

日立 蒸 発 冷 却 送 信 管

Hitachi Vapor-Cooled Tubes

松 林 八 康*
Hachiyasu Matsubayashi

内 容 梗 概

蒸発冷却送信管は、従来から使用されていた水冷および強制空冷送信管に比べ、その冷却法に多くの利点を持っているため、わが国においても、数年前から非常に注目されるようになった。まだ、その普及率は低い、近いうちに水冷管に代わるのではないかと予想されるので、蒸発冷却送信管の概要、構成、装置の特長および蒸発冷却の利点を説明する。

1. 緒 言

外部陽極形の大電力送信管の陽極冷却方法として、従来から強制空冷および水冷が用いられていたが、陽極損失が 50 kW 以上の大形になると、強制空冷では電子管ばかりでなく、装置全体が大形になるので、おもに水冷が利用されてきた。しかし、水冷も水質が悪いところでは、電子管の陽極に水あかなどが付着して冷却効果が落ち、陽極が過熱して損傷しやすく、また水量の少ないところでは多量の良質な水を得るのが困難で、特に設備費のうえで、大きな負担を招くことになる。これに対して、近年、水の気化熱を冷却に利用した蒸発冷却が実用化された。この方式は水冷に比べ、

- (1) 過負荷に耐える。
- (2) 水量が少ない。
- (3) 設備費が安い。

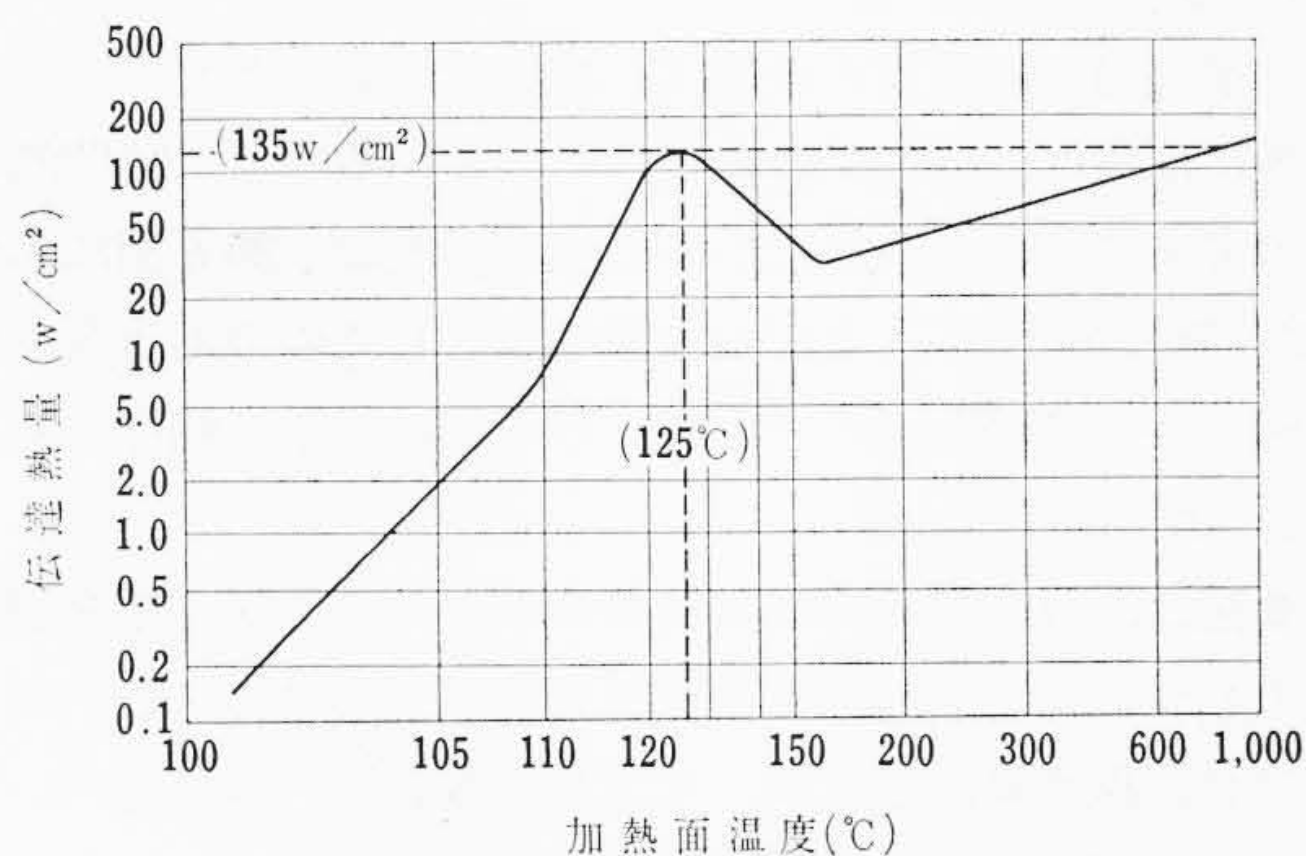
など数々の利点をもっているため、しだいに水冷に代わるのではないかと予想される。

蒸発冷却の試みは古く、1914 年にさかのぼるが、実用されだしたのは 1951 年にフランスのトムソン・ウーストン社から「パポトロン」の商品名で、初めて発表されてからである⁽¹⁾。その後、ヨーロッパでは、非常に発達したが、アメリカでは 1961 年に至ってようやくマクレット社から蒸発冷却管として発表されている。

わが国においても数年前から実用化の実験がさかんに行なわれるようになり、徐々に用いられ始めたので、蒸発冷却の概要、蒸発冷却送信管の構成および装置の特長、蒸発冷却の利点などについて述べる。

2. 蒸発冷却の概要^{(1)~(6)}

沸騰水中における加熱面温度と伝達熱量との間には、第 1 図に示すような関係があることが知られている。加熱面の熱量を徐々に増し、約 135 W/cm² に達すると、加熱面は約 125°C となるが、さらに熱量を増すと加熱面の温度は約 125°C から約 1,000°C に飛躍する。



第 1 図 沸騰水中における加熱面温度と伝達熱量

水冷管の外部陽極を水中に入れ、陽極負荷をかけると陽極損失によって水は沸騰するが、陽極損失が増し、陽極面の負荷密度が約 135 W/cm² を越えると、陽極温度は 1,000°C を越え、無酸素銅製の陽極は溶解、破損する恐れがある。この温度の飛躍を防ぐために、第 2 図のように、陽極に肉厚の突起をつけ、陽極の温度を許容値 (約 100~200°C) に保つようにしたものが蒸発冷却管である。

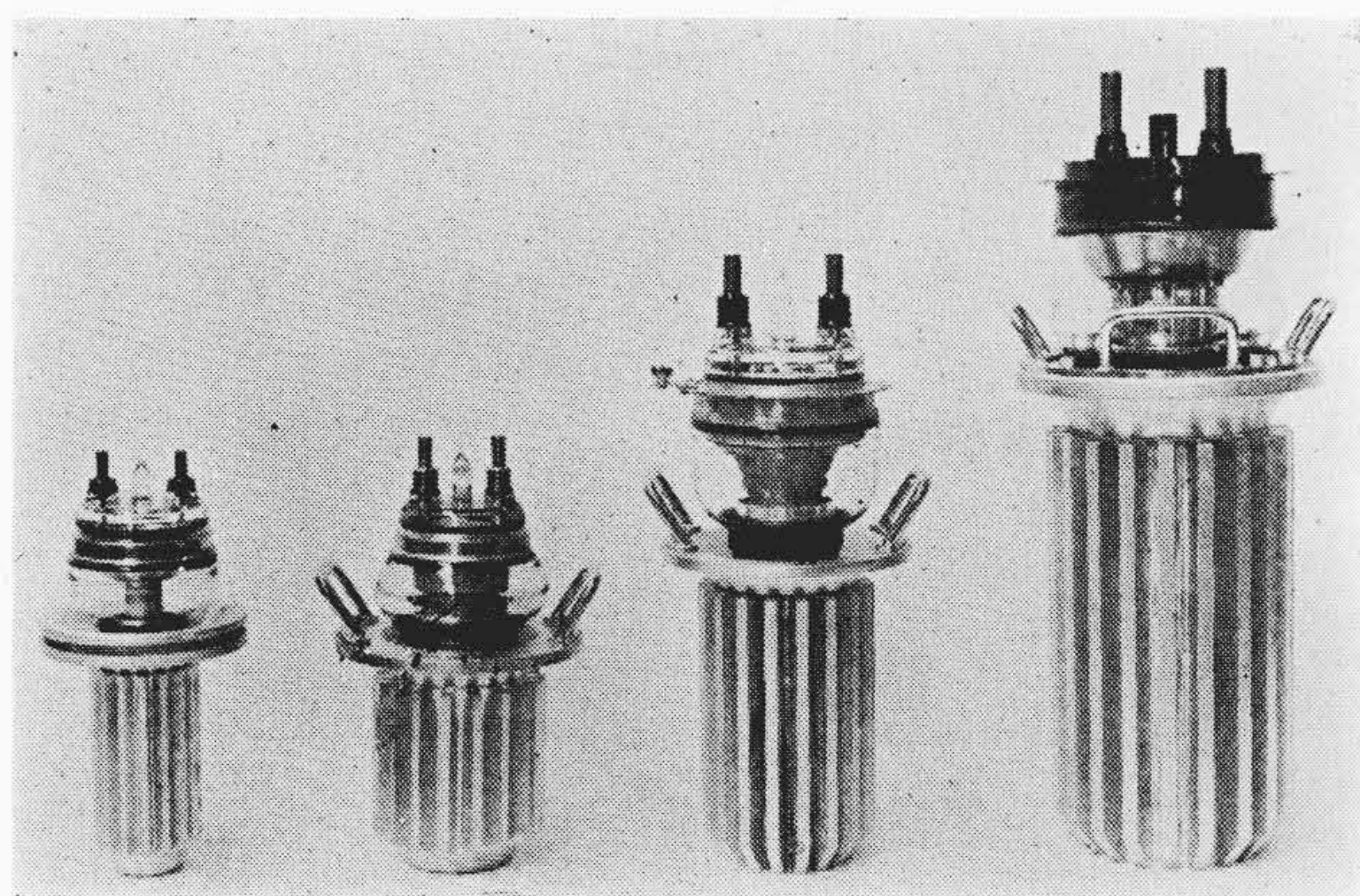
この肉厚突起の働きは、第 3 図 (a) (b) に示すように陽極負荷が小さいときには、沸騰は突起の根元からさかんに起こるが、陽極負荷が増すと、沸騰の中心は突起の先端に移動し、突起の根元は蒸気の膜でおおわれ、この部分の温度は 1,000°C まで飛躍しようとするが、この突起の熱伝導がきわめてよいので、根元の熱は熱伝導によりさかんに先端に運ばれ突起の根元の温度は下がっている。

