

530 t/h 自然循環ボイラによる低過剰空気燃焼試験

Low Excess Air Operation Test of 530 t/h Natural Circulation Boiler for Amagasaki No.3 Thermal Power Station, Kansai Electric Power Co., Inc.

山 中 正 直*
Masanao Yamanaka

川 辺 充 志*
Atushi Kawabe

麻 野 三 郎*
Saburô Asano

朝 倉 英 二**
Eiji Asakura

岩 田 弘**
Hiroshi Iwata

要 旨

関西電力株式会社尼崎第三発電所には、第1, 2号缶として530 t/h ボイラが2缶設置され現在好調に運転中である。本ボイラは原、重油の専焼を可能としているため、燃料中の硫黄分による低温部金属の腐食障害防止に対し、低空気過剰を得るため強圧通風方式を採用している。しかし基本設計値の空気過剰率では低温部の障害、すなわち空気予熱器のエレメントおよび煙道の腐食、煙害の一因であるスノーフェームの発生などを完全に防止できないので、今般関西電力株式会社と、ボイラ製造者であるパプコック日立の共同研究として本試験を実施し、好結果を得た。

1. 緒 言

重油燃焼ボイラの低温部腐食については、国外ではすでにはやくから報告されていたが、国内でも新鋭火力での重油燃焼が経験されはじめるとともに低温部腐食に悩まされるようになった。一般に低温部腐食は燃焼ガス中の硫酸蒸気が露点以下の金属面に凝縮して発生するものである。低温部腐食の対策に関し原理と実際とをかみあわせて示すと次のようになる。

原 理	実 際
無水硫酸を生成させない	- 使用油の選定 - 使用油の脱硫
※無水硫酸生成を抑制する	- 使用油に添加剤使用 - ボイラ設計、構造の選択 ※運転条件の選定 ※添加剤の使用 - 石炭混焼
※生成無水硫酸を除去する	※添加剤の使用 - 石炭混焼
※硫酸を凝縮させない	- ボイラ設計、構造の選定 ※運転条件の選定
凝縮硫酸を除去する	※すす吹きの実施 - 水洗の実施

これらの対策のうち既設のボイラを改造することなしに比較的簡単に実施できるものは※印をつけたものである。それらのうち、すす吹きと水洗はすでに実施中であり、添加剤注入試験も現在完了し結果を取りまとめ中である。運転条件としては、酸素を減少させることと、空気予熱器低温部金属温度を制限値以上に保持することがおもなものである。今回は酸素の減少による低温腐食対策についてとりあげた。酸素の減少による低温腐食の低下については、国外ではすでに1956年に発表されており、国内でも酸素の減少による露点の低下については1959年に発表されている。しかしこれらのボイラは平衡通風式のもので、3%程度までしか酸素を低下させていないが、加圧通風式の出現によって2%以下の設計値をとるようになった。加圧通風式ボイラで重油専焼時の酸素を設計値の2%よりもさらに低下させるとガス性状や、ボイラ効率がいかに影響されるかについても調査した。重油温度が100℃よりも80℃のほうが

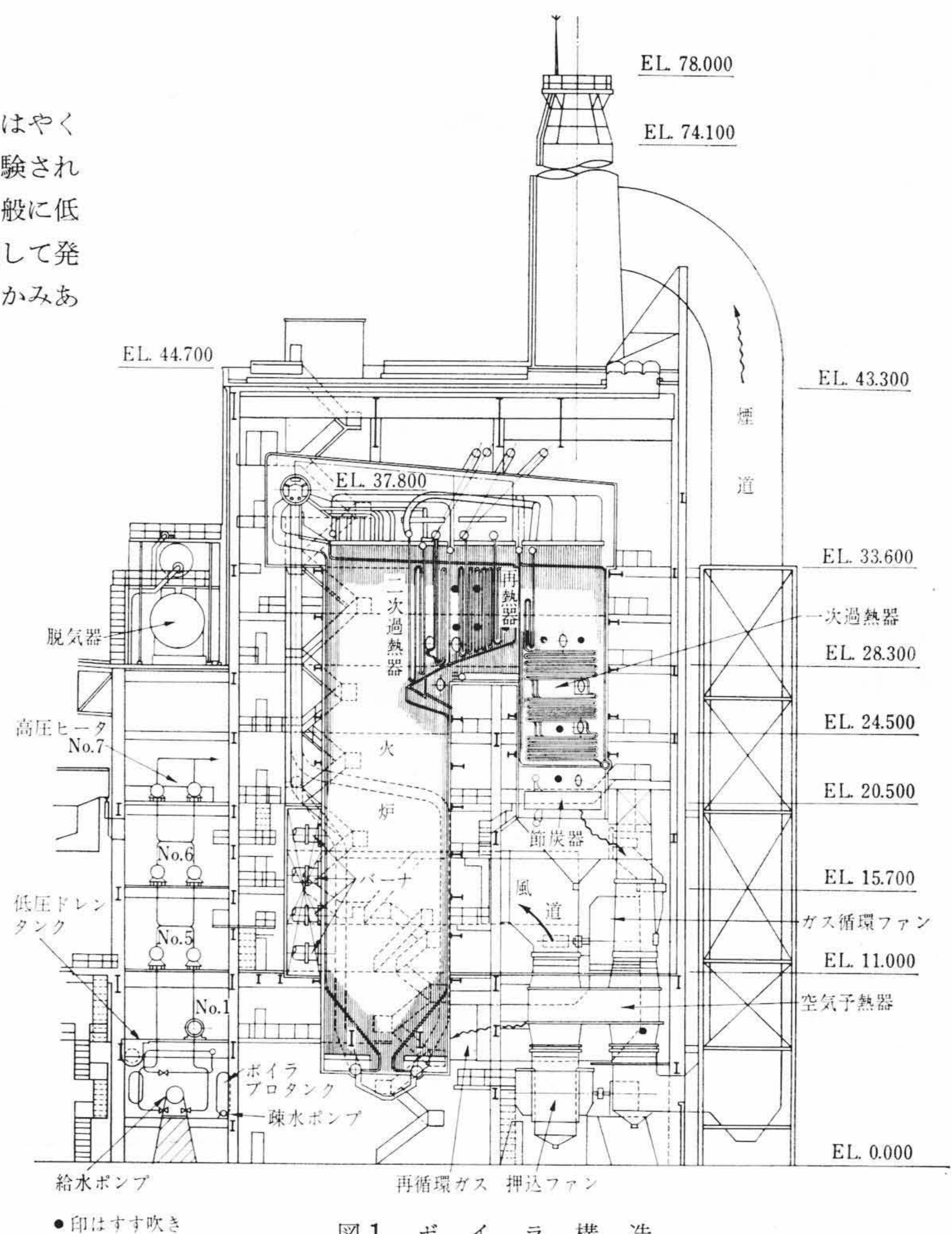


図1 ボイラ構造

SO₃ が少ないとの測定結果もあるので、重油温度は通常運転時の100℃以外に80℃にも変化させた。尼崎第三発電所では原油燃焼も行なっているのでカフジ原油についても重油と同様に、酸素を低下させた場合の影響についても調査した。原油温度は30~100℃の範囲で変化させた。低過剰空気（以下低酸素という）でよい燃焼をうるためにはバーナの構造、配置を適正にしなければならないが、それには改造時間などに手間を要するため、現在の構造と設備のまま試験を行なった。結果の検討にあたっては低酸素燃焼に伴う問題点に重点をおくとともに、原油と重油の比較検討、油温の影響の検

