

# 小形製氷機の性能

## Characteristics of Small Size Ice Maker

松村 帝男\*  
Kimio Matsumura

松居 潔史\*  
Kiyoshi Matsui

小林 博\*  
Hiroshi Kobayashi

### 要 旨

これまで内外各社で製造している製氷機は製氷能力が30~200 kg/dayの大形の製品が多く、価格も高価である。需要先は主として喫茶店、レストランなどの飲食店や病院、ホテルなどであって大形業務用としての需要を満たすものである。

最近、小規模の業務用あるいは家庭用として、さらに容量の小さい製氷機を要求する声が大きくなってきたので、製氷能力15 kg/dayの小形自動製氷機を開発し販売を開始した。

本稿はこの小形自動製氷機の製氷性能および制御方式について報告するものである。

### 1. 緒 言

現在、国内で販売されている製氷機は日立製作所をはじめ国内メーカー品および輸入品など多くあるが、いずれも製氷能力が30~200 kg/dayという大形の製品が多く30 kg/day以下のものは2, 3機種あるにすぎない。これらの大形製品は価格が高く需要先も氷の使用量の多いところに限られている。需要先は大別して喫茶店、レストランなどの飲食店と病院、ホテルなどに分けられるが、これら需要先の小規模のもの、あるいは大容量のものを分離して設置することを希望するものには適していない。

近年、氷の需要量は大幅に増大しており、小規模業務用、あるいは家庭用としてまで製氷機を要望する声が大きくなってきている。このような用途に適応する製氷機として日立製作所では今回、製氷能力が15 kg/dayの小形自動製氷機 RIC-18 形を開発し、発売を開始した。

本機は小形で、かつ低価格を実現するため、製氷機構としては平板の蒸発器の上に水を循環せしめて板状の透明氷を作り、これを蒸発器と分離したのち、格子状の熱線によって角氷に切断する方式のものである。さらにこれに安定した自動運転を行なわせるための新しい制御方式を採用した。以下、RIC-18 形製氷機の製氷性能および制御方式の開発経過について述べる。

### 2. 製氷性能の検討

#### 2.1 目標性能

図1および図2はRIC-18形製氷機の外観および内観を示したものである。

製氷性能に関する目標性能は次のように設定された。

- (1) 製氷能力は電源周波数50 Hzで15 kg/dayとする(一般に60 Hzで運転すると能力は約15%増加する)。
- (2) 貯氷室の内部の平均温度は3°Cにする。貯氷室内の温度をマイナスにするとヒータで切断された氷が貯蔵中に再結氷してしまう。また貯氷室内の温度を高くすると溶解速度が早くなる。
- (3) 生成される氷の厚さは20 mmとする。

#### 2.2 冷凍サイクルの検討

製氷能力と冷凍サイクルの冷凍能力との関係は(1)式および(2)式で表わされる。

$$W(C_1T_1 + q - C_2T_2) = N_r Q_r - G_e C_3(T_4 - T_3) - N_h Q_h - 24(Q_1 + Q_2 + Q_3) \dots\dots\dots (1)$$

