

# 住宅における温水暖房の特性

## Central Hot-water Heating Characteristics

亀井健児\* 中丸良郎\* 伊藤克也\*  
Kenji Kamei Yoshirō Nakamaru Katsuya Itō

### 要 旨

住宅の暖房は個別暖房の域を脱し、中央暖房に移り始めている。特に給湯と併用できる温水暖房は、給湯設備の普及と時間的に一致した結果、急速に発展している。

本文は住宅における温水暖房の特性を実験的には握し、報告したものである。

温水暖房の特長として

- (1) 放熱量の調節が容易である。
- (2) 暖房負荷の変動に応じて放熱量が自然に変化する。
- (3) 運転開始時の余熱時間が長い。
- (4) 運転休止中に内部の水が凍結し、機器、配管が破損するおそれがある。

などがあり、さらに、暖房一般の弊害として、室内相対温度の低下があげられるので、本文では、この4項目をとりあげて、実用特性を調査し検討した。

### 1. 緒 言

家庭の暖房が本格的に検討されるようになったのは、わが国ではごく最近のことである。わが国には家庭に限らず、歴史につちかわれた暖房のフォームがない。これは歴史上の文化の中心が東京より西にあり、西欧のそれに比べて緯度が低く、比較的温暖な冬に恵まれていることにもよるが、さらに重要なことは、梅雨という特殊な時期を伴う夏がきわめて多湿であり、したがって、建築物そのものが夏の高温、多湿に向く構造に発達し、暖房には向いていない点である。これがこたつ、いろり、火ばち、あるいはあんか、かいろなど、局部的な採暖器具を発達させ、暖房および暖房器具の発達を妨げた大きな原因となった。

明治になって暖房もとり入れられるようになったが、オフィス、劇場、商店などが先行し、住居、すなわち家庭の暖房は従属的に検討されたにすぎなかった。しかし、最近、住居構造と生活様式の変化に伴って、家庭の暖房も「セントラルヒーティング」の名のもとに脚光をあび、家庭暖房システムの研究とこれに必要な機器の開発が、急ピッチに進められている。

本文は、家庭にとり入れられはじめた暖房システムの中から温水暖房をとりあげ、その特長的な特性について以下述べることにする。

### 2. 暖房方式の分類

暖房方式を規模によって分類すると、個別暖房、中央暖房および地域暖房の3種類がある。個別暖房は各室に熱源と放熱器を置き、それぞれ独立に暖房を行なう方式で、暖房の普及度が低く、建物の限られた一部を暖房すればたりる場合に多く採用される。この方式は設備費が安く、安直に暖房できることが特色であるが、反面、建物に対する制約が大きかったり、室温の制御など、操作が困難な例が多い。中央暖房は、建物の1個所に熱源を置き、温風または熱媒を各室に送って暖房する方式で、最近ではセントラル方式としてよく知られている。個別暖房に比較して設備費は高いが、安全性、操作性にすぐれ、かつ、建物に合わせて据付工事を行なうことができるなど、多くの利点をもっている。これをさらにおし進めると、地域の一個所に熱源を置き、各戸に熱を送る地域暖房となるが、この方式は、団地あるいは社宅のように統制のとれた地域でないと、実現しにくい欠点があり、わが国では研究段階の域を出ていない。した

\* 日立製作所柳井工場

表1 温水暖房と温風暖房の特長比較

	長 所	短 所
温水暖房	(1) 温水温度を調節して暖房負荷の変動に応じることができる。 (2) 熱交換器の温度が低いので快感度が高い。 (3) 温水ボイラを給湯設備と兼用に使用できる。 (4) 室内に高温部がない。	(1) 予備時間がかかる。 (2) 寒冷地では使用しないとき凍結防止の処置を要する。
温風暖房	(1) 予熱時間が短い。 (2) 総合効率が高い。 (3) 凍結破損の心配がない。 (4) 設備量が安い。	(1) 小容量のものが製作しにくい。 (2) 熱交換器温度が高いので吹出温風温度が高い。

がって、これからの家庭暖房の中心は中央暖房であることは疑う余地がない。

次に熱媒によって分類すると、代表的なものに、温水ボイラにより温水を熱媒として利用する温水暖房と、熱風炉によって、直接空気を加熱する温風暖房とがある。前者は温水を単に暖房用のみでなく、浴槽、洗面所、洗たく用などにも利用できる長所があり、温水利用の現況とあいまって、わが国の家庭用中央暖房の代名詞となっている観がある。一方温風暖房は、ダクトの工事技術が温水配管ほどに一般化していないこと、家庭に向く小容量の製品が少ないこと、などの理由で従来あまり重視されていないが、設備費が安いこと、温水配管のような凍結破損のおそれがないこと、ウォーミングアップ時間が短いことなど、温水暖房にない特長をもっており、特に寒冷地に適した方法である。

