

管路内設置型熱回収技術を用いた 下水熱利用

平成26年7月23日

積水化学・大阪市・東亜グラウト 共同研究体

技術導入ガイドライン目次

本編

第1章 総則

第1節 目的

第2節 ガイドラインの適用範囲

第3節 ガイドラインの構成

第4節 用語の定義

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要

第2節 実証研究に基づく技術の評価

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

第2節 導入効果の検討例

第4章 計画・設計

第1節 計画・設計の手順

第2節 現地調査・施設計画

第3節 基本システム設計

第5章 維持管理

第1節 システムの管理

資料編

I. 導入検討(FS)の詳細

1. 空調の場合(東京)

2. 給湯の場合(東京)

II. 実証研究結果

1. 年間運転結果

2. 気象条件の運転への影響

3. 付着・汚れの運転への影響

4. 下水熱利用による下水温度への影響

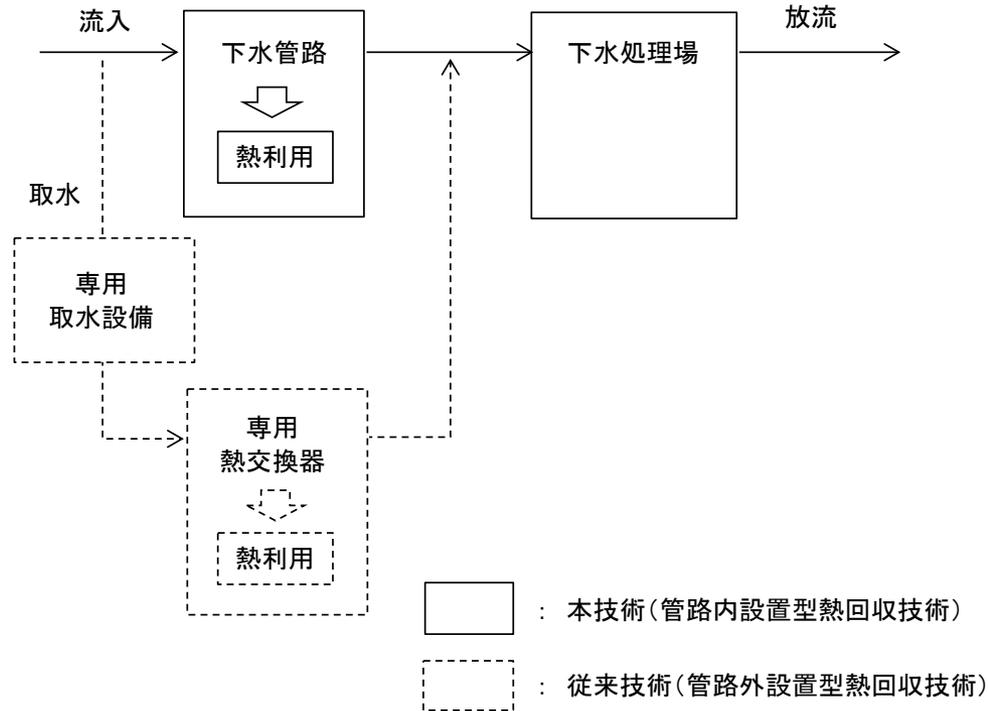
5. 平均システムCOP(SCOP)の設定

6. 粗度係数

III. 問い合わせ先

第2章 技術の概要と評価

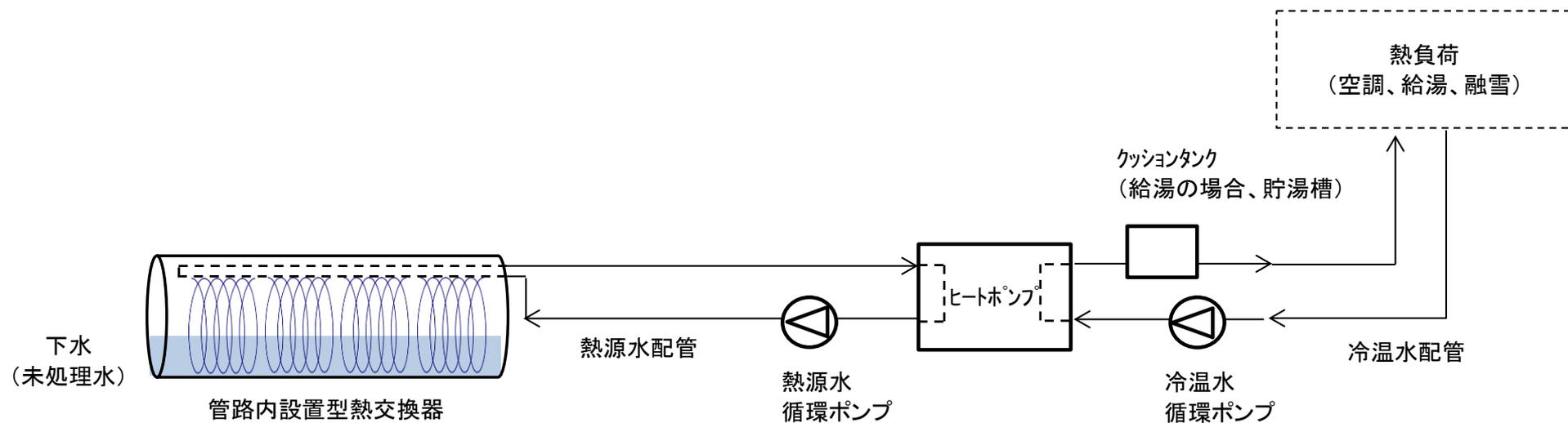
技術の目的(§ 5)



従来技術: **下水管路外**に取水し, 管路外で熱交換
本技術: **下水管路内**に更生工事と同時に熱交換器を設置し, 管路内で熱交換

- 熱需要家にとっては, 従来の熱利用技術と比較して**コスト削減**や**エネルギー消費量削減**
下水道管理者にとっては, **温室効果ガス排出量削減**や**地域環境貢献** が図れる。

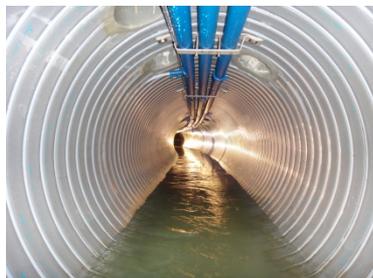
技術の概要①(§ 6)



採熱設備

熱源設備

熱負荷設備



管路内設置型熱交換器



熱源水配管



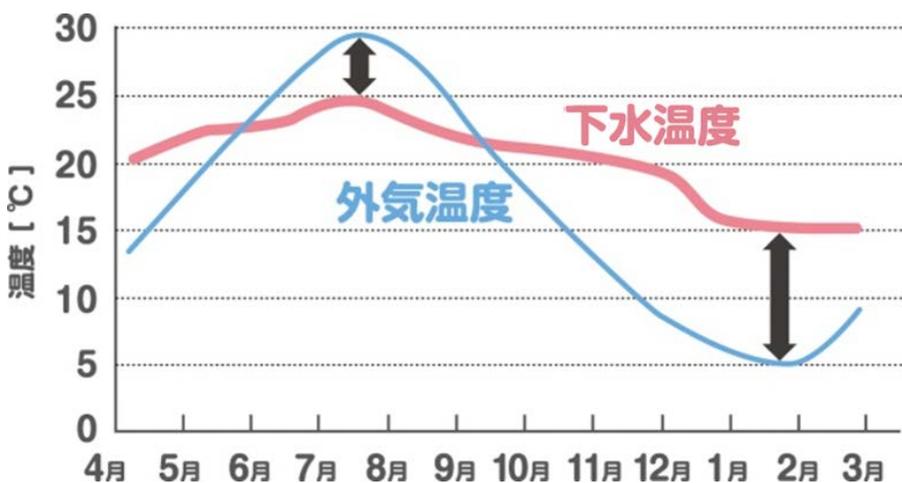
ヒートポンプ



熱負荷(利用先施設)

・採熱設備, 熱源設備, 熱負荷設備から構成。(熱負荷設備設計は本GL対象外)

技術の概要②(§ 6)

