

新雪製造装置の作製

中村 秀 臣*

国立防災科学技術センター新庄支所

A New Apparatus to Produce Fresh Snow

By

Hideomi Nakamura

*Shinjo Branch, National Research Center for Disaster Prevention
No.1400, Takadan, Tokamachi, Shinjo-shi, Yamagata-ken 996, Japan*

Abstract

In the seasons when natural fresh snow is unavailable, it is necessary to produce fresh snow artificially in order to carry out the experiments on freshly fallen snow. However, it is difficult to produce a lot of snow crystals at a time, and the author thought of making use of frost instead of fresh snow and fabricated the apparatus named "Shimo-bako" No.1 & 2, which could produce a lot of frost in a cold room. The name "Shimo-bako" literally means "Frost-box" in Japanese, as "Shimo" means frost and "bako" which is assimilated form "hako" means box in Japanese.

Each apparatus of the "Shimo-bako" consists of one (for No.1) or two (for No.2) evaporators, one (for No.1) or four (for No.2) blowers, hemp strings and a drawer as shown in Figs.1 and 2.

Frost as much as 3.5 kg was produced in one day by Shimo-bako No.1 (density of the frost: $0.04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, fernlike crystal) and 12.3 kg by Shimo-bako No.2 (density of the frost: $0.03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, fernlike crystal).

1. はじめに

低温室に保存しておいた雪は、保存期間中にその物理的性質が大きく変化するので、新雪を対象とする実験に使用することはできない。このため、無雪期にこのような実験を行なうためには新雪を人工的に作る必要があるが、雪の結晶を大量に作ることは非常に困難である。現在、人工的に雪を作る装置としては中谷の人工雪製作装置(中谷, 1949)や、一部のスキー場や民間企業の研究所等で使用されている霧吹き形式の人工雪製造装置がある。前者の場合には雪の製造量がきわめて少ないということ、後者の場合にはその製造物が雪ではなくて氷の丸い細粒であるということから、上記のような実験のための雪を製造する装置としては不適當で、今のところ目的にかなう人工雪製造装置はないといえよう。そこで筆者はこの種の実験を行なう際に有用な新雪製造装置を作製したのでここに報告する。ただし、この装置で

* 雪害防災研究室

実際に作り得たのは雪ではなくて霜（結晶習性は雪と同じであるが、雪とは違い外形上の対称性はない）であったため、この装置を“霜箱”と名付けた。

2. 霜箱 1 号の構造とその製霜能力

中谷の人工雪製作装置を参考にして、写真 1 および図 1 に示すような霜箱 1 号を作製した。これは図 1 に見られるように温水の入った蒸発槽 (A)、寒気を霜箱内に吹き込むための送風機 (B)、霜が生長するための麻紐群 (C) および製造された霜を取り出すための引出 (D) により構成されており、霜箱内を効率よく冷却するために霜箱の天井をはずして使用した。

蒸発槽の水温調節には 500 W の地中埋設用の電熱線（商品名 ビニル温床線）を用い、また、送風用にはシロッコ・ファン形式の送風機（商品名 東芝サーキュレーター、風速 4.1 m/sec、消費電力 26 W）を使用した。

なお、麻紐は総計 50 本で、これを水平間隔 5 cm、垂直間隔 10 cm に千鳥がけに張った。マイナス 20 数℃ の低温室（強制対流式）内で霜箱の蒸発槽の水温を 30℃ 程度に設定し、その水面に送風機からの風を吹き付けると、霜箱内の気温（麻紐群の最下端付近で測定）は -14~-15℃ になり、製造開始後数時間で 10 mm 前後の羊歯状の霜ができた。時には写真 2 に示すような大きな霜ができる場合もあった。製造された霜の結晶形は中谷ダイヤグラムとよい一致を示すようで、霜箱内の気温が -5℃ の時には写真 3 のような針状結晶が見

