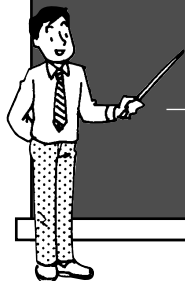


建築物理学講座

第26講「暖房その1」



田中 辰明

(お茶の水女子大学名誉教授・工博)

柚本 玲

(お茶の水女子大学田中研究室・博士(生活科学))

はじめに

暖房方法を熱媒から分類すると蒸気暖房、温水暖房、温風暖房に分類できる。蒸気暖房は米国で、温水暖房は欧州で発達した。蒸気暖房の温かさは米国の開拓時代によく使用された鑄鉄製のガルマストーブの「カッ」とくる温かさに似ているので米国人に好まれたという説がある。一方温水暖房はやわらかい温かさを特徴とし、欧州で好まれた陶製の放熱器、カッヘルオーフェン(Kachelofen)の温かさに似ているところから欧州で発達した。蒸気暖房は放熱器の表面温度が高くなることから、どうしても対流成分の放熱が多くなり、温水暖房は放射成分の放熱が多くなる。温風暖房はこれを冷風に切り替えれば冷房もできるという長所がある。従って暖房負荷も大きいのが冷房負荷も生じるという地域で採用された。しかし、暖房だけを考えると室内の温度分布が良くない、コールドドラフトが生じるなど熱的快適性の点から問題があった。

温水暖房は熱容量が大きく蓄熱が出来るのに対し、蒸気暖房は蓄熱が出来ない。規模の大きい暖房施設では蒸気暖房はボイラに着火して比較的短い時間で暖房を行なうことができるのに対し、温水暖房は時間を必要とする。熱供給発電を行なう場合、温水暖房は二次側で熱を使いいきり、返り温度を低くして熱供給発電の効率を向上させることが出来るのに対し、蒸気暖房ではそのような事はできない。また温水暖房の方が自動制御をきめ細かく行なうことができるのに対し、蒸気暖房ではきめ細かく自動制御に期待することは出来ない等の相違がある。

1. 重力式循環温水暖房

重力式循環暖房方式は温水循環ポンプの発達しない



Photo 1 ブルーノ・タウト旧宅に残る重力式暖房の放熱器

時代によく使用され、発達してきたものである。そのため欧州の古い建物で残っている場合があるが、最近では使用されることは無い。筆者が研究を行っているブルーノ・タウトの旧宅はベルリン郊外のダーレビッツにあり1927年に建設されたものであるが、ここでは重力式の放熱器が残っていた(Photo 1)。

自然の循環力を使用したという点で、配管を逆勾配にしたり、複雑になった場合(例えば鳥居配管が存在する)にうまく循環しないこともあった。それだけに当時の暖房技術者の誇りうる技術であった。昔は暖房職人から職人に伝授されてきた技であるが、ポンプが使用されるようになると、このような技術も伝えられず忘れ去られていった。

一般に重力式循環温水暖房は以下のような長所を持つ。まず、80 以下の低温の暖房であるため危険性が少なく、騒音や振動が無い。また、保守や運転が楽で、部屋の熱負荷に対応して運転しやすく、特別な付属設備は不要である。中央で制御が出来、長時間の運転で経済的であるなどである。一方でポンプ式温水暖房に比べ以下の欠点がある。配管が太くなることから配管設備費が高む。循環水量が多いので装置熱容量が大きくなり、予熱

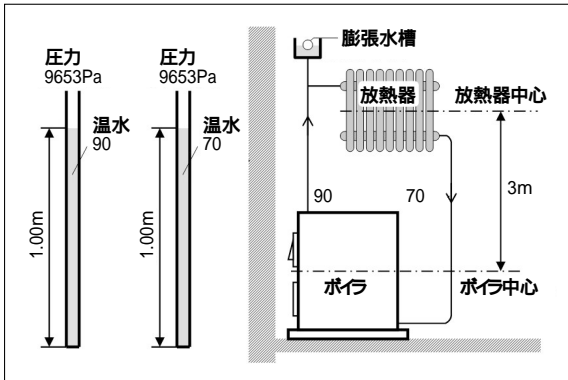


Fig. 1 重力式温水暖房の原理

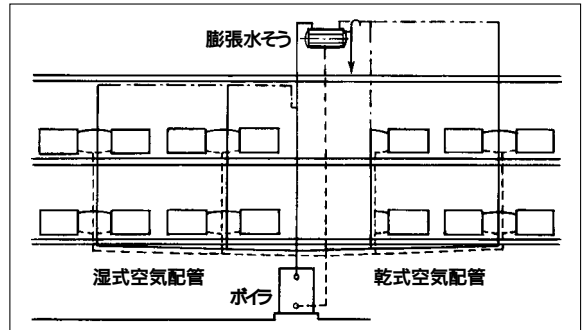


Fig. 2 下方分配方式 (重力式温水暖房方式配管方式)

