

2011年10月25日 復興支援スキーム検討分科会資料

スイス，ドイツにおける下水熱利用技術の動向と
NEDO下水熱利用プロジェクトの研究開発状況

大阪市立大学大学院 工学研究科
都市系専攻 環境都市工学講座 中尾 正喜

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**処理場とその周辺に限定**

- 特に**未処理水の熱利用**では、
- ・夾雑物の影響回避のための前処理
 - ・耐食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
- 高額投資を伴う大型プラントになる



原因：下水熱を需要地の近くで簡易・低コストに活用する方法が未開発

<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**ヒートアイランド**問題が顕在化

エリア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
- ・国交省下水道部が未処理下水の民間活用に向けた法改正

スイスドイツの動向

ドイツ・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、**未処理水からのコンパクトな採熱システム**
任意地点の下水管路から熱利用可能↑
(容量は200~1000kW程度/2005年代頃から開発) **が主流に**



下水熱利用だけでなく**施設排熱の融通も**
下水熱の適用分野と対象

用途	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 ボイラ予熱
暖房		◎集合住宅 (寒冷地)	○事務所ビル	—
冷却 (排熱処理)		—	○データセンター 変電所	○コージェネ 生産設備

NEDO研究テーマ

- ・下水の温度・流量などの実績調査と予測
- ・管路の熱輸送特性の解明

下水管路の途中で自由に熱のやり取り (熱融通) ができる低コスト熱交換器の開発

下水熱利用に適した高効率なヒートポンプシステムの実現

効率的な排熱利用や熱融通を行うための排熱と熱需要のマッチング手法の研究

- ・管路内設置型 × プラスチック ×
- ・管路外設置型 × 金属製 ×
- ・下水アクセス用放熱/採熱回路
- ・負荷変動吸収 (蓄熱システム連係等)
- ・大阪市内を代表例に情報整理
- ・GISを活用したマッチング手法研究

都市域でのヒートポンプ効率向上を目指し

- ・構造・性能検討
- ・腐食・夾雑物対策
- ・下水側条件変動対応
- ・制御方法の検討

大阪市の処理場での試験

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

国内の下水熱利用事例

わが国の下水熱利用は
下水処理施設・ポンプ場とその周辺または処理場内建物に限られている

処理水を熱源とするもの

大型プラント:

幕張新都心、品川リーディングなど

幕張新都心



事業許可 昭和62年3月31日

供給開始 平成2年4月1日

供給区域 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目ほか

区域面積 48.9ha H20. 3. 31現在

延床面積 919,681m² H20. 3. 31現在

供給建物 オフィスビル、ホテル

芝浦→現状リーディング品川に



芝浦水再生センター再構築に伴う上部利用事業
地上32階、高さ約153mの超高層ビル建設

小型プラント:

東京都下水道局(11箇所)

東京都水再生センター

施設 稼動月日 空調床面積

落合 S62.1 2,270m²

新河岸 H2.4 2,680m²

森ヶ崎 H3.4 2,490m²

小菅水 H5.4 5,910m²

北多摩 H6.4 450m²

中野 H7.7 5,600m²

有明 H7.9 4,410m²

芝浦 H9.4 2,705m²

中川 H12.2 4,106m²

浮間 H13.4 4,066m²

みやぎ H17.4 2,421m²

落合



名古屋市下水道局(6箇所)



堀留

名城



下水の熱利用システム「アークヒート」(落合水再生センター)



熱交換器は一般的なプレート式熱交換器等で
熱交換システムの新たな技術開発要素はない

未処理水を熱源とするもの

熱の需要地に比較的ポンプ場での大型プラントが2箇所のみ

後楽1丁目地区



導管長は約400m

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

熱供給導管の建設には
熱源設備に匹敵するコスト



熱交換器はチタン製で
管内に未処理水
ストレーナーによる前処理

盛岡西口地区



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

処理場と熱源プラントを約1km
の熱源水導管で結んでいる



未処理水と熱源水
とで熱交換

中川ポンプ所



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

海外の下水熱利用動向

処理水を熱源とするもの

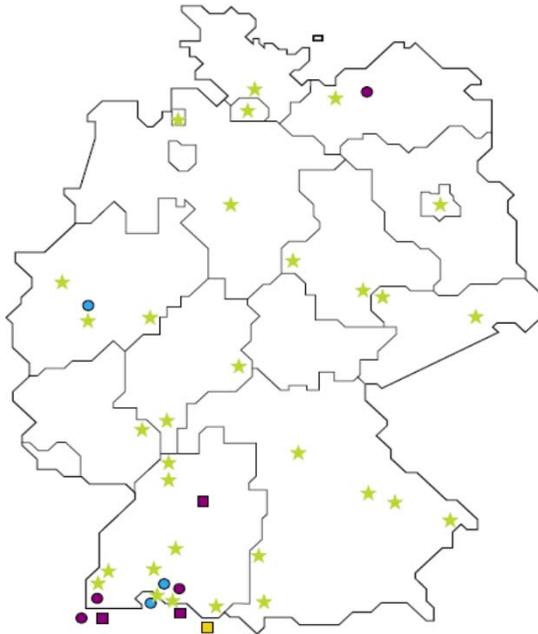
ドイツ バイブリンゲンなど多数(20年前から)

- ・大型のシステムはドイツ・スイスの他、ルウェー・カナダなどで採用されている。システム自体はわが国のものと大差ない
- ・家庭排水から熱回収する小規模なものは欧州各地で散見

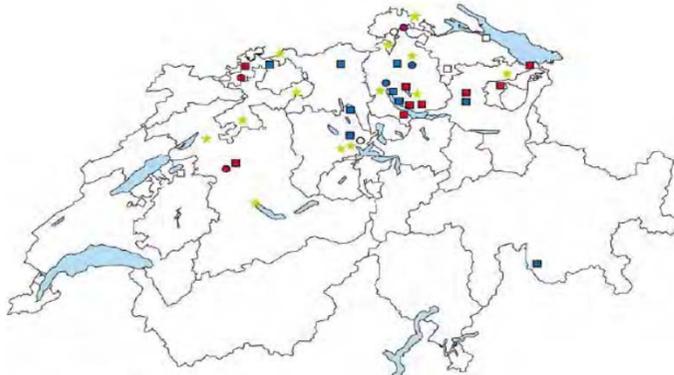
未処理水を熱源とするもの

最近、ドイツ・スイスでは下水管路で採熱を行うタイプが多数採用、導入事例が増えている

同様のシステムはドイツ・スイスが進んでいる模様



ドイツの事例: 処理水/未処理水利用で30件以上



スイスの事例: 処理水/未処理水利用で80件以上

管路内設置型



新規管組み込みタイプ

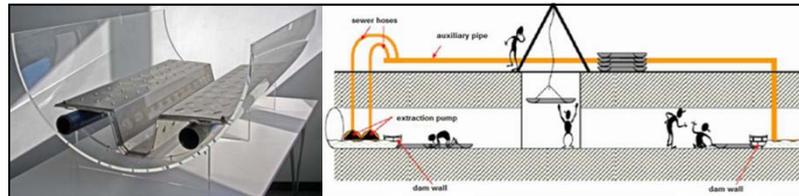
内底面に熱交換パネル組み込み



熱交換パネル



既設管への取付タイプ

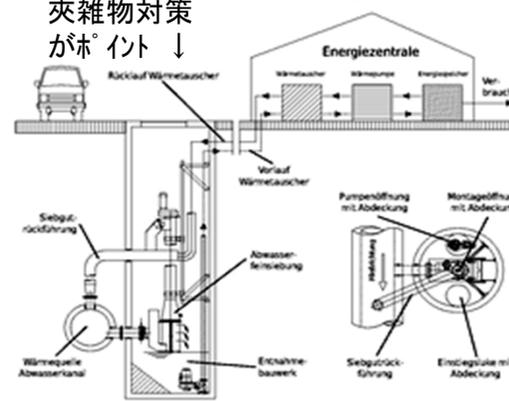


マンホールから搬入

管路外設置型

夾雑物対策がポイント ↓

さまざまなタイプの熱交換器がある →



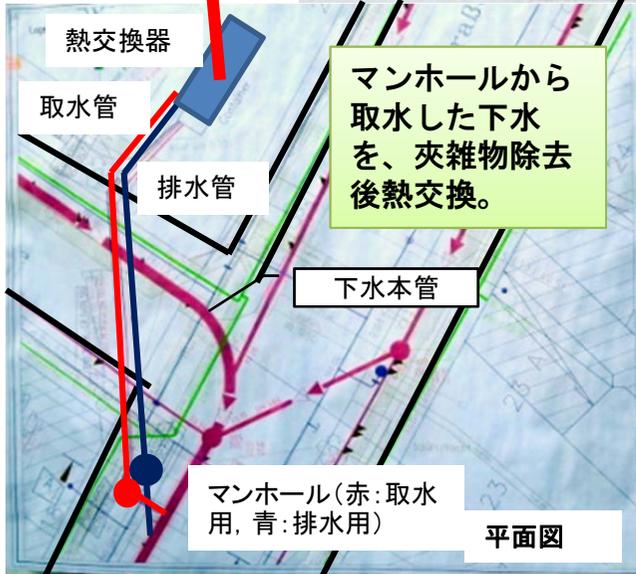
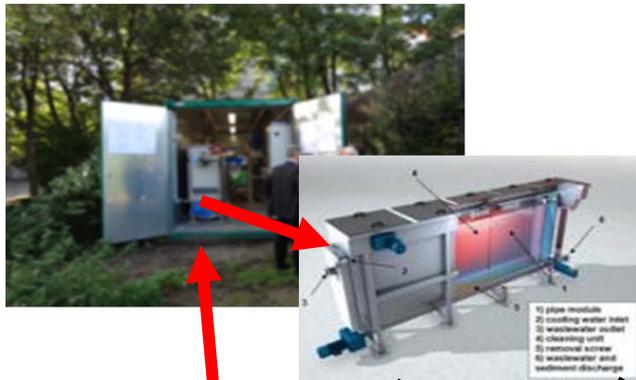
- 凡例: エネルギー源
 ○未処理水(管路)から
 □処理水から
 エネルギーの使用形態
 ■暖房
 ■暖房給湯
 ■冷暖房・給湯
 検討箇所
 ★現地調査とプロジェクト進行

www.infrastrukturanlagen.chより

ドイツ・スイスにおける下水熱利用事例（1）

取水・夾雑物除去方式

ベルリン：スポーツ施設における活用（夾雑物除去方式）



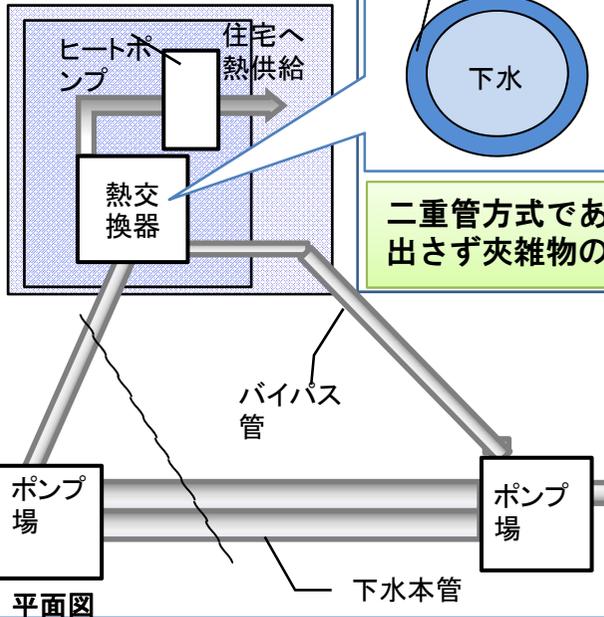
夾雑物除去装置をコンテナ外に持つことは疑問、熱交換器はバイオフィルム対策機能付きで性能低下の恐れがない

