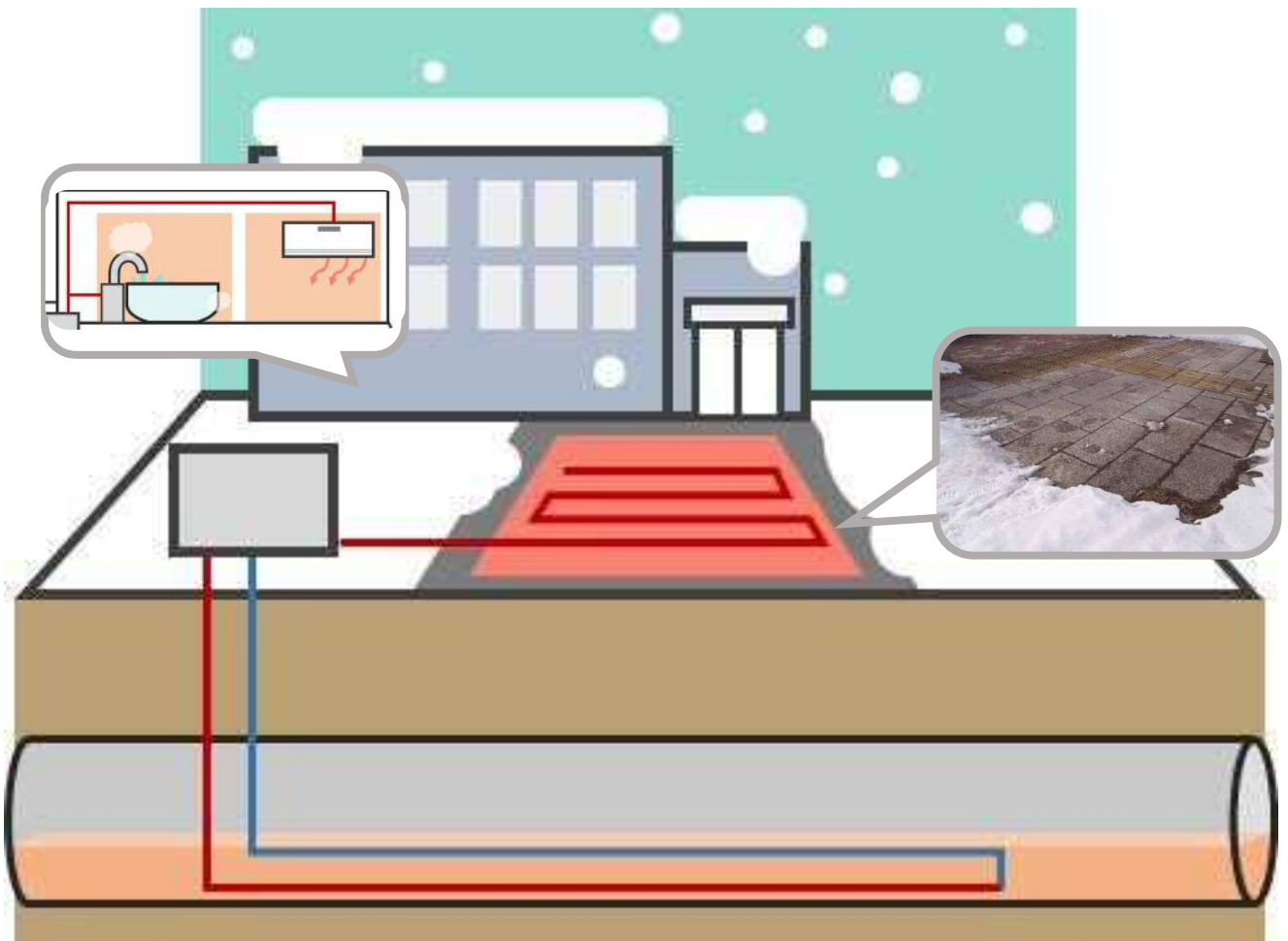


札幌市

下水熱利用

ガイドライン



札幌市下水道河川局事業推進部

目次

第1章 下水熱利用について

1. 下水熱について

- ・ 下水熱とは----- 1
- ・ 下水熱がある場所は----- 1
- ・ 下水熱の利用方法は----- 2
- ・ 下水熱の実施例は----- 2

2. 下水熱利用の効果と手続き

- ・ 下水熱利用の効果は----- 3
- ・ 下水熱利用の手続きは----- 3

【参考】支援制度と誘導方策

- ・ 国による費用面の支援----- 4
- ・ 札幌市による開発推進制度----- 4

第2章 下水熱の利用手順

1. 利用手順のフロー

- 1.1 下水熱の利用検討から運用までの流れ----- 5

2. 計画・調査

- 2.1 下水熱の利用用途の検討----- 7
- 2.2 周辺下水管路の情報調査----- 9
- 2.3 コストの試算----- 11
- 2.4 支援制度・誘導方策----- 11
- 2.5 下水暗きよの調査許可申請----- 12
- 2.6 下水暗きよの調査----- 14

3. 設計・施工

- 3.1 設計計算----- 16
- 3.2 概算工事費の算出----- 20
- 3.3 熱源水温設定についての評定（ZEB の場合）----- 21
- 3.4 下水暗きよ使用許可申請----- 22
- 3.5 設置工事----- 24
- 3.6 道路占用許可申請等----- 25

4. 運用

- 4.1 維持管理協定協議・締結----- 26
- 4.2 使用料の納付----- 27
- 4.3 下水暗きよの使用許可期間----- 27
- 4.4 維持管理----- 28

第3章 設計事例

- その1 融雪利用----- 29
- その2 空調利用----- 35

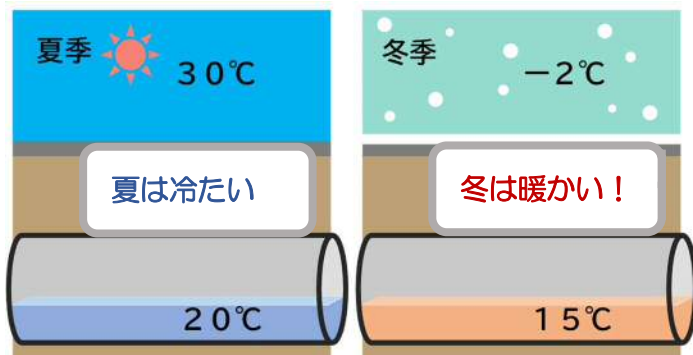
【参考資料】用語の解説----- 39

第1章 下水熱利用について

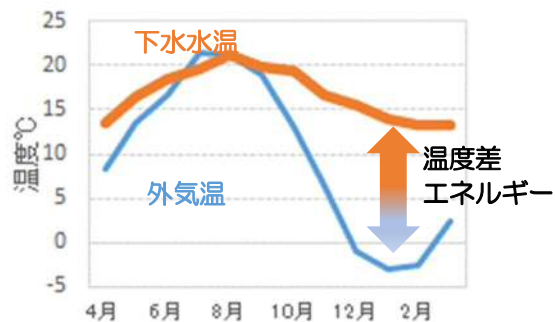
1. 下水熱について

下水熱 とは？

- 「下水の水温」は、外気温と比べて、「夏は冷たく」、「冬は暖かい」という特徴があります。
- 下水と外気の温度差熱エネルギーは、「下水熱」とよばれ、太陽光と同じく「再生可能エネルギー」です。



温度差イメージ



外気温と下水水温の比較（札幌市）

下水熱を利用すると…

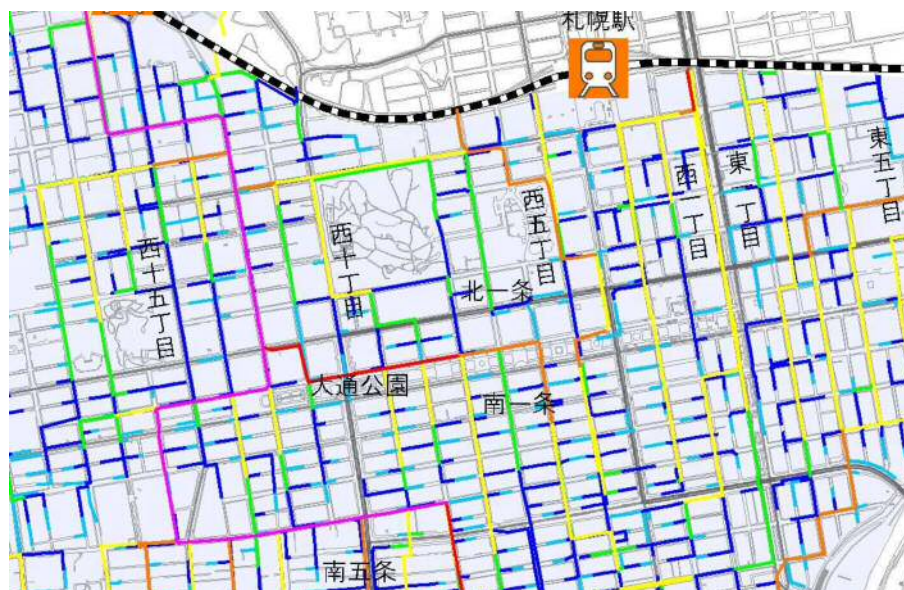
- ・ヒートポンプを使用する暖房の場合、外気を熱源とするより「下水熱」を熱源とすると、加温の「動力を小さく」できます。
- ・「電気代の削減」、「CO₂排出量の削減」につながります。

**脱炭素社会の
実現に貢献します**

下水熱がある場所 は？

- 下水熱は、市内一円にある下水道管から採熱可能です。
- 下水熱の量と位置を「下水熱ポテンシャル」として、札幌市のホームページで公開しています。
(<https://www.city.sapporo.jp/gesuikasen/netsuriyou.html>)

■札幌市下水熱ポテンシャルマップ

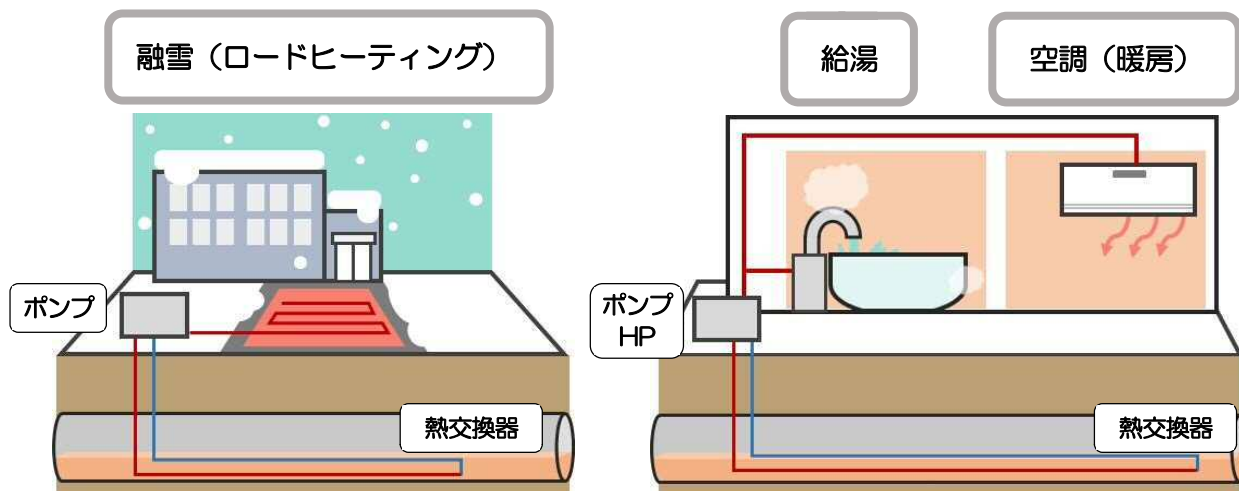


利用できる下水熱の
エネルギー量ごとに
色分けしています。

500	～	1,000	[MJ/日]
1,000	～	5,000	[MJ/日]
5,000	～	10,000	[MJ/日]
10,000	～	50,000	[MJ/日]
50,000	～	100,000	[MJ/日]
100,000	～	300,000	[MJ/日]
300,000	～		[MJ/日]

