



Before Ashing



After Ashing

Photo 8-4 Appearance of Sin Pun Lignite before and after ashing



Before Ashing



After Ashing

Photo 8-5 Appearance of Krabi Lignite before and after ashing

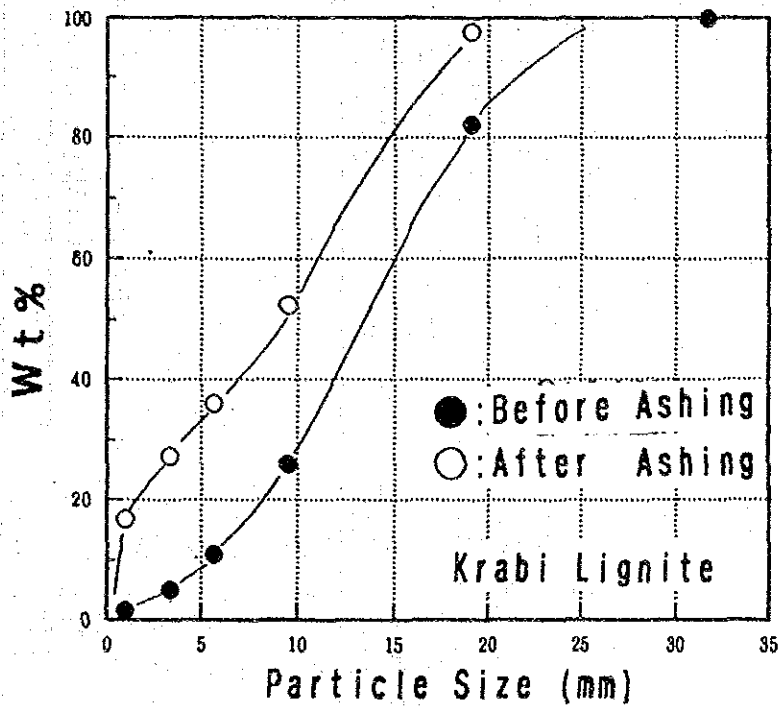
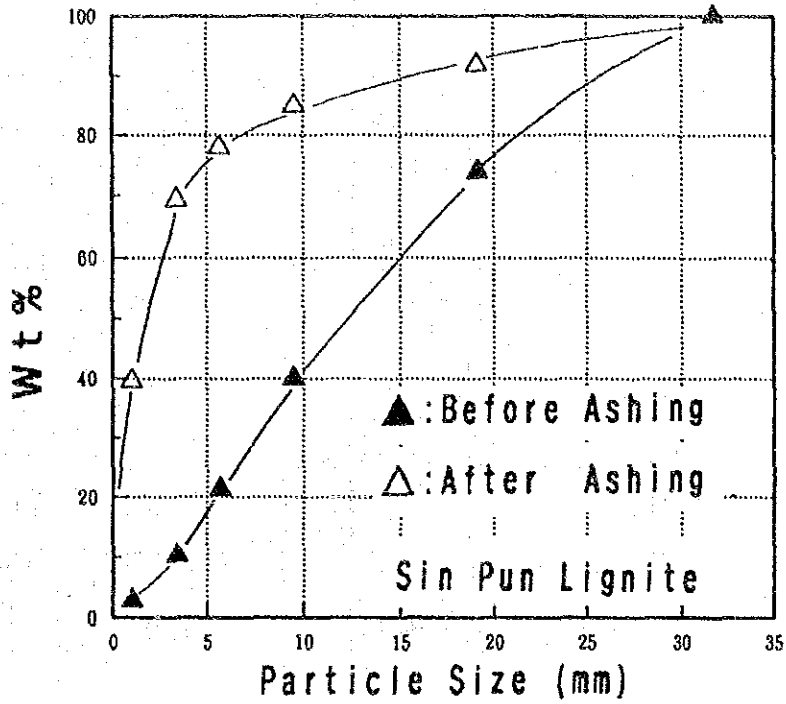


Fig 8-4 Particle size distribution before and after asing

(Electric Heater; 800°C x 4Hr)

Table 8-5 Limestone Analysis (Analyzed on April, 1991)

Item	Wat Khao Khao Tham Hora		Khao Tham Thung song		Ban Rai		Yod Po		Funao		Sekino	
	Din Thailand	#1 Thailand	#2 Thailand	Padam Thailand	Thailand	Thailand	Thailand	Sile Thong Thailand	Japan	Japan	-yama Japan	Japan
CaSO4	-	-	-	-	-	-	-	-	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1
CaCO3	61.5	88.1	98.7	66.9	89.2	94.5	90.6	99.26	99.26	98.89	98.89	98.89
CaO	1.36	0.76	0.6	1.74	0.42	1.98	3.04	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1
SiO2	24.8	9.52	0.001	0.12	3.01	0.41	0.97	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03
Al2O3	4.18	0.32	0.001	0.03	0.83	0.02	0.11	-	-	-	-	-
Fe2O3	1.75	0.05	0.002	≤0.01	0.31	0.024	0.053	-	-	-	-	-
MgCO3	2.82	0.72	0.39	28	5.71	3.01	4.72	-	-	-	-	-
MgO	0.05	0.005	0.002	0.62	0.02	0.05	0.14	-	-	-	-	-
Na2O	0.006	0.002	≤0.001	0.0016	0.001	0.007	0.003	-	-	-	-	-
Ignition Loss	30.53	38.77	43.82	44.01	42.18	43.1	42.3	43.1	43.1	43.1	43.1	43
Calcination Temp.	738.1	747.7	-	740.02	750.3	735.6	725.2	782.5	782.5	785.9	785.9	785.9
Parvalized Ratio	2.9	2.3	-	0.8	0.9	3.7	3.2	5.9	5.9	0.6	0.6	0.6

Table 8-6 Limestone Purity
(Analyzed on September, 1991)

	CaCO3
Funao & Sekinoyama	98.6 %
Khao Tham Hora	94.8 %
Thung Song	86.5 %
Yod Po Sile Thong	79.4 %