$$N_h Q_h = -WC_2T_2 + wq + G_e C_3(T_4 - T_3) \dots\dots\dots (2)$$

\* 日立製作所栃木工場

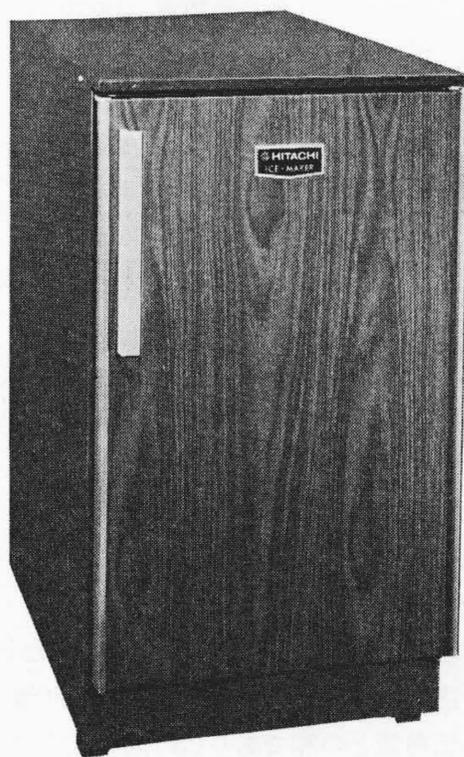


図1 RIC-18形製氷機

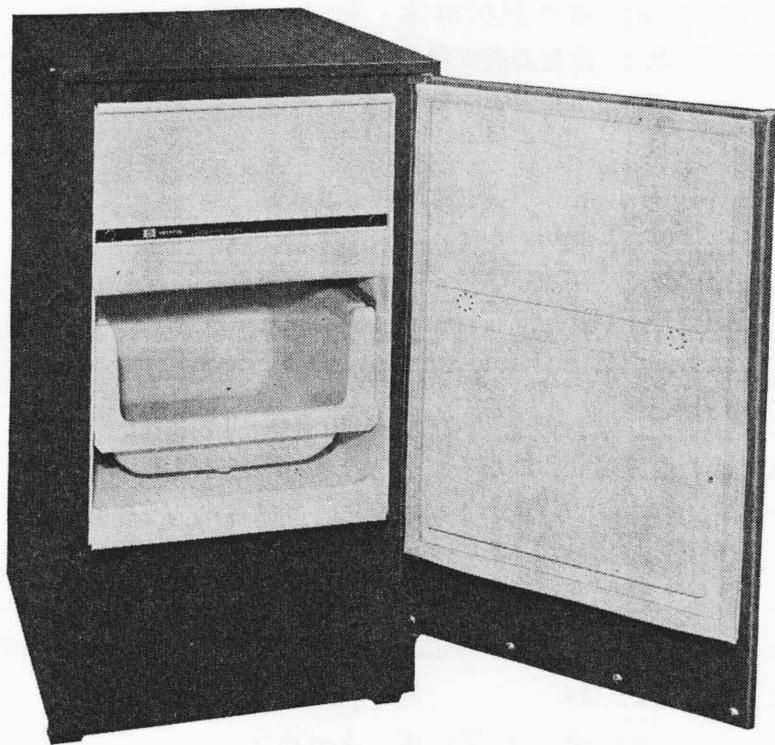


図2 RIC-18形製氷機の内観

ここで、 $W$ : 製氷能力 (kg/day)  
 $Q_r$ : 冷凍能力 (kcal/h)  
 $Q_h$ : ホットガス熱量 (kcal/h)

