

東京電力株式会社

潮田火力発電所増設 55,000 kW 発電設備性能試験結果について

Performance Test Results of 55,000kW Generating Equipment, Installed at the Ushioda Power Station on the Extension Program of the Tokyo Electric Power Co.

木村良之助* 青木喜六**

内 容 梗 概

潮田火力発電所第3号機、第5、6号罐の増設は、昭和28年度渇水期の供給力増加を目標として、昭和26年度に計画され、機械設備全部を一括して、日立製作所で設計製作された。同社がまだG.E.社およびB.W.社と技術提携をする前の最終記録品である処が注目し値するが、蒸気条件は、過熱器出口において、 $46 \text{ kg/cm}^2\text{g}$, 450°C 、1機2罐として計画され、ボイラは2胴輻射型で裸水管炉壁を有し、蒸発量1罐につき最大150 t/h、タービンは衝動複車室複流式で55,000 kW, 3,000 rpm、発電機は水素冷却方式が採用され、我国における最初のもので、各所には、最も斬新な設計が取入れられている。発電開始は予定通り昭和28年11月で冬期渇水に活躍をした。翌29年6月に定期検査を終り、引続いて7、8月にわたり総合性能試験が実施された。

試験の結果、総合プラント効率、出力55,000 kWにおいて、28.51%という成績をえた。これは保証値28.70%に対し保証裕度内にあり、十分満足させるものであつた。なお総合試験と同時に、タービン、ボイラおのおのについても、性能試験を行い、いずれも所期の実績をあげ、プラント運営上並びに設計上貴重な資料を提供することができた。

〔I〕 緒 言

東京電力株式会社潮田火力発電所増設 55,000 kW 発電設備は、昭和28年度渇水期の供給力増加を目標として、昭和26年度に計画され、戦後我国における大容量機の先駆として、その機械設備一式を日立製作所において一括設計製作されたものであり、同社がまだG.E.社およびB.W.社と技術提携する前の最優秀記録品である。

発電開始は予定通り昭和28年11月で、この冬の渇水時に活躍した。翌29年6月定期検査を終り、引続いて7、8月にわたり、多くの日数と技術者を動員して、性能試験が実施された。

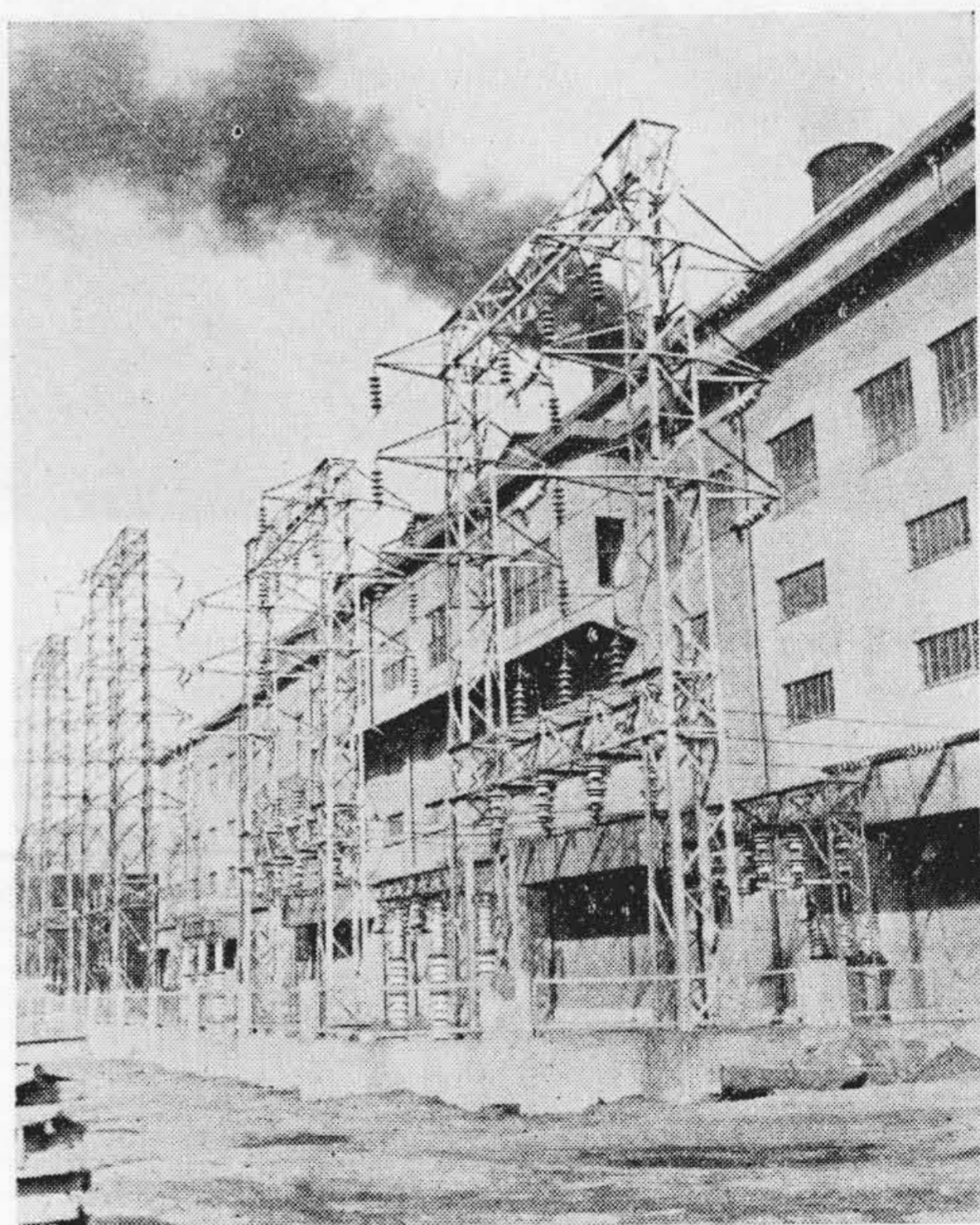
今回の試験は総合プラント効率を求めるのが主目的であつて、なお同時にタービン、ボイラおのおのの性能試験も行い、我国では前例のない方法が採用された。

以下、その概略について述べる。

〔II〕 設 備 の 概 要

設備の詳細についてはすでに本誌第35巻8号⁽¹⁾に述べられているので、こゝでは仕様概要の紹介に止める。

今回増設された設備は1機2罐として計画され、第3号機タービン発電機1基と、第5、6号罐2基および給水加熱装置1式であつて、蒸気条件、出力など当時の立地状況においては、誠に当を得た自信作であつたことはいふまでもない。第1図は完成せる発電所全景、第2図



