

東京スカイツリー® 地域熱供給施設



▶ヒートポンプシステムの運用改善

受賞者 申請者：株式会社東武エネルギーマネジメント
新菱冷熱工業株式会社
設備オーナー：株式会社東武エネルギーマネジメント

熱源システム概要

東京スカイツリー地域熱供給施設は、東京スカイツリー地域内の建物に冷水および温水を供給する地域冷暖房(DHC)施設である。本施設はメインプラントとサブプラントで構成され、サブプラントは2009年に、メインプラントは2012年に、それぞれ熱供給を開始した。

本施設の熱源システムには高効率な機器や地中熱利用システムなどさまざまな技術が採用されているが、運用改善事例において対象とするのはヒートポンプシステム(HTHP)システムである(図1)。3台のヒートポンプ(HP)と複数の冷却加熱塔(HT)で構成されたシステムである。

改善点のポイント

- ①運用改善の試行:HTファン周波数を手動で変更し、エネルギー消費量の増減量を確認した。⇒実績データからシミュレーションモデルを作成し、最適ブライン温度を計算。
- ②ブライン出口温度の最適化:外気乾球温度の一次式で最適ブライン温度を算出する方法を考案し、HTファンのインバータ制御に組み込んだ。⇒エネルギーを最小化。
- ③デフロスト運転による効率低下の防止:着霜する条件下では、ブライン出口温度設定値を外気露点温度以上にする。

運用改善の試行

HTファン周波数を変更することにより、HTHPシステムの効率を向上することができないか、運転管理者の手動設定による確認やシミュレーションによる把握を行った。

運用開始～2017年度:HTファンを定格周波数で制御し、HP単体の効率を上げるため、ブライン温度を上げていた。

2018年度:HTファン周波数を運転管理者が手動で変更し、エネルギー効率が改善するか確認した。

2019年度:シミュレーションモデルにて外気乾球温度別に最適な周波数を求め、運転管理者が手動で運用(表1)。

ブライン出口温度の最適化

(図2)はブライン出口温度による影響を把握するため、

図1 熱源システム概要

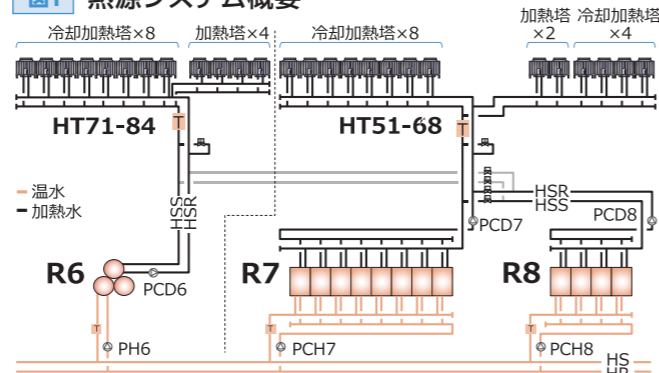


表1 最適なHTファン周波数の一覧表 抜粋

外気乾球温度 [°C]	周波数 設定箇所				
	1	2	3	4	5
-4	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8
-3	20.8	20.8	16.4	20.8	20.8
-2	20.8	16.8	10.4	20.8	15.6
-1	20.8	11.2	10.4	17.0	10.4
0	14.5	11.0	10.4	13.7	10.4
1	10.4	10.8	10.4	13.5	10.4
2	10.4	10.8	10.4	13.3	10.4
3	10.4	10.6	10.4	13.3	10.4
4	10.4	10.6	10.4	13.1	10.4

