

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1158

March 2021

B-DASHプロジェクト No.35 ヒートポンプレスで低LCCと高COPを実現する下水熱 融雪システム導入ガイドライン (案)

下水道研究部下水道研究室

B-DASH Project No.35
Guidelines for a road snow melting system using sewage thermal heat without heat pumps,
to realize low-life cycle (LLC) and high coefficient of performance (COP)

Wastewater System Division
Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

B-DASH プロジェクト No.35

ヒートポンプレスで低 LCC と高 COP を実現する下水熱融雪システム導入ガイドライン (案)

下水道研究部下水道研究室

B-DASH Project No.33

Guidelines for a road snow melting system using sewage thermal heat without heat pumps,
to realize low-life cycle (LLC) and high coefficient of performance (COP)

Water Quality Control Department

概要

本ガイドラインは、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギーの創出・活用を目指し、下水道革新的技術の 1 つである「他の熱源よりも低コストに融雪できる下水熱利用技術」のうち、“ヒートポンプレスで低 LCC と高 COP を実現する下水熱融雪システム”について、下水道事業者や民間事業者が導入検討する際に参考に出来る資料として策定したものである。

キーワード：下水熱、融雪システム、管底設置、高熱性能材料、ヒートポンプレス

Synopsis

This guideline aims to reduce costs and create and utilize renewable energy in the sewerage business. One of the innovative technologies of sewerage, "Sewage heat utilization technology that can melt snow at lower cost than other heat sources". It has been formulated as a reference that can be used by sewage administrators and private companies when considering their introduction.

Keywords : Sewage heat, Snow melting system, Laying at pipe bottom,
High thermal conductive material, No heat pump

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地

電話：029-864-3343 Fax：029-864-2817 E-mail：nil-gesuidou@mlit.go.jp

執筆担当者一覧

国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 室 長 岡安祐司

国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 主任研究官 松浦達郎

国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 研 究 官 平出亮輔
(国土交通省関東地方整備局下館河川事務所計画課専門官)

※研究当時の所属（括弧書きは現所属）

はじめに

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として、79.3%(平成 30 年度末下水道処理人口普及率)まで普及が進んでおり、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質改善に大きく貢献している。この従来の第一義的な目的に加えて、下水道資源(下水熱・汚泥等)は、質・量ともに年間を通して安定しており、特に下水熱は下水道管渠ネットワークを通じて都市に豊富に存在し、都市の低炭素化効果の高い未利用エネルギーである。化石燃料を使用する既存の融雪設備は稼働に多くのエネルギー及び費用を必要とする場合もあること等から、下水熱を有効的に活用して融雪設備のエネルギー効率を上げることは、温室効果ガスの排出の削減が期待できる。また、ライフサイクルコストを縮減することで維持管理の両面で管理者等の一助となることが望まれている。

2020 年以降の温室効果ガス削減に向けた国際的な取り組みであるパリ協定の採択を受けて、二酸化炭素排出削減目標の達成に向けた取組み方針が策定されており、下水道分野でも下水熱等のエネルギー利用を目指すことが「新下水道ビジョン加速戦略」(平成 29 年 8 月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、公益社団法人日本下水道協会)で既に示されているが、潜在的なポテンシャルに対して実際に活用されている割合は多くなく、優れた技術が開発されても、まだ実績が少ないため導入に慎重な下水道事業者も多い状況にある。

国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により下水道事業における資源回収、総エネルギー効果の増大等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業(B-DASH※)」を平成 23 年から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。

本ガイドラインで示す「ヒートポンプレスで低 LCC と高 COP を実現する下水熱融雪システムガイドライン」で示す技術は、ヒートポンプなどの熱交換器を介さずに、熱源水(下水熱の回収と舗装での放熱するための媒体)が下水から回収した熱を融雪に利用する下水熱融雪システムであるため、温水ボイラ式融雪と比較して低ライフサイクルコスト(LCC)かつ高い成績係数(COP)を達成可能とする革新的技術であり、実証研究においてもその有効性が確認された。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究(他の熱源よりも低コストに融雪できる下水熱利用技術において「ヒートポンプレスで低 LCC と高 COP を実現する下水熱融雪システムに関する研究 受託者:(株)興和・積水化学工業(株)・新潟市共同研究体 実施期間:平成 30 年~令和元年度)において実施した成果を踏まえ、下水道事業者ならびに関連事業者が参考に出来る資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国および海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを 2 年間という短時間でまとめるにあたり、ご尽力いただきました評価委員会及び検討会の委員各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げます。

※B-DASH プロジェクト: Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部長 岡本 誠一郎

目次

第1章 総則	1
第1節 目的	1
§1 目的	1
第2節 適用範囲	3
§2 適用範囲	3
第3節 ガイドラインの構成	4
§3 ガイドラインの構成	4
第4節 用語の定義	6
§4 用語の定義	6
第2章 技術の概要と評価	8
第1節 技術の目的と概要	8
§5 技術の目的	8
§6 技術の適用条件	10
第2節 システムを構成する要素技術の概要	11
§7 本技術の概要	11
第3節 実証研究に基づく技術の評価	19
§8 評価項目	19
§9 本技術の評価結果	22
第3章 導入検討	26
第1節 導入検討手順	26
§10 導入検討手順	26
第2節 基礎調査内容	27
§11 基礎調査	27
§12 需要側情報	28
§13 採熱側情報	29
§14 周辺情報	32
第3節 導入効果の検討	34
§15 導入効果の検討	34
第4節 導入判断	40
§16 導入判断	40
第4章 計画・設計	41

第1節 計画・設計手順	41
§17 計画・設計手順	41
第2節 設計下水温度・水深検討	42
§18 設計下水温度・水深検討	42
第3節 融雪側熱負荷設計	44
§19 融雪側熱負荷	44
第4節 採熱側熱交換器設計	52
§20 採熱側熱交換器設計	52
第5節 システム設計	56
§21 システム設計	56
第6節 概算工事費	59
§22 概算工事費	59

第5章 維持管理 60

§23 維持管理	60
§24 システムの運転管理	61
§25 システムの点検・整備	62
§26 点検・整備記録	63
§27 故障時の対応・修繕	64

- ・資料Ⅰ 熱源システム延長・SCOP 早見表
- ・資料Ⅱ 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果
- ・資料Ⅲ 導入検討例
- ・資料Ⅳ 実証外地域における総費用試算例
- ・資料Ⅴ B-DASH プロジェクト実証研究結果
- ・資料Ⅵ その他（問い合わせ先）

第1章 総則

第1節 目的

§1 目的

本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の革新的技術の1つである「ヒートポンプで低LCCと高COPを実現する下水熱融雪システム」（以下、「本技術」とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要、導入検討、計画・設計及び維持管理などに関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

【解説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における資源回収、大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASHプロジェクト全体の概要は、図1-1に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

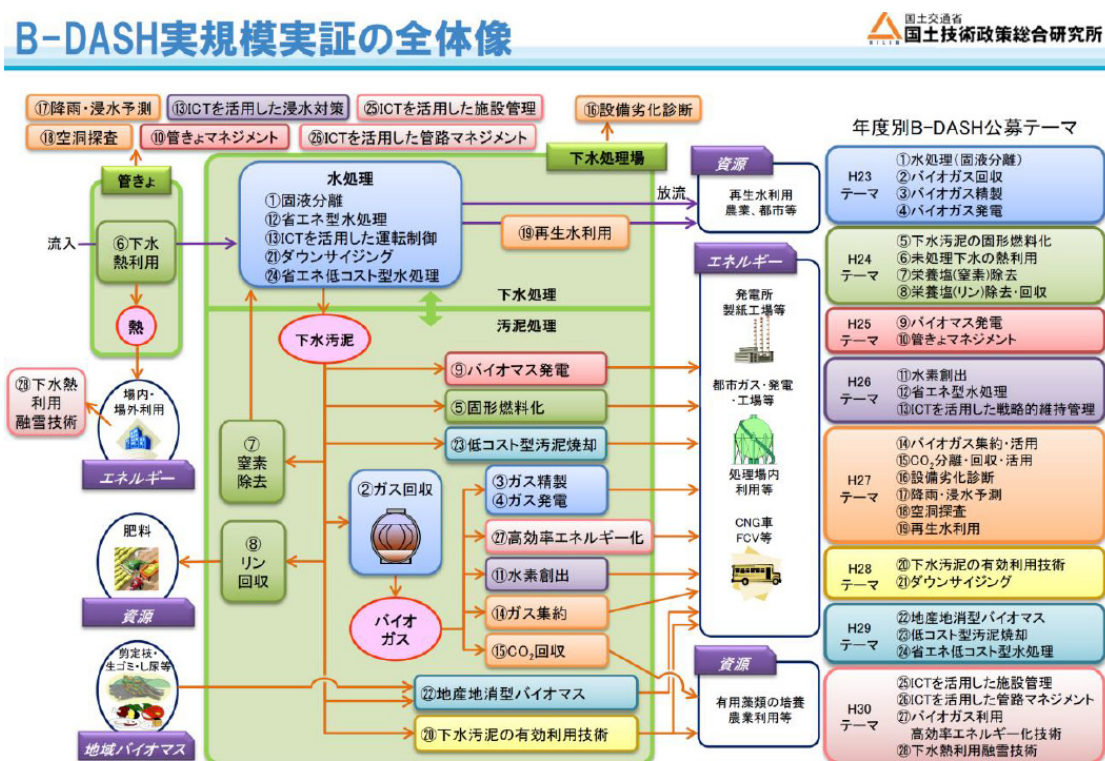


図 1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の概要（全体）

本技術は、他の熱源よりも低コストに融雪できる下水熱利用技術に係る革新的技術であり、実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下、「評価委員会」とする。<http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/b-dash.html>）の評価を受け、十分な成果が得られたと評価された。

本ガイドラインは、下水道事業における大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現するため、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団体などの下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計及び維持管理などに関する技術的事項についてとりまとめている。

なお、本ガイドラインについても、実証研究の成果と同様に、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ、評価委員会の評価を受け、了承されたものである。

第2節 適用範囲

§ 2 適用範囲

本ガイドラインは、本技術を用いた車道融雪での利用を目的とする設備の導入検討、計画・設計および維持管理に適用する。

【解説】

本ガイドラインは本技術の導入を促進することを目的として、本技術の導入検討、計画・設計、維持管理の参考となるようにとりまとめたものである。

本技術のシステム全体を導入する場合に本ガイドラインは適用される。また、本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者および関連する民間企業などに利用されることを想定して策定している。なお、本技術の設置及び管理については、対象とする道路の管理者と協議が必要である。

第3節 ガイドラインの構成

§3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、以下のとおり構成される。

- (1) 第1章 総則
- (2) 第2章 技術の概要と評価
- (3) 第3章 導入検討
- (4) 第4章 計画・設計
- (5) 第5章 維持管理

【解説】

本ガイドラインは、全5章ならびに資料編から成る（図 1-2）。

各章の概要は、以下のとおりとする。

(1) 第1章 総則

第1章では、目的、ガイドラインの位置づけと適用範囲、ガイドラインの構成、用語の準拠する基準と定義について記述する。

(2) 第2章 技術の概要と評価

第2章では、技術導入の目的と概要、システムを構成する要素技術の概要、実証研究に基づく本技術の評価結果を示す。

(3) 第3章 導入検討

第3章では、本技術の導入検討手順、基礎調査内容、導入効果の検討、導入判断の方法を示す。

(4) 第4章 設計

第4章では、本技術の導入が決定された後の具体的な設計を進めるための計画・設計手順として、設計下水温度・水深検討、融雪側熱負荷設計、採熱側熱交換器設計、システム設計、概算工事費の計算方法や考え方を示す。

(5) 第5章 維持管理

第5章では、本技術を導入した場合において、下水道管理者や道路管理者、その他の施設管理者等が実施すべきシステムの運転管理および維持管理の具体的方法について整理する。

その他、資料編として導入検討において目安となる管径別の採熱能力の早見表や高熱伝導舗装の熱伝導率試験例、実証外地域の総費用の試算例、実証研究結果等を掲載している。なお、本編と資料編の関係図については本ガイドライン図 1-2 に記載する。

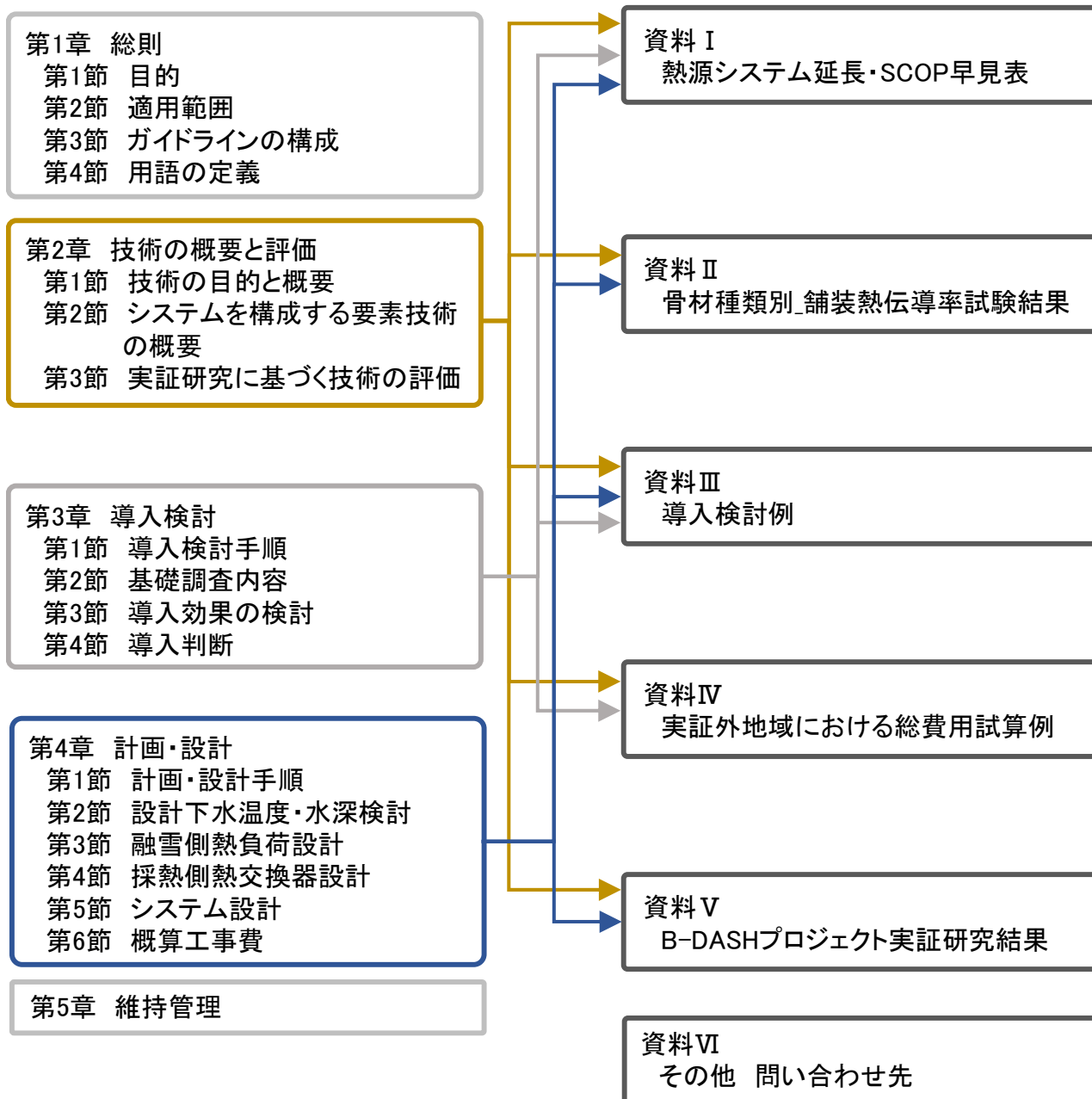


図 1-2 本ガイドラインの構成

第4節 用語の定義

§ 4 用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下に示すように定義する。

なお、下水道施設の基本的な用語に関しては「下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年版（以下、設計指針）」（社団法人日本下水道協会）、「下水道用語集 2000 年版」（社団法人日本下水道協会）、「合流式下水道改善対策指針と解説 2002 年版」（社団法人日本下水道協会）に、採熱設備の基本的な用語については、「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用導入ガイドライン（案）」（国土技術政策総合研究所）、「下水熱利用マニュアル（案）」（国土交通省水管理・国土保全局）に準拠する。

道路施設の基本的な用語に関しては「道路構造令の解説と運用（以下、道路構造令）」（公益社団法人日本道路協会）に、融雪設備の基本的な用語については「道路管理施設等点検整備標準要領（案）（内訳）消融雪設備点検・整備標準要領（案）」（国土交通省）および「路面消・融雪施設等設計要領」（路面消・融雪施設等設計要領編集委員会）に準拠する。

（1）下水熱

処理水及び未処理水下水を熱源とする熱をいう。

（2）熱源水

下水熱の回収と舗装で放熱するための媒体をいう。水や不凍液が使われる。

（3）放熱設備

舗装に埋設して温めた熱源水を通過させることができる配管と保護する舗装をいう。

（4）採熱設備

下水から熱を回収するための設備。

（5）下水熱利用

下水道施設内に採熱設備を設け、下水を熱源として利用することをいう。

（6）融雪設備

熱源で路面を温めて車道の雪を融かすための設備で、採熱設備、熱源水配管、循環設備、放熱設備、操作・制御設備などを含めた設備全体の総称をいう。

（7）放熱管

放熱設備に用いる配管を放熱管という。

（8）採熱管

採熱設備に用いる熱交換器を採熱管という。

（9）折り返し方式

採熱管を下水管底で折り返す形で敷設して採熱する方式。

（10）片押し方式

採熱管を下水管底で折り返さずに敷設して採熱する方式。

（11）熱源水配管

採熱設備から放熱設備の間に配置し、熱源水を循環させる配管をいう。

(12) 循環設備

回収した下水熱を採熱施設から放熱施設に送るための循環ポンプや、熱源水の体積変化による圧力上昇を抑制するための膨張タンク等の総称。

(13) 操作・制御設備

本技術の運転操作を制御するための設備。

(14) 電源設備

本技術の動力を供給する受電機器をいう。

(15) ヒートポンプ

投入エネルギー（主に電気）を利用して低温の熱源から高温の熱をつくり、大きな熱エネルギーを利用出来る機構を備えた機械設備をいう。

(16) ヒートポンプレス

熱源水がヒートポンプ等の熱を作り出す機構を利用せず、そのまま放熱管に循環する形態を「ヒートポンプレス」とする。

(17) 融雪側熱負荷

融雪設備において、路面の融雪または凍結防止に必要な熱量である。

(18) 採熱側熱負荷

下水熱融雪システムにおいて採熱管の総括熱伝達係数、採熱管本数、敷設延長、下水温度、熱源水温度などから算出される採熱量（熱交換量）をいう。

(19) SCOP

System Coefficient Of Performance の略で、システム成績係数ともいう。一般的に、システム全体でのエネルギー消費効率の目安として使われる。本技術では、融雪のために使った下水熱エネルギーをシステム運転で消費した電力エネルギーで割ったものとする。この数値が大きいほど効率良く電力エネルギーを利用したことを示す。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の目的と概要

§5 技術の目的

本技術は、下水管路内に採熱管を設置し、熱交換により回収した下水熱を車道の融雪に用いることにより、従来技術と比較してコストやエネルギー消費量、温室効果ガス排出量の削減を図ることを目的としている。

【解説】

これまでの融雪設備は、電熱方式や温水ボイラー方式が主流で、熱需要者である道路管理者ならびに道路利用者のニーズで導入されているものが多い（図 2-1、図 2-2）。一方、エネルギー需給問題や温室効果ガス排出による地球温暖化問題、SDGs への取組などから、今後はエネルギーおよび温室効果ガスに配慮した施設の導入が重要となる。

従来技術では、融雪のために必要なエネルギーとして電力や石油等を利用しているが、本技術は下水熱を用いる。下水熱は未利用エネルギーであり、下水道が整備された都市であれば、安定的かつ豊富に存在している²⁾。このため、従来技術と比較して、融雪に要するコストやエネルギー消費量、温室効果ガス排出量の削減が期待できる。

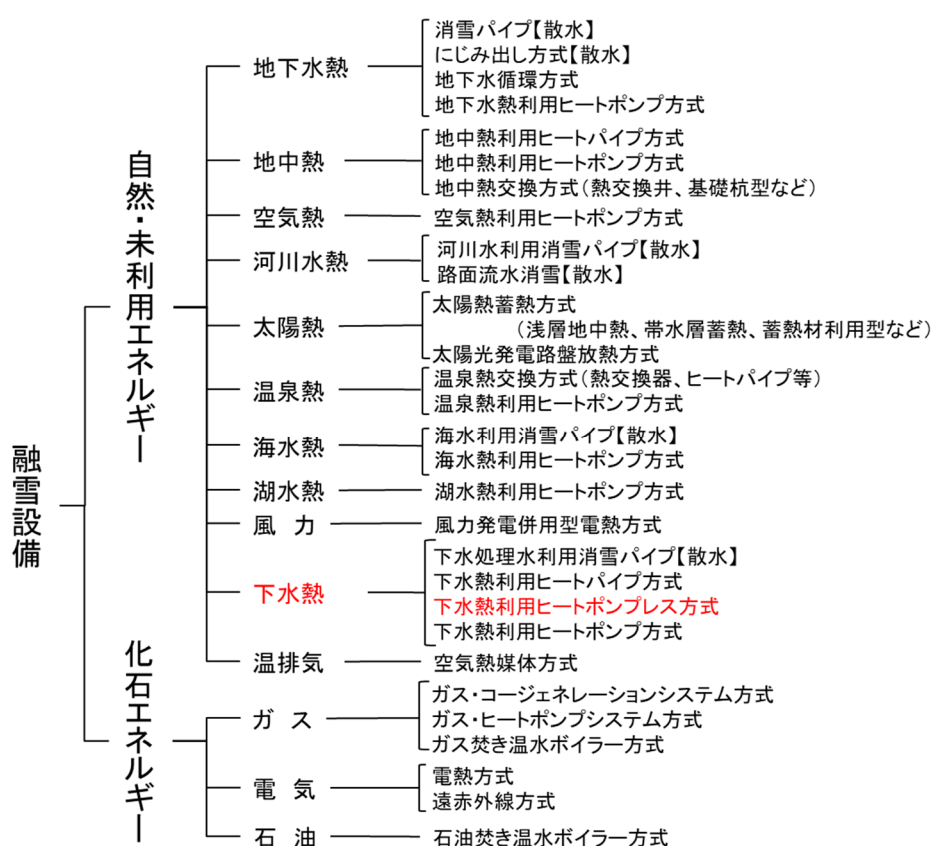


図 2-1 融雪設備の分類例※散水方式含む分類



図 2-2 融雪設備の熱源イメージ

※ (株) 興和_カタログより抜粋・加工

§ 6 技術の適用条件

本技術は以下の条件を勘案して適用する。

- (1) 融雪箇所
- (2) 採熱設備を設置する下水道管路

【解説】

本技術の適用を想定とする条件は以下に示すとおりである。

- (1) 融雪箇所

本技術における融雪対象は車道とする。

- (2) 採熱設備を設置する下水道管路

本技術において採熱設備を設置する下水道管路は、融雪に必要な熱量（水深・温度）が安定的に確保されていること。

第2節 システムを構成する要素技術の概要

§ 7 本技術の概要

本技術は、下水管路内に設置した高熱性能採熱管や片押し方式等によって、より多くの下水熱を回収するとともに、高熱性能舗装を用いて効率的に放熱することにより、ヒートポンプ等の熱を作り出す機構を使用せず、道路融雪を行うものであり、以下の設備から構成される。

- (1) 放熱設備
- (2) 採熱設備
- (3) 循環設備
- (4) 操作・制御設備
- (5) 電源設備

【解説】

本技術は、熱源として下水熱を利用するとともに、ヒートポンプ等の熱を作り出す機構を使用しないことで、従来技術よりもコストやエネルギー消費量、温室効果ガス排出量の削減を図るものである。

本技術の概要を図 2-3 に示す。また、本技術の主な特長を以下に示す。

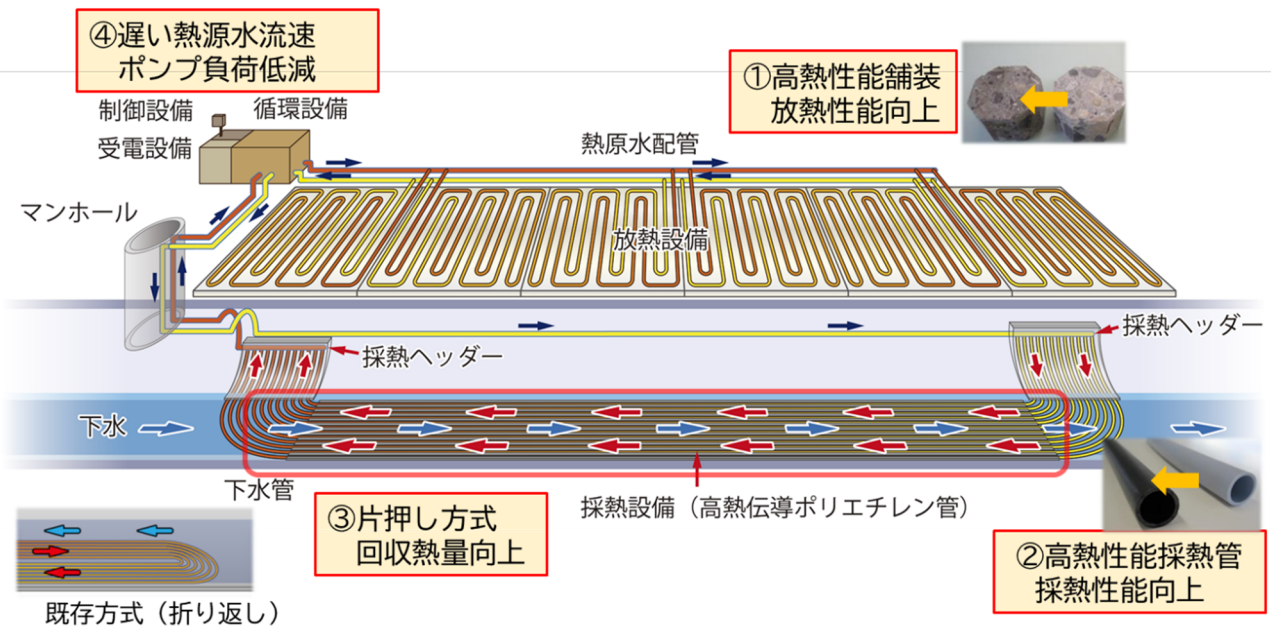


図 2-3 システム導入イメージ※①～④が本技術の特長

(1) 放熱設備

放熱設備は、舗装に埋設して温めた熱源水を通わせる放熱管と保護する高熱性能舗装から構成される。本技術では、熱源水の循環温度が 10℃前後となり、温水ボイラーなどの従来技術で使われる概ね 10℃以上 20℃未満の循環温度と比べて低温であることを踏まえ、本技術では放熱管にはステンレス鋼管、舗装には従来の一般的な舗装よりも熱性能が良い高熱性能舗装を採用して高い放熱量を確保している。

