

## 第4章 計画・設計

### §13 計画・設計の手順

計画・設計は、以下の手順で実施する。

- (1) 必要熱量の算出
- (2) 放熱設備の設計
- (3) 採熱設備の設計
- (4) 操作・制御設備の設計
- (5) 概算工事費の算出

#### 【解説】

本技術は、図4-1のフローに沿って計画・設計を行う。

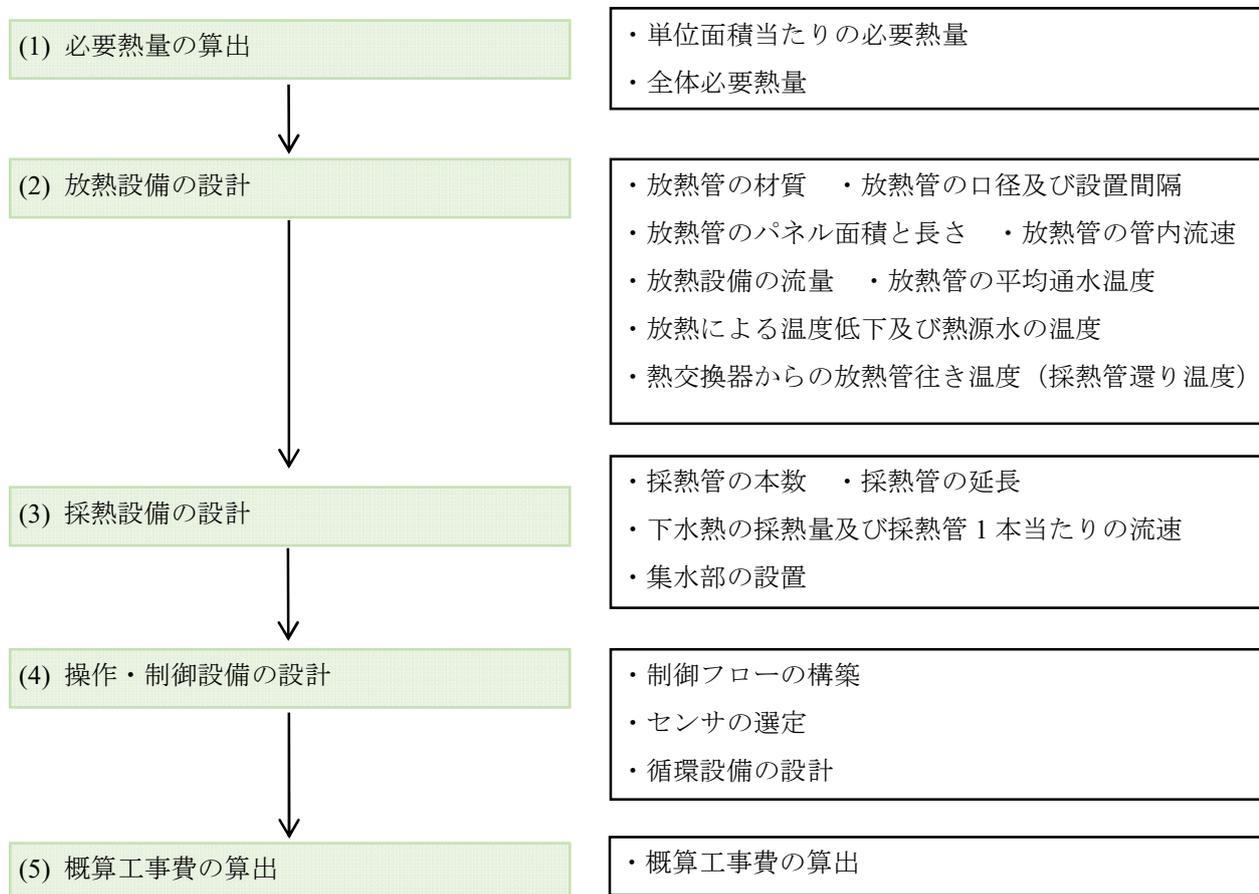


図4-1 計画・設計のフロー

## § 14 必要熱量の算出

必要熱量として、以下について算出する。

- (1) 単位面積当たりの必要熱量
- (2) 全体必要熱量

### 【解説】

#### (1) 単位面積当たりの必要熱量

単位面積当たりの必要熱量は、「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>にある式4-1～式4-9により融雪の必要熱量  $q_1$  及び凍結防止の必要熱量  $q_2$  を算出し、いずれか大きい値を必要熱量とする。算出にあたっては、§ 10 基礎調査 (1) 放熱側情報 ②気象条件で整理した降雪密度、風速及び外気温度を用いるが、設計条件の設定の詳細については、「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>を参照すること。

$$q_1 = (1 / \eta) \times (q_s + q_n) \quad \text{式 4-1}$$

ここに、 $q_1$ : 必要熱量 (W/m<sup>2</sup>)

$\eta$ : 熱効率 (一般的に、土工部 0.8～0.9、橋梁部 0.65～0.75)

$q_s$ : 顕熱 (W/m<sup>2</sup>)

$q_n$ : 融解熱 (W/m<sup>2</sup>)

$$q_s = 2.78 \times (c \times \Delta\theta \times h_s \times \rho_s) \quad \text{式 4-2}$$

$$q_n = 2.78 \times (J \times \rho_s \times h_s) \quad \text{式 4-3}$$

ここに、定数2.78 は、熱流束 J/cm<sup>2</sup> を W/m<sup>2</sup> に変換するために 3,600 J/Wh 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)