下水熱の利用方法 は？

- 下水管の中に熱を回収するための**熱交換器**を設置し、管内を流れる熱源水と下水が熱交換します。
- 空調・給湯など下水熱だけではエネルギーが不足する場合は、**ヒートポンプ(HP)**を設置します。
- 空調・給湯利用は、エネルギー消費削減により、**建物の ZEB 化に寄与**することができます。



下水熱の実施例 は？

- 北区篠路のバス停留所の**ロードヒーティング**、西区民センター・保健センターの**暖房**があります。

■融雪 (ロードヒーティング)

平成 9 年と 11 年に、北区篠路のバス停留所にて、下水熱を利用したロードヒーティングを設置しました。

熱源は下水熱のみを利用しており、ヒートポンプ等熱量を増強させる設備を使わずに、路面の融雪ができています。

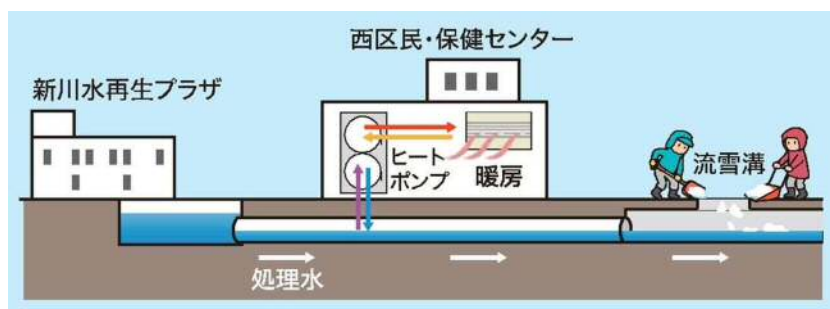
設置後、約 25 年が過ぎましたが、熱交換器を補修せずに、融雪機能を維持しています。



■空調 (暖房)

冬に新川水再生プラザから下水処理水を流雪溝へ送水して、沿線住民が雪を流しています。

その下水処理水の一部を西区民・保健センター内に引き込み、ヒートポンプで熱エネルギーを回収し、空調(暖房)に利用しています。熱エネルギー回収後の下水処理は、再び流雪溝に戻っています。



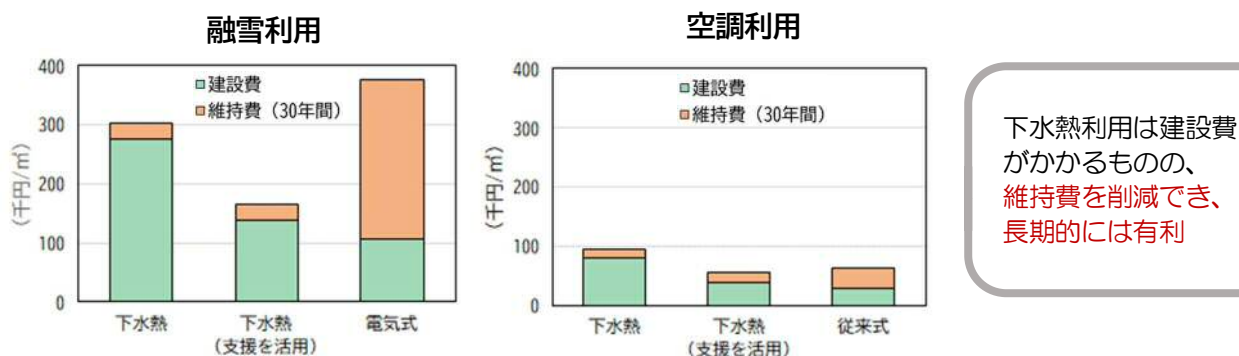
- ◎暖房熱源の一部に下水熱を利用
- コストを削減(年間 240 万円)
- CO₂ 排出量を削減(年間 47t)

2. 下水熱利用の効果と手続き

下水熱利用の効果 は？

- 熱交換器やポンプなど下水熱利用設備を設置するため、**初期投資はかかりますが**、省エネ効果により、**ランニングコストが削減**されます。
- 下水からの採熱量、ロードヒーティングの面積、建物の延床面積、設置設備、支援制度（【参考】支援制度を参考）の活用など各種条件によりますが、建設費と維持費の総費用は、**既存設備より安価**となる**ことが期待**できます。

■下水熱利用と従来熱源とのコスト比較



【2021 年試算】

- ・支援を活用は建設費の 1/2 を補助、下水熱は下水道管の使用料を含む
- ・融雪利用は、融雪面積 130 m²・ヒートポンプなし・電気料金 30 円/kWh
- ・空調利用は、空調面積 700 m²・下水熱は従来式と併用・従来式はボイラ燃料のヒートポンプ・燃料費 150 円/m³

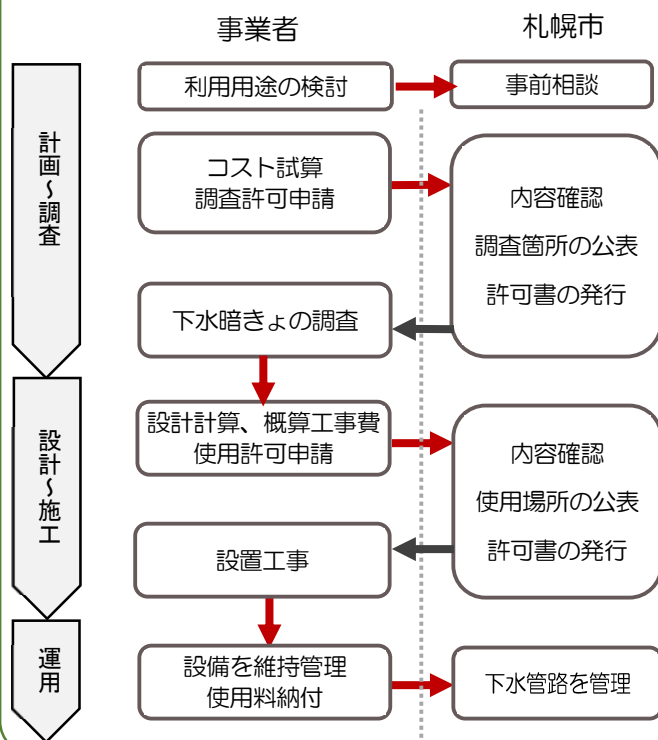
下水熱利用の手続き は？

- 「札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則」に基づいて、各種手続きを進めます。
- 熱交換器を設置するには、**下水道管の調査**を行っていただきます。
- 下水の熱を利用することに対しては、利用料はかかりませんが、**下水道管の使用料**が必要となります。

■お問い合わせ先

札幌市 下水道河川局 下水道計画課
 札幌市豊平区豊平 6 条 3 丁目 2 - 1
 札幌市下水道河川局庁舎 3 階
 Tel : 011-818-3441

■計画から運用までの流れ



【参考】支援制度と誘導方策

国の支援制度

- 下水管内に熱交換器を設置する費用などの負担を軽減できるよう、国土交通省や環境省などが、支援制度を設けています。

■国による費用面の支援

代表的な支援制度は、以下のとおりです。ホームページで最新情報をご確認ください。

(https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000458.html)

国土交通省

①サステナブル建築物等先導事業（省 CO2 先導型）

民間事業者等を対象として、住宅・建築物を新築・改修する際に、省 CO2 の推進に向けたモデル性が高いものを選定します。補助率は、1/2 以内です。

②既存建築物省エネ化推進事業

ESCO 事業者*等を対象として、既存のオフィスビル等の住宅以外の建築物の改修を支援します。補助率は、1/3 以内です。

※省エネに関するサービスを提供し、導入メリットの一部を報酬として受け取る事業者

環境省

①熱・未利用熱・営農地等の効率的活用による脱炭素化推進事業

民間事業者等を対象として、下水熱を融雪のために使用できる設備の導入を支援します。補助率は、承認された額です。

②自立・分散型エネルギー設備等導入推進事業

民間企業等を対象として、防災・減災に資する再生可能エネルギー設備の導入を支援します。補助率は、1/2 です。

札幌市の誘導方策

- 札幌市では緩和型土地利用計画制度の一つとして、建物の ZEB 化が容積率緩和の評価対象となる場合があります。

■札幌市による開発誘導

- 札幌市では、良好な都市開発を誘導するため、都心部や地域交流拠点等で、容積率の緩和に関する土地利用計画制度等を運用しており、建物の ZEB 化はその評価項目の一つで、容積率緩和の評価対象となる場合があります。

(<https://www.city.sapporo.jp/keikaku/toshikei/youtochiiki/h29tochiminaoshi.html>)

- 下水熱を空調・給湯のヒートポンプ熱源に利用することで、建物の ZEB 化に寄与することができます。下水熱の利用による ZEB 化についてご不明の点は、下水道計画課にお問い合わせください。

