

## デマンドレスポンス対応氷蓄熱システムの設計と実施

### Design and implementation of demand response ice thermal storage system

○安心院 智（竹中工務店）      篠島 隆司（竹中工務店）      山形 光生（竹中工務店）

Satoshi Ajimi\*<sup>1</sup>

Takashi Shinojima\*<sup>1</sup>

Mitsuo Yamagata\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Takenaka Corporation

Recently, the reestablishment of supply-and-demand structural balance on electric power is the subject of interest. This will regulate the amount of electricity by the amount generated, instead of generating electricity to exceed consumer demands of electric usage in the daytime by power plants. One of the major methods is “peak shift” and “peak cut”. This paper will introduce the ice storage for “peak shift”. It will also explain the new ice storage system to “peak cut” when its demand-supply situation is tight in the daytime. This paper will also describe the use of new system to accommodate thermal energy of sewage water regenerated in the sewage plant by utilizing unused thermal energy in urban areas.

#### 1.はじめに

近年、電力需給構造の見直しが注目されている。これは、従来の電力需要家に合わせた電力供給を見直し、発電量に合わせて電力需要家が電力使用量を調整する構造である。電力需要家が電力使用量を調整する方法の一つとして、デマンドレスポンスがある。デマンドレスポンスは、日中の電力需給逼迫時に節電をおこなう手段で、ピークカットとピークシフト等がある。本論では、ピークシフトのために、氷蓄熱システムを採用した。さらにピーク負荷を大幅に低減せるために、電力逼迫時は他の熱源機器を停止して氷蓄熱システムから大放熱をおこなうことで、よりピーク時の消費電力を削減するデマンドレスポンス対応氷蓄熱システムについて報告する。

なお、氷蓄熱システムは、地域に潜在する未利用エネルギーの活用として、下水処理場で高度処理された下水再生水の熱エネルギーを利用したため、下水再生水の高度複合利用についても合わせて報告する。

#### 1.1 施設概要

本システムは、南海本線七道駅の北西、大和川の左岸と堺市西部を南北に走る国道 26 号東側に位置するイオンモール堺鉄砲町にて実施した。

所在地：大阪府堺市堺区鉄砲町 1 番 1

建物用途：物販、飲食を主とする複合大型商業施設

建築主：イオンモール株式会社

設計施工：株式会社 竹中工務店

延床面積：134,886 m<sup>2</sup>      構造規模：S 造・地上 4 階

#### 1.2 セントラル熱源設備概要

給湯用水冷 HP チラー（下水熱利用）	15HP×2 台
水冷スクリーチャー（ブライン）	70RT×5 台
水冷スクリーチャー	150RT×2 台
氷蓄熱槽	3,250RT

下水熱プレート式熱交換器（チタン） 1,100 kW



Fig.1 Main entrance



Fig.2 Ice storage tank



Water-cooled chiller

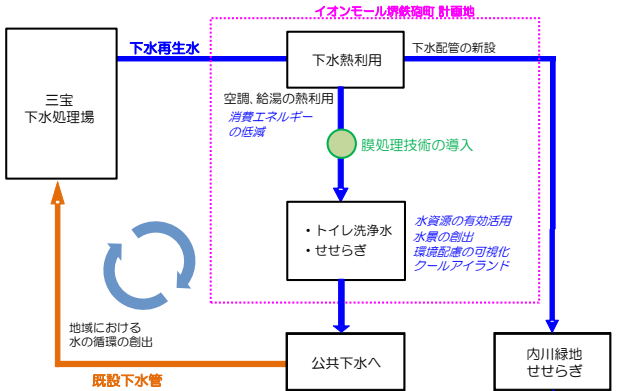
#### 2.下水再生水高度複合利用の概要

##### 2.1 下水再生水について

下水再生水は、敷地北西 2.3 km に位置する三宝下水処理場で高度処理した後、本敷地内で熱利用と水源利用され、七道駅南東に位置する堺市中心部の環濠内「内川緑地せせらぎ水路」に放流することで、水路の水源及び水質改善に貢献している。下水再生水の未利用熱は年間を通して安定している為、冬期は外気処理空調機の予熱、年間をとおして給湯熱源として利用後、空調熱源として段階利用する。未利用熱の段階利用の後、一部を取水し、