①放熱管

本技術で必要な放熱管の仕様・性能を以下に示す。

材質	ステンレス鋼管
管径	10～20A ⁵⁾

管径については、路面消・融雪施設等設計要領（H20.5）を参考に設定。

②高熱性能舗装（図 2-3①）

高熱性能舗装は、一般的な舗装よりも高い放熱量を確保するために熱伝導率を高めた舗装である。本技術に適用する舗装は高い熱伝導率を確保するとともに、車道で利用する実用性を鑑み、道路管理者が指定する試験項目、強度や耐久性を満たすことが求められる。

以下に、高熱性能舗装の概要を示す。

材質	コンクリート舗装
熱伝導率 ^{※1}	2.1W/m℃以上
曲げ強度 ^{※2}	対象道路において要求される性能を満たすこと ⁷⁾

※1 本技術では高 SCOP を実現する観点から必要とする熱伝導率を設定。

※2 道路を管轄する地方公共団体や対象道路種別によって異なるため、道路管理者に確認して設定。

（参考：熱伝導率の高いコンクリート舗装の例）

実証研究においては、骨材（粗骨材・細骨材）に熱伝導率が高い珪石・珪砂（写真 2-1）を採用し、平均 2.4W/m℃と従来技術の中央値である 1.6 W/m℃⁵⁾より 40%向上する結果が得られている。



写真 2-1 珪石・珪砂および高熱性能コンクリート舗装

(2) 採熱設備

採熱設備は、下水と熱交換して熱を回収するための採熱管および下水管内に整列配置するためのフレーム、これらを下水管底に固定するための固定バンドから構成される。放熱設備と同様に従来技術と比べて低温となる下水（10℃前後）から熱を回収するために、熱性能が高い高熱性能採熱管を採用して高い採熱量を確保する必要がある。

①高熱性能採熱管（図 2-3②）

本技術で必要な高熱性能採熱管の仕様・性能を以下に示す。

材質	下水道用ポリエチレン管
総括熱伝達係数	90 W/m ² ℃以上
耐久性	表 2-1 に示す耐薬品、耐摩耗、耐圧の性能を満たすもの

表 2-1 実証研究で用いた採熱管で行った性能確認試験項目

項目	試験方法
耐薬品性	耐薬品性試験を行い、質量変化度が±0.2mg/cm ² 以下であること (JSWAS K-14)
耐摩耗性	プラスチック摩耗輪による摩耗試験を行い、下水道用硬質塩化ビニル管と同程度の耐摩耗性を有すること (JSWAS K-1)
水密性	採熱管および継手部1.5MPaの内水圧を負荷し、3分間圧力を保持して漏水のないこと※

※建設技術審査証明書

技術名称：エスロヒート下水熱らせん更生型 2016.3、(公財) 日本下水道新技術機構による試験基準と同等

(参考：実証研究で採用した採熱管及び設置方法)

・実証研究で採用した採熱管（写真 2-2）

本技術では高 SCOP を実現する観点から必要とする熱伝達係数は 90 W/m²℃以上とする。実証研究では 94.6 W/m²℃と既存技術の 70 W/m²℃¹¹⁾から 35%向上する結果が得られている。



写真 2-2 左：高熱性能採熱管、右：一般採熱管

・採熱管の設置方法

・水深と設置本数

本技術の採熱管は、図 2-4 に示すとおり下水管底に設置した塩化ビニル製のフレームに固定する。この際、1つのフレームには、4本ずつ採熱管を設置する。フレームに収めた採熱管をすべて水面下に設置できるように対称性を考慮すると、採熱管の本数は8の倍数になる水深が設計水深として確保できていることが望ましい。

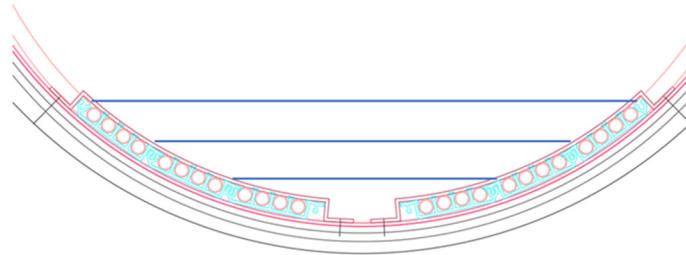


図 2-4 採熱管設置と下水水深の関係 ※4本単位のイメージ

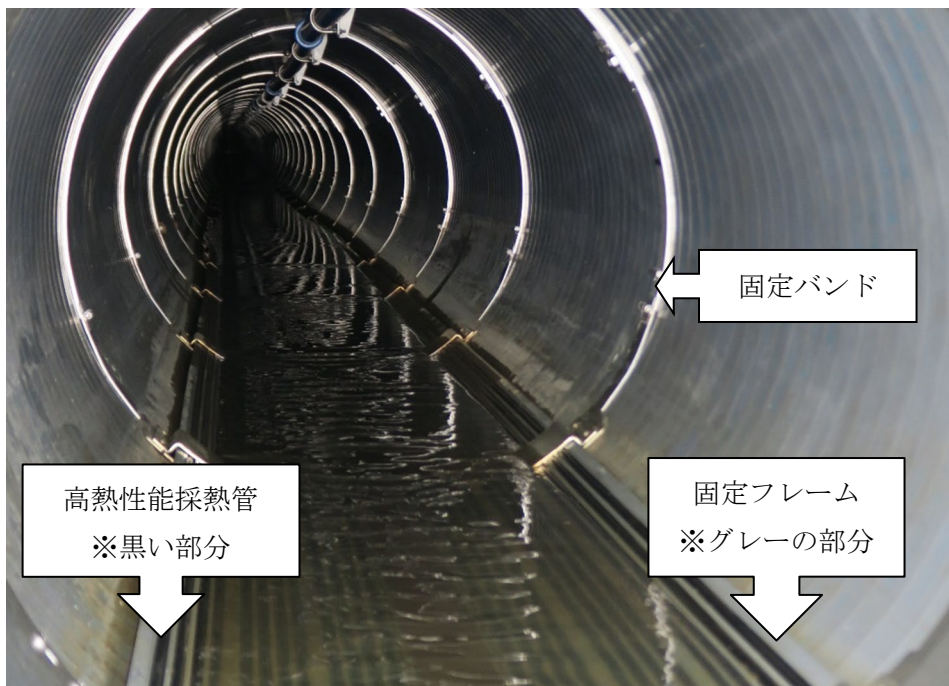


写真 2-3 採熱管の固定例（実証研究施設の例）

(3) 循環設備

循環設備は回収した下水熱を採熱設備から放熱設備に送るための循環ポンプや、熱源水の体積変化による圧力上昇を抑制するための膨張タンクで構成される。

本技術では、高熱性能舗装および高熱性能採熱管を採用したことで、熱源水の温度が低い場合でも採熱時の熱源水の温度回復は早く、融雪時にも必要なエネルギーを舗装に効率的に伝えることが可能となっている。そのため、本技術では放熱管に熱源水を通過させる際の推奨流速として最も遅い値⁵⁾を採用しても必要な放熱量を確保することが可能であり、配管の摩擦損失水頭が抑制されて循環ポンプの電力も低減され、高い SCOP を実現することができる。

① 片押し方式 (図 2-3③)

本技術における採熱管の敷設方式は、片押し方式を採用する。図 2-5 に本技術と既存技術である折り返し方式の概要図を示す。下水管内の敷設延長が同じ場合、折り返し方式は 1 本の採熱管が水面下に設置している延長が長くなるため、1 本あたりの熱交換量は片押し方式より大きい。設置可能な採熱管本数は 1/2 になる。そのため、システム全体の総熱交換量としては本技術で適用する片押し方式の方が大きくなる。

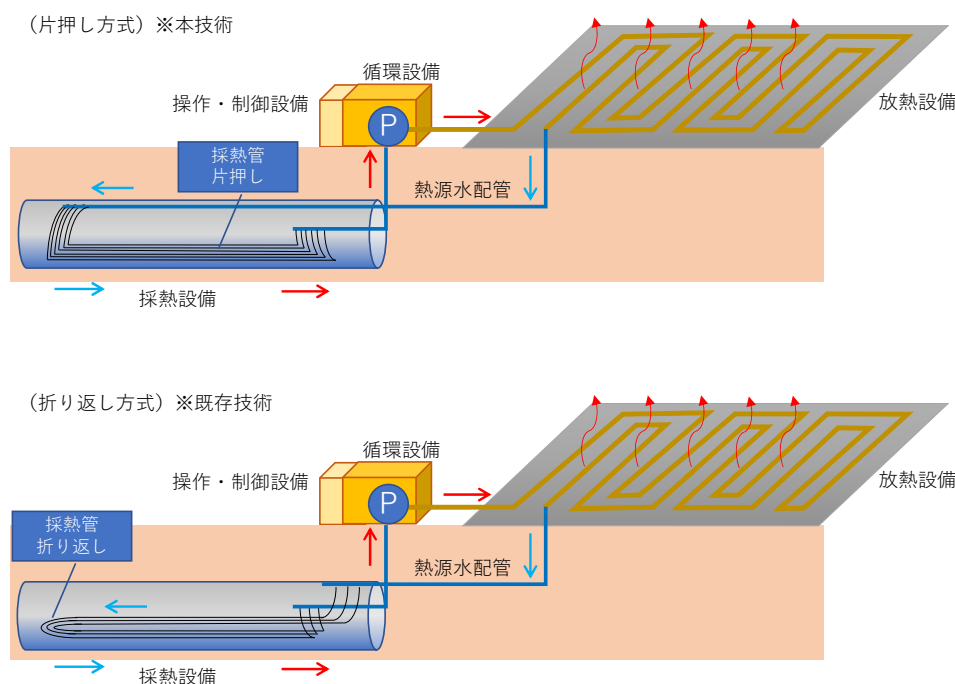
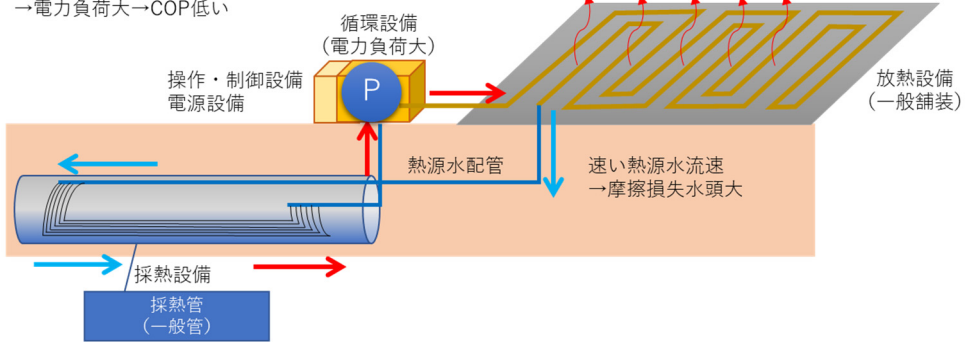


図 2-5 本技術の採熱方式(上)と既存技術の採熱方式(下)の違い

② 遅い熱源水流速 (図 2-3④)

本技術は、熱源水がヒートポンプ等の熱を作り出す機構を利用せず、そのまま放熱管に循環する形態のヒートポンプレスを特長としており、循環ポンプの消費電力がそのまま本技術における SCOP (融雪のために用いたエネルギーを消費エネルギーで割ったもの) に直結する。そのため、循環ポンプで送る熱源水の流速は出来るだけ遅い方が、循環ポンプに必要な電力負荷は小さくなり、高い SCOP の実現が可能となる。

【本技術を使用しない場合】
 速い熱源水流速で一定の放熱量確保
 →電力負荷大→COP低い



【本技術の場合】
 遅い熱源水流速を採用しても、革新的技術を用いない場合
 と同じ放熱量確保→電力負荷小→高COP実現

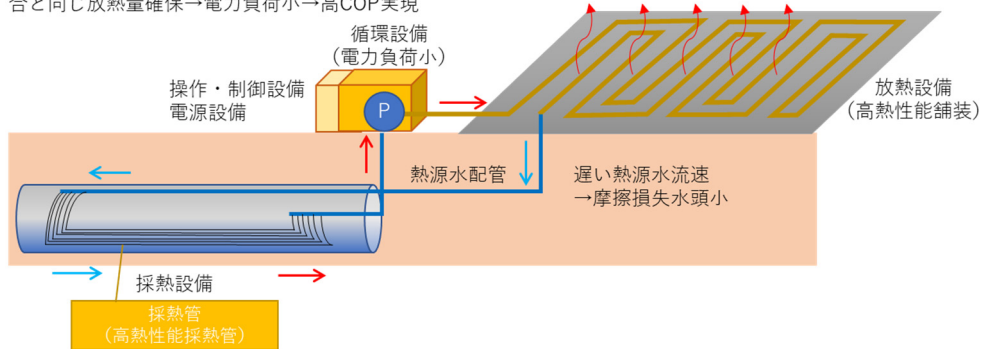


図 2-6 遅い熱源水流速採用の効果

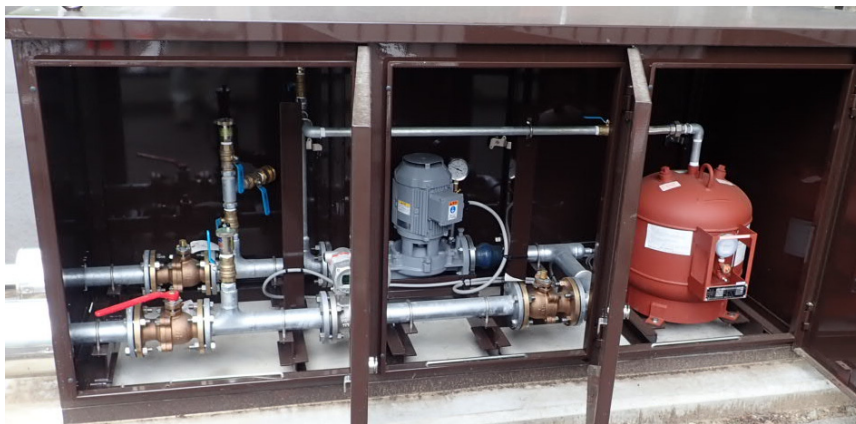


写真 2-4 循環設備の一例（実証研究施設の例）
 （写真内：中央奥=循環ポンプ、右=膨張タンク、左=調整バルブ）

(4) 操作・制御設備

本技術の運転操作を制御するための設備をいう。制御するためのセンサとして、降雪センサや路面温度センサ、これらセンサの挙動を感知して、循環設備に ON/OFF 信号を発信する操作・制御設備がある。



写真 2-5 実証研究施設の制御センサの例（左：降雪センサ本体、右：温度センサ※筐体）
※温度センサは、筐体に内蔵されて舗装面に設置



写真 2-6 操作・制御設備の例

(5) 電源設備

本技術の動力を供給する受電機器をいう。本技術は循環ポンプおよび操作・制御設備の電力のみであるため、実証研究施設は 2.2kW の電力契約である低圧受電の電力量メーターが設置されている。



写真 2-7 電源引込柱（写真左）と、電力メーター（写真右）

第3節 実証研究に基づく技術の評価

§8 評価項目

本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 総費用（年価換算値）
- (2) エネルギー消費量
- (3) 温室効果ガス排出量

【解説】

新技術の導入促進に際しては、各技術の性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選定できるよう、評価項目、評価方法ならびに評価結果を各技術について設定、提示する必要がある。

本ガイドラインでは、本技術の評価項目として、(1) 総費用（年価換算値）、(2) エネルギー消費量、(3) 温室効果ガス排出量について評価を行う。

(1) 総費用（年価換算値）

本技術および従来技術における総費用(年価換算値)を算出し、従来技術に対する本技術の削減率で評価する。

建設費（採熱設備、放熱設備、循環設備、操作・制御設備、電源設備）、維持管理費（循環設備、操作・制御設備、電源設備に係るエネルギー費用および保守点検費から算出される総費用（年価換算値）を試算する。評価方法は、以下のとおりとする。

・総費用（年価換算値）の算出方法

総費用（年価換算値）の算定は、建設費（年価、設計費も含む）、維持管理費（運用費も含む）の和で求めるものとする¹⁾。

$$C_t = C_y + C_m \quad \dots \dots \dots \text{式 2-1}$$

ここで、

C_y : 建設費（年価換算値）（千円/年）

$$C_y = C_i \times i (1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$$

C_i : 初期投資額（千円）

i : 利子率（割引率）（=2.3%）

n : 耐用年数

C_m : 維持管理費（年間費用）（千円/年）

・評価方法

$$\text{削減割合 (\%)} = \frac{\text{従来技術の総費用（年価換算値）} - \text{本技術の総費用（年価換算値）}}{\text{従来技術の総費用（年価換算値）}} \times 100$$

(2) エネルギー消費量

本技術では運転時に使用する電力消費量を示す。同じ降雪条件に対して同じだけ融雪運転したと仮定し、一般的な電熱方式やボイラー方式に比べてどのくらいエネルギー消費量を削減していたかを試算し、以下の方法で評価を行う。

・エネルギー消費量の算出方法

エネルギー消費量 W (kWh/年) は式 2-2 のとおり、概算した年間融雪熱負荷を各技術の融雪期間の平均 SCOP で除することで算出する。融雪期間の平均 SCOP は地域、システムで異なるが、実証研究で算出した概算値を表 2-2 に示す。本 SCOP は、循環設備と操作・制御設備のエネルギー消費量を全て考慮したシステム成績係数である。

$$W = W_w \\ = Q_w / SCOP_w \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 2-2}$$

ここで、

- W_w : 融雪期間のエネルギー消費量 (kWh/年)
- Q_w : 年間融雪熱負荷 (kWh/年)
- $SCOP_w$: 融雪期間の平均 SCOP (—)

表 2-2 実証研究で算出した SCOP 概算値 (25kW 級) ※

対象地域	SCOP	設計下水温度
新潟市	13.9	8.5℃以上

※温水ボイラー方式の場合の SCOP はエネルギー効率より 0.8、
電熱方式の場合の SCOP は 1.0 とする。

その他の方式を従来技術にして比較する場合は、各技術の SCOP を適宜設定する。

・評価方法

$$\text{削減割合 (\%)} = \frac{\text{従来技術のエネルギー消費量} - \text{本技術のエネルギー消費量}}{\text{従来技術のエネルギー消費量}} \times 100$$

(3) 温室効果ガス排出量

環境性を示す指標として、本技術の運転により排出される温室効果ガス排出量および施設の建設・解体により排出される温室効果ガス排出量を試算し、以下の方法で評価を行う。

・温室効果ガス排出量の算出方法

(2) で算出したエネルギー消費量 W (kWh/年) に以下の温室効果ガス排出係数 e (kg-CO₂/kWh) を乗じ、供用段階における年間温室効果ガス排出量 G (kg-CO₂/年) を算出する (式 2-3)。

$$G = W \times e \quad \dots \dots \dots \text{式 2-3}$$

ここで、

W : 年間エネルギー消費量 (kWh/年)

e : 温室効果ガス排出係数 (0.462 kg-CO₂/kWh) 環境省 <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc/denki> より、「電気事業者ごとの基礎排出係数及び調整後排出係数の算出及び公表について」の別紙 8「固定価格買取調整二酸化炭素排出量の算出方法について」に記載ある「毎年度（環境省及び）経済産業省が公表する数値」令和 2 年 7 月公表の平成 30 年度全国平均の係数)

・評価方法

$$\text{削減割合 (\%)} = \frac{\text{従来技術の温室効果ガス排出量} - \text{本技術の温室効果ガス排出量}}{\text{従来技術の温室効果ガス排出量}} \times 100$$

§9 本技術の評価結果

本技術の評価結果を以下に示す。

- (1) 総費用（年価換算値）
- (2) エネルギー消費量
- (3) 温室効果ガス排出量

【解説】

- (1) 総費用（年価換算値）

本技術の総費用（年価換算値）は、以下の項目について整理を行い、総費用（年価換算値）の算定構築モデルを用いて評価をする。なお、比較する従来技術はボイラー方式、電熱方式の2種類とする。

（参考：実証研究で整理したモデル構築例）

表 2-3 総費用（年価換算値）の算定構成モデル^{※1}

項目		規格	
① 利用規模（最大負荷）		25 kW 級	
② 融雪面積	125 W/m ² 試算※新潟想定	200 m ²	
③ 採熱設備 (本技術のみ)	下水管径	Φ1,000	
	採熱管本数	24 本	
	採熱延長	90 m×1 系統	
④ 総費用試算期間※採熱設備の想定耐用年数		50 年	
⑤ 定期点検		年 1 回	
⑥ 設備交換周期 ※従来技術は、実績より設定 電熱ヒーター埋設の舗装 15 年の設定は、ヒーターの損傷 による短周期での交換例が多 いため	熱源水※不凍液を想定		15 年
	ボイラー		15 年
	舗装	電熱ヒーター埋設	15 年
		放熱管理設 ※本技術及びボイラー方式	40 年
	下水熱	循環ポンプ更新	30 年
⑦ 運転時間	新潟想定		1,000 時間/年
⑧ 運転時費用	ガス ^{※2}	1 m ³ N 当たり	108.8 円/m ³ N
		基本料金	3,282.4 円/月
		熱効率 (SCOP)	0.8
	電気 ^{※3}	1 kWh 当たり	11.97 円/kWh
		基本料金※3 カ月まで	1,958 円/(kW・月)
		基本料金※3 カ月超	462 円/(kW・月)
		熱効率 (SCOP)	1.0

※1 建設費は、融雪部・制御部も含んだ金額。下水熱のみ高熱性能コンクリート舗装を計上

※2 ガス料金は北陸ガス新潟地区で月 384m³/月以上（令和3年3月以降）を参考
ガス発熱量 1 m³/N=41.1 MJ/h=0.278 kW/h（理科年表）としてガス使用量を計算。

※3 電気料金は東北電力の「よりそう C スノーB」（令和2年2月）を参考

表 2-3 に実証研究で新潟地区を対象とした場合の構築したモデルを示す。また、それぞれの項目の設定値は以下の考え方に基づき、設定している。

① 利用規模（最大負荷）

モデル地区で対象とした車道交差点の面積から設定。

② 融雪面積

単位面積当たりの熱負荷について「路面消・融雪施設等設計要領」における道路設計の考え方にに基づき、新潟地域を対象地域の気象条件として 125 W/m^2 、融雪対象面積を 200 m^2 として設定。

③ 採熱設備

- ・管 径：実証研究に基づき、採熱設備を設置する下水道管路の管径 $\phi 1000$ と設定。
- ・採熱管本数：水深 15 cm の下水の水面下に設置できる採熱管本数を設定。
- ・採熱延長：水温 8.5°C （実証研究箇所の計測水温）としたとき、 25 kW の熱交換に必要な採熱管延長として 90 m で設定。

④ 総費用試算期間

採熱設備の想定耐用年数 50 年に合わせて設定。

⑤ 定期点検

降雪期前に年 1 回点検することとして設定⁸⁾。

⑥ 設備交換周期

- ・熱 源 水：一般的な交換周期として 15 年を想定して設定。
- ・ボ イ ラ ー：一般的なボイラーの交換周期として 15 年を想定して設定。
- ・電 熱 ヒ ー タ ー：一般的な電熱ヒーター+舗装入替として 15 年を想定して設定。
- ・下水熱システム：設備は、循環ポンプの更新を 30 年で実施⁸⁾すると想定。
- ・舗 装 ・ 放 熱 管：電熱ヒーターを除く舗装は 40 年で更新⁷⁾すると想定して設定。

⑦ 運転時間

降雪が発生しやすい気温 3°C 以下（ 12 月～ 3 月）を対象に新潟市の過去 10 年間（ 2008 年～ 2017 年）の気象データより 1000 時間を想定。

⑧ 運転時費用

本技術および電熱方式の運転時費用は電気の消費電力、ボイラー方式はガスの消費量と電気の消費電力を運転時間と熱効率（SCOP）より試算して設定。

算定結果を表 2-4 に示す。算定構成モデルの場合、本技術が 2,592 千円/年、ボイラー方式が 2,730 千円/年、電熱方式が 2,999 千円/年となり、対ボイラー方式比で 5.0 %、対電熱方式比で 13.5%の縮減となった。

表 2-4 総費用（年価換算値）試算結果（200m²—125 W/m² 想定）

評価項目	単位	本技術 A	従来技術 ボイラー方式 B	従来技術 電熱方式 C	コスト縮減割合	
					ボイラー方式比 (B-A) / B%	電熱方式比 (C-A) / C%
建設費年価①	(千円/年)	2,552	2,174	2,462	-17.3%	-3.6%
維持管理費年価②	(千円/年)	40	556	537	92.7%	92.5%
総費用（年価換算値） ①+②	(千円/年)	2,592	2,730	2,999	5.0%	13.5%

(2) エネルギー消費量

エネルギー消費量の試算は同じ利用規模で一定の出力で運転し続けた場合を想定し、各システムの SCOP との運転時間より算定して本技術、ボイラー方式、電熱方式を比較する。エネルギー消費量は、利用規模に対して、システム成績係数である SCOP で割った上で運転時間を掛けることで試算できる。試算の結果、表 2-5 に示すとおり、本技術のエネルギー消費量はボイラー方式と比べて 94.2%、電熱方式と比べて 92.8%削減できることが確認出来た。