* 関西電力株式会社尼崎第三発電所

** パプコック日立株式会社呉工場

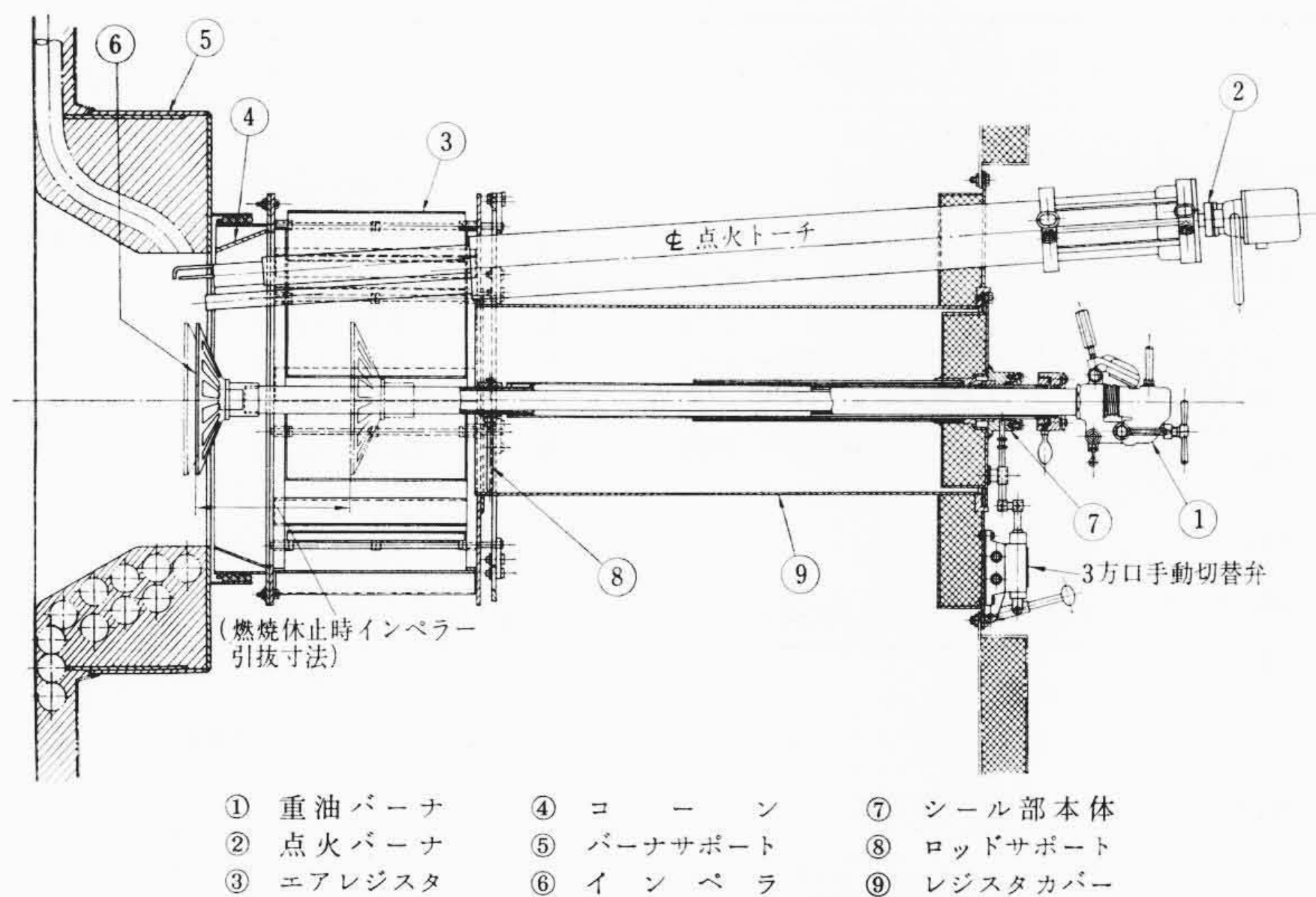


図2 バーナ装置の構造(側面図)

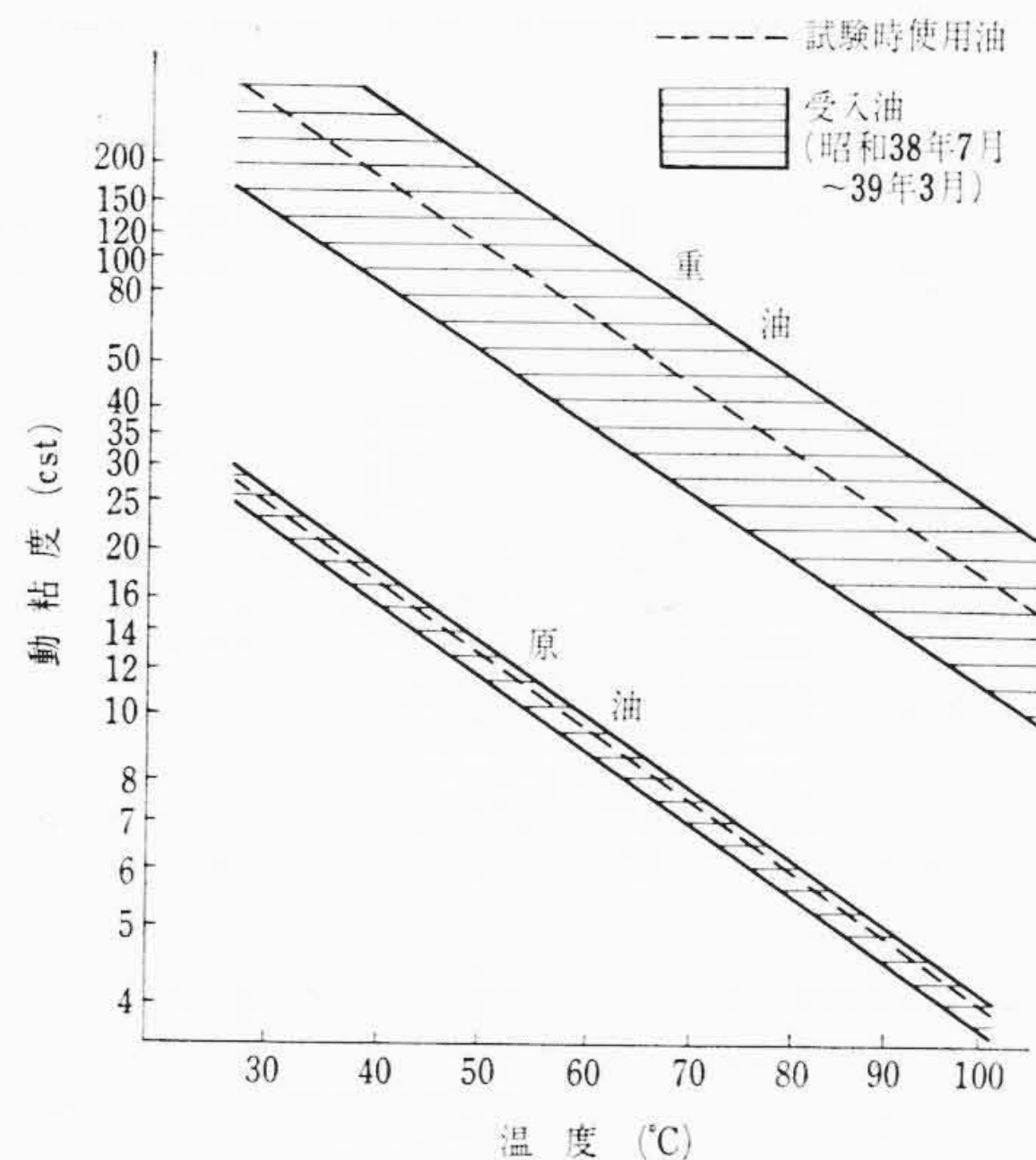
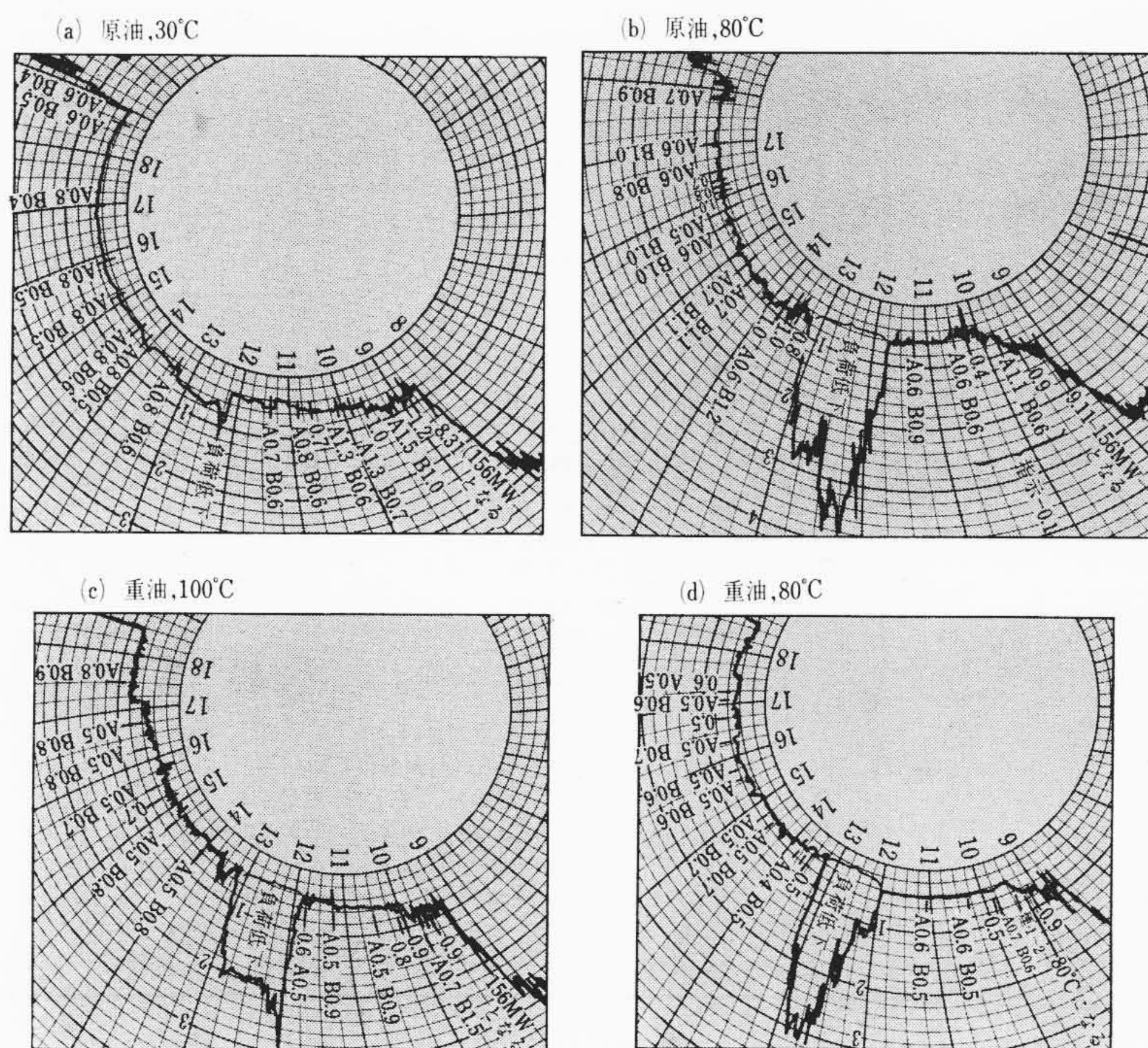


図3 燃料油の動粘度に対する温度の影響



節炭器出口のペーレのチャートに節炭器出口および空気予熱器入口
A側B側ダクトにおけるオルザット分析結果も記入している。

図4 酸素低下状況 (156 MW)

