

冷蔵庫の庫内温度分布

Temperature Distribution in the Refrigerator

藤 橋 保 二* 名古屋 純 也* 小 林 延 行*
Yasuji Fujihashi Yoshinari Nagoya Nobuyuki Kobayashi

内 容 梗 概

冷蔵庫の庫内温度分布および冷却性能は、内箱の材質と形状、断熱材の熱貫流率および貯蔵庫内にある各種部品の位置、形状などによって大きく左右される。
本文は最も一般的な全幅U字形のドア付蒸発器を貯蔵庫内上部に有している小形冷蔵庫において、最近用いている硬質塩化ビニール樹脂製内箱の材質、およびたな網支持用凸起、下げ底などの形状、また露受皿と内箱壁とのすき間などが庫内の温度分布および冷却性能にどのように影響するかを無負荷の状態で検討したものである。

1. 緒 言

一般にドア付蒸発器を貯蔵庫内上部に設置した冷蔵庫では、蒸発器で冷却された冷気は蒸発器の直下に設置してある露受皿と内箱背壁とのすき間を通り背壁に沿って庫内に降下する。降下する冷気は背壁および庫内の暖気と熱交換して温度が高くなり、ついには前部ドア側に回転して上昇し、露受皿の前方を通過して蒸発器へと循環する。以上のような庫内対流が生ずるので露受皿と内箱背壁とのすき間および背壁の温度は庫内の温度分布および冷却性能に対して重要な因子となっている。
最近合成樹脂板の品質およびその成形技術が著しく進歩したので、従来の鉄板製内箱（以下鉄内箱と呼ぶ）に代わって合成樹脂製内箱（以下プラ内箱と呼ぶ）を用いるようになってきた。プラ内箱は鉄内箱よりも製造設備が簡単で容易に製作でき、またたな網などをささえる部品などを同時に製作できるので安価になり、量産性に富む利点を有している。プラ内箱は鉄内箱に比べて熱容量および熱伝導率が小さく、さらにたな網および露受皿支持用の凸起、下げ底などの独自の形状を有しているため、庫内の温度分布および冷却性能は鉄内箱の場合と異なってくる。
本報告は上述した諸因子によって庫内の温度分布および冷却性能がいかになるかを小形冷蔵庫について無負荷の状態で行った結果を述べたものである。

2. 実 験 方 法

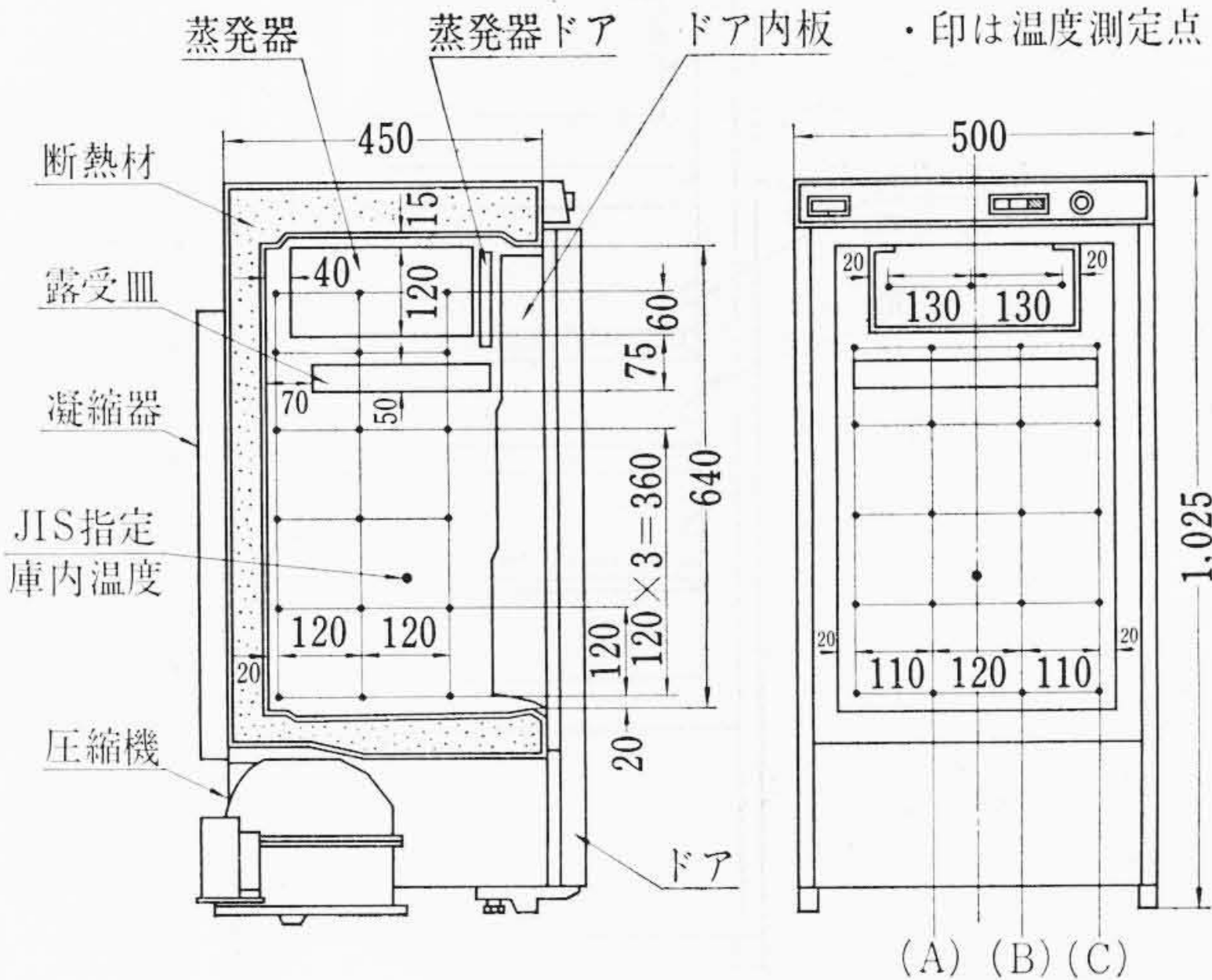
2.1 測 定 方 法

実験はすべてたな網および蒸発器内の中たなを付けずに無負荷の状態で行なった。庫内の温度測定は、所望の測定個所に径 0.1 mm のナイロン糸を格子状に張り、これに径 0.1 mm の熱電対をつるして測った。

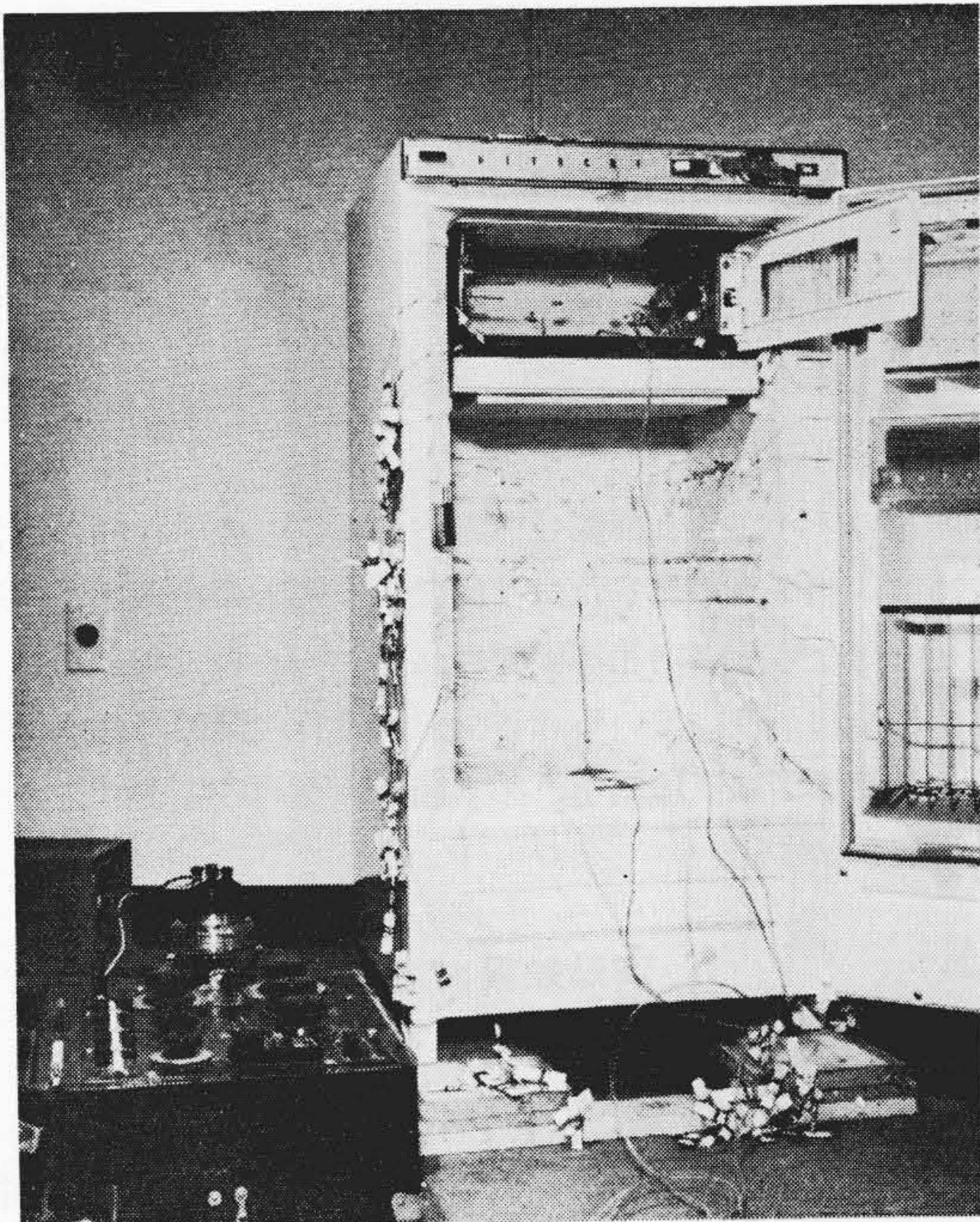
2.2 供 試 冷 蔵 庫

内箱材質の違いによる影響およびプラ内箱たな網支持用凸起の有無による影響をみるために、第1表に記した冷蔵庫を用いて内箱のみを、従来の平板鉄内箱、凸起のない平板のプラ内箱および凸起付のプラ内箱の三通りに交換して温度測定を行なった。第1図は冷蔵