3. 日立蒸発冷却送信管

3.1 冷却回路の構成

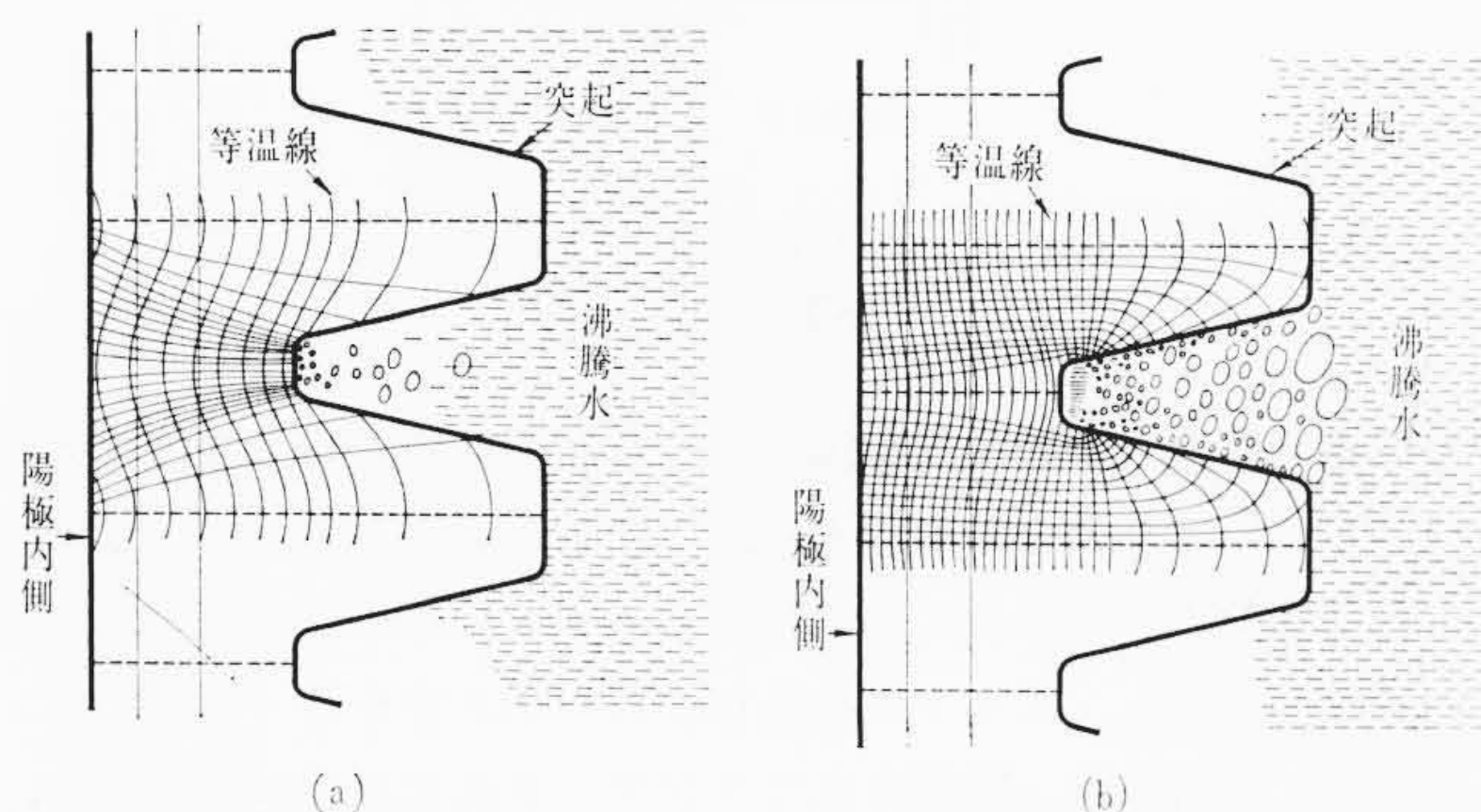
3.1.1 自然循環方式 (水面調整器を含む)

