

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。

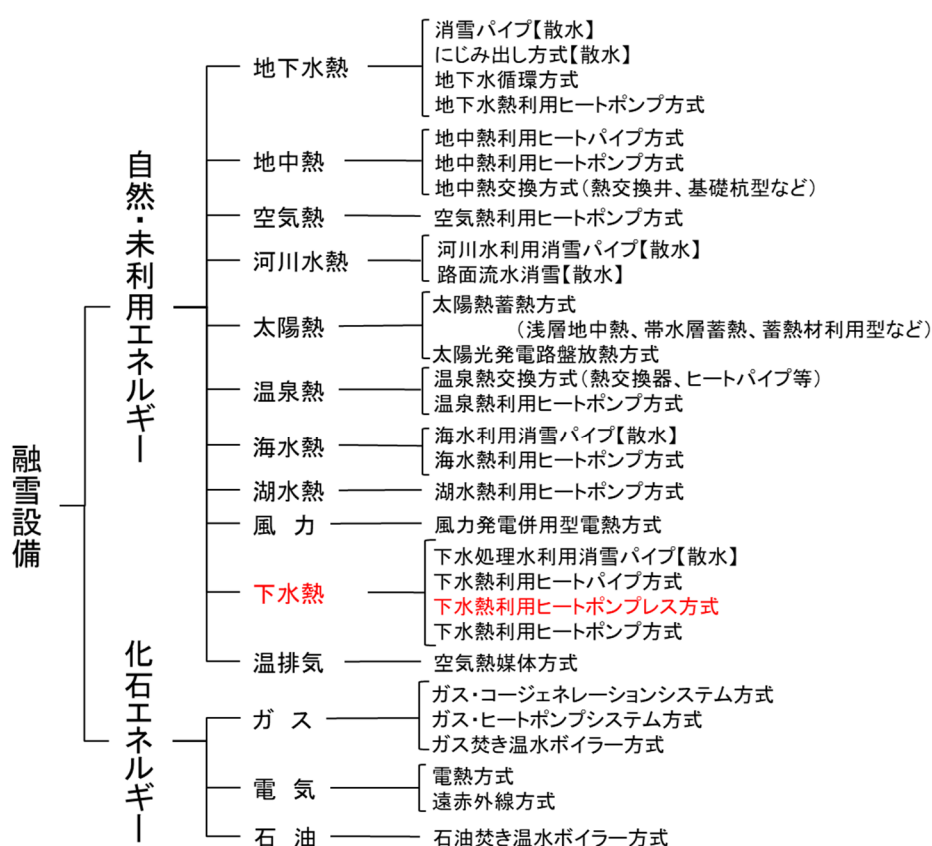


図 2-1 融雪設備の分類例※散水方式含む分類

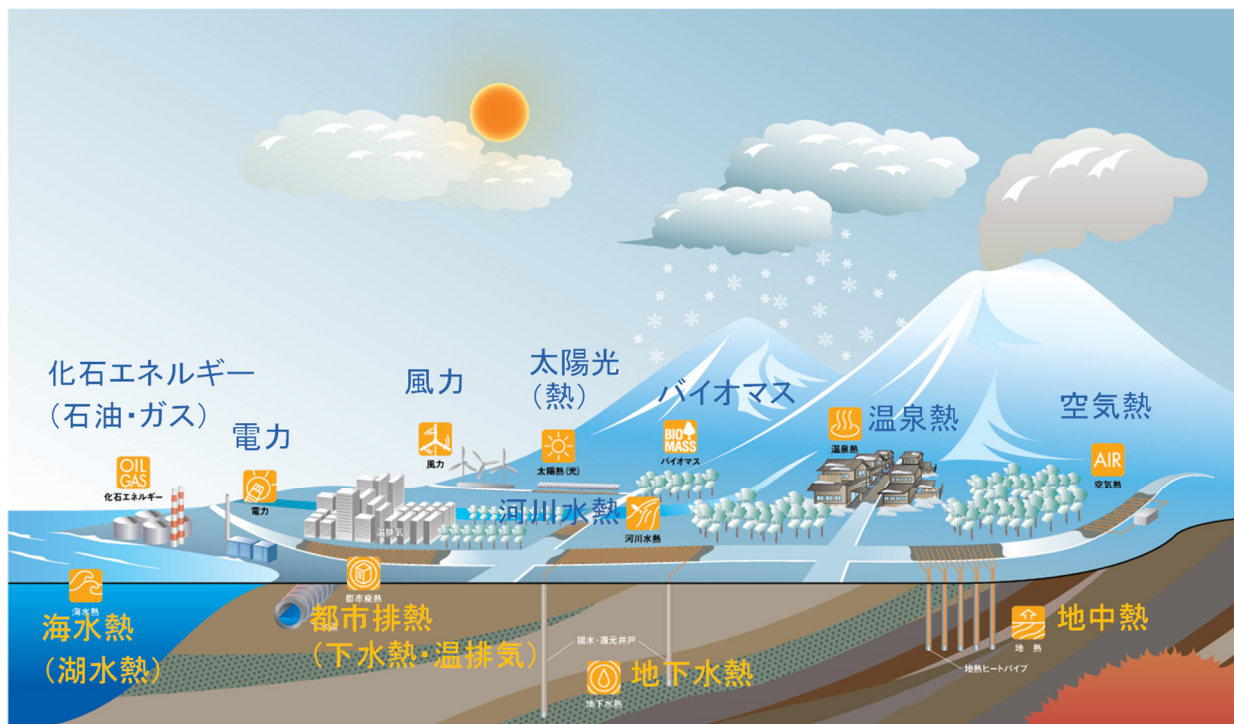


図 2-2 融雪設備の熱源イメージ

※ (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以