下水熱利用に関するNEDO実証研究グループの取り組み

⓪研究開発の経緯

①熱交換器･関連機器開発

②熱源システムの検討

③熱需要マッチングシステム

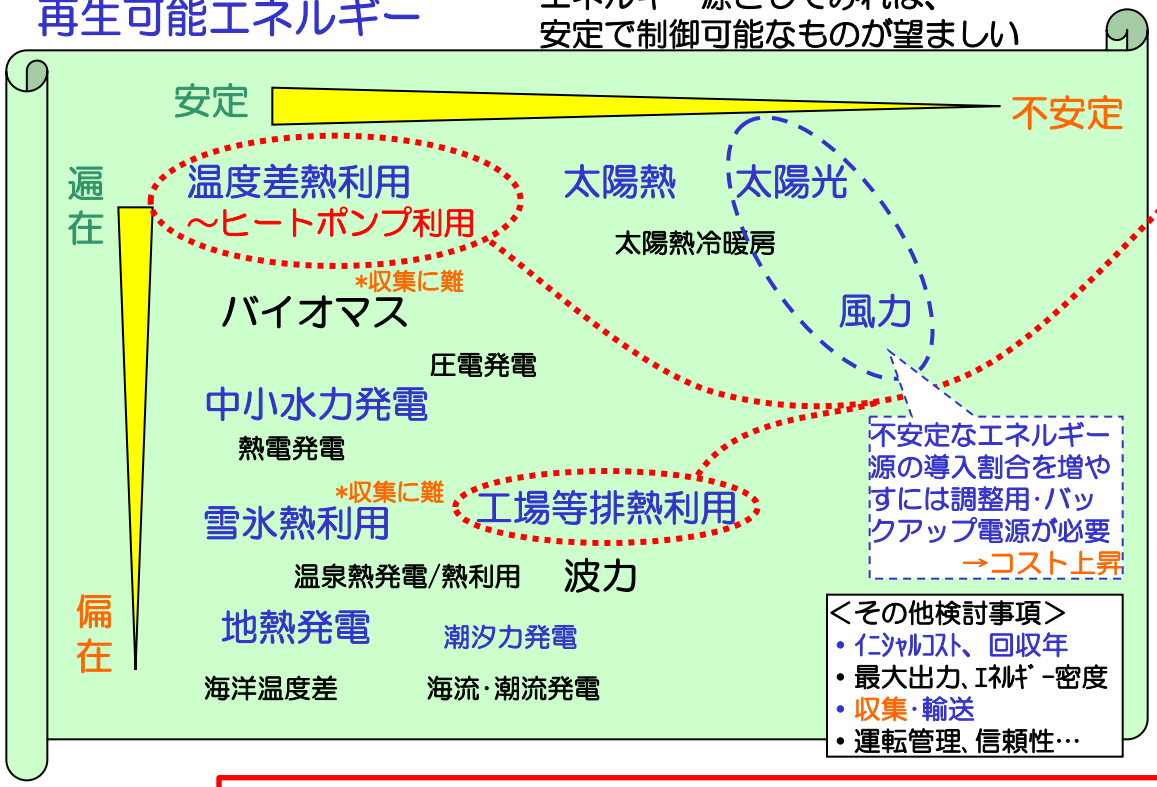
④下水熱利用の普及拡大に向けて

平成24年8月24日(金)10時～12時　於 三菱総研 大会議室C
NEDO実証研究グループ 関西電力㈱ お客さま本部　中曽康壽

⓪-1 再生可能エネにおける下水熱利用の位置付け

再生可能エネルギー

エネルギー源としてみれば、
安定で制御可能なものが望ましい



未利用エネルギー

○温度差エネルギー
下水・河川水
海水・地下水など

○排熱エネルギー
工場や変電所、
地下街、地下鉄など

○廃棄物エネルギー
ごみ焼却など

○その他エネルギー
雪氷熱・地中熱など

• CGSの余剰排熱

下水熱源は、
①使用箇所に近く
②比較的安定
③熱量が推定可能

ヒートポンプ技術の適用分野

↓

投入した動力の3～10倍の熱エネルギーが回収できる技術

↓

利用温度と熱源の温度が近ければ更なる効率向上が期待できる

未処理下水の熱源ポテンシャルとアクセス性に着目し、どこでも使えるシステムを目指す

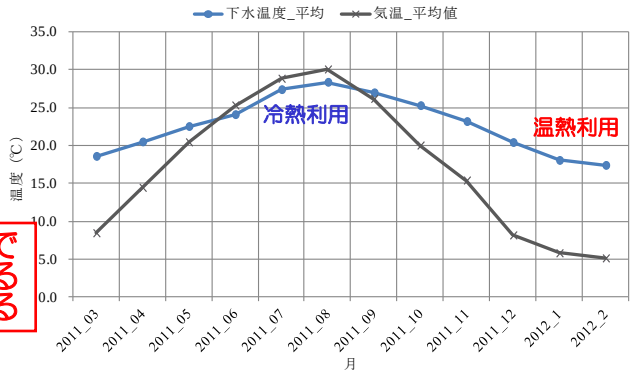
下水熱の種類とポテンシャル

種　類	概　要	温度帯	国内賦存量（TJ/年）	活用可能量（TJ/年）
未処理下水	未処理下水をヒートポンプの熱源水として活用。特に冬期は給湯排熱が集約されており温度が高い。熱交換には夾雑物の除去などの工夫が必要。	5～30℃	274,891	189,358
下水処理水	処理下水をヒートポンプの熱源水として活用。夾雑物の除去が不要であり熱交換が容易である。処理場(または放水路)近傍での利用に限定される。	5～30℃		

下水処理水が利用できるところは更なる普及拡大が望まれる

出典：資源エネルギー庁「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」

下水熱の利用温度帯(大阪市内)



⓪-2 研究開発の概要(背景)