## B-3

膜処理設備で水処理を行い、施設内のトイレ洗浄水や敷地内せせらぎの補給水として利用する計画とした。**Fig.3**に下水再生水高度複合利用の概念図を示す。



**Fig.3** Conceptual diagram of using regenerated sewage water

### 2.2 下水再生水高度複合利用のシステム概要

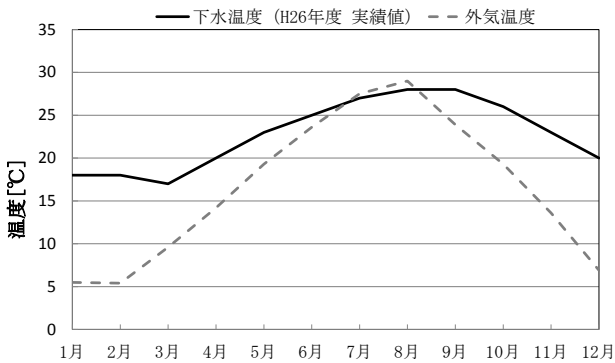
#### (1) 下水再生水水温・水質の特徴

平成 26 年度の三宝下水処理場の下水再生水の水温と外気温(日平均)との関係を **Fig.4** に示す。

図 3 より、下水再生水の水温は外気温と比較して温度幅の変動が少なく、冬季は外気温よりも高く、夏季は外気温よりも低いという特徴がわかる。

なお、2015 年 8 月の日最高平均気温は、32.9℃

2015 年 1 月の日最低平均気温は 2.2℃である。



**Fig.4** Temperature of regenerated sewage water and outside temperature of annual transition

次に、平成 26 年度の三宝下水処理場高度処理再生水の水質試験結果を **Table.1** に示す。一般的な水質評価基準である BOD は、平均 1.0mg/L、最大でも 2.4mg/L と、排水基準である日間平均 20mg/L を大幅に下回っている。また、赤潮等の発生原因となる窒素及びりん含有量も基準値を大幅に下回っており、処理水質は良好である。

**Table.1** Quality-test results of regenerated sewage water

項目	単位	排水基準 <sup>※1</sup>	平均値 <sup>※2</sup>	最大値
BOD	mg/L	(20)	1.0	2.4
COD	mg/L	160 (120)	7.7	9.8

SS	mg/L	(70)	1.0	1.0
窒素含有量	mg/L	120 (60)	3.8	4.9
りん含有量	mg/L	16 (8)	0.14	0.55
大腸菌群数	個/cm <sup>3</sup>	(3000)	100	340

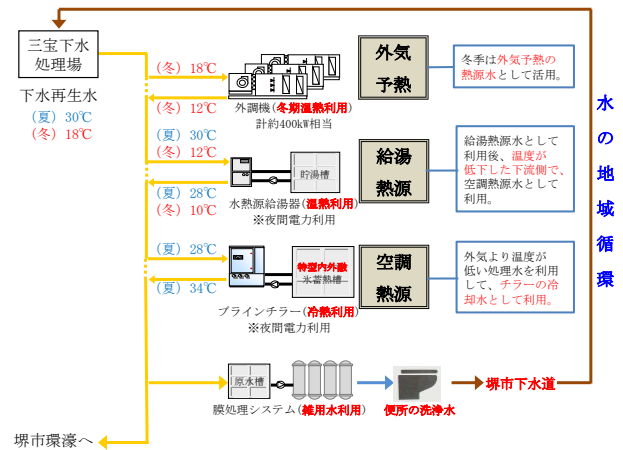
※1: 水質汚濁防止法及び大阪府条例で定める上乗せ基準

※2: () 内の数値は日間平均値

#### (2) 下水再生水の熱利用システム

下水再生水熱利用システム全体図を **Fig.5** に示す。

本システムでは、下水再生水との水温と外気温との差を利用し、冬季は外調機の外気予熱として利用する。通年では給湯用ヒートポンプの熱源として利用し、冷房期間中は空調用冷凍機の冷却水として利用することで下水再生水熱のカスケード利用を行うシステム構成としている。なお、三宝下水処理場から圧送する下水再生水量は、日量 1,500t (1,033L/min) である。