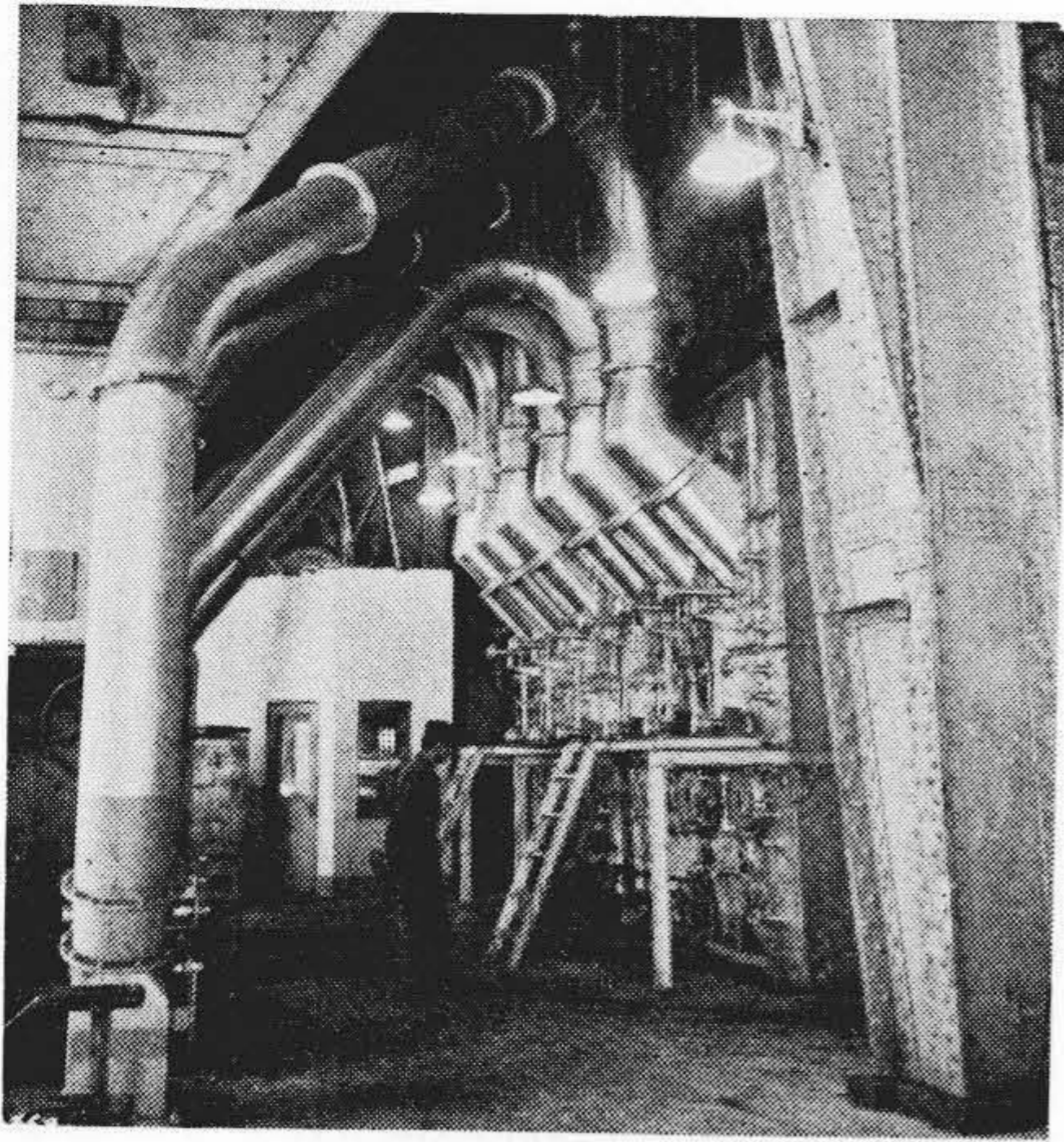
第1図 発 電 所 全 景
Fig.1. General View of the Ushioda Power Station

(次頁参照)はボイラ室の一部、第3図(次頁参照)は汽機室全景を示す。

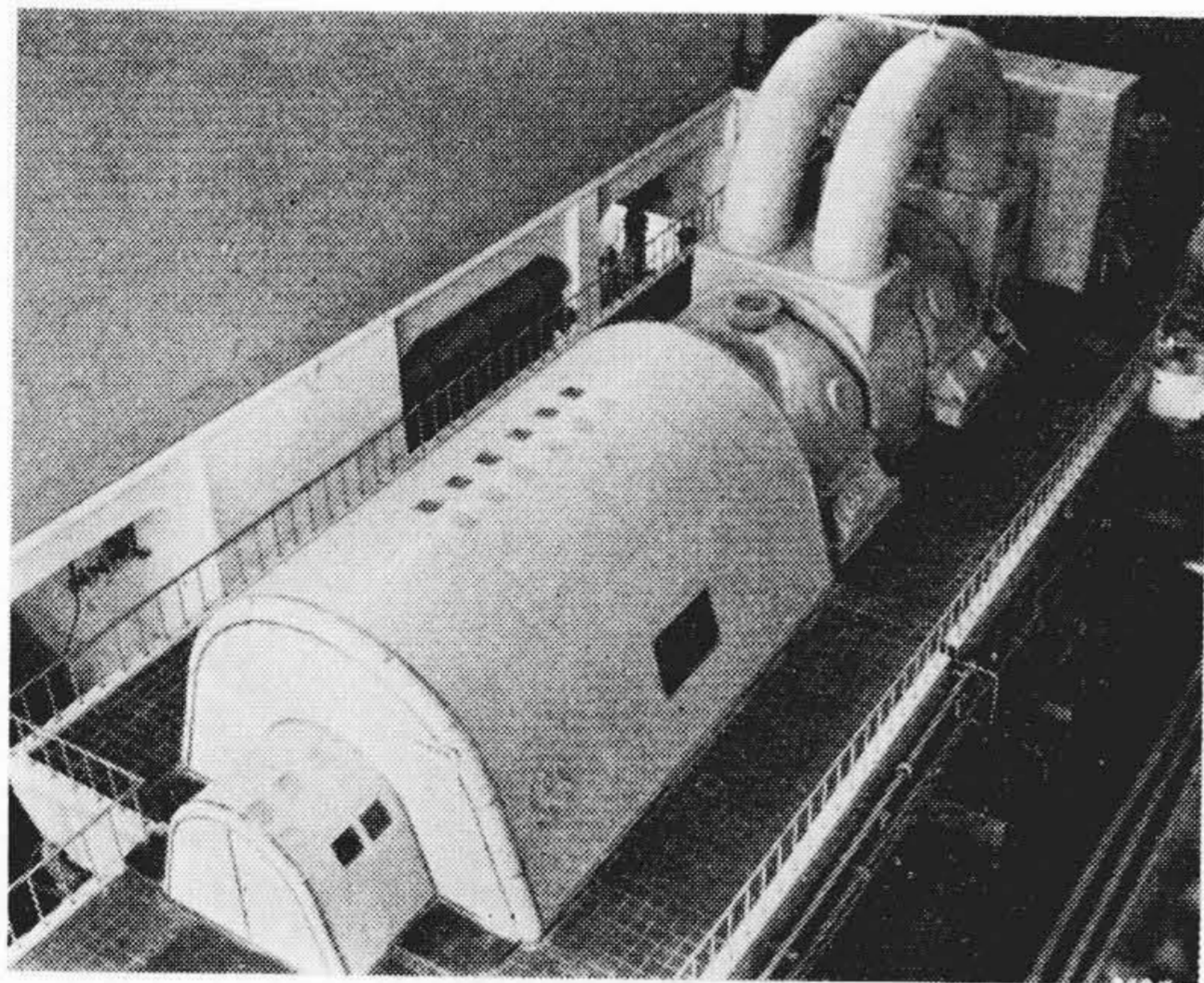
第1表、第2表、第3表、第4表および第5表(次頁参照)はそれぞれボイラ、タービン、復水器、給水加熱装置、発電機の計画仕様を、第4図は給水加熱系統図を示すものである。