～国内の実績を調べてみると～

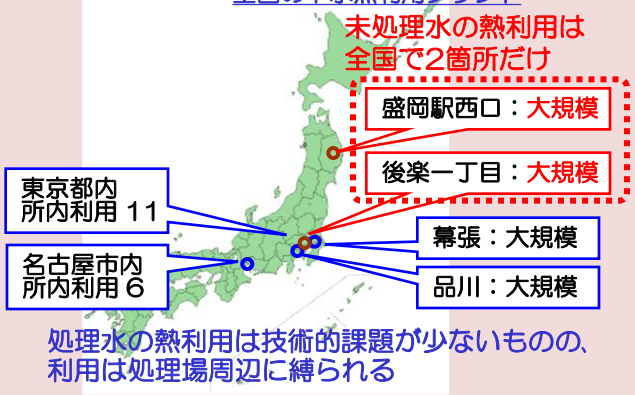
下水熱利用の課題と動向

下水熱利用におけるわが国の現状は
- 利用箇所が処理場等の周辺に限定

→特に未処理下水の利用では、
- 夾雑物の影響回避のための前処理
- 耐蝕性の高い機器や材料の使用
- 悪条件下でも高性能な熱交換器
- 下水利用は下水道事業者に限定

→高額投資を伴う大型プラントになる

全国の下水熱利用プラント



処理水の熱利用は技術的課題が少ないものの、利用は処理場周辺に縛られる

下水熱利用では、管路網を対象にした、簡易・低ｺｽﾄな活用法が未開発

＜近年の動向＞→下水熱利用の可能性

都市域では空調や交通などの大気排熱によるﾋｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ問題が顕在化

ｴﾈﾙｷﾞｰの面的利用で都市域を中心に地域冷暖房ｼｽﾃﾑが導入されるが、熱供給導管等の設備費は長距離になる程、増大し、熱損失も増加する。

- 経産省では次世代HP研究開発
  HPのｼｽﾃﾑ効率向上・熱源の多様化
- 国交省下水道部は未処理下水の民間活用に向けた法改正を検討中

未処理下水を熱源とする事例

大型プラントで2箇所のみ…処理水がないため、止むを得ず中継ポンプ場で未処理水を利用

後楽1丁目地区

熱供給導管の建設には熱源設備に匹敵するｺｽﾄ

供給開始 平成6年7月1日
区域面積 21.6ha　H20.3.31現在
延床面積 294,800m²
H20.3.31現在
下水量　一日約50,000m³
熱源機能力 3万kW(冷房)4機合計 →約30万m²相当

熱交換器はﾁﾀﾝ製で管内に未処理下水
ｽﾄﾚｰﾅｰによる前処理

盛岡西口地区

処理場と熱源プラントは離れているので約1km の熱源水導管で結んでいる

中川ポンプ所

供給開始 平成9年11月25日
区域面積 2.4ha　H20.11.30現在
延床面積 101,900m²
H20.11.30現在
熱源機能力 3,200kW(冷房)3機合計
→約3.2万m²相当

熱交換器はステンレス製で管内に未処理下水
ストレーナーによる前処理とスポンジボール洗浄

⓪-3 研究開発の概要(課題設定)

～海外の実績を調べてみると～

提案

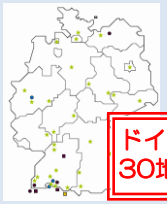
下水管路を下水熱利用・熱融通インフラとして活用する

本研究開発ではｺﾝﾊﾟｸﾄな熱交換器を開発し、管路近傍での下水熱利用・熱融通のｼｽﾃﾑ化・実用化を目指す

本研究開発での海外下水熱利用調査結果

ﾄﾞｲﾂ・ｽｲｽを中心に110地点への導入(計画中含め)が判明
現在は、未処理下水からのｺﾝﾊﾟｸﾄな直接排熱回収ｼｽﾃﾑ
任意地点の下水管路から地域の排熱を回収利用可能↑
(容量は200～1000kW程度/2005年代頃から開発)が主流に

スイス
80地点



ドイツ
30地点

本研究は熱利用だけでなく熱融通も目指す。

本研究開発ｼｽﾃﾑの適用分野と対象

対象＼分野	家庭	業務	産業
給湯	◎集合住宅	◎ﾎﾃﾙ・病院 温浴施設	◎生産設備 ﾎﾞｲﾗ予熱
暖房	◎集合住宅 (寒冷地)	○事務所ﾋﾞﾙ	―
冷却 (排熱処理)	―	○ﾃﾞｰﾀｾﾝﾀｰ 変電所	○ｺﾞﾐ発電 生産設備

一層の普及を図るには、さらに経済性に優れたシステムの研究開発が必要

研究開始に当たり海外の状況をリサーチ

- 下水管路内に直接熱交換器を設けて熱回収するシステムの存在を確認
  - →2010年9月、ドイツのボーフムで開催された第4回ドイツ下水熱利用カンファレンスに参加
  - →2011年1月、ギーセン大のタイレン教授訪問→スイスのEAWAG、インフラワット協会を訪問
  - →2011年9月、ベルリンで開催された第５回ドイツ下水熱利用カンファレンスで取組み(国・NEDO)の発表他
  - →2012年3月、中国東北部の調査実施、数か所で実用システムが稼働中