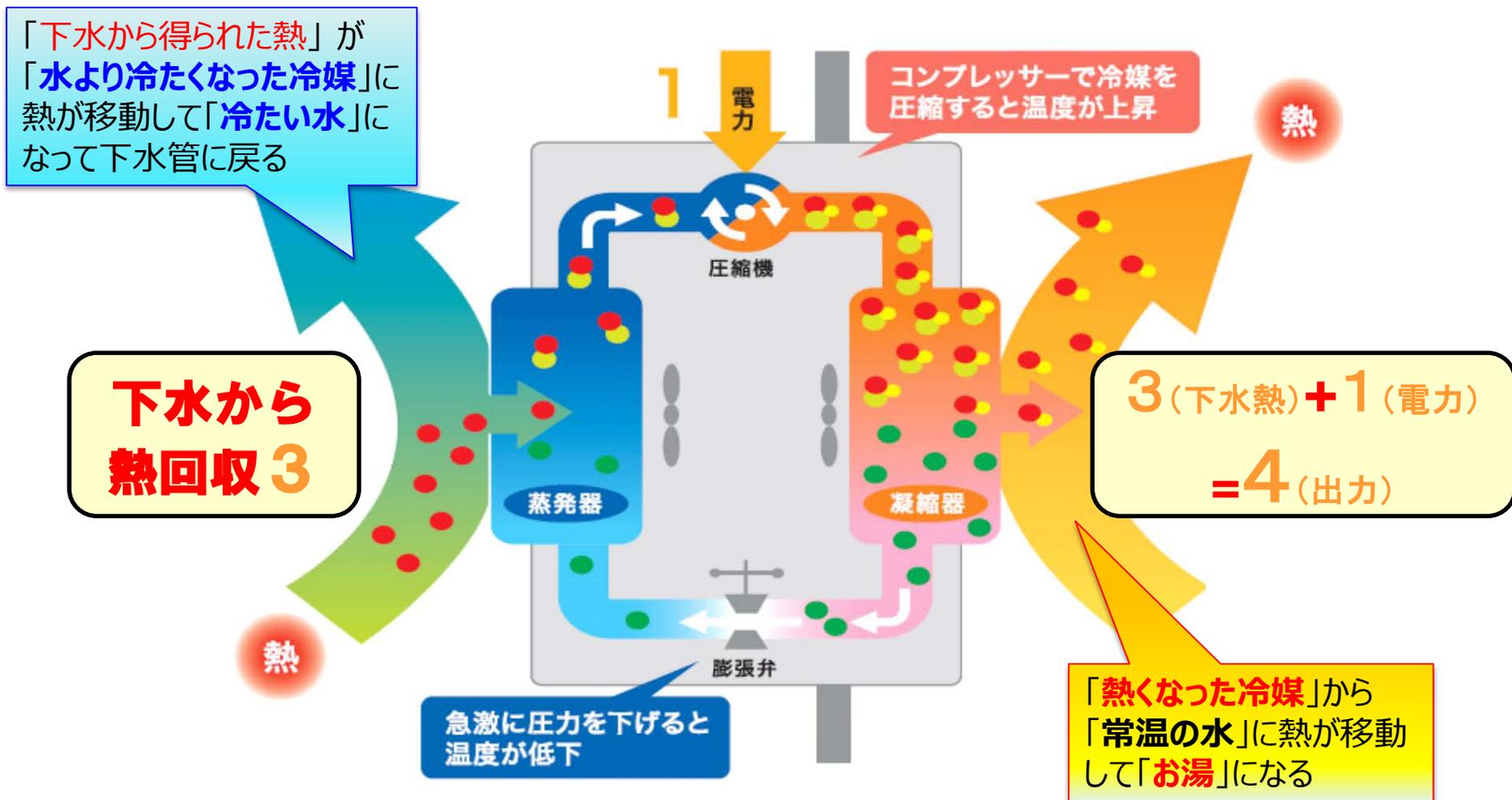


(例) 東京都の下水温度, 外気温度



- ・下水は冬季暖かく, 夏季冷たく, **年間を通して安定**。
- ・下水を熱源に用いることで, ヒートポンプが**高効率**で運転可能。

技術の概要③(§ 6)

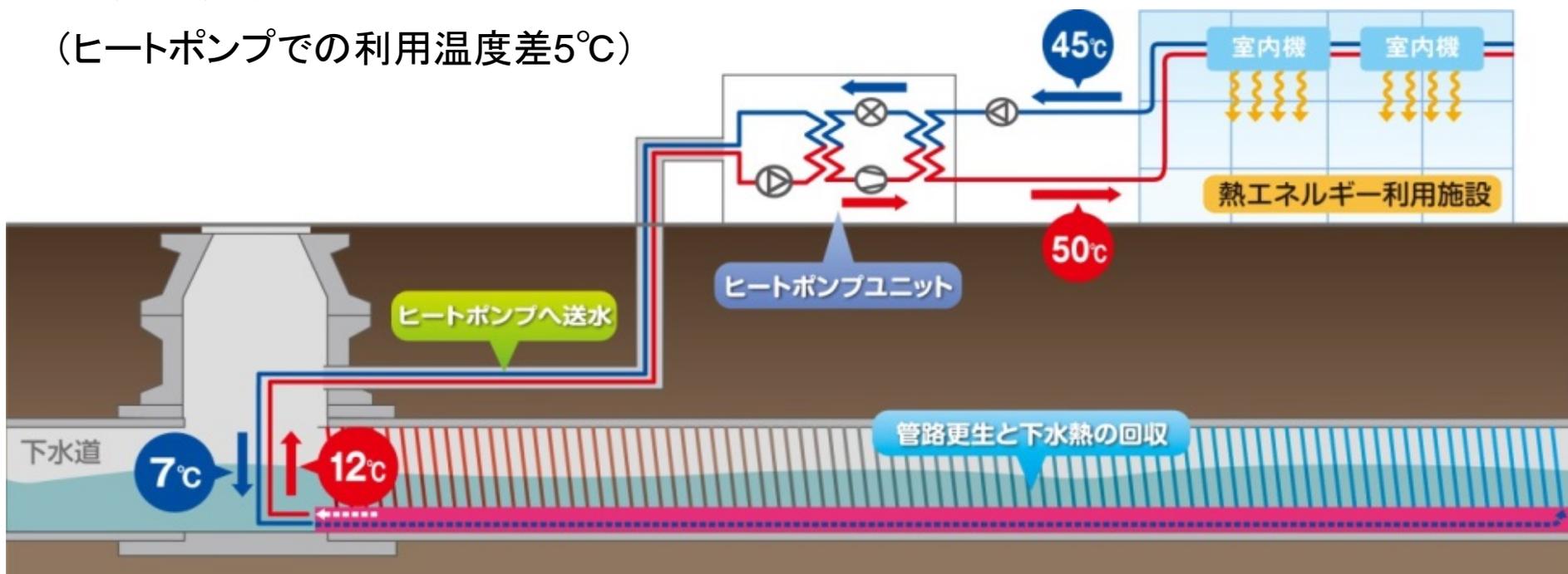


(出典: 一般財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センター)

技術の概要④(§ 6)

※温度は暖房時の例

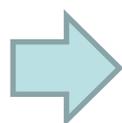
(ヒートポンプでの利用温度差5°C)



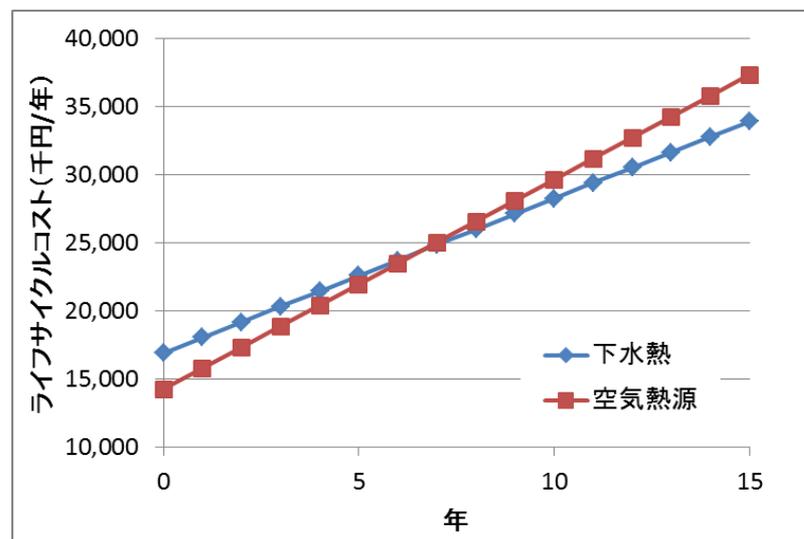
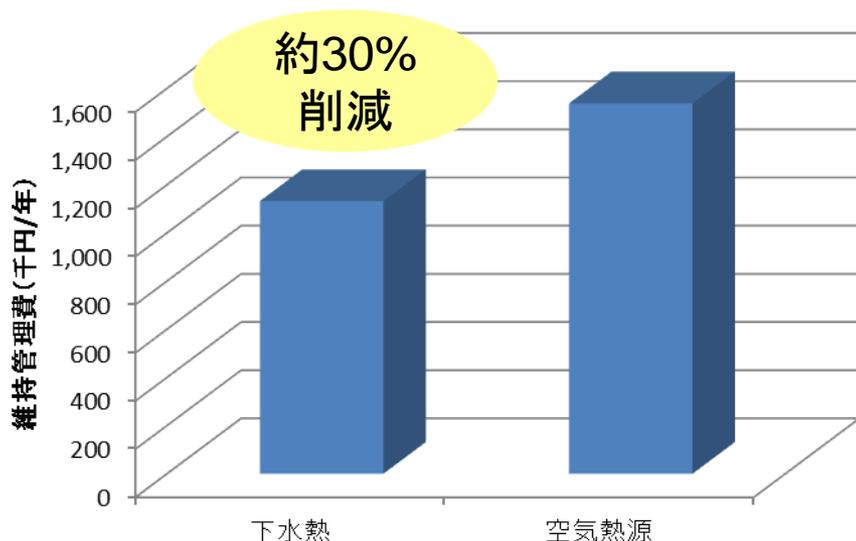
- ・熱源水(ブラインや水)が管路内で下水と螺旋状に熱交換し、温度上昇(7→12°C)
- ・ヒートポンプが、熱源水(12°C)から熱を回収し、さらに少量の電力を用いることで温水(50°C)をつくり、利用側へ供給。

技術の特徴①(§ 7)

