石炭燃焼による貯湯式温水器

—昭和42年7月19日受理—

常磐炭礦株式会社 吉田 威
早稲田大学 小泉 睦男

I. 緒論——貯湯式温水器について

燃料の燃焼または電熱によつて加熱した温水を、ある程度の大きさの容器にためておき、必要に応じてとり出して使用するものを貯湯式温水器という。40～200ℓ程度の貯湯容量を有するものが家庭用の温水器として用いられる。用途としては、ちゅう房給湯用、洗面用、シャワー用、浴槽用、浴場給湯用、などがある。わが国の国民生活の一般的な向上とともに家庭用の給湯設備が次第に普及しつつあり、貯湯式温水器の需要も増加している。

貯湯式の温水器に対し、貯湯容器を持たず、供給された水が加熱されてすぐ湯となつて出てくるものを瞬間温水器（湯わかし器）という。これには燃料の点火が容易で、その調節も簡単である所からもつぱらガスが燃料として用いられている。普及という点からは現在最も多くの家庭で使われているものであろう。

瞬間式温水器は、連続的に温度変化のない温水を供給する場合（たとえばシャワー）、一度に相当多量の温水を必要とする場合（たとえば洋式の浴槽）には向いていない。また貯湯式の温水器では比較的調節の困難な燃料も使用することができ、燃料費の低下を期待できる利点もある。

家庭用の貯湯式温水器としては現在のところガスを燃料とするものが多く、また電熱（主として夜間の余剰電力を利用するもの）もあるが、上記の燃料に関する利点はあまり生かされていない。これは取扱いの便利さがやはり重要な因子となつているからであろう。しかし使用温水量が増加すると、もつと熱量単価の低い燃料が要求されるようになるであろう。

以上のような理由で著者らは比較的多量の温水を利用する貯湯式温水器として、新しい形式の石炭燃焼貯湯式温水器を試作し、研究を行なつた。以下にその構造、使用法、実験の結果をのべる。

II. 石炭燃焼貯湯式温水器の構造と使用法

1. 構造

この試作温水器は浴槽へ温水を供給することも考慮

1. 燃焼室	7. 煙突
2. 燃焼室蓋	8. 断熱材（斜線部）
3. 空気孔	9. 給水管
4. ポット	10. 温水出口管
5. 煙管	11. 温水弁
6. ガス集合部	12. 冷水弁

図1 石炭燃焼貯湯式温水器の構造

表1 石炭燃焼貯湯式温水器の主要諸元
（設計値）

貯湯容量	203ℓ
燃料使用量	3kg（低発熱量 5,500 kcal/kg）
加熱温度	80℃（初温 20℃）
伝熱面積	0.773 m ²
ポット容積	0.00575 m ³
燃焼室上部容積	0.00695 m ³
主燃焼時間	0.5 hr
伝熱面熱負荷	2.8×10 ⁴ kcal/m ² hr
熱効率	60.0%
煙突内径	150 mm
煙突高さ	5 m 以上

して貯湯容量を約 200ℓ とした。その構造は図 1 に示され、その主要諸元（設計値）が表 1 に示される。

2. 温水器の使用法

この温水器はポットにいった定量の石炭を全部燃焼させ、それによつて槽内の水を一度に加熱し、その後必要に応じて温水を使用する形式のものである。

温水器にはまず冷水を満しておく、その冷水温度、必要とする温水温度、外気温度などを考慮して石炭量を定め、ポットに入れる。石炭量 3~4 kg で 80°C の温水が得られるように設計されている。

ポット内の石炭の層の上に着火剤をおき、点火して燃焼室内の所定の位置にポットを挿入し、蓋をしめ空気孔を適当にあけておく。そのままの状態では燃焼は自動的に進行し、30min~80min で完全に燃えつきる。空気孔からのぞいてポットの下に火の光が見えなくなったら空気孔は閉めておく方がよい。石炭の灰は次の加熱の前にポットごと取り出す。

温水を使用するときは図 1 の温水弁をひらく。そうすると水道管からの水が温水器の下部に供給され、内部の温水をおし上げて、温水出口から配管を通つて温水が出てくる。温水の温度が高すぎる場合は冷水弁をあけて適当に冷水を混合する。

温水器内の温水がほとんど完全に冷水に置換された後、つぎの加熱を行なう。

3. この温水器の特徴

全体の構造としては比較的細長い形にしてある。このことにより据付面積を小さくし、空間の利用率が高くなる。また燃焼室から煙突まで燃焼ガスが直上方に向つて流れ、ガス流れの抵抗が少なく、空気の吸入がよいので着火が容易である。