第2章 下水熱の利用手順

1. 利用手順のフロー

本項では、下水熱導入に向けての計画や調査に係る内容と各種手続きを示す。

1.1 下水熱の利用検討から運用までの流れ

「札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則」に則して、進める。

(1) 計画・調査

下水熱の利用用途を検討、「下水熱ポテンシャルマップ」で下水が持つ熱量や位置を把握、下水暗きょ調査許可申請書を提出、下水暗きょの使用可能性を調査

(2) 設計・施工

熱交換器など下水熱利用設備を検討し、概算工事費を算出。下水暗きょ使用許可申請書・道路占用許可申請書等をそれぞれ提出、設置工事を実施

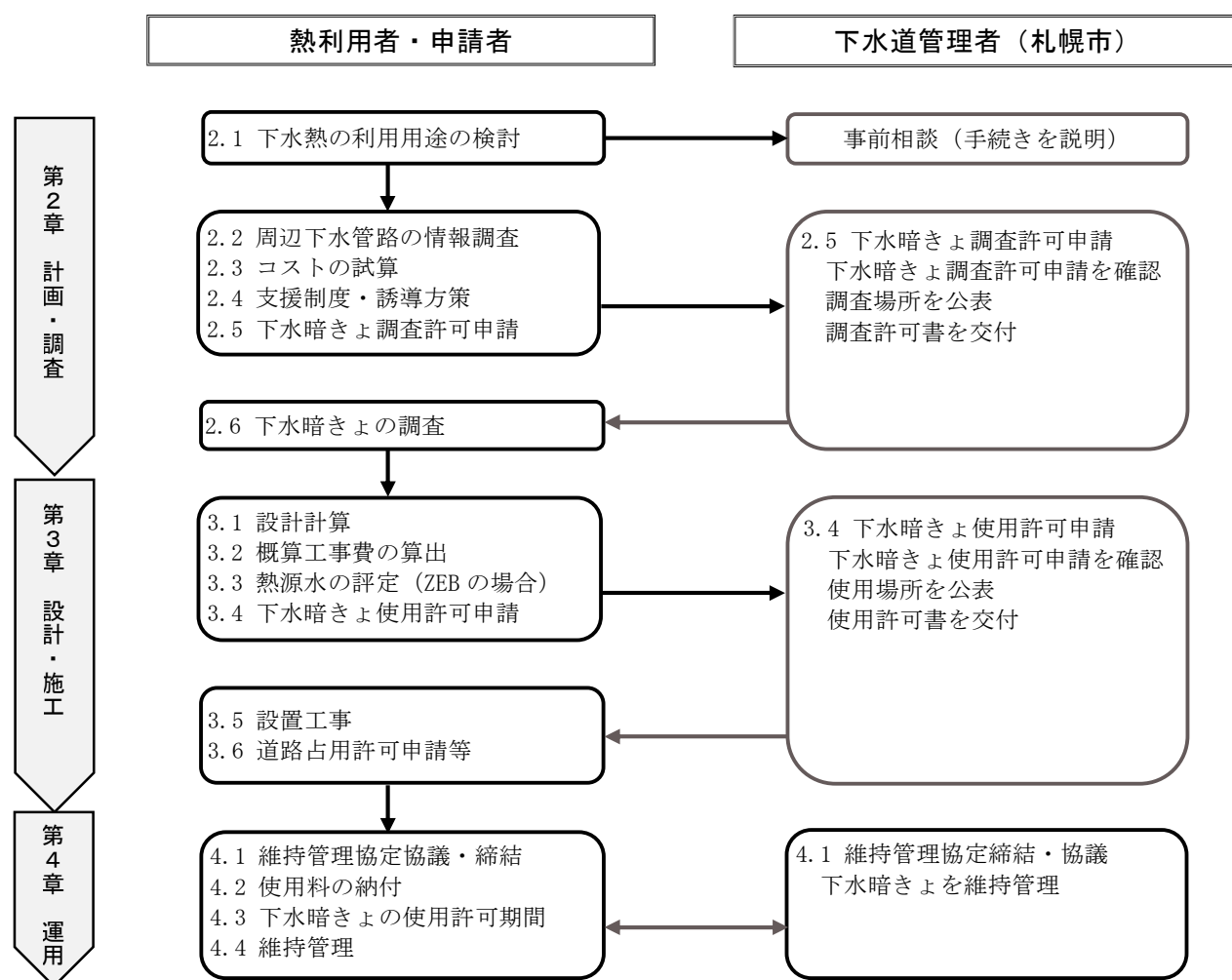
(3) 運用

維持管理協定等を締結、下水暗きょ使用料を納付、維持管理を実施

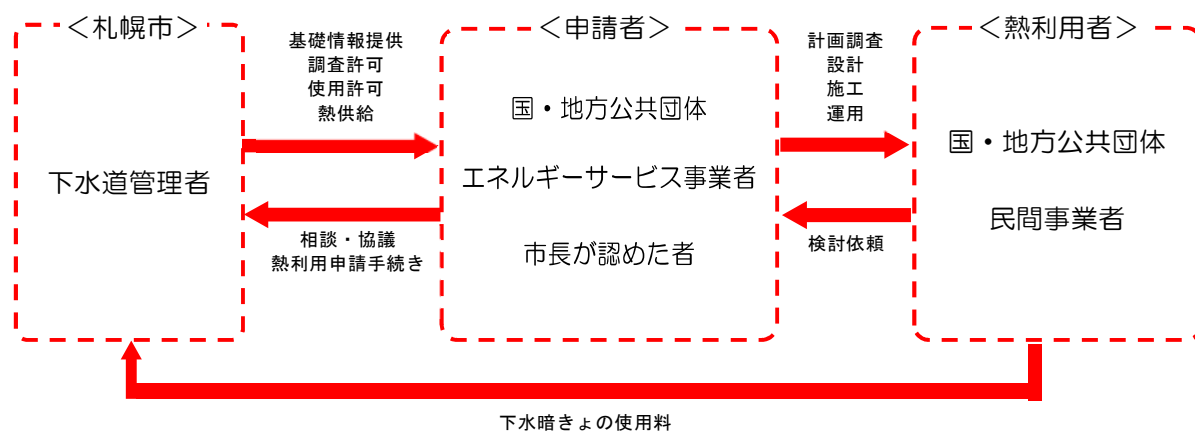
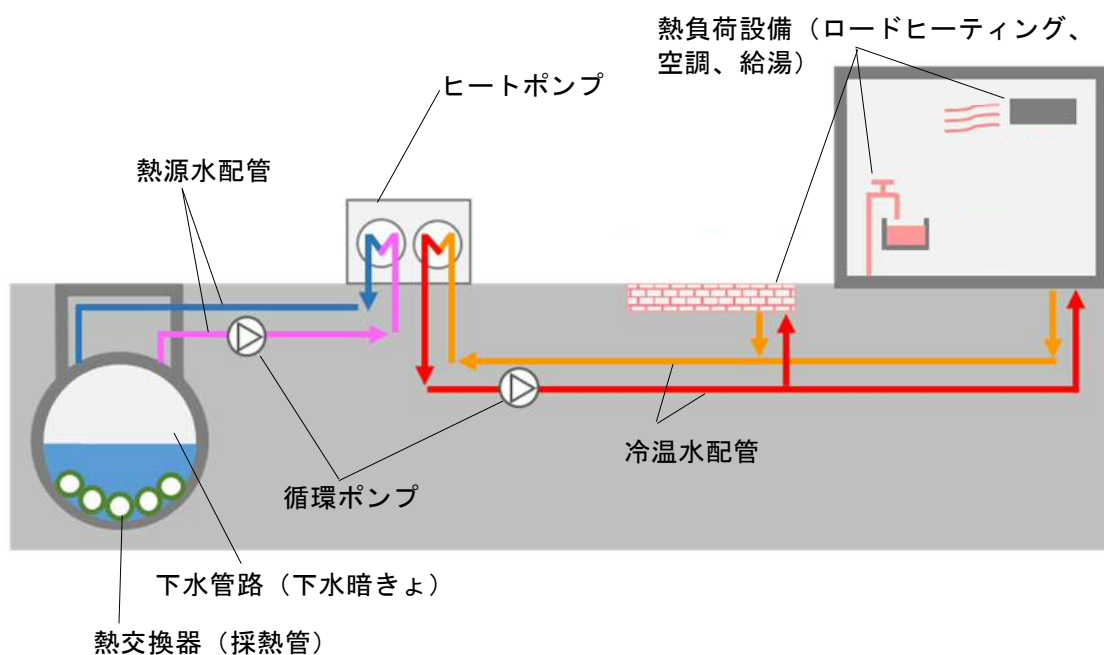
【解説】

下水管路は行政財産であり、本来の目的は下水の排除であるが、下水の流下や機能維持などその目的を妨げない範囲において使用が認められている。

下水熱の利用に係る検討や手続きの流れは、以下のとおりである。



下水熱のシステム構成図と利用体系をそれぞれ示す。



2. 計画・調査

本項では、計画や調査に係る内容と各種手続きを示す。

下水熱の利用用途を設定して最大熱需要量を算定、施設付近の下水熱と下水管路情報を把握及びコストの試算を行う。「下水暗きょ調査許可申請」を提出して管路内を調査する。

2.1 下水熱の利用用途の検討

(1) 利用用途の設定

下水熱の利用用途として、融雪、空調、給湯などを定める。

(2) 最大熱需要量の算定

利用用途に応じて必要となる最大の下水熱量(最大熱需要量)を算定する。

【解説】

(1) 利用用途の設定

下水熱の利用用途は、融雪、空調、給湯などがある。各々の特徴は以下のとおり。

①融雪（ロードヒーティング(RH)）

敷地内の融雪であれば、ヒートポンプなどの熱量を増強させる設備を使わずに低コストとなる。ただし、車道など凍結を防ぐ場所では、ヒートポンプを設置する。

表 2-1 融雪方式の比較

融雪方式	概 要
循環ポンプ式	【融雪方式】 ・下水道管の底に設置した採熱管より下水から採熱を行い、管内の不凍液を循環させ、路盤の放熱管より放熱し融雪する 【評 価】 ・最も低コスト&常時運転で制御不要 ・低温のため、使用できる場所が限定的
ヒートポンプ式 (HP 式)	【融雪方式】 ・融雪負荷が大きい場合に、下水から採熱した熱量をヒートポンプにて必要な温度まで昇温させて融雪する 【評 価】 ・熱流束：250w/m ² を確保。 ・温水式・電気式より維持費用が低コスト
循環& ヒートポンプ 併用式	【融雪方式】 ・循環ポンプ式と HP 式を併用し制御するシステムで、通常時は循環式で運転し、熱量が不足し残雪する場合に HP を稼働し融雪する 【評 価】 ・熱流束：250w/m ² を確保。 ・併用式で維持費用が更にコストダウン

出典：ガイドライン 融雪施設の設計手順（札幌下水熱利用研究会）

②空調・給湯

下水熱のみでは、熱量を確保できないので、既存設備（ヒートポンプ）と組合せる。

(2) 最大熱需要量の算定

最大熱需要量は、最大熱需要原単位に延床面積を乗じて算定する。

$$\bullet \text{ 最大熱需要量 (w)} = \text{最大熱需要原単位 (w/m}^2\text{)} \times \text{延床面積 (m}^2\text{)}$$

①融雪

敷地内は、融雪に必要な熱量を参考とする。

車道部は、風の影響での凍結から防ぐのに必要な熱量とする。

a 敷地内

$$150w/\text{m}^2 \text{ (-8}^\circ\text{C} \cdot \text{降雪深 8cm/日の雪を融雪するのに必要な熱量)}$$

b 車道部

$$250w/\text{m}^2 \text{ (風の影響を考慮した熱量. 札幌市のロードヒーティングの設計基準)}$$

②空調・給湯

新規施設は、表 2-2 の最大熱需要原単位に北海道の地域補正係数（冷房 0.8、暖房 1.5）を乗じて、最大熱需要原単位を設定する。

既存施設は、導入されている機器とエネルギー使用量から、最大熱需要原単位を算定する。

表 2-2 建物用途別 熱需要原単位

	最大需要 (w/m ²)		
	冷房	暖房	給湯
事務所（標準型）	104.7	58.1	16.3
事務所（OA 型）	123.3	34	16.3
病 院	104.7	95.3	46.5
ホテル	87.2	77.9	116.3
店 舗	139.5	93.0	23.3
スポーツ施設	122.1	122.1	814
住宅	46.5	34.9	18.6

出典：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008（日本工業出版）

2.2 周辺下水管路の情報調査

(1) 下水熱の把握

下水熱ポテンシャルマップで、下水熱利用対象施設の周囲にある下水管路が保有している下水熱を把握する。

(2) 管路情報の把握

下水道台帳情報提供サービスで、熱交換器の設置対象となる下水管路の管径と距離を把握する。

【解説】

(1) 下水熱の把握

札幌市下水道河川局の HP「札幌市下水熱ポテンシャルマップ」にアクセス（下記 URL を参照）して、下水熱利用対象施設の周囲にある下水熱ポテンシャルを把握する。

(URL : <https://www.city.sapporo.jp/gesuikasen/netsuriyou.html>)

