

技術調査のまとめ（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）

1. 技術の概要

(1) 技術の仕組み

- ヒートポンプ空調システムの熱交換先を地中熱（地下水・下水）とした技術である。
 - ヒートポンプを冷却利用する際の排熱を、地中（地下水・下水）へ放出することができ、ヒートアイランド対策に寄与することが出来る。

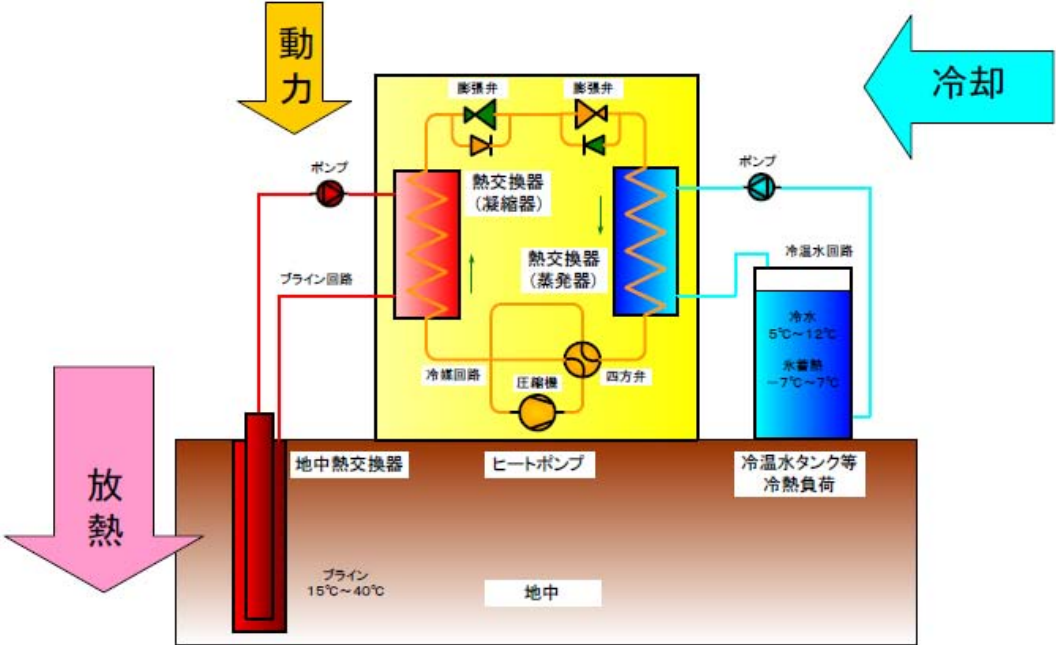


図 1 地中熱を利用したヒートポンプ空調システムの概念図（冷却の場合）

出所：地中熱利用促進協会ウェブサイトより

(2) 当技術の主な環境改善効果

① ヒートアイランド対策

- 空冷式のヒートポンプと異なり、冷房時排熱を空気中ではなく、地中に放出することから、大都市部におけるヒートアイランド現象の緩和に繋がる。

② 省エネルギー効果・地球温暖化防止

- 夏期には外気温よりも温度が低く、冬期には外気温よりも温度が高い地中熱（地下水）を熱源として利用することで、冷暖房の省エネルギーに繋がる。
- また、地中熱を利用したヒートポンプ空調システムの場合、熱交換は水冷式で行われ、通常の空冷式に比べて熱交換器を小さくできるため、同様に冷暖房の省エネルギーに繋がる。

