

官庁施設における 雪冷房システム計画指針

平成20年 7月

この指針は、国土交通省官庁営繕部及び地方整備局等営繕部が官庁施設の営繕を実施するための資料として作成したものです。

利用にあたっては、国土交通省ホームページのリンク・著作権・免責事項に関する利用ルール (<http://www.mlit.go.jp/link.html>) をご確認ください。

国土交通省大臣官房官庁営繕部 設備・環境課

目 次

第1章	総則	
	1. 1 背景・目的	p2
	1. 2 用語の定義	p2
第2章	システムの計画	
	2. 1 基本事項	p3
	2. 2 評価手法	p10
	2. 3 基本システム	p11
	2. 4 貯雪庫	p12
	2. 5 改修の場合の留意点	p14
第3章	システムの設計	
	3. 1 貯雪庫の構造	p14
	3. 2 貯雪庫容量	p17
	3. 3 併設熱源機器の算定	p17
	3. 4 雪冷房出力の確認	p18
	3. 5 融解水一次ポンプの循環量	p18
	3. 6 熱交換器	p19
	3. 7 配管設備	p19
	3. 8 換気設備	p19
	3. 9 排水設備	p19
	3. 10 自動制御設備	p19
第4章	システムの施工	
	4. 1 施工上の留意点	p20
	4. 2 試運転調整	p21
第5章	維持・運転管理	
	5. 1 貯雪方法	p21
	5. 2 貯雪手順	p22
	5. 3 点検・監視	p22
資料編		p23

第1章 総則

1. 1 背景・目的

京都議定書に定められた温室効果ガス削減の第1約束期間を迎え、我が国は今後5年間の平均で、温室効果ガス排出量を1990年比6%削減するという目標を達成することが求められている。これに先立ち、政府自らも「政府がその事務及び事業に関し温室効果ガスの排出の抑制等のため実行すべき措置について定める計画（政府の実行計画）」（平成19年3月30日）を閣議決定し、温室効果ガス排出削減に向けての取組のより一層の推進を図っている。特に建築関連分野は、温室効果ガス排出に占める割合が大きく、建築物のさらなる省CO₂化は地球温暖化対策の大きな柱となっている。

官庁施設においては、新築の施設についてはグリーン庁舎として整備、既存の施設は、グリーン診断に基づくグリーン改修工事を実施するなど、地球温暖化対策を推進しているところであるが、環境関連技術の長足の進歩も有り、未利用エネルギーの有効活用等による地球温暖化対策については、さらなる検討の余地が残されている。

本指針は、未利用エネルギーのなかでも官庁施設に導入が見込まれ、かつ、温室効果ガス削減効果が比較的高いと想定される雪氷熱を活用した「雪冷房システム」について、その導入を促進し地球温暖化対策や省エネルギー対策のさらなる推進に資するため、計画手法、設計手法、効果の評価手法等について、平成19年度に官庁営繕部にて開催した「官庁施設における雪冷房システムの整備手法の構築に係る研究会（委員長 媚山政良 室蘭工業大学教授）」の検討結果を基に作成したものである。

1. 2 用語の定義

本マニュアルで使用する用語の意義は次の通り。

(1) 雪冷房システム

空気調和設備の冷熱源として雪を活用したシステム。

(2) 積雪の深さ D_{snow} [cm]

ある時刻で自然に地表に積もっている雪の量。地表面からの高さで表す。

(3) 降雪の深さ [cm]

一定時間内に降った雪の量。高さで表す。

(4) 雪冷房依存率 β

期間冷房負荷のうち、雪冷房システムが処理する負荷の割合。

(5) 地域補正係数 α_0

地域の気象条件に合わせて年間冷房負荷を補正するための係数。札幌を「1.0」とする。

(6) 負荷率 α_1

年間冷房負荷に対する各月の冷房負荷の占める割合。

(7) 年間冷房負荷 $Q_{\text{cool-y}}$ [kWh]

一年を通じた施設の冷房負荷。

(8) 期間冷房負荷 $Q_{\text{cool-s}}$ [kWh/年]

年間冷房負荷のうち冷房設定期間における施設の冷房負荷。

(9) 期間雪冷房負荷 Q_{snow} [kWh/年]

期間冷房負荷のうち、雪冷房システムが処理する冷房負荷。

(10) 雪冷房利用可能熱量 C_p' [kWh/kg]

雪から冷熱として取り出せる単位重量あたりの熱量（融解潜熱＋顕熱）。

(11) 必要貯雪重量 W_{cool} [kg/年]

期間雪冷房負荷を処理するために必要な雪の重量。

(12) 必要貯雪量 V_{cool} [m³/年]

期間雪冷房負荷を処理するために必要な雪の体積。

(13) 貯雪量 V [m³/年]

必要貯雪量に自然融解やシステム特性により損失する雪の量等を加味した量

(14) 有効利用率 γ_0

$\gamma_0 = V_{\text{cool}} \div V \times 100 [\%]$ で表される。貯雪量のうち、冷熱源として利用できる雪量の割合。

(15) 貯雪庫

雪冷房のための雪を冬期から冷房利用期間まで蓄えておくための施設。

(16) 集雪面積 A_{snow} [m²/年]

貯雪量の確保のために必要となる、敷地内の集雪可能な土地等の面積。

(17) 滞水層

雪と熱媒体である水とを効率よく熱交換するため貯雪庫床面に貯水した層。

(18) 滞水堰

滞水層を形成するために必要な堰。

第2章 システムの計画

2.1 基本事項

(1) 導入検討

- ① 新築の場合、雪冷房の導入に当たっては、施設の規模、敷地の状況、想定される冷房需要、気象条件等により、経済性、環境性、維持管理性などを総合的に検討する。
- ② 既存施設の改修の場合、①に加え、既存の冷房負荷データの実績、既存施設の設備システム、既存施設内の貯雪庫として転用可能なスペースの有無などを確認する。特に、貯雪庫を増築する場合は、建蔽率・容積率の制限等法的適合性に留意する。また既設施設の一部を貯雪庫とする場合は、貯雪重量に対する構造上の確認を行う。

