

連続地下ピットを利用したローコスト大容量氷蓄熱システムの開発

武元和治 佐藤英和
酒井寛二

Development of a Low-cost Large Capacity Ice Storage System Using Multiple Linked Underground Pits

Kazuharu Takemoto Hidekazu Sato
Kanji Sakai

Abstract

The purpose of this study is to find out the realistic and economical methods of ice storage and ice melting through experimentation. By making good use of underground pits as ice storage tanks is expected that a large capacity and low-cost ice storage system can be realized. It is possible to make electrical power load flat. The experiments were advanced, in order to find out the useful dividing method of an ice/water pipe line design for ice storage, and to omit the unnecessary accessory equipment for ice melting. Experimental results confirmed the possibility of equally dividing ice and using a water by Y-branch pipe, and clarified the melting conditions to sufficiently match the cooling load on the connecting pipe system which is conventionally used in water storage. Further, a system lower in cost than the usual unit type system with a FRP tank was proposed following a case study.

概要

本研究では、電力負荷平準化方策の一つとして、氷蓄熱システムの大容量化とローコスト化を実現させるために、建物の地下ピットを蓄氷槽として有効に利用することを考え、そのための蓄氷と解氷について現実的かつ経済的な手法を実験により探ることを目的としている。蓄氷については氷水搬送が利用できる管路計画に役立つ分岐手法を見つけ出すこととし、解氷については余分な付帯設備をなるべく省く方向で実験を進めていくこととした。

実験の結果、分配についてはY字分岐管により氷水が等分配できることが確認でき、また解氷については水方式と同様の連通管方式にて十分空調負荷に対応できる解氷条件を把握することができた。さらに、ケーススタディを行い、従来型のFRP水槽ユニット型よりコスト的に安価なシステムを提案することができた。

1. はじめに

これまで電力負荷平準化方策の一つとして、氷蓄熱システムの大容量化とローコスト化を実現させるための現実的かつ経済的な手法を検討する必要があった。しかしながら、氷蓄熱システムでは製氷機と蓄氷槽を分離することが難しく、設置のためには機械室面積を広く取ることが要求され、また一般的に蓄氷槽に使用されているFRP製氷槽も規模に応じてコスト的にかなりのウェートを占めることとなり、氷蓄熱の大容量化は困難とされていた。

これまで筆者らは、氷を水と混合してポンプ圧送する氷水搬送システムの研究開発を進め、実用性のある技術であることを確認してきた¹⁾。この氷水搬送システムを利用することにより、製氷部の氷を配管輸送して連続する複数の地下ピットに蓄え、蓄氷槽の大容量化に対応できるものと考えた。また、連続型蓄氷槽から冷熱を取り出すのに、従来の水方式と同様の方式で空調負荷に対応

できないものか把握する必要があった。

そのため今回の開発では、蓄氷時に搬送される氷水の分配特性と連続型蓄氷槽における解氷特性を実験により把握し、その結果に基づきローコスト化を実現させる手法を見つけ出していくことを主目的とした。

分配については、複数槽への氷水の分配が氷投入部のバルブ開度を調整することにより容易に行うことが可能であるのか、また分岐管により等分配が確実にできるのか、これらを実験により把握し、得られた結果に基づき、経済的な管路網を構築するのに有効な手法を見つけ出していくこととした。

また、解氷については、入力される負荷に対し取り出される冷水の限界温度を7°Cとした条件にて、解氷用の付帯設備をなるべく省く方向で開発を進めた。実験時の負荷入力、連続する水槽にて連通管ともぐり堰の両方式について行い、槽内の温度特性および解氷性能等を把握し、効率よく氷を解かし安定した冷熱が得られる条件を見つけ出していくこととした。

最後に、今回把握できた一連の実験結果から、実現可能なモデルを想定しケーススタディによりローコストシステムの提案を行うこととした。

2. 分配実験

2.1 実験概要

図-1に実験装置を示す。屋上に設置してある製氷機よりハーベスト水（プレート状の製氷板に水を流して生成する板状の水）を取り出して計量し、クラッシャーにて粉碎した後、スクリーコンベアを介して搬送用配管内に混入する。氷は水と一緒に配管にて搬送され、地上にある蓄水槽 No. 1~3 に供給され、水だけをポンプにて屋上の調整槽まで戻す。このとき高低差は約 25 m（5 階建）である。蓄水槽まで到達した氷の重量は、吐出口直下にてザルで受けて計量した。