$\rho_s$ : 雪の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$J$ : 雪の融解潜熱 (334 J/g)

設計時間降雪深  $h_s$  (cm/h) は、施設が保有する融雪能力であり、式 4-4 により算出する。

$$h_s = 0.425 \times H_m^{0.7} \quad \text{式 4-4}$$

ここに、 $H_m$ : 平均日降雪深 (cm/h)

$$q_2 = (1 / \eta) \times q_i \quad \text{式 4-5}$$

ここに、 $q_2$ : 必要熱量 (W/m<sup>2</sup>)

$\eta$ : 熱効率 (一般的に、土工部 0.8～0.9、橋梁部 0.65～0.75)

$q_i$ : 対流輻射熱 (W/m<sup>2</sup>)

$$q_i = (\alpha_c + \alpha_r) \times (T_m - T_a) \quad \text{式 4-6}$$

ここに、 $\alpha_c$ : 対流による表面熱伝導率 (W/m<sup>2</sup>°C)

$\alpha_r$ : 輻射による表面熱伝導率 (W/m<sup>2</sup>°C)

$T_m$ : 路面温度 (°C)

$T_a$ : 外気温度 (°C)

$$\alpha_c = 5.8 + 4.0 \times u \quad (u \leq 5 \text{ のとき}) \quad \text{式 4-7}$$

ここに、 $u$ : 風速 (m/s)

$$\alpha_c = 7.14 \times u^{0.78} \quad (u > 5 \text{ のとき}) \quad \text{式 4-8}$$

$$\alpha_r = 5.41 / (T_m - T_a) \times [ \{ (273 + T_m) / 100 \}^4 - \{ (273 + T_a) / 100 \}^4 ]$$

..... 式 4-9

(2) 全体必要熱量

全体必要放熱量（放熱量） $Q_a$  (kW)は、「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>にある式 4-10 及び式 4-11 により算出する。

$$Q_a = (q \times A + q_3) / 1,000 \quad \text{..... 式 4-10}$$

$$q_3 = C_w \times \rho_w \times \Delta t_2 \times Q_r \quad \text{..... 式 4-11}$$

ここに、 $q$ ：単位面積当たりの必要熱量 (W/m<sup>2</sup>) ( $q_1$ 、 $q_2$ のいずれか大きい値)

$A$ ：融雪面積 (m<sup>2</sup>)

$q_3$ ：熱源水配管（送水管）からの損失熱量 (W)

$C_w$ ：熱源水の比熱 (J/kg°C)

$\rho_w$ ：熱源水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta t_2$ ：送水管からの温度低下量 (°C)（「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>の p164 より、  
送水温度が 20°C未満の場合は 0.2°C、20°C以上の場合は 0.5°C)

$Q_r$ ：放熱設備の熱源水配管内流量 (m<sup>3</sup>/s)

## § 15 放熱設備の設計

放熱設備の設計では、以下の内容を決定する。

- (1) 放熱管の材質
- (2) 放熱管の口径及び設置間隔
- (3) 放熱管のパネル面積及び長さ
- (4) 放熱管の管内流速
- (5) 放熱設備の流量
- (6) 放熱管の平均通水温度
- (7) 放熱による温度低下及び熱源水の放熱管入口温度
- (8) 熱交換器からの放熱管行き温度（採熱管還り温度）

### 【解説】

#### (1) 放熱管の材質

放熱管の材質は、大別して金属管と樹脂管があるが、耐久性、経済性、施工性、送水温度等を考慮して決定する。樹脂管は、金属管と比べて施工性や経済性に優れているが、熱伝導率は金属管と比較して低い場合が多いことから、これらの特徴を踏まえて使用する放熱管の材質を決定する。放熱管は、熱伝導性の観点から樹脂管よりも金属管の使用が望ましい。一般的に使用される金属管材には、鉄管およびステンレス管があるが、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 4-1 に代表的な放熱管材の特性を、表 4-2 に樹脂管と金属管との比較を示す。

表 4-1 代表的な放熱管材の特性<sup>4)</sup>

		規格	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	軟化温度 (°C)	熱伝導率 (W/m°C)
樹脂管	ポリブテン管	8A~20A	16.7	119	0.23
	特殊ナイロン管	9A~13A	34.3	182	0.23
	架橋ポリエチレン管	8A~20A	20.6	124	0.35
金属管	炭素鋼鋼管 (SGP)	10A~20A	294	約 300	43.0
	ステンレス鋼管 (SUS304)	10A~20A	520	約 450	16.0



ポリブテン管



特殊ナイロン管



架橋ポリエチレン管



炭素鋼鋼管 (SGP)



ステンレス鋼管 (SUS304)

表 4-2 管材別の特長及び問題点<sup>5)</sup>

	金属管	樹脂管
特長	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強度が大きい。</li> <li>・継ぎ手や付属品が豊富なため、配管工法が豊富。</li> <li>・高圧配管が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量で扱いやすい。</li> <li>・耐食性に優れる。</li> <li>・保温性に優れる。</li> <li>・接続方法が簡単である。</li> <li>・弾力性、耐震性がある。</li> </ul>
問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・樹脂管と比較してやや保温性に欠ける。</li> <li>・管種によって腐食が懸念される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・金属管に比べ強度に欠ける。</li> <li>・高圧配管に適さない。</li> </ul>

