HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	融雪機械の性能試験について（第1報） : 間欠雪投入時の性能
Author(s)	深沢, 正一; 斎藤, 武; 谷口, 博 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 54, 185-210
Issue Date	1969-10-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40958
Type	departmental bulletin paper
File Information	54_185-210.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

融雪機械の性能試験について (第1報)

—間欠雪投入時の性能—

深沢正一* 斎藤 武** 谷口 博**
石黒亮二*** 伊藤献一*

(昭和44年4月30日受理)

On a Performance Test for a Snow Melting Machine (I)

— Intermittent Feeding of Snow —

Shôichi Fukazawa, Takeshi Saito, Hiroshi Taniguchi
Ryôji Ishiguro and Ken-ichi Ito

(Received April 30, 1969)

Abstract

It is an important practice to remove the snow from a surface of highway and a city zone in a every country where is cold and snowy in a period of winter. Many efforts have been devoted to increase the efficiency of the work by engineers in the related fields.

The present study gives the results of a performance test for a stationary snow melting machine which is becoming increasingly important in city zones. In this report the performance of the machine is analyzed under conditions of intermittent feeding of snow.

The snow is fed into the melting machine at fixed intervals of time by dump trucks after weighting procedures. The test conditions are widely varied by the feeding rate and the quality of snow. The measured items are the quality of snow, feeding and melting quantity of snow, the heat input, the temperature distribution, and so on. Each performance is analyzed based on the data obtained and the following results are conculuded: The capacity of the machine should be measured by the melting quantity and not by the feeding quantity. The efficiency of the machine should be evaluated by using the melting quantity of snow and not by the temperature increase of the water. Some counterplan to the air or water pollution by CO gas, hydrocarbon and soot in the combustion gas should be considered. It is also noted that steps should be taken to minimize noise with respect to the public.

* 機械工学科 燃焼工学講座
** 機械工学科 熱機関学第一講座
*** 原子工学科 放射線安全工学講座

1. まえがき

寒冷多雪地域において，道路および市街地の冬期間の除雪・融雪はきわめて重要であり，北海道内でこの任務をもつ各官公庁，自治体などはそれぞそれの立場で作業の機械化，能率化に努力している。本研究はこの目的のため行なわれたもので，札幌市にて設置した定置式融雪機械の実機性能試験[1]を施行し，その結果に検討を加え報告するものである。第1報では，トラック搬入雪による間欠的な雪の投入状態の測定について述べることとする。現在，定置式融雪機械はこのような使用法であるが，この状態での性能表示などについて一般的な方法が確立されていないため，的確な性能評価を行なうことが困難である。

以上の点より，まず融雪機械の性能試験方法および性能表示方法について検討し，実機試験を昭和43年2月20, 21日の両日，札幌市土木車輛事務所構内にて行ない，その結果をとりまとめた。本研究は，札幌市よりの委嘱を受け，費用の一部は同市委託研究費，文部省科学研究費（試験研究）によったもので，供試融雪機械の運転および雪投入に際し札幌市土木部，酒井重工業株式会社より援助をうけ，測定および資料取りまとめに際し北海道大学工学部燃焼工学，熱機関学第一，伝熱工学研究室各位の協力を得た。ここに深甚なる謝意を表する次第である。

2. 試験方法概要

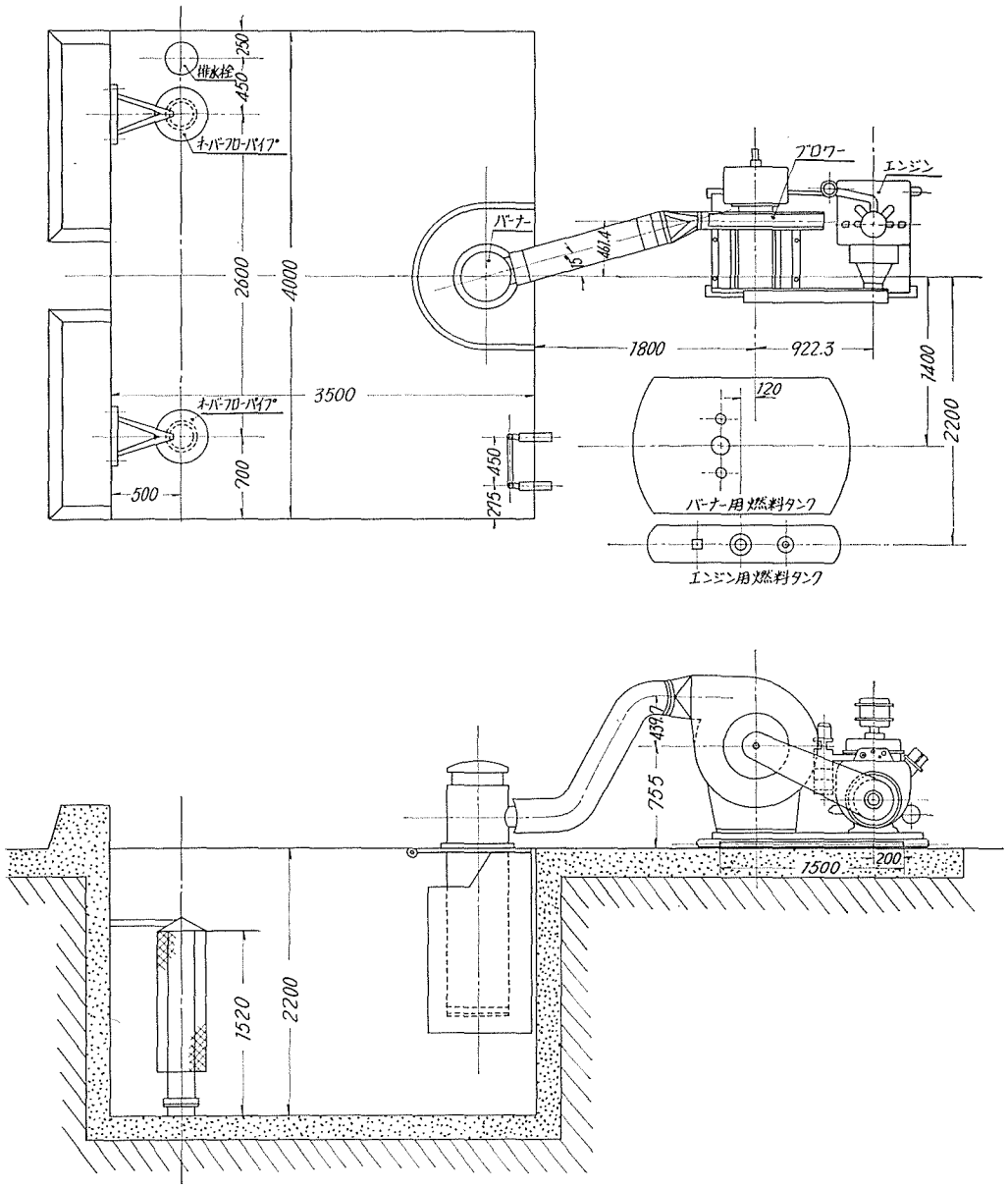
2-1 供試融雪機械

試験に用いた融雪機械は，酒井重工業製4OTM型で，札幌市土木部土木車輛事務所（札幌市北1条東14丁目）構内に設置された定置式のものである。融雪方法は加熱水と雪の接触伝熱によるもので，水の加熱は灯油燃焼ガスを直接水中に吹き込む水中バーナ方式によっている。融雪能力は公称36 t/h，燃料消費量は242 ℓ/h である。

雪を投入する融雪槽は4 m（巾）×3.5 m（長さ）×2 m（深さ）のコンクリート製であり，融雪水は底面より1520 mm の高さに設けられた2カ所の溢水口より溢水管を通って下水道に放出される。図-1に融雪機械の概要を示す。

2-2 試験方法および試験項目

試験はスノーローダによりダンプトラック（5 t または6 t 積）へ積み込まれた雪を使用し，一定時間間隔でトラックより融雪槽に投入する間欠雪投入負荷にて行なわれた。供試雪は土木車輛事務所構内に集められ堆積していたものと，構内に積った新雪の二種である。前者は冬期間を通じて1カ所に集められたかなり古い雪で，煤塵，塵介，氷塊などを含んでいる。後者は試験前日から当日朝までに積った新雪を集めたものである。スノーローダによるトラックへの積み込み状況は市街地での除雪輸送の場合と同様であり，トラック積み込み後はロードメータによる計量，雪試料採取，雪温および雪硬度測定の後，融雪槽に全量を一度に投入する。



図—1　供試融雪機械概略図

投入雪時間間隔を5分，7分，9分とし，雪質により分類して表-1のごとく4通りの試験条件にて測定を行なった。

表—1　試　験　条　件

項　目	雪　　質	雪投入間隔	規定区間番号
A	堆積雪	5 分	a_1, a_2
B	新　雪	5 分	b
C	堆積雪	7 分	c_1, c_2
D	堆積雪	9 分	d

規定区間については表-3および本文5-2-2参照

2-3　測定項目

融雪機械は試験期間を通じて連続定常運転し，次の各項目を測定した。

(a) 雪の性質に関する測定

雪温度，硬度，見かけの比重，エンタルピ，含水率

(b) 雪の量に関する測定

投入雪量，融雪水量 (溢水量)

(c) 供給熱量に関する測定

バーナ燃料消費量，エンジン燃料消費量，送風空気流量，燃焼ガス温度，燃焼ガスの成分分析

(d) 融雪槽内の温度分布に関する測定

バーナ循環水入口および出口温度，溢水温度，槽内垂直温度分布

(e) その他の測定

融雪機械の騒音，投入雪および融雪状況の写真撮影。

3. 試験経過および状況

試験は昭和43年2月20, 21日の2日間にわたって行なわれ，20日は堆積雪についてのみ5分，7分，9分の雪投入間隔，21日は新雪および堆積雪に対し5分間隔にて測定した。試験時の周囲条件は表-2のとおりである。