取水・二重管熱交換器

ベルリン：共同住宅における利用(二重管方式)



ポンプ場からバイパス管を通じて建物内の熱交換器で熱交換。



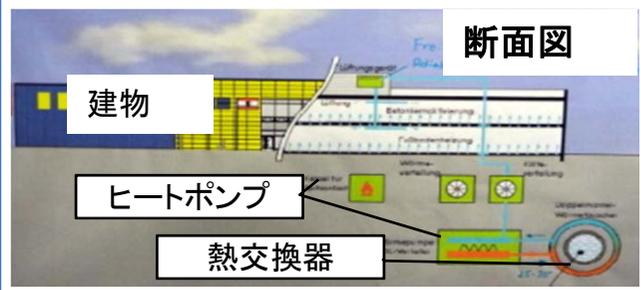
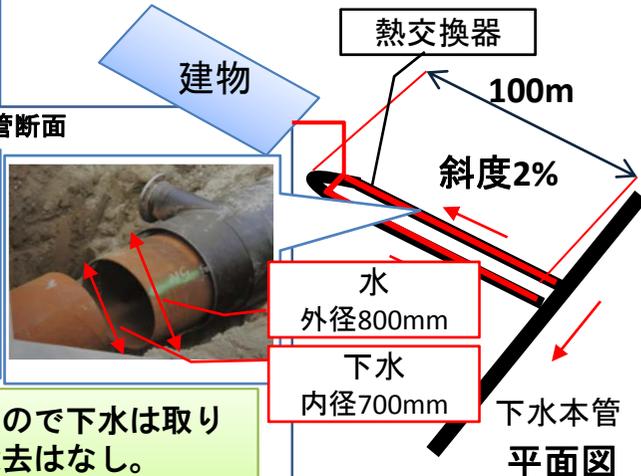
二重管方式であるので下水は取り出さず夾雑物の除去はなし。

二重管熱交換器は温浴施設向きのものが我が国でもあるが管径が細い。直径10cm程度の二重管は設置スペースが許せば有望

二重管式下水管

ベルリン：民間店舗(IKEA)における活用(二重管方式)

圧送式下水管から取水した下水を敷地内に設置したバイパスの二重管で熱交換。建物内のヒートポンプにより温冷熱供給。

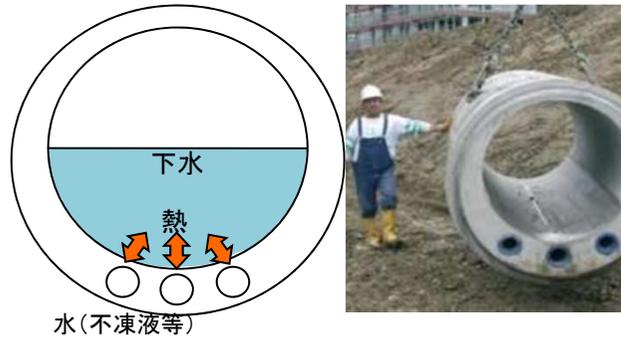


圧送式下水管の新設時に機能付加が可能 汚泥圧送管, 上水管, 工業用水管などにも適用可能

ドイツ・スイスにおける下水熱利用事例（2）

管組込方式

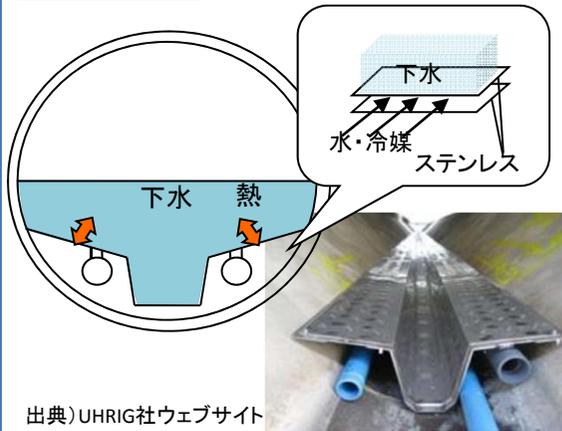
コンクリート管の底部に熱交換パネルを工場で組み込むタイプ、熱交換性能は良く、流下阻害の問題も無い。配管の接合部の水密性確保、耐震性確保が課題。



出典) Deutsche Bundesstiftung Umwelt, (2009) Heizen und Kühlen mit Abwasser

既設管設置方式

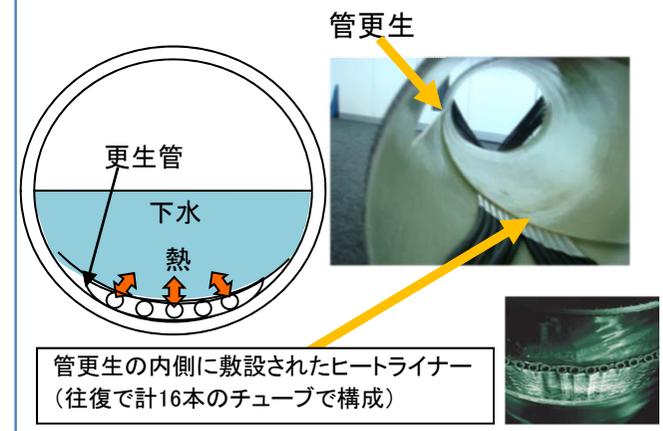
管渠の底部にステンレスの二重板を敷き、二重板の間に不凍液等を通すことにより下水との熱交換を行うタイプで、下水と直接金属を介して接するため、熱交換性能は良い。一方で下水流下等の課題を有する。



出典) UHRIG社ウェブサイト

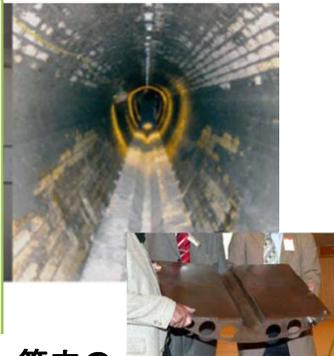
更生管組込方式

管渠の底部に高分子材料製のチューブを敷いて管更生を行い、チューブに不凍液等を通し下水との熱交換を行うタイプで、材料の熱伝導率が低いため、熱交換性能は劣るが、清掃の必要がなく、管更生と同時施工が可能。



ベルリン：中等学校における活用(モデル事業)

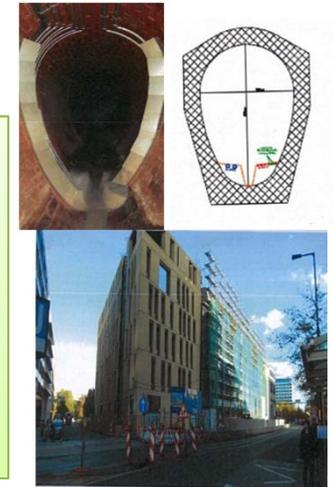
- 学校前の道路下の既設下水管に熱交換器を敷設(23m)、熱交換器内の不凍液を建物内のヒートポンプと循環させ熱利用。
- 2006年にベルリン市の補助金付きパイロットプロジェクトとして民間熱供給事業者（Vattenfall社）がベルリン上下水道局との協議のもと、熱交換器を管路に設置。学校施設内に場所を借受けヒートポンプ、太陽熱温水器を設置し、5年契約で熱供給。



管内の熱交換器設置状況

ベルリン：連邦環境省庁舎における活用（モデル事業）

- ドイツ連邦環境省ビルの改修工事の際に、下水熱利用システムを導入。
- 建物前道路に埋設された下水管に熱交換器を設置し実証中。
- 直膨方式（通常下水⇔不凍液⇔冷媒の2段階で熱利用を行うところを、不凍液を介さず下水⇔冷媒で直接熱交換を行う方式を導入し、ヒートポンプ効率を高める試み。冷媒配管長の制約がある。



NEDO「次世代型ヒートポンプシステム研究開発」プロジェクト

■テーマ名：

都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通技術

■期間： July, 2010 – Feb., 2013

■実施者：

公立大学法人 大阪市立大学
 (株)総合設備コンサルタント
 中央復建コンサルタント(株)
 関西電力(株)