### (2) 放熱管の口径及び設置間隔

「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>では、従来技術で用いられている放熱管の口径は、表 4-3 のとおり 10A～20A (JIS G 3444) が標準となっている。本技術もそれに従って標準とする。10A は経済性、施工性に優れているが、他と比べて口径が小さいため熱源水を送る流量が少ない。それに対して、20A は経済性や施工性は劣るものの、より多くの流量を流すことができる。設計した熱源水の流量によって適切な口径を選択する。放熱管の設置間隔は、150～200 mm の範囲で設定することを標準とする。

表 4-3 口径別の特徴<sup>1)</sup>

	10A	15A	20A
経済性	安価 ←		→ 高価
施工性	良い ←		→ やや良い
汎用性	やや劣る	汎用性あり	汎用性あり
その他	閉塞し易い	施工例が多い	循環流量が増える

### (3) 放熱管のパネル面積及び長さ

従来技術で用いられている一般的な放熱設備は、1 パネル 10～20 m<sup>2</sup>、1 パネル当たりの放熱管の長さは 100 m 程度である<sup>4)</sup>。これは、放熱管が長すぎると配管摩擦損失が増大し、逆に短いとパネル数が増えて流量が多くなり、循環ポンプの出力も大きくなるためである。そのため、本技術においてもこの範囲で設定することを標準とする。実証研究では、放熱管の設置間隔を 150～200 mm、1 パネル 12.5 m<sup>2</sup> を 4 パネル設置する構造とした。

### (4) 放熱管の管内流速

放熱管の管内流速は、表 4-4 により設定する。

表 4-4 口径別設計流速<sup>4)</sup>

放熱管呼径 (mm)	10	15	20
設計流速 (m/s)	0.6～0.8	0.7～0.9	0.8～1.0

### (5) 放熱設備の流量

放熱設備の熱源水の流量  $Q_r$  (m<sup>3</sup>/s)は、「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>にある式 4-12 及び式 4-13 により算出する。

$$Q_r = q_r \times n \quad \dots\dots\dots \text{式 4-12}$$

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

ここに、 $q_r$ : 1 パネル当たりの熱源水の流量 (m<sup>3</sup>/s)

$n$ : 放熱管パネル数

$d$ : 放熱管の内径 (m) (実証研究施設で採用した SUS 15A (JIS G 3444) は 0.0143m)

$V$ : 放熱管内流速(m/s)

### (6) 放熱管の平均通水温度

放熱管の平均通水温度  $\bar{T}$  (°C)は、「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>にある式 4-14 により算出する。

$$\bar{T} = q_u \times \frac{l_1 + l_2}{2\lambda} + q \times \frac{a'}{2\pi \times \lambda_p \times l} \times \ln \frac{d_o}{d_i} + T_m \quad \dots\dots\dots \text{式 4-14}$$

ここに、 $q$ : 単位面積当たりの必要熱量 (W/m<sup>2</sup>)

$q_u$ : 上部放熱量 (W/m<sup>2</sup>)

熱効率を考慮しない融雪に必要な熱量=必要熱量  $q_l \times$  熱効率  $\eta$  (式 4-1 より)

$T_m$ : 路面温度 (°C) ※降雪中の路面温度 (0°C)

$a'$ : 1 パネル当たりの放熱管の面積 (m<sup>2</sup>) (10~20 m<sup>2</sup>)

$\lambda_p$ : 放熱管の熱伝導率 (W/m°C) (SUS 管 16 W/m°C)

$l$ : 1 パネル当たりの放熱管の長さ (m)

$d_o$ : 放熱管の外径 (m)

$d_i$ : 放熱管の内径 (m)

$p$ : 放熱管の設置間隔 (m) (標準 0.15 m)

$l_1$ : 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)

$\lambda$ : 舗装の熱伝導率 (W/m°C) (本ガイドラインの設計値 = 1.4 W/m°C)

$$l_1 = \sqrt{l_2^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2} \quad \dots\dots\dots \text{式 4-15}$$

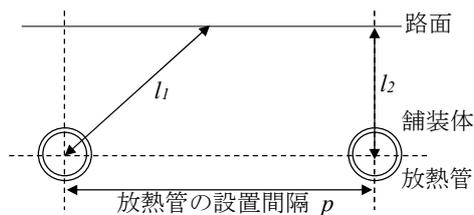


図 4-2 放熱管から路面までの距離のイメージ

(7) 放熱による温度低下及び熱源水の放熱管入口温度

運転時の放熱による温度低下  $\Delta t_l$  (°C)は、式 4-16 により算出する。

$$\Delta t_l = (q \times a') \div (C_w \times \rho_w \times q') \dots\dots\dots \text{式 4-16}$$

ここに、 $q$ : 単位面積当たりの必要熱量 (W/m<sup>2</sup>)

$a'$ : 1 パネル当たりの放熱管面積 (10~20 m<sup>2</sup>)

$q'$ : 1 パネル当たりの熱源水の流量 (m<sup>3</sup>/s)

$\rho_w$ : 熱源水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$C_w$ : 熱源水の比熱 (J/kg°C)

設計した必要熱量を放熱するための熱源水の放熱管入口温度  $t_l$  (°C)を式 4-17 により算出する。

$$t_l = \bar{T} + (1/2) \times \Delta t_l \dots\dots\dots \text{式 4-17}$$

ここに、 $\bar{T}$ : 放熱管平均通水温度 (°C)

$\Delta t_l$ : 放熱による温度低下 (°C)

(8) 熱交換器からの放熱管行き温度 (採熱管還り温度)