表1に温水暖房と温風暖房の特長比較を示す。

### 3. 温水暖房の特性

今後の家庭暖房は、温水または温風によるセントラル方式に集約されるが、それぞれにはすでに述べたように、長所と短所がある。したがって、いずれを選ぶかは、個々の条件によって決定すべきものである。ここでは、暖房方式の選定の基準となる特性について述べる。

#### 3.1 温水暖房の放熱特性

温水暖房では温水の入口温度、循環流量が一定でも、室温の変動があると、これにつれて放熱量が変化する。温風暖房では、燃焼熱量と熱交換器の特性によって、放熱量は周囲条件に無関係に一定であるのに比較すると、室温を安定させ、容量に余裕があっても極

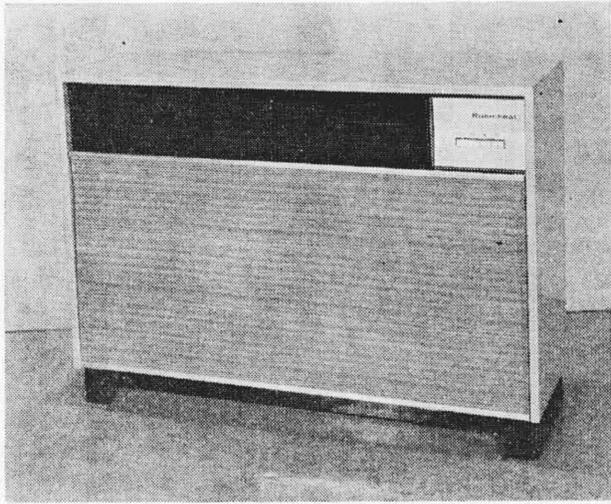


図1 日立 FU-51D形温水暖房機ルームヒート

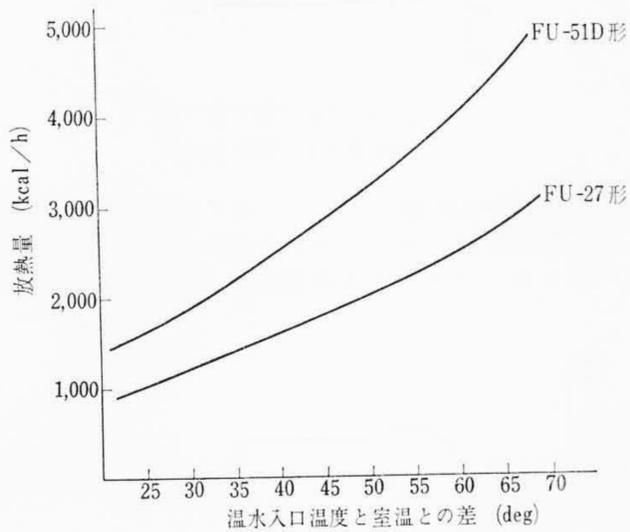


図2 ルームヒートの放熱量特性

端に室温を上昇させない大きな特長がある。

日立 FU-51D形温水暖房機ルームヒートを図1に、FU-27形の放熱量特性を図2に示す。FU-51D形で温水入口温度70°C一定とした場合、室温20°Cのときは放熱量は、3,200 kcal/hであるが、室温が25°Cに上昇すると2,850 kcal/hに減少し、一方15°Cに室温が下がれば、3,600 kcal/hに増加して、室温の上昇をうながす。この特性は、この種温水暖房機の称呼放熱量の設定基準を混乱させる原因となり、ひいては暖房設計条件をあいまいにしている。日立製作所では貯湯式温水ボイラの出湯温度特性と、暖房室の快適室温を検討し、標準の入口温水温度を70°C、室温を20°Cとしているが、この設計条件の決め方によって、同じ製品でも放熱量に差が生ずることに注意する必要がある。

図3はFU-27形の放熱特性線図上に、モデルルームの熱漏えい量をプロットし、安定時の室温を求めたものである。モデルルームは床の間、違いだなのある和室6畳間で、電気ヒータを使用して、熱漏えい量を実測した結果103 kcal/h・degであった。外気の温度を0°Cとすると、熱漏えい量は図中の破線のごとくで、温水入口温度を80°Cとすれば、室温は22.5°Cで安定し、60°Cに下げれば室温は16.5°Cで安定する。

実使用状態では、換気量が一定せず、このため熱漏えい量の設定には、若干の余裕をみる必要があるが、このことと、温水ボイラの出湯温度特性とから判断して、温水入口温度は70°Cを標準とし、熱漏えい量の増減に対処して、温水温度を調節すれば、常に快適な室温とすることができる。