表—2　周　囲　条　件

試験月日	平均気温 (℃)	平均湿度 (%)	天候	備考
2/20	+1.2	89	雪	(試験期間の平均)
2/21	0	39	晴	(同上)

3-1 使用燃料

バーナ使用燃料は次のとおりである。

銘　柄　　出光灯油

総発熱量　　11000 kcal/kg (出光興産調べ)

比　重　　0.791 (15℃), 0.800 (使用時)

送風機駆動用エンジン使用燃料は市販ガソリンである。

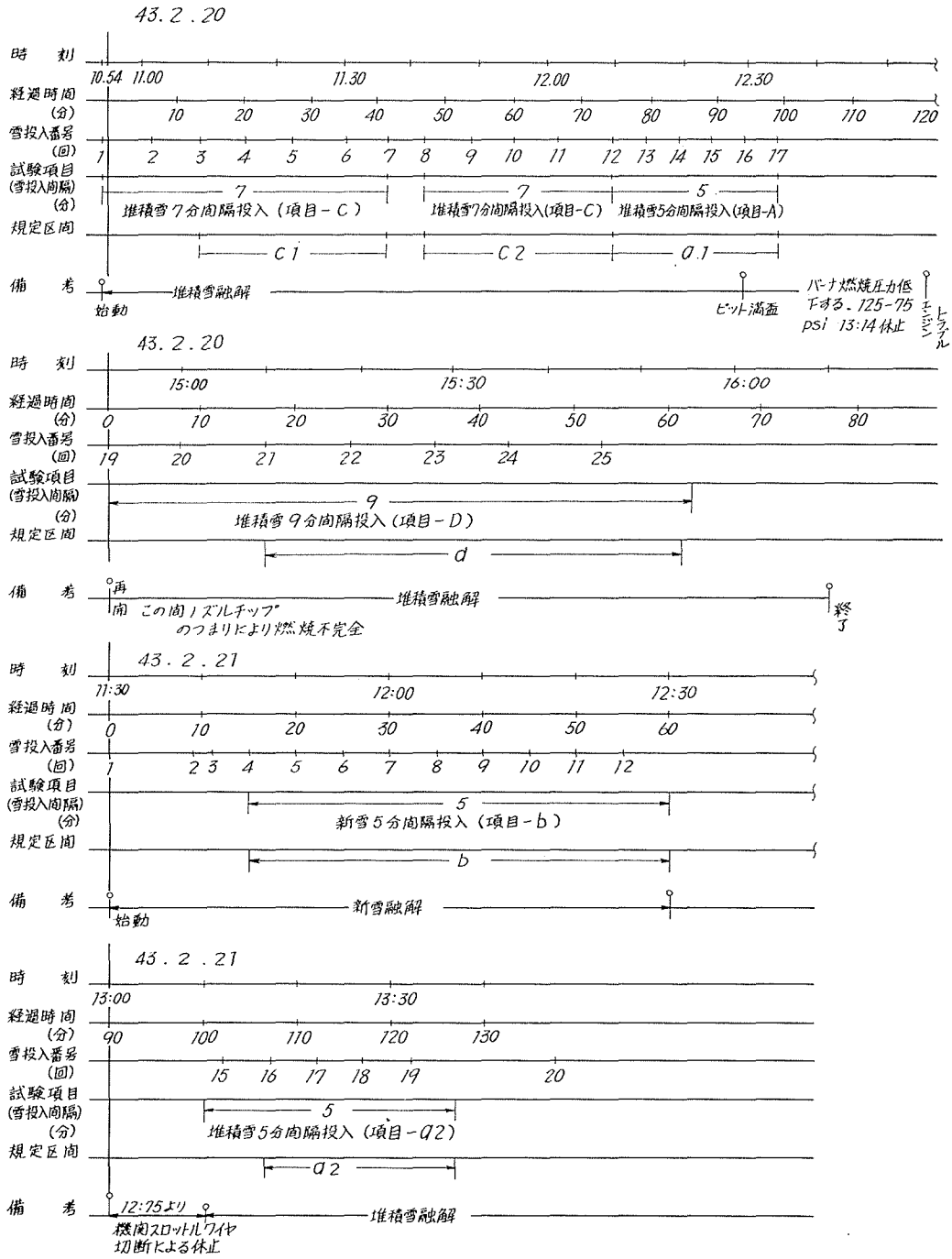
3-2 融雪槽の状況

試験開始前に水を融雪水槽内の溢水口まで満たし，バーナ点火後，規定時間ごとに雪投入を行なう。投入雪の一部が雪投入口の手前に落ちた場合，融雪槽のふちについた場合，また，溢水口を支える柱にさまたげられて落下しない場合には，スコップにより適宜槽内に入れた。融雪槽内残雪量が多くなると，投入雪の大部分はほとんど動きの止った槽内残雪の上に落ち，融雪水と接触しなくなる。このときは，その試験を一応終了し，雪投入を中断して残雪をすべて融かしてから，つぎの試験に移った。このような状態は5分間隔雪投入の場合に多く生じた。

3-3 試験経過

2月20, 21日の全試験経過は表-3に示すとおりである。

表—3 試 験 経 過



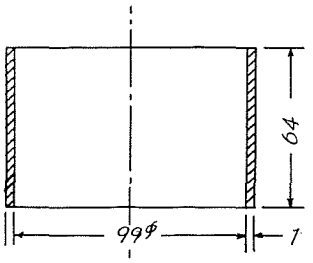
4. 測定方法および測定結果

4-1 雪の諸性質の測定

4-1-1 雪の見かけの比重

(a) 測定方法

図-2のごときステンレス製の底なし円筒容器を雪の中に押し込み，平均試料を採取するよう考慮する。採取試料を容器ごと重量測定し，容器重量を差引いてから内容積で除し，比重を求める。



図—2 雪試料採取用筒

(b) 計算方法

雪の見かけの比重 ρ gr/cm^3 は式(1)により求められる。

$$\rho = \frac{G}{V} \text{ gr/cm}^3 \qquad (1)$$

ただし　G＝雪の重量＝$G_t - G_c$ gr

G_t＝全重量 gr

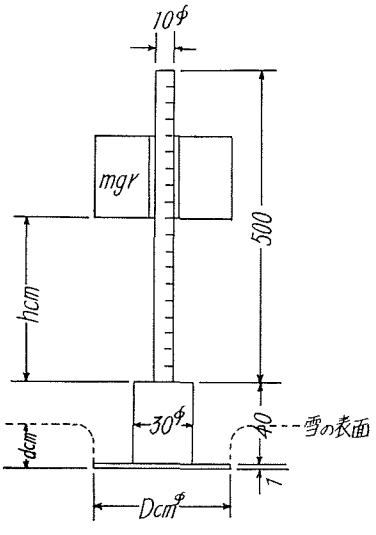
G_c＝容器重量 gr

V＝円筒の内容積＝$\pi/4 \times 9.9^2 \times 6.4 = 492$ cm^3

4-1-2 雪の硬度

(a) 測定方法

図-3のごとき木下式雪硬度計[2]を使用し，試料雪の硬度を測定する。測定に際しては，最外部の雪を数 cm 取り除き，できるだけ平均試料の測定を行なうよう考慮した。測定装置の円板，錘り，錘りの落下高さの規準を表-4に示す。



図—3 雪硬計度

(b) 計算方法

錘りの高さ h cm，凹んだ雪穴の深さ d cm，錘り m gr，円板の面積 S cm^2，円板と棒の合計 M gr とす

表—4 円板，錘り，錘りの高さの規準

雪の密度 ρ (gr/cm^3)	円板の径 D (cm)	錘り m (gr)	錘りの高さ h (cm)
<0.1	20	0	0
0.1～0.15	14, 10	1000	0～10
0.15～0.2	10, 7	1000	10
0.2～0.3	7, 5	1000	10, 30
0.3～0.4	5, 3.5	1000	30
0.3～0.4	5, 3.5	3000	10
0.4<	3.5, 3	3000	30, 40

ると，錘りの衝撃にて雪に与えられたエネルギ E_1 gr-cm は

$$E_1 = m(h+d)+Md \tag{2}$$

全体が沈む間の雪の平均抵抗力を K gr とすると，この抵抗力がなした仕事 E_2 gr-cm は

$$E_2 = Kd \tag{3}$$

E_1 と E_2 は等しくなければならぬから

$$K = m\left(1+\frac{h}{d}\right)+M \tag{4}$$

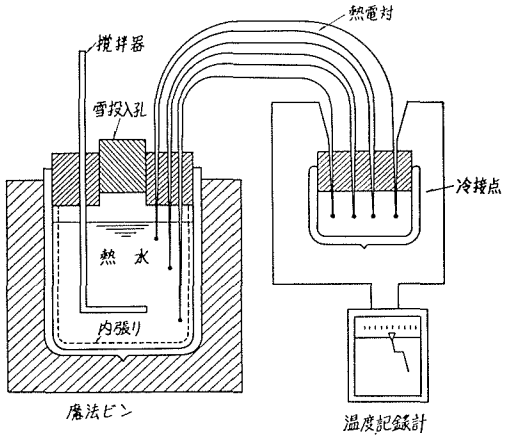
K/S は雪の平均抵抗力の単位面積当りの値であり，これが雪の硬度 H gr/cm^2 であり，式(5)により求められる。

$$H = \frac{1}{S}\left\{m\left(1+\frac{h}{d}\right)+M\right\} \text{ gr/cm}^2 \tag{5}$$

4-1-3　雪のエンタルピおよび含水率

(a)　測定方法

図-4 のごとき装置を使用する。魔法ビン中の熱水に雪を投入し，そのときの温度降下より雪のエンタルピ（0°C の水を規準とした値）を測定する。含水率は氷の融解潜熱を 79.5 kcal/kg とすると，上記エンタルピ測定値より求めることができる。