* 東京電力株式会社潮田火力発電所

** 日立製作所日立工場



第2図 150t/h ボイラ前面
Fig.2. Front View of 150t/h Boiler



第3図 タービン室全景
Fig.3. General View of Turbine Room

第1表 ボイラの計画仕様
Table 1. Specification of Boiler Plant

項目	経済負荷	最大連続負荷
型式	日立二胴輻射型	
蒸気圧力(ドラム)(kg/cm ² G)	46	46
蒸気温度(°C)	450	450
蒸発量(kg/h)	120,000	150,000
効率(%)	88.4	87.3
給水温度(°C)	180	180
石炭消費量(kg/h)	15,103	19,128
通風方式	平衡通風	
燃焼方式	単位式微粉炭燃焼42チューブミル	
石炭高位発熱量(kcal/kg)	5,800(乾炭)	
固定炭素(%)	33.35	
揮発分(%)	38.3	
灰分(%)	24.8	
固有水(%)	3.55	
湿分(%)	6.0	
灰軟化温度(°C)	1,250	
灰熔融温度(°C)	1,300	

第2表 タービンの計画仕様
Table 2. Specification of Turbine

項目	仕様
型式	日立衝動型複車室 複流蒸気タービン1基
台数	1基
経済出力(kW)	50,000
最大連続出力(kW)	55,000
蒸気圧力(kg/cm ² G)	40(加減弁前にて)
蒸気温度(°C)	435(加減弁前にて)
回転数(rpm)	3,000
復水器真空(mm-Hg)	730(冷却水温18°C, 50,000kWにて)
パーソンズ係数	2,170
段落数	高圧15段, 低圧3段複流 計18段
内部効率(%)	86

第3表 復水器計画仕様
Table 3. Specification of Surface Condenser

項目	仕様
型式	表面接触2折流型
台数	1機につき2台
冷却面積(m ²)	2,400
処理蒸気量(kg/h)	156,800(50,000kW時)
冷却水(°C)	海水18(最高30°C)
冷却水量(t/h)	6,000
真空(mmHg)	730(50,000kW時)
損失水頭(m)	3.69

第4表 給水加熱装置計画仕様
Table 4. Specification of Feed Heating Plant

項目	仕様
タービン出力	50,000 kW
出気段数	4
給水温度	180°C(50,000kW時)
補給水罐成量	6,200 kg/h(50,000kW時のタービン蒸気量の4%)
罐水水質および湿度	水道水18°C
汚水量	1,240 kg/h
蒸化器加熱面積	120 m ² ×1台
蒸化器容量	15 t/h
罐水予熱脱気器	15 m ² ×1台
排水熱交換器	8 m ² ×1台
低圧給水加熱器	285 m ² ×1台
蒸化蒸溜器	140 m ² ×1台
脱気器処理水量	最大260 t/h
高圧第1給水加熱器	260 m ² ×1台
高圧第2給水加熱器	190 m ² ×1台

〔II〕 試験方法

総合プラント効率を求めるためには、石炭の入力と電気の出力を測定することによつてえられ、ボイラ、タービンの性能を知るためには、ボイラの蒸発量、タービンの復水量などを測定する必要がある。

今回のように全く営業運転と同様な出汽状態で行う試験ではすべて流量計に依存せざるをえず、その精度を要

第5表 ターボ発電機計画仕様
Table 5. Specification of Turbo-Generator

項 目	仕 様
型 式	EFB-K (閉鎖通風横型円筒回転式) 1基
冷 却 方 式	水素冷却(ガス圧 0.05 および 0.5 kg/cm ²)
出力(ガス圧 0.05 の場合)	50,000 kW
出力(ガス圧 0.5 の場合)	55,000 kW
容量(ガス圧 0.05 の場合)	62,500 kVA
容量(ガス圧 0.5 の場合)	67,000 kVA
力率(ガス圧 0.05 の場合)	0.8
力率(ガス圧 0.5 の場合)	0.82
電 圧	11,000 V
周 波 数	50~
回 転 数	3,000 rpm

求めるため、流量計校正試験を行うことにした。

その方法は1機1罐にて、タービンは無出汽とし、その復水量を計測タンクで計量し、それぞれ流量計の指示と比較々正するのである。したがって、これら予備的試験には最も慎重を期した。以下その方法について述べる。

(1) 総合プラントの試験

総合プラント効率、ボイラの石炭消費量と発電機端子出力の測定結果により、(1)式によつて求められる。

$$\eta_p = \frac{860 \cdot L}{K \cdot E} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

ここに η_p = 総合プラント効率 (%)

K = 石炭消費量 (kg/h)

E = 使用炭の発熱量 (kcal/kg)

L = 発電機の端子出力 (kWh)

(a) 石炭の組成ならびに発熱量

表面水分は、各メリック入口より試料を採取し、密閉罐に纏めたものを計測した。発電量および分析は前記の試料を各ボイラごとに縮分し、JES第236号に準じて、潮田発電所分析室にて行つた。

