大阪地域のヒートアイランド・暑熱環境対策シンポジウム
大阪から世界へ、ヒートアイランド対策の推進
～ 2025年大阪・関西万博に向けて ～

５．排熱削減技術と未利用熱の有効活用
排熱低減WG報告

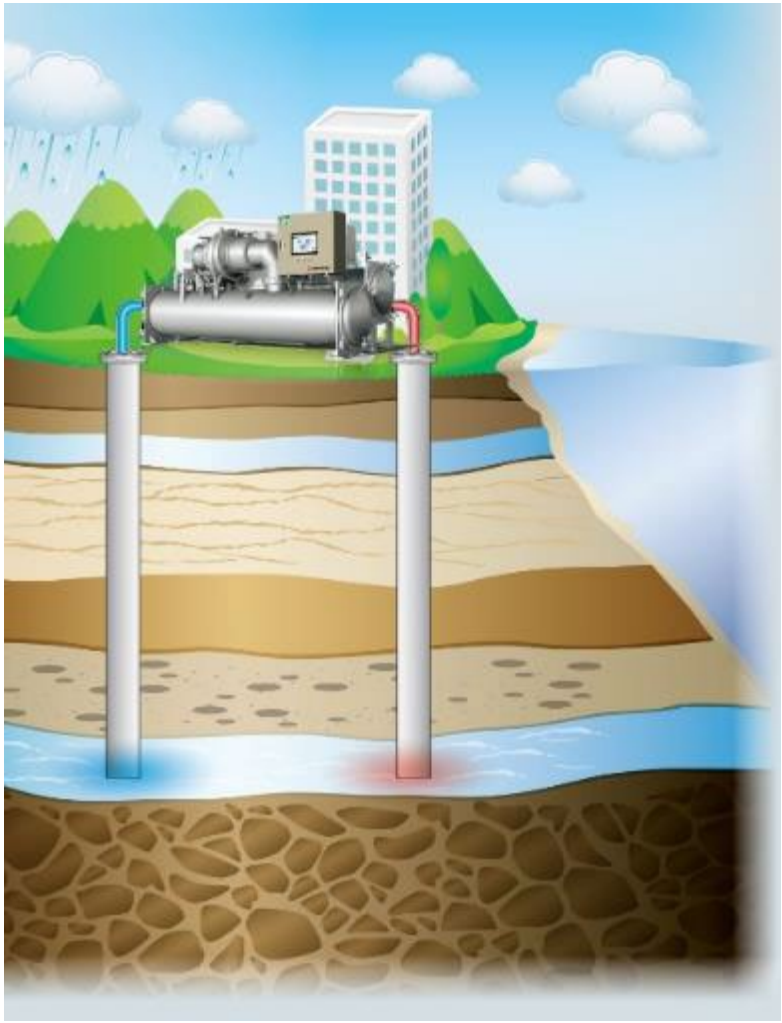
A.帯水層蓄熱による夏期の人工排熱低減の事例

B.万博会場を対象とした人工排熱低減のFS

2022年 4月 28 日 （木）
大阪公立大学　中尾正喜

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

A.帯水層蓄熱による夏期の人工排熱削減の事例



帯水層蓄熱システムイメージ（三菱重工サーマルシステムズHP、https://www.mhi.com/jp/news/211222.htmlより引用）

- 高温と低温の井戸二本で構成
- 全量還水と地盤特性に応じた地盤沈下回避対策
- 夏期の空調排熱を蓄熱し，冬期の暖房時に採熱
- 夏期大気への冷房排熱を低減
- 地中への通年熱収支を平衡

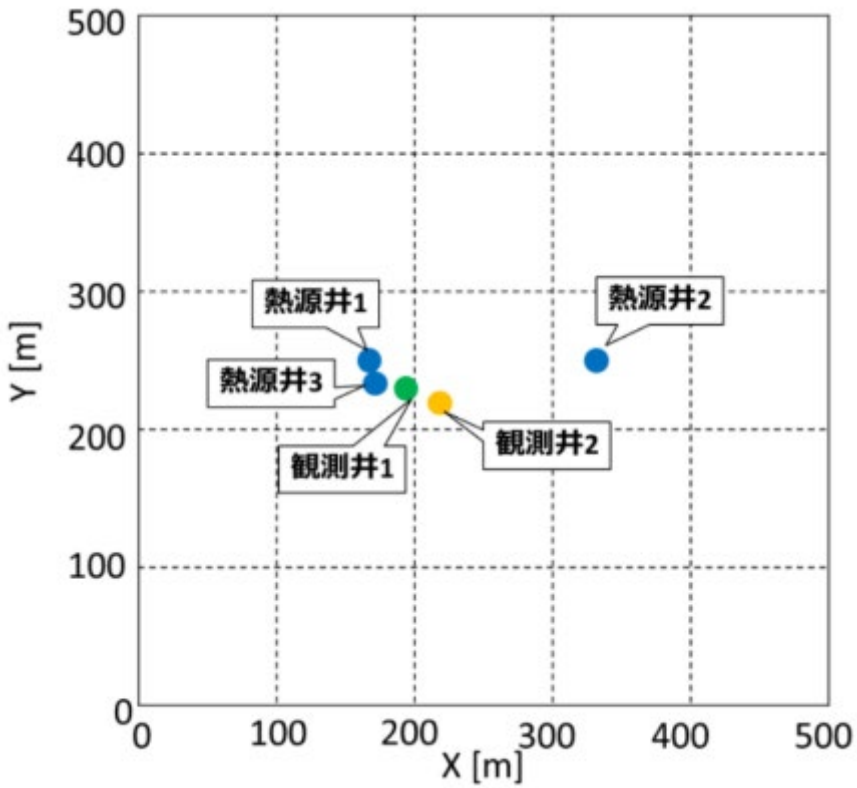
2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