(2) 気象条件の確認

雪冷房システムの導入が可能と思われる地域の気象条件は、次の①～③を満たすことを目安とする。

- ①夏季最高気温（設計用温度）が28℃以上
- ②夏季の日最高気温25℃以上の日が30日以上
- ③降雪の深さ合計値が200cm以上

以上の条件を満たす地域（都道府県単位）を図2-1に示す。…資料編＜参考1＞参照

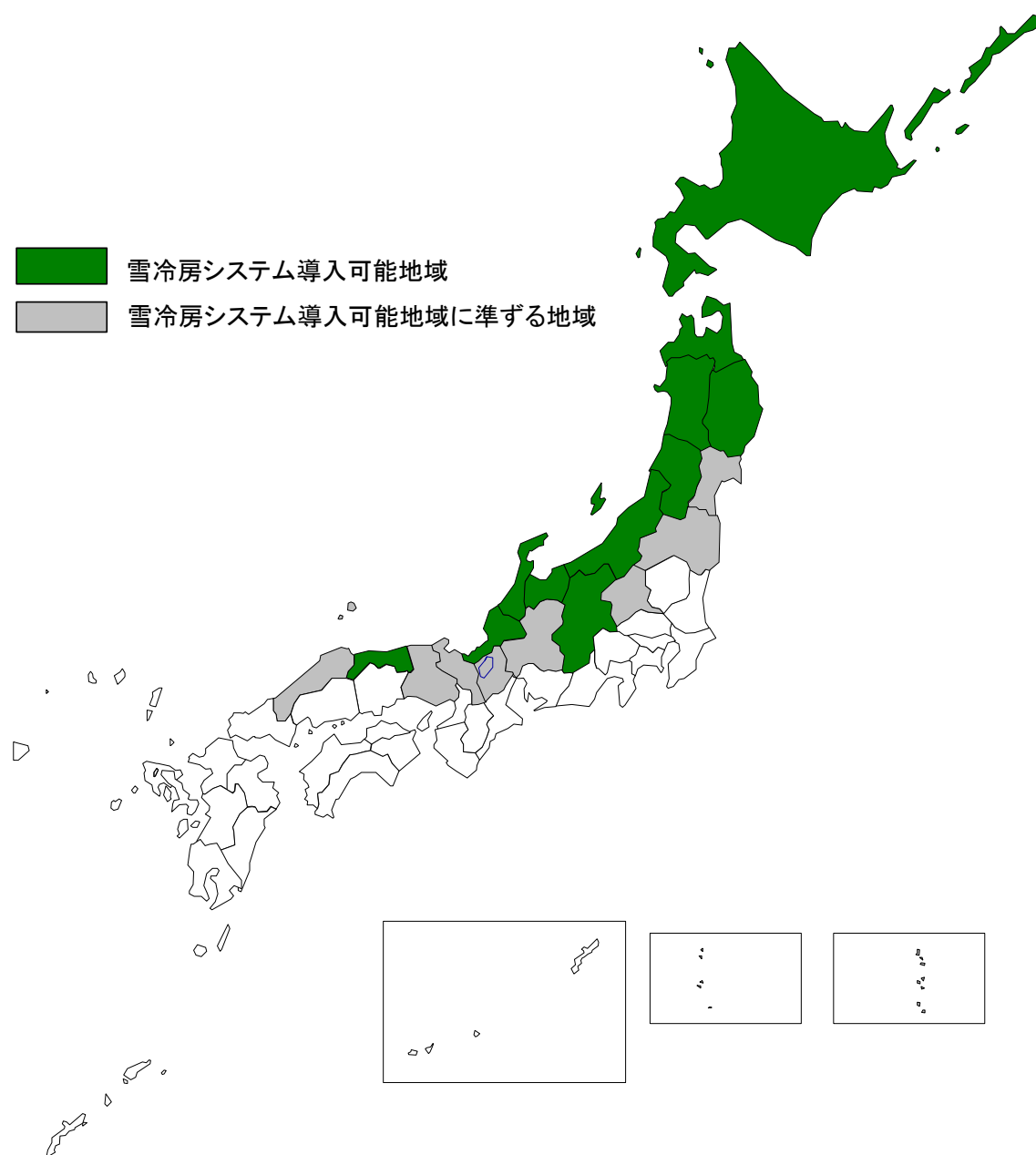


図2-1 雪冷房導入可能地域

(3) 検討フロー

導入検討手順は、図 2-2 による。

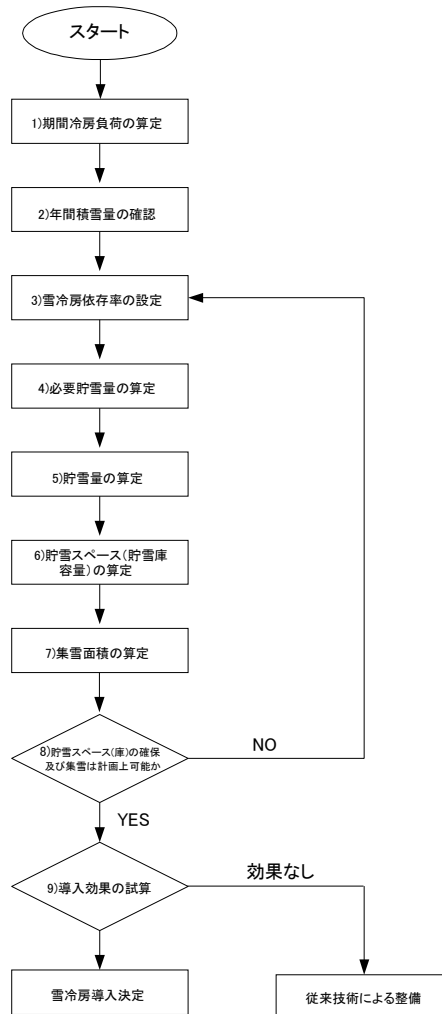


図 2-2 雪冷房導入検討フロー

(4) 期間冷房負荷の算定

期間冷房負荷は、年間冷房負荷と負荷率より算出する。

① 年間冷房負荷の算出

年間冷房負荷 Q_{cool-y} [kWh/年] は、表 2-1 に示す冷房負荷年間需要量 q_c [kWh/m²・年] に延べ面積 A_c [m²] と表 2-2 に示す地域係数 α_0 を乗じて算出しても良い。
ただし、表中の数値は、モデル庁舎（資料編＜参考 2＞）を基に算出したものであり、施設規模・形状・用途等の条件が大きく異なる場合は個別に算定する。

$$\text{年間冷房負荷 } Q_{cool-y} [\text{kWh/年}] = q_c [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{年}] \times A_c [\text{m}^2] \times \alpha_0 (\text{地域補正係数})$$

表 2-1 冷房負荷年間需要量 q_c [kWh/m²・年] <モデル庁舎ベース>

		年間需要量（単位空調面積あたり [kWh/m ² ・年]）		
		官庁施設※1	参考	
			事務所（標準形）※2,3	事務所（OA形）※2,3
熱負荷	冷房	17.1（札幌）	81.4（東京）	153.5（東京）

※1官庁施設で地域を札幌とし冷房室内温度28℃、断熱材は75mm（外断熱）場合（MICRO-PEAK/2000により計算）（参考：東京値 47.6）

※2都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価 社団法人空気調和・衛生工学会

※3天然ガスコージェネレーション 計画・設計マニュアル2005 （社）日エネルギー学会編

表 2-2 地域補正係数 α <モデル庁舎ベース>

	北海道				東北				北陸		関東	
地域名称	東京	旭川	札幌 （基準）	根室	秋田	盛岡	仙台	福島	新潟	富山	宇都宮	前橋
地域係数	2.78	0.80	1.00	0.32	1.87	1.64	1.88	2.22	2.47	2.72	2.20	2.55

※1官庁施設で冷房室内温度28℃断熱材厚さ75mmとしてMICRO-PEAK/2000により計算した。

②期間冷房負荷の算定

期間冷房負荷 Q_{cool-s} [kWh/年]は、年間冷房負荷に冷房期間の負荷率 α_1 の合計を乗じて算出する。なお、積雪寒冷地における冷房期間は7月及び8月の2ヶ月間を標準とする。

$$\text{期間冷房負荷 } Q_{cool-s} [\text{kWh/年}] = Q_{cool-y} [\text{kWh/年}] \times \Sigma \text{ 負荷率 } \alpha_1$$

〔試算例〕

札幌の場合

単位面積当りの年間冷房負荷 $q_{cool-y} = 17.1$ [kWh/m²年]単位面積当りの期間冷房負荷 $q_{cool-s} = q_{cool-y}$ [kWh/m²年] $\times \Sigma$ 負荷率 α_1

$$= 17.1 \times (39.6 + 39.6) / 100$$

$$= 13.5 [\text{kWh/m}^2 \text{年}]$$

ただし、負荷率 α_1 は表 2-3 による。

表 2-3 年間冷房負荷月別パターン <モデル庁舎ベース>

		月別パターン α_1 (%)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
官庁施設※1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	7.90	39.60	39.60	12.00	0.00	0.00	0.00
参考	事務所（標準形）※2,3	0.00	0.00	0.00	0.00	3.92	15.67	27.63	30.72	19.79	2.27	0.00	0.00
	事務所（OA形）※2,3	4.08	3.84	4.78	6.38	8.23	11.11	14.00	15.81	11.88	8.87	6.44	4.58
													合計
													100
													100.00
													100.00

※1官庁施設で地域を札幌とし冷房室内温度28℃断熱材厚さ75mmの場合（MICRO-PEAK/2000より計算）

※2都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価 社団法人空気調和・衛生工学会

※3天然ガスコージェネレーション 計画・設計マニュアル2005 （社）日本エネルギー学会編

(5) 雪冷房依存率（ β ）の検討

雪冷房の対象とする部分は、次を標準とし、経済性等に十分留意しつつ最も効果的なシステムとなるように決定する。

- ①大規模庁舎・・・冷房対象部分のうち、玄関ホール、待合室等の共用部分
- ②中規模庁舎・・・冷房対象部分のすべて（ $\beta = 1.0$ ）

(6) 期間雪冷房負荷の算定

期間雪冷房負荷 Q_{snow} [kWh/年] は、雪冷房依存率（ β ）と期間冷房負荷 $Q_{\text{cool-s}}$ [kWh/年] より算出する。

$$Q_{\text{snow}} [\text{kWh/年}] = Q_{\text{cool-s}} [\text{kWh/年}] \times \beta$$

(7) 必要貯雪量の算定

必要貯雪量 $V_{\text{cool}} [\text{m}^3/\text{年}]$ は、期間雪冷房負荷と単位重量あたりの雪冷房利用可能熱量 C_p' （顕熱＋融解潜熱） [kWh/kg] 及び雪の密度 ρ [kg/m³] から算出する。

$$\text{必要貯雪重量 } W_{\text{cool}} [\text{kg/年}] = Q_{\text{snow}} [\text{kWh/年}] \div C_p' [\text{kWh/kg}]$$

$$\text{必要貯雪量 } V_{\text{cool}} [\text{m}^3/\text{年}] = W_{\text{cool}} [\text{kg/年}] \div \rho [\text{kg/m}^3]$$

ここに、雪冷房利用可能熱量 $C_p' = 0.099491 \text{ kWh/kg}$ …資料編＜参考3＞参照

雪の密度 $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ …資料編＜参考4＞参照

雪冷房依存率 β をパラメータとして、期間冷房負荷 $Q_{\text{cool-s}}$ [kWh/年] に対する必要貯雪量 $V_{\text{cool}} [\text{m}^3/\text{年}]$ の関係を図 2-3 に示す。

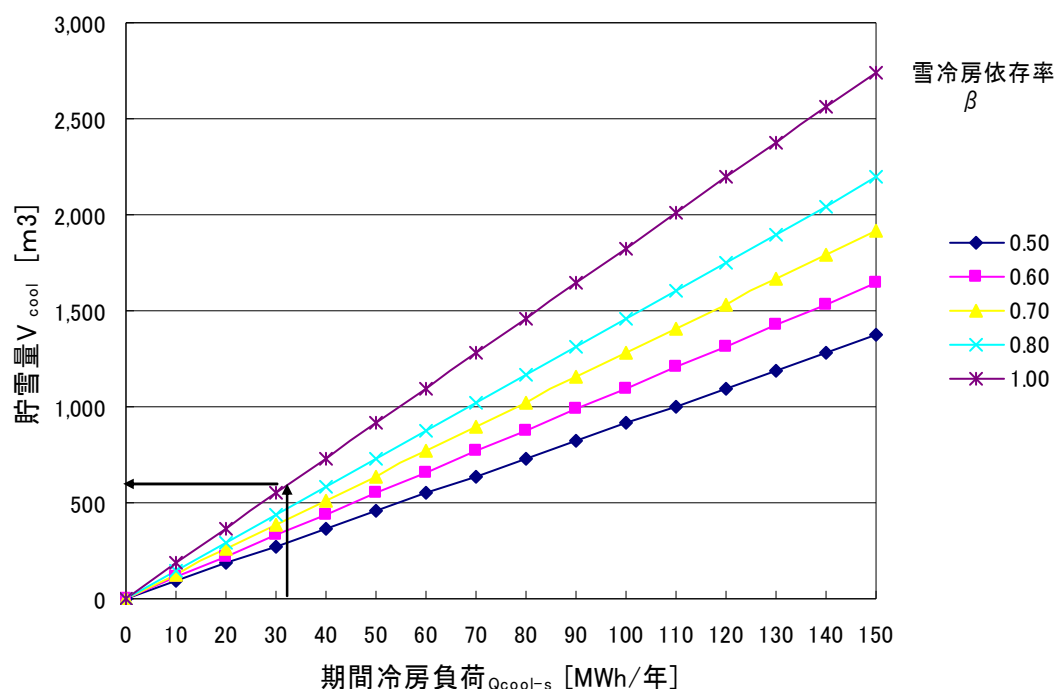


図 2-3 期間冷房負荷 Q_{cool-s} [kWh/年] に対する必要貯雪量 V_{cool} [m³/年]

(8) 貯雪量の算定

貯雪庫に貯雪された雪は、自然融解やシステム特性により、その冷熱量を全て利用することはできない。従って、必要貯雪量より多くの雪を貯雪する必要がある。既往の事例からは、貯雪された雪の約 80% が冷熱源として使用できるとされている。

