

下水熱利用プロジェクト推進ガイドライン（案）

平成 26 年 2 月

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部

はじめに

下水道の役割は、排除・処理という基本的役割に加え、低炭素・循環型社会の実現のため、地域づくりに貢献することが社会から求められている。また、下水道事業の厳しい経営状況を鑑みれば、下水道の有するエネルギーポテンシャルを最大限活用することで、地方公共団体の経営にも資する必要がある。

下水の水温は一年を通して比較的安定しており、大気の温度と比べ夏は低く、冬は高い特長を有している。このため、この温度差エネルギー（下水熱）を冷暖房や給湯等に利用することによって、大幅な省エネ・省CO₂を図ることができる。しかしながら、その大きなポテンシャルが存在する一方、その利用はほとんどが下水処理場内に限られていた。

そのようななか、下水熱の地域における利用の促進に向けて、「都市再生特別措置法」の改正（平成23年4月）や「都市の低炭素化の促進に関する法律」の制定（平成24年8月）によって、下水熱を利用するために民間事業者が下水道管理者から許可を得て下水を取水することが可能になるとともに、下水管路内に熱回収施設を設置する工法の開発等も進められているところであり、下水熱の需要に対して、より近い位置から供給する環境が整えられつつあるところである。また、国土交通省では平成24年度には、産官学連携により「下水熱利用推進協議会」を設置し、下水熱利用システムの事業採算性の向上等に向けた情報・意見交換、各種課題の整理等を行うことにより、下水熱利用推進に向けて取組むべき施策の方向性についてのコンセンサスを形成するとともに、下水熱利用に向けた機運の醸成を図ってきた。

本ガイドラインは、「下水熱利用推進協議会」の活動を踏まえ、下水熱利用に関心を持つ各主体（地方公共団体の下水道部局、都市整備部局、都市計画部局、環境部局等や民間ディベロッパ等）に対し、プロジェクトの構想段階で必要となる基礎情報を提供するものである。本ガイドラインが活用されることによって、地方公共団体における経営改善と低炭素社会実現が進展することを大いに期待する。

目次

1. 本ガイドラインの目的と概要	1
1.1 本ガイドラインの目的.....	1
1.1.1 本ガイドラインの目的.....	1
1.2 本ガイドラインの構成.....	2
1.2.1 本ガイドラインの構成.....	2
2. 下水熱の特長・導入効果	3
2.1 温度差エネルギーの特長.....	3
2.1.1 温度差エネルギーの特長特.....	3
2.2 下水熱の特長.....	6
2.2.1 下水熱の特長.....	6
2.3 下水熱利用の導入効果.....	7
2.3.1 下水熱利用の導入効果.....	7
3. 主なシステム形態	8
3.1 熱回収技術.....	8
3.1.1 管路内設置型熱回収技術.....	8
3.1.2 管路外設置型熱回収技術.....	10
3.1.3 下水からの熱回収に関する法制度.....	12
3.2 下水熱利用の用途.....	13
3.2.1 下水熱利用の用途.....	13
3.3 システム形態.....	14
3.3.1 システム形態.....	14
4. 導入事例	15
4.1 下水熱利用プロジェクトの類型.....	15
4.1.1 下水熱利用プロジェクトの類型.....	15
4.2 下水熱利用プロジェクト事例.....	17
4.2.1 「後楽一丁目地区」における地域冷暖房への下水熱利用（未処理下水）.....	17
4.2.2 「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱利用.....	18
4.2.3 「ささしまライブ 24 地区」におけるまちづくりと下水熱利用のパッケージ化.....	20
4.2.4 「堺市の大型商業施設」における下水熱利用・下水再生水利用のパッケージ化.....	21
4.2.5 「仙台市のスーパーマーケット」における給湯向け下水熱利用.....	23
4.2.6 「ドイツ：ボーフム市」における管路内採熱による公営温水プールへの下水熱供給	
24	
5. 下水熱利用の検討手順	26
5.1 導入の検討手順.....	26
5.2 下水熱利用場所の検討.....	27
5.2.1 下水熱利用場所の検討.....	27

5.3 熱需要に関する考え方の整理.....	28
5.3.1 熱需要に関する考え方の整理.....	28
5.4 熱源に関する考え方の整理.....	31
5.4.1 下水流量.....	31
5.4.2 下水温度.....	32
5.4.3 その他確認すべき事項.....	33
5.5 設備の種類等の設定・下水熱利用の導入効果の概算.....	34
5.5.1 設備の種類等の設定.....	34
5.5.2 省エネルギー効果.....	36
5.5.3 CO ₂ 削減効果.....	37
5.5.4 導入効果の概略試算（事業性）.....	38
5.6 F S 調査の準備・運用方針の検討.....	41
5.6.1 下水に関する詳細な現地調査.....	41
5.6.2 システム構成の検討.....	42
5.6.3 システムの運用方針の検討.....	45

図目次

図 1-1	本ガイドラインの目的	1
図 2-1	下水水温と気温との比較（イメージ）	3
図 2-2	下水熱利用の効果	5
図 2-3	下水熱利用の事例	6
図 2-4	下水熱利用の導入効果	7
図 3-1	下水熱利用の主なシステム形態	14
図 4-1	各主体における下水熱利用の契機と関係性	16
図 4-2	「後楽一丁目地区」における下水熱回収フロー図	17
図 4-3	「後楽一丁目地区」における下水熱利用の対象地域	18
図 4-4	「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱回収フロー図	19
図 4-5	「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱利用の対象地域	19
図 4-6	「ささしまライブ 24 地区」における下水熱回収フロー図	20
図 4-7	「ささしまライブ 24 地区」における下水熱利用の対象地域	21
図 4-9	「堺市の大型商業施設」における下水熱利用の対象地域	22
図 4-10	「仙台市の食品スーパー」における下水熱回収フロー図	23
図 4-11	「仙台市」における下水熱利用システムの機器配置	24
図 4-12	ドイツ：ポーフム市の公営温水プールにおける熱回収フロー図	25
図 5-1	下水熱利用の検討フロー	26
図 5-4	熱源温度と COP 比との関係	35
図 5-6	大規模設備における流入水量と維持管理費の関係	39
図 5-8	小規模街区における下水熱利用事業：システム概念図	43
図 5-9	個別建物における下水熱利用事業：システム概念図	44
図 5-10	下水道事業（合流式下水道越流水対策・再生水利用）と下水熱利用との連携事業：システム概念図	44
図 5-11	バイオフィルムの傾向（イメージ）	46

表目次

表 2-1	下水熱による地域熱供給事例.....	4
表 2-2	温度差エネルギーによる地域熱供給事例（下水熱以外）.....	4
表 3-1	管路内設置型熱回収技術の概要①.....	8
表 3-2	管路内熱回収技術の概要②.....	9
表 3-3	管路外設置型熱回収技術の概要①.....	10
表 3-4	管路外設置型熱回収技術の概要②.....	11
表 3-5	下水熱利用に関する規制緩和の動向.....	12
表 3-6	下水熱利用の用途と特徴.....	13
表 4-1	下水熱利用プロジェクトの類型化.....	15
表 5-1	建物用途別最大熱負荷原単位の設定例.....	29
表 5-2	建物用途別年間熱負荷原単位の設定例.....	29
表 5-4	融雪の時間当たり負荷原単位の設定例.....	30
表 5-6	ヒートポンプ（水熱源）の効率の設定.....	35
表 5-7	CO ₂ 排出量原単位.....	37
表 5-9	ヒートポンプの価格設定.....	40
表 5-10	熱源設備費と採熱設備費として考慮すべき設備例.....	42

用語の一覧

本ガイドラインで用いる用語の定義は以下の通り。

用語	定義
一次エネルギー	石油・石炭・天然ガス等の化石燃料、原子力の燃料であるウラン、水力・太陽・地熱等の自然エネルギー等自然から直接得られるエネルギー（電気・ガソリン・都市ガス等、一次エネルギーを変換や加工して得られるエネルギーのことを二次エネルギーという）。
カスケード利用	熱利用の場合、一度発生させた高温の熱を、より低い温度でも利用できる用途に段階的に利用する方法。
コージェネ	一種類の一次エネルギー(例えば燃料)から連続的に二種類以上の二次エネルギー(例えば電力又は動力と温度レベルの異なる熱)を同時に発生させる設備。
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。
地域冷暖房	駅やビル、商業施設、マンション等地域内の建物に対し、まとめて冷暖房や給湯を行うシステム。
蓄熱	熱エネルギーを蓄え、必要な時に放熱するシステム。冷房、冷蔵用などの冷熱蓄熱と暖房や給湯用の温熱蓄熱がある。
熱源水	熱交換を行う媒体をいう。具体的には、水もしくは不凍液（ブライン）である。
熱源水配管	熱交換器とヒートポンプ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。
熱源設備	採熱設備で回収した熱を熱負荷に適したより高い温度に昇温、又は低い温度に冷温する設備をいう。ヒートポンプ、循環ポンプ及び冷温水配管からなる。
熱交換器	高温の流体の熱を低温の流体へ伝えて、低温の流体を加熱する又は高温の流体を冷却するための装置。
熱負荷設備	空調負荷、給湯負荷及び融雪負荷等の熱負荷を消費する設備をいう。具体的には空調でのファンコイルユニット、給湯での出湯機器、融雪での融雪パネル等をいう。
ヒートアイランド現象	都市部において、高密度にエネルギーが消費され、また、地面の大部分がコンクリートやアスファルトで覆われているために水分の蒸発による気温の低下が妨げられて、郊外部よりも気温が高くなっている現象。
ヒートポンプ	電気などのエネルギーにより、温度の低い部分から温度の高い部分に熱を移動させる装置。冷媒の圧縮・膨張による潜熱（気化熱）の移動を応用した装置。

用語	定義
COP	ヒートポンプのエネルギー消費効率の目安として使われる係数をいう。ヒートポンプでのエネルギー消費量 1kW あたりの冷却・加熱能力を表した値である。
ボイラ	火気、高温ガス又は電気を熱源とし、水又は熱媒を加熱して蒸気又は温水を作り、他に供給する装置。
冷温水	ヒートポンプと熱負荷の間を循環する媒体をいう。具体的には、水が用いられる。
冷温水配管	ヒートポンプと熱負荷の間に配置される管をいう。冷温水配管内を冷温水が循環する。
ロードヒーティング	地中に埋め込んだ熱源で地面を温める施設。

1. 本ガイドラインの目的と概要

1.1 本ガイドラインの目的

1.1.1 本ガイドラインの目的

本ガイドラインは、下水熱利用に関心を持つ地方公共団体や民間ディベロッパ等に対し、プロジェクトの構想段階で必要な下水熱利用に関する基礎情報（意義、利用形態、計画の進め方等）を提供することを目的とする。

【解説】

本ガイドラインでは下水を熱源とする熱、すなわち下水熱の利用について解説する。下水熱は、未処理あるいは処理後の下水から採熱可能な温度差エネルギーである。下水熱はこれまで設備導入における初期費用の高さや、法規制等の課題があった。しかしながら、近年は熱回収のための技術開発とともに規制緩和が行われ、下水熱の需要に対して、より近い位置から供給する環境が整えられつつある。

下水熱利用の促進のためには、検討の起点となる地方公共団体（下水道部局、都市計画部局、都市整備部局、環境部局等）や民間ディベロッパ等（以下、主体という。）が下水熱利用に係る基礎的知見を持ち、プロジェクト計画の第一歩として、下水熱利用の可能性についての構想検討に踏み出せることが重要となる。

本ガイドラインでは、下水熱利用に関心を持つ各主体に下水熱利用に関する基礎情報（意義、利用形態、計画の進め方等）を提供することを目的とする。特に、プロジェクト計画の第一歩である構想検討に資するため、下水熱利用の可能性についての構想検討を各主体が自ら実施できるように、下水や需要条件等、下水熱利用に適した条件を容易に理解できる形で整理するとともに、フィージビリティ・スタディ調査（以下、FS 調査という。）の事前準備に向けた調査手法等を解説する。（図 1-1）。



図 1-1 本ガイドラインの目的

1.2 本ガイドラインの構成

1.2.1 本ガイドラインの構成

本ガイドラインは、「下水熱の特長・導入効果」、「主なシステム形態」、「導入事例」、「下水熱利用の検討手順」から構成される。

【解説】

1.1.1の目的を踏まえ、次章以降本ガイドラインは以下のように構成される。

<本ガイドラインの構成>

- 2. 下水熱の特長・導入効果
 - ✓ 温度差エネルギー全般の特長とともに、他のエネルギーと比較して下水熱が特に優れる点について説明する。
- 3. 主なシステム形態
 - ✓ 下水熱利用における主なシステム形態として、熱回収技術、需要側の利用形態、両者を組み合わせたシステム形態について説明する。あわせて、関係法令についても解説する。
- 4. 導入事例
 - ✓ 既存の下水熱利用プロジェクトの事例について、類型化して紹介する。
- 5. 下水熱利用の検討手順
 - ✓ 下水熱利用場所の検討、導入検討方法、F S準備等をする際の手順をまとめるとともに、その際に用いるデータを解説する。

2. 下水熱の特長・導入効果

2.1 温度差エネルギーの特長

2.1.1 温度差エネルギーの特長特

下水熱を含めた温度差エネルギー利用の取組は日本全国で行われており、温度差エネルギーの利活用により、高効率のエネルギーシステムを構築することで、一次エネルギーの消費量やCO₂排出量の削減に貢献できる。

【解説】

下水、河川水、地下水の温度は夏は外気温に比べて低く、冬は高くなる（図 2-1）。また、地中の温度は季節による変動が小さく、常に外気との温度差がある。これらの温度差は高効率のヒートポンプや熱交換器により冷暖房等のエネルギー源として安定的に利用することができる。

