

土木研究所資料

第9|34号

街路用融雪機械の開発に関する研究
(小型自走式スノーメルタの製作)



昭和49年3月

建設省土木研究所



要 旨

自走式スノーメルタの小型化を図ることを目的としてスノーメタルの約半分のスペースを占めている融雪槽の容量を $2.0 \text{ m}^3 \sim 3.1 \text{ m}^3$ の範囲で変化させ、供給熱量と融解能力との関係を調べた結果、この範囲においては能力に関係ないことが判明した。これより水槽容量を 2.0 m^3 とし融雪装置を市販の 4.5 t 積普通トラックの荷台に収めた小型スノーメルタを試作し改造を加えた。このスノーメルタは主動力を自動車エンジンから取り出し、前方にロータリ式除雪装置を架装した自走自力積込式である。

融雪実験の結果、最大で 40 t/h 、平均で約 30 t/h の能力を発揮することがわかった。

街路用融雪機械の開発に関する研究 (小型自走式スノーメルタの製作)

機械研究室

田 中 康 之
本 田 宜 史
後 藤 勇
小 山 博 司
山 田 一 彦

目 次

要 旨

1. まえがき	1
2. 研究目的	3
3. けん引式融雪実験装置による実験	4
3-1 実験装置の検討	4
3-2 実験装置	5
3-3 実験方法	7
3-4 実験結果	8
3-4-1 溢水量と投入雪量	10
3-4-2 供給熱量の算定	11
3-4-3 必要熱量の算定	11
3-4-4 溢水量	12
3-4-5 温度分布の測定	12
3-4-6 熱効率	14
3-5 まとめ	14
4. 自走式融雪実験機による実験	15
4-1 実験機の基本的考え方	15
4-2 実験機の概要	15
4-3 実験方法	23
4-4 実験結果と考察	23
4-4-1 雪 質	23
4-4-2 融雪実験結果	26
4-4-3 融雪能力	26

4-4-4	作業速度	27
4-4-5	燃料消費量	27
4-4-6	空気消費量	28
4-4-7	各部温度	28
4-4-8	熱収支	29
4-4-9	熱効率	30
4-5	まとめ	30
5	改造型自走自力積込式融雪実験機による実験	31
5-1	改造の基本的考え方	31
5-2	改造の概要	31
5-2-1	熱効率の改善に関する改造	31
5-2-2	機能向上に関する改造	34
5-3	実験方法	35
5-4	実験結果と考察	35
5-4-1	雪質	35
5-4-2	融雪能力と熱効率	40
5-4-3	温度分布	40
5-4-4	自動制御装置	42
5-4-5	動力配分	43
5-5	まとめ	45
6	結 論	46
7	あ と が き	47
8	参 考 文 献	47

1. ま え が き

我国々土の約 2/3 は冬期間雪に覆われる雪積地帯に属し、冬期間の交通に多大な支障をきたしている。道路除雪は、昭和 31 年 4 月に制定された「積雪寒冷特別地域における道路交通確保に関する特別措置法」の制定以来本格化し、各方面の努力により最近において漸く一般国道や主要地方道などの幹線道路については冬期間においても道路本来の機能を保持し得る状態になってきた。しかし我国の道路延長の大多数を占める一般地方道や市町村道などのいわゆる生活道路の除雪については今一步の感を免かれない。

除雪、防雪という仕事の中には多種多様の工種が含まれているが、最も一般的で確実な除雪機械による除雪に注目すると、除雪機械の質的向上、量的整備には目覚ましいものがある。しかしその大部分は道路幅員の比較的大きい幹線道路向きに作られており、狭隘な道路での使用が難かしいとされている。

最近では急激な自動車交通の増加により雪国における生活様式が変化し、夏、冬の差がないものになりつつある。このため道路除雪に対する要望として、従来の点と点を幹線道路で結ぶいわゆる「線の除雪」から、地域社会の道路全般の除雪いわゆる「面の除雪」が強く要望されるようになってきている。また道路周辺の市街地化も著るしく、更に人手不足や住民意識の向上から従来人力で行っていた狭隘道路の除雪は困難な状態になってきており、狭い街路で使用できる小型除雪機械の要望が強い。

狭い街路における機械除雪では雪を置くスペースがないため、排雪と呼ばれる連搬除雪が一般的であるが、そのためには或る区間の交通の完全な遮断が必要となり、交通量の増大している昨今困難が多い。これに対し自走式スノーメルタによる方法は、メルタ附近の交通は多少混乱するものの雪運搬車の通過を考える必要がない点が有利である。しかし現有する自走式スノーメルタは大型の割合には能力が低く、したがって除雪に時間がかかる一方大型のために街路に入ることすら困難なケースが多く街路用としては十分な利用がなされていなかった。

本研究は、科学技術庁が推進する「都市の雪害防止に関する総合研究」（昭和 46～48 年度の 3 ケ年計画）の街路用融雪機械の開発に関する研究であり「狭い街路の雪処理技術に関する研究」の一部を構成するものである。本テーマでは雪連搬などの二次的処理を必要とせず、その場処理が可能な融雪機械に着目し、その小型化ないしは処理能力向上を図ろうとするものである。

融雪実験装置の試作に当たってはいくつかの案が検討された。例えば自走式のほかに空地に水槽のみを設置し、それに雪を貯めておき、可搬形の融雪装置で巡回して融雪する方式や小さな固定式スノーメルタプラントを多く配置する方式などである。これらを検討の結果道路に附帯設備等を必要とせず機械単独での作業が可能なこと、跨線橋や高架部分など道路敷外への投雪が不可能で連搬排雪に不便な場所での使用も可能なことから、自走式機械の方がメリットが大きいと判断された。そこで 46 年度は小型化の最大のネックと思われる融解槽の大きさについて基礎的な実験を行なうべく融解槽の大きさを $2.0 \sim 3.1 \text{ m}^3$ と変化できる処理能力 $1.5 \sim 3.5 \text{ t/h}$ の被けん引スノーメルタ

を試作し実験した。47年度はその結果を受けて同能力で水槽容量を 2.0 m^3 とした自走式自力積込式に改造し試運転を行なった。更に48年度には熱の有効利用並びにオペレータの労力軽減をねらった制御装置を加えて実験を行なった。

この報告書はこの3年間の研究結果をまとめたもので3章は小型化するのに必要な基礎研究について、4章5章はこれらを応用した実機の製作及び現場実験結果について述べている。

2. 研 究 目 的

豪雪地帯の道路除雪は、国道を幹とし、県道、主要地方道を枝としてかなりの広がりを見せているが、葉に当る市町村道の除雪は不十分の感を免がれない。これは総延長の長いことによる予算上の制約も大きい、道路構造上除雪が困難という理由も見逃せない。特に人口の多い市街地の狭い街路では、そこに降り積った雪ばかりでなく屋根雪の置場としても使われるため、殆んど雪に埋れており、こゝを除雪して自動車交通の用に供することは非常に困難が伴う。

小型車の通行を考慮すると車道幅員は一車線だけでも3m、これに両側にそれぞれ1mの雪置場を考えると5mの幅員が必要となる。したがって5m以下の道路ではこの両側1mの雪置場内に路上の雪と屋根雪をおかなければならない。しかも人家の多い場合は、これを所々通路として使わなければならないし、自動車の交換のためのスペースにも供しなければならないので、こゝにある雪をたえず融かすか運び出すかしなければならない。前者が自走式スノーメルタを用いる方法であり、後者はローダとダンブトラックによる方法が一般的である。

ローダとダンブトラックによる搬出除雪（排雪とも言う）は、大型機械が使えないためコストがかさむこと、作業中は他の交通が殆んど出来なくなること、雪捨場の確保が次第に難かしくなってきたり、運搬距離が伸びていくことなどの欠点がある反面施工速度が速い利点がある。これに対し、スノーメルタによる方法は、現在の機械が能力の割に大型すぎて狭い道路では使えないこと、排水処理の下水道が必要なことなどの欠点があるが、コスト的には次第に安価になり、搬出除雪と競合出来るようになって来ている。

そこでこのスノーメルタを小型化して狭い道路でも使用出来るようにすれば、ダンブトラックによる運搬に十分対抗出来る手段として利用出来る可能性がある。この研究は自走式スノーメルタの小型化をはばんでいる原因を調べ、これを試験プラントで実験して対策を立て、実用性のある試験機を試作することを目標に実施した。

既存の自走式スノーメルタにおいてスペースをとっている部分は、融解槽、プロアとその動力及びバーナ用燃料槽である。これらのうち燃料槽は稼動時間との関係から決められるべき性質のもので、小さくする技術的問題はないと考えられたので検討対象外とした。研究予算の関係から初年度（46年度）は融解槽の大きさとプロアの小型化に関する基礎実験を、次年度（47年度）には、この結果をうけて動力系統の小型化を図った試験機を作り実験を行ない、最終年度には47年度実験結果より熱エネルギーの有効利用とオペレータの省力化を目的とした改造を上記試験機に加え能力確認のための実験を行なった。

3. けん引式融雪実験装置による実験

3-1 実験装置の検討

(1) 方法論的検討

自走式スノーメルタを小型化するという方針決定の前に、スノーメルタ方式に関する2～3のアイデアを検討した。それは自走式スノーメルタと対をなす方式に定置式スノーメルタ方式があり、従ってその中間の方式もあり得るのではないかという案である。具体的には、(i)自走式スノーメルタの大きな部分となっている融解槽を定置式にし、メルタの本体部分だけを車載にして移動可能とする案。(ii)バーナ部分までを定置式に、動力部分だけをトラックに載せる案。および(iii)小型メルタを定置式にして広く分散させる案である。

これらの案の骨子は、街路の一部に地下ピットを作って、そこまでの雪の運搬は市民の協力を得る。または流雪溝を作るといった点で、これを市内に広く分布させておき、そこを自走式の前記機械が巡回する方式である。このアイデアは坪質元建設機械課長の提案によるものであるが、機械の小型化、稼働率向上の面からもユニークなもので且つ実現性が高い。しかし検討の結果次のような問題が判明した。それは一般にスノーメルタの能力は非常に小さい。したがって融解槽への雪の投入はその能力に見合うコンスタントな投入が必要で、そうでないと非常に大きい融解槽、又は広い雪置場が必要となる。しかし市民の協力を期待する場合、こうしたコンスタントな雪の投入は困難である。大きい槽や広い雪置場を作るとは小数の例では可能であろう。しかし、この場合どこも同じようなスペースが確保されないと困る。それは使用する機械の方が共通だからである。

こうした理由により、自走式のスノーメルタの小型化を検討することにした。

(2) 実験装置の検討

現在までに実用化されている自走式のスノーメルタは米国サーマルエンジニアリング社の開発した縦型の水中バーナを用いている。これは高圧(400 mm Aq)の空気を大量に縦型の燃焼炉に送り込み、短かい火焰長さで燃焼を完了させると共に、この排気を水中に押し出し気泡となって燃焼炉の周囲にエアリフトポンプ(気泡ポンプ)を形成し、水の上昇流を起して炉を冷却すると共に、熱交換を行ない、この温水を雪の上に噴出させて融解する方式をとっている。

この方式は排気ガス-水-雪間の熱交換が良く行なわれるため効率が良いが、燃焼炉の長さを短かくするのに限界があり、従って機械の全高が高くなること、引いては融解槽の体積が大きくなること、および火焰の水中への吹き出し水深が大きいため、高圧のブローが必要となり、その容積および動力上不利になる欠点がある。またこの方式を改善するためには、燃焼炉が前述のように技術提携によって作られているため改造が難しいこともあって、この方式の改善を見送ることにした。

これに対抗する方式として横型燃焼炉を用いた方式が 2 t/h どまりの小型機で実用化されていたので、これを改良して 30 t/h 程度の能力を目標に試験機を作ることとした。この横型方式は、水中に沈めた燃焼炉から燃焼ガスを多数のパイプを通じて融解水の中に噴出させる方式で、パイプは、ブロー停止時融解水が炉内に逆流するのを防ぐため逆U字型を形成し、水中から一度空中に出た後

再び水中に吹き込む型をとっている。

この方式の特長は、水深を浅くでき従って全高が低くなるので縦型のように特殊なシャシーを作らなくとも、一般のトラックシャシーの上に架装できること、吹き込水深が浅いので送風圧が低圧で良いこと、従ってブローの大きさ、動力などの面でも有利になることが考えられ小型化へのメリットが大きい。反面エアリフトポンプ形式をとらないので雪の上へ温水をかけるといった効果的な熱交換が出来ないので、攪拌装置のようなものが必要なこと、噴出孔が広い面積に散在するので車体の傾きを大きくとれないこと（傾きが大きいと水深の浅い側の孔にだけ排気の噴出が片寄る）などの欠点がある。

こうした点を考慮に入れて次に述べる実験装置を製作した。

3-2 実験装置

融雪実験装置は水槽、燃焼炉、燃料タンク、バーナ及びハウジング、送風機、燃料ポンプ、排水ポンプ及び発電機から構成され、これらが被けん引式の台車に載せられている。

水槽内には横形の水中燃焼炉を設け、炉内で発生した燃焼ガスを逆U字形の、24本のパイプ（排気孔数合計48ヶ）で水中に直接放出する方式のもので、その外観を写真-1、図-1に、概略仕様を表-1に示す。

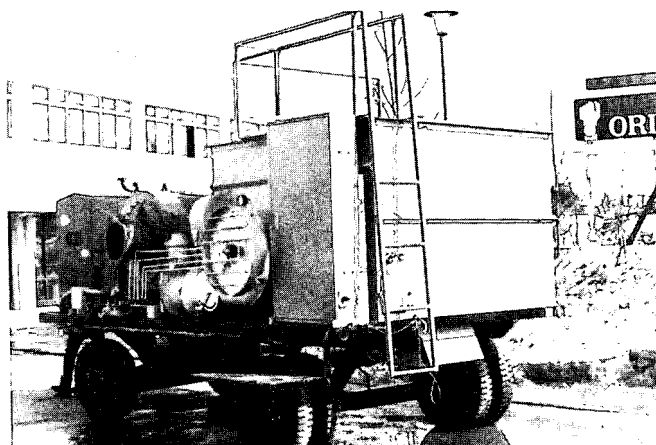


写真-1 融雪実験装置

(1) 融雪槽

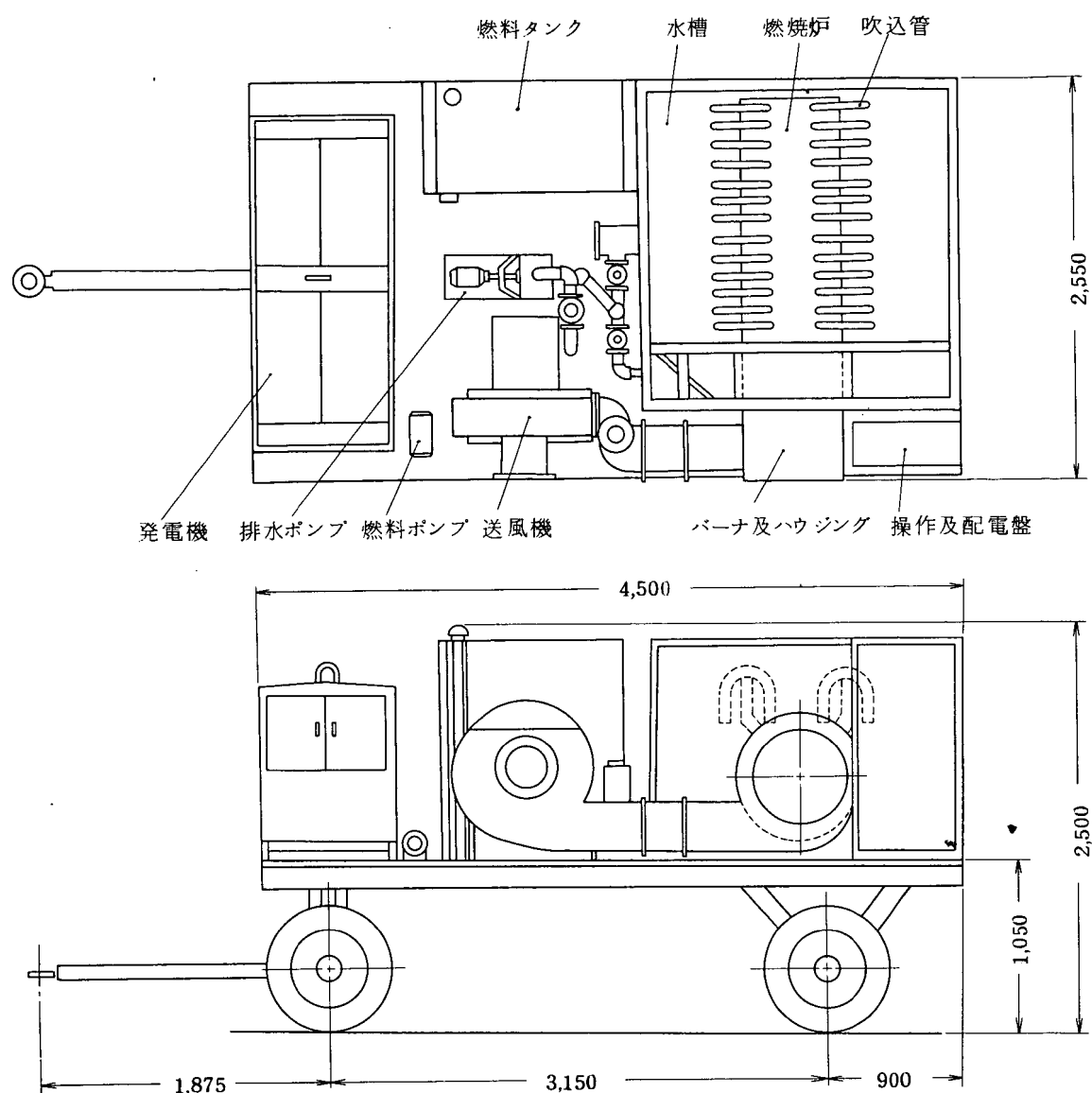
水位調節板及び間仕切り板を移動させることにより $2.0 \sim 3.1 \text{ m}^3$ の間で水容量を変化させることが出来る。時間当り処理能力を (t/h) で表わした時、単位水量当り処理能力は $5 \sim 18 \text{ t/h} / \text{m}^3$ となる。（市販されている商品名スノーメルタでは、自走式のもので約 $10 \text{ t/h} / \text{m}^3$ ，定置式プラントで約 $1.5 \text{ t/h} / \text{m}^3$ である。）