図—4　雪のエンタルピ測定装置

(b)　計算方法

まず，測定装置の水当量 G_e gr を求める必要があり，式(6)により求められる。

$$G_e = \frac{G_w(t_2-t_3)}{t_1-t_2} - G_0 = 150 \text{ gr} \tag{6}$$

ただし　G_w＝投入水量＝286 gr

G_0＝熱水量＝8650 gr

t_1-t_2＝熱水温度降下＝2.08°C

t_2＝熱水最終温度＝68.59°C

t_3＝投入水温度＝4.65°C

雪のエンタルピ i_s kcal/kg は式(7)により求められる。

$$i_s = -\frac{(G_0+G_e)(t_1-t_2)}{G}+t_2 \tag{7}$$

ただし　G＝雪試料重量 gr

雪の含水率 x% は式(8)により求められる。

$$x=\left(1-\frac{i_s-c_p t_3}{79.5}\right)\times 100\% \qquad (8)$$

ただし　t_3＝雪試料温度 ℃

c_p＝雪の比熱＝0.47 kcal/kg℃

4-1-4 測定結果

雪の見かけの比重，硬度，エンタルピ，含水率の測定結果は表-5のとおりである。

表—5　雪の諸性質

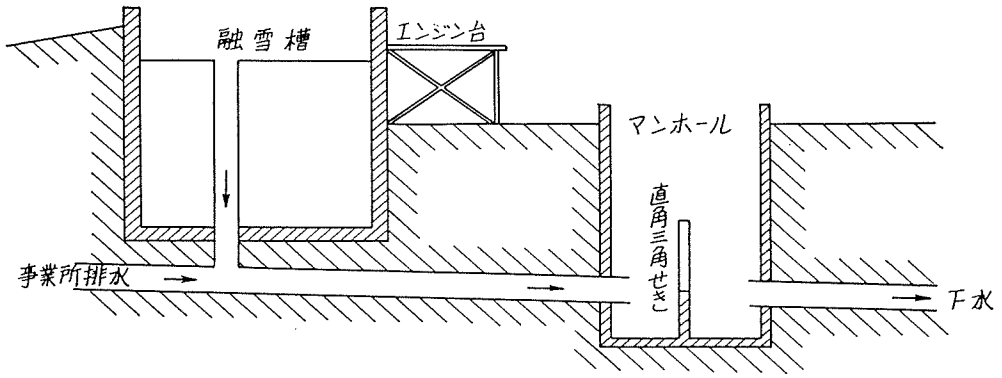
No.	日	雪質	雪の見かけの比重 (gr/cm³)	雪の温度 (℃)	雪の硬度 (gr/cm²)	雪のエンタルピ (cal/kg)	含水率 (%)
1	20	堆積雪	0.463	0	171.1	−78.46	1.30
2			0.552	0	152.6	−79.02	0.60
3			0.477	0	189.7	−77.92	2.00
4			0.500	0	197.3	−79.14	0.50
5			0.524	0	197.3	−79.21	0.40
6			0.498	−2.0	236.5	−78.84	2.90
7			0.514	−1.5	165.1	—	0
8	21	新雪	0.471	−3.5	432.5	−80.95	0.14
9			0.498	−4.0	354.2	−81.28	0.03
10			0.492	−4.0	320.7	—	—
11		堆積雪	0.555	−2.0	301.8	—	—
12			0.538	−1.3	236.5	−79.80	0.36
13			0.528	−0.8	222.1	−79.43	0.54
14			0.552	−0.4	151.8	−79.29	0.49

4-2 投入雪量の測定

ロードメータ(近江度量衡製 N-5 型 10 t 用) 2台を用い，トラックの前車輪，後車輪の2回に分けて計量し加算して総重量とし，空車重量を差し引いて積載雪量を求める。積載雪量の全合計および1回の平均投入雪量は表-6に示すとおりである。

表—6　投入雪量

試験日	雪質	雪投入回数	全投入雪量 (ton)	トラック1台の平均投入雪量 (ton)
2月20日	構内堆積雪	25	72.45	2.89
2月21日	新雪	12	32.84	2.74
2月21日	構内堆積雪	9	27.43	3.04

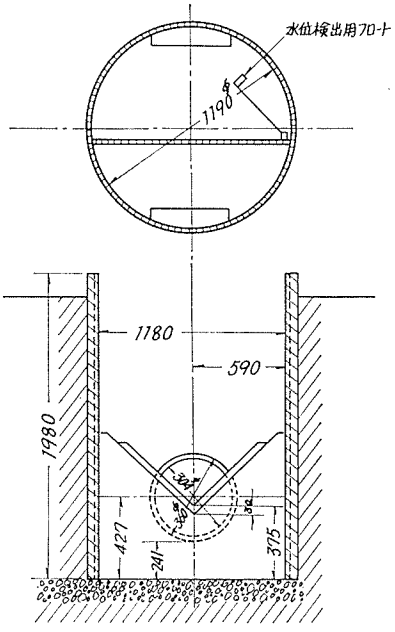


図—5 a　溢水量測定三角せきの配置

4-2-2 溢　水　量

(a) 測定方法

溢水は融雪槽内の2カ所の溢水口から溢水管を通って既設の下水管(300 mm)に放出される。雪はトラックにより一度に投入されるため，雪投入の瞬間に多量の溢水が流出し，つぎの雪投入が行なわれるまでの間に次第に流量が減少してゆく。しかし，この間の流量変化はかなり大きく，溢水量の連続的な記録が必要である。このため，図-5 a に示すごとく下水管下流に径 1190 mm のマンホールを設け，この中を三角せきで仕切り，せきの上流の水位変化を浮子式水位計により電圧信号に変換し，ペンレコーダに連続記録させた。三角せき取り付け状況は図-5 b のとおりである。



図—5 b　マンホール詳細図

なお，この下水管には上流の土木車輛事務所内の排水および二三の民家の下水が流入しているが，平常時の最高下水流量は 31 ℓ/min 程度であり，溢水量に比べて無視し得るものと思われる。

(b) 溢水量の算出

直角三角せきによる流量の算出は式(9)による。ここで，溢水中には雪が混っておらず全部水と見なし，比重は 1.0 とする。流量 w_{ov} m³/sec は

$$w_{ov} = kH_w^{5/2} \qquad (9)$$

ただし

$$k = 1.334 + \frac{0.0205}{\sqrt{H_w}}$$

H_w = 水位変化 m

式(9)のキャリブレーションのため，融雪試験終了後，融雪槽の水抜きを行ない槽内の水位の低下から下水への流出量を求め，水位変化実測値と比べ較正した。このときのせきの水位変化 H_w により式(9)にて計算した流量と，槽内の水位の低下から求めた流量はよく一致するので，実用上十分使用できることが確められた。

しかし，下水管上流側がアキュムレータの働きをするため，溢水の流量変化が直ちに三角せきを通過する流量の変化となって表われないが，ある程度の時間間隔を考えると，その期間中の三角せき流量が溢水量を示すことになる。任意期間 $\tau_1 \sim \tau_2$ の溢水量 W_{ov} kg は三角せき流量 w_{ov} を積分することにより求められる。

$$W_{ov} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} w_{ov}\, d\tau = \sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} w_{ov}\, \Delta\tau \tag{10}$$

式(10)の計算に際しては，記録紙上の電圧を10～15秒ごとに読みとり，三角せきの水位変化に換算のうえ流量を求め，全期間にわたり積分して溢水量を算出した。上記演算はデータが多量のため，ディジタル電子計算機（北大計算センター HIPAC 103）にて処理した。図-11 a～11 e に規定区間の溢水流量 w_{ov} を記載した。

4-3　燃料消費量の測定

燃料消費量はバーナおよび送風機駆動用エンジンへの燃料管中に設けた表-7に示す容積型積算流量計により測定した。

表—7　燃　料　用　流　量　計

バーナ用燃料消費量用	オーバルミニオイルメータ	10～700 ℓ/h 用
エンジン用燃料消費量用	東　京　機　器	0.5～10 ℓ/h 用 （エンジントラブルのため途中で取はずした）

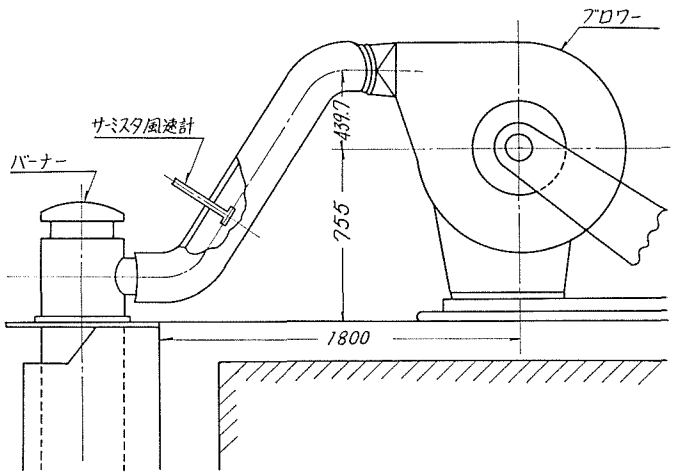
4-4　送入空気量の測定

(a)　測定方法

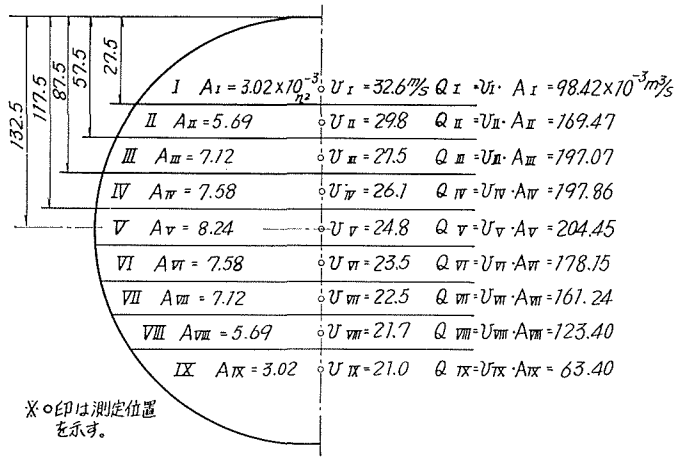
送風機とバーナを結ぶ空気導管（内径 265 mm 鋼管）の図-6 a に示される個所に風速計を挿入し，管断面の速度分布を測り積分して空気量を求めた。使用した風速計はサーミスタ風速計（三菱電機 TA-2B）である。風速計プローブの長さが不足のため，風速測定は図-6 b に示す範囲のみについて行なったが，測定不能部分の風速は測定結果を延長して推定した。測定は試験期間中に都合7回行ない，その平均値を採用した。なお，バーナへの送入空気温度は試験期間を通じほぼ 25°C 一定であった。

