システムにおいては、製氷、蓄氷（蓄熱）、氷取り出し・混入、配管方式、流量制御方式、冷熱取り出し、二次側冷水、空調方式というように各部分に分割して考えることができる。図-1にその部分での組

合せのバリエーションを示す。ここで、各々の部分での適切な方式を検討し、それらを組合せることによって最適なシステムを構築可能であると考えられる。まず、製氷部には、搬送可能なダイナミックアイスを生産できるハーベスト式製氷機が必要である。蓄氷方法には、冷却装置を要する空気中蓄氷は地域冷房のような大型のシステムには適切でないと思われる。氷取り出し、混入方法についてはスクリュウコンベアを用いた方式³⁾が、実績が多く、信頼性も高い。

これ以降のシステムは、配管方式の違いによって決定される。そこで、配管方式については、詳しくその長所・短所について検討する必要がある。

2.2 最適システム

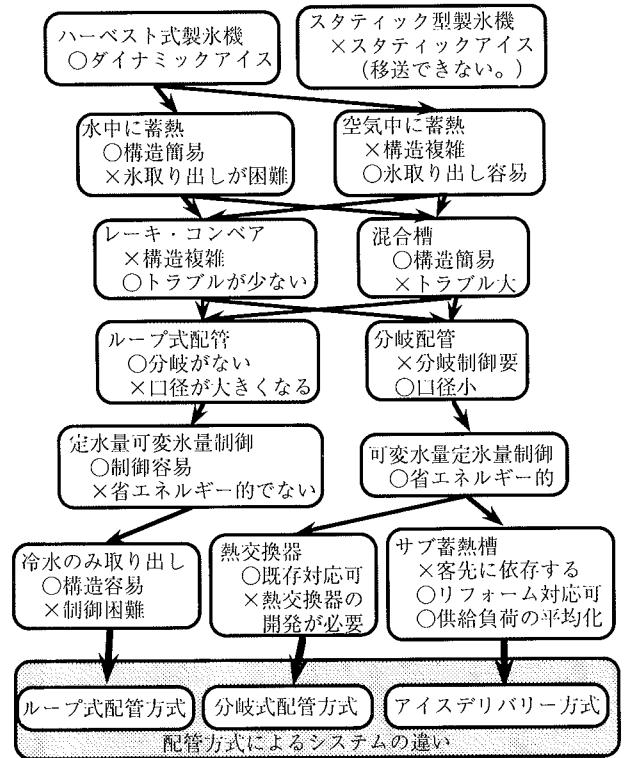
氷水搬送システムにおける配管方式は、ループ式配管方式、分岐配管方式及び、アイスデリバリー方式が考えられる。表一に配管方式によるシステムの特徴を示す。

ループ式配管は、配管系に分岐がなく、水のみを取り出して用いるため、制御が容易であると考えられる。水分離器⁴⁾についても構造が簡便であり、大きなコストアップにはつながらないと思われる。しかし、すべて同じ径の配管を用いる必要があり、配管径は小さくならない。また、氷水ポンプは常時運転しておく必要があり、搬送動力の低減が期待できない。この方式は地域冷暖房システムのような大型のシステムには不向きであると考えられる。

分岐配管方式は一般の冷水による地域配管に用いられているものと同じ配管方式なので、リフォームによる能力増強などに向いている。しかし、時々刻々変化していく負荷に対して適切な制御を行うために、水量の正確な計測及び分岐量制御や変流量制御への対応が必要となる。氷水の分岐特性⁵⁾や氷水を利用できる熱交換器の開発⁶⁾については、既報で実験的に検討したが、今後、地域冷暖房システムへの適用にあたって、これらに関する技術開発が必要であると考えられる。

アイスデリバリー方式とはプラント側に蓄熱槽を持たず、各需要家側に各々蓄熱槽を設け、そこに氷水搬送によって氷を供給する方式である。この方式では各熱需要家がそれぞれ蓄熱運転を行うので、プラント側から供給する熱量はピーク負荷ではなく、日負荷を平均化できる。そのため、氷水の制御は ON-OFF でよいように、より一層の配管サイズの縮小が期待できる。この方式は分岐配管方式に比べ、制御が容易で、地域冷暖房システムにも最適であると考えられる。ただし、需要家側に蓄熱槽を要し、水をプラントに返す還水ポンプも必要になるので、設置スペースや財産分岐点などに検討が必要である。

このような点から見て、地域冷暖房システムにおける配管方式はアイスデリバリー方式が最適であると考えられる。そこで、これらの配管方式の経済性の面から見た評価と、一般的なシステムとの比較について、コストスタディーによって検討する。



