

(昭和 37 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

船用主ボイラの起動および増速時の熱的問題点

正員 吉見 豊* 石原栄太郎**

浜野清彦***

Thermal Problems in Rapid Steaming Up of Marine Boilers

By Yutaka Yoshimi, *Member*

Eitaro Ishihara

and Kiyohiko Hamano

Summary

Naval boilers of two destroyers were tested. The boilers were of a same design and manufactured by two different manufacturers, each planned and carried out the tests. The boilers were steamed up to their working pressure within 100-50 minutes, and the temperature of the drums, the superheater tube walls, and the combustion gas was measured. The deformation of the water drum was also measured and it was of considerable amount, for the water near the bottom of the drum remained cold even when the steam pressure reached to its working state. The stress of the water drum was measured using high temperature strain gauges, and the stress value was found nearly critical in 50 minutes steaming-up tests, which might be the first limitation in rapid steaming-up.

The superheater tube walls reached to the maximum value soon after the steam started, and decreased gradually as the steam flow became more than 1-2t/h. Uneven distribution of gas flow and consequently of tube wall temperature is also mentioned.

1 緒 言

蒸気主機関の急速起動および急速増速の性能を向上させる目的で、艦艇用の主ボイラについて実物試験を行ない、標題の問題点をほぼ明らかにすることができたので、一般の船用ボイラの設計および取扱い等の参考として報告する。

2 調 査 事 項

タービン主機における試験（別論文「船用蒸気タービンの起動および増速時の熱的問題点」：石原ほか）と同様、主ボイラの起動および増速時の過渡状態における i. 温度の過昇, ii. 温度の不均一による熱応力, を調査した。したがって具体的調査事項はつぎのとおりである。

- (1) 各部の温度上昇の経過
- (2) 過熱管壁の温度および付近のガス温度
- (3) 水ドラムの変形
- (4) 水ドラムの熱応力

原稿受付 昭和 36 年 12 月 20 日

* 三菱造船長崎造船所

** 新三菱重工神戸造船所

*** 防衛庁技術研究本部

3 供試ボイラの要目

試験は護衛艦「あきづき」および、「てるづき」のボイラについて行なった。このボイラはそれぞれ三菱造船および新三菱で製作されたが、両社の共同設計によつて同一基本計画のものである。

要目は Table 1 のとおりで、主機と同様重量容積の節減をはかるために全力時の効率を犠牲にしている。特徴は、

- (1) 燃焼室負荷が特に高い。
- (2) 最内側蒸発管の列数を減じ、低出力時の蒸気温度の低下を防ぐ。
- (3) 水ドラムおよび下部管寄せに蒸気ドラムから多数の降水管を配している。

等が挙げられる。

Table 1 主ボイラ要目

艦名 製造所	あきづき, てるづき 三菱造船, 新三菱重工	商船の1例 三菱造船
蒸発量×主ボイラ台数	85 t/h×2	53 t/h×2
蒸気圧力×温度 給水温度	40 kg/cm ² ×450°C 115°C	59.8 kg/cm ² ×482°C 138°C
形式	エコノマイザ付 2 胴水管ボイラ	エコノマイザ, 蒸気式空気予熱器付 2 胴水管ボイラ
蒸気ドラム 平均内径×全長 使用材料 肉厚	1,402 mm×5,000 mm ABS Grade D 胴板 33 mm, 管板 93 mm	1,353 mm×5,980 mm 同 左 胴板 47 mm, 管板 112 mm
水ドラム 平均内径×全長 使用材料 肉厚	621 mm×3,800 mm ABS Grade D 胴板 20 mm, 管板 42 mm	778 mm×2,890 mm 同 左 胴板 30 mm, 管板 65 mm
蒸発管 内側 外側	径 50.8 mm×厚 3.2 mm×2.5 列 径 25.4 mm×厚 2.3 mm×24 列	径 50.8 mm×厚 4.5 mm×2 列 径 50.8 mm×厚 3.2 mm×25 列
水壁管	径 50.8 mm×厚 3.8(3.2) mm×1 列	径 50.8 mm×厚 4.5 mm×1 列
降水管 (水ドラムへ) (管寄せへ)	径 127 mm×6 本 径 127 mm×13 本	径 101.6 mm×8 本 径 101.6 mm×13 本
過熱管材料	ABS Grade N (第 1.2) ABS Grade P (第 3)	ABS Grade N (第 1~4) ABS Grade P (第 5)
流路数 寸法	3 径 38.1 mm×厚 3.2 mm×6 列	5 径 38 mm×厚 4.5 mm×8 列
エコノマイザ	AI フィン付 89 mm 外径×12 列	AI フィン付 89 mm 外径×20 列
伝熱面積 蒸発管 水壁管 過熱管 エコノマイザ 計	410 m ² 27.8 " 84.6 " 412 " 934.4 "	777 m ² 45 " 203 " 629 " 1,654 "
重量(乾) 水重量(常温) 重量/蒸発量	69,500 kg 8,550 kg 0.82 kg/kg·h ⁻¹	126,400 kg 12,500 kg 2.38 kg/kg·h ⁻¹
平均肉厚 圧力部重量/比重÷伝熱面積 圧力部重量/比重÷(蒸気または水に触れる面積)	6.9 mm 6.6 "	7.4 mm 7.8 "