表 2-5 エネルギー消費量試算結果例

試算項目	本技術	ボイラー方式	電熱方式
①利用規模(kW)	25	25	25
②SCOP	13.9	0.8	1.0
③運転時間(h/年)	1,000	1,000	1,000
④エネルギー消費量 (kW/年)	1,799	31,250	25,000
⑤本技術によるエネルギー消費量 削減率 (%)	—	94.2%	92.8%

(参考：SCOP)

a)算定方法

本技術の SCOP を実証研究の実験データ（平成 30 年 12 月 26 日～平成 31 年 2 月 28 日）で算出した例を示す。

実証施設的设计必要熱量は 25.1 kW、循環ポンプの定格出力は 2.2kW であった。SCOP は、期間全

体および降雪時の SCOP を算出した。SCOP 算定式を式 2-4 に示す。

$$\text{システム成績係数 (SCOP)} = \frac{\text{熱交換量 (融雪能力)}}{\text{消費エネルギー}} \quad \dots \quad \text{式 2-4}$$

b) 検証結果

降雪時および期間平均の SCOP を表 2-6 に示す。分析の結果、降雪時および期間平均の SCOP はいずれも 13.9 となる結果が得られた。

表 2-6 SCOP 分析結果

運転状況	SCOP
降雪時	13.9
期間平均	13.9

(3) 温室効果ガス排出量

本技術と従来技術および比較技術のエネルギー消費量から CO₂ 排出量を算出した結果を表 2-7 に示す。エネルギー消費量に対する CO₂ 排出量は、1kW 当り 0.462kg-CO₂ (環境省 <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc/denki> より、「電気事業者ごとの基礎排出係数及び調整後排出係数の算出及び公表について」の別紙 8「固定価格買取調整二酸化炭素排出量の算出方法について」に記載ある「毎年度 (環境省及び) 経済産業省が公表する数値」令和 2 年 7 月公表の平成 30 年度全国平均の係数) を用いて試算した。

この結果、表 2-7 に示すとおり本技術の CO₂ 排出量は従来技術であるボイラー方式に対して 94.2%、電熱方式に対して 92.8% と大幅な削減効果が見込まれる結果を得られた。

表 2-7 温室効果ガス削減量試算例

試算項目	本技術	ボイラー方式	電熱方式
エネルギー消費量 (kW/年)	1,799	31,250	25,000
温室効果ガス排出量 (kg-CO ₂ /年)	1,036	18,002	14,401
本技術による CO ₂ 排出量削減率 (%)	—	94.2%	92.8%

第3章 導入検討

第1節 導入検討手順

§ 10 導入検討手順

本技術の導入検討にあたっては、下水道設備および道路設備、さらに周辺地域の現況および課題等を把握し、導入効果の評価を行い、導入範囲について判断する。

【解説】

導入検討にあたっては、本技術の導入目的を明確にしたのち、図 3-1 に示す検討フローにしたがって必要な情報を収集し、第 2 章第 3 節を参考に導入効果の試算を行った上で、導入範囲および運用形態を含めた導入判断を行い、検討を進める。

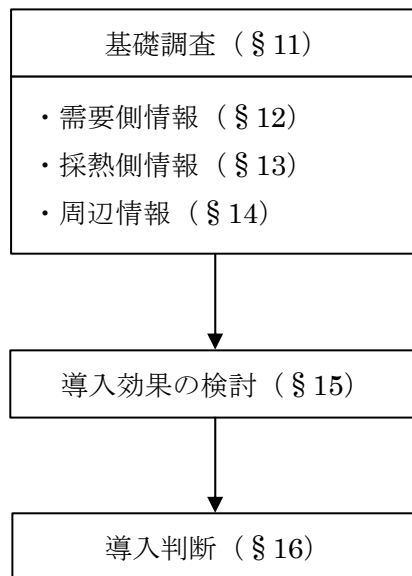


図 3-1 導入検討フロー

第2節 基礎調査内容

§ 11 基礎調査

基礎調査では、対象地域について以下の情報を把握する。

- (1) 需要側情報
- (2) 採熱側情報
- (3) 周辺情報
- (4) 導入効果情報

【解説】

本技術の導入効果検討に先立ち、需要側、採熱側、周辺および導入評価に関する情報を表 3-1 のとおり把握する。(1)～(4)の詳細については§ 12～§ 15に記載のとおりである。

表 3-1 基礎調査項目の導入検討における利用用途

基礎調査で把握する情報		導入検討での利用用途	§
需要側	道路種別および舗装構成	融雪側熱負荷算定	12
	気象条件	融雪側熱負荷算定	12
採熱側	下水流量（下水水深）	採熱側熱負荷算定	13
	下水温度	採熱側熱負荷算定	13
	下水管路状況	適用条件の判定	13
	管路延長	採熱規模の算定	13
周辺	占用物件（施工支障物件）	本技術の施工可否判定	14
	地上構造物設置スペース	本技術の施工可否判定	14
	関係法令・整備計画	法令・整備計画との適合性	14
導入効果	建設費	融雪設備の建設費算出	15
	エネルギー費	維持管理費算出	15
	設備耐用年数	維持管理費算出	15
	保守点検費	維持管理費算出	15
	エネルギー効率	エネルギー消費量算出	15
	温室効果ガス排出係数	温室効果ガス排出量算出	15

§ 12 需要側情報

需要側に関して、以下の情報を収集する。

- (1) 道路種別ならびに舗装構成
- (2) 気象条件

【解説】

(1) 道路種別および舗装構成

導入検討にあたり、車道の道路種別⁶⁾(交通量区分に合わせた舗装厚等)を確認する。基準とする舗装構成は、管理者毎に設定した交通量別の舗装構成について情報収集を行い、これを参考に設定する。舗装構成の参考例は、資料編Ⅲに示すとおりである。

放熱部の舗装は、放熱管の保護の観点から耐摩耗性に優れているコンクリート舗装を行うことが一般的⁵⁾である。本ガイドラインでも高熱性能舗装はコンクリート舗装で担保しているため、コンクリート舗装を用いた場合を対象とする。

(2) 気象条件

気象条件の設定については、「路面消・融雪施設等設計要領」(路面消融雪施設等設計要領編集委員会、平成20年5月)を参考に以下の項目について整理する。

・ 時間降雪深 (cm/h) ならびに降雪密度 (kg/m³)

時間降雪深は、平均日降雪深と時間降雪深の関係式から推定する方法と1時間毎の観測データから累積した値を用いる方法がある。「路面消・融雪施設等設計要領」では、設計時間降雪深が過大とならないように、年間の降雪日数の80%を許容値とした設計方法を示している。

降雪密度は外気温と時間降雪深の条件によって60~100 kg/m³で選定する方法を設計要領で示している。目安については「路面消・融雪施設等設計要領」を参照すると良い。

・ 外気温 (°C)

設計地域で最も気温の低い月の平均日最低気温を採用することを基本とする⁵⁾。

・ 風速 (m/s)

冬期間(12月~3月)の月平均最低気温の最も低い月の値とその月の平均風速で算出することを基本とする⁵⁾。

なお、これらの気象条件は気象庁が整理しているアメダスデータをインターネットからダウンロードして整理する方法が最も望ましい。検討地点近傍にアメダスデータがない場合は、消防署や各市町村が測定している降雪・積雪のデータや気温、風速のデータなどを収集すると良い。

§ 13 採熱側情報

採熱側に関して、以下の情報を把握する。

- (1) 下水流量および水深
- (2) 下水温度
- (3) 下水管路状況
- (4) 管路延長

【解説】

- (1) 下水流量および水深

対象管路に流量計や水深計を一定期間設置し、直接測定することを基本とするが、それ以外の方法として、「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。

①採熱地点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、採熱地点やその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、両者の間にある下水道幹線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¹⁾。

各マンホールにおける下水流量は、以下の式 3-1 で表される。また、下水流量推定のイメージは図 3-2 のとおりである。

$$G_N = G_L \times \frac{\sum_{m=1}^N F_m}{\sum_{m=1}^L F_m} \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-1}$$

ここで、

- G_N : 推定点（マンホール M_N ）における日平均推定下水流量（ $\text{m}^3/\text{日}$ ）
- G_L : 流量既知点（下水処理施設等）における日平均実測下水流量（ $\text{m}^3/\text{日}$ ）
- F_m : 各マンホール M_m が受け持つ集水域内延床面積（ m^2 ）
- N : 推定点（マンホール M_N ）の集水域内のマンホール数（—）
- L : 流量既知点（下水処理場等）の集水域内のマンホール数（—）

※詳細は「下水熱ポテンシャル（広域ポテンシャルマップ）作成の手引き（案）（国土交通省）」を参照。

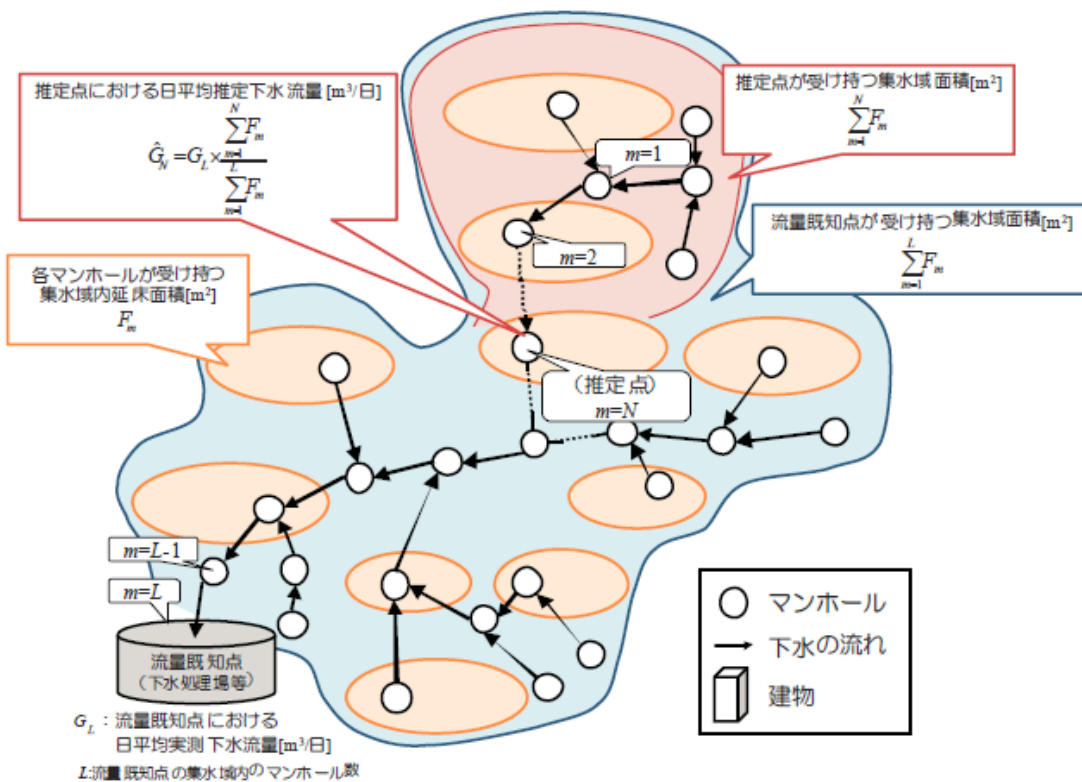


図 3-2 既存の流量データに基づく下水流量の推定計のイメージ

なお、得られた流量データは水深として計算し、採熱部が常に水面下に設置可能とするための最小水深を得る。

(2) 下水温度

下水温度は、写真 3-1 のように対象管路に温度計を冬季の一定期間設置し、温度データを測定することを基本とする。ただし、ポンプ場における揚水箇所等、採熱地点もしくはその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参考値として利用することも可能である。ただし、排除方式が合流式の場合、雨水や雪解け水の影響を受け、気象条件により下水温度は大きく変化するため、留意する必要がある。



写真 3-1 下水温度・水深の調査実施例（左：水深計・水温計、右：データロガー）

（3）下水管路状況

採熱設備導入に際し、対象の下水管路が適用可能かどうか表 3-2 に示す点に留意して把握する必要がある。

表 3-2 下水管路状況について把握する項目

	項目	備考
1	排除方式	下水流量，温度データ
2	下水管径・管種	適用条件参照
3	敷設後年数	更生工事，改修工事の計画
4	管路近傍の人孔サイズ，深さ	施工可否の判断
5	関連計画（下水道設備耐震化計画，下水道長寿命化計画等）	老朽化対策や耐震化対策の必要性の判断
1～4 の管路情報を把握するため、下水道施設管理者が保有する下水道台帳や施設の完成図書等の資料を収集・閲覧する。		

適用に関しては、上記内容について導入検討主体と下水道管理者が調整の上、管路内調査を実施することが望ましい。また、調査の結果、改修工事が必要な場合は、改修後に設置する計画とする。

（4）管路延長

採熱設備設置に関し、対象となる下水管路の延長を把握する。把握するために、下水道管理者が保有する管路図や台帳を参照する。管路図からは、取付管やその他障害物，人孔との取合いを調査し、実際に採熱設備を敷設可能な管路延長を把握する。また、取付管の位置や口径によっては、採熱設備の設置方法に影響を及ぼす可能性があるため、事前に現地調査を実施して具体的位置を把握しておくことが望ましい。

§ 14 周辺情報

周辺に関して、以下の情報を把握する。

- (1) 占用物件（施工支障物件）
- (2) 地上構造物の設置可能スペース
- (3) 関連法令・計画との整合性

【解説】

(1) 占用物件（施工支障物件）

本技術の適用対象は車道であるため、各設備は道路管理上の占用物件となる。そのため、計画箇所における水道・ガス・電気・通信・下水道などの占用物件の有無を予め確認する（表 3-3）。特に地下に埋設されている占用物件が計画している設備と重複する場合には、熱源水配管のルート変更などを検討する必要がある。地下埋設物については各施設管理者が図面等を保管しているが、過去に施工されたもののなかには図面と実際の深さや位置が異なるものもあるため、施工前（詳細設計時、本施工前）には写真 3-2 のように試掘調査を行って、位置確認をしておくことが望ましい。



写真 3-2 地下埋設物の試掘調査の一例※詳細設計時や本施工前に行う

表 3-3 事前収集する占用物件と資料入手先の例

入手内容	入手先の例	確認内容
土地所有者情報	法務局	登記簿、公図
水道管	水道局（管轄事業所）など	設置位置 埋設深度
ガス管	ガス事業者	設置位置 埋設深度
電力ケーブル (送電線、配電線)	電気事業者 (送電担当、配電担当)	電柱・架空線 設置位置 埋設深度
通信施設	通信関連事業者	電柱・架空線 設置位置 埋設深度
下水管、取付管	下水道管理者	設置位置 埋設深度
その他埋設物	各施設管理者など	設置位置 埋設深度

(2) 地上構造物の設置可能スペース

本技術では、循環設備、操作・制御設備、電源設備を地上部に配置する方法が一般的である。そのため、計画箇所周辺のスペースを確認し、本技術の設備が設置可能であることを事前に確認しておく必要がある。

(3) 関連法令・計画との整合性

本技術の設備を設置するにあたり、各地域の下水道条例や道路構造物設置に関する条例、景観条例および整備計画などを確認し、関係法令や整備計画に準じたものとしておくことが必要である。

第3節 導入効果の検討

§ 15 導入効果の検討

第3章第2節で収集した内容を踏まえ、本技術の導入効果を以下の項目で検討し、従来技術と比較して評価する。

- (1) 総費用（年価換算値）
- (2) エネルギー消費量
- (3) 温室効果ガス排出量

【解説】

構築した導入モデルをもとに、導入効果を検討する。導入効果の検討にあたり、本技術だけでなく比較する従来技術についても建設費・維持管理費、エネルギー消費量、および温室効果ガス排出量を試算する。なお、比較する従来技術は図 2-1 に記載された融雪技術のうち、現地で適用可能な技術を比較対象として選定する。

- (1) 総費用（年価換算値）

総費用（年価換算値） C_l （千円/年）の算定は、建設費（年価換算値）、維持管理費（年価換算値）の和で求めるものとする¹⁾。

$$C_l = C_y + C_m \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-2}$$

ここで、

C_y : 建設費（年価換算値）（千円/年）

C_m : 維持管理費（年価換算値）（千円/年）

※「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用導入ガイドライン（案）」P.49 参照
(B-DASH プロジェクトNo.5、平成 26 年 8 月公表)

①建設費（年価換算値）

建設費年価を算定する場合、採熱設備・放熱設備・電源および操作制御設備など、本施設を構成する設備ごとに行う。建設費年価は初期投資額 C_i を踏まえて、以下の式 3-3 に示す係数を用いて各設備ごとの建設費年価 C_y を算出して合算する。

$$C_y = C_i \times i (1 + i)^n / ((1 + i)^n - 1) \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-3}$$

ここで、

C_y : 建設費年価（千円/年）

C_i : 初期投資額（千円）※設計費を含む金額とする

i : 利子率（割引率）（= 2.3 %）

n : 耐用年数

なお、従来技術のボイラーおよび電熱ヒーター利用融雪の設備のうち、ボイラー熱源（採熱設備に相当）ならびに電熱ヒーター舗装（放熱設備）については耐用年数を 15 年とする。

初期投資額 C_i の算定にあたっては、採熱設備、放熱設備、循環設備、操作・制御設備、電源設備など、施設を構成する設備ごとに行う。建設費は、初期投資額 C_i として以下の項目で算出する。

$$C_i = C_d + C_s + C_r + C_p + C_c + C_e \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-4}$$

- C_i : 初期投資額 (千円)
- C_d : 設計額 (千円)
- C_s : 採熱設備投資額 (千円)
- C_r : 放熱設備投資額 (千円)
- C_p : 循環設備投資額 (千円)
- C_c : 操作・制御設備投資額 (千円)
- C_e : 電源設備投資額 (千円)

・設計費

年価換算値によってライフサイクルコストを算出するにあたり、建設費に設計費を含む場合は「国土交通省機械設備工事積算基準」(一般社団法人建設物価調査会)の第4編機械設備設計業務委託積算基準のうち、第6章消融雪設備に記載されている積算方法を参考にするると良い。

・各設備の耐用年数

実証研究で用いた各設備の耐用年数を表3-4に示す。維持管理費を試算する場合は、これらを参考に補修費用や更新費用を適切に計上するものとする。

表 3-4 実証研究で用いた各設備の耐用年数

設備	機器	耐用年数
採熱設備	管路内設置型熱交換器	50年
	熱源水配管	50年
	採熱管固定バンド	50年
放熱設備	コンクリート舗装	40年 ^{※1}
循環設備	循環ポンプ	30年 ^{※2}
	不凍液	15年
操作・制御設備 電源設備	制御盤一体型バルブボックス	30年 ^{※2}

※1 コンクリート舗装ガイドブック 2016 より

※2 新潟県管理の消雪施設における将来更新数の予測結果 (第24回ゆきみらい研究発表会予稿集)

・諸経費

また、施設は土木工事に該当するため、設計費を除く設備投資額の概算経費は、別途考慮して設定する。

②維持管理費

1年間の維持管理費を算出する。維持管理費には、運転費、保守点検費および補修・メンテナンス費がある。以下、運転費と保守点検費の試算条件例を示す。

・運転費

融雪設備の運転に要する費用を計上する。参考として実証研究での試算条件を表 3-5 に示す。実際に運転費を算出する場合は、導入地域における電力会社やガス会社の単価を参考に決定すると良い。

表 3-5 運転費の試算条件の一例

運転費の試算条件			実証研究での設定
運転時間			1,000 時間/年
運転費	ガス	1 m ³ N 当たり	108.8 円/m ³ N
		基本料金	3,282.4 円/月 ※令和 3 年 3 月の北陸ガス 1 カ月あたり 384m ³ 以上の従 量料金と基本料金の例
		燃焼効率	80 %※任意設定
	電気	1 kWh 当たり	11.97 円
		kW・月当り	1,958 円 (3 カ月まで) (3 カ月超 462 円) ※令和 2 年 2 月の東北電力 「よりそう C スノー-B」の 電力量料金と基本料金の例

・保守点検費

・保守点検費 (年価換算値)

降雪前の保守点検コストとして、年間保守点検費 C_k (千円/年) を式 3-5 により算定する。本技術では、循環ポンプの建設費に対して 2%※を乗じたものを保守点検費とする。なお、下水管路内での維持管理作業 (浚渫, 清掃) は考慮していない。

$$C_k = C_h \times 0.02 \dots \dots \dots \text{式 3-5}$$

ここで、

C_h : 循環ポンプの建設費 (千円)

※「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用導入ガイドライン (案)」P.48 参照
(B-DASH プロジェクトNo.5、平成 26 年 8 月公表)

他の熱源と導入効果を比較する場合、熱源種類に応じた保守点検割合を設定する。参考として、ボイラーで 7%、電熱ヒーターで 2%を目安とする。

・維持管理費（まとめ）

エネルギー費と保守点検費の和が年間の維持管理費 C_m （千円/年）となる（式 3-6）。

$$C_m = C_e + C_k \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-6}$$

ここで、

- C_e : 年間エネルギー費（千円/年）
- C_k : 年間保守点検費（千円/年）

（参考：年価換算値を用いたライフサイクルコストの算定例）

ライフサイクルコストとは計画、設計、建設、運用、維持管理、解体撤去等の各段階での費用の総額であり、本ガイドラインでは採熱設備の耐用年数を基準に 50 年¹⁾と仮定して算出を行った。また、計画費については、本技術および従来技術で差がないことから、設計費¹⁾に含み検討している。

なお、総費用（年価換算値） C_l （千円/年）の算定は、建設費（年価、設計費も含む）、維持管理費（運用費も含む）および解体廃棄費（建設費（年価）に 10%^{*}を乗じた費用）の和で求めるものとする。

$$C_l = C_y + C_m + C_w \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-7}$$

ここで、

- C_y : 建設費（年価換算値）（千円/年）
- C_m : 維持管理費（年価換算値）（千円/年）
- C_w : 解体・廃棄費（年価換算値）（千円/年）

※「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用導入ガイドライン（案）」P.49 参照
(B-DASH プロジェクトNo.5、平成 26 年 8 月公表)

・ライフサイクルコストの算定例

新潟地区において年価換算値を用いたライフサイクルコストを本技術および従来技術であるボイラー方式、電熱方式で算定した例を表 3-6 に示す。年価換算値を用いたライフサイクルコスト算出における本技術の削減率は従来技術であるボイラー方式と比べて 3.4%、電熱方式と比べて 12.2%となった。

表 3-6 ライフサイクルコスト算定例

新潟市区想定			融雪工法 (200m ² , 25kW)			備考
ライフサイクルコスト算定項目			本技術	ボイラー方式	電熱方式	
①建設費 (C _y) 千円/年			2,552	2,174	2,463	
内訳	設計	千円/年	169	169	169	
	熱源設備	千円/年	493	471	60	
	放熱設備	千円/年	1,326	1,185	1,892	
	不凍液	千円/年	229	115	0	
	循環	千円/年	335	234	342	
②維持管理費 (C _m) 千円			40	556	537	
	維持管理 (C _e) 千円		33	311	458	1000時間運転
	保守点検費 (C _k) 千円		7	245	79	本技術2%、ボイラー7%、電熱2%
③解体廃棄費 (C _w) 千円			255	217	246	
ライフサイクルコスト (LCC) 千円			142,350	147,350	162,300	50年使用を想定 (①+②+③)×50年

(2) エネルギー消費量

エネルギー消費量 W (kWh/年) は式 3-8 のとおり、概算した年間融雪熱負荷を融雪期間の平均 SCOP で除することで算出する。融雪期間の平均 SCOP は地域、システムで異なるが、実証研究で算出した概算値を表 3-7 に示す。本 SCOP は、循環設備と操作・制御設備のエネルギー消費量を全て考慮したシステム成績係数である。

$$W = W_w = Q_w / SCOP_w \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-8}$$

ここで、

- W_w : 融雪期間のエネルギー消費量 (kWh/年)
- Q_w : 年間融雪熱負荷 (kWh/年)
- $SCOP_w$: 融雪期間の平均 SCOP (-)

表 3-7 実証研究で算出した SCOP 概算値 (25kW 級) ※

対象地域	SCOP	設計下水温度
新潟市	13.9	8.5℃以上

※ボイラー方式の場合の SCOP はエネルギー効率より 0.8、
電熱方式の場合の SCOP は 1.0 とする。
其他方式を従来技術とする場合は、適宜設定する。

(3) 温室効果ガス排出量

(2) で算出したエネルギー消費量 W (kWh/年) に以下の温室効果ガス排出係数 e (kg-CO₂/kWh) を乗じ、供用段階における年間温室効果ガス排出量 G (kg-CO₂/年) を算出する (式 3-9)。

$$G = W \times e \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 3-9}$$

ここで、

W : 年間エネルギー消費量 (kWh/年)

e : 温室効果ガス排出係数 (0.462 kg-CO₂/kWh) 環境省 <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc/denki> より、「電気事業者ごとの基礎排出係数及び調整後排出係数の算出及び公表について」の別紙 8「固定価格買取調整二酸化炭素排出量の算出方法について」に記載ある「毎年度（環境省及び）経済産業省が公表する数値」令和 2 年 7 月公表の平成 30 年度全国平均の係数)

排出削減量は、比較する従来技術の年間エネルギー消費量も算出して本技術と比較する。

第4節 導入判断

§ 16 導入判断

本技術の導入は、検討した導入効果等から総合的に判断する。

【解説】

§ 15 の検討結果から総合的に評価して導入効果が見込まれる場合には、本技術の導入を決定し、第4章計画・設計に記載した内容の検討を進める。

なお、導入効果が目標よりも小さい、あるいは見込めない場合は、その原因を分析し特定したうえで条件を見直す等、再検討することが望ましい。

第4章 計画・設計

第1節 計画・設計手順

§ 17 計画・設計手順

計画・設計は、以下の手順で実施する。

- (1) 設計下水温度・水深検討
- (2) 融雪側熱負荷設計
- (3) 採熱側熱交換器設計
- (4) システム設計
- (5) 概算工事費

【解説】

ここでは、本技術の導入決定後の計画・設計の一連の流れを整理している。導入決定後は、図 4-1 のフローに沿って計画・設計を行うことで本技術を適切な規模で導入することが出来る。(1)～(5) については、§ 18～§ 22 に詳細を記載する。