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。

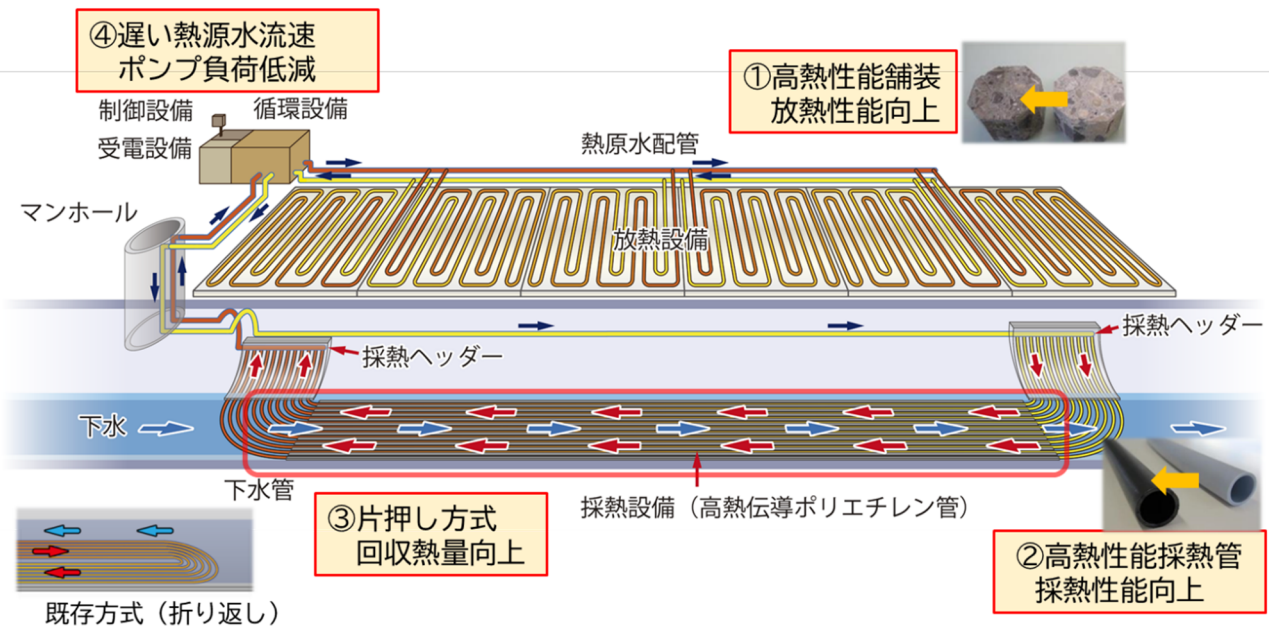


図 2-3 システム導入イメージ※①～④が本技術の特長

(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	プラスチックー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。