(b) 石炭消費量

メリック式計量器によつたが、これに対しては各試験終了後、100kgの石炭を正確に秤量してこれを同機に通して、その積算値の較正を行つた。

(c) 発電機端子出力

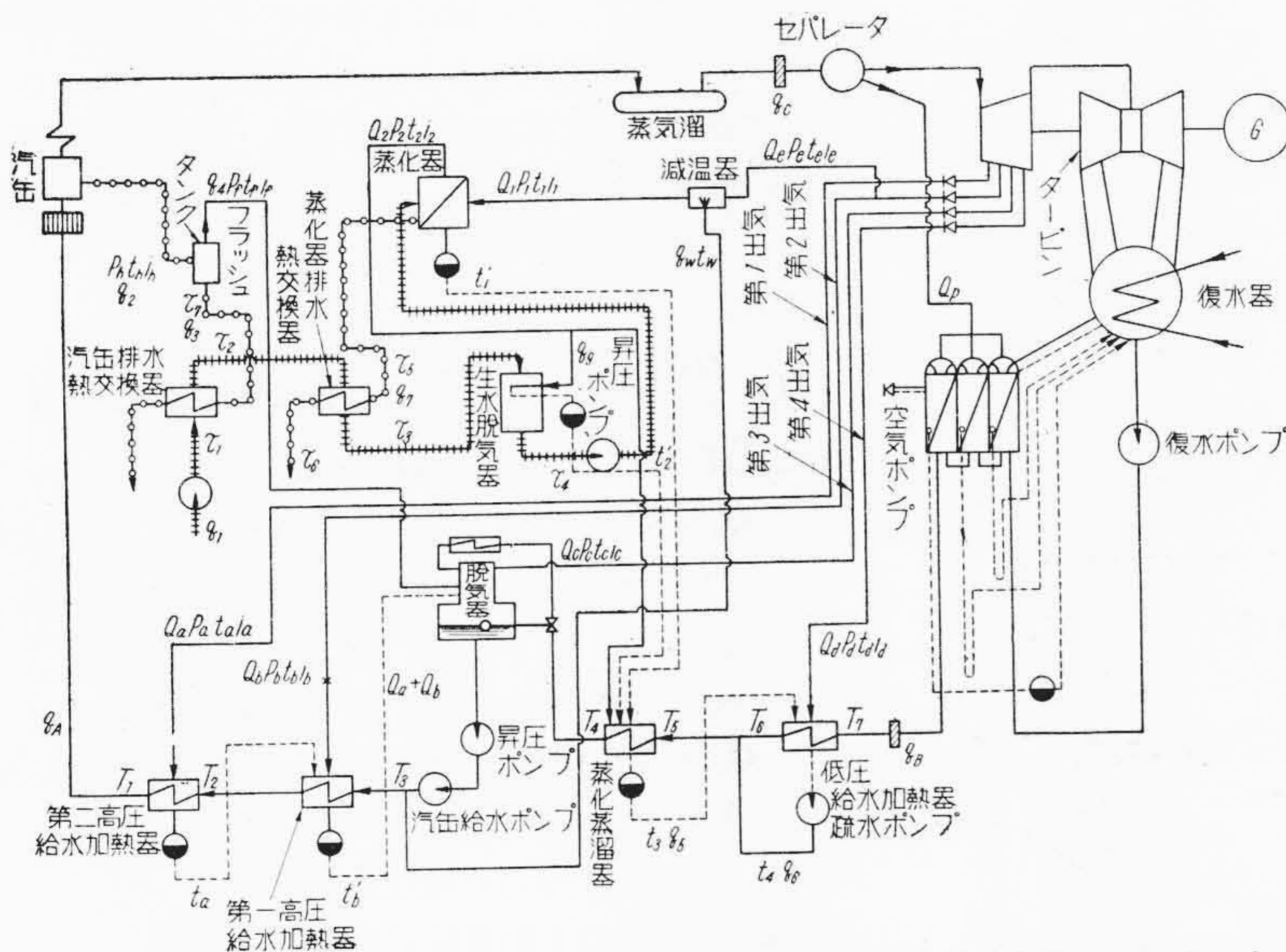
発電機の出力はロータリー型標準積算電力計を用いたが、この積算電力計とこれに使用するPT, CTなどは試験前電気試験所にて較正試験を受けて使用した。

(d) 補正計算

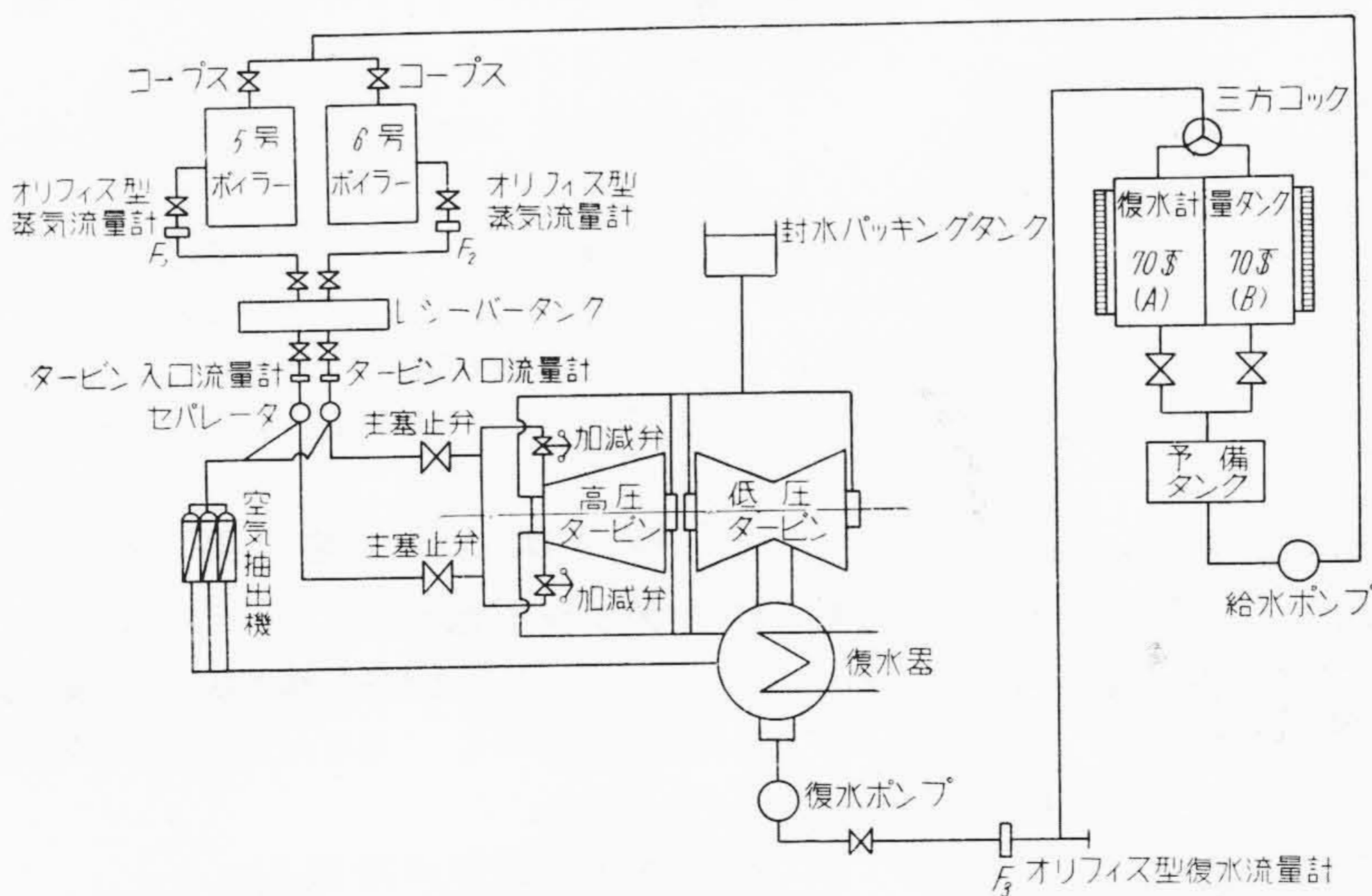
総合プラント効率は、実測した生の値に、タービンの回転数、復水器真空、タービン入口蒸気温度、圧力の標準状態に対する補正係数を乗じて求めた。