(2) 燃焼炉及びバーナ

この実験装置の心臓部とも言うべきものである。炉は寸法的な制約から、小型にする必要があるが、反面高能力にするためには、大量の燃焼を行なわせる必要がある。本機では燃焼負荷率（炉の単位容積、単位時間当りの発熱量）が約 $40 \sim 100 \times 10^5 \text{ Kcal} / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ であり、かなりの高負荷燃焼となる。（cf・機械工学便覧によれば燃焼負荷率は一般のボイラー炉で $10 \sim 50 \times 10^4 \text{ Kcal} / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ ガスタービンで $100 \sim 200 \times 10^5 \text{ Kcal} / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ 程度）

(3) 空気系統

燃焼に必要な空気を供給するもので、送風機、送風管、リリーフ弁、ダンパー等から成る。今回の実験では高圧送風機を利用したが本機の場合、炉を横形にしたため、排気の損失水頭は $250 \sim$



図－1 融雪実験装置外観図

表－1 融雪実験装置概略仕様

名 称	融雪実験装置
形 式	水中燃焼炉水中排気方式（水槽容量可変供給熱量可変）
融 雪 能 力	15～35 t/h（効率100％）
動 力 源	発電機3φ，AC200／220V，30／36KVA，50～60Hz
寸 法	全 長 4,500 mm（けん引棒含む5,925 mm）
	全 巾 2,500 mm
	全 高 2,500 mm

重 量	6,650 kg (発動発電機を含み, 水・灯油を含まず)			
融 雪 槽	水量調節範囲	1.5 ~ 3.1 m ³	水位調節範囲	200 mm
燃 焼 炉	形 式, 水中燃焼炉水中排気方式			
オイルバーナ	形 式	高圧噴霧式		
	送 風 口 径	310 mm		
	燃料消費量	130 ~ 420 ℓ/h		
	使用燃料	白灯油		
	噴射ノズル	70 ℓ/h × 5 本, 15 ℓ/h × 1 本		
	点火方式	高圧電気火花		
燃料ポンプ	型 式	トロコイド式		
	口 径	20 mm		
	吐 出 量	600 ℓ/h		
	吐 出 圧	7 kg/cm ²		
燃料タンク	容 量	1,200 ℓ		
送 風 機	型 式	高圧ターボファン		
	口 径	310 mm		
	静 風 圧	600 mm Aq		
	風 量	130 m ³ /min (20℃ 760 mm Hg)		
排水ポンプ	形 式	自吸うず巻形	水 頭	10 m
	口 径	80 mm	流 量	40 t/h

50 mm Aqで済み, 実用機の製作に際しては簡単な低圧送風機の利用が可能となった。

(4) 排水系統

水位板せき上をオーバーフローした融雪水を排水ポンプで強制排水した。強制排水方式は従来のメルタにはなかったもので高所, 又は遠距離への排水を可能にした。融雪水槽と水位板室は下部で導通しており, 融雪槽内の低温部から排水できるよう配慮した。

3-3 実験方法

融雪実験において計測した項目, および使用計測器を表-2に, 計測器類の装着個所を図-2に示す。

試験条件は予め, 目標融雪能力(15.5, 36.5 t/h)を想定し, 計測区間内で仕切り板および水位板の調整により, 水槽容量(2.0, 2.1, 2.8, 2.9, 3.1 m³)を変化させ表-2の測定項目を計測した。この実験での融雪機械と組合せた積込機械は, ロータリ除雪車(日本除雪機製作所MR-120, 3000 m³/h)を使用し, 本融雪機械の融雪能力に適合できるよう出来るだけ連続投入を試みた。また融雪機械のけん引は, ブルドーザ(小松D-50)を使用し, ロータリ除雪車の除雪速度に合わせてけん引した。融雪実験状況を写真-2に示す。

表-2 測定項目および使用計測器

測 定 項 目		使 用 計 測 器
1	雪 温	棒状温度計
2	雪 硬 度	木下硬度計
3	雪 密 度	サンプラー・上皿天秤
4	含 水 比	含水率測定器（吉田式・誘電式（三和エレクトロニクス製））
5	投 入 雪 量	跡坪測量（巻尺）
6	気 温	棒状温度計
7	燃 料 消 費 量	燃料タンク圧：圧力変換器（共和製PG100）→動的歪測定器（共和DPM-6C）
8	溢 水 量	浮遊式流量計（日本特殊計器製10～40m ³ /h）→ペン書オシログラフ（渡辺測器）
9	炉 内 温 度	熱電対→熱電温度変換器
10	上 層	測温抵抗体→抵抗温度変換器
11	水槽内温度 中 層	" "
12	下 層	" "
13	溢 水 温 度	" "
14	吸 入 空 気 温 度	" "

→打点式記録計（横河電機製6ch）

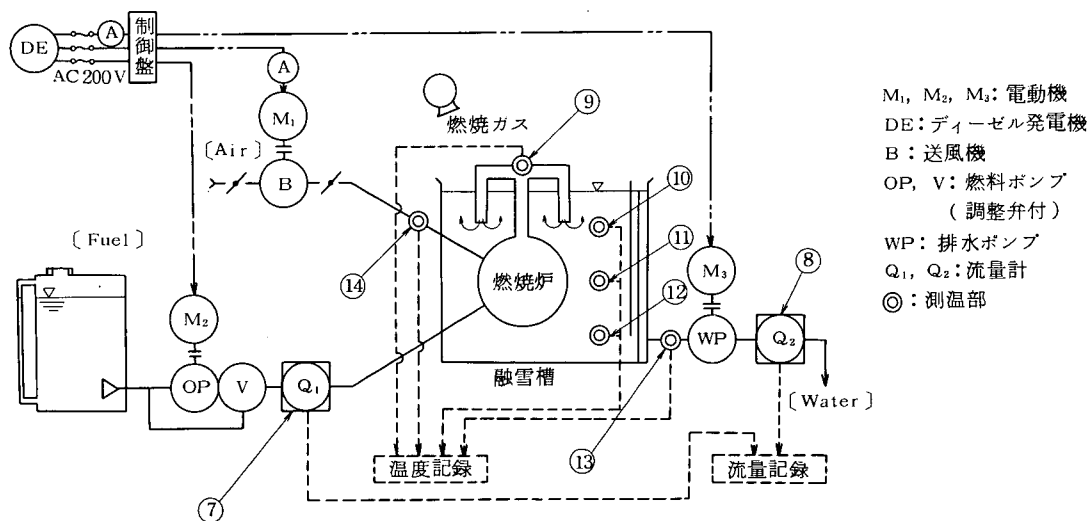


図-2 計測器の装着個所

実験月日 昭和47年3月14日～3月25日

実験場所 札幌市湧別新豊橋傍旧道

3-4 實驗結果

計測値および計測結果を表-3, 4に示す。なお表-3に記入した目標能力は発熱量の供給割合から計算により求めた値である。

表-3 融雪実験結果

実験 番号	バーナ	目標	水槽	雪	測定	投入雪量			溢水量		燃焼	雪温	溢水	燃 料	燃 料	供給熱量		必 要 熱 量			熱 効 率		
	数	能力	容量	密度	時間				ロータ	ドラム	時間		温度	消費量	消費率			投入	ロータ	ドラム缶	雪量	ロータ	ドラム
	本	t/h	m ³	g/cm ³	min	m ³	ton	t/h	t/h	t/h	min	°C	°C	ℓ	ℓ/h	×10 ³ Kcal	×10 ³ Kcal	×10 ³ Kcal	×10 ³ Kcal	×10 ³ Kcal	%	%	%
1	4	295	3.1	0.348	20'	26.1	114	235	191	282	30'	-0.2	4.2	147.5	295	1,294	2,589	953	802	1,186	73.6	62.0	91.6
2	5	365	3.1	0.363	20'	33.6	122	366	247	344	19'	-1.0	6.4	115.6	365	1,014	3,203	1,055	675	943	104	66.7	9.3
3	2	15.5	2.1	0.398	22'42"	14.2	5.7	150	64	132	21'	-1.0	3.5	54.3	155	476	1,360	473	188	387	994	396	813
4	3	225	2.1	0.398	19'34"	21.5	86	263	173	216	20'	-1.0	2.8	75.0	225	658	1,975	711	478	597	1081	727	90.7
5	5	36.5	3.1	0.359	11'36"	21.8	78	404	223	304	11'36"	-1.6	6.0	70.6	365	619	3,203	675	373	509	10.9	60.2	82.1
			2.9		4'51"	8.7	31	38.7	280	355	4'51"		4.5	29.5		259		266	192	244	102.6	74.3	94.2
			2.8		7'43"	11.0	40	30.8	269	355	4'33"		6.7	27.8		244		345	177	234	1415	728	96.2
6	5	36.5	2.1	0.368	13'56"	24.6	91	390	211	250	13'56"	-0.5	5.3	84.8	365	744	3,203	772	417	496	1038	562	66.6
			2.0		11'34"	11.8	43	225	254	39.7	10'04"		13.7	61.2		537		406	399	623	75.6	74.3	115.9
7	4	29.5	2.1	0.377	15'34"	24.2	91	351	223	30.5	15'34"	-0.5	3.5	76.5	295	761	2,589	760	493	677	99.9	64.9	88.9
			2.1		8'26"	6.4	24	17.3	153		10'26"		7.8	51.3		450		213	232		47.4	51.5	

3-4-1 溢水量と投入雪量

溢水量 (t/h) は、浮遊式流量計 (ロータメータ) とドラム缶で測定した。流量計による溢水量の測定値は、計測時間を通してペンレコーダに記録させたものを溢水量の多少にかかわらず 1 分刻みに読み取ったものの平均値であり、ドラム缶での溢水量は実験中排水ホース出口での溢水量の多めの時を見てドラム缶 (220ℓ) に一杯になるまでの時間をストップウォッチで 3~4 回測定し、その平

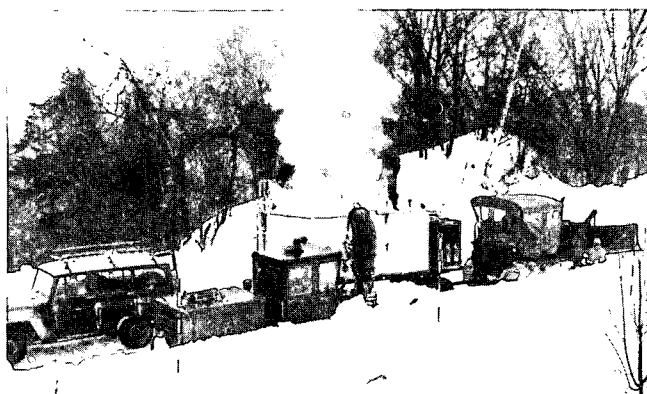


写真 - 2 融雪実験状況

表 4 融雪実験結果

実験 番号	① 外気温 ℃	② t_1 給気温 ℃	③ 風 量 m^3/mm	④ 風 量 m^3/sec	⑤ 燃焼時間 sec	⑥ ④×⑤ m^3	⑥× ρ kg	排気 t_2 温度 ℃	フロア 断 面 m^2	平均流速 m/sec	空気 供給熱量 Kcal
1	-1.7	4.8	90	1.5	1800	2700	3378	3.6	0.07065	0.106	976
2	-1.3	6.5	73	1.22	1140	1391	1740	12.3	0.07065	0.086	
3	-2.0	9.2	120	2.0	1260	2520	3153	2	0.07065	0.141	5423
4	-2.0	7.0	80	1.33	1200	1596	1997	4	0.07065	0.094	1438
5	+1	9.5	60	1	696	696	871	10.5	0.07065	0.071	209
		10.8			291	291	364				26
		9.9			273	273	342				49
6	+3	12.1	63	1.05	836	878	1098	3	0.07065	0.074	2394
		10.7			604	634	793				1459
7	+0.2	11.8	70	1.22	934	1139	1425	3.5	0.07065		2836
		11.1			626	764	956	3.0			1855

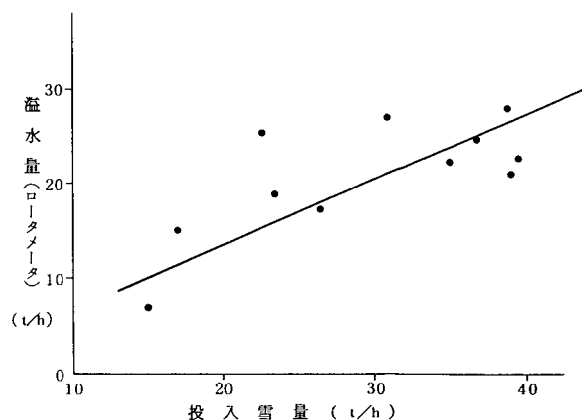
$$\rho = 1.251 \text{ kg}/m^3$$

$$Q = mc (t_2 - t_1)$$

(ρ : 空気比重量)

(C : 空気定圧比熱 0.240 Kcal/kg°C)

均値をとったものである。ドラム缶での溢水量は、実験における目標能力のチェックに使用したもので溢水量の最大附近で計測しているため、流量計での溢水量より大きい値にでている。実験結果としての溢水量は、流量計の測定値を使用した。図一 3 に投入雪量と溢水量の関係を示す。本来は、融雪開始から終了までの間には投入雪量と融雪による溢水量は一致するはずであるが、図一 3 に見られるように投入雪量と溢水量の計測値には、ほぼ 30 ~ 40 % の誤差があった。このように大きい誤差が生じたのは投雪量を跡坪測量によったた



図一 3 投入雪量と溢水量

め誤差が大きかったこと、積込機械であるロータリ除雪車の投雪時の積みこぼし量があったこと、融解水のオーバーフローがあり全量がロータメータを通過しなかったことなどの原因が考えられる。表一 3 から判るように溢水量から求めたこのスノーマルタの能力の最大値は 28 t/h であり、やゝ長時間の平均値としては 24 t/h (いずれもバーナ 5 本燃焼時) であった。目標値 36.5 t/h に比べてかなり下まわった成績に終わったのは、効率がやゝ悪かったことに原因があり熱交換の効果的方法を考慮する必要があることが判明した。

3-4-2 供給熱量の算定

使用灯油の発熱量および比重は、灯油メーカの製品試験成績の値を用いた。その値は、灯油発熱量 = 11,000 kcal/kg, 比重 = 0.7978 である。供給熱量は、灯油の発熱量 (11,000 × 0.7978 ÷ 8,800 kcal/l) に燃料消費量 (l) を掛けたものである。雪に供給した熱量は、灯油の発熱量にバーナの燃焼効率を掛けたものと、送風機による圧縮空気からの熱量を加えたものから、排気ガス温度、輻射熱として逃げた熱量を引いたものが実際に雪に供給した熱量である。しかし実験では燃料消費量の測定に精度上の問題があったので、供給熱量の計算にはオイルバーナの仕様による値 (パイロットバーナ 15 l/h, メインバーナ 1 本当り 70 l/h) を採用した。また送風機からの熱は表一 3, 表一 4 に示した供給熱量の計算結果に明らかなように無視出来る値であった。

3-4-3 必要熱量の算定

必要熱量 (kcal) は t_1 °C の雪を融かして t_2 °C の水になるまで雪に与えた理論熱量である。

必要熱量 (q) は次式によって求められる。

$$q = w \left\{ \left(1 - \frac{x}{100} \right) C_i t_1 + 80 \left(1 + \frac{x}{100} \right) + C_w t_2 \right\}$$

w : 雪の重量 kg

C_i : 氷の比熱 (0.487) kcal/kg °C

C_w : 水の比熱 (1.00) kcal/kg °C

80 : 融解熱 kcal/kg

t_1 : 雪 温 $^{\circ}\text{C}$

t_2 : 溢水温 $^{\circ}\text{C}$

x : 雪の含水率 %

雪の重量 w は跡坪測量より求めた投入雪量，ロータメータによって求めた溢水量，ドラム缶で求めた溢水量の3種類の値があり，3種類それぞれについて必要熱量を計算した。

3-4-4 溢水量

溢水量はスノーメルタの能力を示す値である。試験結果をバーナ本数及び水槽容量との関係を図-4に示す。実線が実測値，点線が熱効率100%とした場合の計算値である。供給熱量（バーナ本数）を増加させると溢水量は増加するが4本程度で飽和しその値は24 t/h程度であった。

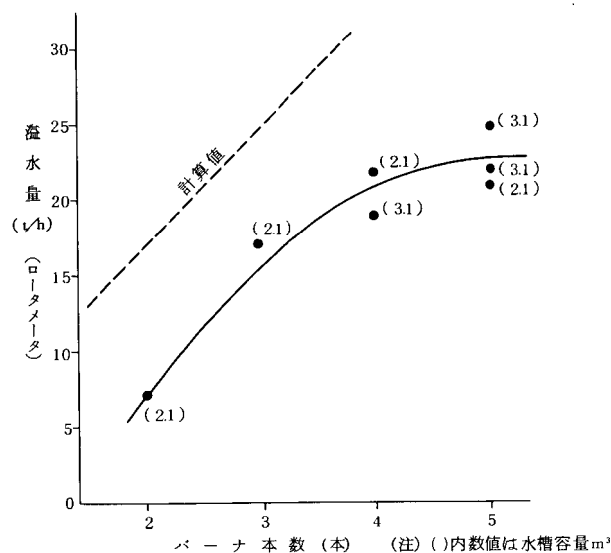


図-4 溢水量とバーナ本数

溢水量は雪の積込機的能力や水槽上部での雪のブリッジ現象の有無等により大きな影響を受けるため，実験機の製作に当っては特に注意を要す点である。

また水槽容量との関係を見ると，熱効率の場合と同様に実測回数は少ないが4本，5本の場合2.1 m³，3.1 m³の間には差があるとは認められず，この範囲では溢水量に対してはほぼ同等の能力を有することが認められた。

この点に関して初めに水槽に入っていた水を加熱するまでに要する熱量（無効分）を考えると，水槽容量3.1～2.1 m³では1 m³の差がある。1 tの水を1℃だけ上げるに要する熱量は1,000 kcalであるから，今仮に10℃上げるとしても10,000 kcalに過ぎない。これは供給発熱量に比べれば無視出来る値である。従って無効となる熱量の値は無視出来る。メルタの融雪能力は投入された雪と水槽内の水が，うまく接触するかどうかによって決まり，もし水槽開部に平均的に投入されるなら，水槽容量による影響はあまりないものと考えられる。この場合バーナ5本の場合の雪の投雪方法の改善を試みれば30 t/hまでの能力は発揮出来るものと思われる。