貯雪量 V は、有効利用率 γ_0 を用いて次の式により算出する。

$$\text{貯雪量 } V [\text{m}^3/\text{年}] = V_{\text{cool}} (\text{必要貯雪量}) [\text{m}^3/\text{年}] \div \gamma_0 \times 1.2 (\text{安全率})$$

ここに、貯雪庫に貯雪する場合、有効利用率 $\gamma_0 = 0.8$ とする。有効利用率の考え方は以下の通り。

$$\text{有効利用率} = \frac{\text{必要貯雪量}}{\text{必要貯雪量} + \text{侵入熱による融解量} + \text{利用不可残雪量}}$$

(9) 貯雪庫容量の算定

貯雪庫に貯雪する場合、貯雪庫の容積を全て有効に使うことは出来ない。特に高さ方向において、天井面との間に空間ができるため、貯雪量は、貯雪庫容量の 90% 程度となる。

貯雪庫容量 V_{storage} [m³/年] は次の式で算出する。

貯雪庫容量 $V_{\text{storage}}[\text{m}^3/\text{年}] = V[\text{m}^3/\text{年}] \div \gamma_1$

ここに有効充填率 $\gamma_1 = 0.9$ とする。

(10) 集雪面積の算定

雪量・雪質を確実に確保する観点から、原則として、利用する雪は敷地内のものとする。

集雪面積 $A_{\text{snow}}[\text{m}^2/\text{年}]$ は、貯雪量 $V[\text{m}^3/\text{年}]$ と導入を検討している地域の積雪の深さ $D_{\text{snow}}[\text{cm}]$ から算出する。

$$\text{集雪面積 } A_{\text{snow}} = (V \times 100) \div D_{\text{snow}}$$

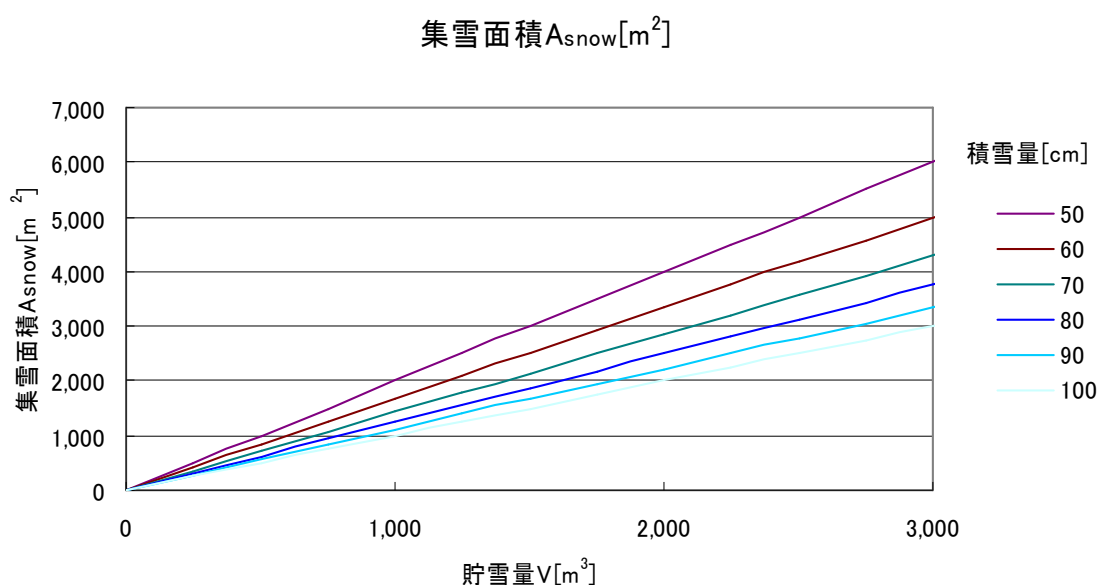


図 2-4 貯雪量 $V[\text{m}^3/\text{年}]$ に対する集雪面積 $A[\text{m}^2/\text{年}]$

(11) 貯雪スペースおよび集雪面積の確認

導入検討施設の敷地において、貯雪スペースおよび集雪面積の確保が可能かどうか確認する。

集積面積の確保が困難な場合は、雪冷房依存率の設定を変更し、再度 4) ～8) の手順を行い、実現可能な貯雪スペースおよび集雪面積を算出する。

なお、次の場所は集雪に適さないので注意を要する。

- ・ 砂利面（やむを得ず集雪する場合は、砂利等の混入がないように配慮する。）
- ・ 融雪剤を散布している場所（配管、機器類に錆等を発生させる可能性がある。）

また、集雪面積の確保が困難な場合、雪の一時堆積場所についても検討する。駐車場の一部など堆積に利用可能なスペースがあれば、雪冷房依存率設定についても柔軟に対応可能となる。

2.2 評価手法

雪冷房導入効果は、①イニシャルコスト、②ランニングコスト、③エネルギー（一次エネルギー換算）および④LCCO₂について、従来システムとの比較により試算するものとし、評価期間及び方法は「官庁施設の環境保全性に関する基準」及び「官庁施設の環境保全性に関する診断・改修計画基準」に準じることとする。（評価期間は新築の場合65年、改修の場合は残存寿命25年）

表 2-4 雪冷房システム導入効果試算項目例（ $\beta=1.0$ の場合）

	雪冷房システム		従来システム	
	貯雪庫の設置コスト	躯体 断熱材	熱源機械室の設置コスト	躯体
①イニシャルコスト	雪冷房設備	融解水一次ポンプ 融解水二次ポンプ 熱交換器 融解水配管 還水管 排水ポンプ 自動制御 電気設備	冷房設備	冷温水発生機 冷却水ポンプ 冷却塔 冷温水一次ポンプ ※場合により オイルタンク オイルサービスタンク オイルギアポンプ
	電気	融解水一次ポンプ 融解水二次ポンプ 排水ポンプ	電気、ガス、油	冷温水発生機 冷却水ポンプ 冷却塔 冷温水一次ポンプ ※場合により オイルギアポンプ
	集雪作業費	ロータリー除雪車の燃料費 集雪の人件費		ロータリー除雪車の燃料費 ダンプ、バックホウ等の燃料費 除雪の人件費
	維持管理費			維持管理費
	機器更新費			機器更新費
	電気	融解水一次ポンプ 融解水二次ポンプ 排水ポンプ	電気	冷温水発生機 冷却水ポンプ 冷却塔 冷温水一次ポンプ ※場合により オイルギアポンプ
	油	ロータリー除雪車	油	ロータリー除雪車 ダンプ、バックホウ等 ※場合により オイルギアポンプ
	計画、設計に伴うもの 工事に伴うもの 運用に伴うもの 雪冷房設備の運転 雪冷房設備の維持管理 集雪作業		計画、設計に伴うもの 工事に伴うもの 運用に伴うもの 冷房設備 冷房設備の運転 冷房設備の維持管理 除雪作業	
	廃棄に伴うもの		廃棄に伴うもの	

2.3 基本システム

(1) 雪冷房システムの方式

一般的に、雪冷房システムの方式は、空気や水などの冷熱媒体と雪の熱交換方式によって次の通り区別される。

- ① 空気と雪を直接接触させて熱交換させる「全空気方式」。
- ② 融解水の冷熱を利用する「融解水熱交換方式」。(さらに、融解水冷熱を直接空調機に送水する直接利用方式と熱交換器を介して送水する間接利用方式とに分別される。)
- ③ ①および②を併用した「空気・融解水熱交換併用方式」。

いずれの方式もそれぞれ特徴があり対象施設に適した方式を採用する必要がある。…資料編<参考5>参照

(2) 雪冷房の標準方式

中央熱源方式の官庁施設については、これに適応させやすい「融解水熱交換方式」を雪冷房の標準方式とする。また、雪冷房依存率の設定により、全雪冷房運転方式と雪冷房・熱源併用運転方式に分けられる。各々のシステムの構成、年間および一日の運転方法を次に示す。

① 全雪冷房運転方式

この方式は、期間冷房負荷を全て雪冷房により処理する方式である。冷熱源が雪であるため、従来の設備方式に比べランニングコストが低減でき、CO₂排出量も小さくできるが、大きな貯雪スペースを必要とするため、貯雪場所、貯雪方法等について十分な検討が必要である。

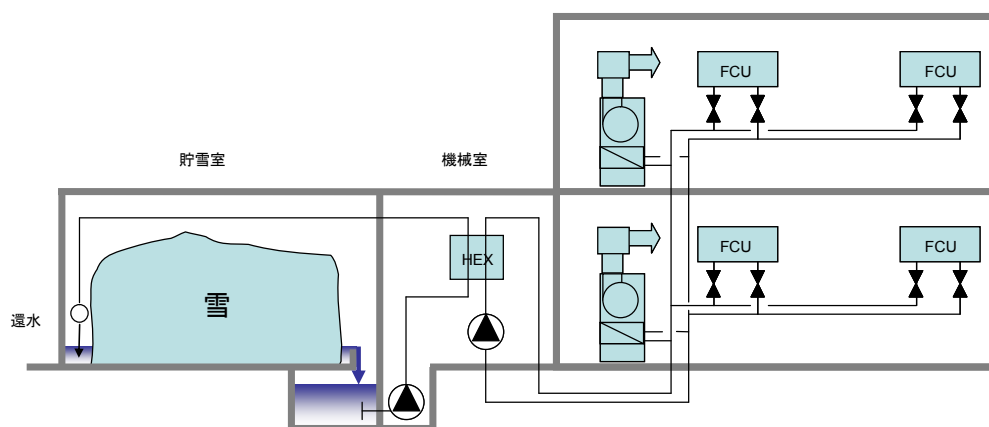


図 2-5 全雪冷房運転方式 例

ア 運転方法

冷房期間終了までに所定の冷房最大能力を持続することが求められるため、冷房負荷に応じて適切に雪を融解させるとともに、過剰な融解を抑制する制御を行うことが重要となる。

②雪冷房・熱源併用運転方式

この方式は、雪冷房と冷凍機などの熱源機器を併用する方式で、全雪冷房運転方式より、貯雪スペースを小さくすることができる。また、異常気象などで想定より早く雪を使い切ってしまった後でも、冷熱源機器の運転により、ある程度の冷房が可能である。ただし、両者の能力を設定する際には、費用対効果の十分な検討が必要である。