(2) 流量計の較正試験

まず70t容量の復水計量タンク2罐を準備し、これに正確に



第4図 給水加熱系統図 Fig. 4. Flow Sheat of Feed Water Heating



第5図 流量計較正試験用臨時配管 Fig. 5. Temporary Piping for Flowmeter Calibrating Test

500 kg の目盛を刻み、第5図に示すような特に本試験を行うために施された臨時配管により、タービン復水の全部を交互にかつ連続的に計量した。この計量値と各流量計の指示値とを比較して校正係数を求め、5号罐、6号罐おのおのについて、この試験が施行された。

測定結果は、5号罐の蒸気流量計 (F_1) は +1.7%、6号罐 (F_2) は +1.4%、タービン復水流量計 (F_3) は +0.75% の較正值をえた。(第5図参照)

この種蒸気流量計の一般的傾向として誤差の大きいことは当然ではあるが、基準流量計としては若干不満足である。しかしこれら流量計のうち復水流量計 (F_3) は最も誤差の少ないものであった。

(3) ボイラ性能試験

試験中は罐の負荷をできうる限り一定にして、燃焼率、蒸気圧力、蒸気温度、蒸発率などはほぼ一定に保つよう考慮した。効率は石炭消費量および蒸発量から求めるとともに、各部の損失を測定して比較した。その他蒸気の乾度、過剰空気量などボイラ一般の特性についても検討した。

(a) 汽罐効率計算方式

汽罐効率は(2)式により求められる。

$$\eta_b = \frac{D_0 \cdot (i_0 - i_f)}{K \cdot H_u'} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに η_b = 汽罐効率 (%)

D_0 = 発生蒸気量 (kg/h)

i_0 = 過熱出口蒸気エンタルピ (kcal/kg)

i_f = 節炭器入口における給水のエンタルピ (kcal/kg)

K = 石炭消費量 (乾炭) (kg/h)

H_u' = 表面水分を考えた乾炭低位発熱量 (kcal/kg)

(b) 秤量湿炭量を乾炭量に換算

$$K = K' (1 - W_s) \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに K' = 秤量した湿炭量 (kg/h)

W_s = 表面水分の重量割合

(c) 高位発熱量および低位発熱量

高位発熱量は熱量計にて測定したものを基準とする。

(i) 表面水分を考えない場合の低位発熱量は下記による。

$$H_u = H_0 - 600(9h + W) \quad \text{(kcal/kg) 乾炭} \dots (4)$$

ここに H_u = 乾炭低位発熱量 (kcal/kg)

H_0 = 熱量計にて測定した高位発熱量 (kcal/kg)

h = 乾炭 1 kg 中の水素の重量割合

W = 固有水分の重量割合

(ii) 表面水分を考えた乾炭の低位発熱量

$$H_u' = H_u - 600 \cdot \frac{W_s}{1 - W_s} \quad \text{(kcal/kg) 乾炭} \dots (5)$$

(注) h は工業分析より下記式により算出することができる。

$$h = (VM + FC) \times 0.06 \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここに VM = 乾炭の揮発分重量割合

FC = 乾炭の固定炭素重量割合

(4) タービン性能試験

タービンの性能試験もボイラと同様、総合プラント効率試験と同時に進められたものであるから、常時出汽状態で運転された。

まず第5図中 (F_3) 復水流量計の積算値を基準流量として、これより封水タンクの水量、復水漏洩量、復水溜増減量および空気エゼクター蒸気消費量は差引いた値を正味復水量として、この値に真空補正をして、補正復水量を求め、これに計算により求めた出汽量を加え、さらにボイラ給水温度、主蒸気温度、圧力、回転数にて補正し、真の蒸気消費量を求め、タービンの効率を算出した。

(a) 熱消費量の計算方式

熱消費量の算出は(7)式による。

$$H = \frac{Q_T i_T - Q_w i_w + q_2 i_h}{L} \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここに H = 熱消費量 (kcal/kWh)

Q_T = タービン入口蒸気量 (kg/h)

i_T = タービン入口蒸気エンタルピ (kcal/kg)

q_2 = ボイラブロー量 (kg/h)

i_h = ブロー水のエンタルピ (kcal/kg)

Q_w = 高圧第2給水加熱器出口汽罐給水量 (kg/h)

L = 発電機端子出力 (kW)

(b) タービン効率の計算方式

タービンの効率は(8)式によつて算出される。

$$\eta_t = \frac{860}{M} \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここに η_t = タービン効率 (発電機効率を含む)

H = 熱消費量 (kcal/kWh)