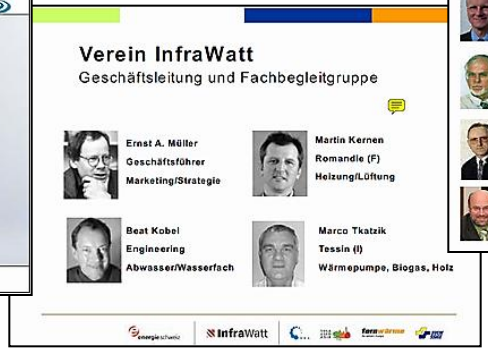
欧州ではさまざまな新発想の中小～大規模な下水熱利用システムが展開されていた

国交省下水道部との合同調査

ボーフムの下水熱利用の取組み紹介 2010/9

足下にあるのが熱交換器

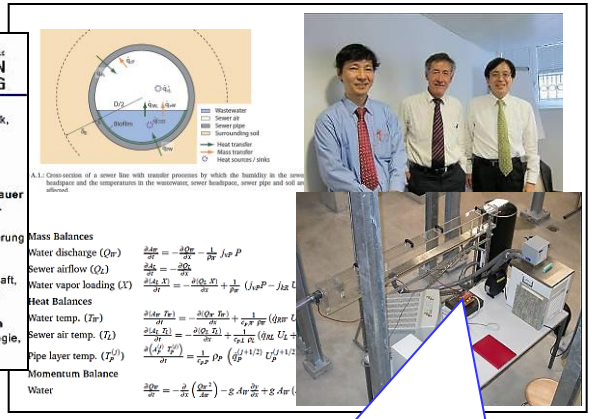
スイスインフラワット協会のメンバー



2011/1

ドイツギーセン大学のメンバー

スイスeawagとの情報交換 2011/9



バイオフィルムによる伝熱劣化計測

⓪-4 研究テーマと開発体制

～わが国にない技術のため、幅広い研究が必要～

研究テーマ

- 下水の温度・流量などの実績調査
- 管路・土壌を含む熱特性の解明

～大気排熱がなくﾋｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ対策としても有効

都市域でのHP効率向上を目指し

① 下水管路の途中で自由に熱のやり取りができる低ｺｽﾄで信頼性の高い熱交換器の開発
- 管路内設置型 / 管路外設置型
- × ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ / 金属製
- × 構造・性能検討 / 腐食・夾雑物対策

② 下水の熱特性や建物の熱負荷・熱融通に適した高効率なﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟｼｽﾃﾑ構成の実現
- 下水熱回収回路（一次側）
- 負荷変動吸収（蓄熱ｼｽﾃﾑ連係等）
- 下水側条件変動対応
- 制御方法の検討