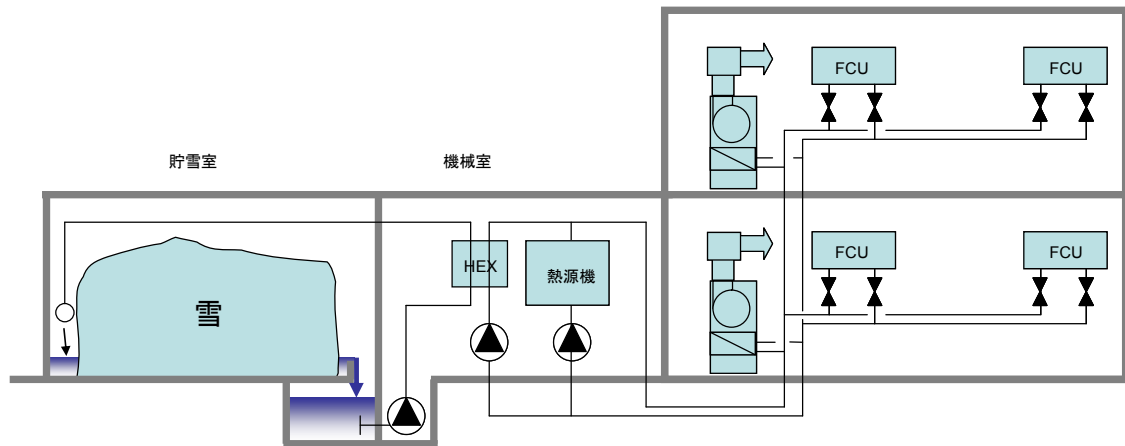


図 2-6 雪冷房・熱源併用運転方式例

ア 運転方法

基本的に、熱源機器をベースで運転し、不足する変動部分を雪冷房で処理するピークカット方式による運転を行う。

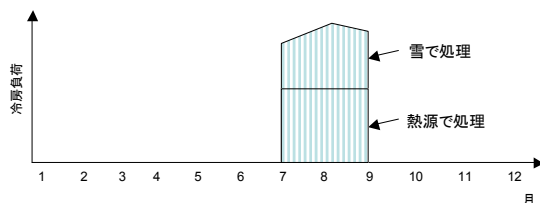


図 2-7 年間雪冷房・熱源運転方法

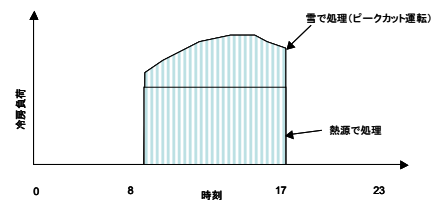


図 2-8 時刻別雪冷房・熱源運転方法

2.4 貯雪庫

(1) 貯雪庫

貯雪方法による分類を図 2-9 に示す。貯雪庫を設ける場合は、イニシャルコスト、貯雪方法、新築または既存、施設との関係（併設、独立など）、設置場所や高さの制約などを考慮する。

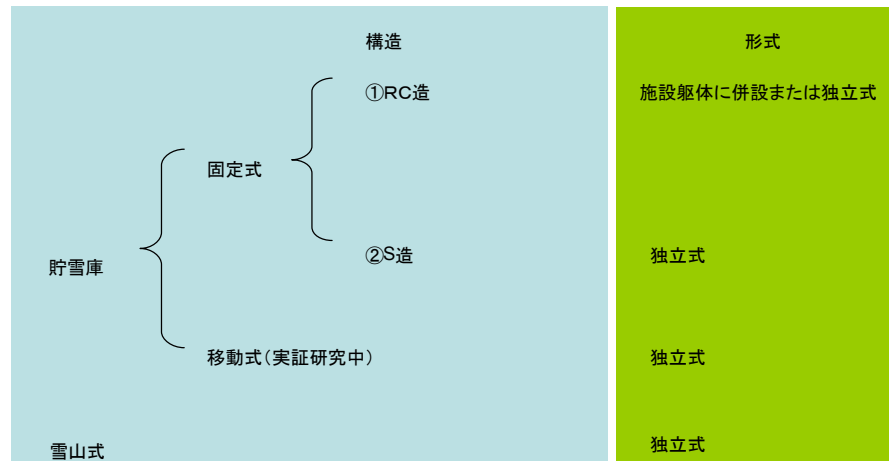


図 2-9 貯雪庫の構造・形式

(2) 設置場所

貯雪庫を設ける場合、その設置場所については次の点に留意する。

- ①貯雪時の作業性を考慮の上、計画する。
- ②周囲の敷地地盤高さに対する貯雪庫床面の高さを、雨水流入がないよう設定する。流入の恐れがある場合、排水側溝等を設置する。
- ③大型の貯雪庫の場合は、ロータリー除雪車等の重機が貯雪庫内で貯雪作業を行うことに配慮する。
- ④融解水を冷水として利用するため、熱源機械室との位置関係を確認し、極力配管が短くなるように計画する。
- ⑤融解水を放流するための、排水管、枳の位置を確認する。融解水の排水方法については、下水道事業者と協議する。また融解水を大量に河川等に排水する場合は、河川管理者等に確認するなどの注意を要する。
- ⑥貯雪庫の上下階もしくは隣接する室に電気室ないよう留意する。
- ⑦地下に構築する貯雪庫の場合は、地下水位を確認する。

(3) 形状

貯雪庫の形状は、断熱性能の面から、表面積の少ない立方体形状が理想的である。また、重機等による集雪作業を考慮した広さとし、天井高は6～8m程度とする。

(4) 構造

貯雪庫の構造については、次の点に留意する。

- ①建築本体内に設置する場合、本体の構造に準じる。
- ②地下設置の場合は、構造上の制約からRC造とする。

- ③建築本体から独立して設置する場合、経済性に配慮し、鉄骨造を標準する。
- ④壁は、ロータリー除雪車による投雪時の衝撃や、雪の沈降時の側圧にも耐えうる構造とする。
- ⑤床スラブは貯雪時の荷重を考慮し、かつロータリー除雪車等の重機が入っても支障がない強度とする。

(5) 除雪車進入車路

除雪車が貯雪庫内に入り作業をする場合は、車路を設ける。

2.5 改修の場合の留意点

既存施設を改修し、雪冷房を導入する場合は、次の点に留意する。

(1) 既存施設とは独立して敷地内に貯雪スペースを確保する場合

- ①敷地内に設置スペースが確保できるか確認する。
- ②貯雪庫を増築する場合、建蔽率、容積率、高さ制限、消防法適合条件などの法的適合性の確認を行う。
- ③貯雪スペースの位置は、集雪時の作業性、および日射の影響などを考慮して決定する。

(2) 既存施設内に貯雪スペースを確保する場合

- ①倉庫等を貯雪庫として転用する場合、床や梁等が貯雪重量に耐えうるかどうかの検討を行う。
- ②貯雪庫として利用する室に隣接する室若しくは上下の室の用途を確認する。電気室やボイラー機械室等の場合は極力避ける。
- ③貯雪庫として利用する室の止水および防水に留意する。また、融解水の排水方法について検討する。
- ④貯雪庫として利用する室内外の断熱化が可能であるか確認を行い、他用途室に結露等の影響を与えないようにする。

(3) 共通

- ①雪冷房システムの計画に当たっては、暖房等の既設の空気調和設備との接続についても十分考慮する。
- ②敷地内に集雪面積が確保できるか確認する。
- ③熱損失を極力抑えるため、貯雪スペースの位置と機械室の距離に留意する。
- ④熱交換器など雪冷房システムに関わる機器の設置スペースが既存熱源機械室内等に確保できるか確認する。

第3章 システムの設計

3.1 貯雪庫の構造

貯蔵された雪は冷房時期まで長期間保存する必要があることから、貯雪庫の断熱には十分留意する。また、貯雪庫は、雪の側圧に十分耐える構造とすると共に、建築基準法、消防法等の関係規定に従う。