三菱重工サーマルシステムズ神戸事業所、冷凍機製造工場に設けられた熱利用井戸

井戸３

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

熱利用井戸の配置



井戸配置

井戸座標

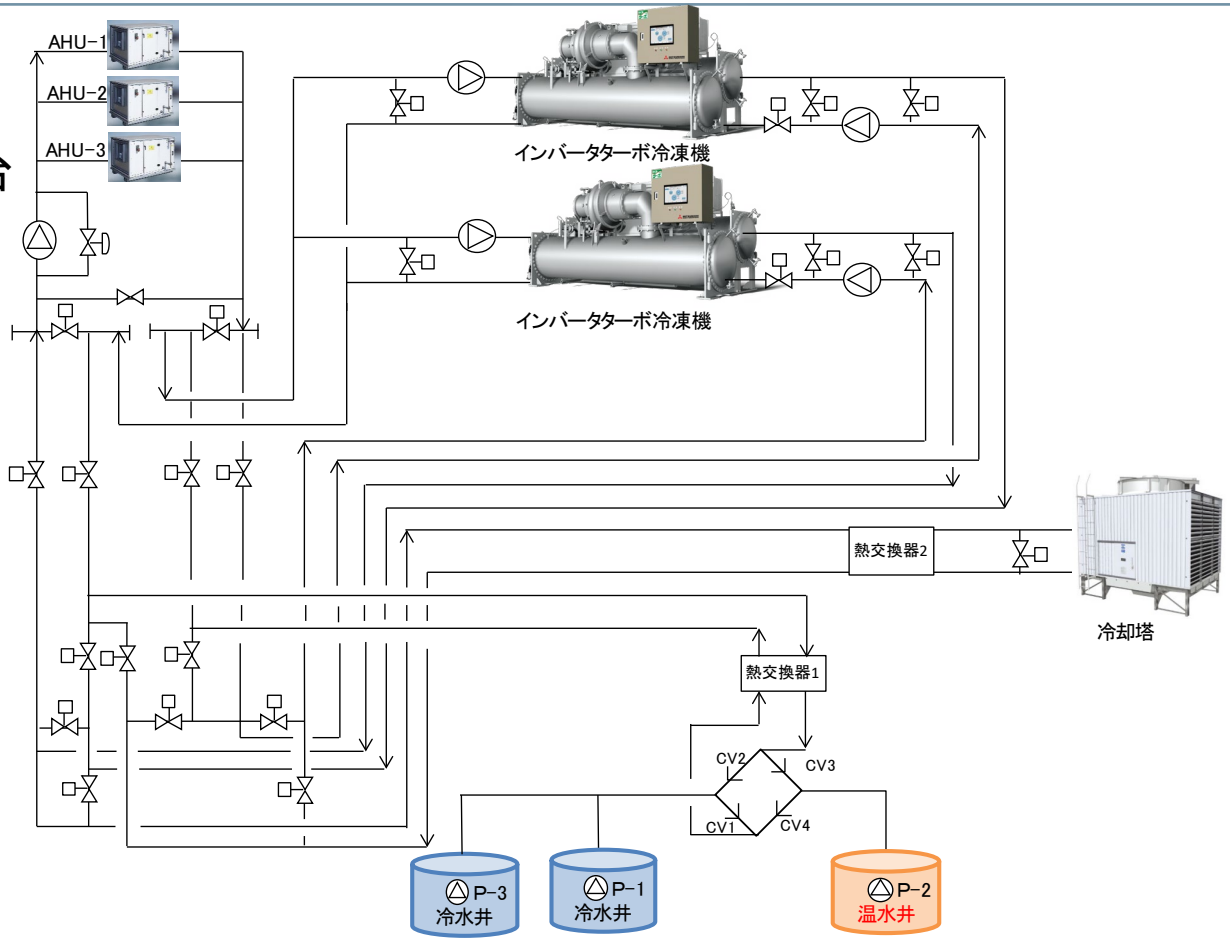
井戸	座標(m)
熱源井 1	(173,250)
熱源井 2	(327,250)
熱源井 3	(176,243)
観測井 1	(196,237)
観測井 2	(210,229)