- (1) 建設費, 維持管理費の縮減が可能である。
- (2) エネルギー消費量削減, 温室効果ガス排出量削減が可能である。

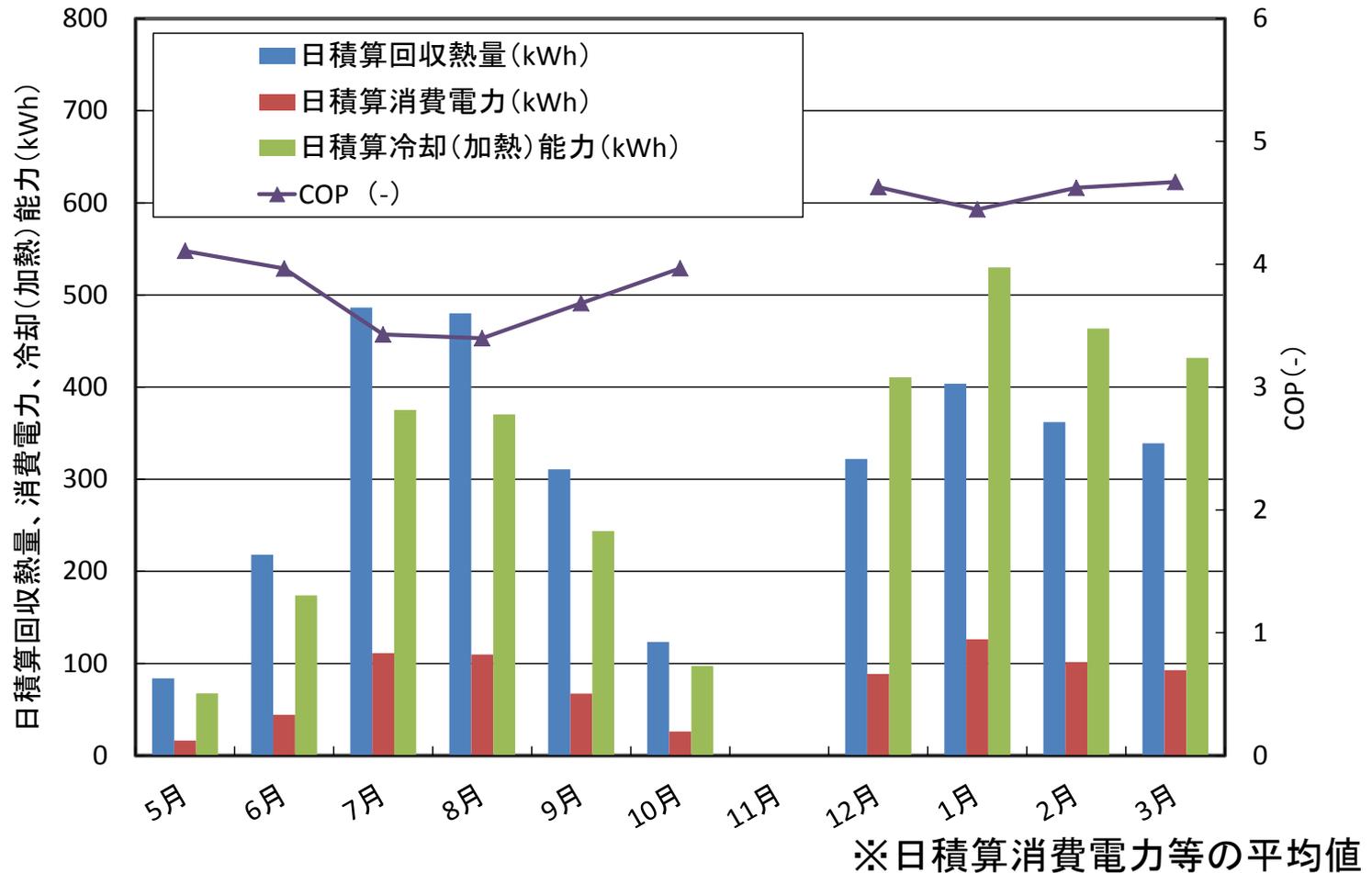


- ・管路更生とあわせて**低コスト**で熱交換器を敷設。
- ・従来技術(空気熱源等)に比べ, **エネルギー消費量, 維持管理費, ライフサイクルコスト**を縮減。



実証試験結果を基にしたFS結果(東京, 100kW規模空調)

(参考) 実証研究結果



- ・年間を通して、平均4以上のヒートポンプCOPを確認。

技術の特徴②(§ 7)

(3) 都市部に面的に布設された下水管路を利用するため、広域に導入が可能である。

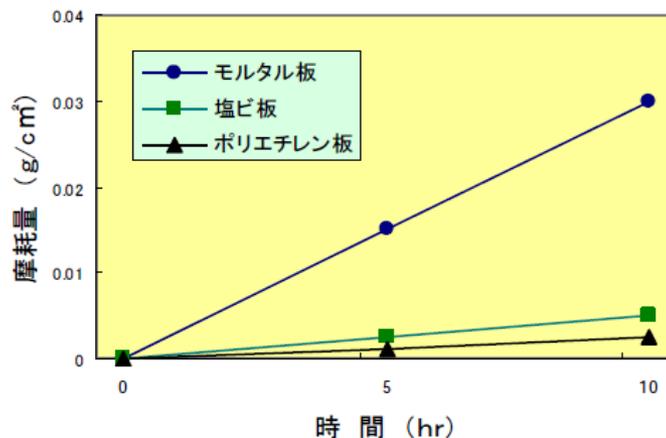


採熱設備の特徴①(§ 8)

(1) 未処理水と熱回収管が直接接触れる構造による効率的な熱回収を実現



(2) 摩耗性や耐薬品性に優れている (熱回収管:ポリエチレン製)

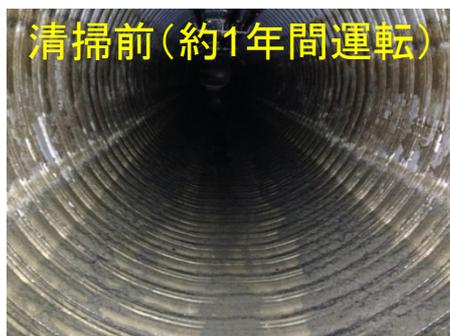


ドラム式摩耗試験による比較

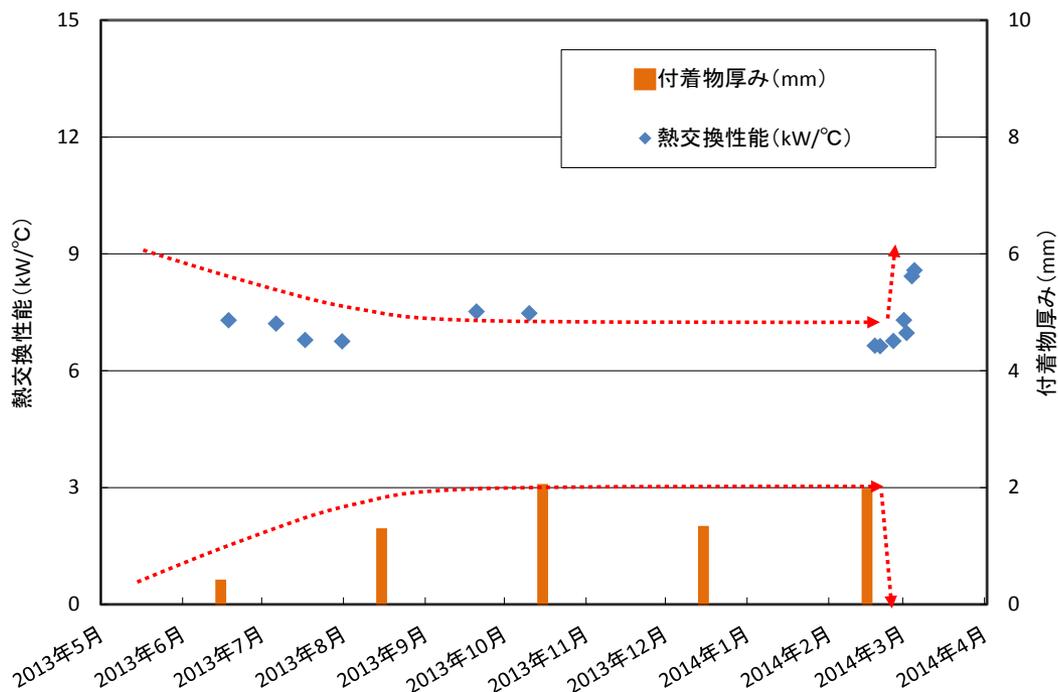
(出典: 下水道用ポリエチレン管技術資料 改訂4版(下水道用ポリエチレン管・継手協会))

採熱設備の特徴②(§ 8)

(3) 汚れ・付着による熱交換性能への影響, 流下性能への影響が小さい



管路内清掃により
熱交換性能約13%向上



実証管路における熱交換性能の経時変化
(2013年5月~2014年3月)

(4) ユニット構造による任意の延長への適用性と均一な熱交換

技術の適用条件（§9）

排除方式：合流，分流

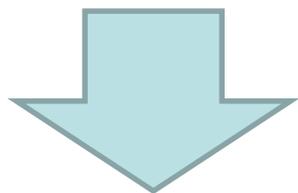
既設管径：Φ1,000～2,200mm

	条件		期待される効果
	下水道の整備が進んでおり，下水管路と熱需要地が 近接		従来の管路外設置型熱回収技術に対し導入可能エリアの拡大および熱輸送ロスの低減
採熱側	下水温度	空調の場合 冬季： 高い ほど効果が大 夏季： 低い ほど効果が大 給湯，融雪の場合 高い ほど効果が大	エネルギーコストの低減（省エネ効果） 建設費の低減（設置延長低減）
	下水水深	大きい ほど効果が大 ※但し，施工上の制約あり	
	下水流速	速い ほど効果が大 ※但し，施工上の制約あり	
需要側	年間を通してのシステム稼働率が 高い （稼働時間が長い）		ライフサイクルコスト回収年短縮