3-4-5 温度分布の測定

水槽内の上，中，下部，溢水出口及び送風機の出口に测温抵抗体を用い温度分布を測定した。この結果を時間的経過で示したものが図-5～8である。図より分るようにバーナ着火後投雪量が安定していれば4～5分で各部の温度が安定することがわかった。水槽内の温度差は上層中層か下層に比べてやや温度が低い。これはバーナの形状や雪が上部から投入されることに起因するものと思われるが，その差は1～2℃で極めて小さく，実機を製作する際の水抜き的位置には殆んど影響を与えないことが判明した。

また溢水温が水槽内温度より若干高いという結果については，水槽内の温度の測点が温水の対流による循環の行われにくい水槽側壁に極めて近い位置であったためと推察される。

炉内温度は熱電対を用いて測定したが，バーナ2本時において約800℃，3本時で約1,000℃

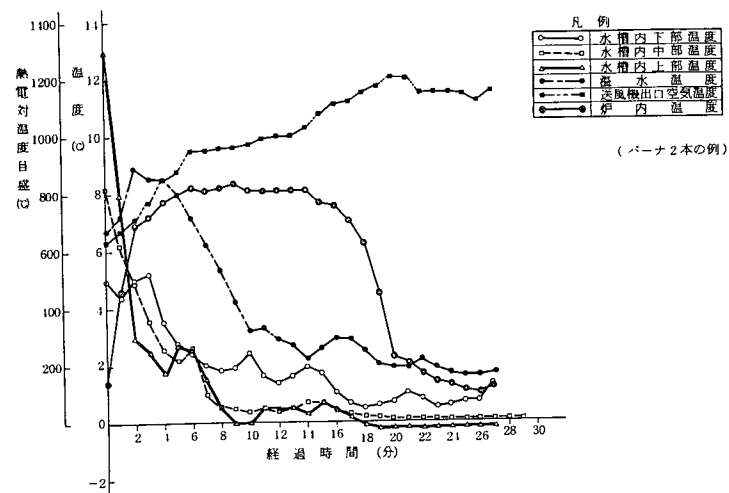


図-5 温度分布

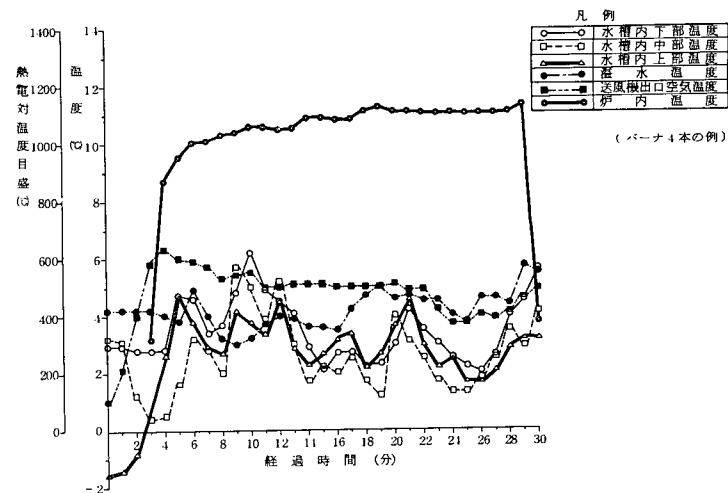


図-6 温度分布

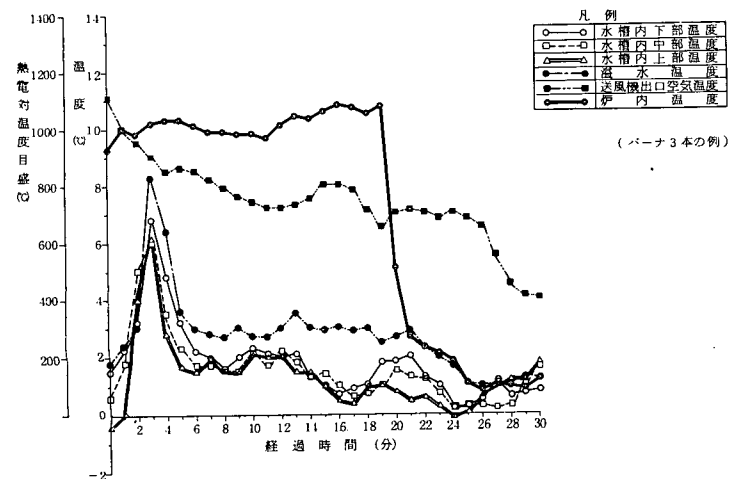


図-7 温度分布

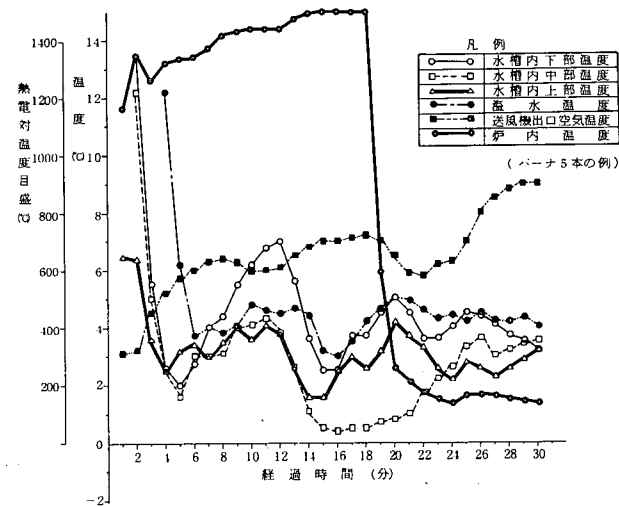


図-8 温度分布

℃, 5本燃焼のときで1,400～1,500℃となり, バーナ1本増すごとに炉内温度は約200℃の上昇となっている。

3-4-6 熱効率

熱効率は, 必要熱量(kcal)を, 供給熱量(kcal)で割った値である。投入雪量および溢水量から求めた熱効率は前述のように測定誤差が大きいのでロータメータで求めた熱効率を用いた。

バーナ本数(供給熱量)及び水槽容量と熱効率の関係を図-9に示す。図よりバーナ3～5本の間では熱効率には大差がなく, また水槽容量2.1

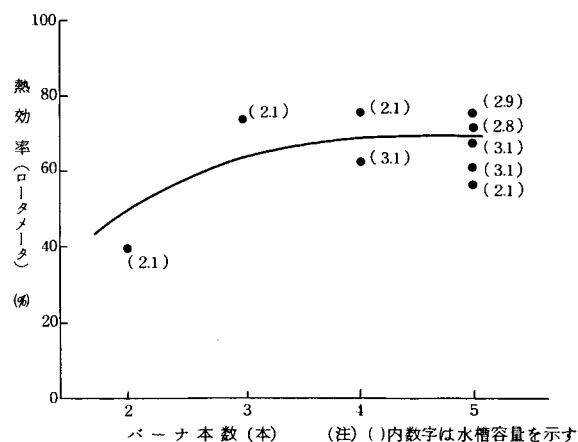


図-9 バーナ本数と熱効率

～3.1 m³ 間の相異も認められない。従ってこの範囲では水槽容量を熱効率をロスすることなく小型化し得ることが判明した。また熱効率の値については本装置の場合60～80%と考えられ, 従来のたて型のバーナの熱効率が90%程度とされているのに比べやゝ低いことが判明した。

3-5 まとめ

横型の中水バーナをもつ被けん引式スノーメルタを試作して実験した結果, 次の事項が判明した。

- (i) 能力30 t/h程度のものは小型実用機として製作可能である。
- (ii) 融解槽の容積は2 m³ ～3 m³の間では効率にあまり影響がない。
- (iii) 熱効率はたて型バーナのものに比べてやゝ低い。
- (iv) 融解槽内水温は位置による差はあまりなく, 従来たて型バーナのメルタで知られている結果と一致する。
- (v) これらの結果から, この方式のバーナを用いれば従来の自走式スノーメルタより小型で安価なものが製作できる可能性がある。

4. 自走式融雪実験機による実験

4-1 実験機の基本的考え方

自走式スノーメルタの小型化を図る目的で、昭和46年度に実施した実験結果をとり入れた、小型自走自力積込式融雪実験機（能力30 t/h）を昭和47年度に試作し、その性能を調査する実験を昭和48年3月、札幌市に於て行なった。

昭和46年度の実験結果から、水中横型バーナを使用した能力30 t/h程度の融解槽の製造の可能性のメドが立てられたので、これを受けて中型トラックシャーシにこれを架装することを試みた。中型トラックシャーシを利用することのメリットは次のようなものが考えられる。

- (1) 大きさの面で在来機より小型化が図れる。
- (2) 既製品を使用出来るので、在来の特注シャーシに比べ価格が低下する。
- (3) ブロアに、シャーシ機関からフルトルクパワーテイクオフ（F.T.P.T.O.）で取り出した動力を利用できる。など

反面、重量的な制約（主として道路運送車両法への適合のため）がきびしくなる。微速走行装置が必要なため、構造的に複雑になる。などの欠点もある。

46年度のけん引式実験装置に比べ主な相違点は次の通りである。

- (1) 燃焼炉の長さを全幅2 m以内に収めるため、きりつめ、炉内容積を変らなくするため径を太くした。
- (2) 自走式とするため油圧による微速駆動装置を取り付けた。
- (3) ブロア、排水ポンプ、雪積込機用動力をトラック機関のフルトルクP.T.O.から取り出した。
- (4) 雪積込用ロータリ装置を前方に設け、雪の投入用のシュートの新設した。
- (5) 車体にいすゞSBR380（4.5 tダンプトラック用）を用いた。
- (6) 融解槽容積を2 m³と小さくした。

試験機の製作上問題の多かった点は、フルトルクP.T.O.からの動力取り出し方法、前後輪の重量バランス、微速走行装置の組み込みなどであった。

4-2 実験機の概要

実験機は微速走行の可能なトラクタを用い、荷台に融解槽、送風機、燃料タンク、排水ポンプ等を登載し、前方にロータリ式投雪装置を附加し、自走且つ自力積込式のものでその外観を写真-3、図-10、及びその概略仕様を表-5に示す。



写真-3 自走自力積込式融雪実験機

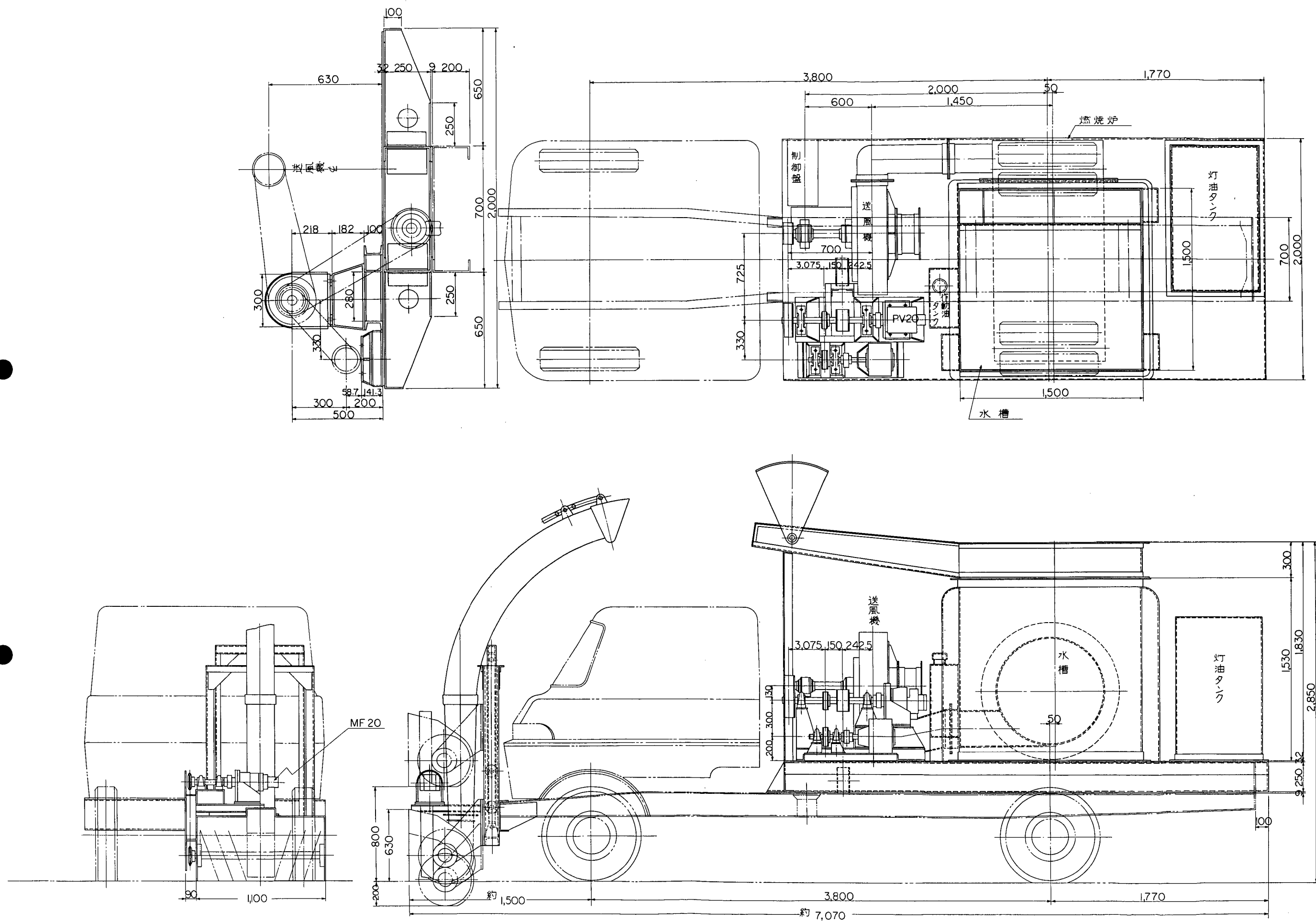


図-10 実験機外観図

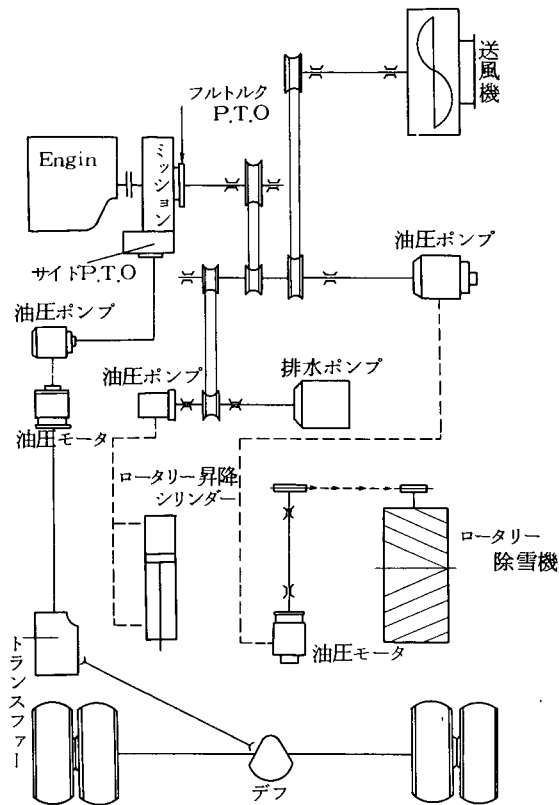
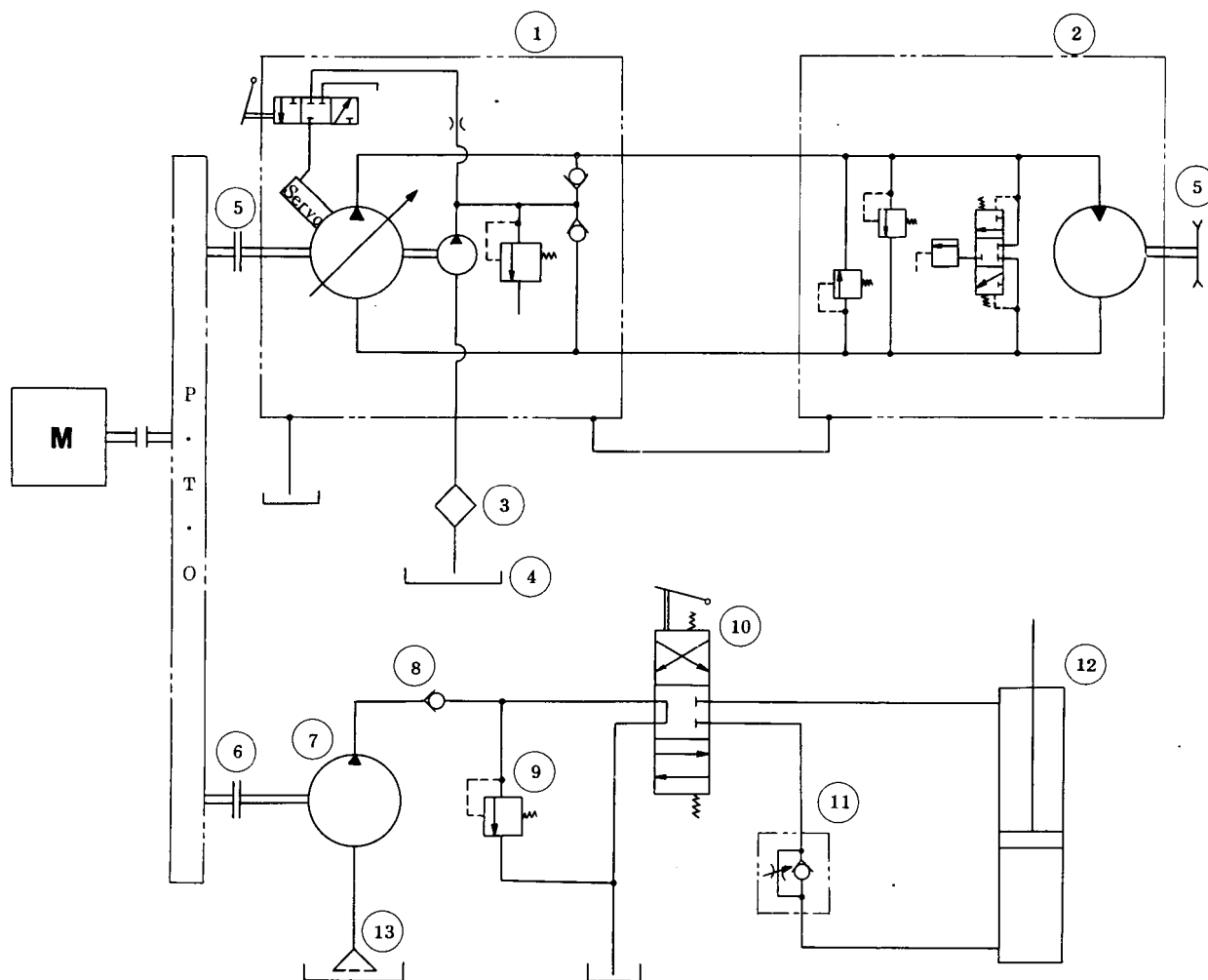