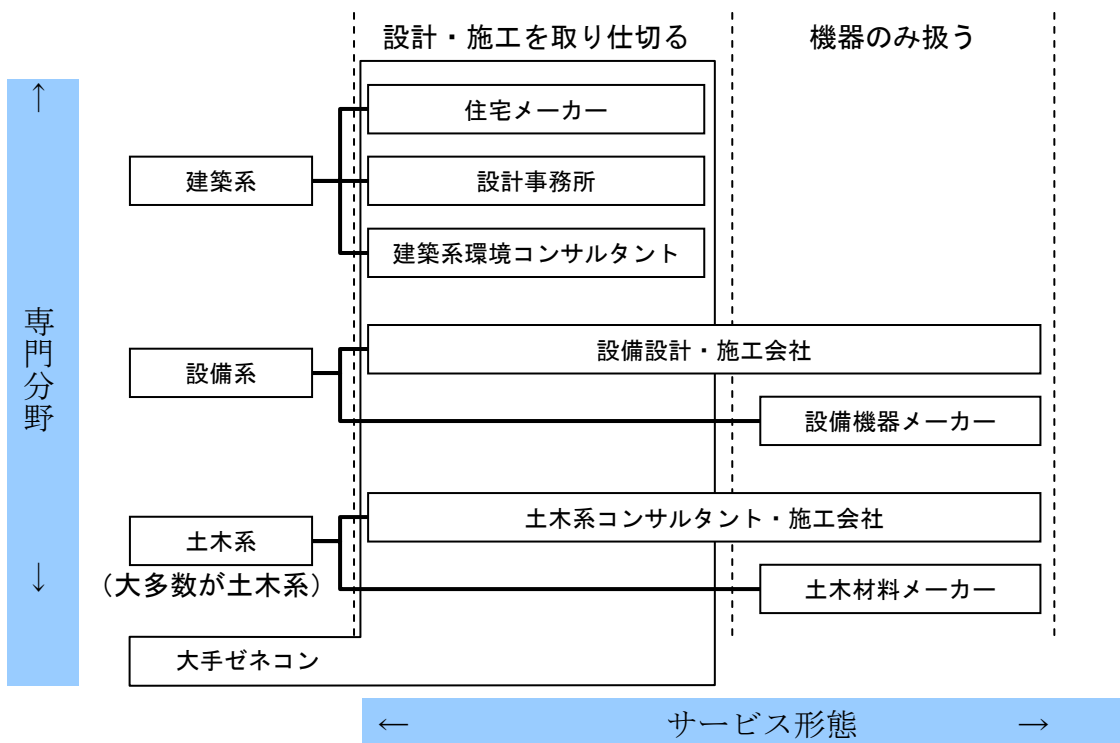
③ 騒音対策

- 通常のエアコンディショナなどと異なり、放冷用室外機がないので、稼動時騒音が小さくて済む。

2. 技術調査結果の要点

(1) 当該分野の関連企業

- 当該技術に関連する企業は、「専門分野」と、「サービス形態」の2軸から特徴を捉えられる。
 - 「専門分野」軸では、建築系・設備系・土木系の3タイプに分類でき、設備系・土木系が多くを占める。
 - 「サービス形態」軸では、機器や材料のみを扱ういわゆるメーカーか、それらを組み合わせてシステム化することをサービスとする設計・施工業に特徴が分かれる。
- 各業種とも関与する地中熱・下水熱利用システムの特徴に相違はないが、有する技術の範囲によって当該システムへの関わり方が異なる。