■研究開発テーマ

企画・設計手法の研究

(a) 下水管路の簡易流量推定手法

(b) 管路の非定常熱輸送特性
 (c) 熱需要と下水管路熱賦存量のマッチング手法

ハード開発

(a) 下水熱利用に適したヒートポンプシステム

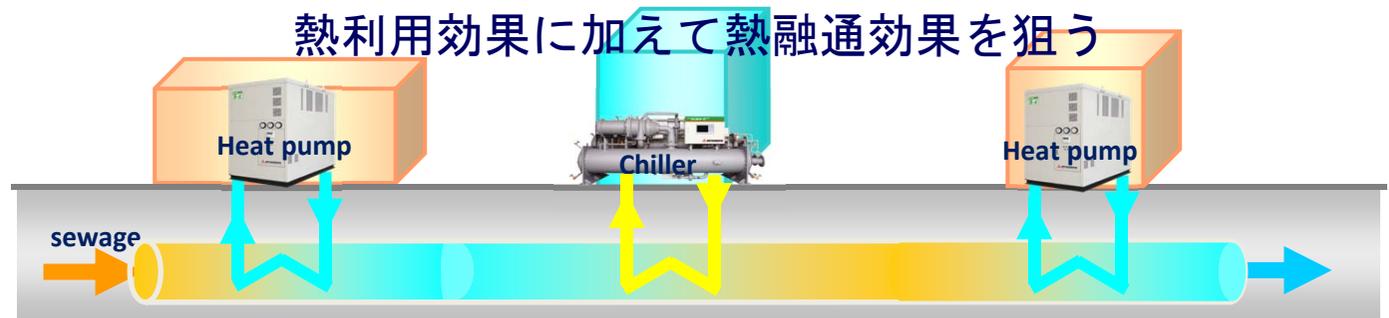
(b) 小型スクリーン装置

(c) 熱交換器

(d) 熱交換器の性能低下特性の把握と対策

(e) 下水熱利用・熱融通実証試験

熱利用効果に加えて熱融通効果を狙う



Cooling & Heating

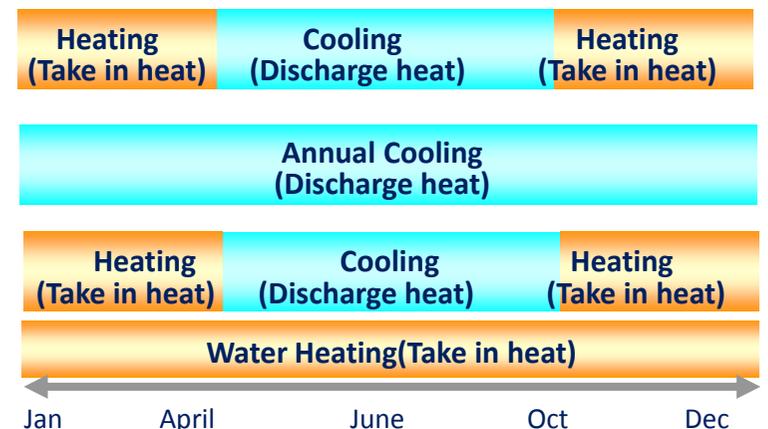
→Office, Commercial building

Annual Cooling

→Data center, Factory

Water Heating

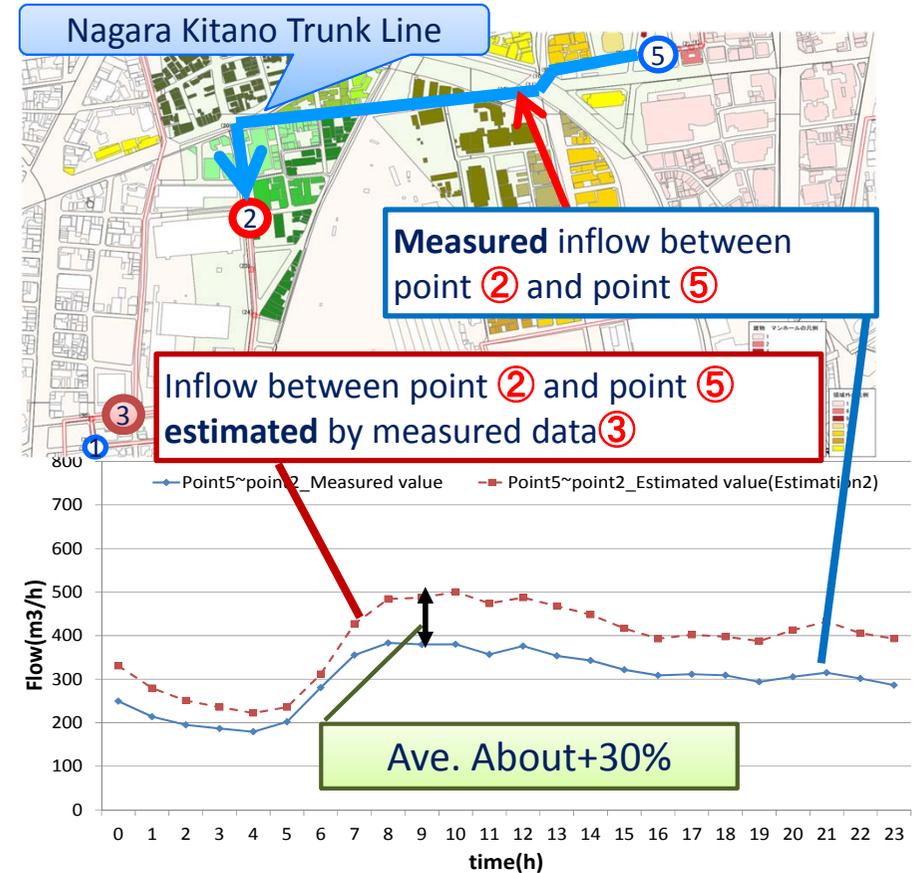
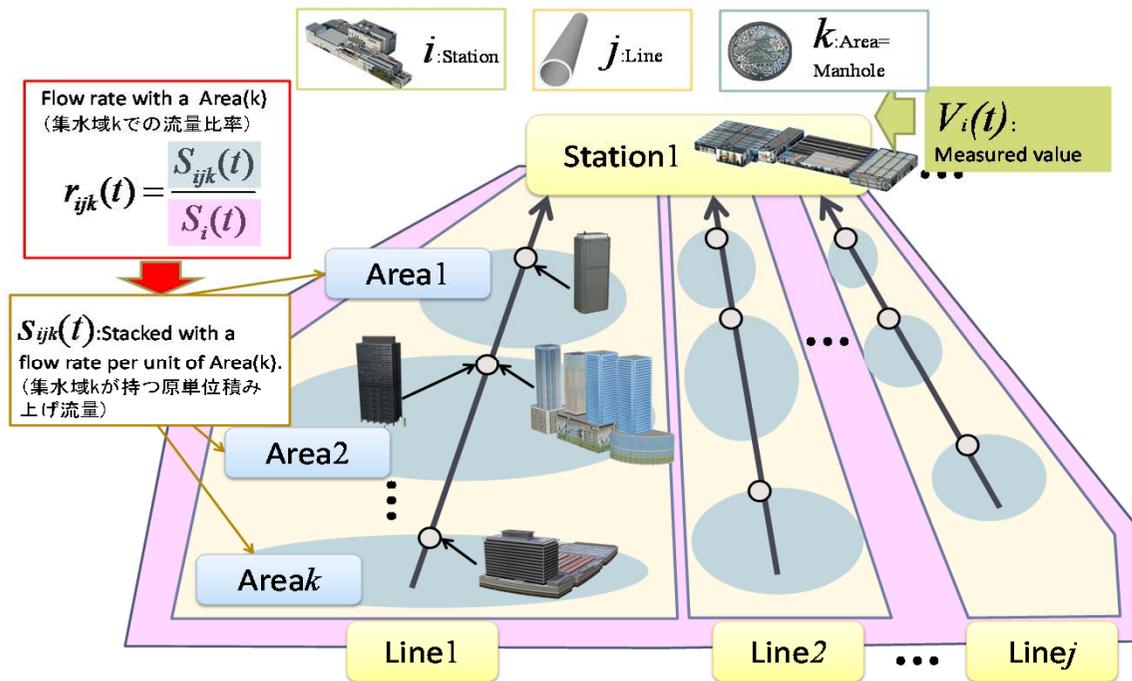
→ Commercial building, Hotel, Apartment



都市内施設の熱需要特性

企画・設計手法

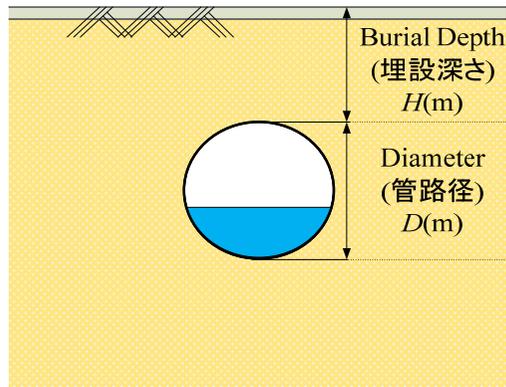
(a) 下水管路の簡易流量推定手法



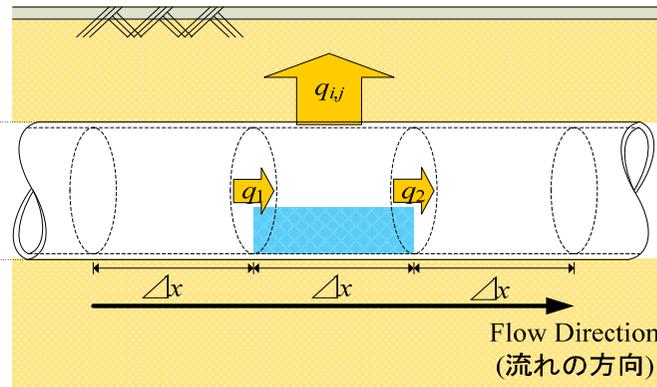
- 下水流量原単位と管路上の1、2点の流量計測から上水原単位を用いて、管路上の任意の点の流量を推定する)

企画・設計手法

(b) 管路の非定常熱輸送特性

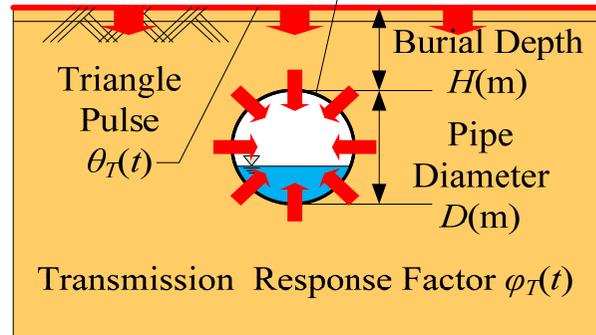
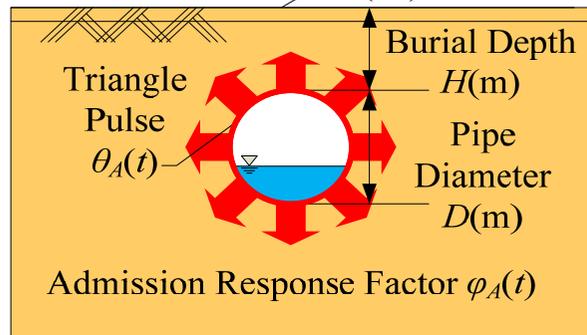
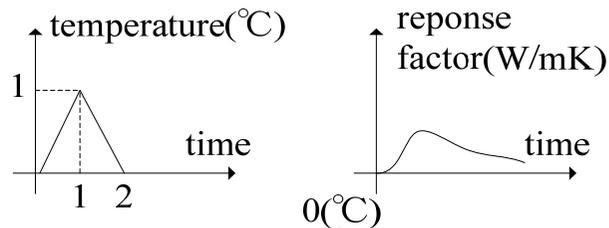
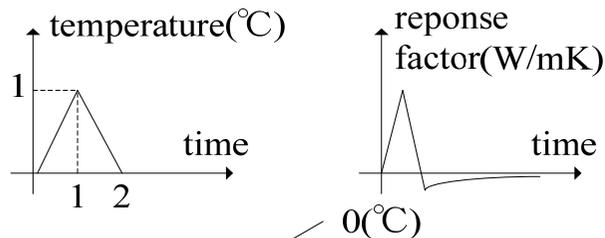