庫の主要寸法と温度測定点の位置を示す。第2図は鉄内箱の実験機を示す。凸起のないプラ内箱は鉄内箱と構造が同じで、内箱を硬質塩化ビニールの平板で作ったものである。凸起付プラ内箱は、第3図に示す硬質塩化ビニール板を曲げて作った凸起を、第4図のよう



第1図 主要寸法および温度測定点

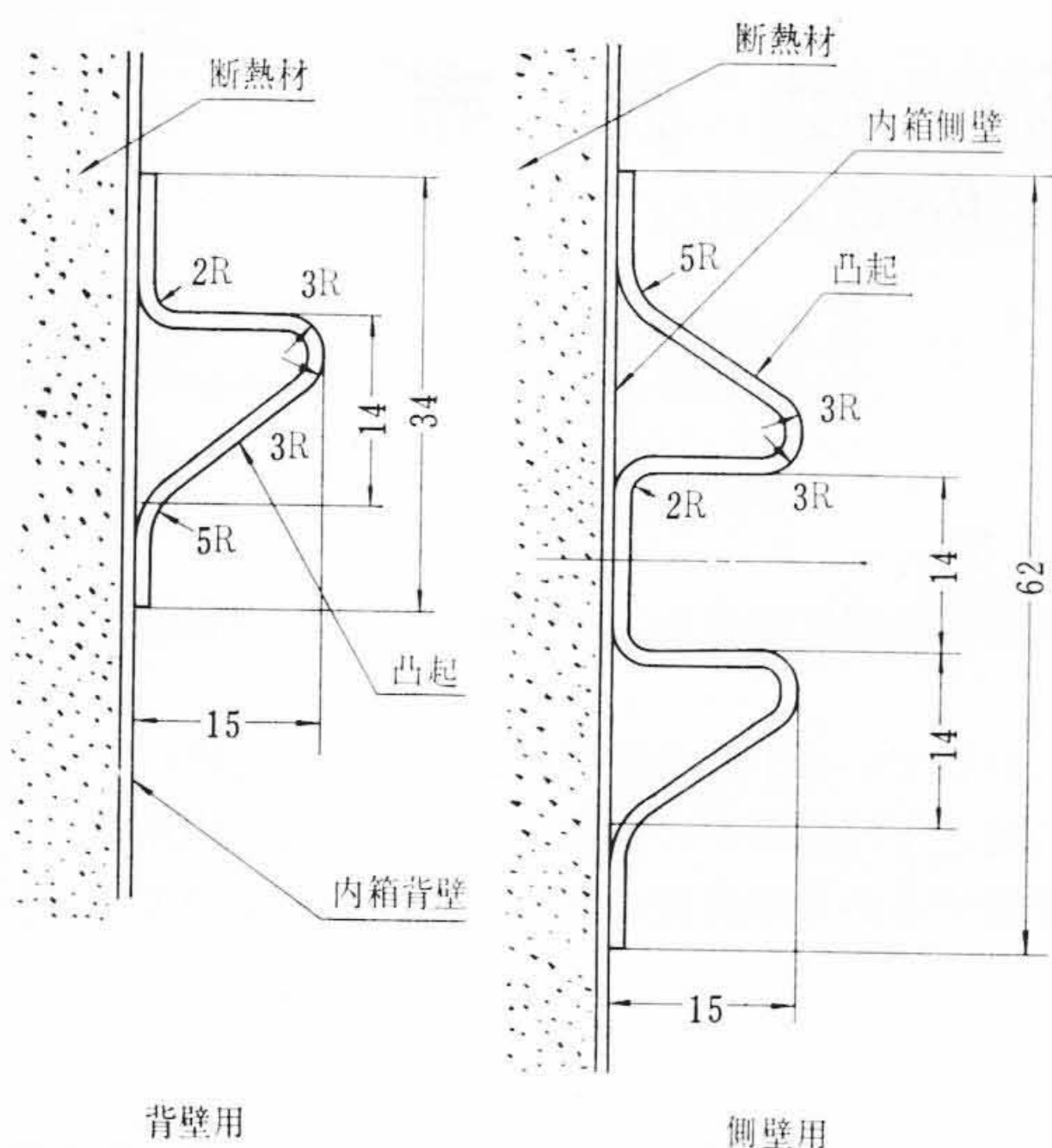


第2図 実験機（鉄内箱）

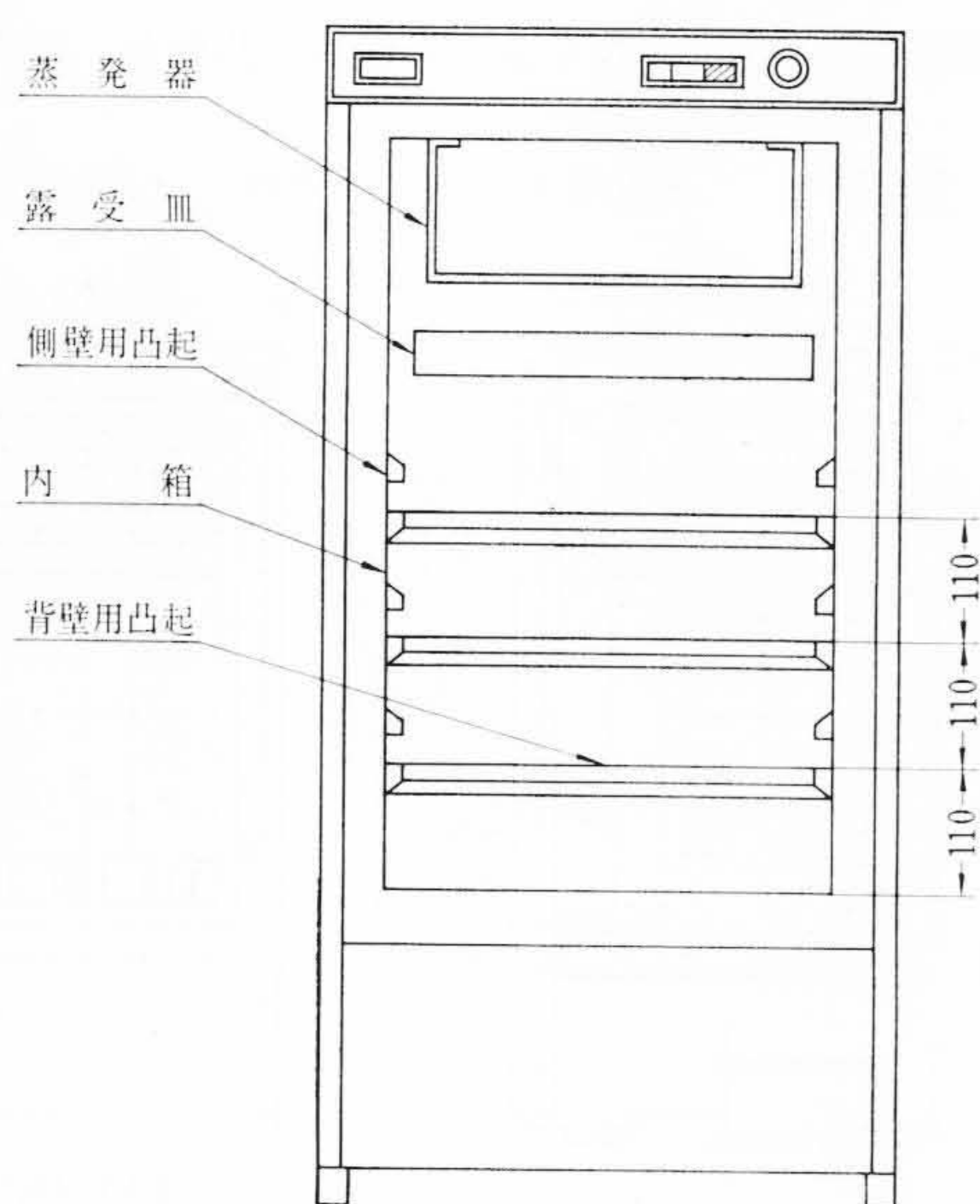
第1表 供試冷蔵庫 (R-102 BS 形)