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

帯水層蓄熱システム導入事例（引用：三菱重工サーマルシステムズ省エネ大賞応募資料）

実証設備システム紹介

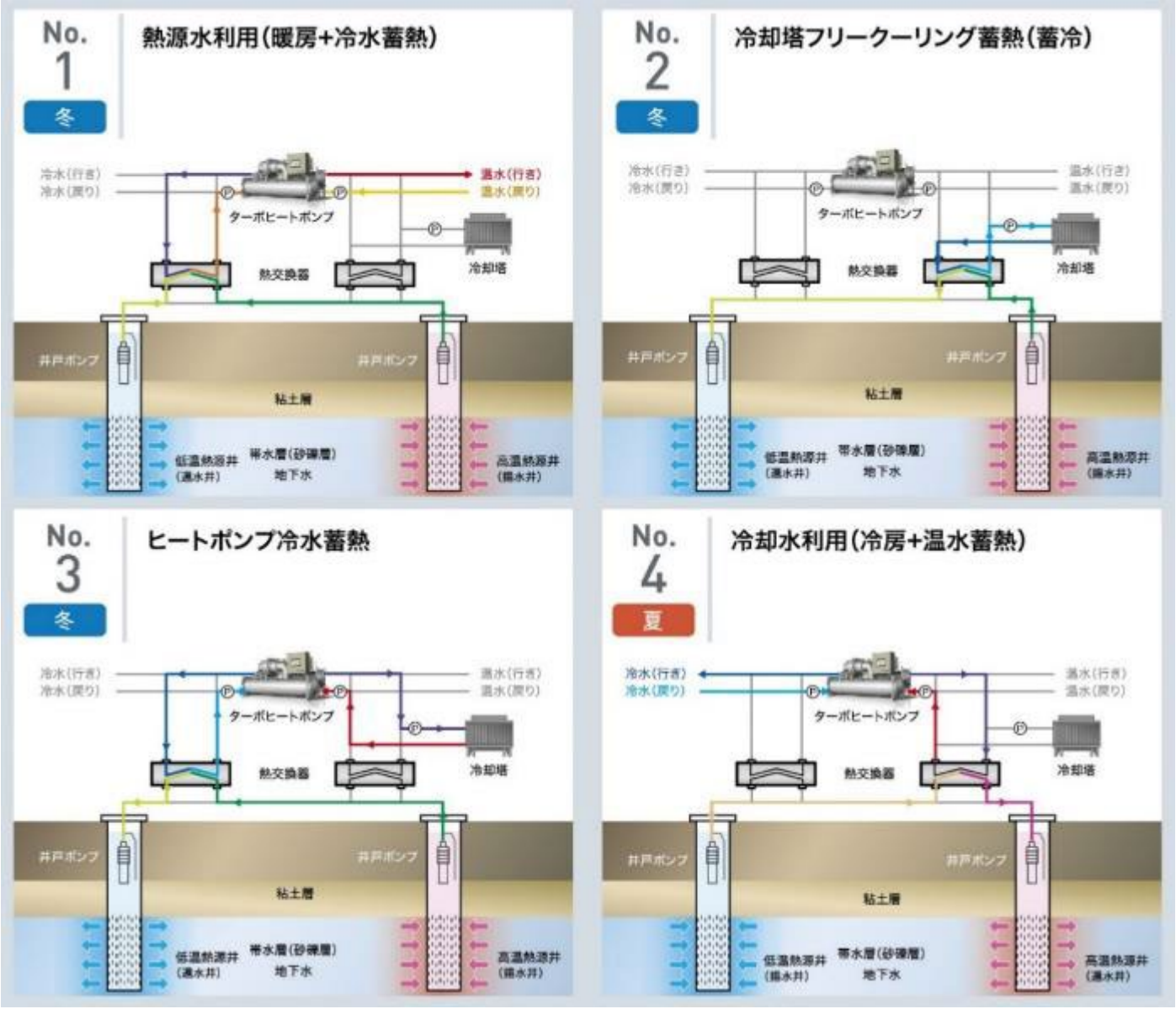
建物面積：4,000 m2
インバータターボ冷凍機：2台
空調機（AHU）：3台
井戸ポンプ：3台
冷温水ポンプ：2台
熱源水ポンプ：2台
冷却水ポンプ：1台
2次送水ポンプ：1台
冷却塔：1台
熱交換器：2台
動力盤・制御盤



本設備を構築した神戸和田岬地区は、
大阪湾断層から分岐した断層が通過する影響により帯水層が一様で無く、井戸の設置位置によって1本と2本とした。
このように地盤が複雑な地域でも帯水層システムを構築することができた。