日立蒸発冷却送信管の冷却回路は、第 4 図に示すように冷却水



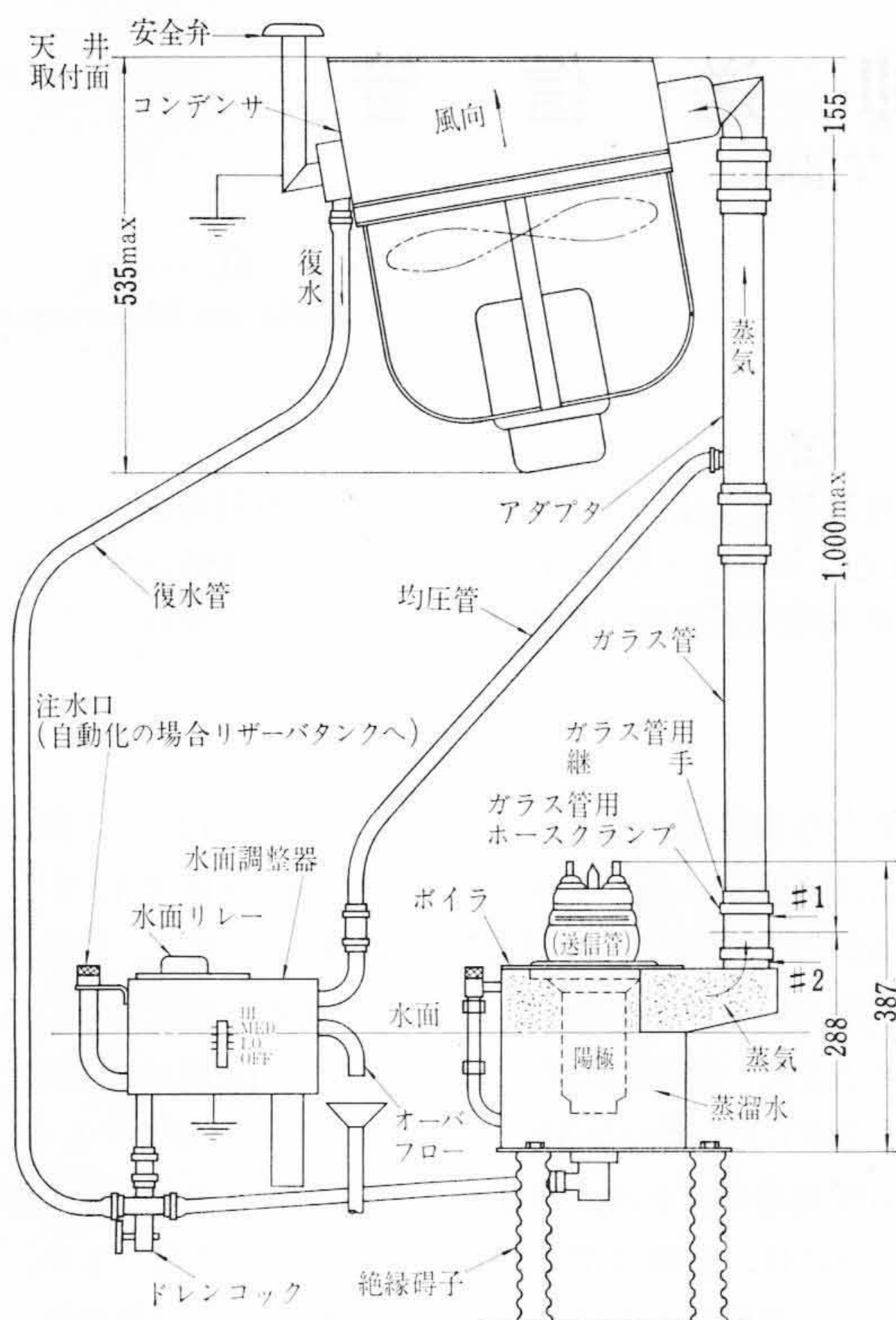
左より 8 T 23, 8 T 47, 9 T 57, 9 T 18

第 2 図 日立蒸発冷却送信管

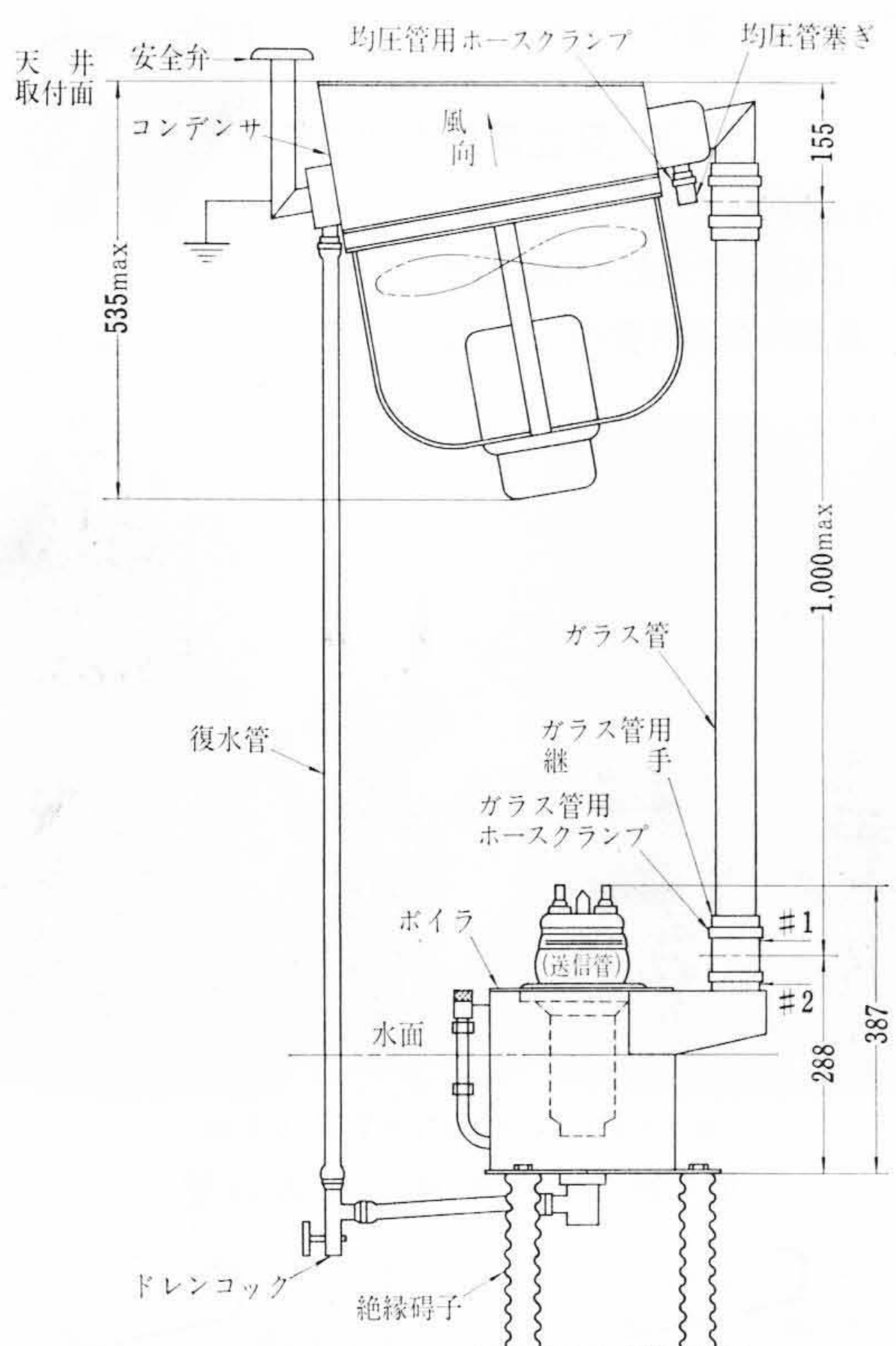
(a) 負荷密度 50 W/cm² の場合(b) 負荷密度 200 W/cm² の場合

第 3 図 陽極表面からの沸騰

* 日立製作所茂原工場

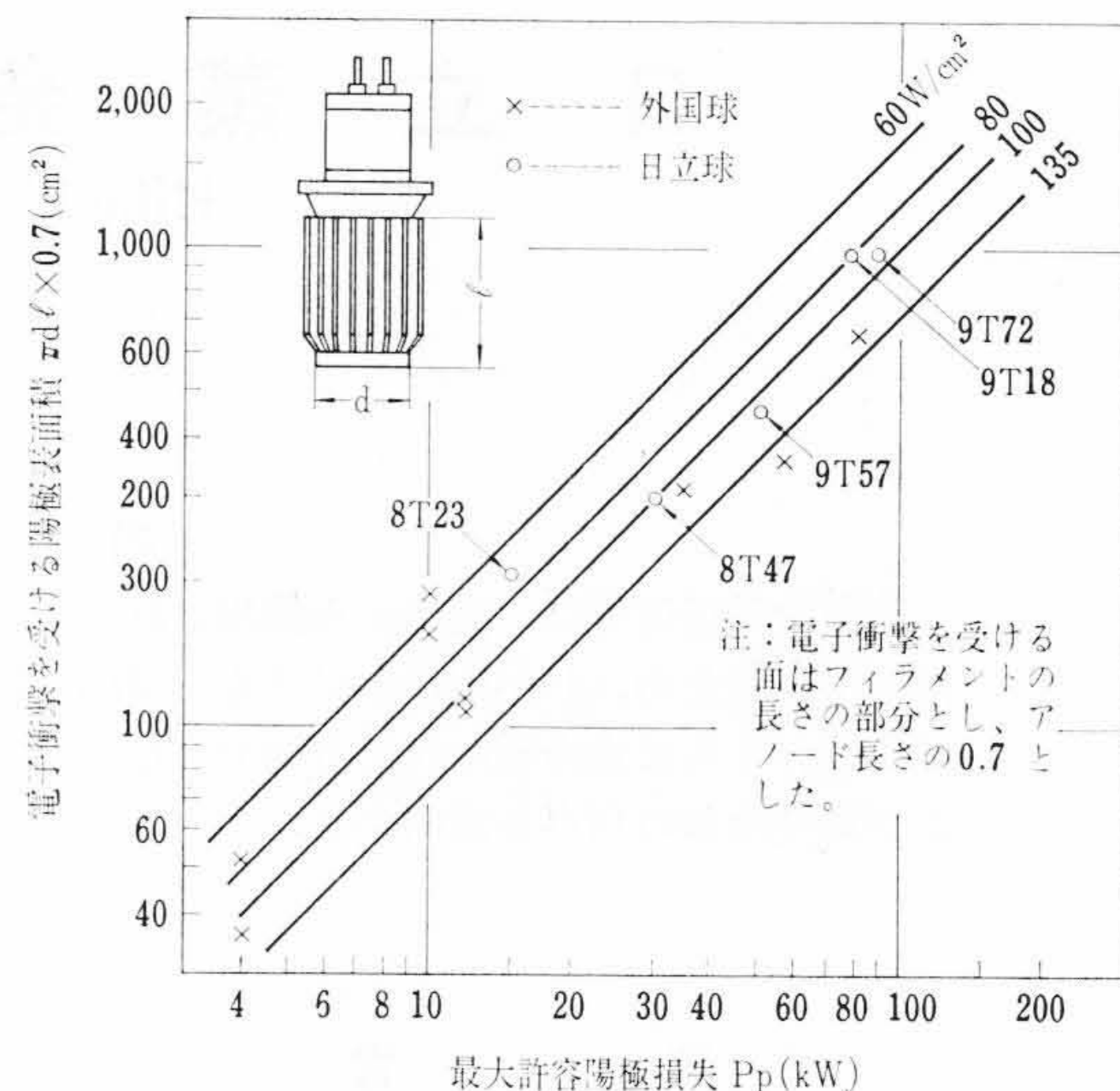


第4図 日立蒸発冷却送信管の冷却回路(一般形)
(8T23用)

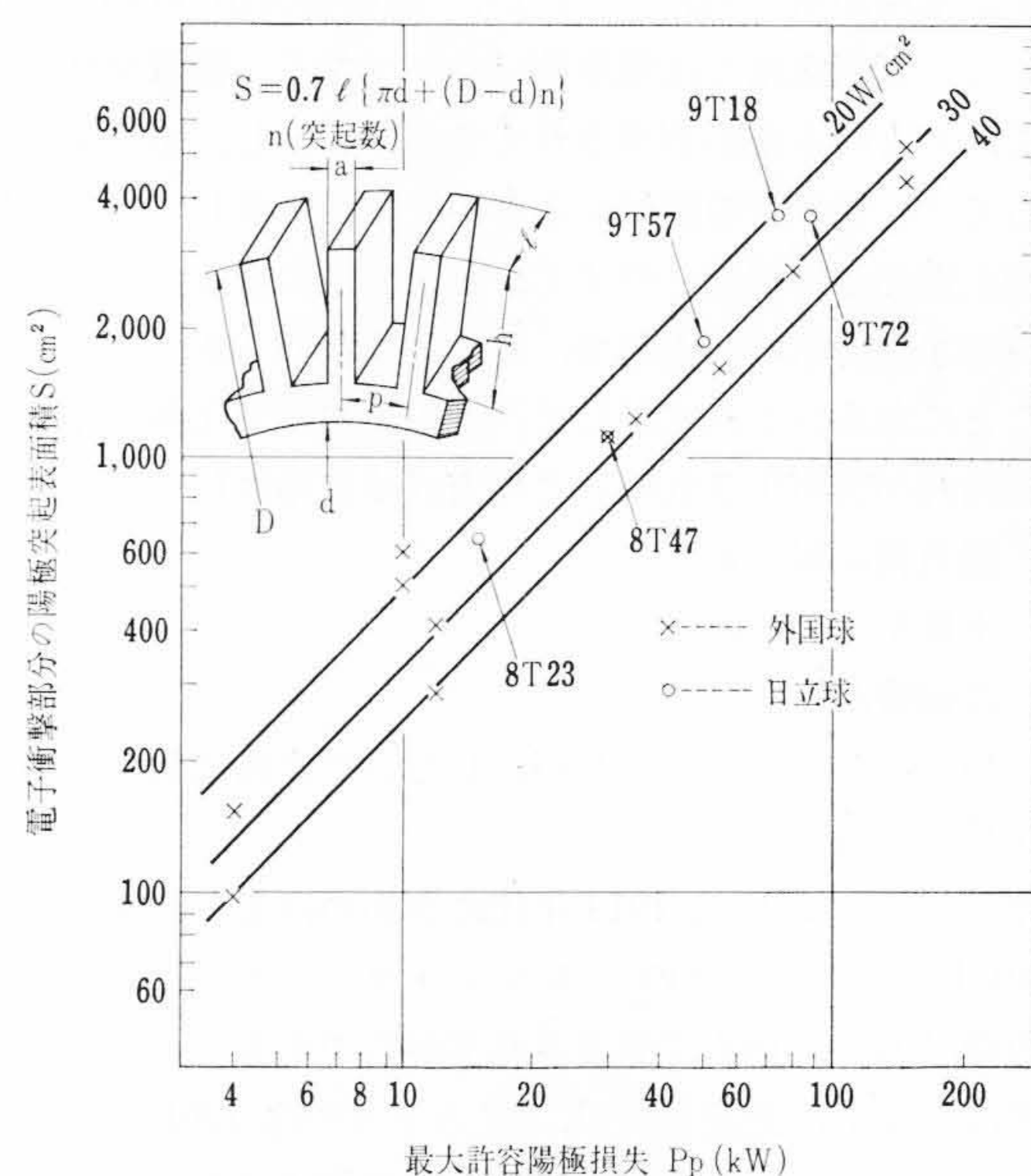


第5図 日立蒸発冷却送信管の冷却回路(簡易形)
(8T23用)