4 計測装置

艦内常備の計器のほか、特に本試験のために装備した計測装置はつぎのとおりである。

Fig. 1 (a), (b) に温度の計測位置を示す。過熱管の管壁温度の計測用の熱電対の装備法は Fig. 2 に示すようなもので、やや不正確と思われるが、実物による試験としてはやむを得ないものであつた。

計 測 種 類	計 測 個 所	使 用 計 器	あ き づ き		てるづき
			第 1 次 試 験	第 2 次 試 験	
温 度 計 測	燃 焼 ガ ス	熱 電 対	—	—	10
	蒸気ドラム表面	〃	4	4	—
	水ドラム表面	〃	4	5	—
	過 熱 管 壁	〃	2	17	12
	降 水 管 壁	〃	—	—	7
	過熱器出口蒸気	〃	1	1	1
水ドラム変形量	滑り足移動量	ダ イ ア ル ゲ ー ジ	1	2	—
	滑り足浮上り量	〃	2	2	—
	ドラム曲り量	〃	1	1	—
	固定足移動量	〃	—	2	—
	固定、滑り足間隔変化量	〃	—	1	—
	応 力 計 測	水ドラム中央下部	高温用ストレンゲージ	—	5

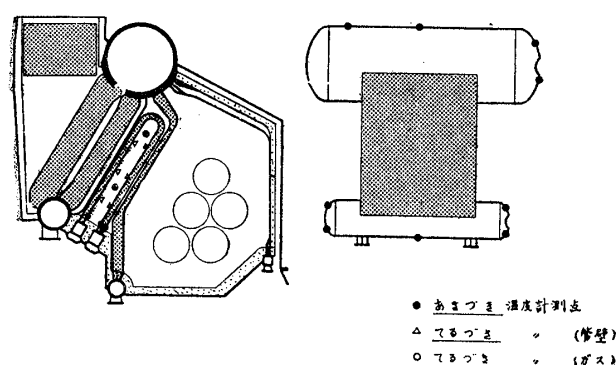


Fig.1 (a) 温度計測点

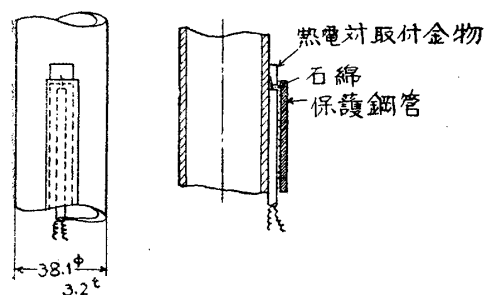


Fig. 2 過熱管壁溫度計裝備要領

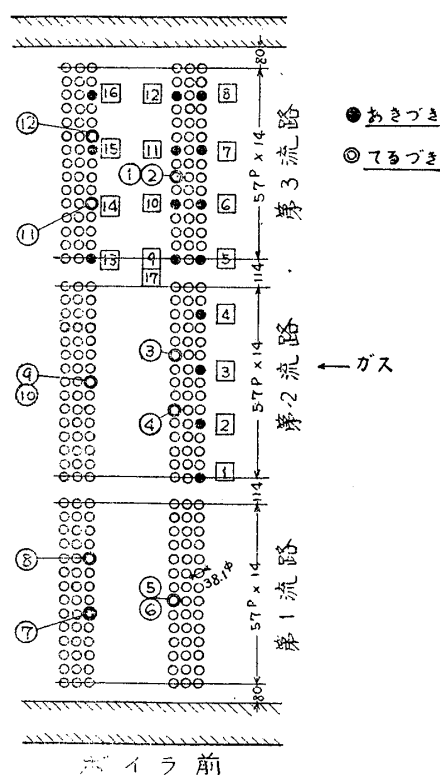


Fig. 1 (b) 過熱管壁溫度計測點

5 試験結果および考察

5-1 「あきづき」における試験の経過

試験は第1次と第2次に分けて行なつた。第1次試験はボイラ点火より使用圧力に到達するまで100分間を目標として行ない、第2次試験は第1次の結果にもとづいて50分間を目標とした。