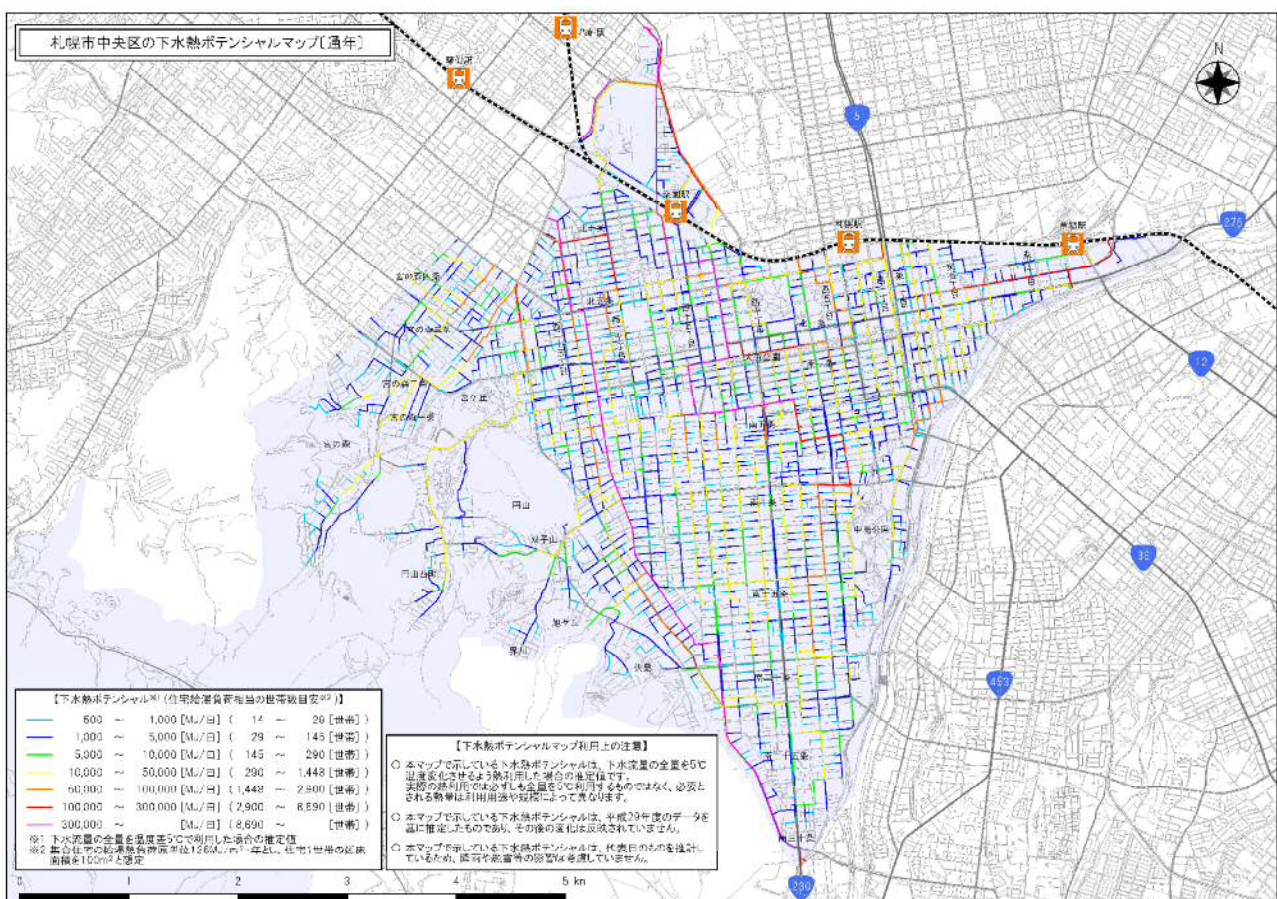
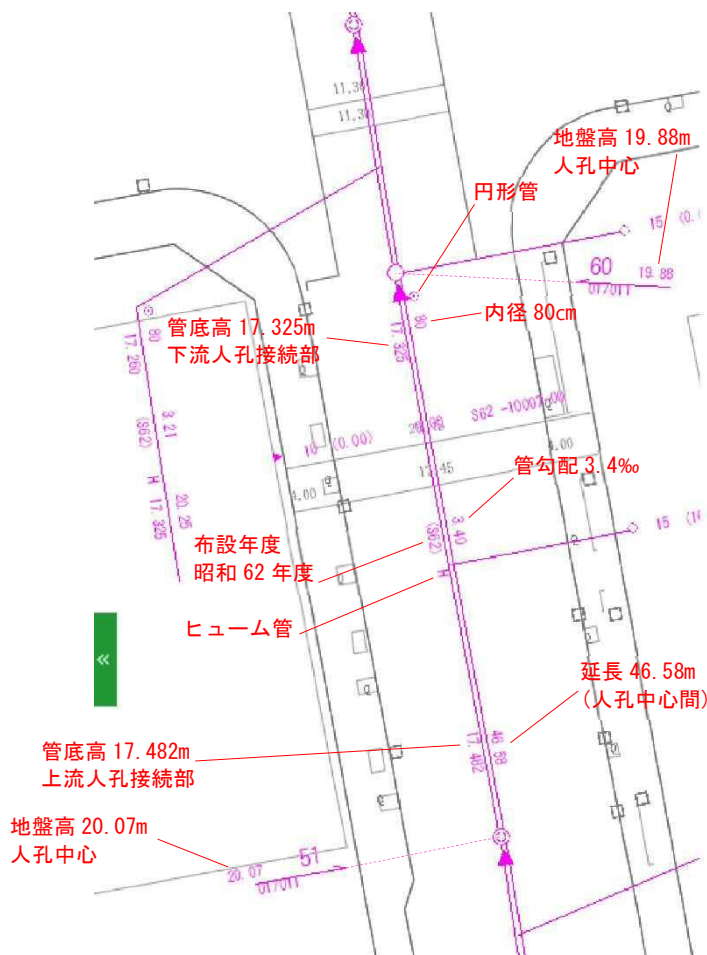


図 2-2 下水熱ポテンシャルマップ

(2) 管路情報の把握

札幌市下水道河川局の HP「札幌市下水道台帳情報提供サービス」にアクセス（下記 URL を参照）して、下水熱ポテンシャルが最も高い管路の人孔から下水熱利用対象施設までの距離を把握する。

（URL：https://www.sonicweb-asp.jp/sapporo_gesui/index）



凡例(主なものを抜粋)		
管路種別	合流式枝線	
	合流式幹線	
	合流式汚水拡充管	
	合流式雨水拡充管	
	分流式汚水枝線	
	分流式汚水幹線	
	分流式雨水枝線	
	分流式雨水幹線	
人孔種別	1 号型人孔	または 1
	2 号型人孔	または 2
	3 号型人孔	または 3
	4 号型人孔	または 4
	5 号型人孔	または 5
	6 号型人孔	または 6
	7 号型人孔	または 7
	その他特殊人孔	特
管種	コンクリート管	C
	ヒューム管	H
	塩ビ管	V
	リブ付硬質塩ビ管	R

図 2-3 札幌市下水道台帳情報提供サービスの表示図

2.3 コストの試算

(1) コストの試算

下水熱利用可能性簡易検討ツールを用いて、下水熱利用システムの初期投資額とランニングコスト削減額など、コストを試算する。

【解説】

(1) コスト試算

国土交通省の HP から、「下水熱利用可能性簡易検討ツール」を入手（下記 URL を参照）する。

当該ツールに、熱利用用途（融雪、空調、給湯）、延床面積、下水熱・管路までの距離（2.2 周辺下水管路の情報調査より）、補助金（支援制度）の利用などを入力して、初期投資額とランニングコスト削減額など、コストを試算する。

(URL : https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000467.html)

2.4 支援制度・誘導方策

(1) 国の支援制度

国が設けている支援制度を活用することで、初期投資額を低減できる。

(2) 札幌市の誘導方策

札幌市では緩和型土地利用計画制度の一つとして、建物の ZEB 化が容積率緩和の評価対象となる場合がある。

【解説】

(1) 国の支援制度

国は、建築主や民間事業者を対象に、経費の 1/2～1/3 を上限とする支援制度を設けている。国土交通省の HP「下水熱利用に活用可能な支援制度」にアクセスして、補助採択要件・補助対象経費・補助率などを把握し、必要に応じて初期投資額の縮減を検討する。

(URL : https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000458.html)

(2) 札幌市の誘導方策

札幌市では、良好な都市開発を誘導するため、都心部や地域交流拠点等で、容積率の緩和に関する土地利用計画制度等を運用しており、建物の ZEB 化はその評価項目の一つとなっている。

(URL:<https://www.city.sapporo.jp/keikaku/toshikei/youtochiiki/h29tochiminaoshi.html>)

下水熱をヒートポンプ熱源に利用することで、建物の ZEB 化に寄与することができる。建物の ZEB 化にあたって、下水熱を活用するために必要となる手順は、「3.3 熱源水の評定（ZEB の場合）」を参照のこと。

2.5 下水暗きょの調査許可申請

下水暗きょの使用の可能性を確認する調査をするため、下水暗きょ調査（変更）許可申請書を提出のうえ、下水暗きょの調査許可書を受ける。

【解説】

(1) 下水暗きょ調査許可申請

『札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則』（下記 URL を参照）に基づき、『下水暗きょ調査（変更）許可申請書』（次頁を参照）に、調査の箇所及び数量、目的、期間、調査方法、調査実施者を記載するとともに、下水熱の利用計画など必要な書類を添付して提出する。

当該規則では、熱交換器等を下水暗きょに設置する者は、事前に調査を行わなければならないとしており、設置できる者は以下の３者に限定している。

ア 国または地方公共団体

イ 熱供給事業法に規定する熱供給事業者

ウ 下水熱の利用に関する適正かつ確実な計画並びに下水熱の利用を行うのに必要な経理的基礎及び技術能力を有するものであると市長が認めたもの

特に、アまたはイに該当しないウの場合には、「下水熱の利用に関する計画」、「経理的書類（貸借対照表及び総益計算書など）」、「技術能力に関する書類（技術を有する者への委託書類など）」などの提出が必要である。

下水道管理者は、調査許可申請書を受理した後、市のホームページで２週間程度の公表期間を設け、他の調査希望者の有無を確認する。

公表期間内に他の調査希望があった場合は、調査希望者同士で事業計画の見直し等に関する協議を行う。利用希望者間での協議が整わない旨の報告があった場合は、下水道管理者が公益性の高さや脱炭素社会に向けた効果等を総合的に勘案のうえ、調査者を選定することとする。

下水道管理者は、申請内容を確認して申請者へ調査許可書を交付する。

(URL : https://www.city.sapporo.jp/ncms/reiki/dlw_reiki_nonframe/H501902100040/H501902100040_i.html)

様式 下水暗きょ調査（変更）許可申請書

下水暗きょ調査（変更）許可申請書

年 月 日

（宛先）札幌市長

申請者 住所（法人にあっては、所在地）
氏名（法人にあっては、名称及
び代表者氏名）

札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則第3条第2項の規定により、
下水暗きょについての使用の可能性を確認する調査について、下記のとおり申
請します。

- 1 調査の箇所及び下水暗きょの数量
- 2 調査の目的
- 3 調査の期間
- 4 調査の方法
- 5 調査実施者（担当者の氏名及び連絡先）
- 6 その他特記事項

注1 調査の目的が下水熱の利用に関する場合は、次に掲げる書類を提出し
てください。

- (1) 下水熱の利用計画書
 - (2) 過去の許可取消し状況の分かる書類
 - (3) 国、地方公共団体又は熱供給事業法第2条第3項に規定する熱供給事
業者以外の者が熱交換器等を設置する場合には、前2号に加え、
次に掲げる事項を記載した書面を添付してください。
 - ア 工事費概算書
 - イ 所要資金の調達方法及び借入金の返済計画を記載した書類
 - ウ 貸借対照表及び損益計算書
 - エ 下水熱の利用について知識及び経験を有する者の確保の状況を記載
した書類
 - オ その他下水熱の利用に関する計画、経理的基礎又は技術的能力を確
認するために必要となる書類
- 2 変更の許可を受けようとする場合は、該当する項についてのみ記載して
ください。

備考 この様式により難しいときは、この様式に準じた別の様式を使用することができる。

2.6 下水暗きょの調査

(1) 流量・水深・温度の計測

下水の流量・水深・温度を計測する。

(2) 老朽化状態の把握

下水暗きょの亀裂や剥離等の老朽化状態を把握する。

(3) 作業時の安全確保

酸素・硫化水素・可燃性ガスの濃度を測定し、必要に応じて送風等を行うなど、作業時の安全を確保しなければならない。

【解説】

(1) 流量・水深・温度の計測

下水の流量や水深については、計測する時間帯によって変動があり、水温については、外気温ほどではないものの季節ごとに変動する。そのため、1年のうちで最も流量が少なく水温が低い、冬期間に一定期間計測を行い、どの程度の熱量が確保できるかを把握する。

①流量と水深

水位計や流量計を用いて、下水暗きょ内の流量及び水深を把握する。

表 2-3 主な連続流量計測法

流量計測法	計測器の構成	主な用途	推奨される 流量計測範囲
面速式	水位・流速計	水路・管路流下量	中～大
フリューム式	フリューム＋水位計	処理場流入量	小～大
		管路流下量	小～中

出典) 下水道管路内・水質調査マニュアル 社) 全国上下水道コンサルタント協会／平成 28 年

表 2-4 流量計仕様の例

〔機器の外観〕	〔機器の仕様〕	機器名；
	面速式流速計 MS II	
	・水位センサ	測定方式； 圧力式 分解能； 1mm 精度； ±0.05%F. S.
	・流速センサ	測定方式； 超音波式 分解能； 1mm/s 精度； ±2%F. S.
	〔測定条件〕	測定箇所； 採熱地点マンホールの管底(1 か所) 測定間隔； 1 分