(c) タービンの出汽量

タービンの出汽量の実測は流量計の設備がないので、今回は復水量を基準に各加熱器の圧力、温度を測定して計算により算出した。(第4図参照) タービン入口の蒸気総量は復水量に各出汽量を加算されたものである。

[IV] 試験結果

(1) 総合プラント効率

総合プラント試験結果は第6表、第7表および第6図に示す通りである。±2.5% の裕度内で保証値を十分満足する結果がえられた。

(2) ボイラ性能試験の結果

ボイラの試験結果を第8表、第9表および第7図に示す。図中には出熱量および損失より出した値を示した

第6表 総合プラント効率平均値
Table 6. Mean Value of Overall Plant Efficiency

負荷 (kW)	保値効率 (%)	裕床 (%)	+2.5% 裕床 上限効率 (%)	-2.5% 裕床 下限効率 (%)	実測平均効率 (%)
40,000	28.00	±2.5	28.70	27.30	28.26
50,000	28.65	±2.5	29.37	27.93	28.51
55,000	28.70	±2.5	29.42	27.98	28.51

第7表 プラント試験成績表
Table 7. Result of Plant Efficiency Test

試験項目	40,000 kW		50,000 kW		55,000 kW	
	5号罐	6号罐	5号罐	6号罐	5号罐	6号罐
石炭高位発熱量 (kcal/kg)	6,014	6,062	6,088	6,099	6,236	6,364
石炭の表面水分 (%)	5.80	6.00	4.64	4.64	5.38	5.19
使用石炭量(湿炭) (kg/h)	11,130	12,041	14,380	13,799	15,212	15,692
使用石炭量(乾炭) (kg/h)	10,485	11,391	13,713	13,160	14,394	18,878
(表面水分を入れた) 乾炭低位発熱量 (kcal/kg)	5,708	5,762	5,797	5,801	5,933	6,060
ボイラ入熱量(10 ³ kcal/h)	59,848	65,220	79,494	76,341	85,400	90,161
出力 (kW)	40,430.97		50,707.00		54,876.45	
回転数 (rpm)	2,970		2,920		2,897	
排気真空 (mm/Hg)	719.16		719.58		703.97	
タービン入口蒸気圧力 (kg/cm ² g)	41.04		40.54		40.69	
タービン入口蒸気温度 (°C)	430		427		434	
補係数 (回転数による補正)	1.0020		1.0060		1.0069	
正数 (真空による補正)	1.0200		1.0200		1.0500	
総合効率	28.27		28.73		28.41	

第8表 ボイラ効率試験結果
Table 8. Test Result of Boiler

負荷 (kW)	保証効率 (%)	実測平均効率 (%)
40,000	(蒸気量 90 t/h のとき) 87.0	(蒸気量 94 t/h のとき) 89.23
50,000	(蒸気量 120 t/h のとき) 88.4	(蒸気量 119 t/h のとき) 90.27
55,000	(蒸気量 150 t/h のとき) 87.3	(蒸気量 130 t/h のとき) 89.84