下水熱を含め、このような温度差エネルギーを用いた地域熱供給事業は日本全国で行われている。表 2-1、表 2-2 の例のように温度差エネルギーによる地域熱供給のエネルギー効率¹は高く、ほとんどの場合で平均以上になり²、投入した燃料以上のエネルギー供給が得られやすい。

このような温度差エネルギーの利活用により、都市内で高効率のエネルギーシステムが構築でき、一次エネルギーの消費量やCO₂排出量の削減に貢献できる（図 2-2）。

一方、温度差エネルギーを利用するためには、近くに需要が存在することが必要という制約もある。例えば、河川水を用いる場合は河川沿いに、大規模都市開発等の需要が存在することが望まれる。

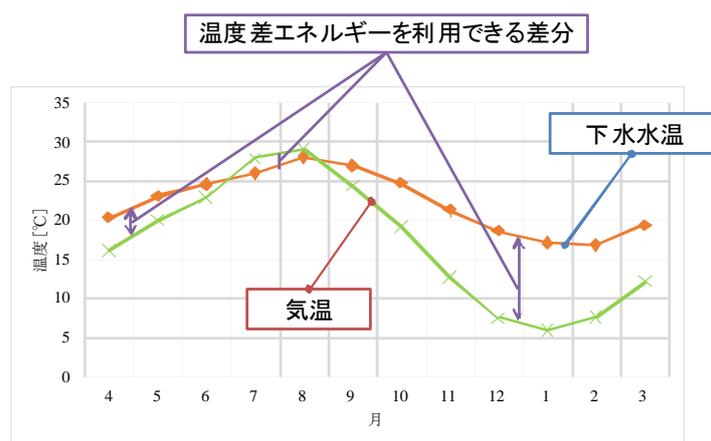


図 2-1 下水水温と気温との比較（イメージ）

¹ エネルギー利用効率は「販売熱量 (GJ) / 原・燃料使用量 (GJ)」として算出（電力使用量については熱供給事業便覧に掲載の数値 (1kWh=3.6MJ 換算) を 1kWh=9.76MJ としして一次エネルギー換算）。

² 熱供給事業便覧掲載の「温度差エネルギー以外を含めた熱供給事業」の平均エネルギー効率は0.74。

表 2-1 下水熱による地域熱供給事例

地域	地区名	事業者名	エネルギーの種類	エネルギー効率
岩手	盛岡駅西口	東北電力(株)	未処理下水	0.78
東京	後楽一丁目	東京下水道エネルギー(株)	未処理下水	0.92
千葉	幕張新都心ハイテク・ビジネス	東京都市サービス(株)	下水処理水	1.19

出所)「熱供給事業便覧 平成24年版」に掲載の事例より作成

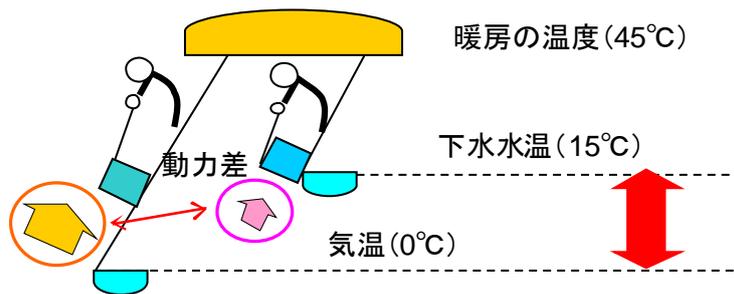
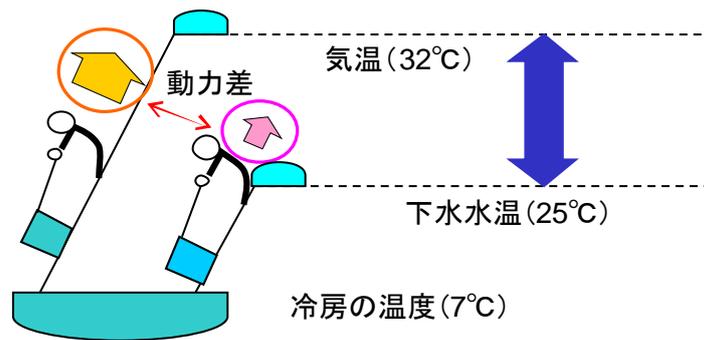
表 2-2 温度差エネルギーによる地域熱供給事例(下水熱以外)

地域	地区名	事業者名	エネルギーの種類	エネルギー効率
千葉	千葉問屋町	千葉熱供給(株)	中水	0.68
東京	箱崎	東京都市サービス(株)	河川水	0.94
群馬	高崎市中央・城址	東京都市サービス(株)	地下水	1.28
東京	東京スカイツリー	(株)東武エネルギーマネジメント	地中熱	1.36
愛知	中部国際空港島	中部国際空港エネルギー供給(株)	海水	0.45
富山	富山駅北	北電産業(株)	河川水	0.76
大阪	中之島二・三丁目	関電エネルギー開発(株)	河川水	1.04
大阪	天満橋一丁目	オー・エー・ピー熱供給(株)	河川水	0.83
大阪	大阪南港コスモスクエア	大阪臨海熱供給(株)	海水	0.63
高知	サンポート高松	四国電力(株)	海水	1.14
香川	高松市番町	四国電力(株)	地下水	0.67
福岡	シーサイドももち	(株)福岡エネルギーサービス	海水	0.64
福岡	下川端再開発	(株)福岡エネルギーサービス	中水	0.74

出所)「熱供給事業便覧 平成24年版」に掲載の事例より作成

東京スカイツリーの事例のみ東部鉄道株式会社のニュースリリースの数値を引用

<http://www.tobu.co.jp/file/pdf/40e34b08078a956eb1560989c7651c6f/130827-2.pdf?date=20130827114925>



下水の温度は夏は外気温に比べて低く、冬は高くなるため、これを熱源とすることで温度差が小さくなり必要な動力が少なくて済む。

図 2-2 下水熱利用の効果

2.2 下水熱の特長

2.2.1 下水熱の特長

下水熱には他の温度差エネルギーと比べて複数のメリットがあり、今後の利用拡大が望まれる。

【解説】

下水熱は温度差エネルギーの1つであるが、他の温度差エネルギーと利用と比べて以下のようなメリットが挙げられる。

- 下水熱は他の温度差エネルギーと比べ都市内に安定的かつ豊富に存在していることから、都市域で発生する熱需要家との需給のマッチングの可能性が高い。
- 河川水、地下水は環境影響の観点から取水制限について考慮する必要があるが、下水の取水による環境影響は小さい。
- 下水再生水の利活用と下水熱利用をパッケージ化することで、省エネ、省CO₂以外の観点からも環境面での貢献性の高い取組が可能となる。
- 下水道施設のストックを活用して社会に貢献できる。

このように下水熱利用は温度差エネルギー利用技術の中でも特に多くのメリットを有する一方、現在下水処理場以外での地域における利用事例は12件程度（図2-3）である。ポテンシャルは大きいため、下水熱利用の更なる普及が望まれる。

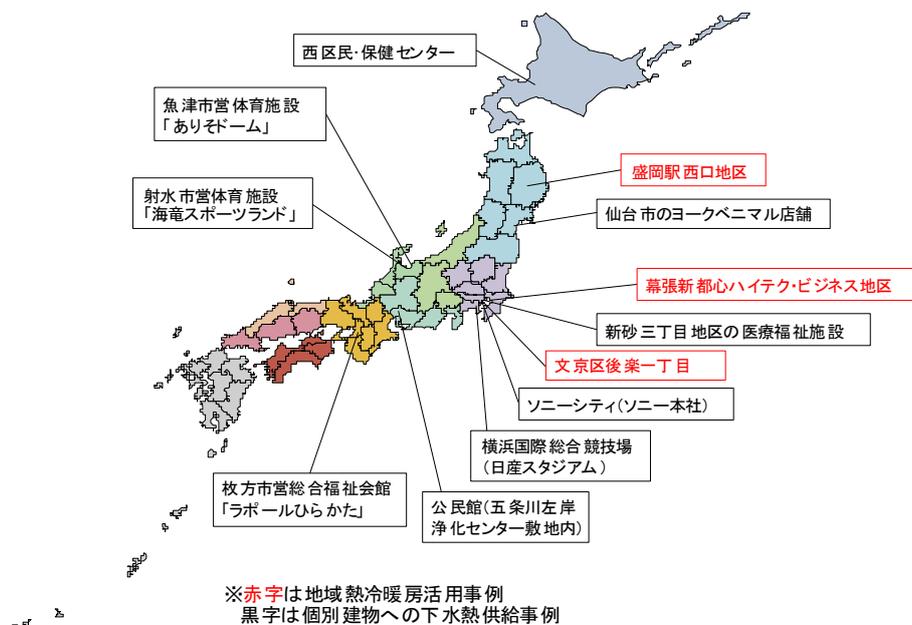


図 2-3 下水熱利用の事例

2.3 下水熱利用の導入効果

2.3.1 下水熱利用の導入効果

下水熱利用は、エネルギー需要家にとっては省エネ効果、下水道管理者にとっては省CO₂への貢献が期待されるだけでなく、地域環境保全、防災など、地域社会にも有益な効果をもたらす。

【解説】

下水熱利用により、エネルギーの需要家側は省エネ効果によるエネルギーコストの削減を望めるとともに、省CO₂効果をもたらすCSR活動（企業の社会的責任：Corporate Social Responsibility）として位置づけることができる。

一方、下水道管理者は下水熱利用に関わる料金を徴収³することにより経営状況を改善できる可能性がある。また、省CO₂による環境問題への貢献としての意義もある。

さらに、地域環境保全、防災など、地域社会にも有益な効果をもたらす。主な効果は図2-4のとおりである。

省エネ・省CO ₂ 効果	
省エネルギー	効率よく冷暖房等の設備を運転することができるため、化石燃料の消費を抑制できます。
地球温暖化の防止	化石燃料の消費量が削減されることによって、CO ₂ の排出が抑制されます。
その他の効果	
ヒートアイランドの防止	室外機からの廃熱抑制等、空調や給湯による大気への熱の放出が削減され、ヒートアイランド現象の抑制につながります。
大気汚染の防止	化石燃料の燃焼を抑制し、大気汚染の原因となるNO _x やSO _x を削減します。
防災対策	下水熱利用で供給される処理水や冷温水蓄熱槽の水は、非常災害時の消防用水、生活用水としても利用できます。
節水対策	冷房時に冷却水を冷やすための冷却塔が不要となるため、冷却塔に補給する水を削減できます。

図 2-4 下水熱利用の導入効果

³ 料金の考え方については、「民間事業者による下水熱利用手続ガイドライン」（平成24年12月12日国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課）も参照。

3. 主なシステム形態

3.1 熱回収技術

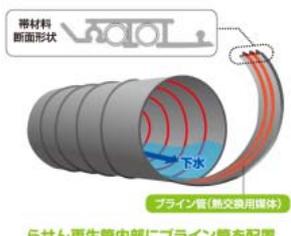
3.1.1 管路内設置型熱回収技術

管路内設置型熱回収技術には、らせん方式、熱交換マット方式、管路内ヒートパイプ方式、管路内露出型（金属）・管更生併用型、管路一体型（樹脂）がある。

【解説】

管路内設置型による熱回収の主要な技術としては、らせん方式、熱交換マット方式、管路内ヒートパイプ方式、管路内露出型（金属）・管更生併用型、管路一体型（樹脂）がある。各々の方式の概要と導入動向は表 3-1、表 3-2 のとおりである。

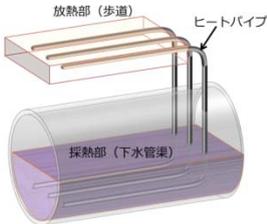
表 3-1 管路内設置型熱回収技術の概要①

	らせん方式	熱交換マット方式
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ▶ らせん更生管内部に熱媒管を配置し、下水熱との熱交換を行う方式。 ▶ 管更生工事と同時施工可能で工事費を抑制でき、下水と熱交換管が直接接触れる構造による効率的な熱回収が可能であるメリット。 ▶ 既設管径φ1000mm～2200mm・円形⁴・管の屈曲角10度以下の管渠で施工可能（2014年2月時点）。 ▶ 管径に対して10%以上の下水水深があると効果的。  <p>出所) 第1回下水熱利用推進協議会 資料</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 管渠の底部に熱交換マットを敷設し、マット中のチューブに不凍液等を通して下水との熱交換を行う方式。 ▶ 管更生と同時施工可能で工事費を抑制でき、既存管径800mm以下の小径でも施工可能であるメリット。  <p>出所) 復興支援スキーム検討分科会 資料</p>
導入動向	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 我が国では、平成24年度に大阪市においてB-DASHプロジェクト⁵にて実証事業を実施。その後、仙台市における実管路・実負荷による研究、実証事業を実施中。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 我が国においては民間が実証事業を予定。

⁴ 自由断面については管路状況による

⁵ 国土交通省が実施する下水道革新的技術実証事業

表 3-2 管路内熱回収技術の概要②

	管路内ヒートパイプ方式	管路内露出型（金属） ・管更生併用型	管路一体型 （樹脂）
技術概要	<p>▶ 管渠にヒートパイプの一端を敷設し下水熱と熱交換を行う方式。融雪面に敷設したもう一端へと下水熱が自動的に伝わる仕組み。</p> <p>▶ 簡易かつ動力不要な融雪システムであるメリット。</p>  <p>▶ 出所) 株式会社興和 資料</p>	<p>▶ 管路内に金属製の熱交換器を後付方式で設置。または、管更生時に適用が可能。</p> <p>▶ 熱交換器の施工は工法によって異なるが原則ドライ化施工。</p>  <p>出所) 第4回下水熱利用推進協議会 資料</p>	<p>▶ 下水管路としての管内側下水とリブ部分の熱源水との間で熱交換を行う方式。</p> <p>▶ 新規に管路を敷設する場合に熱交換機能をもたせる管路として適用可能。</p>  <p>出所) 第4回下水熱利用推進協議会 資料</p>
導入動向	<p>▶ 我が国で実証事業を実施中の事例あり。</p>	<p>▶ 我が国では NEDO⁶のプロジェクト⁷にて熱通過率等が実証された。</p>	<p>▶ 我が国では NEDO のプロジェクト⁸にて熱通過率等が実証された。</p>