Pipe Crossed Section View
(管路断面図)



Pipe Along Section View
(管路長方向断面図)

・ 管路断面方向と管路長方向の計算を分離することで効率的に計算を実行

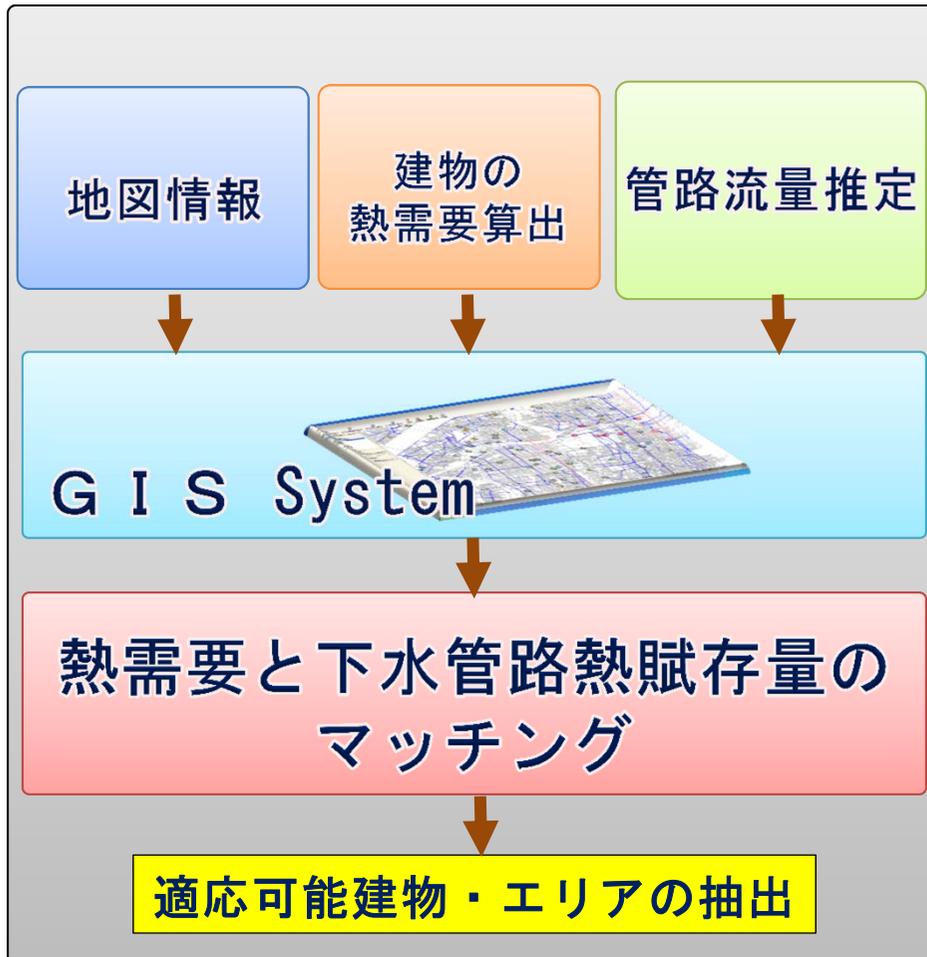


・ 応答係数（重み関数の一種）を用いることにより、管路断面方向の非定常伝熱の計算量を約500分の1に低減

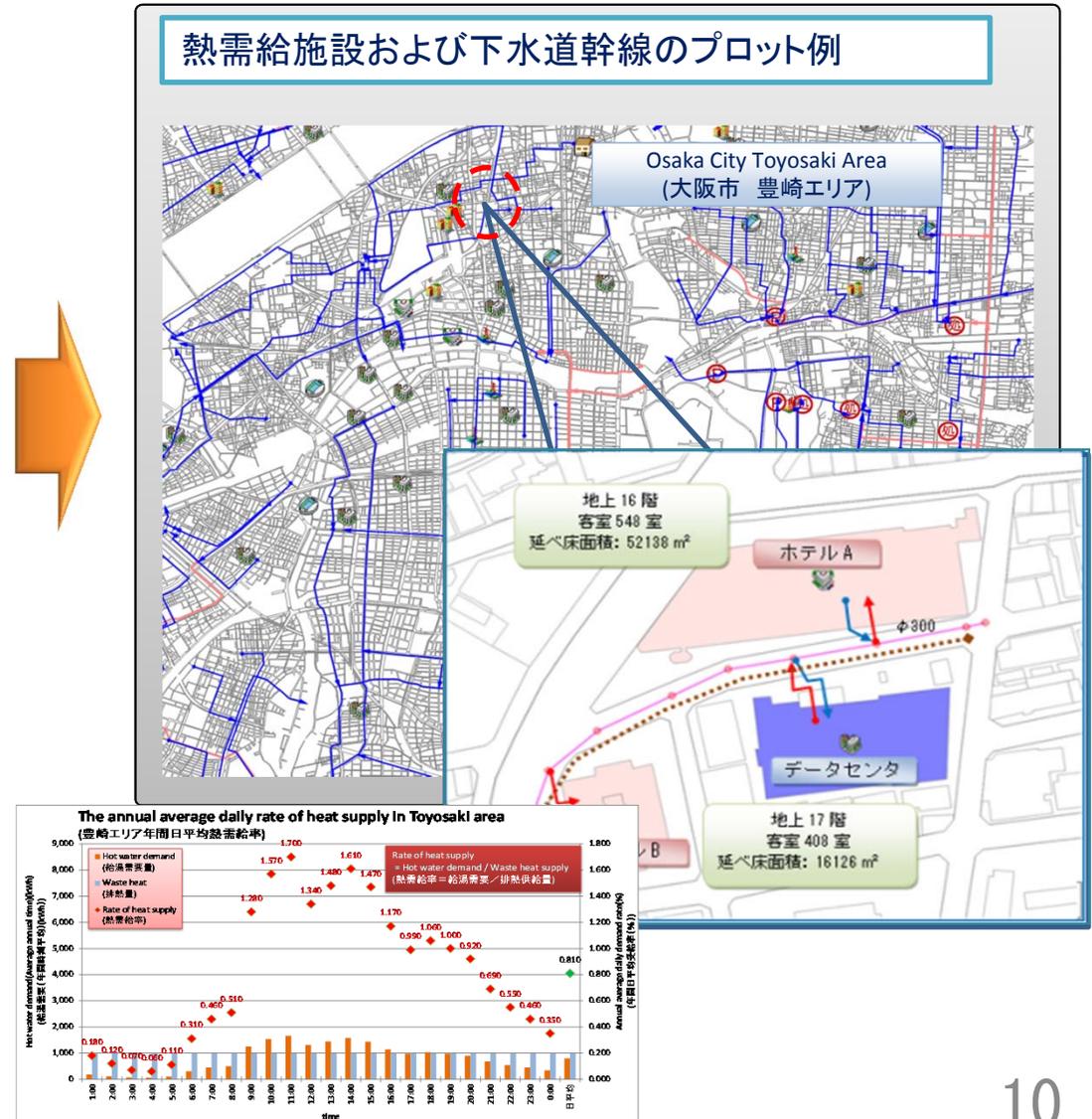
企画・設計手法

(c) 熱需要と下水管路熱賦存量のマッチング手法

下水熱利用に適した施設を抽出



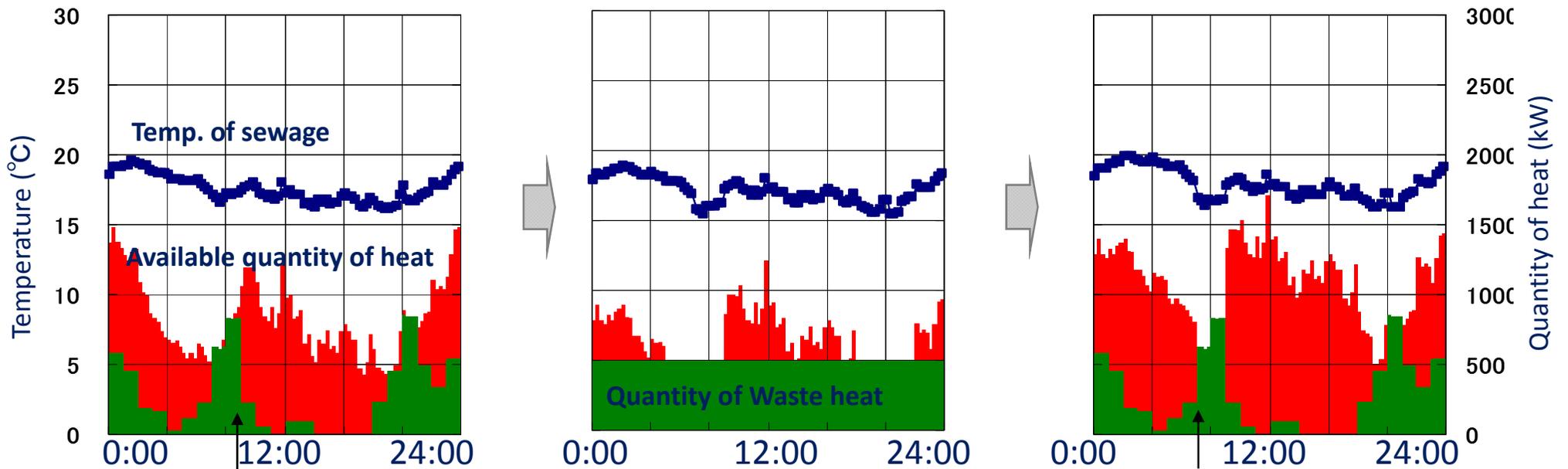
熱需給施設および下水道幹線のプロット例



