

# 鋼管式給水加熱器

## The Steel Tube Heater

中崎豊一郎\*  
Toyoichirō Nakazaki

谷岡啓次郎\*  
Keijirō Tanioka

植西晃\*\*  
Akira Uenishi

### 内 容 梗 概

火力発電所における使用蒸気の高圧化、およびそれに伴う貫流ボイラプラントの使用増加にしたがって、給水処理がきわめて重大な問題となってきたが、給水系統よりの銅の溶出を防止するためには、給水加熱器に鋼管を使用することがきわめて有効である。

鋼管は従来一般的に使用されていなかったために熱貫流率、耐食性など、技術的に未知な点が多かったが、日立製作所ではこれらの点を広く調査研究し、実用上問題となる点を全面的に解明したので、ここにその調査研究の一端を発表する。

### 1. 緒 言

最近の高圧火力プラントにおいては、プラント全体の腐食防止および性能確保のために、ボイラ給水を高純度に保つことが大きな問題となっており、全固形分、鉄、銅などの溶存量が大幅に制限されている。そのためには適当な給水処理を行なうことはもちろん、給水系統から鉄、銅などが溶出することがないよう防止することが必要である。

これを解決する最近の新しい方法の一つとして鋼管式給水加熱器の使用が考えられているが、日立製作所では早くからこの点に注目し、西ドイツ、イギリス、アメリカなど諸外国の使用実績を調査するとともに鋼管の熱貫流率、鋼管と管板の溶接法などについて調査研究を行ない、さらに鋼管の防食対策などについても検討を加え、鋼管式給水加熱器の使用上問題となる点を全面的に解明し、非常にすぐれているという結論を得た。

現在、東京電力株式会社五井火力発電所など数箇所の発電所にこの鋼管式給水加熱器が採用され、すでに設計を完了し、鋭意製作中である。

以下主として、鋼管式給水加熱器と給水処理の関係、鋼管の熱貫流率、諸外国の使用実績、保守上の問題点などについて述べる。

### 2. 給水加熱器と給水処理

#### 2.1 最近の給水処理

最近の火力発電設備は高効率で運転をするために、使用蒸気の高圧化が要求され、それに伴って、給水純度も一段と高いものが要求されるようになった。

そのために固形分が全然残留しない揮発性薬品による no solid treatment が行なわれるようになり、従来一般的に使用されていた亜硫酸ソーダ (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)、りん酸ソーダ (Na<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>) などの代りにヒドラジン (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)、アンモニア (NH<sub>3</sub>) が使用されるようになり、このことが、給水加熱器の材質を選定する上において一つの問題となっている。すなわち脱酸素剤としてのヒドラジンは式(1)のとおり酸素と反応して水と窒素ガスになるわけであるが、余剰のヒドラジンは熱をうけて式(2)のような反応の結果アンモニアを生成する。



したがって給水加熱器の給水側および胴体側の加熱蒸気中のアンモニア濃度が增大するので、アンモニアに対する耐食性の弱い銅系統の合金を加熱管として使用することは大きな問題となる。

\* 日立製作所日立工場

\*\* 日立製作所日立研究所

特に強制貫流ボイラプラントにおいては余剰のヒドラジンはすべて式(2)の反応によりアンモニアに分解するので、よりいっそう重要な問題となってくる。

#### 2.2 アンモニアに対する鋼管の耐食性

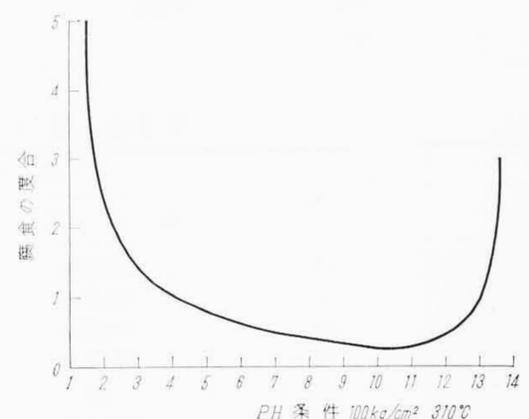
従来高圧給水加熱器の加熱管として一般的に使用されていた7:3 キュプロニッケル、70:30 Ni:Cu 合金 (モネルメタル) などの銅系統の合金と鋼管についてアンモニアおよびPH 値に対する耐食性を比較すると大きな相異がある。

すなわち、超臨界圧力プラント Philo No.6 の運転実績などでも明らかにされているとおり、アンモニアによりPH コントロールを行なう場合、PH 値が9.0~9.6 程度の比較的高い値になると、給水加熱器の胴体側および給水側からの銅の溶出量が急速に増加する<sup>(1)</sup>。

この銅がボイラおよびタービンに積もり、ボイラチューブの事故およびタービンの効率低下の原因になることはよく知られている事実である。その結果 Philo No.6 では、7:3 キュプロニッケルの加熱管を鋼管に取替えたことが報告されている。