の循環回路と、水面変動を調整する水面調整器回路より構成されている。ボイラの中の冷却水は、電子管の陽極損失エネルギーによって加熱され、さかんに沸騰を始めると、ボイラ内部には多量の蒸気が発生し、ボイラの排気口からガラス管を通して蒸気コンデンサに集められ、凝縮されてコンデンサ復水口より流れ出し、復水管を通して、再びボイラの底部にもどる。この循環系が正常に運転されるために、調整系として安全弁、水面調整器、均圧管



第6図 陽極にかかる熱負荷密度



第7図 陽極突起表面積と最大許容陽極損失

などが取り付けられている。

3.1.2 簡易自然循環方式(水面調整器なし)

蒸気コンデンサの容量に十分な余裕をもたせ、安全弁だけを取り付けておけば、冷却系内部の圧力変化、蒸気もれなどによる水面変化は非常に少ないので、第5図のような循環回路だけでも十分使用することができる。しかし、水面変化、コンデンサ目つまりなどについては安全点検をひん繁に行なわなければならない。

3.2 日立蒸発冷却送信管冷却回路構成部品

3.2.1 電子管陽極

日立蒸発冷却送信管の外観は、第2図に示すとおりである。

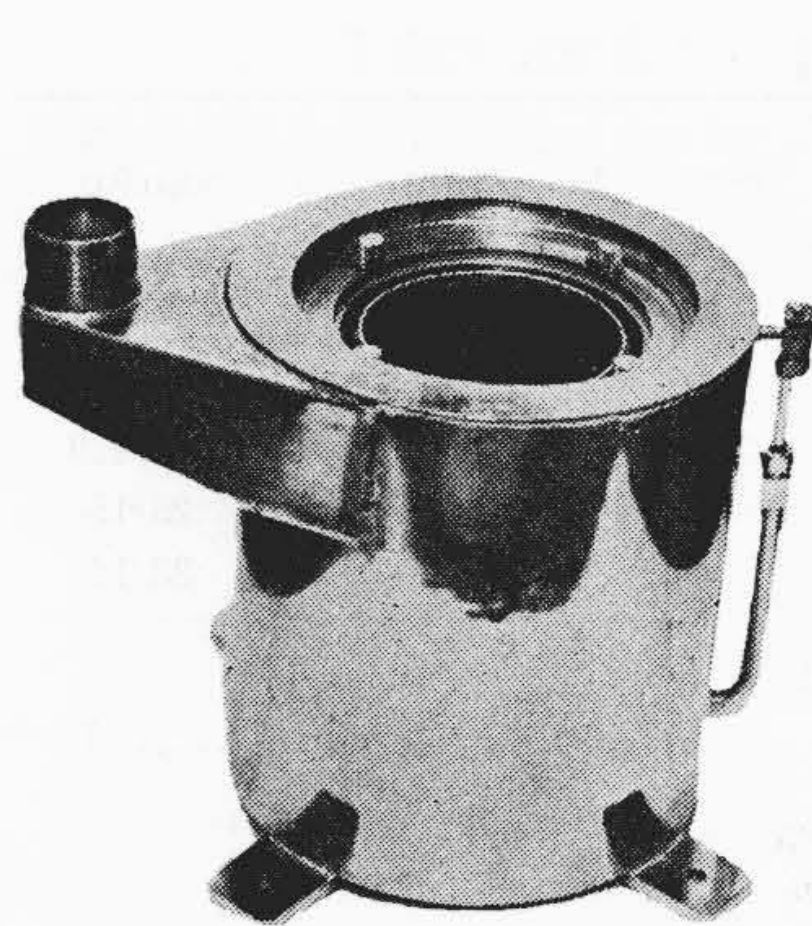
陽極には肉厚の突起が多数付けられているので、瞬間的な過負荷には非常に強く、陽極にかかる負荷密度は、第6図に示すように、 135 W/cm^2 以下、突起の全表面に対しての平均負荷密度は、第7図から約 25 W/cm^2 と小さいので常に安全に動作する。

3.2.2 ボイラ

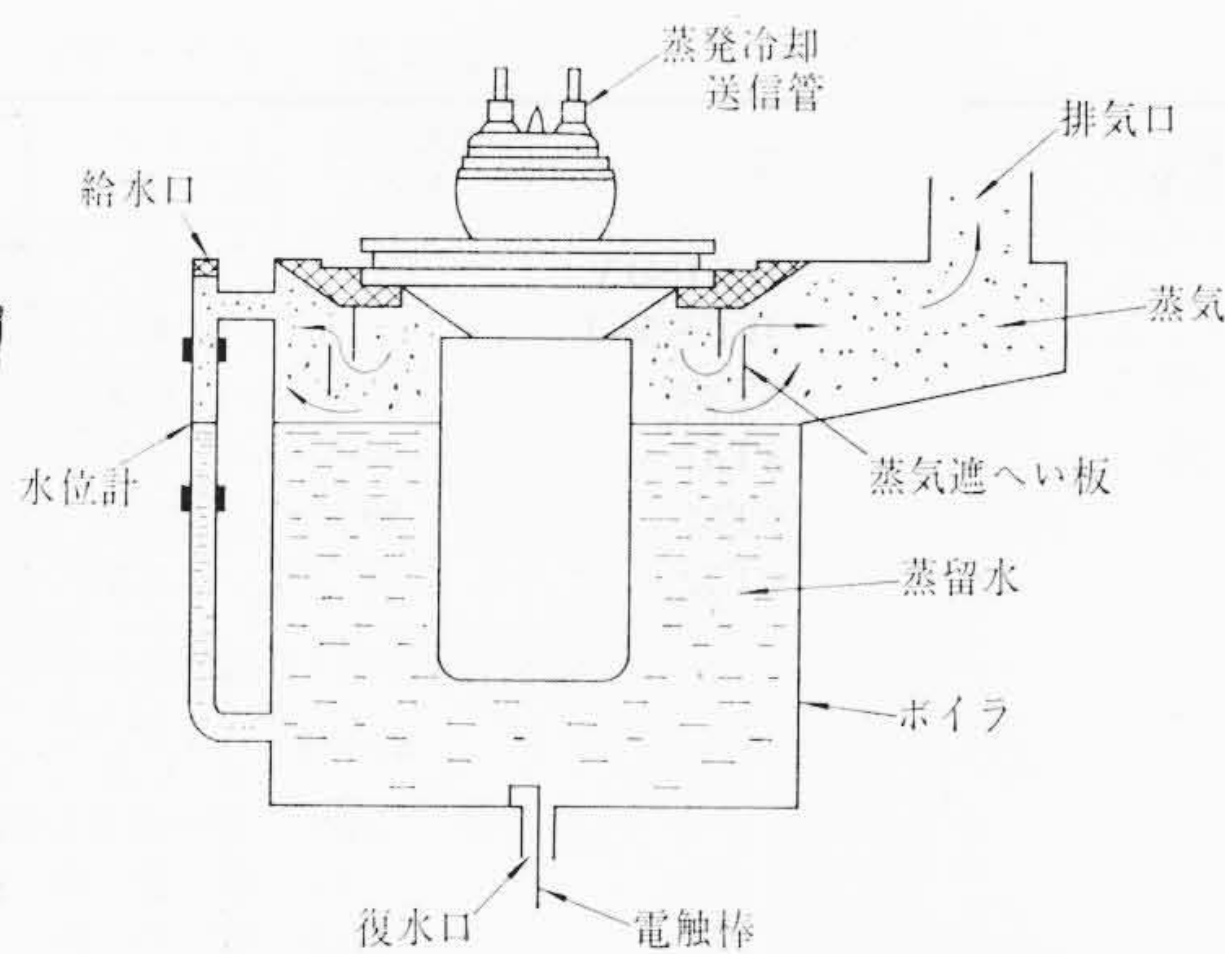
第8図は、日立蒸発冷却送信管のボイラの外観、第9図は、管球を取りつけたときの断面略線図を示したものである。ボイラには排気口、復水口、給水口、水位計、電食棒、蒸気遮へい板、管球押えおよびゴムパッキングがついている。

(1) 蒸気遮へい板のはたらき

ボイラの内部には、冷却水の沸騰によって多量の蒸気が発生



第8図 日立ボイラ (9T57用)