項	目	仕	様
総	内	容	95 l
蒸	発	器	アルミニウム製、全幅U字形
凝	縮	器	背面プレート形
圧	縮	機	80W、全密閉形

* 日立製作所栃木工場



第3図 突起の形状



第4図 突起の取付寸法

項 目	仕 様
総 容 積	100 l
蒸 発 器	アルミニウム製、全幅U字形
凝 縮 器	背面プレート形
圧 縮 機	65W、全密閉形

に冷蔵庫に取り付けたものである。

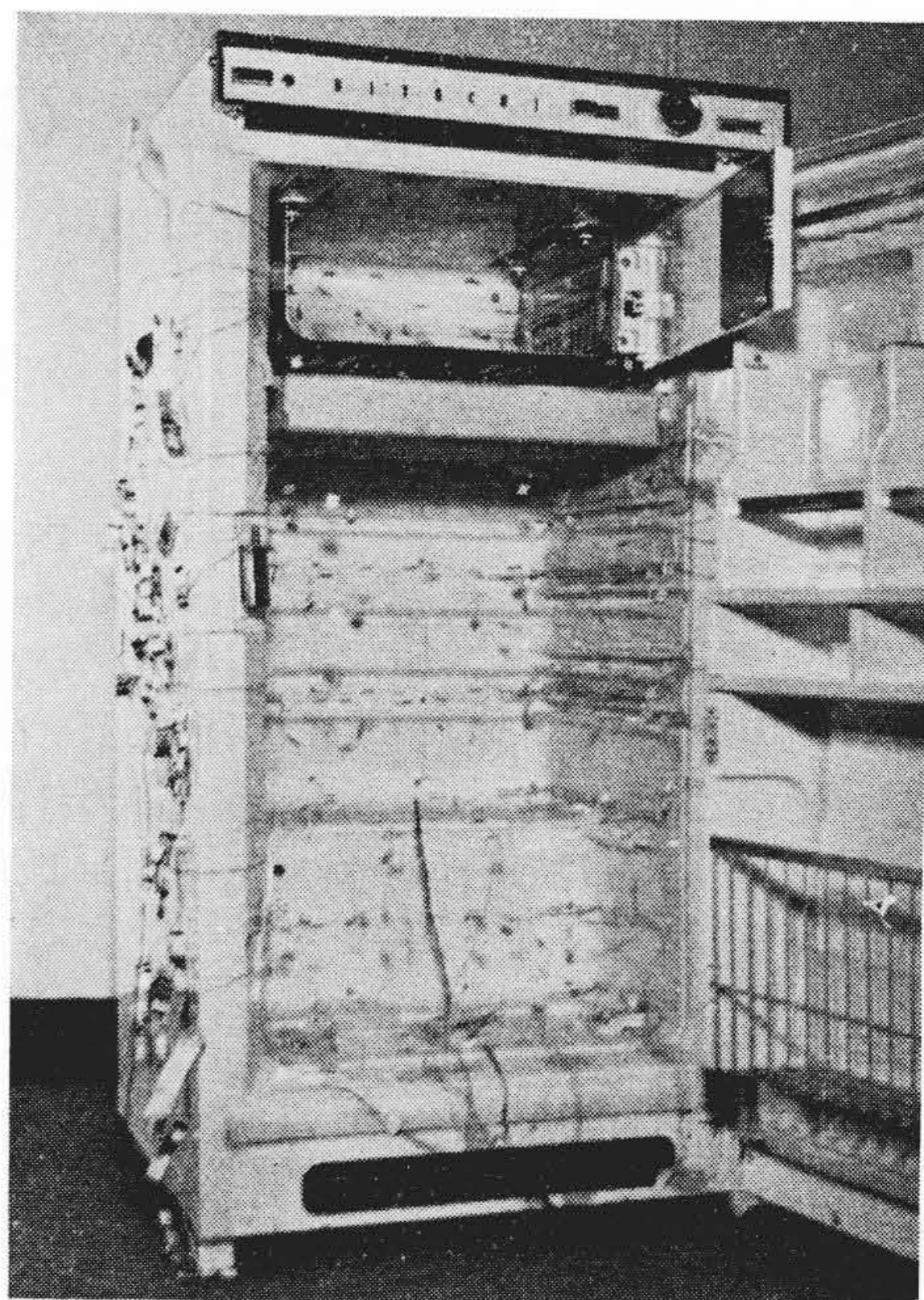
プラ内箱の下げ底および露受皿と内箱背壁とのすき間の影響を調べるために、第2表に記したプラ内箱下げ底形の冷蔵庫を使用して温度測定を行なった。内箱は硬質塩化ビニール板でできており、たな網支持用突起が付いている。露受皿は奥行の調節できる木製のものである。第5図は実験機を、第6図は冷蔵庫の主要寸法と温度測定点の位置を示す。