図- 11 作業時の動力伝達機構

- (1) 作業時の動力伝達機構の概略を図- 11、油圧回路を図- 12に示す。動力は全て自動車エンジン（いすゞディーゼル 6BB1, $35 \text{ kgm} / 2000 \text{ r.p.m}$ ）から供給した。エンジンの定格回転数はオールスピードガバナにより 1500 r.p.m にセットし、定格出力は $53.6 \text{ PS} / 1500 \text{ r.p.m}$ である。

動力の取り出しはサイドP.T.O. 及びフルトルクP.T.O.とし、サイドP.T.O. から $23.1 \text{ PS} / 1500 \text{ r.p.m}$ （定格出力の 43% ）を取り出し可変容量形油圧ポンプを駆動して、発生した圧力油を減速機付油圧モータに供給し、そのトルクをトランスファーに加えて微速走行をさせた。一方、フルトルクP.T.O.からの動力（ $30.5 \text{ PS} / 1500 \text{ r.p.m}$ ）は一旦、主軸で受けVベルトにより第二軸、第三軸を駆動するものとし、主軸から送風機、第二軸からロータリー投雪装置を、第三軸からロータリーの昇降用シリンダーと排水ポンプとに動力を配分した。尚燃料ポンプと制御用電源については従来のまゝ小型発動発電機によるものとした。

- (2) 融解水槽は容量 2.0 m^3 の正方体で横型の燃焼炉を組み込んでいる。また側壁から 30 cm の所に仕切板を設け融解された雪は仕切り板の下をくぐり側壁をオーバーフローして排水溝に入り排水ポンプにより後部へ排出される。
- (3) 燃焼炉は直径 900 mm 、長さ 1500 mm の横型とした。排気パイプは直径 $5"$ のガス管 12



13	サクションフィルター	1	SFN-06 #150
12	シリンダー	1	45×80×1,000
11	リストリクションバルブ	1	VRL-0401
10	コントロールバルブ	1	VC-0301S
9	リリーフバルブ	1	VRD-0305
8	チェックバルブ	1	VCH-0301
7	オイルポンプ	1	GP-2-45
6	カップリング	1	CR4012
5	カップリング	2	CR22
4	オイルタンク	1	60ℓ
3	ラインフィルター	1	FLT10
2	オイルモーター	1	MF20
1	オイルポンプ	1	PV20
番号	名称	数量	摘要

図-12 油圧回路図

表-5 実験機概略仕様

名 称	自走自力積込式融雪実験機	水 槽	有効容量 $2.0 m^3$ 長さ×幅×高さ $1500mm \times 1500mm \times 1500mm$
融雪能力	$15 \sim 35 t/h$ (効率 100%)		
公称能力	$30 t/h$		
寸 法	全長 $7,070 m$ 全幅 $2,000 m$ 全高 $2,850 m$ (水槽上部まで)	燃 焼 炉 及 び オイルバーナ	形式 横型水中燃焼炉, 水中排気式 炉容積 $1,377 m^3$ 排気パイプ $140 mm \phi \times 12$ 本 噴射ノズル $70 l/h \times 5$ 本 $15 l/h \times 1$ 本 点火方式 高圧電気火花式
重 量	$9,780 kg$ (燃料 $1,200 l$ を含む)		
トラクタ	形式 いすゞ SBR380 ($4.5 t$) 改造 機関 $145 PS/r.p.m$ $350 kg \cdot m$ 速度 作業時 $0 \sim 1400 m/h$ (油圧駆動) 回送時 $10 \sim 80 km/h$	送 風 機	形式 高圧ターボファン 口径 $310 mm$ 風量 $130 m^3/min$ ($20^\circ C$ $760 mm Hg$) 定格回転数 $3,000 r.p.m$
作業動力	フルトルク P.T.O Vベルト駆動		
微速動力	サイド P.T.O 油圧ポンプ駆動	燃料ポンプ	形式 トロコイド式 口径 $20 mm$ 吐出量 $600 l/h$ ($7 kg/cm^2$)
投雪装置	形式 カッタ型ロータリ式 (久保田農機 K-20) 除雪幅 $1,100 mm$ カッタ直径 $430 mm$ 定格回転数 $1,100 r.p.m$ 能力 $40 \sim 50 t/h$	燃料タンク	容量 $1,200 l$
		排水ポンプ	形式 自吸うず巻形 口径 $80 mm$ 流量 $40 t/h$ ($H=10 m$)
		制御用電源	AC $200 V$ (発電発電機)

本を逆U字形に用い、一旦上昇した排気ガスは再び水中をくぐる、いわゆる水中燃焼方式、水中排気方式で形は前回のものと同じである。

オイルバーナはノズルを5本に分割し、更にパイロットバーナ1本を設け、各々独立して燃焼できる構造とした。点火は高圧電気火花方式とした。

- (4) 雪の積込みにはハンドガイド式ロータリ除雪機のカッタ型ロータリ装置をトラクタの前方に架装した。このロータリ装置はカッタ型であるが、オーガとブローから構成されブローはホロウシャフトとなっているオーガ軸の中を通る軸でオーガの2倍の速さで回転させる機構をもつ。放出された雪はシュートで後方の融雪槽に投入される。落下位置はシュートの出口角の調整により任意に選択出来る。またオーガの喰い込み量の調整は油圧シリンダーの昇降により運転席で操作ができる。

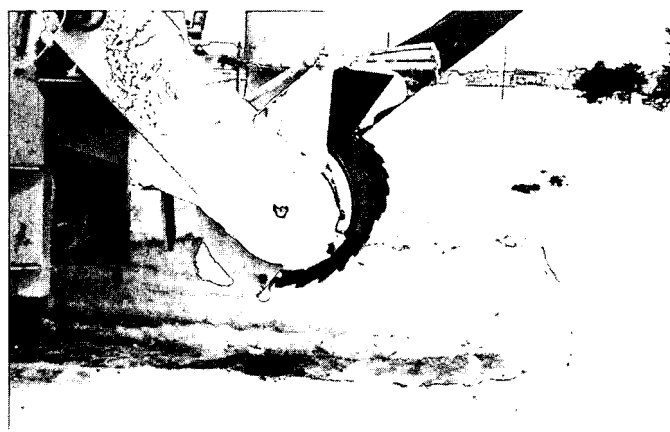


写真-4 トラクター前方に架装したロータリ装置

表-6 測定項目及び使用計器

測定項目	使用計器
① 雪 温	サーミスタ温度計（横河電機製-10～10℃）棒状温度計
② 雪 比 重	サンプラー 精密台秤
③ 含 水 率	含水率測定器（吉田式カロリーメータ）
④ 気 温	サーミスタ温度計，棒状温度計
⑤ 送 風 機 静 圧	圧力変換器（0.1 kg/cm ² ）—動歪計（共和DPM）—マルチコーダ（渡辺測器MC611）
⑥ " 回転数	光電ブローグ—変換器—マルチコーダ，電気式回転計（横河電機）
⑦ 燃 料 消 費 量	オーバル流量計（0～800 ℓ/h）
⑧ 溢 水 量	電磁流量計（横河電機0～90 m ³ /h）
水槽内温度	测温抵抗体—抵抗温度変換器
⑨ 上 槽	" "
⑩ 下 槽	" "
⑪ 溢 水 温 度	" "
⑫ 吸 気 温 度	" "
⑬ 排 気 温 度	" "
⑭ ロータリー回転数	パルス発振器
⑮ 車 速	巻尺，ポール，ストップウォッチ，マーカ
⑯ 排 気 ガ ス	COガステスター
⑰ 標 準 時 間	電接時計

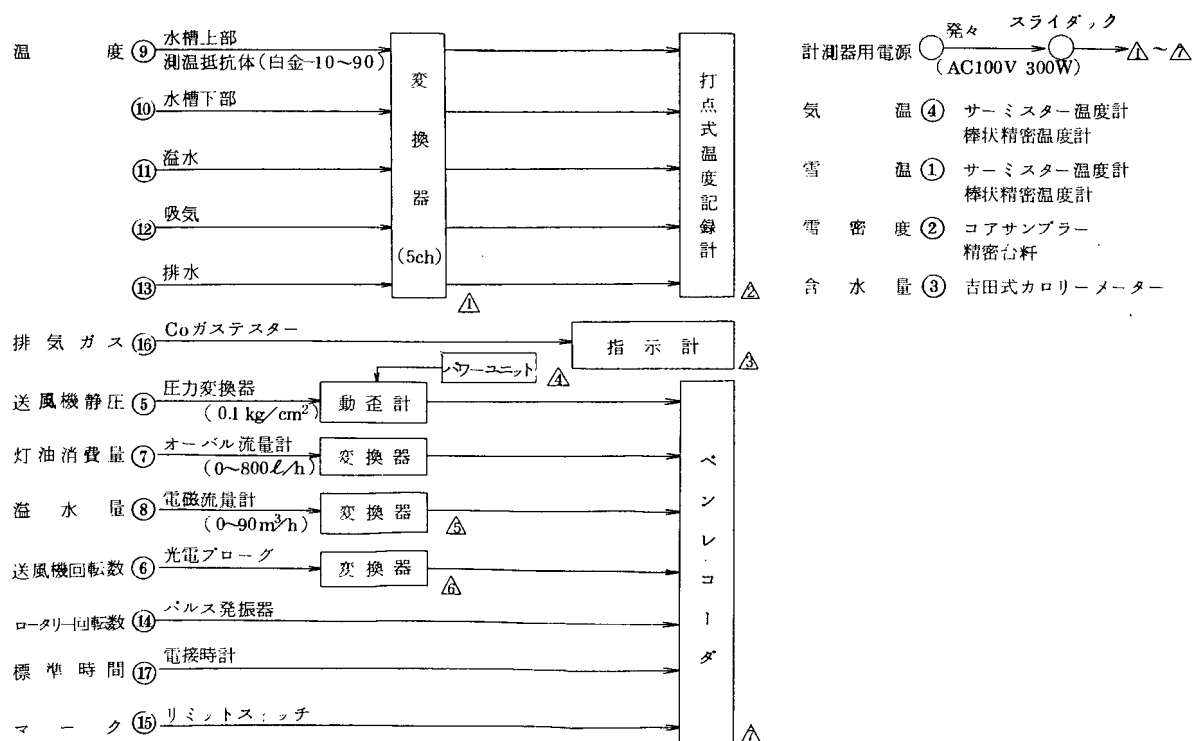


図-13 計測ブロック線図

- (5) 微速走行はサイドP.T.O. から油圧ポンプ、油圧モータの系統による。油圧ポンプは可変容量形を用い、油圧ポンプ流量を変えることにより 0～1400 m/h まで無段階に速度の選択が出来る。

4-3 実験方法

積雪深のほぼ様な任意の区間を選び、予め測定した距離を微速走行しながらバーナノズルの燃焼本数を 2, 3, 4, 5 本と変化させ、能力、性能を決める各要素について測定した。

測定項目及び用いた機器を表-6に、計測方法を計測ブロック線図として図-13に示す。

実験場所 札幌市里塚定山溪鉄道分壊地内

実験月日 昭和48年3月25日～3月27日

4-4 実験結果と考察

4-4-1 雪 質

融雪実験に供した雪の諸性質

表-7 雪質測定結果

の測定結果を表-7に示す。測定は実験の直前、直後に雪層の上部と下部について行なった。密度の測定はコアーサンプラ (500 cm³) で採取、重量測定から、含水率は吉田式カロリーメータ、雪温等はサーミスタ温度計 (-10～+10℃) によった。

この結果、平均密度 0.375 g/cm³、平均含水率 9.8%と

なり、中でも含水率については測点によるばらつきが著しい。これは計測方法の誤差も免かれないが、特に堆積された雪は日射、風、地熱、雨水などによりサンプラ採取個所によってその値は大きく異なる。

融雪機械の性能を決めるとき雪の熱的諸性質を正確に測定する必要がある。特に含水率の測定は、メルタの能力を測定するとき誤差の原因となることかある。

月/日	時	測点	雪質	気温 (℃)	雪温 (℃)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
3/26	13.15	上層	しまり雪	-1.5	0	0.360	0
		下層		-	-0.4	0.392	0
3/27	10.30	上層	しまり雪	3.5	-0.6	0.392	7.7
		中層		-	-1.1	-	9.3
		下層		-	-0.3	0.296	4.4
	11.40	上層	雪	3.5	0	0.410	13.0
		下層		-	-0.3	0.374	10.5

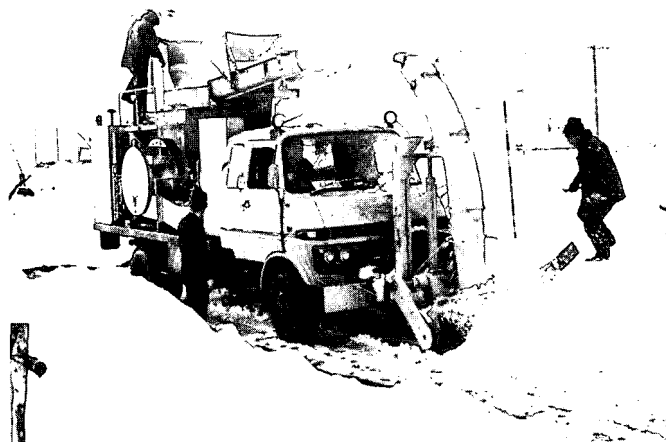


写真-5 融雪実験状況

表 - 8 融 雪

実 験 番 号	バーナ 本 数	燃 料 消 費 量	燃料発熱量 ($\times 10^3$) kcal	空 気			供給総熱量 ($\times 10^3$) kcal
				出口静圧	消 費 量	換算熱量 ($\times 10^3$) kcal	
№	本	ℓ/h	($\times 10^3$) kcal	mm Aq	m ³ /min	($\times 10^3$) kcal	($\times 10^3$) kcal
501	5	380.0	3,338	486.9	149	38	3,376
502	"	378.4	3,324	484.5	149	38	3,362
503	"	376.0	3,303	453.0	146	40	3,342
504	"	377.6	3,317	514.5	131	48	3,365
505	"	376.0	3,303	405.7	156	34	3,336
506	"	376.0	3,303	491.5	137	46	3,348
507	"	376.8	3,310	456.7	144	41	3,351
508	"	376.0	3,303	456.7	144	41	3,344
平 均		377.1	3,312	468.7	144.5	41	3,353
401	4	303.2	2,663	369.2	163	29	2,692
402	"	302.4	2,656	400.0	157	33	2,689
403	"	301.6	2,649	400.0	157	33	2,682
404	"	301.6	2,649	415.4	154	35	2,684
405	"	301.6	2,649	400.0	157	33	2,682
406	"	300.0	2,635	400.0	157	33	2,668
407	"	300.0	2,635	415.4	154	35	2,670
408	"	300.0	2,635	430.8	151	36	2,671
409	"	298.4	2,621	415.4	154	35	2,656
410	"	298.4	2,621	400.0	157	33	2,654
411	"	298.4	2,621	400.0	157	33	2,654
412	"	298.4	2,621	400.0	157	33	2,654
平 均		300.3	2,638	403.9	156.3	33	2,671
301	3	232.0	2,038	261.5	178	20	2,058
302	"	232.0	2,038	261.5	178	20	2,058
303	"	230.4	2,038	261.5	178	20	2,043
304	"	230.4	2,024	246.5	179	20	2,043
305	"	230.4	2,024	261.5	178	20	2,043
306	"	229.6	2,011	261.5	178	20	2,031
平 均		230.8	2,026	261.5	178	20	2,046
201	2	190.4	1,672	109.0	195	9.5	1,682
202	"	190.4	1,672	112.0	194	9.5	1,682
203	"	190.4	1,672	115.0	194	9.5	1,682
204	"	190.4	1,672	115.0	194	9.5	1,682
平 均		190.4	1,672	112.8	194.3	9.5	1,682

実 験 結 果

各 部 温 度					溢水量	ロータリー 回 転 数	融雪に要 した熱量	温度上昇に よる損失熱量	車 速	熱効率
水槽下	水槽上	溢 水	吸 気	排 気						
℃	℃	℃	℃	℃	t/h	r/m	($\times 10^3$)kcal	($\times 10^3$)kcal	m/h	%
26.9	34.3	29.0	7.1	29.5	34.7	1,320	2,524	1,006	266.6	74.8
23.8	44.2	32.0	6.9	46.7	23.4	1,358	1,702	749		50.6
24.8	51.6	31.1	7.0	55.4	27.5	1,301	2,001	855		59.9
25.9	50.9	30.6	7.5	56.3	26.5	1,377	1,928	811		57.3
28.0	46.9	32.1	8.0	51.5	22.7	1,245	1,608	709		48.2
35.0	49.7	32.9	7.6	51.0	21.6	1,377	1,571	711		46.9
37.7	54.5	35.7	7.1	53.8	25.7	1,301	1,870	917		55.8
39.7	51.5	37.3	7.1	55.4	34.4	1,282	2,503	1,283		74.8
30.2	48.0	32.6	7.3	50.5	27.0	1,320	1,963	880		58.6
8.2	31.1	16.2	9.5	37.6	22.4	1,320	1,630	363	270.3	60.5
8.5	38.3	18.3	9.2	43.5	18.0	1,470	1,309	329		48.7
14.2	38.5	21.8	9.7	42.5	12.1	1,490	880	264		32.8
21.8	44.4	24.1	7.5	44.5	30.3	1,395	2,404	730		82.1
26.9	45.6	25.3	6.9	44.9	22.6	1,452	1,674	572		61.3
26.9	46.3	28.2	7.3	49.0	24.4	1,433	1,775	688		65.8
25.3	45.1	27.4	7.6	50.8	10.0	1,471	727	274		27.2
24.0	42.1	28.5	6.7	49.1	30.2	1,433	2,197	861		82.2
24.0	37.3	28.9	5.9	42.9	27.2	1,358	1,979	786		75.0
24.5	35.2	28.7	5.6	39.9	31.7	1,395	2,306	910	281.3	86.9
23.0	34.0	25.6	5.2	39.0	21.9	1,414	1,593	561		60.0
18.5	38.2	24.1	5.1	44.7	26.0	1,395	1,891	627		71.3
20.5	39.7	24.8	7.2	44.0	23.1	1,419	1,678	580		62.8
3.8	19.5	6.3	9.9	19.3	21.2	1,527	1,542	134		75.0
4.5	24.5	9.4	10.0	24.1	13.3	1,509	968	125		47.0
5.5	31.7	14.5	9.6	29.9	5.1	1,509	371	74		18.2
8.1	36.2	16.0	9.3	34.3	28.1	1,433	2,044	450		100.0
12.4	34.4	17.6	9.0	38.5	17.3	1,452	1,259	304		61.6
14.0	33.2	17.7	10.1	40.5	21.2	1,471	1,542	375	281.3	75.9
7.05	29.9	13.6	9.7	31.1	17.7	1,484	1,288	244		63.0
23.7	62.7	26.1	10.9	48.3	15.3		1,233	399		73.4
23.6	61.9	25.8	11.2	51.0	11.7		943	302		56.1
23.6	60.9	25.3	11.8	53.8	13.5		1,089	342		64.7
23.5	63.8	25.0	11.9	56.4	16.9		1,363	423		81.0
23.6	62.3	25.6	11.5	52.4	14.4		1,157	367		68.8

4-4-2 融雪実験結果

融雪実験を行なった結果を表-8に示す。

4-4-3 融雪能力

融雪能力は、ある規定時間内にどれ程の雪が融けたかを表わすもので、メルタの場合投入雪量とは必ずしも一致しない。即ち能力を正確に求めるには融雪量を直接計測することが望ましい。

実験では排水ポンプと排水パイプとの間に電磁流量計(0~90m³/h)を取り付け通過量から能力を求めた。

バーナの燃焼本数を変えて供給熱量を変化させ、それぞれの溢水量(融雪能力)を計測した。供給熱量と融雪能力の関係を図-14に示す。融雪量は当然供給熱量に比例して通増するが、供給熱量が多くなると(バーナ燃焼4本以上)溢水量の増加割合は次第に小さくなり能力は頭打ちとなる。これはバーナ5本の場合の供給熱量に見合う分だけ雪が投入されなかったためであるが、その原因として考えられることは次の通りである。

(1) 製作過程にミスがあり、フルトルクP.T.O.

