

## 第2章 技術の概要及び評価

### §5 本技術の目的

本技術は、口径 250 mm 以上かつ 800 mm 以下の下水道管路を対象に、更生工事と同時に採熱管を設置し、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で、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、電熱方式や石油焚き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）。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 への取組み等から、今後はエネルギー及び温室効果ガスに配慮した施設の導入が重要となる。

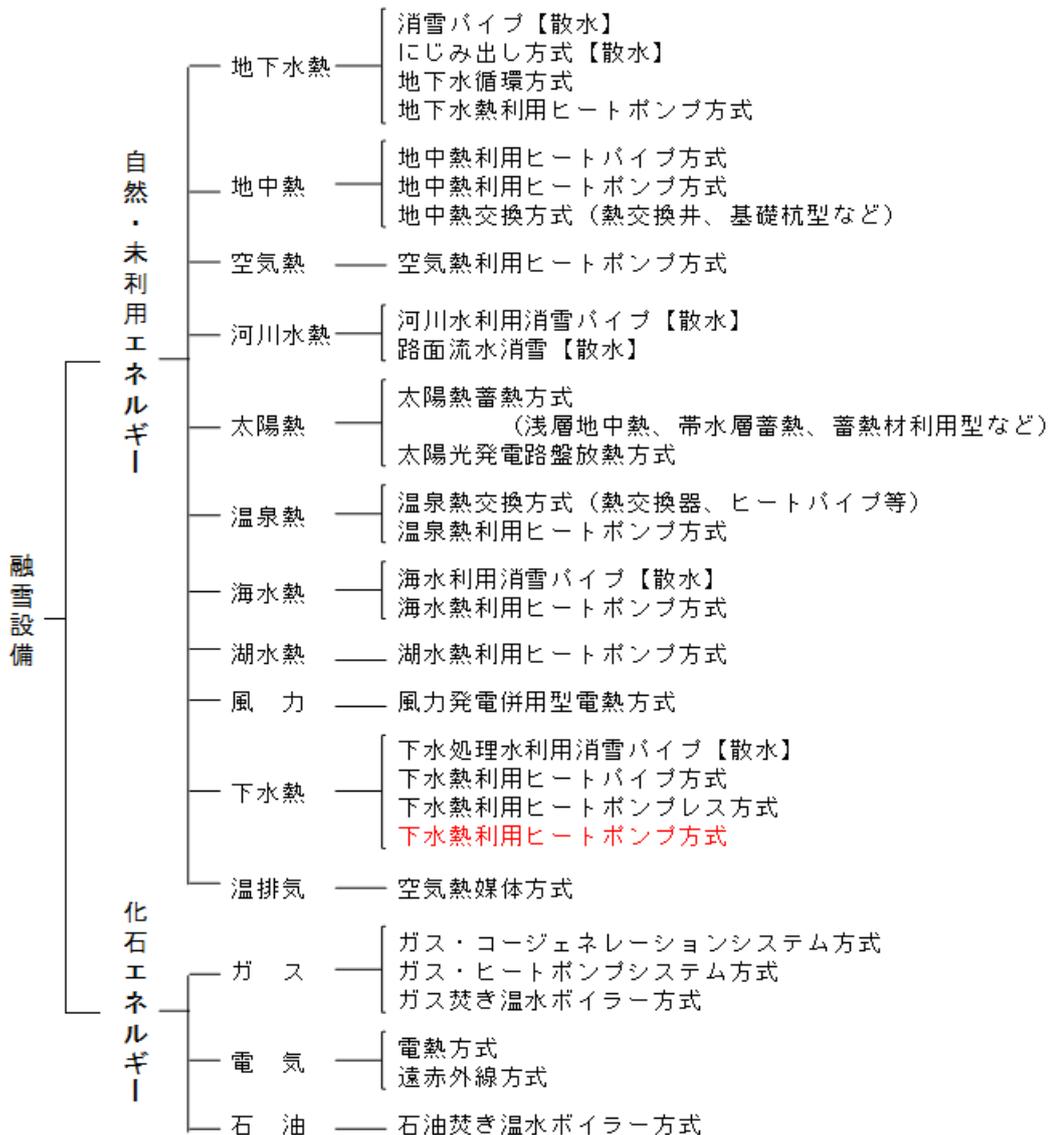


図 2-1 融雪設備の例<sup>1)</sup>

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た技術であり、図 2-1 の「下水熱利用ヒートポンプ方式」に該当する。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<sup>2)</sup>。このため、従来技術に比較して、融雪に要するコスト、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。さらに、口径 250 mm 以上かつ 800 mm 以下の下水道管路の更生工事と同時に採熱管の設置を行うことで、これまで難しかった口径 800 mm 以下での下水熱の利用を可能にするるとともに、採熱管の設置に掛かるコストを削減することが可能である。

## §6 本技術の適用条件

本技術は、下水道管路の更生にあわせて導入する技術であり、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】

#### (1) 融雪箇所

本技術における融雪対象は車道とする。なお、交差点付近や横断歩道、片側一車線の一部区間等凍結しやすく安全性を確保したい、比較的狭い範囲での活用が効果的である。

#### (2) 採熱設備を設置する下水道管路

本技術は、口径 250 mm 以上かつ 800 mm 以下の下水道管路を対象に、更生工事と同時に採熱管を設置する場合に適用可能な技術である。したがって、採熱設備の設置予定箇所において、老朽化対策等として管路更生を別途検討している必要がある。

## §7 本技術の内容

本技術は、下水道管路内に更生工事と同時に設置する採熱管によって、下水熱を回収するとともに、自動制御を用いてヒートポンプ運転とヒートポンプレス運転とを効率的に切り替え、道路融雪を行うものである。以下の設備から構成される。

- (1) 放熱設備
- (2) 採熱設備
- (3) 操作・制御設備

### 【解説】

本技術は、熱源として下水熱を利用するとともに、ヒートポンプ運転とヒートポンプレス運転とを複数のセンサ感知により自動的に判断し、融雪を行うシステムである。具体的には、下水熱のみで融雪を行うヒートポンプレス運転を優先し、ヒートポンプレス運転では融雪が困難な条件となった場合のみヒートポンプ運転を実施することで、従来技術に対し、コスト、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ができる。

本技術の導入イメージを図 2-2 に示す。採熱管の設置は管路更生工事と合わせて実施する必要がある。実証研究の更生工事には、日本下水道新技術機構「建設技術審査証明 下水道管きよの更生工法（自立管）-形成工法- アルファライナー工法」を採用した。