5-2 「あきづき」 第1次試験

第1次試験は合計3回実施した。その代表的な成績を Fig. 3, (a) に示す。

i) 過熱管壁溫度

過熱管壁温度は蒸気発生後も上昇を続け、昇圧して約 1,000~2,000 kg/h 程度蒸気を使用するまでは発生蒸気との温度差は相当に大きい。在来は蒸気発生前を警戒すべきものとしていたが、過熱管壁の温度の最大値が蒸気発生後に現われることは注意すべき点である。この試験では最大値は管材の常用最高許容温度（第 1・2 流路：1.25% Cr・0.5% Mo：566℃，第 3 流路：2.25% Cr・1% Mo：593℃）に対して 100℃ 程度の余裕があるので

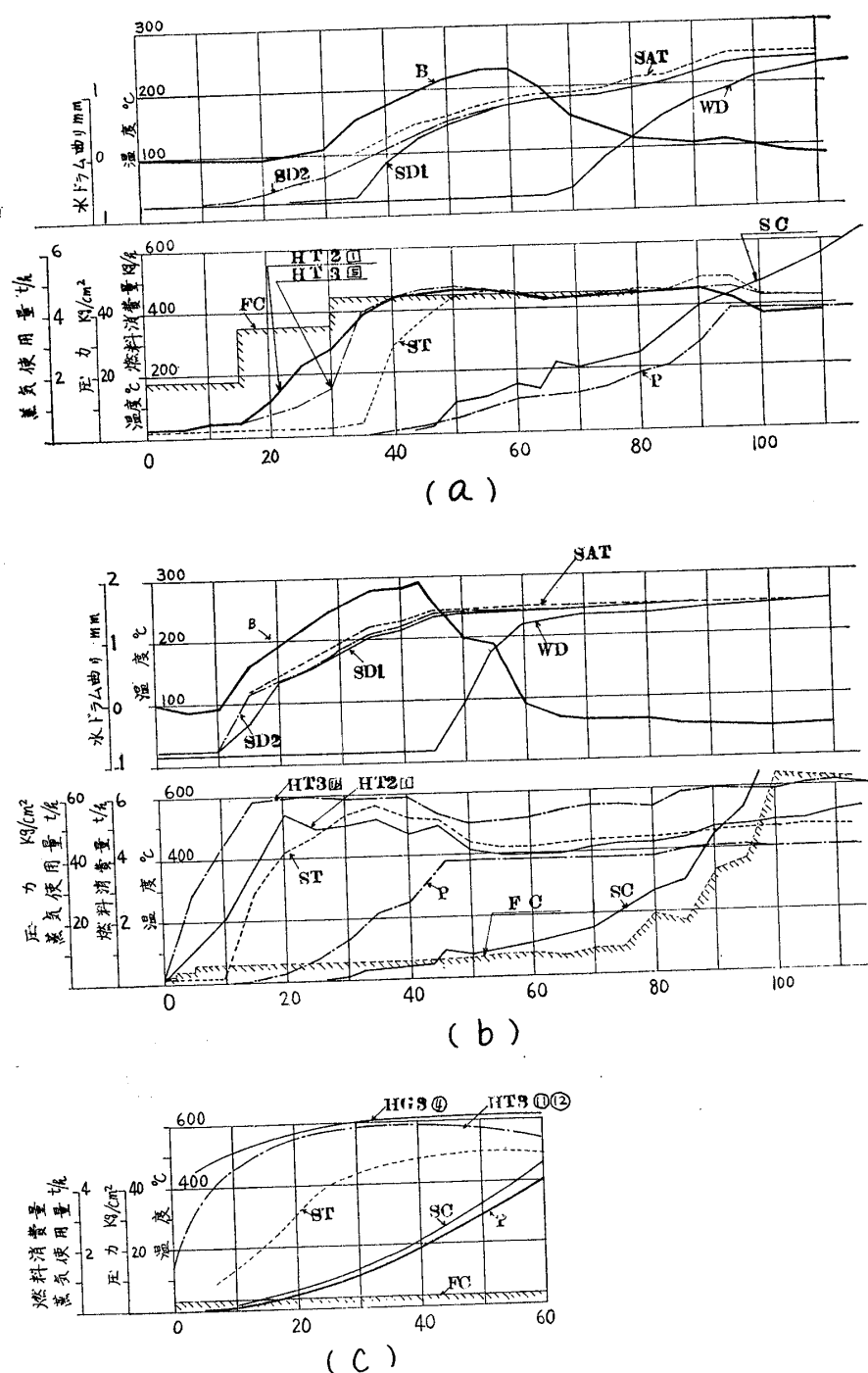


Fig. 3 試験成績

(a) あきづき 100 分昇圧試験

(b) あきづき 50 "