による動力取出軸の回転数が設定1500r.p.m
に対し1720r.p.mになっていたため(これは実験の結果判明した)送風機出力がフル

トルクP.T.O. 出力31.7PSのうち計算上20.4PSであったが28.8PSまで増大し、ロータリ軸の馬力不足が生じたこと。

(2) 対象とした雪の最下層が氷結していたため、ロータリ装置のトルクが不足し十分な喰い込みが出来なかったこと。

(3) 投入雪量が多くなると、投入された雪が一箇所に集まり過ぎ、雪のブリッジ現象が生じ水面との間に空洞が出来たこと。

(4) 実験の時期が三月末のため、雪自体も少なかったこと。

以上のような原因のため溢水温が後述の如く上り過ぎ融雪能力が頭打ちになった。

実測の結果、融雪量はバーナ5本(発熱量 $3.3 \times 10^6 \text{kcal/h}$)の場合で27t/hとなり、これは灯油1ℓにつき溢水量は72ℓとなる。

今融雪(1℃の雪を0℃の水に状態変化)のみに着目した場合、即ち溢水のもつ温度エネルギーも全て融雪に利用出来ると考えた計算能力は図-14の点線で示すとおり供給熱量に直線で比例し灯油377ℓ/hでは38t/hまで可能となる。しかし実際には0℃で排出することは外気温、排水系統などから困難が生じ、排水ホース出口では3~4℃が望ましいとされている。従ってこれら逆算すると本機の場合の熱効率を100%とした場合の能力は約35t/hとなる。

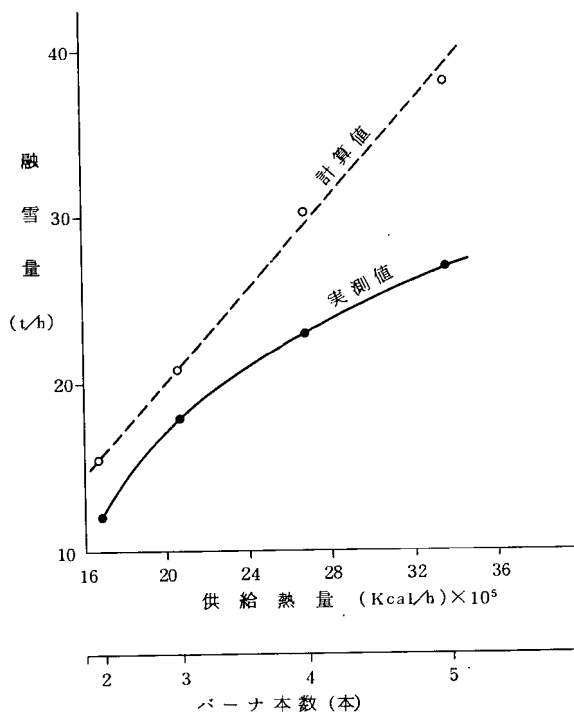


図-14 供給熱量と融雪量

次に溢水量の流出を時間の変化から見たのを図-15に示す。各場合とも変動が見られるがバーナ3本、4本時の変動は特に大きい。これは投雪量の不均一による要素が大きく、投雪量と供給熱量とのバランスがとれなかったものと推察され、使用上は雪の投入量を出来るだけ一定に保つ事が能力の向上を図るためには必要なことである。

4-4-4 作業速度

融雪実験機の処理能力は、15～35 t/hであるので、これに見合った雪の投入が必要である。今除雪断面積を0.3 m²、雪密度0.3 t/m³としたときの作業速度は170～390 m/hが要求される。

実験機では可変容量形の油圧ポンプにより速度は0～1,400 m/hまで自由に選択出来るがオペレータの目安から6段階のノッチを設けた。

実験では流量コントロールレバーを一定の位置に保持して作業速度を測定した結果、負荷の変動によるスリップが多少みられたが速度は267～281 m/hの間ではほぼ円滑な走行を示している。

4-4-5 燃料消費量

燃料には白灯油を用い、燃料ポンプとバーナノズルの間にオーバル型流量計を取り付け測定した。図-16に燃料消費料を示す。最大時(5本燃焼)で377 l/h、バーナ1本につき約70 l/hの消費量となり、バーナ仕様を満足していた。

また、灯油燃焼1 lにつきの融雪量は表-9のとおりとなった。

燃料に用いた灯油を次に示す。

銘柄 昭和灯油

比重 0.7978

発熱量(低位) 11,000 kcal/kg

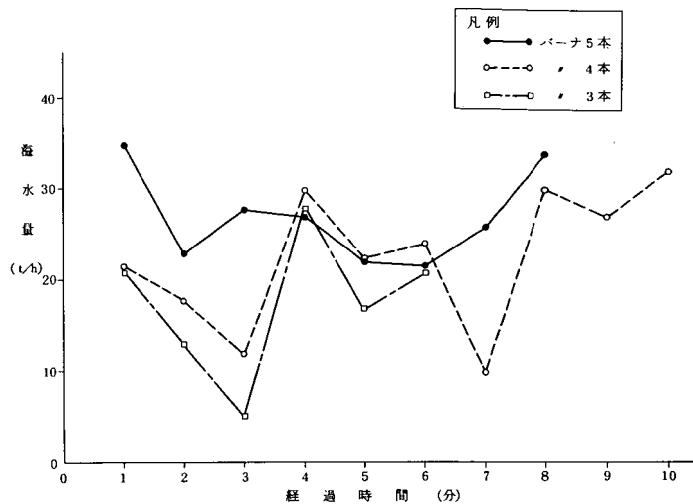


図-15 溢水量の変動

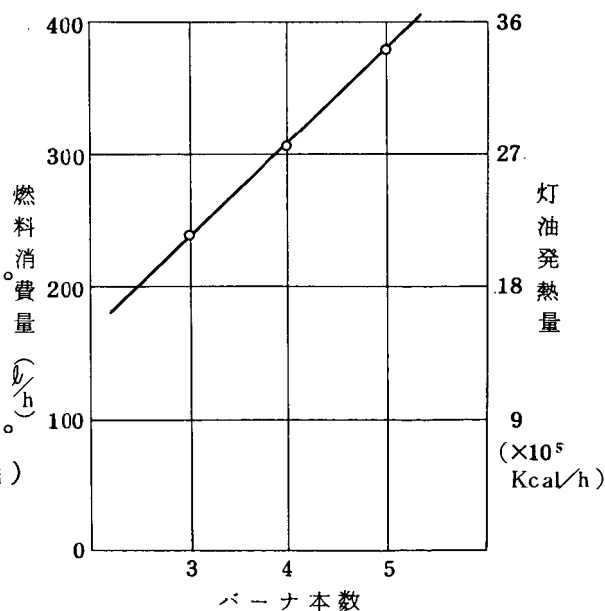


図-16 灯油消費量(燃料)

4-4-6 空気消費量

送風空気通はフロアの送風管に圧力変換器（ 0.1 kg/cm^2 ）を取り付け出口静風圧を測定し、別にベンチテストで求めた出口静風圧～風量のグラフ（図-17）より送風空気量を求めた。

出口静風圧はバーナの燃料本数に応じて $110 \sim 490 \text{ mm Aq}$ の間で変動が見られた。

今液体燃料を燃焼させるに必要な理論空気量（ A_0 ）は灯油の低位発熱量（ H_u ）から次式で求められる。

$$A_0 = (0.85 H_u / 1000) + 2.0 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$$

一方、送風圧より求めた送風量は表-10の通りである。一般にこのタイプの炉での空気過剰係数は $1.5 \sim 2.5$ 程度と言われている。過剰空気が多いと燃焼温度を低下させ、排気ガス損失が増し、燃焼効率を悪化させる原因となる。定格運転のバーナ5本時の値 2.5 はほぼ正常な値と考えられるが、本機ではフルトルク P.T.O. の製作ミスで、フロア回転速度が設計値より約 15% 大きくなっている点考慮しておく必要があり、この点は次年度の実験でチェックしなければならないと考えた。

4-4-7 各部温度

融雪槽内の上部、下部、溢水出口、送風機出口、排気出口の各部に測温抵抗体を取り付け、これらの温度の変動を測定した。

水槽内についてみると上部の間には大きな温度差が生じている。また溢水温も高いものとなった。これらは供給熱量に対し雪の投入量の少ないことを示すもので、投雪量を増加すればこの差は縮まると考えられる。

排気温度の測定は、水槽の上部にカバーを設け、燃焼ガスが水中をくぐって空

表-9 単位燃料当り融雪量

バーナ本数	① 灯油消費量	② 溢水量	②/①	③ 融雪量 (計算値)	③/①
2	190.4 ℓ	11900 ℓ	62.5	15692 ℓ	82.4
3	230.8	17700	76.7	20745	89.9
4	300.3	23067	76.8	30317	101.0
5	377.1	26998	71.6	37988	100.7

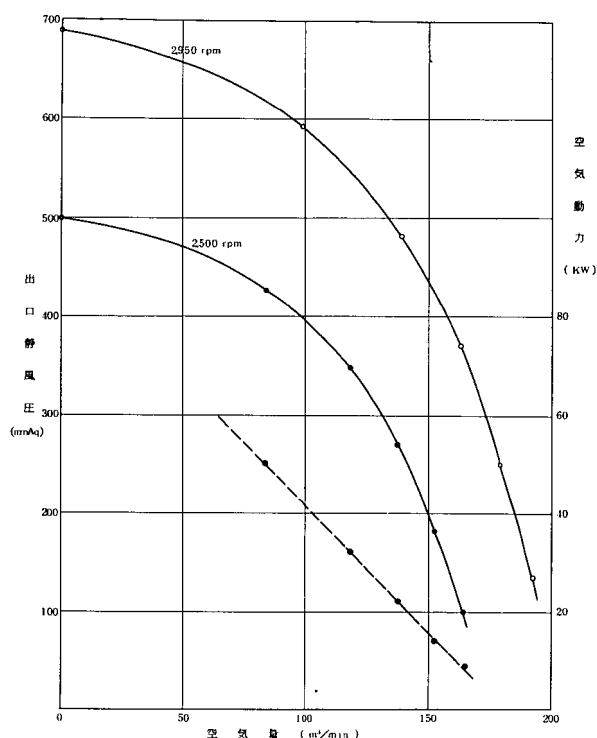


図-17 送風機性能曲線

表-10 送風量と空気過剰率

バーナ本数	燃料消費量 (kg/h)	理論空気量 (m³/min)	送風圧 (mmAq)	送風量 (m³/min)	空気過剰率
5	301	57	468	143	2.5
4	237	45	403	157	3.5
3	184	35	258	180	5.1
2	152	29	112	194	6.7

気中に放出されるときに温度を測定したもので、この温度は感温部に水しぶきや雪片が附着し、多少の誤差は考えられるが、送風空気及び燃焼ガスがこの温度で放出されたと考えた。

4-4-8 熱収支

供給熱量(Q_1)と消費熱量(Q_2)の間には、外部からの熱の出入りがなければ常に次の関係が成り立つ。

$$Q_1 = Q_2$$

ここで

$$Q_2 = \sum \left\{ \begin{array}{l} \text{○ 灯油の発熱量} \\ \text{○ 送風機の空気圧縮による熱量} \\ \text{○ 機器、その他から発生する熱量} \\ \text{○ 融雪(正味仕事)に消費した熱量} \\ \text{○ 溢水温の上昇に消費した熱量} \\ \text{○ 排気による損失熱量} \\ \text{○ 輻射、その他の損失熱量} \end{array} \right.$$

これらを図示すると、図-20、21のようになる。

供給熱量の送風機から受ける熱量は空気動力から求めると、いずれも全熱量の1.2%前後となり、機器、その他からの熱量も灯油の発熱量から見ると無視できる値であり、灯油の発熱量を以って供給量としても事実上差しつかえない。

一方、消費熱量の大きな損失に溢水温の上昇がある。これは供給熱量と投雪量のアンバランスから生じたもので、投雪量の増大により、かなりの部分が正味仕事に還元出来る熱量である。

また、排気損失は排気温より求めた値であり、燃焼ガスが水槽の水にエネルギーを与えることなく空中に放出された熱量と考えた。その値は、いずれの場合も全体の5%前後となっている。

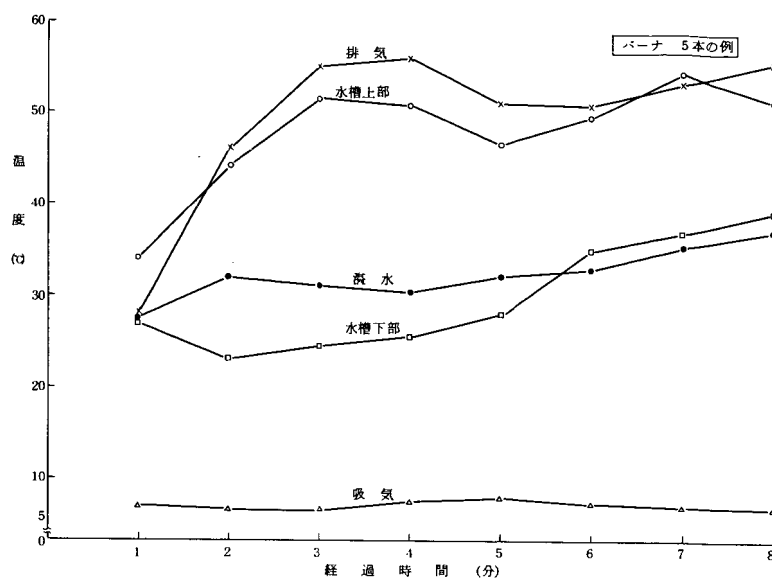


図-18 温度分布

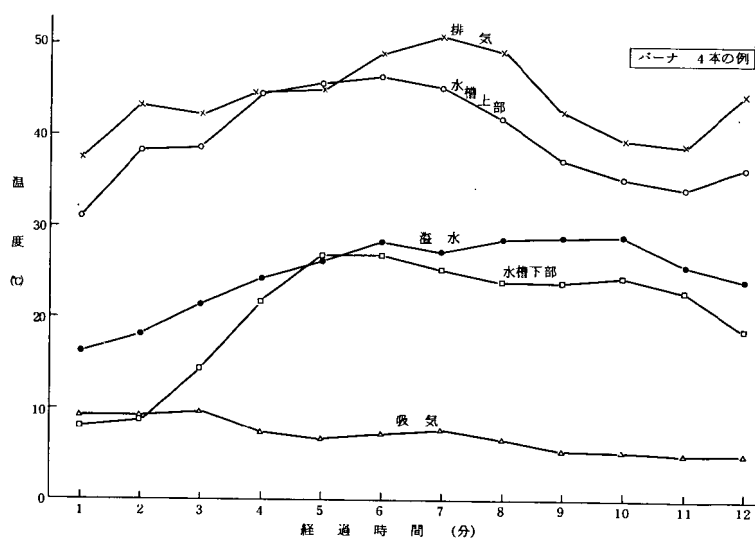


図-19 温度分布

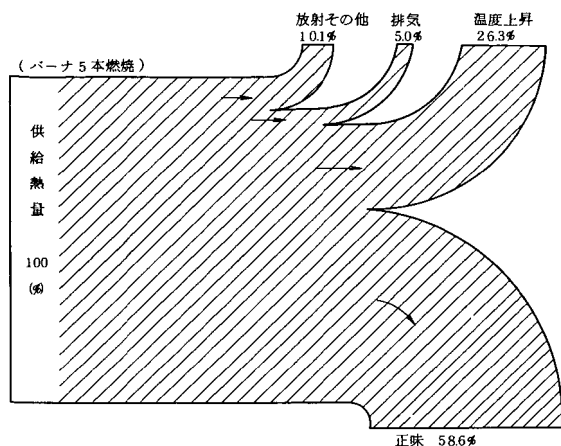


図-20 熱収支

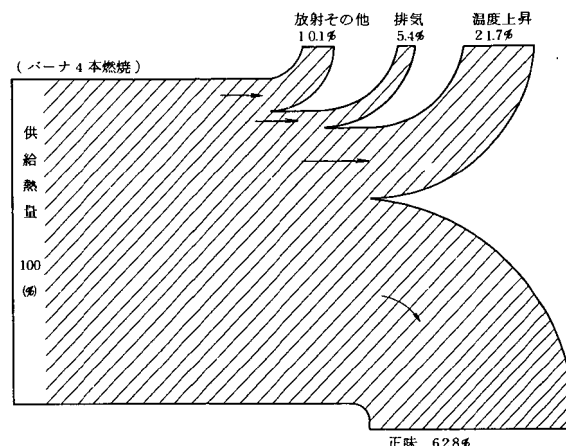


図-21 熱収支

4-4-9 熱効率

実験結果より求めた熱効率を図-22に示す。図には融雪能力も合せて図示した。それぞれの計算値は排水温の持つ熱エネルギーも融雪に有効なものとして求めた値である。熱効率は、58～62%の範囲でバーナ本数が増加するに従い、熱効率が減少することは前述のごとく、供給熱量に見合った雪の量が入って来なかったためであるが、投入方式を改善することによって80%程度までは上昇させ得ることが判明した。