2.2 分配特性の把握

まず 2 つの槽において、考えられる 3 通りの組合せ（槽 No. 1 と No. 2, No. 2 と No. 3, No. 1 と No. 3）で均等分配実験を行った。

図-2に結果を示す。これによると流量比と水量比には相関関係が見られ、水量比が 1 となる流量比が存在することが確認できる。ただし、この関係は普遍的ではなく、たて配管を基準とした水槽の位置関係による影響を大きく受けているものと考えられる。また、3 つの槽に行った実験では、均等分配調整がかなり困難となることが分かった。

結論として、2 つの槽の場合、主管より順次分岐する方式で水の等分配は可能であるが、現地でのバルブ調整

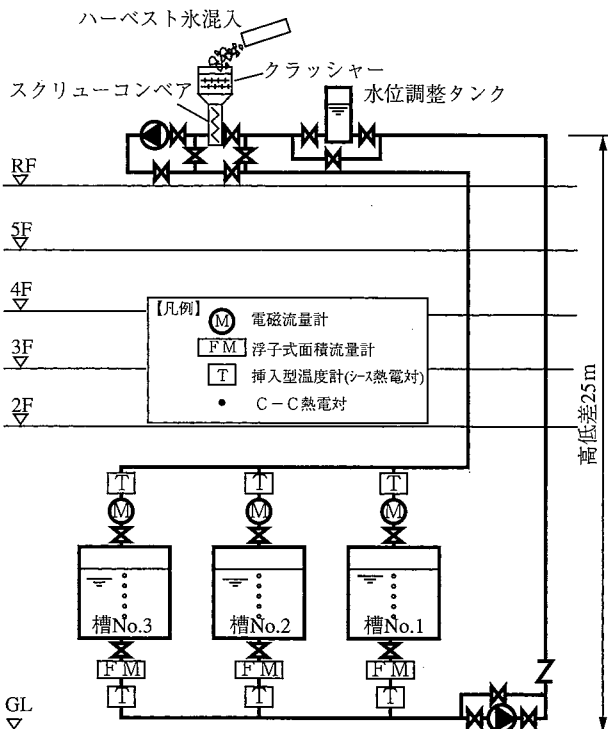


図-1 分配実験装置

が不可欠となり、余り実用的ではないと言える。

2.3 等分配手法の検討

氷水の等分配が確実にできる分岐形状を把握することとした。そこで、図-3に示す分岐管を用いて実験により分配性能を確認した。分岐管は Y 字, T 字, 隔壁を設けた T 字 (以下, 隔壁 T 字と称す), 分岐角の異なる Y 字 (以下, 異 Y 字と称す) の 4 種類とした。なお, 分岐管は水平面上に設置し, 分岐管上流部に鳥居状の配管を施し配管内での氷の偏りを低減させることとした。

図-4に実験結果を示す。Y字の場合, 流量比が0.9程度 の時, 水量比は1.0となり等分配されることが確認できた。T字では流れが不安定となるためか分配性能は若干低下し1.1~1.2となった。隔壁 T 字では閉塞の可能性が高くなるためか, 水量比は1.4以上となりさらに性能は低下した。最後に異 Y 字では, 水量比は分岐角に応じて定まると予想されたが, 結果として1.1程度でありほぼ等分配された。一般的に粉粒体の空気輸送に関しては, 分岐角によって粒子の分配割合が決まると言われている²⁾。しかしながら, 氷水では分岐角による影響は見られなかった。また, 分岐管を連続して設置しても等分配できることも確認できた。