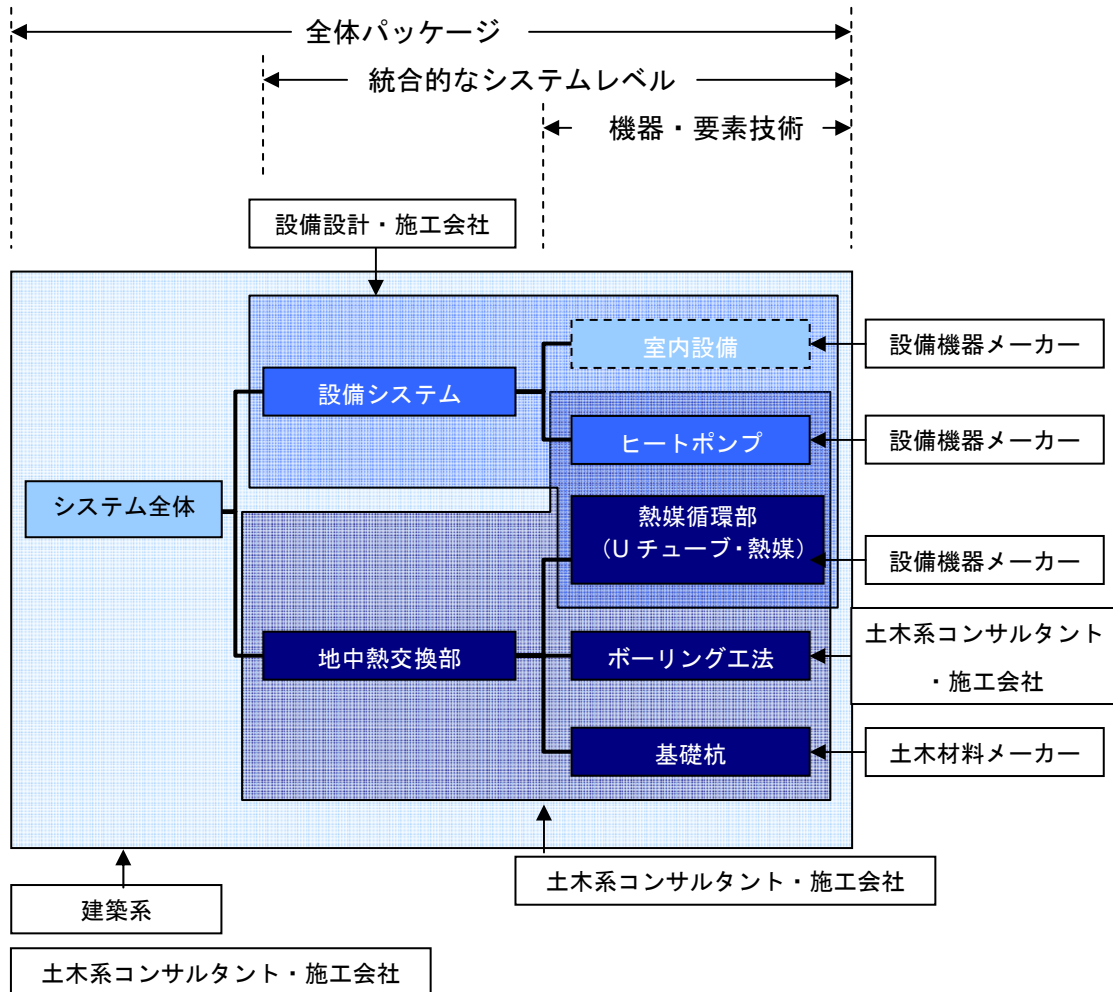
- 建築系：自社内で機器を有することはまれで、システムの全体統括を行う
 - ・住宅メーカー
 - －他社の機器を組み込んだパッケージ商品を一般消費者に販売する。
 - ・設計事務所
 - －住宅メーカーよりも柔軟性のある機器選定を行うことが多く、設計自体も柔軟性が高い。
 - ・建築系環境コンサルタント
 - －住環境や省エネルギーに関して一般ユーザーに対してシステム設計コンサルティングを行うため、業態としては設備・土木の設計・施工会社に近い。

- 設備系：設備の全体設計及び施工を行う設備設計・施工会社と、機器の製造・販売のみを扱うメーカーに分かれる
 - ・設備設計・施工会社
 - －自社で設備機器を用いない場合もある。
 - ・設備機器メーカー

- 土木系：土木工事全般を扱うコンサルタント・施工会社と、土木に用いる材料・機器の製造・販売のみを扱うメーカーに分かれる。
 - ・土木系コンサルタント・施工会社
 - －自社で地質調査機器、掘削機、杭、材料を有することが多い。
 - ・土木材料・機器メーカー

(2) 構成技術の状況

- 地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システムは、多重構造の技術の組み合わせで成り立っている。このため、技術調査の結果から、実証単位を明確にするために、以下の通りに技術の関係を整理した。