(b)　空気量計算方法および測定結果

図-6 b 各位置における風速の測定値および推定風速（$v_1 \sim v_{1X}$）と分割管断面積（$A_1 \sim A_{1X}$）から，管全体を流れる空量気 w_a m³/sec が求められる。すなわち



図—6 a 風 速 計 位 置



図—6 b 空 気 量 の 測 定 値

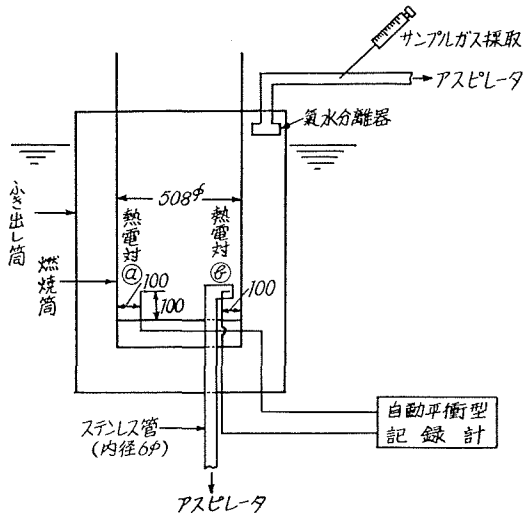
$$w_a = \sum_{i=I}^{IX} v_i \times A_i = 1.39\ \mathrm{m^3/sec} = 5016\ \mathrm{m^3/h} \tag{11}$$

4-5 燃焼ガス温度の測定および燃焼ガス分析

4-5-1 燃焼ガス温度の測定

バーナ燃焼筒下部に図-7のごとくシース入熱電対(クロメル・アルメル, ステンレス・シース) ⓐ, ⓑ の2本を取り付け, 各熱電対の出力を自動平衡型記録計にて記録させた。熱電対ⓐは燃焼ガスの直接測温, ⓑはアスピレータにより燃焼ガスを吸引させる管中に取り付け吸引温度計として測定した。

熱電対ⓐは2月20日の最初のエンジン故障時に燃焼温度急上昇により焼損し, 熱電対ⓑは2月21日のエンジン故障時に焼損したので, 全期間を通じての測定を行なうことができな



図—7　燃焼ガス温度測定およびサンプルガス採取位置

表—8　燃焼ガス温度

日	燃焼ガス温度 (°C)	
20 日	1020	熱電対 B
21 日	1170	〃

かった。しかし，測定中における燃焼ガス温度の変動はなく，全試験期間中ほぼ一定と考えられる。測定結果は表-8 に示すとおりであるが，高温ガスの真の温度は周囲へのふく射による誤差のため指示温度より多少高いと考えられるので，今回の測定ではこのことを考慮し，ガス温度は指示温度より 100～200°C 程度高いものと思われる。

表—9　燃　焼　ガ　ス　分　析

No.	サンプルガス採取時刻	燃焼ガス分析 (%) O_2	N_2	CO_2	CO	燃料消費量 (ℓ/min)	空気比 (m)
1	2/20 11:10	12.1	82.8	4.85	0.18	3.74	2.45
2	15:10	14.4	81.4	4.02	0.20	3.26	2.81
3	2/21 11:50	8.4	81.7	9.74	0.11	4.30	2.14
4	12:45	17.5	79.4	3.10	0	4.23	2.17

4-5-2　燃焼ガス分析

燃焼ガスを図-7 に示すように気水分離させ，100 cc 注射器を用い試料を採取し，ガスクロマトグラフ（柳本 GCG-3）により定量分析した。その代表的な分析結果および空気比計算値を表-9 に示す。表-9 の No. 4 以外はいずれも CO が検出されている。

空気比 λ は式(12)により計算することとした。

$$\lambda = \frac{w_{a0}}{0.8\,F_b} \times \frac{1}{11.4} \tag{12}$$

ただし　w_{a0}＝空気流量　　N m³/min

F_b＝燃料流量　　ℓ/min

0.8＝燃料比重量　　kg/ℓ

11.4＝理論空気量　　N m³/kg

また，上記のほか O_2 メータ（ベックマン溶存酸素計 777 型）により常時燃焼ガスの O_2 含有量を測定し，燃焼状態の監視を行なった。

4-5-3 燃焼効率

融雪機械用バーナの燃焼効率を2通りの方法で求め，その結果を表-10に示した。ガス分析の結果からCOの生成が明らかであり，さらに多少炭化水素および煤の状態で未燃分が排出されていると認められる。

表—10　燃焼効率

	ガス分析による燃焼効率	燃焼ガス温度による燃焼効率	備考
20日	① 92.4% ② 88.6	89.1	①表9 No. 1 相当 ②表9 No. 2 〃 ③表9 No. 4 〃
21日	③ 52.1		エンジン不調のため不完全燃焼がいちじるしい場合。

また，燃焼温度測定値および空気比からも燃焼効率が求められるが，前述のごとく測定部よりのふく射熱損失を考慮し表-8の値に100°C加えて計算に使用した。

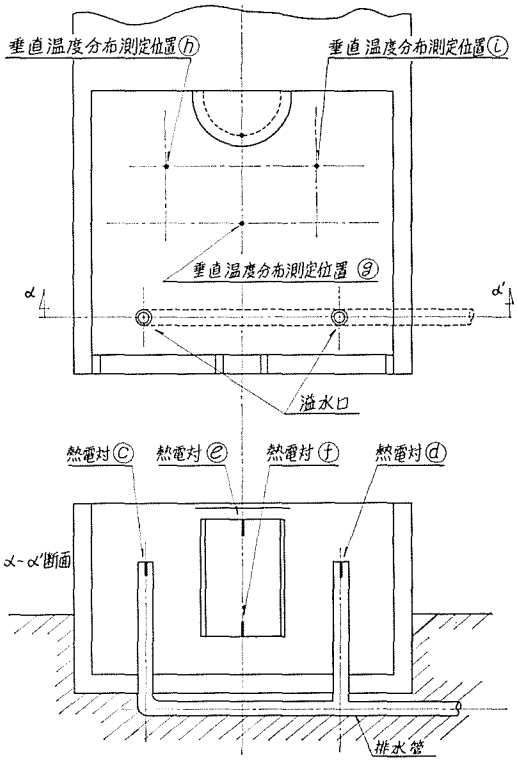
表-10の燃焼効率は後述の熱効率とほぼ同じ値であるので，融雪時の損失の大部分は燃焼時の損失によって占められているものと考えられる。

4-6 融雪槽内水温度の測定

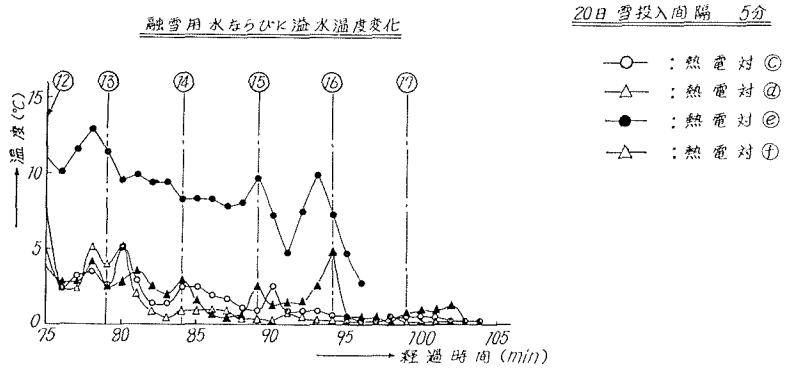
(a) 測定方法

温度測定には熱電対（0.6φ，銅・コンスタンタン，塩化ビニール被覆）を用い，図-8に示すⓒ，ⓓ，ⓔ，ⓕの4個所にそれぞれ2対（故障時の予備を考慮）を固定し温度の時間的変化を測定した。また，熱電対を取り付けた測温棒（下端より0 m，0.5 m，1.0 m，1.2 mの高さにて測定）を用い，図-8のⓖ，ⓗ，ⓘの位置に垂直に挿入して槽内温度分布を測定した。上記熱電対の出力は自動平衡型記録計に記録させた。以上のほか，ⓒ～ⓕ個所には膨張型ダイヤル式温度計（浜田計器，キ4型）を取り付け，水温変化を観察した。

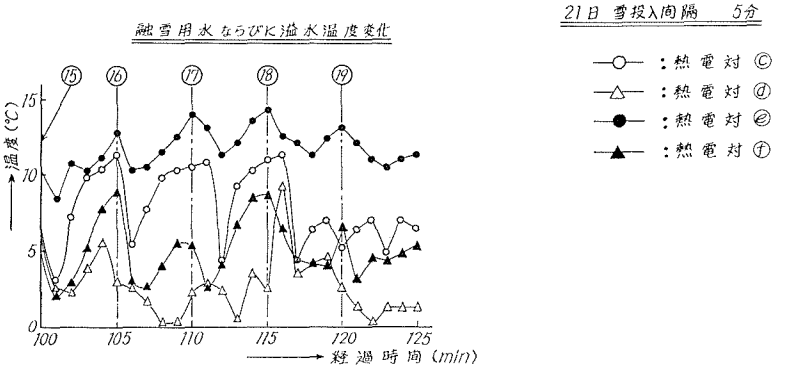
各条件の試験を行なう場合，雪投入間融として5分，7分，9分を採用したが，それぞれ数回の予備投入を行ない，槽内がほ