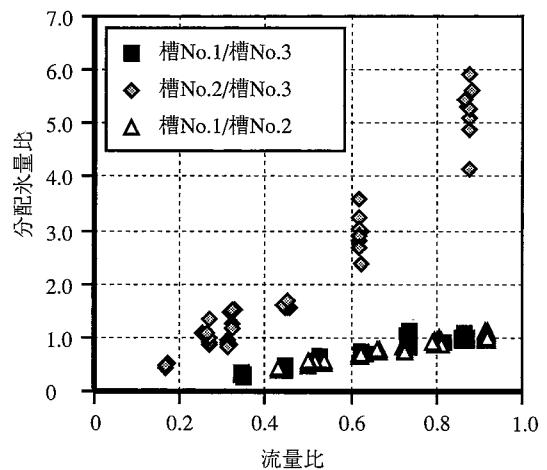


図-2 流量比と分配水量比の関係

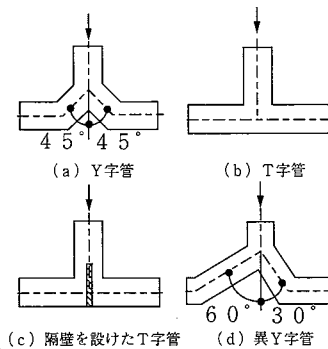


図-3 分岐管

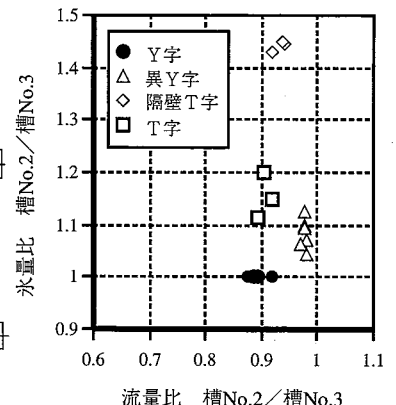


図-4 流量比と水量比の関係

3. 解氷実験

3.1 実験概要

図-5に実験装置を示す。実験は連続する二つの蓄水槽(800 l/槽)にて行った。氷の寸法形状を相似的に縮小するのが困難なため、できるだけ実際寸法に近い水深の槽を用いて実験することとした。負荷は温水タンクから熱交換器を介して、あらかじめ負荷と同じ水温にした調整槽を経由させ、蓄水槽へ入力される。

表-1に実験条件を示すが、ここではもぐり堰方式の単槽と連通管方式の連続二槽について示している。両者とも氷を投入した後、まず負荷を入力させ、限界取り出し水温に達した時点で、さらに別系統の配管とポンプで槽内の水を循環付加させることとした。

3.2 解氷性能の把握

図-6に単槽時における結果を示す。これによれば、取り出し水温は負荷入力後30分程度で限界取り出し水温に達している。ちなみに、目視ではあるが、この時の氷にはみず道が形成され、全体の約60%が融けきれず氷塊となって残っていた。その後、循環付加を行うことにより取り出し水温は低下し始め、次の限界取り出し水温に達するまで90分もかかった。

図中の放熱効率とは限界取り出し水温(ここでは、負荷水温 $\theta_{in}=12^{\circ}\text{C}$ に対して限界取り出し水温 $\theta_{out}=7^{\circ}\text{C}$ として求めた無次元温度 θ_{out}/θ_{in} を用いた)に達するまでの積算放熱量を全保有蓄熱量で割った値であり、解氷性能を評価するための一指標としている。この値が大きいと高い解氷性能を示すこととなる。

図-7に連続二槽における結果を示す。ここでの連通管は施工が簡単な上下交互の配置とした。これによれば、取り出し水温が限界取り出し水温に達するまでの時間は、第1槽内水温に比べかなり延びている。これは、第1槽目を経由した負荷が第2槽目に入力される時には低温となっているため、結果として取り出し水温が緩やかに昇温するためである。当然、放熱効率も大きな値(0.884)を示すこととなる。また、循環付加することで放熱効率はさらに大きくなっている。

以上をまとめると、連続槽の放熱効率は負荷入力だけで0.8以上と大きな値を示し、また単槽でも循環付加により放熱効率が0.9以上と飛躍的に延びて最終的には連続槽の値と余り変わらなくなることが分かった。連続槽であれば槽数が増えるに従い放熱効率が增大することが予測され、設計条件によっては循環付加が不要になるとも考えられる。また、もぐり堰と連通管の両方式の性能的な差は余り見られなかった。今回得られた実験結果から、空調負荷には十分対応できる解氷性能が得られているものと判断することができる。