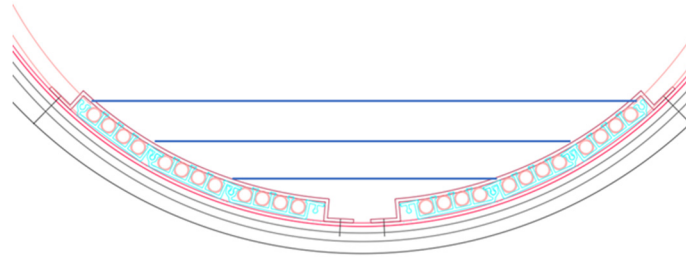


図 2-4 採熱管設置と下水水深の関係 ※4本単位のイメージ

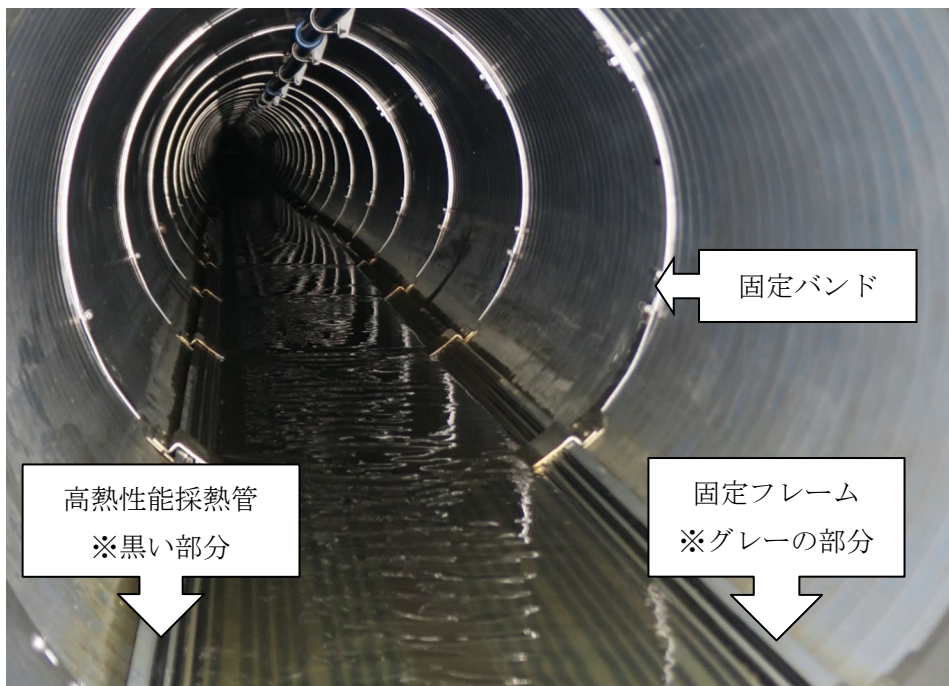


写真 2-3 採熱管の固定例（実証研究施設の例）

(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。

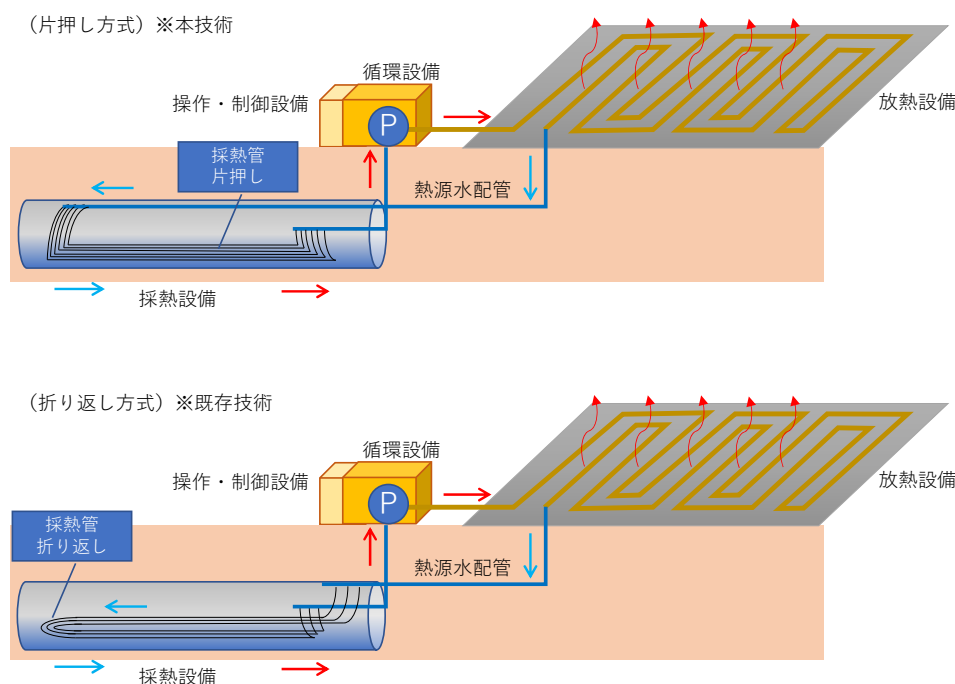
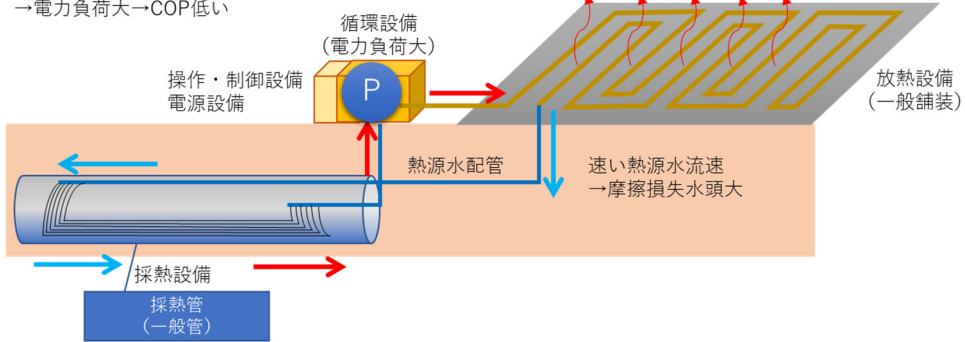