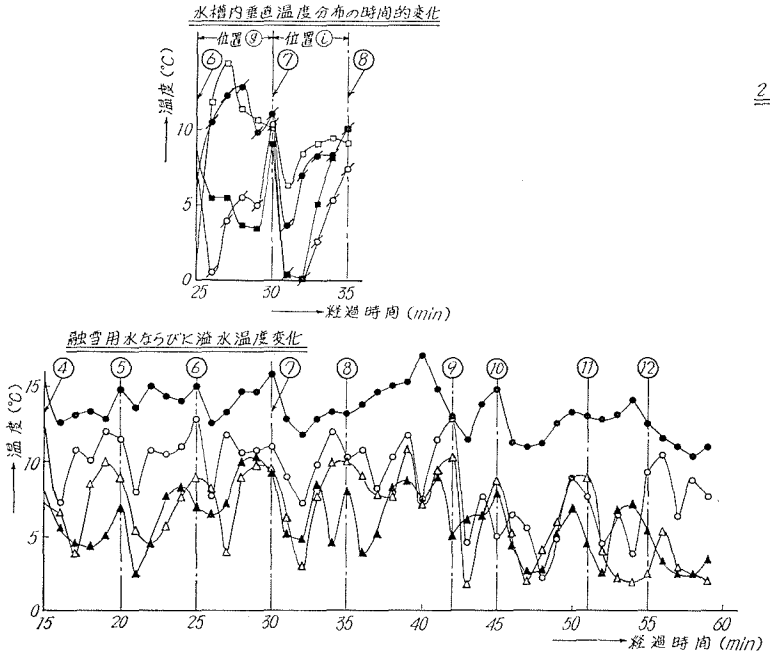
図—8　温度測定位置


融雪用水ならびに溢水温度変化
20日 雪投入間隔　5分
：熱電対 ©
：熱電対 ⓓ
：熱電対 ⓔ
：熱電対 ⓕ
温度 (℃)
経過時間 (min)

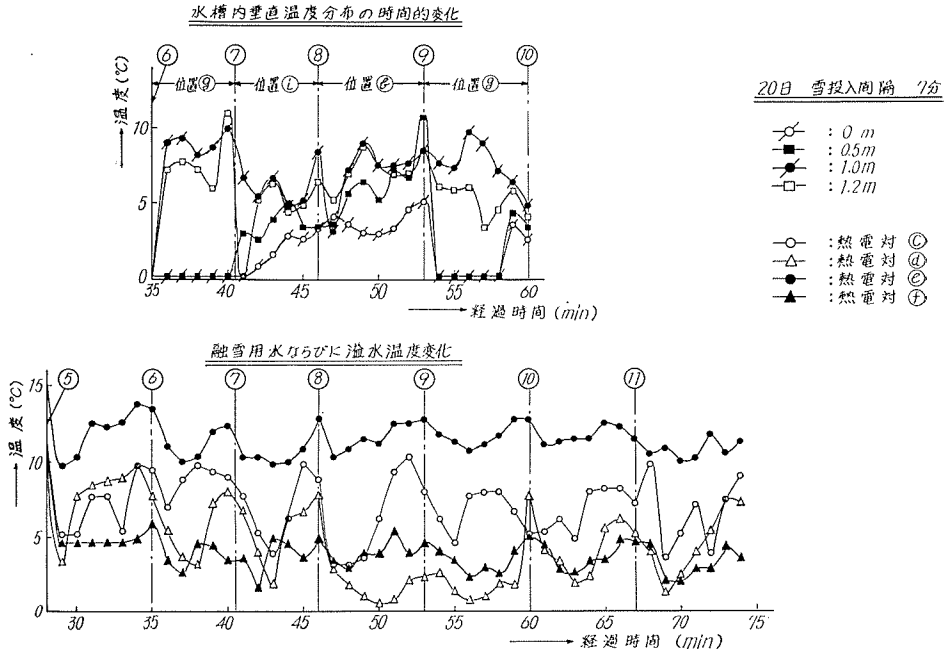
図—9 a


融雪用水ならびに溢水温度変化
21日 雪投入間隔　5分
：熱電対 ©
：熱電対 ⓓ
：熱電対 ⓔ
：熱電対 ⓕ
温度 (℃)
経過時間 (min)

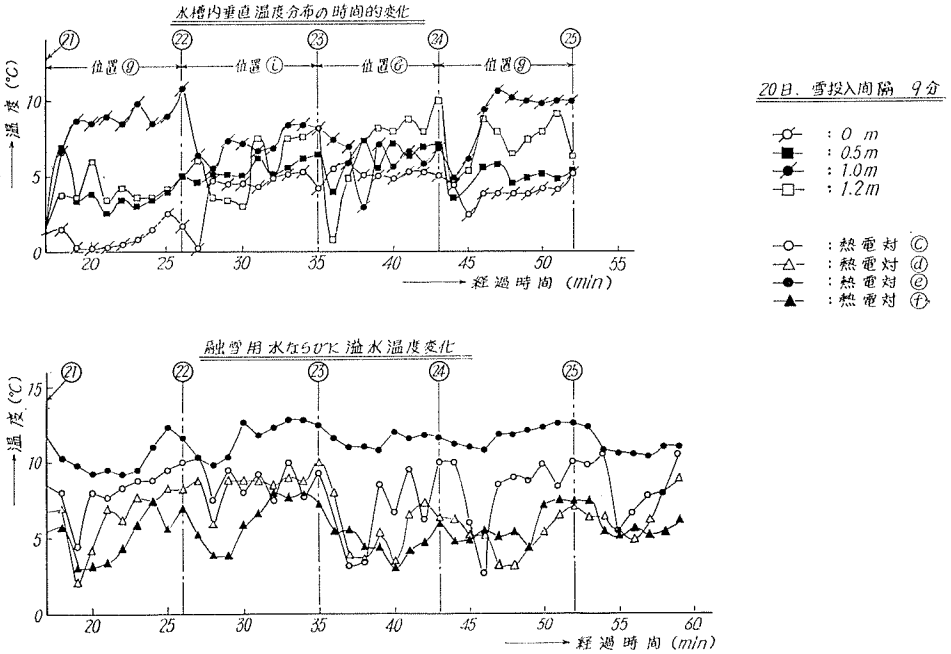
図—9 b


水槽内垂直温度分布の時間的変化
位置⑨
位置①
温度 (℃)
経過時間 (min)
21日．雪投入間隔 5分
：0 m
：0.5m
：1.0m
：1.2m
：熱電対 ©
：熱電対 ⓓ
：熱電対 ⓔ
：熱電対 ⓕ
融雪用水ならびに溢水温度変化
温度 (℃)
経過時間 (min)

図—9 c


水槽内垂直温度分布の時間的変化
位置ⓖ
位置ⓛ
位置ⓔ
位置ⓖ
温度(℃)
経過時間(min)
融雪用水ならびに溢水温度変化
温度(℃)
経過時間(min)
20日　雪投入間隔　1分
: 0 m
: 0.5m
: 1.0m
: 1.2m
: 熱電対 ⓒ
: 熱電対 ⓓ
: 熱電対 ⓔ
: 熱電対 ⓕ

図—9 d


水槽内垂直温度分布の時間的変化
位置ⓖ
位置ⓛ
位置ⓔ
位置ⓖ
温度(℃)
経過時間(min)
融雪用水ならびに溢水温度変化
温度(℃)
経過時間(min)
20日、雪投入間隔　9分
: 0 m
: 0.5m
: 1.0m
: 1.2m
: 熱電対 ⓒ
: 熱電対 ⓓ
: 熱電対 ⓔ
: 熱電対 ⓕ

図—9 e

ぼ定常状態となってから測定に入ることとした。ⓒ～ⓕ 個所は予備期間も含め続けて測定し記録をとるが，ⓖ～① 位置における測温棒の挿入は雪投入サイクルごとに順次位置を変え測定し記録した。

(b) 測定結果

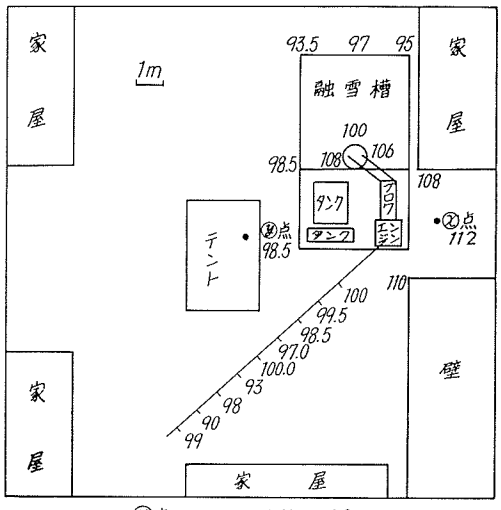
図-9 a は 2 月 20 日雪投入間隔 5 分，図-9 b は同条件で 2 月 21 日行なった場合の測定結果を示したものであり，図-9 c は新雪を雪投入間隔 5 分で行なった結果である。図-9 d, 9 e はそれぞれ雪投入間隔 7 分，9 分の測定結果を示したものである。図-9 c～9 e の下方はⓒ～ⓕ個所の温度変化過程であり，上方はⓖ～① 位置の槽内垂直温度分布である。ただし，雪投入間隔 5 分の場合，垂直温度分布が示されていないのは，投入雪の蓄積によって測温棒の挿入が不能となったためである。このことはまた，5 分間隔の雪投入時の雪供給が供試融雪機械の融雪能力を上回ったことを示している。