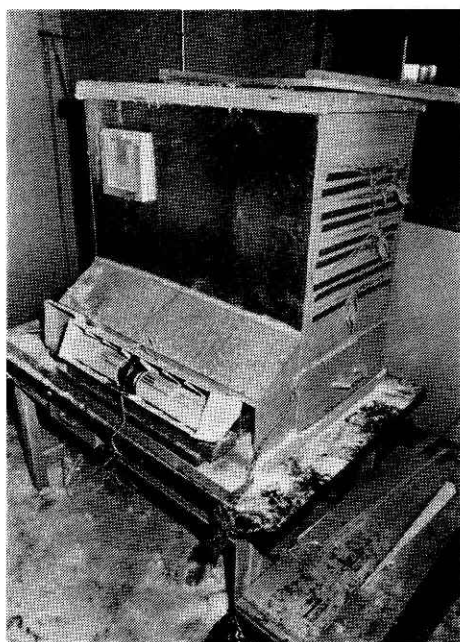


写真 1 霜箱 1 号

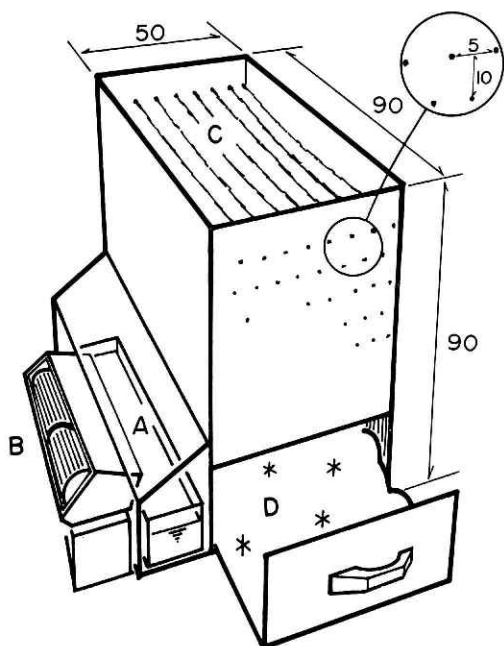


図 1 霜箱 1 号の構造
A 蒸発槽 B 送風機 C 麻紐 D 引出（単位 cm）

られた。

霜が十分に成長するのを待って、霜箱に棒を差し込み麻紐に軽く振動を与えると、霜は簡単に落下し引出に入る。

このようにして製造した霜はいかにも新雪を感じさせるものであり、 -20°C という雰囲気のおかげ、手で握ってもまたすぐ元に戻るような弾力性を示し、色相、形状、感触から物品の輸送時に使う小さな短冊状をしたビニール片の防振材のような印象を受けた。

霜箱1号の製霜能力（一日間で製造できる霜の量）の最大値は、低温室の気温（床から 2.5 m の高さで測定） -23°C 、蒸発槽の水温 32°C 、霜箱内の気温 -14°C という条件下で、3.5 kg/日（霜の密度 0.04 g/cm^3 、羊歯状結晶）であった。

霜箱1号を用いると、期待どおりの結晶形および密度の霜が製造可能であるこ

とが判明したが、霜の製造量が少なかったため、その大量製造を目指して霜箱2号を作製した。

3. 霜箱2号の構造とその製霜能力

霜箱2号は図2および写真4、5に示すように、水平投影面積で1号器の約4倍の大きさを有するものである。その構造は基本的には1号器と変らず蒸発槽(A)、送風機(B)、麻紐群(C)、および引出(D)で構成されているが規模の拡大に応じて送風機を4台（風速 4.2 m/sec 消費電力 $25\text{ W}\times 3$ 台、 4.1 m/sec $26\text{ W}\times 1$ 台）に増やしたこと、水温調節用の電熱線の発熱量を大きくしたこと（ 2.2 kW ）、麻紐の数を多くしたこと（150～282本）および給水タンク(E)を設けたことなどが異なる点である。