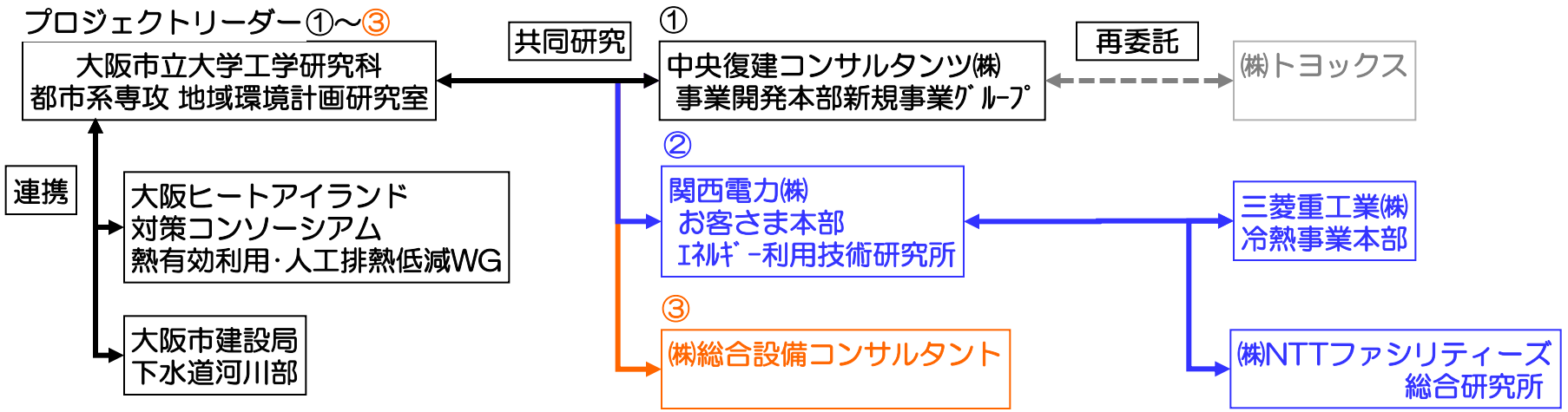
→ 大阪市千島処理場での試験

③ 効率的な排熱利用や熱融通を行うための排熱調査と熱需要のﾏｯﾁﾝｸﾞ手法の開発
- 大阪市内を代表例に情報整理
- GISを活用したﾏｯﾁﾝｸﾞ手法開発

→ 同様の考え方として上水・工業用水管路を用いる方法にも展開可能

①熱輸送特性・熱交換器/周辺機器開発→②熱源システム開発→③下水管路網と熱需要のマッチング までの下水熱利用のトータルシステム設計開発を研究テーマとする

研究体制



①-2 管路内設置型熱交換器の開発

～既設対応とシステムの簡素化に必要な技術～

管路内設置型は流下支障の恐れはあるもののシステムが大幅に簡素化できるメリットは大

ドイツでは簡易な固定法で済ませている
→メーカーによると流体工学的検証を行なって行政の許可を得たとのこと

これなら← 問題なし？

新しく下水管を布設
or
古くなった下水管の交換
→ 熱交換器を組込んだ下水管を布設

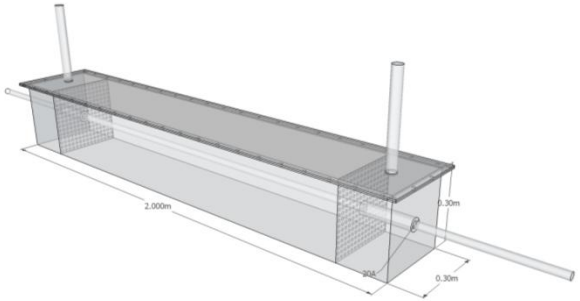
近傍の熱需要への対応
→ 既設の下水管に熱交換器を組込む

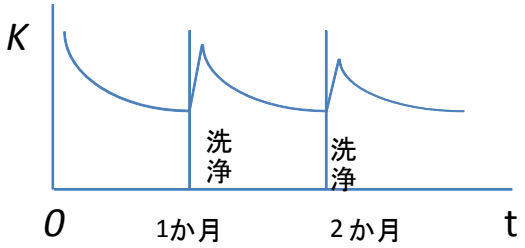
→ 管路内設置型

既設下水管組込み型熱交換器の試験状況

モルタル被覆型	溝設置型	露出型
プラスティック	金　属	金　属

熱交換器の性能試験





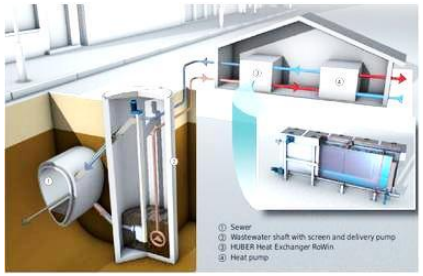
プラスチック熱交換器はコストを重視しつつ極薄材により、ステンレス製は金属の強みを活かして単位設置面積当たりの回収熱量を拡大 ～最低400W/m²Kを目標