企画・設計手法

(d) 熱利用・熱融通システムのエネルギーシミュレーション

施設毎の熱需要変動+ヒートポンプ+下水流量・温度変動+管路熱特性からなるエネルギーシステムのシミュレーションを行う。



熱需要施設1

年間排熱施設

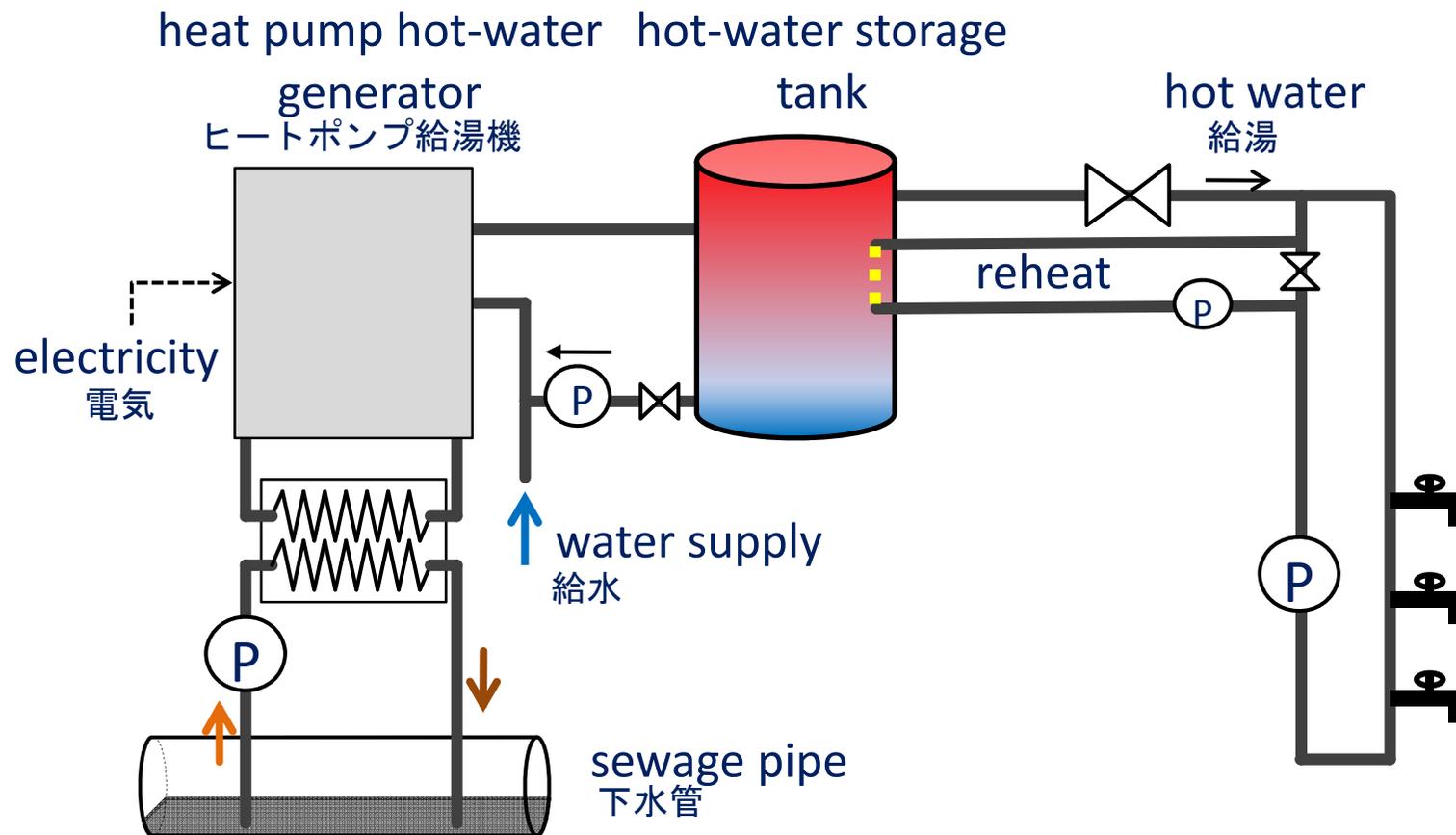
熱需要施設2



ハード開発

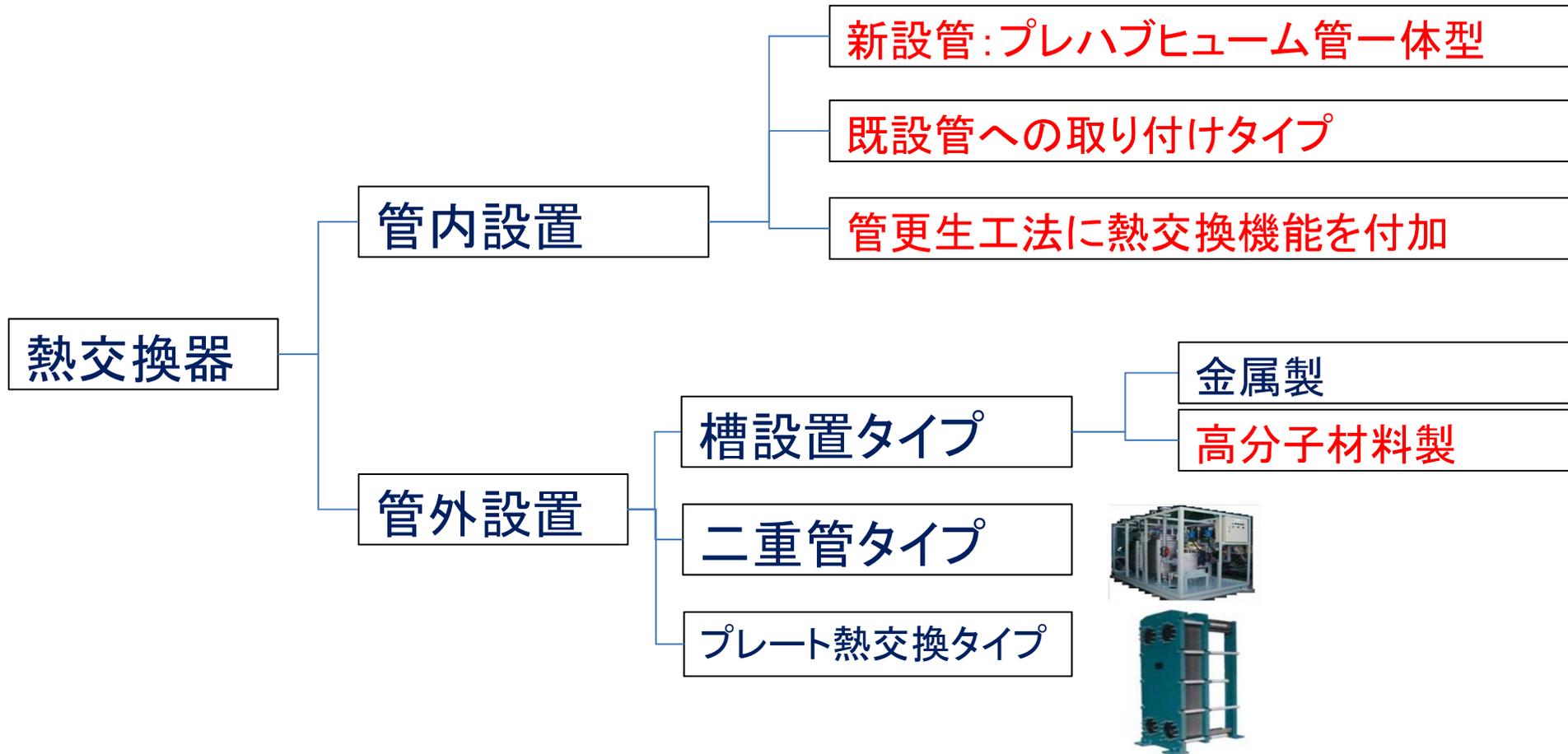
(a) 下水熱利用に適したヒートポンプシステム

- 冷房単独, 冷房・給湯同時, 給湯単独, 給湯・暖房同時, 暖房単独など下水熱利用に適した多機能ヒートポンプの開発が必要(下図は給湯ヒートポンプシステム)
- データセンター用など年間冷房空調機に下水への放熱機能を付加する方式検討