導入シナリオ例(§ 10)

採熱側・需要側に求められる条件

- ・下水管路の耐震化対策あるいは老朽化対策の必要性が高い
- ・熱回収が可能な下水条件(下水温度, 水深, 流速)
- ・下水管路の周辺地域において, まとまった熱需要が見込まれる(再開発等)



耐震化対策あるいは老朽化対策とあわせて技術導入

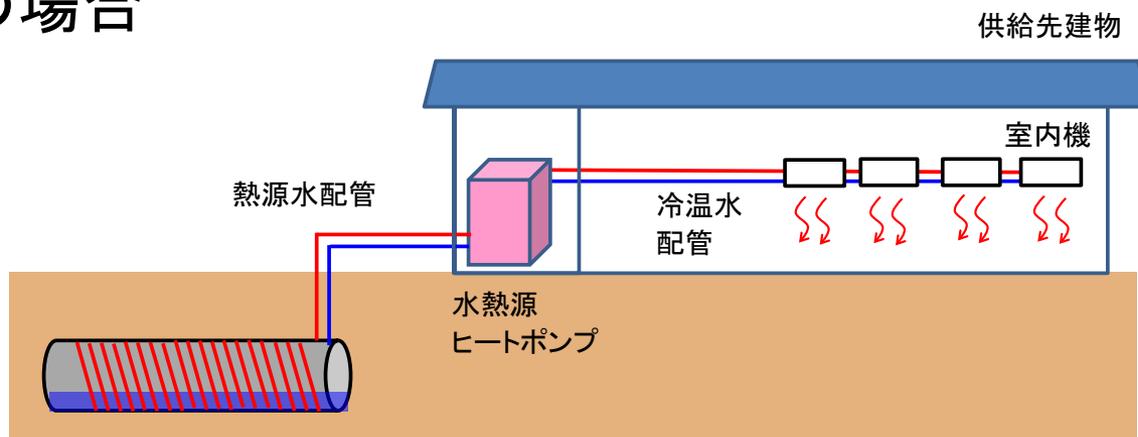
導入効果(例)

(空気熱源方式やボイラー方式等の従来技術に比べ)
維持管理費, エネルギー消費量およびCO₂排出量削減

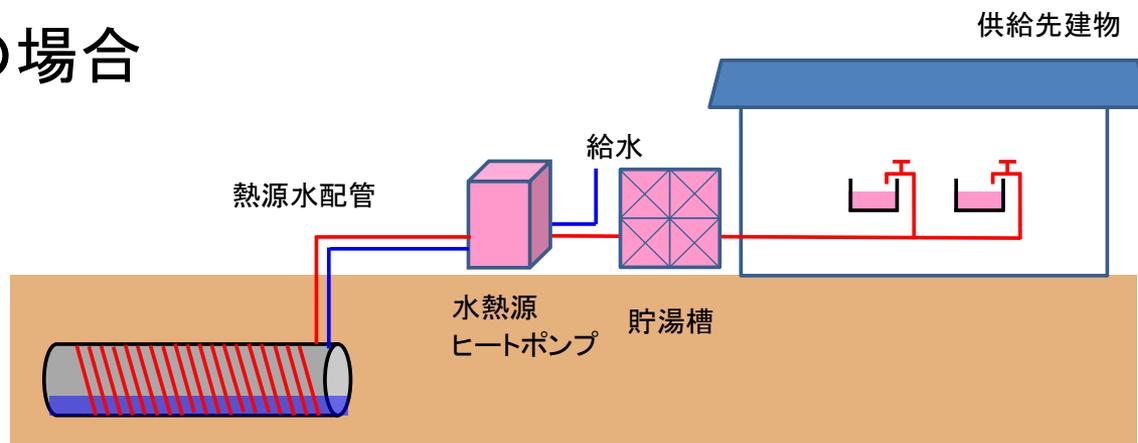
技術の評価結果①(§ 12)

評価のモデル

空調利用の場合



給湯利用の場合



技術の評価結果②(§ 12)

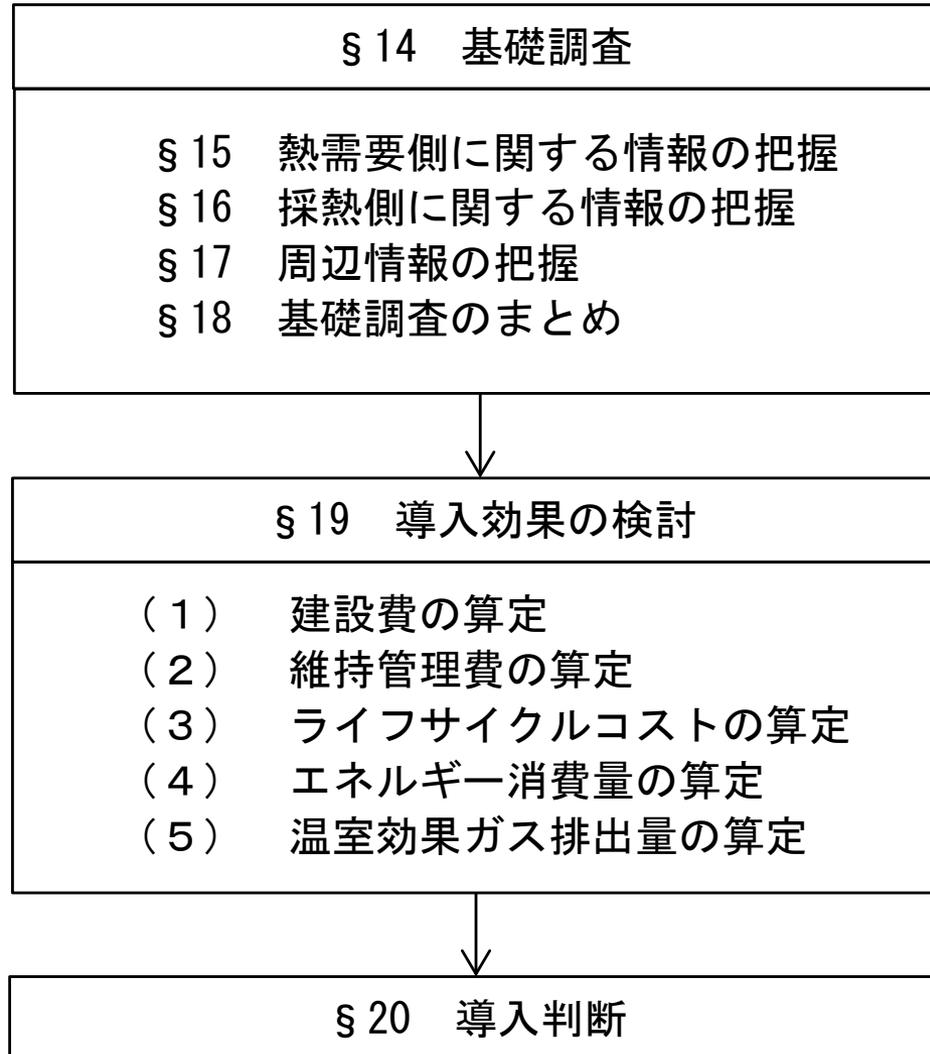
利用規模1kWあたりの評価結果

	空調		給湯	
	100kW規模	500kW規模	100kW規模	500kW規模
ライフサイクルコスト (千円/kW・年)	25.2	24.1	49.5	45.5
建設費 (千円/kW・年)	12.6	12.2	18.9	16.2
維持管理費 (千円/kW・年)	11.3	10.6	29.4	27.7
解体・廃棄費 (千円/kW・年)	1.26	1.22	1.89	1.62
エネルギー消費量 (kWh/kW・年)	787.4	730.5	2,333.1	2,197.5
温室効果ガス排出量 (ton-CO ₂ /kW・年)	0.54	0.50	1.60	1.51

- ・利用規模の増加により、利用規模あたりのコスト低減がわずかに確認されるが、大きな差異はない。

第3章 導入検討

導入検討手順(§ 13)



基礎調査(§ 14)

		基礎調査で把握する情報	導入検討での利用用途
§ 15	熱需要側	最大熱負荷	・必要回収熱量, 熱交換器設置延長および建設費の概算(§ 16, 19)
		年間熱負荷	・年間熱負荷を地域毎の成績係数(SCOP)で除することでエネルギー消費量を概算(§ 19)
		ヒートポンプ容量 および設置スペース	・設置場所の仮設定 ・施工可否検討
§ 16	採熱側	下水流量, 温度	・適用が効果的であるかの確認(§ 9)
		下水管路状況	・適用条件を満足することの確認(§ 9)
		設置延長(概算)	・採熱設備規模の仮設定
§ 17	周辺	熱源水配管ルート	・熱源水配管設置場所の仮設定 ・施工可否検討
		関連法令・計画との 整合性	・導入にむけた合意形成

熱需要側に関する情報の把握(§ 15)

最大熱負荷

$$Q_m = q_m \times A \times \alpha$$

ここで,

- Q_m : 最大熱負荷 (W)
- q_m : 最大熱負荷原単位 (W/m²)
- A : 延床面積 (m²)
- α : 最大熱負荷地域補正係数 (—)

年間熱負荷

$$Q_y = q_y \times A \times \alpha$$

ここで,

- Q_y : 年間熱負荷 (kWh/年)
- q_y : 年間熱負荷原単位 (kWh/m²年)
- A : 延床面積 (m²)
- α : 年間熱負荷地域補正係数 (—)

