

舞鶴高専学生寮の雪冷房に関する研究

小林洋平¹・吉見直浩²

要旨：本研究は、舞鶴高専の寮に雪による冷房を導入する為に必要な雪の保存量や保存方法について研究したものである。舞鶴高専学生寮は、入寮生約 550 人を数え、全国の高専寮の中でも屈指の規模を誇る。日本海側の冷涼な気候の舞鶴でも期末テストが終了するまでの 7 月中旬から 8 月初めは寮室の温度は相当上昇する。そこで、比較的多いとされる雪を使い寮室の温度を下げることを考えた。初めに実験的に融解量と外気温度の関係を求めた。また、寮室の伝熱面積と体積から温度を 2℃下げるために必要な雪の量を計算により求め、先ほどの融解量と合わせて冬季に貯蔵する雪の量を算出した。最終的に経済性を検討し、年間の運用費はエアコンを設置した場合の 341 万円に対して、雪による冷房の場合の 448 万円という結論を得た。

キーワード：雪、冷房、学生寮、自然エネルギー

1. はじめに

舞鶴は日本海側の比較的冬が長い地域に位置しているが、近年の地球温暖化の影響もあり本校で期末試験やオープンカレッジが行われる 7 月の中旬から 8 月の初めには寮の温度は相当上昇する。学生の心身の健康を考慮すると何かしらの方法で室温を下げる必要があると考えられる。

そこで本研究では舞鶴で比較的多いとされる雪に着目し、冬場の雪を夏に利用する可能性を検討した。雪による冷房ならば排出される二酸化炭素は零であり、二酸化炭素の削減につながるのはもちろんのこと、環境教育上の効果やマイナスイオンによる好影響、さらに脱臭の効果も見込むことができる。

冬が長く雪の多い北海道や東北地方では雪を利用して部屋の温度を下げるシステムを持つ施設、住宅が増えている。しかし、舞鶴の降雪量はそれらの地域よりも少なく、気温も高い。そのために雪の保存は北海道や東北よりも難しいことが予想され、気候の特徴から経済性や合理性を見出す必要がある。舞鶴を含む降雪量が少ない地方でも雪による冷房システムが利用可能であることを検証することが本研究の目的である。

2. 舞鶴の気候と寮の環境

2. 1 月平均気温の推移

図 2.1-1 は、舞鶴と札幌の月平均気温の推移を示したものである。最高気温に関して言えば舞鶴と札幌では冬場で約 8℃、夏場で約 5℃の温度差があることが分かる。最低気温についても同様な傾向があり、この温度差が舞鶴で雪冷房を行う場合の障壁となる。

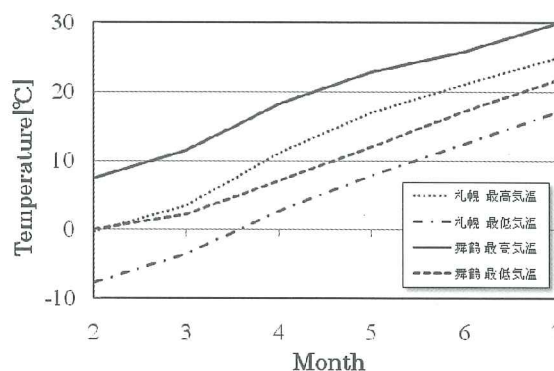


Fig.2.1-1 Monthly temperature transition in Maizuru and Sapporo

2. 2 舞鶴の降雪量

舞鶴地方気象台の情報によると、舞鶴の最大積雪量は 1 月で 28 センチ、2 月で 30 センチとなっている。30 センチの積雪がある場合、100 トンの雪が必要ならば約 18[m²]の面積から集められる。また、1000 トンの雪が必要ならば 57[m³]の面積から集雪可能である。