が、流量計による方は多少バラツキが見られるが、概して保証値を上廻る成績を示した。

(3) タービン性能試験の結果

タービン性能の実測結果は第10表(次頁参照)の通りで、第8図に蒸気消費量曲線、第9図にタービン効率曲線を示しおのおの保証値を満足する成績をえた。

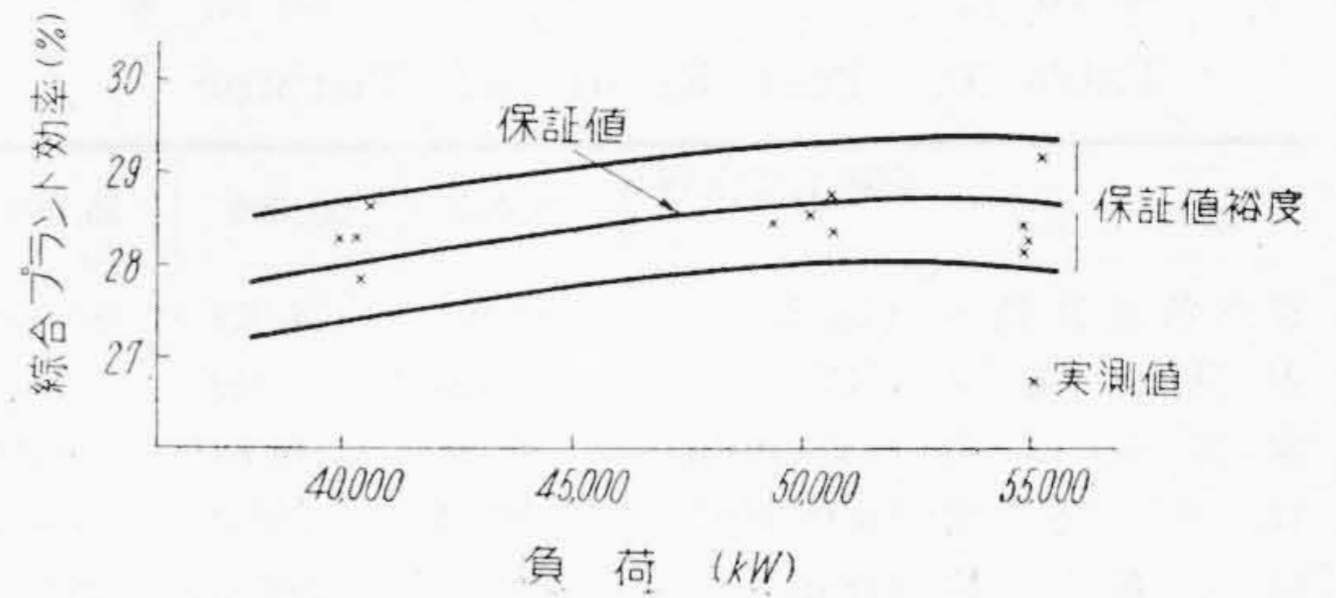
[V] 結果の検討

測定記録の詳細は紙面の都合で割愛するが、試験結果について一応検討を加えて見る。

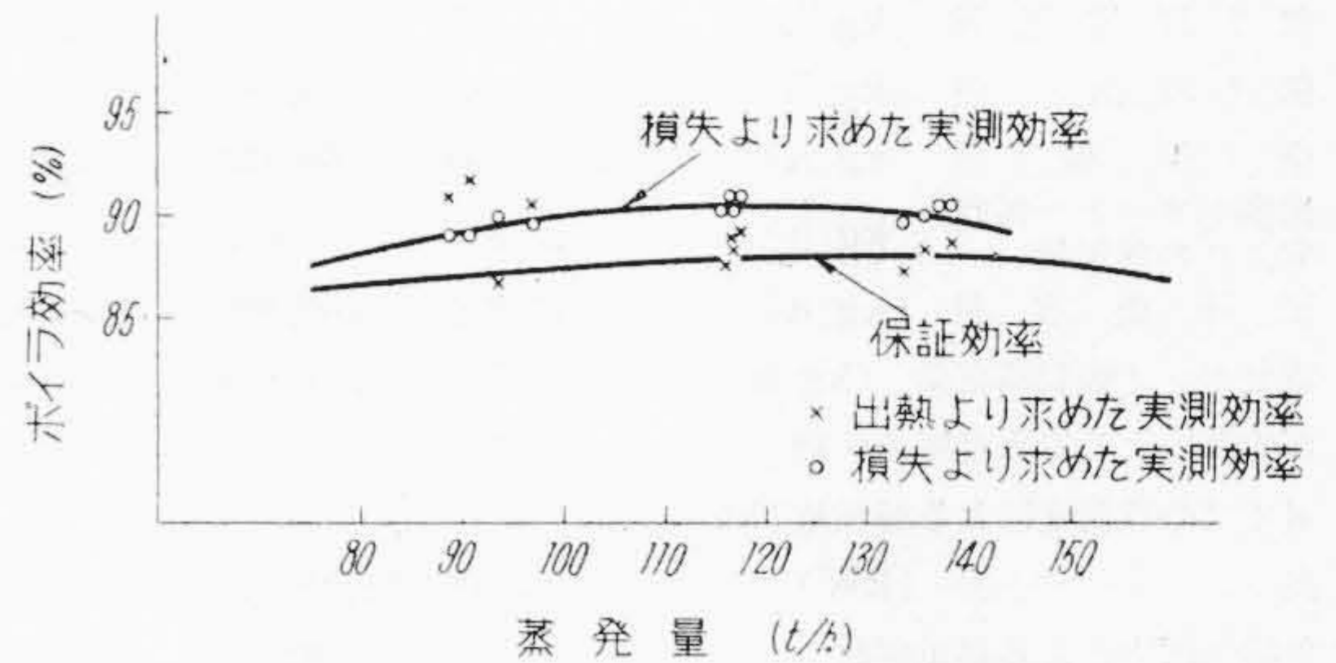
(1) 測定方法について

(a) タンク目盛試験

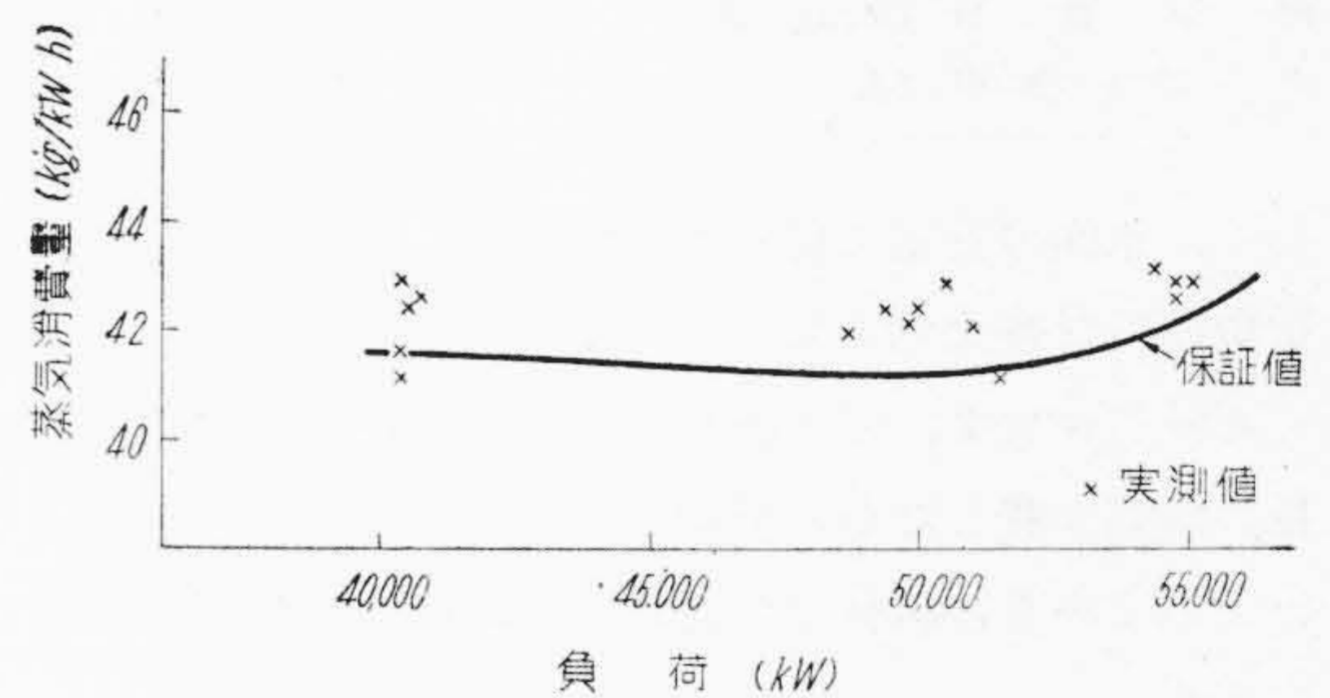
脱気タンクは構造が複雑であるため、水面の変動が激



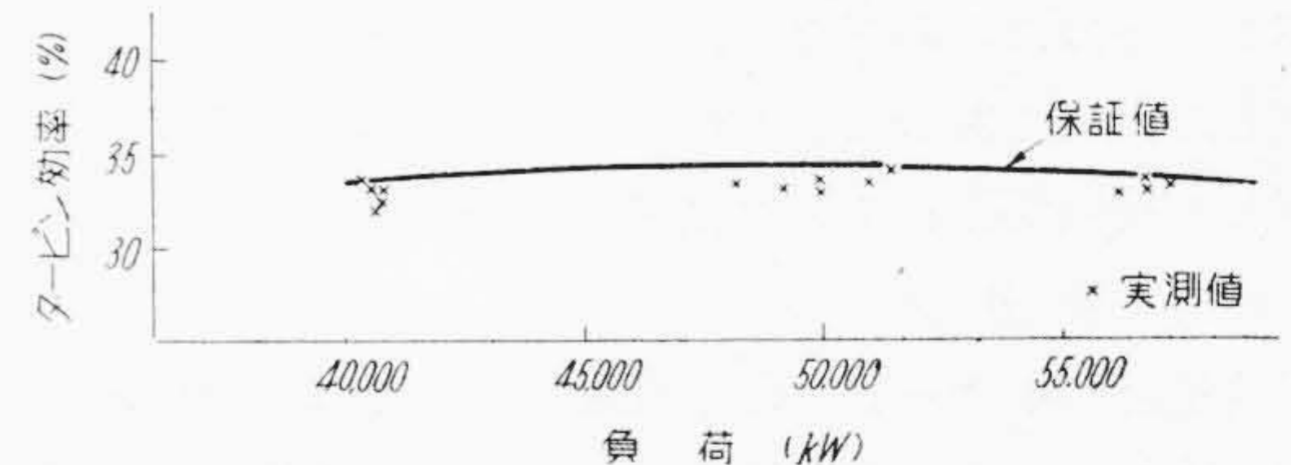
第6図 総合プラント効率曲線
Fig. 6. Overall Plant Efficiency Curve