第9図 ボイラ断面略線図

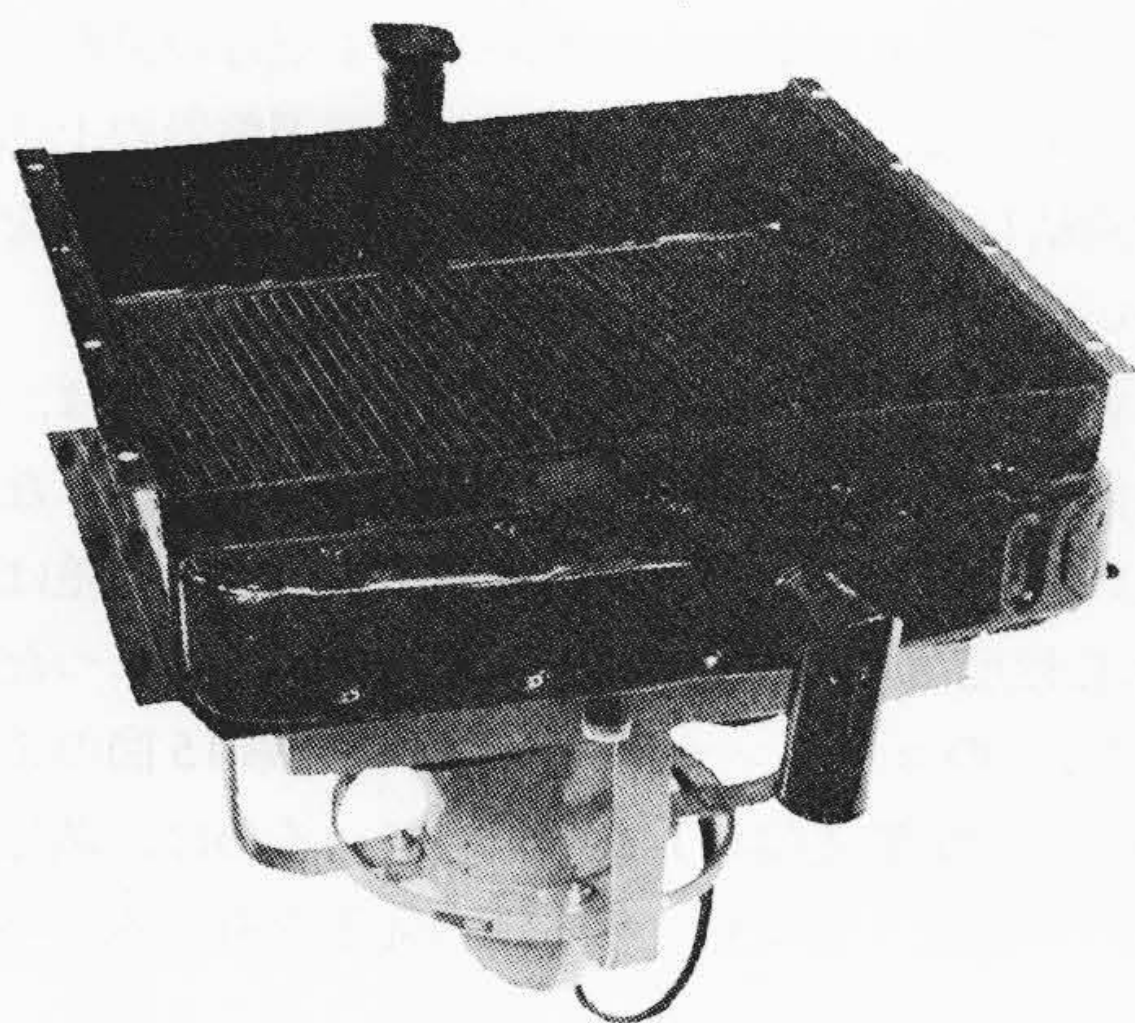
し、排気口より逃げて行くが、一般に、ボイラは小形のため水面から排気口までの距離が短く、冷却水と蒸気との分離が悪いのでガラス管中に水滴を蒸気とともに吹上げ、水滴のつながりをつくり、絶縁破壊電圧を低下させる心配がある。この蒸気遮へい板は、ボイラ内部における蒸気の通路を長くし、冷却水と蒸気との分離をよくするためのもので、ガラス管内の水滴のつながりを防ぎ、その長さをかなり短くすることができる。

(2) 水位計

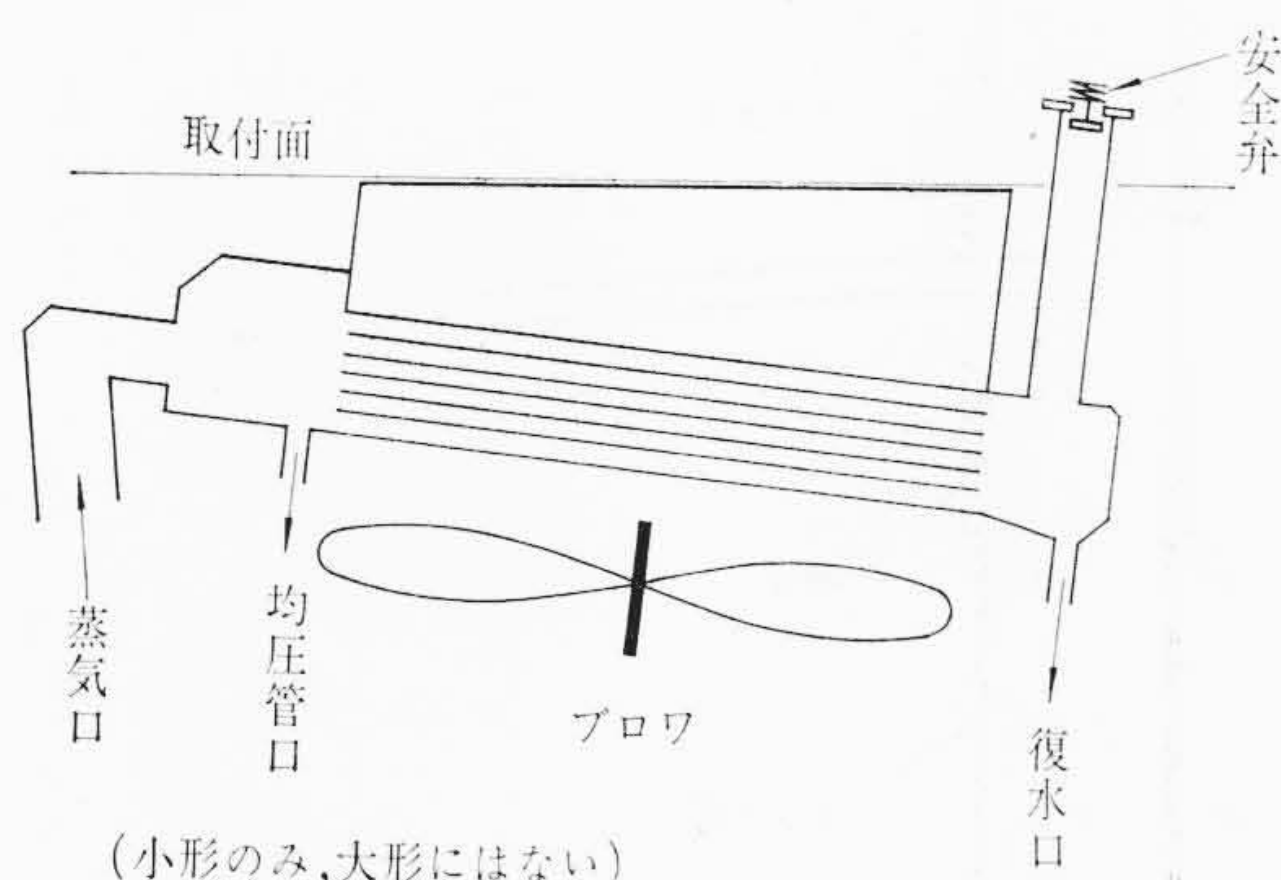
ボイラ内の水面を観察するために水位計がついている。この水位計に水面振れなどがあると正確な水面位置を知ることができないので、水位計の下側取出口の位置はボイラ内の水圧変動を受けないよう注意がはらわれなければならない。

(3) 電食棒

ボイラの底部には、復水口がついているが、冷却水がよごれてくると、最も電食されやすいので交換可能のステンレス製の電食棒を取り付け、ボイラ本体の電食を防止している。



第10図 日立蒸気コンデンサ



第11図 蒸気コンデンサ断面略線図

(4) 管球取り付け

管球固定用押えは、ボイラと管球との電氣的接続を兼ねているのでリング状とし、接触不足によるインピーダンスの増加、および、不均一な締め付けによる水、蒸気もれがないよう設計されている。

3.2.3 蒸気コンデンサ

第10図は日立蒸気冷却送信管の蒸気コンデンサの外観、第11図は断面略線図を示したものである。蒸気コンデンサには、蒸気口および復水口のほかに、均圧管口（小形のものだけ）と安全弁を備えている。均圧管口については、均圧管の3.2.6項で説明する。

(1) 安全弁

蒸気コンデンサの復水側は装置の安全性を考慮して大気につながっているのが普通であるが、著しく塵埃(じんあい)の多いところで使用する場合には内部の冷却水がよごれやすいので10mm水柱程度の圧力で働く安全弁を取りつけた。この安全弁は、内圧が大気圧より上がった場合および下がった場合にも働くように設計されている。

(2) 凝縮能力

蒸気コンデンサの凝縮能力は、放熱面積と送風量によって決められるものであり、この関係を導くと、(1)式が成立する(付録1)。

$$Q = k(qF)^{0.6} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q ：凝縮能力 (kW)

q ：送風量 (m^3/min)