伝熱面の主体は煙管であるが、ポット上方に十分な燃焼室容積をとり、この部分で放射伝熱を活用している。

上面着火のポット燃焼（下込燃焼過程）では上込燃焼過程とくらべて不完全燃焼やすすの発生は少ないが、主燃焼期には不完全燃焼ガスを発生することがある。そこで使用石炭としては比較的火移り速度が遅く、しかも燃えきりのよい石炭（固有水分の多い石炭）を用いるのがよい。不完全燃焼ガスを出しやすい石炭を用いる場合にはポットの高さを低くしてポットと上部燃焼室の間のすきまから二次空気を適当に吸引するようにするとよいであろう。

加熱に際しては温水器内の温水温度が最終的にはできるだけ均一になるようにする必要がある。それには温水器下部での加熱量を大きくするのがよい。その意

味で燃焼室内の放射伝熱が有効に利用され、また煙管もある程度の長さにとどめてある。特に燃焼ガスが温水器の最上部をぬける所でもなお加熱が行なわれていると水温が上つた場合に上部で蒸気が発生したり伝熱面に蒸気泡が停滞したりするおそれがある。そこで温水器上部では煙突と温水槽の間に保温材をつめて伝熱が行なわれないようにしてある。

温水をとり出すときには冷水を下部から送りこむので、温水器内で温水と冷水が混じて水温が低下するおそれがある。これを防ぐのには給水管内を流れる水を層流の状態にしておく必要がある。そうすれば温水と冷水の比重差によつて温水は必ず冷水の上に乗りに完全に層状となつて分れる。したがつて温水はほとんど温度低下することなくその全部を利用することができる。また温水弁、冷水弁は一つの蛇口に二つの弁が組合わせられたものを使用し、両手で同時に調節できるようになっている。

この構造からわかるように温水器は温水出口管を通じて大気に開放されているので圧力が上る心配は全くない。

4. 実験によつて解明すべき点

上述のような構造の試作温水器について実験研究を行なうに当たり、つぎのような点が特に検討の対象となる。

a. 温水器内の温度分布：温水器内の温水の上下の温度差はできるだけ小さいのが望ましい。その点を十分顧慮して設計してあるがどの程度の温度分布となるかは実験で求めるほかない。

b. 温水を放置したときの温度降下：使用条件によつては温水をつくつてからかなり長時間放置されることもある。そのときの温度降下の程度を知る必要がある。

c. 温水器の熱効率：この温水器は燃料費が低いことが特徴であるから、その効果を發揮するために少なくとも設計の熱効率は維持しなければならない。

d. 燃焼時間：燃焼している間は温水を使用しないのであるから、この時間はできるだけ短い方がよい。

Ⅲ. 実験結果とその検討

1. 実験結果

長倉特号中塊および神の山小塊（表 2 参照）を用いて行なつた実験の結果を表 3 に示す。

加熱時における温水器内の温度変化の一例が図 2 に示される。温度測定的位置は図 3 に示されるとおりである。

燃焼排ガスの温度変化とガス組成の変化の一例が図

表 2 使用炭の組成と発熱量

銘 柄		長倉特号中塊	神ノ山小塊
工業分析	水分 (%)	8.5	14.2
	灰分 (%)	12.9	16.1
	揮発分 (%)	44.7	32.8
	固定炭素 (%)	33.9	36.9
元素分析	炭素 (%)	65.3	64.0
	水素 (%)	5.4	4.9
	酸素 (%)	13.6	15.2
	窒素 (%)	0.8	0.8
	燃焼性イオウ (%)	0.5	0.3
高発熱量 (kcal/kg)		6,110	5,350
低発熱量 (kcal/kg)		5,800	5,030

4 に示される。

2. 燃焼時間と温水器効率

空気孔の開度を小さくすると空気流量が減じて、その結果燃焼時間が長くなる。ただし、空気流量は煙突や煙管の閉塞の程度や、風の状態などによっても影響をうける。そこで空気流量はむしろ燃焼時間から判定される。その意味から燃焼時間に温水器効率との関係をとると図 5 に示すようになり、かなり明瞭な相関がある。

設計値としては燃焼時間を 30min 程度としたが、これはポットの径の点からみて少し無理であつたようである。実験値は 60min 以上の値を示しているが、燃焼時間が長いほど温水器効率は高くなる。温水器の