①-3 管路外設置型(ピット型)熱交換器の開発

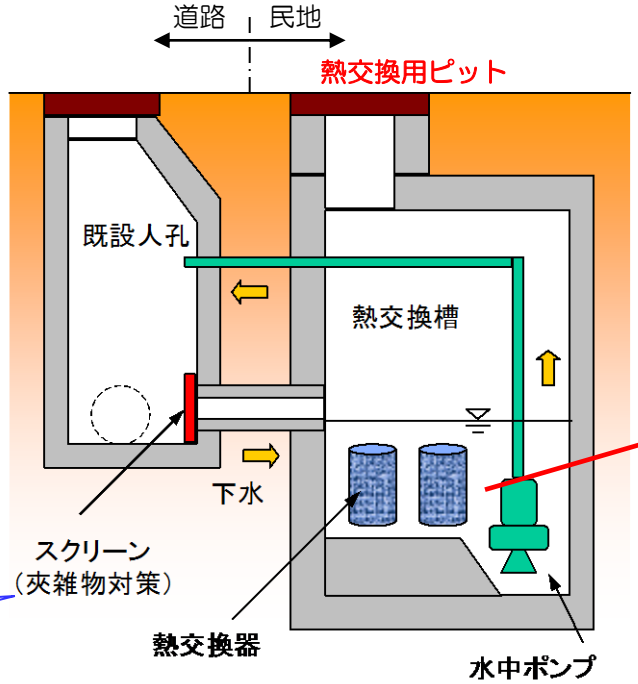
～現行の国内法下でも実現可能な方式～

ピットを設置し、人孔より未処理下水を取水 ⇒ 効率的な熱採取 ⇒ **管路外設置型（ピット型）**

ピット型熱交換器



フーバー社では高性能だが大変高価なシステムを開発･販売



ローコストなスクリーン開発も課題
↓次に続く

現在複数の種類の熱交換器を開発中

プラスチック製コイルー巻きで約5kWの採熱が可能

ピット型においてもコストを抑えつつ、実用的なサイズを実現する必要あり。
本開発事例ではプラスチックの採熱管を小径薄肉化し、熱的な性能確保とコスト低減を目指す。

②-1 実証試験設備について

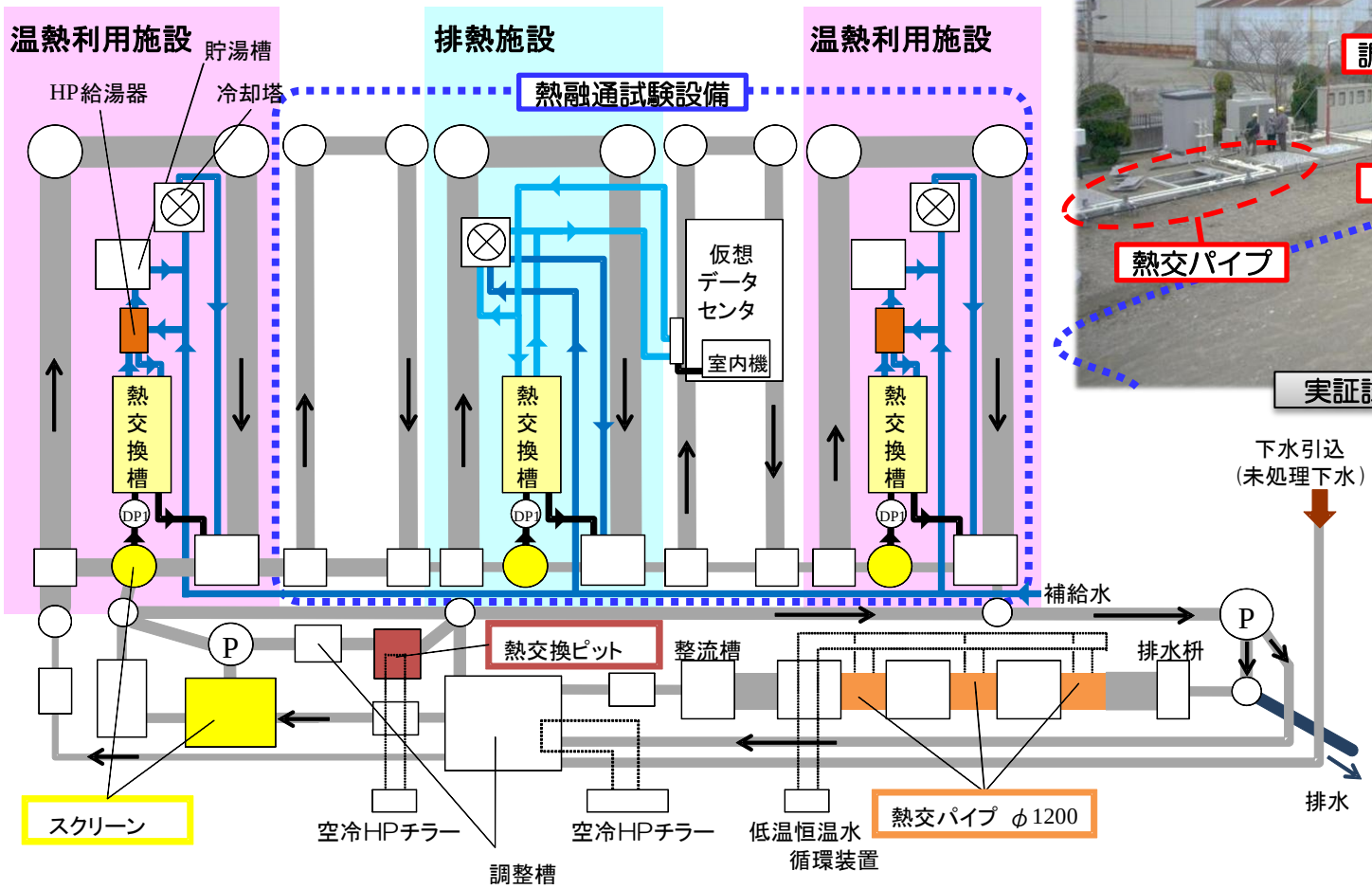
～下水熱利用に関する基礎から応用研究まで～

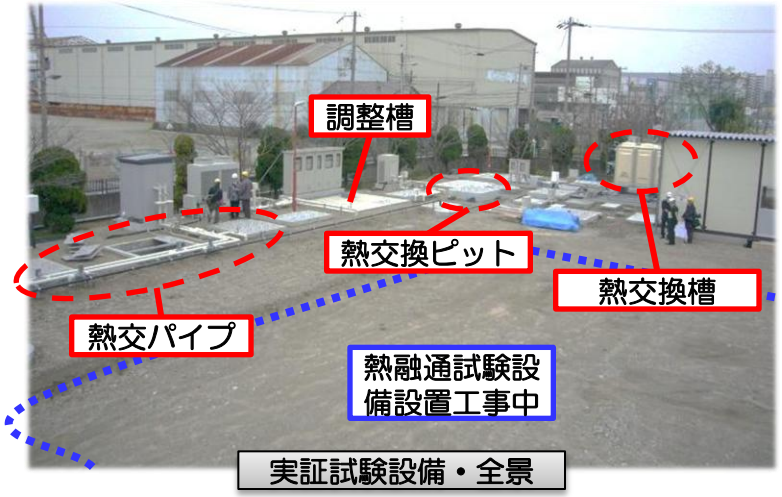
23年度：熱交換器性能把握試験を実施継続中

24年度：下水熱利用･熱融通システム性能把握試験を実施予定

大阪市建設局下水道河川部の全面的な協力により下水処理場内に設置

実証試験設備・概略図





実証試験設備・全景

伝熱管の特性把握やさまざまな熱交換器、夾雑物対策用スクリーンの開発試験とともに、空調、給湯、データセンター排熱処理等を想定したヒートポンプシステムの検証も実施している。

②-2 下水熱利用に求められるヒートポンプシステムの構成

～下水熱利用にもっとも適したシステムの開発～

課　題

既存施設は高額投資を伴う大型プラントのみ。
簡易･低コストな活用法が実用化されていない。

取組み

システム全体でイニシャル･ランニングコストが最適となるようシステム構成や運転手法を検討する。

給湯領域：カスケードシステムなど構成の工夫

ヒートポンプの温水出口温度をパラメータとしボイラとの組合せの最適点を探る。

暖房領域：利用温度と用途の組合せの工夫

下水熱源と温度帯が近く、利用温度の違いによる性能への影響が大きいため、暖房･床暖房など利用温度を変えて検討する。

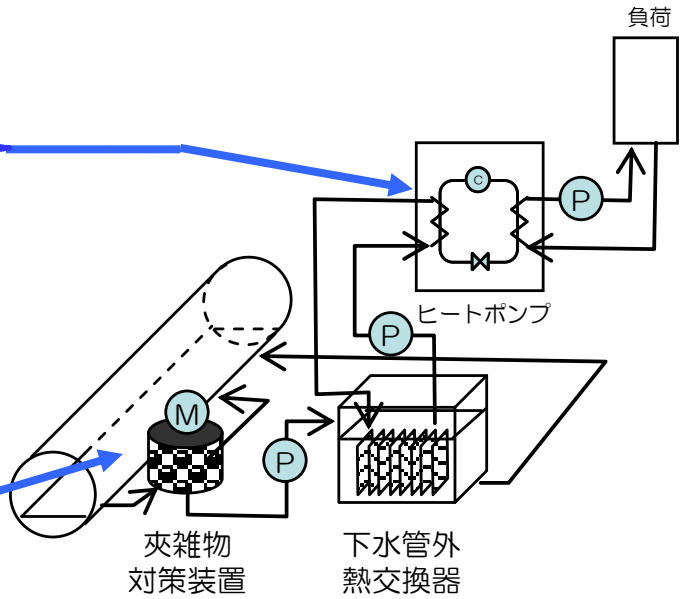
熱を回収する領域
下水管内・管外設置熱交換器、夾雑物対策装置

施工･メンテナンスを考慮し、
イニシャルコストを低減する。

未処理下水用熱交換器の事例

後楽一丁目

盛岡駅西口



水冷式ヒートポンプは高効率が期待できる一方、従来、給湯･暖房用には冬季の凍結のため利用できなかった。下水熱を利用することで、高効率化と容量範囲の拡大が期待できる。