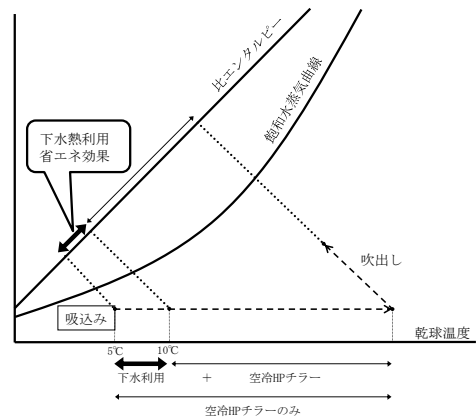


**Fig.5** A new system for accommodating thermal energy by using sewage water regenerated in sewage plant

各熱源機器における熱利用の考え方を記載する。

#### a) 外気予熱用温熱源

冬季、外気に比べて温度が高い下水再生水を直膨式外調機の温水予熱用熱源として利用することで空冷ヒートポンプが処理する暖房負荷を削減する。



**Fig.6** Energy saving effect when thermal energy of sewage is used in external conditioner

## B-3

Fig.6 の例は、外気温 5℃、下水再生水温度 18℃と仮定した場合、外調機吸込み温度を 5℃上昇させることが可能なため、そのエンタルピー差のエネルギーを削減できる。

### b) 給湯用温熱源

下水再生水を給湯ヒートポンプの排熱回収用（冷熱回収）の水熱源として利用する。空気熱源式給湯ヒートポンプは、外気温が低下すると効率も低下する特徴があるため、冬季においては外気に比べ温度が高い下水再生水を熱源利用することで、効率の良い運転が可能となる。

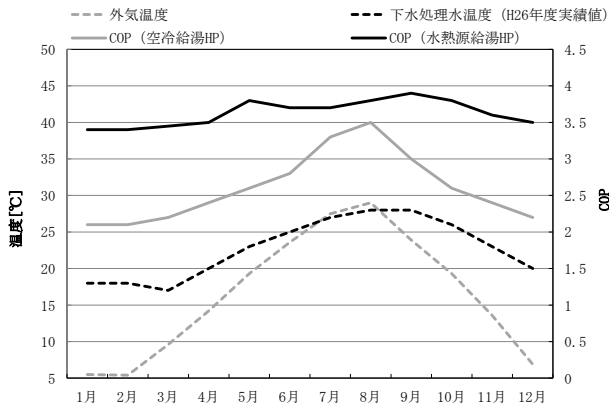


Fig.7 COP comparison to hot water heat pump

### c) 空調用冷熱源

水冷チラー（ブライン仕様）にて、夜間の製氷と、日中の負荷増大時に追掛け運転をおこなうことで、冷水を施設内 FCU 系統に供給するが、夏季、外気温度より温度が低い下水再生水を冷却水として利用することで水冷チラーの効率が向上し、消費電力が抑制できる。

また、a)～c)の熱交換器を直列接続し、給湯ヒートポンプと水冷チラー（ブライン仕様）を夜間同時稼働させることで、給湯熱源水として利用した後、温度低下した下水再生水を下流に接続した水冷チラーの冷却水としてカスケード利用することでシステムの効率向上を図っている。

### d) 膜処理を利用した下水再生水ろ過利用システム

下水再生水の更なる有効利用のため、熱源利用した後の下水再生水を一部取水し、水資源としてカスケード利用するシステムを導入することとした Fig.8.

本システムは、取水した下水再生水をUF膜ろ過処理し、敷地内のせせらぎ用水の補給水及び建物内の平日の便所洗浄水の全量を賅うものとした。便所洗浄水の水使用量は、平日の日最大使用量を 180 t と想定し、膜ろ過能力は最大 180 t/日とした。