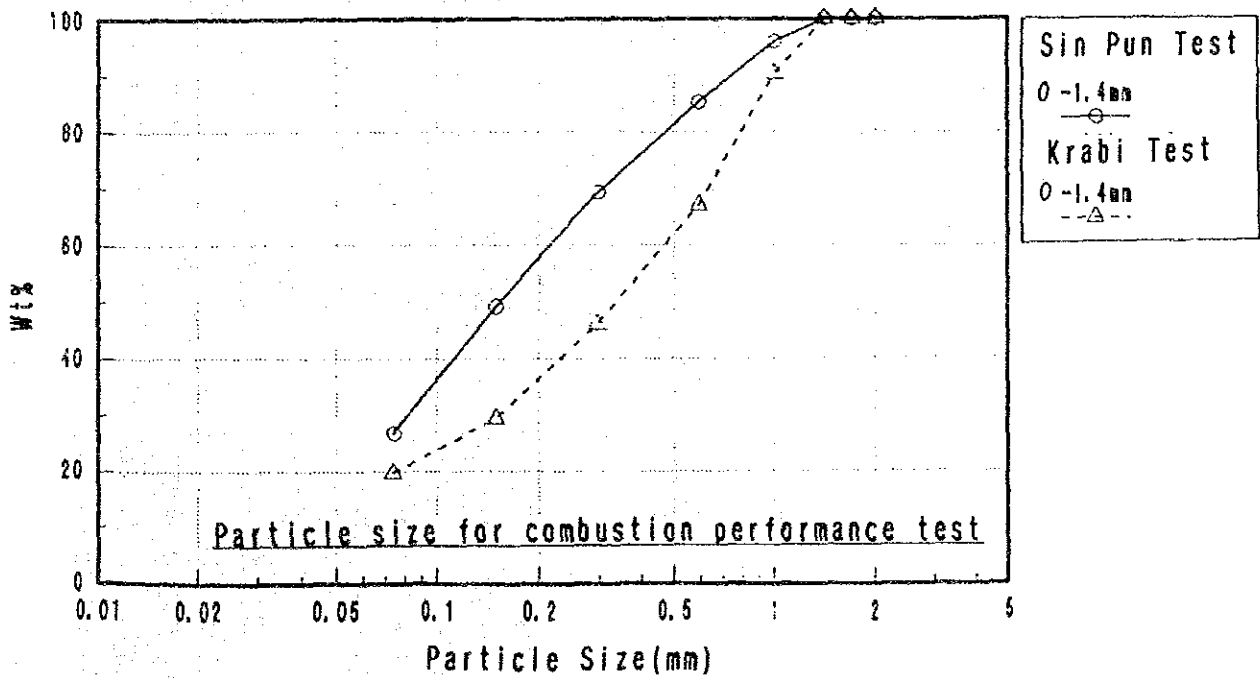
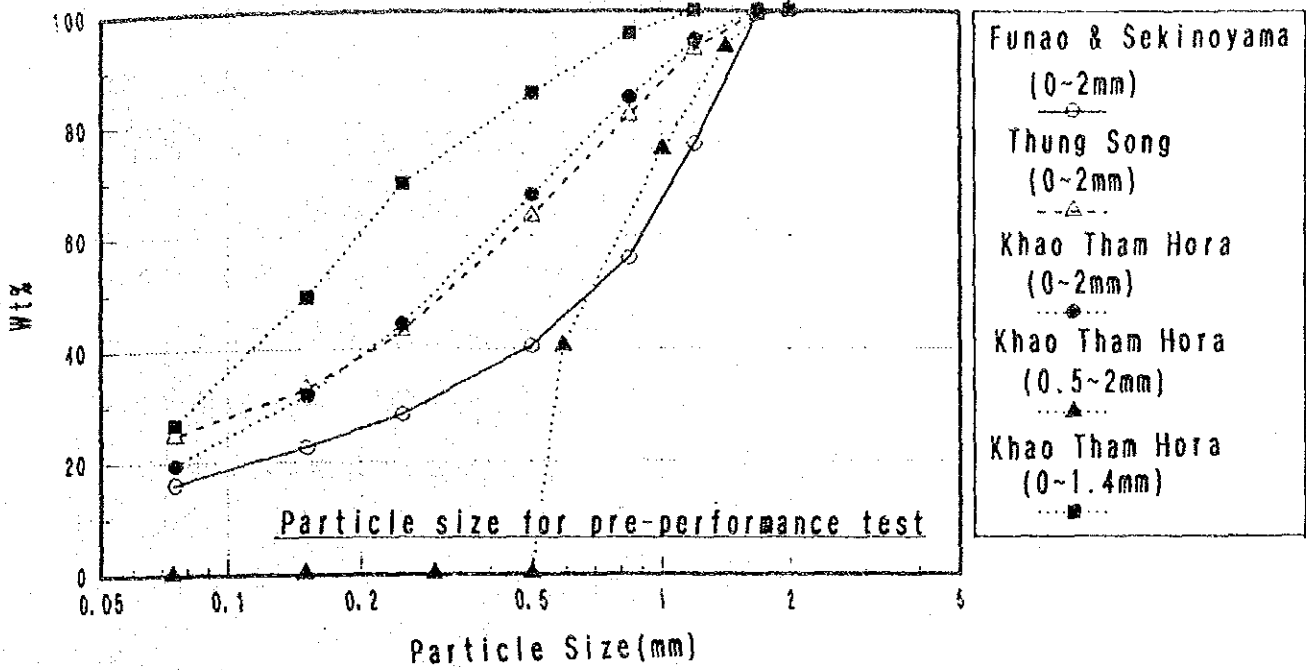


Fig. 8-5 Limestone particle size distribution

8.4 燃焼試験装置

今回の燃焼試験に用いたφ100流動層燃焼試験装置（ベンチスケール）の全体系統を Fig. 8-6 に示す。給炭設備は予備試験初期段階で気流搬送による下込め方式で試験を行い、その後上込めに改造し試験を実施した。なお上込めにおいても搬送管詰まり防止のために搬送空気を供給（全燃焼空気量の約15%相当）を使用した。

排ガスモニタは常設の O_2 （0 - 25%）、 NO_x （0 - 1,000ppm）、 SO_x （0 - 1,000ppm）のほかに、今回の高S分炭試験用に5,000ppmの SO_x 計を設置した。

Fig. 8-7 には火炉の構造を示す。下込め方式の給炭管は分散板上50mmの位置から、上込め方式の給炭管は分散板上450mmの位置からそれぞれ火炉へ給炭するようになっている。

Phot 8-6 から 8-9 試験装置各部の外観写真を示す。

仕様

- 1) 型式: 流動層
- 2) 寸法: 100φ x 2,500mmH
- 3) 燃焼量: ~3kg/h (石炭)
- 4) 空塔速度: ~3m/s
- 5) 層温度: ~1,000°C

Specification

- 1) Type: Fluidized Bed
- 2) Size: 100φ x 2,500mmH
- 3) Capacity: ~3kg/h (Coal)
- 4) Superficial velocity: ~3m/s
- 5) Bed temperature: ~1,000°C