②-3 下水熱利用に求められるヒートポンプの必要要件

～下水熱利用に適した熱源システムの高効率化～

課　題

下水熱利用を前提としたヒートポンプのマーケット規模は小さく、容量のラインナップが少なく価格も高い。
下水熱利用(特に低圧縮比運転)に適した製品は見られない。

取組み

下水熱利用の特長に適応したヒートポンプの要件整理

下水熱利用に求められるヒートポンプ(システム)の要件検討状況

容量は30ｋW～100ｋW程度

集合住宅･宿泊施設･温浴施設への暖房･給湯用途での普及を展望し、特に既存製品が充実していない100kW未満の容量帯をターゲットとする。
適切な最小容量のモジュールを負荷に合わせて台数構成を増減させ、様々なシステムへ適応可能とする。

暖房利用時の高効率(低圧縮比)運転機能

暖房の場合、ヒートポンプのCOPを向上させるため、空気調和機や放熱器など暖房設備を工夫し快適性を損なわない範囲で利用温度を低くする。
それに合わせヒートポンプサイクルも低圧縮比で高効率運転可能な、圧縮機の採用、膨張弁容量の適切な選択を行なう。

給湯･暖房併用機能

暖房は下水熱源と温度帯が近くCOPが高くなるため、給湯・暖房の両方の負荷が発生する場合は、季節により使い分けできることが望ましい。
夏期：給湯運転、冬期：暖房運転(給湯はボイラ等)。

蓄熱運転機能

下水は日中と比べ深夜でも温度が低下しないため、深夜の蓄熱運転時に空気熱源のものより高い効率で運転できる。

将来的には、下水熱利用に適したヒートポンプの開発が望まれる。

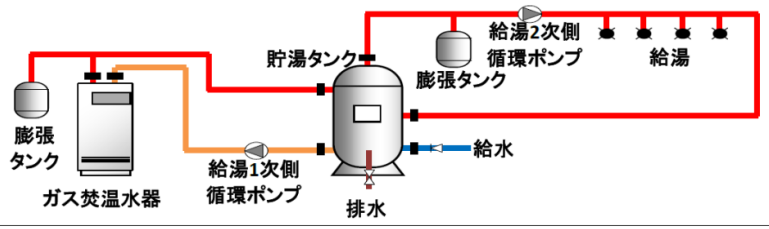
②-4 下水熱利用システムのエネルギー・経済性評価

年間を通して多めの需要が見込まれる、宿泊施設の給湯設備に対しての下水熱利用に着目し、下水熱利用システム導入効果を簡易モデルにて試算。

試算条件

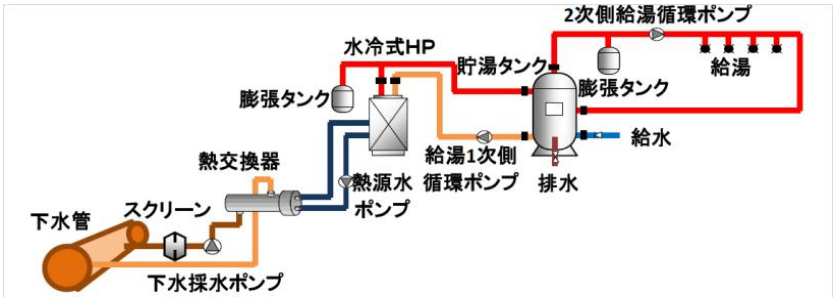
- 宿泊施設(延床面積5000m^2)
- 現状システムはガスボイラ

現状システム(ガスボイラ)

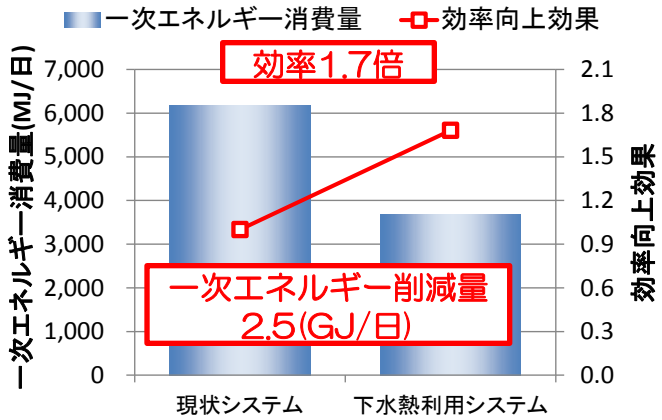


・給湯温度:65℃、給水温度:5℃(冬季想定)　・給湯一次側循環ポンプ　吐出量: 27.7 L/min
・温水器加熱能力: 174 kW　揚　程: 10 kPa
・貯湯タンク容量: 1960 L

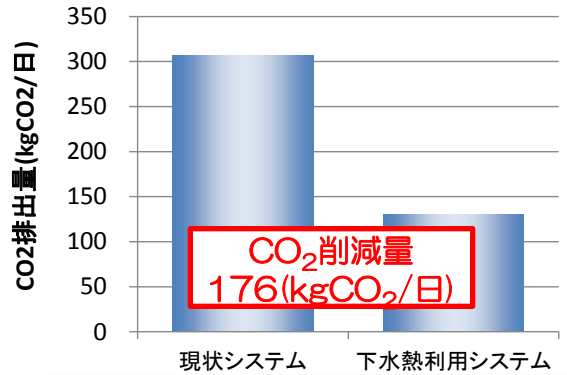
下水熱利用システム



・給湯温度:65℃、給水温度:5℃(冬季想定)　・給湯一次側循環ポンプ　吐出量: 30 L/min
・HP給湯器加熱能力: 93 kW(機器仕様)　揚　程: 200 kPa
・貯湯タンク容量: 8790 L　・熱源水ポンプ　吐出量: 235 L/min
揚　程: 200 kPa