本システムにより、下水処理場と本施設の間に、水の地域循環が構成できる。これにより、地域で上水を精製するエネルギーの削減に貢献できる。

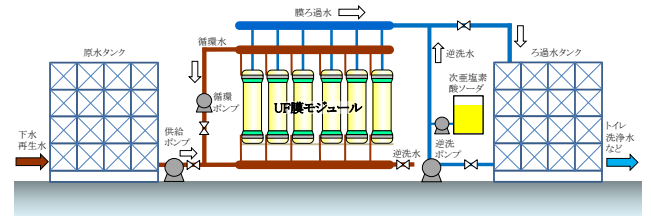


Fig.8 Sewage filtration system

### 3. 下水再生水利用の熱源システムとデマンドレスポンス

前述した下水再生水利用の高度複合利用システムに、デマンドレスポンスシステムを取り入れるため、デマンドレスポンス対応氷蓄熱システムを開発した。具体的には、通常、日中のピーク負荷時、氷蓄熱で補えない熱負荷は追掛け用水冷チラーで熱負荷処理していたが、デマンドレスポンス時は、氷蓄熱槽で大放熱することで、追掛け用水冷チラーの運転を停止し、セントラル熱源の電力を削減することでデマンドレスポンスを実現する。

しかし、従来の氷蓄熱システムは、深夜電力を活用したピークシフトが主な役割であり、日中のピーク負荷を全て処理することが目的ではなかったため、単純にピーク負荷で氷蓄熱槽を選定すると、通年単位では過剰な氷蓄熱容量となりイニシャルコストが大幅に増加する。そこで、氷蓄熱容量を抑えながら、大放熱を可能とすることで、デマンドレスポンス対応とすることとした。さらに、氷蓄熱は放熱ロスと熱交換ロスによる効率の低下が課題であったことから、代表的な蓄熱システムである内融式氷蓄熱、外融式氷蓄熱、水蓄熱の利点を組み合わせ、高効率化を目指した。

#### 3.1 デマンドレスポンス対応大放熱蓄熱

まず、デマンドレスポンス時に大放熱するために、従来の代表的な氷蓄熱システムである、内融式と外融式氷蓄熱を組み合わせ内外融併用氷蓄熱槽とした。

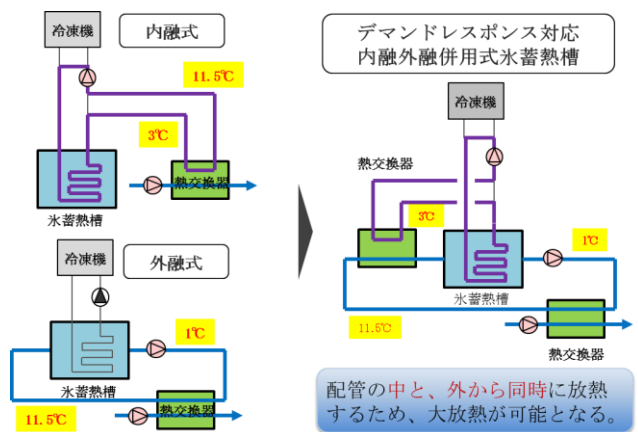


Fig.7 Internal and external ice storage tank



## B-3

### 3.2 氷蓄熱の小型化と高効率化

通常運転時は、冷水取出し温度が内融式 (3°C) に比べ、低温取出しが可能な外融式 (1°C) の方が放熱特性がよいので、大温度差による効率がよい外融式をベースとした。ただし、外融式は氷蓄熱槽内のコイルの離隔が大きくなり、氷蓄熱槽の容量が大幅に増大するため、氷蓄熱槽の小型化を検討した。従来氷蓄熱槽は冷水取出し温度 3°C 程度で放熱完了であったが、水槽内の温度が 3°C で放熱完了していた。そこで、氷蓄熱槽の考えを取り入れ、氷蓄熱槽内に堰を入れることで、槽内に温度成層をつくり、槽内温度を平均 11°C 程度まで使用することで、未使用であった顕熱利用域を有効蓄熱容量とし、氷蓄熱槽の容量を小型化することとした Fig.10.

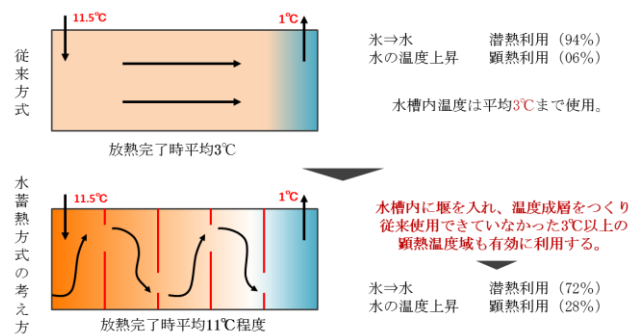


Fig.10 Difference between water storage and ice storage

### 3.3 冷凍機の高効率化

顕熱利用域を大きくとり、水槽内平均温度が 11°C 程度になることで、冷凍機の効率が上昇する。これは蓄熱運転時、冷凍機の入口温度が高い方が、冷凍機効率が上昇するためである。また、同時に氷蓄熱槽内のコイルの氷厚を薄く (34mm から 23mm) することで、冷凍機のブライン出口温度を高く (-8°C から -3°C) し、さらなる高効率化を図った Fig.11.