⁶ 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

⁷ 次世代型ヒートポンプシステム研究開発：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

⁸ 脚注 7 と同様

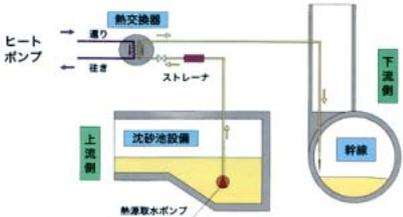
3.1.2 管路外設置型熱回収技術

管路外設置型熱回収技術には、ピット・熱交換分離方式、二重管方式、熱交換ピット方式、樹脂+アルミ方式、流下液膜式がある。

【解説】

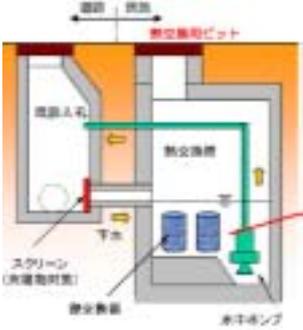
管路外熱交換の主要な技術としては、ピット・熱交換分離方式、二重管方式、熱交換ピット方式、樹脂+アルミ方式、流下液膜式がある。各々の方式の概要と導入動向は表3-3のとおりである。

表 3-3 管路外設置型熱回収技術の概要①

	ピット・熱交換器分離方式	二重管方式
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 沈砂池設備等を設置して夾雑物除去等を行った下水を熱交換器に導き、熱交換を行う方式。 ➤ 大がかりな土木構造物の設置が必要。  <p>出所) パンフレット「未処理の下水を熱源とする地域冷暖房～後楽一丁目地区」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 二重管の内管側を取水した下水、外管側を熱源水を通して熱交換を行う方式。 ➤ 管路の繋ぎをコンパクトにして省スペースを実現させる方式も存在する。  <p>出所) 第4回下水熱利用推進協議会 資料</p>  <p>出所) NEDO 資料</p>
導入動向	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 我が国では、2ヶ所のポンプ場にて商用の事業実績あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 我が国では、NEDOプロジェクト⁹にて熱通過率等の実証研究を実施。

⁹ 脚注7と同様

表 3-4 管路外設置型熱回収技術の概要②

	熱交換ピット方式	樹脂+アルミ方式	流下液膜式
技術概要	<p>➤ 既存マンホールに隣接させる形で熱交換用ピットを設置し、ピット内に貯留した下水と熱交換器を接触させる方式。</p>  <p>出所) 第 1 回下水熱利用推進協議会 資料</p>	<p>➤ スクリーンを経由して取水した下水をピットや水槽に溜め、その中に投げ込み式熱交換器として熱交換を行う方式。</p> <p>➤ 樹脂のため適度に簡易な洗浄を行えばバイオフィームが取れやすいメリット。</p> <p>➤ 設置スペースが大きくなる。</p>  <p>出所) 第 4 回下水熱利用推進協議会 資料</p>	<p>➤ スクリーンを経由して取水した下水を熱交換器の上部より流下させ、表面を伝わらせることで熱交換を行う方式。</p> <p>➤ 常に下水を流下させることと、洗浄による適度なメンテナンスを行うことで、バイオフィームの付着による影響を受けにくいメリット。</p> <p>➤ 設置スペースが少し大きくなる可能性がある。</p>  <p>出所) 第 4 回下水熱利用推進協議会 資料</p>
導入動向	<p>➤ 我が国では、NEDO プロジェクト¹⁰にて省エネ効果等の実証研究を実施。</p>	<p>➤ 我が国では NEDO のプロジェクト¹¹にて熱通過率等が実証された。</p>	<p>➤ 我が国では NEDO のプロジェクト¹²にて熱通過率等が実証された。</p>

¹⁰ 脚注 7 と同様

¹¹ 脚注 7 と同様

¹² 脚注 7 と同様

3.1.3 下水からの熱回収に関する法制度

下水からの熱回収に当たっては、その技術毎に適用される法制度がある。

【解説】

下水熱を利用するに当たっては、その熱回収技術により、以下のような法制度がある。

(1) 管路内設置型熱交換器

下水管路（地下に埋設されている管）に対し、民間事業者等が採熱設備等を設置することは、下水道法によって禁止されている。これは、地下に埋設されていることによる維持管理の困難さによるものである。

一方、下水道管理者が下水管路に採熱設備等を設置することについては、施設の管理行為の範囲内であり、維持管理への影響を考慮しなければならないものの、設置の可否は下水道管理者の判断に委ねられている。

(2) 管路外設置型熱交換器

これまで、下水道法においては、民間事業者が下水熱利用のために未処理下水を取水することは想定されていなかった。そのため、平成 23 年 4 月の「都市再生特別措置法」の改正、平成 24 年 8 月の「都市の低炭素化の促進に関する法律」の成立により、民間事業者による下水熱利用のための下水の取水に関する特例が創設された。この規制緩和により、民間事業者は都市再生緊急整備協議会、低炭素まちづくり協議会等にて整備計画の策定や検討を経て、下水道管理者の許可を受けることにより、未処理下水を利用することが可能となった。詳細については「民間事業者による下水熱利用手続ガイドライン（平成 24 年 12 月 12 日国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課）」を参照されたい。

表 3-5 下水熱利用に関する規制緩和の動向

法律の改正・成立	概要
改正「都市再生特別措置法」 (平成 23 年 4 月)	特定都市再生緊急整備地域 11 地域 ¹³ で民間企業による未処理下水を取水しての下水熱活用が可能。
「都市の低炭素化の促進に関する法律」(平成 24 年 8 月)	市街化区域等（市街化区域及び用途地域）を有する 1,190 市町村で民間事業者による未処理下水を取水しての下水熱活用が可能。

¹³ 札幌都心地域、東京都心・臨海地域、品川駅・田町駅周辺地域、新宿駅周辺地域、渋谷駅周辺地域、横浜都心・臨海地域、川崎殿町・大師河原地域、名古屋駅周辺・伏見・栄地域、大阪駅周辺・中之島・御堂筋周辺地域、大阪コスモスクエア駅周辺地域、福岡都心地域の 11 地域

3.2 下水熱利用の用途

3.2.1 下水熱利用の用途

下水熱利用の用途は給湯利用、空調利用、融雪利用がある。

【解説】

下水熱利用の用途は給湯利用、空調利用、融雪利用がある。各々の特徴は表 3-6 のとおりである。

表 3-6 下水熱利用の用途と特徴

給湯利用	<p style="text-align: center;">給湯利用</p> <p style="text-align: center;">お湯の利用量が多い施設 飲食店、介護施設、温水プール等が有利</p>
空調利用	<p style="text-align: center;">空調利用</p> <p style="text-align: center;">高齢者施設など負荷が大きく 稼働時間・稼働月が長い用途が有利</p>
融雪利用	<p style="text-align: center;">融雪利用</p> <p style="text-align: center;">市民生活に役立つ利用形態 積雪日数の多い地域等が有利</p>

※ヒートポンプ利用による更なる昇温の場合あり

出所) 第 4 回下水熱利用推進協議会資料

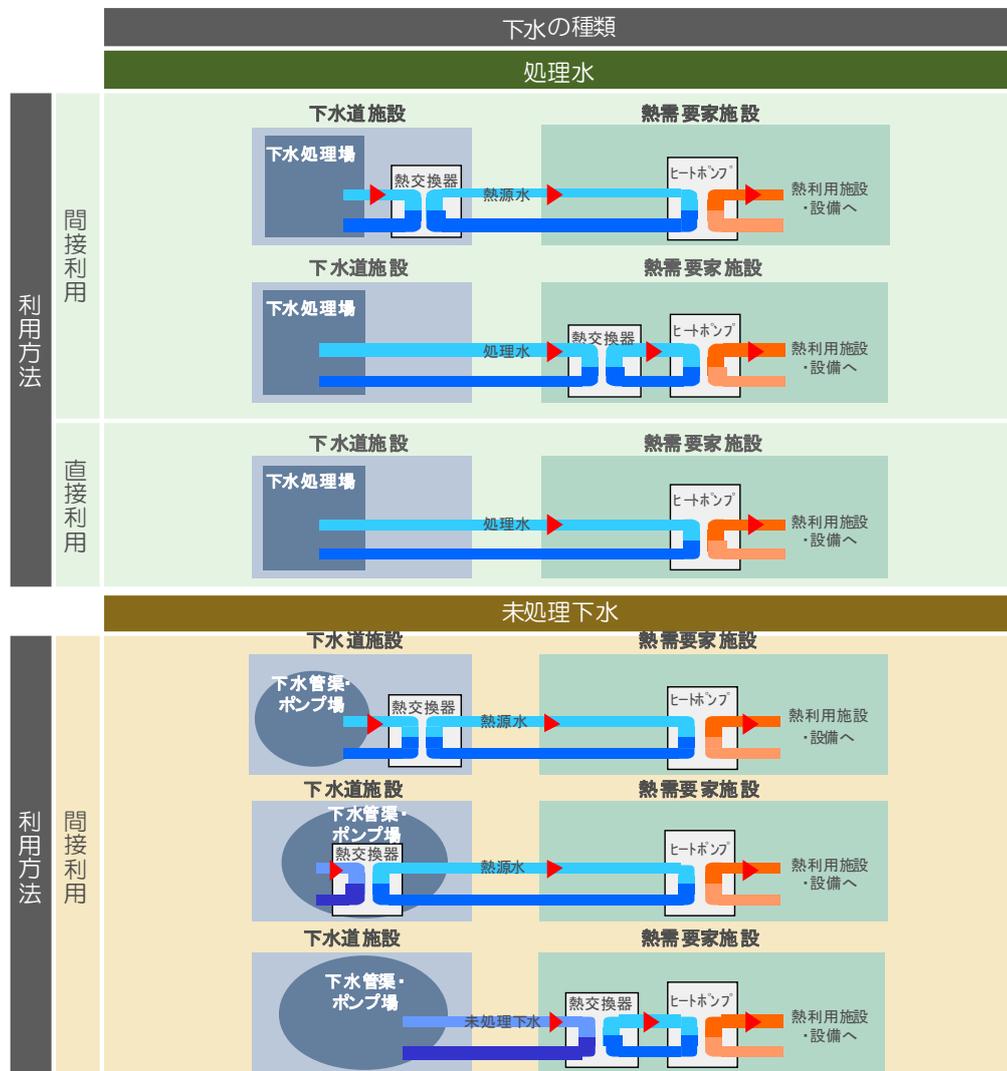
3.3 システム形態

3.3.1 システム形態

熱回収技術と利用用途を組み合わせた利用のシステム形態は、利用する下水の種類、利用方法に応じて分類される。

【解説】

先述の熱回収技術と利用用途を組み合わせた利用のシステム形態は、利用する下水の種類（処理水、未処理下水）、利用方法（間接利用、直接利用）に応じて、図 3-1 の 3 タイプに大別される。



民間事業者による未処理下水の取水は、都市再生緊急整備協議会、低炭素まちづくり協議会等にて整備計画の策定や検討を経て、下水道管理者の許可を受けることにより、未処理下水を利用することが可能となった（3.1.3 参照）。

図 3-1 下水熱利用の主なシステム形態

4. 導入事例

4.1 下水熱利用プロジェクトの類型

4.1.1 下水熱利用プロジェクトの類型

国内外における下水熱利用の既存事例は「下水熱供給元」、「下水熱利用規模」、「下水再生水利用とのパッケージ化の有無」によって類型化される。

【解説】

国内外における下水熱利用の既存事例は「下水熱供給元（下水処理場及びポンプ場、下水管路）」、「下水熱利用規模（複数施設への熱供給、個別施設への熱供給）」、「下水再生水利用とのパッケージ化の有無」によって類型化される。以下に既存プロジェクトの例を整理する。

表 4-1 下水熱利用プロジェクトの類型化

		下水熱利用規模	
		複数施設への熱供給	個別施設への熱供給
下水熱供給元	下水処理場 又は ポンプ場	再生水 利用なし ----- 再生水 利用あり	5.2.1 「後楽一丁目地区」における地域冷暖房への下水熱利用（未処理下水） 5.2.2 「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱利用 5.2.3 「ささしまライブ24地区」におけるまちづくりと下水熱利用のパッケージ化※ 5.2.4 「堺市の大型商業施設」における下水熱利用、下水再生水利用のパッケージ化※
	下水管路	国内での実施例はないが、 今後導入の可能性	5.2.5 「仙台市の食品スーパー」における給湯向け下水熱利用 5.2.6 「ドイツ：ボーフム市」における管路内採熱による公営温水プールへの下水熱供給

注 各事例に付した番号は以降本章で各事例を紹介する際の節番号
※印は今後実施予定

各主体が下水熱の利用を検討する契機は以下が挙げられる。また、各主体間の関係性は図 4-1 の通りである。

<自治体の都市計画部局・環境部局の契機>

- 自治体の都市計画や環境計画などの策定・改定時
- 再生可能エネルギーの利用促進に係る条例の制定時等

< 下水熱供給側の契機 >

- ポンプ場や放流施設等の下水道設備の新設・更新計画時
- 下水管路の更生時 (管路更生時に採熱設備を同時に導入することにより導入コストが低減される)
- 下水処理場周辺における熱需要施設の開発者から相談を受けた場合