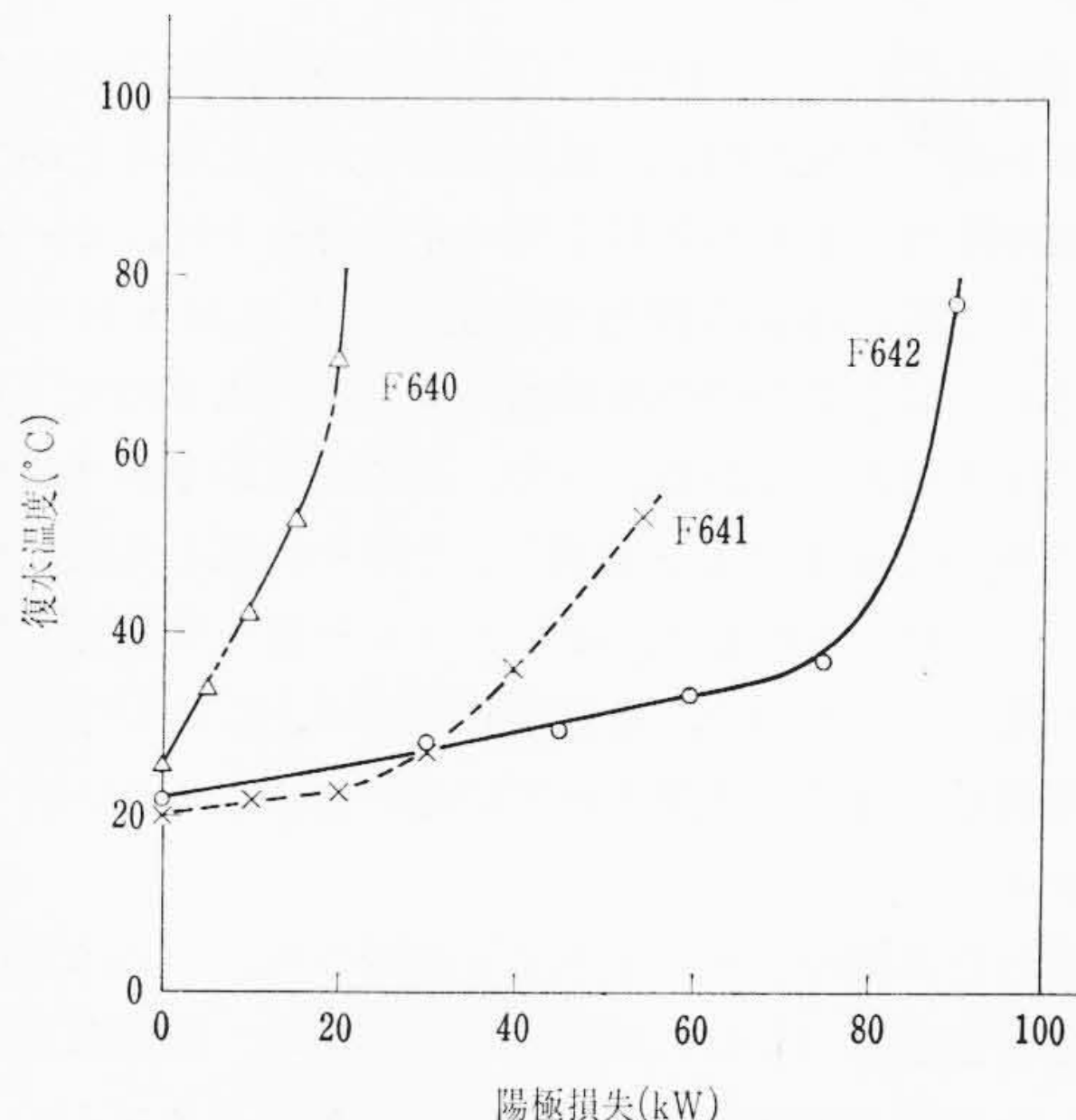
F ：放熱面積 (m^2)

k ：定数

第12図は日立蒸気コンデンサの冷却能力を測定した結果で、陽極直流負荷と蒸気コンデンサからの復水水温を調べたところ、陽極直流負荷の上昇につれ、復水水温も上昇するが、凝縮が十分行なわれなくなると復水側から蒸気が出るとともに、復水水温は急激に上昇する。第1表は日立蒸気コンデンサの能力を示したもので、この表から(1)式の係数を求めると、 $k=0.4$ となる。

3.2.4 水面調整器

第13図は日立水面調整器の外観、第14図はその断面略線図を示したものである。水面調整器の作用はボイラの水面が常に正しい位置にあって、電子管の陽極が過熱されないように水面を調整



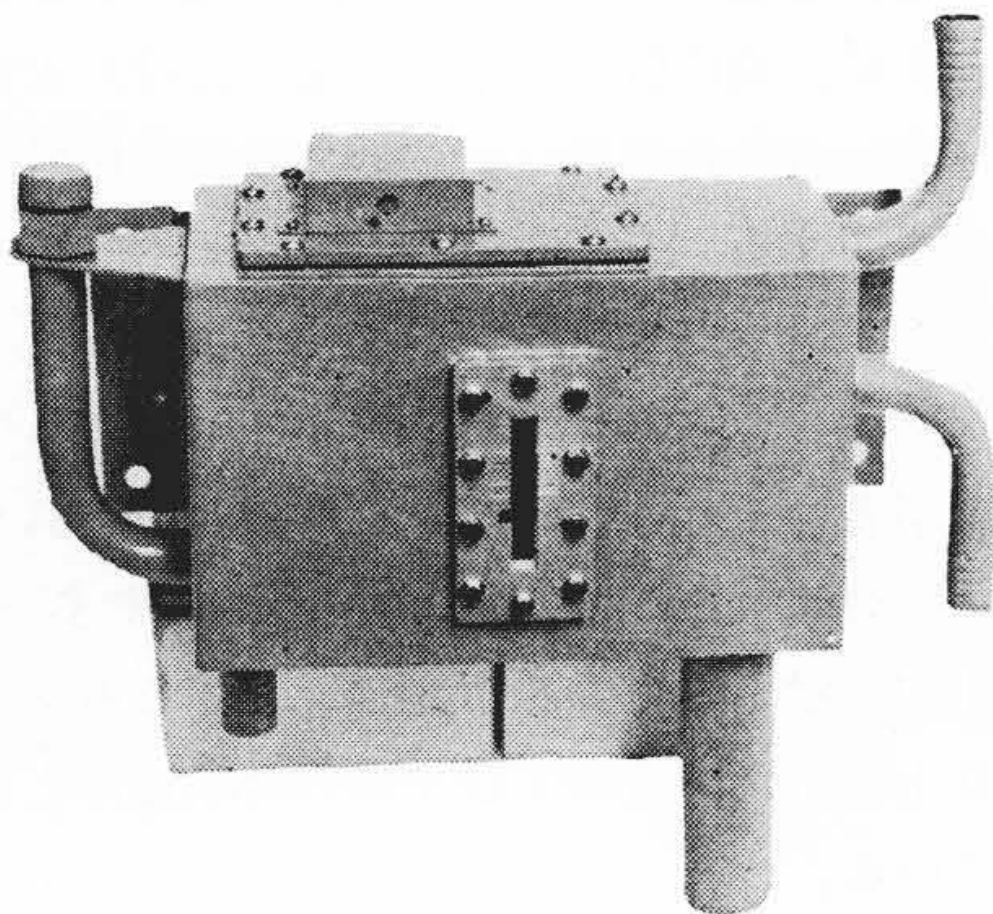
F 640：8 T 23用蒸気コンデンサ
F 641：9 T 57用蒸気コンデンサ
F 642：9 T 72用蒸気コンデンサ

第12図 蒸気コンデンサからの復水水温

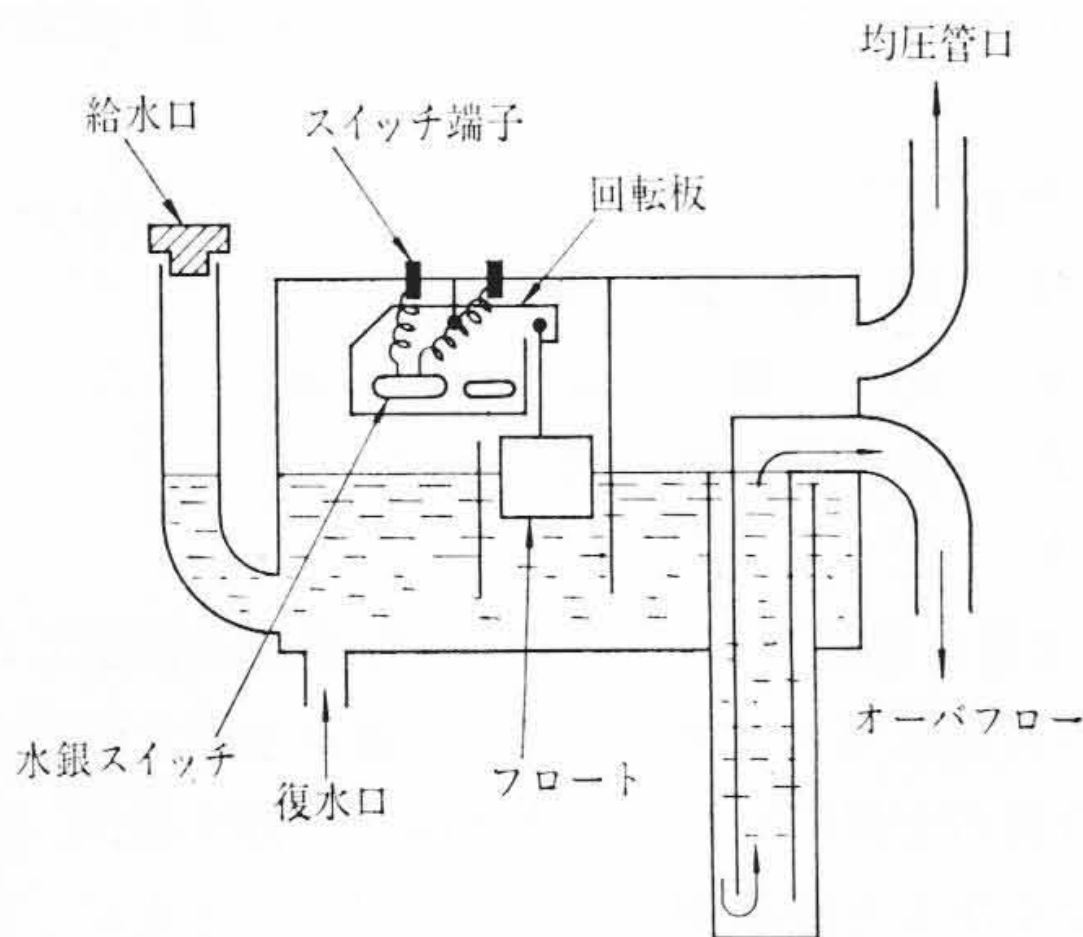
第 1 表 日立蒸気コンデンサの凝縮能力

形 名	放 熱 面 積 (m ²)	送 風 量 (m ³ /min)	凝 縮 能 力 (kW)
F 640	10.6	36	17.5
F 641	25.8	73	40
F 642	33.4	160	75

(注)： (1) 放熱面積はラジエータコア表面積
(2) 送風量は風速から算出した



第 13 図 日立水面調整器



第 14 図 水面調整器の断面略線図

し、同時にリザーバとしての作用をもって水面変化を少なくさせている。

水面調整器は、復水口、オーバーフロー管、給水口、均圧管口のほかにフロートスイッチを 2 個内蔵している。

(1) オーバーフロー管

第 14 図のように U 字形で、(a)給水の際、余分の冷却水がはいると堤を越えて流れ出し、最高水位をおさえることができる。(b)内部の圧力が上がると U 字管の水を押し上げ、オーバーフローするが、U 字管の高さに相当する値まで内圧が上昇すると (約 20 mm 水柱) U 字管の中の冷却水が全部流れ出すので、水面調整器の内部は大気とつながる。一方、逆に内圧が下がり、外部と約 20 mm 水柱の差が生ずると逆流し、やはり内部と外部はつながってしまう。このようにして、オーバーフロー管も安全弁としての作用を兼ね備えているので、正常な状態では、この U 字管には、冷却水が充満し、外部と密閉されていなければならない。