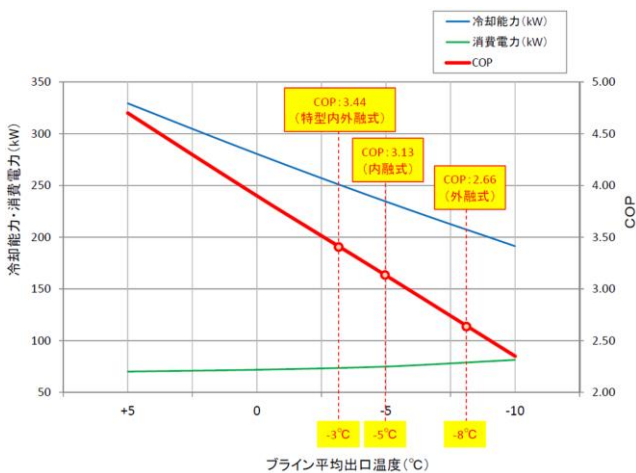


Fig.11 Efficiency of refrigerator

### 3.4 デマンドレスポンス対応内外融併用式氷蓄熱システムのまとめ

デマンドレスポンス対応内外融特型氷蓄熱システム図と従来式の内融式、外融式氷蓄熱との性能比較を Fig.12 に示す。

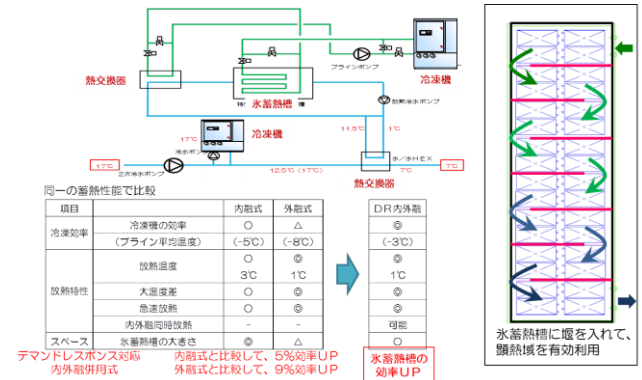


Fig.12 Diagram and performance between Comparison of internal and external type ice thermal storage system and previous one

## 4. 検証

2017 年 4 月で 1 年が経過するため、データを検証する予定であるが、現時点で取得できているデータを報告する。

まず、氷蓄熱槽内に堰を設けて、氷蓄熱槽の要素を取り入れたデータは、Fig.13 となっている。

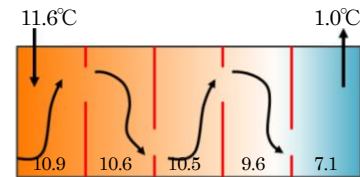


Fig.13 Measurement data in the ice thermal storage tank

実測値では氷蓄熱槽の最下流の水槽温度が 7.1°C となっているが、1.0°C の冷水取出しができている。これは、測定ポイントが水槽上端にあるため、冷水の取出口には氷が残っており、冷水の取り出しが可能な状態であることが分かる。また、冷水取出し温度を 3.0°C までに設定すると最下流の水槽内温度は 10.5°C となった。これらの実測データにより、従来の氷蓄熱の水槽内温度 3°C に対して、10.5°C 程度まで顕熱域を利用したことで、500R T 程度の容量が増加した。

次に、デマンドレスポンス対応内外融同時放熱については、BEMSにてデマンドレスポンスモードを設定し、日中の 13 時~15 時に追掛け用ブラインチラーを全て停止し、内融外融同時放熱のみで全負荷を処理するシステムとして、夏期に実測して、全負荷氷蓄熱の放熱のみで、熱負荷を処理できていることを確認した。

## 5. おわりに

今後、1 年の実績データが 4 月に揃うため、改めて詳細を報告する予定である。