図4はモデルルームの熱漏えい量をFU-27形とFU-51D形の放熱特性線図上にプロットしたものである。標準使用点、すなわち、室温20°C、温水入口温度70°Cでは、FU-51D形はFU-27形に比べて、1,200 kcal/h多いが、安定時の室温の差は7 degにすぎない。

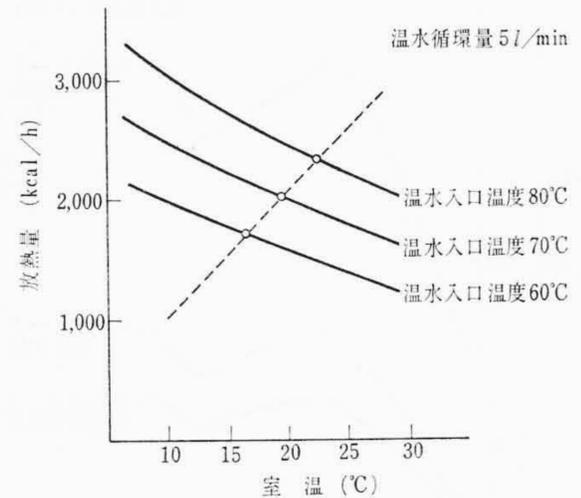


図3 FU-27形ルームヒートの放熱量とモデルルームの熱漏えい量のバランス

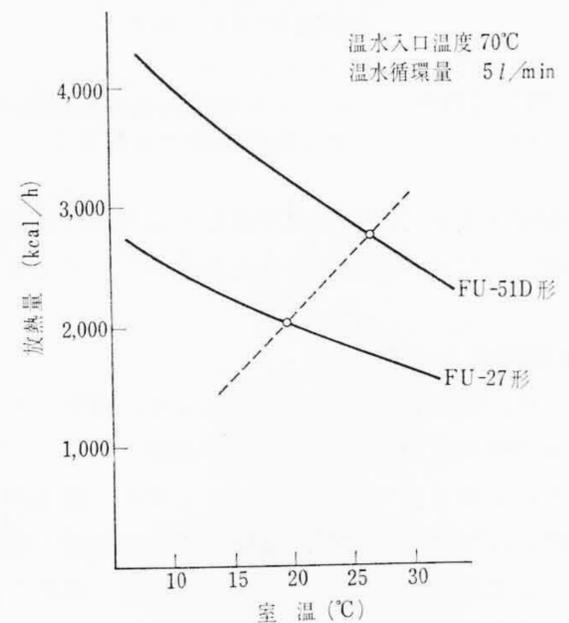


図4 ルームヒートの放熱量とモデルルームの熱漏えい量のバランス

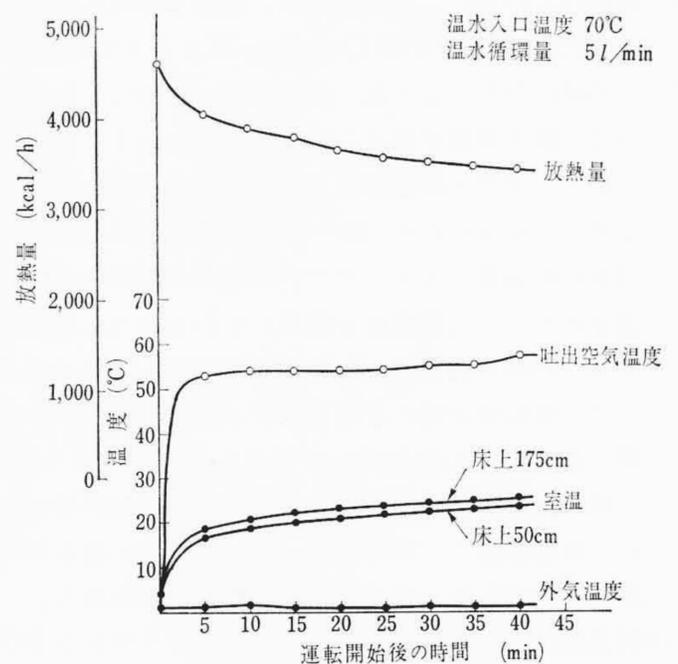


図5 FU-51D形ルームヒートによるモデルルームの室温上昇特性

室温に無関係に放熱量が一定の、たとえば温風暖房機で、放熱量3,200 kcal/hのものを使用すれば、安定時の室温は31°Cまで上昇することと比較すれば、温水暖房機の特長がいかに有利であるかがわかる。

前記モデルルームにFU-51D形を据え付け、室温の上昇を調べたのが図5である。外気の調整を行っていないので、図3、4の計算例と異なり、外気温度は1°Cであり、かつ、時間とともに上昇した