一方鋼管はアンモニアに対する耐食性が非常に強く、PH 値によって耐食性が変化する割合を示すと第1図のとおりで、比較的PH 値の高い部分でその耐食性が最も強くなっている。ここで給水設備、ボイラ各部分の構成材料を考えてみると、給水管、加熱器胴体、節炭器、ボイラ本体などはいずれも鉄系統の材料で作られており、給水加熱器の加熱管を鋼管にすれば給水系統の材料をすべてボイラと同一の鉄系統の材料にすることができるわけである。したがって従来は銅系統の合金材料と鉄系統の材料が同一給水系統に含まれていたために非常に困難であったPH 値の選定、PH コントロール剤の使用が比較的簡単になり、鉄系統の材料に最も適した給水処理を行なうことができるわけである。

第1表、第2表に西ドイツのHüls 発電所<sup>(2)</sup>、アメリカのBreed 発電所<sup>(3)</sup>の給水制限値を示すが、このように銅の含有量が制限される場合には鋼管の使用が非常に有効である。



第1図 PH 値と鉄鋼の腐食の関係

### 3. 鋼管式給水加熱器の使用状況

#### 3.1 ヨーロッパ<sup>(2)</sup>

西ドイツにおいてはベンソン、ズルツァーなどの貫流ボイラの使用が非常に盛んで高圧給水加熱器の加熱管は約 80% が鋼管で他は 9:1 キュプロニッケル, 7:3 キュプロニッケルとなっており, 日本およびアメリカで最も一般的に使用されている 70:30 Ni:Cu 合金 (モネルメタル) はほとんど使用されていない。

また, これら銅系統の合金は比較的早く建設された発電所のもので, 最近新しく建設される発電所ではほとんどすべてが鋼管を使用している。特に世界でも最も運転実績が長く, 最も温度圧力の高い超臨界圧力発電所 Hüls 85 MW では主蒸気条件 300 atg, 600/560/560°C, 最終給水温度 337°C であるが, このプラントにも鋼管が使用されており, 数年にわたって全然事故なく運転を続けている。

第 3 表に西ドイツの代表的な発電所における鋼管式給水加熱器の使用実績を示す。これらの発電所では, いずれも相当長い運転実績を有し, 鋼管の腐食事故は全然経験しておらず, 事故なく鋼管が使用されているのが現状である。

一方低圧給水加熱器は酸素に対する耐食性の問題があるために, アメリカ, 日本と同様に約 50% はアルミニウムブラスなどの銅系統の合金が使用されており, 残りの約 50% は SEKAPHEN と称する特殊な耐熱塗料を焼付けた鋼管を使用している。

イギリスの火力発電設備は使用蒸気の温度圧力が比較的安く, 貫流ボイラプラントはほとんど使用されていない。したがって加熱管材質は 9:1 キュプロニッケル, 7:3 キュプロニッケルなどの銅系統の合金を使用しても従来はほとんど問題にならなかったのであるが, イギリスにおいても火力プラントの蒸気条件が次第に高温高圧になるにつれて, 起動停止の多いプラントで 7:3 キュプロニッケル管の腐食事故が発生し, 約 3 年位前から鋼管の使用が盛んになってきている。

すなわち使用蒸気の温度圧力が高くなるとキュプロニッケルは, その高温強度と, 耐食性の点で使用できなくなり, アメリカおよび

日本ではキュプロニッケルの使用限度以上の温度圧力では 70:30 Ni:Cu 合金 (モネルメタル) を使用しているのに対して, イギリスでは鋼管を使用しているわけである。特に最近新しく建設されるプラントの大部分は鋼管が使用されている。

#### 3.2 アメリカ

アメリカにおいて使用されている加熱管材質は, 日本と同様キュプロニッケル, モネルメタルなどの Cu-Ni 系の合金がほとんどである。しかしアメリカにおける使用蒸気の高温高圧化は特に著しく, 大容量の超臨界圧力プラントあるいは強制貫流ボイラプラントが使用されるに及んで, Philo No. 6 の運転実績に報告されているような給水処理に関連する事故が発生し, 加熱管の材質が再検討されるようになってきた。

そこで現在使用されている銅系統の合金以外の材料としては鉄系統のものと特例として高価な Ni:Cr 合金が使用されている。

Tennessee Valley Authority の Paradise 発電所では, この高価な合金である Inconel を使用している。一方鋼管を使用している代表的な発電所としては, American Electric Power Co., Philo No. 6 (UP 1), Baltimore Gas & Electric Co., Crane PS (UP 6), Public Service Gas & Electric Co., Sewaren PS (UP 8), Tennessee Valley Authority 800 MW 発電設備などがある。