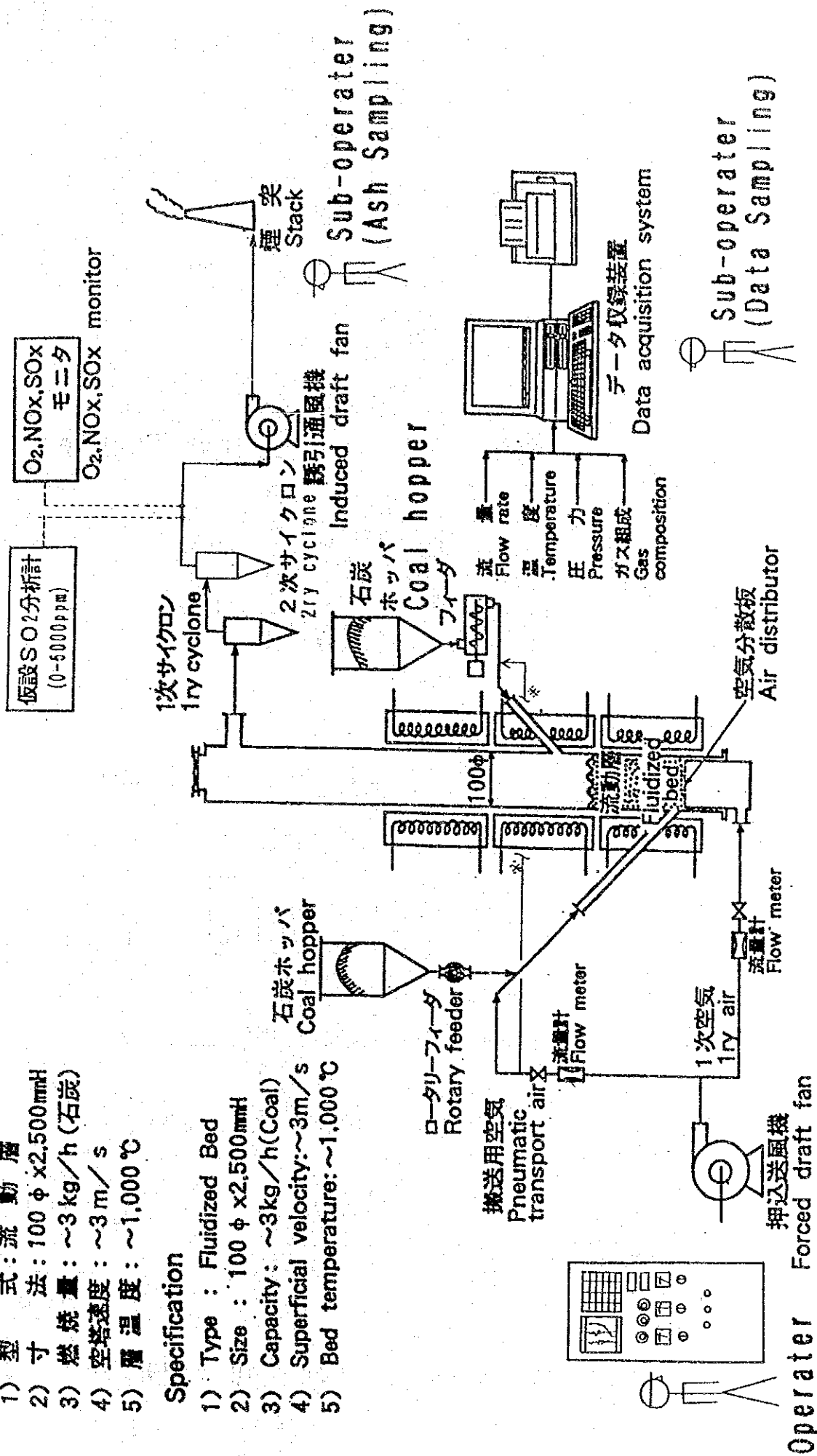


Fig. 8-6 φ100 combustion test facility Flow diagram

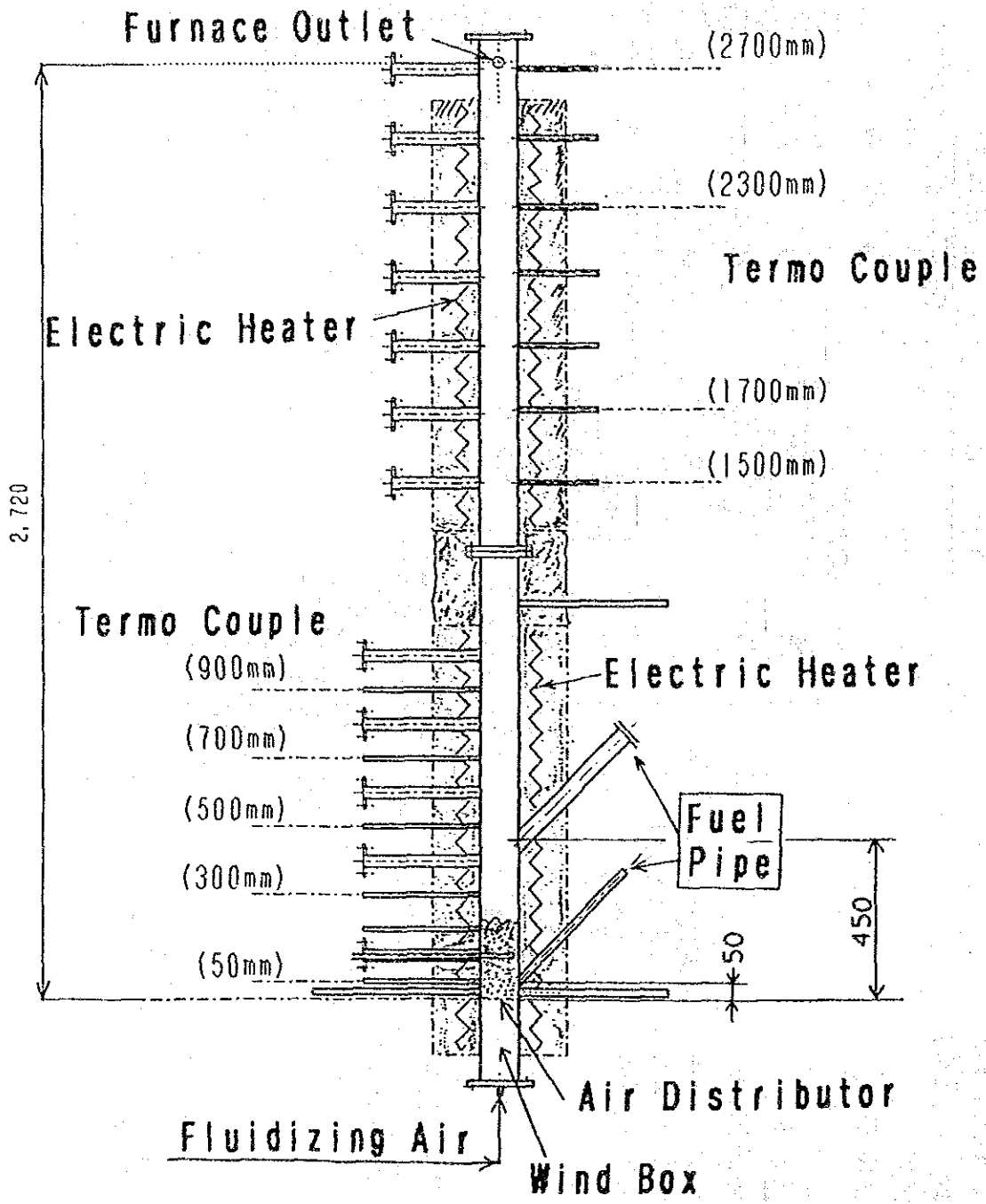


Fig.8-7 Furnace and fuel feeding points

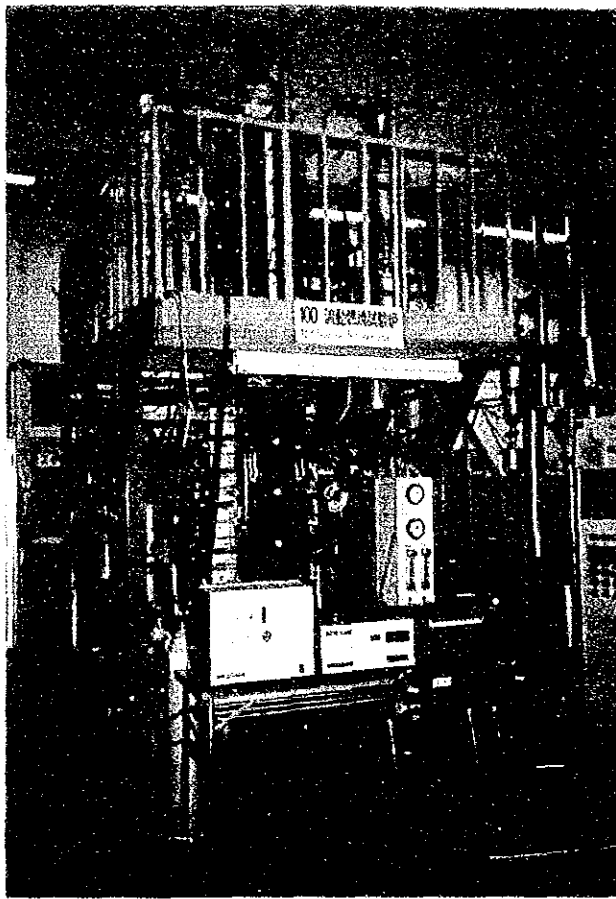


Photo 8-6 Combustion test facility



Photo 8-7 Furnace and fuel feed pipe