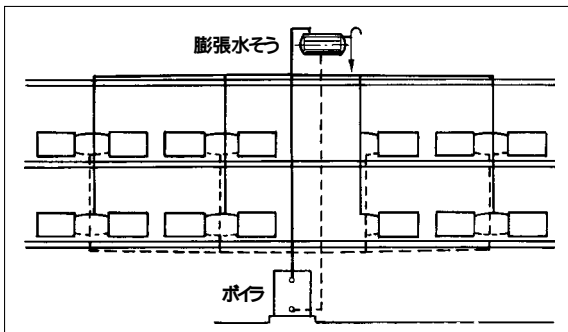


Fig. 3 上方分配方式 (重力式温水暖房方式配管方式)

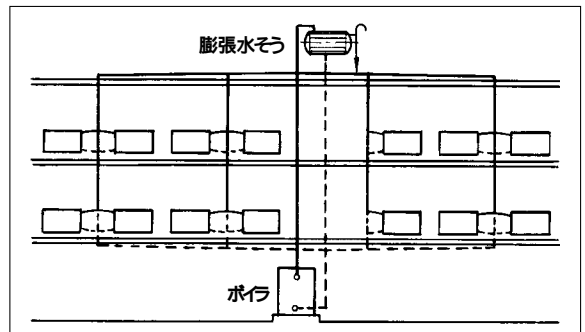


Fig. 4 水平分配方式 (重力式温水暖房方式配管方式)

に時間がかかり、配管からの熱損失が大きくなる。また、冬季に運転を中止した場合に凍結事故を起こす危険性があるなどである。

重力式温水暖房の原理をFig. 1に示す。放熱器で冷却され低い温度となった水は密度が大きくなり、逆に、ボイラを出た温水は温度が高く密度が小さい。この両者の密度差により生じた循環力を用いた暖房方法が重力式循環温水暖房である。このような方法により、ポンプを使用しないで暖房を行なうことが出来たのである。配管方式は一管式または二管式で、住宅、事務所建築で使用される。開放式膨張水槽は大気開放されている。配管内水速は0.2m/sまでである。

例えば、送り温水温度を90、返り温水温度を70とする。その場合、90の温水1mの圧力は9653Pa、70の温水1mの圧力は9778Paであるからその差は125Pa/mとなる。Fig. 1に示すようにボイラ中心と放熱器中心の高さの差が3mであると、圧力差は $125\text{Pa/m} \times 3\text{m} = 375\text{Pa}$ となり、これが温水の循環する駆動力となる。

現存する重力式温水暖房方式も配管方式により、下方分配方式 (Fig. 2)、上方分配方式 (Fig. 3)、水平分配方式

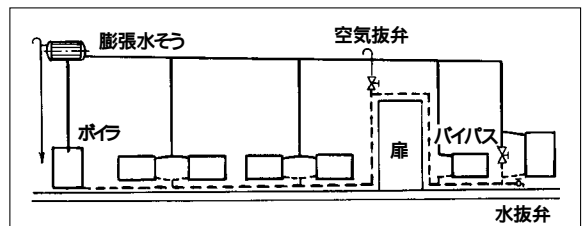


Fig. 5 各階方式による重力式循環温水暖房

(Fig. 4)に分類される。下方分配方式の配管使用量は上方分配方式より少なく経済的である。放熱器の下の横引き配管は、多くの場合地下室の天井裏が使用される。上方分配方式は循環圧力が大きくなり予熱時間が短くなる。しかし配管材料の使用量が多くなり経済的ではない。このシステムは地下室のない建物で使用された。上方の横引き配管を屋根裏部屋に敷設したので、屋根裏部屋が暖まった。水平分配方式は多くの場合、行き管と返り管が共通の一管式であった。同じ大きさの放熱器であれば熱源であるボイラに近い方が放熱量が大きく、放熱器の選定にはそのような配慮が必要であった。Fig. 5に各階方式による重力式循環温水暖房を示す。各階方式の特徴は以下のようなものである。各階の住宅所有者が運転でき、