3. 実験結果および考察

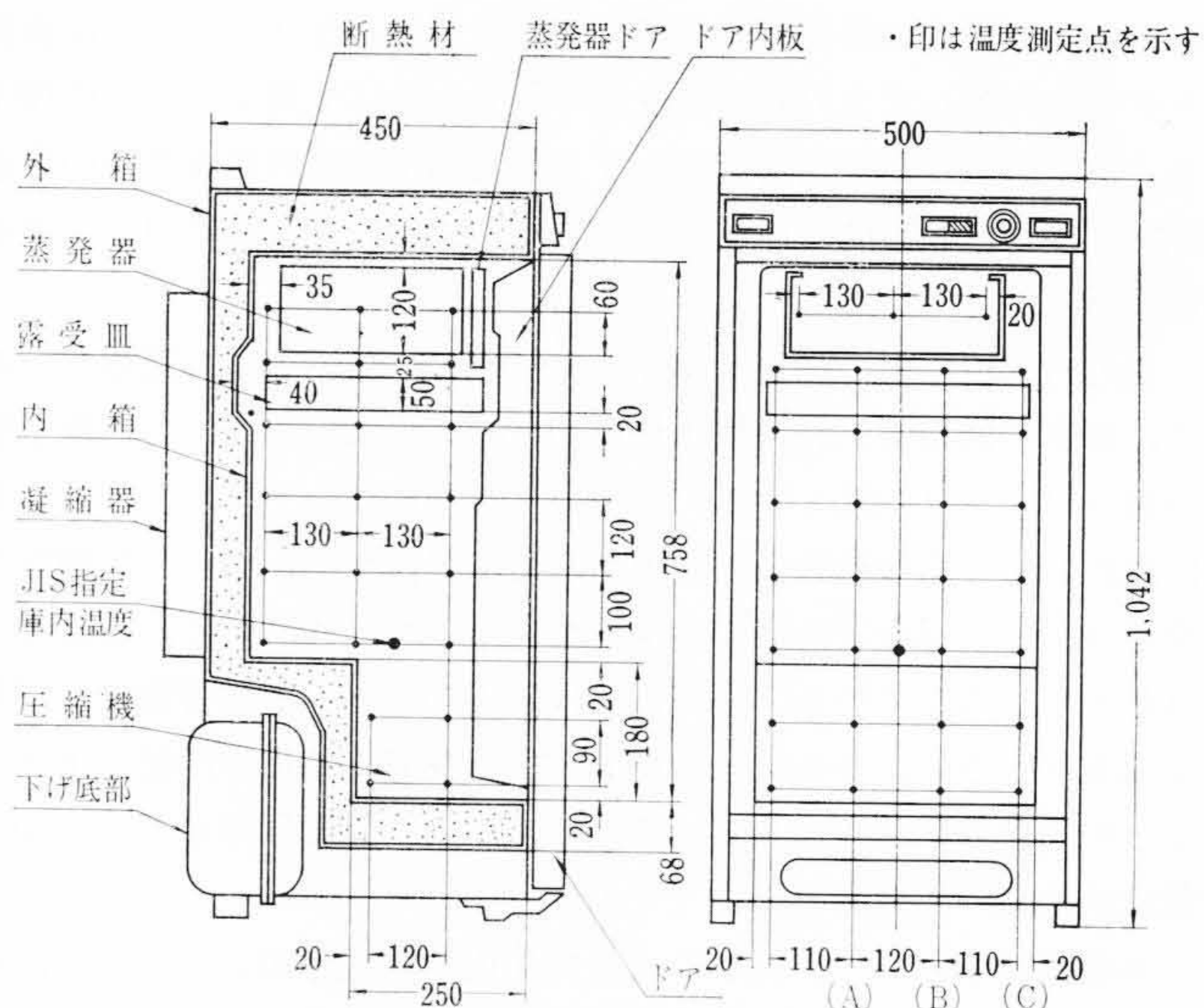
3.1 内箱の材質およびたな網支持用突起の影響

3.1.1 実験結果

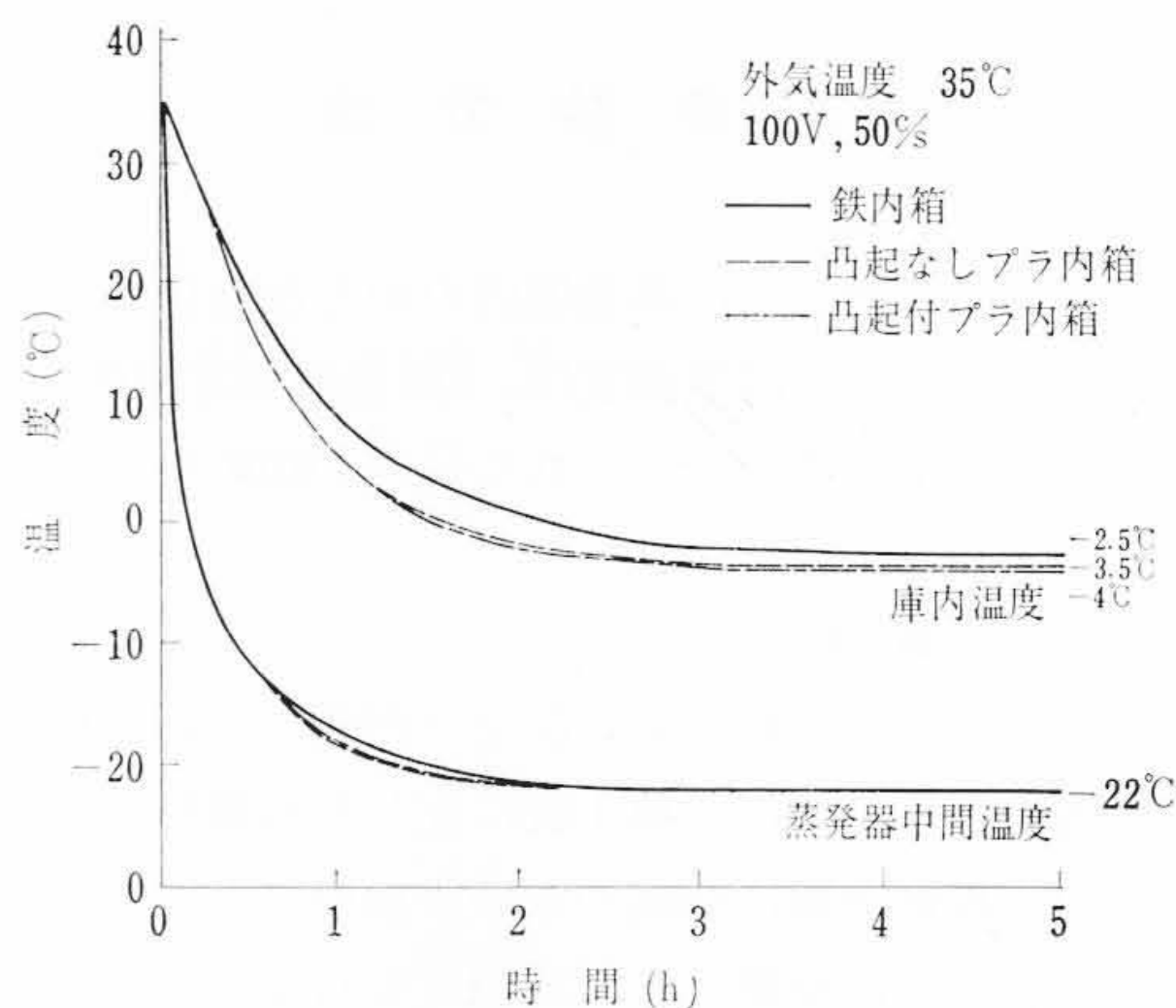
鉄内箱、突起なしプラ箱および突起付プラ内箱の冷却性能を見るため外気温度 35℃、100V、50 c/s で冷却試験を行なった結果を



第5図 実験機(プラ内箱下げ底形)

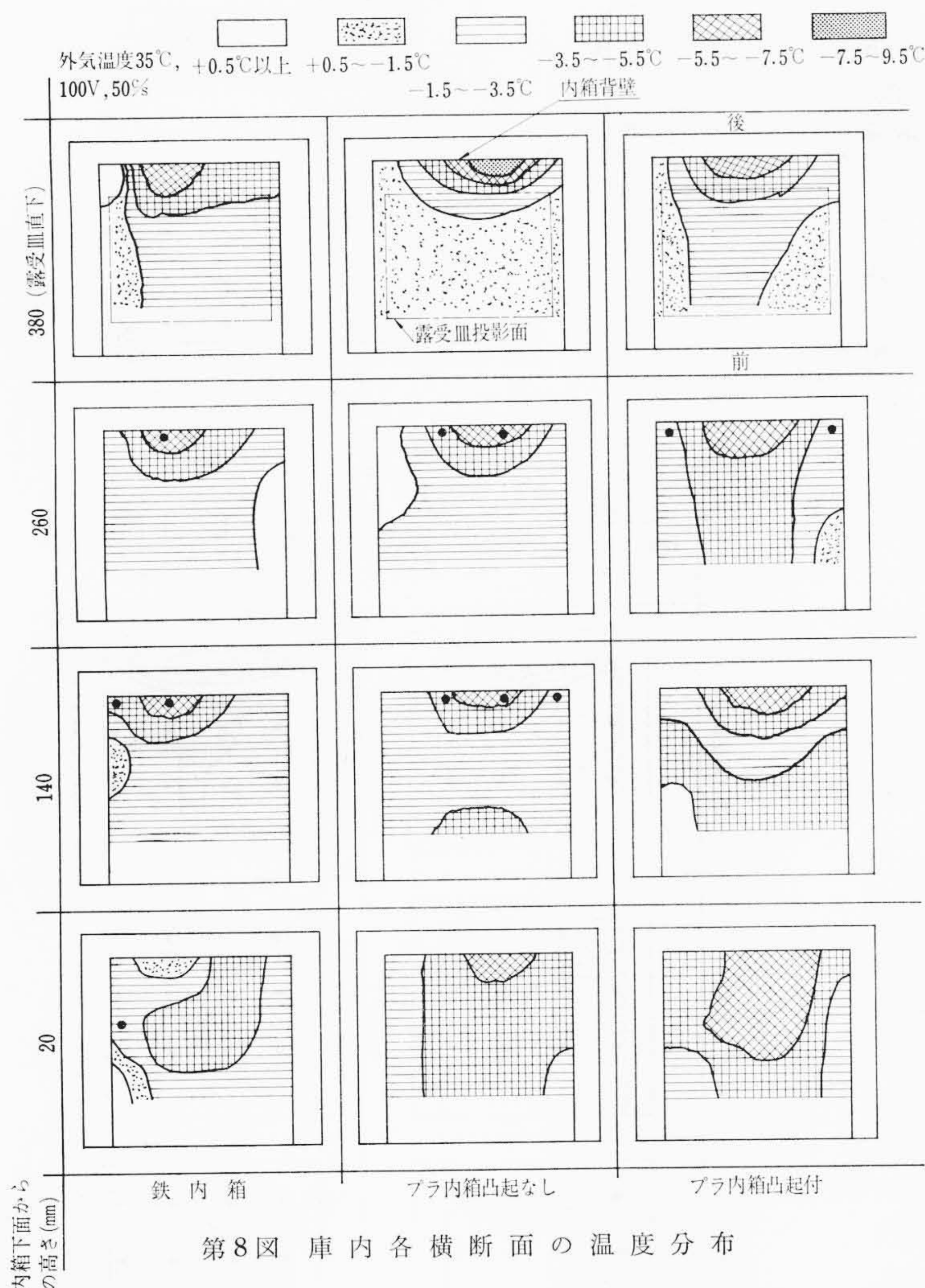


第6図 主要寸法および温度測定点

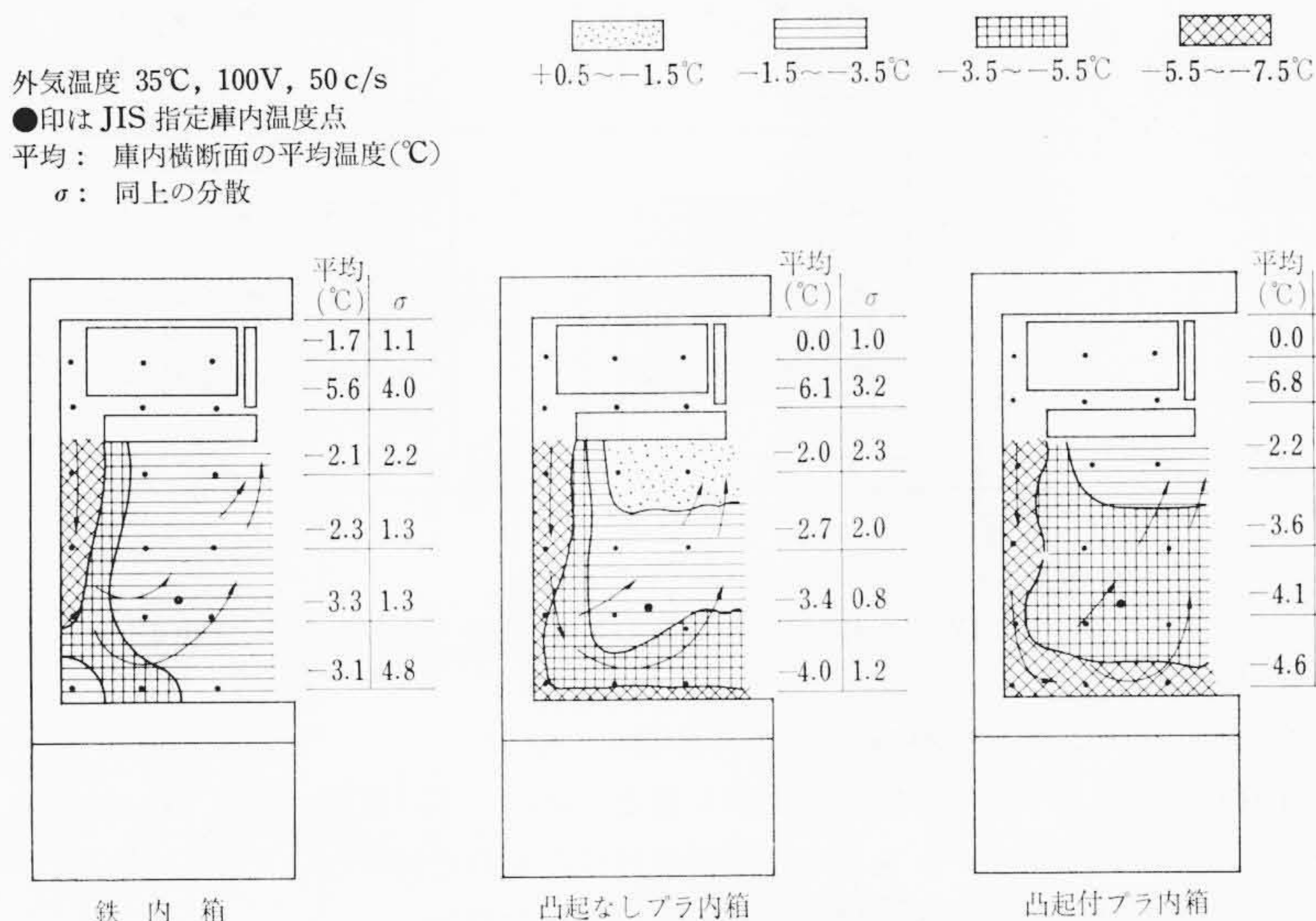


第7図 冷 却 試 験

第7図に示す。また同条件下の連続運転状態における同一高さの庫内各横断面の温度分布を第8図に示す。これを縦方向に通覧した庫内中央縦断面の温度分布(第1図の(A)線面と、(B)線面の各高さにおける温度の平均)を第9図に示す。さらにこのときの内箱背壁中央部の温度を第10図に示す。