図-9 a～e においてⓒ，ⓓ 個所の温度は左右の溢水口に対するものであり，両者は相対的に同条件であるが，かなり温度差が認められる。これは，いずれか一方の溢水口が雪にてふさがれ，ほとんど流れない状態となったためと思われる。いったんこのような状態が発生すれば，溢水は主として他方より流れ，その側の水温が上昇してその傾向は益々助長される。このため，槽内の一部は融雪に無効な空間となり融雪槽の有効容積を減じ，さらに高温溢水の無駄な放出により性能低下をきたす原因ともなることが判った。

槽内垂直温度分布は上から下に向って低温になる傾向を示しているが，槽内の雪の状態により前述の理由から特定の流れの経路が生じていることが考えられるので，測定結果にも表われているように，同じ傾向を各位置，各試験状態に期待することはできないのは当然である。

以上より，融雪槽の有効利用，性能の向上を計るため，槽内の無駄な流れを防ぎ高温の水と雪を積極的に接触せしめるよう改善する必要があることがわかった。

ⓔ，ⓕ 個所相互の温度差に循環水量を乗ずれば，加熱筒内で水が得た熱量となるはずであり，今回の温度差測定結果では平均して 5～8°C 程度であった。循環水量が測定されていれば，加熱筒内での伝熱性能を把握することができ，融雪機械の効率をさらに分けて考察することも可能となる。ゆえに，次回の試験では循環水量の測定を併せて行なうことも



図—10 騒音測定位置および測定値
(C スケール，単位 dB)

必要であろう。

4-7 融雪機械の騒音測定

騒音の測定は指示騒音計 (RION 製, NA-07 A 型) を用いて行ない, 図-10 の ⓧ, ⓨ 点における全試験期間を通じての測定と, 融雪機械を中心とし一定条件の下での移動測定の2通りの方法で測定した。全試験期間中の ⓧ, ⓨ 点における測定値は, 試験条件による差異がほとんどなかった。ⓧ, ⓨ 点の騒音を A, B, C スケールにより測定した結果の平均値は表-11 のとおりである。

表—11 騒音測定結果

測定点	ⓧ 点			ⓨ 点		
スケール	A	B	C	A	B	C
dB	104	110	113	90	95	98
暗騒音				53	60	88

各点での移動測定結果 (地上 1.5 m において) の C スケールで表わした数値を図-10 に併記した。この結果より, 騒音は主として送風機および同用エンジンから発していることがわかる。

5. 融雪機械の性能

前項までの各測定結果から融雪機械の性能を評価することができるが, このような融雪機械の性能表示または性能評価の適切な方法は現在のところ十分に確立されていない。一般に採用されているのは総合効率であるが, これによってのみ融雪機械の性能を決めることは必ずしも実状に合ったものと考えられない。ここでは, これら性能の最も適切な表現を決めるため, 基礎資料提供も兼ねていくつかの表示方法を提案し, 各試験結果をこれらの表示方法によりまとめることとした。

性能評価の基本として, つぎの2通りを考える。

(1) 供給された熱量のうち, どの程度が雪をある規定温度の水に変えることに使われたか。

(2) ある規定時間内の投雪量のうち, どれだけの雪が融解したか, さらに, 融雪機械の稼動時間と実際の融雪時間との割合がどの程度かも, 判断の基準となると思われる。

5-1 間欠雪投入時の融雪機械の効率

以上の観点から, 融雪機械の性能を効率の形で表わすと, つぎの効率が考えられる。

(1) 熱効率, (2) 有効効率, (3) 融雪率, (4) 融雪能率

(1) および (2) には, 融雪機械の運転開始から終了までの全運転期間を通じての効率と, ある任意の区間を対象とする効率の2通りが考えられる。 (3) および (4) については, 全運転期間を通じても考えられるが, ある任意区間を対象とする場合, 特に必要と考えられる。

5-1-1　全熱効率

融雪機械の全運転期間に対する熱効率 $\eta_{\text{th all}}$ を式(13)にて定義する。

$$\eta_{\text{th all}}=\frac{\text{投入雪全部が融けて } t^{\circ}\text{C の水となって流出するまでに得た熱量}}{\text{全　供　給　熱　量}}$$

$$=\frac{(\text{溢水のエンタルピー雪のエンタルピ})\times\text{全投入雪量}}{\left(\begin{matrix}\text{バ　ー　ナ　に}\\ \text{供給された熱量}\end{matrix}\right)+\left(\begin{matrix}\text{送　風　に　よ　り}\\ \text{供給された熱量}\end{matrix}\right)+\left(\begin{matrix}\text{融　雪　槽　内　の}\\ \text{水の保有熱量差}\end{matrix}\right)}$$

$$=\frac{(i_{ov}-i_s)W_s}{Q_b+Q_e+Q_p}\qquad(13)$$

ただし　　i_s＝雪のエンタルピ　kcal/kg

i_{ov}＝溢水のエンタルピ　kcal/kg

W_s＝全投入雪量＝全溢水量　kg

$i_{ov}\cdot W_s=\int i_{ov\tau}w_{ov}d\tau$

$i_{ov\tau}$＝時刻τにおける溢水のエンタルピ　kcal/kg

w_{ov}＝溢水流量　kg/sec

Q_b＝バーナに供給された燃料の発生熱量　kcal

Q_e＝燃焼用空気により持ち込まれる熱量　kcal

Q_p＝融雪槽内の始めと終りの熱量差

$=W_p\cdot\Delta t$　kcal

W_p＝融雪槽の保有水量　kg

Δt＝同上運転前後の水温度差　°C

$\eta_{\text{th all}}$によって性能を表わした場合，熱の損失はふく射損失，土中その他への伝導熱損失，水蒸気になって持去られる潜熱，排ガス保有熱損失，未燃損失である。ゆえに，融雪用バーナが正常に働いていれば，$\eta_{\text{th all}}$はかなり高い値を示すことになろう。

5-1-2　全有効効率

全運転期間に対する有効効率 $\eta_{\text{eff all}}$ は式(14)により定義される。すなわち，融雪機械の仕事は雪を水に状態変化させることであり，排出水の基準状態を0°Cとするならば，融雪に必要な熱量は（雪の顕熱＋雪の潜熱）に相当する。0°Cの水をなお加熱して溢水とともに排出する熱量は融雪機械として無効なものと考えられる。しかし，排水側の要望により溢水の温度がt_0°C以上と決められた場合，これを基準温度に選び，雪を融解し溢水をt_0°Cまで加熱するに要した熱量が有効であるとして取り扱うことが適切である。

$$\eta_{\text{eff all}}=\frac{\text{投入雪全部が融けて } t_0^{\circ}\text{C の水となるまで加熱するに要した熱量}}{\text{全　供　給　熱　量}}$$

$$=\frac{(t_0^{\circ}\text{C の水のエンタルピー雪のエンタルピ})\times\text{全投入雪量}}{\left(\begin{matrix}\text{バ　ー　ナ　に}\\ \text{供給された熱量}\end{matrix}\right)+\left(\begin{matrix}\text{送　風　に　よ　り}\\ \text{供給された熱量}\end{matrix}\right)+\left(\begin{matrix}\text{融雪槽内の水の}\\ \text{保　有　熱　量　差}\end{matrix}\right)}$$

$$= \frac{(i_{t0}-i_s)W_s}{Q_b+Q_e+Q_p}$$

$$= \eta_{\text{th all}} - \frac{(i_{ov}-i_{t0})W_s}{Q_b+Q_e+Q_p} \tag{14}$$

ただし　$i_{t0}=t_0$℃ の水のエンタルピ

5-1-3 区間効率の考え方

全運転期間を通じての効率によって，おおよその性能をつかむことができるが，実際には融雪機械への雪投入状態により，融雪槽内の様子はかなり違ってくる。たとえば，雪投入間隔を短縮した場合の融雪槽内残雪量の増加，溢水口の閉塞とそれによる水位上昇，急激な雪投入による過大な溢水の流出などが生じ，これと逆に，雪投入間隔が長く融雪が完全に終り，融雪水の温度上昇のみを続け，つぎの雪投入による高温溢水の流出などが生じ，両者いずれの場合も融雪機械の性能を十分に発揮することができない。ゆえに，以上の状態を考慮した任意区間の効率を考える必要が生じてくるのである。

5-1-4 区間の熱効率および有効効率

任意区間の区間熱効率は式(15)により定義される。

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{雪がある区間で } t\text{℃ の水になるまでに受けた熱量 } q_s}{\text{ある区間に供給された熱量 } q_r} \tag{15}$$

ただし　q_s=(投入雪量−残雪量)×(溢水のエンタルピ−雪のエンタルピ)　kcal

$$=(W_s-W_R)\times(i_{ov}-i_s)$$

$$=W_m i_{ov}-W_m i_s$$

$$=\frac{W_m}{W_{ov}}\int i_{ov\tau}w_{ov}d\tau - W_m i_s$$

残雪量の少ないときは

q_s=溢水量×(溢水のエンタルピ−雪のエンタルピ)　kcal

$$=W_{ov}(i_{ov}-i_s)$$

$$=\int i_{ov\tau}w_{ov}d\tau - W_{ov}i_s$$

W_R=残 雪 量　kg

$$=\frac{\text{残雪を全部水にするのに要した供給熱量}\times\text{熱効率}}{\text{溢水のエンタルピ−雪のエンタルピ}}$$

$$=\frac{Q_t\cdot\eta_{\text{th}}}{i_{ov}-i_s}$$

W_m=融 雪 量　kg

W_{ov}=溢 水 量　kg

区間の有効効率 η_{eff} は式(16)により定義される。

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{\text{雪がある区間で } t_0\text{℃ の水になるために必要な熱量 } q_{s0}}{\text{ある区間に供給された熱量 } q_T} \tag{16}$$

$$= \frac{W_m(i_{ov}-i_s)}{q_b+q_e+q_p}$$

$$= \frac{\dfrac{W_m}{W_{ov}}\int i_{ov\tau}\, w_{ov}\, d\tau - W_m i_{t0}}{q_b+q_e+q_p}$$