霜箱2号内で霜の生長の様子および製造された霜の様子は写真6、7に示すとおりで、この時、箱内の麻紐の水平間隔は 6 cm なので、霜は製造開始後 2.5 時間で直径 3 cm の円柱状に成長していることがわかる（低温室内気温 -20°C 、蒸発槽の水温 30°C 、霜箱内の気温 -14°C ）。

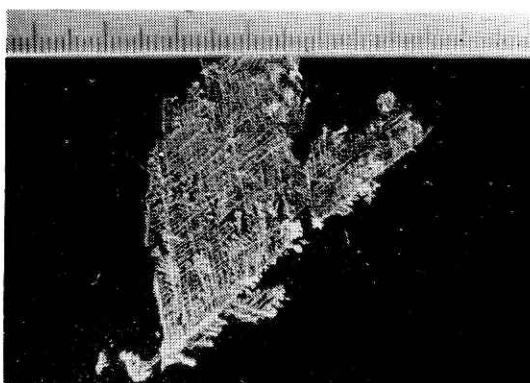


写真2 大きな羊歯状の霜（最小目盛が 1 mm）

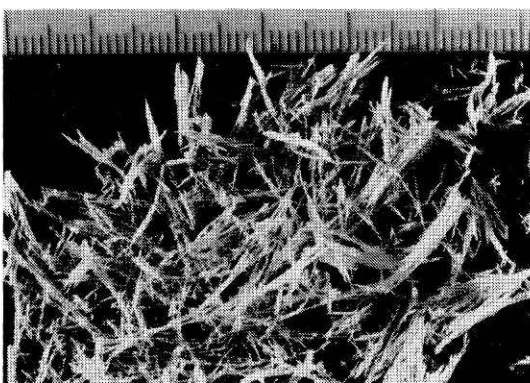


写真3 針状の霜（最小目盛が 1 mm）

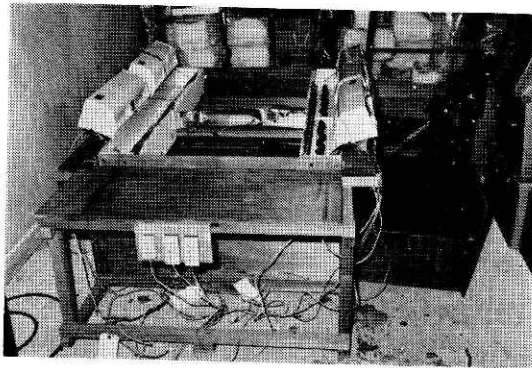
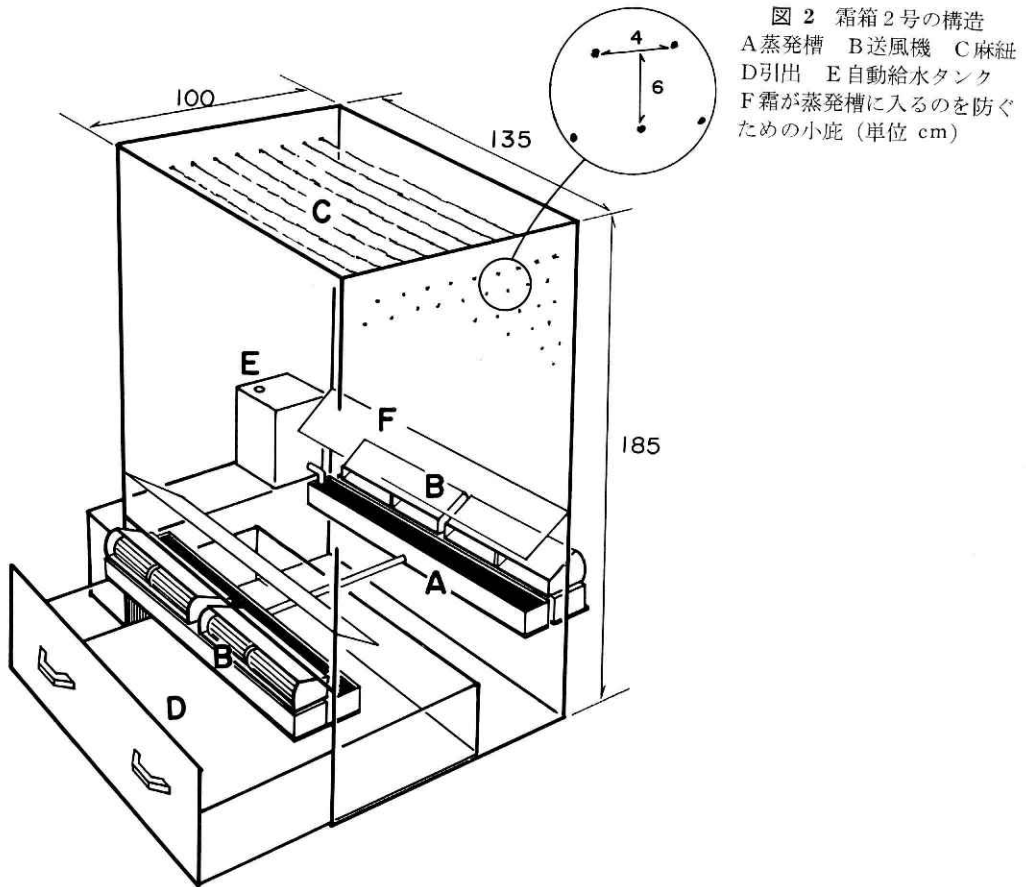