第8図 庫内各横断面の温度分布



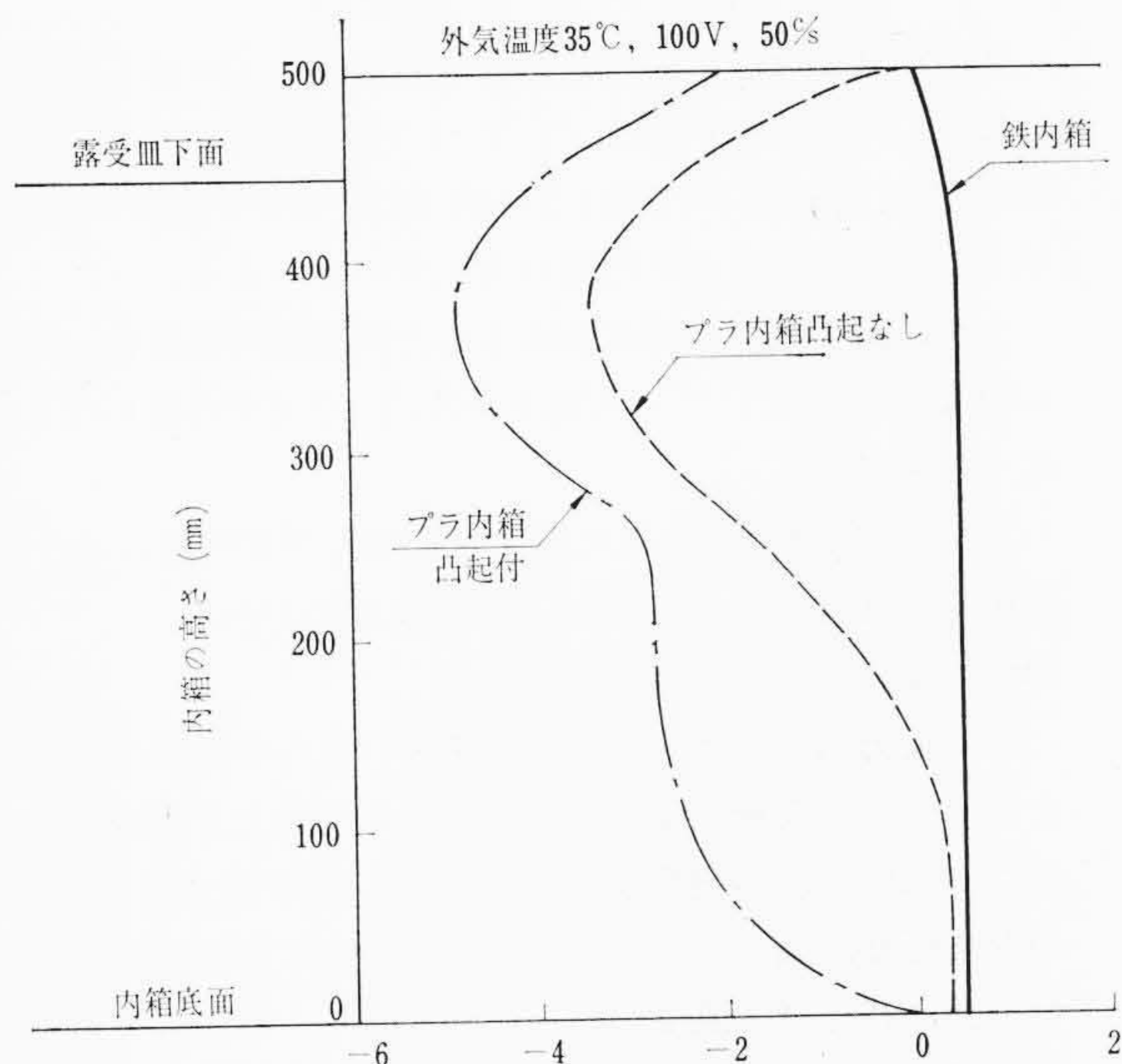
第9図 庫内中央縦断面の温度分布

第3表 熱容量熱伝導率の比較

材 質	比 熱 (kcal/kg°C)	比 重	熱 容 量 (kcal/m³°C)	熱 伝 導 率 (kcal/mh°C)
鉄 板	0.11	7.8	8.58×10^2	46
硬質塩化ビニール	0.24	1.4	3.36×10^2	0.14

3.1.2 考 察

- (1) 鉄内箱とプラ内箱の材質の相違について
(a) 冷却性能について



第10図 内箱背面中央部の温度(°C)

第4表 冷蔵庫の冷却に影響する熱容量

	鉄 内 箱 (kcal/°C)	凸起なしプラ内箱 (kcal/°C)
内 箱	0.890	0.405
蒸 発 器	0.158	0.158
蒸 発 器 扉	0.035	0.035
露 受 皿	0.172	0.172
パ ス ケ ッ ト	0.039	0.038
北 粧 板	0.128	0.128
断 熱 材	0.195	0.195
庫 内 空 気	0.028	0.028
扉 内 板	0.217	0.217
熱 容 量	1.862	1.377

鉄板と硬質塩化ビニール板の熱伝導率および単位体積あたりの熱容量を第3表に示す。表からわかるように硬質塩化ビニール板の熱容量および熱伝導率は鉄板より小さいのでプラ内箱は鉄内箱より冷却性能がよいと考えられる。

この点を理論的に考察してみることにする。運転を開始してから庫内温度が T °Cに達するに要する時間 t は、冷蔵庫の冷凍容量 Q kcal/hを一定とすると次式で与えられる。

$$t = \frac{C}{K} \log \frac{Q}{Q + K(T - T_0)} \quad (1)$$

ここに、 C ： 冷蔵庫の冷却に影響する熱容量 (kcal/°C)

K ： 熱 貫 流 係 数 (kcal/h°C)
(冷蔵庫全体の熱貫係数)

T_0 ： 外 気 温 度 (35°C)

冷蔵庫の冷却に影響する熱容量 C は次式で求められ、その計算結果を第4表に示す。

$$C = \sum C_X W_X + \frac{1}{2} \sum C_Y W_Y + C_P \rho V \quad (2)^{(1)}$$

ここに、 C_X ： 庫内各部品の比熱 (kcal/kg°C)

W_X ： 庫内各部品の重量 (kg)

C_Y ： 断熱材の比熱 (kcal/kg°C)

W_Y ： 断熱材の重量 (kg)

C_P ： 庫内空気の比熱 (kcal/kg°C)

ρ ： 庫内空気の比重 (kcal/m³)

V : 有効内容積 (m^3)

庫内温度が 0°C に達するに要する時間を $Q=45$, 鉄内箱の $K=1$, プラ内箱の $K=0.9$ として(1)式より求めると, 鉄内箱は 2 時間 47 分, プラ内箱は 1 時間 49 分でプラ内箱の方が 58 分早く, 冷却速度はプラ内箱の方が早いといえる。

また, 第 7 図の冷却試験によると到達庫内温度は, 鉄内箱が -2.5°C , 凸起なしプラ内箱は -3.5°C でプラ内箱のほうに 1 度低くなっている。

また庫内が 0°C になるに要する時間もプラ内箱のほうに約 40 分速く, 理論値ほどではないが冷却速度は早い。

(b) 庫内の温度分布について

庫内縦方向の温度分布は, 第 9 図の庫内各横断面の平均温度を見ると, 鉄内箱および凸起なしプラ内箱とも貯蔵庫内で最も温度の低い所は蒸発器下面と露受皿との間で, 庫内, 蒸発器内の順に温度が高くなっている。また庫内は背部を除けば下部より上部に行くほど温度が高くなっており, 特にプラ内箱では内箱底部に明確な低温帯がある。

庫内各横断面の温度分布は, 第 8 図を見ると, 露受皿下部では庫内中央背部が最も低温であり, 冷氣は主としてここから降下していると考えられる。

冷氣の流れを温度分布図から考えると, 第 9 図の矢印のように主として内箱中央背壁部に沿って降下したのち, 一つは内箱底部でドア側に回転し, 露受皿前方へ上昇する。他の一つは第 8 図に見るように内箱底部で内箱の両側壁側に回転し, 露受皿と内箱側壁とのすき間を通して蒸発器内に戻るものと考えられる。

内箱背壁部に沿って降下する冷氣は, 第 9 図を見ると, 鉄内箱よりもプラ内箱の方が下まで行き, 内箱底部に低温帯を形成している。これは第 10 図に示す内箱背壁中央部の温度が鉄内箱よりプラ内箱の方が低いので, プラ内箱は鉄内箱よりも冷氣の降下が容易になるためと考えられる。

上述したように内箱を鉄内箱からプラ内箱にすると内箱背壁中央部の温度が低くなり, 背壁部に沿っての冷氣の降下が容易となる。したがってプラ内箱では, 内箱底面まで冷氣が降下し, 底面に低温帯を形成することがわかる。