そのほかにアメリカにおいて鋼管を使用した実例が報告されているので後述する。

#### 3.3 日本の現状

日本においてはアメリカと同様に, キュプロニッケル, 70:30 Ni:Cu 合金 (モネルメタル) が従来一般的に使用されてきたが, 東京電力株式会社五井火力発電所などに貫流ボイラプラントが採用されるようになり, 給水処理の点からようやく鋼管の使用が検討されるようになってきた。十数年前に一部のプラントで鋼管が使用されたことがあったが, 給水処理が十分に行なわれなかったために腐食事故が発生した例がある。しかし, 最近のように給水処理が十分に行なわれている場合にはそのような心配はないものと思われる。

第 4 表に最近日立製作所で製作中の鋼管式給水加熱器の実績を示す。

第 1 表 Hüls 発電所の給水制限値

| 測定項目                               | 復水ポンプ出口 | 脱気器出口   | ボイラ入口    | ボイラ出口   | 補給水    | 純水装置出口 |
|------------------------------------|---------|---------|----------|---------|--------|--------|
| 電導度 $\mu\text{U/cm}$               | 2~4     | 4~5     | 4~5      | 4~5     | 0.08   | 0.042  |
| H交換後電導度 $\mu\text{U/cm}$           | —       | —       | 0.1~0.15 | —       | 0.06   | —      |
| SiO <sub>2</sub> mg/l              | 0.015   | 0.015   | 0.015    | 0.015   | 0.012  | 0.01   |
| O <sub>2</sub> mg/l                | 0.015   | 0.005   | 0.007    | 0.008   | <0.01  | <0.01  |
| NH <sub>3</sub> mg/l               | 0.1~0.3 | 0.4~0.6 | 0.4~0.6  | 0.4~0.6 | 0      | 0      |
| N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> mg/l | —       | 0.06    | 0.015    | 0       | 0      | 0      |
| PH                                 | —       | —       | 9.2      | 9.1     | —      | —      |
| Fe mg/l                            | —       | —       | <0.01    | <0.007  | <0.008 | <0.002 |
| Cu mg/l                            | <0.003  | —       | <0.001   | <0.002  | <0.002 | <0.002 |

第 2 表 Breed 発電所の給水制限値

| 制限項目             | 制限値     | 制限項目                          | 制限値     |
|------------------|---------|-------------------------------|---------|
| 全固形分             | 150 PPb | O <sub>2</sub>                | 7 PPb   |
| SiO <sub>2</sub> | 20 PPb  | PH(NH <sub>3</sub> による)       | 8.9~9.1 |
| Fe               | 10 PPb  | N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 20 PPb  |
| Cu               | 5 PPb   |                               |         |

第 3 表 西ドイツ火力発電所の鋼管使用実績

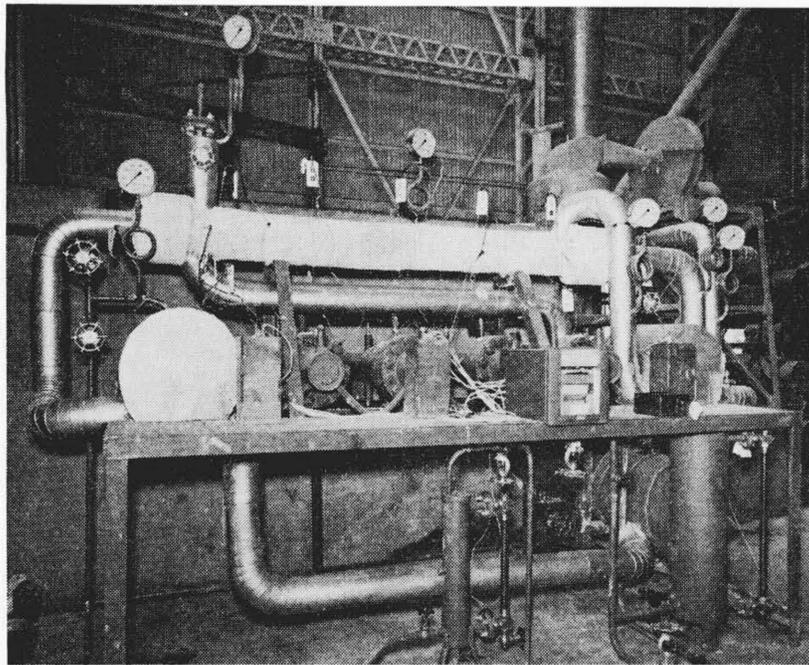
| 発電所名                         | タービン出力 (MW) | 主蒸気条件       |          | 給水温度 (°C) | 加熱蒸気圧力 (atg) | 加熱管材質   | 運転開始年月  |
|------------------------------|-------------|-------------|----------|-----------|--------------|---------|---------|
|                              |             | 温度 (°C)     | 圧力 (atg) |           |              |         |         |
| GROSSKRAFTWERK ASCHAFFENBURG | 100         | 540/540     | 160      | 280       | 60           | ST 35.8 | 1959-11 |
| WALSUM                       | 75          | 530/510     | 193      | 235       | 31           | 15 Mo 3 | 1955- 7 |
| NIEDERRHEIN                  | 150         | 535/535     | 211      | 250       | 40           | 15 Mo 3 | 1959- 7 |
| FRIMMERSDORF(I)              | 68.5        | 525/510     | 181      | 235       | 33.9         | 15 Mo 3 | 1957- 6 |
| FRIMMERSDORF(II)             | 100         | 530         | 110      | 203       | 17           | ST 45.8 | 1955    |
| HÜLS (II)                    | 150         | 530/530     | 170      | 242       | 37.4         | 15 Mo 3 | 1958    |
|                              | 85          | 600/560/560 | 300      | 337       | 112          | 15 Mo 3 | 1958-10 |