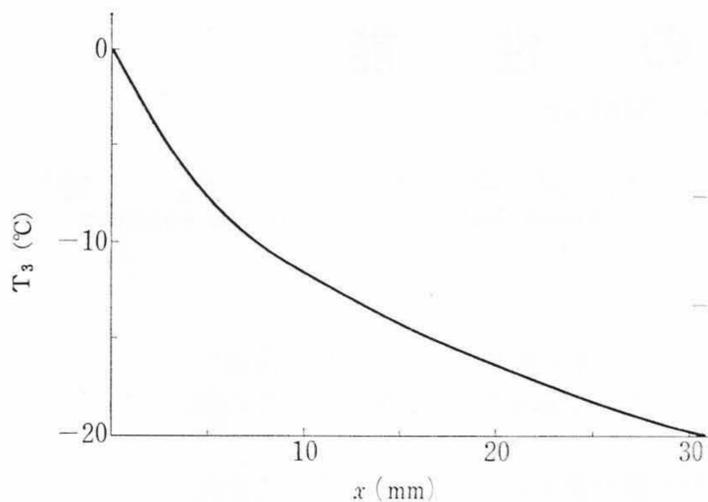


図3 氷の厚さ  $x$  と蒸発器温度  $T_3$  との関係

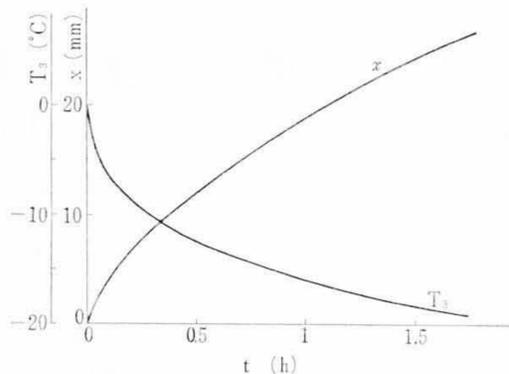


図4 水温が  $0^\circ\text{C}$  になってからの経過時間  $t$  と蒸発器温度  $T_3$ 、氷の厚さ  $x$  との関係

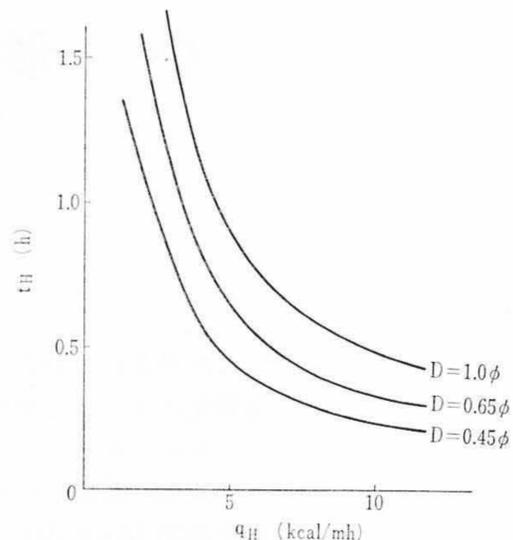


図5 ヒータ線径による単位長さあたりの発熱量  $q_H$  と切断時間  $t_H$  との関係

- $Q_1$ : キャビネットの熱漏えい量 (kcal/h)
- $Q_2$ : カットヒータの発熱量 (kcal/h)
- $Q_3$ : ポンプモータの発熱量 (kcal/h)
- $C_1$ : 水の比熱 (kcal/kg $^\circ\text{C}$ )
- $C_2$ : 氷の比熱 (kcal/kg $^\circ\text{C}$ )
- $C_3$ : 蒸発器の比熱 (kcal/kg $^\circ\text{C}$ )
- $q$ : 氷の融解, 凝固潜熱 (kcal/kg)
- $T_1$ : 給水温度 ( $^\circ\text{C}$ )
- $T_2$ : 凍結時の氷の平均温度 ( $^\circ\text{C}$ )
- $T_3$ : 製氷運転時の蒸発器の平均温度 ( $^\circ\text{C}$ )
- $T_4$ : ホットガス運転終了時の蒸発器の平均温度 ( $^\circ\text{C}$ )
- $N_r$ : 1日の冷凍運転時間 (h)
- $N_h$ : 1日のホットガス運転時間 (h)
- $w$ : ホットガス運転中に融解する氷量 (kg/day)
- $G_e$ : 蒸発器の重量 (kg)

また、製氷運転中に蒸発器が吸収する熱量、すなわち冷凍能力  $Q_r$  は直接蒸発器の空気冷却面からの伝熱量と水より氷を通して蒸発器の製氷面からの伝熱量との和であり(3)式が成立する。

$$Q_r = \alpha_e S_e' (T_i - T_3) + \lambda S_e / x (T_0 - T_3) \dots\dots\dots (3)$$

- ここで、 $\alpha_e$ : 蒸発器の表面熱伝達率 (kcal/m $^2$ h $^\circ\text{C}$ )
- $\lambda$ : 氷の熱伝導率 (kcal/mh $^\circ\text{C}$ )
- $S_e'$ : 蒸発器表面積(貯氷室内側 冷却面) (m $^2$ )
- $S_e$ : 蒸発器表面積(製氷側 冷却面) (m $^2$ )
- $x$ : 氷の厚さ (m)
- $T_i$ : 貯氷室内温度 ( $^\circ\text{C}$ )
- $T_0$ : 凍結面を流れる水の温度 ( $^\circ\text{C}$ )