(2) プラ内箱のたな網支持用凸起の影響について

(a) 冷却性能について

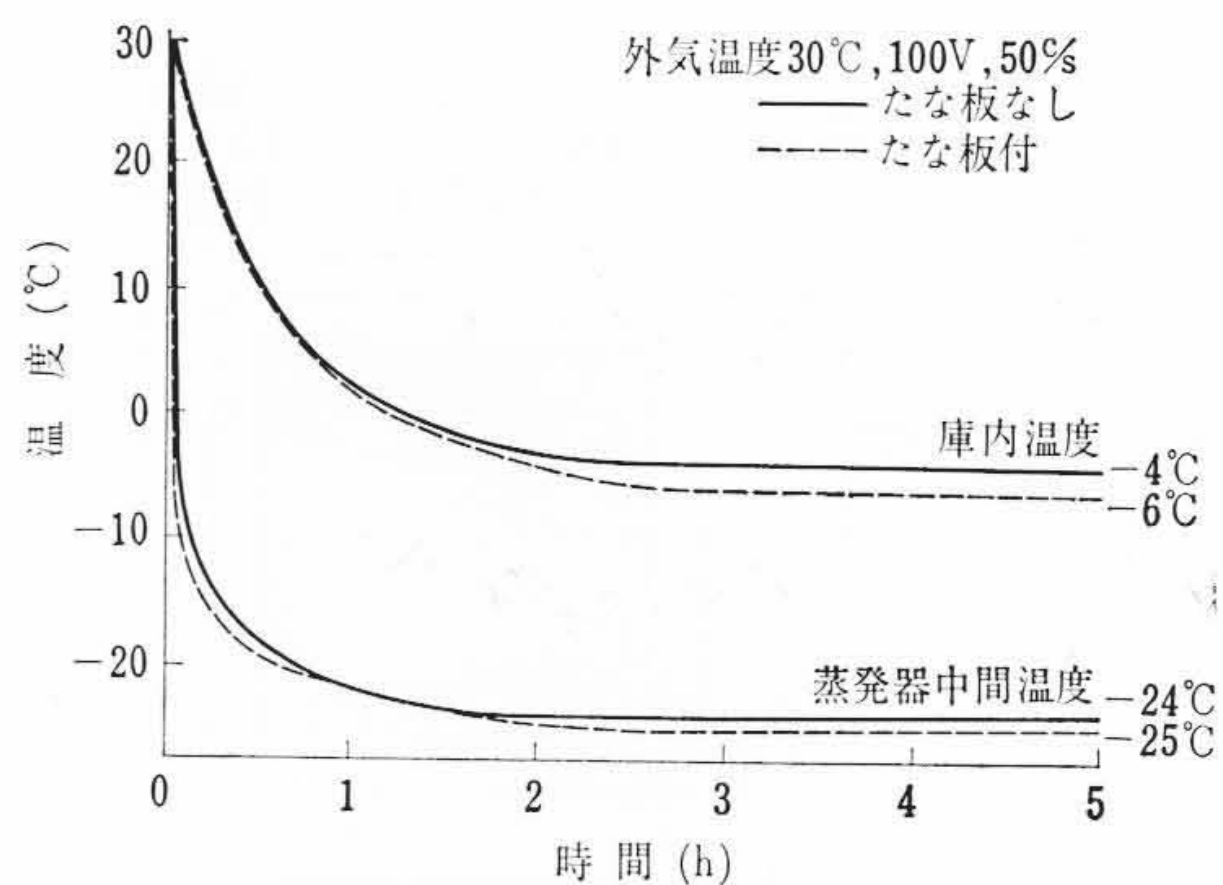
第 7 図の冷却試験結果によると到達庫内温度は, 凸起なしプラ内箱 -3.5°C , 凸起付 -4°C で, 凸起付のほうに 0.5 度低くなっている。

(b) 庫内の温度分布について

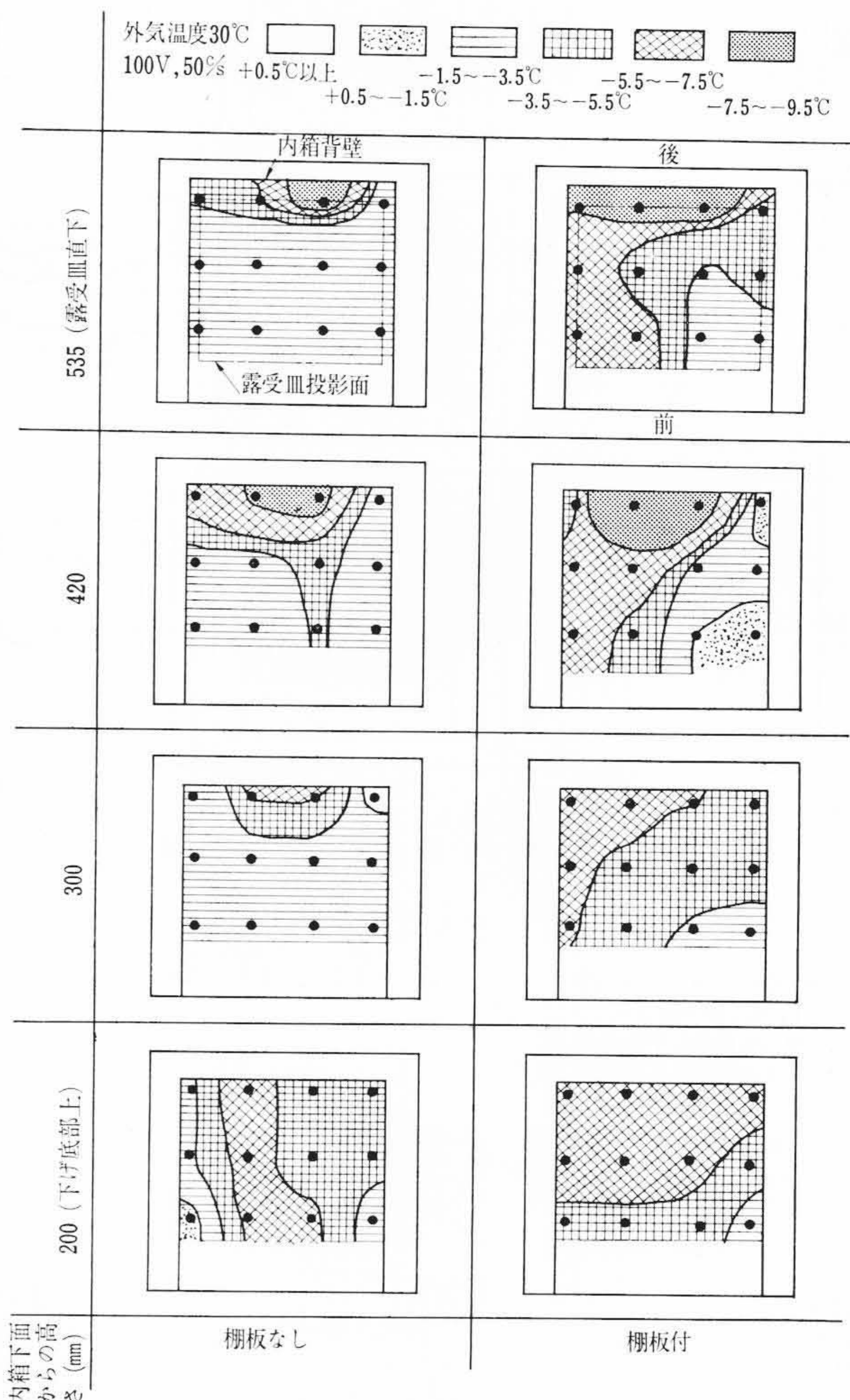
第 8, 9 図を見ると, 庫内縦断面の温度分布の傾向は凸起を付けても, 前述した凸起なしのものと変わらない。ただし凸起を付けたものは内箱背壁部に沿って降下する冷氣の幅および内箱底面付近の低温帯の幅は広がっている。これは第 10 図に示した内箱背壁中央部の温度が凸起のないものよりさらに低くなっているため, 背壁部に沿っての冷氣の降下が容易となったためと考えられる。

庫内各横断面の温度分布の傾向も凸起なしのものと変わらないが, 凸起付の方が凸起の影響により庫内中央部が側壁部より低温となっている。

上述したように, 内箱内壁面に凸起を付けると, 凸起のないものより凸起の影響により内箱背壁中央部の温度が低くなり, 背壁部に沿って降下する冷氣の幅および内箱底面付近の低温帯の幅が広がることがわかる。



第 11 図 冷却試験 (プラ内箱下げ底形)



第 12 図 庫内各横断面の温度分布 (プラ内箱下げ底形)