### 4. 鋼管の熱貫流率

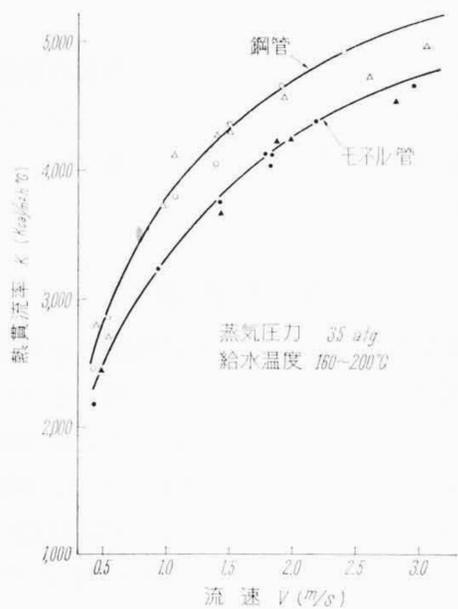
鋼管の熱貫流率は種々の文献に発表されているが<sup>(4)</sup>, 詳細なデータはほとんど示されていない。また加熱管寸法による相違とか, 安

第 4 表 日立製作所で製作中の鋼管式給水加熱器

| 発電所名                | タービン出力 (MW) | 主蒸気条件                    |         | ボイラ形式   |
|---------------------|-------------|--------------------------|---------|---------|
|                     |             | 圧力 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 温度 (°C) |         |
| 東京電力五井火力 PS No.2    | 265         | 170                      | 566     | 貫流ボイラ   |
| 昭和電工市原火力 PS No.1    | 75          | 103                      | 538     | 自然循環ボイラ |
| 昭和電工市原火力 PS No.2    | 75          | 103                      | 538     | 自然循環ボイラ |
| 昭和電工市原火力 PS No.3    | 75          | 103                      | 538     | 自然循環ボイラ |
| 昭和電工市原火力 PS No.4    | 75          | 103                      | 538     | 自然循環ボイラ |
| 信越化学工業直江津火力 PS No.1 | 25          | 88                       | 482     | 自然循環ボイラ |
| 丸善石油関東製造所 No.1      | 5.8         | 80                       | 440     | 自然循環ボイラ |
| 丸善石油関東製造所 No.2      | 5.8         | 80                       | 440     | 自然循環ボイラ |



第2図 測定装置の外観



第3図 給水流速と熱貫流率

全率、経験値のとり方の相違のために、アメリカとヨーロッパはその値のとり方に相当大きな差があるように思われる。これらの点を明らかにするために以下熱貫流率の測定結果を述べ、検討を加えることにする。

測定装置の外観を第2図に示す。測定管は現在最も一般的に使用されている外径 15.875 mmφ (5/8") のもので、全長 2 m の水平単管であり、肉厚 1.91 mm と 1.245 mm の鋼管および肉厚 1.245 mm のモネルメタル管を使用した。給水温度は入口、出口部にバッフル板を置いて十分混合させた後、その平均値を測定し、また蒸気の入口、出口の温度および管表面温度 10 箇所を測定した。蒸気条件は最高 35 atg, 350°C として、給水流速、給水温度、蒸気圧力などの効果について、それぞれ飽和蒸気、過熱蒸気の場合について測定した。

その測定結果の一例として圧力 35 atg における給水流速の効果を示せば第3図のようになる。熱貫流率には流速が最も大きく影響し、鋼管は、モネル管に比べてかなり高い値を示している。