図一 システムバリエーション

表一 配管方式によるシステムの特徴

配管方式	ループ式配管	分岐式配管	アイスデリバリー方式
構造	各負荷を経由する環状の熱供給管を利用。需要家は氷水分離器 ⁴⁾ によって水のみを取り出して利用する。	一般の冷水配管と同様な配管方式。需要家には氷水用の熱交換器を要する。	配管方式は、一般の冷水配管と同じ。需要家側に蓄熱槽を持たせ、そこに氷水を供給する。
配管分岐制御	分岐がなく、システムが簡潔。末端の熱需要家で不足しないように、制御する必要有り。	分岐制御を要する。各需要家へ適切な熱量を分配する必要有り。	分岐制御を要するが、各需要家へは ON-OFF 制御でよい。
冷熱取り出し	冷水のみを取り出す氷水分離器が必要。	氷水用熱交換器が必要。	需要家の蓄熱槽へ投入するのみ。既存蓄熱槽へも対応できる。
流量制御	常時、最低限のポンプを運転する。	台数制御による変流量方式が可能。	台数制御による変流量方式が可能。
配管サイズ	ピーク負荷で決定。すべて同じ口径の配管になる。	ピーク負荷で決定。流量に従って口径を小さくしていく。	平均負荷で決定。流量に従って口径を小さくしていく。

3. コストスタディー

今回は、地域冷房プラントを想定し、そのイニシャルコストとランニングコストを比較することにより、氷蓄熱・氷水搬送システムの最適システムを検討した。

3.1 想定プラント

一般に、地域冷暖房プラントにおいては、その規模や特性によって、標準的なシステムは存在しない。そのため、コストスタディーにおいて実際にかかるであろうコストを試算するには、実際のシステムを想定して、地域特性や負荷特性を織り込む必要がある。しかし、今回のスタディーでは、氷蓄熱・氷水搬送システムの経済的な

特性を大まかに把握することを目的としているので、地域特性などが大きく影響する部分については想定しないものとした。

まず、水の持つ特性を把握するために、暖房は考慮しないものとし、5～10月の夏期のみとした。また、熱負荷建物内における空調システムのコストは含まない。

地域配管についても、直埋方式、専用溝や共同溝にするかによって大きくコストが異なってくる。施工方法についても、推進工法や開削、シールドなど、コストに影響する要素は数多い。そこで、今回は地域配管そのもののコスト比較とし、共同溝などのコストは含まないものとした。

蓄熱槽についても地下ピット式の蓄熱槽が構築できるものとし、今回はピット内の防水処理工事のみ算入した。

3.2 計算条件

表一2に想定した熱需要建物群を示す。負荷延べ面積は約436,000 m²で、かなり大規模なシステムだといえる。

熱源システムとしては、一般的なシステムとして、水蓄熱槽+ターボ冷凍機を想定した。水蓄熱としては、蓄熱無し及び、蓄熱槽8,000 m³の2ケースとした。水蓄熱・水搬送システムの場合は、必要量すべての蓄熱容量が確保できるとして、ループ式配管方式、分岐配管方式、アイスデリバリー方式を用いた場合を想定した。

表一3に熱源機器構成を示す。水蓄熱で必要蓄熱量を確保した場合、必要蓄熱量は計算上26,000 m³となる。しかし、これだけの規模の水蓄熱槽はプラント面積や設置場所を考えると実現は不可能である。そこで、CASE DC-2の8,000 m³程度であれば、構築できる可能性がある。

しかし、負荷の夜間移行率としてはかなり小さくなり、熱源容量は蓄熱槽無しで直接運転した場合 (CASE DC-1) とほぼ同じ10,000 USRTになる。しかし、水蓄熱を用いれば、CASE DC-3, 4, 5で示すように、5,000～6,000 m³程度で十分な蓄熱量が得られる。この点から見ても、水蓄熱の優位性がわかる。

ランニングコストは、各月の月間負荷より、各機器の延べ運転時間を計算して、電力単価より求めた。電力単価は1990年現在の産業用特高30 kVとして求めた。ここで、基本料金については熱源プラントの電力量のみと考え、プラント内の照明などは含まないものとした。また、水蓄熱を利用した場合は、夏期、ピークに機器を停止させる定時調整契約が利用できるものとした。

3.3 計算結果及び考察

図一2に各ケースのイニシャルコストをCASE DC-1 (ターボ冷凍機+蓄熱無し) を1として、相対値で示す。

DC-1, 2の水蓄熱+ターボ冷凍機の場合は、熱源機器等に比べ、地域配管のコストが全体の約3割となり、大きなコストを占めていることがわかる。ここでは共同溝の構築費を算入していないので、実際にはもっと多大なコストが地域配管敷設にかかることになる。