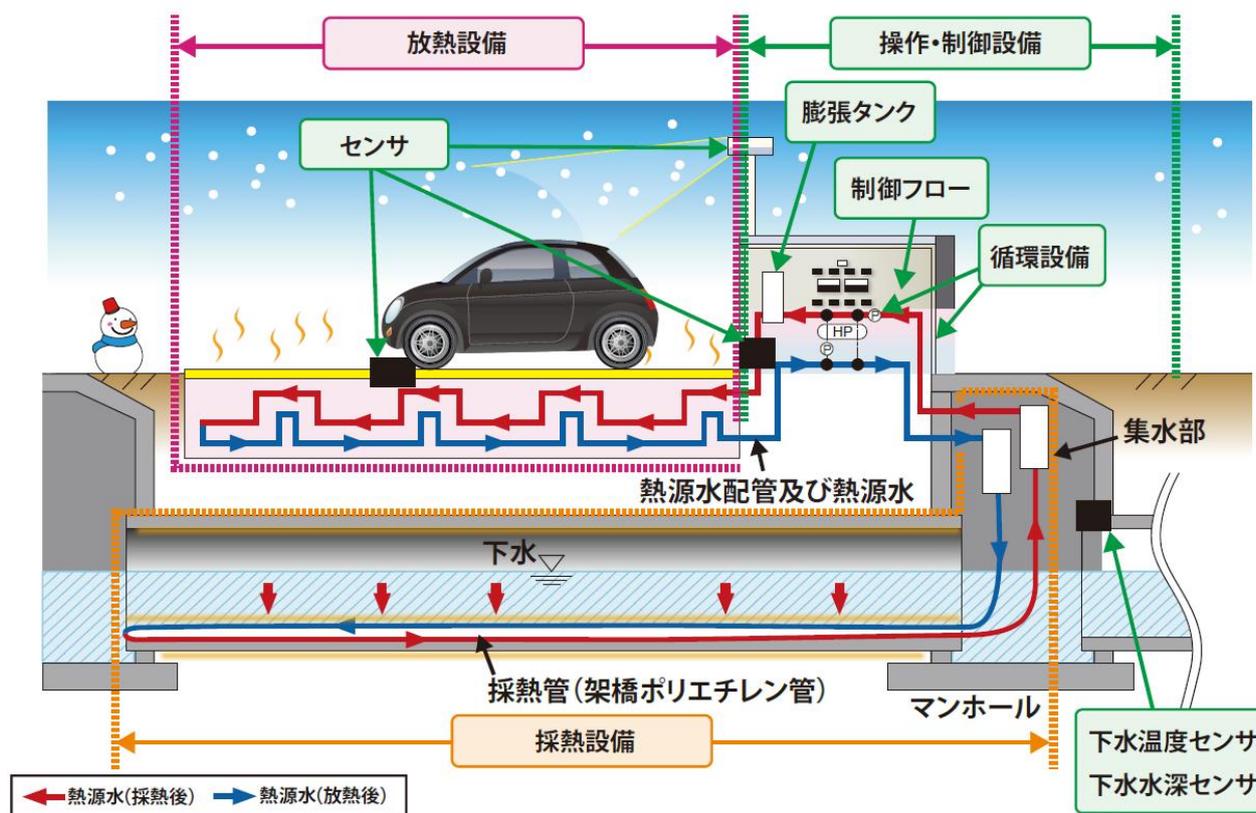


図 2-2 システム導入イメージ

### (1) 放熱設備

放熱設備とは、回収した熱源を融雪に活用する設備であり、放熱管が該当する。放熱管は設備内に埋設された小口径の金属管や樹脂管のことである。本技術ではヒートポンプを採用することで、電気

エネルギーにより低温の熱源（回収した下水熱）から高温の熱をつくり、大きな熱エネルギーとして融雪に適した温度で利用できる。参考までに実証研究で採用した仕様について表 2-1 に示す。また、具体的な設計については § 15 放熱設備の設計に示す。なお実証研究では、熱伝導性の観点から樹脂管ではなく金属管を用いることとし、引張強度の高さに加え腐食（錆）に対する耐性を考慮しステンレス管を採用した。

表 2-1 実証研究で採用した放熱管

項目	仕様
管種	ステンレス鋼管
寸法	内径 0.0143m、外径 0.0159m、管厚 0.0008m
熱伝導率	16.0 W/m°C
口径	15A (JIS G 3444)

## (2) 採熱設備

採熱設備とは、下水から熱を回収するための設備であり、採熱管及び集水部から構成される。採熱管は下水から熱を回収するために下水道管路内に設置し（図 2-3）、集水部は回収した熱を集約する目的でマンホール内に配置する。

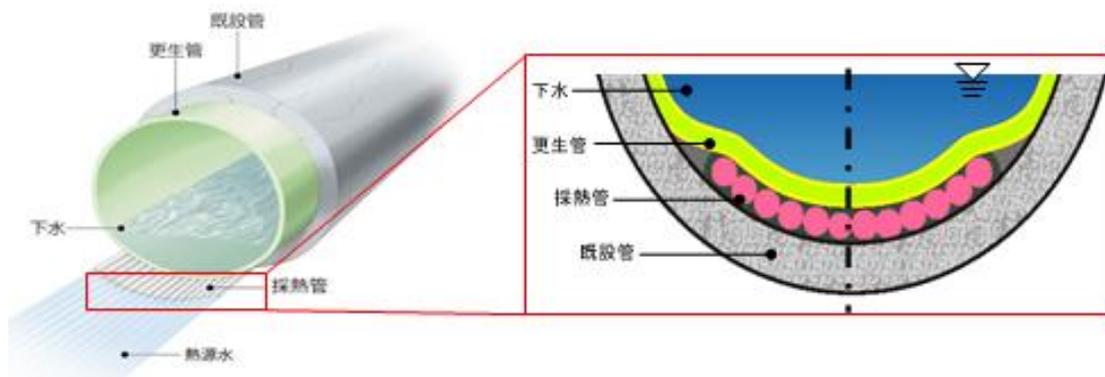


図 2-3 採熱管概略図（左：全体図、右：拡大図）

### ①採熱管

本技術では、管路更生工事と同時に採熱管を設置する。そのため、本技術で使用する採熱管が設置可能である更生工法を採用する必要がある。実証研究では、アルファライナー工法を採用し、採熱管は架橋ポリエチレン管を、熱源水配管はポリブテン管を採用した。その仕様を表 2-2 に示す。

表 2-2 実証研究で採用した採熱管及び熱源水配管の仕様

項目	仕様		
	採熱管：架橋ポリエチレン管	熱源水配管：ポリブテン管	
寸法	内径 0.010m 外径 0.013m 管厚 0.0015m	採熱側 内径 0.030m 外径 0.037m 管厚 0.00355m	放熱側 内径 0.025m 外径 0.031m 管厚 0.0029m
熱伝導率	0.35 W/m°C	—	—