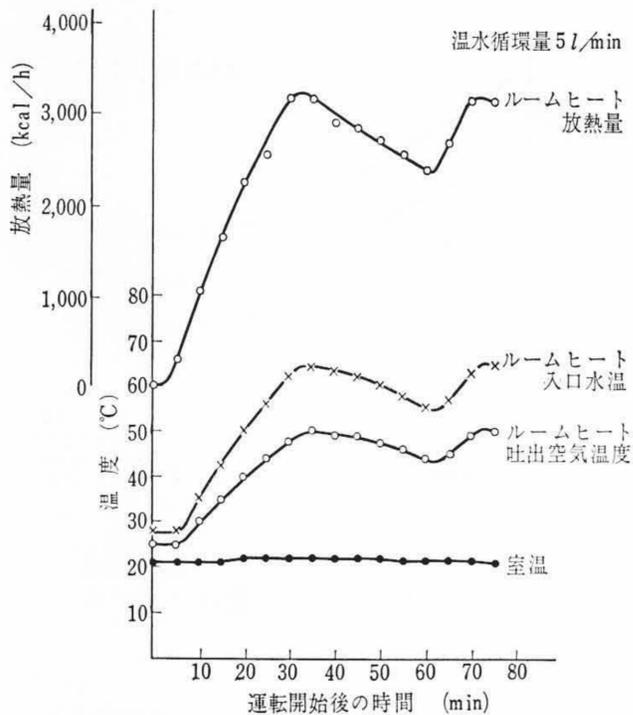


図6 BO-170形ファミリーボイラとFU-51D形ルームヒートを組み合わせ常温の水からスタートする最悪条件での特性

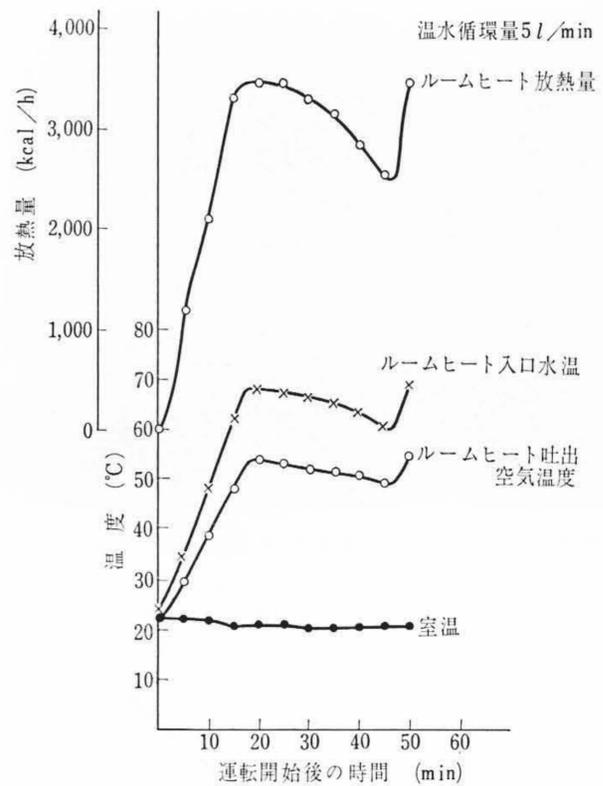


図7 BO-320形ファミリーボイラとFU-51D形ルームヒートを組み合わせ常温の水からスタートする最悪条件での特性

ため室温が安定するまでの実験はできなかったが、放熱量が室温上昇とともに減少しており、当初の立上りを早くしていることがわかる。

### 3.2 温水暖房立上り特性

温水暖房では、暖房を開始するに先立って、温水ボイラを運転し所定の温度まで温水温度を上げることが必要である。

現在の温水によるセントラルヒーティングは、温水ボイラを単に暖房の用途にだけでなく、台所、浴槽などへの給湯と兼用に使用する例が多い。したがって、温水ボイラの容量は、熱出力、貯湯量ともに、暖房負荷熱量に比べて大きいのが普通である。一般家庭で、3室以下の暖房を行ない、浴槽のほか、1~2個所に給湯する場合には、熱出力で15,000~17,000 kcal/h、貯湯量100~150 lの温水ボイラが多く使われている。この容量では、暖房と浴槽への給湯を同時に行なう場合には、容量が不足している。温水ボイラの運転開始と、暖房開始を同時に行なうような、極端な使い方では、貯湯量が大きいため、当初、温水温度が低く、図5に示したような特長は発揮できない。しかし、実用上問題にならないのは次の理由による。