ただし　$q_{s0}=W_{ov}(i_{t0}-i_s)$

q_b＝区間でバーナへ供給された熱量　kcal

q_e＝区間の燃焼用空気により持ち込まれた熱量　kcal

q_p＝融雪槽内の区間始めと終りの熱量差　kcal

5-1-5　融雪率 R_m と融雪能率 A_m

融雪機械の運転開始から終了までの全運転期間について考えた場合，投入雪量と融雪量は一致するが，任意のある区間については両者が必ずしも一致せず，残雪量の分だけ融雪量は少なくなり，極端な場合はこの残雪を融かすため雪投入を中断しなければならぬこともある。ここで，投入雪量と融雪量の比を融雪率 R_m と定義し，融雪状態を判断する。

$$R_m = \frac{\text{ある区間の融雪量}}{\text{ある区間の投入雪量}} = \frac{\text{投入雪量}-\text{残雪量}}{\text{投入雪量}} \tag{17}$$

投入雪と溢水量が等しい場合は

$$R_m = \frac{\text{溢水量}-\text{残雪量}}{\text{投入雪量}}$$

と考えてよい。全運転期間を考えると，融雪率は当然 1 となる。

有効効率と融雪率の積を融雪能率 A_m と定義し，融雪機械の評価の一指標とする。

$$A_m = \eta_{\text{eff}} \cdot R_m \tag{18}$$

融雪機械が投入された雪をすべて融解し，さらに融雪水の温度上昇のみを続けている場合は，この遊休時間を考慮する必要がある。実際には遊休中の融雪水の温度上昇のため，つぎに投入された雪が融ける時間は短くなる。しかし，槽内の水温が高いため，雪投入時の溢水により運び去られる熱量は増加する。

5-2　試験結果の解析

5-2-1　全期間を通じての性能

2 月 20, 21 日両日の全運転期間を通じての各性能を表-12 に示す。供試融雪機械の有効効率は試験結果によると約 85% となり，その場合の投入雪負荷は融雪バーナ運転期間を基準とすると約 24 t/h である。

なお，燃焼用空気により持ち込まれる熱量は 6℃ (循環水の平均入口温度) を基準として計算し，溢水熱量は通過する熱量の多い方の溢水口温度により計算した。この場合，流量の少い方

表—12　全試験期間を通しての性能

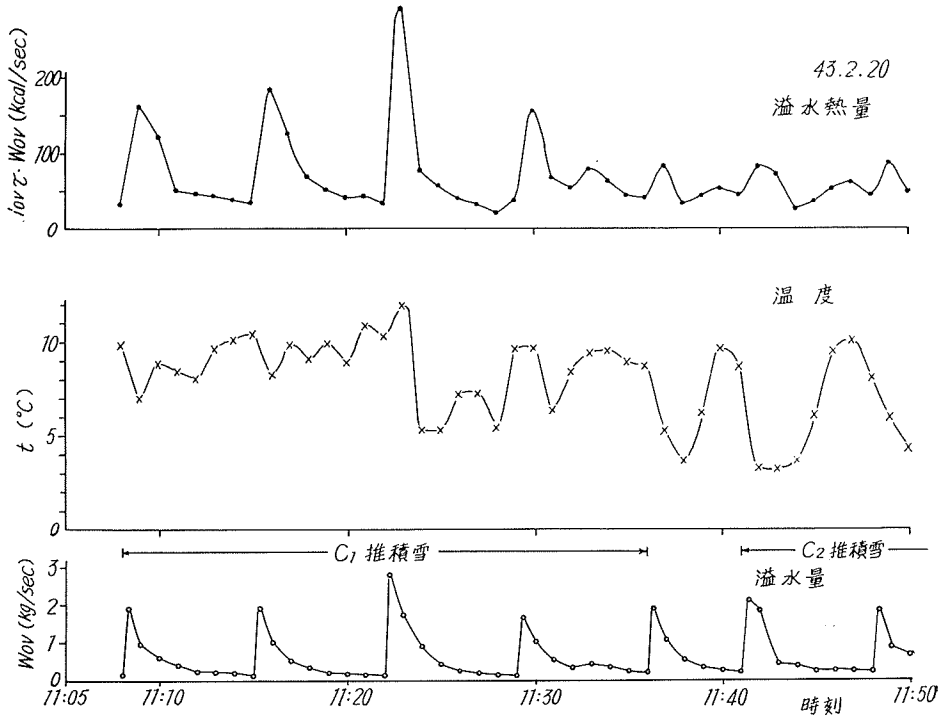
試験日	投入雪量 (ton)	燃料消費量 (ℓ)	融雪時間 (分)	供給熱量 (kcal) 燃料	送風	全熱量	融雪熱量 (kcal)	溢水熱量 (kcal)
2月20日	72.45	762.3	316	6,690,000	97,000	6,787,000	5,710,000	434,400
2月21日	56.97	58.08	157	5,170,000	63,000	5,233,000	4,490,000	341,000

雪が得た全熱量 (kcal)	全熱効率 $\eta_{th\ all}$	全有効効率 $\eta_{eff\ all}$	融雪期間を基準にした場合 平均投入雪負荷 (t/hr)	燃料消費率 (ℓ/hr)	バーナ運転時間を基準とした場合 運転時間 (分)	平均投入雪負荷 (t/hr)	燃料消費率 (ℓ/hr)	燃料消費率 (ℓ/t)
6,144,400	0.905	0.842	13.8	145	207	20.0	211	10.5
4,831,000	0.924	0.86	21.7	222	144	23.7	242	10.2

の溢水口の温度が他方より低いので真の溢水熱量は表-12の値より幾分少ないと考えられる。したがって，真の溢水熱量を求めるためには，各溢水口の流量と温度を別々に測定することが必要である。

5-2-2　区間性能の解析

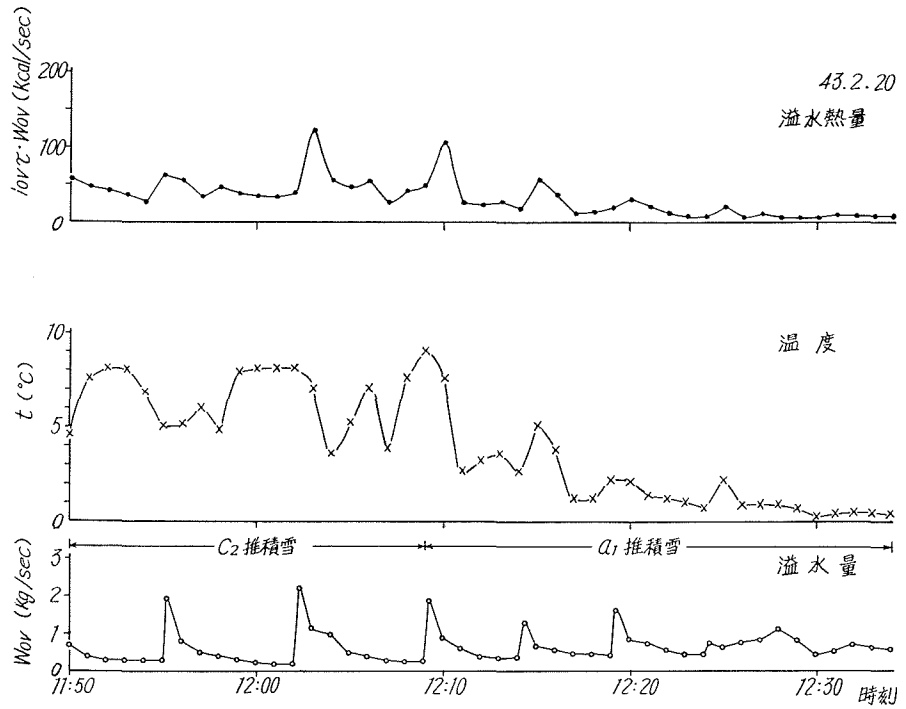
試験項目 A, B, C, D の各期間のうち，その期間を最もよく代表していると思われる区間を設定し，上述の区間性能を求めた。規定区間の設定は雪投入間隔が正確で，各雪投入サイクルごとの各測定値の変化に一様性のある条件を目安として選んだ。規定区間は a_1, a_2, b, c_1, c_2,



図—11 a　溢水量及び溢水熱量

表—13　各　区　間

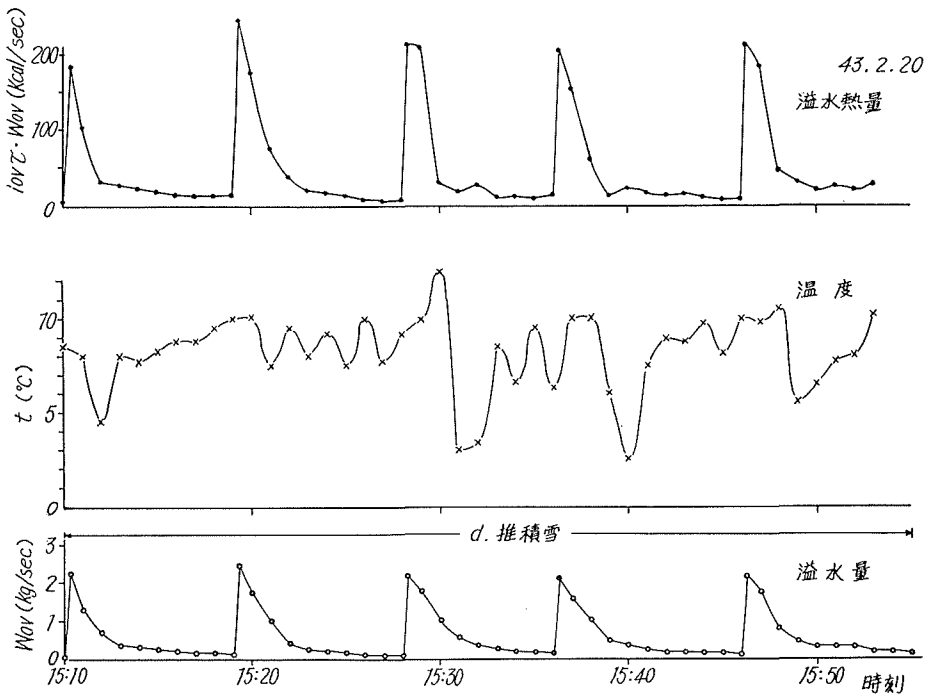
規定区間	雪投入間隔 (分)	試験日	時　刻	時間 (分)	雪投入番号	雪投入回数	投入雪量 (ton)	溢水量 (ton)	融雪量 (ton)	燃料消費量 (ℓ)	融けた雪の全エンタルピ (kcal)	融雪水の熱量 (kcal)
a_1	5	2/20 堆積雪	12:09 ～ 12:34	25	12～16	5	13.00	10.05	7.00	87.5	553,000	143,500
a_2	5	2/21 堆積雪	13:17 ～ 13:37	20	16～19	4	12.27	11.68	7.15	80.0	564,000	51,000
b	5	2/21 新　雪	11:45 ～ 12:30	45	4～12	9	24.69	23.66	17.20	198.0	1,357,000	150,200
c_1	7	2/20 堆積雪	11:08 ～ 11:36	28	3～ 6	4	11.70	9.14	9.14	104.7	722,000	83,200
c_2	7	2/20 堆積雪	11:41 ～ 12:09	28	8～11	4	12.58	8.83	8.83	104.7	697,000	48,000
d	9	2/20 堆積雪	15:10 ～ 15:55	45	21～25	5	14.37	14.68	11.82	145.5	923,000	86,100