討も行なった。

2. 供試ボイラ

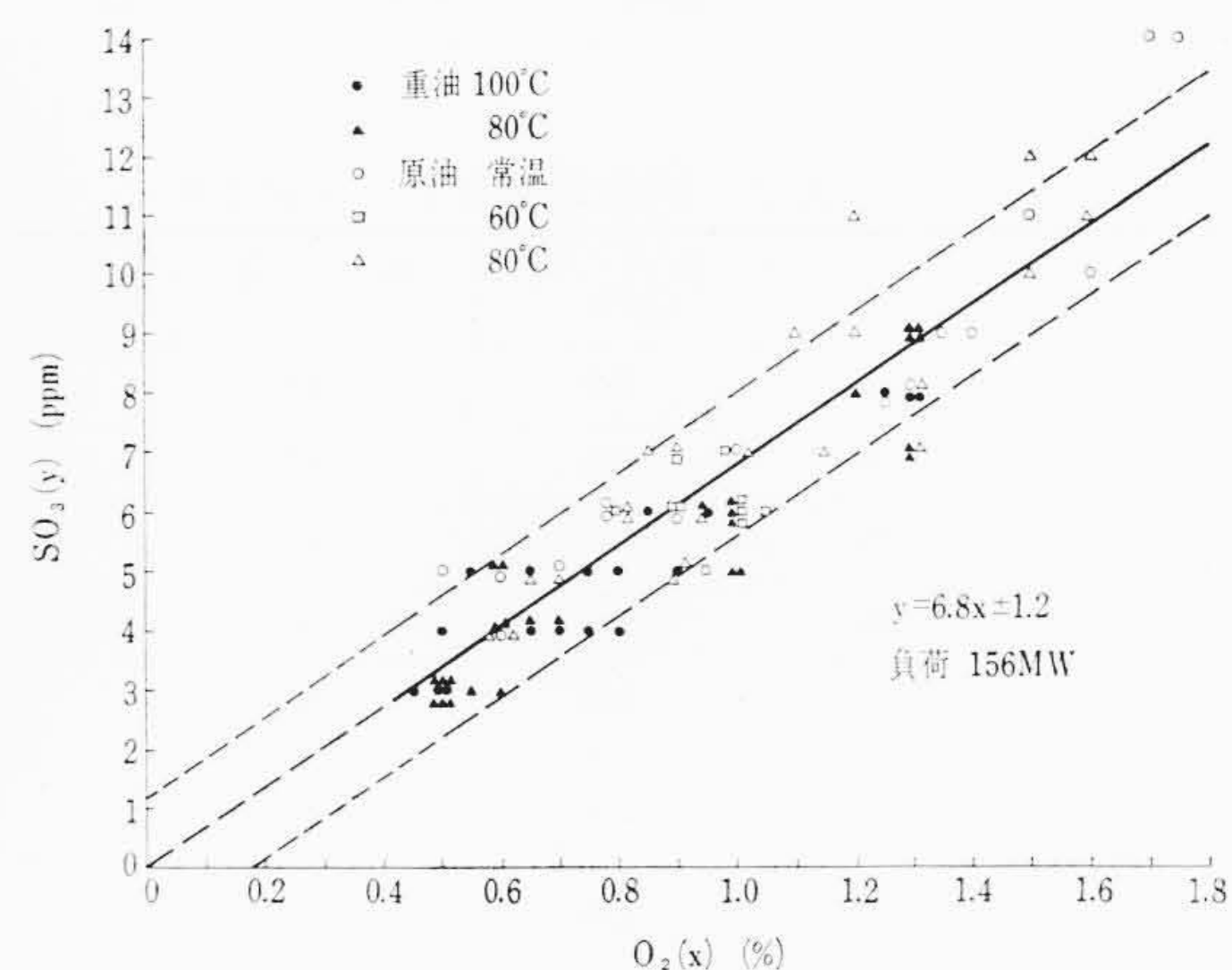
図1に供試ボイラの構造、表1に仕様の概要を示す。図2はバーナ装置の構造を示したものである。建設以来今回の試験に至るまでのボイラの運転時間は12,800時間で、定検以来の運転時間は、973時間である。

3. 試験概要

試験日程と試験条件の概要とを表2に示す。バーナ位置は試験開始時に炉内燃焼状況を観察しながら調査した。試験時間中はすす吹き、バーナ定期抜きかえは実施しなかった。

4. 試験結果

4.1 原油および重油

図5 酸素とSO₃の関係

使用した原油と重油の特性および分析結果を、表3、表4に示す。原油の硫黄分は2.83~2.86%、重油の硫黄分は2.65~2.70%で、それぞれ試験日による変化はほとんどない。燃料油の動粘度に対する温度の関係を図3に示す。図により原油の30°Cにおける粘度が重油の約90°Cにおける粘度に相当することがわかる。

4.2 燃焼用空気

原油および重油の各油温における酸素低下の状況を図4に示す。図より明らかなように原油および重油の各油温において節炭器出口の左右平均酸素0.5~0.8%で、黒煙と一酸化炭素を発生させずに燃焼させることができた。図はペーレ方式による節炭器出口の酸素%を示しているが、オルザット方式による酸素の測定もあわせ行ない、運転室に指示される数値と比較する意味にて、ダクトA、B側の測定値をそれぞれ記入してある。酸素低下限界は0.5%であった。またA側B側ダクト別の酸素低下限界を表5に示す。表より明らかなように、ダクト別では各油温において酸素を0.4~0.5%まで低下させることができた。

4.3 SO₂+SO₃

(SO₂+SO₃)の実測値と計算値との比較結果を表6に示す。表より、実測値は計算値より平均値で原油では7.2%、重油では1.9%小さいことがわかる。

表1 供試ボイラの計画仕様

項目	単位	重油専焼		
負荷	%	50	75	100
蒸発量	kg/h	265,000	400,000	530,000
再熱蒸気流量	kg/h	217,000	324,000	425,780
蒸気圧力 (汽胴)	kg/cm ² g	172.4	177.0	183.0
蒸気圧力 (過熱器出口)	kg/cm ² g	170.1	171.8	174.0
蒸気圧力 (再熱器入口)	kg/cm ² g	18.6	28.3	37.5
蒸気圧力 (再熱器出口)	kg/cm ² g	17.6	26.9	35.6
蒸気温度 (過熱器出口)	℃	543	543	543
蒸気温度 (再熱器入口)	℃	278	308	337
蒸気温度 (再熱器出口)	℃	543	543	543
給水温度 (節炭器入口)	℃	227	250	267.8
空気温度 (室温)	℃	20	20	20
汽缶効率				
高位発熱量基準	%	87.30	87.59	87.56
低位発熱量基準	%	92.55	92.85	92.82
重油発熱量				
高位	kcal/kg	10,000	10,000	10,000
低位	kcal/kg	9,433	9,433	9,433
重油消費量	kg/h	21,100	30,000	37,520

表2 試験日程および試験条件

燃料	月日	負荷 (MW)	油温 (℃)	酸素 (%)
原	7.13	156	30	1.4
	7.14	156	30	できるだけ低下
	7.15	156	80	1.3
	7.16	156	80	できるだけ低下
油	7.17	156	100	—
	7.17	156	30	0.9
	7.17	156	80	
	7.18	156	60	1.0 1.1
重	7.21	156	100	1.0
	7.22	156	100	できるだけ低下
	7.23	156	80	1.2
	7.24	156	80	できるだけ低下

原油から重油への切替は7月19日に実施した。

表3 使用燃料油特性

燃料	月日	比重 (15/4℃)	発熱量 (kcal/kg)	水分 (%)	イオウ分 (%)	動粘度 (cst)	
						50℃にて	使用温度にて
原	7.13	0.886	10,500	0.1	2.83	12.2	24 (30℃)
	7.14	0.886	10,520	0.1	2.83	12.4	24 (30℃)
	7.15	0.887	10,520	0.1	2.85	12.2	6 (81℃)
	7.16	0.887	10,530	0.1	2.85	12.8	6 (82℃)
油	7.17	0.887	10,520	0.1	2.86	12.8	4 (102℃) 28 (26℃) 6 (79℃)
	7.18	0.886	10,530	0.1	2.85	12.4	9 (61℃)
重	7.21	0.946	10,410	0.1	2.68	109.5	18 (99℃)
	7.22	0.946	10,430	0.1	2.69	108.9	19 (98℃)
	7.23	0.946	10,430	0.1	2.70	108.6	28 (84℃)
	7.24	0.946	10,420	0.1	2.65	109.0	31 (81℃)

表4 燃料油分析結果

燃料	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	灰分 (%)	V ₂ O ₅ (ppm)
原油	84.6	12.1	0.2	0.3	0.02	106
重油	85.1	11.6	0.3	0.3	0.03	95

表5 酸素低下限界 (空気予熱器入口)

燃料	油温 (℃)	月日	ダクト	時間	O ₂ (%)
原油	30	7.14	B	14.15~18.50	0.4~0.5
	80	7.16	A	15.10~17.30	0.5~0.6
重油	100	7.22	A	10.30~11.45	0.5
	100	7.22	A	13.45~17.00	0.5
	80	7.24	B	9.35~11.55	0.5
	80	7.24	A	13.40~13.55	0.4
	80	7.24	B	13.40~13.55	0.5
	80	7.24	A	14.25~17.10	0.5

表6 SO₂+SO₃の実測値と計算値の比較 (空気予熱器入口)