燃料節約の可能性が高い。暖房費徴収の計算が簡単であり、小さめの建物に適用できるなどである。

2 重力式循環温水暖房と省エネルギー

さて、現在は省エネルギーを尊ぶ時代である。重力式温水暖房はポンプを使用しないから省エネルギーの暖房であり、これを復活させてはという意見が持ち上がることがある。しかし重力式温水暖房が使用されていた時代は、往きの温水温度が90、返りの温水温度が70で室温を20に保つように設計されていた。現在は住宅や建築の断熱化、気密化も進み、当時の放熱器では放熱量が多くなりすぎることもあり、往きの温水温度を50、返りの温水温度を30とするような低温式の温水暖房が主流になっている。場合によっては、これよりもさらに低い温度で暖房を行なうこともある。当然それでも室内の設計温度は20である。低温の温水で暖房を行なった方が、ボイラや配管からの放熱量が減少し、ボイラのオン、オフが減少する等の利点が出てくる。放熱器の温度も低くなるので、対流成分の少ない、快適なやわらかい感じの暖房が行えるという長所もある。

重力式温水暖房からポンプ循環の温水暖房に移ったあとの旧来の暖房では、ポンプをボイラ出口に設けることは出来なかった。ボイラからの往きの温水温度が90と高いことから、フラッシングという温水が気化する現象が生じ、温水循環が不可能になるためである。それが低温式の温水暖房になることで、ボイラの出口にポンプを設置することが可能になり、温水の循環制御が容易になった。

では低温式で重力式暖房を行なおうとすると往きの温水温度50の温水の圧力は9880Pa/mであるのに返りの温水温度30の温水の圧力は9957Pa/mでその差は77Pa/mである。ボイラ中心と放熱器中心の差が3mあるとすると圧力差は77Pa/m×3m=231Pa/mとなり、これは90、70の組み合わせの場合と比べてかなり少なく、循環力が不足することになる。ここで水の圧力計算を行なったが、圧力は次式により計算される。水の大気圧における温度と密度の関係をTable 1に示す。

$$\text{式) 1 } p = h \cdot \rho \cdot g$$

ここにh:高さ(m)、 ρ :水の密度(水の温度により異なる)(kg/m³)、g:重力加速度(m/s²)=10m/s²

Table 1 水の大気圧における温度と密度の関係

t (°C)	ρ (kg/m ³)	t (°C)	ρ (kg/m ³)	t (°C)	ρ (kg/m ³)
10	999.7	80	971.6	150	916.8
20	998.3	90	965.2	160	907.3
30	995.7	100	958.1	170	897.3
40	992.3	110	950.7	180	886.9
50	988.0	120	942.9	190	876.0
60	983.2	130	934.6	200	864.7
70	977.7	140	925.8		

3 強制循環暖房

建設産業が発展し、建物も大型化、複雑化し、配管もフレキシビリティが要求され、自由な配管、細い配管システムを持つ暖房の要望が高まった。こうして配管システムに循環ポンプが設置されるようになった。循環ポンプが設置されると迅速にシステムの末端まで温水搬送される。したがって負荷への対応が良く、配管が細くなりユーザーから歓迎されるようになった。循環ポンプが取り付けられると同時に、ボイラの効率改善も進み、熱源を一種類の燃料に頼る必要も無くなった。灯油と石炭、または木材を使用することが使用できるような、燃料缶が2つある鋼製ボイラや、給湯と暖房が行えるボイラが出現した。

強制循環暖房は重力式循環暖房に比べて以下の長所がある。装置熱容量が小さく予熱時間が短い、配管径が細いので配管費用が安く済む。従って配管からの熱損失も少なくなり燃料の節約になる。また、配管の凍結の恐れが少ない、配管敷設の自由性が高まるなどである。一方、ポンプを用いることで騒音が生じる、装置費が高めになる、ポンプ運転の電気エネルギーが必要になる(一般に燃料費の3~5%)、重力式に比べれば運転が複雑になる等の短所もある。多層階建築、事務所建築、病院、住宅群に使用することが出来、複雑な配管でもこのシステムを応用することが可能になるが、エア抜きが必要になる。

強制循環温水暖房の系統図例をFig.6に示す。温水循環ポンプはボイラの出口(温水の往き管)に設置する場合もあるし、ボイラ入り口(温水の返り管)に設置する場合がある。かつてはボイラ入り口(温水の返り管)に設置するのが常識であった。これはボイラの送り水温が90と高く、ボイラの出口側にポンプを設置するとキャビテーションを起こす恐れがあったからである。また、返り管