(c) てるづき 60 "

(B: 水ドラム曲り: SAT ドラム内圧に対する飽和温度, SD1: 蒸気ドラム蒸気部表面温度, SD2: 蒸気ドラム水部表面温度, WD: 水ドラム中央下部表面温度, P: ドラム内圧力, ST: 発生蒸気温度, HT2: 過熱器第2流路管壁温度, HT3: 過熱器第3流路管壁温度, HG3: 過熱器第3流路ガス温度, FC: 燃料消費量, SC: 蒸気使用量)

心配ないと考えられた。ただし温度の部分的な不均一があることを考慮して計測点を増加して第2次試験に望むこととした。

ii) 水ドラムの曲り

図に示した水ドラムの曲りは正の値が中央が浮上ることを示している。中央部における 1.3mm 程度の浮上り量がどの程度の応力になるかは不明であるが、旧海軍の試験成績中にもこの程度の例があるので、高温用ストレングスで計測することを準備して第2次試験を行なうことにした。

iii) そ の 他

この試験では他に問題となる点はなく、試験後の点検においても異状は見出されなかった。

5-3 「あきづき」 第2次試験

第2次試験は計4回実施した。試験成績の代表的な例を Fig.3 (b) に示す。第1次試験の例 (Fig.3 (a)) は停泊試験であるが、この試験はタービンの早期起動増速試験と同時に施行し、ボイラ点火 55 分後に主機を起動し、110 分後に計画全力に達している。

i) 過熱管壁温度

今回の試験では規定圧力に到達するまで 46 分という短時間であるため、蒸気発生後の管壁温度の上昇は第1次試験よりも甚だしく、第2流路 (計測点4) において 590°C、第3流路 (計測点16) において 600°C の最大値を示しているが、この程度の温度は材質的に未だ心配ないものである。

管壁温度は蒸気使用量が増すにつれて下降し、過熱蒸気温度に近づくが、燃焼量の増大につれて再び上昇し、主機計画全力においてはふたたび第3流路 (計測点13) において 608°C 程度になっている。第2次試験では管壁温度の計測点をボイラの奥行方向に増したので、その分布の傾向を調査したのが Fig.5 である。この計測は整

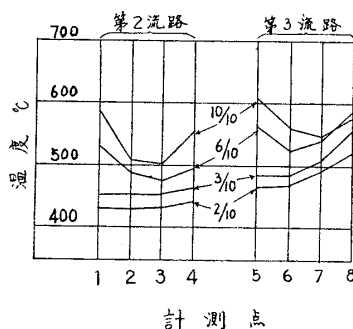


Fig.5 過熱管壁温度分布
(計測点番号は Fig.1 (b) 参照)

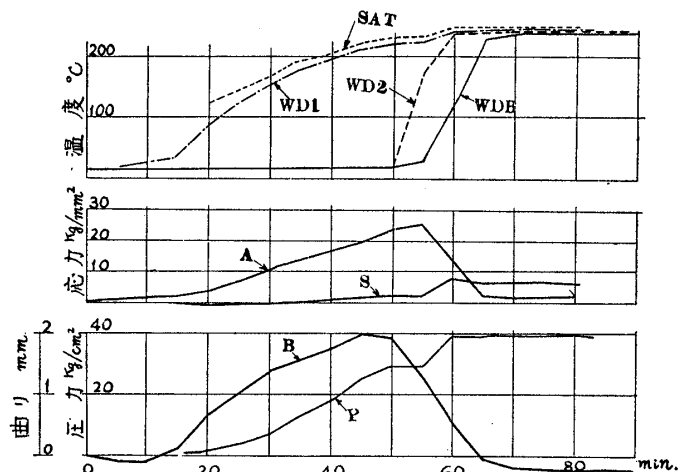


Fig.4 水ドラム応力計測成績 (あきづきに)
(B: ドラム曲り, P: ドラム内圧, SAT: ドラム内圧に対する飽和温度, WD1: 鏡板上部表面温度, WD2: 鏡板下部表面温度, WDB: ドラム中央下部表面温度, A: ドラム軸方向応力, S: ドラム円周方向応力)