熱源機器からの放熱管行き温度 (採熱管還り温度)  $T_a$  (°C)は、「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>にある式 4-18 により算出する。

$$T_a = t_l + \Delta t_2 \dots\dots\dots \text{式 4-18}$$

ここに、 $t_l$ : 放熱管入口温度 (°C) (式 4-17 を参照)

$\Delta t_2$ : 送水管からの温度低下 (「路面消・融雪施設等設計要領」<sup>4)</sup>のとおり、送水温度が 20 °C未満の場合は 0.2 °C、20 °C以上の場合は 0.5 °Cとすることを標準とする。)

## § 16 採熱設備の設計

採熱設備の設計では、以下の内容を決定する。

- (1) 採熱管の本数
- (2) 採熱管の延長
- (3) 下水量の採熱量及び採熱管 1 本当たりの流速
- (4) 集水部の設置

### 【解説】

採熱管の本数、採熱管の延長、熱源水の流速と採熱量、集水部の設置方法を決定する。

採熱管は管路更生工事と同時に設置するため、施工にあたっては現行のガイドライン（「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン 2017 年版」（日本下水道協会）に基づいて実施する必要がある。また、採熱管の設置を含めた更生後の流下能力については、管路更生を計画する段階で別途確認しておく必要がある。実証研究の中で検討した採熱管の設置による流下能力への影響については、資料 A.3.3 採熱設備の設計で示す。

### (1) 採熱管の本数

採熱管は、既設管と更生材料との隙間の管底部に設置し、全ての採熱管が完全に下水の水面下に設置されるように設計する必要がある。そのため、使用する採熱管の厚みや外径、更生材料の厚みや施工性について検討し、使用する本数を決定しなければならない。また、採熱管の本数は、往きと還りから偶数本とする。設置本数は、管路更生後の状況を想定し、図 4-3 に示すように採熱管を水面下に設置した位置関係を別途図面で確認する。

実証研究では、管路更生工法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。そのため、採熱管の設置本数は、表 4-5 の早見表から決定する。

現地の口径 400 mm の場合は、必要となる最低水深 55 mm に対して、現地で計測した最低水深 62.2 mm から、水面下に設置できる採熱管の本数は 24 本の設定となる。また、口径 250 mm、400 mm、800 mm での採熱管の標準設置断面図を図 4-4 に示す。

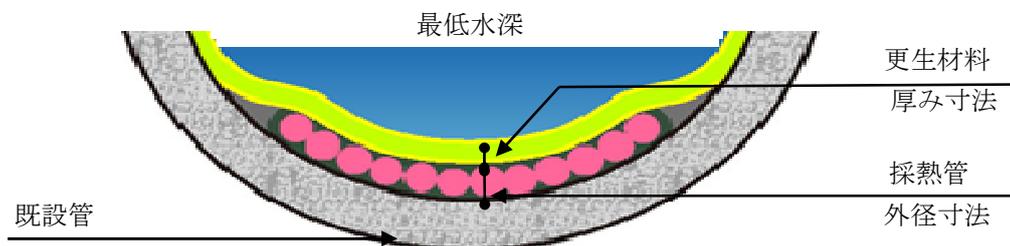


図 4-3 採熱管の配置図

表 4-5 口径毎の採熱管本数と最低水深

口径 (mm)	採熱管本数 (本)	最低水深 (mm)
250	16	30
300	16	30
350	18	35
400	24	55
500	28	60
600	32	66
700	40	89
800	48	113