燃料 料	油 温 (℃)	月 日	測 定 時 間	A 側		B 側		
				酸 素 (%)	(計算値)－(実測値) (計算値)×100	酸 素 (%)		
原 油	30	7.13	10.00～10.15	1.7	7.3	8.6	1.0	
			13.00～13.15	1.7	6.2	6.1	1.5	
			14.30～14.45	1.5	6.1	8.9	1.4	
		7.14	13.00～13.15	1.0	7.5	5.9	0.8	
	80	7.15	10.00～10.15	1.3	9.2	8.7	1.0	
			13.30～13.45	1.4	6.1	5.6	1.4	
			15.00～15.15	1.6	7.2	7.2	1.3	
		7.16	9.30～ 9.45	1.3	6.6	7.1	0.8	
	100	7.17	9.30～ 9.45	1.6	1.6	11.8	1.1	
	60	7.18	13.00～13.15	1.0	4.8	11.3	1.0	
				平 均 7.2				
重 油	100	7.21	13.30～13.45	0.8	1.7	－1.6	1.4	
		7.22	9.30～ 9.45	0.7	2.2	4.0	1.5	
			13.45～14.00	0.5	1.6	2.2	0.8	
	80	7.23	13.30～13.45	1.6	5.7	2.8	1.1	
		7.24	9.15～ 9.30	0.8	0.5	0.5	0.7	
			13.15～13.30	0.35	0.0	2.7	0.45	
					平 均 1.9			

計算値は次式によって算出した。

$$\frac{32[C]}{12[S]} = \frac{[CO_2]}{[SO_2+SO_3]}$$

[C]: 炭素 (%)

[S]: イオウ分 (%)

[CO₂]: CO₂ (%)

[SO₂+SO₃]: SO₂+SO₃ (%)

表7 酸素とSO₃との相関係数と相関関係の検定

燃料		相関係数	相関関係の検定
種類	油温	r	
原油	30℃	0.948	t ₀ =11.2 > t(14, 0.01)=2.977
	80℃	0.903	t ₀ =9.4 > t(20, 0.01)=2.845
	(全体)	0.884	t ₀ =12.8 > t(40, 0.01)=2.704
重油	100℃	0.931	t ₀ =10.23 > t(16, 0.01)=2.921
	80℃	0.942	t ₀ =14.1 > t(25, 0.01)=2.787
	(全体)	0.937	t ₀ =17.6 > t(40, 0.01)=2.704
原油・重油	(全体)	0.925	t ₀ =23.3 > t(60, 0.01)=2.660

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

表8 酸素とSO₂の酸化率との相関係数と相関関係の検定

燃料		相関係数	相関関係の検定
種類	油温	r	
原油	30℃	0.948	t ₀ =11.4 > t(14, 0.01)=2.977
	80℃	0.907	t ₀ =9.31 > t(18, 0.01)=2.878
	(全体)	0.914	t ₀ =12.8 > t(44, 0.01)=2.704
重油	100℃	0.957	t ₀ =13.8 > t(16, 0.01)=2.921
	80℃	0.948	t ₀ =15.6 > t(26, 0.01)=2.779
	(全体)	0.951	t ₀ =20.2 > t(44, 0.01)=2.704
原油・重油	(全体)	0.935	t ₀ =26.0 > t(90, 0.01)=2.660

5. 考 察

5.1 酸素のガス性状に及ぼす影響

5.1.1 SO₃ に及ぼす影響

酸素と SO₃ との関係を図 5 に、酸素と SO₃ との相関係数を表 7 に示す。表より明らかなように相関係数はすべての場合に 1 に近いが、ここで相関関係の有無について検定する。その結果は表 7 に示すとおりで酸素と SO₃ との相関係数は危険率 1% で高度に有意、すなわち酸素と SO₃ との間には各温度条件においてはもちろん、原油全体、重油全体さらには原・重油全体においても正の相関関係があることが認められる。なお原油 (60°C) の場合は酸素が 0.8~1.0% の範囲のデータのみであるので検定はしなかったが、図 5 より他の条件の場合と差がないと考えた。次に酸素と SO₃ との回帰直線を求める。

$$y - \bar{y} = b(x - \bar{x})$$

$$y: \text{SO}_3(\text{PPm})$$

$$x: \text{O}_2(\%)$$

$$b = \frac{S(xy)}{S(xx)}: \text{回帰係数}$$

$$S(xy) = \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}$$

$$S(xx) = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

原油についての計算結果を整理すると次式がえられる。

$$\text{原油 (30°C)} \quad y = 0.23 + 6.95x$$

$$\text{原油 (80°C)} \quad y = -0.09 + 7.18x$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$t_0 = \frac{a}{\sqrt{\frac{V_E}{S(xx)}}}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$V_E = \frac{Sy|x}{n-2}$$

$$Sy|x = S(yy) - bS(xy)$$

$$S(yy) = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$\text{原油 (30°C)} \quad t_0 = 0.21 < t(14, 0.1) = 1.761$$

$$\text{原油 (80°C)} \quad t_0 = 0.08 < t(20, 0.1) = 1.725$$

したがって切片は有意でない。すなわち回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。次に 30°C の場合と 80°C の場合とで回帰係数に有意の差があるかを検定する。

$$t_0 = \frac{b_{30^\circ\text{C}} - b_{80^\circ\text{C}}}{S_p \sqrt{\frac{1}{S(x_{30^\circ\text{C}} x_{30^\circ\text{C}})} + \frac{1}{S(x_{80^\circ\text{C}} x_{80^\circ\text{C}})}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{Sy_{30^\circ\text{C}}|x_{30^\circ\text{C}} + Sy_{80^\circ\text{C}}|x_{80^\circ\text{C}}}{n_{30^\circ\text{C}} + n_{80^\circ\text{C}} - 4}}$$

$$t_0 = 0.06 < t(40, 0.1) = 1.684$$

したがって 30°C と 80°C で回帰係数に有意の差があるとはいえない。それゆえ、原油全体についての回帰線を求めると次式がえられる。

$$y = 0.53 + 7.12x$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$t_0 = 0.06 < t(40, 0.1) = 1.684$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。次に重油についても同じ計算と検定を行なった。

回帰線は次のようになる

$$\text{重油 (100°C)} \quad y = 0.56 + 5.65x$$

$$\text{重油 (80°C)} \quad y = 0.23 + 6.95x$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$\text{重油 (100°C)} \quad t_0 = 0.53 < t(16, 0.1) = 1.746$$

$$\text{重油 (80°C)} \quad t_0 = 0.38 < t(25, 0.1) = 1.708$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。

次に回帰係数の有意差を検定する。

$$t_0 = 0.87 < t(40, 0.1) = 1.684$$

したがって 100°C と 80°C とで回帰係数に差があるとはいえない。

それ故重油全体についての回帰線を求めると次式がえられる。

$$y = 0.16 + 6.08x$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$t_0 = 0.67 < t(40, 0.1) = 1.684$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。こうしてえた原油全体の回帰係数と重油全体のその間に有意の差があるかを検定する。

$$t_0 = 1.87 < t(60, 0.05) = 2.021$$

したがって原油と重油とで回帰係数に有意の差があるとはいえない。それ故原油と重油とを一緒にして酸素 SO₃ との回帰線を求めると次式がえられる。

$$y = 0.44 + 6.8x$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$t_0 = 0.24 < t(60, 0.1) = 1.671$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。

次に残差平方和を求めると次のようになる。

$$Sy = \sqrt{\frac{Sy|x}{n}} = 1.2$$

酸素が同じ場合、原油でも重油でも存在する SO₃ 濃度に差があるとはいえないことがわかったが、SO₃ は SO₂ の酸化によって生ずるので、原油と重油とでは酸素が同じ場合、存在する (SO₂ + SO₃) 濃度に差があるか検討する。SO₂ は燃料中の硫黄分の燃焼によって生ずるが、硫黄分は表 3 に示すように原油で 2.83~2.86%、重油で 2.65~2.70% で、原油のほうがわずかに多い。したがって (SO₂ + SO₃) の計算値も酸素が同じであれば原油のほうがわずかに多くなるが、実測値は表 6 に示したように、原油・重油ともに計算値より若干小さく、原油のほうが計算値よりの差が大きい。それ故酸素が同じ場合の (SO₂ + SO₃) の実測値の原油と重油との比は次のようになる。

$$\frac{(2.83 \sim 2.86) \times (100 - 7.2)}{(2.65 \sim 2.70) \times (100 - 1.9)} = 0.99 \sim 1.02 = 1$$

すなわち原油でも重油でも酸素が同じならば、存在する (SO₂ + SO₃) 濃度も同じであることがわかる。以上の考察より燃焼ガス中の酸素と (SO₂ + SO₃) とが同じであれば、原油でも重油でも生成する SO₃ 濃度には差があるとはいえないことが結論される。

5.1.2 SO₂ 酸化率に及ぼす影響

5.1.1 の結論によれば、SO₂ の酸化率は原油でも重油でも差があるとはいえないことになるが、実際のデータについて検討する。酸素と SO₂ の酸化率との関係を図 6 に示す。酸素と SO₂ の酸化率との相関係数を求めた結果を表 8 に示す。表より明らかなように相関係数はすべての場合に 1 に近いが相関関係の有無について検定する。その結果は表 8 に示すとおりで、酸素と SO₂ の酸化率との相関係数は危険率 1% で高度に有意、すなわち酸素と SO₂ の酸化率との間には、各温度条件においてはもちろん、原油全体、重油全体、さらには原・重油全体においても正の相関関係が認められる。なお原油 (60°C) の場合は酸素が 0.8~1.0% の範囲のデータのみであるので検定はしなかったが、図 6 より、他の条件