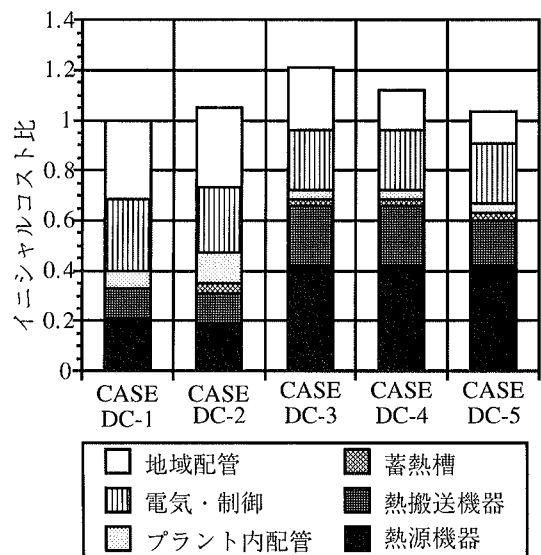
水搬送システムを用いたCASE DC-3, 4, 5では熱源機器や熱搬送機器のコストが割高になるが、蓄熱槽の

表一2 想定熱需要建物群

施設名	用途	延べ床面積 m ²	備考
国際ホテル	ホテル	120,000	800室程度
事務所ビル1	事務所	106,000	
インテリジェントビル1	事務所	117,000	
事務所ビル2	事務所	67,000	
インテリジェントビル2	事務所	26,000	
合計		436,000	

表一3 熱源機器構成

計算ケース	仕様
CASE DC-1	ターボ冷凍機1,000 RT×11台, 冷却塔 プレート式熱交換器×10台, 1次・2次ポンプ 蓄熱槽無し 地域配管主管 900 φ
CASE DC-2	ターボ冷凍機1,000 RT×10台, 冷却塔 プレート式熱交換器×10台, 1次・2次ポンプ くみ上げポンプ 地下ピット式蓄熱槽 8,000 m ³ 地域配管主管 900 φ
CASE DC-3	ハーベスト式製氷機1,000 RT×10台 水搬送スクリーコンベア×10台 水搬送渦巻式スクリーポンプ 地下ピット式蓄熱槽 5,400 m ³ 地域配管主管 500 φ ループ式配管
CASE DC-4	ハーベスト式製氷機1,000 RT×10台 水搬送スクリーコンベア×10台 水搬送渦巻式スクリーポンプ 地下ピット式蓄熱槽 5,400 m ³ 地域配管主管 500 φ 分岐方式配管
CASE DC-5	ハーベスト式製氷機1,000 RT×10台 水搬送スクリーコンベア×10台 水搬送渦巻式スクリーポンプ 地下ピット式蓄熱槽 2,200 m ³ , 1,330 m ³ , 1,500 m ³ , 840 m ³ , 330 m ³ , 合計6,200 m ³ 選水ポンプ 地域配管主管 400 φ アイスデリバリー方式配管



図一2 イニシャルコスト

大きさが小さくてすみ、地域配管のサイズが小さいので、一般のシステムに比べ配管コストが低減できる。ターボ冷凍機+蓄熱無しシステム (CASE DC-1) に比べ、ループ配管方式を用いた DC-3 では約21%、分岐配管方式を用いた DC-4 では約12%、アイスデリバリー方式を用いた DC-5 では約3.5%のコストアップとなった。アイス

デリバリー方式の場合、地域配管のサイズがピーク負荷でなく平均負荷で決定され、他の配管方式の CASE DC-4, 5 に比べ地域配管敷設にかかる費用が小さくなるためだと考えられる。

図-3 に各ケースのランニングコストを CASE DC-1 を1として、相対値で示す。

蓄熱を行わない CASE DC-1 に比べ、水蓄熱を行う CASE DC-2 では4%のランニングコストの削減ができる。これに対して、水蓄熱・氷水搬送方式を用いた CASE DC-3, 4, 5 では約40%のランニングコストの軽減が可能である。これより、水蓄熱・氷水搬送方式が地域冷房システムにおいても、ランニングコストの面から見て、かなり有効な手法であることがわかる。

図-4 に各ケースにおける単純償却年数の比較を示す。ここでは CASE DC-1 を比較対象とし、金利等は考慮していない。水蓄熱を用いた CASE DC-2 においては約23年の償却年数を要し、経済的だとはいえない。しかし、水蓄熱+氷水搬送を用いた CASE DC-3, 4, 5 ではそれぞれ約12年, 7.8年, 4年で償却でき、水蓄熱の場合より、はるかに経済的であることがわかる。