採熱管は、写真2-1のとおりマット状に加工を行い、下水道管路内に引き込んで、更生工事と同時に固定した。



写真2-1 実証研究で採用したマット状の採熱管（左）及び熱源水配管（右）

## ②集水部

放熱管と採熱管の口径や本数が異なる場合は、放熱管と採熱管を連結する熱源水配管と接続するために、必要に応じて写真 2-2 のような集水部を設置する。なお、集水部の材質は放熱性の低いものが望ましい。

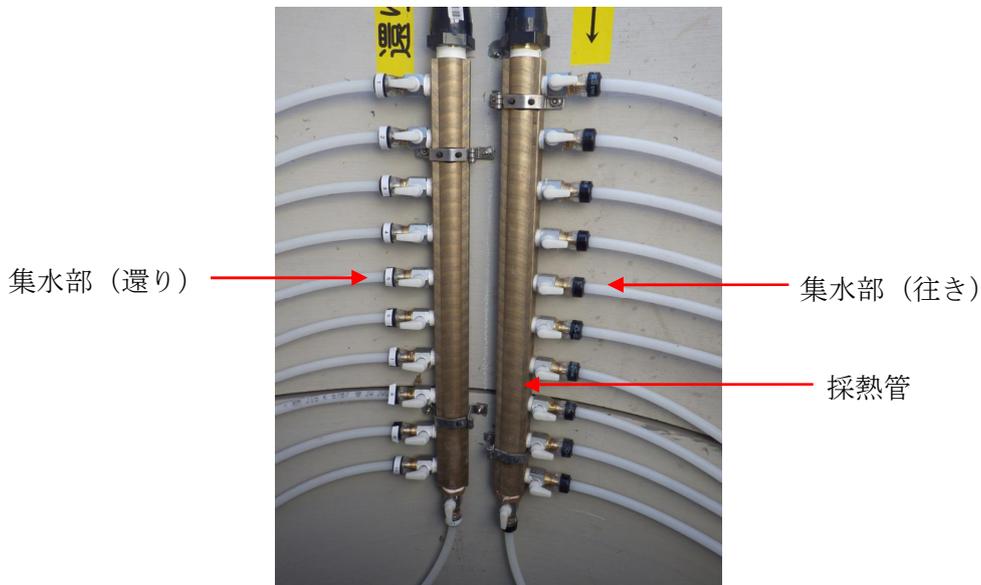


写真 2-2 マンホール内での集水部の設置例

## (3) 操作・制御設備

操作・制御設備とは、図 2-2 に示すシステムを操作・制御するための設備であり、図 2-4 に示す①制御フロー、②センサ、③循環設備で構成される。本設備は、自動制御を用いており、制御フローと呼ぶプログラムによって施設を運転する。

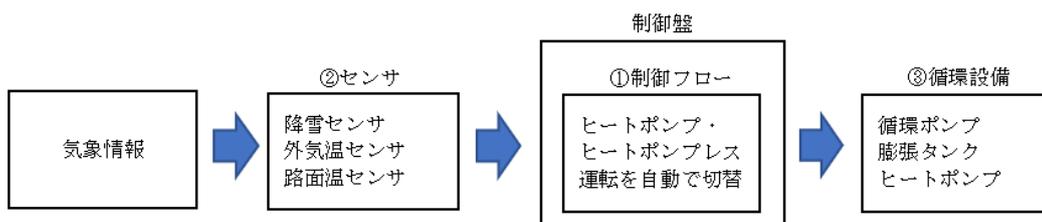


図 2-4 操作・制御設備の構成

## ①制御フロー

制御フローとは、機械がセンサから得た情報をもとに自動的に運転を制御するためのプログラムのことである。具体的には、ヒートポンプ運転とヒートポンプレス運転との切替え判断や、施設自体の運転の開始・停止をプログラムしたものである。

具体的な制御フローの構築方法については、**§ 17 操作・制御設備の設計**に示す。

制御フローは、機械を制御する電気制御機器や電気部品を収納した制御盤の内部に組み込まれる。制御盤は、運転状況を目視で確認でき、手動で運転の切替え操作が可能であることが必要である。

計測記録を蓄積できる仕様にするのが望ましい。実証研究では**写真 2-3**に示す外観の制御盤を設置した。



写真 2-3 制御盤の設置例（制御盤面）

## ②センサ

本技術で必要なセンサは、降雪センサ、外気温度センサ、路面温度センサ、熱源水温度センサ、熱源水圧力センサ、下水温度センサ、下水水深センサであり詳細を以下に示す。具体的なセンサの選定については、**§ 17 操作・制御設備の設計**に示す。

### ・降雪センサ

降雪センサは、降雪の有無による自動運転制御のために設置する。使用する降雪センサは、設置予定の現地条件等を考慮して選定する。実証研究で用いた機器の仕様を**表 2-3**に示す。

表 2-3 実証研究で採用した降雪センサ

項目	仕様
適用範囲	-10～40 ℃
雪片数のカウント数	3～100 個
計測間隔	1～15 min
計測方式	非接触式（光型）

- ・外気温度センサ

外気温度センサは、外気温度による自動運転制御のために設置する。使用する外気温度センサの形状は問わず、設置予定の現地条件等を考慮して選定する。実証研究で用いた機器の仕様を表 2-4 に示す。

表 2-4 実証研究で採用した外気温度センサ

項目	仕様
適用範囲	-10～90 °C
精度	±0.30 °C
計測方式	接触式（白金抵抗素子）

- ・路面温度センサ

路面温度センサは、路面温度による自動運転制御及び路面への放熱量を管理するために必要に応じて設置する。使用する路面温度センサは、設置予定の現地条件等を考慮して選定する。実証研究で用いた機器の仕様を表 2-5 に示す。

表 2-5 実証研究で採用した路面温度センサ

項目	仕様
適用範囲	-10～90 °C
精度	±0.15 °C
計測方式	接触式（白金抵抗素子）

- ・熱源水温度センサ

熱源水温度センサは、下水からの採熱量及び路面への放熱量を管理するために必要に応じて設置する。使用する熱源水温度センサは、設置予定の現地条件等を考慮して選定する。実証研究で用いた機器の仕様を表 2-6 に示す。

表 2-6 実証研究で採用した熱源水温度センサ

項目	仕様
適用範囲	-10～90 °C
精度	±0.10 °C
計測方式	接触式（白金抵抗素子）

- ・熱源水圧力センサ

熱源水圧力センサは、漏水等の異常が発生すると機械が停止するため、漏水していないことを確認し、施設管理を行うために必要に応じて設置する。使用する熱源水圧力センサは、設置予定の現地条件等を考慮して選定する。実証研究で用いた機器の仕様を表 2-7 に示す。