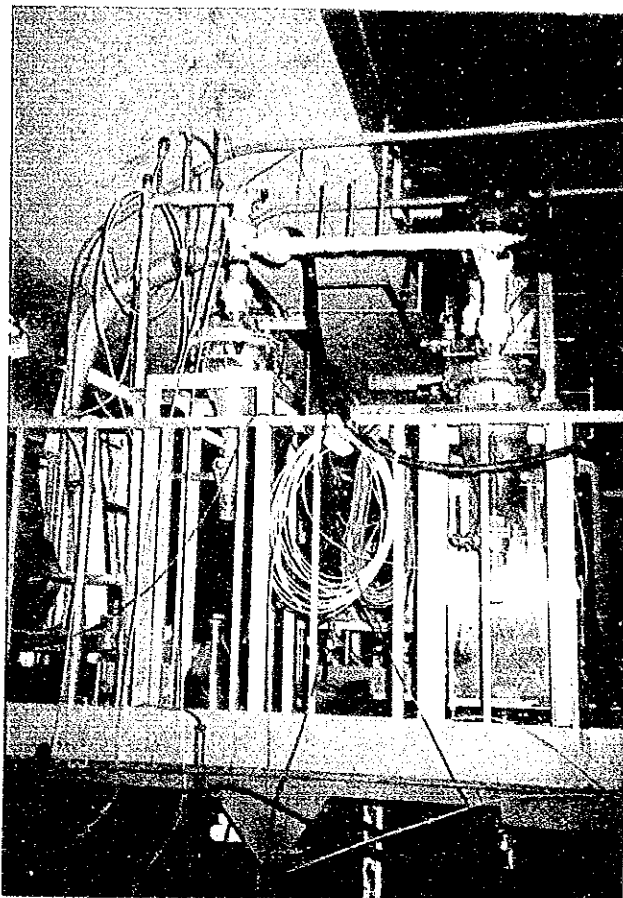


Photo 8-8 Cyclone and gas sampling system

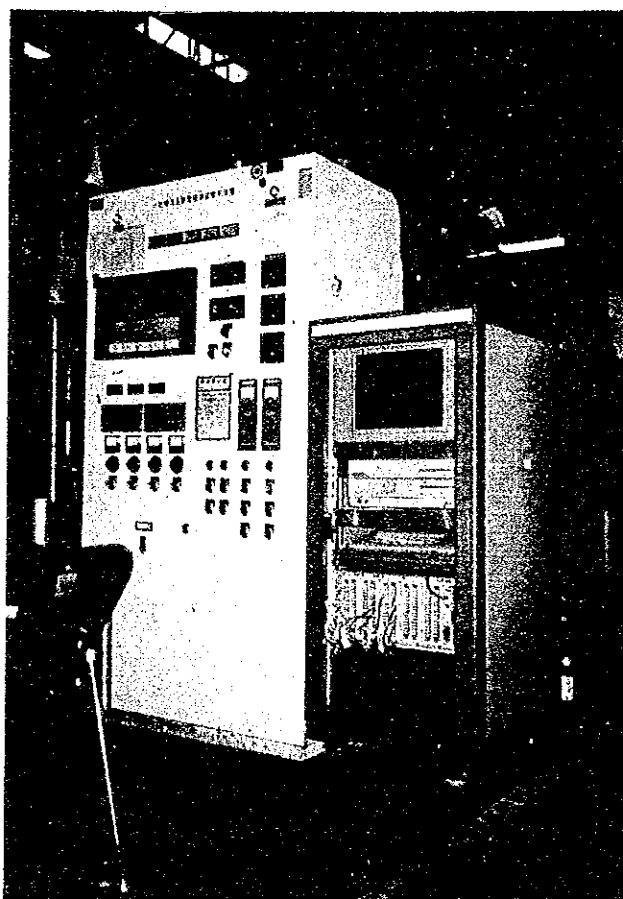


Photo 8-9 Operation and control board and data Logger

8.5 試験結果

8.5.1 予備試験

予備試験は、タイ国リグナイトと石灰石に適した運転状況を探すことを目的としており、層温、Ca/Sモル比、給炭方式、空気比、空塔速度及び石灰石銘柄等のパラメータを変え各々の変量でSOx排出量がタイ国規制値を守りかつ、石灰石使用量の少ない条件を探す試験である。