冷凍用圧縮機の仕様を一定とすると蒸発器上に氷板が生成していくにしたがって伝熱条件が悪くなるので蒸発器温度は低下し、同時に冷凍能力も減少する。(3)式の関係を図に表わすと図3のようになる。

次に水の温度が  $0^\circ\text{C}$  になってからの氷の厚さと製氷時間の関係を求めると、(4)、(5)式のようになる。

$$\lambda \frac{S_e}{x} (T_0 - T_3) dt = S_e \gamma q dx + \alpha_e' S_e (T_i' - T_0) dt + Q_p dt + \alpha_w S_w (T_i - T_w) dt \dots\dots\dots (4)$$

- ここで、 $t$ : 時間 (h)
- $\gamma$ : 氷の比重 (kg/m $^3$ )
- $\alpha_e'$ : 凍結面上を流れる水と貯氷室内空気との熱伝達率 (kcal/m $^2$ h $^\circ\text{C}$ )
- $\alpha_w$ : 貯水槽(そう)表面の熱伝達率 (kcal/m $^2$ h $^\circ\text{C}$ )
- $Q_p$ : ポンプから水に伝わる熱量 (kcal/h)
- $S_w$ : 貯水槽表面積 (m $^2$ )

- $T_w$ : 貯水槽表面温度 ( $^\circ\text{C}$ )
  - $T_i'$ : 蒸発器上部の空気温度 ( $^\circ\text{C}$ )
- $\alpha_e' S_e (T_i - T_0) + Q_p + K_w S_w (T_i - T_w) = Q_L$  とすると

$$\int dt = \int \frac{S_e \gamma q x}{\lambda S_e (-T_3) - Q_L x} dx \dots\dots\dots (5)$$

(4)、(5)式に基づいて氷の厚さ  $x$  および蒸発器の平均温度  $T_3$  と水が  $0^\circ\text{C}$  になってからの製氷時間  $t$  との関係を求めると図4のようになる。

### 2.3 冷凍サイクルの設定

上記計算結果に基づいて目標値を満足する圧縮機を選定し、冷凍サイクルを設定した。

圧縮機は全密閉形 100 W を使用し、氷の厚さを 20 mm にすると製氷時間は約 1 時間 20 分、ホットガス運転時間は 10 分になり、そのときの製氷能力は 16.2 kg/day になる。

## 3. 制御方式の検討

### 3.1 カットヒータによる氷切断

本製氷機の氷の切断は格子状に張ったヒータ線で行なうようにしたが、製氷能力および貯氷室内温度を考慮すると、その入力は極力少ないほうが望ましい。そこで、数種の線径のヒータ線について、その発熱量を変えたときの切断性能について検討した。

切断終了までの氷融解量とヒータ線の入力を等しくした場合(6)式が成立する。

$$2(D + \Delta D)(x - \Delta x) l \gamma q = q_H l t_H \dots\dots\dots (6)$$

- ここで、 $D$ : ヒータ線径 (m)
- $D + \Delta D$ : ヒータによる氷の切断みぞ幅 (m)
- $x$ : 切断前の氷の厚さ (m)
- $\Delta x$ : 切断中に融解する氷の厚さ (m)
- $q_H$ : ヒータ線の単位長さあたりの発熱量 (kcal/mh)
- $t_H$ : 切断時間 (h)
- $l$ : 氷を切断するヒータ線の長さ (m)
- $\gamma$ : 氷の比重 (kg/m $^3$ )
- $q$ : 氷の融解, 凝固潜熱 (kcal/kg)

これを整理すると、

$$t_H = \frac{2(D + \Delta D)(x - \Delta x) \gamma q}{q_H} \dots\dots\dots (7)$$

ヒータ線径  $D$  を変えた場合のヒータ線の単位長さあたりの発熱量  $q_H$  と切断時間  $t_H$  との関係を実測した結果は図5に示すとおりである。