- (a) 浴槽への給湯のため、20~40分暖房放熱量が低下しても、壁体の熱容量が大きいため、体感への影響は少ない。
- (b) 温水ボイラには保温材を使用しているため、運転を停止しても、内部の温水はかなり長時間高温に維持できる。たとえば、運転停止時の水温60°C、外気温-10°C一定という悪い条件で、10時間運転を停止しても、30°Cを保てる。
- (c) 一般に、暖房開始より、温水ボイラの運転開始のほうが早い。最悪状態で、同時であったとしても、温水ボイラ内の水が常温であることは、特殊な場合に限られる。

図6は日立製作所の家庭用の代表的温水ボイラであるBO-170形ファミリーボイラと、FU-51D形ルームヒートを組み合わせ、ボイラの運転開始と同時にルームヒートも運転を始め、しかも、ボイラ内の水温は常温という、最も極端な条件でルームヒートの放熱量の時間による変化を調べたものである。

BO-170形ファミリーボイラは、熱出力17,000 kcal/h、貯湯量150 lの灯油燃焼温水ボイラである。バーナには、蒸発式ポット形を使用しているが、日立製作所独自構造のバーナを新開発の燃焼制御機構でコントロールしており、スイッチ一つで全自動運転のできる特長を有している。

実験は実験室で実施したので、配管の長さは実際使用条件に比べ

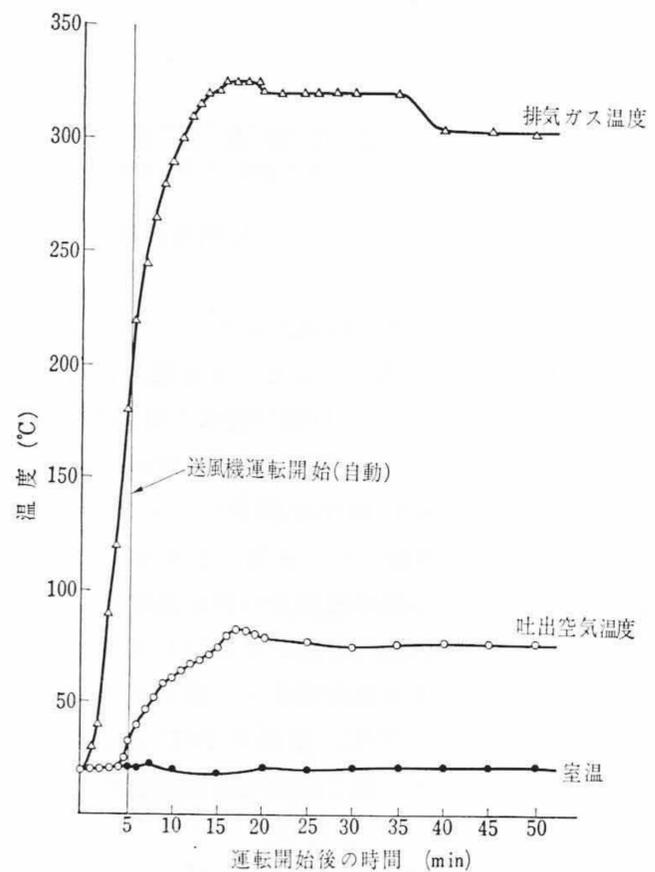


図8 OF-80形オイルファーンエスの運転開始直後の特性

て短く、保温を省略したので、ルームヒートの入口温水温度も、ボイラ出口に対して低くなっているが、60°Cに達するまでの時間は、このような極端な使い方でも28分である。

同じ実験をBO-320形ファミリーボイラで実施したのが図7である。BO-320形は、熱出力30,000 kcal/hで、ガンタイプバーナを使用しており、貯湯量は150 lである。この場合は、初期水温が図6の例に比べて4 deg低い、入口温水温度が60°Cに達するまでの時間は14分である。

比較のため、温風暖房機OF-80形オイルファーンエスの特性を図8に示した。OF-80形オイルファーンエスは、熱出力8,000 kcal/hで、蒸発式ポット形バーナを使用しているが、BO-170形ファミリーボイラ同様、全自動の制御機構を採用しているほか、ダクトの施工も可能で、小出力ではあるが、大形の温風暖房機と同じ取り扱いので

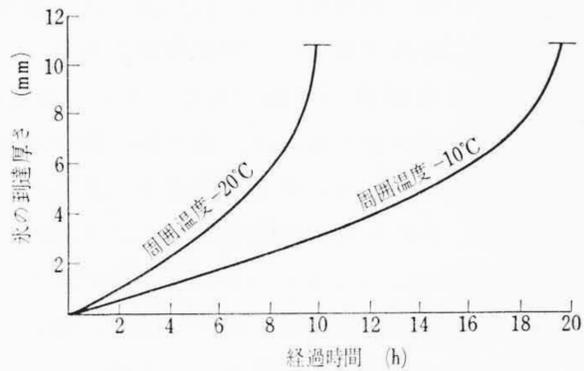


図9 20A ガス管内の氷の成長速度

きるユニークな製品である。

ルームヒートによる温水暖房では、入口温水温度  $70^{\circ}\text{C}$ 、室温  $20^{\circ}\text{C}$  を標準とし、運転開始直後入口温水温度が  $60^{\circ}\text{C}$  に達したとき、すなわち、放熱量が標準の約  $80\%$  になるまでの時間を立上り時間と考え、同様に、温風暖房機では、吐出空気温度と風量で熱出力を測定し、安定時の  $80\%$  になるまでの時間と比較すると、BO-170 形による図6では28分、BO-320 形による図7では14分、OF-80 形の図8では10.5分である。