②水温

流量の計測と同様に、水温計を用いて下水の水温を計測する。

表 2-5 水温計仕様の例

〔機器の外観〕	〔機器の仕様〕	機器名；	H0B0 ペンダント
	計測範囲；		-20℃～70℃
	精度；		±0.47℃
	分解能；		0.1℃
	〔測定条件〕	測定箇所；	採熱地点マンホールの管底(1か所)
		測定間隔；	1分

(2) 老朽化状態の把握

熱交換器の設置後には下水暗きょの修繕が難しくなるため、下水暗きょの老朽化状態を把握し、必要に応じて修繕や改築を行う必要がある。

老朽化状況を把握する項目としては、亀裂や剥離や段差等の異状の有無であり、目視による確認を基本とするが、管径が小さいなど困難な場合は、市の担当者と協議し決定する。現地調査により異状を確認した場合は、写真を撮影のうえ市の担当者への報告し、以後の対応を協議する。

(3) 作業時の安全確保

暗きょ内に立ち入り、計測機器の設置・撤去などの作業を行う際には、酸素・硫化水素・可燃性ガスの濃度測定や必要に応じて送風を行うとともに、所轄警察署の許可に従い、道路規制を行い、交通の安全を確保しなければならない。

また、降雨予報を適時確認し、降雨による流量の増加が想定される場合は一時作業を中止するなど、事故防止に努めなければならない。

降雨等に伴う流量の増加により、計測機器やその他資機材の残置物が流出しないよう流出対策を行わなければならない。

3. 設計・施工

本項では、下水熱導入に向けての設計や施工に係る内容と各種手続きを示す。

熱交換器・循環ポンプなど下水熱利用設備の能力を算定し、概算工事費を算出する。

「下水暗きょ使用許可申請」を提出し、熱交換器などの設置工事を行う。

3.1 設計計算

(1) 熱交換器の選定

下水暗きょの管径や老朽化状態に応じて、熱交換器を選定する。

(2) 熱交換器の設計

管径から採熱管本数を設定し、最大熱需要量から熱交換器の延長を定める。

(3) 循環ポンプの設計

熱源水配管の流速から送水量、ポンプの全揚程からポンプ動力などを算出する。

(4) 熱源水配管ルートの設定

水道・ガスなど他の地下埋設物や考慮して、熱源水配管のルートを定める。

(5) ヒートポンプ容量の設計

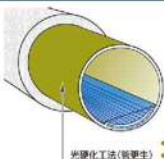
最大熱需要量から下水熱量を減じて、ヒートポンプの容量を定める。

【解説】

(1) 熱交換器の選定

管径がφ800mm 未満の場合は、マット式を採用する。管径がφ800mm 以上の場合は、管更生が不要であり設置自由度が高い、管路底部設置型（樹脂）を標準とする。

表 3-1 熱交換器比較

熱交換器方式	マット式	管路底部設置型		らせん型
		樹脂	金属	
外観	 光硬化工法(管更生) ● 樹脂製ガラス繊維 ● 不飽和ポリエステル			
施工制限	φ250～800 管更生と同時施工	φ800以上、矩形幅800以上	φ800以上 設置時ドライ化要 (熱交換器の1/2をモルタルで埋める必要がある)	φ1,000～2,200 円形のみ 管更生と同時施工
メリット	・小規模配管でも施工可能	・設置自由度が高い		・流下阻害がない
デメリット	・管更生工事同時施工が基本 ・熱交換性能は低い	・熱交換性能は中程度	・ドライ化施工が必要 ・熱交換性能は中程度	・管更生工事同時施工が基本 ・熱交換性能は中程度
メンテナンス	不要 下水本管の日常点検による	基本的に不要 洗浄が必要な場合もある	不要 下水本管の日常点検による	不要 下水本管の日常点検による

(2) 熱交換器の設計

熱交換器の延長は、次式により算定する。ただし、延長が 100m を超える場合は、マンホールから熱交換器の送り込みを考慮して、熱交換器と循環ポンプ等の補機類を 2 ユニット設置する。

$$\bullet L = S \div (U \times \pi \times d \times n \times \Delta T)$$

$$\bullet S = U \times A \times \Delta T$$

$$\bullet S' = S \times (COP - 1) \div COP$$

$$\bullet A = 2 \times \pi \times d \times n \times L$$

L : 熱交換器延長

S : 最大熱需要量(kw) (ヒートポンプを用いない場合、下水熱の採熱量)

S' : 採熱熱量(kw) (ヒートポンプを用いる場合、下水熱の採熱量)

COP : ヒートポンプ成績係数 (例. 4.5)

U : 伝熱係数(kw/m²-℃) (例. 0.07kw/m²-℃ 管路底部設置型(樹脂))

A : 熱交換機表面積(m²)

ΔT : 対数平均温度差(℃) (例. 5℃)

d : 熱交換器配管直径(m) (例. 0.017m 管路底部設置型(樹脂))

n : 熱交換器本数 表 3-2 を参照

表 3-2 管径ごとの熱交換器本数と必要水位

管径	採熱管本数	採熱量 (kw/m)	必要水位 (mm)
300	16	0.056	30
500	28	0.091	60
800	20	0.520	120
1,000	28	0.680	150
1,200	32	0.840	180
1,500	44	1.100	225
2,000	60	1.520	300

出典:ガイドライン 融雪施設の設計手順(札幌下水熱利用研究会)

(3) 循環ポンプの設計

①ポンプの送水量

- ・ $Q = q \times n$
- ・ $q = \pi \times d^2 / 4 \times v$
 - Q : ポンプの送水量 (L/min)
 - n : 熱交換器本数
 - q : 熱交換器内の流量 (L/min) (例. 0.9)
 - v : 熱交換器内の流速 (m/s) (例. 0.9m/s)
 - d : 熱交換器の内径 (m) (例. 0.014m)
 - D : 熱源水配管の内径 (m) (例. 0.050m)

②ポンプの全揚程

- ・ ポンプの全揚程 (m) = 管の摩擦損失水頭 (m) + 高さ損失水頭 (m)
- ・ 管の摩擦損失水頭 = 熱源水 (往き) + 採熱部 + 熱源水 (還り)

管の摩擦損失水頭は、Weston の公式から算出する。

- ・ $h = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d) \div \sqrt{v}\} \times (L/d) \times v^2 / 2g$
 - h : 配管損失 (m)
 - L : 配管延長 (m)
 - d : 配管内径 (m)
 - v : 配管内平均流速 (m/s)

高さ損失水頭は、配管の最大高と熱交換器を設置した管底高の差とする。

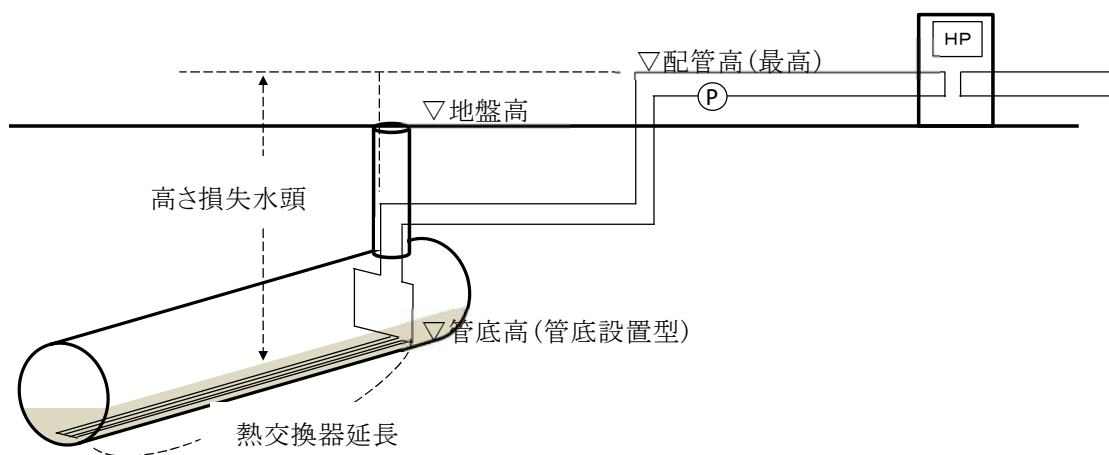


図 3-1 実揚程概略図

③ポンプの動力と電動機容量

ポンプ動力は、メーカー選定図表より選定するか、下式で算出する。

電動機容量は、ポンプ所要動力に余裕を見て、下式で算出する。

$$\bullet P = 1 \div (60 \times 1000 \times \eta) \times \rho \times g \times Q \times H$$

$$\bullet P_m = P \times (1 + \alpha)$$

P : ポンプの動力(kw)

P_m : ポンプの電動機容量(kw)

η : ポンプ効率 (例. 0.51)

ρ : 液密度(kg/m³) (例. 1,011)

Q : ポンプ吐出量 (m³/min)

H : ポンプ全揚程(m)

α : 余裕率 (例. 0.2)

(4) 熱源水配管ルートの設定

熱源水配管のルートは、下水熱利用対象施設から人孔までであり、水道・電力・ガス・通信など他の地下埋設物や工事による交通への影響を考慮して定める。

下水熱で ZEB 評定を受ける際には、熱源水配管の熱損失を計算する。

$$\bullet Q = 2\pi \times \Delta T \div \{2/(d_0 \times \alpha) + (1/\lambda_0) \times \ln(d_1/d_0) + (1/\lambda_1) \times \ln(d_2/d_1)\}$$

$$\bullet \alpha = Nu \times d_0 / \lambda_0$$

Q : 熱損失量(W/m)

ΔT : 温度差(熱源水温度－地中温度)

d₀ : 熱源水配管内径(m) (例. 0.075)

d₁ : 熱源水配管外径(m) (例. 0.09)

d₂ : 断熱材外径(m) (例. 0.15)

λ_0 : 熱源水配管の熱伝導率(w/m・℃) (例. 0.5)

λ_1 : 断熱材の熱伝導率(w/m・℃) (例. 0.037)

Nu : ヌッセルト数 (=0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}=254.03)

Re : レイノルズ数 (=d₀U ρ / μ =23535)

Pr : プラントル数 (=C_p μ / λ_0 =23.14)

U : 熱源水配管内流速(m/s) (例. 0.9)

ρ : 熱源水の密度(kg/m³) (例. 1,046)

λ_0 : 熱源水の熱伝導率(w/m・℃) (例. 0.478)

μ : 熱源水の粘度(Pa・s) (例. 0.003)

C_p : 熱源水の比熱(J/kg・K) (例. 3,688)

(5) ヒートポンプ容量の設計

冬期間における下水の水温は15℃程度であるため、そのままの温度だと空調・給湯に利用するには、熱量が不足している。そのため、ヒートポンプ等を用いて熱量を増強させ、最大熱需要量から下水熱量を減じて、ヒートポンプの容量を定める。

融雪利用の場合でも、必要に応じて、同様にヒートポンプの容量を定める。

3.2 概算事業費の算出

下水熱利用システムと従来システムとの概算事業費を算出する。

【解説】

下水熱と従来システムの建設費と維持費の構成は、下記のとおりであり、それぞれ概算事業費を算出して、コスト比較を行い下水熱導入の可否を判断する。

(1) 下水熱

建設費＝設備費＋据付費＋諸経費＋熱交換器＋熱源水配管
＋熱源設備（ロードヒーティングのみ）＋熱源設備経費

維持費＝設備保全＋動力費（循環ポンプ、ヒートポンプ）

【算出例】

設備費 : 循環ポンプ＋ヒートポンプ（必要に応じて）＋電気設備
循環ポンプ : 150 千円
ヒートポンプ : 10,000 千円
電気設備 : 1,000 千円
据付費 : 設備費×0.2
諸経費 : (設備費＋据付費)×0.3
熱交換器 : $3,002 \times \text{最大熱需要量}^{-0.397} \times \text{最大熱需要量}$ (千円)
熱源水配管 : $50 \times \text{配管延長}$ (千円、 $\phi 50$ ポリエチレン管を往復 2 本)
熱源設備 : $500 \times \text{ユニット数}$ (千円、1 ユニット 15 m²)
熱源設備経費 : 熱源設備×0.3
設備保全 : ヒートポンプ×0.02
動力費 : 30 円/kwh、運転時間 2000h