上記結果および製氷時間とヒータ線の抗張力をもとに、ヒータ線径と長さおよび電源電圧を決定した。

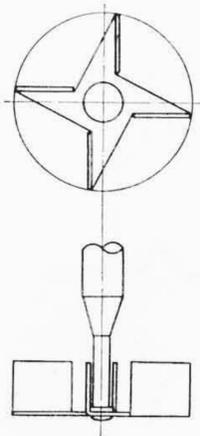


図6 羽根車の形状

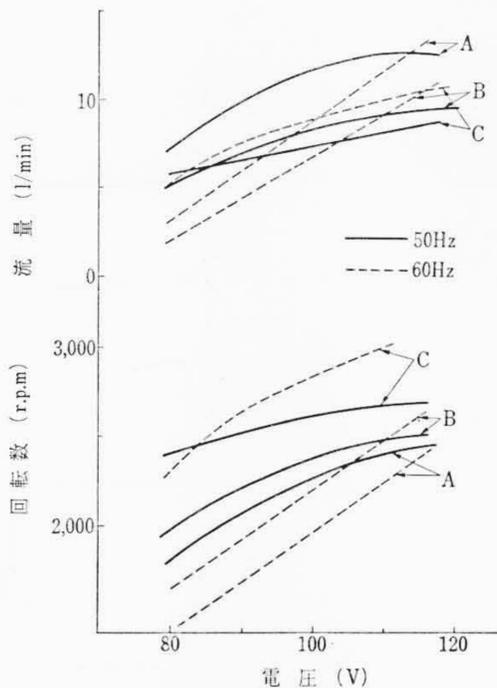


図7 供試羽根車の電圧変動に対する流量の変化

表1 水質と電気伝導度の関係

試料	電気伝導度 ( $\mu\Omega/\text{cm}$ )
総硬度 20 ppm	$0.75 \times 10^2$
総硬度 20 ppm + 塩素イオン 5 ppm	$0.97 \times 10^2$
総硬度 40 ppm + 塩素イオン 2 ppm	$1.27 \times 10^2$
栃木工場飲料水	$1.75 \times 10^2$
アメリカミネラルウォーター (シカゴ)	$2.29 \times 10^2$

### 3.2 循環ポンプ

#### (1) 駆動用モータ

流量  $Q$ , 全揚程  $H$  なるポンプ出力を得るための所要モータ出力  $W_p$  は(8)式で表わされる。

$$W_p = \frac{Q \times H}{6.12 \eta} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $W_p$ : モータ出力 (W)  
 $Q$ : 流量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )  
 $H$ : 全揚程 (m)  
 $\eta$ : 羽根車効率 (%)

循環水量および全揚程によって求められる駆動所要動力はきわめて小さいのでくま取形誘導電動機を採用した。

#### (2) 羽根車

羽根車は図6に示す形状のもので、取り付けなどの許す範囲内で各寸法を変え電圧を変化させた場合の特性の変化を測定した。図7はその結果を示したものである。

供試品A, Bのような羽根車は電圧変動に対して流量の変化が大きく、くま取形誘導電動機と組み合わせて使用するには適していない。供試品Cのような羽根車は電圧変動に対して回転数の変化も少なく流量の変動も少ない。また羽根車ケーシングは水槽内に全部浸漬する構造である。

### 3.3 水位検出装置

生成される氷の大きさ、主として厚さは外的要因(たとえば、外気温度あるいは給水温度)の変動により変化してはならない。

RIC-18形製氷機では貯水槽の水位を検出する方法として、ステンレス製の3本の電極により水の導電性を利用して継電器を動作させる方式を採用した。継電器の動作により製氷運転とホットガス運転の相互の切換を行なう。