図 2-5 本技術の採熱方式(上)と既存技術の採熱方式(下)の違い

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

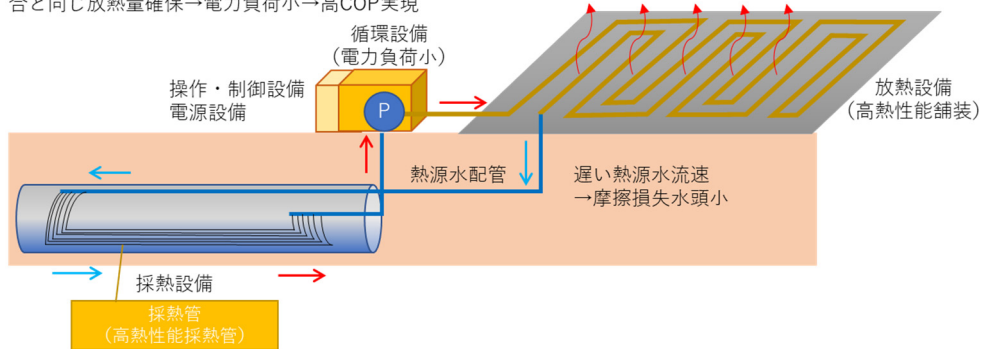


図 2-6 遅い熱源水流速採用の効果

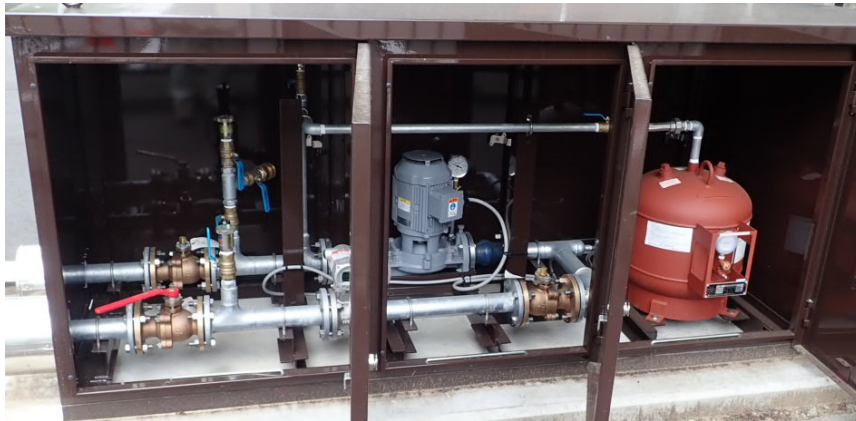


写真 2-4 循環設備の一例（実証研究施設の例）
 （写真内：中央奥=循環ポンプ、右=膨張タンク、左=調整バルブ）

(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⁹⁾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%