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

運用モード（引用：三菱重工サーマルシステムズ省エネ大賞応募資料）



2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

事例における人工排熱低減効果

- 冬期（2020年12月6日から2021年3月31日までの暖房運転期間）

➢運転時間：１，３２６　h

➢揚水・還水体積：４６，９３９　　m^3

➢帯水層からの採熱量：１，６０７　ＧＪ

- 夏期（2020年12月6日から2021年3月31日までの暖房運転）

➢運転時間：１，２９３　h

➢揚水・還水体積：４０，７３２　　m^3

➢帯水層への放熱量（夏期の人工排熱を地中に排出した分）

：１，７２５　ＧＪ≒人工排熱低減効果分

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

参考：省エネ効果（引用：三菱重工サーマルシステムズ省エネ大賞応募資料）

機器仕様一覧表

従来システム(ガス吸収冷温水器)との機器仕様比較を示す

システム		本システム		従来システム	
名称		ターボヒートポンプ		ガス吸収冷温水器※1	
仕様	単位	冷房	暖房	冷房	暖房
型式	-	ETI-Z20HP		-	
能力	kW	703	866	739	883
供給温度（入口/出口）	℃	12/7	17/12	12/7	54/60
供給流量	m3/h	121	127	127	127
熱源水温度（入口/出口）	℃	33/38	40/45	32/37	-
熱源水流量	m3/h	141	150	210	-
消費電力	kW	114.6	127.5	-	-
ガス使用量	Nm3/h	-	-	49	81.2
COP	-	6.1	6.8	1.21	0.87
蒸発器ポンプ	kW	11.0	11.0	11.0	11.0
凝縮器ポンプ	kW	18.5	18.5	22.0	-
2次冷温水ポンプ	kW	37.0	37.0	37.0	37.0
冷却塔ポンプ	kW	22.0	-	-	-
井戸ポンプ	kW	18.5	18.5	-	-
冷却塔ファン	kW	5.5	-	7.4	-

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

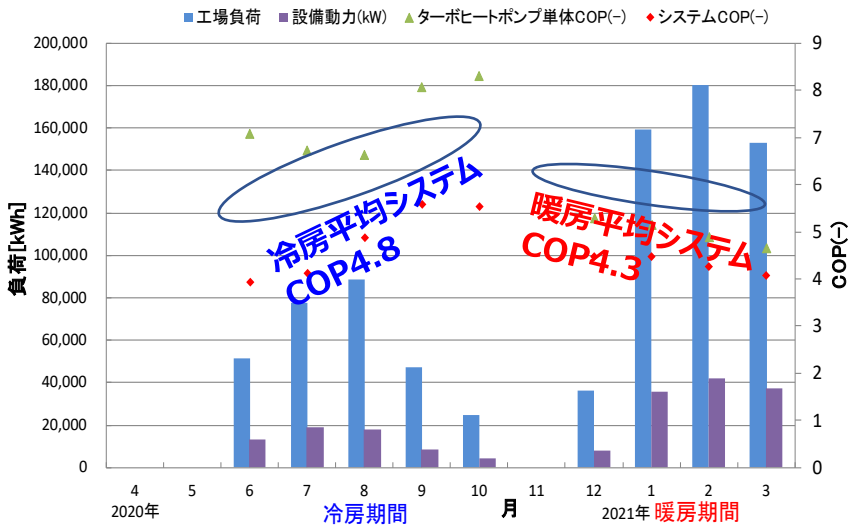
参考：省エネ効果（引用：三菱重工サーマルシステムズ省エネ大賞応募資料）

省エネ達成状況

年間冷房システムCOPは4.8、暖房システムCOPは4.3、全体システムCOPは4.5を達成。
一次エネルギー換算COPは1.6、原油換算にすると年間で約46.8KL/年
（神戸工場全体エネルギー使用量の0.4%になる）
年間一次エネルギー消費量が、同規模のガス吸収冷温水機（シミュレーション）対比で
49.9%削減（46.5KL/年削減）した。

※システムCOP＝主管熱量/設備全体動力
設備全体動力：（冷凍機動力＋蒸発器ポンプ＋凝縮器ポンプ+2次冷温水ポンプ+冷却水ポンプ+冷却塔ファン）

運転期間：2020年6月～2021年3月



項目	従来システム	本システム
冷房負荷(kWh)	281,678.2	281,678.2
暖房負荷(kWh)	529,189.2	529,189.2
ガス消費量(Nm^3h)	67,361	－
消費電力(kWh)	59,208	182,146
原油換算(13Aガス)(kL/年)	78.1	－
原油換算(電気)(KL/年)	15.2	46.8
原油換算合計(KL/年)	93.4	46.8
削減量(KL/年)	－	46.5
削減率	100.0%	49.9%
ガス13ACO_2削減量(t-CO_2/年)	148.2	－
電気CO_2削減量(t-CO_2/年)	18.8	57.9
CO2削減量(t-CO_2/年)	－	109.1
削減率	100.0%	65.3%
ガス13Aランニングコスト(千円)	8,757	－
電気ランニングコスト(千円)	1,539	4,736
ランニングコスト差(千円)	－	5,561
投資額(千円) ※1,2,3	65,000	80,000
投資額差(千円)	－	15,000
回収年数	－	2.7

原油換算係数

電力	0.257	kL/1000kW
都市ガス13A	1.16	kL/1000Nm3

CO_2排出係数※4

電気CO_2排出係数	0.318	kgco_2/kwh
ガスCO_2排出係数	2.2	kgco_2/Nm^3

従量単価※5

電気	26	円/kwh
都市ガス13A	130	円/Nm^3

※1：本システムの投資額は全体工事費用の1/2補助金を受領した額である。
※2：AHUとダクト工事の費用は含まれてない。
※3：本システム新設なので、従来システムは想定値である。
※4：CO2排出係数は応募要領で示した値を使用している。（電力会社：関西電力）
※5：従量単価は所内レートを使用している