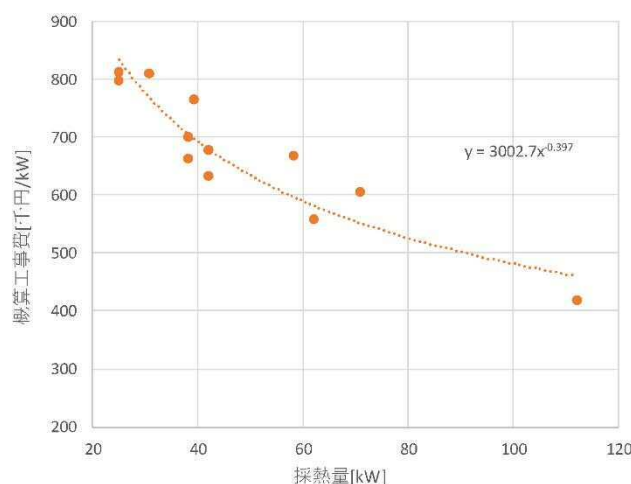


図 3-2 採熱量（最大熱需要量）と熱交換器の概算工事費の関係

(2) 従来システム

建設費＝実績（熱源設備＋電気設備＋据付費＋諸経費）

維持費＝実績（設備保全＋動力費（ヒートポンプ等）＋燃料費）

3.3 熱源水の評定（ZEB の場合）

(1) 熱源水温度の任意評定

下水熱を利用して ZEB 化を行う場合、効果を反映するためには、登録建築物エネルギー消費性能判定機関から、熱源水温度の設定について任意評定を受ける。

(2) WEB プログラム

省エネ基準への適合性の判定に際しては、標準入力法の WEB プログラム（WEBPRO エネルギー消費性能計算プログラム）を用いる。

【解説】

(1) 熱源水温度の任意評定

「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」に基づき、建築物省エネルギー消費性能適合性判定を受けるには、登録建築物エネルギー消費性能判定機関に依頼して適合判定を受ける必要がある。

適合判定を受ける対象は、一次エネルギー消費量（建物の利用に伴う直接的なエネルギー消費量）の省エネ基準となる

下水熱利用で判定を受けるには、「一次エネルギー消費量計算に用いる下水熱利用システムの熱源水温度の設定方法等に関する任意評定ガイドライン」に基づいて、測定及び熱損失計算等を行う。

(URL : http://www.hyoukakyokai.or.jp/nini_hyoutei/pdf/201908-1-02-002.pdf)

(2) WEB プログラム

下水熱を利用して、省エネ基準への適合性の判定に際しては、標準入力法の WEB プログラム（WEBPRO エネルギー消費性能計算プログラム）を用いる。

WEB プログラムでは、対象とする建築構造物の各種の諸元値を適宜入力する必要があり、下水熱の利用について入力する箇所は、『様式2-8. (空調)熱源水温度入力シート(任意評定用)』、の『②熱源水温度』（1～12月）の部分となる。

詳細な技術情報は、国立研究開発法人建築研究所のホームページで確認できる。

(URL : <https://www.kenken.go.jp/becc/>)

3.4 下水暗きょ使用許可申請

下水暗きょ内に熱交換器を設置するには、下水暗きょ使用（変更）許可申請書を提出のうえ、下水暗きょの使用許可証を受ける。

【解説】

(1) 下水暗きょ使用許可の申請

『札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則』に基づき、『下水暗きょ使用（変更）許可申請書』（次頁を参照）に、下水暗きょの所在地及び使用延長、目的、期間及び更新方法、設置する物件の構造、工事の期間、工事の実施方法、下水道の復旧方法などを記載するとともに、図面や調査結果などの必要な書類を添付して、提出する。

下水道管理者は、使用許可申請書を受理した後、調査申請時と同様に2週間程度の公表期間を設け、他の使用希望者の有無を確認のうえ、使用者を決定する。

下水道管理者は、申請者の条件、熱交換器の技術的基準、工事の実施方法、維持管理上の観点などから申請内容を確認して申請者へ使用許可書を交付する。

様式 下水暗きょ使用（変更）許可申請書

下水暗きょ使用（変更）許可申請書

年 月 日

（宛先）札幌市長

申請者 住所（法人にあっては、所在地）
氏名（法人にあっては、名称及
び代表者氏名）

札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則第7条の規定により、下水暗きょについての使用許可を受けたいので、下記のとおり申請します。

- 1 下水暗きょの所在地及び使用延長
- 2 使用目的
- 3 使用期間
- 4 設置する物件の構造等
- 5 工事の期間
- 6 工事の実施方法
- 7 下水道の復旧方法
- 8 その他参考事項

- 注1 使用しようとする下水暗きょの場所、設置する物件の構造等を明らかにした図面、下水暗きょの使用可能性を確認する調査の結果を記載した書面その他必要な書類を添付してください。
- 2 申請者が認定電気通信事業者である場合には電気通信事業認定証の写しを、有線電気通信設備を用いたテレビジョン放送に係る業務を行う者である場合には当該業務に係る登録を受け、又は届出をしたことを証する書類の写しを添付してください。
- 3 国、地方公共団体又は熱供給事業法第2条第3項に規定する熱供給事業者以外の者が熱交換器等を設置する場合には、次に掲げる事項を記載した書面を添付してください。
- (1) 工事費概算書
 - (2) 所要資金の調達方法及び借入金の返済計画を記載した書類
 - (3) 貸借対照表及び損益計算書
 - (4) 下水熱の利用について知識及び経験を有する者の確保の状況を記載した書類
 - (5) その他下水熱の利用に関する計画、経理的基礎又は技術的能力を確認するために必要となる書類
- 4 変更の許可を受けようとする場合は、該当する項についてのみ記載してください。

備考 この様式により難しいときは、この様式に準じた別の様式を使用することができる。

3.5 設置工事

(1) 技術的基準

熱交換器を設置する場合は、技術的基準を順守しなければならない。

(2) 工事の実施方法

管路の構造又は流下機能に支障を及ぼさないようにしなければならない。

【解説】

(1) 技術的基準

熱交換器を設置する場合は、『札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則』に掲げる技術的基準に適合しなければならない。下記に技術的基準の一部を抜粋する。

- ・熱交換器等を設置する箇所が下水の排除及び下水暗きょの管理上著しい支障を及ぼすおそれが少ない箇所であること。
- ・熱交換器等を設置する下水暗きょの断面積に占める当該熱交換器等の断面積の割合が下水の排除及び下水暗きょの管理上著しい支障を及ぼさないものであること
- ・熱交換器等の構造が堅ろうで、かつ、表面が平滑であって、耐久性、耐腐食性及び耐水性のあるものであること。

(2) 工事の実施方法

『札幌市下水暗きょの目的外使用に関する規則』に掲げる工事の実施方法に適合しなければならない。

- ・下水暗きょを一時閉じ塞ぐ必要があるときは、下水が外にあふれ出るおそれがない時期及び方法を選ぶこと。
- ・その他公共下水道の施設又は他の施設若しくは工作物その他の物件の構造又は機能に支障を及ぼすおそれがないこと。

(3) その他の留意点

①施工日数・施工時期

施工日数は、熱交換器の規模や設置する管径、管路躯体の状況などによっても異なるが、下水暗きょ内の施工で、おおよそ2か月程度を要する。また、熱交換器を設置する際は、高圧洗浄車を用いた管路洗浄工、換気工などを行う

施工時期として、夏季は、突然の大雨でも熱交換器が流出しないよう、ロープにより固定しながら進めるなど、流出防止対策をとる。冬季は、降雪に伴う周辺の交通事情や除排雪事情を考慮して、施工場所を定める。

②熱源水配管のマンホール削孔幅

マンホールの構造、内部のステップの位置、接続されている管路の位置と副管の有無、周辺埋設物の位置等制約を把握して接続箇所(深さ、向き)を定める。

3.6 道路占用許可申請等

下水暗きょに熱交換器を設置する場合の道路占用（二次占用）に係る手続き及び設置工事期間中の道路使用許可の手続きは、申請者または熱利者が行わなければならない。

【解説】

(1) 道路占用許可申請等

公道下に埋設されている下水暗きょに熱交換器を設置するのは、道路の二次占用となり、道路管理者（各区土木部）にて占用手続きと占用料の納付が必要となる。

また、設置工事にあたり、公道上での作業が必要となる場合は、所轄の警察署において道路使用許可の手続きが必要となる。

これらの手続きと費用負担については、申請者または熱利用者が行う。

4. 運用

本項では、下水熱利用に際して、維持管理協定等の締結、下水暗きょの使用料、維持管理を示す。

熱交換器等の下水熱利用設備の責任分界点等を定め、維持管理協定等を締結する。

熱交換器の断面積に応じて、下水暗きょの使用料を納付する。

4.1 維持管理協定協議・締結

下水熱の利用に先立ち、下水道管理者と下水熱利用者は維持管理等に関する協議を行い、維持管理協定または覚書を締結する。

【解説】

(1) 維持管理協定協議・締結

下水暗きょ内に設置した熱交換器等の下水熱利用設備は、下水熱利用者が保有するとともに維持管理を行い、熱交換器等が設置された下水暗きょは、下水道管理者が維持管理を行うことを基本とする。

その際、下水熱利用設備の保有や管理の責任分界点を定め、その区分に応じた維持管理協定または覚書（以下、「維持管理協定等」という）を締結することを基本とする。

点検・清掃の方法や頻度、熱交換器に起因して下水暗きょが破損した場合における取扱い、下水暗きょの使用期間や更新時期、リスクが顕在化した場合の追加的支出の費用負担などについて、その責任の所在を具体的かつ明確にしておく。

ただし、市長が特に維持管理協定等を締結する必要がないと認める場合は締結しないこともできる。

4.2 使用料の納付

下水熱利用者は、下水暗きよの使用料を納付しなければならない。

【解説】

(1) 使用料の納付

下水熱利用者は、下記の計算式により算出した額に応じて使用料を納付しなければならない。ただし、国・地方公共団体が公用または公共用に供する場合で、特にやむを得ないと認められるときなどは、使用料を減額し、または免除できる。

$$\text{年間使用料(円)} = \left(10,043 \times \frac{\text{使用許可断面積}}{\text{下水暗きよ断面積(内径)}} + 289 \right) \times \text{下水暗きよ延長}$$

※消費税は別途

【参考. φ500、φ800、φ1000 で延長 100m の計算例】

φ1000 : 年間使用料 = $(10,043 \times 0.016 \div 0.785 + 289) \times 100 = 49,400$ 円/年

φ800 : 年間使用料 = $(10,043 \times 0.011 \div 0.503 + 289) \times 100 = 50,900$ 円/年

φ500 : 年間使用料 = $(10,043 \times 0.006 \div 0.196 + 289) \times 100 = 59,600$ 円/年

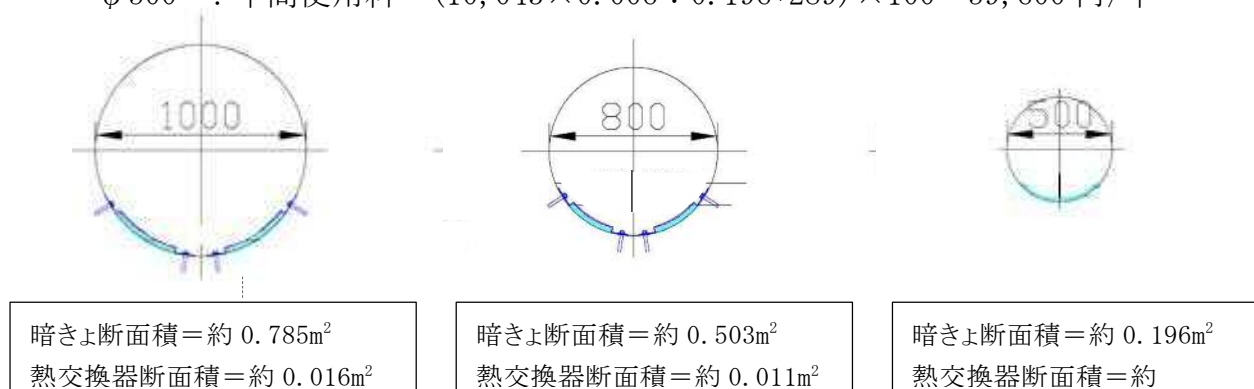


図 4-1 管きよ断面図

4.3 下水暗きよの使用許可期間

下水暗きよの使用許可期間は5年以内とする。なお、特別な理由がある場合を除き、5年を超えない範囲で更新できる。

【解説】

(1) 下水暗きよの使用許可期間

下水暗きよの使用許可期間は5年以内としているが、通常、下水熱の利用期間は5年より長期に及ぶことになるため、許可期間の更新手続きが必要となる。

更新の際は、使用許可書に記載されている使用許可期間満了日の60日前までに使用(変更)許可申請書を提出し、改めて許可を受ける必要がある

4.4 維持管理

下水熱利用者は、維持管理協定等に基づき適切な維持管理を行わなければならない

【解説】

(1) 維持管理

下水熱利用者は、維持管理協定等により定めた下水熱利用設備の責任分界点に従い、自ら管理する設備の点検、清掃、修繕を行い下水道施設への損害が生じないように努めなければならない。