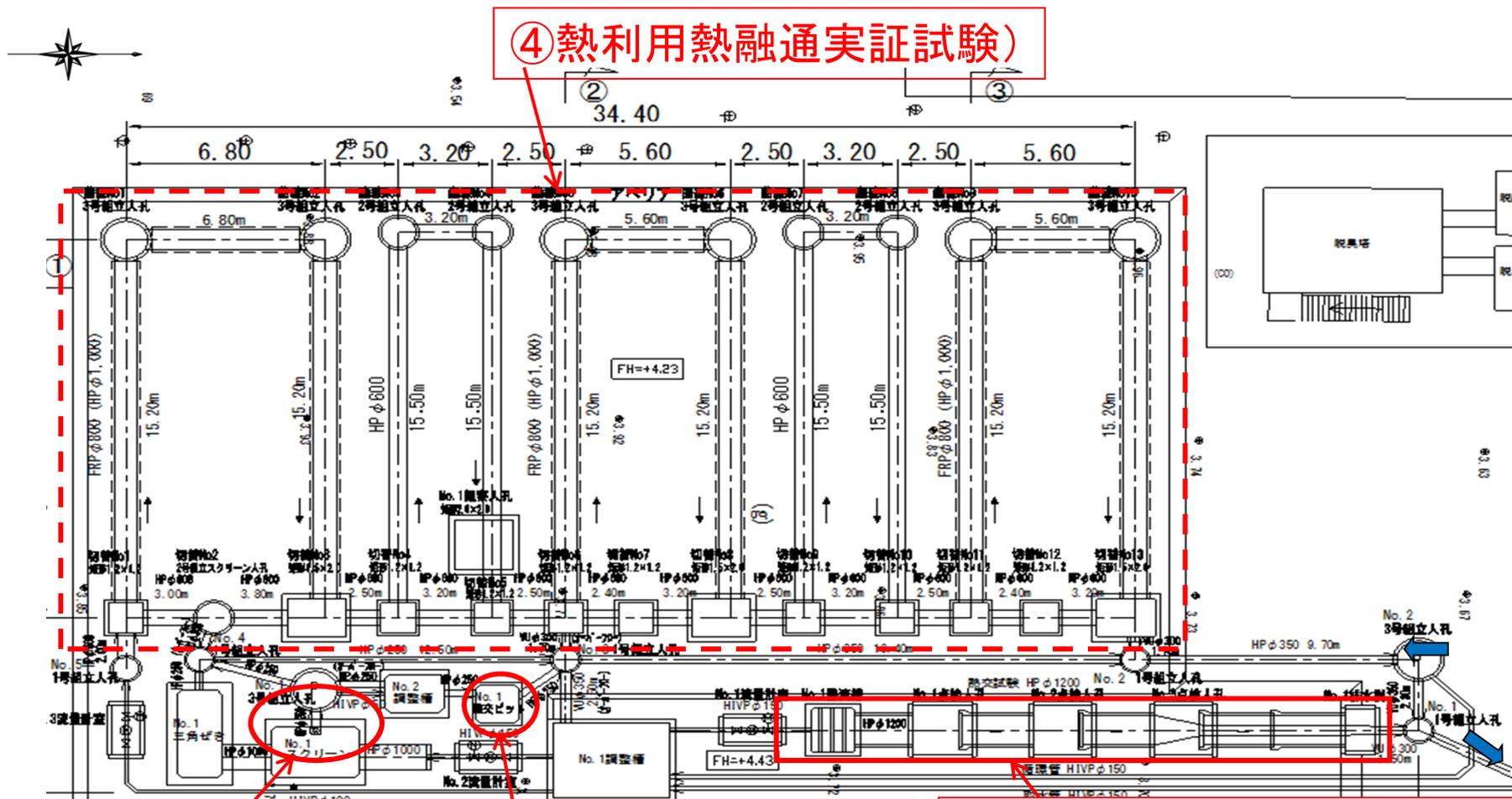


ハード開発

(c) 熱交換器 , (d) 熱交換器の性能低下特性の把握と対策



下水熱利用・熱融通実証試験



④熱利用熱融通実証試験

①小型スクリーン装置試験

③管外熱交換器性能試験

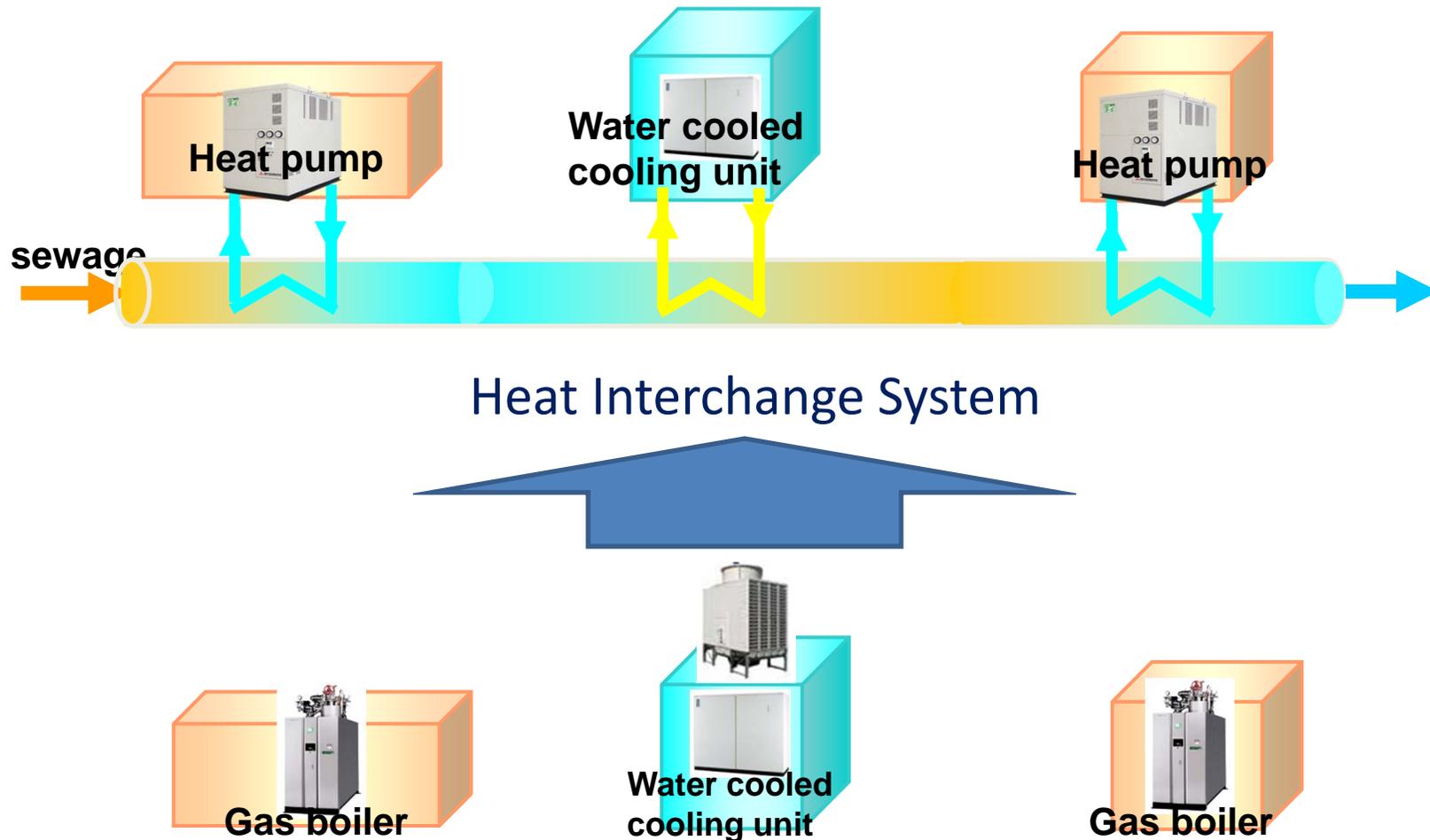
②管内熱交換器性能試験

NEDO研究開発テーマの目標

Primary energy consumption of the Heat Interchange System

$\leq 1/1.5$

Primary energy consumption of a conventional system

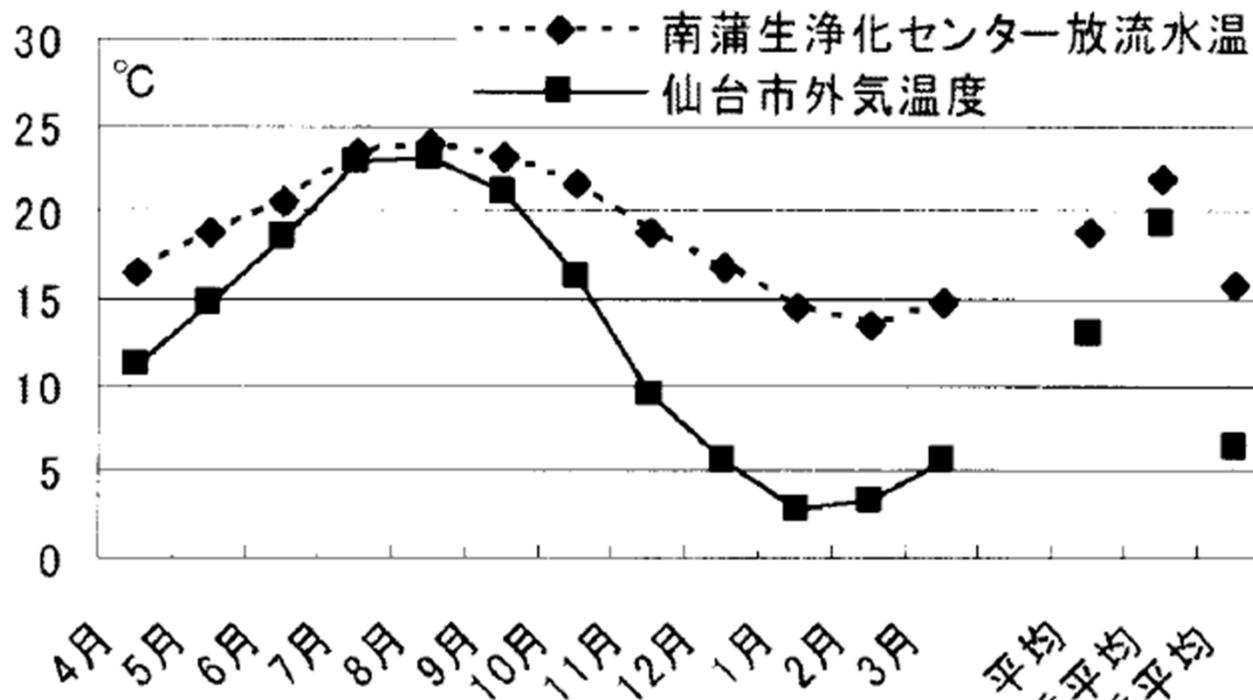


復旧システム構築時に下水熱利用を推進するために

- ① 仙台市の下水温度と外気温度の温度差最大値は2月で13K（大阪では11K程度）でありヒートポンプ熱源として魅力的
- ② 下水熱利用のターゲットは主として家庭部門と業務部門（都市中心部では業務部門がターゲット）
- ③ 家庭部門のエネルギー消費のうち給湯暖房が55% .
うち86% が化石燃料を使用して賄われている
- ④ 大阪府において、熱エネルギー消費量のうち給湯・暖房の比率は70%
- ⑤ 下水熱利用の普及には住宅の給湯・暖房を対象とすることが必須