一般に熱貫流率  $K$  は

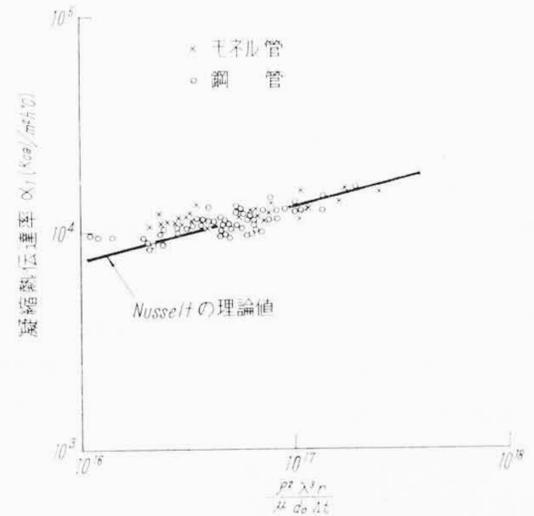
$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{k} \frac{d_0}{d_a} + \frac{1}{\alpha_2} \frac{d_0}{d_i}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし  $\alpha_1, \alpha_2$ : 蒸気側, 給水側の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>h°C)

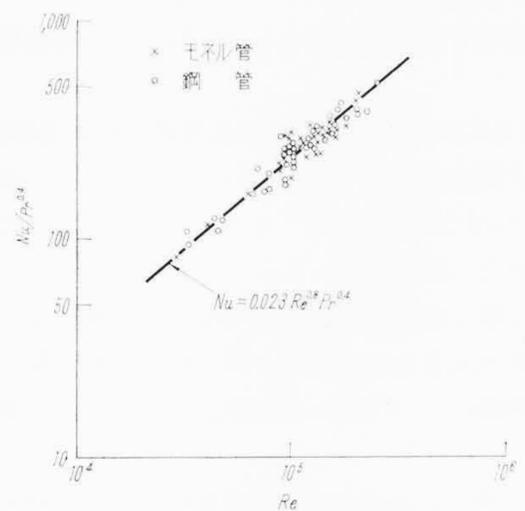
$d_0, d_i, d_a$ : 測定管の外径, 内径, 平均径 (m)

$\delta$ : 測定管の肉厚 (m)

$k$ : 測定管の熱伝導率 (kcal/mh°C)



第4図 凝縮熱伝達率



第5図 強制対流熱伝達率

したがって、管外部の凝縮熱伝達率  $\alpha_1$ 、管内部の強制対流熱伝達率  $\alpha_2$ 、および管の材質寸法がわかれば熱貫流率は求めることができる。そこで、それぞれの熱伝達率  $\alpha_1, \alpha_2$  について解析すれば内容は簡明となり、問題を一般的に取扱うことができる。

凝縮熱伝達率  $\alpha_1$  は Nusselt の理論式が著名であり、水平管の場合には式(4)で示される。

$$\alpha_1 = 0.725 \left( \frac{\rho^2 \lambda^3 r}{\mu (\Delta t) d_0} \right)^{1/4} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし  $\Delta t$ : 蒸気温度と冷却面温度との差 (°C)

$\rho$ : 凝縮液の比重 (kg/m<sup>3</sup>)

$\lambda$ : 凝縮液の熱伝導率 (kcal/mh°C)

$r$ : 凝縮液の蒸発潜熱 (kcal/kg)

$\mu$ : 凝縮液の粘性係数 (kgh/m<sup>2</sup>)

実験結果を式(4)と比較すれば第4図に示すとおりで、ほぼ一致しており、鋼管とモネル管は大体同じ値である。

次に給水側の平均熱伝達率は式(5)が液体の場合によく表わすことができるので実験結果と比較すると第5図に示すとおりとなる。

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu k_w}{d_i} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし  $k_w$ : 給水の熱伝導率 (kcal/mh°C)

$Nu$ : スツセルト数

$Re$ : レイノルズ数

$Pr$ : プラントル数

第4図、第5図に示すとおり、鋼管とモネルメタル管には、管の材質による  $\alpha_1, \alpha_2$  の相違がないことが明らかである。したがって鋼管とモネルメタル管の熱貫流率の差は管壁の熱抵抗、つまり同一肉厚の場合にはその材料の熱伝導率を考慮すればよいことになる。

各種材料の熱伝導率を示せば第5表のとおりで、同一条件で比較

すれば鋼管はモネルメタル管より当然大きくなり、9:1 キュプロニッケルとほぼ等しいか、または、多少すぐれているとみなすことができる。

また、管表面のあらさが凝縮熱伝達率に影響を及ぼすことは容易に推定されるが、凝縮熱伝達率そのものが大きな値であり、これに比較して管内側の熱伝達率は小さく、熱貫流率を支配することになるので実際上は影響しないと考えてよい。

以上理論的に解析したとおり、同一寸法の鋼管とモネルメタル管では、鋼管のほうが熱貫流率は大きくなり、第3図の実測結果とよく一致しているわけである。ただし実際に使用する場合はモネルメタルに比較して鋼管の許容応力が小さいために同一圧力条件では鋼管の肉厚が大きくなるので式(3)に示す $\delta$ が大きくなり、熱貫流率はモネルメタル管とほぼ等しくなると考えてよい。以上は、単管の熱貫流率について理論的な解析と、実験値について述べたわけであるが、実際に使用する場合にはさらに経験的な係数を考慮しなければならない。