< 下水熱需要側の契機 >

- 大都市業務中枢市街地の機能更新時 (複数施設への熱供給)
- 大規模複合型の市街地整備時 (複数施設への熱供給)
- 公共・公共施設、地域サービス施設の整備時 (個別施設)

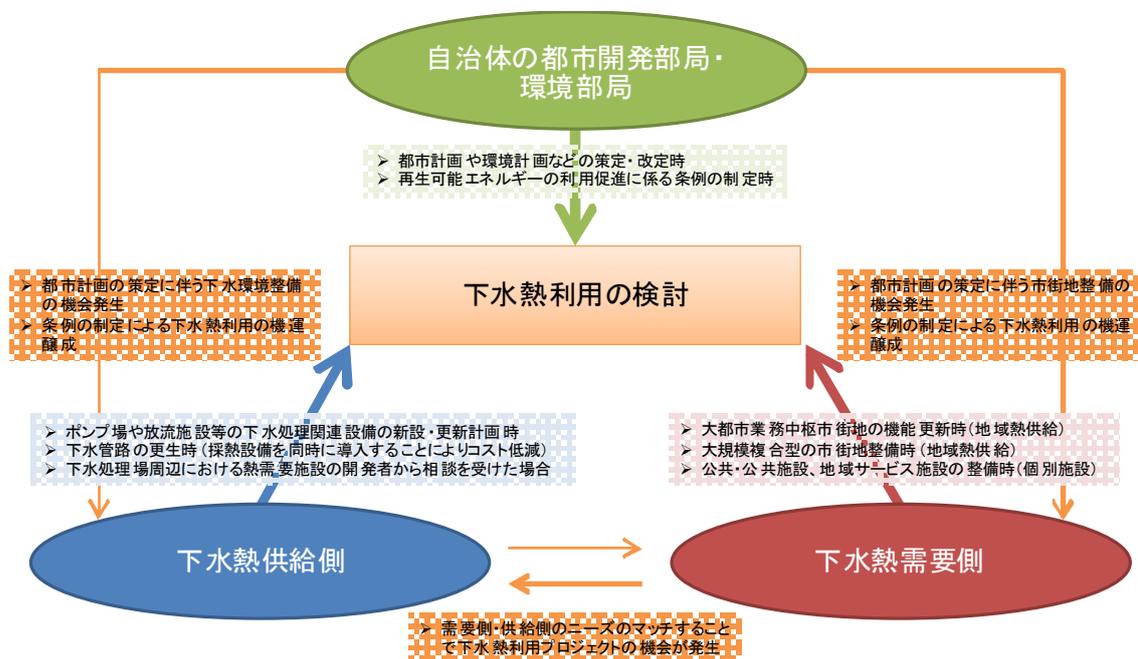


図 4-1 各主体における下水熱利用の契機と関係性

以降に各々の類型における既存事例の概要について示す。

4.2 下水熱利用プロジェクト事例

4.2.1 「後楽一丁目地区」における地域冷暖房への下水熱利用（未処理下水）

東京都文京区後楽一丁目地区では、ポンプ場を下水熱供給元に、地域冷暖房へ利用されている。

【解説】

東京都文京区後楽一丁目地区の地域冷暖房事業においては、後楽ポンプ所の未処理下水を活用して、地域冷暖房プラントで冷温水を製造し、ビル等に供給している。

東京都下水道局では、気温と下水温度の温度差を活用した下水の熱利用システム「アーバンヒート」を開発し、昭和62年1月、落合水再生センターに導入した。

このアーバンヒートの実施経験を活かし、大気汚染物質の削減など環境保全効果と省エネルギーを進めるために、下水の持つ熱エネルギーの利用対象を下水道施設以外にも広げ、東京都文京区にある後楽ポンプ所を含む周辺ビルを対象として、平成6年7月にわが国初の未処理の下水を利用した地域冷暖房事業をスタートさせた。

表 4-2 「後楽一丁目地区」における下水熱利用の概要

概要	
供給開始	平成6年7月
供給先	地域冷暖房プラント（東京下水道エネルギー株式会社）
熱需要家	ホテル、業務ビル、娯楽施設 計7施設
利用用途	空調用熱源
計画供給面積	216 千㎡（平成25年3月末時点）
延床面積	242 千㎡（平成25年3月末時点）
熱需要量	冷熱 58,581GJ/年、温熱 21,718GJ/年（平成24年度）

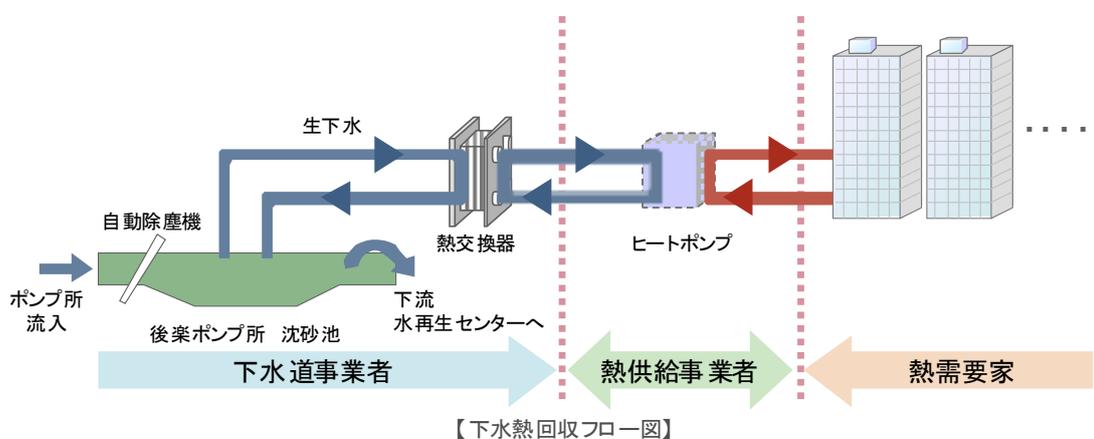


図 4-2 「後楽一丁目地区」における下水熱回収フロー図

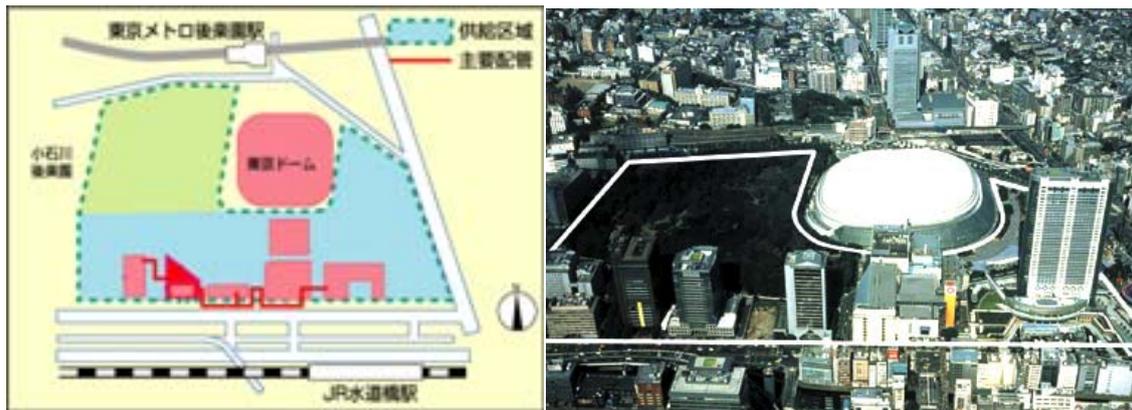


図 4-3 「後楽一丁目地区」における下水熱利用の対象地域

4.2.2 「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱利用

東京都芝浦水再生センターでは、下水熱を隣接するソニーシティ（ソニー本社）の空調の熱源として利用している。

【解説】

芝浦水再生センターの下水処理水を隣接するソニーシティ（ソニー本社）の空調の熱源として利用している。空調利用された処理水は水再生センターに返水される。民間単独ビルとしては初の下水熱利用事例である。

この事例は下水熱利用の普及拡大の環境が整いつつあったことを背景に、ソニーが熱供給可能性を検討したことをきっかけにスタートした。

導入効果として、年間約 22 トン（計画値）の CO₂ を削減できる。（東京ドーム約 1.3 倍（約 6ha）の森林が吸収する量に相当）

表 4-3 「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱利用の概要

概要	
供給開始	平成 18 年 10 月
供給先	ソニーシティ（ソニー本社）
利用用途	空調用熱源
延床面積	162,888 m ² （階数：地上 20 階、地下 2 階、塔屋 2 階）
供給量	下水処理水最大約 6 万 m ³ /日

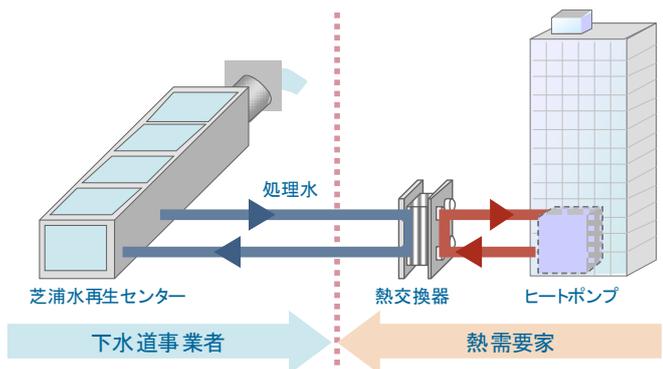


図 4-4 「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱回収フロー図



図 4-5 「ソニーシティ（ソニー本社）」における下水熱利用の対象地域

4.2.3 「ささしまライブ 24 地区」におけるまちづくりと下水熱利用のパッケージ化

名古屋市「ささしまライブ 24 地区」では、下水再生水を民間事業者による熱利用に活用するとともに、運河の水質改善用水や修景用水としても利用することが計画されている。

【解説】

高度処理を導入する予定の露橋水処理センターから、都市開発を進めている「ささしまライブ 24 地区」に下水再生水を送水し、その再生水を民間事業者による熱利用に活用するとともに、運河の水質改善用水や修景用水としても利用することが計画されている。この計画は「ささしまライブ 24 地区」における既存の地域冷暖房事業を、同地区へ送水する下水再生水の熱利用により効率化させ、CO₂削減へ貢献するとともに、潤いのある水空間の創出にも寄与するものである。

表 4-4 「ささしまライブ 24 地区」における下水熱利用の概要

概要	
供給開始	露橋水処理センター稼働後 (ガス・電気を利用した地域冷暖房は平成 24 年 4 月稼働)
供給先	地域冷暖房プラント (名古屋都市エネルギー株式会社)
熱需要家	事務所・商業・ホテル・コンベンション、大学、放送局の 3 事業者を予定
利用用途	空調用熱源
延床面積	約 28 万 m ² を予定 (上記 3 事業者の延床面積)
供給量	約 3 万 m ³ /日を予定 (地域冷暖房熱源用水として)

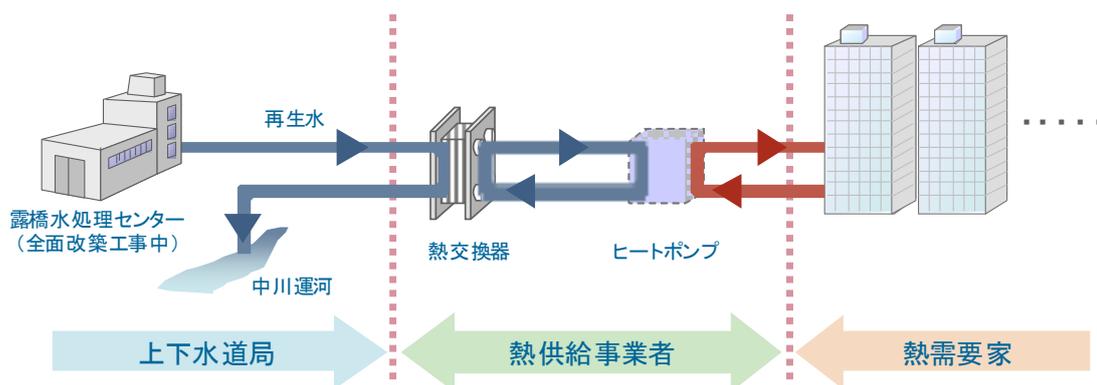


図 4-6 「ささしまライブ 24 地区」における下水熱回収フロー図



図 4-7 「ささしまライブ 24 地区」における下水熱利用の対象地域

4.2.4 「堺市の大型商業施設」における下水熱利用・下水再生水利用のパッケージ化

堺市鉄砲町では、「内川せせらぎ」へ親水用の再生水の導入とともに、市内の工場跡地での開発が計画されている大型商業施設での下水熱利用が計画されている。

【解説】

既に三宝下水処理場から敷設済みの再生水放流管を延伸し、堺市の「仁徳陵・内川水環境・再生プラン」に基づき「内川せせらぎ」へ再生水を導入し、水環境改善を行うとともに、市内の工場跡地での開発が計画されている大型商業施設で給湯用途、空調用途での下水熱利用が計画されている。この計画は、下水再生水利用計画とイオンモール株式会社の商業施設開発に伴う熱需要の発生のタイミングが合致したことをきっかけにスタートした。