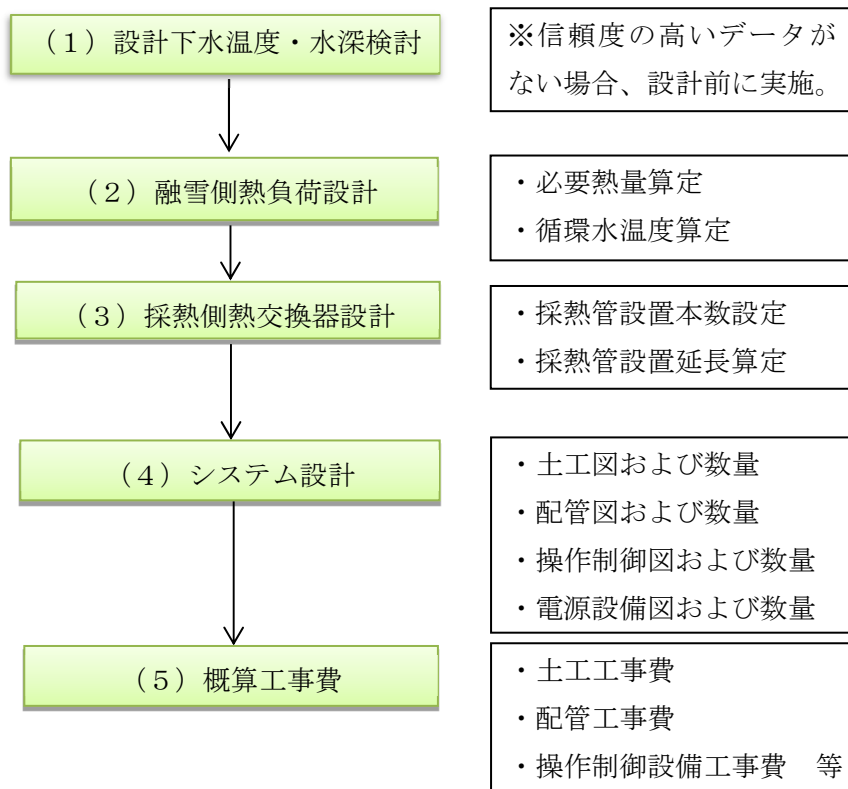


図 4-1 計画・設計フロー※本技術導入決定後のフロー

第2節 設計下水温度・水深検討

§ 18 設計下水温度・水深検討

設計に用いる下水条件として以下のものを現地調査で把握・推計する。

- (1) 下水温度および流量調査
- (2) 下水流量による下水水深の推計

【解説】

(1) 下水温度および流量調査

本技術の設計に先立ち、表 4-1 に示す内容で対象管路において調査を行う。

下水の利用量には日間変動、週間変動、月間変動がある。また、下水温度も管路に流入する区域の利用状況によって日間変動、週間変動、月間変動がある。そのため、設計用にその水深を把握するためには、融雪負荷のピーク月（例：1月、2月）の下水温度および下水水深の推移データを測定する必要がある。計測期間は、平年並みの気候であれば2週間程度、平年と比べて気候変動が大きい期間を含む場合は1ヶ月間程度を確保することが望ましい。

設計では、実測した期間の計測値の下水温度および下水水深とするのが望ましい。また、計画段階で十分な計測期間が取れなかった場合や、計測期間中に降雪がなかった場合には下水処理場の月別、日別データ等を元に設定する場合もある。なお、排除方式が合流式の場合、雪融け後の排水が管路に流入してきて温度低下する場合もあるが、降雪中に急激な下水温度低下や水深変化が見られない場合は、その値を排除した最小値で設定するなど、本技術に必要な設計条件の抽出も必要である。

この調査結果をもとに、管路内設置型熱交換器の本数、設置延長が決定する。具体的な検討方法については、第4章第4節に記述する。

表 4-1 管路内調査項目

項目	内容	方法	調査目的
下水温度	融雪負荷ピーク月の下水温度の推移	温度計の設置による計測	設計下水温度の決定
下水流量※	融雪負荷ピーク月の下水流量の推移	流速計または水深計の設置による計測	設計下水水深の決定

(2) 下水流量による下水水深の推計

採熱地点における流量または流速データおよび管路仕様（勾配、管径、粗度係数等）に基づき、下水水深を推計する方法として図 4-2 に下水水深の推計イメージ、下水流量 Q (m³/s) および流速 V (m/s) の算定式を式 4-1、式 4-2 に示す。なお、粗度係数とは水路底や壁の「粗さ」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。

$$Q=A \cdot V \quad \dots \dots \dots \text{式 4-1}$$

Q : 下水流量 (m³/s)
 A : 水流断面積 (m²)
 V : 平均流速 (m/s)

$$V=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots \text{式 4-2}$$

n : 粗度係数 (-)

※コンクリートの場合 0.013、樹脂管の場合 0.010 を標準とする。

R : 径深 (m)

I : 勾配 (-)

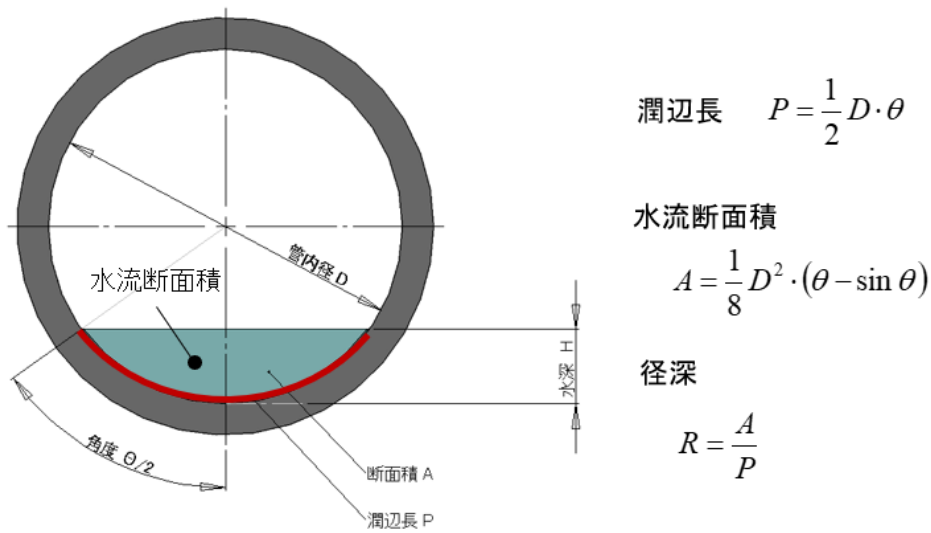


図 4-2 管路仕様に基づく下水水深の推計

第3節 融雪側熱負荷設計

§ 19 融雪側熱負荷

融雪側熱負荷および熱源水の行き戻り温度の計算は、以下の算定方法を用いる。

- (1) 単位面積当たりの必要熱量算定
- (2) 全体必要熱量算定
- (3) 採用する舗装種類
- (4) 放熱管材質
- (5) 放熱管口径
- (6) 放熱管間隔
- (7) 放熱パネル面積および放熱管長さ
- (8) 放熱パネルあたりの循環量
- (9) 全体循環量
- (10) 放熱管平均通水温度算定
- (11) 放熱による温度低下算定
- (12) 熱源水温度算定
- (13) 熱交換器からの放熱管行き温度 (採熱還り温度)

【解説】

- (1) 単位面積当たりの必要熱量算定

算出に当たっては「路面消・融雪施設等設計要領」より以下の式 4-3～式 4-10 を用い、融雪の必要熱量 q_1 と凍結防止の必要熱量 q_2 のいずれか大きいほうを採用する⁵⁾。設計条件の設定にあたり、不明な点については「路面消・融雪施設等設計要領」を参照すると良い。

(融雪に必要な熱量)

$$q_1 = 1/\eta \cdot (q_s + q_n) \dots \dots \dots \text{式 4-3}$$

q_1 : 融雪熱量(W/m²)

η : 熱効率(一般に土工部 0.8～0.9、橋梁部 0.65～0.75)

q_s : 顕熱(W/m²)

q_n : 融解熱(W/m²)

$$q_s = 2.78(c \cdot \Delta\theta \cdot h_s \cdot \rho_s) \dots \dots \dots \text{式 4-4}$$

$$q_n = 2.78(J \cdot h_s \cdot \rho_s) \dots \dots \dots \text{式 4-5}$$

※定数 2.78 は、熱流束 J/cm² を W/m² に変換するために、10,000 cm²/m² を 3,600 J/W・h で除した数値

c : 雪の比熱(2.1 J/g・°C)

$\Delta\theta$: 雪温を 0°C まで高める温度(雪温の絶対値：設定外気温)(°C)

h_s : 設計時間降雪深(cm/h)

ρ_s : 雪の密度(g/cm³)

J : 雪の融解潜熱(334 J/g)=定数

(凍結防止に必要な熱量)

$$q_2 = 1/\eta \cdot A_Y \cdot (q_e + q_i) \dots \dots \dots \text{式 4-6}$$

q_2 : 凍結防止熱量(W/m²)

η : 熱効率(一般に土工部 0.8~0.9、橋梁部 0.65~0.75)

A_Y : 路面上に積雪がなく、蒸発と対流輻射熱による熱損失のある部分の面積と全面積の比

q_e : 気化熱(蒸発熱)(W/m²)

※0°C付近での気化熱は無視できる程度に小さいので $q_e=0$ とする。

q_i : 対流輻射熱(W/m²)

ここで、 q_i は次式 4-7 で表される。

$$q_i = (\alpha_c + \alpha_Y) \cdot (T_m - T_a) \dots \dots \dots \text{式 4-7}$$

α_c : 対流による表面熱伝導率(W/m²・°C)

$$\alpha_c = 5.8 + 4.0u \quad (\text{風速 } u \leq 5 \text{ m/sec の時}) \dots \dots \dots \text{式 4-8}$$

$$\alpha_c = 7.14V^{0.78} \quad (\text{風速 } u > 5 \text{ m/sec の時}) \dots \dots \dots \text{式 4-9}$$

α_Y : 輻射※による表面熱伝導率(W/m²・°C)

※輻射(熱)…物体から貯まった熱が放出されること

$$\alpha_Y = 5.41/(T_m - T_a) \cdot \{[(273 + T_m)/100]^4 - [(273 + T_a)/100]^4\} \dots \dots \dots \text{式 4-10}$$

t_m : 路面温度 (°C)

T_a : 気温 (°C)

V : 管内流速 (本技術採用時は 15A のとき、0.7 m/s を推奨)

(2) 全体必要熱量算定

「路面消・融雪施設等設計要領」より全体必要熱量は以下の式 4-11、式 4-12 で算出する。

$$Q_a = (q \cdot A + q_1) / 1000 \dots \dots \dots \text{式 4-11}$$

Q_a : 全体必要熱量 (kW) ※1000 は W→kW への単位換算値

q : 単位面積当たり必要熱量 (W/m²) ※ q_1 、 q_2 の大きいほうの値

A : 融雪面積 (m²)

q_1 : 熱源水配管 (送水管) からの損失熱量 (W)

(熱源水配管からの損失熱量)

$$q_1 = Q_r \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot \Delta t_2 \dots \dots \dots \text{式 4-12}$$

Q_r : 全体の循環流量 (m³/s)

ρ_w : 熱源水の密度 (kg/m³)

C_w : 熱源水の比熱 (J/kg°C)

Δt_2 : 送水管からの温度低下量 (°C)

※「路面消・融雪施設等設計要領」P.164 より送水温度 20°C未満で 0.2°C

(3) 採用する舗装種類

表 4-2 は、車道融雪に一般的に用いられる舗装材と実証研究で採用した舗装の熱伝導率を整理したものである。従来技術に比べて比較的低温の熱源で融雪をおこなう本技術の場合、選択する舗装種類と舗装構成（被り厚）が放熱量に大きく影響を与える。

本ガイドラインは、実証研究の成果を反映した融雪設備を対象とするため、ここでは実証研究の設計で採用したコンクリート舗装の熱伝導率を採用して設計する。

表 4-2 本ガイドラインで用いる舗装材と一般的な舗装材の熱伝導率

舗装種類	熱伝導率 (W/m ² ℃)	数値の根拠
アスファルト	1.4	「路面消・融雪施設等設計要領」 記載の 1.2~1.6 の中間値
コンクリート	1.6	「路面消・融雪施設等設計要領」 記載の 1.4~1.8 の中間値
高熱性能コンクリート ※骨材に珪石・珪砂を使用	<u>2.1</u>	実証研究における設計値 ※実証施設の平均値 2.4W/m ² ℃

(4) 放熱管材質

放熱管材質は、耐久性、経済性、施工性、送水温度などを考慮して決定する⁵⁾。放熱管には樹脂管と金属管があるが、本ガイドラインで想定している下水熱の設計温度は 7.5~12℃と融雪施設の熱源としては低温であるため、熱伝導率の高い金属管を採用することが望ましい。

金属管ではステンレス鋼管（SUS 管）と炭素鋼鋼管（SGP 管）が用いられることが多い⁵⁾。本技術は、設置想定場所が車道部であり、放熱管の腐食等により熱源水が漏水した場合の対応が難しいことから、より耐腐食性能が高い SUS 管を使用することを標準とする。表 4-3 に SUS 管の熱伝導率を示す。

表 4-3 本ガイドラインで採用する放熱管材の熱伝導率

管 種	熱伝導率 (W/m ² ℃)
ステンレス鋼管 (SUS304)	16.0

(路面消・融雪施設等設計要領より一部抜粋)

(5) 放熱管口径

放熱管の口径は表 4-4 のとおり 10A~20A が一般的である⁵⁾。本ガイドラインでは施工性、経済性、配管損失の有無、汎用性等の面から 15A を標準とする。

表 4-4 放熱管の特徴

項目	10A	15A	20A
経済性	安い ←		→ 高い
施工性	良い ←		→ やや良い
汎用性	やや劣る	汎用性有り	汎用性有り
その他	閉塞し易い	施工例が多い	循環流量が増える

(6) 放熱管間隔

放熱管間隔は一般的に 150mm～200mm であり、この範囲で実用上支障のない程度に均一な融雪が可能とされている⁵⁾。本ガイドラインの下水設計温度は一般的な融雪で用いられる循環温度(概ね 10℃以上 20℃未満)と比べると低温(10℃前後)であるため、放熱量を確保しやすいように 150mm を標準とする。

標準の放熱管設置間隔：150mm

(7) 放熱パネル面積および放熱管長さ

一般的な融雪施設は 1 パネル 10～20 m²、1 パネルあたりの放熱管長さは、一般的には 100 m 程度である⁵⁾。これは、放熱管長が短いとパネル数が増えて循環流量が多くなるために循環ポンプの規格が大きくなり、長すぎると配管摩擦損失の増大によって循環ポンプ出力が大きくなるためである。

本ガイドラインでは、「路面消・融雪施設等設計要領」に則って 150 mm ピッチ、15 m²/パネル、1 パネルあたりの放熱管長 100 m を標準とする(構成イメージ：図 4-3)。なお、本技術では循環水温度が従来技術より低いため、パネル内の放熱量を平均化するために放熱管を図 4-4 のように折り返して配置することが望ましい。

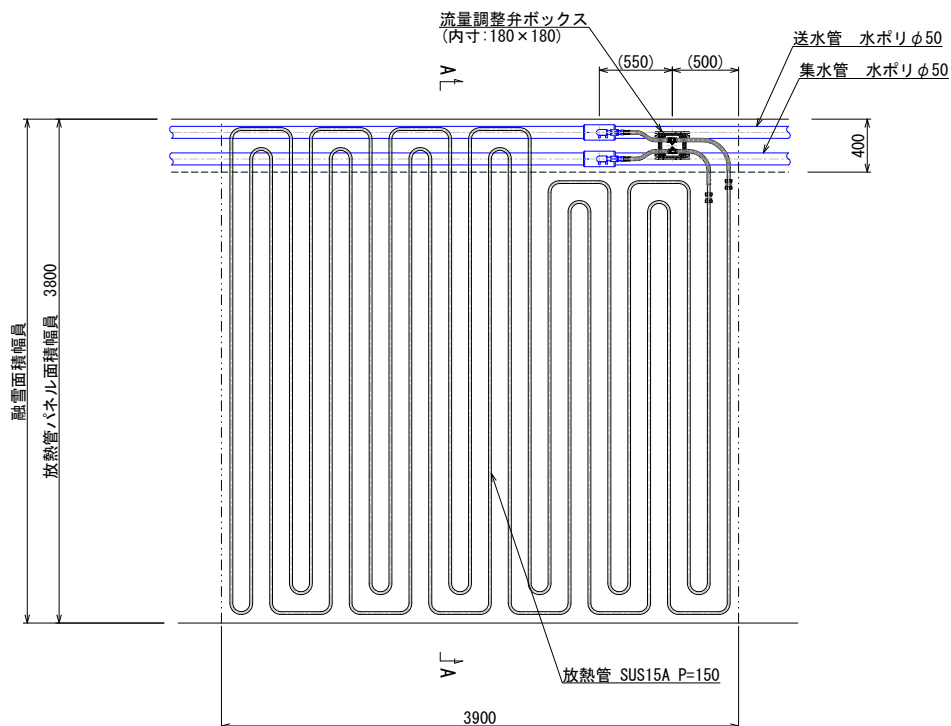


図 4-3 放熱パネルの構成パターン例（実証研究施設の例）



図 4-4 本ガイドラインで推奨する放熱管敷設パターンとメリット

(8) 放熱パネルあたりの循環量

放熱パネルあたりの循環量は、放熱管の口径と管内設計流速より算出する。管内設計流速は表 4-5 による。

表 4-5 管内設計流速

放熱管の口径	10A	15A	20A
管内推奨流速 (m/s)	0.6~0.8	0.7~0.9	0.8~1.0

(路面消・融雪施設等設計要領)

低温の熱源水で融雪する場合、単位時間あたりの循環流量が多い方がより多くの熱を供給できる。一方、循環流量が多いと配管摩擦損失が増えてポンプ出力が大きくなり、ヒートポンプレスのメリット

トが低下する。実証研究では高熱性能舗装の特性を活かし、15A の放熱管の推奨流速の最小値 0.7m/sec を採用して、配管摩擦損失を抑制している。

(9) 全体循環量

全体の循環量は、「路面消・融雪施設等設計要領」に記載されている式 4-13、式 4-14 より求める。

$$q_r = \pi \cdot d^2 \cdot V / 4 \quad \dots \dots \dots \text{式 4-13}$$

- q_r : 1 パネル当たりの熱源水循環量 (m³/s)
- d : 放熱管の内径 (SUS15A の場合、0.0177 m)
- V : 管内流速 (本技術採用時は 15A のとき、0.7 m/s を推奨)

$$Q_r = q_r \cdot n \quad \dots \dots \dots \text{式 4-14}$$

- Q_r : 全体の熱源水循環量 (m³/s)
- n : 放熱管パネル数 (パネル)

(10) 放熱管平均通水温度算定

放熱管平均通水温度 \bar{t} は、図 4-5 の条件イメージより、「路面消・融雪施設等設計要領」の式 4-15、式 4-16 にて算定する。

$$\bar{t} = q_u \frac{l_1 + l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i} + t_m \quad \dots \dots \dots \text{式 4-15}$$

- q : 単位面積当り必要熱量 (W/m²)
- q_u : 上部放熱量 (W/m²) ※必要熱量 $q_1 \times \eta$
- t_m : 路面温度 (0°C) ※降雪中の路面温度
- a' : 1 ユニット当り放熱管面積 (本ガイドライン標準は 15 m²)
- λ_p : 放熱管の熱伝導率 (SUS 管 16 W/m°C)
- l : 1 ユニット当り放熱管長さ (m)
標準 15.0 m² : 15.0 ÷ 0.15 (150mm ピッチ) = 100 m
- d_o : 放熱管外径 (SUS 管 0.0217 m)
- d_i : 放熱管内径 (SUS 管 0.0177m)
- p : 放熱管ピッチ (標準 0.15m)
- l_1 : 放熱管中心から路面までの最長距離 (m)
- l_2 : 放熱管中心から路面までの最短距離(m)

$$l_1 = \sqrt{l_2^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2} \quad \dots \dots \dots \text{式 4-16}$$

- λ : 舗装の熱伝導率 (本ガイドラインの設計値=2.1 W/m°C)

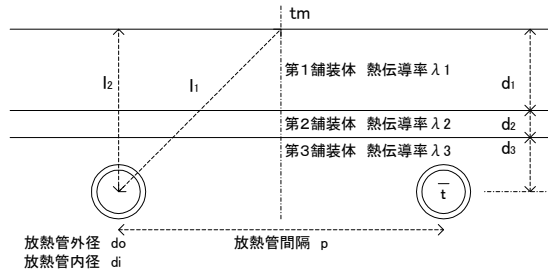


図 4-5 放熱管平均通水温度の算定に必要な各種条件のイメージ図

※舗装体の種類が変わらない場合は、 $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$ 、 $d = d_1 + d_2 + d_3$

(参考：放熱管埋設深度の考え方)

実証研究では 280 mm の設計コンクリート舗装厚に対し、表層から管芯で 87 mm (コンクリートの純被り厚 75 mm 以上) の位置に放熱管を配置 (埋設) した。設計舗装厚がこれより薄い場合の放熱管敷設位置は、コンクリート標準示方書の鉄筋保護のための被り厚の考え方から検討しておくが良い。

(1 1) 放熱による温度低下算定

放熱による温度低下 Δt_1 は、式 4-17 により算定する。

$$\Delta t_1 = \frac{qa'}{q'\rho_w C_w} \quad \dots \dots \dots \text{式 4-17} \quad (\text{「路面消・融雪施設等設計要領」})$$

- q : 単位面積当り必要熱量 (W/m²)
- a' : 1 ユニット当り放熱管面積 (15.0 m²)
- q' : 1 ユニット当り送水量 (SUS 管 0.0001721 m³/s)
- ρ_w : 熱源水の密度 (1043 kg/m³) ※
- C_w : 熱源水の比熱 (3677 J/kg・°C) ※

※5°Cのときのエチレングリコール 40%濃度の一例

(参考：熱源水の密度・比熱)

融雪システムは外気温が 0°C 以下になる地域で使われることが多いため、一般的に熱源水には不凍液が用いられる。不凍液は、種類によって密度・比熱の性状が異なるほか、温度によっても密度・比熱が変化する性質を有する⁵⁾。そのため、本技術を設計する際には、平均通水温度に近い温度の密度・比熱を採用して算定を行うことが必要である。

(1 2) 熱源水温度算定

路面で設計必要熱量を放熱するための熱源水の放熱管入口温度は式 4-18 で算定する。算定方法の詳細は、「路面消・融雪施設等設計要領」を参照とする。また、採熱管行き温度となる放熱管還り温度は式 4-19 で算定する。

$$t_1 = \bar{t} + \frac{1}{2}\Delta t_1 \quad \dots \dots \dots \text{式 4-18}$$

$$T_b = \bar{t} - \frac{1}{2}\Delta t_1 \quad \dots \dots \dots \text{式 4-19}$$

- t_1 : 放熱管入口温度 (°C)
- \bar{t} : 放熱管平均通水温度 (°C)
- Δt_1 : 放熱による温度低下 (°C)
- T_b : 放熱管還り温度 (°C) = 採熱管行き温度

(1 3) 熱交換器からの放熱管行き温度 (採熱還り温度)

熱源機器からの放熱管行き温度 (採熱還り温度) は、放熱管入口に到達するまでの送水中の温度低下を見込んだ値とする。「路面消・融雪施設等設計要領」では送水温度 20°C 未満で熱源機器から放熱管入口に達するまでの温度低下を 0.2°C を見込むとしている。これを踏まえると、放熱管行き温度 (採熱還り温度) は式 4-20 のとおりとなる。

$$T_a = t_1 + \Delta t_2 \quad \dots \dots \dots \text{式 4-20}$$

- T_a : 放熱管行き温度 (°C) = 採熱管還り温度
- t_1 : 放熱管入口温度 (°C) ※式 4-18 より
- Δt_2 : 送水管からの温度低下 (0.2°C)

第4節 採熱側熱交換器設計

§ 20 採熱側熱交換器設計

採熱側の熱交換器は以下の内容で設計する。

- (1) 設計水深と採熱管本数
- (2) 採熱管敷設延長

式 4-21 により決定する。

$$L = \frac{Q}{N \pi D U} \frac{1}{\ln(T - T_a) - \ln(T - T_b)} \dots\dots\dots \text{式 4-21}$$

- L : 採熱管敷設延長 (m)
- N : 採熱管本数 (本)
- D : 採熱管外径 (m)
- Q : 熱交換量 (W)=全体必要熱量 Q_a
- U : 総括熱伝達係数 ($W/m^2\text{°C}$)
- T : 下水温度 (°C)
- T_b : 採熱管行き温度 (°C)
- T_a : 採熱管戻り温度 (°C)

【解説】

本節では、採熱管の本数、敷設延長を決定する。

- (1) 設計水深と採熱管本数

①設計水深と採熱管本数

採熱管本数は、適用する管路内径と § 18 の調査結果による下水の設計水深を元に決定する。設計水深は、§ 18 の調査結果を踏まえて、システム運転期間の最小水深以上の水深を設定する。

本技術に適した下水管（円管）については、下水管内径と設計水深、および採熱管の本数の関係を示した早見表である表 4-6 を元に決定する。早見表に該当しない場合は、下水水深から採熱管を水面下に設置可能な状況の位置関係を別途図面等で確認し、設置本数を決定すれば良い。

表 4-6 下水管内径、下水深さと採熱管本数の早見表

管内径	水深		採熱管本数
	mm	%	本
1000	90	9.0	16
	150	15.0	24
	220	22.0	32
1500	110	7.3	24
	160	10.7	32
	220	14.7	40
2000	130	6.5	32
	170	8.5	40
	230	11.5	48
	300	15.0	56