水の導電性は主として塩素イオン濃度および総硬度によって決まる。上水道統計に基づいて数種類の試料を作りその導電性を測定した結果は表1に示すとおりである。

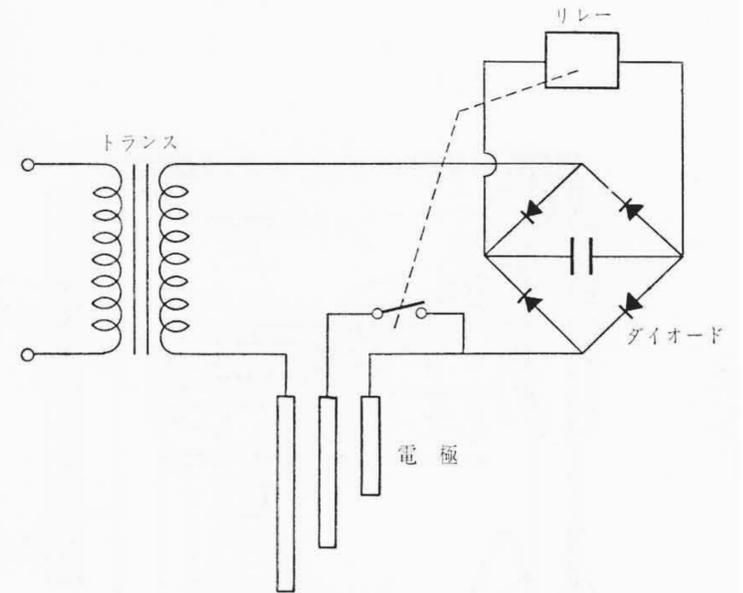


図8 水位検出装置の電気回路

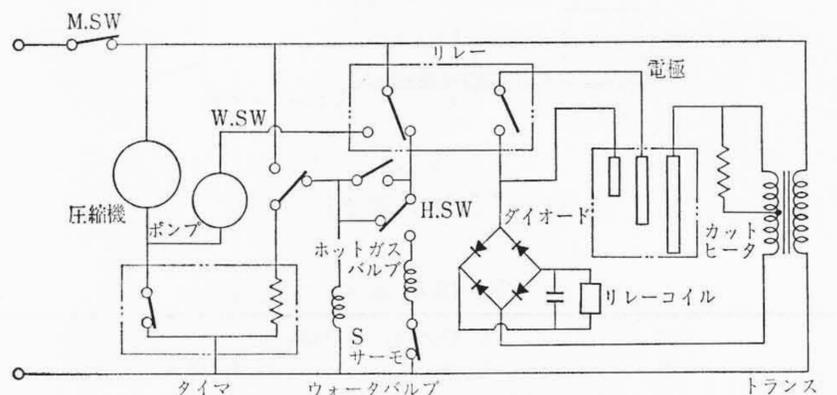


図9 RIC-18形製氷機の電気回路

これらをもとにして水位制御回路を図8のように決め、その仕様を決定した。

### 3.4 電気回路

図9はRIC-18形製氷機の電気回路を示したもので、回路の設計にあたっては次の諸点に留意した。

- (1) 給水から氷の切断、貯蔵などの運転がすべて自動的に行なわれること。
- (2) 外部給水源がシャ断された場合、あるいは水圧が異常に低下した場合運転を自動的に停止し、かつ自動的に復帰する安全装置を有すること。またホットガス運転の異常に際しても安全装置を有すること。
- (3) 外的要因の変動に際して氷の厚さおよび貯氷量に変化がないこと。

## 4. 構造

以上述べたような検討に基づき図10および表2に示すような構造および仕様を決定した。

構造および仕様は次に述べるような品質あるいは取り扱い上の特長をもつよう考慮されたものである。

- (1) 長時間運転すると内部が水あかななどで汚れるので、内部の清掃が簡単に行なわれるようにした。とくに貯水槽と貯氷槽は取りはずしを可能にした。
- (2) 製氷機は内部が常に100%近い高湿度になるので、吸湿による断熱性能の劣化を防ぐため独立気泡の硬質ウレタンフォームを外板に一体発泡させた。
- (3) 電気品の保守および点検などのサービス作業が簡単に行なえるよう継電器などの電気品はボックス内に収納し、本体の前面のカバーを取りはずすことにより上記作業ができるようにしてある。