下水再生水の熱利用と水環境改善を合わせて実施すること及び給湯用途で温熱利用し、その後空調用途で冷熱利用する「カスケード利用方式」は日本初の取り組みである。

表 4-5 「堺市の大型商業施設」における下水熱利用の概要

概要	
供給開始	商業施設のオープン時を予定
供給先	工場跡地に建設の大型商業施設（イオンモール株式会社）
利用用途	給湯利用、空調利用（カスケード利用）
延床面積	未定
供給量	約 1500t/日を予定（内川せせらぎと商業施設への供給量）

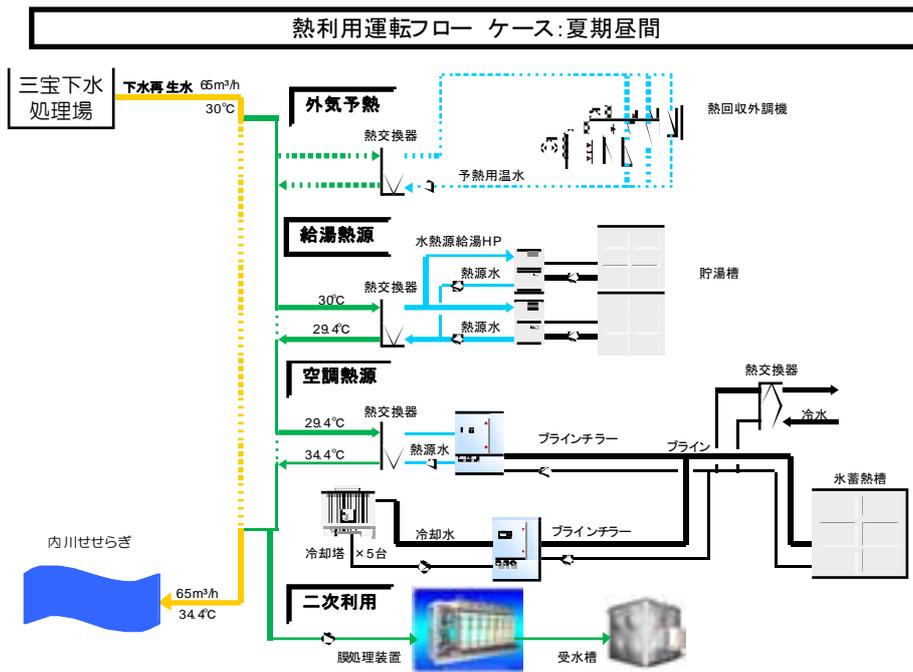


図 4-8 「堺市の大型商業施設」における下水熱回収フロー図

出所) 第 4 回下水熱利用推進協議会資料



図 4-9 「堺市の大型商業施設」における下水熱利用の対象地域

4.2.5 「仙台市のスーパーマーケット」における給湯向け下水熱利用

仙台市では、らせん型熱回収更生管から回収した下水熱を、スーパーマーケット内の給湯に利用している。

【解説】

平成 26 年 2 月現在、仙台市と積水化学工業株式会社は、下水道管渠熱利用システムの実使用下における評価検討、及び下水熱利用事業の普及促進に向けた課題整理のため、スーパーマーケット内での給湯を対象に、らせん型熱回収更生管による下水熱利用実証事業の共同研究を実施している。

この事例は、東日本大震災直後、国土交通省が設置した「下水道地震・津波対策技術検討委員会」による未来型志向の復旧提言に基づき、積水化学工業から仙台市に対して下水道の耐震化補強工事に合わせた熱回収技術の提案があったことをきっかけに開始した。耐震化工事にあわせて管渠の中に熱回収管を巻くことで、熱利用設備導入のコスト低減を図っている。

表 4-6 「仙台市のスーパーマーケット」における下水熱利用の概要

概要	
供給開始	平成 25 年 11 月（実証開始）
供給先	商業店舗（株式会社ヨークベニマル若林店）
利用用途	給湯利用
負荷条件	利用温度 40℃、利用水量 4,600L/日
管路条件	合流管、既設管路径 Φ1200mm（円形）、熱回収管敷設延長 45m 下水水位 15%

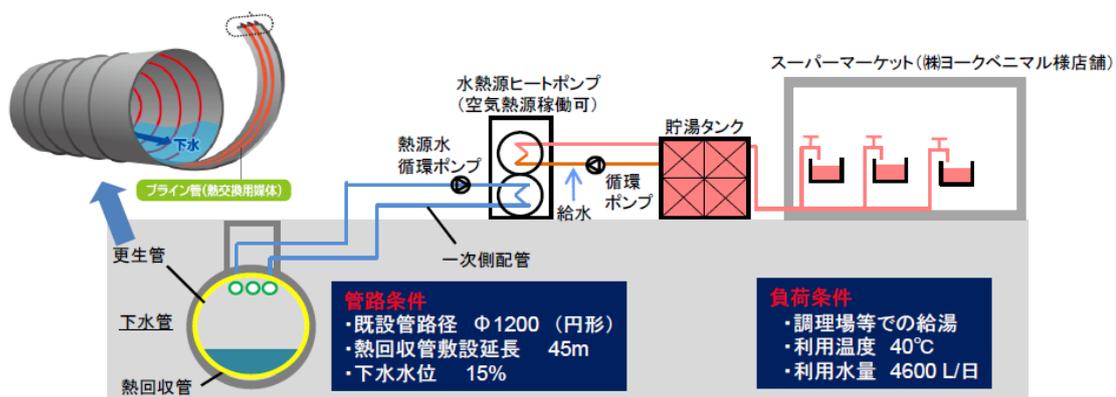


図 4-10 「仙台市の食品スーパー」における下水熱回収フロー図

出所) 第 4 回下水熱利用推進協議会資料



図 4-11 「仙台市」における下水熱利用システムの機器配置

出所) 第 4 回下水熱利用推進協議会資料

4.2.6 「ドイツ：ボーフム市」における管路内採熱による公営温水プールへの下水熱供給

ドイツのブーホム市では、公営温水プールに下水熱を供給している。

【解説】

ドイツのブーホム市では、ボーフム市都市公社が事業主体となり、ボーフム市が所有する公営温水プールに下水熱を供給し、熱需要の 73%を賄っている。

地下 12m に位置する下水管に熱交換器を設置し、150kW の熱を回収している。ヒートポンプから 190kW の熱、コジェネからは熱を 90kW とヒートポンプ用の電力を 50kW 供給している。また、旧式のボイラもバックアップとして設置している。

表 4-7 ボーフム市下水熱利用事例における各種仕様

項目	値	単位
下水最少流量	300	m ³ /時
最低下水温度	12	°C
下水のからの最低熱容量	800	kW
温水プールの年間熱需要	2,450	MWh/年
下水熱利用システム		
下水熱交換器の延長	19 及び 28 (2 ユニット設置)	m
下水熱交換器から建物への導管の距離	150	m
下水熱ヒートポンプ熱供給量	約 190	kW
下水熱ヒートポンプの年間利用時間	6,500	時間/年

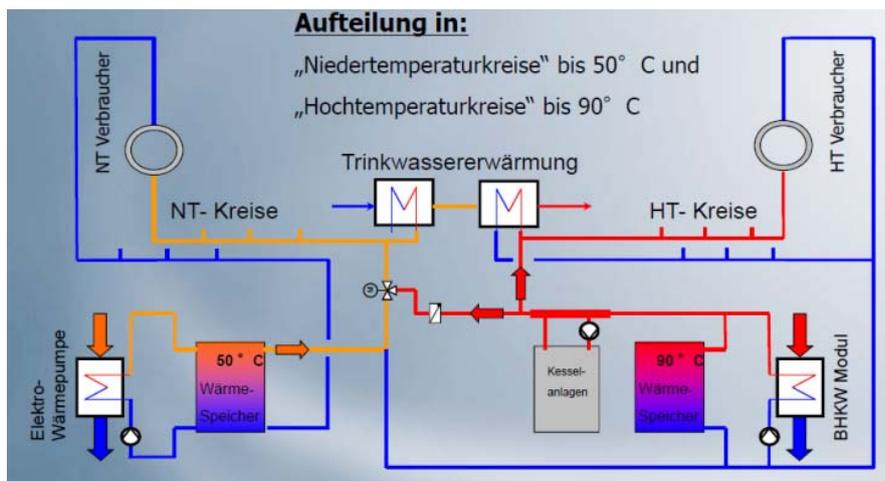


図 4-12 ドイツ：ボーフム市の公営温水プールにおける熱回収フロー図
出所) 第3回下水熱利用推進協議会資料



下水熱導管

熱交換器 (19m, 28mの2ユニット)

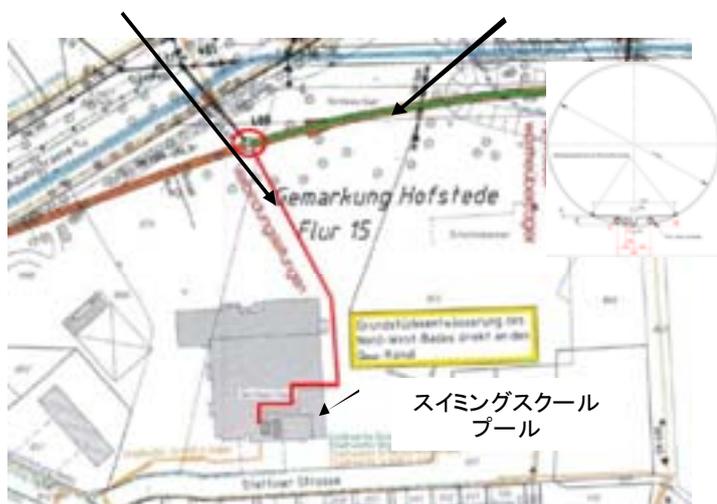


図 4-13 ボーフム市事例平面図

5. 下水熱利用の検討手順

5.1 導入の検討手順

下水熱利用の導入検討は、利用場所を選定し導入効果の概算を行う構想段階の検討と、FS 調査等を行う事業化段階の検討の2段階で行う。

【解説】

下水熱利用の導入策定にあたっては、まずはどこで下水熱利用を行うかを検討し、その上で熱需要施設・下水に関する基本条件を整理し、設備の種類等の設定・下水熱利用の導入効果を概算することで、下水熱利用の可能性があるかどうか構想段階の検討を行う。

次に、FS 調査により、熱需要施設・下水の詳細な現地調査と導入効果の評価を行う。また、実現可能性が認められるプロジェクトについては、運用方針について検討する。導入検討のフローは図 5-1 の通りである。以下に、下水熱の導入を検討するために整理すべき事項について解説する。

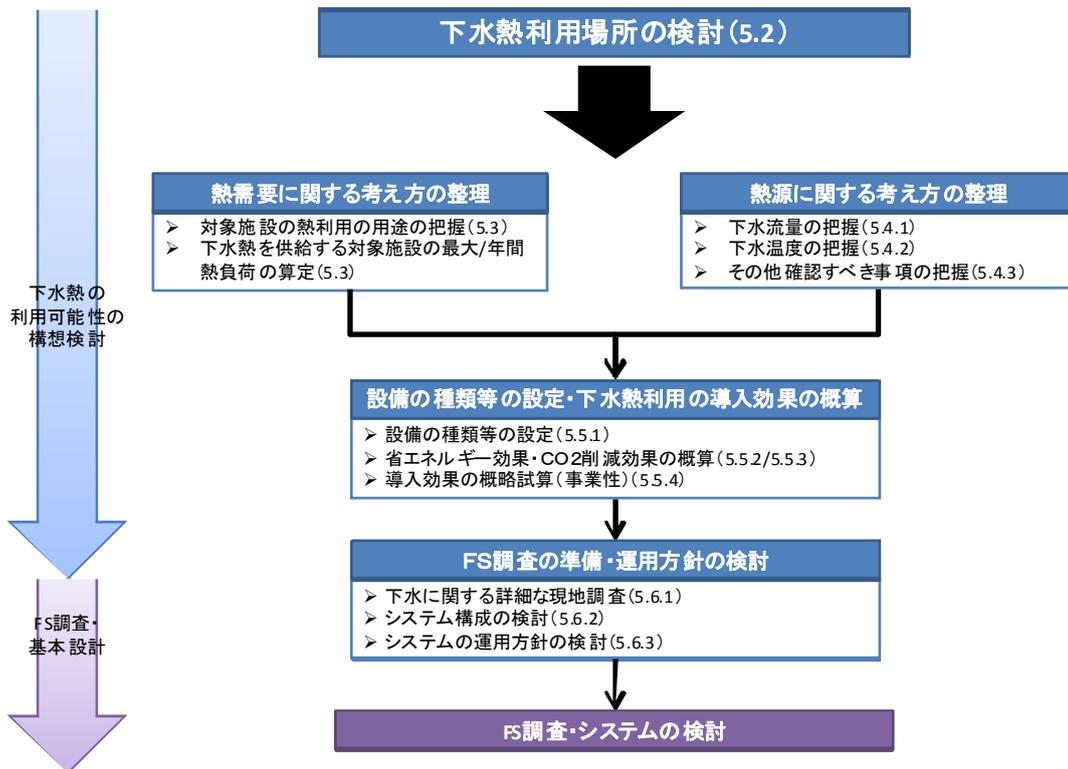


図 5-1 下水熱利用の検討フロー

5.2 下水熱利用場所の検討

5.2.1 下水熱利用場所の検討

下水熱利用の検討契機を踏まえ、下水熱供給側及び熱需要側の整備計画、熱供給側と需要側との位置関係等の観点から下水熱の利用場所を検討する。

【解説】

下水熱利用の検討契機によっては、計画の初期段階において下水熱の供給先施設や下水熱の採熱地点が予め特定されている場合もあるが、例えば地方公共団体が環境計画の一環として下水熱利用の適地検討を行う場合等には、下水熱利用場所の検討が必要となる。