(2) フロートスイッチ

内蔵された 2 個のフロートスイッチのうち、一方は水面が下降し、安全最低水位 (LO) に達したとき閉じ、警報器などを働かせ、新しい冷却水の補給の必要を知らせたり、ソレノイドバルブを働かせて自動的にリザーバタンクから冷却水の補給を行なわせることができる。さらに LO 面から水面が下がり、危険水位に達すると第 2 フロートスイッチが開くので電源スイッチの遮断に使

第 2 表 ガラス管における蒸気圧力降下

管 名	陽極損失 (kW)	フィラメント 電力 (kW)	ガラス管径 (mmφ)	ガラス管長さ (mm)	蒸気圧力降下 (mmAq)
RS1041V	150	5	110	530	48
BTS50-1	75	4	80	440	25
8T23	15	0.5	50	1,000/600	2/1.2
8T47	30	1.2	70	1,000/600	3.2/1.9
9T57	50	1.6	70	1,000/600	25/15
9T72	75	3.3	90	1,000/600	23/14

(注)： 蒸気管圧力降下は次式から求めた。

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho U_m^2}{2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ΔP ： 管の長さ l の間に生ずる圧力降下 (mmAq)

λ ： 摩 擦 係 数

l ： 管 の 長 さ (m)

d ： 管 の 内 径 (m)

ρ ： 流 体 密 度

U_m ： 流体の平均速度 (m/s)

また λ は NHK 技研五十嵐氏らの実験式 (2) から求めた。

$$\lambda = 1.85 (U_m \cdot d)^{2.1} \dots\dots\dots (2)$$

用することができる。

3.2.5 ガラス管 (蒸気管)

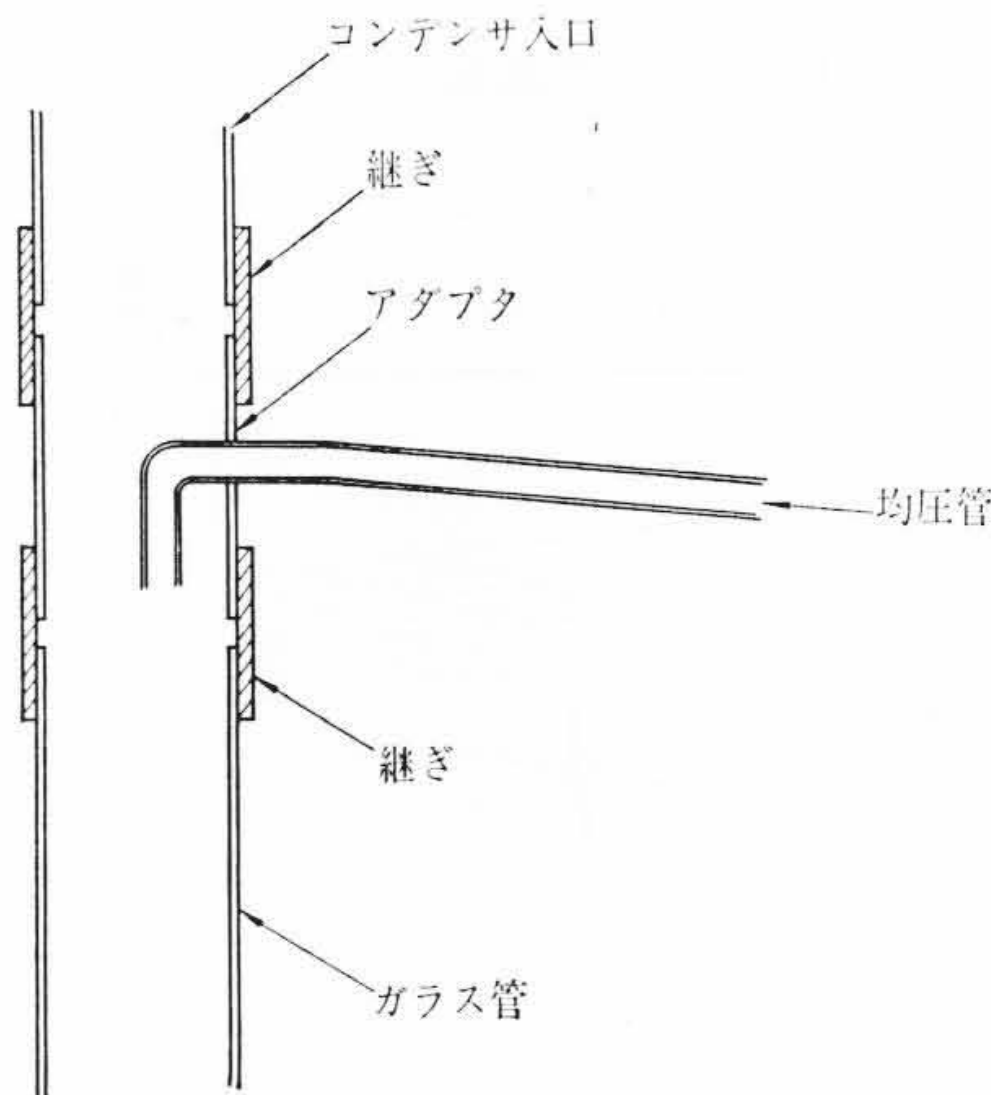
ボイラと蒸気コンデンサを結ぶ蒸気管は、あまり細いと管内に起こる圧力降下によってボイラ水面が押し下げられたり、蒸気管内に水滴が飛散し、極端な場合には水滴のつながりができて絶縁を破壊するおそれがあるため、蒸気管には太いものを使用している。

第 2 表は日立蒸気冷却送信管に使用しているガラス管の寸法および蒸気圧力降下 (計算による) を示したものである。ガラス管の長さは 1 m を標準としているが、60 cm 以上あれば絶縁の目的は達せられるので 60 cm の場合の圧力降下も示した。

3.2.6 均 圧 管

水面調整器の内圧とボイラの内圧が異なると (一般に、ボイラの内圧のほうが高い)、両方の水位に差が生じ、陽極損失が増して内圧が上がり、ボイラの水面が押下げられているにもかかわらず水面調整器の水面は上がり、極端な場合には、ボイラ水面危険水位に達してもフロートスイッチが開かず電源の遮断は行なわれない。したがって、ボイラの蒸気側と水面調整器の上部空間とを均圧管で連結し、ボイラの水面変化に合った水面調整をしなければならない。

ボイラと水面調整器の圧力差を小さくするためには、ボイラに均圧管を直結するのが最もよいが、ボイラが高電位になっているためいろいろと困難な点が多い。実用上、この圧力差はあっても数 mm 水柱程度なら差しつかえないので、ボイラにつなぐガラス管を太くし、このコンデンサ側から均圧管を第 15 図のように取り付けている。均圧管先端が L 形になっているのは、蒸気上昇速度によってベンチュリ管に見られる圧力降下を避けるためである。



第 15 図 均 圧 管 取 り 付 け

また小形のもので蒸気量が比較的少ないものでは、第 11 図のように蒸気コンデンサの入口のタンク部に均圧管口を取り付けても圧力差はあまり大きくならない。

3.2.7 復 水 管

ボイラと蒸気コンデンサ間を結ぶ復水管は、一部に絶縁管を用いてボイラの高電位を絶縁する。この絶縁管は、水冷の場合に比べると、循環する水量が少ないので管径は細くてよいし、冷却水には蒸留水を用いるため復水部の比抵抗は大きいから短いものでよい。

3.3 蒸発冷却装置の取り扱い

3.3.1 蒸発冷却装置の組み立ておよび注意

- (1) 蒸発冷却回路構成部品は、組立前に内面を洗浄する。
- (2) ボイラ、コンデンサ、水面調整器の配置を考え、次の点に注意して据え付ける（第 4、5 図参照）。

(a) ボイラは傾きがあまり大きいと、電子管の陽極部の水に浸っている部分に差ができ、片焼けが起こり、電子管の特性をそこねるから中心軸をほぼ垂直にする。

(b) ボイラには高電圧がかかるから十分な長さの絶縁がい子を使用する。

(c) 蒸気コンデンサは、ボイラの排気口と蒸気コンデンサの蒸気口とが、ほぼ垂直になるように天井に取り付ける。ただし蒸気コンデンサの復水側の位置は任意でよい。

(d) 水面調整器の高さは、水位計の標準マーク (MED) とボイラの水位計の赤印マークが同じ高さになるようにする。電源スイッチや警報器にリードを継ぐようになっているから、安全のため、ボイラからはかなり離す必要がある。

(e) 蒸気コンデンサおよび水面調整器は接地を十分に作る。

(3) ガラス管などの配管を行なう。

(a) ガラス管は図示したように、ガラス管用継手（ゴム）を使用し、ホースクランプで蒸気もれのないように締め付ける。

ボイラ側のホースクランプ #1, 2 は、動作中に帯電することがあるので、ボイラと同電位になるように接続する。

(b) 均圧管には約 100°C の蒸気が充満するので銅管を用い、継ぎには、継手（ゴム）を用い、蒸気もれのないようにホースクランプで締め付け、銅管は接地するのが望ましいが、銅管の代わりに耐熱性および高温における耐水性のよい合成樹脂管を用いても差しつかえない。均圧管の長さは、管内圧力降下ができるだけ小さくなるように短くしなければならない。

(c) 絶縁管は、ビニールパイプで差しつかえないが、ボイラの近くは 80°C を越えることがあるから、耐熱性および耐水性のすぐれた合成樹脂管を用いたほうが安全である。絶縁管の長さは、絶縁抵抗の値によって決まるが 1.5m 以上になるようにドレンコックの位置などを決める。