(3) 既存の制度における実証等の状況

- 既存の制度における実証等の状況は以下の通りに整理される。

事業名	主体	事業内容	実証結果の概要	本実証事業との関係
クールシティ推進事業 〔地下水等活用型・地中熱利用型〕	環境省	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地中熱利用時の地下水・地盤環境への影響を評価している。 ・ 地中熱利用型ヒートポンプ6件、地下水揚水型冷房システム1件、地下水散水システム2件について実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水・地盤環境への影響は限定的と見られた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証事業の試験項目候補である、地下水への影響を評価している。 ・ 評価の対象となった事例は限定的であり、実証対象技術を充実させる意義はある。
平成13年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務	環境省	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒートアイランド推進大綱 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒートアイランド対策効果の簡易計算法を示している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実測・実証を行う趣旨の検討ではない。
大手町地区都市排熱処理システム事業実施計画策定調査	国土交通省	<ul style="list-style-type: none"> ・ システム全体：下水の利用可能量 / 熱供給範囲 / 熱源・蓄熱システムを含めたシステム最適化の検討 ・ 下水自体：流量・水温の変動 / 夾雑物への対応と水質維持 ・ 関連施設：スペース確保 / 維持管理 / メンテナンス 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 左記下水への排熱利用の課題について対応策例を事例から抽出し、事業スキーム、フィージビリティの検証を行った。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下水熱を使用した地域冷暖房施設におけるヒートポンプの排熱技術の検討である。
エネルギー合理化技術開発実証事業	NEDO 大成建設・東京大学・ゼネラルヒートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 以下をテーマとして、実証実験を実施している。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 基礎杭利用空調システムのフィージブルスタディ ➢ 地中熱移動数値シミュレーション手法の開発 ➢ 高効率水冷式ヒートポンプの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 左記の分析により、エネルギー消費量、ランニングコストを算定し評価を行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大型の基礎杭方式に関して、フィージブルスタディ、地中への影響等、本実証事業の対象となる試験項目について実証を行っている。
住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業	NEDO 各需要家	<ul style="list-style-type: none"> ・ 省エネルギー対策を導入する需要家に対して1/3の補助金を出し、省エネルギー効果の結果報告を義務付ける事業 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 長野県におけるホテルで50%の省エネが実現。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証事業の対象となる試験項目である「省エネ性能」について実測している。

3. 調査結果の詳細(参考)

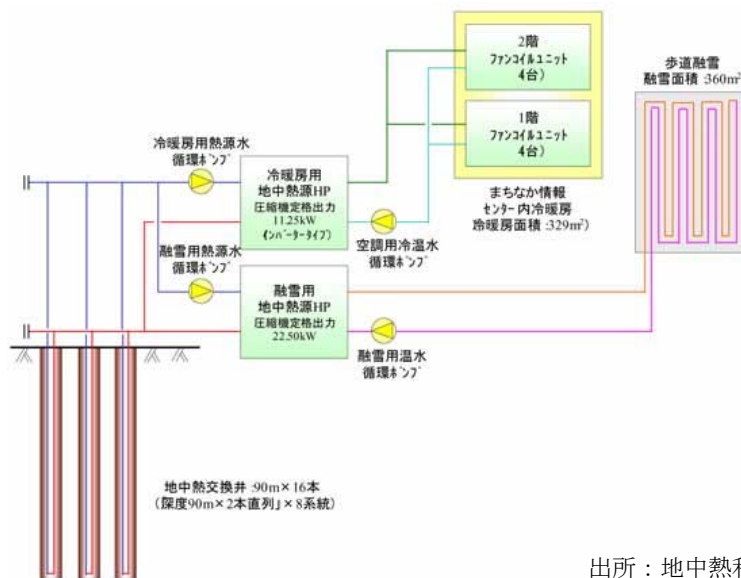
3.1. 各企業の技術例

(1) 排熱形態による整理

① 地中熱利用型

■ 概要

最も採用企業数が多いシステムは地中熱利用型で、杭がなく熱交換用チューブを直接埋設し、チューブ内の熱媒を循環させるものである。杭内を通る熱媒は、ヒートポンプ内熱媒と熱交換を行うため、膨張・凝縮はしない。