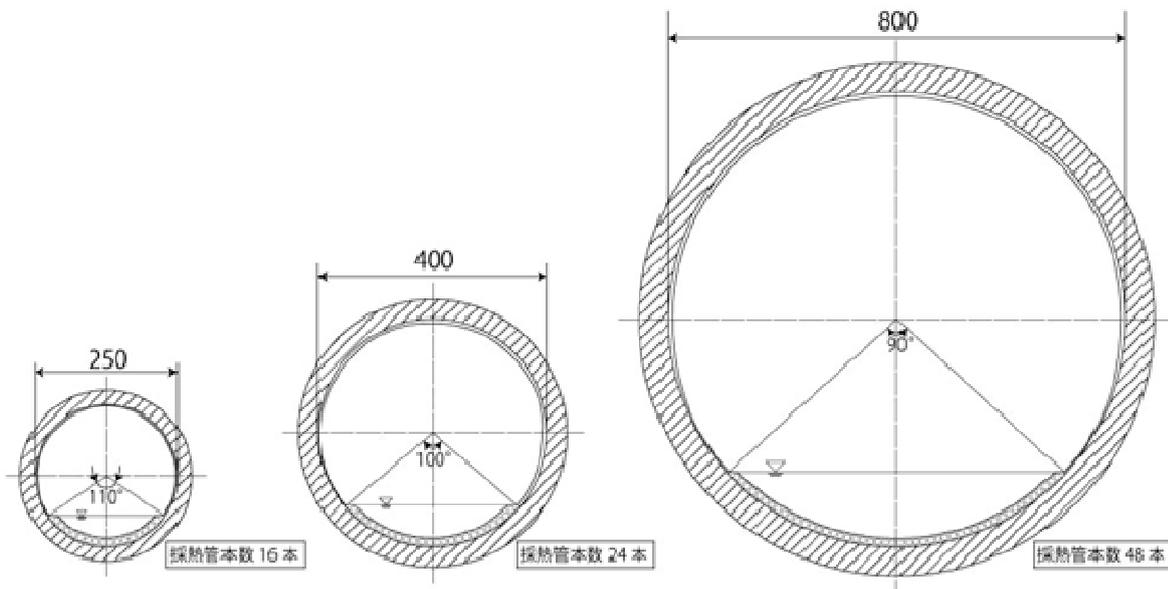


図 4-4 採熱管の標準設置断面図

(2) 採熱管の延長

採熱管の延長は、下水道管路内に設置され採熱を行う区間の延長、マンホール内の壁面に設置され集水部へ接続する区間の延長の2つに分けられる。

下水道管路内に設置され採熱を行う区間の延長は、下水から得られる採熱量を式 4-19 により確認した上で、必要な熱量以上を採熱可能な範囲で設定することとし、延長の設定はスパン単位で行う。また、マンホール内の壁面に設置され集水部へ接続する区間の延長は、下水道管路内に設置され採熱を行う区間の終端から集水部までの距離となるため、設置場所の状況を踏まえて設定する。

### (3) 下水熱の採熱量及び採熱管 1 本当り流速

下水熱の採熱量  $Q_v$  (kW)は、式 4-19～式 4-21 より算出する。なお、熱源水で用いる不凍液の密度及び比熱については、種類や濃度によって異なるため、採用する製品の仕様等から設定する。

$$Q_v = U \times A \times \Delta T_L \quad \dots\dots\dots \text{式 4-19}$$

$$A = N \times D \times L \quad \dots\dots\dots \text{式 4-20}$$

$$\Delta T_L = \frac{(T_1 - T_a) - (T_2 - T_b)}{\ln \frac{T_1 - T_a}{T_2 - T_b}} \quad \dots\dots\dots \text{式 4-21}$$

- ここに、 $U$ : 総括伝熱係数 (W/m<sup>2</sup>°C)
- $A$ : 採熱管接触面積 (m<sup>2</sup>)
- $N$ : 採熱管本数 (本)
- $D$ : 採熱管外径 (m)
- $L$ : 採熱管の延長 (m)
- $\Delta T_L$ : 下水-熱源水対数平均温度差 (°C)
- $T_1$ : 上流側下水温度 (°C)
- $T_2$ : 下流側下水温度 (°C)
- $T_b$ : 放熱管行き温度=採熱管還り温度 (°C)
- $T_a$ : 放熱管還り温度=採熱管行き温度 (°C)

採熱管 1 本当り流速  $V_m$  (m/s)は、式 4-22～4-24 により算出する。

$$V_m = Q_r / a \quad \dots\dots\dots \text{式 4-22}$$

$$Q_r = Q_m / n \quad \dots\dots\dots \text{式 4-23}$$

$$Q_m = Q_v / (C_w \times \rho_w \times \Delta t_2) \quad \dots\dots\dots \text{式 4-24}$$

- ここに、 $Q_r$ : 採熱管 1 本当り流量 (m<sup>3</sup>/s)
- $a$ : 採熱管の断面積 (m<sup>2</sup>)
- $Q_m$ : 採熱設備の流量 (m<sup>3</sup>/s)
- $n$ : 採熱管設置本数
- $Q_v$ : 採熱量 (kW)
- $C_w$ : 熱源水の比熱 (J/kg°C)
- $\rho_w$ : 熱源水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)
- $\Delta t_2$ : 熱源水の温度差 (°C) (=  $T_b - T_a$ )