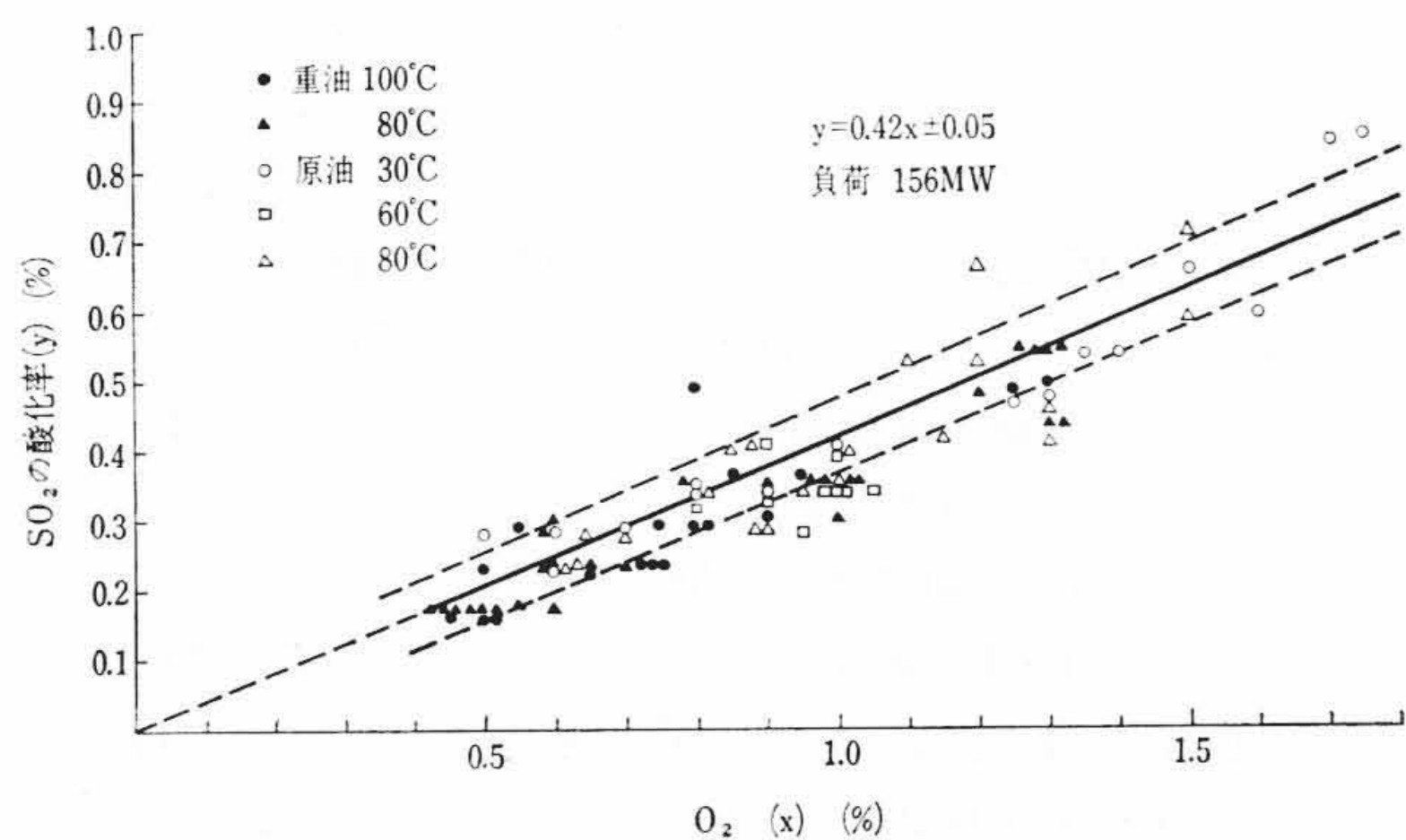


図 6 酸素と SO₂ の酸化率の関係

の場合と差がないと考える。酸素と SO₂ の酸化率との回帰直線を求める。原油についての計算結果を整理すると次式がえられる。

$$\text{原油 (30°C)} \quad y=0.42x-0.002$$

$$\text{原油 (80°C)} \quad y=0.45x-0.04$$

$$x: \text{O}_2 \text{ (}\%)$$

$$y: \text{SO}_2 \text{ の酸化率 (}\%)$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$\text{原油 (30°C)} \quad t_0=0.01 < t(14, 0.01) = 2.977$$

$$\text{原油 (80°C)} \quad t_0=0.20 < t(18, 0.01) = 2.878$$

したがって、切片は有意でない。すなわち回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。次に 30°C の場合と 80°C の場合とで回帰係数に有意の差があるかを検出する。

$$t_0=0.65 < t(40, 0.01) = 2.704$$

したがって、30°C と 80°C とで回帰係数に有意の差があるとはいえない。それ故、原油全体についての回帰線を求めると次式がえられる。

$$y=0.44x-0.02$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$t_0=0.06 < t(44, 0.01) \div 2.660$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。次に重油についても同じ計算と検定と切片の有意性の検定を行なう。

$$\text{重油 (100°C)} \quad t_0=0.27 < t(16, 0.01) = 2.921$$

$$\text{重油 (80°C)} \quad t_0=0.52 < t(26, 0.01) = 2.779$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。次に回帰係数の有意差を検定する。

$$t_0=0.71 < t(44, 0.01) \div 2.660$$

したがって 100°C と 80°C とで回帰係数に差があるとはいえない。それ故重油全体についての回帰線を求めると次式がえられる。

$$y=0.38x-0.002$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$t_0=0.04 < t(44, 0.01) \div 2.660$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。こうしてえた原油全体の回帰係数と重油全体のそれとの間に有意の差があるかを検定する。

$$t_0=1.9 < t(90, 0.01) \div 2.617$$

したがって原油と重油とで回帰係数に有意の差があるとはいえない。それ故原油と重油とを一緒にして酸素と SO₂ の酸化率との回帰線を求めると次式がえられる。

$$y=0.42x-0.03$$

切片の有意性の検定を行なうと、

$$t_0=0.54 < t(90, 0.01) \div 2.617$$

したがって回帰線が座標軸の原点を通らないとはいえない。

次に残差平方和を求めると次のようになる。

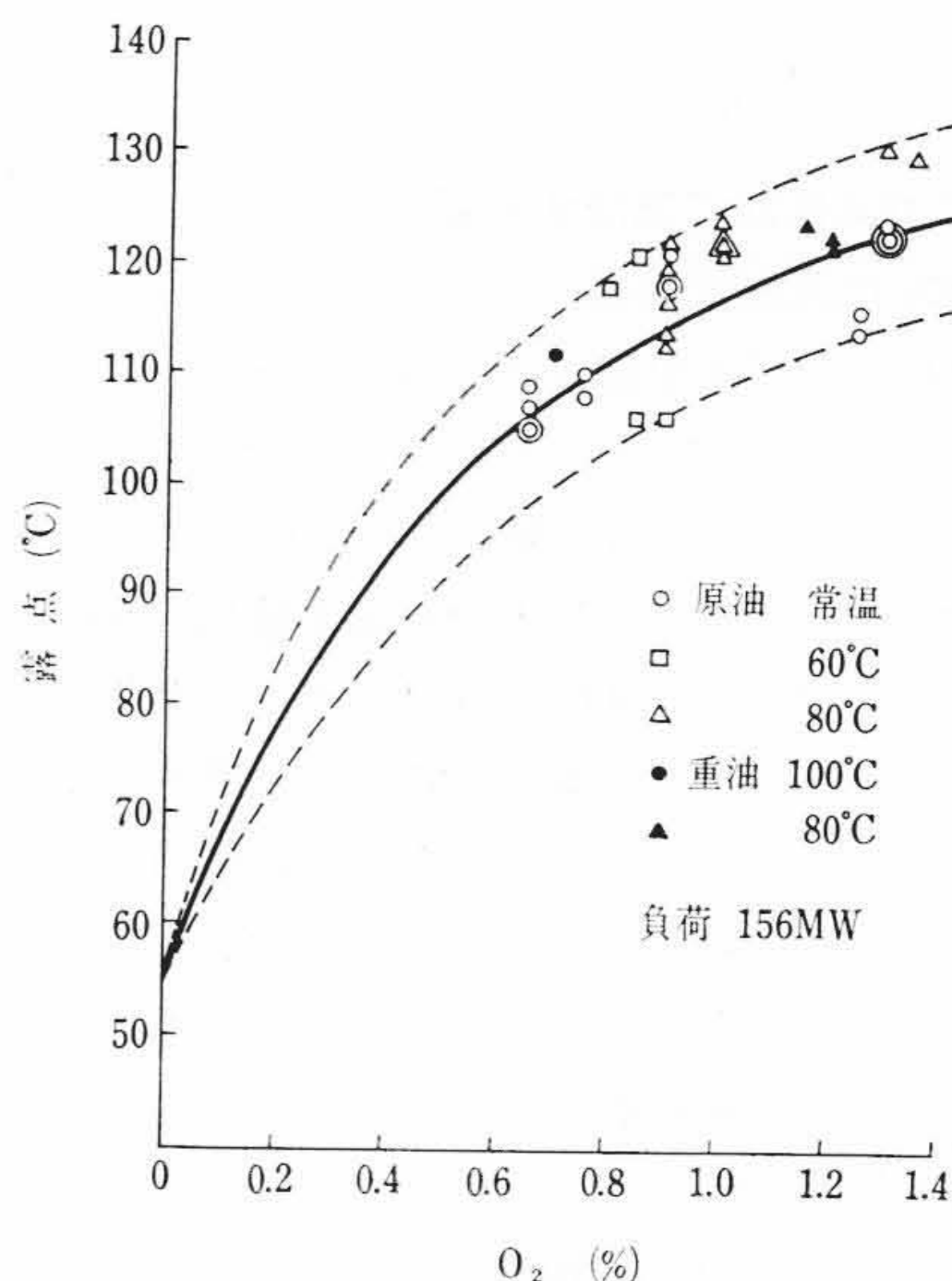


図 7 酸素と露点の関係

$$S_y=0.05$$

酸素が同じ場合には、原油でも重油でも存在する SO₂ 濃度は同じであることは 5.1.1 の考察よりあきらかであるが、SO₂ の酸化率も原油と重油とで差があるとはいえないことが結論される。SO₂ の酸化に影響をおよぼす因子として次のものがあげられる。

- (1) ボイラの構造，燃焼装置，燃焼法
- (2) 負 荷
- (3) 運 転 時 間
- (4) 火炎，炉壁温度
- (5) 高温部の金属温度
- (6) 水 蒸 気 量
- (7) SO₂ 濃 度
- (8) 燃料の種類
- (9) 酸素濃度