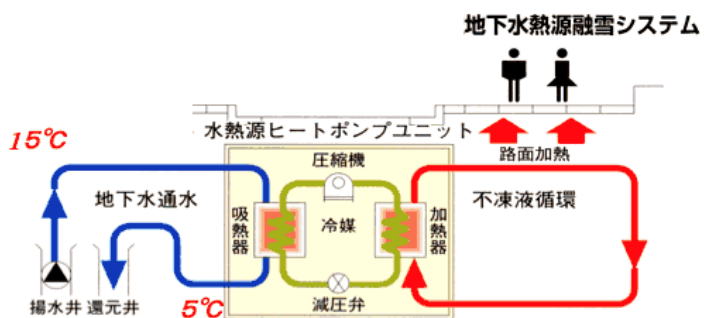
出所：地中熱利用促進協会 Web ページ

② 地下水汲み上げ式

■ 概要

地下水汲み上げ式システムは主に道路の融雪に適用される。揚水井からポンプで地下水を汲み上げ、地盤沈下を防ぐため、熱回収した地下水は還元井によって地中に排水される。

- ・ 汲み上げ地下水から直接ヒートポンプで熱交換
- ・ 熱交換後の地下水は還元井を通じて地中に排水される

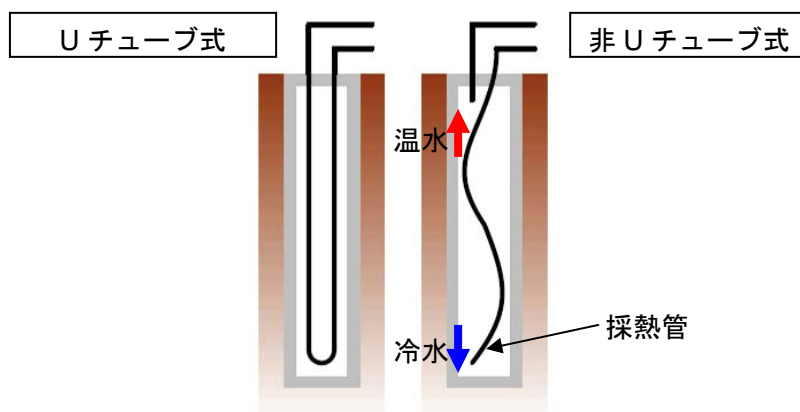


出所：前川製作所 Web ページ

③ 杭を活用した地中熱利用システム

■ 技術概要

- 建築物の基礎支持に用いられる杭内に熱交換用のチューブ等を挿入するもの。実際には基礎を支持しないものが多い。
- 熱交換チューブの挿入方法
 - 1)現場でコンクリートを固めて作る杭に埋め込む
 - 2)工場で製造された鋼製杭の中空層に挿入する
 - －2)は施工が容易という特徴がある。
 - －熱交換の構造が図に示す 2 タイプに分けられる。



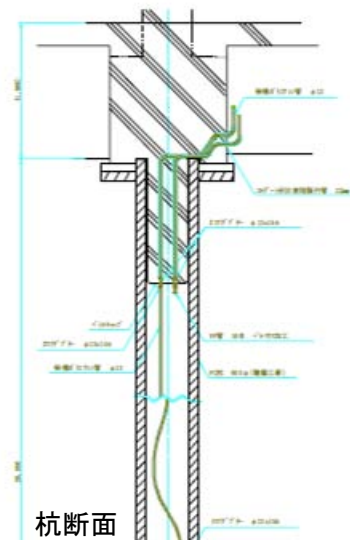
- 既製コンクリート杭中空層に非 U チューブ式の熱交換チューブを挿入。
- 杭は基礎を支持する