2. 3 寮の住環境

舞鶴高専学生寮 3 号館の室温を抵抗測温体により測定した。測定期間は 8 月 1 日から 3 日であり、本校の寮が最も暑いと考えられる時期である。また、後期の授業開始頃の寮室の状態として 4 号館の温度と湿度を温湿度記録計(SEKONIC 製 ST-50)で測定した。(期間 9 月 12 日から 18 日) 測定結果をそれぞれ図 2.3-1、図 2.3-2 に示す。

測定結果から最も暑いと思われる時期の室温は、30℃近辺に達すること、また、夏休みが終了する 9 月には気温はずいぶん低下し、空調設備が必要ないであろうと思われる平均温度 25[°C]、平均湿度 75.1[%]まで改善されることが分かった。

1 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 講師

2 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 本科 5 年

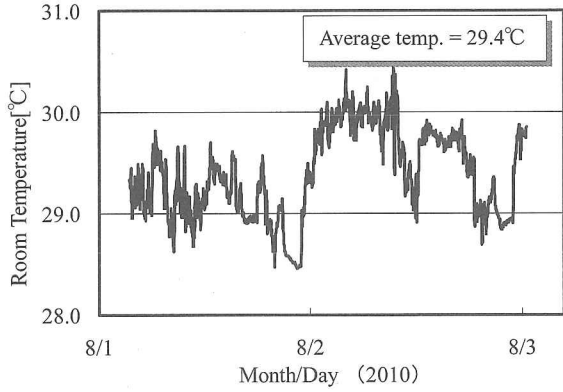


Fig.2.3-1 Room temperature fluctuation at 4th dormitory

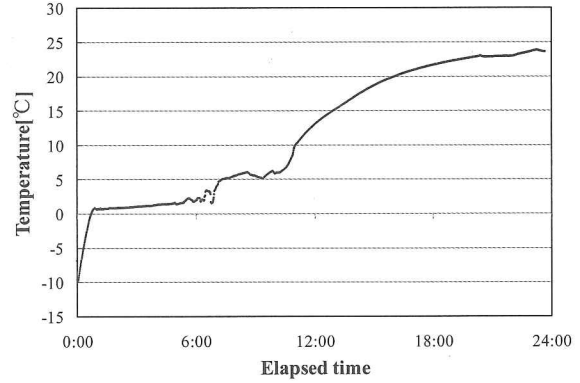


Fig.3-2 Elapsed time to melting

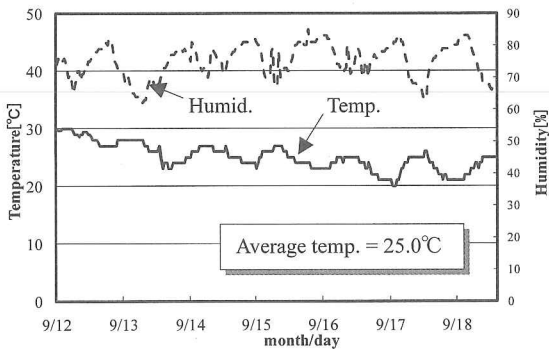


Fig.2.3-2 Room temperature fluctuation at 3rd dormitory

3. 融解実験

最も融解しやすい夏場の時期（6月～8月）に貯雪時の融解量を知る為の基礎データを取得した。冷凍庫で作成した 150[ml]の氷を用意し、遮光の為のアルミ箔で包み厚さ 2cm の発泡剤の容器に入れて融解に要する時間を計測した。なお、温度の測定には抵抗測温体 (PT100) を用いた。図 3-1 は、実験の様子を示したものである。

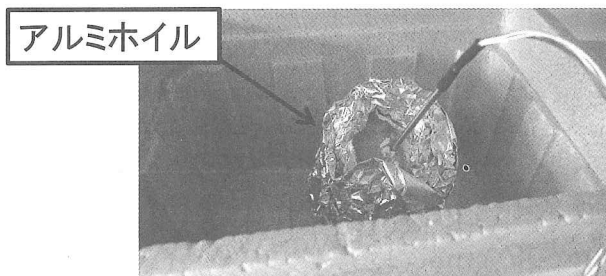


Fig.3-1 Experimental apparatus settings

図 3-2 に温度と経過時間の関係を示す。およそ 24 時間で室温とほぼ同等の温度になっており、氷が完全に融解したものと考えられる。アルミ箔を巻かない場合や融解水の処理を工夫しない場合の条件でも実験を行ったが、より短い時間で完全に融解する結果となった。