第7図 ボイラ効率曲線
Fig. 7. Boiler Efficiency Curve



第8図 蒸気消費量曲線
Fig. 8. Steam Consumption Curve



第9図 タービン効率曲線
Fig. 9. Turbine Efficiency Curve

第9表 ボイラ各部の損失
Table 9. Classification of Loss in Boiler

項目	負荷 (kW)	40,000		50,000		55,000	
		実測値 (%)	計画値 (%)	実測値 (%)	計画値 (%)	実測値 (%)	計画値 (%)
輻射損失		0.6026	1.5	0.5067	1.2	0.468	
排ガス損失		9.496	7.1	8.682	8.2	9.193	
未燃損失		0.671	3.0	0.5456	3.3	0.498	
効率		89.23	88.4	90.27	87.3	89.84	

第10表 タービン効率試験結果
Table 10. Test Result of Turbine

項目	試験負荷(kW)	40,000	50,000	55,000
復水流量計読み (kg/h)		144,805	174,328	195,130
主蒸気温度 (°C)		426	429	434
主蒸気圧力 (kg/cm ² g)		40.58	40.83	40.80
排気真空 (mm-Hg)		761.4	708.0	704.0
回転数 (rpm)		2947.5	2907.5	2897.5
第1段出気量 (kg/h)		9,210	10,500	12,870
蒸化器用出気量 (kg/h)		4,024	6,180	5,010
第2段出気量 (kg/h)		8,790	18,400	18,950
第3段出気量 (kg/h)		200	1,822	1,465
第4段出気量 (kg/h)		10,780	13,980	16,500
全出気量 (kg/h)		33,004	50,830	54,795
連続ブローより再回収された蒸気量 (kg/h)		314	412	382
正味復水量 (kg/h)		147,632	169,948	191,872
空気ポンプ駆動蒸気量 (kg/h)		1,780	1,849	1,780
真空度による復水量補正係数		0.965	0.976	0.933
ボイラ給水温度による補正量 (kg/h)		—	—	—
出力 (kW)		40,455.00	51,487.58	54,764.51
主蒸気圧力による補正係数		0.989	0.990	0.998
主蒸気温度による補正係数		1,001	1,000	1,000
回転数による補正係数		0.994	0.996	0.993
蒸気消費量 (kg/kWh)		411	411	426
熱消費量 (kcal/kWh)		2,515	2,550	2,560
タービン効率 (%)		34.9	33.7	33.57

しく、水面の安定に思わぬ時間を費したが、十分の時間をかけて目盛を刻んだ。

サージタンク、屋上軟水タンクが目盛試験にも非常に長い時間を費したが、計量の精度から見れば止むをえないことであり、試験中の計量はきわめて信頼できるものである。

(b) 測定記録

多数の測定人員が従事したにもかかわらず、測定値のバラツキはほとんどなく、測定中運転状態はきわめて安定したものであった。これは運転者、測定者全員にわたりよく統制がとれていた結果であると考えられる。

(c) 流量計

流量計の中タービン復水流量計積算値は ±0.75% 以内の誤差で最も正確な値を示したので、出汽時の計算基礎として差支えなく、なおその結果より判断して妥当な測定ができたと考える。

(2) 総合効率について

本試験の主目的は総合効率の測定であり、入力（石炭消費量および発熱量、表面水分、分析）および出力の測定には十分正確を期したので、信頼のおける結果がえられたものと思われる。

(3) ボイラ性能

今回はボイラの単独試験はできなかつたが、1機2罐で、そのおのおのの蒸発量は蒸気流量計によつたため、

測定結果に若干のバラツキがでた。損失より求めた効果はおおよそ一定の値を示した。

各負荷における効率は、第10表に示すごとくで、経済負荷で最高効率を示し、各負荷とも計画値を上廻る能率を發揮している。

また各部損失は第9表に見られるように、排ガス損失を除くほかは全般に計画値を下廻る良好なる結果をえている。

(4) タービンの性能について

出汽時の蒸気消費量は 55 MW で平均 1.19% 増し、50 MW で 1.07% 増してあるが、いずれも許容誤差範囲内である。無出汽時の場合も全く同様の傾向を示しているので、本タービンは所期の性能を十分有していると判断される。

[VI] 結 言

潮田火力発電所増設第3号機、第5、6号罐、55,000 kW 発電設備は、以上の通りすぐれた性能を有することがあきらかにされた。これは設計開始以来、東京電力株式会社と日立製作所の密接なる連絡の下に、日立総合技術の結集した結果の現れと考えられる。

また今回の試験はプラントの総合試験として、我国でもあまり例のないことで、特にタンジエントチューブ型炉壁を有するボイラ、水素冷却式発電機の採用、その他タービンなど幾多の斬新なる設計を取入れられた本設備は、今回試験結果に徴し十分注目に値するものであり、今後の設計製作に貴重なる資料と示唆を与えるものと信ずる。摺筆するに当り、今回の試験に御指導、御協力を賜った東京電力株式会社火力部寺田重役、辻本次長、鈴木課長を始め直接現場において陣頭指揮をとられた榎、加藤、桜井各課長ならびに連日酷熱のうちで奮闘された多数の測定員、運転員の方々の並々ならぬ御協力に対し心から謝意を表するとともに、試験に御協力御援助を頂いた日立の技術者各位の労を多とする。

参 考 文 献

- (1) 杉沼、線森、佐藤、菊地、高林：日立評論 35 (昭和30.8)

「日立評論」既刊号在庫案内

本誌「日立評論」の既刊号が少数ながら在庫しております。

御入用の方は下記へお問合せ下さい。

日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1ノ4
(新丸の内ビルディング7階)