写真 4 霜箱 2 号の内部構造

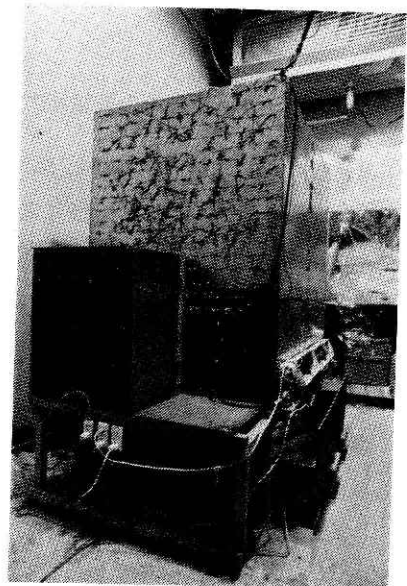
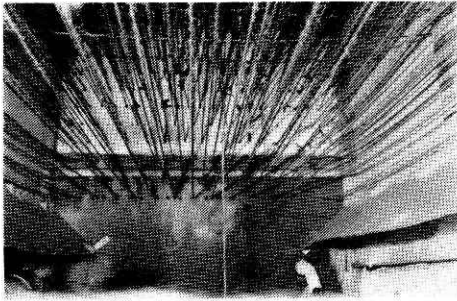


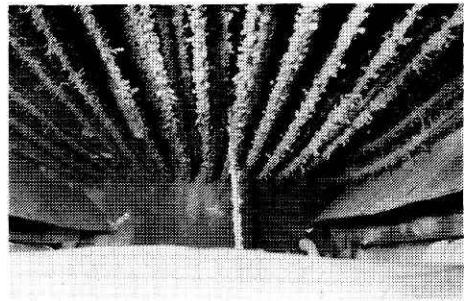
写真 5 霜箱 2 号の外観

霜箱 2 号による霜の製造試験の結果を示すと表 1 および図 3 のようになり，それぞれのグループ別にみると製霜能力は霜箱内の気温の低下とともに増加する傾向がみられる．また，水温が低くなると製霜能力は小さくなり，特に 10°C の場合にはほとんど 0 kg/日 であった．さらに，紐の数が多の方が製霜能力が大きい，この点については紐の数が多すぎると水蒸気の上昇が妨げられ，かえって製霜能力が低下する恐れもあり注意を要する．霜箱の規模や能力，形に応じた最適の紐数があるものと思う．