4. ケーススタディ

4.1 モデルケース

モデルケースにおける冷房負荷は、延べ床面積 8,000

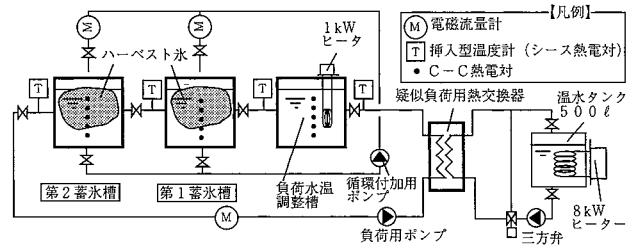


図-5 解氷実験装置

表-1 実験条件

槽数	負荷入力方式	水量 (kg)	IPF* (%/槽)	負荷流量 (l/min)	循環付加水量 (l/min)	負荷水温 ($^{\circ}\text{C}$)	限界取出水温 ($^{\circ}\text{C}$)
単槽	もぐり堰	300	40	45	20	12~13	7.0
連続二槽	連通管	600	40	45	10	12~13	7.0

* IPF: 氷充填率

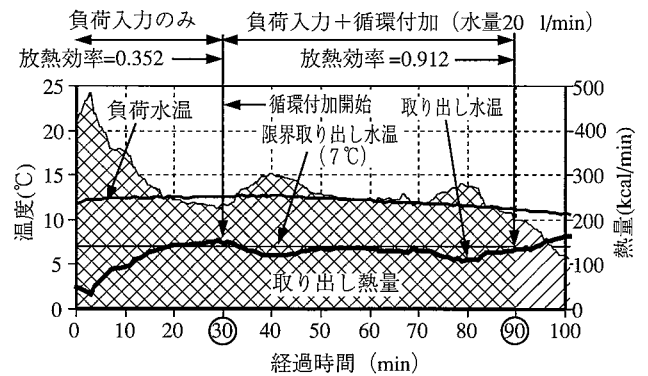


図-6 単槽時の取り出し水温

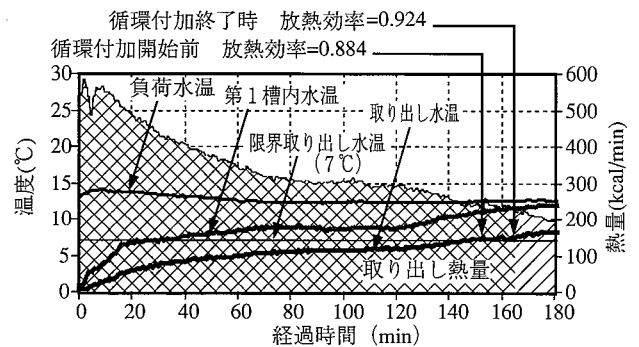


図-7 連続二槽時の取り出し水温

m²程度の事務所ビルの実負荷を用いた。ここでの製氷能力は176 kw(50 RT)×2台分で、蓄水槽の有効容量は地下ピット利用の場合 95 m³ (IPF=30%), FRP 水槽の場合は 75m³ (IPF=40%) である。地下ピットの槽数は連続四槽とし、FRP 水槽は単槽とした。