(d) ドレンは装置全体の最も低い位置に取り付けて、排水を行なったとき装置内の冷却水が残らず流れ出るようにする。

(e) 復水管および水面調整器の継ぎには、ビニールパイプを使用して差しつかえないが、銅管を用いて、これを接地するほうがより安全である。

(f) 水面調整器からオーバーフローした冷却水は、セット外に流れ出るように配管する。

3.3.2 装置稼動前の準備および注意

(1) 冷却水には、蒸留水（イオン交換樹脂を通したもの）を使うのが最もよい。

(2) ボイラ内部に、蒸留水を水面調整器のオーバーフロー管から流れ出るまで入れる。オーバーフロー管から蒸留水の流れ出ないうちは、水面調整器の上部空間が大气とつながっているの、装置を

稼動させると蒸気が大気中に逃げて水面が急に降下する。

(3) 蒸留水を入れたとき、ドレンコックとボイラを結ぶ絶縁管に気泡(きほう)が残ると、復水は気泡の圧力でボイラにもどらないので、ボイラ内の水面が急に降下しても水面調整器は働かない。

(4) 電子管のフランジの下にゴムパッキンを入れ、ボイラとフランジの間から水もれがないように十分締め付ける。電子管についているハンドルは、稼動中に電界が集中しやすいからはずしておく。

(5) ボイラとアース間の絶縁抵抗をメガーで測定し、10 MΩ 以上あることを確認する。10 MΩ 以下のときには、ボイラ内部を洗って水を入れ換える必要がある。

(6) 蒸気もれ、水もれを調べるために数 kW の負荷を陽極にかけてボイラ内の蒸留水を沸騰させ、数分後、蒸気コンデンサから復水を始めたら継目などに蒸気もれ、水もれがないか、他に異状などところはないか確認する。

3.3.3 装置の保守点検

(1) ボイラとアース間の絶縁抵抗を 1 个月ごとに測定して、3 MΩ 以下のときには蒸留水を交換する。水質、動作条件などによって蒸留水のよごれる程度は違うが、2 个月に 1 度蒸留水を交換するのが安全である。なお新しい装置では使用後 2～3 日で蒸留水を 1 度交換する必要がある。

(2) 電子管フランジ部のゴムパッキンによごれ、腐食などがあったら蒸留水交換の際よく点検し、必要あれば取り換える。

(3) ボイラ底部の電食棒が、ボイラ復水口先端まで腐食されたときには新品と交換する。

(4) 蒸気コンデンサのフィン部にごみつまりなどがあると、冷却能力が低下するから定期的に目つまりを点検する。特に塵埃の多いところではエアフィルタを使うほうがよい。なおフィルタを通すことにより風速が約 1 m/s 落ちても凝縮能力に影響ない。

第 3 表 100 kW 送信機における水冷装置と蒸発冷却装置の費用の比較⁽⁷⁾

	単 価 (\$)	使用量 (コ)	総 原 価 (\$)	
			水 冷 管	蒸 発 冷 却 管
水 冷 ジ ャ ケ ッ ト	125	4	500	
ボ イ ラ	175	4		700
支 持 台	7	12	84	84
水冷コイル(セラミック 3/4")	100	4	400	
バイレックス管(小)	4	4		16
バイレックス管(大)	10	4		40
水流計およびリレー	130	4	520	
温度計およびリレー	50	4	200	
水面調整器	140	1		140
熱交換器(一式)	3,480	1	3,480	
コンデンサー(一式)	835	1		835
50 gal タンクおよび蒸溜器	1,675	1	1,675	
リザーバ(50 gal)	305	1		305
設 置 面 積	\$10/ft ²	65	650	
	\$10/ft ²	15		150
合 計			7,509	2,270

第 4 表 100kW 送信機維持費の比較

	原 価 \$/年	
	水 冷 管	蒸 発 冷 却 管
装 置 消 耗 費 (10年間として)	751	227
電 力 \$0.02/kWh	785	175
エアー・フィルタ交換	50	25
設 置 維 持 費 \$1.5/ft ² /年	97	22
合 計	1,683	449

第5表 日立蒸発冷却送信管の定格

形 名	陰 極			外 形 寸 法		増幅率	周波数 ⁽³⁾ (Mc)	最 大 定 格 ⁽⁴⁾			動 作 例 ⁽⁵⁾			
	種 別 ⁽¹⁾	電 圧 (V)	電 流 (A)	全 長 (mm)	最大直径 (mm) ⁽²⁾			陽極電圧 (kV)	陽極入力 (kW)	陽極損失 (kW)	陽極電圧 (kV)	陽極電流 (A)	励振電力 (kW)	陽極出力 ⁽⁶⁾ (kW)
8T23	FT	12	40	330	160	21	30	12	25	15	11	2.2	0.32	18
8T47	FT	6	200	335	200	24	30	12	60	30	12	5.0	1.1	43
9T57	FT	8	200	465	200	24	30	12	100	50	12	8.0	1.5	67
9T18	FT	11	285	620	240	39	20	17	150	75	15	8.0	1.45	88
9T72	FT	11	300	620	240	31	25	15	185	75	14	13.0	3.45	130

(注)： (1) 陰 極 種 別： FTはトリウムタングステンフィラメントを表わす。
(2) 最 大 直 径： 最大部直径で側面につきでた端子やハンドルの寸法をふくまない値である。
(3) 周 波 数： 最大定格で利用できる最高周波数を示す。
(4) 最 大 定 格： 絶対最大定格で、各種の変動によっても越えてはならない値である。
(5) 動 作 例： C級発振の場合の1管の値で、最高周波数まで適用できる。
(6) 陽 極 出 力： 電子管が回路に供給する出力で、負荷にあたえられる出力は、この値から回路損失などを引いた値である。

4. 蒸発冷却の特長

- (1) 陽極損失を大きくすることができる。
- (2) 使用水量は少なくてよい。
- 水冷の場合に、水温を40℃から最大許容値70℃まで上昇させるには30 cal/gのエネルギーを要するが、100℃の水を蒸発させるには540 cal/gものエネルギーが必要となって、同じ水量で約20倍のエネルギーをうばうことができ、熱伝達率は500 W/cm²にも達するといわれている。したがって同一の陽極面積をもった電子管でも許容陽極損失は水冷の場合の数倍にすることができるし、同じ陽極損失に対して使用する水量も数分の一にすることもできる。
- (3) 過負荷に耐える。
- (4) 循環水ポンプの必要がない(自然循環系)。
- (5) 電子管陽極とアース間の絶縁が容易である。
- (6) 設備、維持費とも水冷に比べ安くなる。
- 第3,4表はアイマック社から出された諸経費の比較表⁽⁷⁾である。

5. 日立蒸発冷却送信管一覧表

第5表に日立蒸発冷却送信管の定格を示した。この冷却回路構成部品はすべて当社に準備されている。

6. 結 言

蒸発冷却は、すぐれた冷却特性により、今後ますます工業用としてばかりでなく、通信用の分野にも使用されると予想されるので、その概略を述べるとともに、日立蒸発冷却管の構造などを述べ、初めて使用される方にも、概略わかっていただけるように説明した。

現在、実用化されたものは5管種であるが、さらに外部陽極形 of 全管種の蒸発冷却化を行なうとともに、構造の検討を重ね、装置を小形化し、通信用にも十分使用できるものにして行きたいと考えている。

終わりに、貴重な資料を貸与していただいた日本放送協会技術研究所の太田氏ならびに終始ご協力いただいた日立製作所茂原工場関係者各位、京浜日立エンジニアリング株式会社内田君に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

(1) Ch. Beurtheret: Bull. France. Electr., 4, 36~43 (1954)

(2) C. Protze: Telefunken-Zeitung, 29, 87~92 (1956)

(3) W. H. McAdams: Heat Transmission, 370 (1954. Mc Graw-Hill)

(4) A. Fisher: Siemens-Zeitschrift, 30, 2, 69~73 (1956)

(5) W. Heinze: Nachrichten technik, 8, 3, 398~410 (1958)

(6) A. Ruhrman: Telefunken-Zeitung, 30, 117, 185~195 (1956)

(7) M. Stangl, W. Allen: Electrical Design News, 90 (1962-3)

付録 1. 凝縮能力と放熱面積、送風量の関係

蒸気コンデンサなど、冷却器では、総放熱量と放熱面積、送風量との間には(1)式が成立する。

$$Q=KF\theta_m \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q ：総放熱量 (kcal/h)
 K ：熱通過率 (kcal/m²h℃)
 F ：放熱コアの放熱面積 (m²)
 θ_m ：蒸気と冷却空気との平均温度差 (℃)

また、熱通過率は(2)式で表わされる。

$$\frac{1}{K}=\frac{1}{\alpha_{in}}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_{out}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 α_{in} ：蒸気から金属壁への熱伝達率 (kcal/m²h℃)
 α_{out} ：金属壁から冷却空気への熱伝達率 (kcal/m²h℃)
 λ ：金属壁材料の熱伝導率 (kcal/m²h℃)
 δ ：金属壁の厚さ (m)

一般に、蒸気コンデンサなどでは、 α_{out} に比べ、 α_{in} 、 λ/δ が非常に大きいので、(1)式は(3)式で表わされると考えてよい。

$$Q=\alpha_{out} F\theta_m \dots\dots\dots (3)$$

蒸気コンデンサの凝縮能力を知るためには、 θ_m ≡一定とし、(4)式〔松村、埋橋、太田：日立評論 44, 1230 (1962-8)〕から(5)式が得られる。

$$\alpha_{out} \propto v^{0.578} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 v ：通過空気の流速 (m/s)

$$Q \propto Fv^{0.578} \dots\dots\dots (5)$$

一方、われわれが蒸気コンデンサに使用した自動車のラジエータの放熱面積と流通断面 S (m²) との間には、ほぼ(6)式のような関係が成立している。

$$S \propto F^{0.685} \dots\dots\dots (6)$$

(5)、(6)式から、放熱面積、送風量と凝縮能力との間には、自動車のラジエータを蒸気コンデンサに使用する場合、(7)式が成立する。

$$Q \propto q^{0.578} F^{0.604} \equiv (qF)^{0.6} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 q ：送風量 (m³/min)