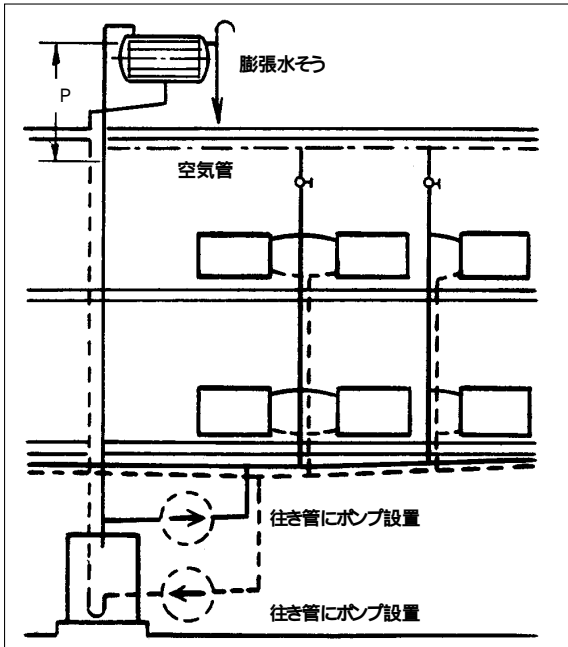


Fig. 6 強制循環温水暖房の系統図例

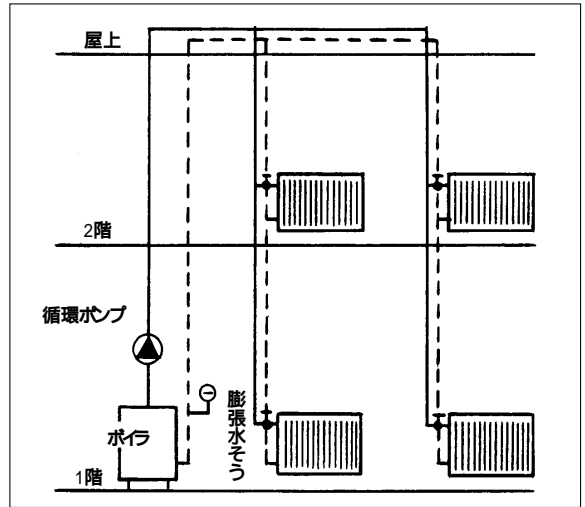


Fig. 7 ボイラを最下階に設置した強制循環温水暖房

になっている。また、ポンプ自体の性能向上もあって、ポンプがボイラの出口側（温水の往き管）に設置されるのが通常になっている。温水をポンプで循環することからボイラの設置位置も自由で、ボイラを最下階に設置する場合もあれば（Fig. 7）最上階に設ける場合もある（Fig. 8）。

4 高温水暖房

密閉配管中の温水を加熱すれば温水温度は100 を超えて上昇し、圧力も高まる。こうして送水温度180、帰り温水温度80 程度でポンプ循環する暖房を高温水暖房と呼ぶ。この暖房方式は配管敷設が容易で送水温度を中央で正確に制御できる、配管敷設費が安価である、腐食の可能性が少ない、経済的な暖房運転が出来る、高圧蒸気に比べて安全性が高い、運転が楽である等の長所を持つ。一方配管や放熱器表面温度が高温になるので配管からの熱損失が大きくなり、場合によっては火傷の危険性もある。またエネルギー費が高くなる、一般に床暖房、天井暖房などの放射暖房には適さない等の欠点がある。一般に工場など敷地の広い場所の暖房に適し、丘陵など高低差がある場所での敷設に適する。特に熱供給発電に適する。加圧の方法としては機械室の高い位置に設けた膨張水槽を用いて行なうものと、窒素ガスなど不活性ガスのボンベを用いて加圧するものがある（Fig. 9）Fig. 10 に高温水暖房の概念図を示す。