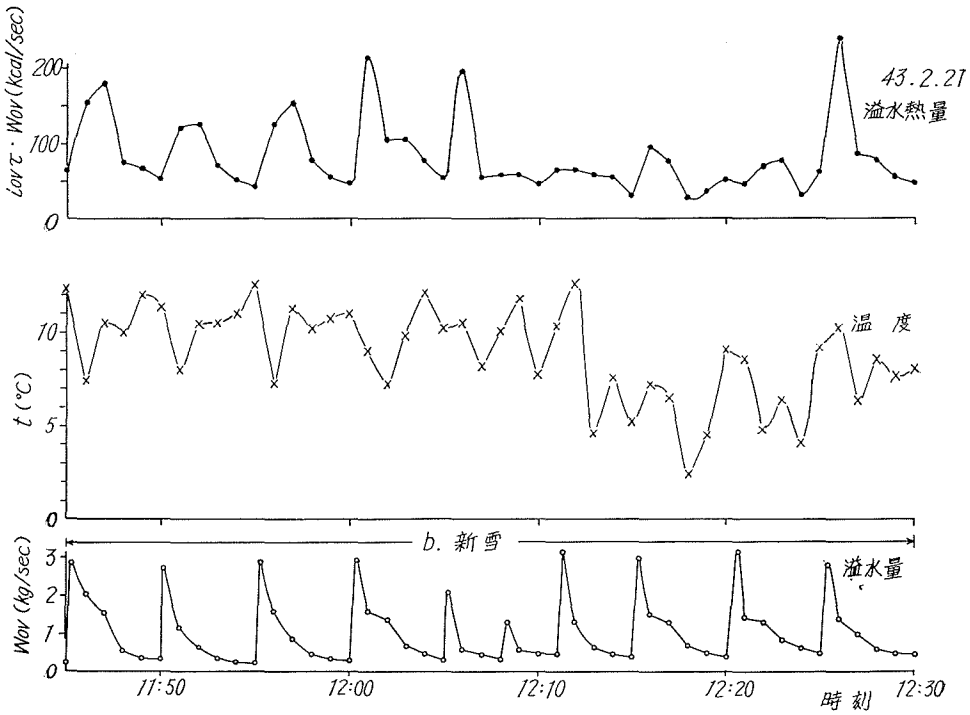
図—11 b　溢水量及び溢水熱量

ご と の 性 能

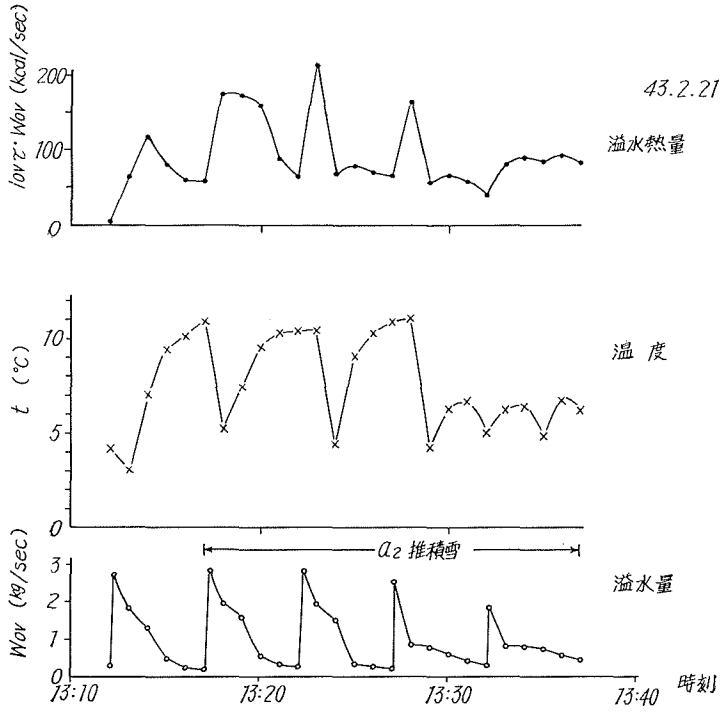
雪が得た全熱量 (kcal)	燃料による供給熱量 (kcal)	送風による供給熱量 (kcal)	全供給熱量 (kcal)	熱効率 η_{th}	有効効率 η_{eff}	融雪率 R_m	融雪能率 A_m	投入雪負荷 (t/hr)	融雪負荷 (t/hr)	燃料消費量 (ℓ/hr)	燃料消費量 (ℓ/ton)
696,500	770,000	10,940	780,940	0.838	0.708	0.538	0.381	31.2	16.8	210	12.5
615,000	704,000	8,750	712,750	0.862	0.790	0.583	0.460	36.7	21.4	240	11.2
1,507,200	1,742,000	19,700	1,761,700	0.885	0.769	0.700	0.538	32.9	22.9	264	11.5
805,400	920,000	12,270	932,270	0.863	0.775	0.782	0.605	25.1	19.6	224	11.4
745,000	920,000	12,270	932,270	0.800	0.747	0.702	0.525	27.0	18.9	224	11.8
1,018,100	1,282,000	19,700	1,301,700	0.782	0.715	0.823	0.588	19.2	15.8	194	12.3



図—11 c 溢水量及び溢水熱量



図—11 d　溢水量及び溢水熱量



図—11 e　溢水量及び溢水熱量

dの6区間 (表-3参照) とし，各区間の溢水量，溢水温度，溢水のもつ熱量は図-11 a～eに示すとおりである。また，各区間性能を表-13に示す。

区間性能としては投入雪負荷25～37 t/hの範囲に変化させても熱効率は86%，有効効率は75% 程度であり，あまり投入雪負荷に影響されていないことがわかった。しかし，融雪率は投入雪負荷の低いほど高くなり，同じ負荷でも堆積雪より新雪の方が高くなっているのは当然である。融雪バーナの状態が同じならば，投入雪負荷が変っても融雪負荷がほとんど変らないことは留意すべき点である。すなわち，融雪機械への燃料供給が一定ならば，投入雪量を増しても融解せず，つぎの雪投入サイクルまで持ち越す残雪となるだけで，溢水量の増加を融雪能力が増加したことを見誤ってはならないのである。融雪機械の性能を改善するに当っては，燃焼効率を高めること，溢水により排出される熱量を減少させること，熱水と雪との接触を良くし融雪槽の有効利用を計るなどの考慮が必要である。

6. ま と め

間欠雪投入時における融雪機械の性能試験および性能表示に関して得られた結果を要約すると，

(1) 従来，融雪機械の性能評価は投入雪負荷により行なわれることが多かったが，これは必ずしも正しくなく，融雪負荷によるべきである。

(2) 通常，定置式融雪機械の運転は間欠雪投入によることが多いので，この場合は融雪率を考慮しなければ性能を把握することができない。これは，融雪状況が非定常であり，投入雪量と融雪量が必ずしも等しくないからである。

(3) 以上の考慮により計算した有効効率は投入雪負荷によりあまり影響されないようである。

(4) 融雪機械の効率としては有効効率を用いるべきである。ゆえに，雪投入を行なわず水を融雪槽に入れただけで効率を測定しても，妥当な結果を得ることができない。

(5) 有効効率の向上には，融雪バーナの燃焼効率の改善および溢水の排熱回収を計ることが必要である。

(6) 融雪機械の性能測定においては，雪の熱的諸性質をあらかじめ正確に測定しておかねばならぬ。たとえば，含水率などを適当に仮定することは誤差を招く原因ともなる。

(7) 今回の試験は準備期間不足のため，測定値に十分の精度が得られない点もあり，この点について今後試験を続ける必要がある。

(8) 供試融雪機械において，全熱効率は91%，全有効効率は85%，平均融雪負荷は約24 t/hであった。

(9) 供試融雪機械の構造について，たとえば溢水口の数，位置，形状など，および排水管についても改善の余地がある。

(10) 燃焼ガス中のCO，炭化水素および溢水中の未燃煤などによる公害に対処するため，融雪バーナの燃焼性能を改善すべきである。さらに，融雪機械を市街地で使用することを考慮するとき，送風機および同用エンジンなどの甚しい騒音による公害の防止も大きな問題点であろう。

文　　献

1) 深沢正一：札幌市定置式スノーメルタ性能試験報告 (昭43年5月).
2) 木下誠一：北大低温科学 (物理編), 第19集, p. 119 (1960年10月).