表 2-7 実証研究で採用した熱源水圧力センサ

項目	仕様
適用範囲	0～1.0 MPa
精度	±0.001 MPa
計測方式	接触式（ダイヤフラム）

- ・下水温度センサ

下水温度センサは、下水からの採熱量を管理するために必要に応じて設置する。使用する下水温度センサは、設置予定の現地条件等を考慮して選定する。実証研究で用いた機器の仕様を表 2-8 に示す。

表 2-8 実証研究で採用した下水温度センサ

項目	仕様
適用範囲	-10～90 °C
精度	±0.1 °C
計測方式	非接触式（赤外線）

- ・下水水深センサ

下水水深センサは、設置した採熱管を満たす水位であることを確認し、下水から得られる熱量を安定的に確保できるよう施設管理するために必要に応じて設置する。使用する下水水深センサは、設置予定の現地条件等を考慮して選定する。実証研究で用いた機器の仕様を表 2-9 に示す。

表 2-9 実証研究で採用した下水水深センサ

項目	仕様
適用範囲	0 mm～満管
精度	±1.0 mm
計測方式	非接触式（超音波）



写真 2-4 屋外でのセンサの設置例（左：降雪センサ、右：外気温度センサ）



写真 2-5 路面温度センサの設置例



写真 2-6 熱源水温度センサの設置例



写真 2-7 熱源水圧力センサの設置例



写真 2-8 下水温度・下水水深センサの設置例  
(マンホール内)

### ③循環設備

循環設備とは、熱源水を融雪設備内に循環する設備であり、写真 2-9 のとおりヒートポンプ、循環ポンプ、膨張タンク、熱源水配管及び熱源水で構成される。各機器の詳細な仕様について以下に示す。具体的な設計については、§ 17 操作・制御設備の設計に示す。

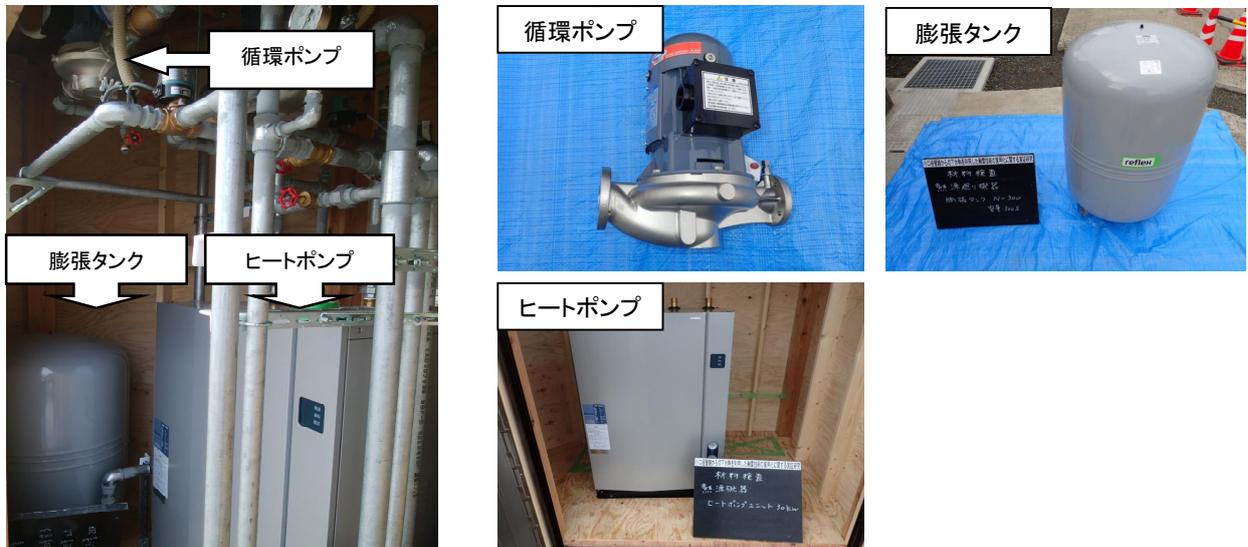


写真 2-9 循環設備の設置例

#### ・ヒートポンプ

ヒートポンプは、現地の降雪量が増加し、ヒートポンプレス運転時に回収した熱だけでは融雪が困難となる場合に、電気エネルギーを利用して熱を温度の低いところから高いところへ移動させる機器設備である。これにより、低温の熱源から高温の熱をつくり大きな熱エネルギーとして利用できる。本技術では水熱源式を用いている。

#### ・循環ポンプ

循環ポンプは、液体である熱源水を融雪設備内に循環させるために送り出す設備であり、採熱設備、放熱設備それぞれに配置する。実証研究で用いた循環ポンプの仕様を表 2-10 に示す。

表 2-10 実証研究で採用した循環ポンプ

	仕様
採熱側吐出量	0～200 ℓ/min
放熱側吐出量	0～100 ℓ/min
採熱側全揚程	5.8～17 m
放熱側全揚程	5.2～14 m
採熱側ポンプ出力	0.15～2.2 kW
放熱側ポンプ出力	0.15～2.2 kW
許容圧力	0.2 MPa

本技術は、図 2-5 に示す循環ポンプを放熱側と採熱側に 1 台ずつ設置するシステムである。ヒートポンプレス運転時には、採熱側に設置する循環ポンプ 1 台のみが稼働することで、下水から回収した熱を直接、放熱設備へ循環する仕組みである。一方、ヒートポンプ運転時には、放熱側と採熱側で分離された配管内にて、それぞれの循環ポンプ 2 台が稼働する 2 系統の仕組みとなる。