4. 貯雪量の推算

4. 1 寮の体積と表面積

冷房に必要な雪の量を推算するため、寮の放熱面積と寮室の体積を調べた。施設係より印刷された簡易的な図面の借り受け、その寸法を計測することで体積と表面積を見出した。表 4.1-1 に各号館の体積と平均的な部屋の体積を示す。表 4.1-2 に各号館の放熱面積と部屋の放熱面積を示す。

Table4.1-1. Volume of each building

	部屋数	建物の体積 [m ³]	1部屋あたりの体積[m ³]
1号館	32	1400.32	43.76
2号館	20	607.5	30.38
3号館	68	2080.69	30.6
4号館	59	1573.11	26.66
5号館	52	1851.41	35.6
6号館	76	3197.05	42.07
Total	307	10710.08	34.89

Table4.1-2. Area for heat transfer of each building

	部屋数	放熱面積 [m ²]	1部屋の放熱面積[m ²]
1号館	32	706.29	22.07
2号館	20	486.9	24.35
3号館	68	1051.6	15.46
4号館	59	832.85	14.12
5号館	52	1085.56	20.88
6号館	76	1831.95	24.1
Total	307	5995.15	19.53

4. 2 必要な冷熱量

必要な冷熱量は、温度条件を決定すれば寮全体の体積と比熱から算出することができる。温度条件は、30°Cの寮室の温度を 28°Cに下げるように設定した。夜間を想定しているので 30°Cは少し設定が高い感

もあるが、雪が足りなくなる事態を避けるために高く定義した。また、部屋の湿度は80%とした。なお、日中は空調の効いた教室や図書館で活動することを想定し、雪冷房が利用されるのは主に夜間の12時間に設定した。

300[K]の場合の空気の比熱を $1.007 \times 10^3 [\text{J}/(\text{kgK})]$ 、密度を $1.1763 [\text{kg}/\text{m}^3]$ とすると空気の温度を2度下げるのに必要な冷熱量は

$$Q_1 = \rho V c = 1.1763 \times 10710 \times 1.007 \times 10^3 \\ = 1.269 \times 10^7 [\text{J/K}]$$

また、同様に空気中の水分の温度を 2°C 下げるのに必要な冷熱量は、水の比熱を $4180 [\text{J}/(\text{kgK})]$ 、飽和水蒸気量を $0.0304 [\text{kg}/\text{m}^3]$ とすると

$$Q_2 = E V c H = 0.0304 \times 10710 \times 4180 \times 0.8 \\ = 1.089 \times 10^6 [\text{J/K}]$$

従って、必要な冷熱量 Q_3 は

$$Q_3 = 2Q_1 + 2Q_2 = 2 \times 1.269 \times 10^7 + 2 \times 1.089 \times 10^6 \\ = 2.756 \times 10^7 [\text{J}]$$

となる。次にこの温度を12時間維持するために必要な冷熱量を算出する。

放熱は、各号館の外の空気と接している面において行われるとする。また、実際の壁には断熱材が使われていることが想定されるが、壁面はコンクリートのみにより構成されるものとして放熱の計算を行った。コンクリートの熱伝導率 $k=1.6 [\text{W}/(\text{mK})]$ とコンクリートの厚さ $L=0.12 [\text{m}]$ より、

$$W = k A \frac{T_1 - T_2}{L} = 1.6 \times 5995 \times \frac{30 - 28}{0.12} \\ = 1.6 \times 10^5 [\text{W}]$$