図-8にモデルケースを示す。FRP 水槽と製氷機を一体化したケース(ユニット型)と、地下ピットを利用する2ケース(CASE1, 2)を今回想定した。

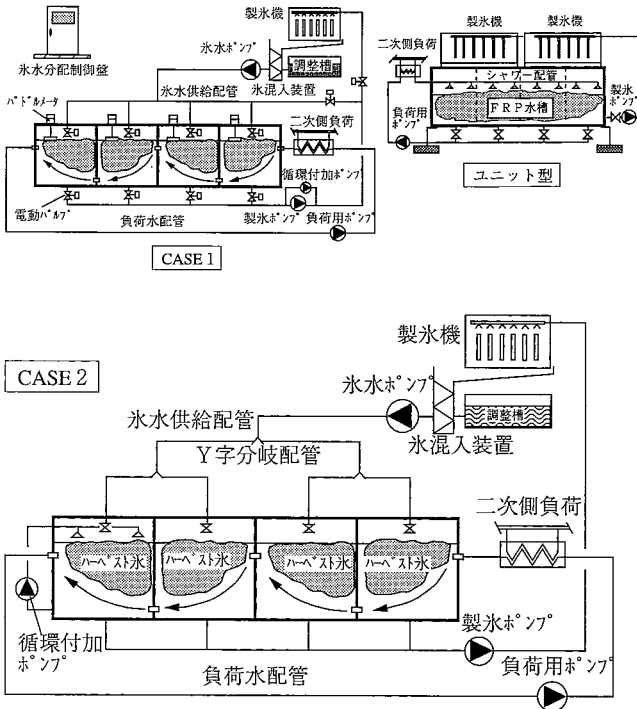


図-8 モデルケース

ユニット型は、製氷機の直下に FRP 製蓄水槽を設置し、直接水槽に氷が蓄えられる。解氷運転時にはシャワー配管により蓄氷全面に負荷水が散布される。

CASE1 は、氷水配管の水投入口に電動バルブを各槽毎に設け、自動制御によるバルブの開閉により一槽毎に氷を供給していく方式である。また、解氷時には負荷を連通管入力させ、限界取り出し水温に到達した後、氷水配管を利用して循環付加を最終槽のみに行う。このケースでは蓄氷、解氷とも確実性の高い運転が可能である。

CASE2 は、氷水配管の分岐部に Y 字管を設置し、全槽同時に蓄氷する方式である。解氷時には負荷を連通管入力させ、最終槽のみ専用の配管とポンプにて循環付加を行う。この場合、最終槽に氷が多少残り連日運転を行うに従い残水量が増え、蓄氷バランスに影響を及ぼすことが予測されることから、空調時間外に循環付加を行い氷を残さないようにする必要がある。

4.2 試算結果

図-9 にユニット型を基準にした建設費の比較を示す。これによれば、CASE2 が最も安価でユニット型より約8%安くなっている。CASE1 は配管・自動制御の費用が大きいため、最も高価になっている。

図-10 にユニット型を基準にした運転動力費の比較を示す。これによれば、CASE2 が最も高く、ユニット型より約3%増加している。CASE1, 2 の差はほとんどないと言える。

CASE2 では氷水用の制御設備を必要としないため、建設費が最も安い、CASE1 と同程度の機能を満たす

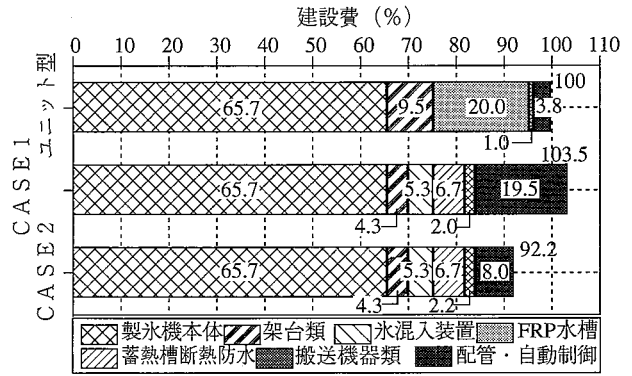


図-9 建設費の比較

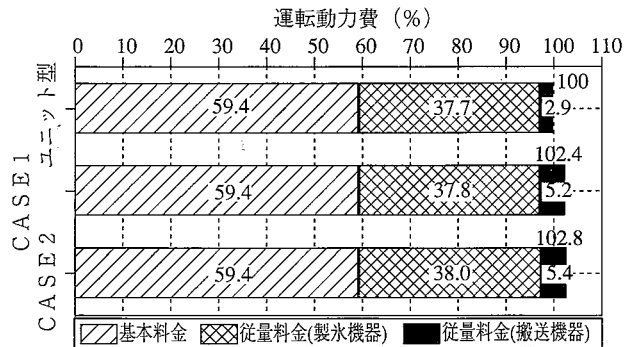


図-10 運転動力費の比較

ために、運転方式に工夫を加える必要があった。しかしながら、運転動力費の差を比べて見ても、その影響は余り出ていない。ちなみに、ユニット型とCASE2の建設費の差額を運転動力費の差で回収すると36.7年もかかることとなる。そのため、建設費が最も安価なCASE2をローコストシステムとして提案したい。

5. おわりに

今回の開発から、地下ピットを利用した大容量氷蓄熱を実現させることが十分可能であることが把握できた。今後は、実施における問題点を抽出・整理し、その解決に向かい開発を進めていく必要がある。

謝辞

本研究は関西電力ならびに本店設備設計部との共同研究であり、関係各位のご指導、ご協力に謝意を表する。

参考文献

- 1) 武元, 他: 地域冷房用氷水搬送システムの開発(その2), 大林組技術研究所報, No.49, p.99~104, (1994)
- 2) 森川: 液体-固体二相流, 空気輸送輸送と水力輸送, 日刊工業新聞社, p.114~129, (1979)