氷水搬送方式における配管方式を比較すると、CASE DC-3 (ループ配管方式) や CASE DC-4 (分岐配管方式) に比べ、CASE DC-5 (アイスデリバリー方式) の償却年数が4年と短く、もっとも経済的であり、地域冷暖房システムに適していることがわかった。

4. おわりに

今回、水蓄熱・氷水搬送を用いた地域冷房システムに関して、システムの組合せを検討し、コストスタディーによってその最適システムと経済性を検討した。その結果、水蓄熱・氷水搬送を用いた地域冷房システムが、水蓄熱を用いたものに比べ、十分経済的であることがわかった。特にアイスデリバリー方式は、氷水搬送の特徴である地域配管のサイズを小さくできる点を、より発揮することができ、経済的に優れたシステムであると考えられる。地域配管構築に伴う共同溝の構築費を考慮すれば、水蓄熱+氷水搬送方式はより有利になると思われる。

今回のコストスタディーでは、実際のシステムでは考慮すべき点を、すべて網羅して行ったわけではない。今後、今回考慮しなかった、暖房用温熱の供給、電力・ガスの混合システム等を含めた、精密な検討を行うことも必要である。アイスデリバリー方式についても熱需要家との財産分岐点などの問題があり、今後、実現に向けて努力していく所存である。

謝 辞

本報告は、東京電力株式会社技術研究所からの委託研究「氷の水搬送技術の研究」の一部を取りまとめたものであり、ご協力いただいた関係各位に、ここに記して謝意を表します。

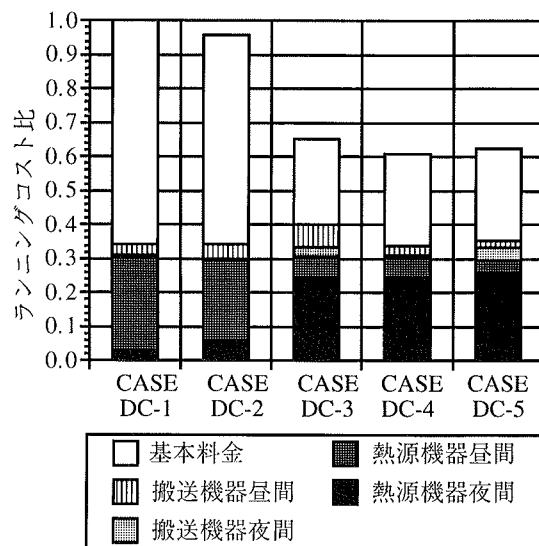


図-3 ランニングコスト

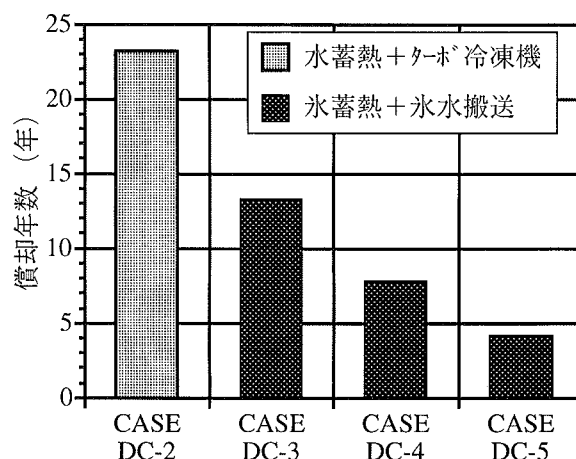


図-4 単純償却年数の比較

参考文献

- 1) 福島, 他: ハーベスト式水蓄熱空調方式に関する研究(その2~4), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, p. 973~984, (1988)
- 2) 武元, 他: 地域冷房用氷水搬送システムの開発(その1 圧力損失特性の把握と要素技術の開発), 大林組技術研究所報, No. 46, p. 93~100, (1993. 2)
- 3) 武元, 他: 氷の水力搬送に関する研究(その9 氷の流動化および移動方法の開発), 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 1637~1638, (1992. 8)
- 4) 福島, 他: 氷を利用した地域冷房システム, アーバンインフラテクノロジー推進会議技術研究発表会論文梗概集, p. 205~210, (1989. 9)
- 5) 小野島, 他: 氷の水力搬送に関する研究(その4 氷水の分岐特性), 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 1325~1326, (1990. 10)
- 6) 五町, 他: 地域冷暖房における氷水熱交換システム, (その1~2), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, p. 185~192, (1992. 10)