なお，霜の密度は霜箱内の気温が高くなるに従い大きくなっている（試験番号 6, 18, 19, 20）が，それはできた霜の結晶が小さかったことによるものと思う．



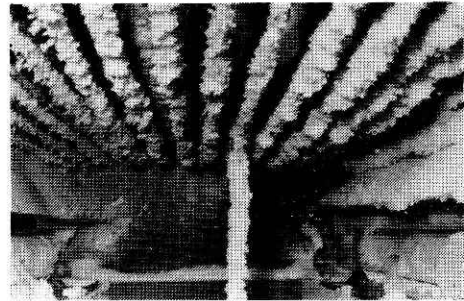
6.1 霜の製造開始直前



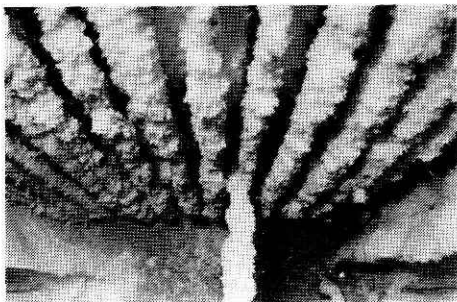
6.2 霜の製造開始 30 分後



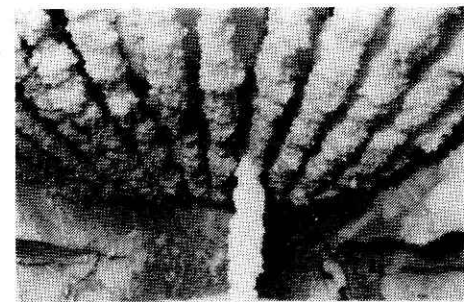
6.3 1 時間 30 分後



6.4 2 時間 30 分後



6.5 3 時間 30 分後



6.6 4 時間後

写真 6 霜の生長状況

霜箱 2 号の製霜能力の最高値は低温室の
気温 -23.4°C 、蒸発槽の水温 30°C 、霜箱
内の気温 -17.2°C という条件下で 12.3
 kg/日 (霜の密度 0.03 g/cm^3 , 羊菌状結晶)
であった (表 1 中の試験番号 No. 1).

なお、霜箱を稼働させる時には低温室の冷却機のフィンコイルへの着霜が激しく、たとえ除霜直後に霜の製造を開始しても数日後には再び除霜をしなければならない程度であった。ちなみに、蒸発槽での水の消費量と霜の製造量とを比較すると、消費した水の6割以上が霜箱外へ逃げていることになり、この大部分がフィンコイルへ着霜しているものと思われる。

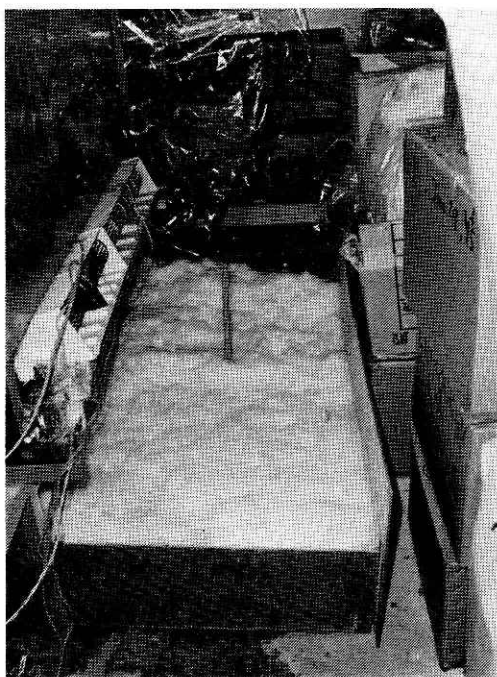


写真 7 製造された霜 (製造時間 17.5 時間)