②採熱管内流速の妥当性確認

採熱管本数を決めるにあたり、1本あたりの適正な平均流速が妥当な範囲に入っているか確認しておくことも必要である。採熱管1本あたりの適正な平均流速は0.6 m/s～1.5 m/sである。採熱管平均流速がこの範囲にない場合は、放熱設備（融雪側熱負荷）、採熱設備（採熱本数）いずれかの規模を見直す。

熱源水の全体循環流量 Q_{all} ($=Q_r$) を採熱管本数で除すると採熱管1本あたりの流量は式 4-22 より、平均流速は式 4-23 より求めることができる。

$$Q_p = Q_{all} / N \quad \dots \dots \dots \text{式 4-22}$$

$$V_p = Q_p / S_p \quad \dots \dots \dots \text{式 4-23}$$

Q_p ：採熱管平均流量(m³/s)

V_p ：採熱管平均流速(m)

N：採熱管本数（本）

S_p ：採熱管流路断面積($S_p = 0.25 \times 0.014 \times 0.014 \times \pi$: m²)

平均流速が0.6 m/sより遅い場合、採熱システムの採熱性能（総括熱伝達係数）が設計値以下になる可能性がある。例としては、放熱設備（融雪側熱負荷）に対して、採熱設備（採熱本数）の規模が大きすぎる場合である。この場合、片押し方式の採熱から、折り返し方式の採熱に変更して採熱延長を見直す等の検討も必要になる。

一方、平均流速が1.5 m/sより速い場合は採熱管の揚程が大きくなり、循環ポンプの消費電力が大きくなる可能性がある。例としては、放熱設備（融雪側熱負荷）に対して、採熱設備（採熱本数）が少なすぎる場合である。この場合、採熱システムを2つに分けて採熱延長と採熱本数を見直す等の検討も必要になる。

(2) 採熱管敷設延長

採熱管敷設延長は、冒頭に示した式 4-21 によって求めれば良い。以下に、式 4-21 の導出等について解説する。なお、本節に示す熱交換理論式の詳細については、「伝熱工学資料 第5版」に記載されているため、これを参照すると良い。

①熱源水の温度変化と熱交換量の関係式

採熱管を流れる熱源水の温度変化（採熱管行き温度 T_b (°C) と採熱管還り温度 T_a (°C) の差) および熱源水循環量 Q_r (m³/s) より、総熱交換量 Q は式 4-24 で計算できる。

$$Q = \rho C_p Q_r (T_a - T_b) \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 4-24}$$

- Q : 総熱交換量(W)= Q_a
- ρ : 熱源水の密度 (kg/m³)
- C_p : 熱源水の比熱 (J/(kg°C))
- Q_r : 熱源水循環量 (m³/s)
- T_b : 放熱管還り温度=採熱管行き温度 (°C)
- T_a : 放熱管行き温度=採熱管還り温度 (°C)

熱源水で用いられることが多い不凍液の密度、比熱については、種類や濃度によって異なるためメーカーのカタログ値を参照する。この総熱交換量は、下水から熱源水に伝えられる熱量である。この熱量については下水と熱源水の対数平均温度差 ΔT_L (°C)を用いて、熱交換器の理論式から用いて以下の式 4-25 で計算できる。総括熱伝達係数は、実証研究で実証された目標値 $U = 90 \text{ W/m}^2\text{°C}$ を標準とするが、現場状況に応じた数値で設定する。

$$\Delta T_L = \frac{(T - T_a) - (T - T_b)}{\ln(T - T_a) - \ln(T - T_b)} \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 4-25}$$

- ΔT_L : 下水-熱源水対数平均温度差(°C)
- T : 下水温度(°C)

$$Q = UA \Delta T_L \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 4-26}$$

- A : 熱回収管接触面積(m²)
- U : 総括熱伝達係数($U = 90 \text{ W/m}^2\text{°C}$)

式 4-26 で熱回収管接触面積 A は、下水と接触する採熱管の外表面積の総和として定義され、式 4-27 で計算できる。採熱管外径は、実証研究で用いられた採熱管の外径 0.017 m を標準とするが、現場状況に応じた値で設定する。

$$A = N \pi D L \quad \dots \dots \dots \text{式 4-27}$$

- N : 採熱管本数 (本)
- D : 採熱管外径 (D=0.017 m)
- L : 採熱管敷設延長(m)

以上から採熱管敷設延長は式 4-21 を用いて計算できる。

$$L = \frac{Q}{N \pi D U} \frac{1}{(T - T_a) - (T - T_b)} \ln \frac{(T - T_a) - \ln(T - T_b)}{\dots \dots \dots} \quad \dots \dots \dots \text{式 4-21} \times \text{再掲}$$

第5節 システム設計

§ 21 システム設計

システム設計では、融雪側熱負荷・採熱側熱交換器設計を踏まえ、以下の内容を検討する。

- (1) 融雪設備
- (2) 採熱設備
- (3) 循環設備
- (4) 操作・制御設備
- (5) 電源設備

【解説】

融雪側熱負荷ならびに採熱側熱交換器の設計により、融雪面積・採熱管本数ならびに延長、システム全体に必要な循環流量が求められる。これを踏まえ、各設備について以下のシステム設計を行う。

(1) 融雪設備

融雪設備は、交通量に合わせて舗装設計を行う。設計にあたっては、各自治体の舗装マニュアル等を参考に舗装構成・路盤・鉄網および縁部補強鉄筋・目地等の設計を行う。このとき、コンクリート版厚、目地設計が融雪側熱負荷の設計値と整合が取れるかチェックを行う。

(2) 採熱設備

採熱設備では、採熱延長決定後に採熱管固定バンドならびに上下流のヘッダー形状ならびに各ヘッダーの損傷防止ならびに流下阻害の軽減のためのヘッダーカバーの設計を行う。

採熱管固定バンドは、下水管の取付管と重ならないように設計を行う。実証研究では約 2m 間隔でステンレス製の採熱管固定バンドを設置した（写真 4-1）。ここに嵌合フレームで固定した採熱管を敷き、押さえバンドでさらに上から固定した（写真 4-2）。

ヘッダーは熱源水配管から採熱管を分岐する部分である。分岐構造は、ヘッダー部付近の構造物の配置を踏まえて設計する。また、ヘッダー部は増水で流れが強くなると折損しやすいリスクがある。これを防止するためヘッダーカバーも設計する。実証研究では、ステンレス製カバーでヘッダーを全て覆う構造としている（写真 4-3、写真 4-4）。



写真 4-1 採熱管固定バンド



写真 4-2 採熱管固定状況

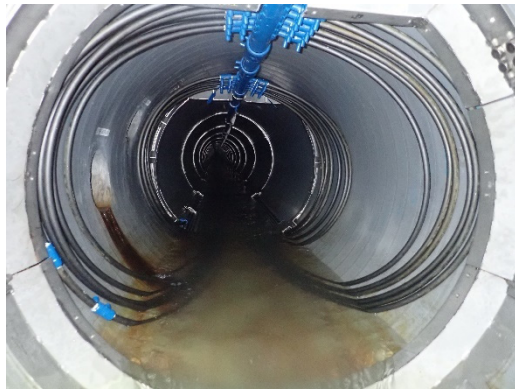


写真 4-3 ヘッダー部カバー前

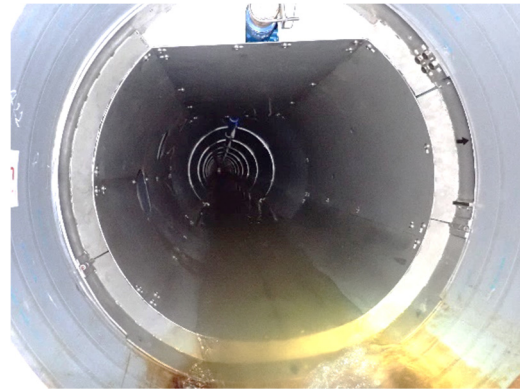


写真 4-4 ヘッダー部カバー後

(3) 循環設備

①熱源水配管ルート設計

循環設備の設計にあたり、最初に採熱管・放熱管の位置関係から熱源水配管の行き還りルートを設定する。熱源水配管の管径は一般的に 50A～100A が多く、この管径での推奨流速は 1.0～1.5m/s 程度となっていることから、これを考慮して配管設計を行うと良い。

②配管摩擦損失算出

採熱管・放熱管・熱源水配管ルートのなかで最も配管延長が長くなる系統に流れる各部分の循環流量から、「路面消・融雪施設等設計要領」記載の以下の式 4-28、式 4-29 を用いて配管摩擦損失を決定する。

・採熱管、放熱管、熱源水配管の摩擦損失水頭

$$h_m = f \times L/d \times V^2/2g \quad \dots \dots \dots \text{式 4-28}$$

- h_m : 配管の摩擦損失水頭 (m)
- f : 配管摩擦損失係数(実用上、樹脂管 0.03、鋼管 0.04 とする)
- V : 流速 (m/sec)
- L : 流速が一定である区間長さ (m)
- D : 管内径 (mm)

・屈曲部の損失水頭

$$h_b = V^2/2g \times n \quad \dots \dots \dots \text{式 4-29}$$

- V : 管内平均流速 (m/sec)
- n : 屈曲等の箇所数

損失水頭計算に加え、使用している熱源水の比重や安全率等を加え、全損失水頭は以下の式 4-30 により求める⁵⁾。

$$\Sigma h = (h_m + h_b) \times \rho_w \times 1.2 \quad \dots \dots \dots \text{式 4-30}$$

Σh : 全配管損失(m)

h_m : 採熱管、放熱管、熱源水配管の配管摩擦損失の総和(m)

h_b : 屈曲部損失(m)

ρ_w : 熱源水比重 (水 1.0、不凍液 1.04~1.05)

1.2 : 安全率

③循環ポンプ選定

算出した全配管損失と循環流量をもとに、ポンプメーカー等の性能曲線を参考に必要なポンプ規格を決定する。

(4) 操作・制御設備

操作・制御設備は、選定したポンプ規格に合わせて設計する。また、制御方法については効率良い運転を行うために、降雪センサや路面温度センサ、外気温センサなどを設置して気象条件に適した運転制御をおこなう⁵⁾。

実証研究では、**図 4-6** に示す路面温度と降雪の 2 要素で運転制御を行い、路面温度の条件に応じて間欠運転と連続運転となるようにした。また、本実証研究施設の下水管は合流式であることを考慮し、融雪水等の流入によって下水温度が路面温度を下回ったときには舗装を冷やさないように一時停止する制御も組み入れている。

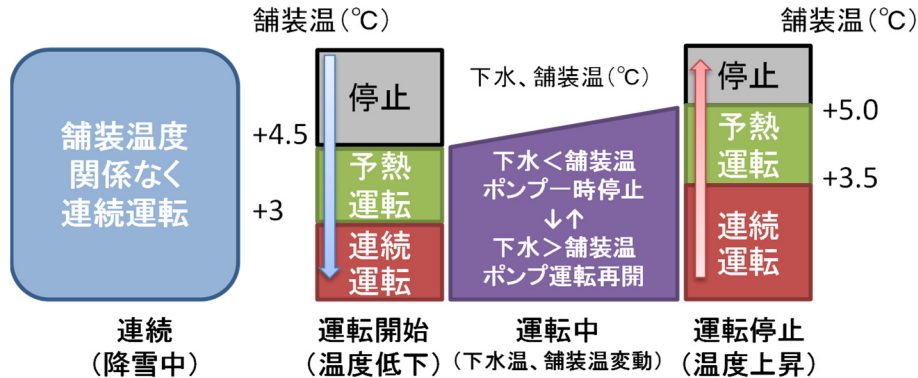


図 4-6 実証研究施設の運転条件

(5) 電源設備

電源設備は、選定したポンプ出力に応じた設備とする。契約形態は、各電力会社の融雪用プランから選択すると良いが、近年は電力自由化により多くの電力小売業者が参入して様々な料金プランを設定している。よって、各地域で期待される運転時間と導入可能な電力プランを事前に調査したうえで、適した料金プランを選定すると良い。

第6節 概算工事費

§ 22 概算工事費

概算工事費は、システム設計で定まった設備内容に沿って算出する。

【解説】

概算工事費は、完了したシステム設計を参考に概算数量を積み上げ、その内容に応じて算出する。算出にあたって、積算単価の公表資料があるものはそれを用い、積算単価がないものについては設計図をもとに三社見積を行うなどして、適正価格となる工事費を算出する。

第5章 維持管理

§ 23 維持管理

本技術のシステム全体を良好に維持していくためには、適切な運転管理と計画的な保守点検を行うことが必要である。

【解説】

本技術を良好に維持管理するには、運転管理と定期点検の両面からの取組が必要となる。

運転管理面では、管理基準を定めて運転状態を監視することが重要である。定期的な巡回またはIoTを活用した常時運転把握によって、異常を早期に発見することが可能である。

保守点検面では、計画的な保守点検を行うとともに、点検結果に基づいて長期補修計画を立案し、予防保全を図ることが必要である^{3),4)}。

融雪設備の維持管理については、平成30年7月に発刊されている「融雪設備点検・整備ハンドブック」がある。点検の詳細な内容についてはこれを参照すると良い。

(参考)

融雪設備点検・整備ハンドブックは、国土交通省が公表している「道路関係設備（機械設備）点検・整備・更新マニュアル（案）」のうち、「道路管理施設等点検整備標準要領（案）」の内訳となる融雪設備点検・整備標準要領（案）を解説するものである。本技術は下水熱を用いている融雪設備であることから、これらのマニュアル・要領ならびにハンドブックに記載されている点検・整備方法に準拠して維持管理していくことが望ましいと考えられる。

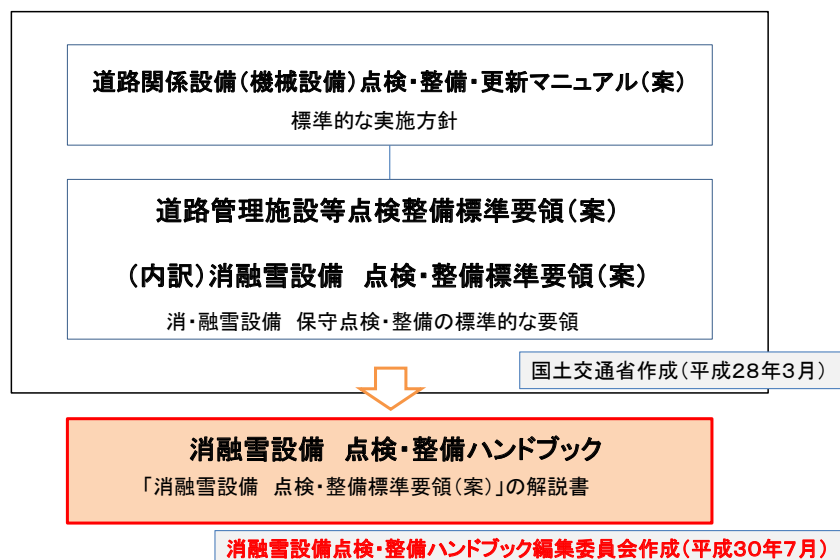


図 5-1 国土交通省の公表資料と融雪設備点検・整備ハンドブック

§ 24 システムの運転管理

運転管理では以下の項目を測定し、適正な運転が行われているかを確認する。

- ・ 熱源水 放熱管行き温度、放熱管還り温度、流量
- ・ 運転状態 ON/OFF
- ・ 制御信号 降雪、気温、路面温度など
- ・ 下水 下水温度

【解説】

表 5-1 に示すように、熱源水の行き還り温度および流量のほか、運転状態、制御信号の発信情報を計測し、所定の運転状態が維持されているか確認する。ただし、排除方式が合流式の場合は下水温度が設計温度を下回っている場合もあるので、下水温度も確認できる制御・操作システムを構築しておくが良い。

表 5-1 運転管理項目と測定内容

測定対象	測定項目	測定頻度	管理基準
熱源水	放熱管行き温度 放熱管還り温度	連続	・ 降雪時に温度差があるか。 ※流量と合わせ確認する。
	流量	連続	・ 設定流量以上流れているか。 ・ 流量が安定しているか。
運転状態	ON/OFF	連続	・ 制御どおり運転しているか。
制御信号	降雪、気温 路面温度など	連続	・ 気象状況を正確に反映して制御信号が出ているか。
下水	下水温度 ※合流式の場合	連続	・ 設計条件以上の下水温度が保たれているか。

§ 25 システムの点検・整備

システムの点検・整備は、以下のとおり区分して行う。

- (1) 定期点検
- (2) 臨時点検

【解説】

(1) 定期点検

定期点検は、設備の劣化および老朽化等による損傷個所の発見を目的に行うものである。定期点検は、降雪期前、降雪期中、降雪期後点検に区分できる^{4),8)}。

本技術で望ましい主な定期点検内容を表 5-2 に示す。これらの判定基準の目安については「消融雪設備点検・整備ハンドブック」に記載があるため、これを参照すると良い。

表 5-2 定期点検内容（例）

対象	点検項目	点検内容	点検時期		
			降雪期前	降雪期中	降雪期後
採熱設備	損傷・汚れ	機械室圧力計	○		○
		外観（目視）	△		
放熱設備	損傷・汚れ	機械室圧力計	○		○
		外観（目視）	○		
	融雪状況	融雪状況		○	
循環設備	電動機	絶縁抵抗	○		
	ポンプ	循環流量	○	○	
操作・制御設備	制御盤	外観（目視）	△		
	計測器	動作確認	○		
	計測内容	運転時間	○		○
電源設備	メーター	消費電力量	○		○
	引込柱・配電盤	外観（目視）	△		

○：毎年実施が望ましい、△：数年に1回程度

(2) 臨時点検

臨時点検は、想定外の故障や災害が発生した場合などに本技術を導入した設備が故障した場合に行う点検である。定期点検とは異なり、臨時点検は損傷が確認された部位を特定して行うものである。臨時点検によって故障の状態が把握されたのち、出来るだけ早急に修繕を行ってシステムの復旧を図ることが望ましい。

§ 26 点検・整備記録

点検・整備した結果と内容は記録し、次回以降の点検・整備計画に反映する。

【解説】

点検・整備は、「消融雪設備点検・整備ハンドブック」のチェックシートを参考に所定の手順でおこない、漏れのないようにする。実施結果は、効率的に活用できるように紙媒体ではなく、データとして記録を残すことが望ましい⁸⁾。

§ 27 故障時の対応・修繕

故障時は、過去の点検記録等も参考にしながら故障箇所を早急に特定し、修繕する。


【解説】

故障といっても様々な要因での発生が考えられる。何らかの不具合で、設備が稼働しなくなった場合には、その症状や過去の点検記録から故障箇所を早急に特定し、原因に対処することが必要である。

①設備状態の判定

「消融雪設備点検・整備ハンドブック」には、表 5-3 の点検結果を踏まえた評価ランクの考え方が記載されている。各設備の状態評価は、これを参照して行うと良い。

表 5-3 点検結果の評価ランクの付け方※

設備状態	評価区分	点検結果における評価の考え方
新設 	A	・ほぼ新設同様の状態。※設置後2年までで健全なもの。
	B	・経年的な劣化が多少進んでいるが整備は不要な状態。 ・問題なく設備が機能する状態。
	C	・経年的な劣化が進んでおり、点検等による整備が必要な状態。 ・数年で保全整備が必要となる可能性があるが、供用は可能な状態。 ・詳細な点検結果によっては、保全整備が必要と考えられる状態。
	D	・設備の劣化が著しく、大幅に機能が低下している状態。 ・保全整備や更新を行わないと、機能停止するリスクが高い状態。
故障 機能停止	E	・設備機能の一部又は全部に不具合が見られ、交通に影響を及ぼす状態。 ・設備が故障し、機能が完全に停止している状態。

※消融雪設備点検・整備ハンドブック P.45

点検にあたっては、まず点検箇所を評価区分 A～E の状態で区分する。その後、表 5-4 に示す判定基準のしたがって、良否判定を行う⁸⁾。良否判定は○、△、×の3区分であるが結果を踏まえた整備・更新の優先度は、「道路管理施設等点検整備標準要領(案)(内訳) 消融雪設備点検・整備標準要領(案)」の上位書となる「道路関係設備(機械設備)点検・整備・更新マニュアル(案)」(H28.3、国土交通省)を踏まえ、×を即時整備、△を△_H(数年以内に対処を要するもの)、△_L(異常傾向があるが経過観察するもの)に分けて決定すると良い。

整備・更新の優先度は、路線や設備の重要度、設備機能の低下状態、予算等によって管理者が判断して決定する。

表 5-4 設備機能の良否判定の考え方*

判定	評価区分	判定結果	考え方
○	A、B	良好	新設同様、または使用感はあるが良好に稼働しており、設備的にも機能的にも問題がない状態。
△	C、D	異常傾向あり	設備の一部にやや不具合や異常傾向が見られ、設備的にはやや問題はあるが、機能上は今のところ大きな問題がない状態。
×	E	故障又は機能に支障あり	設備の一部、または全部に不具合や故障が見られ、設備が故障しているうえ、機能上も効果を発揮できておらず、問題となっている状態。

※消融雪設備点検・整備ハンドブック P.46

②設備修繕例

本技術のうち、採熱設備については過去の設備導入からもまだ経過年数が浅く、修繕した例が見られないが、放熱設備については表 5-5 のような修繕例がある。

表 5-5 放熱設備、循環設備、操作・制御設備の修繕例⁸⁾

対象	故障内容	修繕方法
放熱設備	舗装目地を放熱管 (SGP) 管が横断している箇所、腐食が発生して漏水。	該当箇所の放熱管を取り換えとさや管による保護、および熱源水の追加。
循環設備	配管接続部で漏水	増し締めと熱源水追加。
操作・制御設備	制御盤内の電子部品が損傷	部品交換。

設置からの経過年数が浅く修繕例がない採熱設備について、想定されるリスクと対処方法を表 5-6 に示す。

表 5-6 採熱設備に想定されるリスクと対処方法

想定されるリスク	修繕方法
流下物との接触による破損	該当部分の熱回収管 (ユニット) 等の交換と熱源水の注入。
高圧洗浄による破損	高圧洗浄時に扇型ノズルの使用を遵守。 ※製管工法による管更生箇所と同様
汚れ・付着による熱交換性能低下	管内浚渫、清掃。
新規の取付管接続	採熱管固定バンドの移設

(参考文献)

- 1) 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用導入ガイドライン (案)
(国土技術政策総合研究所、平成 26 年 8 月)
- 2) 下水熱利用マニュアル (案)
(国土交通省水管理・国土保全局、平成 27 年 7 月)
- 3) 道路関係設備 (機械設備) 点検・整備・更新マニュアル案
(国土交通省、平成 28 年 3 月)
- 4) 消融雪設備 点検・整備標準要領 (案)
(国土交通省、平成 28 年 3 月)
- 5) 路面消・融雪施設等設計要領
(路面消・融雪施設等設計要領編集委員会、平成 20 年 5 月)
- 6) 道路構造令の解説と運用
(公益社団法人日本道路協会、平成 27 年 6 月)
- 7) コンクリート舗装ガイドブック 2016
(公益社団法人日本道路協会、平成 28 年 3 月)
- 8) 消融雪設備点検・整備ハンドブック
(消融雪設備点検・整備ハンドブック編集委員会、平成 30 年 7 月)
- 9) 伝熱工学資料 改訂第 5 版
(一般社団法人 日本機械学会、平成 21 年 5 月)
- 10) 国土交通省機械設備工事積算基準
(一般社団法人 建設物価調査会、2019 年度版)
- 11) 下水熱および車道融雪の特性を考慮した下水熱利用融雪技術の研究
(国土交通省 国土技術政策総合研究所、平成 29 年 3 月)

【 資 料 編 】

目次

I. 熱源システム延長・SCOP 早見表	
1. 融雪能力ー採熱規模早見表.....	I-1
II. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果	
1. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果.....	II-1
III. 導入検討例	
1. 導入検討例.....	III-1
IV. 実証外地域における総費用試算例	
1. 実証外地域における総費用（年換算値）試算例.....	IV-1
V. B-DASH プロジェクト実証研究結果	
1. 研究概要	V-1
1.1. 実証研究位置.....	V-1
1.2. システム概要.....	V-1
1.3. 施設諸元.....	V-2
2. 研究成果	V-7
2.1. 運転状況.....	V-7
2.2. 採熱性能の評価.....	V-8
2.3. 放熱性能の評価.....	V-9
2.4. 片押し対向流方式の評価.....	V-10
2.5. 遅い熱源水流速の評価.....	V-10
2.6. 事業性評価	V-12
2.7. 骨材産地別の舗装熱伝導率.....	V-13
2.8. COP10 以上を達成するシステム構成の研究.....	V-17
3. 実証研究成果まとめ.....	V-17
VI. その他（問い合わせ先）	
その他（問い合わせ先）	VI-1

I. 熱源システム延長・SCOP 早見表

1. 融雪能力－採熱規模早見表

本節では、本文で示した熱源システム延長、SCOP の計算方法に基づき、表 I-1 の代表的な利用側条件と熱源側条件から熱源システム延長と SCOP を確認できる早見表を添付する。

早見表は可否判断および下水管路延長算定の目安として活用することを目的としており、正確には現地調査による下水温度・水深・管路状況・周辺状況の確認および詳細設計が必要である。また、融雪面積 150m²等の条件値そのものが表中に無い場合は、近似条件 2 値から目安を算定する。

表 I-1 融雪能力－採熱規模早見表_試算条件

検討パラメータ		条件	備考
熱源側	管径	φ1000、φ1500、φ2000	
	下水水深	8 ユニット単位で採熱管が配置可能な水深※目安 15%	図 I-1 および表 I-2 参照
	下水温度	7.5℃、10℃、12℃	
	採熱延長試算	本編 P.55 式 4-21 により算定	
熱利用側	単位面積当たり放熱量	100、150、200W/m ²	
	融雪対象面積	100、200、300、400m ²	
	パネル側循環流量	0.8 L/min/m ²	
	放熱パネル総括熱伝達係数	21 W/(m ² ℃)	実証研究成果より
	路面温度条件	0℃	
熱輸送	熱輸送距離	100m	採熱部からの放熱部までの距離約 50m
	熱輸送管径	流速 2.0m/s 以下となる管径	例：φ50、75 など
	配管摩擦損失水頭	本編 P.57～P.58 式 4-28～式 4-30 により算定	