図2 ブライン設定温度ごとのHPとHTの消費電力

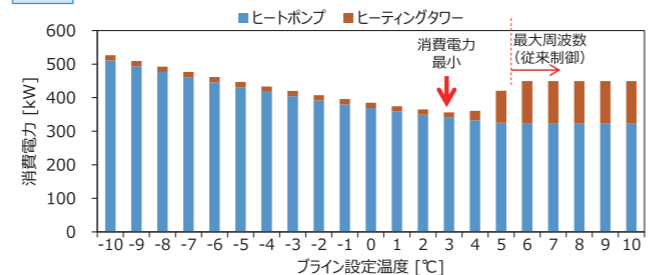
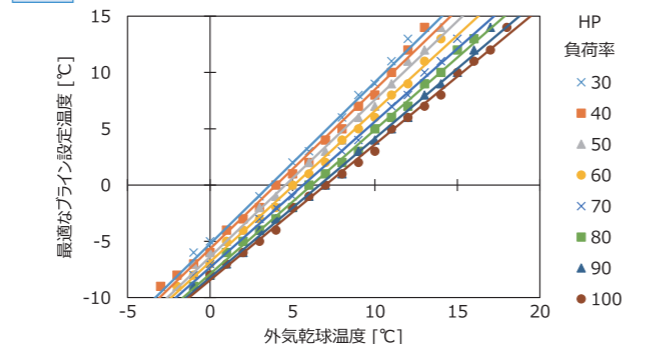


図3 外気乾球温度と最適なブライン設定温度の関係



計算した一例の結果である。このように、HT送風機動力とHPの消費電力にはブライン温度によるトレードオフの関係があり、(図2)と同様にさまざまな外気条件・負荷条件で求めた最適なブライン設定温度が(図3)である。HPの負荷率によって傾きや切片は異なるものの、外気乾球温度と最適なブライン設定温度の間には線形の関係がみられた。この関係は(式1)のように表現できる。

デフロスト運転による効率低下の防止

外気露点温度とブライン温度によっては、HTの外気との熱交換部分に着霜し、デフロスト(除霜)運転が必要となる。HTがデフロスト運転を行うと、デフロスト運転を行っていない残りのHTでブライン温度を上げなければならず、デフロスト運転が行われていないときに比べてHPの効率が低下する(図4)。さらに、デフロスト運転には専用のヒータと循環ポンプを使用するため、HTも余分な電力を消費する。

そこで、HTHPシステムの実測データを基に、デフロスト運転の有無とそのときの外気条件やシステムの運用状況を分析した。その結果、外気露点温度とブライン出口温度によってデフロスト運転の有無を判別できる関係性がみられた(図5)。この関係は(式2)のように表現できる。

ブライン出口温度設定値を(式1)で求めた設定値にするのとデフロスト運転の頻度が増加することから、デフロスト運転を従来と同程度に抑えるために(式2)で表される外気露点温度以上にする制御を加え、(式3)の設定値で制御する。

改善の効果 ~継続的な効率改善~

運用改善の試行、最適なブライン温度制御を行った2017年度から2020年度にかけて継続的にシステムCOPが向上した(図6)。一次エネルギー原単位の比較では2017年度に比べ、(表2)の一次式による制御を導入した2020年度では9.0%削減された。

しかし、上述の効果の中には、温水送水温度を48°Cから46°Cに緩和するなどHTのブライン温度制御以外の効果も含まれている。ブライン温度制御の効果に限定した比較では、2017年度に比べて2020年度の一次エネルギー原単位は3.8%の削減と効果が小さくなった(図7a)。

そこで、導入後の運用データを踏まえて(表2)の一次式の係数の一部修正を行った。係数修正後の比較では、2017年度に比べて2020年度の一次エネルギー原単位は7.8%の削減と改善した(図7b)。

以上から、従来のHTファン周波数を最大周波数で制御する方法に対して、ブライン温度最適化制御を行い、ファン周波数を調整する効果があることを確認した。しかし、最適化制御のための一次式の精度に関しては、さらなる効率向上に向け検討の余地があることも分かった。