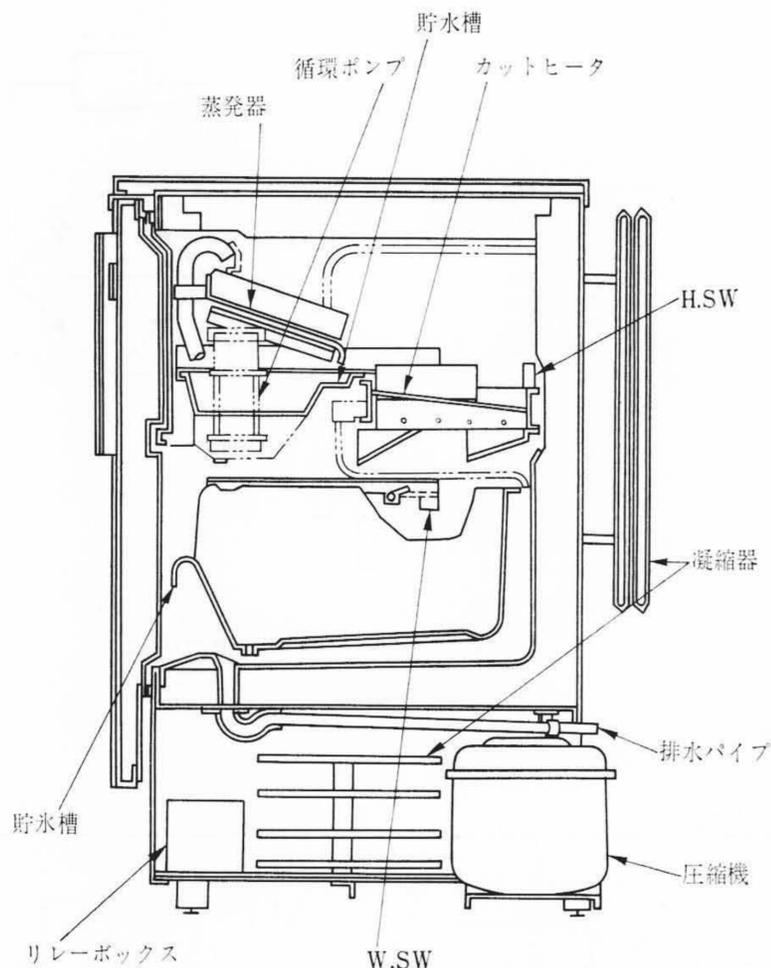


図10 RIC-18形製氷機の構造

表2 RIC-18製氷機の仕様

キャビネット	外法寸法 外箱仕上 断熱材 扉	幅450×高さ840×奥行685 高級アクリル樹脂焼付塗装 硬質ポリウレタンフォーム 被覆鋼板
性能	製氷能力 貯氷量 氷形状	15/17 kg/day (50/60 Hz) (外気温度25°C, 水温15°C) 9 kg 20 mm×30 mm×30 mm 透明角氷
冷凍装置	圧縮機 蒸発器 凝縮器 冷媒制御 冷媒	出力100 W 全密閉形圧縮機 アルミオンシート ワイヤオンパイプ自然空冷式 キャピラリーチューブ R-12
給水装置	給水管 循環ポンプ 貯水槽容積	水道直結 PT 1/2" 揚程0.2 m 流量5.5 l/min以上 2 l
製氷方式	氷結方式 離氷方式 切断方式	流動水氷結方式 ホットガス加熱方式 格子状熱線切断方式
	製氷指示 離氷指示 給水制御 貯氷量制御	氷板落下検出 定水位検出継電器 (OFF動作) 定水位検出継電器 (ON動作) 重量検出方式
貯氷槽	消費水量 消費電力 製品重量	容積16 l, 取りはずし可能 24/27 l/day (50/60 Hz) 170/190 W/day (50/60 Hz) 45 kg

5. 性能

5.1 製氷特性

外気温度25°C, 給水温度15°C, 100 V, 50 Hzで製氷機を運転し、運転が安定した時の各部の温度、圧力を示すと図11のようになる。この場合の1サイクルあたりの製氷時間は75分、ホットガス運転時間は10分、製氷量は0.95 kgになり製氷能力は16.1 kg/dayである。