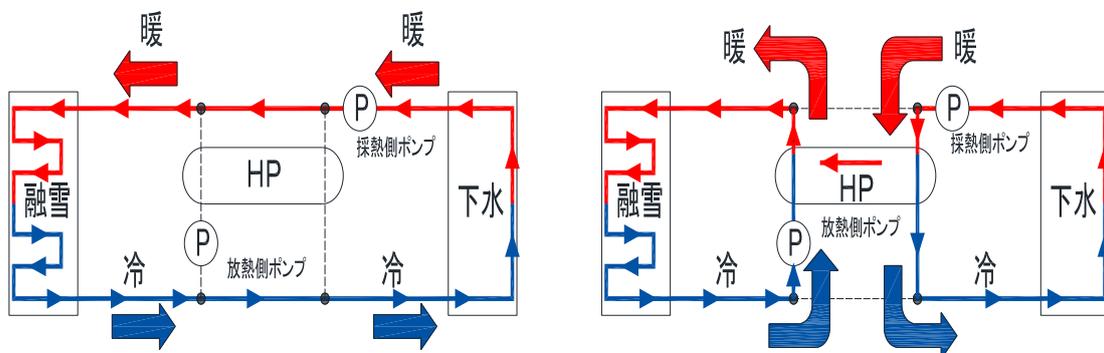


図 2-5 システムの状況（左：ヒートポンプレス運転、右：ヒートポンプ運転）

・膨張タンク

膨張タンクは、熱源水が温度の上昇により体積が膨張するため、配管内の圧力を抑制する目的で設置する。実証研究で用いた膨張タンクの仕様を表 2-11 に示す。

表 2-11 実証研究で採用した膨張タンク

項目	仕様
形式	密閉式
容量	50～600 ℓ
最高圧力	0.2 MPa

・熱源水配管及び熱源水

熱源水配管は、採熱設備と操作・制御設備及び放熱設備とを接続する配管のことで、配管内に熱源水が流れている。また、使用する熱源水は、凍結防止のために不凍液を用いることを原則とする。

## §8 実証研究に基づく本技術の評価

実証研究に基づき、以下の項目について従来技術と比較し、本技術の評価を行った。

- (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】

実証研究での計測期間は、平成30年度及び令和元年度の2年間であり、研究1年目及び研究2年目に得た結果から評価した結果を以下に示す。

従来技術は、道路融雪での実績が多い石油焚き温水ボイラー方式、電熱方式の2種類とした。石油焚き温水ボイラー方式は、図2-6のとおり灯油を燃料とする温水ボイラーによって、熱源水の温度を上昇させ、これを車道下に設置した放熱管に循環させることで融雪する施設である。電熱方式は、図2-7のとおり車道下に設置した放熱線に電気を通して温度を上昇させ、融雪する施設である。

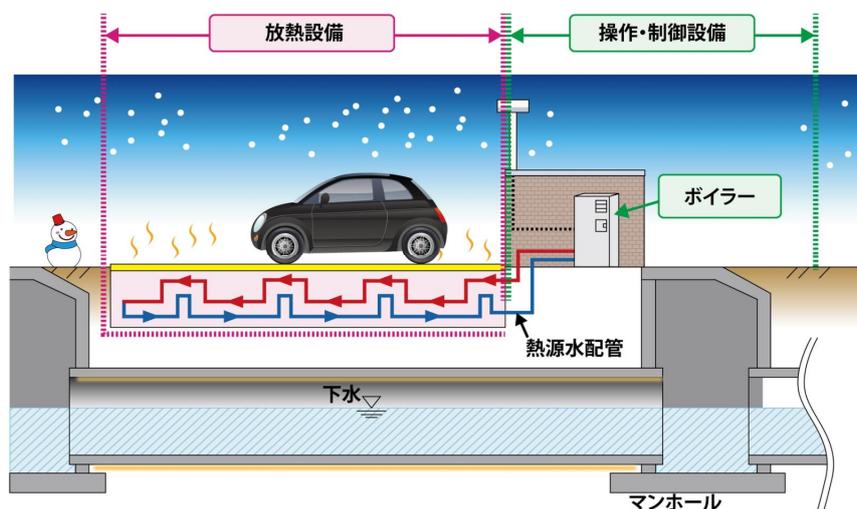


図 2-6 従来技術（石油焚き温水ボイラー方式）の施設イメージ

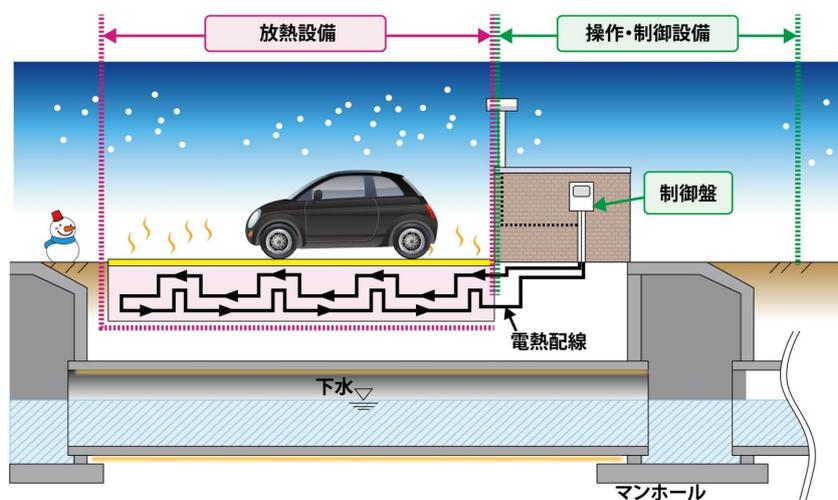


図 2-7 従来技術（電熱方式）の施設イメージ

(1) 総費用（年価換算値）

本技術及び従来技術における総費用（年価換算値）は、式 2-1 より算出し、従来技術に対する削減率により本技術の評価を行う。

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

ここに、 $C_y$ ：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）

$i$ ：割引率（= 2.3%）

$n$ ：耐用年数（年）

$C_m$ ：維持管理費（千円/年）

$$\text{削減率} = \frac{\text{（従来技術の総費用（年価換算値））} - \text{（本技術の総費用（年価換算値））}}{\text{従来技術の総費用（年価換算値）}}$$

本技術及び従来技術の総費用（年価換算値）を同じ条件で算出するため、表 2-12 のとおり、構成モデルを作成した。総費用（年価換算値）は、このモデルを用いて、§ 11 導入効果の検討に基づき算出した。

表 2-12 総費用（年価換算値）の構成モデル※1

			設定
①利用規模（最大負荷）			11.4 kW
②融雪面積	融雪面積 50 m <sup>2</sup> （計画熱負荷 228 W/m <sup>2</sup> ）		50 m <sup>2</sup>
③採熱設備	下水道管路の口径		400 mm
	採熱管本数		24 本
	採熱延長		102.8 m × 2 系統
④総費用算出期間			50年
⑤定期点検			年 1 回
⑥設備の耐用年数	放熱設備	本技術：4 パネル（1 パネルあたりの設置面積 12.5m <sup>2</sup> 、1 パネルあたりの放熱管延長 20m）	15 年
		従来技術（石油焼き温水ボイラー方式）：4 パネル（1 パネルあたりの設置面積 12.5m <sup>2</sup> 、1 パネルあたりの放熱管延長 20m）	放熱管 15 年
		従来技術（電熱方式）：電熱線出力 25W/m、総延長 L=600m（30 本 x20m、配線間隔 83.0mm）	放熱線 15 年
	採熱設備	本技術	採熱管 50 年
			集水部 50 年
	操作・制御設備	本技術	制御盤 15 年
従来技術（石油焼き温水ボイラー方式）		センサ 15 年	