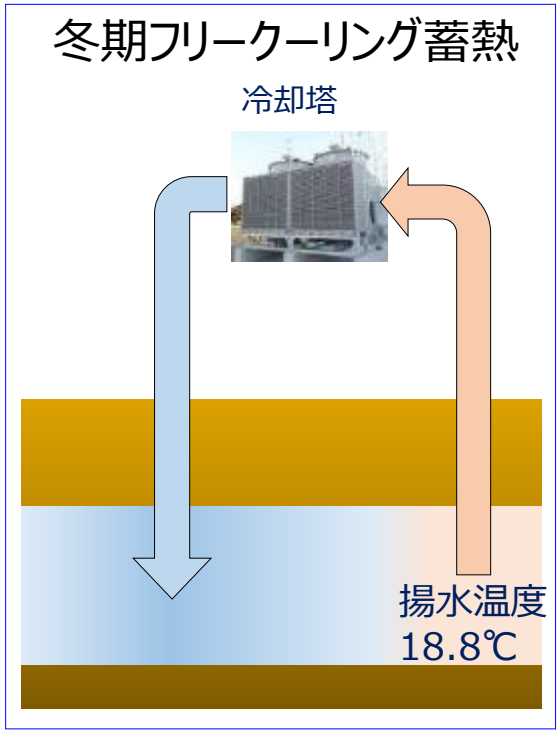
2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

B.万博会場を対象とした人工排熱低減のFS

大阪万博は2025年4月13日から10月13日に開催されるため、万博施設空調の画期的な省エネルギー対策と敷地屋外の暑熱対策が望まれる。そのため、地中の大規模な蓄熱機能を活用して、2024年12月から2025年3月までの冬期*に、低温外気により地中の帯水層を冷やしておき、開催期間における①万博地域熱供給設備用熱源として活用する。なお、熱源水として活用した後で、屋外空間のクールスポットを実現するための冷熱源としてとして活用することも可能である。

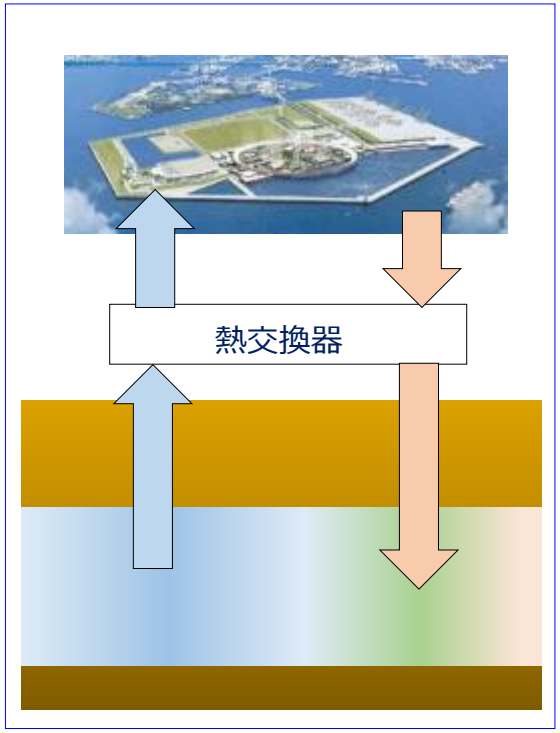
舞洲の地層データにより、2つの帯水層個々に冬期冷却し、万博開催中に活用する場合の揚水温度シミュレーション結果と人工排熱低減効果を示す。