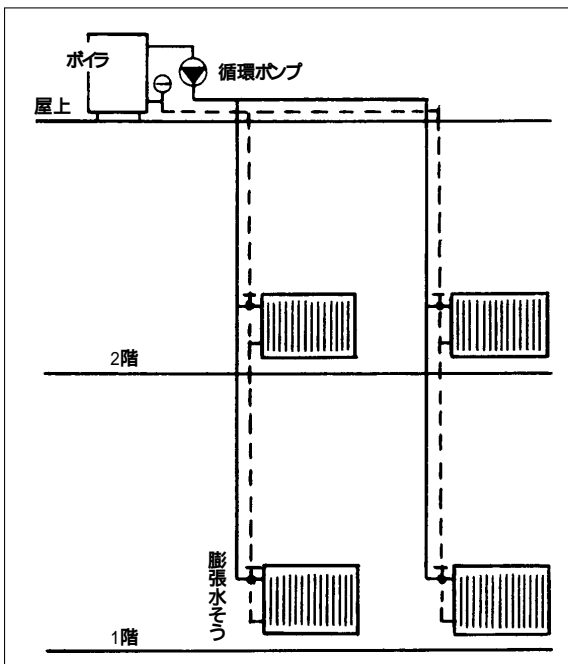


Fig. 8 ボイラを最上階に設置した強制循環温水暖房

の方が当然水温が低いため、ポンプは低い水温で使用したほうが効率が良かったからである。しかし最近では、送りの温水温度がかなり低くなった低温式暖房が一般

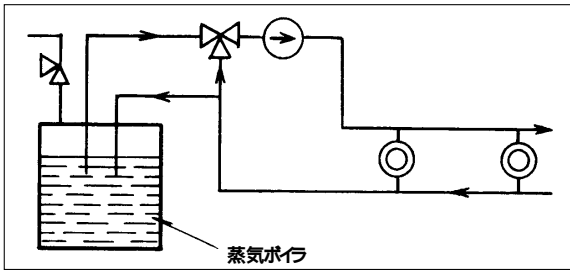


Fig. 9 窒素ガスなど不活性ガスのポンプを用いて加圧するもの

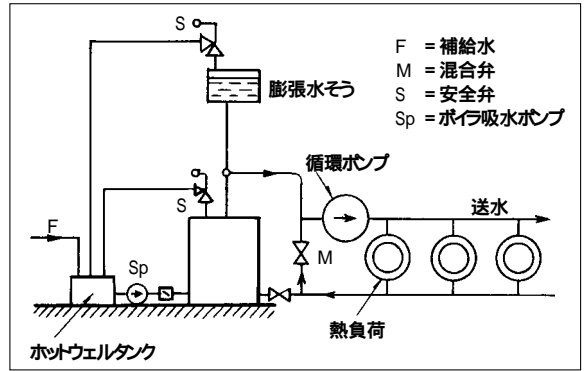


Fig. 10 高温水暖房の概念図

5 低圧蒸気暖房

専用の蒸気ボイラ、廃蒸気などを用いて行なう暖房で、蒸気温度は100 以上、圧力は110~150kPaである。設備費は安く、配管も補足、暖房装置の熱容量が小さい。したがって予熱時間が短くて済む。凝縮水配管を除けば凍結の恐れは無い。放熱器が小さくて済み、凝縮水を計量することで簡単に熱量測定ができる、暖房運転の監視が楽である等の長所がある。一方配管や放熱器の表面温度が高温になる、配管敷設が簡単ではない、蒸気温度を制御しても暖房負荷に適合できない、すなわち制御が容易ではない、配管の伸縮がある、保守が簡単ではない、凝縮水配管の敷設が困難であるなどの欠点を持つ。一般に工場、学校、体育館など広域な施設の暖房に適する。凝縮水配管は腐食を受ける恐れもある。一般に燃料費は高めになる。

6 高圧蒸気暖房

蒸気圧力200~500kPa、蒸気温度110 ~150 程度の蒸気で暖房を行なうもので、長所、短所は低圧蒸気暖房と同様である。

<参考文献>

- 1) 田中辰明：防寒構造と暖房：理工図書(1993/7)
- 2) Recknagel / Sprenger / Hönnemann: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik : Oldenbourg(94/95)
- 3) Bach Niedertemperaturheizung Verlag C F .Muller , Karlsruhe

建築仕上材ガイドブック

<2006年版>

日本建築仕上材工業会 編集

2006年版 建築仕上材ガイドブックの構成

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 口絵(建築用仕上塗材の標準パターン) | 5編：現場と施工(4項目) |
| 1編：建築用仕上塗材(32項目) | 6編：関連法規(5項目) |
| 2編：下地材・左官材(10項目) | 7編：規格と仕様(16項目) |
| 3編：補修材(8項目) | 8編：資料(工業会について、 |
| 4編：鉄筋コンクリート建築物補修・改修工法(5項目) | 商品一覧・索引、会員名簿、ほか) |



A4判 320頁
3,500円(税・送料別)

ご注文は(株)工文社まで 〒101-0026 東京都千代田区神田佐久間河岸71-3 TEL.03-3866-3504 FAX.03-3866-3858