図3-1に貯雪庫の構造の例を示す。

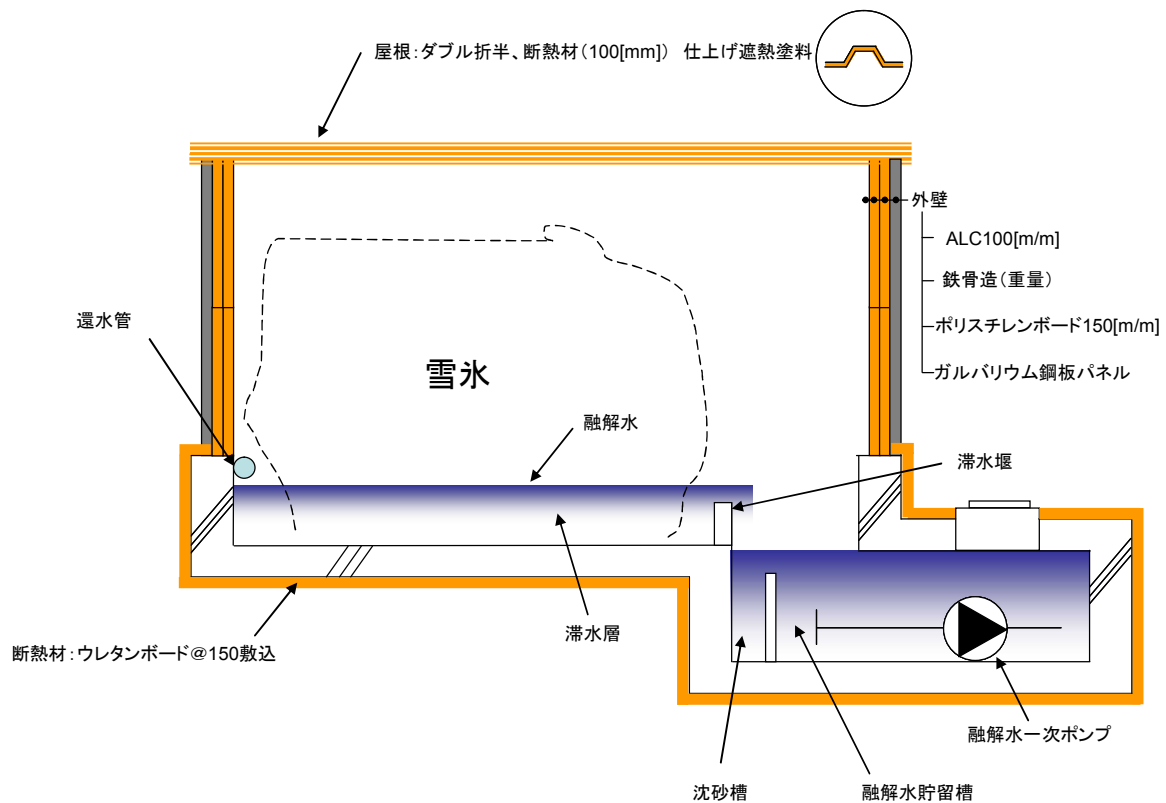


図 3-1 貯雪庫（鉄骨造の例）

(1)断熱

貯雪庫には、100～150mm程度の断熱を6面行う。また、断熱材の外表面は防水仕上げとする。

主な断熱材の特徴は表3-1の通り。

表 3-1 主な断熱材の材料特性

有機／無機	有機系			無機系
発泡／繊維	発泡系			繊維系
	A種ビーズ法 ポリスチレン フォーム保温板	A種押し出し発泡 ポリスチレン保温板	A種硬質 ウレタンフォーム保温板	グラスウール
略称	E P S	X P S	P U F	GW
燃焼性	3秒で消炎	3秒で消炎	難燃品あり	不燃
原材料	ポリスチレン樹脂	ポリスチレン樹脂	ウレタン樹脂	けい砂、石灰石 長石、ソーダ灰
JIS	JIS A 9511	JIS A 9511	JIS A 9511	JIS A 9504 JIS A 9521 JIS A 9523
主要密度	15～30kg/m ³	20～25kg/m ³ 以上	25～35kg/m ³	16K、24K
透湿性 (m ² sPa/ng)	25mm当たり 7.5×10 ⁻³	25mm当たり 25×10 ⁻³	25mm当たり 6.9～4.4×10 ⁻³	100mm、16K 0.36×10 ⁻³
対候性	紫外線に弱い	紫外線に弱い	紫外線に弱い	半永久的
耐薬品性	濃酸、アセトンに弱い	濃酸、アセトンに弱い	濃酸、アセトンに弱い	ほぼ安定
吸水量	1～3号 1.0g/100cm ² 以下 4号 1.5g/100cm ² 以下	0.01g/100cm ² 以下	3g/100cm ² 以下	多い
熱伝導率 (W/mK)	特号 0.034以下 1号 0.036以下 2号 0.037以下 3号 0.040以下 4号 0.043以下	1種 0.040以下 2種 0.034以下 3種 0.028以下	1種 0.09以下 2種 1号 0.023以下 2種 2号 0.024以下 2種 3号 0.027以下 2種 4号 0.028以下	24K 0.049以下 32K 0.046以下 40K 0.044以下 48K 0.043以下 64K 0.042以下
酸素指数	26以上	26以上	—	—
リサイクル性	リサイクル困難	リサイクル困難	リサイクル困難	リサイクル可能
解体の難易度	困難	困難	困難	容易
発泡剤	炭化水素及び二酸化炭素	炭化水素及び二酸化炭素	炭化水素及び二酸化炭素	—
備考	長期的に安定 型枠として利用可 下地のない継ぎ目は隙間が できないように処理が必要	長期的に安定 型枠として利用可 下地のない継ぎ目は隙間が できないように処理が必要 屋根面には、3種	長期的に安定 施工時の火災に注意必要 現場発泡品もあり、シーム レスに施工できる(JIS A 9526)	内部結露に注意必要

※JISでは発泡剤に代替フロンを用いないものをA種としている。

(2) 開口部

集雪作業を円滑に行うため、重機等の出入りが可能な大きさの開口部を設ける。また、貯雪庫の断熱性能の確保に配慮した扉（シャッター）等を設置する。さらに、融雪状態を確認するため、のぞき窓等を必要に応じて設置する。

(3) 壁、梁

外壁仕上げは、集雪作業等で破損等がないよう、溶融アルミニウム一重鉛鋼板などの耐衝撃性および耐水性に優れた材料とする。壁は、貯雪荷重に対する構造強度を確保するものとする。

また、梁の向きは、投雪時に支障がない方向とする。

(4) 貯雪庫床面の勾配・仕上げ

滞水層を形成する貯雪庫床面は、融解水貯留槽に向かって融解水が流れるように、また、

清掃等のことを考慮し 1/100 程度の床勾配とする。仕上げについては、重機等が内部で作業をする場合を考慮したものとする。

(5) 滞水層および滞水堰

滞水堰は、滞水層を形成するために設置するもので、その高さは既往事例より 100～300mm 程度とする。

(6) 融解水貯留槽

融解水貯留槽は、滞水堰をオーバーフローした融解水を貯留するためのもので、融解水中に含まれる砂やゴミ等を除去するため、水槽には沈砂槽を設ける。また、仕上げは防水仕上げとし、メンテナンス用のマンホールを設置する。

融解水貯留槽の大きさは、融解水一次ポンプ循環水量の 1～2 時間分程度を貯留できるものとする。

(7) 融解水一次ポンプ

雪融解量を適切に制御するため、インバータを設置し、熱交換器 2 次側の熱量消費に準じて流量制御を行う。融解水ポンプは、フート弁の故障に配慮して水中式とし、釜場を設ける。

(8) 還水管

熱交換後の融解水は、還水管により貯雪庫に戻される。この時、還水を貯雪庫上部から放水すると、放水位置や貯雪量により融解水がスムーズに循環しにくくなるため、融解水貯留槽もしくは滞水層に直接放水する。還水管は雪の効率的に融解するため床上配管を標準とし、貯雪等により破損しない位置に設置する。

3.2 貯雪庫容量

第2章 2. 1 (9)によるほか、付属する機器、槽類などを考慮して決定する。

3.3 併設熱源機器の算定

(1) 併設熱源機能力 H_c [kW]

雪冷房依存率 $\beta < 1.0$ の場合、併設熱源を設置し、雪冷房システムと併用して冷房運転を行う。雪冷房システム及び併設熱源機器を効率的に運転するため、併設熱源機器の能力は冷房ピーク負荷から算出するのではなく、期間冷房負荷から算出する。この場合、併設熱源能力は、次の式による。

$$H_c = Q_{cool-s} \times (1 - \beta) \div (\text{冷房期間運転時間}) \times k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$$

ここに、 H_c ：併設熱源機能力[kW]

Q_{cool-s} ：期間冷房負荷[kWh/年]

β ：雪冷房依存率（0～1）

冷房期間運転時間[h/年]

$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ ：ポンプ・配管損失・装置負荷係数（＝1.05）

k_4 ：経年係数（＝1.05）

k_5 ：能力補償係数（＝1.05）

(2) 併設熱源機1次ポンプ循環量 L_c [L/min]

併設熱源機1次ポンプ循環量は、下記の式で算出する。

$$L_c = 3,600 \cdot H_c \div \{60 \cdot C \cdot \rho \cdot (t_{out} - t_{in})\} = 14.3 \cdot H_c \div \Delta t_c$$

ここに、 H_c ：併設熱源機能力[kW]

t_{in} ：熱源機入口温度[°C]（＝12）

t_{out} ：熱源機出口温度[°C]（＝7）

Δt_c ：併設熱源機出入口温度差[°C]（＝5）

C ：水の比熱[kJ/(kg・K)]（＝4.19）

ρ ：水の密度[kg/L]（＝1.0）

3.4 雪冷房出力の確認

雪冷房出力 h_k は、既往の研究や実績より、滞水層単位面積あたり最大 1.4[kW/m²]程度と想定できる（資料編＜参考6＞）。これより、冷房システム全体の能力（雪冷房＋併設熱源）を算出し、冷房ピーク負荷 H [kW] に対応できるか確認する。冷房ピーク負荷に対応出来ない場合は、経済性に留意しつつ雪冷房依存率 β を低減するが、この際、冷房ピーク負荷の発生頻度（資料編＜参考7＞）も考慮する。

なお、出力を上げる工夫として、滞水層に流路を設け雪と滞水との接触面積を増やす等雪を効率よく融解させる方法等が考えられるが、今後の検討課題である。

3.5 融解水一次ポンプの循環量 L_s [L/min]

融解水一次ポンプの循環量 L_s は、雪冷房が処理する冷房負荷 H_{snow} より算出する。この時、冷房システム全体の能力により、 H_{snow} は次の通りとなる。

(1) 冷房システム全体の能力が冷房ピーク負荷に対応できる場合。

$$H_{snow} = H - \{Q_{cool-s} \times (1 - \beta) \div (\text{冷房期間運転時間})\}$$

(2) 冷房システム全体の能力が冷房ピーク負荷に対応できない場合。

$$H_{snow} = A \times h_k$$

A：帯水層の水平投影面積 [m²]

融解水一次ポンプの循環量 L_s は、

$$L_s = 3,600 \cdot H_{\text{snow}} \div \{60 \cdot C \cdot \rho \cdot (t_{\text{ws1}} - t_{\text{ws2}})\}$$

ここに、 H_{snow} ：雪冷房が処理する冷房負荷[kW]

t_{ws1} ：融解水入口温度[℃]（=11）

t_{ws2} ：融解水出口温度[℃]（=6）

C：水の比熱[kJ/(kg・K)]（=4.19）

ρ ：水の密度[kg/L]（=1.0）

3.6 熱交換器

熱交換器の熱交換量 H_E [kW] は、次の式による。

$$H_E = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot H_{\text{snow}}$$

ここに、 $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ ：ポンプ負荷・配管損失・装置負荷係数（=1.05）

K_4 ：経年係数（=1.05）

K_5 ：能力補償係数（=1.05）

H_{snow} ：雪冷房が処理する冷房負荷[kW]

3.7 配管設備

融解水配管の材質は、配管用炭素鋼管（白）とし、配管径算定は、建築設備設計基準 第4編空調設備 第4章配管設備による。また、配管の設置位置は貯雪時に破損しないよう十分注意する。