4.2 アメリカにおける鋼管式給水加熱器の熱貫流率実測値<sup>(5)</sup>

第二次世界大戦中にアメリカにおいて、ニッケル、銅などの材料入手が困難なために加熱管としてキュプロニッケルの代りに鋼管を使用せざるを得ない時期があった。

その当時の文献では鋼管の熱貫流率が非常に悪いものと考えられていたために相当大きな加熱面積を持ったものが使用された。この鋼管式給水加熱器について種々の試験が行なわれたが非常に良好な結果を得ている。

また、約3年前にアメリカの某発電所において、同一出力、同一形式の2台のプラントの高圧給水加熱器を新製することになり、1台はもとどおりのキュプロニッケルを使用し、他の1台は鋼管を使用した。両者とも加熱管の寸法はもとのキュプロニッケルのものと全く同じで、ただ単に材質のみ異なるものが使用されたわけである。

第6図にその性能の測定結果を示すが、非常に興味深い傾向を示している。横軸はそれぞれの加熱器を使用しはじめてからの時間をとり、縦軸に加熱器の飽和温度と最終給水温度の差(terminal temperature difference)をとっている。

図で明らかなおと、鋼管の熱貫流率がキュプロニッケルより高く、その低下の度合が少なく、給水温度は鋼管のほうが3~4°C高くなっている。またキュプロニッケル管の場合の温度が不連続になっているのは、熱貫流率の低下がはげしいために、管をクリーン

グしたためである。

給水加熱器の性能をさらに検討するために effectiveness を計算した。この effectiveness というのは給水の温度上昇を給水の温度上昇に terminal temperature difference を加えたもので割った値である。その値は、最初鋼管で 0.942 に対してキュプロニッケルは 0.925 であった。最後に測定した値でもやはり鋼管のほうが大きく、鋼管が 0.931 に対して、キュプロニッケルは 0.841 であった。これで明らかなおと、約1年半使用した状態においても鋼管の熱貫流率はほとんど変わらず、キュプロニッケルの新しい状態よりも effectiveness が大きいわけである。

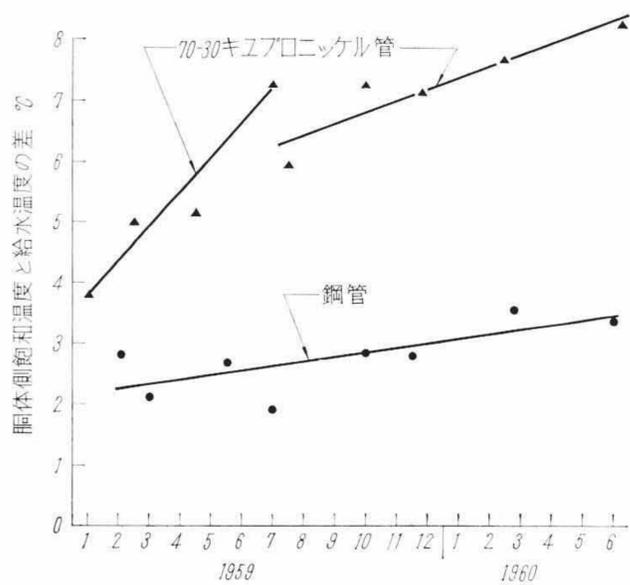
加熱管の腐食状況をみると、鋼管の表面は平滑で非常に薄い黒色の安定した酸化皮膜におおわれており、異常な腐食はほとんど見られなかった。

また、この発電所はピークロード用であるために、非常に悪条件で使用されており、ほとんど毎夜停止しており、給水加熱器は簡単な手動操作によりシール蒸気を供給されているだけであった。このような悪条件で使用しても鋼管は十分にその機能を発揮することが明らかにされているわけである。

さらに注意すべきことは、鋼管式給水加熱器の加熱蒸気ドレン中の鉄の含有量がキュプロニッケルのものより少ないことである。この傾向は定常運転中も、プラント起動時も常に同じであり、給水処理の見地から非常に有利である。

5. 加熱管材質

加熱管材質は高温強度、耐食性、熔接性を考慮して、もっとも適当な材質が選定されるわけであるが、西ドイツにおける使用実績を例にとると、一般的には給水側の設計圧力が 200 kg/cm<sup>2</sup> 以下では DIN ST 35.8 の普通鋼管が使用されており、200~400 kg/cm<sup>2</sup> では DIN 15 Mo 3、それ以上の圧力では DIN 13 Cr Mo 44 などの低合金鋼が使用されている。なかでも Mo 0.3% の DIN 15 Mo 3 が