- ・ **原単位**を用いた熱負荷(最大, 年間)の**概算**

採熱側に関する情報の把握①(§ 16)

- (1) 下水流量
- (2) 下水温度
- (3) 下水管路状況
- (4) 設置延長(概算)

(1) 下水流量 → 推計

- 1) 採熱地点における既存の流量計測データの活用
- 2) 既存の流量データに基づく流量推計

(2) 下水温度 → 推計

- 1) ポンプ場における揚水等, 採熱地点もしくはその近傍における下水温度データの活用
- 2) 下水温度データがない場合には, 対象エリアが属する処理区内の処理場への流入水温度の活用

採熱側に関する情報の把握②(§ 16)

(3) 下水管路状況

	項目	備考
1	排除方式	下水流量, 温度データ § 16(1), (2)参照
2	下水管径・管種	適用条件(§ 9)参照
3	布設後年数	更生工事の判断
4	管路近傍の人孔 サイズ, 深さ	施工可否の判断
5	関連計画(下水道設備耐震化 計画, 下水道長寿命化計画等)	老朽化対策や耐震化対策の必要性の判断

採熱側に関する情報の把握③(§ 16)

(4) 設置延長(概算)

(例) 暖房負荷, 給湯負荷を基に設計する場合

$$Q_r = Q_m \times (COP - 1) / COP \dots\dots\dots$$

Q_r : 必要回収熱量 (kW)

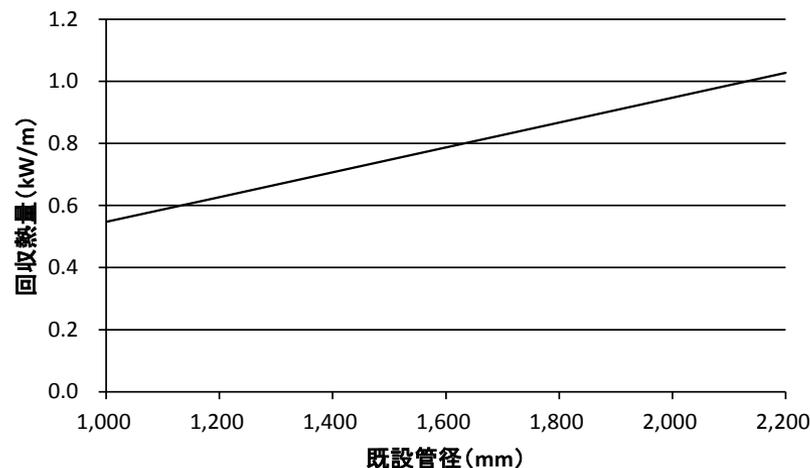
Q_m : 最大熱負荷 (kW)

COP : 仮設定するヒートポンプ COP (-)

$$L = Q_r / q_r$$

L : 設置延長 (m)

q_r : 単位設置延長あたりの回収熱量の概算値 (kW/m)

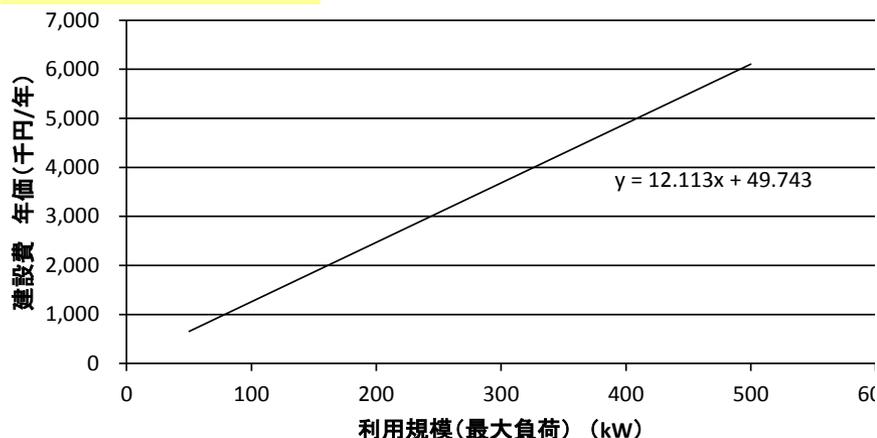


導入効果の検討①(§ 19)

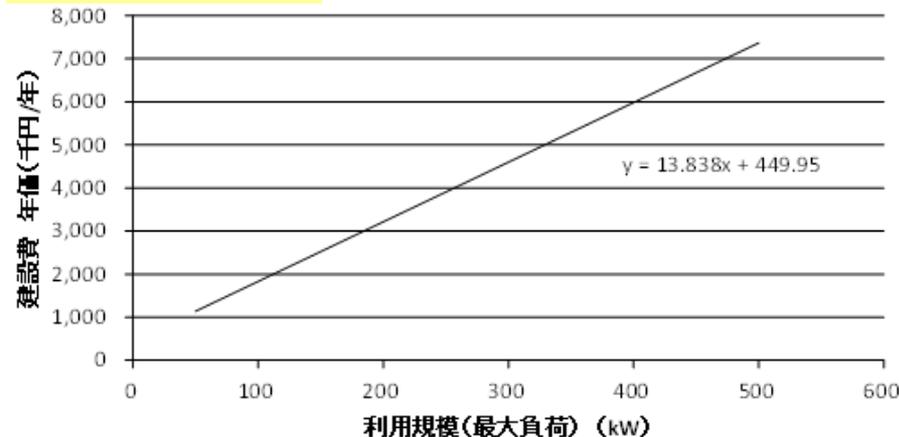
(1) 建設費

- ・利用規模毎(100kW, 500kW)での試算から導出。
- ・**管路更生のコストは含まない。**

1) 空調の場合



2) 給湯の場合



設備	機器	耐用年数
採熱設備	管路内設置型熱交換器	50年
	熱源水配管	
熱源設備	ヒートポンプ	15年
	熱源水循環ポンプ	

設備	機器	耐用年数
採熱設備	管路内設置型熱交換器	50年
	熱源水配管	
熱源設備	ヒートポンプ	15年
	熱源水循環ポンプ	
	貯湯槽	

導入効果の検討②(§ 19)

(2) 維持管理費, ライフサイクルコスト エネルギー消費量, 温室効果ガス排出量

項目		算定方法
維持管理費	エネルギーコスト	<u>空調の場合</u> {年間暖房負荷(kWh/年) ÷ 暖房期間平均SCOP(-) + 年間冷房負荷(kWh/年) ÷ 冷房期間平均SCOP(-)} × エネルギー単価(円/kWh)
		<u>給湯の場合</u> 年間給湯負荷(kWh/年) ÷ 年間平均期間SCOP(-) × 換算係数(例: m ³ N/kWh) × エネルギー単価(円/m ³ N)
	保守点検費	対象設備(ヒートポンプ等)の建設費の2%を計上
ライフサイクルコスト	建設費	前述の通り
	維持管理費	前述の通り
	解体・廃棄費	建設費の10%を計上
エネルギー消費量		エネルギーコストの算定方法に同じ(エネルギー単価除く)
温室効果ガス排出量		エネルギー消費量(kWh/年) × 温室効果ガス排出係数(ton-CO ₂ /kWh)

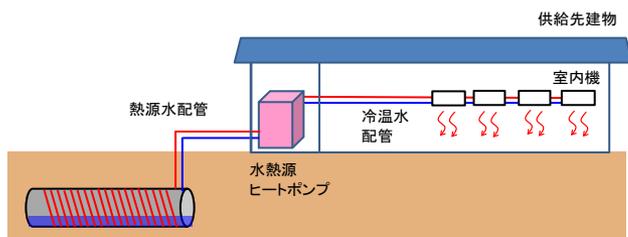
試算条件①(§ 21)

項目		ケースNo.1	ケースNo.2	
地域		東京	東京	
利用用途		空調	給湯	
下水水深		15%	15%	
下水流速		0.4m/s	0.4m/s	
温度差		5°C	5°C	
利用規模(最大熱負荷)		100kW	100kW	
耐用年数	革新的技術	採熱設備 (管路内設置型熱交換器, 熱源水配管)	50年	50年
		熱源設備 (ヒートポンプ, 熱源水循環ポンプ, 貯湯槽等)	15年	15年
	従来技術	空気熱源ヒートポンプ	15年	—
		管路外設置型設備 (専用熱交換器, 下水配管, ヒートポンプ, 熱源水循環ポンプ等)	15年	—
		ボイラー	—	15年

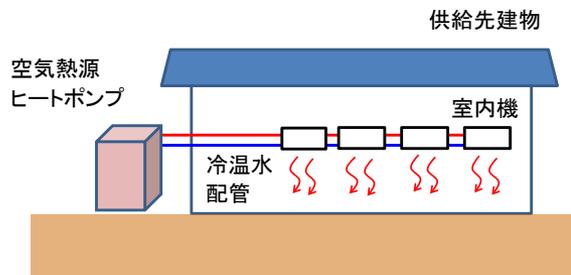
試算条件②(§ 21)

空調の場合(ケースNo.1)