150 l 貯湯槽は、いったん温度を上げておけば、蓄熱槽として有効に利用できるが、逆に初期の立上りには不利になる。したがって、温水ボイラを給湯と兼用に使用する場合で、暖房開始時の室温上昇時間が問題になるときは、温水ボイラの運転を暖房開始より早くすることが必要である。

### 3.3 配管の凍結

温水暖房で注意を要する事項の一つに、寒冷地で、運転休止中に配管、温水暖房機、および温水ボイラ内部の水が凍結し、これらを破損させるということがある。凍結の防止策として、現在行なわれているものに次の方法がある。

(a) 温水ボイラを停止しないで、温水を循環させる。

この方法は凍結を完全に防止することができる。反面、家人が留守のときは、無人の状態でも温水ボイラを運転するという不安があり、また、凍結防止のために運転経費がかさむ欠点がある。特に運転経費は、外気温  $-10^{\circ}\text{C}$ 、配管の全長  $25\text{ m}$  (牛毛フェルトで厚さ  $20\text{ mm}$  の保温を行なう) 程度の小規模のシステムでも、所要熱量で  $1,100\text{ kcal/h}$ 、灯油の量で  $170\text{ cc/h}$  を要する。

(b) 配管系統内に水を流し、循環させないで使い捨てにする。

流量の選定を誤ると凍結する。前項に述べた例で、入口水温を  $15^{\circ}\text{C}$  にとれば、流量は  $0.3\text{ l/min}$  であるから、この流量が確実に守られれば、簡便で有効な手段である。

(c) 配管系統内の水を抜く。

水を抜く作業を忘れさえしなければ、最も簡単で、間違いを生じない方法である。

本稿では(c)項の配管系統内の水を抜いて、凍結を防止する方法について述べる。

図9は20Aのガス管に水を入れ、両端を密封して、 $-10^{\circ}\text{C}$  および  $-20^{\circ}\text{C}$  の恒温槽にそう入して、氷の成長速度を調べた結果である。氷の成長速度は周囲温度に比例するが、同じ周囲温度では、氷壁の成長につれて外気から水への熱通過率が変化し、また、水の潜熱にとられる熱量が変動するため、成長速度は直線にならない。この氷の成長速度は、管内を水が流れている場合でも同じである。ティーズの近くなど流れが極端に乱れている部分では、過冷却を生ずるが、いったん氷ができ始めると、成長速度は流速には無関係である。