建物外観



地上熱交換部分



杭断面

出所：ゼネラルヒートポンプ工業 Web ページ

3.2. 業界団体の動き

(1) 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会

① 団体の概要

- (財)ヒートポンプ・蓄熱センター内に事務所を置く同センター研究会活動
- 顧問：北海道大学名誉教授 落藤澄、主査：北海道大学教授 長野克則
- ヒートポンプによる地中熱・地下水熱利用システムを活動対象とし、特に地上側（ヒートポンプ側）。
- 会員企業は 38 社で、半数以上が設備・土木系の施工会社。大手ゼネコン・電力会社各社の他、設備機器・杭材料・土木機械の販売会社など、当該システムの一部に関わる企業も参加している。

② 主な活動と成果

- 基本活動は、国内・海外の技術情報交換、各種技術調査・研究、ガイドラインなどの作成、普及啓発(セミナー、見学会、講習会などの開催)、IEA Heat Pump Program Annex 29 分科会との連携、海外ミッションの実施である。
- 有識者や会員企業による講義や講演を中心とした研究会を開催している。
- 設計マニュアル、システムシミュレーション、地盤情報、コミッションング等の WG を設置し、技術情報収集、勉強会等を開催した。

(2) 地中熱利用促進協会

① 団体の概要

- 地中熱利用ヒートポンプシステムの普及を目的とした NPO 法人
- ヒートポンプによる地中熱・地下水熱利用システムを活動対象とし、地中側（熱交換井側）の色が濃く、ボーリング会社の会員が多い。
- 団体会員は 81 社で、約 2/3 が設備・土木系の施工会社。大手電力会社各社も参加する。また、設備機器・杭材料・土木機械の販売会社など、当該システムの一部に関わる企業も参加している。

② 主な活動と成果

- 普及活動・同種交流を目的としたシンポジウム、講演会等
- Web サイトにも積極的に技術や適用事例が紹介されている

3.3. 省庁の取り組み

(1) 環境省 ヒートアイランド対策関連事業

① 平成 13 年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務

<http://www.env.go.jp/air/report/h14-02/index.html>

- ヒートアイランド対策立案・実践のために必要な方法論とその手法を検討
 - 事業構成
 - ・ 東京を例にヒートアイランドの原因を分析
 - ・ 東京における夏季の温度分布を可視化し、ヒートアイランド発生場所を分析
 - ・ 区、土地被覆、建物、自動車別の解析によって都市熱排出量を算定
 - ・ ヒートアイランド対策効果の簡易計算法やそのための資料を収集・整理
- 一簡易計算に組み込まれる対策方法の中に、地中熱利用はないが、下水熱・地下水熱利用型のヒートポンプが挙げられている

② ヒートアイランド対策推進大綱

<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=4837>

- 以下の 4 点を対策の柱としながら、それぞれの項目で実施すべき具体的施策やその施策により達成すべき数値目標がまとめられた
 - ・ 人工排熱の低減：省エネルギー、交通流対策等、未利用エネルギー利用促進
 - ・ 地表面被覆の改善：緑化、グリーン庁舎推進、河川・水路の充実
 - ・ 都市形態の改善：水と緑のネットワーク形成、市街地のコンパクト化
 - ・ ライフスタイルの改善：ソフト・ハード両面でのライフスタイル低減、エコドライブ推進
- その他、観測・監視体制の強化や調査研究の推進の方向性・取り組み内容が策定された

(2) 環境省 地下水・地盤対策関係

① クールシティ推進事業 [地下水等活用型・地中熱利用型]