表 3 実験結果 (燃焼時間・熱効率)

使用炭：長倉特号炭，燃料使用量 3 kg

空気孔開度	実験番号	はじめの水温 (°C)	燃焼終了時の温水器内平均温度 (°C)	燃焼時間 (min)	温水器の受熱量 (10 ⁴ kcal)	温水器効率 (%)	浴槽にとり出した水量 ¹⁾ (l)	浴槽内平均温度 (°C)	浴槽熱効率
全開	1—1	20.0	83	140	1.28	73.6	202	77	66.1
	1—2	20.0	84	140	1.30	74.8	208	73	63.4
	1—3	17.0	78	130	1.24	71.2	203	68	59.5
	1—4	18.0	79	150	1.24	71.2	207	69	60.8
1/2 開	1—5	17.0	90	190	1.48	85.0	210	79	74.8
	1—6	19.0	82	180	1.28	73.6	203	76	66.5
1/3 開	1—7	20.0	90	190	1.42	81.6	210	80	72.4
	1—8	20.0	94	335	1.44	82.8	215	81.5	76.0
全開 ²⁾	1—9	16.0	75	120	1.20	69.0	—	—	61.5
1/2 開	1—10	16.0	76	152	1.22	70.2	—	—	61.8
	1—11	15.0	79	168	1.30	74.8	—	—	—

使用炭：神ノ山小塊，燃料使用量 3 kg

全開	2—1	20.0	78	163	1.177	78.0	205	69.0	66.6
	2—2	20.0	75	136	1.115	73.8	205	70.5	68.6
	2—3	19.0	76	146	1.156	76.6	220	83.0	64.2
1/2 開	2—4	16.0	75	172	1.198	79.3	205	70.5	74.0
	2—5	15.0	76	186	1.239	82.1	212	69.0	75.8
1/3 開	2—6	20.0	72	135	1.055	69.9	203	66.0	61.9
	2—7	21.5	82	170	1.229	81.4	—	—	—
全開 ²⁾	2—8	16.0	67	105	1.035	68.6	—	—	—
	2—9	18.0	68	90	1.015	67.2	—	—	—
	2—10	17.0	67	120	1.015	67.2	198	62.0	59.0
1/2 開	2—11	15.0	66	102	1.035	68.6	198	62.5	62.3
	2—12	19.0	70	126	1.035	68.6	199	65.0	60.7
1/3 開	2—13	18.0	70	122	1.055	69.9	—	—	—
	2—14	17.0	70	113	1.075	71.2	200	63.0	61.0

1) 蛇口を出る水温が 45°C になるまでに浴槽にとり出された水量

2) 1—9~1—11, 2—8~2—14 の実験は煙道内の掃除をした後の実験である。

保温がよいので、この結果は当然予想される所である。温水器効率が設計値より上回っているのはこのためであつて、図における相関を延長すると燃焼時間

30min の所で設計値に近い効率が得られることになる。

燃焼時間を 30min として火格子燃焼率を求めると

図 2 加熱時における温水器内温度分布

図 3 温水器内温度測定位置

図 4 燃焼排ガスの温度とガス組成の変化

約 $188 \text{ kg/m}^2\text{hr}$ となる。自然通風の場合の火格子燃焼率は $100 \text{ kg/m}^2\text{hr}$ 程度とされているから、ポットの径を 300 mm 程度とすれば所期の燃焼時間となるであろう。

3. 温水器内の温度分布

燃焼終了時の温水器内の温度分布は図 2 に示されるように予想以上に均一であつて、上下の温度差が 7°C を越えない。これは燃焼・加熱中には内部の水の流動

図 5 燃焼時間と温水器効率

がきわめてよいことを示している。特にポットの位置より上ではほとんど温度差がないといつてよい。

したがつて上部のみ過熱されるという心配は全くない。また貯湯量 203 l がほとんど完全に温水として利用できることを示している。

4. 燃焼過程

図 4 に示されるように主燃焼過程はポットの下燃焼に特有な二つの過程に分けられるようである。すなわち燃焼帯が火格子面まで到達する火移り期と、火格子上に残された炭素が下から上へ燃え上つていく燃え上り期とである。