予備試験の結果を Table 8-7 に示す。

(1) 脱硫性能

石炭性状から空気比1.2で燃焼させた場合の排ガス中の燃焼性硫黄によるSOx濃度は脱硫反応が起こらなかった場合、乾きガスベースでは以下の通りとなる。

シンブン炭の場合

理論空気量 A_0 。

$$A_0 = 8.89C + 26.7 \left(h - \frac{O}{8} \right) + 3.33S$$

$$= 4.769 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel (D.B.)}$$

C, h, O, S, n は各々乾炭1kg燃料中の炭素分、水素分、酸素、硫黄分、窒素分の含有割合。

理論ガス量 V_0 。

$$V_0 = 8.89C + 21.1 \left(h - \frac{O}{8} \right) + 3.33S + 0.8n$$

$$= 4.688 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel (D.B.)}$$

空気比1.2の場合の排ガス量 V_d

$$V_d = V_0 + 0.2 A_0$$

$$= 5.642 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel (D.B.)}$$

Table 8-7 Pre-Performance Test Data

Date	1445-1446	1500-1600	1700-1800	1300-1342	1512-1544	1723-1758	1504-1531	1635-1602	1552-1604	1359-1429	1436-1534	1606-1700	1327-1459	1505-1523	1534-1722	1744-1824	1230-1330
Line	1445-1446	1500-1600	1700-1800	1300-1342	1512-1544	1723-1758	1504-1531	1635-1602	1552-1604	1359-1429	1436-1534	1606-1700	1327-1459	1505-1523	1534-1722	1744-1824	1230-1330
Run No	A-2-1	A-2-1	A-2-2	A-3-1	A-3-2	A-3-3	A-4-1	A-4-2	A-4-3	A-4-4	A-5-1	A-5-2	A-5-3	B-1-1	B-1-2	B-1-3	B-2-1
Coal Feeding	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under
Name	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun
Size	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0
Initial Charge	7.00	7.00	7.00	4.00	4.00	4.00	9.00	9.00	9.00	9.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Line	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0
Station	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Furnace	Thru
Initial Charge	4.00	4.00	4.00	3.16	3.16	3.16	2.40	2.40	2.40	2.40	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.40	4.40
Coal Molar Ratio	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.40	4.40
In-bed(1)	753.3	812.0	854.3	855.5	808.4	854.1	850.9	808.9	878.6	850.7	808.7	889.5	820.0	853.9	890.2	779.0	821.5
In-bed(2)	758.4	814.7	855.2	859.7	812.1	857.9	840.0	805.9	881.7	855.9	814.9	893.7	823.2	866.6	892.9	780.1	826.5
Freeboard(1)	673.8	782.2	819.1	813.1	755.4	819.5	773.7	734.0	818.5	784.7	832.3	809.8	832.2	883.2	883.4	789.5	791.0
Freeboard(2)	684.7	757.5	788.7	812.6	743.5	788.7	789.5	753.7	823.3	800.1	765.6	836.3	799.7	837.9	860.0	747.0	801.1
Freeboard(3)	630.4	704.1	731.0	771.9	695.3	730.9	753.2	713.4	775.9	755.4	726.1	786.2	763.4	779.4	810.2	701.9	776.7
Freeboard(4)	516.8	552.8	567.5	539.2	562.7	565.4	543.8	562.7	567.5	544.0	561.2	580.8	555.9	581.2	523.1	600.3	571.0
Freeboard(5)	492.1	520.3	528.0	557.1	504.5	528.1	532.7	511.7	522.7	505.9	518.0	553.3	529.9	545.6	486.2	511.0	511.0
Freeboard(6)	458.3	482.7	484.9	509.0	448.4	484.9	484.6	460.8	451.5	478.1	449.9	446.0	514.5	488.7	476.4	428.0	527.0
Freeboard(7)	364.1	382.3	382.3	407.0	358.2	382.2	383.3	371.2	388.9	382.7	360.9	349.9	415.3	389.3	375.0	336.3	422.8
Wind Box	44.0	52.9	56.6	55.4	58.2	56.6	51.3	51.0	52.2	54.0	51.9	55.3	52.8	57.6	60.3	56.3	45.4
Bed Pressure Drop	167.6	170.9	161.8	159.1	173.2	163.7	130.7	126.8	153.5	155.9	145.3	185.5	164.7	185.0	164.9	204.9	155.6
Furnace Pressure	111.7	114.4	105.0	72.4	64.2	105.1	71.0	102.9	98.7	96.8	105.0	111.5	90.5	60.2	68.4	55.8	84.4
Coal Feeder Power	-	-	-	-	-	-	0.345	0.35	0.355	0.375	0.38	0.34	0.421	0.365	0.368	0.362	0.430
Air Transporting	8.00	8.00	8.00	7.00	7.00	7.00	7.20	7.40	7.20	7.40	7.00	7.00	7.40	7.00	7.00	7.00	8.20
Flow Pres. Barancing	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fluidizing (real)	9.42	9.42	9.42	8.24	8.24	8.24	8.48	8.48	8.72	8.48	8.72	8.72	8.72	8.24	8.24	8.24	8.01
O ₂	3.316	3.654	3.470	3.527	3.437	3.432	2.912	3.263	3.105	3.852	3.512	3.450	3.458	3.401	3.595	3.558	3.498
NO _x	93.3	137.0	279.1	245.8	203.5	290.0	297.7	277.3	309.4	327.0	284.3	307.4	228.9	255.9	277.5	139.1	253.6
SO _x	>1500	1315.5	814.4	295.1	531.3	815.7	1487.4	1487.6	1488.0	1197.8	1443.0	1493.9	1052.5	752.4	1140.0	1482.5	1251.3
SO _x (temporary)	-	-	-	-	-	-	3416.7	3876.3	3854.5	1226.3	1644.1	1623.2	1047.1	737.4	1135.0	4225.0	1484.2
Furnace Air Ratio	1.19	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20	1.16	1.19	1.17	1.22	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
In-bed Air Ratio	1.19	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20	1.16	1.19	1.17	1.22	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Superficial Velocity	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
NO _x (Converted SO ₂)	79	118	239	211	174	239	247	235	259	286	227	283	195	216	239	120	217
SO _x (Converted SO ₂)	>1500	1138	697	253	454	696	529	1260	1247	1047	1238	1258	909	641	982	1276	1095
SO _x (Converted SO ₂)	-	-	-	-	-	-	2833	3278	3230	1072	1410	1387	855	628	638	646	1259
Coal Feed Rate	1.06	1.018	0.96	0.75	0.73	-	0.907	0.920	0.933	0.679	0.880	0.742	0.904	0.784	0.769	0.778	0.955
Limestone Feed Rate	0.618	0.592	0.545	0.945	0.974	-	0.242	0.245	0.249	0.430	0.435	0.390	0.457	0.431	0.423	0.428	0.477
Blowdown Rate	0.60	0.45	0.40	0.30	0.45	-	0.20	0.35	0.27	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.30	0.45	0.35
Unburned C	4.60	3.28	2.11	1.73	1.51	-	2.50	3.30	2.00	1.50	1.70	1.70	1.10	0.90	0.60	-	1.80
CaO	7.8	14.0	22.7	28.1	23.2	-	15.6	15.6	21.5	1.4	22.2	15.4	22.2	15.4	22.2	27.8	19.2
CaSO ₄	19.3	21.3	22.8	22.2	24.5	-	29.4	28.7	30.2	26.0	19.2	29.1	22.8	24.9	27.9	27.9	21.4
CaCO ₃	41.1	33.5	24.4	24.2	23.0	-	12.6	16.3	10.8	15.6	27.1	11.9	26.3	13.3	11.4	-	19.5
Blowdown Rate	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30	-	0.10	0.25	0.25	0.55	0.45	0.60	0.30	0.75	0.50	-	0.35
Unburned C	0.27	0.29	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO	11.6	24.4	30.9	33.8	29.8	-	13.6	16.1	18.1	16.1	21.6	26.6	27.0	24.6	20.9	-	42.3
CaSO ₄	10.9	22.8	32.2	35.1	39.7	-	14.5	20.4	29.5	26.8	41.3	43.1	37.8	44.0	45.5	-	37.9
CaCO ₃	33.70	14.30	1.00	3.28	7.22	-	0.66	1.85	3.20	1.70	1.25	1.00	2.20	1.40	0.90	-	1.50
Combustion Efficiency	83.53	96.32	97.76	98.25	97.63	-	98.60	95.82	95.53	98.14	97.92	98.77	98.61	99.13	99.11	-	98.23