<http://www.env.go.jp/water/jiban/coolcity/index.html>

- ヒートアイランド対策技術の推進を目的とし、地中熱利活用時の地下水・地盤環境への影響を評価
- 実施期間は平成 18 年度から 5 年間
- 事業内容
 - ーヒートアイランド対策効果の評価
 - ヒートポンプを利用する場合は消費電力量・人工排熱削減量等、散水等を行う場合は地表以上の温熱環境を測定する。
 - ー地中、地下水への影響の評価
 - 地中・放流水の温度、地下水位・流動、放流水の水質等を測定する。
- 評価項目
 - ーヒートアイランド対策効果：表面温度の低下の程度、顕熱の削減量、人工排熱の削減量等
 - ー環境負荷：対策の実施に伴うエネルギー消費、水等の資源の消費等
 - ー環境への一次的影響：地下水位、地盤高、地下水温・地中温度、地下水質等
 - ー環境への二次的影響：汚濁物質の排出、騒音・振動等
- 事業分類
 - 地中熱利用型ヒートポンプ 6 件、地下水揚水型冷房システム 1 件、
 - 地下水散水システム 2 件
- 事業例：地中熱利用冷暖房システム稼働に伴う地盤環境・地下環境への影響評価
 - ー測定項目：システム消費電力量、地下水位及び地中温度等
 - ー地下環境への影響について評価モデルを構築、検証

② 地下水質モニタリングのあり方に関する検討会

http://www.env.go.jp/water/chikasui/mon_commi/index.html

- モニタリング水準を適正に保つため、以下の 5 点の今後の対応内容について検討を行った
 - ・ モニタリングの目的を達成するための測定計画
 - ・ 測定データの確認・精度管理に関する具体的基準
 - ・ 測定結果の公表の時期や方法
 - ・ 汚染判明時の対応
 - ・ 災害時や事故時等の対応

③ 地盤沈下に関する取り組み

http://www.env.go.jp/water/chikasui_jiban.html

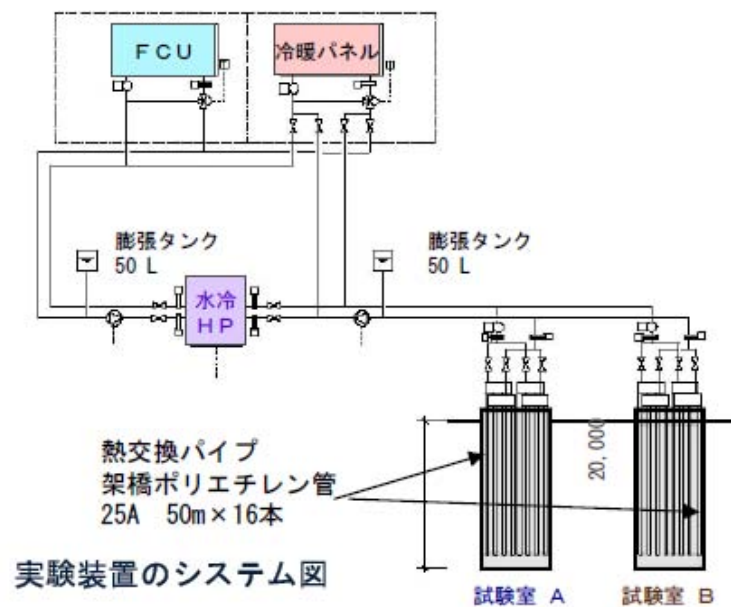
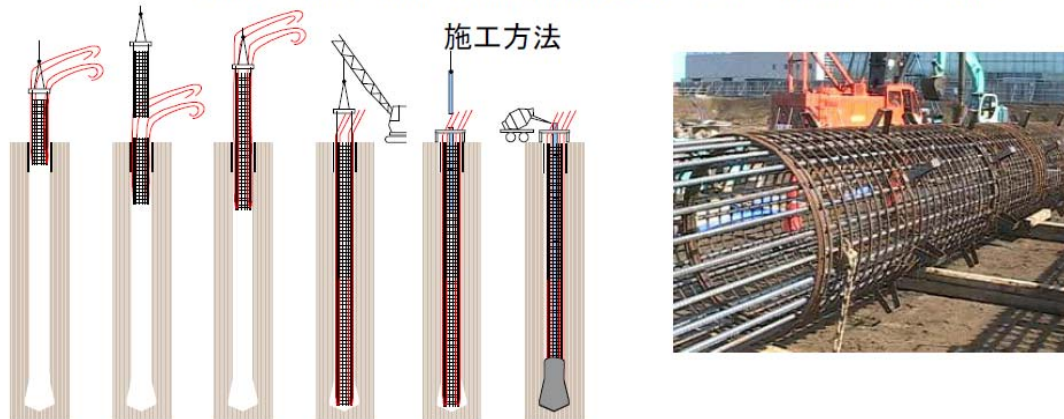
- i) 地盤沈下監視ガイドライン
 - 都道府県が活動上参考とすべき技術的な提言として、主に以下の 2 点に関する基本的な考え方・望ましい監視の水準等についてとりまとめている
 - ・ 観測項目：地盤高 / 地下水位 / 地盤収縮量
 - ・ 調査項目：地質調査 / 揚水量調査
- ii) 全国地盤環境情報ディレクトリ
 - 地盤沈下等の地盤環境や対策状況が、地盤単位でまとめている