注 1) 下水水深はガイドライン本編 P.14 の考え方を参考に目安水深を設定している。

注 2) 早見表中の採熱延長は採熱管の有効延長であり、設計においては上流、下流それぞれで採熱管本数×0.15m ずつのヘッダー延長を確保する必要がある（例：24 本の場合、24×0.15＝3.6m）。

注 3) 配管設計後、採熱管および放熱管の最低流速および最高流速を確認し、使用する配管口径の適用範囲内であるか確認すること。

注 4) 条件と合致しない箇所を活用を検討したい場合は、問い合わせ先に相談すること。

下水管内径（mm）と下水最低水深（mm）と採熱管本数の関係を図 I-1 および表 I-2 に示す。

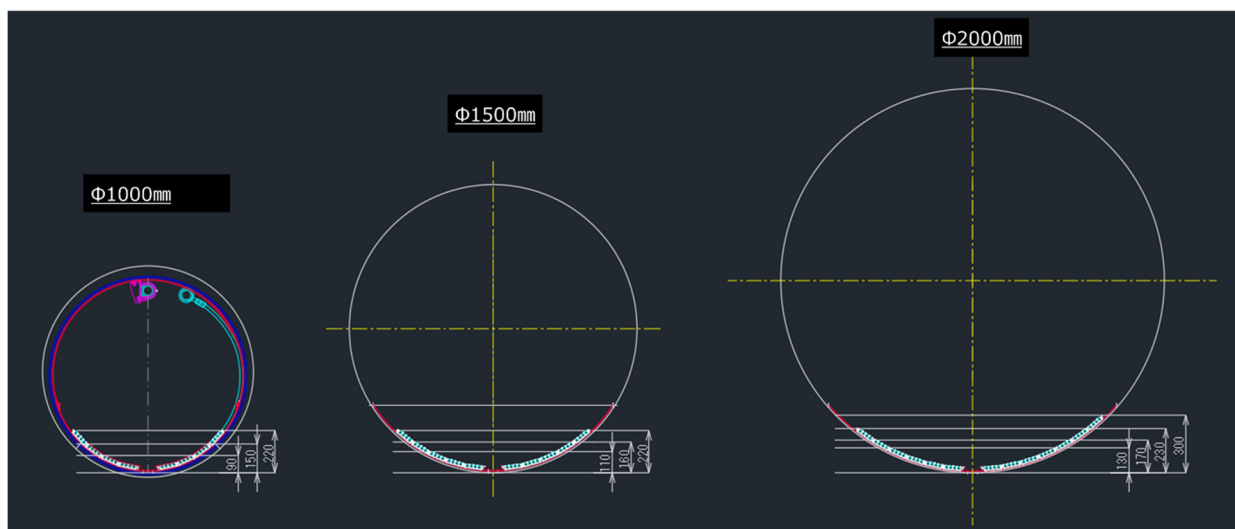


図 I-1 下水管内径および下水水深と採熱管本数の関係図

表 I-2 下水管内径および下水水深と採熱管本数の関係表

管内径	水深		採熱管本数
	mm	%	
1000	90	9.0	16
	150	15.0	24
	220	22.0	32
1500	110	7.3	24
	160	10.7	32
	220	14.7	40
2000	130	6.5	32
	170	8.5	40
	230	11.5	48
	300	15.0	56

(1)100W/m²想定(新潟市等)の早見表※熱源水 放熱管往き温度 5.8℃

融雪負荷(kW) →		有効採熱管延長(m)											
		10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW
必要熱量 100W/m ²		7.5											
必要熱量 100W/m ²		12											
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	融雪面積(m ²)											
	採熱管本数(本)	100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
φ1000	90	55.1	110.1	165.2	220.3	27.1	54.1	81.2	108.2	19.3	38.7	58.0	77.3
	150	36.7	73.4	110.1	146.9	18.0	36.1	54.1	72.1	12.9	25.8	38.7	51.5
	220	27.5	55.1	82.6	110.1	13.5	27.1	40.6	54.1	9.7	19.3	29.0	38.7
	110	36.7	73.4	110.1	146.9	18.0	36.1	54.1	72.1	12.9	25.8	38.7	51.5
φ1500	160	27.5	55.1	82.6	110.1	13.5	27.1	40.6	54.1	9.7	19.3	29.0	38.7
	220	22.0	44.1	66.1	88.1	10.8	21.6	32.5	43.3	7.7	15.5	23.2	30.9
φ2000	130	27.5	55.1	82.6	110.1	13.5	27.1	40.6	54.1	9.7	19.3	29.0	38.7
	170	22.0	44.1	66.1	88.1	10.8	21.6	32.5	43.3	7.7	15.5	23.2	30.9
	230	18.4	36.7	55.1	73.4	9.0	18.0	27.1	36.1	6.4	12.9	19.3	25.8
	300	15.7	31.5	47.2	62.9	7.7	15.5	23.2	30.9	5.5	11.0	16.6	22.1

融雪負荷(kW) →		SCOP											
		10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW
必要熱量 100W/m ²		7.5											
必要熱量 100W/m ²		12											
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	融雪面積(m ²)											
	採熱管本数(本)	100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
φ1000	90	13.3	9.1	4.0	5.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	150	13.3	13.3	5.5	5.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	220	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	110	13.3	13.3	5.5	5.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
φ1500	160	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	220	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
φ2000	130	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	170	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	230	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	300	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3

黒字	適用範囲 SCOP≧10
緑字	準適用範囲 SCOP<10
	適用不可 ※必要熱量<採熱可能量
	適用不可 ※下水温度<必要循環水温度

(2)150W/m²想定 (青森市等) の早見表※熱源水 放熱管行き温度 8.71℃

		有効採熱管延長(m)											
融雪負荷(kW) →		15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW
必要熱量 150W/m ²		下水温度(℃)											
		7.5						10					
		融雪面積(m ²)											
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
Φ1000	16					84.1	168.3	252.4	336.5	44.4	88.8	133.3	177.7
	24					56.1	112.2	168.3	224.3	29.6	59.2	88.8	118.5
	32					42.1	84.1	126.2	168.3	22.2	44.4	66.6	88.8
Φ1500	16					56.1	112.2	168.3	224.3	29.6	59.2	88.8	118.5
	24					42.1	84.1	126.2	168.3	22.2	44.4	66.6	88.8
	32					33.7	67.3	101.0	134.6	17.8	35.5	53.3	71.1
Φ2000	16					42.1	84.1	126.2	168.3	22.2	44.4	66.6	88.8
	24					33.7	67.3	101.0	134.6	17.8	35.5	53.3	71.1
	32					28.0	56.1	84.1	112.2	14.8	29.6	44.4	59.2
	56					24.0	48.1	72.1	96.1	12.7	25.4	38.1	50.8

		SCOP											
融雪負荷(kW) →		15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW
必要熱量 150W/m ²		下水温度(℃)											
		7.5						10					
		融雪面積(m ²)											
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
Φ1000	16					20.0	8.1	6.0	8.0	20.0	13.6	6.0	8.0
	24					20.0	13.6	8.2	8.0	20.0	20.0	12.2	8.0
	32					20.0	20.0	12.2	10.9	20.0	20.0	20.0	10.9
Φ1500	16					20.0	13.6	8.2	8.0	20.0	20.0	12.2	8.0
	24					20.0	20.0	12.2	10.9	20.0	20.0	20.0	10.9
	32					20.0	20.0	12.2	12.2	20.0	20.0	20.0	12.2
Φ2000	16					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2
	24					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2
	32					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2
	56					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2

黒字	適用範囲 SCOP ≥ 10
緑字	準適用範囲 SCOP < 10
グレー	適用不可 ※必要熱量 < 採熱可能量
黒	適用不可 ※下水温度 < 必要循環水温度

(3)200W/m²想定 (札幌市等) の早見表 熱源水 放熱管行き温度 11.61℃

融雪負荷(kW) →		有効採熱管延長(m)											
		20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW
必要熱量 200W/m ²		7.5											
下水最低水深(mm)		10											
採熱管本数(本)		12											
管径 (mm)	融雪面積(m ²)	100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
		179.0	357.9	536.9	715.8	119.3	238.6	357.9	477.2	89.5	179.0	268.4	357.9
φ1000		110	24	110	24	110	24	110	24	110	24	110	24
φ1500		160	32	160	32	160	32	160	32	160	32	160	32
		220	40	220	40	220	40	220	40	220	40	220	40
		130	32	130	32	130	32	130	32	130	32	130	32
		170	40	170	40	170	40	170	40	170	40	170	40
φ2000		230	48	230	48	230	48	230	48	230	48	230	48
		300	56	300	56	300	56	300	56	300	56	300	56

融雪負荷(kW) →		SCOP											
		20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW
必要熱量 200W/m ²		7.5											
下水最低水深(mm)		10											
採熱管本数(本)		12											
管径 (mm)	融雪面積(m ²)	100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
		26.7	7.3	8.0	10.7	26.7	8.0	10.7	10.7	26.7	8.0	10.7	10.7
φ1000		110	24	110	24	110	24	110	24	110	24	110	24
φ1500		160	32	160	32	160	32	160	32	160	32	160	32
		220	40	220	40	220	40	220	40	220	40	220	40
		130	32	130	32	130	32	130	32	130	32	130	32
		170	40	170	40	170	40	170	40	170	40	170	40
φ2000		230	48	230	48	230	48	230	48	230	48	230	48
		300	56	300	56	300	56	300	56	300	56	300	56

黒字	適用範囲 SCOP ≥ 10
緑字	準適用範囲 SCOP < 10
グレー	適用不可 ※必要熱量 < 採熱可能量
黒	適用不可 ※下水温度 < 必要循環水温度

II. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果

1. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果

高熱性能舗装の例として作成した舗装コンクリートサンプルの曲げ強度および熱伝導率の測定結果を表 II-1、高熱性能骨材の配合割合を表 II-2 に示す。また、詳細データとして配合設計例を次ページから示す。

表 II-1 骨材種類別の舗装コンクリート曲げ強度および熱伝導率測定結果

No.	配合仕様・骨材等	曲げ強度[N/mm ²]						熱伝導率 [W/m ² °C] (円板熱流計法)	
		材齢1日目 [現場養生]		材齢3日目 [標準養生]		材齢7日目 [標準養生]		測定値	平均値
		測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値		
No.1	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]三河産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+三河産珪砂(S2)	4.95	5.21	6.93	6.85	8.34	7.93	2.895	2.57
		5.10		6.72		7.62		2.522	
		5.58		6.90		7.83		2.306	
No.2	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]いわき産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+いわき産珪砂(S2)	5.46	5.39	7.59	7.97	8.76	9.04	2.285	2.20
		4.83		8.10		9.00		2.14	
		5.88		8.22		9.36		2.176	
No.3	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)	5.40	5.23	8.13	7.96	7.29	7.98	2.648	2.52
		4.86		8.13		8.37		2.251	
		5.43		7.62		8.28		2.676	
No.4	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]福井産珪砂(S2)	5.43	5.61	9.00	8.88	10.2	9.99	2.455	2.71
		5.73		8.58		10.3		2.866	
		5.67		9.06		9.48		2.803	
No.5	曲げ4.5-18-20H [粗骨材]福井産珪石 [細骨材]福井産珪砂	5.84	6.1	6.90	6.59	7.61	7.95	2.453	2.48
		6.16		6.20		7.49		2.381	
		6.29		6.66		8.74		2.595	

表 II-2 骨材種類別舗装コンクリートの高熱性能骨材配合割合

No.	配合仕様・骨材等	水セメント比 (%)	標準配合中の 骨材 重量割合(%)	標準配合中の 高熱伝導骨材 重量割合(%)	標準配合中の 高熱伝導細骨材 重量割合(%)	標準配合中の 高熱伝導粗骨材 重量割合(%)
No.1	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]三河産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+三河産珪砂(S2)	37.8	72.8	54.2	18.7	35.6
No.2	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]いわき産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+いわき産珪砂(S2)	37.8	72.7	55.3	17.2	38.2
No.3	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)	37.8	72.8	35.7	0.0	35.7
No.4	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]福井産珪砂(S2)	37.8	72.8	72.8	37.3	35.6
No.5	曲げ4.5-18-20H [粗骨材]福井産珪石 [細骨材]福井産珪砂	37.8	72.7	72.7	34.8	37.9

注1) 曲げ強度は、コンクリート舗装の基準値 4.4MPa 以上と比較する。

注2) コンクリート舗装は、融雪用の放熱管とコンクリートの定着性を上げるため、人力打設を基本とする。




注3) 放熱管とコンクリート舗装の密着性を上げるため、スランプは一般的な設計値(2.5~8cm)と比べて大きめに設定する必要がある。

注4) 珪石および珪砂を利用する場合、珪石・珪砂の価格、生コンクリート工場までの運送料・工場のセット変更も含めた価格を設定する。

No.	No.1	No.2
呼び方	曲げ4.5-18-25H	曲げ4.5-18-25H
細骨材(S1)	新潟産(阿賀野)砂	新潟産(阿賀野)砂
細骨材(S2)	三河産珪砂	いわき産珪砂
粗骨材	三河産珪石	いわき産珪石

	N1	N2	N3	平均	N1	N2	N3	平均
曲げ強度 σ_1 [N/mm ²]	4.95	5.10	5.58	5.21	5.46	4.83	5.88	5.39
曲げ強度 σ_3 [N/mm ²]	6.93	6.72	6.90	6.85	7.59	8.10	8.22	7.97
曲げ強度 σ_7 [N/mm ²]	8.34	7.62	7.83	7.93	8.76	9.00	9.36	9.04
熱伝導率 [W/m ² °C]	2.895	2.522	2.306	2.57	2.285	2.140	2.176	2.20

	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)
セメント	450	—	450	—
水	170	—	170	—
W/C	37.8	—	37.8	—
細骨材(S1)	428	1.9	397	1.9
細骨材(S2)	429	0	393	0
粗骨材	818	0	872	0.5
混和剤	3.6	—	3.6	—
スランプ(cm)	19.5		20.0	
空気量(%)	4.8		5.0	
温度(°C)	25		25	
塩化物量(kg/m ³)	0.037		0.032	

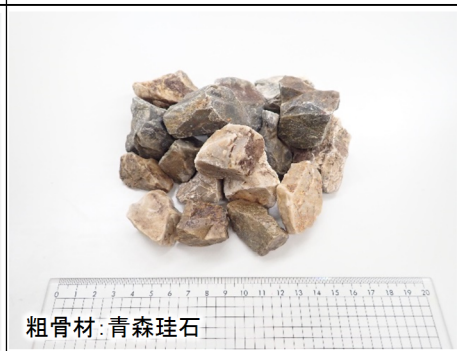
写真		
		
		



No.	No.3	No.4
呼び	曲げ4.5-18-25H	曲げ4.5-18-25H
細骨材(S1)	新潟産(阿賀野)砂	—
細骨材(S2)	—	福井産珪砂
粗骨材	青森産珪石	青森産珪石

	N1	N2	N3	平均	N1	N2	N3	平均
曲げ強度 σ_1 [N/mm ²]	5.40	4.86	5.43	5.23	5.43	5.73	5.67	5.61
曲げ強度 σ_3 [N/mm ²]	8.13	8.13	7.62	7.96	9.00	8.58	9.06	8.88
曲げ強度 σ_7 [N/mm ²]	7.29	8.37	8.28	7.98	10.2	10.3	9.48	9.99
熱伝導率 [W/m ² °C]	2.648	2.251	2.676	2.52	2.455	2.866	2.803	2.71

	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)
セメント	450	—	450	—
水	170	—	170	—
W/C	37.8	—	37.8	—
細骨材(S1)	854	1.9	—	4.3
細骨材(S2)	—	—	861	—
粗骨材	821	0	821	0
混和剤	4.5	—	5.85	—
スランプ(cm)	20		16.5	
空気量(%)	3.6		3.5	
温度(°C)	26		26	
塩化物量(kg/m ³)	0.031		0.027	

写真



No.	No.5			
呼び	曲げ4.5-18-25H			
細骨材(S1)	—			
細骨材(S2)	福井産珪砂			
粗骨材	福井産珪石			
	N1	N2	N3	平均
曲げ強度 σ_1 [N/mm ²]	5.84	6.16	6.29	6.10
曲げ強度 σ_3 [N/mm ²]	6.90	6.20	6.66	6.59
曲げ強度 σ_7 [N/mm ²]	7.61	7.49	8.74	7.95
熱伝導率 [W/m ² °C]	2.453	2.381	2.595	2.48
	標準配合 (kg/m ³)		表面水率 (%)	
セメント	450		—	
水	170		—	
W/C	37.8		—	
細骨材(S1)	—		2.5	
細骨材(S2)	801		—	
粗骨材	872		0	
混和剤	6.3		—	
スランプ(cm)	19.5			
空気量(%)	3.6			
温度(°C)	26			
塩化物量(kg/m ³)	0.035			
写真				
				

III. 導入検討例

1. 導入検討例

ここでは新潟市において実証研究施設を設置した際の検討例（設計例）を参考に示す。

1) 現地条件

- 融雪対象面積：200 m²
- 気象条件：新潟市の各気象条件より、表 III-1 のとおり設定する。

表 III-1 気象条件

項目	記号	単位	数値
設計日降雪深	Hm	cm/day	6.0
設計気温	Ta	℃	-0.07
設計風速	u	m/s	3.51

2) 必要熱量算出

融雪必要熱量は、ガイドライン本編 P.44～P.45 記載の式 4-3～4-10 を用いると以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}q_s &= 2.78(c \cdot \Delta \theta \cdot h_s \cdot \rho_s) \\ &= 2.78 \times 2.1 \times 0.07 \times 1.49 \times 0.08 \\ &= 0.049 \text{ (W/m}^2\text{)} \\ q_n &= 2.78(J \cdot h_s \cdot \rho_s) \\ &= 2.78 \times 334 \times 1.49 \times 0.08 \\ &= 110.68 \text{ (W/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

土工部の場合の熱効率 $\eta=0.9$ 程度とすると以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}q_i &= 1/\eta \cdot (q_s + q_n) \\ &= 1/0.9 \times (0.049 + 110.68) \\ &= 1/0.9 \times 110.729 \\ &= 123.0 \text{ (W/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

3) 総必要熱量

先に検討した融雪対象面積 (204 m²) より、本箇所における総必要熱量は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}Q &= 200 \text{ m}^2 \times 123.0 \text{ W/m}^2 \\ &= \underline{\underline{24046 \text{ W} (\doteq 24.1 \text{ kW})}}\end{aligned}$$

4) 放熱部構成

本検討では、B-DASH ガイドラインの成果を反映し、表 III-2 のとおり高熱性能舗装となるコンクリート舗装の熱伝導率を用いて設計を行う。

表 III-2 本検討で採用する舗装材の熱伝導率

舗装種類	熱伝導率 (W/m ² /°C)	数値の根拠
高熱性能コンクリート	2.1	ガイドライン設計値

①その他放熱部構成

その他放熱部の配管材質や設置間隔ならびに舗装構成は以下のとおりとする。

- ・放熱管の種類および口径 : SUS15A
- ・放熱ユニット面積 : 15 m² 以内
- ・放熱管設置間隔 : 150 mm 間隔
- ・放熱管内流速および送水量 : 0.7 m/s (10.33 L/ (min・ユニット))
- ・舗装版厚 : 280mm (N6 交通相当)
- ・パネル構成例 : 図 III-1 のとおり

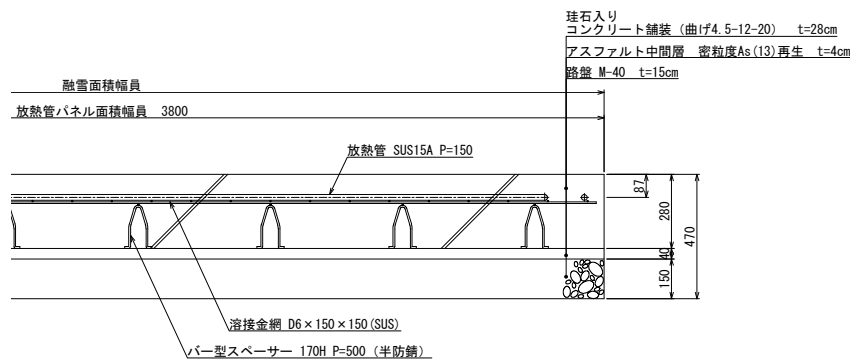


図 III-1 コンクリート舗装厚 28cm での放熱パネルの構成例

②コンクリート舗装の舗装構成及び配合

コンクリート舗装構成及び配合は、表 III-3、表 III-4 に示す設計要領（道路編）に準拠した。

B-DASH 実証研究地においては設計 CBR が判明していなかったため、新潟市で指定されている道路標準復旧断面図（平成 27 年 4 月）および新潟市舗装マニュアル（平成 23 年 4 月）より、現地の道路状況に則ったところ、設計要領（道路編）の交通量区分 N6 に相当した。

表 III-3 普通道路の標準舗装構成（舗装の設計期間 20 年）

交通量区分	舗装計画交通量(T) (台/日・方向)	路床設計 C B R		コンクリート版	アスファルト 中間層	路盤	
						上層路盤	下層路盤
						粒調碎石 (M-40)	再生 クラッシュラン (RC-40)
N ₃	T < 100	3		15	—	20	25
		4		15	—	25	—
		6		15	—	20	—
		8以上		15	—	15	—
N ₄	100 ≤ T < 250	3		20	—	20	25
		4		20	—	25	—
		6		20	—	20	—
		8以上		20	—	15	—
N ₅	250 ≤ T < 1,000	3		25	—	30	30
		4		25	—	20	25
		6		25	—	25	—
		8		25	—	20	—
		12以上		25	—	15	—
N ₆	1,000 ≤ T < 3,000	6以上		28	4	15	—
N ₇	3,000 ≤ T	6以上		30	4	15	—

注) コンクリートの設計基準曲げ強度は 4.4 MPa とする。

(設計要領 (道路編) p8-49 より)

表 III-4 コンクリートの標準配合規格

区分	呼び強度	骨材最大寸法	スランプ	空気量	セメント種類
一般	曲げ 4.5	40 mm以下	2.5 cm	4.5%	B. B *
特殊 ⁽²⁾	曲げ 4.5	40 mm以下	6.5 cm	4.5%	B. B *

*高炉セメント (セメント種類は施工条件等により早強ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントを使用する場合がある。)

(注) 呼び強度の曲げ 4.5 は、設計基準曲げ強度値 4.4 MPa に対応するものである。

(設計要領 (道路編) p8-50 より)

5) 循環流量および平均通水温度算定

①循環流量算定

現地条件から 15m² 以下で施工性なども考慮して最適な配置を検討した結果、15 ユニットとなったので、全体循環水流量は本編 P.49 式 4-13~式 4-14 より以下のとおりとなる。

$$Q_r = 10.33 \times 15 \text{ ユニット} \\ = 155 \text{ L/min}$$

②熱源水温度の算定式

熱源水の比重を 1045 kg/m³、熱源水の比熱を 3680 J/(kg°C) として、本編 P.49 式 4-15～P.51 式 4-20 の算定式を用いて試算すると、熱源水温度は表 III-5 のとおりとなる。

表 III-5 各構成別の放熱管入口出口水温および循環流量算出結果

計算項目	算定結果
循環流量※1(パネル数)	155 L/min(15 パネル)
放熱管行き温度 (Ta)	6.84°C
放熱管還り温度 (Tb)	4.08°C

※1 循環流量＝パネル数×10.33 L/min

6) 採熱側熱交換器設計

①設計条件

採熱側熱交換器の設計にあたり、採熱側条件を以下のとおり設定する。

- ・下水温度：8.0°C
- ・下水管径：φ1000
- ・下水水深：15 cm
- ・設置可能ユニット数：24 本

②熱交換器

設定条件を本編 P.52 式 4-21 に代入して試算すると、採熱延長は 92.2m 必要となる。

$$L = \frac{24100}{24 \times \pi \times 0.017} \times \frac{1}{90} \div \left(\frac{(8.0-6.84)-(8.0-4.08)}{\ln(8.0-6.84)-\ln(8.0-4.08)} \right)$$
$$= 92.2 \text{ m}$$

7) 循環設備構成

①配管設計

配管摩擦損失の設計は、下水採熱管内、送集水管延長の最も長い区間、放熱管延長、屈曲箇所数を整理して試算する。

②配管摩擦損失

作成した配管系統から、最も配管摩擦損失が大きくなる系統（配管延長が長くなる系統）を選定し、本編 P.57 式 4-28～P.58 式 4-30 にて損失計算を行う。システムの配管計算として、採熱管 17A98m（熱交換器延長 92m＋上下流ヘッダー長 6m）、送集水管 50A243m（ポンプ位置 50m×2＋採熱管内送水管 98m、放熱パネル部送水管 45m）、放熱管 15A100m で

算出した結果、配管摩擦損失水頭は 24.7 m と試算された。

③循環ポンプ

循環ポンプは、必要な不凍液循環量ならびに配管損失をもとに、ポンプメーカーのラインポンプの性能曲線図を参考に決定する。

8) 事業性評価

本システムの事業性を従来技術であるボイラー利用と比較した結果を表 III-6 に示す。本システムは、建設費がボイラー利用に比べて高価であるが、維持管理費が安価であるため、総費用（年換算値）では 12.9%縮減となる。また、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量は 94%削減効果があることから、事業性が高い施設であると評価できる。

表 III-6 事業性評価結果（125m²、25kW 利用）

想定条件	試算項目	単位	本システム	ボイラー利用
総費用 (年換算値)	建設費	(千円)	67,500	32,000
	維持管理費※1	(千円/年)	153	1,103
	総費用※2	(千円/年)	1,501	1,724
④エネルギー消費量		(kW/年)	1,799	31,250
⑤温室効果ガス排出量		(kg-CO ₂ /年)	1,233	21,431

※1 1000 時間運転時。50 年間の点検費、維持管理費、修繕費等を 50 年で割ったもの

※2 建設費（熱源、舗装、制御等含んだ一式）÷50 年＋維持管理費

IV. 実証外地域における総費用試算例

1. 実証外地域における総費用（年換算値）試算例

ここでは、実証外地域として 200W/m² 相当の必要熱量が必要な地域（北海道では北限が札幌市近郊まで、本州では東北・北陸の山間地域等）における総費用（年換算値）の試算例を示す。