#### (4) 集水部の設置

熱源水が流れる採熱管と放熱管の口径や本数が異なる場合は、必要に応じて写真 4-1 のような採熱管と放熱管とを接続するための集水部を設置する。

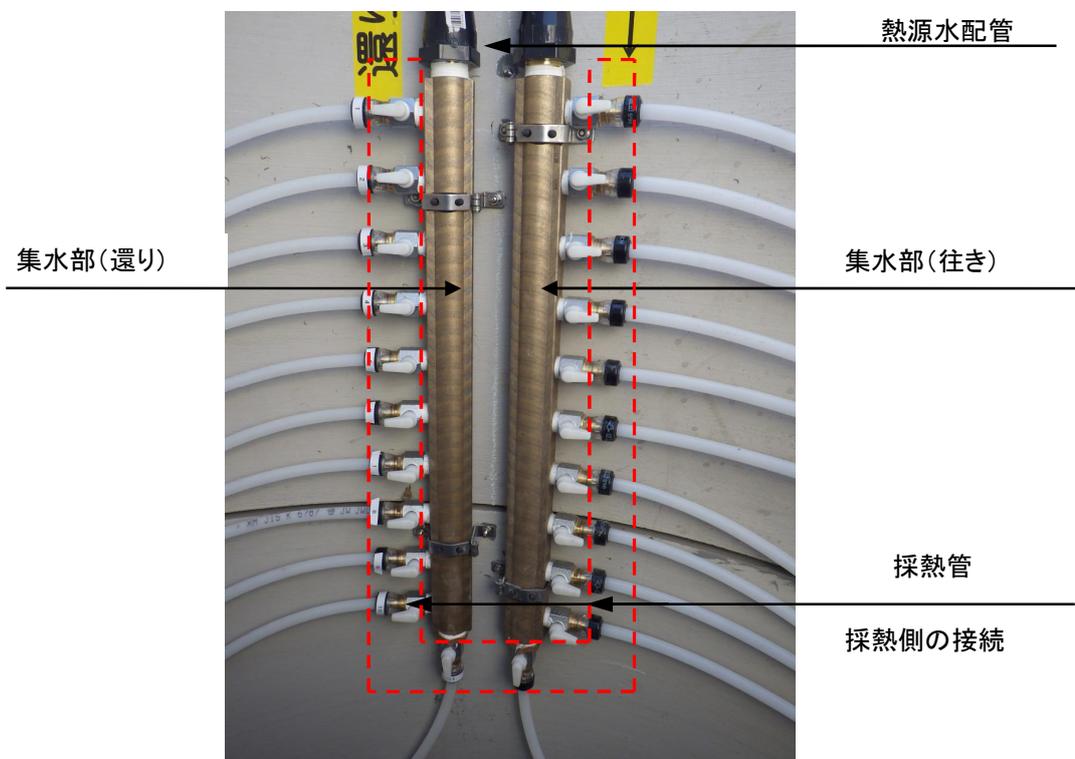


写真 4-1 集水部の設置例

## § 17 操作・制御設備の設計

操作・制御設備の設計では、以下の内容について決定する。

- (1) 制御フローの構築
- (2) センサの選定
- (3) 循環設備の設計

### 【解説】

#### (1) 制御フローの構築

本技術は、ヒートポンプレス運転とヒートポンプ運転との切替や待機を自動で行う。この運転を行うために、制御フローを構築する。

運転条件は、以下に示す 1) BASE 温度、2) その他の温度、3) 降雪の有無のことである。それぞれの運転条件は、以下より条件となる数値を決定する。なお本技術は、運転条件設定のための情報として外気温度と路面温度の両方を使用することを標準とするが、現地の状況に応じてどちらか一方のみで制御することも可能である。

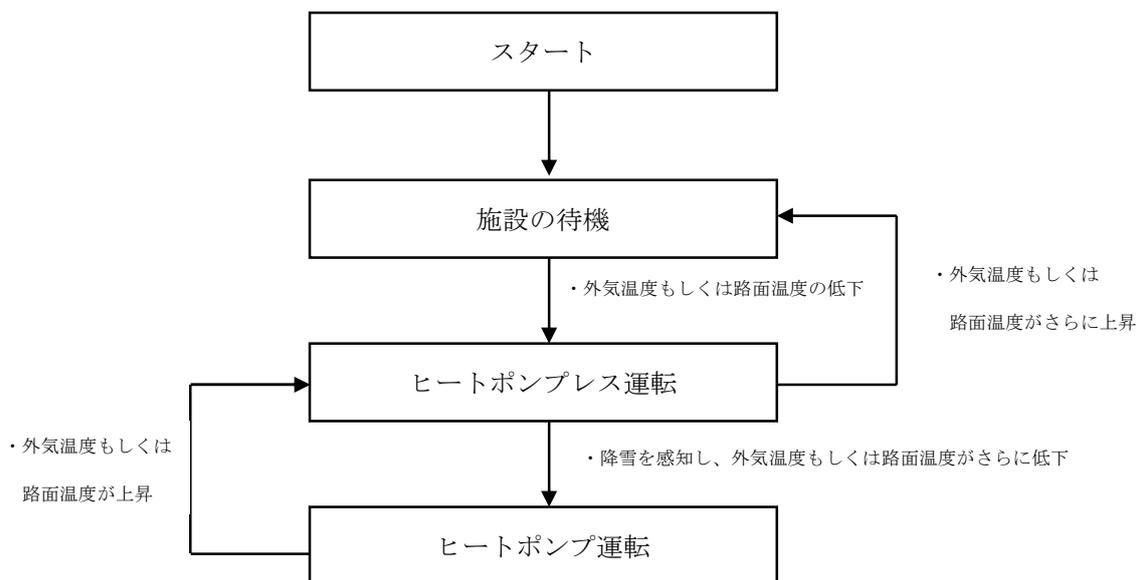


図 4-5 運転の概略フロー

#### 1) BASE 温度

BASE 温度とは、制御フローの運転条件を設定するための基になる温度のことであり、ヒートポンプレス運転とヒートポンプ運転との切替え温度のことである。

BASE 温度のうち、外気温度に対する条件は、現地での計測又は近隣の観測所データを用いて、冬期間での平均日最低外気温度で設定することを標準とする。また路面温度に対する条件は、現地での計測データを用いて冬期間での平均日最低路面温度で設定することを基本とするが、計測が困難な場合は、路面温度を使用して融雪を行っている近傍の施設の設定データ又は気象条件に近い他都市における融雪施設の路面温度データ等から設定する。