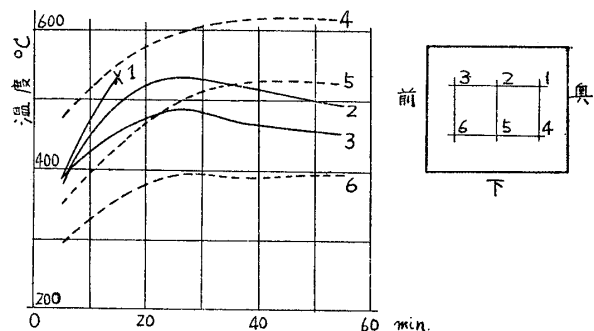


Fig.6 過熱器付近ガス温度分布
(てるづき 60 分昇圧試験)

定状態で行なつた。低出力においては燃焼ガスがボイラの奥の方に片寄る傾向が強くなり、出力の増大につれて流路の境目の管間隔の大きい所のガス速度が早い影響が強く現れ、60°~90°C 程の不均一を生ずる。このことは設計上注意すべき点と思われる。

ii) 水ドラムの曲りおよび熱応力

水ドラム下部の温度上昇の遅れは今次はさらに甚だしく、昇圧完了までほとんど上昇を示さない。したがって水ドラムの曲りは甚だしくなっている。この熱応力の計測結果を Fig.4 に示す。これは昇圧まで 60 分を目標として停泊中に行なつた試験成績である。このように時間的に変化が激しい場合の応力計測は特に困難なので、計測の正確さはやや劣ると思われるが、長手方向の応力は 25.5 kg/mm² の最大値を示している。曲りの最大値の発生と応力値の最大との時期が一致しないのは計測誤差によるものと考えられる。

この応力値は計測位置を考慮に入れた場合水ドラムの応力としては critical と思われ、ボイラの起動・増速を通じ本試験で最も問題となる点である。

円周方向の応力には異状が見られず、内圧の上昇と同一傾向で上昇し、圧力整定とともにほぼ計算値と一致した。

5-4 「てるづき」における試験

Fig. 3 (c) に「てるづき」における試験成績を示す。「てるづき」においては燃料の送入量を約 180 kg/h および 360 kg/h とする 2 回の試験を行なっているが、ここに示したのは後者の場合の成績である。

「あきづき」の試験との方法上の相異点は、「あきづき」では機関部の早期準備を目的として燃料の送入量を時間的に変え、かつ昇圧の途中で極力蒸気の使用量を増加しているが、この試験では燃料の送入量を一定とし、蒸気は起動用の蒸気捨弁のみから放出し、その弁の開度を一定としていることである。

i) 過熱管壁温度

過熱管壁温度の傾向は「あきづき」と同様であつて、「あきづき」の試験に対する考察につけ加えるべきものは特にない。

ii) 過熱管群付近の燃焼ガス温度の分布

5.3 項で述べたように点火時は燃焼ガスの片寄りが著しい。Fig. 6 に「てるづき」で計測したボイラの奥行方向と上下方向のガス温度の分布と時間的経過を示した。温度の不均一はボイラの下部が著しく、ことに前側の下部は死角となつていことがわかる。

6 結 論

この試験によつて得た結論はつぎのとおりである。

- (1) 船用ボイラの重要な熱的問題点は起動時にあつて、増速時にはないと認められる。
- (2) 起動時の問題点の 1 つは、水ドラム内のボイラ水温の不均一にもとづく熱応力であつて、本試験程度のボイラについては 45~60 分程度の起動時間（点火より昇圧完了まで）で操作した場合に、応力はほぼ降伏点に達し critical と考えられる。
- (3) 問題点の他の一つは過熱管壁の温度上昇であつて、蒸気発生後まだ蒸気の使用量が少ない時期に最高温度が現われる。艦艇のように蒸気補機が比較的多い場合には、操作によつてある程度蒸気の使用先が得られるので今回の試験では最高温度をボイラ計画全力程度以下におさえ得たが、一般の船用ボイラでは注意が必要である。
- (4) 過熱管の流路群の境目には必然的に管間隔の粗なところができるが、その境に沿つた過熱管は温度上昇が甚だしいので高負荷のボイラの設計にはこのことを十分考慮する必要がある。

この論文は艦艇用のボイラの試験成績によつて、一般の船用ボイラの設計および取扱いの参考に供するのが目的であるので、問題点の指摘に止め、起動性等の向上の対策については言及しなかつたが、若干でも船用ボイラに関係される各位に資するところがあれば幸いである。