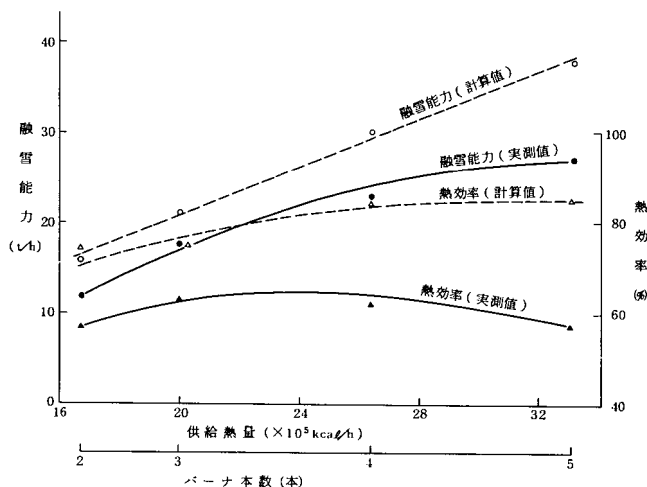


図-22 バーナ本数と熱効率

4-5 まとめ

小型自走式融雪実験機を製作し、実験を行なった結果次の事項が判明した。

- (1) 融雪装置用の動力源を別に設けることなく、フルトルクP.T.O.によるスノーメルタの製作が可能である。
- (2) 実測能力は2.4 t/hであるが、雪の投入方式を改善すれば3.0 t/h程度の能力を発揮させることが可能である。
- (3) 熱効率は約60%であったが、80%程度までの上昇は見込める。
- (4) 機構的には、雪の投入を平均化し、雪のブリッジ現象を避ける装置が必要である。
- (5) 熱効率の上昇を図るためには、雪の投入量やバーナの燃焼本数をコントロールする必要がある。
- (6) オペレータの操作、負担が大きいため省力化を図る必要がある。

5. 改造型自走自力積込式融雪実験機による実験

5-1 改造の基本的考え方

前年度自走式融雪実験機を製作し、現場実験を行なった結果、大きな問題点は大別して、1つは熱効率を向上させる必要があること、他の1つは動力配分が適当であるかどうか不明であったこと。の2点があり、その他実用機として用いるための構造的な問題が2、3認められた。従って最終年度には、この実験機に上記の点を考慮した改造を行ない、その効果をみると共に機械全体としてのバランスがとれているかどうかについても検討を行なうこととした。実験機の基本構造は変えない方針とし、各部については次節に述べる考え方で改造を行ない、実験によってその効果を確めた。

5-2 改造の概要

5-2-1 熱効率の改善に関する改造

熱効率の改善はスノーメルタの基本的性能である融雪能力の向上に結びつくものであるため、目標値である融雪能力30 t/h程度までの能力を定常的に発揮することを目標とした。前回の実験の結果より、シュートやデフレクターへ雪が附着後、成長して堆積し水面との間に空洞が生じることや、雪が平均的に水槽へ投入されないことが能力を低下させた原因であり、さらにオペレータの操作が非常に難しく省力化を図る必要のあることがわかったため改造の焦点を雪の附着防止、操作の自動化にしばった。

水槽内へ雪を平均的に投入し、ブリッジ現象を避け、水と直ちに接触して溶かすことに関しては、水槽内に攪拌装置を設ける方法、シュート、デフレクター形状に丸味を持たせたり、角度を可変にして雪の落下位置を平均的に変える方法、多量の水をかける方法等も検討したが、攪拌装置については水槽内のスペースの問題や、シュート、デフレクターへの附着に対しては投雪速度との関係で落下位置が変化し、平均化する確証が得られないこと、また多量の水をかけることについては、実験装置の他の部分にも水がかかる恐れがあるため作業の面でも機械の面でも好ましくなかったこと等により、最終的には以下に述べる改造を行なった。またオペレータ操作の省力化については、特に熱効率の改善を図る意向もあり、排水温による自動速度制御、排水温によるバーナ燃焼の自動制御の2点とし、オペレータは発進停止の他は操舵とロータリ装置の上下操作を行なえばよいこととした。

(1) 投雪方法の改善

1) プロテクターの附加

本実験機では、ロータリ投雪装置の回転数とスノーシュート(投雪案内板)を固定すれば投雪は一定個所に集中する。水槽内で十分な熱交換を行わせるためには水槽内の湯に十分接触する時間が要求される。すなわち、雪は水槽の水面へ一様に投入されることが望ましい。シュート側で種々の工夫を考えることは、前にも述べたように、不安定な要素が多いため最も単純な形として落下位置

を機械的に変える方法をとった。すなわち水槽上部にプロテクター（落下位置変更板）を設け、任意の位置に移動することにより雪の落下位置を可変するものとした。プロテクターの移動は油圧シリンダーにより自動運転で前後に運動する。しかもこの操作は運転室内とデッキの2ヶ所で行なえるようにした。

ii) 散水装置の附加

雪の投入位置を変えるプロテクターには常に雪片が集中的に衝突することになる。プロテクターの斜板は水平に対し、 45° の傾斜角を有しているが、投雪は水槽上部で融雪槽から多量の水蒸気を吸収し高含水量となり、斜板に附着し、投雪を続けるに従い、その附着量は次第に成長し、やがてはその機能も十分達成されなくなることが予想される。実験機ではこれらの防止対策としてプロテクターの上部とオーバヘッドシュートにパイプを巡し、ノズルから温水を噴出させ、雪片の附着面を常に水膜で覆うようにした。水量は最大 4 t/h 程度とし、溢水を利用した。動力は排水ポンプを併用したが、吐出圧の不足から別に小型ポンプ（吐出量 50 l/min 、水頭 6 m ）2台を附加した。

(2) 自動制御

i) 作業速度の自動化

排水温を出来るだけ低くおさえるには、オペレータは常に投雪量に見合った作業速度を選ばなければならない。このこと

は、相当の熟練が要求され、オペレータの負担も大きい。これらを解決するため次の方法をとった。すなわち排水温を検出し、この温度が予め設定した水温の限界を外れた場合にはコントロールモータを数秒間回転させる。コントロールモータの回転は、ウォームを経てホイールを回転させモース

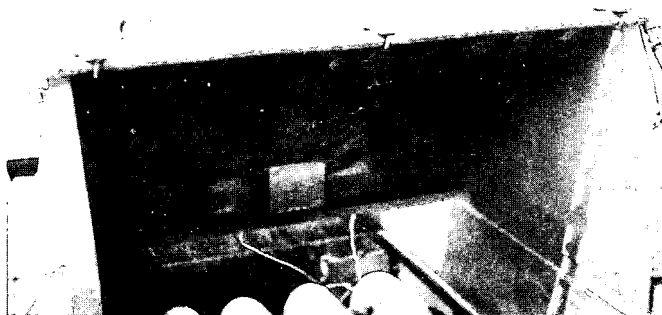


写真-6 水槽上部に設けたプロテクターの内部

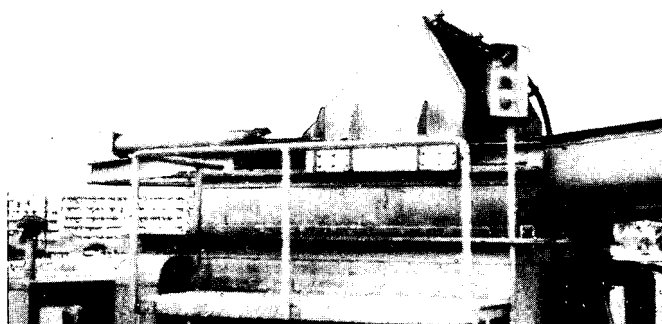


写真-7 水槽上部に設けたプロテクターの外観

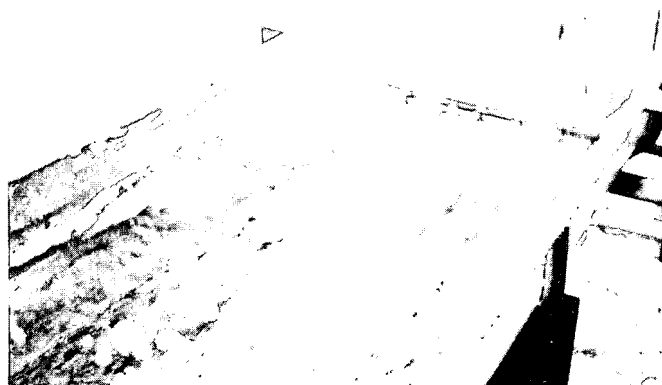
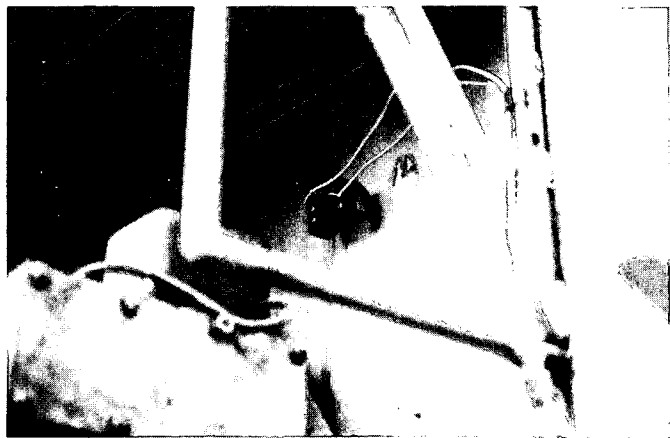


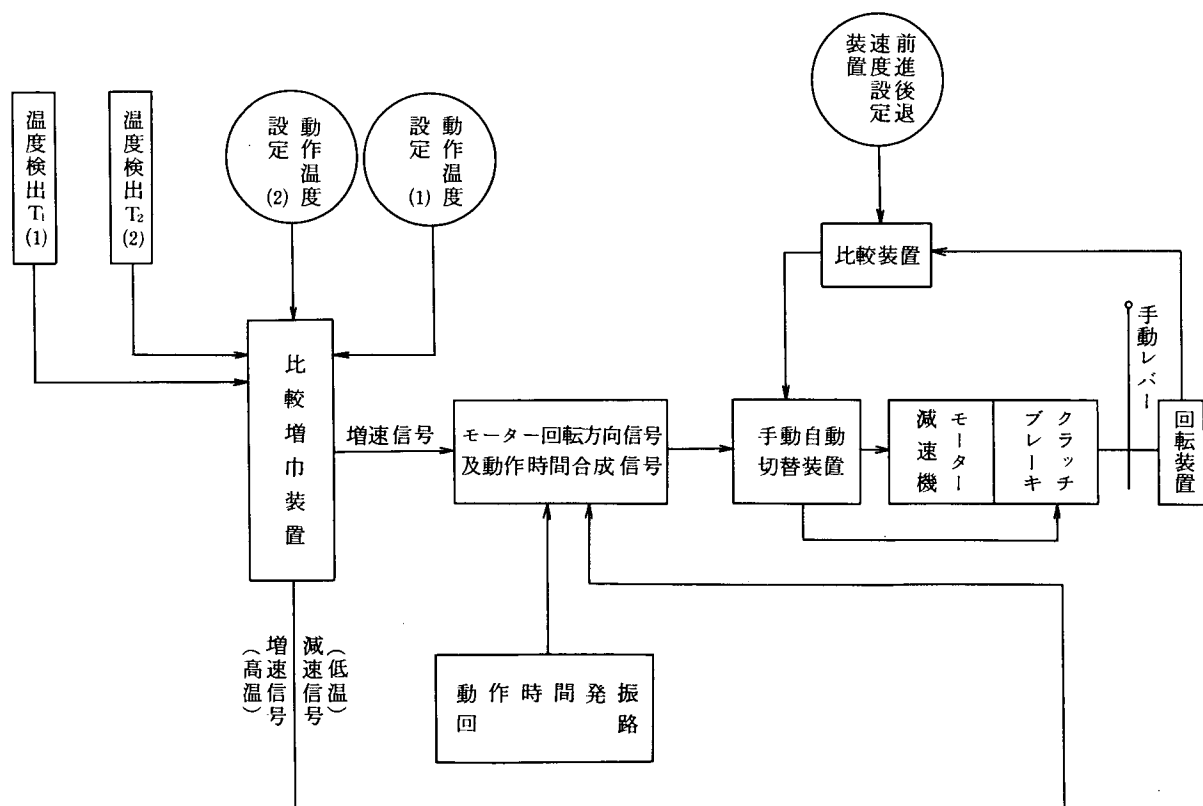
写真-8 オーバヘッドシュートの散水装置

レバーを動かす。このモースレバーは走行速度コントロールレバーと連動しているため、走行用油圧ポンプの流量を加減して作業速度を制御する。更にコントロールレバーの位置を設定することにより、任意の速度から発進可能で0～1,400 m/h まで無段階に変速することかできる。また常に手動による操作を優先させ、自動運転中の安全を図った。

なお、速度の増減の程度はモースレバーの変位量、すなわちコントロールモー



写真－9 溢水槽に取り付けた温度検知器



図－23 速度制御の作動原理

タの作動時間により定まるもので、これは実験により求めることとした。

ii) 燃料制御の自動化

融雪能力のみを向上させるには供給発熱量を大きくしておくことが望ましいが、融雪能力に見合った雪の投入が十分行なわれなかった場合は、排水温は上昇し、熱効率を減少させ、燃費は不経済となり、強ては危険を及ぼすことも考えられる。これらを解消するため、作業速度と別系統で燃料制御の自動化を図った。作動原理は速度制御と同様に排水温を検出し、設定温度の限界を外れた場合、電磁弁の開閉により供給燃料を制御することとした。図－25に燃料制御回路図を示す。燃料

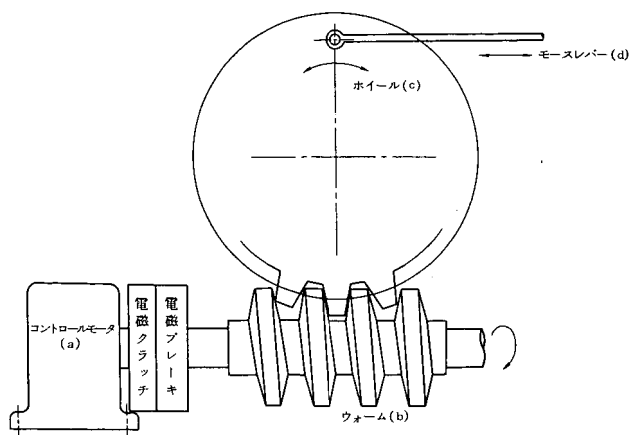


図-24 モースの運動機構

電磁弁は各バーナ毎に独立しているが、バーナを消すことは融雪能力の源を低下させることになるので、本実験機に於ては4本目と5本目に限り制御した。

5-2-2 機能向上に関する改造

フルトルクP.T.O.の減速比を設計値に設定したことの他、実用上の面から2, 3の改造を行なったので、それについて述べる。

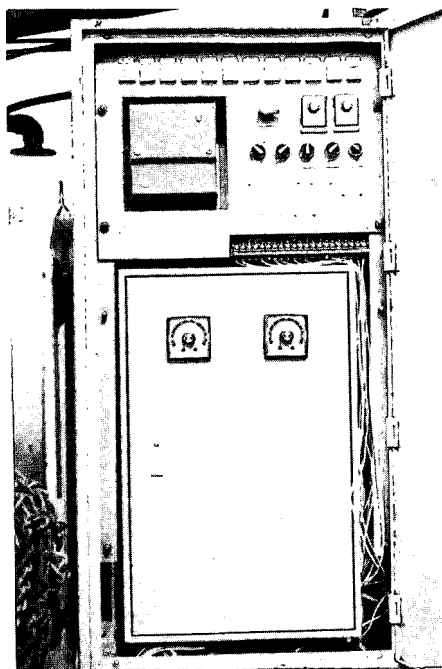
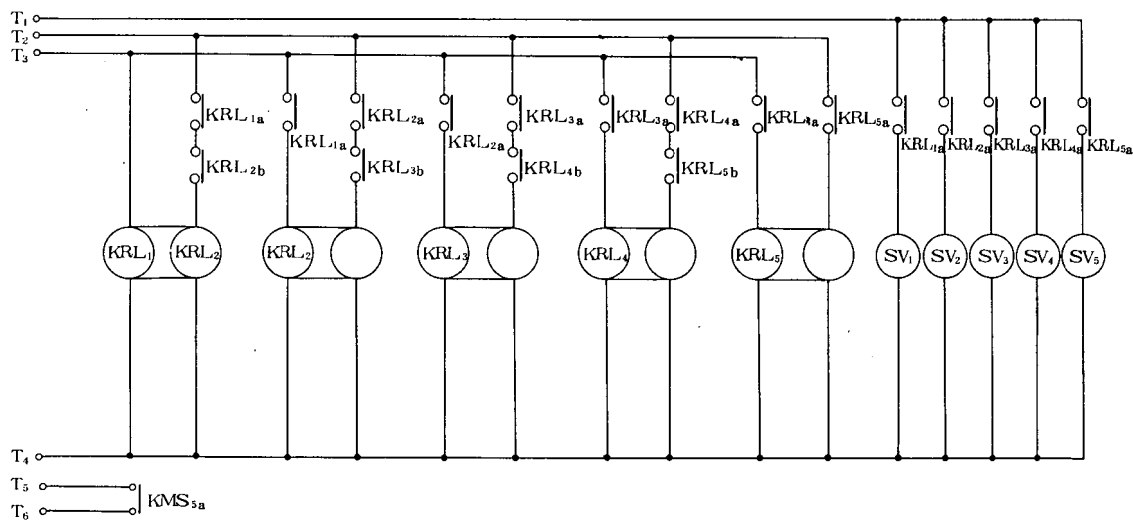