なお、BASE 温度は、運用を開始後、定期的に数値を確認し必要に応じて見直すことが望ましい。

## 2) その他の温度

その他の温度とは、制御フローにおいて BASE 温度以外に必要となる温度である。これらの条件は、BASE 温度を基に表 4-6 に示す考え方に従って設定する。

## 3) 降雪の有無

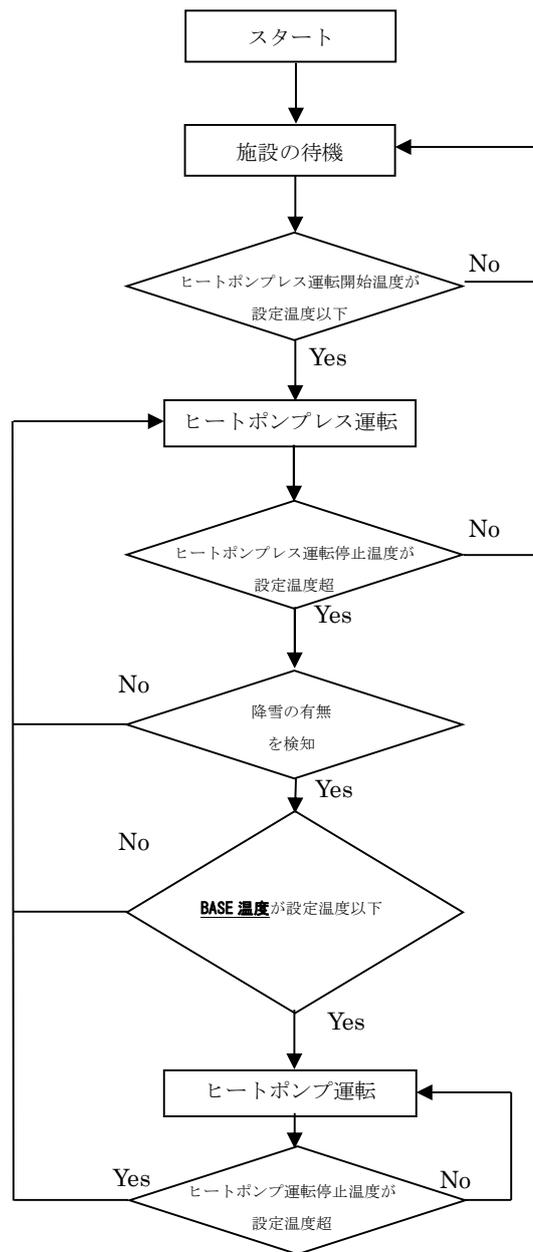
降雪の有無は、ヒートポンプレス運転とヒートポンプ運転とを切り替える条件として設定し、降雪センサにより判断する。

表 4-6 BASE 温度及びその他の温度の設定方法

フローの位置	内容	標準的な設定の考え方
①ヒートポンプレス運転開始温度	設定した温度以下となった場合、ヒートポンプレス運転を開始する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・① &gt; ③ : BASE 温度より高い温度を設定する。</li> <li>・高めに設定することで、早期に運転が開始されるため融雪や凍結防止の効果が高まるが、運転に要する費用が高くなる。</li> </ul>
②ヒートポンプレス運転停止温度	設定した温度を超えた場合、ヒートポンプレス運転を停止する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・② &gt; ① : ヒートポンプレス運転開始温度より高い温度を設定する。</li> <li>・ヒートポンプレス運転開始温度との差が少ないと施設の発停が頻発するおそれがあるため注意が必要。</li> </ul>
③BASE 温度	降雪を感知後設定した温度以下となった場合、ヒートポンプ運転を開始する。	基礎調査より整理した、冬期間の平均日最低外気温度及び平均日最低路面温度より、外気温度及び路面温度に対する BASE 温度をそれぞれ決定。
④ヒートポンプ運転停止温度	設定した温度を超えた場合、ヒートポンプ運転を停止し、ヒートポンプレス運転に移行する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・① <math>\geq</math> ④ &gt; ③ : BASE 温度より高く、かつヒートポンプレス運転開始温度以下の温度を設定する。</li> <li>・BASE 温度との差が少ないと施設の発停が頻発するおそれがあるため注意が必要。</li> </ul>

以上の手順に従い各温度を設定することで、図 4-6 に示す本技術における制御フローが完成する。

なお運転の特徴として、ヒートポンプレス運転とヒートポンプ運転の開始温度と停止温度との差が大きいとヒートポンプ運転に入るタイミングが遅くなり、差が小さいとヒートポンプ運転に入るタイミングが早くなることを踏まえ、各条件を設定する必要がある。



・スタート電源の入力時からセンサで監視する待機状態となる。

・設定温度を超えた場合は、待機状態へ戻る。

・設定温度以下となった場合は、ヒートポンプ運転を開始。

・設定温度を超えた場合は、再び待機状態へ戻る。

・降雪センサより降雪を感知しない場合は、ヒートポンプ運転へ戻る。

・降雪センサより降雪を感知した場合は、BASE温度の確認へ進む。

・BASE温度が設定温度を超えた場合は、ヒートポンプ運転へ戻る。

・BASE温度が設定温度以下となった場合は、ヒートポンプ運転の開始。

・設定温度を超えた場合は、ヒートポンプ運転へ戻る。

図 4-6 本技術における制御フロー

## (2) センサの選定

本技術は、気象状況から情報を収集し運転に反映する必要がある。そのため、本技術の運転に必要なセンサの種類は、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、表 4-7 に示す。

なお、参考までに実証研究では、資料 A.3.4 操作・制御設備の設計に示すとおり、融雪面積 50 m<sup>2</sup> に対して 3 か所の温度を計測しており、放熱設備の中央部に設置した 1 か所を運転制御に用いた。

表 4-7 運転に必要なセンサ及び留意点

センサ	留意点
外気温度センサ	・安定した値を取得できるように百葉箱等を設置すること。
路面温度センサ	・交通量を考慮した耐荷重性を有する製品であること。 ・配線の切断に注意すること。
降雪センサ	・支柱等の上部に設置し、周囲の建物や風等の影響を受けない場所に設置すること。
熱源水温度センサ	・熱源水配管内に直接設置するため保守点検で支障のない場所に設置すること。
熱源水圧力センサ	
下水温度センサ	・マンホール内に設置するため保守点検で支障のない場所に設置すること。
下水水深センサ	

### (3) 循環設備の設計

ヒートポンプ、循環設備である循環ポンプ、膨張タンク、熱源水配管及び熱源水について、以下のとおり設計する。

#### ①ヒートポンプ

ヒートポンプに必要な能力は、表 4-8 に示す必要な能力を満足するように設定する。

なお、選定したヒートポンプの性能によっては、送り出し温度の設定値と実際の送り出し温度に差が生じる場合があるため、あらかじめ実際の送り出し温度を別途計測する等両者が一致していることを確認することが望ましい。