1515-1635	1640-1753	1717-1939	1353-1508	1515-1615	1609-1704	1620-1734	1300-1400	1420-1530	1600-1700	1300-1400	1430-1530	1600-1700	1900-1400	1430-1530	1600-1700	1700-1730	1700-1730	1700-1730		
B-3-1	B-3-2	B-4-1	B-4-2	B-4-3	B-4-4	B-4-5	C-1-1	C-1-2	C-1-3	D-1-1	D-1-2	D-1-3	D-2-1	D-2-2	D-2-3	D-3-1	D-3-2	D-3-3	D-3-4	
Under	Under	Under	Under	Under	Under	Under	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun	Sin Pun
0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0	0-2.0
8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
860.7	890.3	852.1	855.6	889.2	919.7	919.7	857.9	859.3	890.8	859.8	854.4	853.6	857.2	855.4	860.7	856.8	853.1	853.1	853.1	853.1
862.8	892.3	865.9	869.3	892.9	923.2	923.2	863.9	865.2	896.4	862.8	859.9	860.0	859.7	859.2	865.1	864.5	860.3	860.3	860.3	860.3
838.2	873.2	852.5	833.1	866.7	910.9	911.0	857.4	842.3	861.7	841.0	815.0	805.6	782.9	809.8	833.0	836.4	845.5	871.2	871.2	871.2
829.5	840.6	855.1	808.1	840.6	894.3	894.1	872.0	844.0	887.3	841.8	805.4	803.3	771.1	813.5	847.1	857.0	860.0	860.0	860.0	860.0
794.6	798.0	833.0	755.4	784.4	844.6	844.1	834.5	794.6	849.6	805.6	757.1	757.5	795.3	797.5	810.5	836.4	836.4	836.4	836.4	836.4
599.0	586.0	594.2	558.6	566.8	596.9	596.6	559.5	515.0	561.8	526.8	581.9	580.1	540.4	553.4	595.5	623.5	630.3	630.3	630.3	630.3
567.4	545.0	522.3	527.5	531.7	560.7	560.7	540.0	579.4	542.7	511.6	549.1	555.9	505.5	549.4	552.8	566.0	523.9	523.9	523.9	523.9
524.8	480.6	573.3	472.9	452.5	481.3	481.4	503.9	526.0	586.2	575.0	500.0	520.3	458.1	458.6	489.0	521.5	559.7	559.7	559.7	559.7
415.4	378.3	457.4	378.8	368.4	383.4	383.5	523.6	463.6	508.9	493.3	443.5	448.7	395.7	438.4	428.8	454.1	494.1	494.1	494.1	494.1
52.5	54.0	55.4	58.2	61.8	63.9	63.9	55.9	58.4	61.1	52.8	53.0	49.3	50.1	54.7	54.0	54.0	53.3	53.3	53.3	53.3
162.5	174.8	159.3	167.4	144.9	151.9	152.4	165.6	169.8	150.1	201.4	162.6	164.1	186.7	167.4	145.8	154.1	141.0	141.0	141.0	141.0
63.8	63.6	60.8	71.2	64.1	63.6	63.6	135.4	116.0	123.0	146.6	108.1	64.1	140.0	73.8	162.7	210.1	210.1	210.1	210.1	210.1
0.410	0.405	0.480	0.465	0.365	0.365	0.365	0.438	0.355	0.355	0.574	0.464	0.364	0.298	0.462	0.303	0.341	0.503	0.503	0.503	0.503
7.40	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.70	8.70	8.50	6.70	7.50	7.00	7.00	6.70	6.50	6.80	10.60	10.60	10.60	10.60
1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
5.72	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	10.25	10.25	10.01	10.25	8.83	8.24	8.24	10.25	7.65	8.95	12.48	12.48	12.48	12.48
3.414	3.470	3.384	5.888	6.069	5.960	5.968	6.124	6.103	6.236	6.289	6.406	7.007	6.212	6.153	7.308	6.514	6.323	6.323	6.323	6.323
258.4	256.9	273.1	353.2	353.1	357.4	356.8	265.1	274.7	267.3	284.5	265.9	299.7	233.6	226.8	252.2	247.8	258.8	266.4	266.4	266.4
321.1	1189.9	373.9	55.8	0.1	-0.1	-0.1	821.2	884.5	612.8	1078.9	930.1	517.6	396.4	1025.8	1353.0	1477.2	1443.8	1479.3	1479.3	1479.3
1215.6	1260.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	959.3	911.4	860.8	1064.7	903.3	477.9	366.0	1008.9	1439.7	1990.3	2151.1	2547.7	2547.7	2547.7
1.19	1.20	1.19	1.39	1.41	1.40	1.40	1.41	1.63	1.43	1.43	1.67	1.50	1.78	1.41	1.53	1.45	1.42	1.43	1.43	1.43
1.18	1.20	1.19	1.39	1.41	1.40	1.40	1.37	1.38	1.20	1.40	1.26	1.44	1.18	1.22	1.17	1.19	1.19	1.27	1.27	1.27
1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
270	270	233	351	355	356	356	283	320	291	300	340	261	295	226	257	254	259	305	305	305
274	1018	319	65	0	0	0	908	911	856	1130	1182	469	521	1169	1451	1515	1441	1554	1554	1554
1089	1080	0	0	0	0	0	955	1013	1198	1105	1104	448	474	1163	1877	2185	2600	2600	2600	2600
0.910	0.899	0.876	0.848	0.666	0.666	0.666	1.081	0.875	0.876	1.416	1.143	0.897	0.736	1.136	0.775	0.979	0.929	1.460	1.460	1.460
0.455	0.450	0.723	0.700	0.534	0.549	0.592	0.722	0.723	0.723	1.168	0.943	0.740	0.607	0.212	0.168	0.149	0.142	0.145	0.145	0.145
0.10	0.25	0.50	-	0.50	0.50	0.50	0.30	0.45	0.45	0.15	0.10	0.35	0.15	0.50	0.25	0.40	0.30	-	-	-
1.00	1.10	0.78	-	0.33	0.21	0.44	0.34	0.21	0.56	0.39	0.17	0.13	0.17	0.47	0.45	0.56	0.87	-	-	-
19.0	20.8	25.2	-	26.8	32.7	32.7	29.5	31.6	25.1	24.4	37.8	36.9	31.3	28.3	27.3	23.0	-	-	-	-
31.2	29.8	21.6	-	23.4	24.5	24.5	26.0	21.6	25.6	21.1	19.6	28.4	24.0	17.6	20.5	18.0	12.4	-	-	-
14.2	9.9	19.4	-	19.2	14.8	14.8	19.0	16.0	8.1	11.9	32.8	36.8	33.5	15.6	16.4	15.4	-	-	-	-
0.60	0.50	0.85	-	0.65	0.50	0.50	0.30	0.45	0.45	0.67	0.65	0.70	0.30	0.45	0.35	0.45	0.40	-	-	-
<0.1	<0.1	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
33.6	31.3	21.0	-	22.5	18.5	18.5	29.9	31.9	34.2	32.4	32.8	32.7	31.5	31.6	29.3	30.4	-	-	-	-
46.0	46.0	42.5	-	40.9	42.9	42.9	25.1	28.5	30.9	28.5	30.3	29.9	26.7	27.2	29.3	24.4	-	-	-	-
0.90	2.20	2.93	-	1.00	1.11	1.11	1.85	1.36	1.17	1.31	1.35	1.68	3.33	0.57	0.20	1.47	-	-	-	-
99.72	96.91	99.64	-	99.51	99.69	99.69	99.73	99.55	99.91	99.83	99.93	99.48	99.62	99.24	99.33	99.24	-	-	-	-

燃焼性硫黄 (5.44%) が排ガス中に飛散する場合

$$\frac{5.44 \times \frac{1,000}{100} \text{ g}}{32} \times 0.0224 \text{ m}^3/\text{Mol} = 0.0381 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel (D.B.)}$$
$$\therefore \frac{0.0381}{5.642} \times 10^6 = 6,753 \text{ ppm}$$
$$\approx 6,800 \text{ ppm}$$

クラブリグナイトの場合も同様に計算すると、低カロリーのため、硫黄分の含有率がシンプリグナイトに比べて低いものの、排ガス中の硫黄酸化物の濃度は高く4,800ppmになる。