5.2 外気温度特性

外気温度の変化に対する製氷能力の変動は図12に示すとおりである。

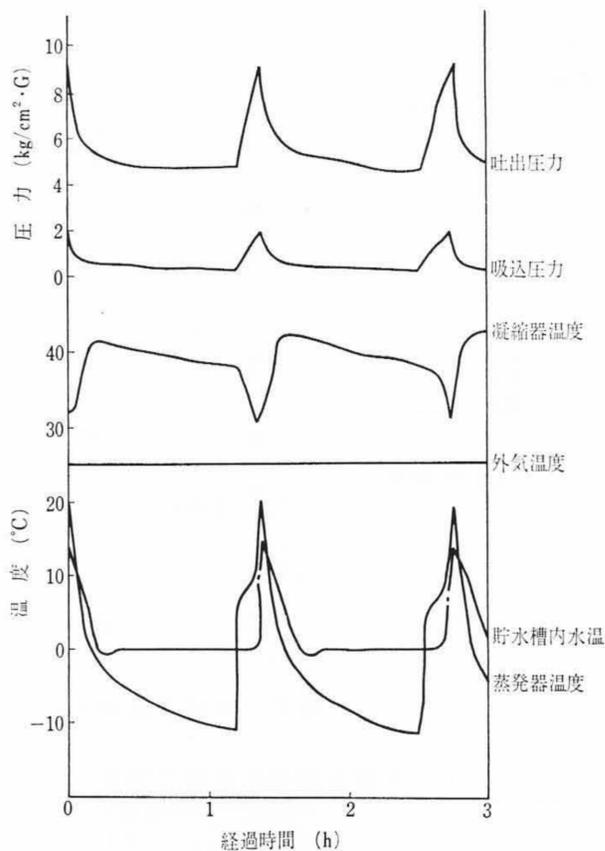


図11 製氷特性

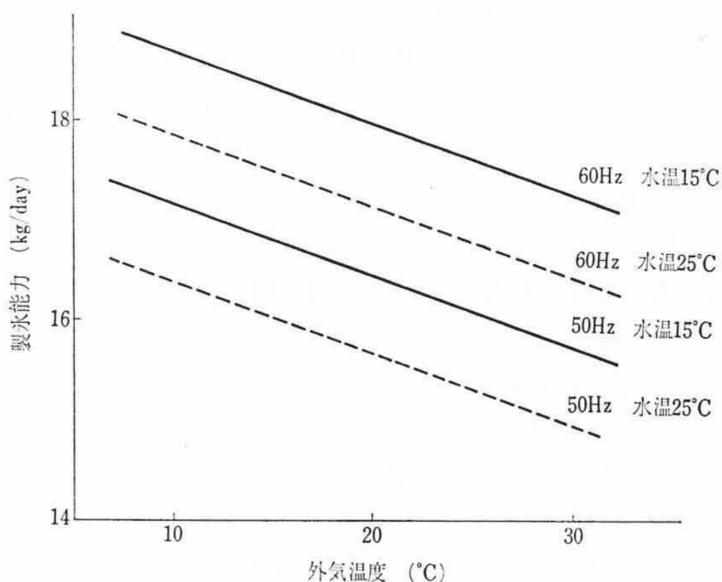


図12 外気温度特性

6. 結 言

以上をまとめると次のようになる。

- (1) 平板状の蒸発器に水を流して透明氷をつくり、これを角氷に切断する構造の簡単な製氷機構を確立することができた。
- (2) 外気温度および給水温度の変化による影響を全くうけない氷厚制御機構を完成することができた。
- (3) 貯氷量の制御および断水、低水圧保護装置に新しい方式を採用したので、より確実に安定した自動制御機能を発揮せしむることができた。
- (4) 給水中に含まれている鉄クズおよび水アカなどによる内部の汚れを簡単に清掃できるような構造にして使用の便を図った。
- (5) 電気品の保守および点検などのサービス作業が簡単に行なえるように電気品を1個のボックス内に吸収し、本体前面より上記作業を行なうようにした。

参 考 文 献

- (1) 日本水道協会編：上水道統計
- (2) 冷凍と冷房：88 (1967-8)