本テストは、同じボイラでまず原油、引続いて重油を同じ燃焼装置で同じ燃焼法にて燃焼させ、負荷も一定とした。火炎温度、炉壁温度、高温部の金属温度はテスト期間を通じて差は認められない。水蒸気量については、テスト期間を通じて酸素濃度にかかわらずその差は小さく、SO₂ の酸化率に明白な影響を及ぼすほどのものではない。SO₂ 濃度も酸素濃度さえ同じあれば原油と重油とで差があるとはいえない。原油と重油とで SO₂ の酸化率も差があるとはいえないようである。したがって上記の因子のうち(1)～(8)は油温および原油、重油によっては差があるとはいえない。酸素の低下につれて、SO₂ の酸化率が低下するのは、酸素の低下につれて炭素などの未燃物や CO が多くなって炎中での SO₂ の酸化をおさえたり、あるいは SO₃ を還元したりするためだろうといわれているが、他方炭素を添加しても露点低下には効果がうすいという報告もある。本テストではばいじん(煤塵)量も測定したが、ばいじん量の大部分は未燃分である。ばいじん量は後述するように原油は重油よりも相当多く、2 倍に達する場合もある。しかし SO₂ の酸化率には差が認められない。また酸素の低下につれてばいじん量の増加は急激になるが、SO₂ の酸化率は直線的に低下する。CO はテスト期間を通じて検出されていない。したがって酸素の低下による SO₂ の酸化率の低下は未燃物の増加によるとの考えは妥当でないと思われる。

5.1.3 露点に及ぼす影響

酸素と露点との関係を図 7 に示す。図より明らかなように酸素の低下にしたがって露点も低下するが、低下の割合は最初はやる

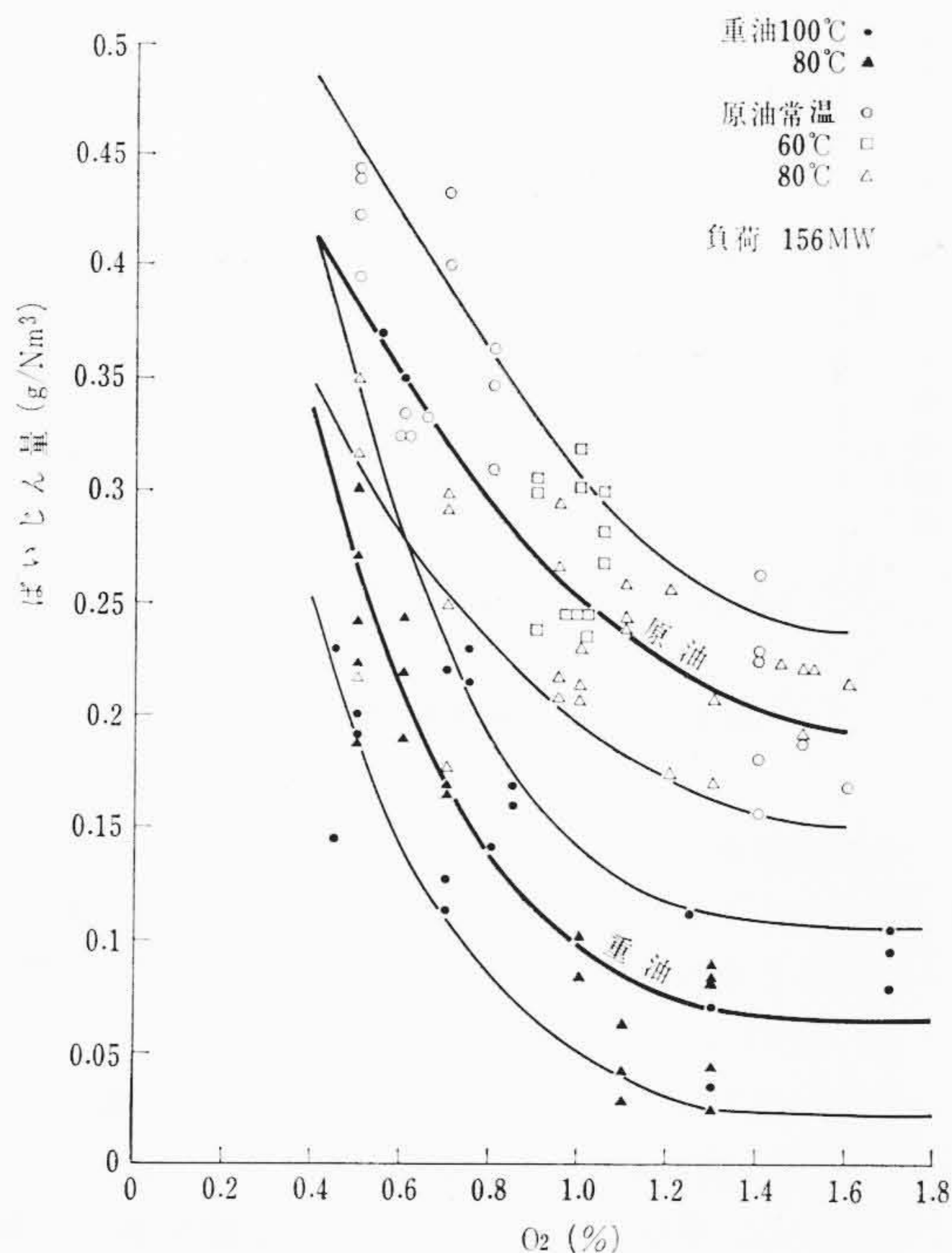


図8 酸素とばいじん量の関係

やかである。酸素1.3%で露点は $123 \pm 8^\circ\text{C}$ 、酸素0.6%で、 $106 \pm 8^\circ\text{C}$ で、油温による差があるとはいえない。また原油と重油の間にも差があるとはいえない。これは5.2で述べるように SO_3 と露点との間には一定の関係があるため、 SO_3 に差がない以上露点にも差がないのである。

5.1.4 ばいじん量に及ぼす影響

酸素とばいじん量との関係を図8に示す。酸素が低下してもある濃度まではばいじん量はほぼ一定であるが、ある濃度以下では酸素の低下とともにばいじん量が増加する。増加の割合は酸素の低下につれてだんだん大きくなる。ばいじん量が増加しはじめる酸素濃度は、重油の約1.2%に対して原油は約1.4%で、原油のほうがより高い酸素濃度からばいじん量が増加しはじめる。原油は重油よりもばいじん量が多いが、酸素が0.7%以下になるとその差はだんだん縮小していく。油温によるばいじん量の差は認められない。

5.2 SO_3 と露点との関係

SO_3 と露点との関係を図9に示す。 SO_3 が増加するにしたがって露点も増加するが、増加の割合はだんだんゆるやかになる。原油と重油の間、各油温間に差があるとはいえない。

5.3 低酸素運転上の問題点

5.3.1 ボイラダクト左右ガス性状不均衡と酸素指示記録計

低酸素運転で黒煙が発生するのはダクト左右で極端にガス性状が相違する場合が多い。本ボイラの運転にあたってはガス性状の監視は酸素指示記録計を使用し、節炭器出口の左右2点の平均試料について検出しているが、低酸素燃焼においては左右の酸素を別個に検出して指示する必要がある。また低酸素においては指示値の絶対値が小さくなるので、今後低酸素運転を進めるためには酸素指示記録計の精度には十分注意する必要がある。

5.3.2 バーナ調整

酸素を設計値の2.0%で運転した場合、各バーナ個々の特別な調整を行なう必要はなく、エアレジスタも全開で燃焼上問題となるようなことはなかった。一方低酸素燃焼試験に際し、バーナの問題として燃焼の不安定および黒煙の発生が注目されたが、