実際には、外気温は時刻により変化し、室温もこれに伴って変化する。実使用状態と同じ配管を行なって、氷の成長速度を調べた結

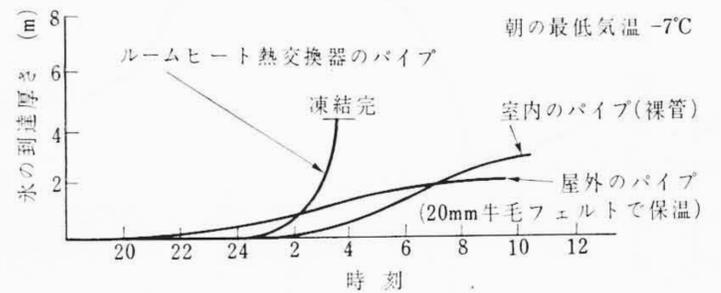


図10 実際配管における管内の氷の成長速度

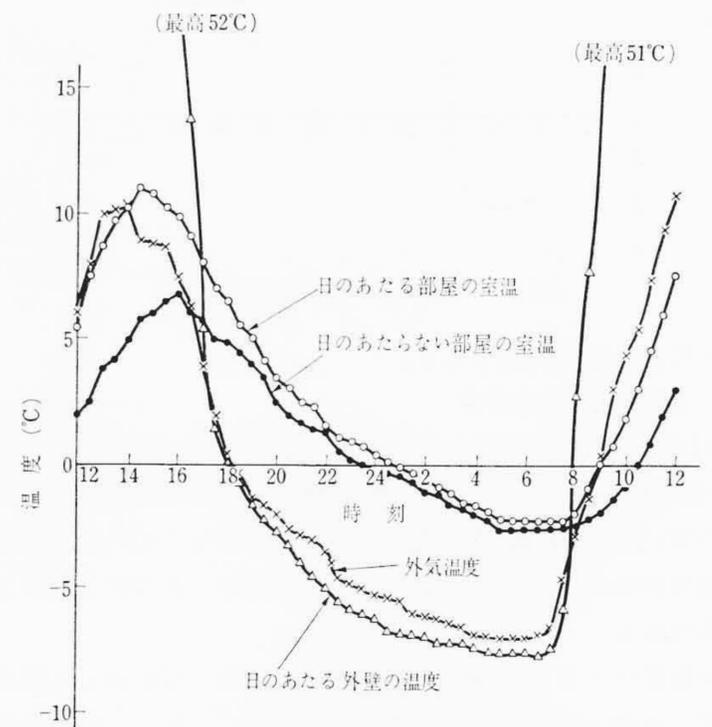


図11 住宅の各部温度

果が図10である。実験を行なったときの外気温、および実験に使用した住宅各部の温度変化を図11に示した。配管には20Aのガス管を使用し、屋外の配管には厚さ  $20\text{ mm}$  牛毛フェルトの保温を行なったが、室内は裸管である。実験に使用した住宅は、建築後20年以上を経過しているが、通常の木造住宅で、実験を行なったときには人は住んでいない。実験では、家人が数日間にわたって留守をした場合を予想し、配管系内には水を満して温水ボイラは運転しないままとした。

図10によると外気の最低気温が  $-7^{\circ}\text{C}$ 、室温の最低が  $-2.5^{\circ}\text{C}$  で、ルームヒートの熱交換器は早朝3時30分には完全に凍結しているが、室内、室外、とも配管は完全凍結をまぬがれている。

実験結果で特に注意すべきことは、室温が  $0^{\circ}\text{C}$  以下になるのは夜半24時であるが、翌朝、 $0^{\circ}\text{C}$  を越えるのは、10時半になっている事実である。このため、室内配管内の氷は10時になっても成長を続けている。

実験結果を整理検討すると、次のような結論に到達する。

- 最低気温が  $-4^{\circ}\text{C}$  以上であれば凍結のおそれはない。
- 最低気温が  $-4\sim-10^{\circ}\text{C}$  の場合はルームヒート内の水を抜く必要がある。
- 最低気温が  $-10\sim-14^{\circ}\text{C}$  になると室内の配管も保温する必要がある。
- 最低気温が  $-14^{\circ}\text{C}$  以下になると全配管が凍結するので、完全に水を抜くことが必要である。

以上の結論はかなり老朽化し、自然換気量の多い木造住宅に対するものであるから、通常の住宅にはこれを通用すれば凍結破損のおそれは全くない。しかし、最低気温の実測値は平年値より  $3\sim5\text{ deg}$  低いことがあるので、実施上は、年間を通じて最も気温の低い1月中旬の最低気温を基準として、これより  $3\sim4\text{ deg}$  低い温度を適用の

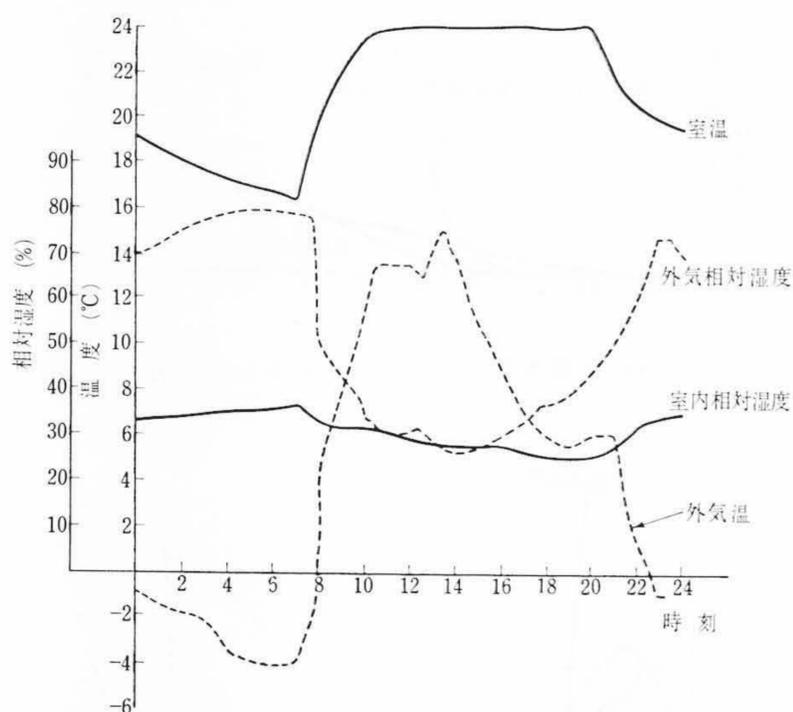


図12 暖房時の室温と相対湿度

基準と考えるのが妥当である。

### 3.4 暖房時の室内湿度

図12は、温水暖房を行なったときの室温と相対湿度の変化を外気と、外気の相対湿度と対比して調べた例である。暖房は日中のみで、朝7時30分から夜20時まで、加湿は全く行っていない。換気は自然換気のほかは、ごく通常起こり得る程度の人の出入りによる換気のみである。