表 4-8 ヒートポンプに必要な能力

	必要な能力
定格暖房能力 (kW)	全体必要熱量 $Q_a$ (kW) から下水熱の採熱量 $Q_v$ (kW) を差し引いた熱量以上の能力
送り出し流量 (m <sup>3</sup> /s)	放熱設備の熱源水の流量 $Q_r$ (m <sup>3</sup> /s) 以上の能力
外形寸法 (mm)	設置する箇所に収まる寸法のもの

#### ②循環ポンプ

循環ポンプに必要な能力は、表 4-9 に示す項目を満足するように設定する。

表 4-9 循環ポンプに必要な能力

	必要な能力	
吐出量 (m <sup>3</sup> /s)	放熱設備	放熱設備の熱源水の流量 $Q_r$ (m <sup>3</sup> /s)
	採熱設備	採熱管流量 $Q_s$ (m <sup>3</sup> /s)
揚程 (m)	放熱設備	放熱設備に必要な揚程 $h_1$ (m)
	採熱設備	採熱設備に必要な揚程 $h_2$ (m)
	全施設	全揚程 $h$ (m)

全揚程  $h$  (m)は、以下のとおり Weston 公式を用いて各配管での揚程から算出する。  
 吐出量は、§ 15 放熱設備の設計 (5) 放熱設備の流量で算出した値以上とする。  
 なお、採熱側の循環ポンプは、全揚程を満足させる必要がある。

$$h = h_1 + h_2 \dots\dots\dots \text{式 4-25}$$

ここに、 $h_1$ : 放熱設備に必要な揚程 (m)  
 $h_2$ : 採熱設備に必要な揚程 (m)

$$h_1 = h_a + h_b \dots\dots\dots \text{式 4-26}$$

ここに、 $h_a$ : 放熱設備の熱源水配管の揚程 (行き) (m)  
 $h_b$ : 放熱設備の熱源水配管の揚程 (還り) (m)

$$h_a = [0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d_a) / \sqrt{v_a}] \times (L_a / d_a) \times v_a^2 / 2g \dots\dots\dots \text{式 4-27}$$

ここに、 $L_a$ : 放熱設備の熱源水配管の延長 (行き) (m)  
 $d_a$ : 放熱設備の熱源水配管の内径 (行き) (m)  
 $v_a$ : 放熱設備の熱源水配管内の平均流速 (行き) (m/s)  
 $g$ : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$$h_b = [0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d_b) / \sqrt{v_b}] \times (L_b / d_b) \times v_b^2 / 2g \dots\dots\dots \text{式 4-28}$$

ここに、 $L_b$ : 放熱設備の熱源水配管の延長 (還り) (m)  
 $d_b$ : 放熱設備の熱源水配管の内径 (還り) (m)  
 $v_b$ : 放熱設備の熱源水配管内の平均流速 (還り) (m/s)  
 $g$ : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$$h_2 = h_c + h_d + h_e \dots\dots\dots \text{式 4-29}$$

ここに、 $h_c$ : 採熱設備の熱源水配管の揚程 (行き) (m)  
 $h_d$ : 採熱設備の熱源水配管の揚程 (還り) (m)  
 $h_e$ : マンホール深 (m)

$$h_c = [0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d_c) / \sqrt{v_c}] \times (L_c / d_c) \times v_c^2 / 2g \dots\dots\dots \text{式 4-30}$$

ここに、 $L_c$ : 採熱設備の熱源水配管の延長 (行き) (m)  
 $d_c$ : 採熱設備の熱源水配管の内径 (行き) (m)  
 $v_c$ : 採熱設備の熱源水配管内の平均流速 (行き) (m/s)  
 $g$ : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$$h_d = [0.0126 + (0.01739 - 0.1087 \times d_d) / \sqrt{v_d}] \times (L_d / d_d) \times v_d^2 / 2g \dots\dots\dots \text{式 4-31}$$

ここに、 $L_d$ : 採熱設備の熱源水配管の延長 (還り) (m)  
 $d_d$ : 採熱設備の熱源水配管の内径 (還り) (m)  
 $v_d$ : 採熱設備の熱源水配管内の平均流速 (還り) (m/s)  
 $g$ : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

### ③膨張タンク

膨張タンクは、表 4-10 のとおり、施設に対する全不凍液の量を集計し、それを超える量をタンク容量として設定する。

表 4-10 膨張タンクの仕様

	容量
融雪設備	放熱管内の容量 $V_1$ (ℓ)
操作・制御設備	熱源水配管内の容量 $V_2$ (ℓ)
採熱設備	採熱管の容量 $V_3$ (ℓ)
膨張タンク	膨張タンクの容量 $V_4$ (ℓ) $> V_1 + V_2 + V_3$

### ④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。熱源水配管の口径は、採熱側の流量及び流速によって決定する。

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し、現地の状況に応じて適切な種類を採用する。なお、実証研究では、不凍液としてロードヒーティング用（プロピレングリコール系（使用温度範囲  $-40\sim 90$  °C））を使用した。

## § 18 概算工事費の算出

概算工事費を、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、設計した内容を基に概算数量を積み上げて算出する。算出にあたっては、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は設計内容を基に複数の見積りを行うなどして適正価格となる概算工事費を算出する。