システム全体の一次エネルギー消費量の比較



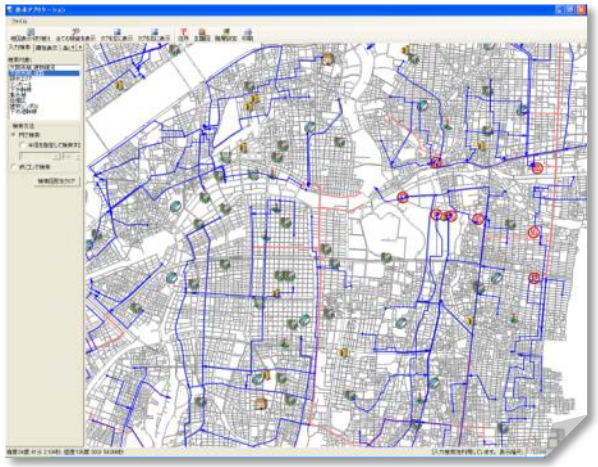
CO_2排出量による省エネ効果

③-1 下水管路網の流量・温度情報の整備

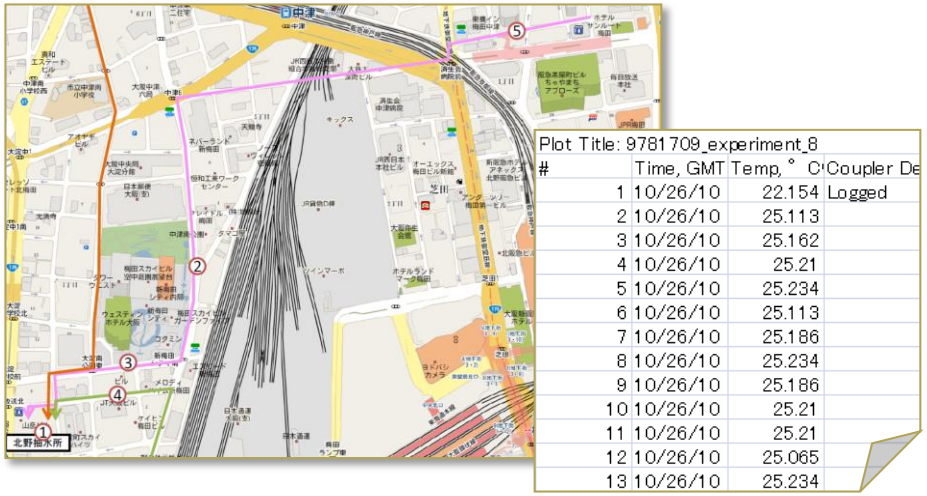
～下水熱のポテンシャル・利用情報の明確化～

下水管路網情報と既存の下水流量温度情報に少数の計測情報を加え、
下水熱利用のベースとなる流量温度情報(管路)を整備する。

大阪市内の下水管路網情報



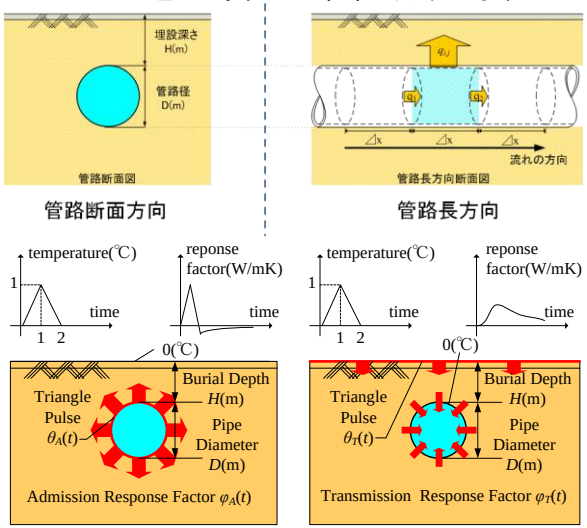
下水管路網における季節・時刻別温度・流量計測



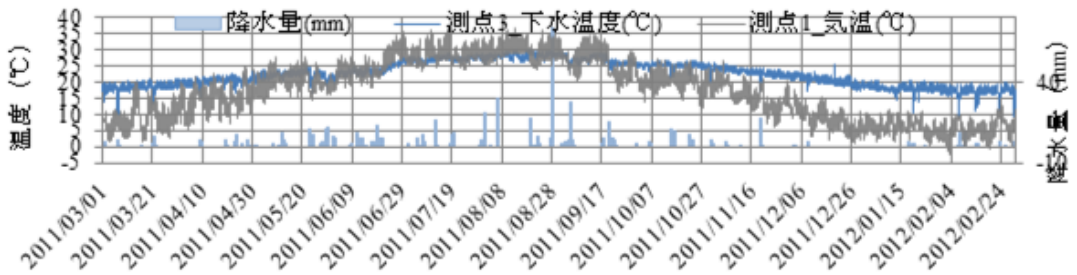
Plot Title: 9781709_experiment_8

#	Time, GMT	Temp, ° C	Coupler De
1	10/26/10	22.154	Logged
2	10/26/10	25.113	
3	10/26/10	25.162	
4	10/26/10	25.21	
5	10/26/10	25.234	
6	10/26/10	25.113	
7	10/26/10	25.186	
8	10/26/10	25.234	
9	10/26/10	25.186	
10	10/26/10	25.21	
11	10/26/10	25.21	
12	10/26/10	25.065	
13	10/26/10	25.234	