低外気温時，冷却塔を使って冷水を蓄える



2024年12月から2025年３月

逆方向に揚水・還水し、万博施設で利用



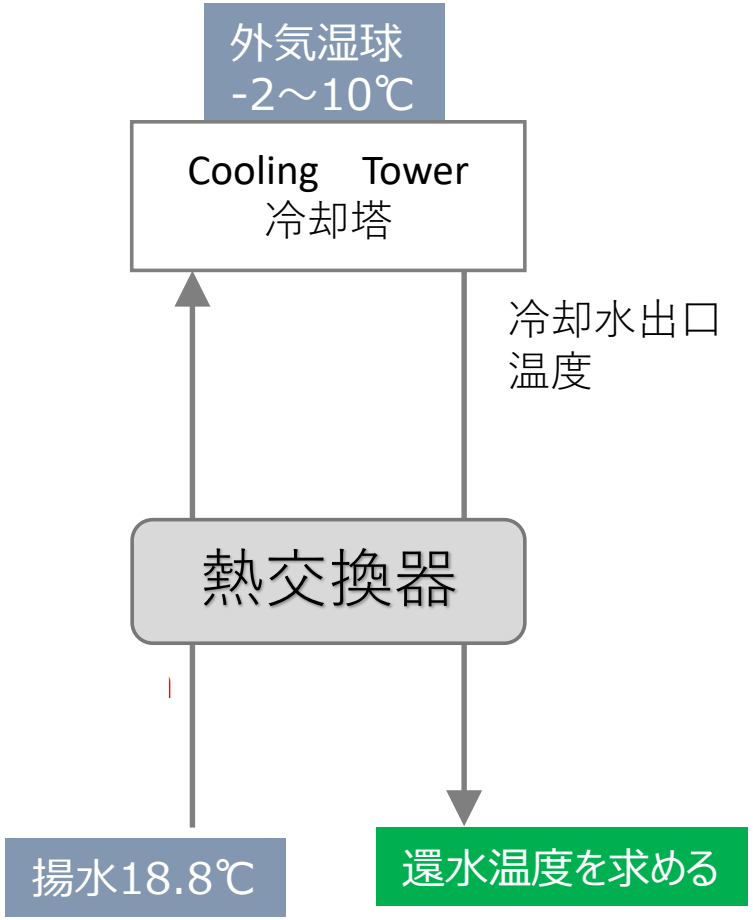
2025年4月13日から2025年10月13日

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

シミュレーション条件

(1) 初期地中温度18.8℃とする。
(2) 密閉式冷却塔と開放式冷却塔の二ケースを想定する。
　熱交換器の有る場合と無い場合を検討。
(3)冷却塔流量は100m^3/h、井戸揚水量は100m^3/hと50m^3/h
(4)外気湿球温度は大阪標準年気象データ（１２月１日から３月３１日）
　日本建築学会編,拡張アメダス気象データ,2000年1月
(5)冷却塔の運転制御
　冷却塔を運転する外気湿球温度条件をパラメータとする。
(6)帯水層：舞洲の地層
　帯水層はDg2とDg3を対象とする。
(7)井戸間隔は２００ｍ
(8)揚水日数は4月13日から10月13日まで

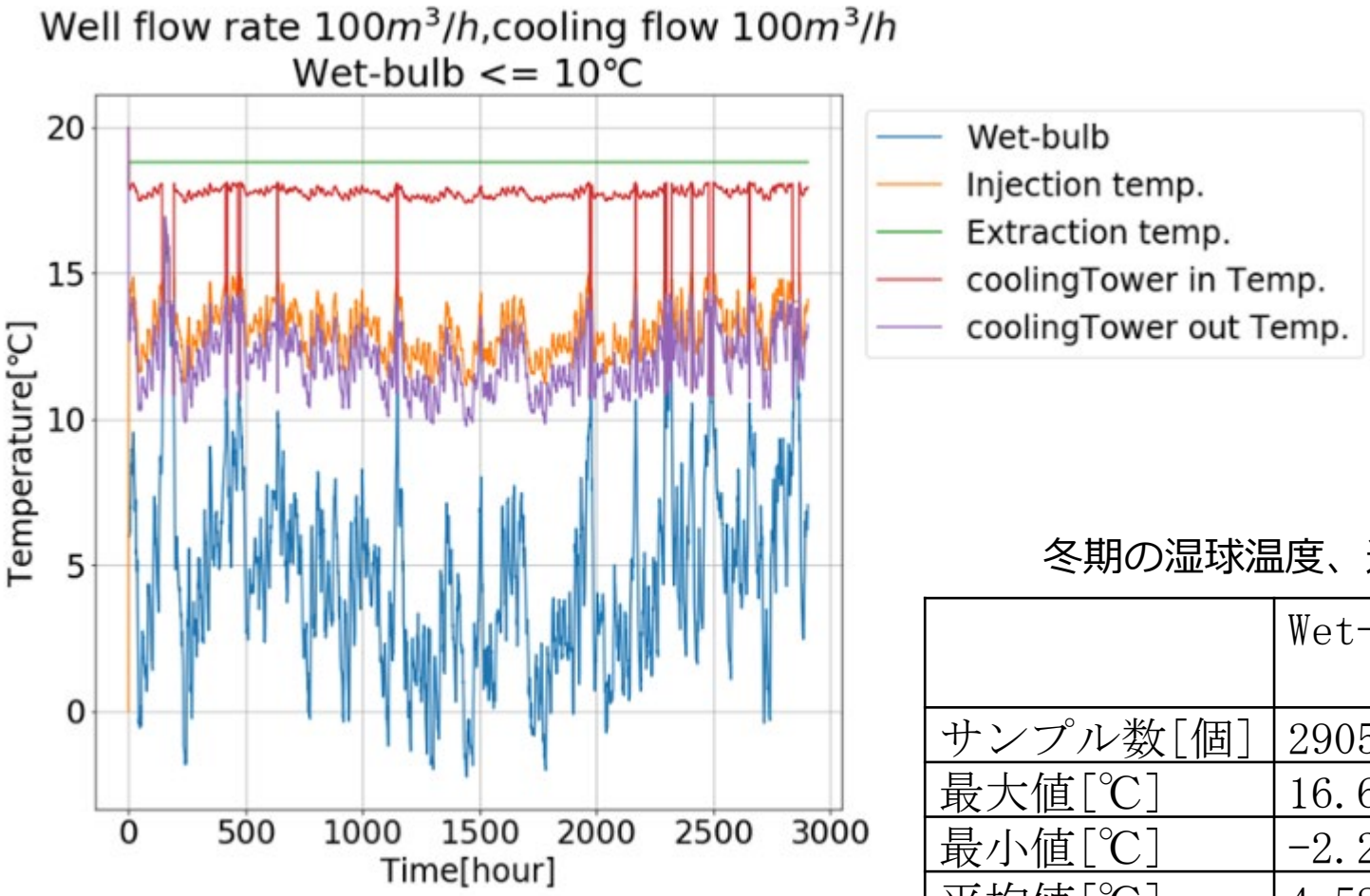
冷却水流量	m^3/h	100
揚水流量		100
冷却塔運転条件：外気湿球温度	10℃以下	