		従来技術（電熱方式）		15年
		本技術	循環設備	15年
		従来技術（石油焚き温水ボイラー方式）	／熱源水	15年
⑦運転時間	冬期間における施設の稼働時間			2,904 h/年
⑧運転時費用	灯油 <sup>※2</sup>	1ℓ当たり		86円/ℓ
		電力基本料金		1,944円/月
		最初の120 kWhまで		18.24円/kWh
		120 kWhを超えて300 kWhまで		24.87円/kWh
		300 kWhを超える		28.75円/kWh
	電気 <sup>※3</sup>	1 kWh 当たり		11.75円/kWh
		基本料金	3か月まで <sup>※4</sup>	1,922.4円/月
基本料金		3か月超 <sup>※5</sup>	453.6円/月	

※1 建設費（年価換算値）は、融雪部・制御盤部を含んだ金額、採熱設備は本技術のみ計上。

※2 配達価格・JA 十日町市 2019.2.9 調査を使用。

従来技術の石油焚き温水ボイラー方式の電気料金は東北電力の「従量電灯 B」（平成 31 年 3 月時点）を参考。

※3 従来技術の電熱方式の電気料金は東北電力の「よりそう C スノー B」（平成 31 年 3 月時点）を参考。

※4 研究 1 年目は、施設の稼働期間が 3 か月を超えなかったため、こちらを適用。

※5 研究 2 年目は、施設の稼働期間が 3 か月を超えたため、こちらを適用。

#### ①利用規模

実証研究で対象とした面積から設定した。

#### ②融雪面積

「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>の考え方にに基づき、十日町市の気象条件（冬期間における合計降雪量の過去 10 年間の平均値）から算出。単位面積当たりの熱負荷 228 W/m<sup>2</sup> に利用規模（最大負荷）を考慮して融雪面積を 50 m<sup>2</sup> と設定した。

#### ③採熱設備

採熱管本数： 実証研究では、管路更生工事としてアルファライナー工法を用いて採熱管を設置している。採熱管の設置本数は、§ 16 採熱設備の設計 表 4-5 の早見表から決定した。現地の口径は、400 mm であることから、早見表によると必要となる最低水深は 55 mm になる。それに対して、現地で計測した最低水深 62.2 mm であることから、水面下に設置できる採熱管の最大本数 24 本を設置した。  
採熱延長： 下水温度 13.5 °C（実証研究箇所の計測下水温度）としたとき、必要熱量 11.4 kW に対して 8.0 kW の採熱量が見込めるとともに、管路更生の延長となる 102.8 m を設定した。

#### ④総費用算出期間

採熱設備の耐用年数 50 年に合わせて設定した。

#### ⑤定期点検

降雪期前に年 1 回点検する<sup>3)</sup>こととして設定した。

## ⑥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 2-13 に示す。維持管理費を算出する場合は、これらを参考に補修費用や更新費用を計上することとした。

なお、本技術で使用するヒートポンプは、利用規模（最大負荷）から下水の採熱量を差し引いた分以上の性能となる機器、石油焚き温水ボイラー方式で使用するボイラー及び電熱方式で使用する電熱線は、利用規模（最大負荷）を満足する機器をそれぞれ使用した。また、循環ポンプを含めて施設規模に応じた汎用性の機器類を使用することとした。

表 2-13 実証研究で用いた各設備の耐用年数

各設備	機器	耐用年数
放熱設備	放熱管	15 年 <sup>※1</sup>
	放熱線	15 年 <sup>※1</sup>
採熱設備	採熱管	50 年 <sup>※2</sup>
	集水部	50 年 <sup>※2</sup>
操作・制御設備	制御盤	15 年 <sup>※1</sup>
	循環設備（熱源水）	15 年 <sup>※2</sup>
	循環設備（循環ポンプ）	15 年 <sup>※1</sup>
	循環設備（膨張タンク）	15 年 <sup>※1</sup>
	センサ	15 年 <sup>※1</sup>
	循環設備（ヒートポンプ）	15 年 <sup>※2</sup>
	ボイラー	15 年 <sup>※1</sup>

※1 「設備の区分及び標準耐用年数 平成 3 年 4 月 23 日付国土交通省事務連絡別表（平成 15 年 6 月 19 日改正）」

※2 メーカーへのヒアリングより

## ⑦運転時間

運転時間は、冬期間における施設の稼働時間として設定する。実証研究では、冬期間の全時間 2,904 h/年（= 121 日/年 × 24 h）とした。なお本技術においては、ヒートポンプ運転が 2,904 時間稼働する設定としている。

## ⑧運転時費用

運転時費用は、⑦で算出した運転時間に対して、本技術及び電熱方式は電気の消費電力を用いて、石油焚き温水ボイラー方式は灯油の消費量と電気の消費電力を用いてそれぞれ算出した。

以上の設定に基づき、式 2-1 を用いて総費用（年価換算値）を算出した。結果を表 2-14、図 2-8 に示す。各技術の総費用（年価換算値）は、本技術が 693 千円/年、石油焚き温水ボイラー方式が 829 千円/年、電熱方式が 1,450 千円/年となった。本技術を導入した場合の削減率は、石油焚き温水ボイラー方式に対して 16%、電熱方式に対して 52%となった。算出の詳細については、資料 A.2.2 導入効果の検討を参照すること。

表 2-14 総費用（年価換算値）の算出結果（融雪面積 50 m<sup>2</sup>—228 W/m<sup>2</sup> 想定）

	費用			削減率	
	本技術 A	従来技術		石油焚き温水 ボイラー方式比 (B - A) / B	電熱方式比 (C - A) / C
		石油焚き温水 ボイラー方式 B	電熱方式 C		
建設費（年価換算値）	487 千円/年	318 千円/年	358 千円/年	-53%	-36%
維持管理費	206 千円/年	511 千円/年	1,092 千円/年	60%	81%
総費用（年価換算値）	693 千円/年	829 千円/年	1,450 千円/年	16%	52%