3.2 プラ内箱下げ底の影響について

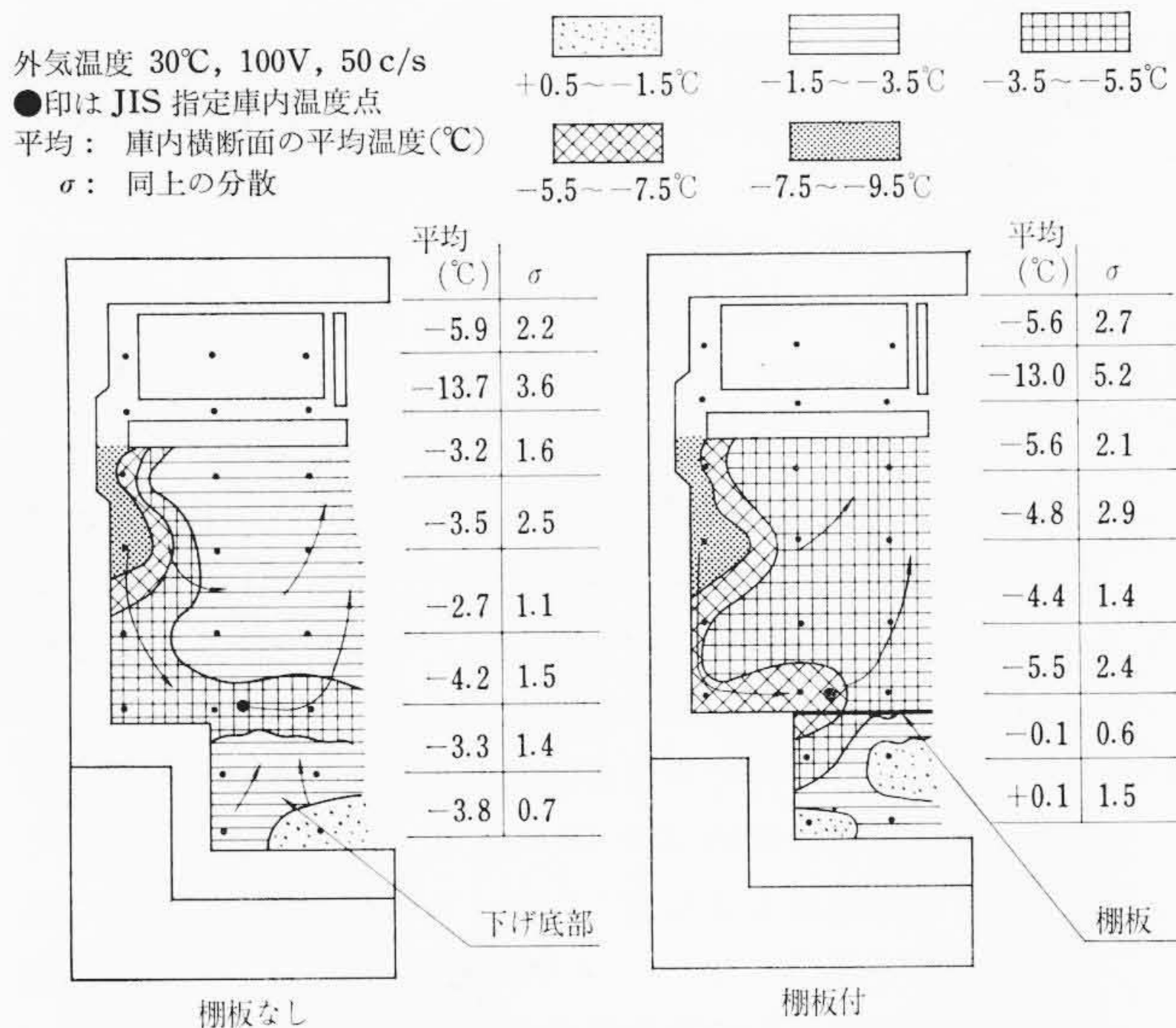
プラ内箱下げ底の影響を見るために, 下げ底部に厚さ 2mm の硬質塩化ビニール板のたな板を付けたものと付けないものについて, 外気温度 30°C , 100V , 50c/s で試験した。

3.2.1 冷却性能について

冷却試験結果を第 11 図に示す。図によれば到達庫内温度はたな板なしが -4°C , たな板付が -6°C で, たな板を付けることにより 2 度低くなっている。また冷却速度は両者の間で差がなかった。

3.2.2 庫内の温度分布について

連続運転状態における同一高さの庫内各横断面の温度分布を第 12 図に示す。これを縦方向に通覧した庫内中央縦断面の温度分布(第 6 図の(A)線面と(B)線面の各高さにおける温度の平均)を第 13 図に示す。



第13図 庫内中央縦断面の温度分布（プラ内箱下げ底形）

庫内各横断面の温度分布を第12図について見ると、露受皿下部ではたな板の有無に関係なく、庫内中央背部が最も温度が低く、冷気は主としてここから降下していると考えられる。ただしたな板付きでは右側壁側が左側よりも高温になっている。

庫内縦方向の温度分布を第13図の庫内各横断面の平均温度から見ると、たな板の有無に関係なく貯蔵庫内で最も温度の低いところは蒸発器下面と露受皿との間であり、蒸発器内、庫内の順に温度が高くなっている。庫内では下げ底上部に低温帯があって、下げ底部に対して明確な温度境界線をつくっている。この低温帯に対してその下の温度はたな板なしで約1度、たな板付きでは約5度高くなっている。またたな板を付けることにより、下げ底部の温度はたな板なしよりも約3.5度高くなっており、たな板付下げ底部は比較的高温で野菜、果物などの貯蔵に適することがわかった。

冷気の流れを温度分布図より考えると、第13図の矢印のように蒸発器から内箱中央背部部に沿って降下したのち、一つは下げ底部上面でドア側に回転し、露受皿前方に上昇する。他の一つは第12図に見るように、下げ底部上面で内箱の両側壁側に回転し、露受皿と内箱側壁とのすき間を通過して蒸発器内に戻る対流をするものと考えられる。ただしたな板付きは板なしよりも右側壁側に回転し上昇する気流も多いものと考えられる。

下げ底上部の低温帯は、降下する冷気と下げ底部からの侵入熱により形成される空気層であると考えられる。したがって熱を伝えにくい板をこの部に設置すると下げ底部よりの暖気の上昇が妨げられるので、降下冷気は下まで下がりやすくなり、低温帯の温度は低くなる。また庫内の温度も低くなるが、このため下げ底部はかえって高温となるものと考えられる。

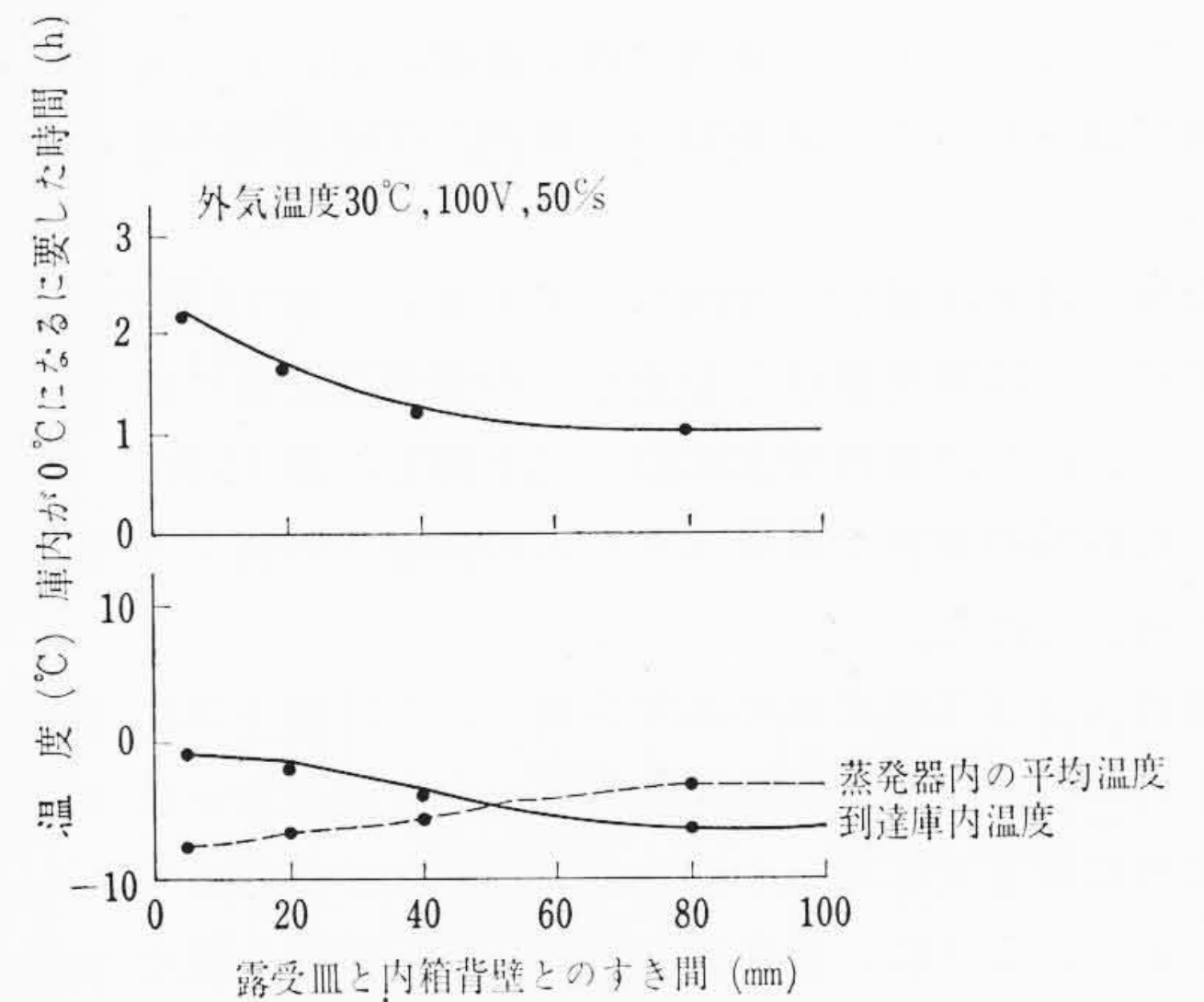
上述したように内箱を下げ底にすると、下げ底上面に低温帯ができ、その下は比較的高温となる。そしてたな板を付けることによりこの傾向は大きくなり、たな板付下げ底部は野菜、果物などの貯蔵に適することがわかる。