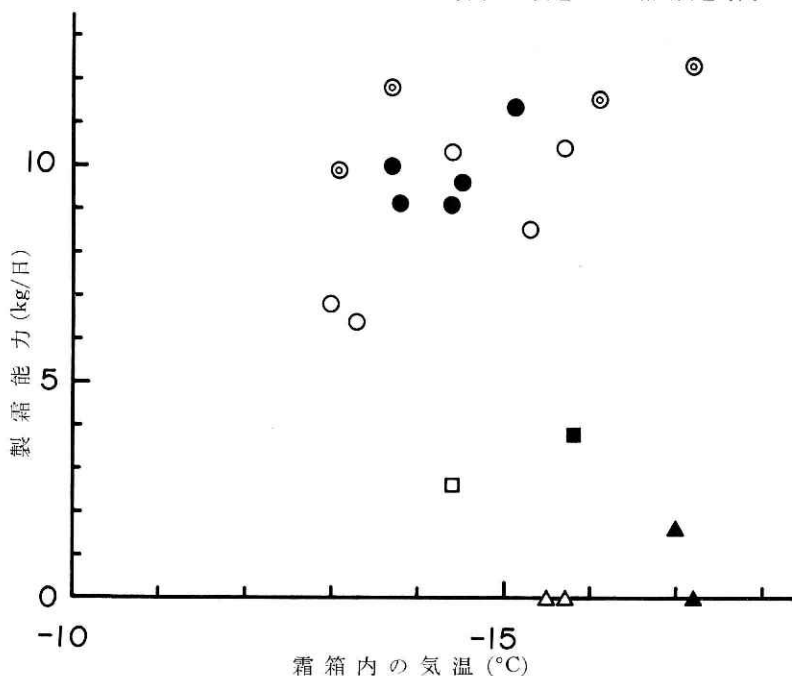


図 3 霜箱 2 号の製霜能力

各記号における蒸発槽の水温、麻紐の数は次のとおり

● 30°C, 250 本	○ 30°C, 151 本	■ 20°C, 250 本	□ 20°C, 151 本
▲ 10°C, 250 本	△ 10°C, 151 本		

表 1 霜箱 2 号での製霜試験の結果

試験 番号	低温室の 気温 ¹⁾ (°C)	蒸発槽の 水温 (°C)	麻紐の数の (本)	霜箱内の 気温 ²⁾ (°C)	製造され た霜の量 (kg)	製造時間 (時間)	製霜能力 (kg/日)	霜の密度 (g/cm ³)	落霜時間間 隔 ³⁾ (時間)
No. 1	-23.4	30.0	282	-17.2	4.6	9.0	12.3	0.03	3
2	-23.0	29.0	"	-16.1	4.3	9.0	11.5	0.02	3
3	-21.0	30.0	151	-14.4	4.0	9.3	10.3	0.03	3
4	-21.5	30.0	"	-15.7	3.8	8.8	10.4	0.03	試験終了時
5	-21.0	30.0	"	-15.3	3.1	8.8	8.5	0.03	"
6	-18.0	30.0	"	-13.0	2.5	8.8	6.8	0.05	"
7	-18.0	20.0	"	-14.4	1.0	9.1	2.6	0.03	"
8	-18.5	10.0	"	-15.7	0	7.4	0	—	"
9	-18.5	10.0	"	-15.6	0	7.6	0	—	"
10	-19.0	30.0	"	-13.3	2.1	7.7	6.5	0.04	"
11	-21.5	30.0	250	-14.4	6.8	17.5	9.3	0.03	9
12	-21.0	30.0	"	-15.1	3.9	8.3	11.3	0.03	3
13	-20.5	30.0	"	-14.5	3.6	9.0	9.6	0.03	試験終了時
14	-20.0	20.0	"	-15.8	1.4	8.9	3.8	欠測	3
15	-20.0	10.0	"	-17.0	0.6	9.0	1.6	"	3
16	-20.5	10.0	"	-17.2	0	9.0	0	—	試験終了時
17	-19.5	30.0	"	-13.8	3.4	9.0	9.1	欠測	3
18	-19.5	30.0	"	-13.7	3.9	9.3	10.1	0.06	試験終了時
19	-20.0	30.0	282	-13.7	3.0	6.1	11.8	0.05	3
20	-20.3	30.0	"	-13.1	3.7	9.0	9.9	0.05	試験終了時