写真-10 操作盤



1	T ₁	電磁弁用電源	SV ₁	電 磁 弁	
	T ₂	燃料増加パルス入力 30~50 m/s	SV ₂	"	
	T ₃	" 減少 "	SV ₃	"	
	T ₄	共通電源	SV ₄	"	
	T ₅ T ₆	速度減少可信号 (燃料消費最大値)	SV ₅	"	
	KRL ₁	キーブリー			
	KRL ₂	"			
	KRL ₃	"			
	KRL ₄	"			
	KRL ₅	"			

図-25 燃料制御回路図

1) 操舵性の改善

前回の実験では全巾をトラック巾の 2.0 m 以内に収めることから、ロータリ投雪装置を左側フレームと同一面に取り付けた。しかし、これらのスノーメルタは拡巾除雪（二次除雪）に用いられることが多く、雪壁側の抵抗が増し、ステアリング（操舵）操作の困難が指摘された。これらの操作を容易にならしめるため、ロータリ投雪装置全体を右側に 100 m/m 移設させることとした。

2) 水槽水位の増加

熱効率を増加させるためには、水槽容積を十分に活用しなければならない。このため水位規定板を 100 m/m 嵩上げして、有効容積を約 7 % 増加した。

3) 送風機ダクト位置の改善

融雪装置の架装場所が狭いため機器類の配置方法が大きな問題となる。

前回の実験から特に送風機の吸入ダクトには溢水や雪をかぶり易い。これらを防止するために吸入ダクトの位置を車体の側面に向けることにより改善を図った。

5-3 実験方法

(1) 手動運転による方法

積雪量のほぼ一定区間を選び、予め測定した距離をバーナの燃焼本数を 5, 4, 3 本と変化させ、それぞれの発熱量に於ける融雪能力、温度分布などを求めた。計測はロータリ用油圧モータ及び走行用オイルモータの油圧測定を附加したものの他は前回とほぼ同じ要領で行なった。

(2) 自動運転による方法

前項と同じ任意の試験区間に於て、排水温を設定し、自動運転を行ない、排水温の変動によるバーナの点滅など作動機能の確認を行なった。

(3) 雪質による能力の比較

雪質による能力の比較検討を行なうため、次の 2ヶ所で実験を行なった。

1 回目 実験場所 札幌市豊平区里塚定山溪鉄道分譲地内

実験期日 昭和 49 年 1 月 20 日～1 月 25 日

2 回目 実験場所 新潟県南魚沼郡湯沢町町営駐車場附近

実験期日 昭和 49 年 2 月 14 日～2 月 16 日

5-4 実験結果と考察

計測結果一覧を表-11, 12 に示す。

5-4-1 雪 質

実験と併行して両地方の雪質調査を行なった結果表-13 のとおりとなった。

雪質は同一場所に於ても路面の状況、周囲の環境等により異なるため、密度の計測は堆積の中層部を任意に数点選びその平均値によった。この表からも明かのように両地方の雪質については大きな差異が認められる。札幌市に於ける外気温 0℃ に対し、湯沢町では 4.6℃ であり、これが含水量に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

表-11 実 験

実験 番号	バーナ 燃 焼 本 数	燃 料 消費量 (ℓ/h)	供給熱量 ($\times 10^3$ kcal/h)	温 度 分 布 (°C)					溢水量 (t/h)	エンジン 回 転 数 (r.p.m)
				水 槽 上 部	水 槽 下 部	吸 気	排 気	溢 水		
501	5	312	2.739	55.6	11.6	8.1	51.1	26.5	24.0	1,440
502	"	312	2.739	51.9	11.5	8.1	53.5	28.2	25.3	1,500
503	"	312	2.739	47.8	11.3	8.0	50.0	27.2	21.0	1,500
504	"	312	2.739	43.4	11.3	8.0	46.5	25.6	21.1	1,440
505	"	312	2.739	39.5	11.4	7.8	43.4	24.5	19.2	1,500
506	"	312	2.739	37.0	11.6	7.5	41.2	23.7	21.8	1,440
507	"	312	2.739	36.3	11.8	7.2	38.8	23.3	26.6	1,440
508	"	312	2.739	33.0	12.0	7.0	33.2	22.8	28.8	1,440
509	"	312	2.739	29.5	12.1	7.0	29.5	21.9	22.3	1,500
510	"	312	2.739	26.3	12.1	7.0	27.3	20.6	19.7	1,500
511	"	312	2.739	24.0	12.2	6.8	25.6	18.7	20.0	1,500
512	"	312	2.739	23.0	12.0	6.7	26.0	17.5	31.6	1,440
513	"	312	2.739	23.5	11.8	6.5	27.6	17.2	24.6	1,440
514	"	312	2.739	34.3	11.6	6.4	29.5	17.2	28.3	1,440
515	"	312	2.739	26.6	11.5	6.2	32.5	17.8	26.6	1,440
平 均		312	2.739	35.4	11.7	7.2	37.4	22.2	24.1	1,464
401	4	248	2.177	16.0	14.5	9.5	40.6	11.6	10.3	1,560
402	"	248	2.177	20.2	13.8	9.7	33.3	11.8	24.0	1,560
403	"	248	2.177	20.5	13.4	9.9	29.0	12.3	25.4	1,560
404	"	248	2.177	23.4	13.0	9.9	32.0	13.3	20.4	1,500
405	"	248	2.177	28.2	13.0	9.9	37.5	14.0	17.8	1,560
406	"	248	2.177	35.0	12.7	9.8	43.2	17.5	10.3	1,560
407	"	248	2.177	40.6	12.6	9.7	46.6	19.8	11.8	1,560
408	"	248	2.177	33.3	16.8	5.8	25.7	18.1	16.4	1,560
409	"	248	2.177	36.5	16.4	5.2	32.5	19.0	17.3	1,560
平 均		248	2.177	28.2	14.0	8.8	35.6	15.3	17.1	1,553
301	3	184	1.597	18.5	14.1	5.1	65.9	19.3	9.5	1,560
302	"	184	1.597	17.2	13.9	5.1	43.5	18.5	8.7	1,560
303	"	184	1.597	16.0	13.0	5.0	31.0	16.6	8.0	1,560
304	"	184	1.597	15.7	12.5	5.0	26.8	15.3	13.5	1,560
305	"	184	1.597	16.7	12.2	4.9	25.8	14.6	10.3	1,560
306	"	184	1.597	18.5	11.8	4.8	26.2	14.0	11.1	1,500
307	"	184	1.597	20.4	11.6	4.8	26.0	14.0	13.5	1,500
308	"	184	1.597	21.8	11.5	4.7	27.3	14.0	11.9	1,560
309	"	184	1.597	24.2	11.5	4.7	27.8	14.2	11.1	1,560
310	"	184	1.597	25.0	11.5	4.6	26.1	15.5	9.5	1,560
311	"	184	1.597	24.0	11.4	4.5	24.8	15.9	9.5	1,560
平 均		184	1.597	19.8	12.3	4.8	31.9	15.6	10.6	1,549

結 果 一 覧 表

実験場所 札幌市

ロータリー投雪装置			走行圧力 (kg/cm ²)	車 速 (m/h)	消費熱量 (kcal/h)		熱効率 (%)
回転数 (r.p.m)	圧 力 (kg/cm ²)	出 力 (PS)			温度上昇に 要した熱量 (×10 ³)	融雪のみに 要した熱量 (×10 ³)	
1,320	148.9	18.4	69.8	218.6	636	1,920	70.1
1,320	150.9	18.8	61.8		714	2,024	73.9
1,358	123.2	15.8	47.3		571	1,680	61.3
1,358	160.4	20.5	44.4		540	1,688	61.6
1,358	154.3	19.7	45.8		470	1,536	56.1
1,358	136.0	17.3	44.4		517	1,744	63.7
1,358	138.7	17.7	49.5		620	2,128	77.7
1,358	140.8	18.0	40.0		657	2,304	84.1
1,395	108.3	14.2	43.6		488	1,784	65.1
1,395	104.2	13.7	51.6		406	1,576	57.5
1,358	129.9	16.6	60.4		374	1,600	58.4
1,282	180.0	21.7	52.4		553	2,528	92.3
1,320	165.1	20.5	50.9		423	1,968	71.9
1,320	173.3	21.5	44.4		487	2,264	82.7
1,320	175.0	21.7	43.6		473	2,128	77.1
1,345	145.9	18.4	50.0	202.7	529	1,925	70.2
1,470	100.1	13.9	54.5		119	824	37.9
1,395	146.2	19.2	58.2		283	1,920	88.2
1,433	143.5	19.4	43.6		312	2,032	93.3
1,395	148.9	19.6	40.0		271	1,632	75.0
1,433	146.2	19.7	36.4		249	1,424	65.4
1,433	146.9	19.7	29.1		180	824	37.9
1,470	110.3	15.3	32.7		234	944	43.4
1,395	140.8	18.5	48.0		297	1,312	60.3
1,395	146.9	19.3	48.0		329	1,384	63.6
1,424	136.6	18.3	43.4	182.3	253	1,366	62.8
1,508	90.9	12.9	32.7		183	760	47.6
1,471	90.9	12.6	32.7		161	696	43.6
1,471	109.1	15.1	32.7		133	640	40.1
1,471	101.8	14.1	29.1		207	1,080	67.6
1,433	101.8	13.7	29.1		151	824	51.6
1,471	94.5	13.1	36.4		155	888	55.6
1,433	105.5	14.2	32.7		189	1,080	67.6
1,471	90.9	12.6	29.1		167	952	59.6
1,433	98.2	13.3	21.8		158	888	55.6
1,471	87.3	12.1	36.4		147	760	47.5
1,508	80.0	11.4	40.0		152	760	47.5
1,467	95.5	13.2	32.1		164	848	53.1

表-12 実 験

実 験 番 号	バーナ 燃 焼 本 数	供給発熱量 ($\times 10^3 \text{kcal/h}$)	温 度 分 布 ($^{\circ}\text{C}$)					溢水量 (t/h)
			水 槽 上 部	水 槽 下 部	吸 気	排 気	溢 水	
0	3	1,597	13.9	14.0	17.0	33.0	22.4	0
	3	"	12.0	13.0	17.1	23.4	21.6	0
1	3	"	11.3	12.0	17.2	18.8	17.2	2.7
	3	"	10.6	10.6	16.4	16.9	12.5	12.3
2	3	"	10.6	9.3	15.5	14.9	9.5	13.5
	4	2,177	11.3	8.5	14.0	15.4	7.5	12.8
3	4	"	15.8	8.4	13.9	20.5	7.0	35.3
	5	2,739	23.5	8.7	12.5	28.5	8.2	41.3
4	5	"	29.4	9.6	12.0	35.0	10.4	24.5
	5	"	32.0	10.2	11.9	37.5	12.5	24.2
5	5	"	34.5	10.8	11.6	39.6	14.8	29.7
	4	2,177	34.1	11.0	11.5	39.0	16.5	24.6
6	4	"	31.0	12.8	11.5	35.6	17.0	27.0
	4	"	30.0	14.4	11.5	36.0	17.0	13.8
7	3	1,597	33.6	14.6	11.8	37.0	18.2	7.5
	3	"	32.2	14.5	12.9	34.8	19.5	19.2
8	3	"	30.8	15.4	13.5	33.5	20.0	20.9
	3	"	30.0	16.0	13.6	34.0	20.1	24.5
9	3	"	29.1	17.9	13.4	34.0	19.5	23.9
	3	"	28.0	19.8	12.8	33.3	18.7	23.4
平 均			24.2	12.5	13.6	30.0	15.5	19.1

表-13 雪 質

項 目 \ 場 所	札 幌 市	湯 沢 町
計 測 月 日	1 月 2 2 日	2 月 1 5 日
平 均 気 温 ($^{\circ}\text{C}$)	0	4.6
平 均 雪 温 ($^{\circ}\text{C}$)	-2.7	-0.5
含 水 率 (%)	< 3	13 ~ 18
密 度 (g/cm^3)	0.230	0.320
雪 質 (分類)	しまり雪	ぬれしまり雪

結 果 一 覧 表

日時 49年2月15日

場所 湯沢町

融雪に要 する熱量 ($\times 10^3$ kcal/h)	排水温の上昇 に要する熱量 ($\times 10^3$ kcal/h)	エンジン 回 転 数 (r.p.m)	ロータリー 回 転 数 (r.p.m)	車 速 (m/h)	雪 質			熱 効 率 (%)
					気 温 ($^{\circ}$ C)	雪 温 ($^{\circ}$ C)	含水率 (%)	
—	—		754	242	4.6	-0.5	15.5	—
—	—		735					—
183	46	1,620	773					11.5
831	154	1,620	773					52.0
913	128	1,620	773					57.2
865	96	1,680	754					39.7
2,386	247	1,680	773					109.6
2,792	339	1,620	717					101.9
1,656	255	1,620	698					60.5
1,636	303	1,680	660					59.7
2,008	440	1,620	717					73.3
1,663	406	1,620	679					76.4
1,825	459	1,620	622					83.8
933	235	1,560	754					31.7
507	137	1,560	471					81.3
1,298	374	1,680	434					88.5
1,413	418	1,680	622					103.7
1,656	492	1,740	603					101.2
1,616	466	1,680	735					99.1
1,582	438	1,560	735					70.8
1,431	302	1,637	689					72.3

5-4-2 融雪能力と熱効率

融雪能力の向上と熱効率の改善を目的とした改造を行なって、札幌、湯沢で実験を行ないその効果の有無を確認した。図-26は両地方での融雪能力と熱効率を示したものである。

札幌ではバーナ5本燃焼の場合、平均融雪能力は24 t/h（熱効率70%）と前回の実験結果より低い値を示した。この原因は、後で判明したが、燃料消費計として用いた流量計と配管との接続部に異物をはさみ込んでいたため、流量が制限を受け、5本燃焼時の場合365 l/hに対し、今回は312 l/hと約15%が減少していたこと、実験中、風の影響を強く受けたことなどに起因している。

また湯沢に於ける実験結果では、バーナ5本燃焼時の平均融雪能力は約30 t/hとなり、熱効率は78%となり札幌より良好な成績を示した。これは札幌における雪の含水率がほぼ0であったのに対し、湯沢では約15%が計測され、その分だけ能力は上昇したことや、湯沢の場合の実験結果は自動運転による値で熱効率が改善されたことによるものと考えられる。

5-4-3 温度分布

温度の計測は次の個所に测温抵抗体を取り付け温度の変動を調べた。図-27に取付個所を示す。

i) 溢水温

融解水が仕切板をくぐり、オーバフローして貯えられた溢水槽の中部(a)

ii) 水槽内温度(上部層b, 下部層c)

iii) 排気温度

水面に覆いカバーを設け、排気ガスが水中をくぐって空気中に放出される温度(d)

iv) 吸気温

送風管内の温度(e)

これらの計測結果を図-28～31に示す。これより溢水温の変動を見ると、3本燃焼のとき14～19℃の間で変動しているが、4本、5本と発熱量を増したとき、その値は12～20℃、17～28℃とそれぞれ変動は大きく現われてくる。これは雪の投入量が間欠的になった場合、発熱量が大きい程水温が上昇しやすいのである。