運転管理項目の例と点検内容の例を表 4-1 と表 4-2 に示す。

表 4-1 運転管理項目（例）

計測機器	項目	測定方法	測定頻度	管理基準
ヒートポンプ (HP)	電力	電流値	連続	稼働中に数値変化があるか
	温度	温度計	連続	稼働中設定温度付近で循環しているか
循環ポンプ	電力	電流値	連続	稼働中に数値変化があるか
	流量	流量計	連続	稼働中に設定理由量付近であるか
制御	外気・ 路面温度等	温度計	連続	気象状況を正確に反映しているか
センサ	降雪・水分	出力値	連続	気象状況を正確に反映しているか

出典:ガイドライン 融雪施設の設計手順(札幌下水熱利用研究会)

表 4-2 点検内容（例）

対象	腫瘍機器	点検箇所	点検内容	確認
採熱設備	熱交換器等	圧力計・採熱管	外観（目視による圧力・漏れ確認）	☐
輸送施設・ 機械室 (熱源・ 操作・制御・ 電源設備)	ヒートポンプ	外観・電流・電圧	外観・動作確認	☐
	循環ポンプ	循環流量	動作確認	☐
	制御盤	ディスプレイ	外観（目視）・動作確認	☐
	不凍液	濃度	濃度測定	☐
	計測機器	温度・センサ等	外観（目視）	☐
	電源	引込柱・配電盤	外観（目視）	☐
熱利用施設	道路	路面・設置柵	外観（目視）	☐

出典:ガイドライン 融雪施設の設計手順(札幌下水熱利用研究会)

第3章 設計事例

その1 融雪利用

1. 下水熱の利用用途

(1) 利用用途の設定

下水熱の利用用途は、**融雪**とする。

融雪場所は敷地内の通路とし、融雪面積を 130 m²とする。

(2) 最大熱需要量の算定

p8(2)最大熱需要量の算定式より、

- ・最大熱需要量(w) = 最大熱需要原単位(w/m²) × 延床面積(m²)

最大熱需要原単位に、敷地内の融雪なので「融雪熱量=150w/m²」を採用、
延べ床面積に、「融雪面積=130 m²」を採用

$$\therefore \text{最大熱需要量}(w) = 150 (w/m^2) \times 130 (m^2) = \boxed{19.5kw}$$

2. 周辺下水管路の情報調査

(1) 下水熱の把握

「札幌市下水熱ポテンシャルマップ」(p9 参照) から、以下を把握した。

- ・管路①の下水熱ポテンシャルは、50,000～100,000MJ/日
- ・管路②の下水熱ポテンシャルは、10,000～50,000MJ/日
- ・管路③の下水熱ポテンシャルは、1,000～5,000MJ/日



図1 対象施設周辺の下水熱ポテンシャルマップ

(2) 管路情報の把握

「札幌市下水道台帳情報提供サービス」(p10 参照)で、管路①・②・③の管径と対象施設までの距離を調べた。**下水熱ポテンシャルが最も大きい管路①の管径はφ800mm**であり、当該管路の人孔から対象施設までの距離は200mであることを把握した。



図2 対象施設周辺の下水管きよの情報

3. 採熱量の評価・コスト試算

(1) コスト試算

国土交通省の「下水熱利用可能性簡易検討ツール」(p11 参照)に、下記条件を入力したところ、**投資回収年数は16年、初期投資額は17百万円**であった。

【入力条件】

- ・熱利用用途 : 融雪
- ・融雪面積 : 130 m²
- ・比較対象 : 燃料方式、灯油
- ・下水熱 : 18,250,000MJ/年 (50,000×365)
- ・管路までの距離 : 200m
- ・補助率 : 1/2

【入力結果】

投資回収年数	16	年
(補助金利用)	7	年
CO ₂ 削減量	28.3	tCO ₂ /年
初期投資額	17,088	千円
(補助金利用)	8,544	千円
ランニングコスト削減額	992	千円/年

4. 下水暗きょの調査許可申請

(1) 下水暗きょ調査許可申請

『下水暗きょ調査（変更）許可申請書』（p13 参照）を提出し、下水暗きょを調査する。なお、国・地方公共団体・熱供給事業者以外の者は、下水道に関する技術的能力を有する者へ調査を委託する。

5. 下水暗きょの調査

(1) 流量・水深・温度の計測

①流量と水深

下水熱の利用条件が厳しい冬期において、水深を測定した結果を下表に示す。

下水熱ポテンシャルが最も大きい**管路①φ800 は平均水深 146mm**となっていた。

表 1 冬季最大、最小、平均水深 単位:mm

	管路①φ800	管路②φ1000	管路③φ500
最大	249	123	76
最小	83	42	7
平均	146	75	27

②水温の計測

下表に各口径の冬期水温の最大、最小平均値を示す。

平均水温は約 15℃と冬期間における一般的な下水水温と同等であった。

管路③φ500 は、水深が浅いことから誤差が大きい。

表 2 冬季最大、最小、平均水温 単位:℃

	管路①φ800	管路②φ1000	管路③φ500
最大	18	19	28
最小	11	11	1
平均	15	14	14

(2) 老朽化状態の把握

目視で暗きょ内を確認した結果、亀裂や剥離など**異常はなかった。**

(3) 作業時の安全確保

酸素・硫化水素・メタンガス・一酸化炭素などの濃度を測定、交通誘導員の配置など、作業時には安全を確保した。

6. 設計計算

(1) 熱交換器の選定

①熱交換器を設置する管路

p17 表 3-2 から、管路ごとの必要水位は管路①φ800 は 120mm。管路②1000 は 150mm。管路③500 は 60mm。

表 1 の平均水位から、上記の必要水位を満たしている管路は、管路①φ800。

したがって、熱交換器を設置する管路として、**管路①φ800 を選定**した。

②熱交換器の種類

管路①φ800 は、老朽化状態から管更生の必要がない。

p16 表 3-1 に基づき、設置自由度が高い**管路底部設置型（樹脂）を選定**した。

(2) 熱交換器の設計

p17(2)熱交換器延長の式より、

$$\bullet L \text{ (熱交換器延長)} = S \div (U \times \pi \times d \times n \times \Delta T)$$

【計算条件】

・ S	: 最大熱需要量 (kW)	19.5kW
・ U	: 伝熱係数 (kW/m ² -°C)	0.07kW/m ² -°C
・ ΔT	: 対数平均温度差 (°C)	5 °C
・ d	: 熱交換器配管直径 (m)	0.017m
・ n	: 熱交換器本数	20 本

$$\therefore \text{熱交換器の延長} = 19.5 \div (0.07 \times 3.14 \times 0.017 \times 20 \times 5) = 52\text{m}$$

(3) 循環ポンプの設計

①ポンプの送水量

p18(3)①ポンプの送水量の式より、

$$\bullet Q \text{ (ポンプの送水量)} = q \times n$$

$$\bullet q \text{ (熱交換機内の流量)} = \pi \times d^2 / 4 \times v$$

【計算条件】

・ v	: 熱交換器内の流速 (m/s)	0.9m/s
・ n	: 熱交換器本数	20 本
・ d	: 熱交換器の内径 (mm)	14mm
・ D	: 熱源水配管の内径 (mm)	50mm

$$\therefore \text{熱交換機内の流量} = 3.14 \times 0.014^2 / 4 \times 0.9 = 0.000138\text{m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \text{ポンプの送水量} = 0.000138 \times 20 = 0.00276\text{m}^3/\text{s} = 166\text{L}/\text{min}$$

②ポンプの全揚程

p18②ポンプの全揚程の式より、

- ・ポンプの全揚程＝管の摩擦損失水頭＋高さ損失水頭
管の摩擦損失水頭（h）＝熱源水（往き）＋採熱部＋熱源水（還り）
- ・熱源水（往き）＝熱源水（還り）＝h1として、
- ・ $h1 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d) \div \sqrt{v}\} \times (L/d) \times v^2/2g$

【計算条件】

- ・L：配管延長(m) 200m
- ・d：配管内径(m) 0.05m
- ・v：配管内平均流速(m/s) 0.7m/s

- ・ $h1 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times 0.05) \div \sqrt{0.7}\} \times (200/0.05) \times 0.7^2/(2 \times 9.8) = 2.7$
- ・採熱部＝h2として、
- ・ $h2 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d) \div \sqrt{v}\} \times (2L/d) \times v^2/2g$

【計算条件】

- ・L：配管延長(m) 52m
- ・d：配管内径(m) 0.014m
- ・v：配管内平均流速(m/s) 0.9m/s

- ・ $h2 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times 0.014) \div \sqrt{0.9}\} \times (104/0.014) \times 0.9^2/(2 \times 9.8) = 9.0$
- ・高さ損失水頭＝φ800の管底高20.0mと取出し人孔の地盤高25.89mより、
 $25.89 - 20.0 = 5.89\text{m}$ 、10%の余裕を見て6.5m

$$\therefore \text{ポンプの全揚程} = 2.7 + 9.0 + 2.7 + 6.5 = 21\text{m}$$

③ポンプの動力と電動機容量

p19③ポンプ動力の式と電動機容量の式より、

- ・P（ポンプの動力）＝ $1 \div (60 \times 1000 \times \eta) \times \rho \times g \times Q \times H$
- ・Pm（ポンプの電動機出力）＝ $P \times (1 + \alpha)$

【計算条件】

- ・η：ポンプ効率 0.51
- ・ρ：液密度(kg/m³) 1,011kg/m³
- ・Q：ポンプ吐出量(m³/min) 0.166m³/min
- ・H：ポンプ全揚程(m) 21m
- ・α：余裕率 0.2

$$\therefore \text{ポンプの動力} = 1 \div (60 \times 1000 \times 0.51) \times 1011 \times 9.8 \times 0.166 \times 21 = 1.11\text{kw}$$

$$\therefore \text{ポンプの電動機出力} = 1.11 \times (1 + 0.2) = 1.3\text{kw} \Rightarrow 1.5\text{kw}$$