実験結果によると、外気の相対湿度は気温に反比例して変化しているが、室内は温度に無関係にほぼ一定で、一般にいわれるほどの低下はない。花びんの水など加湿源が全くないとして、温度を基準に空気線図上で状態変化を調べると、日中12時には、室温の上昇によって相対湿度は17%となり、夜20時の絶対湿度がそのまま翌朝まで続くと仮定すると、夜半24時には約33%となる。したがって、昼間12時には室内で約0.0025 kg/kgの絶対湿度の増加があることがわかる。これは在室人員の人体からの発散水分、壁体の含有水分の蒸発などによるものと推定される。

暖房時の快適湿度は、温度16~20°Cのとき相対湿度で45~65%とされている。しかし、快適な相対湿度については議論が多く、アメリカでも温度23~24.5°Cにおいて、30~35%、あるいは温度17.3~21.7°Cにおいて、30~70%を最良とする例などがある。

わが国では、住宅暖房と併用する加湿方法が確立されておらず、暖房機に加湿皿を組み込んで、水の自然蒸発により加湿する方法、暖房機とは切り放して、水を霧化して噴霧する単独の加湿機による方法などが行なわれている。一方住宅構造は、気密性が改良されているので、加湿がすぎると思わぬ所に露付を生じたり、あるいは、押し入れにかびを生ずることもあり、住宅暖房に伴う加湿は、今後に残された課題である。

## 4. 結 言

住宅の中央暖房は、現在普及の段階にある。したがって、温水暖

房と温風暖房の利害が論じられている。わが国には、暖房と給湯が同時に、そして急速に普及するという特殊事情があり、ともすれば、結論と直接結びつく温水暖房が万能であると考えがちである。温水暖房と温風暖房のいずれをとるかは、諸外国の例をみても、一律には決めがたく、個々のケースに応じて選定すべきものであろう。しかし、それゆえに、それぞれの特性を明らかにするのが、機器およびシステムの製造販売に当たるメーカーの責任である。本文はこのような立場から、温水暖房の特長を示す特性を、機器の性能としてではなく、温水暖房システムの特長として実験し報告した。結果を要約すると次のとおりである。

(1) 温水暖房の放熱量は、温水循環を一定としても、室温と温水温度の変動があると変化する。この特性は実使用状態で次のような特長となる。

- (a) 運転開始当初、温水温度が所定の温度になっておれば、室温の上昇を早くする。
- (b) 外気の温度あるいは暖房する部屋の換気量など、暖房負荷が変動しても、放熱量がそれに応動するので室温の変化は少ない。
- (c) 暖房負荷に対して、放熱器の容量が大きすぎたり、反対に小さすぎたりしても、負荷との比がそのまま室温に影響せず、室温への影響は比較的少ない。
- (d) 温水温度を変えると(b)、(c)項の特性は、いっそう有効に利用される。

(2) 運転開始当初、温水ボイラと温水暖房機を同時にスイッチインする場合には、水の熱容量が大きいため、室温の上昇を遅らせる。温水ボイラを給湯と兼用に使用する場合には、熱出力も大きくなるが、貯湯量も増大するので、この傾向はさらに大きくなる。したがって、短時間に室温を上げる温水暖房の特長を、発揮するためには、あらかじめ温水ボイラを運転しておくことが必要である。

(3) 温水暖房では、運転休止中に温水暖房機を含む配管系が凍結し破損するおそれがある。その防止方法にはいくつかの手段があるが、配管系の水を抜くのが最も単純で経費が安く、確実性の点でまさる方法である。温水暖房機、室内配管、屋外配管が完全凍結する限界の最低気温を明らかにした。

(4) 暖房時に室内が乾燥することは、温水暖房に限らず、暖房に共通した問題である。実験により室内の相対湿度が屋外とほとんど変わらないことを明らかにした。しかし、冬の快適な相対湿度、加湿方法については今後の課題である。

終わりに臨み本文の実験については、日立製作所栃木工場研究課の各位の協力によるところが多い。記して感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 渡辺要ほか：建築計画原論（建築設備ハンドブックIV）
- (2) CARRIER Co. Hand Book of Air Conditioning System Design
- (3) 井上宇市：空気調和ハンドブック