実施場所の検討に際しては、例えば以下の観点から検討を行う。

<下水熱供給側に関する検討>

- ポンプ場や放流施設等の下水道設備の新設・更新計画
- 下水管路の更生計画

<下水熱需要側に関する検討>

- 大都市業務中枢市街地の機能更新
- 大規模複合型の市街地整備
- 公共・公共施設、地域サービス施設の整備

<下水熱供給と需要とのバランスに関する検討>

- ポンプ場、下水幹線等の下水道インフラと熱需要施設との位置関係

5.3 熱需要に関する考え方の整理

5.3.1 熱需要に関する考え方の整理

下水熱供給先の熱需要について、既存のデータ又は熱利用の用途等から推計する。

【解説】

下水熱供給先の熱需要を把握するため、対象施設の最大熱負荷及び年間総負荷を整理する。

既設の施設に対して下水熱を供給する場合は、既に得られているエネルギー消費量と導入されている機器効率のデータに基づき、負荷を推計することにより精緻に熱負荷を算出することができる。

冷暖房、給湯については、対象施設の詳細が未定な構想段階では、施設の延床面積と単位床面積当たりの熱負荷(熱負荷原単位)から最大熱負荷と年間の熱負荷を想定する。最大熱負荷と年間熱負荷は以下の式により算出される。

<最大熱負荷の算定>

$$\begin{aligned} & \text{最大熱負荷[kJ/h]} \\ & = \{ \text{最大熱負荷原単位[kJ/h} \cdot \text{m}^2] \times \text{延床面積[m}^2] \} \\ & \times \text{冷(暖)房用最大熱負荷地域補正係数} \end{aligned}$$

<年間熱負荷の算定>

$$\begin{aligned} & \text{年間熱負荷[MJ/年]} \\ & = \{ \text{年間冷(温)熱負荷原単位[MJ/年} \cdot \text{m}^2] \times \text{延床面積[m}^2] \} \\ & \times \text{冷(暖)房用年間熱負荷地域補正係数} \end{aligned}$$

※「冷(暖)房用最大熱負荷地域補正係数」、「冷(暖)房用年間熱負荷地域補正係数」は熱負荷原単位の地域による違いを補正するための係数

※ 1MJ=1,000kJ

このとき、建物用途別の冷暖房、給湯の年間エネルギー負荷原単位の設定例として表 6-1 がある。

また、冷(暖)房用年間熱負荷地域補正係数の設定例を表 6-2 に示す。標準的な原単位に以下の値を乗じて補正をかけることにより、地域毎の気候の特性を反映する。

上記の式と以下の表のデータに基づくと、例えば、沖縄の延床面積 2,000 m²の業務用建物における年間負荷は以下の通り算出される。

- 冷房：293.0[MJ/年・m²]×2,000[m²]×1.5 = 87,900[MJ/年]
- 暖房：129.6[MJ/年・m²]×2,000[m²]×0.07 = 18,144[MJ/年]
- 給湯：9.4[MJ/年・m²]×2,000[m²] = 18,000[MJ/年]

表 5-1 建物用途別最大熱負荷原単位の設定例

用途	最大負荷 (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	814.0 ^{**}
住宅	46.5	34.9	18.6

※1W=3.6kJ/h

※スポーツセンターの給湯負荷は建物規模[m²]の影響が少ないため実数値で示す(MWh/y)。

出所) 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008 (国土交通省)

表 5-2 建物用途別年間熱負荷原単位の設定例

用途	年間負荷 (MJ/年・m ²)			
	冷房	暖房	給湯	熱量計
住宅	33.5	83.9	125.6	243.0
業務	293.0	129.6	9.4	432.0
商業	523.1	146.5	96.1	765.7
宿泊	418.7	334.8	334.8	1,088.3
医療	334.8	309.6	334.8	979.2

※本表の数値はコージェネを導入するような比較的規模の大きい建物に使用するものである。エネルギー負荷原単位は、建物床面積の規模が大きくなるにつれ高くなる傾向にあることから、比較的規模の小さい建物に本表の数値を使用すると、熱負荷は実際よりも大きい値を示す可能性がある。

出所) 低炭素まちづくり実践ハンドブック (国土交通省)

表 5-3 冷(暖)房用年間熱負荷地域補正係数の設定例

	冷房	暖房
北海道	0.5	2.4
東北	0.7	1.4
北陸	0.9	
関東	1.0	1.0
東海	1.1	0.9
近畿		
中国		
四国		
九州	1.2	0.7
沖縄	1.5	0.07

出所) 低炭素まちづくり実践ハンドブック (国土交通省)

なお、時刻別の負荷については、構想段階の検討においては必ずしも考慮する必要はないが、必要に応じ、FS 調査において調査する。

融雪については、対象施設の詳細が未定な構想段階では、融雪対象面積と単位面積当たりの熱負荷（熱負荷原単位）、稼働時間数から、時間当たり最大熱負荷と年間の熱負荷を想定する。時間当たり熱負荷と年間熱負荷は以下の式により算出される。

<時間当たり最大熱負荷の算定>

$$\text{時間当たり熱負荷[W]} = \{\text{熱負荷原単位[W/m}^2\} \times \text{延床面積[m}^2\}$$

<年間熱負荷の算定>

$$\text{年間熱負荷[MJ/年]} = \{\text{熱負荷原単位[W/m}^2\} \times \text{延床面積[m}^2\} \times \text{稼働時間[h]} \times 0.0036$$

※ 1kWh=3.6MJ

このとき、融雪の時間当たり負荷原単位の設定例として表 5-4 がある。

また年間の稼働時間については、年間降雪日数等の気象条件等によって異なる。

表 5-4 融雪の時間当たり負荷原単位の設定例

熱負荷原単位 (W/m ²)
100~300 程度

出所) メーカー情報より設定

5.4 熱源に関する考え方の整理

5.4.1 下水流量

利用可能な下水熱量を把握するための流量把握方法として、「採熱地点における既存の流量計測データの活用」、「既存の流量データに基づく流量推計」の2つの方法がある。

【解説】

下水熱利用システムで利用可能な下水熱量を把握するため、安定して利用できる下水流量を調査し、月別の平均水量と最低水量を整理する。この際、下水の排除方式が合流式の場合は、安定的に利用できる流量として晴天時の流量を用いる。

なお、時刻別の流量変化については、構想段階においては必ずしも把握する必要はないが、必要に応じ、FS 調査において調査するため、既存のデータがあれば可能な限り計画の早期の段階から活用することが効率的である。特に、冷熱負荷のピークとなる8月、温熱負荷のピークとなる2月については、代表日の時刻別水量を把握することが望ましい。

下水流量を把握するにあたっては、実際に採熱地点において下水流量を計測するのが最も正確な方法だが、実計測が不可能な場合、取得可能なデータに応じて以下の2つの方法がある。

(1) 採熱地点近傍における既存の流量計測データの活用

放流水やポンプ場における揚水等、採熱地点近傍における流量データがある場合には、そのデータを活用する。

そのとき、留意点として、採熱地点とデータが得られている地点の間の距離が離れている場合、両者の間にある流入下水の影響により誤差が大きくなることがある。

(2) 既存の流量データに基づく流量推計

対象地域内の下水道施設（下水処理場、ポンプ場等）において計測されている下水流量から地域内のマンホールにおける流量を推計する方法である¹⁴。

各マンホールにおける下水流量は以下の式で表される。また、下水流量推定のイメージは図 5-2 のとおりである。

¹⁴ 詳細については下水熱ポテンシャルマップ（広域ポテンシャルマップ）作成の手引きを参照。

<各マンホールにおける流量の推計式>

$$G_m = G_1 \times \frac{\sum_{m=1}^m F_m}{\sum_{m=1}^L F_m}$$

G_m : マンホール M_m における推定下水流量[m³/日]

G_1 : 下水処理施設等における既知の実測下水流量[m³/日]

F_m : マンホール M_m が受け持つ集水域内延床面積[m²]

L : 実測集水域内のマンホール数

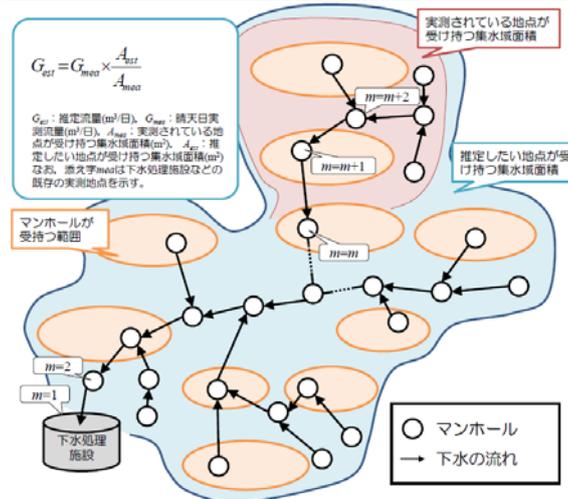


図 5-2 下水流量の推定イメージ

5.4.2 下水温度

利用可能な下水熱量を把握するため、下水温度を整理する。

【解説】

下水熱利用システムで利用可能な下水熱量を把握するためには、下水流量とともに下水温度を整理する必要がある。構想段階においては、月毎の平均水温を把握する必要がある。また、熱源機器の仕様を決定する段階においては、下水温度が変動した際の影響について検討するため、特に冬季の最低水温、夏季の最高水温を調査する必要がある。

下水温度を把握するにあたっては実際に採熱地点において下水温度を計測するのが最も正確な方法だが、実計測が不可能な場合、放流水やポンプ場における揚水等、採熱地点近傍における下水温度データがある場合には、そのデータを採熱地点の下水温度とする。

ただし、大規模温浴施設等高温・多量の排水が想定される施設が採熱地点の近傍に存在する場合、その影響により特異的に採熱地点の下水温度が上昇している可能性があるため、採熱地点において下水温度を計測することが望ましい。

5.4.3 その他確認すべき事項

施工の可否等を検討するため、周辺環境等を確認する。

【解説】

(1) すべての熱回収技術に関わる事項

- 下水管路と熱源設備（負荷）の間に配置される熱源水配管ルート进行调查する。ルートの対象箇所の、既設管路（電気、ガス）や支障物の有無进行调查する。民間事業者が調査を行う場合、施設管理者から提供を受ける。
- 施工の可否を判断するため、管路近傍のマンホールのサイズ、深さを確認する。下水道台帳を用いた調査であり、民間事業者が行う場合、所管自治体からの提供を受ける。
- 利用する下水が合流によるものか分流によるものか排除方式を確認する。下水道台帳を用いた調査であり、民間事業者が行う場合、所管自治体からの提供を受ける。

(2) 管路内設置型熱回収技術において確認すべき事項

表 5-5 管路内設置型熱回収技術において確認すべき事項

項目	調査方法
下水管径・管種	下水道台帳を用いた調査。民間事業者が調査を行う場合、所管自治体からの提供を受ける。
布設後年数	
その他（曲がり、取付管位置）	
関連計画（下水道設備耐震化計画、下水道長寿命化計画等）	民間事業者が調査を行う場合、所管自治体からの提供を受ける。

5.5 設備の種類等の設定・下水熱利用の導入効果の概算

5.5.1 設備の種類等の設定

整理した熱需要・熱源の情報から、設備の種類・規模を設定する。

【解説】

整理した熱需要・熱源の情報から、設備の規模を設定するフローを図 5-3 に示す。

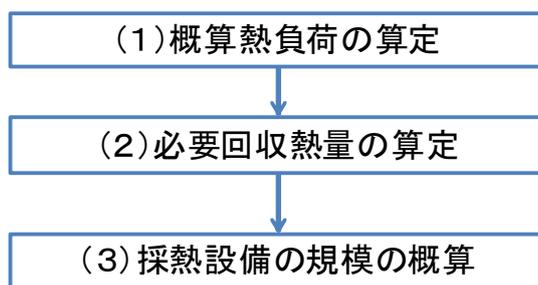


図 5-3 検討フロー

(1) 概算熱負荷の算定

5.3 で整理した熱需要に関する情報の整理から、下水熱で賄う熱量を概算する。このとき、熱負荷に対してどの程度下水熱で賄うかについては、

- 最大熱負荷を下水熱で賄う
- 下水熱利用設備の利用率を保つため、年間熱負荷から平均的な熱負荷量を算定して下水熱で賄うものとし、熱負荷が大きいときには空気熱源等他の熱源を利用するなどといった考え方があり、環境性や事業性等を考慮して設定する。