3.3 露受皿と内箱背壁とのすき間の影響について

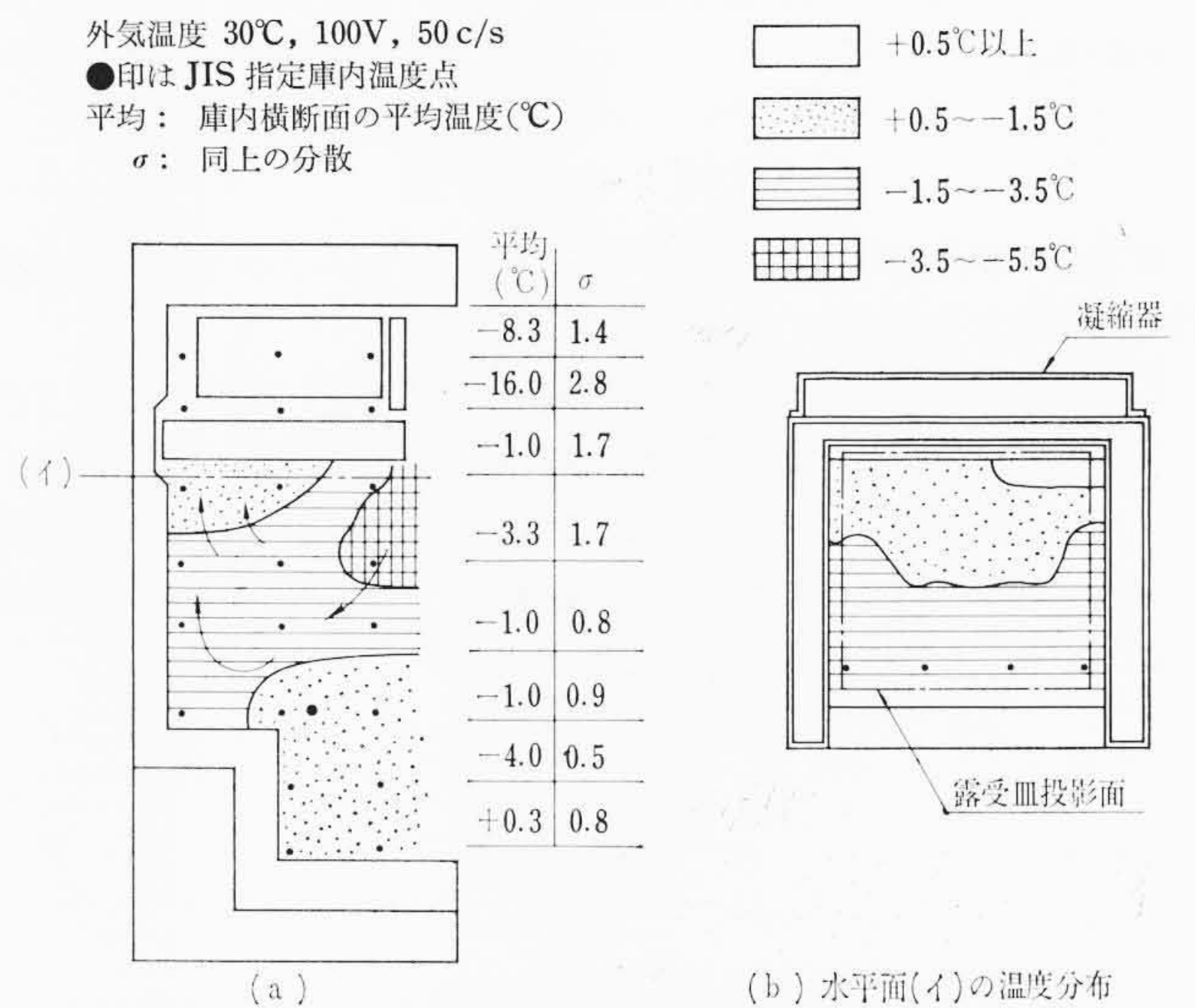
プラ内箱の下げ底形冷蔵庫を用い、露受皿の奥行を伸縮させて、露受皿と内箱背壁とのすき間を変え、外気温度 30℃, 100V, 50 c/s で試験した。

3.3.1 冷却性能について

冷却試験における到達庫内温度および冷却速度の速さを見るため庫内温度が 0℃ になるに要する時間を測定した結果は第14図



第14図 蒸発器内平均温度



第15図 露受皿と内箱背壁とのすき間5mmの庫内温度分布

に示すとおりである。図によるとすき間を 5mm より 80mm に大きくすると、庫内温度は -1℃ より -6℃ に下がり、また 0℃ になるに要する時間も 2 時間 15 分より 1 時間に短くなり、冷却速度が速くなっている。しかしすき間が 80mm 以上になると到達庫内温度および冷却速度とも変化せず一定になっている。

すき間 40mm は現在おもにプラ内箱冷蔵庫に用いられているもので、冷却速度や庫内温度より判断して適当なすき間と考えられる。

以上のようにすき間を大きくすると、ある範囲内で冷却性能はよくなる。本実験機では 80mm が限界であり、それ以上では変化が見られなかった。

3.3.2 庫内の温度分布について

すき間を変えた場合の蒸発器内の平均温度を第14図に示す。図によると、すき間を 5mm より 80mm にするにしたがって蒸発器内平均温度は -8.3℃ より -4.2℃ に上昇し、すき間が 50mm 以上では庫内温度より蒸発器内平均温度の方が高くなっている。

すき間を狭くするにしたがって蒸発器内が低温になるのは、蒸発器内から庫内へ流れる冷気の量が少なくなり、冷気が蒸発器内に停滞するためと考えられる。

すき間が 5mm の連続運転状態における庫内中央縦断面の温度分布(第6図の(A)線面と(B)線面の各高さにおける温度の平均)および露受皿下部の温度分布を第15図の(a)および(b)に示す。

庫内縦方向の温度分布は第15図の(a)に示した庫内各横断面

の平均温度によると、庫内で最も温度の低いところは蒸発器下面と露受皿との間で、蒸発器内、庫内、下げ底部の順に温度が高くなっている。

冷気の流れは温度分布図から考えると、第 15 図の (a) に示す矢印のように露受皿前方を通り、内箱背部底面に向かって降下する。それから内箱背部部に沿って上昇し、第 15 図の (b) に示すように内箱の背部で露受皿と左右の側壁との間より蒸発器内に戻ると考えられる。

庫内および下げ底部の温度が高く、下げ底上部に低温帯が見られないのは、露受皿と内箱背壁とのすき間が狭いため、蒸発器より庫内に降下する冷気の熱量が少ないためと考えられる。

上述したように、露受皿と内箱背壁とのすき間を大きくするにしたがって蒸発器内の平均温度は高くなる。また露受皿の前方から降下する冷気の量は減少し、後方より降下するようになる。かつ降下する冷気の熱容量が増加し、庫内の温度が低くなることがわかる。

4. 結 言

無負荷の状態で小形冷蔵庫の庫内の温度分布および冷却性能を検討した結果を要約すれば次のようになる。

(1) 鉄内箱とプラ内箱の材質の違いを見ると、凸起なしプラ内箱は背壁中央部の温度が鉄内箱よりも低く、冷気が降下しやすくなり、内箱底部に低温帯が形成される。また到達庫内温度はプラ内箱の方が鉄内箱より 1 度低く、さらに冷却速度はプラ内箱の方が速くなる。

- (2) プラ内箱の内壁面にたな網支持用凸起を付けた場合の影響を見ると、凸起付のものは凸起なしよりも内箱背壁中央部の温度が低くなり、背壁部に沿って降下する冷気の幅および内箱底面付近の低温帯の幅が広くなり、また、到達庫内温度は凸起付の方が凸起なしよりも 0.5 度低かった。
- (3) 下げ底形冷蔵庫において、下げ底部にたな板を付けたものと付けないものとの違いを見ると、たな板を付けることにより下げ底部の温度は約 3.5 度高くなり、たな板付下げ底部は比較的高温で野菜、果物などの貯蔵に適している。また、到達庫内温度はたな板付の方がたな板なしより 2 度低くなっている。しかし冷却速度には変わりはない。
- (4) 露受皿と内箱背壁とのすき間の影響を見ると、到達庫内温度はすき間を 5 mm より 80 mm に大きくすると 5 度低くなり、冷却速度もまた速くなる。しかし蒸発器内の平均温度は逆に 4 度高くなり、すき間が 50 mm 以上では庫内温度よりも蒸発器内の平均温度のほうが高くなっている。
- 現在プラ内箱に用いているすき間 40 mm は庫内温度および冷却速度から考えて適当と考えられる。

上述したように、内箱の材質および形状、露受皿と内箱背壁とのすき間などが庫内の温度分布および冷却性能にどのように影響するかをは握することができた。特に合成樹脂製内箱を採用したほうが冷却性能がよくなるなど、今後の設計、研究に貴重な資料を得ることができた。

参 考 文 献

- (1) 中浜：日本家政学会研究報告 Vol. 12, No. 6 (1961)



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の実用新案(その 3)

(40頁よりつづく)

登録番号	名 称	氏 名	登録年月日	登録番号	名 称	氏 名	登録年月日
728563	同期機制動巻線絶縁装置	田附修 伊藤俊 木村蔵 北野豊 斎内信 内海昭 丹秀 横田宣 伊東幸 石橋英 田中庄 川崎光 横江邦 環治 横尾尚 白石倉 松橋貞 川林起 柏上功 平崎一 岩松進 崎敬 横義 川江 渡部 田沢 永田稔	38. 12. 9 "	728575	アーク溶接機の電撃防止装置	石辛橋英治 辛島義久 石橋義治 辛橋義久 辛島義治 石橋義久 辛橋義久 杉本光昭 西脇富治 小上武 上田武 脇富治 上田武 名古屋純 亀田信 関野陽 村山隆 末松重 久世口 溝口重 柴田高 小坂弘 斎田信幸	38. 12. 9 "