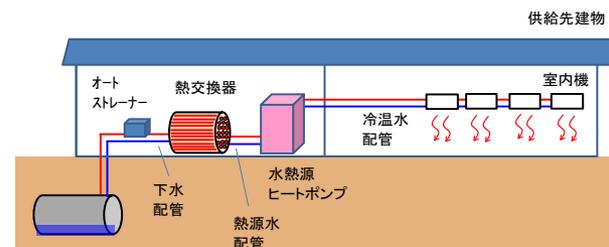
管路内設置方式



空気熱源方式

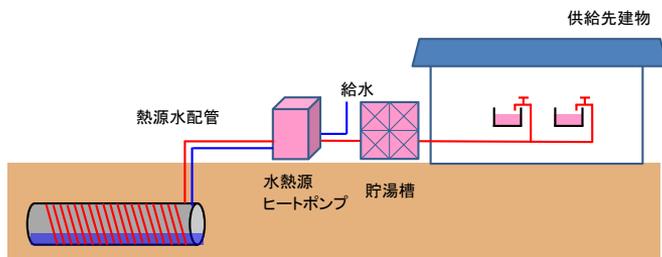


管路外設置方式

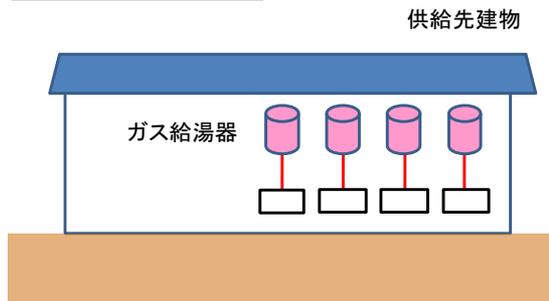


給湯の場合(ケースNo.2)

管路内設置方式



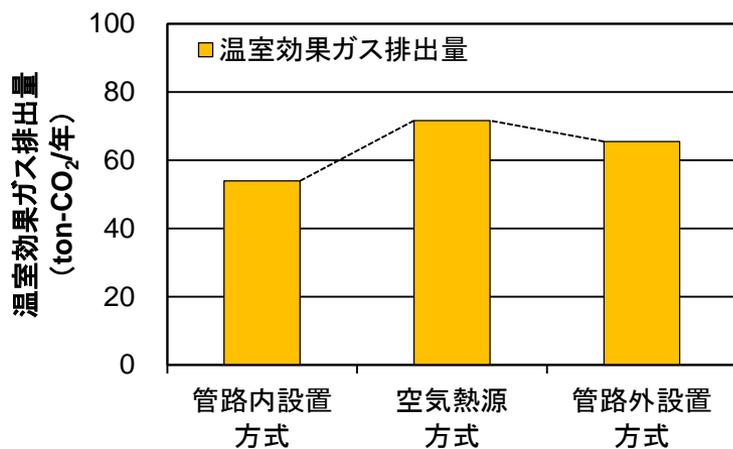
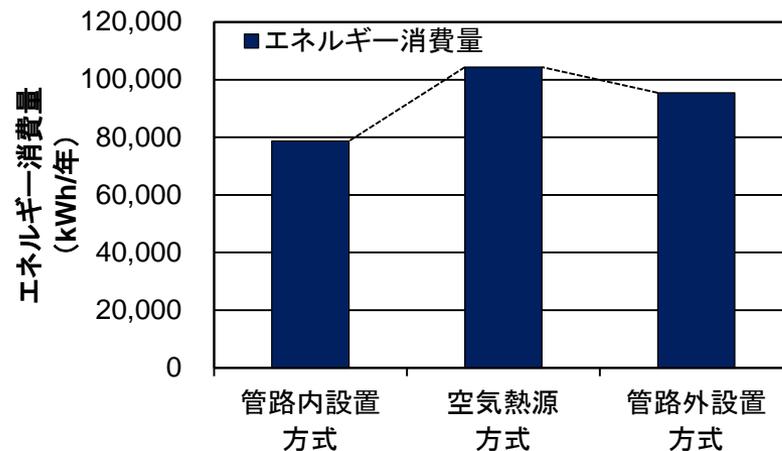
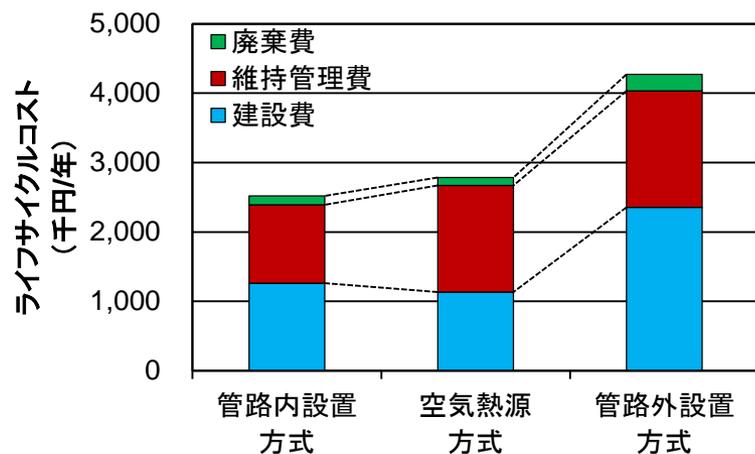
ボイラー方式



導入効果の検討結果①(§ 22)

	空調(ケースNo.1)			給湯(ケースNo.2)	
	管路内 設置方式	空気熱源 方式	管路外 設置方式	管路内 設置方式	ボイラー 方式
ライフサイクルコスト (千円/年)	2,519	2,786	4,270	4,952	6,344
建設費 (千円/年)	1,261	1,135	2,356	1,834	477
維持管理費 (千円/年)	1,132	1,537	1,678	2,935	5,819
エネルギーコスト (千円/年)	945	1,252	1,146	2,800	5,819
保守点検費 (千円/年)	187	285	533	135	0
解体・廃棄費 (千円/年)	126	114	236	183	48
エネルギー消費量 (kWh/年)	78,739	104,345	95,462	233,305	929,403 (72,736m ³ N)
温室効果ガス排出量 (ton-CO ₂ /年)	54.0	71.6	65.5	160.0	188.6

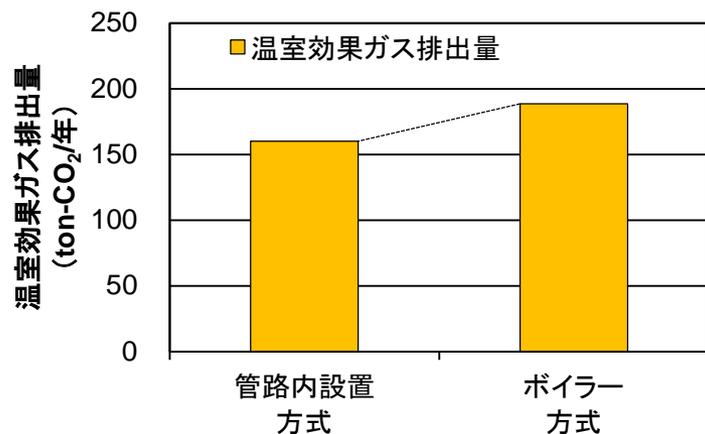
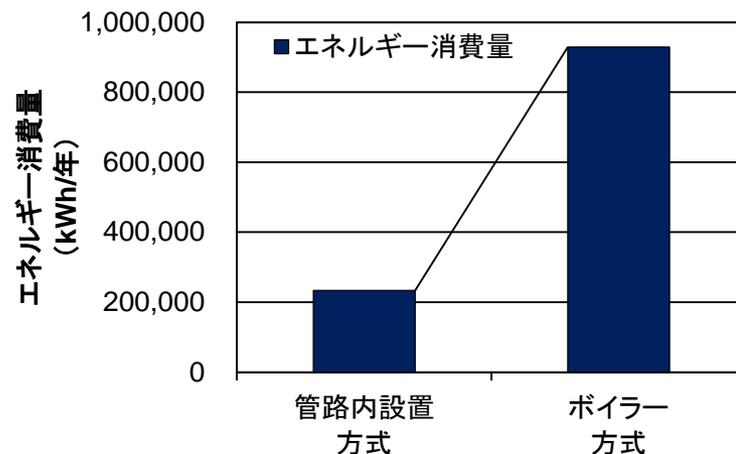
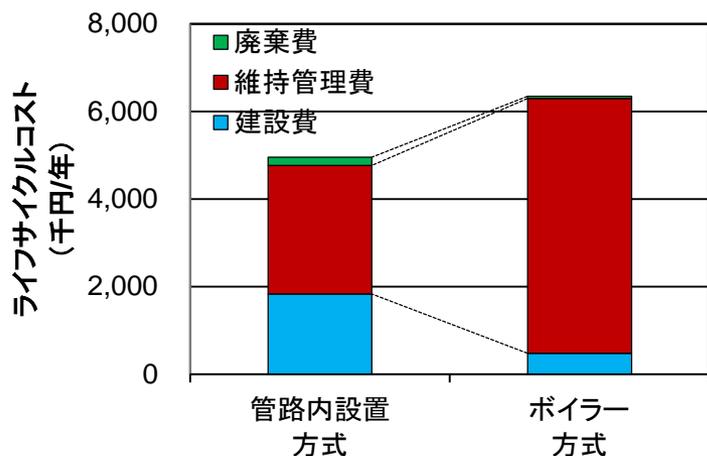
導入効果の検討結果②(§ 22)



空調(100kW規模)の場合

- ・ライフサイクルコスト縮減効果
 - ▲10%(対 空気熱源)
 - ▲41%(対 管路外)
- ・エネルギー消費量削減効果
 - ▲25%(対 空気熱源)
 - ▲18%(対 管路外)

導入効果の検討結果③(§ 22)