となる。12時間で放熱される熱量 Q_4 は

$$Q_4 = 3600 \times 12 \times 1.6 \times 10^5 = 6.91 \times 10^9 [\text{J}]$$

従って、一晩で寮全体の冷却に必要な熱量 Q は

$$Q = Q_3 + Q_4 = 2.756 \times 10^7 + 6.91 \times 10^9 = 6.94 \times 10^9 [\text{J}]$$

となる。氷の融解熱 $3.35 \times 10^5 [\text{J}/\text{kg}]$ により、必要な雪の量 M に換算すると

$$M = \frac{6.94 \times 10^9}{3.35 \times 10^5} = 2.1 \times 10^4 [\text{kg}]$$

氷の密度 $917 [\text{kg}/\text{m}^3]$ を用いて体積 V に換算すると

$$V = \frac{2.1 \times 10^4}{917} = 22.6 [\text{m}^3]$$

となる。これは、1辺の長さが $2.8 [\text{m}]$ ほどの氷に塊である。雪による冷房期間を7月の中旬から8月の初めの3週間 (=21日) とすると

$$V = 22.6 \times 21 = 475 [\text{m}^3]$$

となり、氷塊の1辺は $7.8 [\text{m}]$ となる。

4. 3 融雪量の推計

貯蔵中の融雪量は、図3-2に示された実験結果によると適切な排水と遮光を行えば9.5時間ではほぼ融解しているので単位時間あたりの放熱量 W は

$$W = \frac{335 \times 10^3 \times 0.15}{9.5 \times 3600} = 1.47 [\text{J}/\text{s}]$$

となる。実験に用いた条件と同程度の断熱性能の貯雪庫を想定し、その大きさを $1000 \text{m}^3 (=10 [\text{m}] \times 10 [\text{m}] \times 10 [\text{m}])$ とすると月ごとの融雪量は次に示す表4.3-1のようになる。なお、表中の平均気温は舞鶴地方気象台発表の1971年から2000年までの集計値の平均である。

この結果から必要な貯雪量は598トンとなり、貯雪量の2割程度は融解することがわかる。

Table 4.3-1 Estimated melting snow

月	日数	平均気温(°C)	融雪量(J)	融雪量(kg)	融雪量(トン)
3月	31	6.6	3.03E+09	9.04E+03	9
4月	30	12.4	5.51E+09	1.64E+04	16
5月	31	17.1	7.85E+09	2.34E+04	23
6月	30	21.1	9.37E+09	2.80E+04	28
7月	31	25.3	1.16E+10	3.47E+04	35
8月	10	26.5	3.92E+09	1.17E+04	12
				合計	123

5. 経済性の検討

5. 1 エアコンによる冷房の場合

全寮室307室にエアコンを取り付ける場合の初期費用としてエアコン本体7万円、取り付け工事費2万円、電源工事費1万円程度と仮定すると1室あたりの初期費用は10万円となる。全307室に取り付けると総額で3070万円が初期費用として必要になる。

一方、運転費用として、運転日数を21日、電気料金を $1 [\text{kWh}] (=3.6 \times 10^6 [\text{J}])$ あたり21円とすると冷房能力と消費電力が同じ、つまり成績係数が1のエアコンで

$$\text{¥} = \frac{Q_4 \times 21 \times 21}{3.6 \times 10^6} = 850,000 [\text{en}]$$

となる。最近では省エネ型のエアコンとして、成績係数が4程度(電気代は1/4)の機種も存在するがこのような機種を導入すると初期コストが上昇する。仮に成績係数を2.5とすると年間のランニングコストは34万円である。

エアコンの寿命を10年程度とするとエアコンによる空調は10年間で $3070 \text{万} + 340 \text{万} = 3410 \text{万円}$ の費用が必要になる。年間にすると341万円になる。

5. 2 雪による冷房の場合

雪による冷房の場合には、必ず必要となる費用として貯雪庫の費用がある。本校の冷房をまかなうには598トンの雪が必要であるとされた。北海道に建設された雪冷房マンションの例では、100トンの貯雪庫で建設費用が1920万円とされている。⁽¹⁾ 本校に必要な600トンの貯雪庫の費用としてこの例を単純に6倍すれば過大評価につながる可能性があるが現状ではこれで推計することにする。冷熱の供給方