仙台市の月別放流水温

下水温度と外気温の温度差最大値は2月で13K（大阪では11K程度）でありヒートポンプ熱源として魅力的

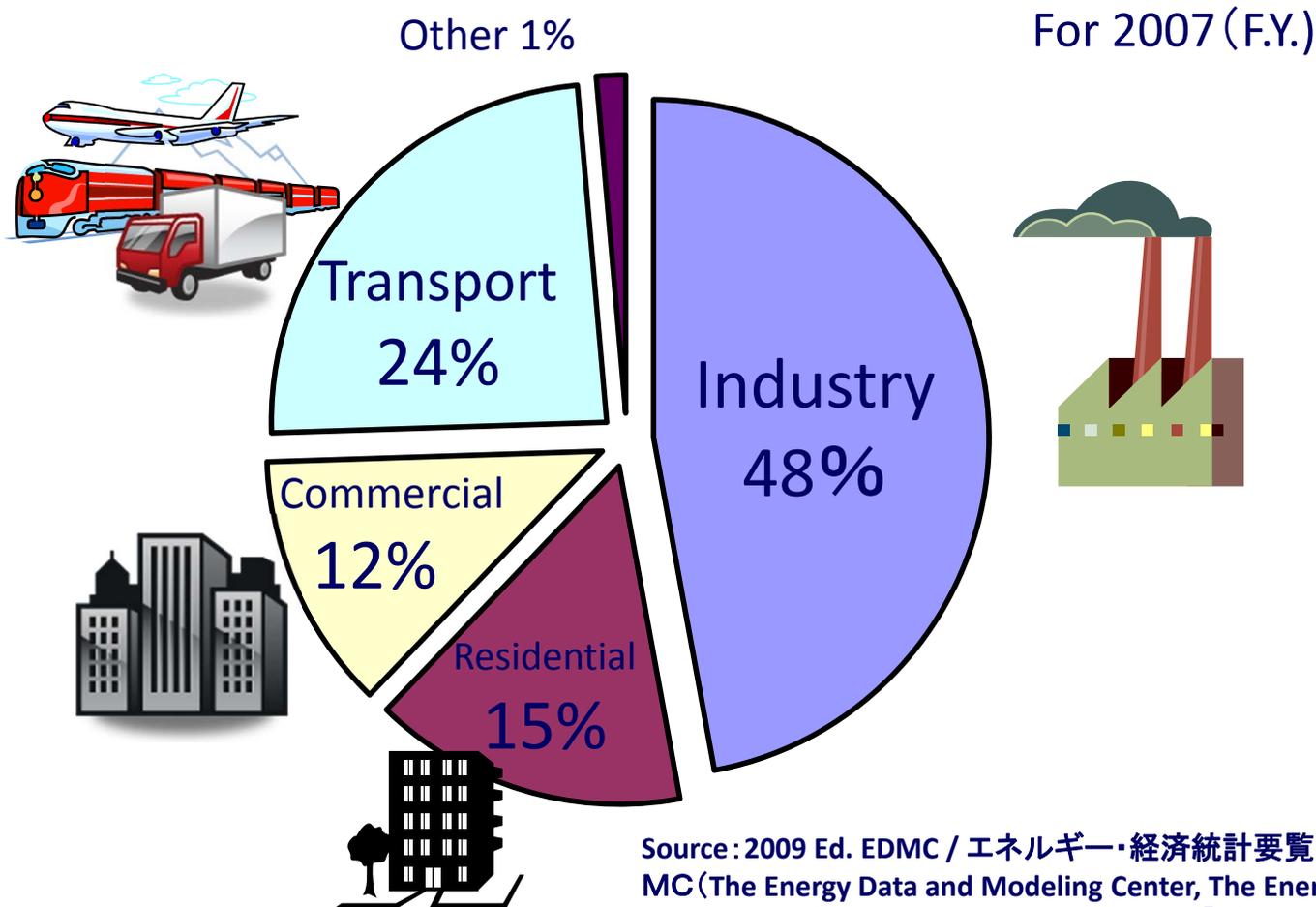


月別放流平均水温と外気温(仙台市, 計測データの年度不明)

引用: 茂木他, 仙台市の下水道における温度差エネルギー利用に関する調査 地域熱供給システム導入の可能性, 日本建築学会東北支部研究報告会, 平成22年6月

我が国の部門別エネルギー消費量

下水熱利用のターゲットは主として家庭部門と業務部門

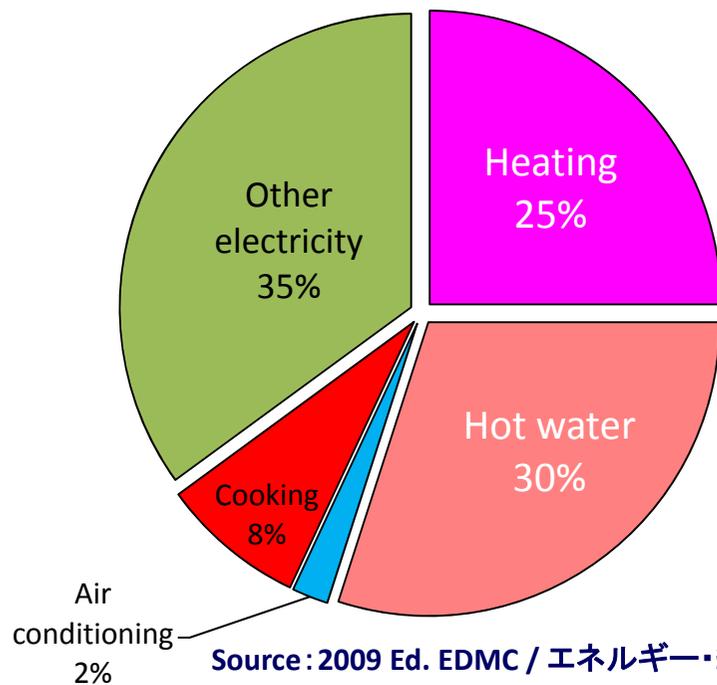


Source: 2009 Ed. EDMC / エネルギー・経済統計要覧、経済産業省/EDMC (The Energy Data and Modeling Center, The Energy Conservation Center, Japan) "Complete Energy Statistics" 「総合エネルギー統計」、chart made using EDMC statistics

家庭部門の用途別，エネルギー源別エネルギー消費量

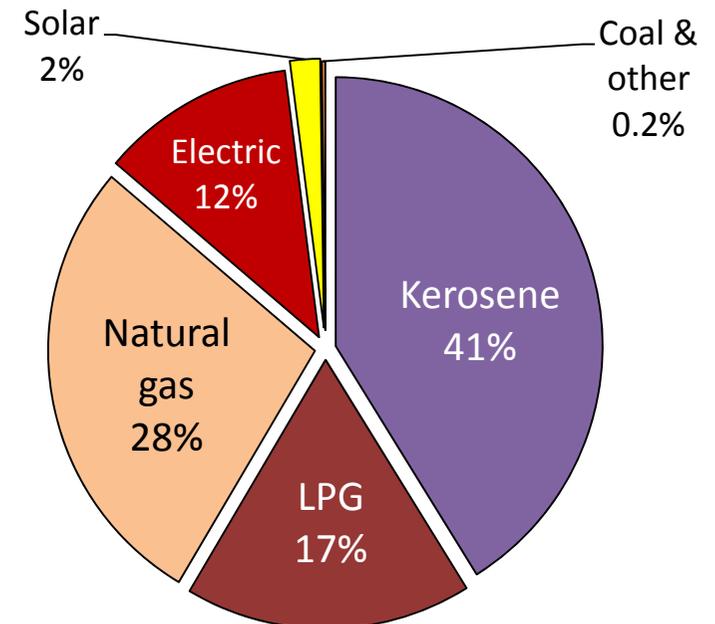
- ・我が国の家庭部門のエネルギー消費のうち給湯暖房は55%
- ・うち86% が化石燃料を使用

Energy consumption by use



Heating
Hot water

Heating & hot water energy consumption by source

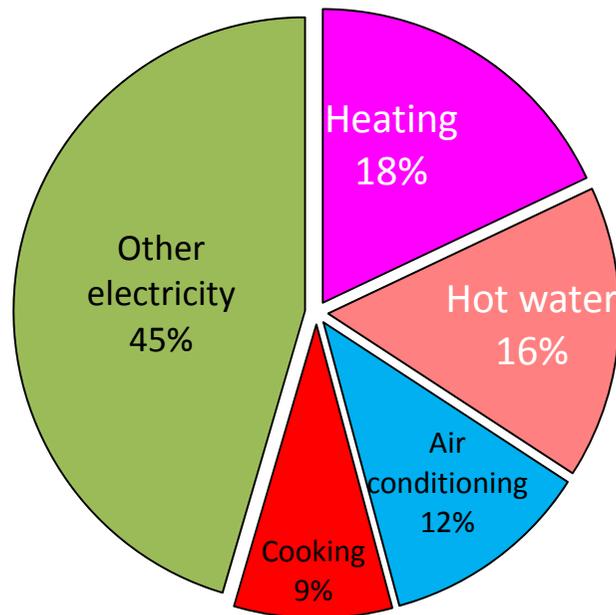


Source: 2009 Ed. EDMC / エネルギー・経済統計要覧、経済産業省/EDMC (The Energy Data and Modeling Center, The Energy Conservation Center, Japan) "Complete Energy Statistics" 「総合エネルギー統計」、chart made using EDMC statistics

業務部門の用途別，エネルギー源別エネルギー消費量

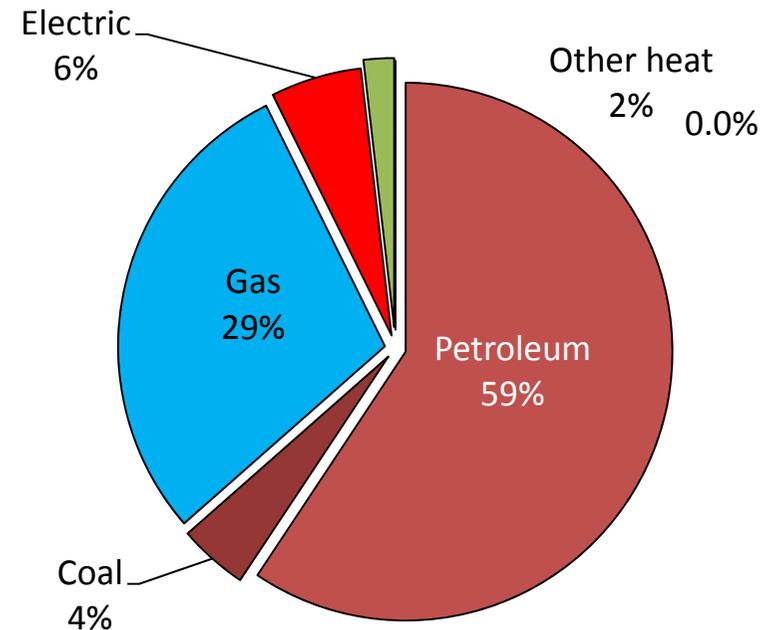
- ・ 業務部門のエネルギー消費の34% が給湯・暖房
- ・ 給湯・暖房熱の92% が化石燃料

Energy consumption by use



Heating
Hot water

Heating & hot water energy consumption by source

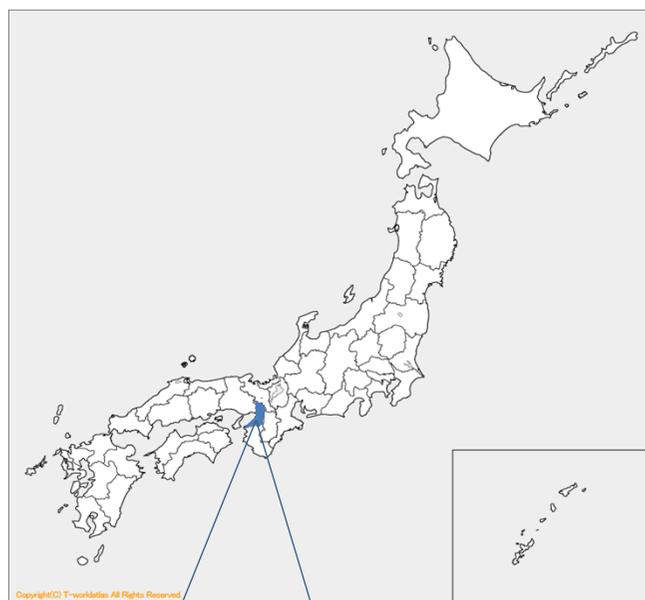


- (1) Coal includes coal, briquettes, firewood, charcoal, etc.
- (2) Other heat includes solar, geothermal, etc.