(1) 費用（総費用）

必要熱量が 200W/m² となる地域における事業評価（総費用）は、表 IV-1 に示す実証研究モデルで評価する。

算定結果を表 IV-2 に示す。125m²-200W/m² 想定、採熱量 25kW の場合、本技術が 1,247 千円/年、ボイラー方式が 1,696 千円/年、電熱方式が 2,598 千円/年となり、対ボイラー方式比で 26.4 %の縮減となった。

表 IV-1 総費用の算定構成モデル^{※1}

項目		規格	
利用規模（最大負荷）		25 kW 級	
融雪面積	200 W/m ² 試算※札幌想定	125 m ²	
採熱設備 (本システムのみ)	下水管径	Φ1,000	
	採熱管本数	24 本	
	採熱延長	90 m×1 系統	
総費用試算期間		50 年	
定期点検		年 1 回	
設備交換周期	熱源水	15 年	
	ボイラー	15 年	
	電熱ヒーター	舗装交換	15 年
	下水熱	簡易点検・清掃	10 年毎
		設備補修	30 年
運転時間	札幌想定	2,000 時間/年	
運転費用	ガス ^{※2}	1 m ³ N 当たり	92.2 円/m ³ N
		基本料金	2,310 円/月
		燃焼効率	80 %
	電気 ^{※3}	1 kWh 当たり (11 月～2 月)	22.22 円 (期間外 29.81 円)
		基本料金※上記期間	1,944 円/(kW・月)
		基本料金※上記以外	957 円/(kW・月)

※1 建設費は、融雪部・制御部も含んだ金額。下水熱のみ高熱性能コンクリート舗装を計上

※2 ガス料金は北海道ガスの札幌地区の料金設定で月 200～1500m³/月を参考に設定

※3 電気料金は北海道電力の「エネ得スノープラン（低圧）」を参考に設定

表 IV-2 総費用試算結果 (200W/m² 想定)

評価項目	単位	革新的技術 ※本システム A	従来技術 ※ボイラー方式 B	比較技術 ※電熱方式 C	コスト削減割合 ※対ボイラー比 (B-A) / B%
建設費①	(千円)	51,000	21,000	27,000	—
維持管理費②	(千円/年)	227	1,276	2,057	—
総費用①÷50+②	(千円/年)	1,247	1,696	2,598	26.4%

(2) エネルギー消費量

エネルギー消費量の計算は、総費用を試算した運転時間で想定する。表 IV-3 にモデルケースのエネルギー消費量の試算例を示す。本システムのエネルギー消費量はボイラー方式と比べて 94.2%、電熱方式と比べて 92.8%削減となった。

表 IV-3 エネルギー消費量試算例

試算項目	本システム	ボイラー方式	電熱方式
①融雪能力(kW)	25	25	25
②SCOP	13.9	0.8	1.0
③運転時間(h/年)	2,000	2,000	2,000
④エネルギー消費量(kW/年)※	3,598	62,500	50,000

※④=①÷②×③

(3) 温室効果ガス排出量

本システムと従来技術および比較技術のエネルギー消費量から CO₂ 排出量を算出した結果を表 IV-4 に示す。CO₂ 排出量は、従来技術であるボイラー利用に対して 94.2%、比較技術である電熱ヒーターに対して 92.8%と大幅な削減効果が見込まれる結果を得られた。

表 IV-4 温室効果ガス削減量試算例※1 kW 当り 0.55 kg-CO₂ として試算

試算項目	本システム	ボイラー利用	電熱利用
エネルギー消費量(kW/年)※ ¹	3,598	62,500	50,000
温室効果ガス排出量(kg-CO ₂ /年)※ ²	1,979	34,375	27,500

V. B-DASH プロジェクト実証研究結果

1. 研究概要

1.1. 実証研究位置

実証位置：新潟県新潟市中央区寄居町地内

採熱管渠：船見処理区早川堀排水区（更生済 $\Phi 1000$ ）

対象道路：一級市道寄居大畑線

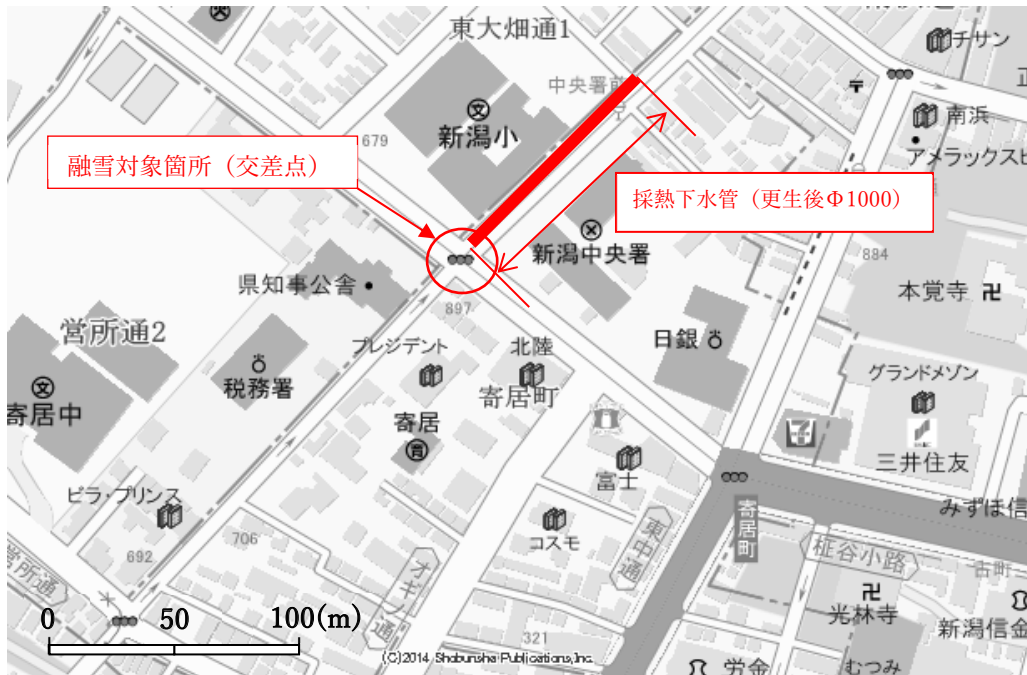


図 V-1 実証研究位置

1.2. システム概要

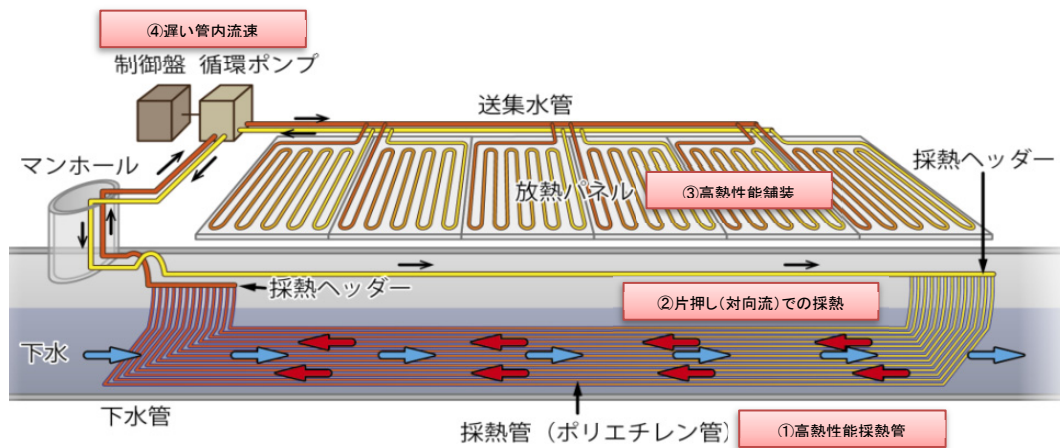


図 V-2 革新的技術を用いた下水熱利用融雪システムの概要

1.3. 施設諸元

表 V-1 実証施設の概要・諸元

諸元区分	項目	単位	数値・内容
設計気象条件	設計外気温	℃	-0.07
	設計降雪深	cm/h	1.49
	設計風速	m/s	3.51
放熱部	融雪対象面積	m ²	204
	計画放熱量	W/m ²	123
	設計総放熱量	kW	25.1
	車道用コンクリート舗装の厚さ	mm	280
	舗装の熱伝導率(実測値) ※珪石入り車道用舗装	W/m/℃	2.4(サンプル平均値)
	放熱パネル標準サイズ	m ²	15
	放熱管種類(呼び径)	—	SUS15A
	放熱管敷設間隔	mm	150
	放熱管埋設深さ(表層より管芯まで)	mm	87
循環部	循環設備	—	Φ50-2.2kW
	設計循環流量	m ³ /min	0.155
採熱部	排除方式	—	合流式
	下水管径(SPR工法にて更生済)	Φ	1,000
	採熱管敷設延長	m	91.8
	採熱管種類	—	下水用ポリエチレン管Φ17 (高採熱タイプ)
	採熱ユニット数	ユニット	24
	設計下水温度	℃	8.5
	下水水深(実測値平均)	mm	81
制御部	検知センサ1	—	降雪センサ(光型)
	検知センサ2	—	路面温度センサ
	運転方法	—	予熱、連続
	運転条件	—	降雪あり、もしくは路温一定以下
	運転一時停止条件	—	下水温度<路面温度のとき
計測機器 ※制御盤内の ロガーで測定 しているもの	設置ロガー	—	アナログ8ch、接点24ch
	循環流量(ブライン)	L/min	0.1L/min単位
	上流側下水温度	℃	0.1℃単位
	放熱前行き温度	℃	0.1℃単位
	放熱後戻り温度	℃	0.1℃単位
	採熱後ヘッダー温度	℃	0.1℃単位
	降雪の有無	—	有り・無し※検知センサ1
	舗装温度	℃	0.1℃単位※検知センサ2
	ポンプ消費電力	W	100W単位
計測機器 (気象)	降雪深	cm	0.1cm単位
	風速	m/s	0.1m/s単位
	外気温	℃	0.1℃単位
計測機器 (下水内)	下水水深	mm	1mm単位
	下流側下水温度	℃	0.1℃単位

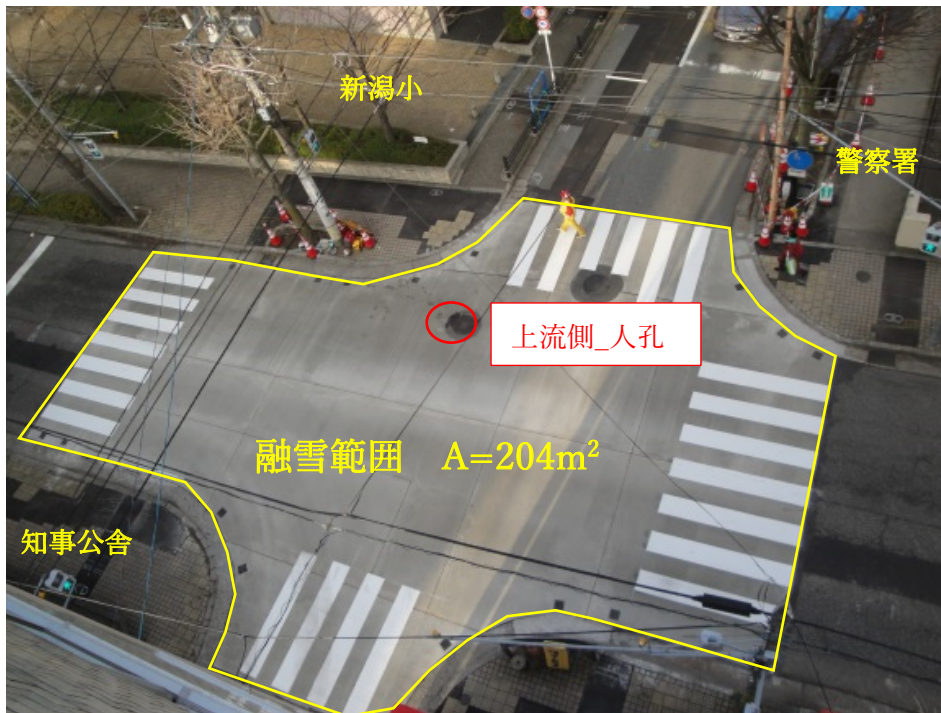


写真 V-1 融雪範囲（隣接ビル屋上より）



写真 V-2 放熱パネル※コンクリート打設前



写真 V-3 採熱範囲地上写真（隣接ビル屋上より）※写真は施工前



写真 V-4 採熱管写真（管底採熱部）



写真 V-5 制御盤一体型バルブボックス写真

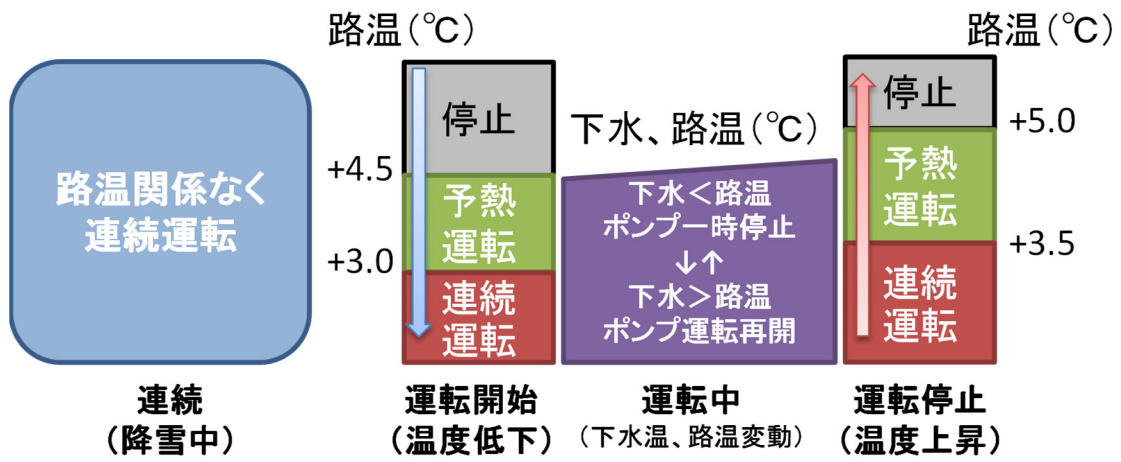


図 V-3 運転条件図



写真 V-6 実証研究施設の融雪状況

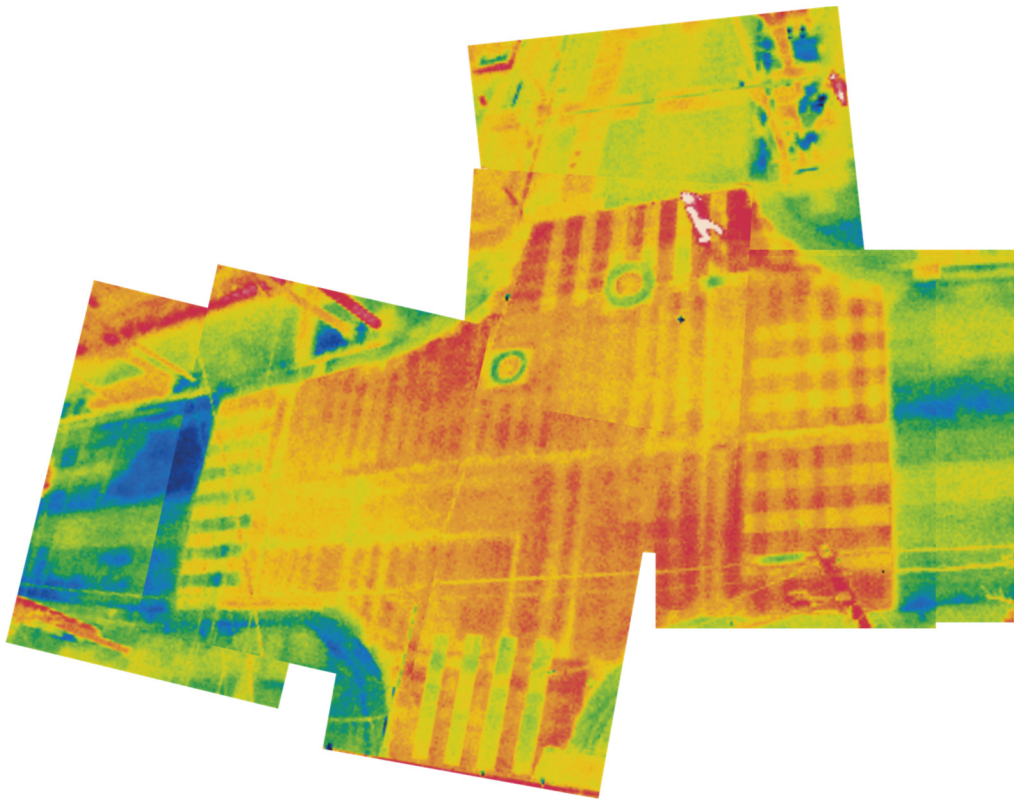


写真 V-7 運転中の舗装面のサーモ写真

2. 研究成果

2.1. 運転状況

実証施設の稼働時間を図 V-4、運転条件別の放熱量を図 V-5 に示す。観測期間は 2018 年 12 月 26 日 0 : 00 から 2019 年 3 月 1 日 13 : 20 までのものである。

施設稼働時間は間欠運転で 342.4 時間、連続運転で 82.6 時間の計 425 時間であった。放熱量は、降雪時に 120 W/m^2 、舗装温度が 3°C 以下に低下しているときで 128.5 W/m^2 と見積もられた。路面温度が 3°C 以上のときは、いずれも 105 W/m^2 に満たない結果となった。

稼働時間

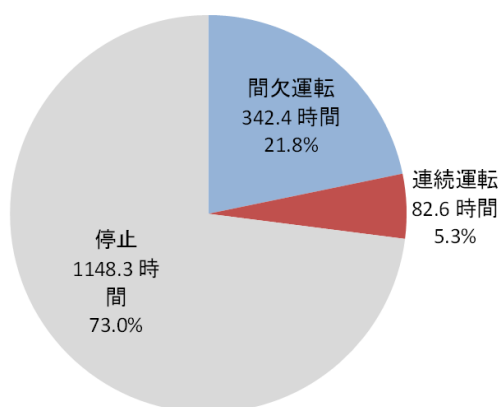


図 V-4 稼働時間観測結果

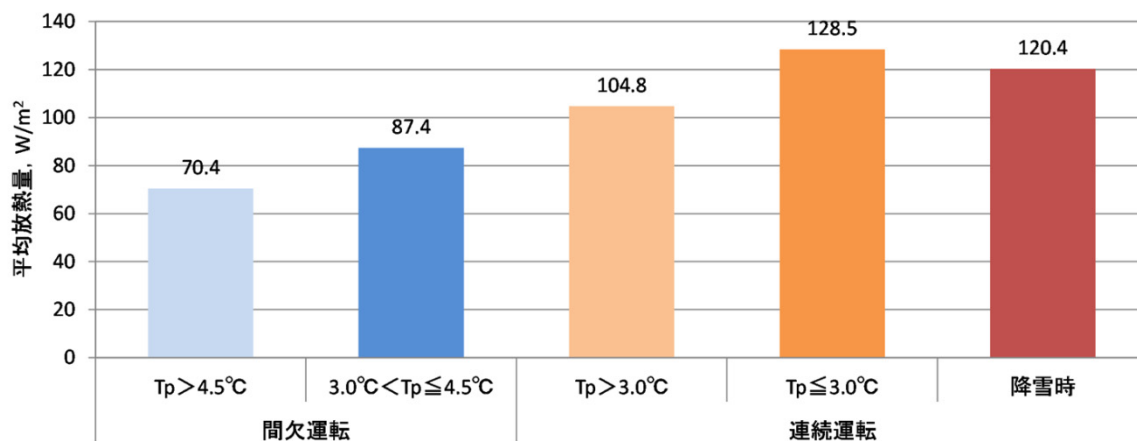


図 V-5 運転条件別放熱量※ T_p : 舗装温度

2.2. 採熱性能の評価

高熱性能採熱管の熱交換性能については、観測データのなかから全採熱管が着水した状態で、以下の条件もそろったときの総括熱伝達係数と従来方式の採熱管の総括熱伝達係数を比較した。

(総括熱伝達係数算定条件)

- ・ 降雪時間帯付近であること
- ・ 路面温度が低く、放熱時であること（路面温度が低くかつ温度低下時）
- ・ 下水温度が安定していること

(ex: 急激な下水温上昇は総括熱伝達係数が見かけ上小さくなる)

- ・ 下水水位が安定していること（採熱管が全て着水していること）

図 V-6 に採熱性評価結果を示す。高熱性能採熱管の熱交換性能を示す総括熱伝達係数は目標の 90W/m^2 を上回る 94.6W/m^2 であり、既存技術 (70W/m^2) に対して 1.35 倍の性能向上を確認できた。本年は降雪がほとんどなかったためデータ数が少ないこと、データのバラツキ等も考慮すると、来年度以降で降雪時のデータも確認していくことが望ましい。尚、2.8 における SCOP10 以上を達成するシステム構成の検討では本検討の目標値である 90W/m^2 を用いる。

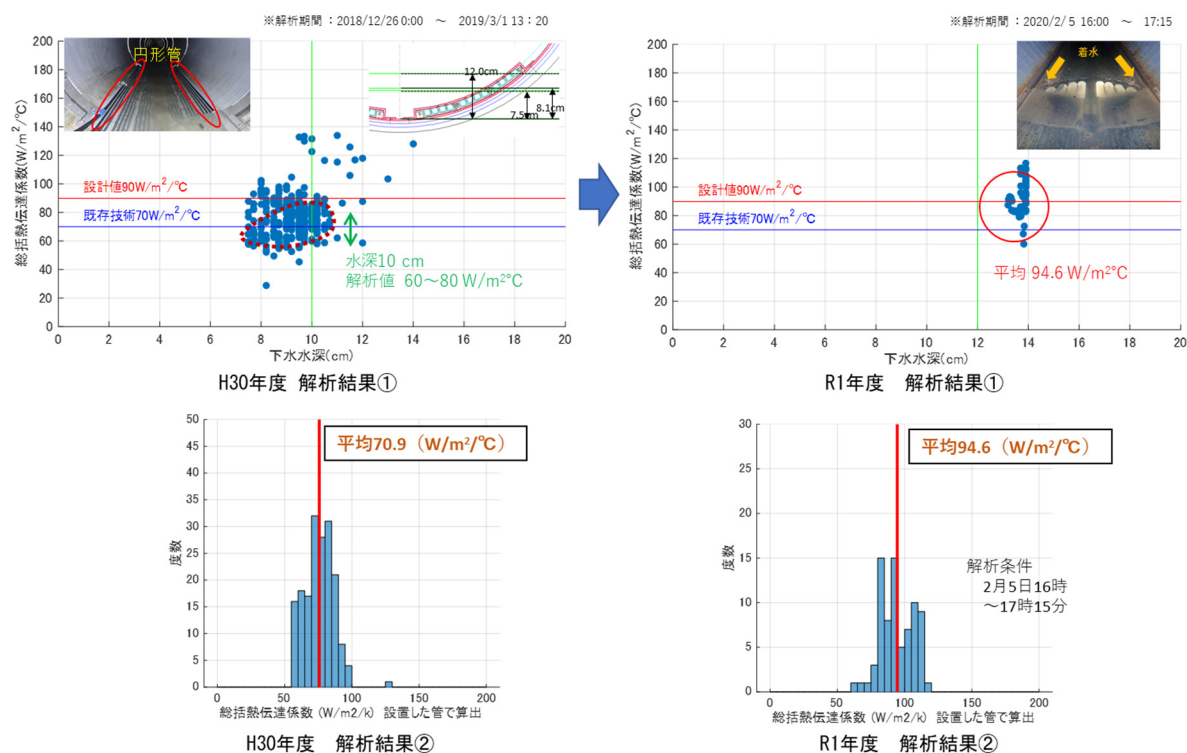


図 V-6 採熱性（総括熱伝達率）評価結果

2.3. 放熱性能の評価

研究では、舗装の熱伝達係数が $21\text{W/m}^2\text{C}$ と解析している。この値を一般的なコンクリート舗装と比較評価するため、放熱管の埋設深度と熱効率を実測値から検証し、既存技術の総括熱伝達係数を実測値に合わせて再計算し、総括熱伝達係数の向上率を検証した。

実証施設施工時に、3D スキャナを使用して放熱管の位置と舗装表面の位置を測定した結果は平均 93 mm であった。また、観測データより融雪時の熱効率はほぼ 1 であったことをふまえて、従来技術の総括熱伝達係数を算出する。

放熱管の平均通水温度算出式を総括熱伝達係数の定義式に組み込むと、

$$\bar{T} = q_u \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i} + T_m$$

$$\bar{T} - T_m = \eta q \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}$$

$$U = \frac{q}{(\bar{T} - T_m)}$$

$$= \frac{q}{\eta q \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}$$

$$= \frac{1}{\eta \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}$$

λ	: 舗装の熱伝導率	$\text{W/m}^\circ\text{C}$
l_1	: 放熱管中心から路面までの最長距離	m
l_2	: 放熱管中心から路面までの最短距離	m
a'	: 1 ユニット当たり放熱面積	m^2
λ_p	: 放熱管の熱伝導率	$\text{W/m}^\circ\text{C}$
l	: 1 ユニット当たり放熱管長さ	m
d_o	: 放熱管外径	m
d_i	: 放熱管内径	m
T_m	: 路面温度	$^\circ\text{C}$
T	: 平均通水温度	$^\circ\text{C}$
q_u	: 上部放熱量	W/m^2
q	: 単位面積当たり必要熱量	W/m^2
H	: 熱効率	
U	: 総括熱伝達係数	$\text{W/m}^2\text{C}$