以下層温度、Ca/Sモル比、石灰石銘柄、層内空気比、給炭方式、石炭・石灰石粒径、空塔速度等をパラメータとした試験結果を示す。

① 層温度

若松50MW実証プラントで豊富な実績を有する船尾+関の山産石灰石を用いて、高S分炭における脱硫特性を調査した。まず層温に対するSO_xの特性を Fig. 8-8 及び 8-9 に示す。従来の経験では層温800~820°Cでもっとも良い脱硫性能が得られていたが、今回の結果ではそれが約40°C程度高温側にずれ、約850°Cのところに脱硫性能の最適点があることがわかった。この原因究明に関しては種々のラボ試験等を行ったので8.6.2の結果の評価の項で説明する。

② Ca/Sモル比

またCa/Sモル比に対する脱硫特性を Fig. 8-10 及び 8-11 に示している。90%以上の脱硫率を得るためには日本の実証試験ではCa/Sモル比4~5程度必要としたが、シンプリグナイトではCa/Sモル比2~3程度で90%以上の脱硫効率が得られることがわかった。

③ 石灰石銘柄

次に、シンプリグ地方で産出される2種類の石灰石について性能比較を行った結果を Fig. 8-12 及び 8-13 に示した。この結果Khao Tham Hora 石灰石が脱硫性能に優れ、船尾+関の山の石灰石と比較しても良好な性能が得られている。従って、ベンチスケール燃焼試験はKhao Tham Hora 石灰石主体に実施するものとした。