開放式冷却塔

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

冬期フリークーリングによる低温井戸への還水温度（シミュレーション結果）



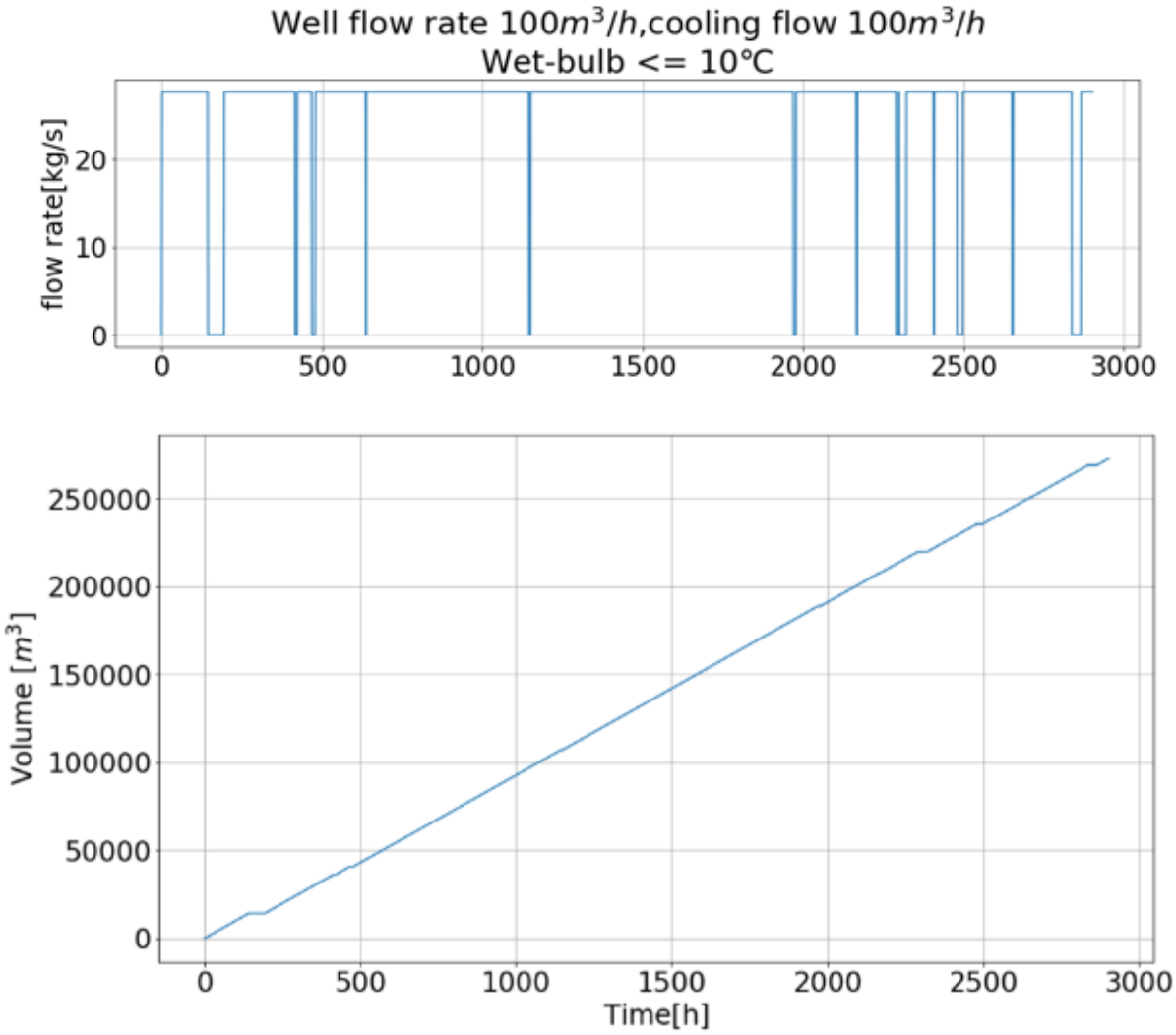
冬期の湿球温度、揚水温度、還水温度、冷却塔入口温度、出口温度の時系列グラフ

冬期の湿球温度、還水温度

	Wet-bulb	Injection temp
サンプル数[個]	2905	2763
最大値[℃]	16.6	15.1
最小値[℃]	-2.24	11.2
平均値[℃]	4.58	13.1
標準偏差[℃]	3.24	0.870