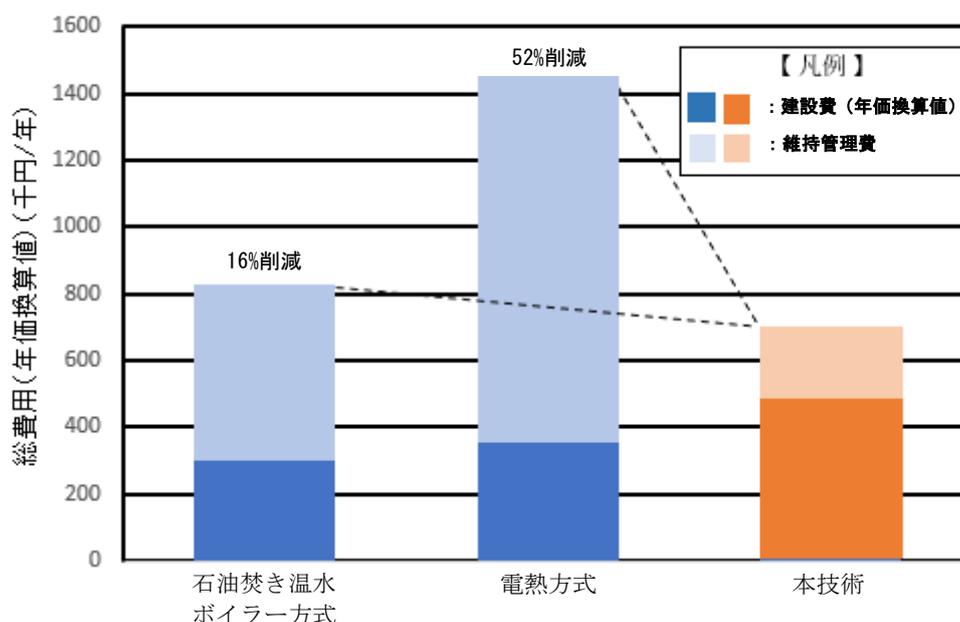


図 2-8 総費用（年価換算値）の比較

## (2) エネルギー消費量

本技術では、冬期間の運転時に使用する消費電力量を示す。同じ降雪条件に対して同じだけ融雪運転したと仮定し、従来技術と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算出し、以下の方法で評価を行う。冬期間におけるエネルギー消費量  $W$  (kWh) は式 2-2 により算出する。

$$W = W_s \times t \quad \dots \dots \dots \text{式 2-2}$$

ここに、 $W_s$ : 熱源・ポンプ機器の 1 時間当たりの消費電力 (kW)

$t$ : 冬期間における施設の稼働時間 (h)

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

$$W = W_q \times T \dots\dots\dots \text{式 2-3}$$

ここに、 $W$ ：石油焚き温水ボイラー方式での冬期間における灯油分のエネルギー消費量 (kWh)

$W_q$ ：灯油による 1 時間当たりの消費電力 (kW)

$T$ ：冬期間における施設の稼働時間 (h)

$$W_q = W_h \times (J_h \times L_h)$$

ここに、 $W_h$ ：0.278 (kWh/MJ：灯油による発熱量を消費電力量に変換するための換算値)

$J_h$ ：36.7 (MJ/l：1 l 当たりの灯油発熱量の換算値※)

※「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン」(環境省総合環境政策局環境計画課、2017年3月)より

$L_h$ ：1 時間当たりの灯油消費量 (l/h)

表 2-12 の構成モデルに基づき式 2-2 及び式 2-3 を用いて算出した。結果を表 2-15、図 2-9 に示す。

なお、② $W_s$ ：熱源・ポンプ機器の 1 時間当たりの消費電力 (kW)は、選定した各機器の仕様より設定した。また、③ $t$ ：冬期間における施設の稼働時間 (h)は、冬期間の全時間稼働させる想定とし、2,904 h/年 (12 月～3 月の時間：121 日 × 24 h) と設定した。

算出の結果、冬期間における各技術のエネルギー消費量は、本技術が 1,713 kWh、石油焚き温水ボイラー方式が 39,243 kWh、電熱方式が 33,106 kWh となった。また本技術を導入した場合の削減率は、石油焚き温水ボイラー方式に対しては 96%、電熱方式に対しては 95%となった。

なお、石油焚き温水ボイラー方式は、本技術や電熱方式とは異なり、運転のためのエネルギー源として電力及び灯油を用いることから、消費電力量と灯油消費量との合計がエネルギー消費量となる。そのため、石油焚き温水ボイラー方式のエネルギー消費量は、式 2-2 による消費電力量に基づくエネルギー消費量と、式 2-3 による灯油消費量によるエネルギー消費量を個別に算出した上で、これらの合計とした。

以上より、本技術を導入することで従来技術よりもエネルギー消費量の削減が可能であることが確認できた。算出の詳細については、資料 A.2.2 導入効果の検討を参照すること。

表 2-15 エネルギー消費量の削減率の算出結果

	本技術	従来技術	
		石油焚き温水ボイラー方式	電熱方式
①利用規模 (kW)	11.4	11.4	11.4
② $W_s$ ：熱源・ポンプ機器の 1 時間当たりの消費電力 (kW)	0.59	0.25	11.4
③ $t$ ：冬期間における施設の稼働時間 (h)	2,904	2,904	2,904
④ $W$ ：冬期間におけるエネルギー消費量 (kWh)	1,713	39,243	33,106
⑤削減率	—	96%	95%

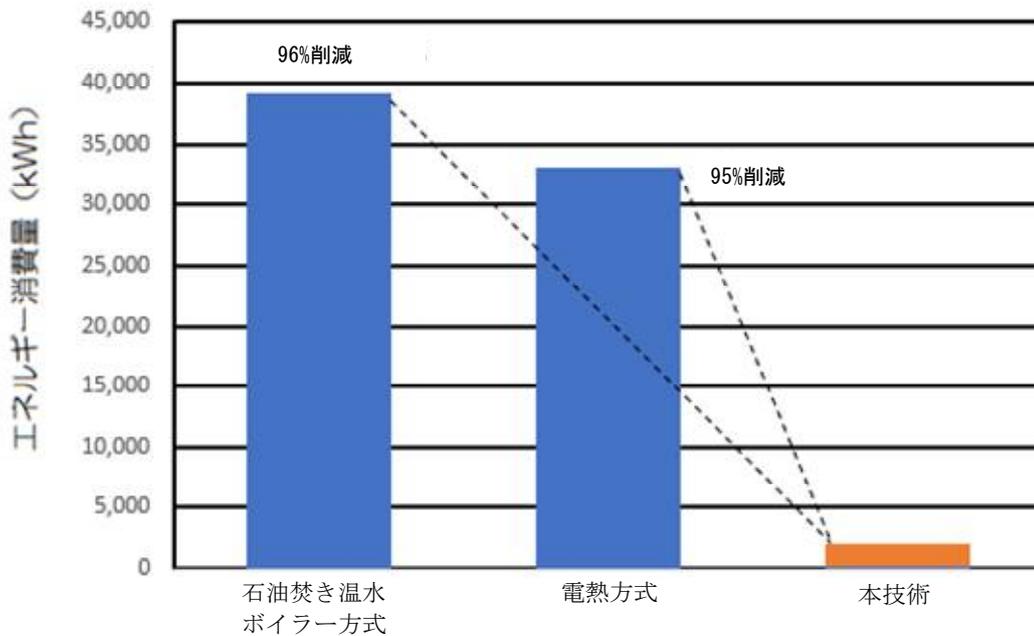


図 2-9 エネルギー消費量の比較

### (3) 温室効果ガス排出量

本技術の運転により排出される温室効果ガス排出量を算出し、以下の方法で評価を行った。

(2)で算出した冬期間におけるエネルギー消費量  $W$  (kWh)に、温室効果ガス排出係数  $e$  (kg-CO<sub>2</sub>/kWh) を乗じ、冬期間における温室効果ガス排出量  $G$  (kg-CO<sub>2</sub>)を算出する (式 2-4)。なお、温室効果ガス排出係数は地域と年度ごとに異なるため、実際に設置する年度・地点に応じた数値を用いる。