火移り期の前には着火期があつて燃焼ガス温度やガス中の CO_2 は点火後はじめはゆっくりと、後に次第に加速的に上昇する。これは自然通風なので燃焼ガスの温度上昇と空気流量の増加が相互に影響しあうことにもよるが、着火そのものに要する時間、炭層表面全体に着火部がひろがる時間に関係している。炭層表面全体が一度に着火するような点火方式を用いれば、もつとすみやかな燃焼ガス温度の上昇がみられるであろう。

燃え上り期のあとの後燃え期は非常に短かく、 CO_2 濃度はきわめてすみやかに低下して 0 となる。これは使用燃料が水分の多い非粘結炭であることによるもので、この種の石炭が、この装置に適合していることがわかる。

5. 放熱による温度降下

温水をつくつてからしばらく放置する場合、保温材を通しての放熱によつて温水の温度が徐々に降下する。この温度降下の程度をしらべるために行なつた実験の結果が図 6 に示される。冷却とともに温水器内上下の温度差はややひろく傾向があるが、平均温度につ

図 6 加熱した温水器を放置した場合の
温水温度の降下

いて冷却曲線の近似式を求めると

$$\theta - \theta_0 = (\theta_i - \theta_0)e^{-\frac{t}{40}}$$

となつた。ここで θ_i , θ は温水器内の温水の初温およびある時刻における平均温度 $^{\circ}\text{C}$, θ_0 は外気温度 $^{\circ}\text{C}$, t は実験開始からの時間 hr である。すなわち時定数 40 hr の一次冷却曲線で近似できる。これは外気温度との差が 40°C のとき毎時 1°C の温度降下があることを示す。

したがって就寝時に加熱しておいて翌日早朝に温水を利用するときの温度降下は 10°C 以内にとどまり、早朝に十分高温の湯水を用いることができる。

6. 温水のとり出し速度

試作の装置は給水管として $\frac{3}{8}$ B ガス管 (内径 12.7 mm) を用いたので層流という条件では温水のとり出し速度は最高 1.2 l/min となり、実用には少なすぎるようであつた。事実 200 l の浴槽に温水を満すのに 60 min 以上の時間をかけている。もつとも 45°C の水 200 l をうるには 30 min でよかつた。

給水管として 1B ガス管 (内径 27.6 mm) を用いれば温水を 2.5 l/min とり出すことができる。

IV. ま と め

以上の実験結果から、試作温水器は給水管を 1B ガス管とすれば十分実用に耐えるものであることがわかつた。

もちろん商品化にあつては底部の腐食防止 (槽内は常に満水しているので酸化はそれほどはげしくない)、槽内の温水の置換程度の検出装置などきめの細かい改良を必要とするが、いずれも技術的にそれほど困難なものではない。

実用装置として本温水器の特色はつぎの点にある。

(i) 有効熱量当たりの燃料費が低いこと：実験には中塊炭と小塊炭を用いたがその差異は少なく、粉炭に近いものの使用も可能で、そうすればさらに燃料費の低減ができる。ただし一回ごとに着火剤を用いるので、安くて火つきのはやい着火剤の開発が必要である。

(ii) 石炭燃焼としては手間がかからないこと：石炭燃焼の装置は一般に手間がかかると考えられているが、本装置ではポットに石炭をいれて点火すること (煙突の構造が悪くなければ容易に着火する)、ポットごと灰をとり出して捨てること、の二つの作業で一日分の温水が得られる。

そのほか貯湯式温水器としての特徴を持ち、また燃料が石炭であるから安全性が高い。

以上の点から本考案の貯湯式温水器は一日に $15,000 \text{ kcal}$ 程度以上の温水熱量を要する場合に非常に有効なものと思われる。

なお本実験の遂行には早稲田大学生 金谷善治君、高見忠臣君の協力があつた。記して謝意を表する。

Coal Firing Hot Water Boiler for Domestic Use

by Takeshi Yoshida & Mutsuo Koizumi

(Joban Coal Mining Co., Waseda University)

SYNOPSIS:—A new type of hot water boiler for domestic use is devised. The boiler, a vertical cylinder 500 mm in diameter 1300 mm in height 200 l in volume, is heated by coal which is fired in a cylindrical pot placed at the center of the bottom of the boiler. Combustion gas goes upwards through smoke tubes and is exhausted to a chimney. About 3 kg of coal is burned in one time and water is heated from about 20°C to 80°C , then the hot water is used until it is almost replaced by the cold water. As the result of experiments, it is shown that the thermal efficiency of the boiler is of $67 \sim 82\%$ and heating time is about 1 hour.