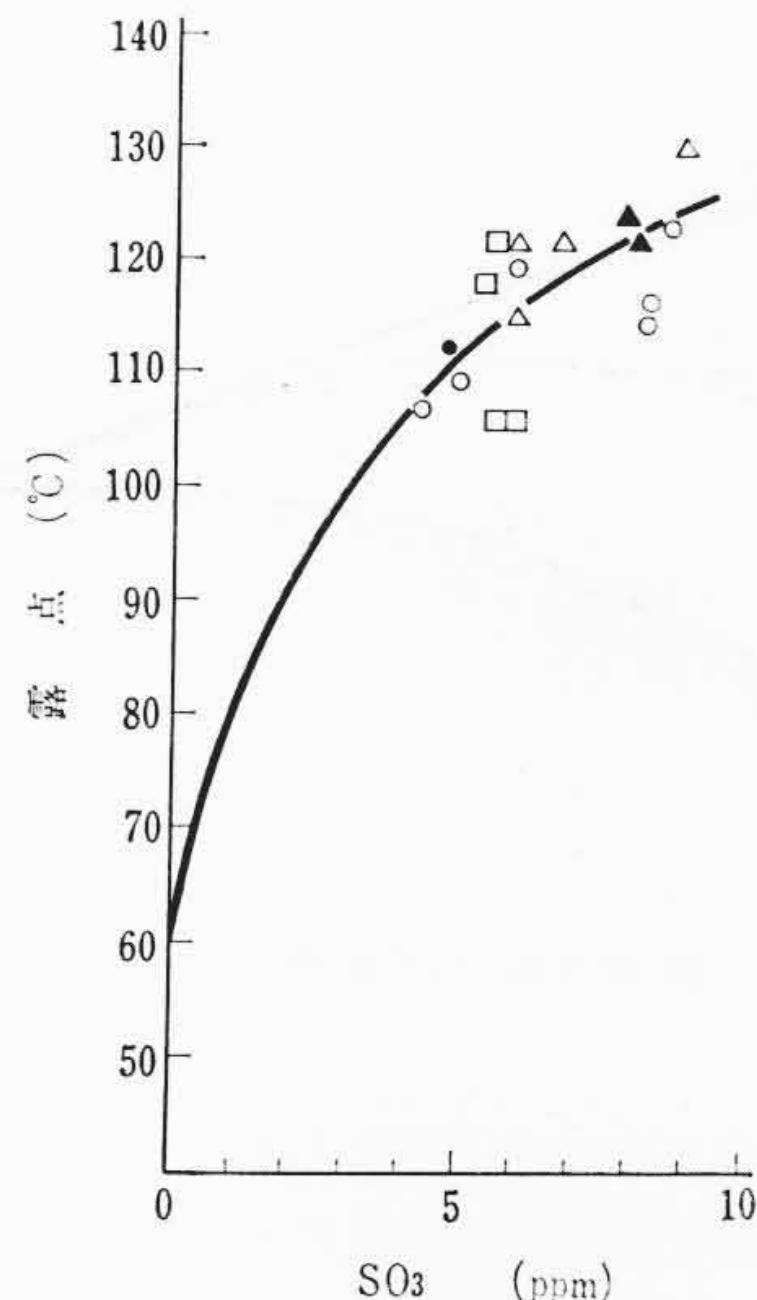
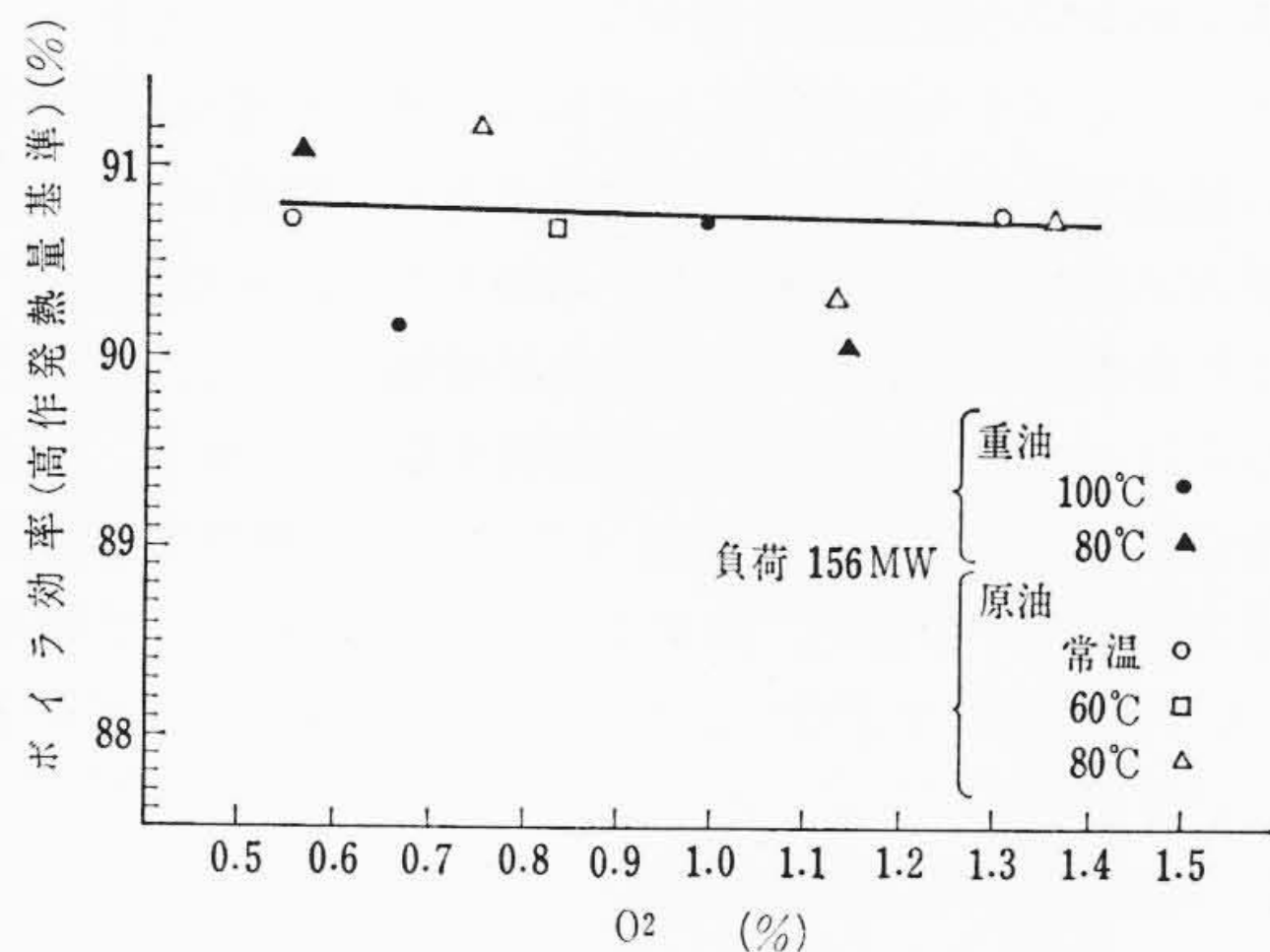
図9 SO_3 と露点の関係

図10 酸素とボイラ熱効率の関係

酸素1%程度では簡単な調整と炉内の観察によって良好な燃焼状態を持続することができた。しかし酸素を1%よりさらに低下させる方向に設計値を大きく変更する場合は、個々のバーナについて火炎の状態を観察しながら種々調整を行なった。この調整をすることにより酸素を0.4~0.5%まで低下させても燃焼不安定および黒煙の発生をみないで運転することができた。これらは燃焼機器固有の構造、取扱性能と密接な関連をもち、本ボイラの場合16本のバーナ個々についてそれぞれの燃焼状態に応ずるための調整要素として、レジスタ開度、バーナチップの使用時間と掃除、バーナインペラの関係位置などがあり、多少調整時間が必要である。これらの低酸素燃焼を行なう場合、こまかいバーナ調整をする理由はいろいろ考えられるが、特にウインドボックス内の空気流入とバーナ旋回流出の流れを均一化することが調整を容易にするものと考えられる。

5.4 通常運転における酸素低下限界

本試験では、表5に示すように0.4~0.5%まで酸素を低下させることができたが、通常運転の場合、運転員の操作をあまり煩雑にすることなく、どこまで酸素を低下できるかを検討する。現状設備においては設計値を大幅に低下させることは、低酸素運転時の燃焼不均衡、バーナ調整、蒸気温度の低下などがあり、設計値を保持できない点もあり、また運転にともなって生じてくるバーナ掃除、すす吹きによる影響、ガバナフリー運転など、負荷変動時のA.C.C.速応性の問題などをもっているため、これらの点から制約を受け、本試験において低下できた酸素濃度まで低下させ長期の連続運転することはむずかしい。これらの問題について全部を勘案することは今