第6図 鋼管とキュプロニッケルの熱伝達率

第5表 各種材料の熱伝導率

| 材 質          | 熱伝導率 (kcal/mh°C) |
|--------------|------------------|
| アドミラルチイ      | 93               |
| モネルメタル       | 16~22            |
| 7:3 キュプロニッケル | 25               |
| 8:2 キュプロニッケル | 31               |
| 9:1 キュプロニッケル | 36~43            |
| 炭 素 鋼        | 43~52            |

第6表 給 水 加 熱 管 材 質 表

| 材 質             | Fe        | C           | Si          | Mn          | P         | S         | Cr        | Mo        | Ni        | Cu       | Zn      | Pb       |
|-----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|----------|
| DIN ST 35.8     | $R_e$     | $\leq 0.17$ | $\leq 0.35$ | $\geq 0.40$ | 0.05 max  | 0.05 max  | —         | —         | —         | —        | —       | —        |
| DIN 15 Mo 3     | $R_e$     | 0.12~0.20   | 0.15~0.35   | 0.50~0.70   | 0.04 max  | 0.04 max  | —         | 0.25~0.35 | —         | —        | —       | —        |
| DIN 13 Cr Mo 44 | $R_e$     | 0.10~0.18   | 0.15~0.35   | 0.40~0.70   | 0.04 max  | 0.04 max  | 0.70~1.0  | 0.40~0.5  | —         | —        | —       | —        |
| 9:1 キュプロニッケル    | 0.50~0.20 | —           | —           | 1.0 max     | —         | —         | —         | —         | 9.0~11.0  | 86.5 min | 1.0 max | 0.05 max |
| 7:3 キュプロニッケル    | 0.40~0.70 | —           | —           | 1.0 max     | —         | —         | —         | —         | 29.0~33.0 | 65.0 min | 1.0 max | 0.05 max |
| 70:30Ni:Cu(モネル) | 2.5 max   | 0.3 max     | 0.5 max     | 1.25 max    | —         | 0.024 max | —         | —         | 63.0~70.0 | $R_e$    | —       | —        |
| INCONEL         | 6.0~10.0  | 0.15 max    | 0.5 max     | 1.0 max     | —         | 0.01 max  | 14.0~17.0 | —         | 72.0 min  | 0.5 max  | —       | —        |
| JIS STB 35      | $R_e$     | 0.08~0.18   | 0.10~0.35   | 0.30~0.60   | 0.035 max | 0.035 max | —         | —         | —         | 0.20 max | —       | —        |
| JIS STB 42 A    | $R_e$     | 0.32 max    | 0.10~0.35   | 0.30~0.80   | 0.035 max | 0.035 max | —         | —         | —         | 0.20 max | —       | —        |
| JIS STB 38      | $R_e$     | 0.10~0.20   | 0.10~0.50   | 0.30~0.80   | 0.030 max | 0.030 max | —         | 0.10~0.20 | —         | 0.20 max | —       | —        |
| ASME SA-210     | $R_e$     | 0.27 max    | 0.10 min    | 0.93 max    | 0.048 max | 0.058 max | —         | —         | —         | —        | —       | —        |

もっとも一般的に使用されている。

アメリカでは ASME SA-210 などのボイラ用炭素鋼管が一般に使用されている。

日立製作所ではより使用実績の多い西ドイツの例にならって、第 4 表に示すとおり、高温高压プラントにおいては高温蒸気に対する耐食性が強い 0.15% Mo 低合金鋼を使用し、比較的圧力の低いものでは STB 35 あるいは、STB 42 A の炭素鋼管を使用している。しかし、今後その使用が予想される超臨界圧力プラント用として、よりいっそう抗張力の高い低合金鋼の使用も考慮しており、その検討を進めている。

第 6 表に給水加熱器加熱管として一般に使用されている DIN, ASME, JIS などの各材料の化学成分表を示す<sup>(6-9)</sup>。

### 6. 保守上の問題

鋼管のアンモニアに対する耐食性は非常に強く、最近の給水処理に対しては適当な材質であるといえるわけであるが、酸素に対する耐食性に問題があるのは事実である。

しかし、最近の高温高压プラントにおいては十分な給水処理が行なわれており、特に高压給水加熱器は脱気器によってほとんど完全に脱酸されたうえに、さらにヒドラジンなどによって化学的に脱酸された給水を加熱するものであるため、定常運転中に酸素によって腐食をうけることは考えられない。