1) 床から 2.5 m の高さでの測定

2) 90 cm×70 cm の面積を有する壁に張った麻紐の数

3) 麻紐群の最下端付近での測定

4) 霜の揺り落しは定期的に行なったが、その時間間隔を表わす。試験終了時とは試験終了時のみに揺り落したことを意味する。

4. 霜の製造量を増加させるための一つの試み

霜の製造量を増加させるための一方法として蒸発槽の水面からの蒸発量を増加させることを考え、そのための装置として回転網を考案し、その蒸発促進効果の測定を図 4 に示すような試験用の霜箱を用いて行なった。

回転網というのは図 4 および写真 8 に示すように、円形に切った 21 枚の金網を 2 cm 間隔で連ねたもので、金網の直径は 9 cm、網目の間隔は 1.8 mm である。これを蒸発槽の水にその

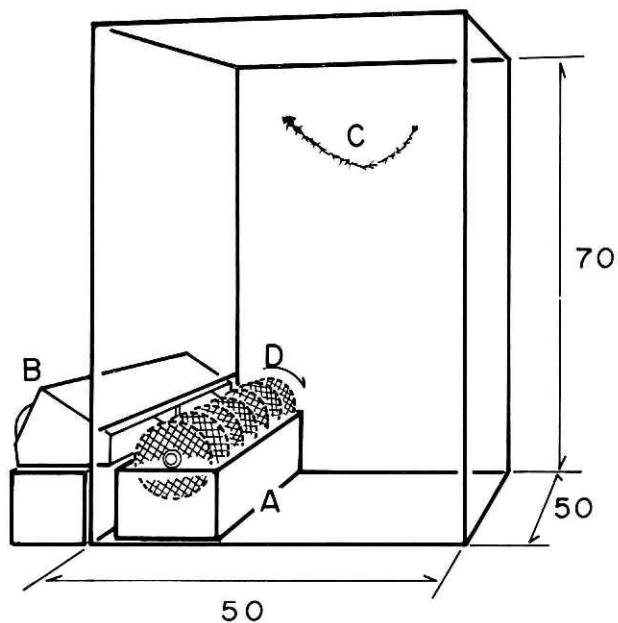


図 4 回転網の蒸発促進効果を測定するための試験用霜箱
A 蒸発槽 B 送風機 C 麻紐 D 回転網（単位 cm）

一部が浸るように装着し、毎秒0.8回の割合でゆっくり回転させると、水中に没していた部分も回転につれて網目に水を含んだまま次第に水面から露出するが、網目に張った水膜はその部分が再び水中に没するまで凍結することはない（ただし、水膜が破れることは時々あった）。このため各網の網目に張った水の両側面がそれぞれ水面の一部をなすと考えられるから蒸発面

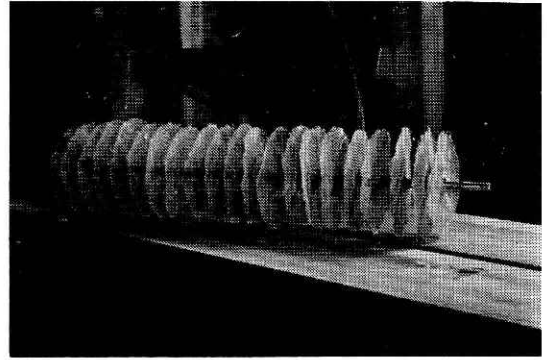


写真 8 回 転 網

積としては水面から露出した部分の面積の2倍だけ増加することになる。

回転網の装着時と無装着時の水の蒸発量を測定してみると、図5のようになっており、蒸発量は水温にかかわらず装着時の方が3倍位大きくなっており、箱内にただ一本張った麻紐への着霜量も、蒸発量の増加に従って大きくなっていることがわかる。回転網を装着した時蒸発面積は無装着時の約4倍であるから、この回転網の蒸発促進効率（蒸発量の増加率÷蒸発面積の増加率）は約70%であり、かなりよい蒸発促進効果を示している。