(3) NEDO 実証事業(東京大学・大成建設・ゼネラルヒートポンプ工業の共同研究)

- 平成 15 年～17 年 NEDO エネルギー合理化技術開発による実証事業であり、以下のテーマについて研究を実施している。
 - 基礎杭利用空調システムのフィージブルスタディ
 - 地中熱移動数値シミュレーション手法の開発
 - 高効率水冷式ヒートポンプの開発

東京大学(柏)総合研究棟

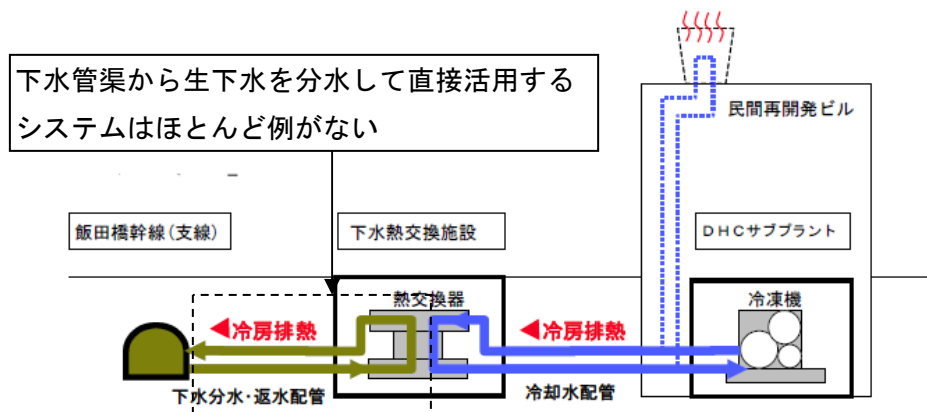
場所打ち杭: $\phi 1.5\text{m} \times 18\text{m}$ 高密度ポリエチレン管(Uチューブ8対)



出所：東京大学生産技術研究所 大岡准教授発表資料

(4) 国土交通省 大手町地区都市排熱処理システム事業実施計画策定調査

- ヒートアイランド現象の緩和を主な目的としている。ビルの排熱を DHC プラントに集約し、下水を通じて逃がすシステムの事業化に向けた調査事業である。
- 事業化を目指すシステムの概要
 - ・ 冷凍機の冷却水を処理前の生下水と熱交換することで排熱する
→ 下水管渠があれば適用できるため、地理的な制約が少ない
 - ・ 空気中の廃熱量削減と COP 向上の両面の効果がある



出所：大手町地区都市排熱処理システム事業実施計画策定調査 報告書

- 主な検討課題
 - ・ システム全体：下水の利用可能量 / 熱供給範囲 / 熱源・蓄熱システムを含めたシステム最適化の検討
 - ・ 下水自体：流量・水温の変動 / 夾雑物への対応と水質維持
 - ・ 関連施設：スペース確保 / 維持管理 / メンテナンス