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

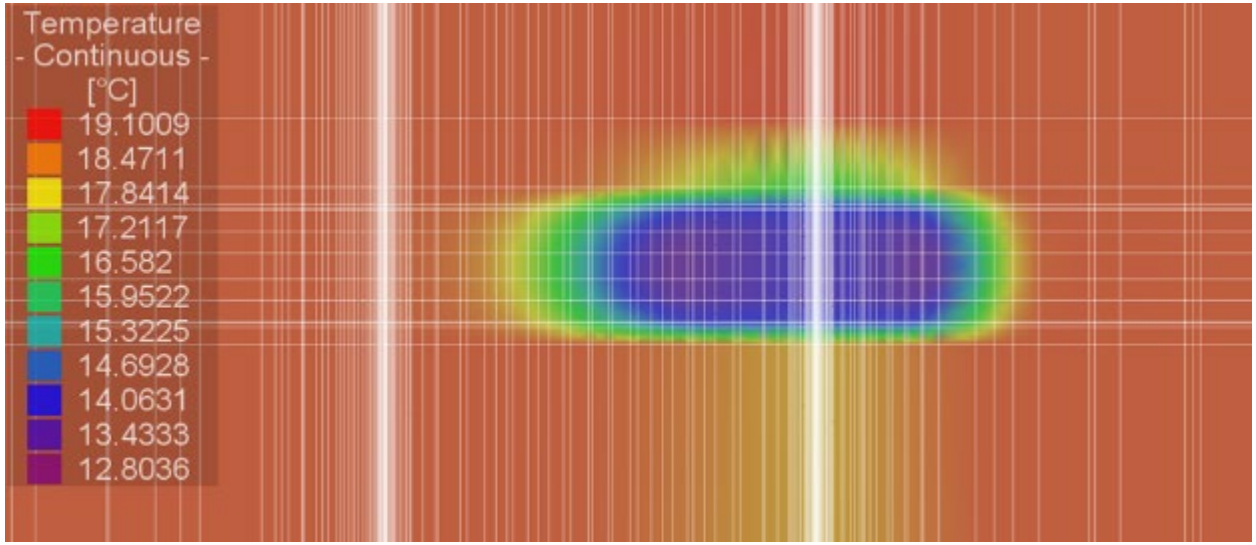
流量と還水体積（シミュレーション結果）



冬期の井戸ポンプ流量、還水体積の時系列グラフ

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

還水終了時の地中断面温度分布（シミュレーション結果）



還水終了時の地中断面温度分布

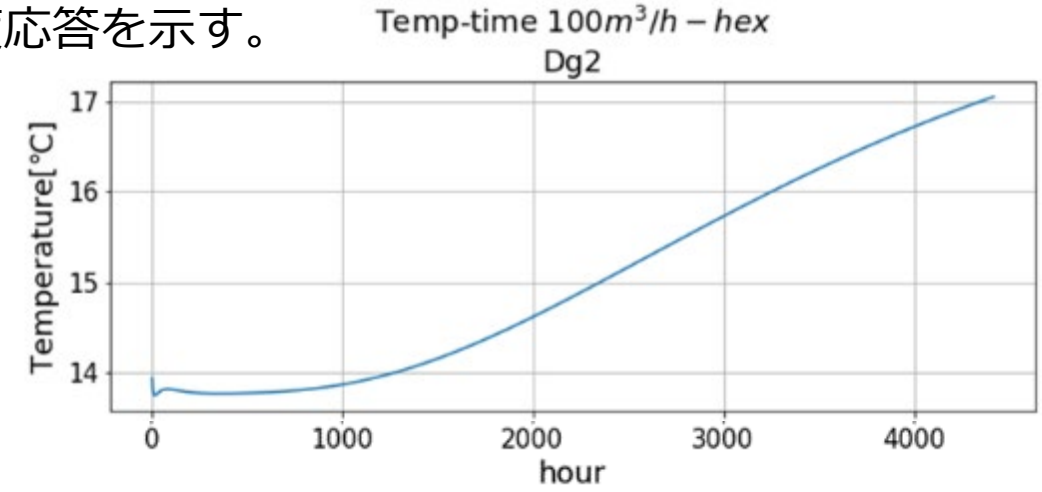
還水体積：273,270　m^3
還流半径：167　m
蓄熱半径：100　m
平均還水温度：13.1　℃

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.

揚水温度と排熱低減効果（シミュレーション結果）

（１）低温井戸の揚水温度

右図に一定流量条件での揚水温度応答を示す。平均揚水温度は15.0℃である。



縦軸；揚水温度、横軸：時間
冷房期間の揚水温度応答

（２）人工排熱低減効果

低温井戸揚水時の高温井戸還水温度を22.6℃とすると、揚水体積273,270　m^3であるので、帯水層へ排出する熱は8668GJとなる。

計算根拠：

- 還水体積：273,270　m^3
- 低温井戸の平均揚水温度：15.0　℃
- 高温井戸への還水温度：22.6　℃
- 帯水層が得た排熱＝
  4.182[kJ/K]×273270[m^3]×998[kg/m^3]×7.6[K]=8668GJ

2022 Osaka Metropolitan University. All Rights Reserved.