したがって、酸素による腐食が問題になるのは定常運転中ではなく、運転停止中およびその起動時である。

日立製作所ではその対策として、次のような方式を考慮している。

#### 6.1 運転停止中

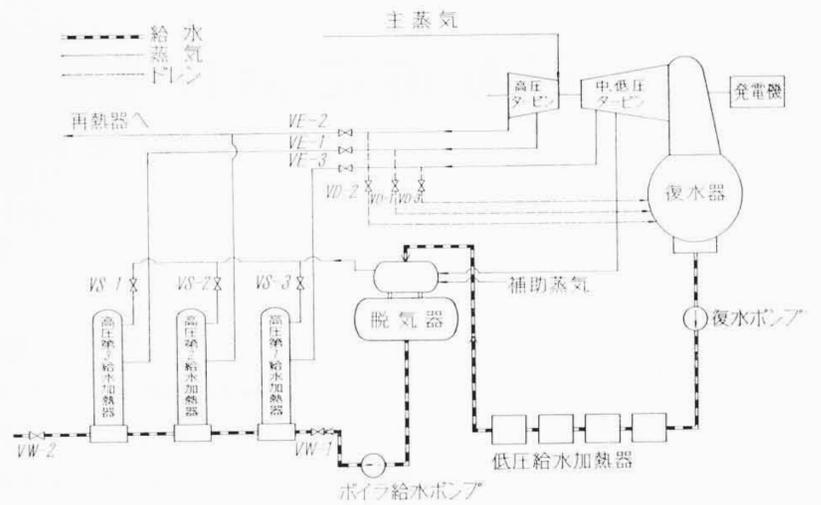
短時間停止の場合にはボイラの残留蒸気または所内ボイラの蒸気により脱気器を蒸気でシールするのが普通であるので、この脱気器と共通あるいは別個に給水加熱器胴体側にシール蒸気を導き、空気の侵入を防止する。同時に給水側にはヒドラジンを添加した給水を満水しておき、必要に応じては空気抜管などより、シール蒸気を導入して空気の侵入を防止する。

プラントの停止が長期にわたる場合および蒸気、給水による給水加熱器のシールが不可能な場合には窒素封入をすることも考えられるが、その方法は窒素ポンペより給水加熱器胴体側、給水側にそれぞれ窒素を封入するわけである。

#### 6.2 起動時

停止中に蒸気および窒素によるシールを完全に行なったとしても、第 7 図において、タービンと VE-1, VE-2, VE-3 の間の抽気管には空気が残留しており、起動時にこの空気が給水加熱器に侵入することが考えられる。これを防止するためには、タービン起動前にグラウンドシールを完全に行ない、空気抽出器を駆動してタービン、復水器、各抽気管にはいつている空気を十分に除去するとともに、タービン起動の初期の抽気弁を開く前に、ドレン弁 VD-1, VD-2, VD-3 をそれぞれ全開してタービン、抽気管の空気を復水器へブローすることがもっとも効果的である。

以上のような起動、停止時の操作を行なえば酸素による腐食は完



第 7 図 給水加熱器蒸気シール系統図

全に防止し得るものと考えられる。

#### 6.4 酸洗

貫流ボイラプラントではボイラ本体だけでなく、給水系統も酸洗いをするのが一般的であるが、給水加熱器に銅合金の加熱管を使用する場合には、給水処理の場合と同様に、この加熱管のみ材質が異なるために薬品の選定、およびその方法が非常に困難となる。

一方、鋼管を使用した場合にはボイラおよび給水系統を一貫して、塩酸あるいはクエン酸により、鋼管にもっとも適当な酸洗いをすることができるので、非常に有利である。

また、給水加熱器の熱貫流率が低下したような場合にも銅系統の合金では化学薬品によるクリーニングが困難であるが、鋼管の場合は簡単に酸洗いをすることが可能である。

### 7. 結 言

以上世界各国における鋼管式給水加熱器の使用状況、使用実績および日立製作所における調査研究結果について述べたわけであるが、実用上問題となる点はすべて解決されたものと考えている。しかし、わが国における使用実績が非常に少ないために、今後さらに検討を加えてよりいっそう技術の向上をはかりたいと思う。

給水加熱器に鋼管を使用することは、これによる技術的な利点はもとより、現在国内資源が少ないために輸入せざるを得ない現状にある高価な 70:30 Ni:Cu 合金(モネルメタル)を鋼管でおきかえることができるので、その利点もみのがすことはできない。

### 参 考 文 献

- (1) T. T. Frankenberg, A. G. Lloyd, E. B. Morris: Proceedings of the American Power Conference. XXI-1959
- (2) 谷岡: 火力発電 12, 4, 7, 1961
- (3) Philip Sporn, S. N. Fiala: American Power Conference 23rd Annual Meeting 3, 1961
- (4) O. H. Kerwat: Energie 12, 3, 3, 1960
- (5) Frank Urbane Neat: ASME Paper 60-WA-216
- (6) DIN Werkstoffnormen Stahl und Eisen: 4, 1955
- (7) ASME Boiler and Pressure Vessel Code: 1959, Section VIII Unfired Pressure Vessels
- (8) ASME Boiler and Pressure Vessel Code: 1959, Section II Material Specifications
- (9) JIS ハンドブック, 鉄鋼: 1961