3.8 換気設備

換気設備は、貯雪庫を雪冷房使用期間外に倉庫等に活用するなどの活用用途に合わせて設置する。

3.9 排水設備

融解水貯留槽において水位が一定量を超える場合は、排水ポンプにより排水を行う。雪に含まれているゴミ等による目詰まり等がないようストレーナ等の設置を検討する。

3.10 自動制御設備

冷房期間において有効に雪の冷熱を取り出せるよう次の通り制御する。

(1) 融解水貯留槽出口温度が 6℃ となるように制御する。

(2) 2 次側のシステムを考慮し、融解水入口温度を 11℃ に設定し、出入口温度差を 5℃ 差

- (3) 融解水 1 次ポンプは、熱交換器二次側出口温度により変流量制御を行なう。
- (4) 熱交換後の融解水は、融解水貯留槽内の水温により、電動 2 方弁を制御し、滞水層又は融解水貯留槽に戻す。
- (5) 熱交換器二次ポンプは、定流量とする。
- (6) 熱源機器と併用する場合は、熱源機器をベース運転する。



機器	操作・監視			表示			計測・計量		
	項目	方法	機構	状態	故障異常	警報	計測	計量	その他
貯雪庫	庫内温度	温度検出器		○		○	○		
							○		
融解水貯留槽	水槽温度	温度検出器		○		○	○		
	満水監視	電極		○		○			
	満水制御	電極	排水ポンプ起動	○		○			
	減水制御	電極	排水ポンプ停止	○		○			
融解水一次ポンプ	運転状態監視	電流計	確認	○	○				
	電磁弁			○	○				
排水ポンプ	運転状態監視	電流計	確認	○	○				
	排水量	量水器	確認					○	

4.1 施工上の留意点

- ①滞水堰が水平に施工され、融解水が均等に融解水貯留槽に流れ込むよう留意する。
- ②床勾配が適正に確保され、流れの偏った水道（みずみち）ができないような構造とする。
- ③外部からの空気の流入（リーク）がないか、クラック等が発生し熱の流入がないか、防水処理等が適切に行われているかに留意する。
- ④集雪作業に必要なスペースが貯雪庫内および屋外に確保できるようにする。

- ⑤断熱工法、仕様（断熱材、防水材、断熱材厚さ）を確認する。
- ⑥断熱材の各つなぎ目部分は隙間なく設置する。
- ⑦雨水等の浸入がないようにする。
- ⑧梁の向きや配管設置位置が投雪時に支障がないよう留意する。

(2) 設備関連

- ①熱交換器廻りの施工（配管支持、温度計、圧力計）と熱交換器下部のドレンパンの設置を確認する。
- ②融解水1次ポンプが確実に釜場内に設置されているか確認する。
- ③設備機器類の保守点検が確実に行えるかを確認する。
- ④温度検出器等の位置が適切な位置にあるかを確認する。

4.2 試運転調整

- (1)滞水層並びに融解水貯留槽に水張り試験を行い、漏水の確認を行う。
- (2)滞水層並びに融解水槽に水を張り、融解水一次ポンプ運転等の各モードの運転確認を行う。
- (3)ポンプ送水圧力、送水量とインバータの回転数等の調整が適切かどうかを確認する。
- (4)熱源機器、ポンプ類の台数運転が適切に行われるかどうか、また制御パラメータが適切に調整されているかを確認する。
- (5)切替弁の動作が適切かどうかを確認する。
- (6)排水ポンプの自動運転の確認を行い、融解水貯留槽の水位が適切に制御されるかを確認する。

第5章 維持・運転管理

5.1 貯雪方法

貯雪は、降雪期の後半（通常3月末）に行う。

なお、貯雪庫に貯雪された雪は、貯雪庫外における重機（ブルドーザ、バックホウ等）による集雪・運搬、貯雪庫内におけるロータリー除雪車による堆積などの方法で $0.5\text{t}/\text{m}^3$ 程度の雪密度が得られる。この方法では1日に1,000 t程度の雪を貯雪庫に投入することが可能である。

その他の貯雪方法としては、貯雪庫等に直接投入しないで、農業資材として広く利用されている 2m^3 タイプメッシュコンテナを用い、屋外でロータリー除雪車にてコンテナに雪を投入し、フォークリフトにより所定の位置まで輸送し設置する方法がある。

貯雪に当たっては以下のことに留意する。

- (1)貯雪した雪が極力融解せずに確実に保持できるよう断熱に十分配慮する。
- (2)貯雪庫の場合、貯雪前に外気により貯雪庫内を十分に冷却しておく。

- (3) 貯雪開始前に水洗い等で貯雪スペースならびに融解水貯留槽の清掃を行う。
- (4) 出来る限り、ごみや不純物が混入しない様にする。
- (5) 融雪剤が混入している雪の貯雪は避ける。（配管類、機器類の腐食を避けるため）
- (6) 雪密度を高めるよう、適切に貯雪する。

5. 2 貯雪手順

- (1) 貯雪庫の場合、貯雪庫開口部に雪を集め堆積する。（自重により雪密度が高くなる。）
- (2) 貯雪庫が地上設置の場合、一般にロータリー除雪車にて雪を吹き込む。大規模な貯雪庫は、タイヤシャベルで庫内に雪を運び込み、庫内でロータリー除雪車により奥から雪を堆積する。

5. 3 点検・監視

(1) 雪冷房運用時

- ① 貯雪庫の場合、定期的に、貯雪庫の融雪状態、貯雪庫への雨水や熱侵入等の有無を確認する。
- ② 滞水層、融解水貯留槽の水位等の状態を確認する。
- ③ 融解水排水量から、雪の異常な融解等の有無を確認する。
- ④ 融解水ポンプ等のストレーナの清掃を定期的に行う。

(2) 雪冷房運用終了時

- ① 融解水を強制的に排水する。
- ② 貯雪スペースの床および融解水貯留槽を水洗いする。
- ③ 沈砂槽内の堆積物を確認し、必要な場合は除去清掃を行う。
- ④ 堆積物等は産業廃棄物扱いになるため、適切に廃棄するように留意する。
- ⑤ 配管ストレーナ等の清掃を行う。
- ⑥ 融解水の排水方法については、下水道事業者と協議の上、適切に排水する。また融解水を大量に河川等に排水する場合は、河川管理者等に確認するなどの注意を要する。

【資料編】

＜参考1＞

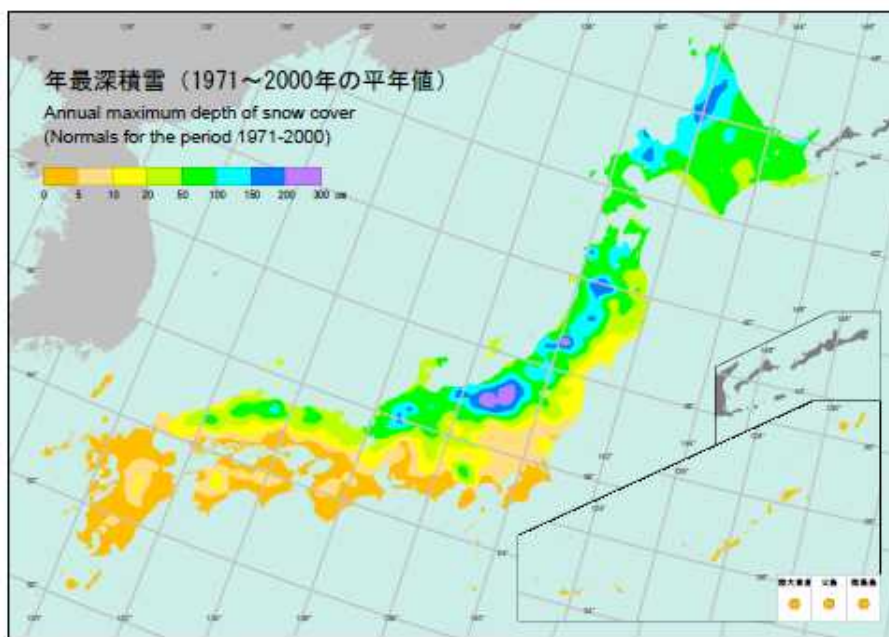
気象データ等

代表地域の気象条件

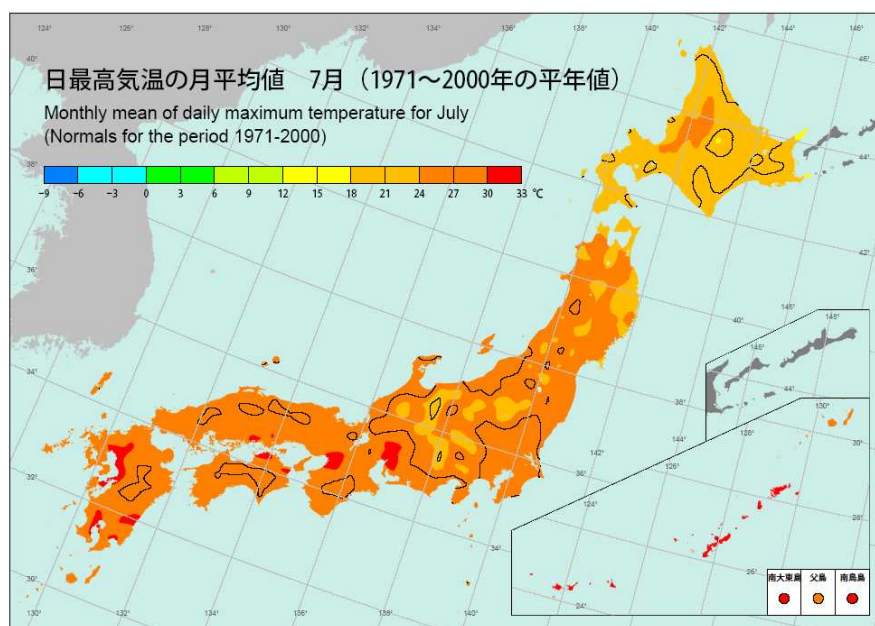
	設計外気温度※1		降雪の深さ合計[cm]※2		最高気温25℃以上の 日数(7～9月)※2	積雪の深さ[cm/月]※2	
	DB[℃]		12～2月	1～3月		2月	3月
	日最低	日最高	1971～2000	1971～2000		1971～2000	1971～2000
稚内	21.9	25.2	491	442	8.2	78	72
旭川	22.6	31.4	496	420	43.9	90	86
留萌	22.8	27.8	529	479	22.4	91	83
札幌	23.8	30.4	474	443	38.4	98	81
寿都	23.0	28.2	415	380	20.1	70	57
網走	22.8	29.1	253	247	19.4	44	48
根室	19.9	25.6	160	178	7.7	28	23
釧路	19.9	24.2	121	141	5.1	29	28
帯広	21.1	31.4	144	151	32.2	51	43
浦河	22.3	25.1	132	124	9.6	16	11
函館	23.3	28.7	309	273	33.8	43	28
青森	25.1	31.5	626	553	50.2	111	84
秋田	25.9	33.0	342	312	57.7	37	20
盛岡	24.0	32.7	274	264	53.7	33	20
宮古	24.1	32.2	134	162	39.9	29	18
仙台	25.2	32.2	74	75	53.3	13	7
酒田	25.8	33.4	321	299	63.0	34	14
山形	25.3	34.5	403	381	66.5	46	27
福島	25.9	35.1	195	194	65.4	18	10
小名浜	25.0	29.9	12	13	55.2	4	2
水戸	25.3	33.7	13	14	65.1	6	1
宇都宮	25.2	34.6	22	24	68.6	7	3
前橋	26.0	36.3	22	26	71.2	7	3
相川	27.3	32.3	141	138	62.8	15	5
新潟	27.4	34.0	228	214	70.1	30	12
高田	26.7	34.5	618	612	76.1	129	96
富山	28.2	34.9	384	366	72.1	58	26
輪島	26.2	33.3	209	198	66.9	28	10
金沢	27.2	33.9	319	308	77.7	41	19
長野	24.9	34.2	243	225	69.4	24	11
軽井沢	20.8	30.1	91	110	39.5	26	22
松江	27.5	34.2	102	94	77.2	17	5
浜田	28.1	32.7	18	17	77.3	4	1
鳥取	28.5	35.2	240	220	79.3	36	14