$$G = e \times W \quad \dots\dots\dots \text{式 2-4}$$

ここに、 $W$ : 冬期間におけるエネルギー消費量 (kWh)

$e$ : 温室効果ガス排出係数 (kg-CO<sub>2</sub>/kWh) 「電気事業別排出係数一覧」「電気事業者別排出係数 (特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) (H30.12.27 環境省・経済産業省公表)」より

また、石油焼き温水ボイラー方式の温室効果ガス排出量  $G_q$  (kg-CO<sub>2</sub>) については、灯油を燃焼していることから、消費電力量と灯油使用量毎に算出し、合計した値を温室効果ガス排出量とする。

$$G_q = (e \times W_p) + (e_q \times Q_q) \quad \dots\dots\dots \text{式 2-5}$$

ここに、 $e$ : 温室効果ガス排出係数(kg-CO<sub>2</sub>/kWh) 「電気事業別排出係数一覧」「電気事業者別排出係数 (特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) (H30.12.27 環境省・経済産業省公表)」より

$W_p$ : 冬期間における石油焼き温水ボイラー方式の消費電力量 (kWh)

$e_q$ : 2.50 (kg-CO<sub>2</sub>/L: 灯油 1ℓ当たりの温室効果ガス排出量の換算値\*)

※「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル (Ver.6) (令和 7 年 3 月) 環境省)」<sup>8)</sup>

$Q_q$ : 冬期間における灯油使用量 (L)

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

構成モデルに基づき、§ 8 評価項目に示した構成モデルに基づき、式 2-4 及び式 2-5 を用いて算出した。結果を表 2-16、図 2-10 に示す。算出の結果、冬期間における各技術の温室効果ガス排出量は、本技術が 849.8 kg-CO<sub>2</sub>、石油焚き温水ボイラー方式が 9,797.5 kg-CO<sub>2</sub>、電熱方式が 16,420.4 kg-CO<sub>2</sub> となった。また、本技術を導入した場合の削減率は、石油焚き温水ボイラー方式に対して 91%、電熱方式に対して 95%となった。

以上より、本技術を導入することで従来技術よりも温室効果ガス排出量の削減が可能であることが確認できた。算出の詳細については、資料 A.2.2 導入効果の検討 (3) 温室効果ガス排出量を参照すること。

表 2-16 温室効果ガス削減量の削減率の算出結果

	本技術	従来技術	
		石油焚き温水ボイラー方式	電熱方式
①利用規模 (kW)	11.4	11.4	11.4
② $W_s$ : 熱源・ポンプ機器の1時間当たりの消費電力 (kW)	0.59	0.25	11.4
③t: 冬期間における施設の稼働時間 (h)	2,904	2,904	2,904
③W: 冬期間におけるエネルギー消費量 (kWh)	1,713	39,243	33,106
⑤ $W_p$ : 冬期間における石油焚き温水ボイラー方式のエネルギー消費量 (kWh)	—	726	—
⑥e: 電力による温室効果ガス排出係数 (kg-CO <sub>2</sub> /kWh)	0.496	0.496	0.496
⑦ $e_q$ : 灯油による温室効果ガス排出係数 (kg-CO <sub>2</sub> /L)	—	2.5	—
⑧ $Q_q$ : 冬期間における灯油使用量 (L)	—	3,775	—
⑨G: 冬期間における温室効果ガス排出量 (kg-CO <sub>2</sub> )	849.8	9,797.5	16,420.4
⑩削減率	—	91%	95%

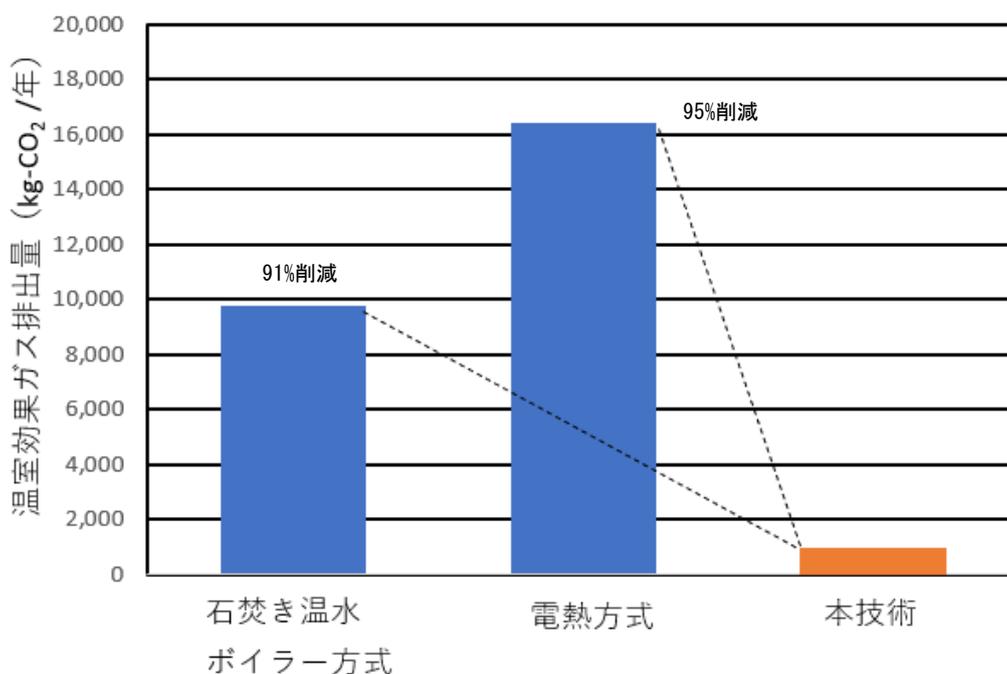


図 2-10 温室効果ガス排出量の比較