給湯(100kW規模)の場合

- ・ライフサイクルコスト縮減効果
▲22%(対 ボイラー)
- ・温室効果ガス排出量削減効果
▲15%(対 ボイラー)

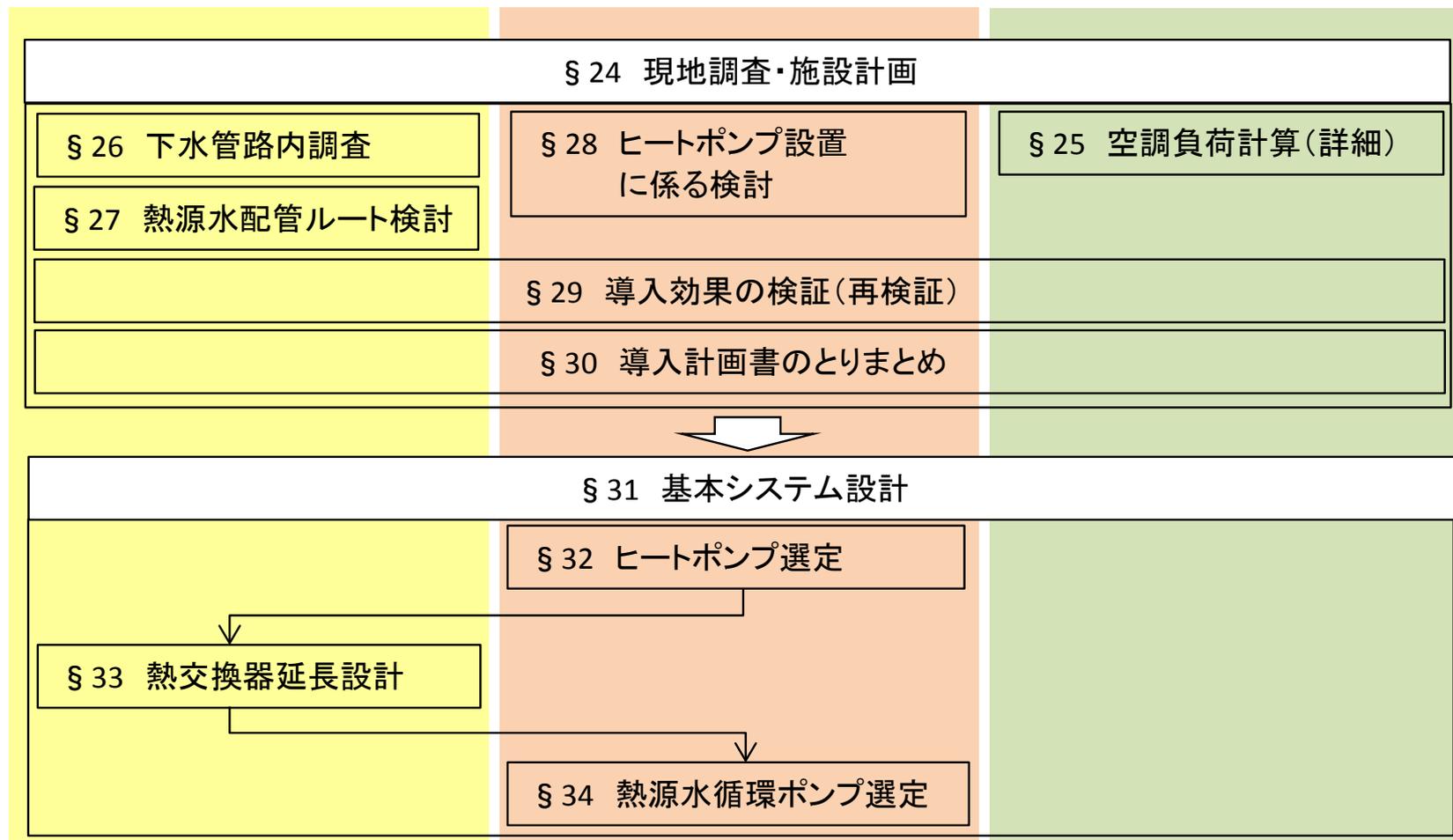
第4章 計画・設計

計画・設計手順(§ 23)

採熱設備

熱源設備

熱負荷設備



実施設計へ

現地調査・施設計画（ § 24）

	現地調査項目, 内容		基本システム設計での利用用途
§ 25	詳細な空調 負荷計算	最大熱負荷	・ヒートポンプ選定（ § 32）
		年間熱負荷	・FSの精度向上による効果再確認（ § 29）
§ 26	下水管路内 調査	下水温度	・熱交換器延長設計（ § 33）
		下水流量	・熱交換器延長設計（ § 33）
		その他状況	・施工方法検討
§ 27	熱源水配管 ルート検討	熱源水配管ルート および延長	・熱源水循環ポンプ選定（ § 34） ・施工方法検討
§ 28	ヒートポンプ設置 に係る検討	配置, 構造および 適用法令	・ヒートポンプ選定（ § 32） ・施工方法検討

・第3章（導入検討）では**推計**であったのに対し、**詳細調査**を実施し、設計へ反映。

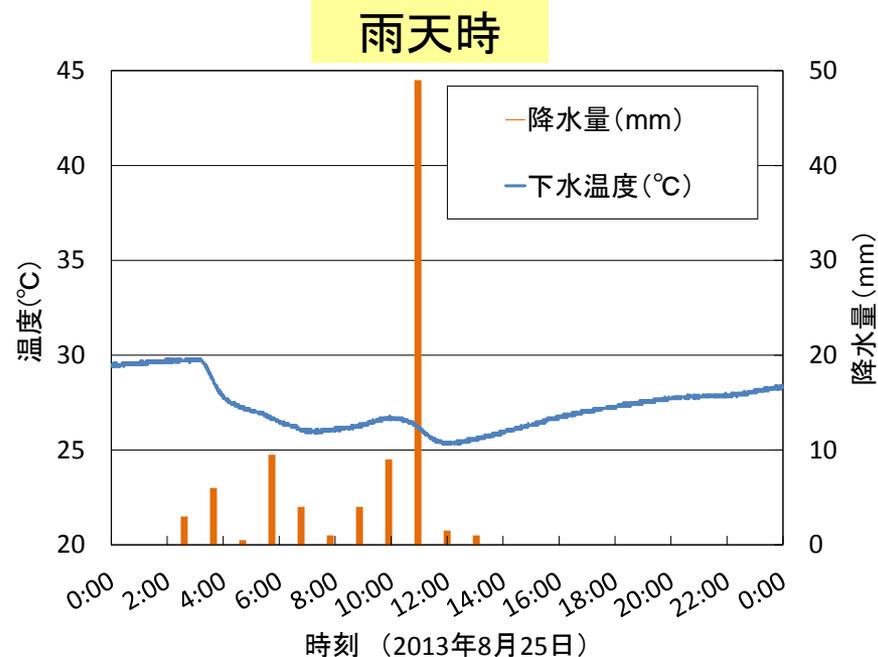
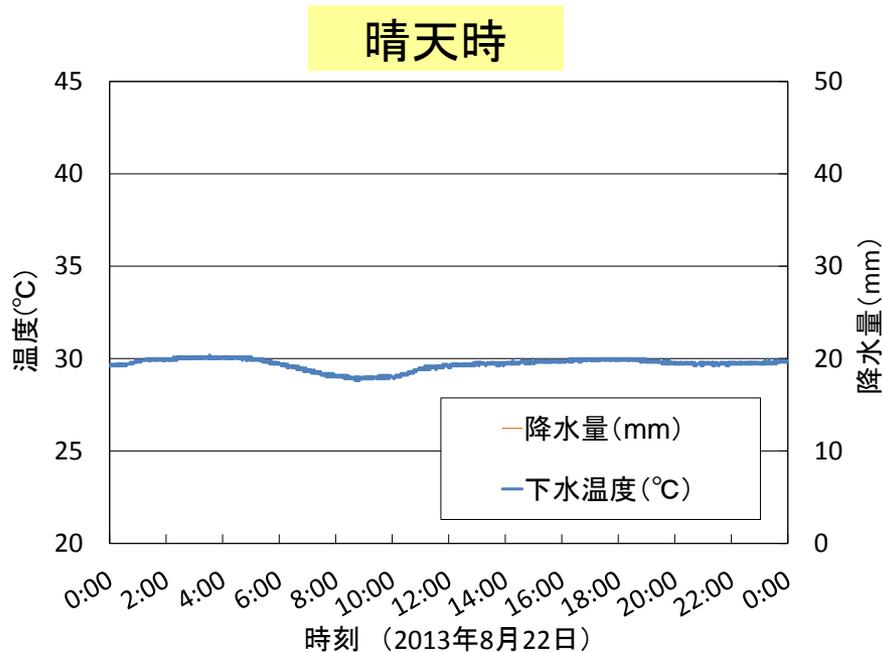
基本システム設計(§ 31)

	基本システム設計項目	内容
§ 32	ヒートポンプ選定	詳細に把握した 最大熱負荷 を賄えるヒートポンプ容量を決定
§ 33	熱交換器延長設計	最低下水水深 (例:日平均汚水量), 最低下水温度* を用い延長設計 ※暖房, 給湯負荷を基に設計を行う場合
§ 34	熱源水循環ポンプ選定	把握した熱源水配管ルートから, 圧力損失 を算定し, ポンプ容量を決定

(参考) 実証研究結果①

気象条件の運転への影響

① 降雨 (夏季)



・降雨(最大50mm/hr)により下水温度が約4°C低下 (12:00における比較)