下水管路の非定常伝熱計算



下水管路の温度測定



下水熱利用に当たっては、下水の熱源としての特性を把握し、
適切なシステム設計に備えた準備や評価手法の確立が重要である。

③-2 熱需要と下水管路熱賦存量のマッチング手法の開発

～下水の熱源情報の活用と基本計画～

建物の
熱需要算出

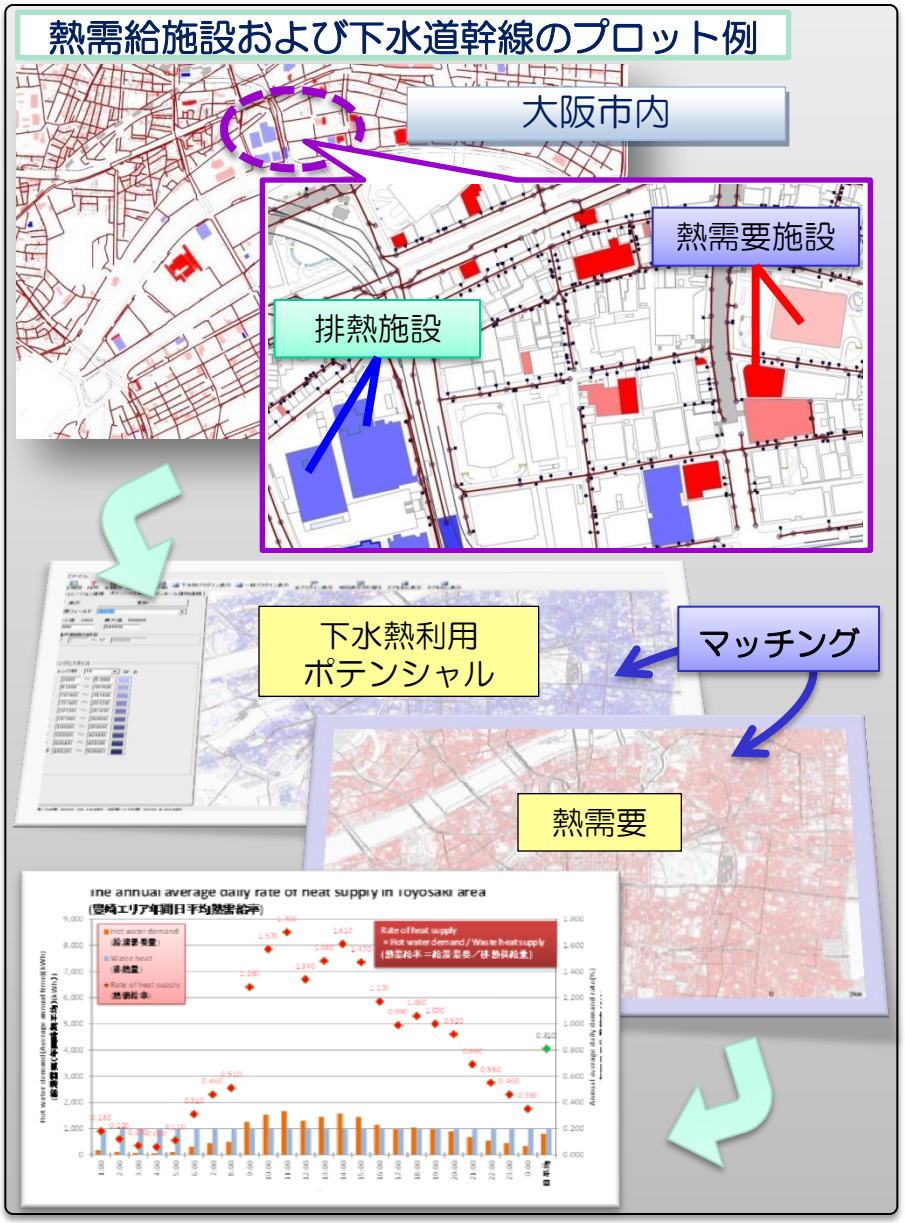
管路流量
温度の推定

GIS

熱需要と下水管路の熱賦存量のマッチング

- 下水熱利用ポテンシャルマップの作成
- システム適用可能建物やエリアの抽出
- 基本計画、基本設計等への貢献

熱需給施設および下水道幹線のプロット例



下水熱利用、特に熱融通を狙うには適切な熱源情報が必要で、関連事業者の連係を図る上ではこれらの情報共有が不可欠

④下水熱利用の普及拡大に向けて

～わが国で実績の少ないシステムの普及に向けて～

技術開発(機器)関係

＜管路外熱交換方式＞
- 夾雑物処理スクリーン
- 熱交換器
- 熱交換ピット･抽水/排水路

＜管路内熱交換方式＞
- ◇管更生型
- ◇管路内設置(後付)型
- ◇管路組込み(内蔵)型

＜熱源機･補機類＞
- 水冷式ヒートポンプ
- 搬送用ポンプ

- 熱交換性能
  熱伝達率、性能低下と回復
- 耐久性･耐蝕性
- コストパフォーマンス

- 熱交換器設置に伴う
  流下障害の評価
- 下水熱利用の温度範囲
  などの検討

関連規制関係

- 利用に係わる法整備
  汲上げ方式に比べシステムの簡素化と効率化が図れる管路内熱交換方式への拡大が望まれる
- 行政手続きの検討
  接続調整･許認可手続き
- 下水道事業者との調整、費用負担等
  複数事業者の調停、ネットワーク･共同利用の慫慂
  将来の改修等事業計画･都市再開発などとの調整
- 技術基準･ガイドラインの策定
  利用基準(温度/水量)、構造(増水時の信頼性)、
  耐久性、点検基準(点検個所/使用限界など)
  ～熱交換器･スクリーン･管路･ポンプ等
- 継続的な機器開発･設備導入支援等

都市再生特別措置法で、一般事業者が熱利用に限って汲上げ方式により下水にアクセスすることが認められた
23.7.25施行

低炭素街づくり法案でも利用拡大策が図られる

技術開発(設計)関係

- 設計手法の確立-標準設計
- シミュレーション～需給マッチング
- 機器情報の整備
- 性能評価手法の確立
- 運用･トラブル対策など
  ～技術情報の共有化･設計ガイドなど

利用情報･普及促進関係

- 下水管路情報～熱利用ポテンシャル-冷･暖･給湯
  温度･流量･管路情報、周辺埋設物情報
- 下水熱利用に係わる情報交換基盤整備
  - 下水熱利用関連情報の提供
  - 国内外情報の収集と公表

下線部はNEDO事業の開発項目

中小規模の下水熱利用は、わが国においては初めての取組みであり、関連情報の公開や規制緩和、普及支援策が求められる。