法に関しても、改修して雪冷房施設にした例があまりなく不明な点が多いが上記の新築のマンションの場合には469万円とされている。改修の場合にはより費用が必要なことも予想されるが、この場合も469万円を単純に6倍することで設備費用とすることにする。既存の温熱用の配管が利用可能であれば初期費用は少なく済むし、施設の特徴から各部屋の学生に雪を夜に配給するという運用方法も可能であろう。雪冷房の場合には、運用期間はエアコンよりも長く上記の例で33年とされている。なお、冬場に雪を集める作業も発生するが、除雪と一緒に行えばそれほど労力は増えないものと予測される。また、新エネルギーの導入には地域新エネルギー導入促進事業等の国の補助を受けられる可能性があり、この場合は必要な費用の半分が補助される。以上の結果を表5.2-1にまとめて示す。

Table 5.2-1 Comparison of estimated cost

	エアコンによる空調	雪による空調	雪による空調(1/2補助)
初期コスト(万円)	3070	14334	7167
ランニングコスト(万円/年)	34	13.4	13.4
耐用年数(年)	10	33	33
年間コスト(万円)	341	448	231

6. 結 言

舞鶴高専学生寮に雪冷房の導入可能性を検討した結果、コストや運用の容易さではエアコンによる空調が有利である結論に達した。

一方、話題性や教育効果等も考慮に入れると両者の差は大きく縮まる。実際に導入されると日本で最

大規模の雪冷房施設となり、教育機関に導入された例もないことからさまざまな分野から取材、調査、協力の依頼が来ることになる。雪利用の分野の発展にも寄与できることであろう。

記号の定義

V:体積[m³]

ρ :密度[kg/m³]

c:比熱[kg/(kgK)]

M:質量[kg]

Q:熱量[J]

A:面積[m²]

K:熱伝導率[W/(mK)]

L:長さ[m]

E:飽和水蒸気量[kg/m³]

H:湿度[%]

T:温度[°C]

W:放熱量[J/s]

¥:コスト[円].

謝 辞 :

本研究は、平成 22 年度舞鶴工業高等専門学校機械工学科研究経費と平成 21 年度校長裁量経費の配分を受けて行われた。厚く御礼申し上げる。

参考文献 :

- 1) 北海道経済産業局 : cool energy 4, pp.62, 2008.

(2011.1.7 受付)

RESEARCH ON EFFECTIVENESS OF SNOW AIR CONDITIONING SYSTEM FOR USE IN DORMITORY OF MAIZURU NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Yohei KOBAYASHI and Naohiro YOSHIMI

ABSTRACT : This research investigates the feasibility of installing a snow air conditioning system in the dormitory of Maizuru National College of Technology. Even though Maizuru is located close to the Japan Sea, the temperature of this city increases from mid-July to the beginning of August, probably due to global warming. This period is taken place the open colleges in the end of this region and term examinations. The temperature in student dormitories also becomes relatively high, making it uncomfortable for the students to stay in the dormitories. Therefore, it is necessary to reduce the temperature in the dormitories from the viewpoint of the health of students. Using snow to reduce the dormitory's temperature can prevent the discharge of CO₂ by air conditioning. Snow systems are used to cool some facilities in Hokkaido and Tohoku which have long snowy winters. Maizuru used to be considered as a cold region. However, in the recent times, there has been a decrease in snowfall and an increase in the temperature of this city. Hence, preserving snow in Maizuru is difficult as compared to Hokkaido or Tohoku. In this light, it is necessary to develop an economical and technically advanced snow air conditioning system for our dormitory. The purpose of this research is to investigate air conditioning systems for use in Maizuru that experiences relatively less snowfall than Hokkaido or Tohoku. This research has proved the effectiveness of snow air conditioning systems for use in Maizuru.

Key Words : Snow, Air conditioning, Dormitory, Natural energy