※1設計外気温度は、建築設備設計基準 平成18年版 国土交通省官庁営繕部設備・環境課監修

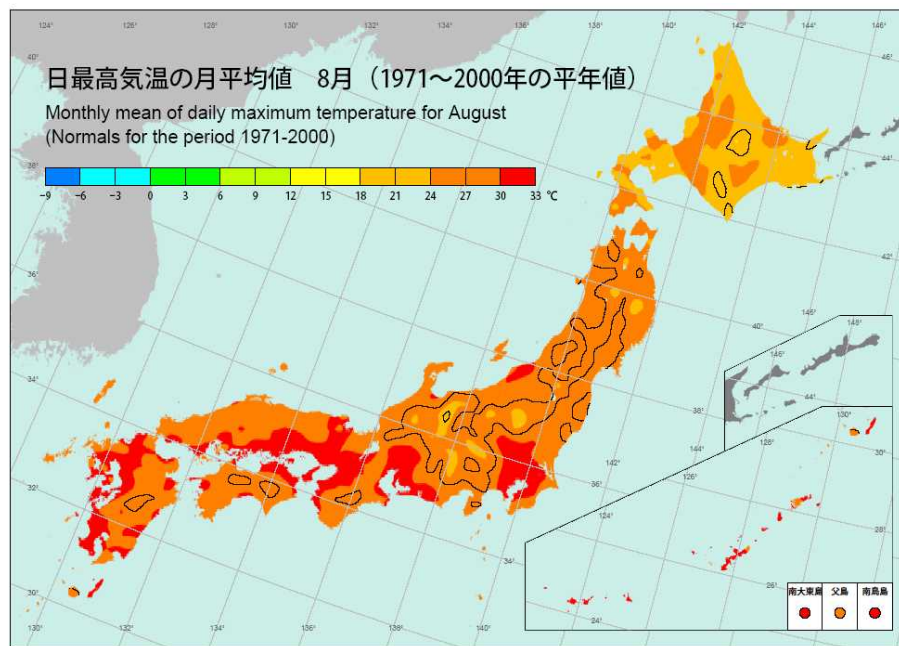
※2気象庁データより



図参-2 年最深積雪量(1971～2000 年の平均値)



図参-3 日最高気温の月平均値 7月(1971～2000 年の平均値)



図参-4 日最高気温の月平均値 8月（1971～2000年の平均値）

<参考2>

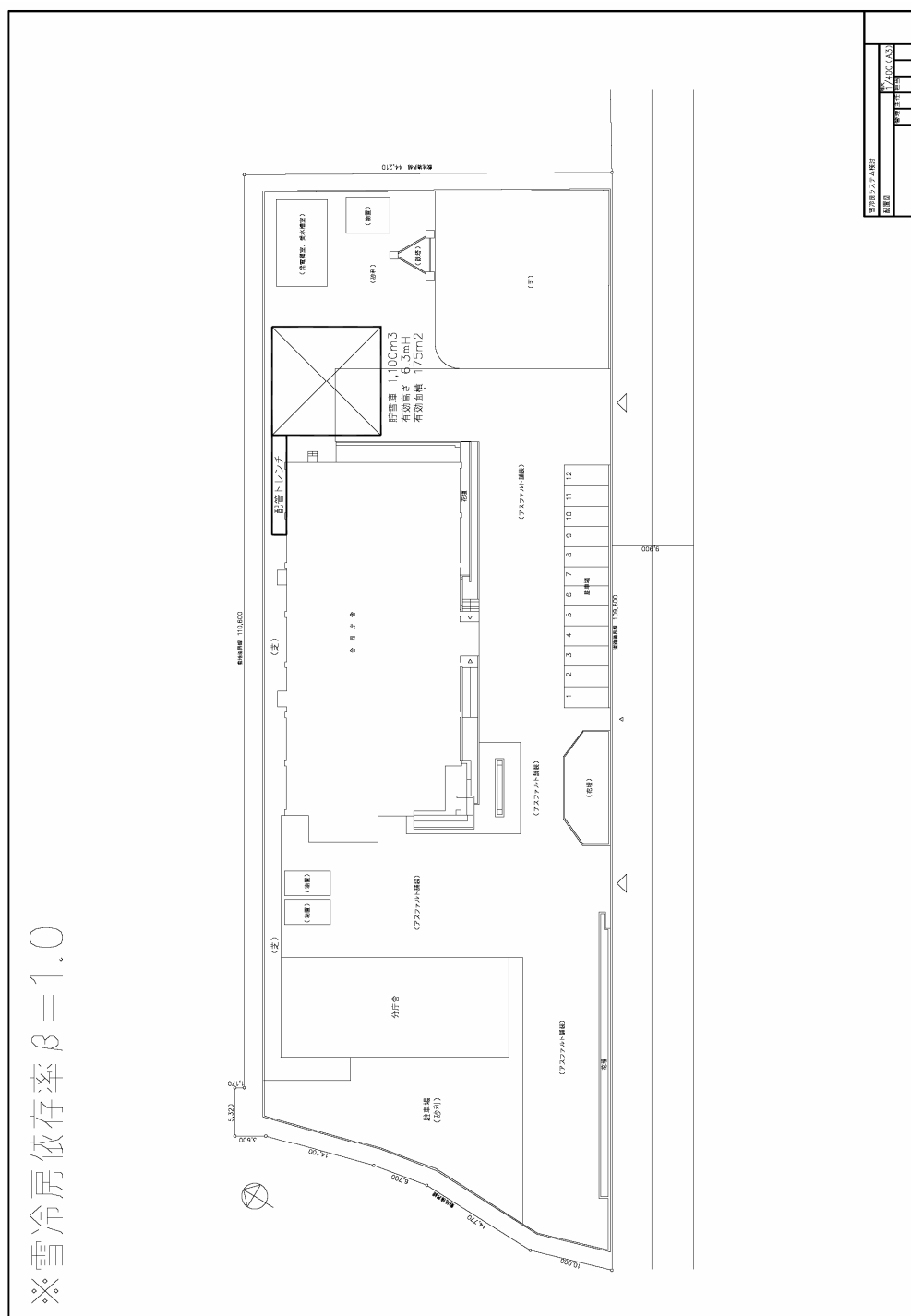
モデル庁舎概要

住所 : 北海道(道央)某所

延面積 : 約 2,700 m² (空調対象面積 約 2,300 m²)

構造 : 鉄筋コンクリート造 地上3階 塔屋1階

空調方式： ファンコイルユニット＋外調機方式（2次側）



<参考3>

雪冷房利用可能熱量 C_p' の算定

雪の融解潜熱 93.1 Wh/kg

雪の顕熱利用温度差 $\Delta t = -1^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{C}$

融解水の顕熱利用温度差 $\Delta t = 0^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$

よって、雪冷房利用における単位重量あたりの全熱量 C_p' [kWh/kg] = 潜熱 + 顕熱

$$= (93.1 \text{ Wh/kg} + 0.581 \text{ Wh/kg}^{\circ}\text{C} \times 1^{\circ}\text{C} + 1.162 \text{ Wh/kg}^{\circ}\text{C} \times 5^{\circ}\text{C})$$

$$= 99.491 \text{ Wh/kg} \rightarrow 0.099491 \text{ kWh/kg}$$

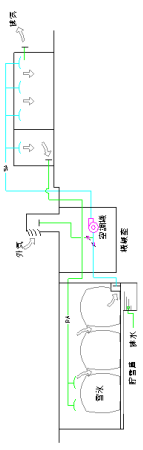
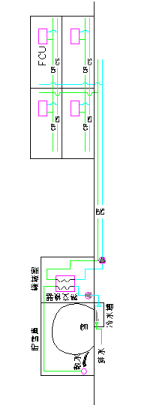
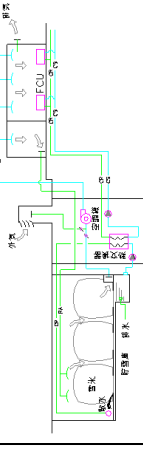
<参考4>

雪の物性値

項目	数値	単位	
雪の密度	500	kg/m ³	
雪の比熱	2.093	kJ/kg [∘] C	→ 0.581 Wh/kg [∘] C
融解水の比熱	4.186	kJ/kg [∘] C	→ 1.162 Wh/kg [∘] C
雪温度	-1	°C	
雪の融解潜熱	335	kJ/kg	→ 93.1 Wh/kg