(2) 必要熱回収量の算定

(1) で決定した下水熱で賄う熱負荷から、以下の式により、必要な下水熱からの熱回収量を算定する。

$$\text{下水熱からの必要熱回収量} = \text{下水熱で賄う熱負荷} \times (\text{COP} - 1) / \text{COP}$$

(参考) 標準的なCOP

導入するヒートポンプが未定の構想段階においては、例えば下表を標準的なCOPとして設定する。

表 5-6 ヒートポンプ（水熱源）の効率の設定

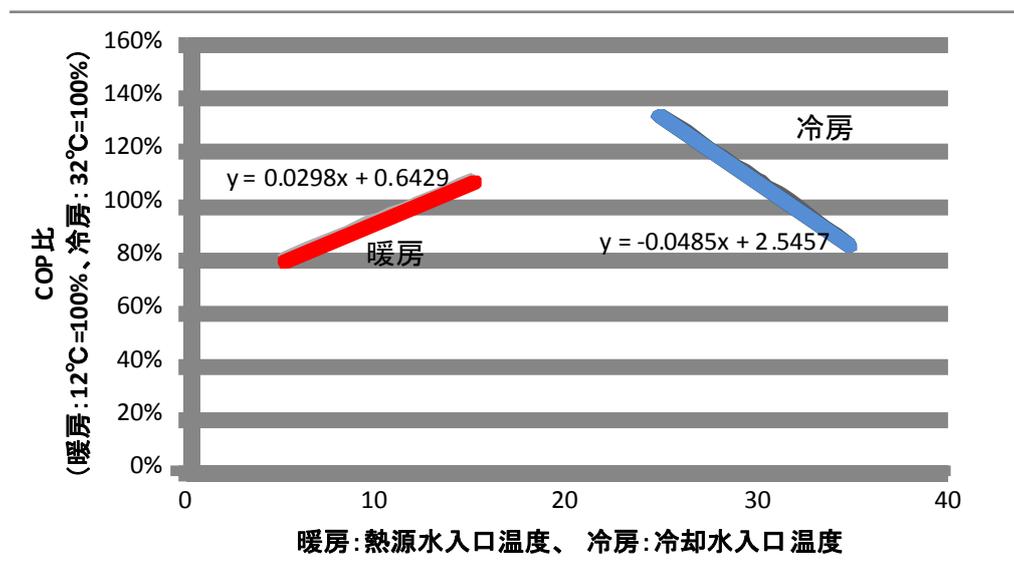
項目	代表値
小規模（～数十 kW 級）	冷却 COP 約 5.0 加熱 COP 約 4.5
大規模（数千 kW 級）	冷却 COP 約 6.0

注 1) 冷房時：下水温 25°C-30°C（冷水出口 7°C、入口 12°C）、暖房時：下水温 12°C-7°C（温水出口 45°C、入口 40°C）

注 2) 上記はカタログ値。実運用時には冷却 COP が 3.8 程度の事例も存在。

出所) メーカー情報より設定

ヒートポンプのCOPは熱源の温度に応じて変化する。熱源温度とCOPとの関係として下図がある。5.4.2で設定した下水温度に応じて、当該地点において期待される下水熱利用ヒートポンプのCOPを設定する。



出所) 空調シミュレーションツール「LCEMツール」(国土交通省大臣官房官庁営繕部)より作成

図 5-4 熱源温度と COP 比との関係

(3) 採熱設備の規模の概算

下水熱利用における代表的な熱回収技術は、表 3-1、表 3-3 に示したように、管路内設置型熱回収技術として、らせん方式、熱交換マット方式、管路内ヒートパイプ方式、管路内露出型（金属）・管更生併用型、管路一体型（樹脂）があり、管路外設置型熱回収技術として、二重管方式、ピット・熱交換器分離方式、熱交換ピット方式、樹脂＋アルミ方式、流下液膜式がある。

周辺環境等に応じて熱回収技術を選択し、(2) で算定した必要な下水熱からの熱回収量により、採熱設備の規模を概算する。

(参考) 採熱方式毎の採熱量の目安

- らせん方式：既存管径 900mm で 0.5kW/m 程度である。(B-DASH 実証施設での実績値より)
- 管路内露出型(金属)・管更生併用型：初期値～バイオフィーム付着後の性能は 300～600W/m²・K 程度である。
- 管路一体型(樹脂)：初期値～バイオフィーム付着後の性能は 30～50W/m²・K 程度である。
- 二重管方式：初期値～バイオフィーム付着後の性能は 300～700W/m²・K 程度である。
- 樹脂+アルミ方式：初期値～バイオフィーム付着後の性能は約 120～180W/m²・K 程度である。
- 流下液膜式初期値～バイオフィーム付着後の性能は約 400～1000W/m²・K 程度である。

5.5.2 省エネルギー効果

下水熱利用システム導入による省エネルギー効果は、下水熱利用システムの導入前後のエネルギー消費量の差分から算出する。

【解説】

下水熱利用システム導入による省エネルギー効果は、下水熱利用システムの導入前後のエネルギー消費量の差分から算出できる。

下水熱利用システム導入後のエネルギー消費量は、主にヒートポンプの消費エネルギーと循環ポンプ等補機の消費エネルギーからなる。

ヒートポンプの消費エネルギーは、以下の式から算出する。

$$\text{ヒートポンプの消費電力} = \text{下水熱で賄う熱負荷} / \text{COP}$$

補機の消費エネルギーについては、熱源と熱需要の距離等にもよるが、ヒートポンプの消費エネルギーの 5%程度である事例がある。

5.5.3 CO₂削減効果

下水熱利用システム導入によるCO₂削減効果は、下水熱利用システムのCO₂排出量と従来システムのCO₂排出量の差分に基づき算出する。

【解説】

下水熱利用システム導入によるCO₂削減効果は、下水熱利用システムのCO₂排出量と従来システムのCO₂排出量の差分に基づき以下のように算出できる。

<下水熱利用システムのCO₂排出量¹⁵>

$$\text{CO}_2\text{排出量}[\text{kg}] = \text{年間電力消費量}[\text{kWh}] \times \text{電力CO}_2\text{排出量原単位}[\text{kg/kWh}]$$

<従来システムのCO₂排出量¹⁶>

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{排出量}[\text{kg}] = & \text{年間電力消費量}[\text{kWh}] \times \text{電力CO}_2\text{排出量原単位}[\text{kg/kWh}] \\ & + \text{年間ガス使用量}[\text{N m}^3] \times \text{ガスCO}_2\text{排出量原単位}[\text{kg/N m}^3] \end{aligned}$$

<下水熱利用システム導入によるCO₂削減効果>

CO₂削減効果[%]

$$= \frac{\text{下水熱利用システムのCO}_2\text{排出量}[\text{kg}] - \text{従来システムのCO}_2\text{排出量}[\text{kg}]}{\text{従来システムのCO}_2\text{排出量}[\text{kg}]}$$

主要なエネルギー種におけるCO₂排出量原単位は表 5-7 のとおりである。

表 5-7 CO₂排出量原単位

エネルギー種	CO ₂ 排出量原単位
電力	毎年度公表される電気事業者別の係数を採用 (例:東京電力(株)の2012年度実排出係数0.000525[t-CO ₂ /kWh])
都市ガス	2.23[t-CO ₂ /N m ³] (発熱量として44.8GJ/1,000 Nm ³ を用いた場合の値。省エネルギー法の規定による定期報告にて用いた発熱量を採用してもよい。)
灯油	2.49[t-CO ₂ /kℓ]
A重油	2.71[t-CO ₂ /kℓ]

出所) 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 ホームページ¹⁷

¹⁵ 補助熱源としてガス利用設備等を用いる場合は、必要に応じてそれらのエネルギーの使用量と排出量原単位によりCO₂排出量を算出する。

¹⁶ 従来システムで用いられるエネルギー種が電力、ガス以外の場合は、必要に応じてそれらのエネルギーの使用量と排出量原単位によりCO₂排出量を算出する。

5.5.4 導入効果の概略試算（事業性）

下水熱利用システム導入時の事業性評価は、下水熱利用システムと従来システムの建設費（イニシャルコスト）と維持管理費（ランニングコスト）の比較に基づき実施する。

【解説】

下水熱利用システム導入時の事業性評価は、下水熱利用システムと従来システムの建設費（イニシャルコスト）と維持管理費（ランニングコスト）の比較に基づき実施する。

建設費と維持管理費に基づく事業性評価の指標の 1 つとして以下の式で表される投資回収年数が挙げられる。事業性の観点からは投資回収年数が短いことが望ましい。

$$\text{投資回収年数〔年〕} = \frac{\text{下水熱利用システムの建設費〔円〕} - \text{従来システムの建設費〔円〕}}{\text{従来システムの運転費〔円〕} - \text{下水熱利用システムの運転費〔円〕}}$$

- 建設費には、熱交換器、オートストレーナ、ヒートポンプ、補機及び関連工事費等が含まれる。
- 維持管理費には、エネルギー使用料（電力料金、都市ガス料金等）、保守点検費等が含まれる。

¹⁷ 以下 URL を参照。

<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran.pdf>

http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h26_coefficient.pdf

(参考) コストデータ

(1) 複数施設への熱供給規模程度の設備

流入水量が1日当たり数万 m^3 に達する大規模な下水熱利用設備において、既存事例による流入水量と建設費、維持管理費の関係の目安はそれぞれ図 5-5、図 5-6 のとおりである(建設費、維持費は各種ポンプ、ストレーナー、熱交換器、配管設備、ヒートポンプ、蓄熱槽等を含む)。

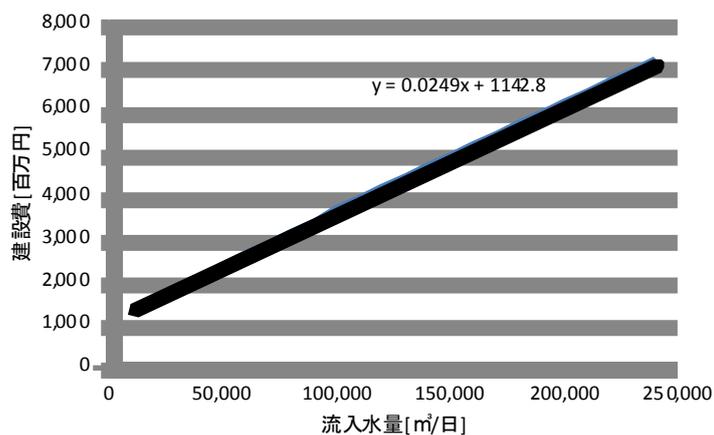


図 5-5 大規模設備における流入水量と建設費用の関係

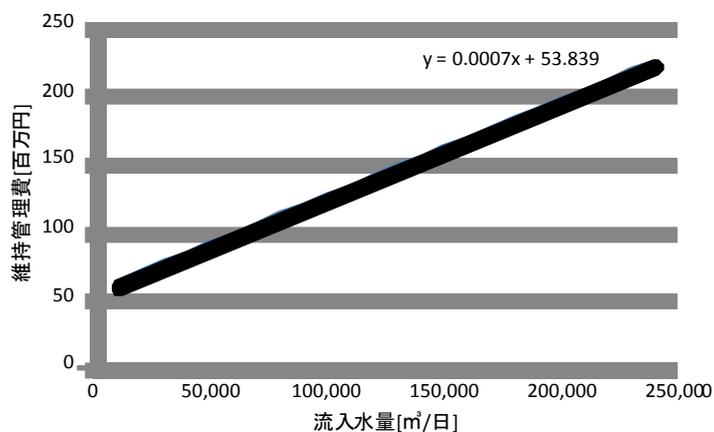


図 5-6 大規模設備における流入水量と維持管理費の関係

(2) 個別建物への熱供給規模程度の設備

- 採熱設備についてメーカーにヒアリングを行った結果は表 5-8 のとおりである。

表 5-8 熱交換器の価格設定

項目	価格
流下液膜方式	能力 30kW の規格の場合、 10 セット導入時単価：3,000 千円 100 セット導入時単価：1,767 千円 1,000 セット導入時単価：1,040 千円

- ヒートポンプについてメーカーにヒアリングを行った結果は表 5-9 のとおりである。

表 5-9 ヒートポンプの価格設定

項目	価格
本体	約 13 万円/kW
維持管理費	建設費の 1.5%程度

出所) メーカー情報 (数十 kW 級程度の水熱源ヒートポンプの想定)

維持管理費は「下水熱利用システム計画マニュアル (財団法人 日本地域開発センター)」

5.6 FS調査の準備・運用方針の検討

5.6.1 下水に関する詳細な現地調査

FS調査の準備のための下水状況を把握するための方法として、「水位計測による推計」、「下水熱ポテンシャルマップ（詳細ポテンシャルマップ）の作成」等がある。

【解説】

FS調査段階においては、時刻別の下水流量・温度変化が必要になることが考えられる。下水流量・温度を把握するにあたっては、実際に下水流量・温度を計測するのが最も正確な方法であり、以下のような方法がある。

(1) 水位計測による推計

採熱地点における水位計測データ及び管路仕様（勾配、管径等）に基づき下水流量を推計する方法である。円形管路における下水流量と管路仕様の関係の一例を図5-7に示す。なお、図の粗度係数とは水路底や壁の「荒さ」を示す指標であり、管路の材質に応じて決められた値を設定する（例えば、鉄筋コンクリート管渠の粗度係数は0.10～0.02である¹⁸⁾。