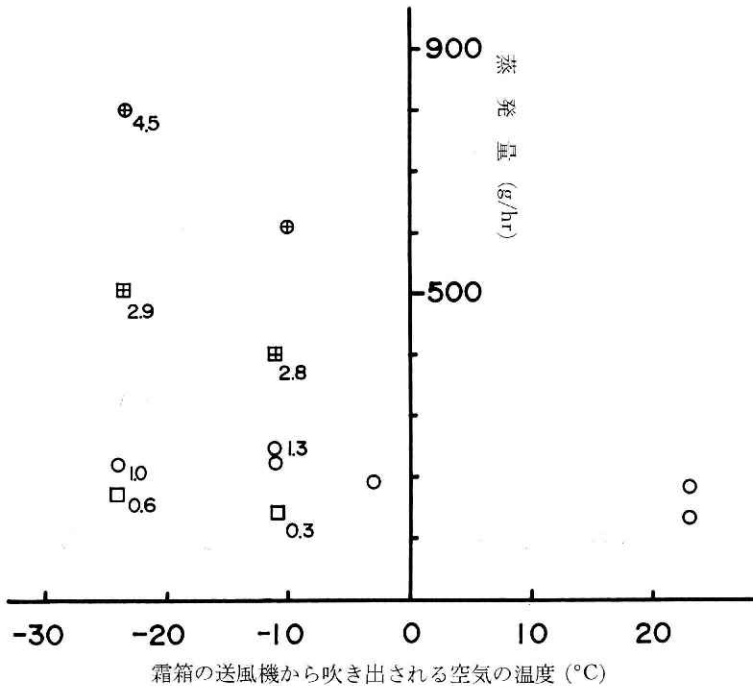


図 5 回転網による水の蒸発促進効果
 ⊕ 回転網装着, 水温 30°C ○ 無装着, 30°C 田 装着, 20°C
 □ 無装着, 20°C 添字は麻紐にできた霜の量 (g/hr)

回転網を実際に霜箱に装着した場合、その蒸発量の増加がそのまま霜の製造量の増加につながるわけではなかろうが、水蒸気を捕捉する機構は蒸発機構に無関係であるから、このような工夫をすれば霜の製造量の増加が期待できるし、霜箱の小型化も可能である。

5. む す び

天然の新雪の代わりに大量の霜を用いることを考え、霜の製造装置“霜箱”を作った。これは蒸発槽、麻紐群、送風機および引出から構成されており、その霜の製造試験を行なったところ次のことが判明した。

1) 90 cm×90 cm×50 cm の大きさをもつ霜箱1号の製霜能力は最高 3.5 kg/日 (密度 0.04 g/cm³, 羊歯状結晶) で、185 cm×135 cm×100 cm の霜箱2号の場合には 12.3 kg/日 (0.03 g/cm³, 羊歯状結晶) であった。

2) 霜箱内で霜とならないで外へ逃げる水蒸気の量は、消費した水の6割以上を占めており、このため低温室の冷却機のフィンコイルへの着霜が激しい。それゆえ霜の製造に使用する低温室は除霜の容易な冷却器を備えていることが望ましい。

3) 回転網は水の蒸発量を増加させるのにかなり有効で、これを用いると製霜能力の向上や霜箱の小型化が期待できる。

なお、霜箱で製造した霜と天然の新雪との類似性についてのさらに詳しい検討を今後行なう予定である。

おわりに

霜箱の作製にあたっては、当新庄支所の阿部修技官の御協力を得ました。また、この報告を書くに際し中村勉研究室長(現支所長)に有益な助言をいただきました。ここに記し深く感謝いたします。

本研究は科学技術庁試験研究所経常研究費によって行なわれた。

参 考 文 献

- 1) 中谷宇吉郎(1949): 雪の研究——結晶の形態とその生成。岩波書店。

(1977年12月6日原稿受理)