今後は、本手法による運用を続けるとともに、蓄積された運用データを基に効率向上を目指しより最適な一次式を精査し、一層のエネルギー効率向上を実現する。

図4 デフロスト運転の模式図

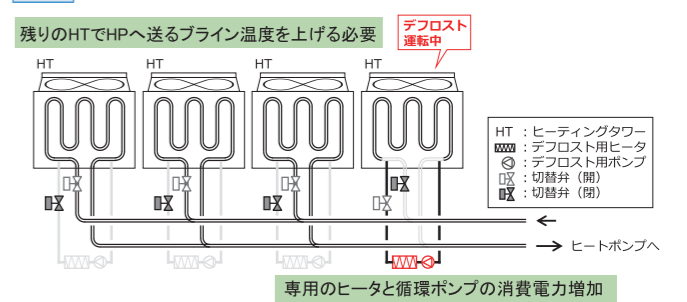
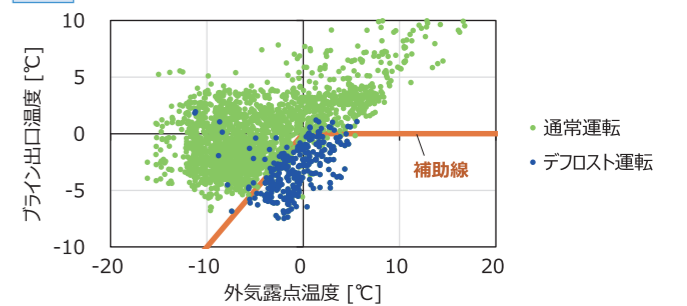


図5 デフロスト運転の判別



$$\text{式1 } T_{B1} = a T_{DB} + b$$

T_{B1} : ブライン出口温度設定値
 T_{DB} : 外気露点温度
 a, b : 定数

$$\text{式2 } T_{B2} = \begin{cases} T_{DP} + c & (T_{DP} < 0) \\ c & (T_{DP} \geq 0) \end{cases}$$

T_{B2} : ブライン出口温度設定値
 T_{DP} : 外気露点温度
 c : 任意の定数(具体的な設定例、 $c = 1$)

$$\text{式3 } T_{B3} = \max(T_{B1}, T_{B2})$$

T_{B3} : ブライン出口温度設定値

図6 システムCOPの推移

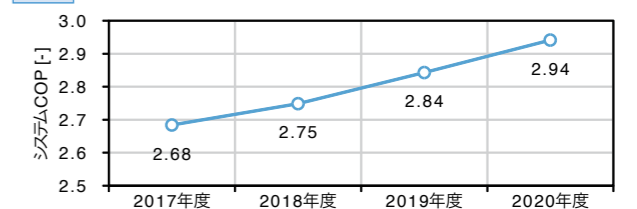
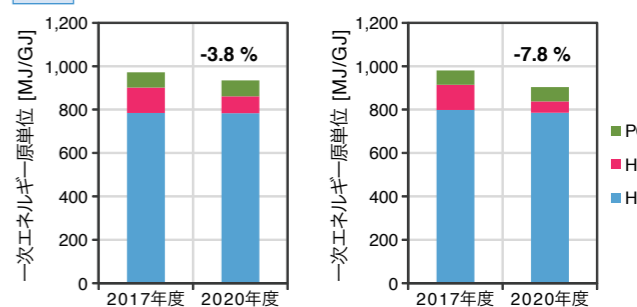


表2 ブライン設定温度を決める一次式

システム	R6	R7	R8	バルブA	ブライン温度を決定する一次式
	運転: 1 停止: 0	運転: 1 停止: 0	運転: 1 停止: 0	開: 1 閉: 0	
HT71-84 系統	1	-	0	-	$1.093 \times T_{DB} - 10.443$
	0	-	1	1	$1.205 \times T_{DB} - 8.453$
HT51-68 系統	-	1	1	1	$1.072 \times T_{DB} - 8.340$
	-	1	0	-	$1.072 \times T_{DB} - 8.340$
	-	0	1	0	$1.144 \times T_{DB} - 7.449$
	-	1	1	0	$0.962 \times T_{DB} - 8.738$

図7 一次エネルギー原単位の比較



(a) ブライン温度制御の効果に限定した比較

(b) 係数修正後の比較