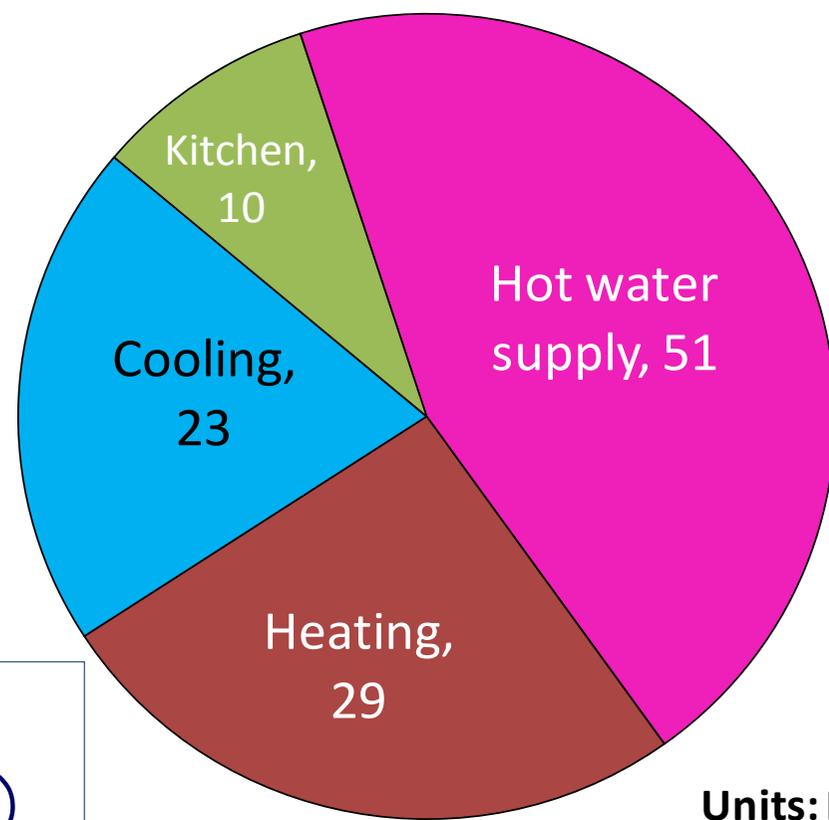
Source: 2009 Ed. EDMC / エネルギー・経済統計要覧、経済産業省/EDMC (The Energy Data and Modeling Center, The Energy Conservation Center, Japan) "Complete Energy Statistics" 「総合エネルギー統計」、chart made using EDMC statistics

大阪府の家庭部門と業務部門の年間熱エネルギー消費量

大阪府では熱エネルギー消費量のうち給湯・暖房の比率は70%



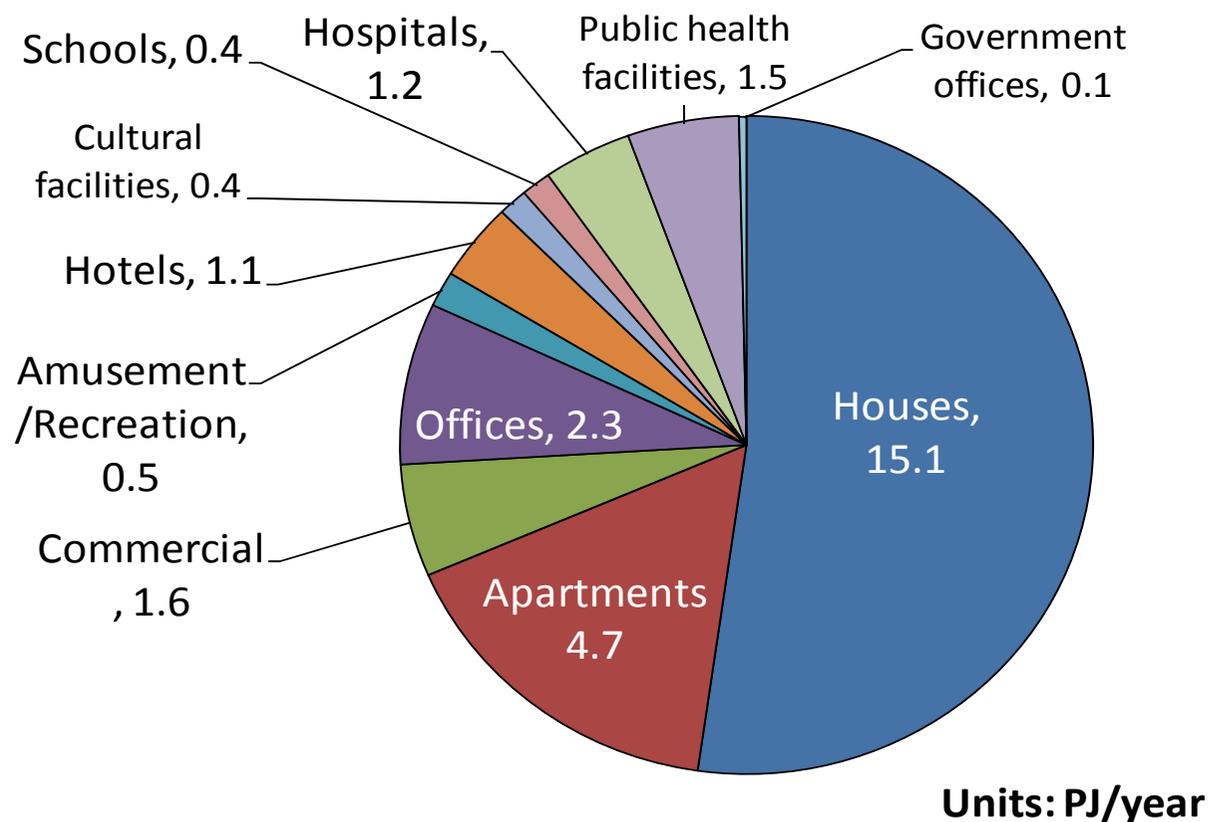
Osaka Prefecture
(population 8.8 million)



Units: PJ/year

年間暖房用熱エネルギー消費量（大阪府）

暖房用熱エネルギーは住宅での使用量が68%であり、普及段階では下水熱利用の市場とすべき

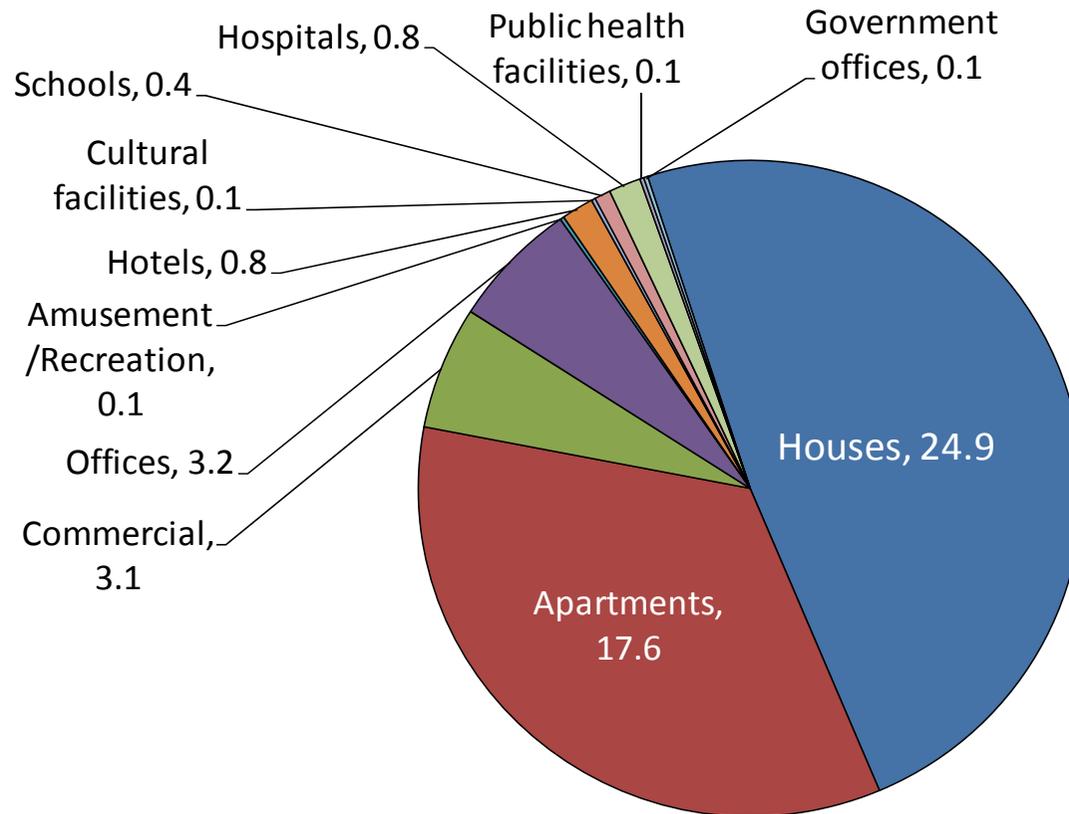


Made from Table 2 in reference.

Reference: Shimoda, Takahara, Shigeki, Narumi, Mizuno "Estimation and Evaluation on Energy Flow in Osaka Prefecture – Part 2", Architectural Inst. of Japan. Vol.55, 99-106, May 2002.

年間給湯用熱エネルギー消費量（大阪府）

給湯用熱エネルギーは住宅での使用量が83%であり，普及段階では下水熱利用の市場とすべき



Made from Table 2 in reference.

Reference: Shimoda, Takahara, Shigeki, Narumi, Mizuno "Estimation and Evaluation on Energy Flow in Osaka Prefecture – Part 2", Architectural Inst. of Japan. Vol.55, 99-106, May 2002.

Units: PJ/year