※NEDO新エネルギーガイドブック(2006)より

＜参考5＞ 雪冷房システム比較

システム名称	A：全空気方式	B：融解水熱交換方式	C：全空気式・融解水熱交換式併用方式
概要図			
概要	・貯雪庫内の雪水に直接空気を接触させて、空気冷却を行い、空調空気として使用して空調する方式。 ・雪水の表面での粉塵吸着効果が期待できる。アンモニア、ホルムアルデヒド等の吸着効果が高い。	・貯雪庫内の雪水の融解水を利用して、熱交換器を介し、空調対象室内にて熱交換を行い空調する方式。 ・熱媒体が水のため、A方式に比べて貯雪庫から離れた場所への搬送が容易。スペース等も小さくて済む。	・A方式とB方式の併用型。
特徴	長所	・熱媒体が水のため、A方式に比べて貯雪庫から離れた場所への搬送が容易。スペース等も小さくて済む。	・A方式、B方式の各長所をあわせもつ。
	短所	・空気と雪水との接触面積が減ってきた場合、規定の空気処理が難しくなる。 ・雪冷房対象面積が大きい場合、貯雪庫への導入空気量も増え、ダクト設置スペース等が大きくなる。	・A方式、B方式の各短所をあわせもつ。
採用のための検討条件等	・貯雪庫と空調対象室が近接している。 ・処理空気量が比較的小量の場合。 ・臭気等の除去効果を空調に期待する場合。	・雪水内のごみの分離が可能で構造とする。 ・雪水と融解水が常に接触する構造とする。	・A方式、B方式の各採用条件を考慮する。
経済性比較	イニシャル	・簡易的な方式のため、比較的低い。	
	ランニング	・空気を扱うため、搬送動力が大きい。	
雪有効利用率	・接触面積を常に一定以上保つことが課題となる。		

※空洞化: 雪が融解する際、接触している面と雪との間に空間が発生する現象。

<参考6>

雪冷房システム（融解水熱交換方式）における冷房出力の検討*

融解水熱交換方式による雪冷房システムの冷房出力〔kW〕は、温度効率 η_θ に比例する。既往の研究結果より、浸水式*における温度効率 η_θ と滞留時間（融解水が滞水層内に留まっている時間） t 〔h〕の関係は、

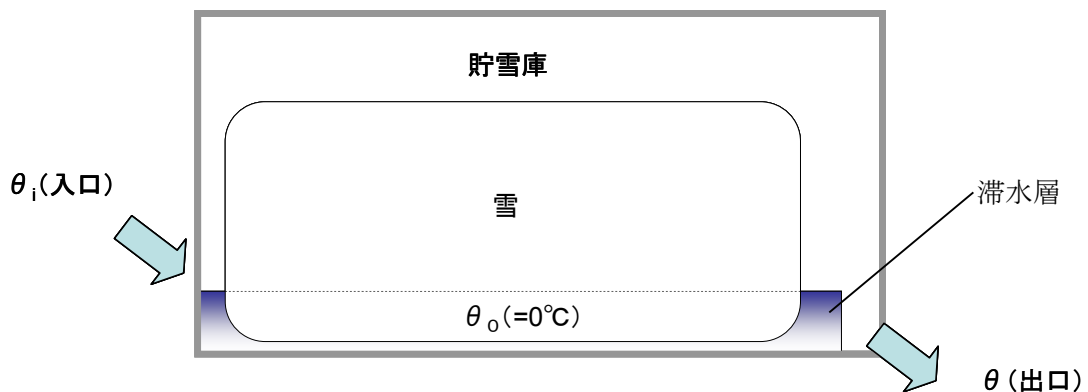
$$\eta_\theta = 1 - e^{-3.23t}$$

※浸水式：融解水熱交換方式では、融解水（1次側循環水）と雪との熱交換を効率よく行うため、貯雪庫内に堰を設け滞水層を形成するが、これを浸水式と呼ぶ。

と表すことが出来る。

ここに、 $\eta_\theta = \frac{\theta_i - \theta}{\theta_i - \theta_0}$ （融解水出入り口温度差÷融解水入口温度と雪の温度差）であり、

θ （出口温度〔℃〕）、 θ_i （入口温度〔℃〕）は、次の図の通り。



また、実用化実験より、滞水層面積 214.5 m²、堰高さ 100mm、平均滞留時間 26.75min の時、入口 $\theta_i = 7.0^\circ\text{C}$ 、出口 $\theta = 5.8^\circ\text{C}$ 、冷房出力 75〔kW〕が得られている。

ただし、この実験では、2次側の負荷がそれほど高くなかったため、本来、温度効率が、

$$\eta_\theta = 1 - e^{-3.23t} = 0.7631$$

であるところ、

$$\eta_\theta = \frac{7.0 - 5.8}{7 - 0} = 0.171$$

であり、想定 of 22.4%（ $0.171/0.763 = 0.224$ ）しか浸水槽内で熱交換されていない。これより、システムの最大出力は、

$$\frac{75}{0.224} = 334.8 \text{ kW}$$

と想定できるが、浸水式の場合、システムの出力は滞水層面積にほぼ比例すると考えるため、安全率（約1割）を加味し、 $h_k=1.4[\text{kW}/\text{m}^2]$ とする。

なお、雪冷房システムから最大出力を確実に引き出すためには、滞水層内で十分な熱交換を行わせなければならないため、設計に当たっては、次のような工夫が必要である。

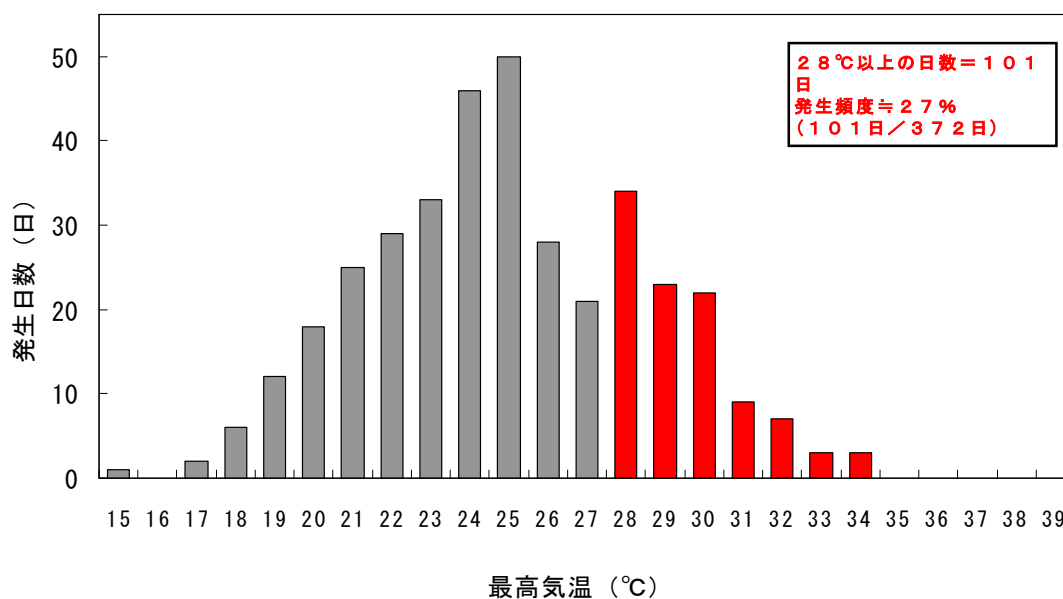
- ・ 1次側循環水が最短距離を通り抜けることを防ぐ。→ 滞水層に流路（うね）を設ける。滞留時間が同じでも、雪底面との接触距離を増す。
- ・ 滞水層内での循環水の混合を促進する。
- ・ 雪の形状に流れが影響を受けるのを避ける。

※参考文献：浸水式雪冷房システムの開発とその特性（伊藤親臣、媚山政良）

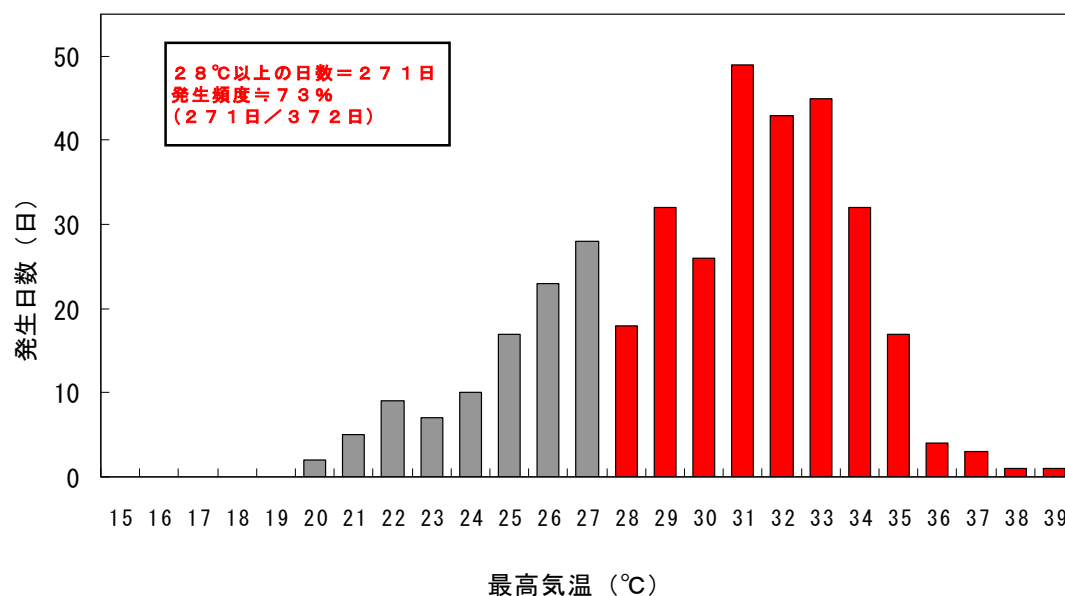
その他、媚山委員長資料

<参考7>

2002～2007年の7、8月における札幌市の日最高気温分布



2002～2007 年の 7、8 月における東京の日最高気温分布



2002～2007 年の 7、8 月における大阪の日最高気温分布