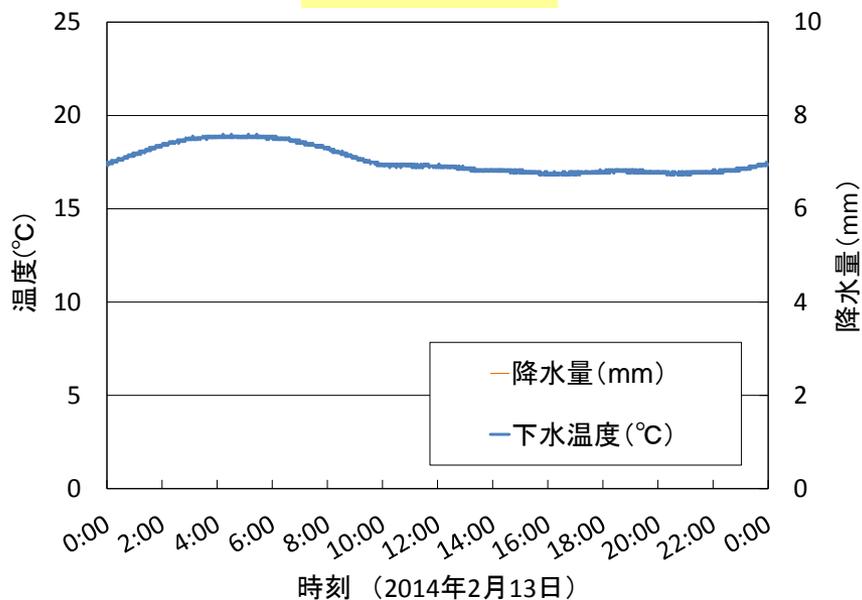


(日平均)熱源水温度が4°C低下し、COPが上昇(3.3→3.7)

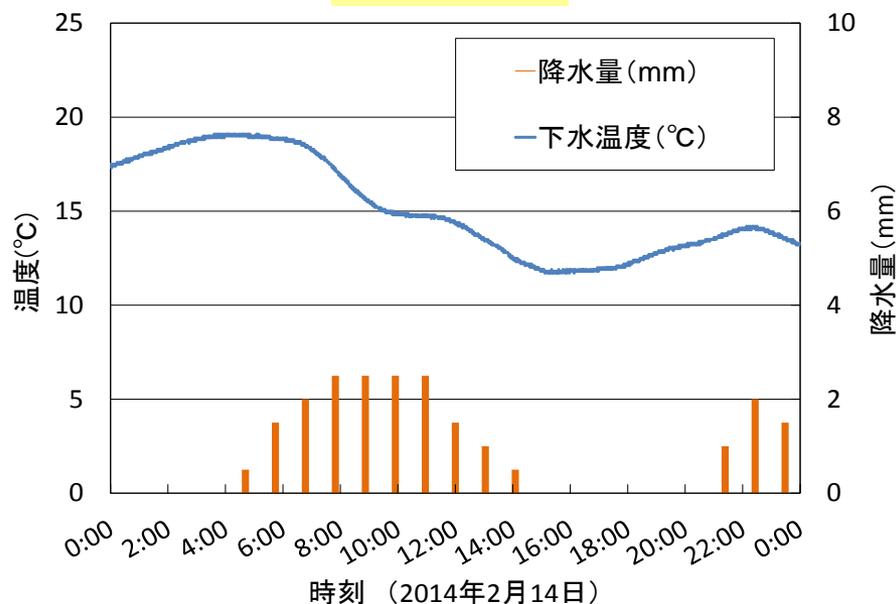
(参考) 実証研究結果②

② 降雨 (冬季)

晴天時



雨天時

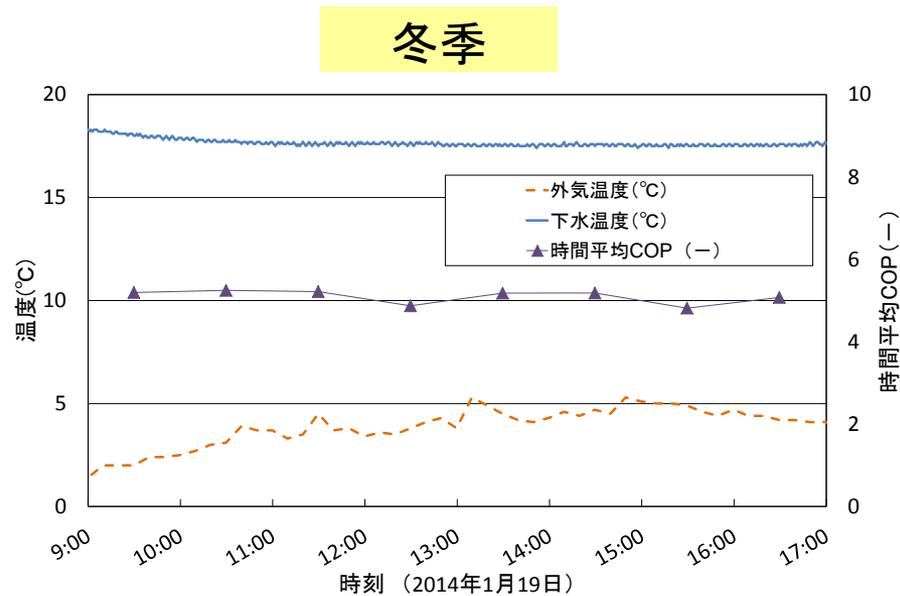
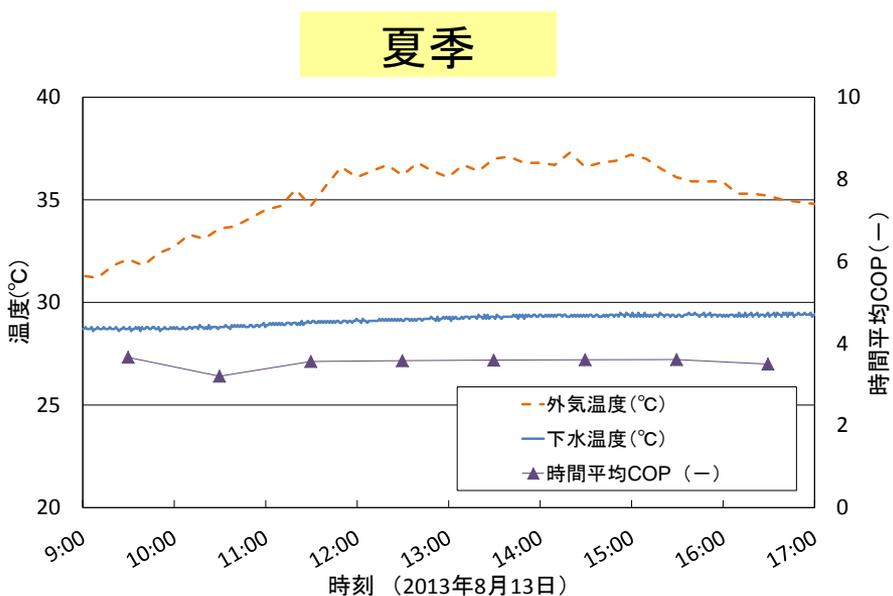


・降雨(最大2.5mm/hr)により下水温度が約5°C低下 (15:00における比較)

➡ (日平均)熱源水温度が3°C低下し、COPがわずかに低下(5.0→4.9)

(参考) 実証研究結果③

③ 外気温度



- ・外気温度の日間変動に対し、下水温度変動は小さい
- ・それによりヒートポンプCOPは同じ範囲で推移

第5章 維持管理

システムの運転管理 (§ 36)

測定対象	測定項目	測定方法	測定頻度	管理基準
熱源水	出入口温度	測温抵抗体 (Pt100Ω)	連続	設定値通りに制御できていること (出入口温度から熱交換性能を算出し、設定した性能で運転ができていることを確認する)
	流量	電磁流量計	連続	設定流量以上であること
冷温水	出入口温度	測温抵抗体 (Pt100Ω)	連続	設定値通りに制御できていること (熱源水に同じ)
	流量	電磁流量計	連続	設定流量以上であること

- 各測定機器からの情報は、**ヒートポンプ制御盤**にて集約されるため、運転管理は制御盤を用いて行う。

システムの保守管理(§ 37)

対象	点検項目		点検頻度			
			日	週	月	年
ヒートポンプ	ヒートポンプ年次点検					○
	圧力	冷媒圧力	○			
		冷温水圧力(出入口)	○			
	温度	冷媒温度			○	
冷温水温度(出入口)		○				
熱源水 循環ポンプ	ポンプ出入口圧力		○			
	電流値		○			
冷温水 循環ポンプ	ポンプ出入口圧力		○			
	電流値		○			

- ・ヒートポンプの年次点検については、保守管理上実施することが望ましい。
- ・実証研究の範囲内では、通常の下水管路の保守管理以上の**特別な保守管理は不要**。但し、より長期的な影響については更なる検討が必要。

まとめ

- 実証施設を用いた研究において、約1年間の空調システム運転(冷房, 暖房)を実施。
- 実証施設において、汚れや付着による熱交換性能への影響, 流下性能への影響が小さいことを確認。
- 従来技術に対する省エネルギー性, 高い経済性(ライフサイクルコスト縮減効果)を確認。
- 今後, 本技術の更なる長期性能を確認するとともに, 普及・展開を目指す。

謝辞

本研究の遂行にあたり, ご指導いただきました
国土交通省国土技術政策総合研究所殿に深く感謝いたします。

積水化学・大阪市・東亜グラウト共同研究体