また水槽下部の温度分布は、バーナ本数には関係なく、いずれも12～15℃と溢水温より低

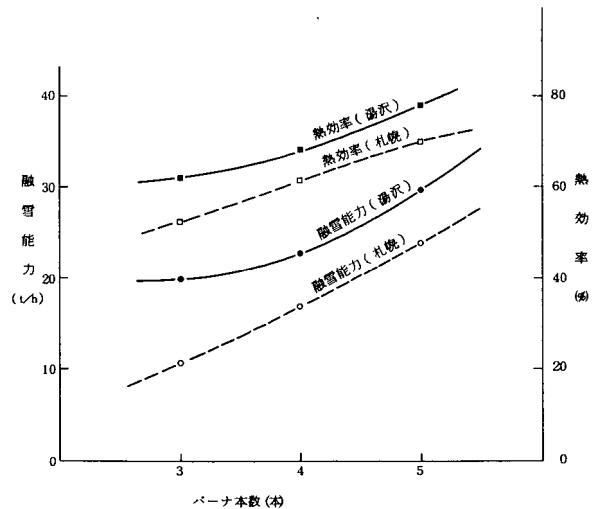


図-26 融雪能力と熱効率

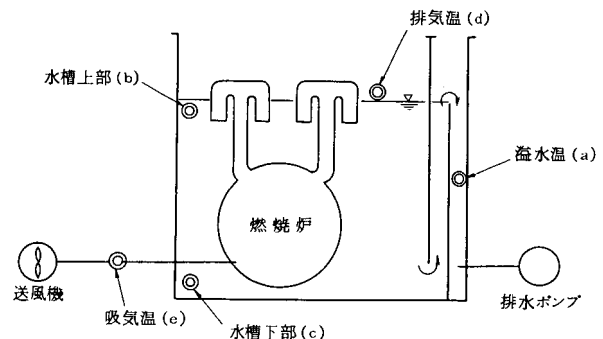


図-27 温度計取付個所

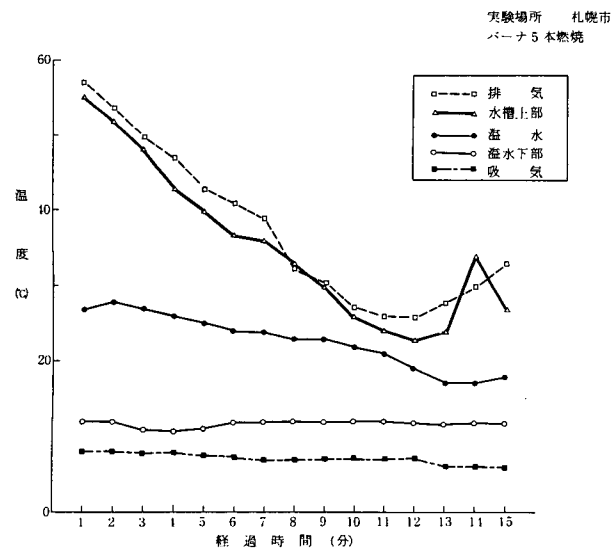


図-28 温度分布

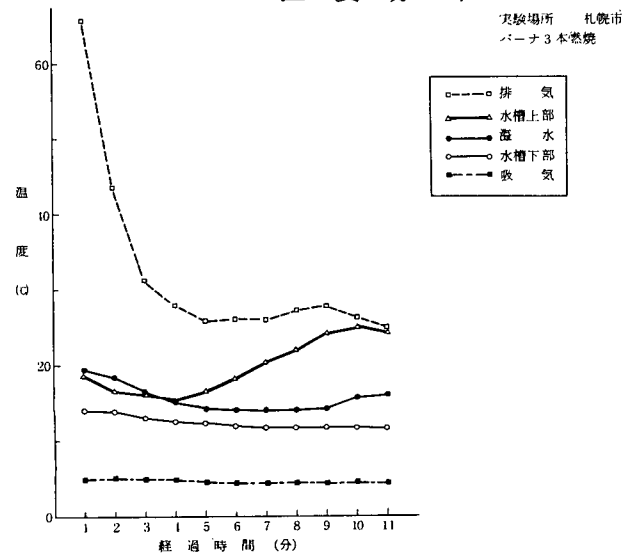


図-30 温度分布

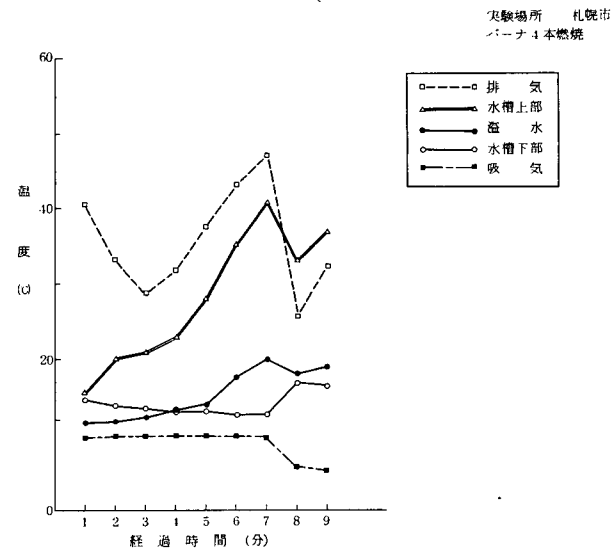


図-29 温度分布

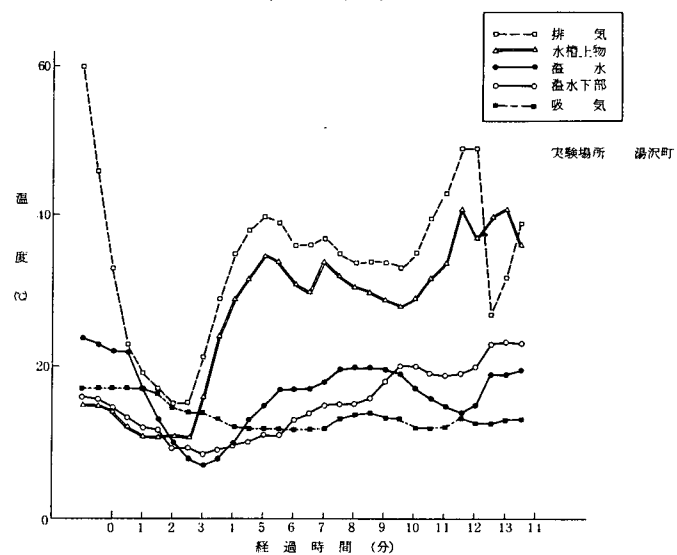


図-31 温度分布 (バーナ制御による)

い値を示している。これは水槽内で十分な対流が行なわれなかったこと、融雪水の一部が車体の傾斜と振動により、水槽上部からオーバーフローして溢水槽に直接入り込んだものと考えられる。

5-4-4 自動制御装置

(1) 速度制御装置の機能

速度の自動制御が排水温によって確実に行なわれるかどうか、また作動タイマーの設定時間を何秒にすればよいかを調べる目的で実験を行ない以下の結果を得た。現地実験では作業速度 200 m/h という微速であるため、実作業による速度変化を正確に調べることに困難であることから簡便法として平坦地で、融雪槽に水を入れたスノーメルターを一定速度で走らせ、バーナを燃焼させて水温を上昇させたときの速度の変化を調べた。

実験は速度コントロールレバーにより 5.1 m/min を基準速度にとり設定温度の上限を 25°C とした。この限界を外れたときのタイマーの作動時間を1秒としたとき、速度は 7.13 m/min と基準速度の1.4倍になり、2秒に設定すると 21.4 m/min と一挙に4.2倍となった。自動運転による速度の急激な変化は危険を及ぼすこと、ロータリ装置能力から勘案して、一回の増減速の割合は2～3割が限界であることから作動タイマーの設定時間は0.7～0.8秒にすればよいことが判明した。

(2) バーナ燃焼本数の自動制御

任意の試験区間に於て、溢水温を設定し、温度変化によるバーナの点滅状況を調べた。

図-32は溢水温を $15^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ に設定したときのバーナの燃焼状況等を示したものである。

これより溢水温度が降下した場合、30秒後にバーナの燃焼増加が見られる。また燃焼本数の減少は検出後即時に消火していることが判る。

燃焼本数の減少方法は単に燃料電磁弁の閉鎖により消火するが、燃焼量の増加の場合、バーナノズルへの燃料到達時間、着火に要する時間などから30秒程度の遅れを生じるものと考えられる。

実験開始直後は、溢水温の変動が大きく現われているが、経過時間の増加に伴ない、その変動は次第に小さくなることが判る。

この制御を用いることにより連続運転を行なった場合比較的安定した溢水温が得られるもの

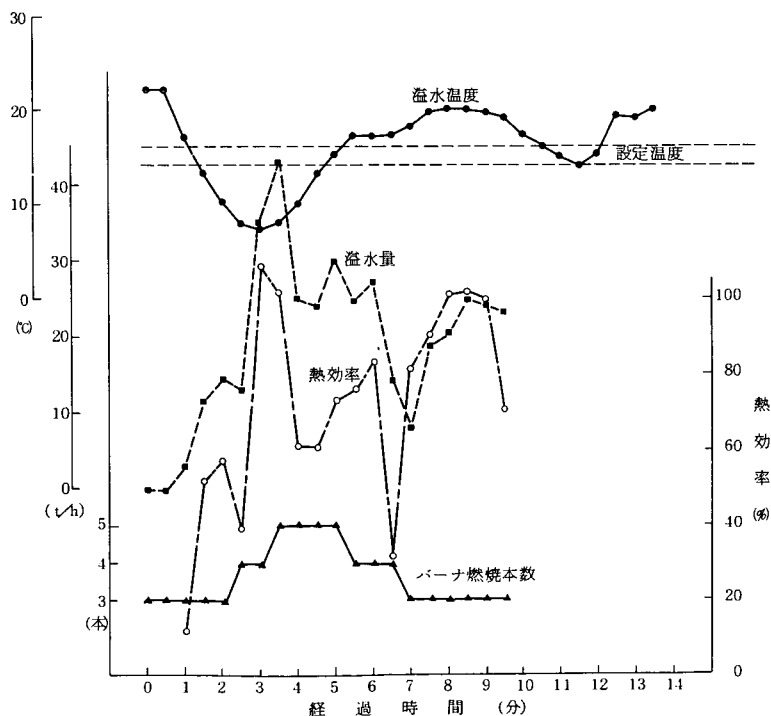


図-32 バーナの自動化による溢水温と溢水量

と考えられる。

5-4-5 動力配分

(1) ロータリ馬力

ロータリプロア軸の回転数をパルス発振器により、出力を油圧モータの回転数と油圧より算出した。その結果をバーナ本数で整理したのが表-14である。最大値、平均値、最小値として示した。設定ではエンジン回転数 1,500 r.p.m に対しプロア軸回転数は 1,300 r.p.m であったが実測ではプロア軸回転数が約 1,400 r.p.m と約 7.5% 上昇していた。前回の実験では約 15% の上昇であった。このロータリ装置の油圧モータは当初は回転数 1,100 r.p.m, リリーフセット圧 120 kg/cm², 8 PS の設定であり、強度的な心配はあったが馬力を増すため 1,300 r.p.m に増速するとともにリリーフセット圧力も高めて用いたものである。従って表-14 の如く消費馬力も 5 本の場合、最大で 21.7 PS, 平均で 16.9 PS の値を示した。この動力は次の式より求めたものである。

$$P_s = \frac{P \cdot q \cdot n}{7500 \times 60 \times \eta}$$

ここで P_s : 消費動力 (PS)

P : ロータリ用油圧モータの圧力 (kg/cm²)

q : オイルモータ 1 回転当りの流量 (33.3 cm³/rev)

n : オイルモータの回転数 (r.p.m)

η : 容積効率 (0.92)

ロータリ装置の性能を示す 1 つの値である馬力時間当り投雪量 (この場合馬力当り溢水量) を示すと約 1.4 t/PS・h となり、一般に 5 t/PS・h とされている値に比較すると極めて低い値を示した。これは溢水量で示したため、投雪された雪が風のため全部水槽に入らず側方や後方へ流れたこと (特に札幌ではよく見られた)。またプロテクターを移動式にして散水したにもかゝら

表-14 ロータリ装置の消費馬力

バーナ 本数	要 目 区 分	エンジン 回 転 数 (r.p.m)	プロア軸 回 転 数 (r.p.m)	オイルモータ 回 転 数 (r.p.m)	油 圧 (kg/cm ²)	消費馬力 (PS)	溢水量 (t/h)	馬力時 間 当り溢水量 (t/PS h)
3	最大値	1,560	1,508	1,919	109.1	15.1	13.5	0.89
	平均値	1,549	1,467	1,867	95.5	12.1	10.6	0.88
	最小値	1,500	1,433	1,823	80.0	11.4	8.0	0.70
4	最大値	1,560	1,470	1,870	148.9	19.7	25.4	1.29
	平均値	1,553	1,424	1,812	136.6	16.8	17.1	1.02
	最小値	1,500	1,395	1,775	100.1	13.9	10.3	0.74
5	最大値	1,500	1,395	1,775	180.0	21.7	28.8	1.33
	平均値	1,464	1,345	1,712	145.9	16.9	24.1	1.43
	最小値	1,440	1,282	1,631	104.2	13.7	19.2	1.40

ず、やはり附着を防ぎ切れずに投雪を中断して入口で雪をかき落す必要が生じたことによるものである。この点を考慮すれば、本機の場合馬力的にはバーナの融雪能力とバランスしているものと思われる。ただし堆積した雪の下層には圧雪層があり、これを食い込んだ場合にはロータリ装置の回転が下り、投雪された雪がシュートにつまることがあった。（この現象は札幌ではなかったが湯沢で生じた）このことからトルクを更に大きくする必要がある。一方回転数はプロテクターへの附着を防ぐ意味で低い方が有利であり、回転数を低くした場合問題になる投雪軌跡の変化についてはシュートの角度の調整で十分に補えるものと思われる。従ってロータリ装置に関しては馬力的にはこの程度でよいが回転数を更に落してトルクを増す必要が認められた。

(2) 走行馬力

走行速度は直接作業量に関係することから、速度の選定は融解槽の状態と投雪量から適宜調整した。これより $180 \sim 220 \text{ m/h}$ でほぼ円滑な走行を示し、最適作業速度と考えられる。

また、走行に要した動力を検討するため、走行用油圧モータの圧力を測定し、走行速度から消費動力を次のように算出した。

ここで

走行速度 (V) : 220 m/h (3.67 m/min)

走行圧力 (P) : 50.0 kg/cm^2

後車輪有効径 (R) : 0.4 m

減速比 (r) : 5.833

油圧モータ 1 回転の流量 (q) : 1.38 l/rev

とすると、オイルモータの回転数 (N_M) は

$$N_M = \frac{V r}{2 \pi R} = \frac{3.67 \times 5.833}{2 \pi \times 0.4} = 8.59 \text{ (rpm)} \text{ となり}$$

オイルモータ流量 (Q) は

$$Q = q \times N_M = 1.38 \times 8.59 = 11.85 \text{ (l/min)}$$

これより計算出力 (PS) は

$$P_s = \frac{P \cdot Q \times 1000}{60 \times 7500} = 1.31 \text{ (PS)}$$

となり、

スリップによる損失を $0.2 \sim 0.45$ 、油圧効率を 0.9 とすると、実際の消費動力 (P'_s) は

$$P'_s = \frac{1.31}{0.9 \times (1 - 0.2 \sim 0.45)} = 1.8 \sim 2.6 \text{ (PS)}$$

となり、おおむね全動力の $3 \sim 5\%$ 程度となった。この値は設計値の約 20 PS に比べて極めて小さいが、これは作業速度が設計の 1.4 km/h に比べて実際が 0.2 km/h と非常に遅かったことが最大の原因であるが、この他にも設計時にころがり抵抗係数の安全を見込んでアスファルトの $10 \sim 15$ 倍としたこと。またロータリ装置がカッタ型のため推力をあまり必要としなかったこと等の差も出たものと思われる。従って本機の場合走行動力は過大と認められたが、坂路での使用等の考

慮も必要であり、実用機の場合には再検討をしなければならない。

(3) 送風機馬力

送風空気量は送風管内の静風圧を計測し、別に求めた性能曲線（図－１７参照）から算出した。静風圧は、バーナ燃焼本数により 350～399 mmAq の間で変動が見られ、送風量は 166～158 m³/min となった。理論空気量については前回と同様に低位発熱量の液体燃料による計算式（機械工学便覧より）から求めた。これによると灯油 1 kg 当りの空気消費量は約 11.4 m³ となり灯油 301 kg/h が燃焼するに要する理論空気量は 57 m³/min で空気過剰率は 2.7 倍となる。ただし今回の実験では燃料系統のミスで灯油消費量が規定値より少なく 243 kg/h であったため空気過剰率は 3.4 倍で燃焼していたことになる。

表－１５ 送 風 空 気 量

バーナ 本 数	燃 料 消 費 量		理 論 空 気 量		送 風 圧	送 風 量	空 気 過 剰 率	
	実 測 値	仕 様 値	実 測 値	仕 様 値			実 測 値	仕 様 値
(本)	(kg/h)	(kg/h)	(m ³ /min)	(m ³ /min)	(mmAq)	(m ³ /min)		
5	243	291	46	55	399	158	3.4	2.7
4	198	235	37	44	374	162	4.4	3.6
3	147	179	28	34	350	166	5.9	4.8

なお、この時の消費馬力は性能曲線より推定すると約 18 PS となり、設計値の 20.4 PS とほぼ一致し、送風機への馬力配分は適当であった。

5-5 ま と め

最終年度として、前年度試作した融雪実験機を改造し実験を行なった結果、次の事項が明らかとなった。

- (1) 熱効率が 70～80% まで改善された。
- (2) バーナの自動制御は熱効率の改善にも、オペレータの負担の軽減にも効果があった。
- (3) 融雪能力は自動化することにより 30 t/h が得られた。
- (4) ロータリ装置に関しては更に回転数を下げトルクを増す必要があった。
- (5) プロアの動力は適当であった。
- (6) 走行系統の動力には余裕があった。
- (7) 以上より馬力配分を変更すれば融雪能力を増大する可能性のあることが認められる。

6. 結 論

街路で使用する場合、一般交通の障害とならない小型の融雪機械の開発を目標として46年度から49年度まで3ヶ年間にわたって調査研究を行なった。その結果明らかになった事項は次の通りである。

- (1) 作業用動力、走行用動力を1つの原動機から取り出す方式のスノーマルタが製作出来た。
- (2) 製作したスノーマルタの性能は融雪能力で約30 t/h 熱効率で70～80%であった。
- (3) 製作したスノーマルタの馬力配分は実測の結果、全体としては余裕があり、走行系、ロータリ装置系に改善の余地があり、更に性能の向上を見込める。
- (4) 排水温による速度制御、バーナ燃焼の自動制御は熱効率の改善にも、操作の省力化にも有効である。
- (5) 以上により30 t/h 程度までの自走式スノーマルタは小型トラック並みの大きさまで小型化出来る見通がついた。

7. あ と が き

小型の融雪実験機を、ほど最初の計画通りに開発することが出来た。本機は実験機であり、実用機にするためには、各部分の構造配置、動力の配分等には更に検討を要する点も認められる。特に雪が部分的に集中し、堆積して人力を必要とすることは、能力の低下は勿論、作業の安全性の面から何らかの対策が必要である。我々もこの点については種々の方策を試み、一応の効果は得たが、まだ不満足な点も多い。また各種の雪質に対しての適応性については、実験条件が限定されているため不明の部分も多く、実用機にするためには今後に残された問題も多い。しかしながら路側に堆積された雪のために狭くなった街路でも、その使用に不便を感じないような長さか短かく巾が狭い融雪機械を実用化出来る見通しはついたものと思っている。スノーメルタの使用に際しては、大量の排水が流出するため、排水溝が整備されていることも必要であり、道路側からの検討も要するところである。

最後にこれらの研究開発に当って多大の御指導、御協力を賜った科学技術庁雪害実験研究所、北海道開発局建設機械工作所、北陸地建上越国道工事々務所の皆様に感謝の意を表します。

8. 参 考 文 献

- (1) 富山技術事務所、「スノーメルタ性能試験報告」
- (2) 日本建設機械化協会、「道路除雪ハンドブック」
- (3) 日本建設機械化協会、「防雪工学ハンドブック」
- (4) 日本機械学会、「機械工学便覧」
- (5) 長田他 土木研究所資料第228号「オーガプロア型ロータリ除雪車の研究」
- (6) 酒井重工業株式会社「サカイ技報(第3号)」

街路用融雪機械の開発に関する研究
—小型自走式スノーメルタの製作—

934
土研資料第943号
昭49年3月(1974)

建設省土木研究所機械研究室
田中康之, 本田宜史, 後藤勇
小山博司, 山田一彦

キーワード 除雪機械, スノーメルタ

要旨 小型スノーメルタを製作し、現場実験を行なった結果、
次の事項が判明した。

1. 作業用動力、走行用動力を1つの原動機から取り出す方式のスノーメルタが製作出来た。
2. 製作したスノーメルタの性能は融雪能力で約30t/h熱効率で70~80%であった。

郵便はがき

は十
い 円
っ 切
て 手
下 を
さ

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
機械研究室
行

千葉県千葉市穴川
四丁目十二番五二号

No. 246

No. 246

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第934号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印