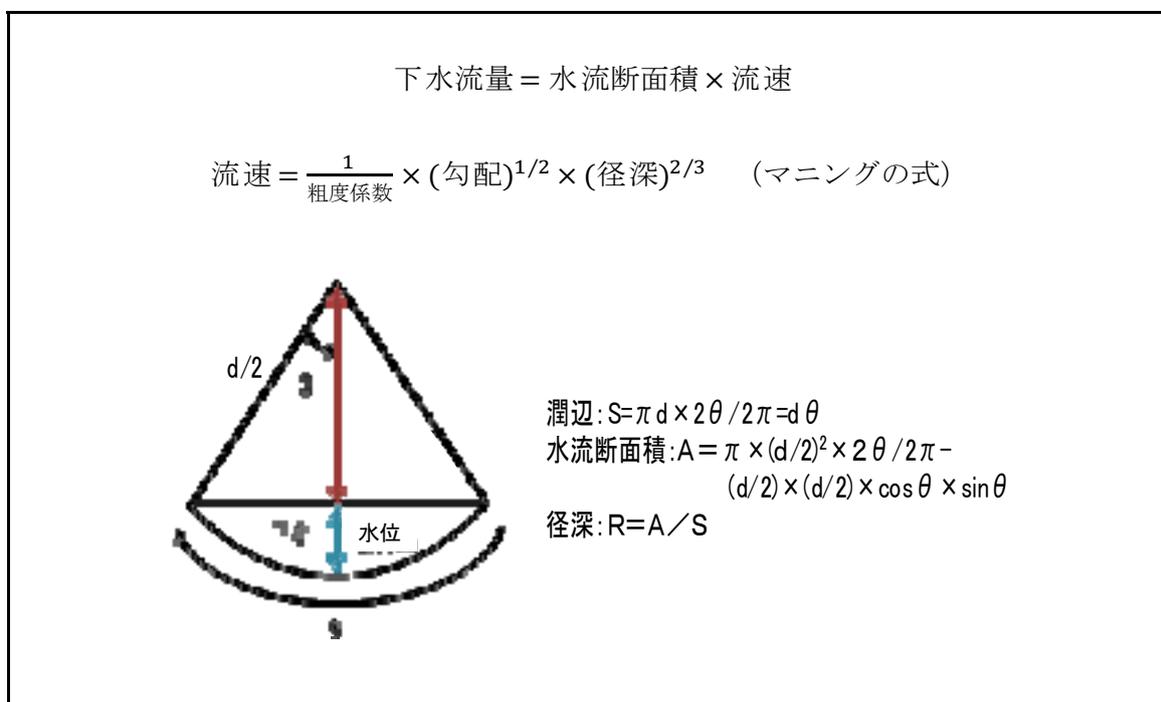


図 5-7 管路仕様に基づく下水流量の推計（円形断面水路の流量の求め方）

¹⁸⁾ 水理公式集 平成11年版 p.89 (土木学会) より

(2) 下水熱ポテンシャルマップ（詳細ポテンシャルマップ）

事業化が検討される地区を対象として、下水流量・温度の実測を通じて、管路上の任意地点における時刻変動を考慮した詳細な下水熱ポテンシャルを算出する。¹⁹

(3) 降雨・大規模温浴施設等の影響

大規模温浴施設等高温・多量の排水が想定される施設が採熱地点の近傍に存在する場合、あるいは合流式の下水道において降雨・融雪による影響が見込まれる場合は、特異的に採熱地点の下水温度が変動する可能性がある。このため、採熱地点において下水温度を計測することが望ましい。

5.6.2 システム構成の検討

下水熱利用システムの構築を検討する際は、採熱量の目安とともに、建物内の熱源設備、採熱設備の種類と熱供給先の組み合わせ、設備規模について検討する。

【解説】

下水熱利用システムの構築を検討する場合は、上記の採熱量の目安とともに、建物内の熱源設備、採熱設備の種類（考慮すべき設備の例は参照）と熱供給先（暖房、給湯、冷房）の組み合わせ、設備規模（下水熱利用設備と補助熱源機との規模バランス等）について検討する必要がある。

表 5-10 熱源設備費と採熱設備費として考慮すべき設備例

	考慮すべき設備
熱源設備費	<ul style="list-style-type: none">● 熱源機器設備費● 洗浄システム● ポンプ付属設備費● 配管設備費● 蓄熱槽設備費● 電気計装設備費● 受変電設備費● 補助熱源機● 補機
採熱設備費	<ul style="list-style-type: none">● 取水ポンプ設備費● 熱源水配管設備費● ストレーナー設備費● 熱交換器設備費

¹⁹ 具体的な手法については、平成26年度に検討する予定である。

(参考) 蓄熱槽について

現在未利用エネルギーを導入している事業では、蓄熱槽を併設しているケースが多い。利点として以下が挙げられる。

- 熱負荷が発生しない時間帯においても、蓄熱槽をバッファ的に利用できるため、未利用エネルギーの活用拡大につながる。
- 放熱をコントロールすることで設備容量を低減できる。
- 熱負荷に依存しないため熱源を高効率ポイントで運転できる。

以下に検討事例におけるシステム構成例を示す。

(1) 小規模街区における下水熱利用事業

下水配管から未処理水を取水し、小規模業務系街区の空調・ロードヒーティング用熱供給プラントの熱源として利用する。未処理下水を利用するため、ストレーナーを設置している。

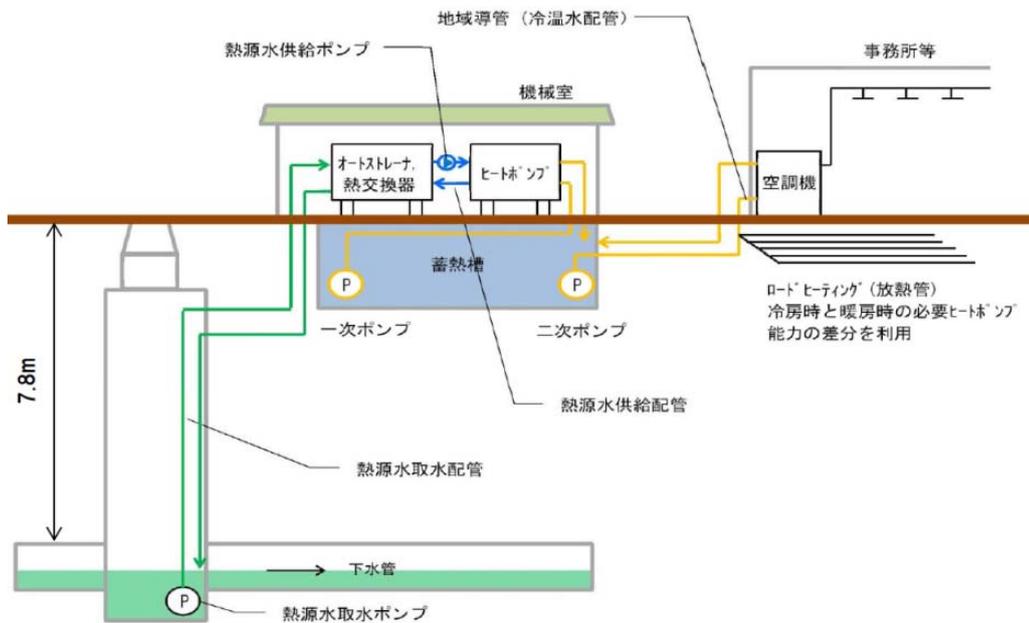


図 5-8 小規模街区における下水熱利用事業：システム概念図

(2) 個別建物における下水熱利用事業

下水配管内にて未処理下水を熱交換し、小規模施設（飲食店）の給湯用熱源として利用する。バックアップとしてブースターボイラを設置している。

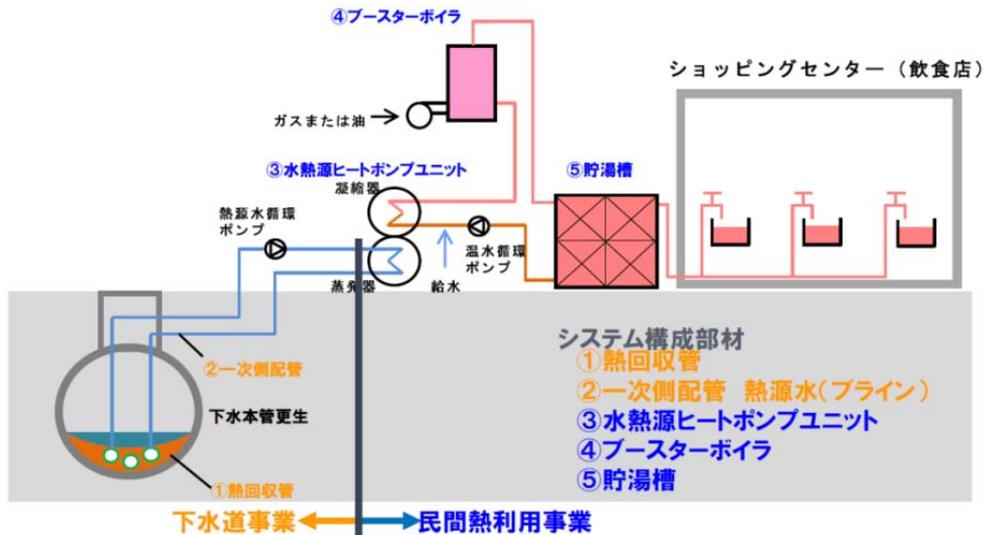


図 5-9 個別建物における下水熱利用事業：システム概念図

(3) 下水道事業（合流式下水道越流水対策・再生水利用）と下水熱利用との連携事業

下水幹線に合流式下水道越流水対策として雨水貯留管を設置するとともに、同一管内に下熱交換器を布設し、中規模ビルの空調用熱源として利用することが考えられる。また、サテライト処理による再生水を修景用水として利用することが考えられる。

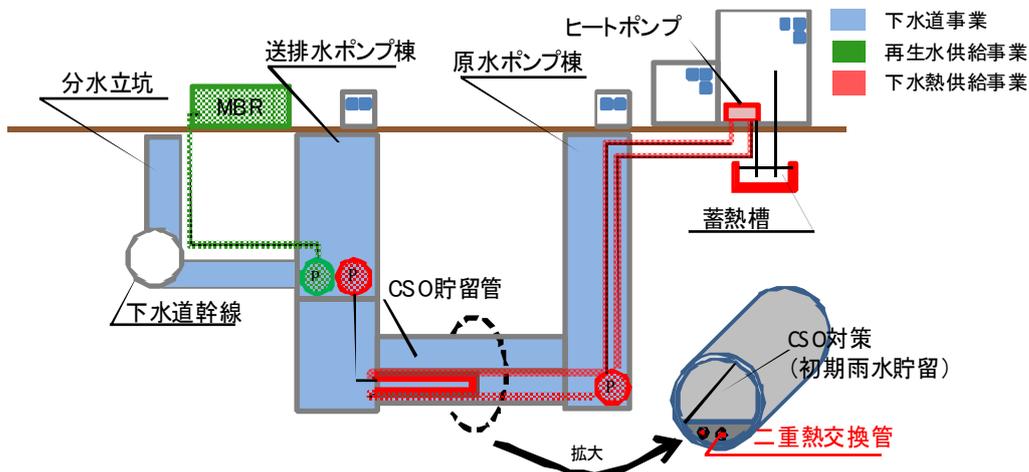


図 5-10 下水道事業（合流式下水道越流水対策・再生水利用）と下水熱利用との連携事業：システム概念図

5.6.3 システムの運用方針の検討

システムの運用に際しては下水の流量変動対策、未処理下水中の夾雑物対策、腐食・破損対策といった項目について留意・検討する。

【解説】

下水熱利用システムの運用に際してはシステムの安定的な運用に向けて複数の事項に留意する必要がある。以下に留意事項とその対応の例を示す。

- 下水の流量変動対策
 - ✓ 合流管等から下水熱を利用する場合、ゲリラ豪雨の発生等に備え、緊急時の地下貯留部を設置することが考えられる。
- 未処理下水中の夾雑物対策
 - ✓ 搬送用としてカタ付きのグラインダポンプを採用し、異物を粉碎搬送させることが考えられる。
- 腐食・破損対策
 - ✓ 耐久性、耐衝撃性等を考慮して最適な配管材を選定する。
- 硫化水素対策
 - ✓ エアレーション等の採用、最適な貯量部の容量算定等を実施する。
- 停電時の急停止防止対策
 - ✓ フライホイール等の設置により、急停止を防止することが考えられる。
- 採熱による温度低下
 - ✓ 未処理水から大量の採熱を行う場合、下水の温度がわずかに低下する可能性があり、下水の生物処理に影響を及ぼす可能性については留意が必要である。

● バイオフィルムの傾向

- ✓ 未処理水から採熱する場合、バイオフィルムの付着により熱交換器の熱交換能力は低下する。下水熱利用システムの運転日数とバイオフィルム付着による熱交換器の能力低下の関係のイメージを下図に示す。

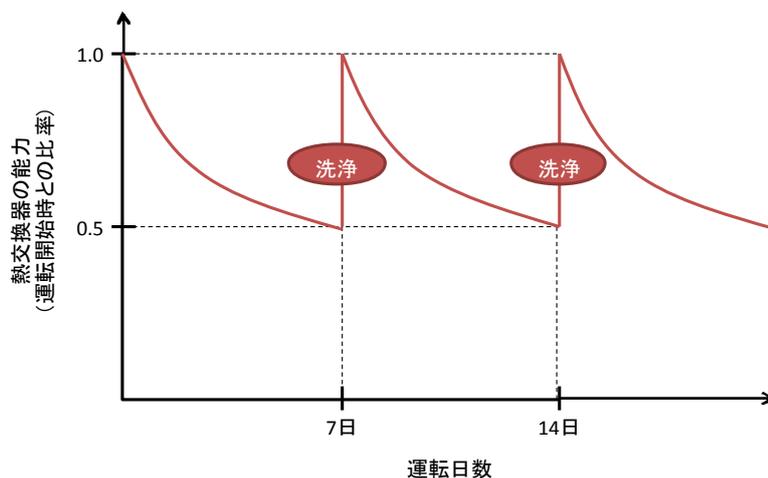


図 5-11 バイオフィルムの傾向 (イメージ)

- ✓ バイオフィルムの付着により、熱交換器の能力は徐々に低下していくが、定期的な洗浄により概ね運転開始時の能力を取り戻す。
- ✓ 以上の特性を踏まえ、導入する熱交換器の規模の決定に際しては、必要な熱交換量と洗浄の頻度を考慮する必要がある。
- ✓ 洗浄の頻度を少なくする場合は、能力が低下した状態での運転が多くなることを想定して熱交換器を導入する必要がある。この場合、相対的にインシヤルコストは大きくなるが、ランニングコストは小さくなる。
- ✓ 一方、洗浄の頻度を多く想定する場合は、常に上限値に近い熱交換能力を見込むことができる。この場合、相対的にインシヤルコストは小さくなるが、ランニングコストは大きくなる。
- ✓ また、上記の洗浄頻度と熱交換器の性能との関係も踏まえ、バックアップ用の熱源の要否についても検討する必要がある。