7. 概算事業費の算出

(1) 下水熱

p20①建設費と維持費の式より、

- ・建設費＝設備費＋据付費＋諸経費＋熱交換器＋熱源水配管＋熱源設備＋熱源設備経費
- ・維持費＝動力費（循環ポンプ）＝ポンプの電動機出力×電力単価×運転時間

【計算条件】

- ・設備費 : 循環ポンプ＋電気設備＝150＋1,000＝1,150 千円
- ・循環ポンプ : 150 千円
- ・電気設備 : 1,000 千円
- ・据付費 : 設備費×0.2＝1,150×0.2＝230 千円
- ・諸経費 : (設備費＋据付費)×0.3＝(1,150＋230)×0.3＝414 千円
- ・熱交換器 : $3,002 \times \text{最大熱需要量} - 0.397 \times \text{最大熱需要量}$
 $= 3,002 \times 19.5 - 0.397 \times 19.5 = 18,001$ 千円
- ・熱源水配管 : $50 \times \text{配管延長} = 50 \times 200 = 10,000$ 千円
- ・熱源設備 : $500 \times \text{ユニット数} = 500 \times 9 = 4,500$ 千円
- ・熱源設備経費 : 熱源設備×0.3＝4,500×0.3＝1,350 千円
- ・電力単価 : 30 円/kwh
- ・運転時間 : 2,000h

$$\therefore \text{建設費} = 1,150 + 230 + 414 + 18,001 + 10,000 + 4,500 + 1,350 = 35,645 \text{ 千円}$$

$$\therefore \text{維持費} = 1.5 \times 30 \times 2,000 \div 1,000 = 90 \text{ 千円/年}$$

(2) 下水暗きょ使用料

p27 の参考例より、 $\phi 800$ の使用料＝509 円/年・m×52m＝26 千円/年

(3) 従来システム

p20②建設費と維持費の式より、

- ・建設費＝熱源設備＋電気設備＋据付費＋諸経費＝実績単価×融雪面積
- ・維持費＝動力費＝最大熱需要量×電力単価×運転時間

$$\therefore \text{建設費} = 106 \text{ 千円/m}^2 \times 130 \text{ m}^2 = 13,780 \text{ 千円}$$

$$\therefore \text{維持費} = 19.5 \times 30 \times 2,000 = 1,170 \text{ 千円/年}$$

(4) 概算工事費のまとめ

30 年間使用すると、**下水熱の方が安価**となった。

表 3 下水熱と電気式の概算工事費

	下水熱	電気	備 考
建設費 (千円)	35,645	13,780	
維持費 (千円/年)	116	1,170	下水暗きょ使用料を含む
建設費＋維持費(30 年) (千円)	39,125	48,880	

その2 空調利用

1. 下水熱の利用用途

(1) 利用用途の設定

「設計事例 その1 融雪利用」と同じ建物を対象とする。

下水熱の利用用途は、**空調（暖房）**とする。

暖房場所は、1F ロビー700 m²、ヒートポンプと併用する。

(2) 最大熱需要量の算定

p8(2)最大熱需要量の算定式より、

・最大熱需要量(W)＝最大熱需要原単位(w/m²)×延床面積(m²)

p8 表 2-2 より、暖房－事務所 (OA 型) 「最大需要＝34w/m²」を採用、

延べ床面積に、「1F ロビー面積＝700 m²」を採用

∴最大熱需要量(w)＝34(w/m²)×1.5×700(m²)＝**36kw**

2. 周辺下水管路の情報調査

p29, 30 のとおり。

3. 採熱量の評価・コスト試算

(1) コスト試算

国土交通省の「下水熱利用可能性簡易検討ツール」(p11 参照) に、下記条件を入力したところ、**投資回収年数は 129 年、初期投資額は 74 百万円**であった。

【入力条件】

- ・熱利用用途 : 空調（暖房）
- ・空調面積 : 700 m²
- ・比較対象 : 燃料方式、灯油
- ・下水熱 : 18,250,000MJ／年 (50,000×365)
- ・管路までの距離 : 200m
- ・補助率 : 1/2

【入力結果】

投資回収年数	129	年
(補助金利用)	48	年
CO ₂ 削減量	4.7	tCO ₂ /年
初期投資額	74,775	千円
(補助金利用)	37,387	千円
ランニングコスト削減額	459	千円/年

4. 下水暗きよの調査許可申請

p31 のとおり

5. 下水暗きよの調査

p31 のとおり

6. 設計計算

(1) 熱交換器の選定

p32 のとおり

(2) 熱交換器の設計

p17(2) 熱交換器延長の式より、

- ・ L (熱交換器延長) $= S' \div (U \times \pi \times d \times n \times \Delta T)$
- ・ $S' = S \times (COP - 1) \div COP$

【計算条件】

・ S : 最大熱需要(kw)	35kW
・ COP : ヒートポンプ成績係数	4.5
・ U : 伝熱係数(kw/m ² -°C)	0.07kw/m ² -°C
・ ΔT : 対数平均温度差(°C)	5°C
・ d : 熱交換器配管直径(m)	0.017m
・ n : 熱交換器本数	20本

$$\therefore \text{熱交換器の延長} = 35 \times (4.5 - 1) / 4.5 \div (0.07 \times 3.14 \times 0.017 \times 20 \times 5) = 73\text{m}$$

(3) 循環ポンプの設計

① ポンプの送水量

p18(3) ① ポンプの送水量の式より、

- ・ Q (ポンプの送水量) $= q \times n$
- ・ q (熱交換機内の流量) $= \pi \times d^2 / 4 \times v$

【計算条件】

・ v : 熱交換器内の流速(m/s)	0.9m/s
・ n : 熱交換器本数	20本
・ d : 熱交換器の内径(mm)	14mm
・ D : 熱源水配管の内径(mm)	50mm

$$\therefore \text{熱交換機内の流量} = 3.14 \times 0.014^2 / 4 \times 0.9 = 0.000138\text{m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \text{ポンプの送水量} = 0.000138 \times 20 = 0.00276\text{m}^3/\text{s} = 166\text{L}/\text{min}$$

②ポンプの全揚程

p18②ポンプの全揚程の式より、

- ・ポンプの全揚程＝管の摩擦損失水頭＋高さ損失水頭
管の摩擦損失水頭（h）＝熱源水（往き）＋採熱部＋熱源水（還り）
- ・熱源水（往き）＝熱源水（還り）＝h₁として、
- ・ $h_1 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d) \div \sqrt{v}\} \times (L/d) \times v^2/2g$

【計算条件】

- ・L：配管延長(m) 200m
- ・d：配管内径(m) 0.05m
- ・v：配管内平均流速(m/s) 0.7m/s

- ・ $h_1 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times 0.05) \div \sqrt{0.7}\} \times (200/0.05) \times 0.7^2/(2 \times 9.8) = 2.7$
- ・採熱部＝h₂として、
- ・ $h_2 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d) \div \sqrt{v}\} \times (2L/d) \times v^2/2g$

【計算条件】

- ・L：配管延長(m) 73m
- ・d：配管内径(m) 0.014m
- ・v：配管内平均流速(m/s) 0.9m/s

- ・ $h_2 = \{0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times 0.014) \div \sqrt{0.9}\} \times (2 \times 73/0.014) \times 0.9^2/(2 \times 9.8) = 12.6$
- ・高さ損失水頭＝φ800の管底高20.0mと取出し人孔の地盤高25.89mより、
25.89-20.0=5.89m、10%の余裕を見て6.5m

$$\therefore \text{ポンプの全揚程} = 2.7 + 12.6 + 2.7 + 6.5 = 24.5\text{m}$$

③ポンプの動力と電動機容量

p19③ポンプ動力の式と電動機容量の式より、

- ・P（ポンプの動力）＝ $1 \div (60 \times 1000 \times \eta) \times \rho \times g \times Q \times H$
- ・P_m（ポンプの電動機出力）＝ $P \times (1 + \alpha)$

【計算条件】

- ・η：ポンプ効率 0.51
- ・ρ：液密度(kg/m³) 1,011kg/m³
- ・Q：ポンプ吐出量(m³/min) 0.166m³/min
- ・H：ポンプ全揚程(m) 24.5m
- ・α：余裕率 0.2

$$\therefore \text{ポンプの動力} = 1 \div (60 \times 1000 \times 0.51) \times 1011 \times 9.8 \times 0.166 \times 24.5 = 1.3\text{kw}$$

$$\therefore \text{ポンプの電動機容量} = 1.3 \times (1 + 0.2) = 1.56\text{kw} \Rightarrow 2.2\text{kw}$$

7. 概算事業費の算出

(1) 下水熱

p20①建設費と維持費の式より、

- ・建設費＝設備費＋据付費＋諸経費＋熱交換器＋熱源水配管
- ・維持費＝設備保全＋動力費

＝ヒートポンプの建設費 2%＋ポンプの電動機出力×電力単価×運転時間

【計算条件】

- ・設備費 : 循環ポンプ＋ヒートポンプ＋電気設備＝150＋10,000＋3,000＝13,150 千円
 - 循環ポンプ : 150 千円
 - ヒートポンプ : 10,000 千円
 - 電気設備 : 3,000 千円
- 据付費 : 設備費×0.2＝13,150×0.2＝2,630 千円
- 諸経費 : (設備費＋据付費)×0.3＝(13,150＋2,630)×0.3＝4,734 千円
- 熱交換器 : 3,002×採熱熱量－0.397×採熱熱量
＝3,002×33－0.397×33＝24,721 千円
- 熱源水配管 : 50×配管延長＝50×200＝10,000 千円
- 電力単価 : 30 円/kwh
- 運転時間 : 2,000h
- 都市ガス単価 : 150 円/m³

∴建設費＝13,150＋2,630＋4,734＋24,721＋10,000＝55,235 千円

∴維持費＝10,000×0.02＋2.2×30×2,000÷1,000＝332 千円/年

(2) 下水暗きょ使用料

p27 の参考例より、φ800 の使用料＝509 円/年・m×73m＝37 千円/年

(3) 従来システム

p20②建設費と維持費の式より、

- ・建設費＝熱源設備＋燃料設備＋据付費＋諸経費＝実績
- ・維持費＝設備保全＋動力費＝設備保全＋燃料使用量×燃料単価＝実績

∴建設費＝20,000 千円

∴維持費＝10,000×0.02＋4,100×150÷1,000＝815 千円/年

(4) 概算工事費のまとめ

維持費は削減できるものの、30 年間の使用では**燃料式の方が安価**となった。

表 4 下水熱と燃料式の概算工事費

	下水熱	燃料式	備 考
建設費 (千円)	55,235	20,000	
維持費 (千円/年)	369	815	下水暗きょ使用料を含む
建設費＋維持費(30 年) (千円)	66,305	44,450	

【参考資料. 用語の解説】

- (1) 下水管路
管渠、マンホール、雨水吐き室、吐け口、ます、取付管等の総称
- (2) 下水暗きょ
地下に設けられた下水管路をいう。
- (3) 下水熱利用設備
下水熱を利用するための設備の総体をいう。
- (4) 採熱設備
下水から熱を回収する設備で、熱交換器と熱源水配管からなる。
- (5) 熱交換器
熱源水と下水との間で熱を交換するための装置
- (6) 熱源水
熱回収を行う媒体をいう。具体的には、水もしくは不凍液
- (7) 熱源水配管
熱交換器とヒートポンプ（又は吸収式冷凍機）の間に配置される管をいう。
熱源水配管内を熱源水が循環する。
- (8) ヒートポンプ
電気などのエネルギーにより冷媒の圧縮・膨張潜熱(気化熱)を利用して低温部から高温部へ熱を移動させる装置
- (9) 循環ポンプ
熱源水または冷温水を循環させるために必要となるポンプ
- (10) 熱負荷設備
空調のファンコイルユニット、給湯設備の出湯機器、融雪での融雪パネル等熱負荷を消費する設備等をいう。
- (11) 冷温水配管
ヒートポンプと熱負荷設備の間を循環する媒体(一般的に水)が通る管
- (12) 熱利用者
熱源設備を設置・運用する者をいう。具体的には、都市開発事業者、熱源設備の更新をしようとするもの、エネルギーサービス事業者等を想定している。
- (13) エネルギーサービス事業者
熱利用者に対して熱を供給するサービス事業者をいう。熱供給事業法に基づく熱供給事業者のほか、ESCO 事業(省エネルギーに関する包括的なサービスを提供)等を実施する事業者を実施する民間事業者を含む。
- (14) 市長が認めた者
下水熱の利用に関する適正かつ確実な計画並びに下水熱の利用を行うのに必要な経理的基礎及び技術的能力を有する者であると市長が認めた者

札幌市下水熱利用ガイドライン

作 成 令和5年3月

編 集 札幌市下水道河川局事業推進部下水道計画課