施設の設計条件および放熱管の平均埋設深度、融雪時の熱効率を代入し、従来技術の総括熱伝達係数は、

$$U = \frac{1}{\eta \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}} = \frac{1}{1.0 \times \frac{0.1195 + 0.093}{2 \times 1.6} + \frac{13.8}{2 \times 3.14 \times 16 \times 92} \cdot \ln \frac{0.0217}{0.0177}}$$

$$= 15.0 [\text{W/m}^2\text{C}]$$

と求められる。

研究時に測定した実証施設の総括熱伝達係数 $21\text{ W/m}^2\text{C}$ より、放熱性能向上率は、

$$21 \div 15.0 = 1.4 \quad \underline{\text{放熱性能向上率 } 40 \%}$$

となる。

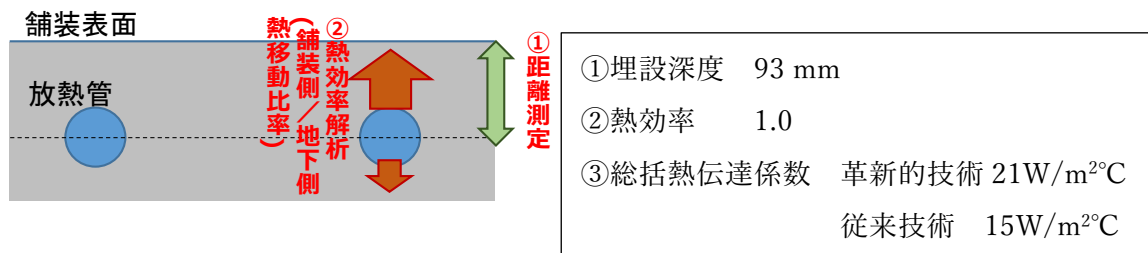


図 V-7 放熱性能向上率検証結果（融雪時・熱効率 1.0 、埋設深度 93 mm ）

2.4. 片押し対向流方式の評価

実証研究で採用した片押し対向流方式と既存技術で用いられていた折り返し方式による熱交換量の違いを試算し、評価した。

表 V-2 に評価結果を示す。採熱延長が短くなる分、採熱温度差は 30% 縮小するが、流量が 2 倍に増えることで、採熱量で 40%以上の増加を見込むことができる結果が得られた。

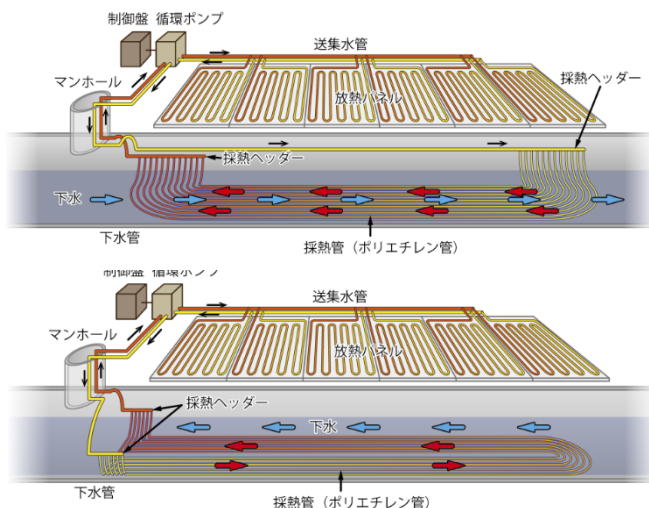


図 V-8 上：片押し方式、下：折り返し方式

表 V-2 片押し方式による採熱量向上効果の試算例

		革新的技術	既存技術
		高採熱管	高採熱管
		対向流方式	折り返し方式
採熱管本数	本	24	12
採熱管延長	m	91.8	183.6
熱源水流量	L/min	155.0	77.5
下水温度	°C	10.0	10.0
採熱管往温度	°C	5.33	5.33
採熱管戻温度	°C	8.19	9.39
温度差	°C	2.86	4.06
総括熱伝達率	W/m ²	97.9	97.9
採熱量	kW	28.4	20.2

青字：実験値
(分析期間の平均値)
赤字：計算値

UP率	%	40.9
-----	---	------

2.5. 遅い熱源水流速の評価

①評価方法

遅いブランチ流速の評価はシステム COP で行う。算定式を式 2-1 に示す。

分析は、観測結果より 30 分以上運転した期間について、間欠運転、連続運転それぞれの COP の整理を行った。

また、遅い熱源水流速の採用により放熱パネル内の融雪能力に差が生じる可能性が懸念された。これに対し実施した放熱管敷設方法に関する評価も合わせて行った。

$$\text{成績係数 (COP)} = \frac{\text{熱交換量 (融雪能力)}}{\text{消費エネルギー}} \quad \text{式 2-1}$$

②分析・評価

間欠運転、連続運転それぞれの COP 分析結果を図 V-9 に、運転条件ごとの平均 COP を図 V-10、表 V-3 に示す。分析の結果、間欠運転では下水温度と路面温度センサの温度差が約 3 °C、連続運転では温度差が約 5 °C の時に COP10 を達成していた。また、期間全体の平均 COP および降雪時 COP は 13.9、路面温度 3°C 以下の連続運転時 COP は 13.2 という結果が得られた。

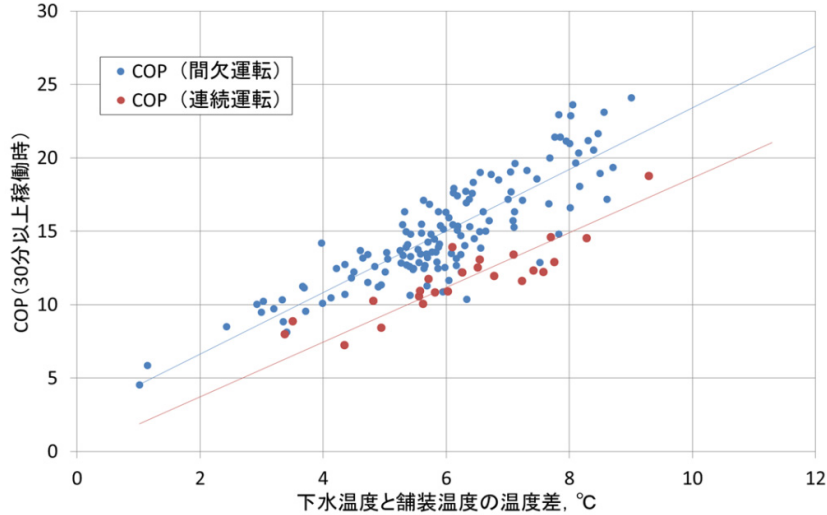


図 V-9 COP と下水－舗装温度差の解析結果

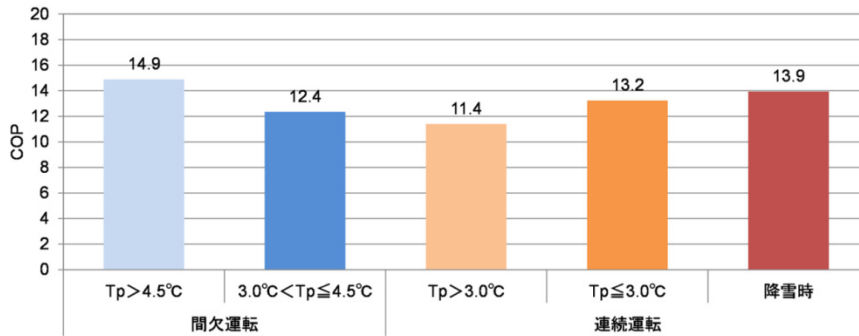


図 V-10 システム COP 分析結果

表 V-3 運転条件別平均システム COP

運転状況		間欠運転	連続運転
運転条件別の平均		14.0	13.5
路面温度 T_p	$4.5\text{ °C} > T_p$	14.9	—
	$3.0\text{ °C} \leq T_p \leq 4.5\text{ °C}$	12.4	—
	$T_p > 3.0\text{ °C}$	—	11.4
	$T_p \leq 3.0\text{ °C}$	—	13.2
降雪時		—	13.9
全期間平均		13.9	

2.6. 事業性評価

本実証施設と温水ボイラーおよび電熱ヒーターの総費用について解析し、従来技術であるボイラー融雪施設、その他比較技術である電熱ヒーティングと比較を行った。算定結果を表 V-4、表 V-5 に示した。

札幌において、最大負荷 25 kW 級の各融雪設備を導入し、年に 2000 時間の運転をした場合、総費用（年価換算値）は本システムが 1,247 千円/年、ボイラー利用式従来技術が 1,696 千円/年、電熱ヒーターが 2,598 千円/年となり、対ボイラー比で 26.4 %のコスト縮減となった。

同様に新潟で 1000 時間運転した場合は、本システムが 1,501 千円/年、ボイラー利用式従来技術が 1,724 千円/年、電熱ヒーターが 2,019 千円/年となり、12.9 %の縮減となった。運転時間や対象とする融雪面積によって差はあるものの、目標としていた総費用の 10 %以上の削減を達成できる結果が得られた。

表 V-4 総費用検討結果（運転時間 2000 h、札幌）

評価項目	単位	革新的技術 ※本研究 A	従来技術 ※ボイラー利用 B	比較技術 ※電熱ヒーター C	コスト縮減割合 ※対ボイラー比 (B-A) / B%
建設費①	(千円)	51,000	21,000	27,000	—
維持管理費②	(千円/年)	227	1,276	2,058	—
総費用①÷50+②	(千円/年)	1,247	1,696	2,598	26.4%

表 V-5 総費用検討結果（運転時間 1000 h、新潟）

評価項目	単位	革新的技術 ※本研究 A	従来技術 ※ボイラー利用 B	比較技術 ※電熱ヒーター C	コスト縮減割合 ※対ボイラー比 (B-A) / B%
建設費①	(千円)	67,500	32,000	31,850	—
維持管理費②	(千円/年)	151	1,084	1,382	—
総費用①÷50+②	(千円/年)	1,501	1,724	2,019	12.9%

※建設費には、融雪部・制御部も含んだ金額。下水熱のみ高熱性能コンクリート舗装を計上

2.7. 骨材産地別の舗装熱伝導率

①骨材産地選定

普及拡大に向けて安価で入手しやすい高熱伝導舗装を検討するため、実証研究で骨材に利用した珪石について、各産地別の熱伝導率試験と車道用舗装としての強度確認として曲げ強度試験を行った。本研究は融雪利用であることから、積雪寒冷地域に近い珪石鉱山から、図 V-11 に示す三河産、いわき産、青森産を選定した。



図 V-11 珪石・珪砂産地位置図※北海道は産地なし
(地図出典元：国土交通省国土地理院 地理院地図)

②曲げ強度試験・熱伝導率測定結果

本研究の舗装コンクリートサンプルと平成 28 年度に行った予備調査における試験練りサンプルの熱伝導率測定結果を、図 V-12 に示す。

研究した各地の珪石入りコンクリート舗装の熱伝導率は、多少ばらつきがみられたが、平均熱伝導率は $2.49 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ であり、設計採用値である $2.1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ を全て上回っていることが確認できた。また、一部のサンプルは粗骨材のみ珪石を用いたため、珪石の比率が 35%程度で他のサンプルの半分程度のものもあったが、それでも設計採用値の $2.1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ を超える値が得られる場合があることも確認した。

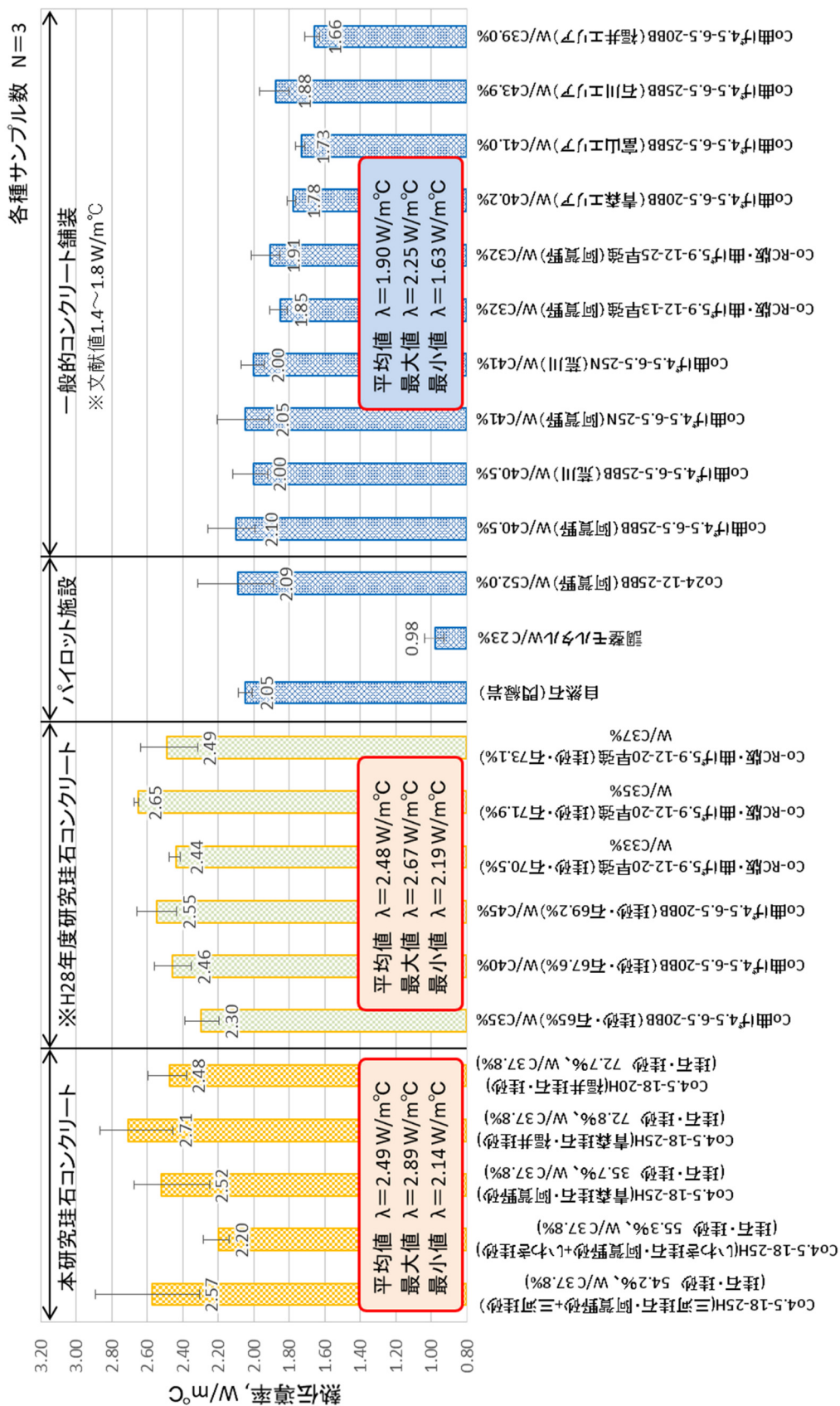


図 V-12 舗装コンクリートサンプル熱伝導率測定結果一覧

2.8. COP10 以上を達成するシステム構成の研究

SCOP (System Coefficient Of Performance) は電力 1kW を使って、どれだけの熱量を融雪に利用できるかを示す尺度であり式 2-2 で計算できる。本施設に必要な電力は不凍液を循環させるポンプの動力のみであるため、SCOP は融雪に利用する熱量をポンプの動力で除したものとなっている。SCOP=10 であれば、消費電力の 10 倍の融雪性能があることを示しており、SCOP が大きいほど省エネ性が高いことを示している。

$$\text{成績係数 (COP)} = \frac{\text{熱交換量 (融雪能力)}}{\text{ポンプ消費電力}} \dots \text{式 2-2}$$

ここで検討した熱源側条件と利用側条件を表 V-6 に示す。

表 V-6 検討パラメータ

熱源側		
下水温度	7.5, 10, 12	°C
下水水位 (20%程度まで)	3 or 4	水準
管径 (内径)	800, 1000, 1500, 2000	mm
利用側		
利用熱量	100, 150, 200	W/m ²
融雪面積	50, 100, 200, 300, 400	m ²

下に融雪負荷 100 W/m² (新潟市想定) の場合の検討結果を示す。図 V-13 は必要な採熱延長で本研究の目標である SCOP が 10 以上になる条件を黒字、緑字で示している。多くの条件で SCOP10 以上を実現できる可能性があることが確認できる。

融雪負荷 100W/m² 想定 (新潟市等)

融雪に必要な放熱部入口最低温度=5.80°C

表中数値は採熱管延長距離(m)

融雪負荷(kW) →			有効採熱管延長(m)																					
			5 kW					10 kW					20 kW					30 kW					40 kW	
地域A			下水温度(°C)																					
必要熱量 100W/m ²			7.5					10					12											
管径 (mm)	下水最低水深 (mm)	採熱管本数 (本)	融雪面積(m ²)																					
			50	100	200	300	400	50	100	200	300	400	50	100	200	300	400							
φ800	55	8	55.1	110.1	220.3	330.4	440.6	27.1	54.1	108.2	162.3	216.4	19.3	38.7	77.3	116.0	154.6							
	90	16	27.5	55.1	110.1	165.2	220.3	13.5	27.1	54.1	81.2	108.2	9.7	19.3	38.7	58.0	77.3							
	145	24	18.4	36.7	73.4	110.1	146.9	9.0	18.0	36.1	54.1	72.1	6.4	12.9	25.8	38.7	51.5							
φ1000	90	16	27.5	55.1	110.1	165.2	220.3	13.5	27.1	54.1	81.2	108.2	9.7	19.3	38.7	58.0	77.3							
	150	24	18.4	36.7	73.4	110.1	146.9	9.0	18.0	36.1	54.1	72.1	6.4	12.9	25.8	38.7	51.5							
	220	32	13.8	27.5	55.1	82.6	110.1	6.8	13.5	27.1	40.6	54.1	4.8	9.7	19.3	29.0	38.7							
φ1500	110	24	18.4	36.7	73.4	110.1	146.9	9.0	18.0	36.1	54.1	72.1	6.4	12.9	25.8	38.7	51.5							
	160	32	13.8	27.5	55.1	82.6	110.1	6.8	13.5	27.1	40.6	54.1	4.8	9.7	19.3	29.0	38.7							
	220	40	11.0	22.0	44.1	66.1	88.1	5.4	10.8	21.6	32.5	43.3	3.9	7.7	15.5	23.2	30.9							
φ2000	130	32	13.8	27.5	55.1	82.6	110.1	6.8	13.5	27.1	40.6	54.1	4.8	9.7	19.3	29.0	38.7							
	170	40	11.0	22.0	44.1	66.1	88.1	5.4	10.8	21.6	32.5	43.3	3.9	7.7	15.5	23.2	30.9							
	230	48	9.2	18.4	36.7	55.1	73.4	4.5	9.0	18.0	27.1	36.1	3.2	6.4	12.9	19.3	25.8							
	300	56	7.9	15.7	31.5	47.2	62.9	3.9	7.7	15.5	23.2	30.9	2.8	5.5	11.0	16.6	22.1							

黒字 COP=10以上 (採熱管本数減、折り返し式等の適正な配管設計な場合)

緑字 COP=10以下、ポンプをインバーター式にすることでCOP改善可能

赤字 適用不可、下水の熱が融雪面積に対して不足 (COP10以下)

図 V-13 融雪負荷 100W/m² 想定 (新潟市等) の採熱延長

同様に、融雪負荷 150W/m²、200W/m²に対する採熱延長の検討結果を以下に示す。

融雪負荷 150W/m² 想定（青森市等）

融雪に必要な放熱部入口最低温度=8.71℃

表中数値は採熱管延長距離(m)

融雪負荷(kW) →			有効採熱管延長(m)															
			7.5 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	7.5 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	7.5 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	
地域B			下水温度(°C)															
必要熱量 150W/m ²			7.5					10					12					
管径 (mm)	下水最低水深 (mm)	採熱管本数 (本)	融雪面積(m ²)															
			50	100	200	300	400	50	100	200	300	400	50	100	200	300	400	
Φ800	55	8							84.1	168.3	336.5	504.8	673.0	44.4	88.8	177.7	266.5	355.4
	90	16							42.1	84.1	168.3	252.4	336.5	22.2	44.4	88.8	133.3	177.7
	145	24							28.0	56.1	112.2	168.3	224.3	14.8	29.6	59.2	88.8	118.5
Φ1000	90	16							42.1	84.1	168.3	252.4	336.5	22.2	44.4	88.8	133.3	177.7
	150	24							28.0	56.1	112.2	168.3	224.3	14.8	29.6	59.2	88.8	118.5
	220	32							21.0	42.1	84.1	126.2	168.3	11.1	22.2	44.4	66.6	88.8
Φ1500	110	24							28.0	56.1	112.2	168.3	224.3	14.8	29.6	59.2	88.8	118.5
	160	32							21.0	42.1	84.1	126.2	168.3	11.1	22.2	44.4	66.6	88.8
	220	40							16.8	33.7	67.3	101.0	134.6	8.9	17.8	35.5	53.3	71.1
Φ2000	130	32							21.0	42.1	84.1	126.2	168.3	11.1	22.2	44.4	66.6	88.8
	170	40							16.8	33.7	67.3	101.0	134.6	8.9	17.8	35.5	53.3	71.1
	230	48							14.0	28.0	56.1	84.1	112.2	7.4	14.8	29.6	44.4	59.2
	300	56							12.0	24.0	48.1	72.1	96.1	6.3	12.7	25.4	38.1	50.8

- 黒字 COP=10以上（採熱管本数減、折り返し式等の適正な配管設計な場合）
- 緑字 COP=10以下、ポンプをインバーター式にすることでCOP改善可能
- 赤字 適用不可、下水の熱が融雪面積に対して不足（COP 10以下）
- 適用不可 適用不可、下水温度が融雪温度に対して不足

図 V-14 融雪負荷 150 W/m² 想定（青森市等）の採熱延長

融雪負荷 200W/m² 想定（札幌市等）

融雪に必要な放熱部入口最低温度=11.61℃

表中数値は採熱管延長距離(m)

融雪負荷(kW) →			有効採熱管延長(m)																		
			10 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	10 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	10 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW				
地域C			下水温度(°C)																		
必要熱量 200W/m ²			7.5					10					12								
管径 (mm)	下水最低水深 (mm)	採熱管本数 (本)	融雪面積(m ²)																		
			50	100	200	300	400	50	100	200	300	400	50	100	200	300	400				
Φ800	55	8															179.0	357.9	715.8	1073.6	1431.3
	90	16															89.5	179.0	357.9	536.9	715.8
	145	24															59.7	119.3	238.6	357.9	477.2
Φ1000	90	16															89.5	179.0	357.9	536.9	715.8
	150	24															59.7	119.3	238.6	357.9	477.2
	220	32															44.7	89.5	179.0	268.4	357.9
Φ1500	110	24															59.7	119.3	238.6	357.9	477.2
	160	32															44.7	89.5	179.0	268.4	357.9
	220	40															35.8	71.6	143.2	214.8	286.3
Φ2000	130	32															44.7	89.5	179.0	268.4	357.9
	170	40															35.8	71.6	143.2	214.8	286.3
	230	48															29.8	59.7	119.3	179.0	238.6
	300	56															25.6	51.1	102.3	153.4	204.5

- 黒字 COP=10以上（採熱管本数減、折り返し式等の適正な配管設計な場合）
- 緑字 COP=10以下、ポンプをインバーター式にすることでCOP改善可能
- 赤字 適用不可、下水の熱が融雪面積に対して不足（COP 10以下）
- 適用不可 適用不可、下水温度が融雪温度に対して不足

図 V-15 融雪負荷 200 W/m² 想定（札幌市等）の採熱延長

3. 実証研究成果まとめ

本研究成果をまとめると表 V-7 のとおりとなり、事業性で目標としていた LCC および COP の達成のほか、当初想定していた革新的技術の性能についても目標どおり達成することができた。

表 V-7 本研究における事業と各革新的技術の目標達成状況

評価対象		既存技術での計算・設計値と 実証施設での目標値	研究結果	達成 状況*
事業性	LCC (総費用)	従来技術から 10%以上の縮減 ※ボイラ利用と比較	12.9~26.4 %	◎
	COP	目標：10 以上	全期間平均 13.9	◎
革新的技術の 性能評価	①高熱性能 採熱管 の採用	・既存技術での計算値 総括熱伝達係数 70 W/m ² °C ・実証施設での目標値 総括熱伝達係数 90 W/m ² °C (従来採熱管から 30%の向上)	総括熱伝達係数 約 94.6 W/ (m ² ・°C) (35%の向上)	◎
	②高熱性能 舗装 の採用	・既存技術での設計値 総括熱伝達係数 15.0 W/m ² °C ※実埋設深度、実熱効率 1 での値 ・実証施設での目標値 従来舗装から 30%の向上	総括熱伝達係数 約 21 W/m ² °C (40%の向上) ※実施工深度で 比較した場合	◎
	③片押し 方式の 効率的な 熱交換	・既存技術での計算値 20.4 kW ・実証施設での目標値 25.5 kW (折返し方式比 25%採熱量向上)	採熱量 28.4 kW (40.9%の向上)	◎
	④遅い熱源水 流速での 電力負荷 低減	・既存技術での計算値 5.5 kW のポンプ負荷 ・実証施設での目標値 2.5 kW 未満のポンプ負荷 (融雪必要熱量 25.5 kW)	2.2 kW の ポンプ負荷 (60%縮減) ※COP10 達成寄与	◎

※◎：達成、×：未達成

VI. その他（問い合わせ先）

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、下記をお願いします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	下水道研究部 下水道研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL: 029-864-3933 FAX: 029-864-2817 URL: http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/index.htm
----------------------	---

本書は、下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)により国土交通省国土技術政策総合研究所が下記の企業・団体に研究委託を行い、その成果を取りまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

株式会社興和	水工部 〒950-8565 新潟県新潟市中央区新光6番地1 TEL: 025-281-8816 FAX: 025-281-8835 URL: https://www.kowa-net.co.jp/
積水化学工業株式会社	環境・ライフラインカンパニー 〒105-8566 東京都港区虎ノ門2丁目10番4号 (オークラプレステータワー) TEL: 03-5521-0551 FAX: 03-5521-0599 URL: https://www.sekisui.co.jp/
新潟市	下水道部 下水道計画課 〒951-8550 新潟県新潟市中央区学校町通1番町602番地1 TEL: 025-226-2979 FAX: 025-228-2209 URL: https://www.city.niigata.lg.jp/index.html

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No.1158

March 2021

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675