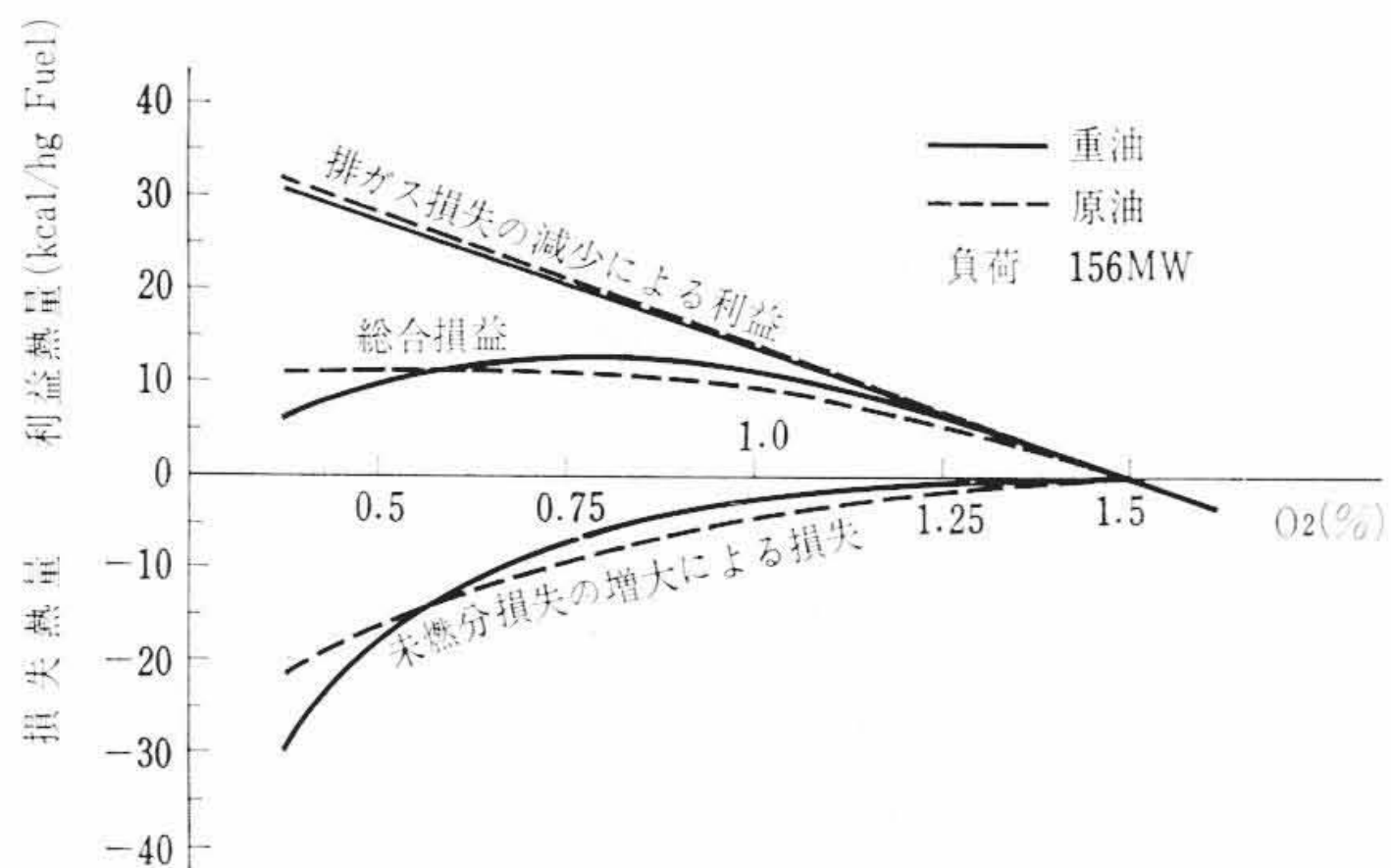


図 11 酸素の排ガスおよび未燃分損失におよぼす影響

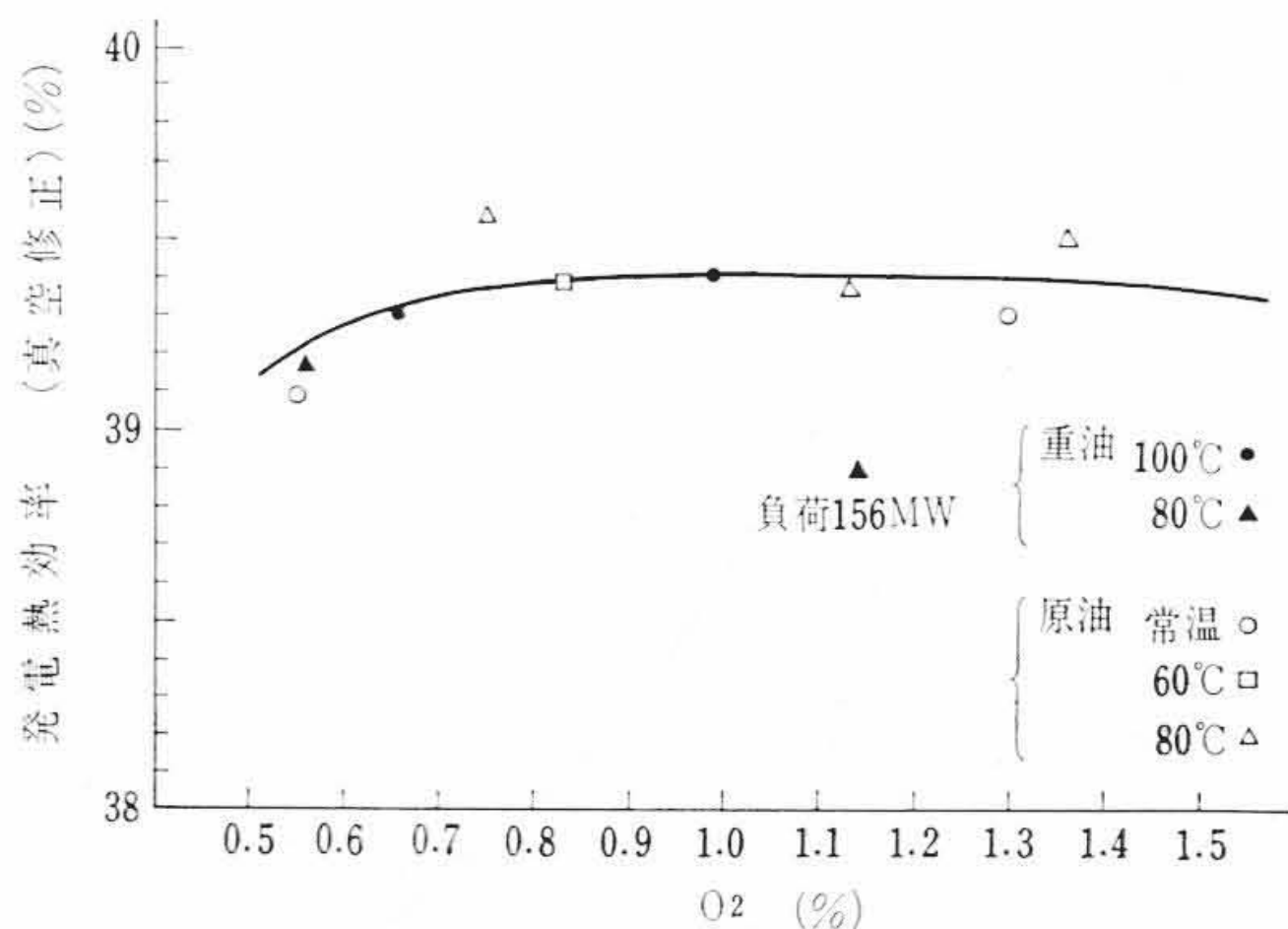


図 12 酸素と発電熱効率の関係

後の各対策いかによるものと考えられるが、現状のままにおいては 1.0% が通常運転時の酸素低下限界として妥当と考えられる。

5.5 酸素の熱効率に及ぼす影響

5.5.1 ボイラ熱効率に及ぼす影響

酸素と熱効率の関係を図 10 に示す。ばらつきが大きい、酸素が低下するとボイラ熱効率はわずかに上昇する傾向がみられる。酸素の熱効率におよぼす影響を検討すると、酸素が低下するとともに排ガス損失減少による利益が増加するが、その反面図 8 に示すように未燃分が増加するため損失が増加する。この利益と損失およびそれらを総合した損益計算結果を図 11 に示す。図より明らかなように酸素低下が約 0.4% まではボイラ熱効率は酸素 1.5% のときよりもよくなるが、酸素 1.5% のときのボイラ熱効率の 0.1% までの利益にすぎない。したがって実測値とよく一致しているといえる。

5.5.2 発電熱効率に及ぼす影響

酸素と真空度修正発電熱効率との関係を図 12 に示す。酸素が 1.5% より低下していくと発電熱効率はゆるやかに上昇して約 0.9% のときに最大となり、その後は徐々に低下していくが 0.7% よりも低下すると降下は急になる傾向がみられる。しかしその熱効率の差はわずかである。効率降下のおもな原因は、低酸素運転時ボイラ出口蒸気温度が降下したことによる、タービン熱消費率を増加させたためである。しかしながらこれは試験時において再循環ガスファンや使用バーナの位置の調整を行なって蒸気温度を上げれば効率はもっと上昇するものと思われる。また実際には低酸素運転を行なうことによる低温部腐食の補修費の減少をあわせ考慮に入れる必要があり、今後はそれらの面からも比較検討したい。

6. 結 言

低温部腐食対策の一環として、低酸素燃焼をとりあげ、ボイラ(設計計画値酸素 2.0%)で現在の設備のまま、原油、重油について、試験を行なった。その結果、原油、重油とも酸素を 0.4~0.5% で燃焼させることができ、黒煙も発生せず、CO も検出されなかった。ガス性状については次のことが判明した。

- (1) 酸素濃度、SO₂ 濃度が同じ場合、油温が違ってても、また原油でも重油でも、SO₂ の酸化率には差があるとはいえない。本テストでは、酸素(x , %)と SO₂ の酸化率(y , %)との間には $y=0.42x\pm0.05$ の直線関係が成りたった。また同様に酸素(x , %)と SO₃ の濃度(y , ppm)の間には $y=6.8x\pm1.2$

の直線関係が成りたった。

- (2) 酸素の低下につれて露点も低下するが、低下の割合は、最初はゆるやかである。油温が異なっても、原油と重油とでも、露点には差があるとはいえない。
- (3) 酸素が低下してもある濃度までは、ばいじん量はほぼ一定だがある濃度以下では酸素の低下とともにばいじん量が増加する。原油は重油よりもばいじん量が多いが酸素が 0.7% 以下になるとその差はだんだん縮小していく。油温によるばいじん量の差は認められない。

低酸素運転上の問題は次のとおりである。

- (1) ボイラの左右で酸素濃度が不均衡になる傾向がある。このため酸素指示記録はボイラの左右の酸素を別個に検出する必要があり、許容誤差の小さいものが必要である。
- (2) 酸素を 1% 以下に低下させるには、個々のバーナについて火炉火炎の状態を観察しながら、それぞれのエアレジスタ開度、バーナそう入深さ、バーナインペラの位置を加減して細かく調整しなければならない。通常の長期にわたる連続運転の酸素低下限界を考察した結果、現状のままの設備においては 1.0% が妥当と思われる。
- (3) ボイラ熱効率および発電熱効率は、試験した範囲においては、大略、酸素の低下につれて若干上昇するがその差はわずかであった。

酸素設計値が 2.0% の大形ボイラにおいて、設備の改造を行なうことなしに、0.4~0.5% まで酸素を低下させることができたことは、大きな成果であり、今後の低温部腐食の軽減に資するところが多い。しかもそれ以上に酸素を低下させるには設備面の改良によらなければならない点が多い。低温部腐食対策としては、低酸素燃焼試験に引続いて固体添加剤注入試験を実施したので、本試験との効果の比較検討を行なう予定である。

参 考 文 献

- (1) B. Lees: Combustion, 1956, July, 38
- (2) 新名火, 火力発電ニュース, No. 107, 10 (1963)
- (3) 藤本, 川辺: 火力発電, 10, 113 (1959)
- (4) 東: 重油燃焼による障害対策, 65 (1962) 日本ボイラ協会大阪支部他
- (5) 山本, 川辺: 火力発電, 10, 441 (1959)
- (6) 火力発電技術協会: 13, 366 (1962)
- (7) 藤本, 川辺: 火力発電, 9, 250 (1958)
- (8) 山中, 麻野, 川辺: 火力発電
- (9) 朝倉, 岩田: 日立評論 47, 689 (昭 40-4)