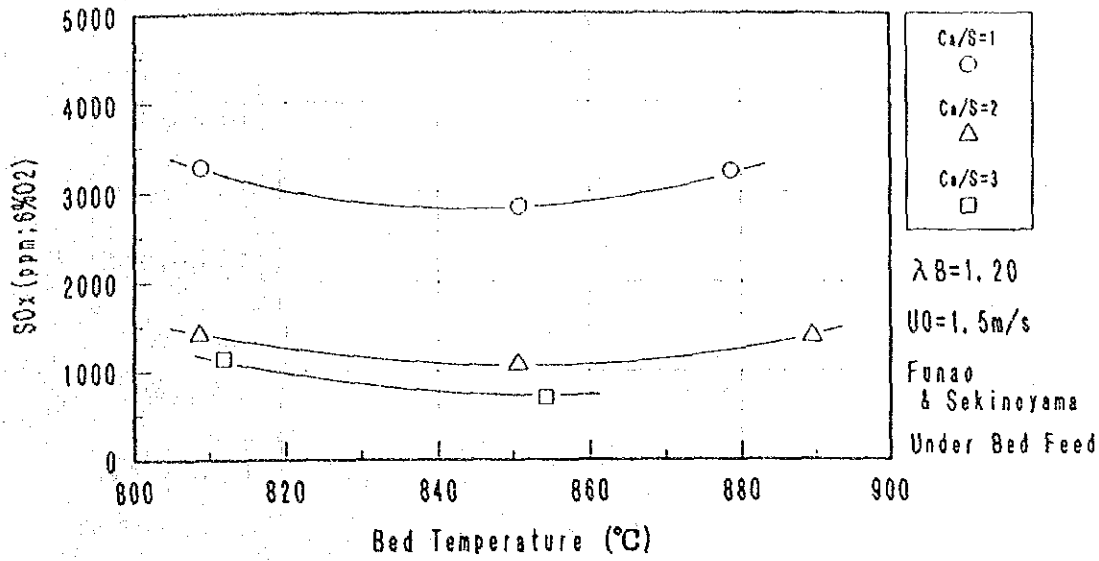


Fig 8-8 SOx emission with different bed temperatures

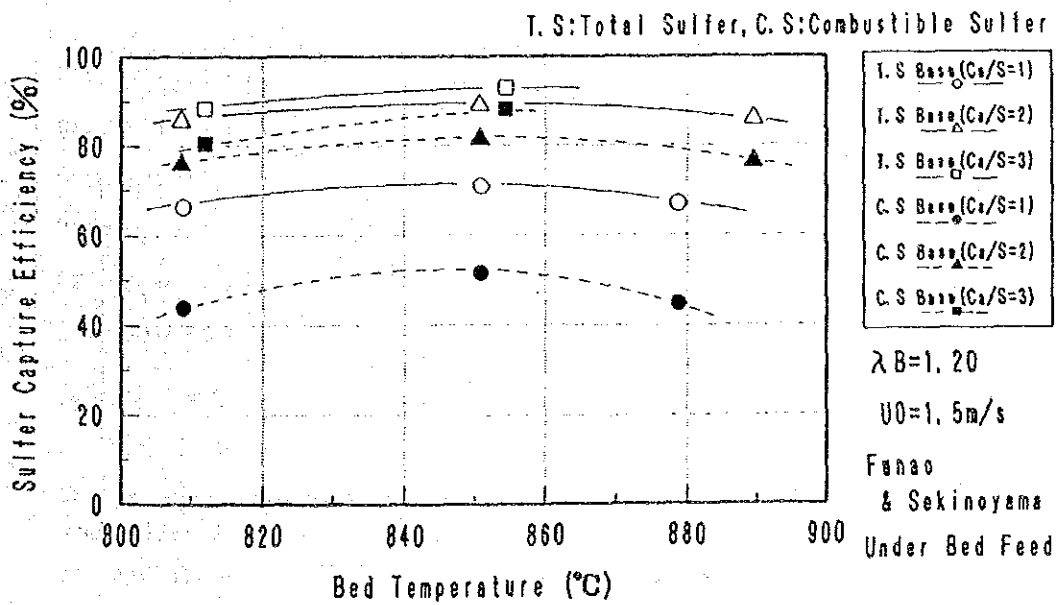


Fig 8-9 Sulfur capture efficiency with different bed temperatures

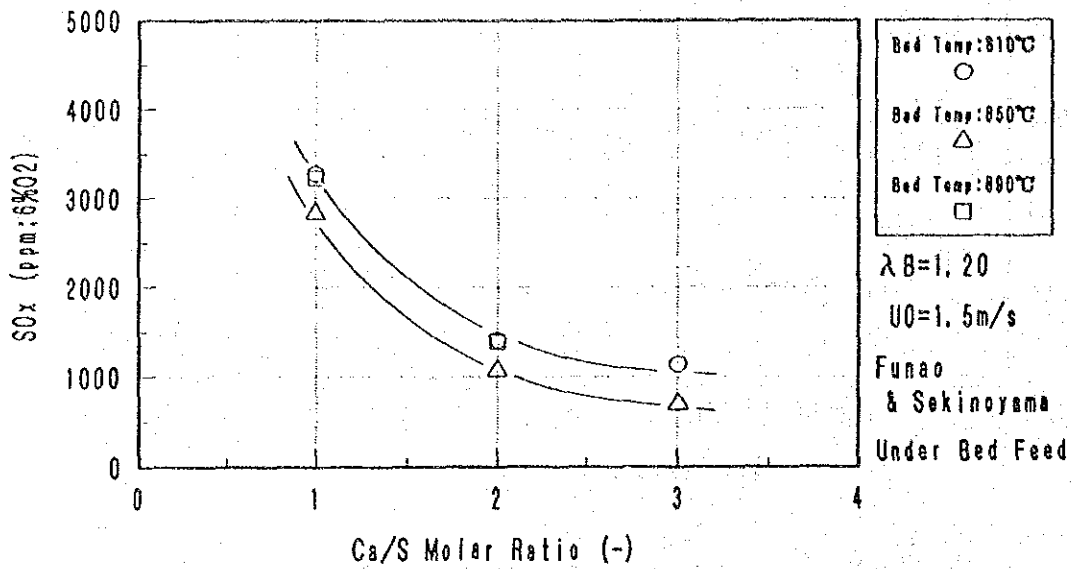


Fig 8-10 SO_x emission with different Ca/S molar ratios

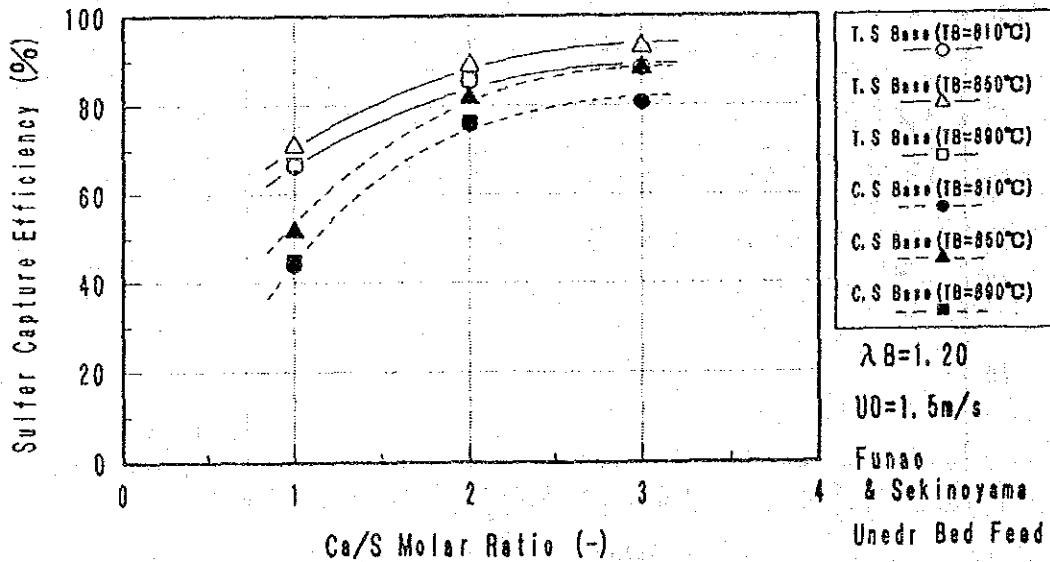


Fig 8-11 Sulfur capture efficiency with different Ca/S molar ratios

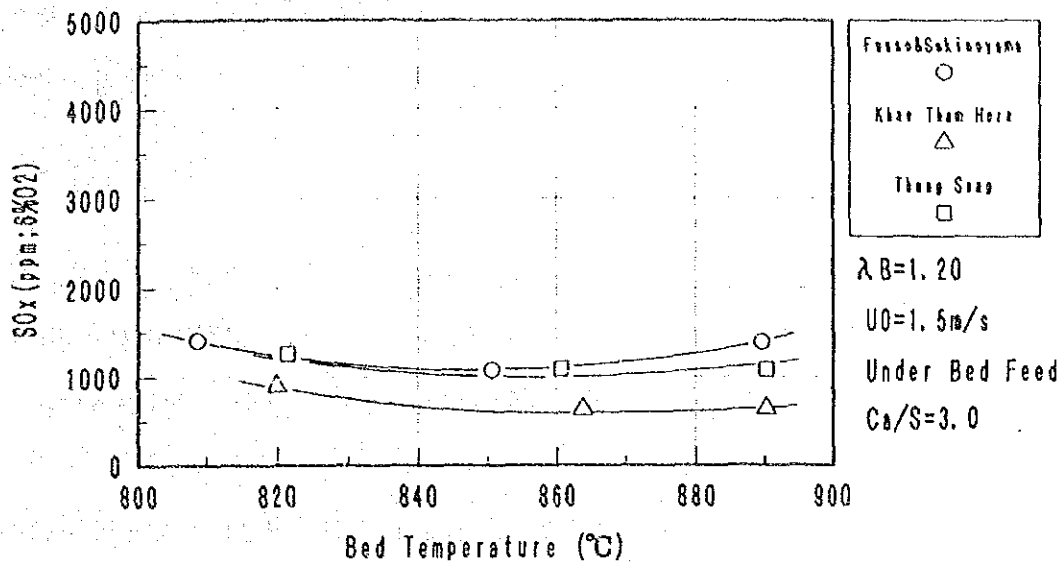


Fig 8-12 SOx emission with different limestones

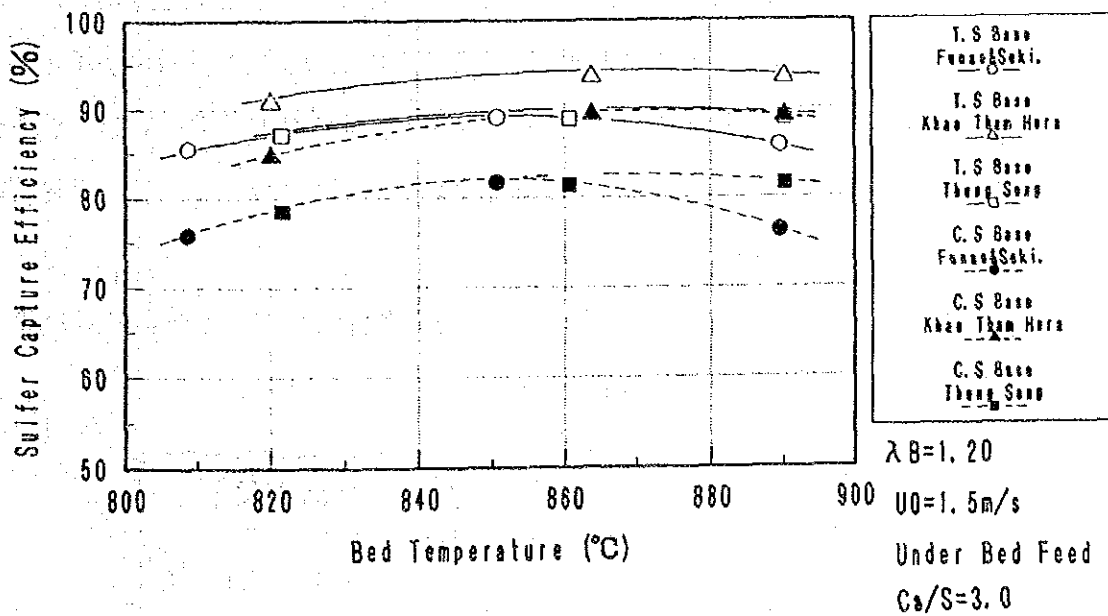


Fig 8-13 Sulfur capture efficiency with different limestones

④ 層内空気比

Khao Tham Hora 石灰石を使って層内空気比の影響を調べた結果を Fig. 8-14 及び8-15 に示す。層内空気比を1.2から1.4に増加することによって、従来炭種の傾向と同様に脱硫性能は向上し、最適層温の850℃、Ca/S=3の条件で約99%の極めて高い脱硫性能が得られた。

⑤ 給炭方式

次に上込め給炭時の特性を下込め比較し Fig. 8-16 及び 8-17 に示した。上込め給炭により脱硫性能は顕著に低下し、層温850℃、Ca/S=3で約90%脱硫率であり、空気比を増加しても下込めのような顕著な性能向上は得られなかった。

⑥ 石炭、石灰石粒径

石灰石の反応性向上の目的として給済粒径、石灰石粒径を変えてその挙動を調査したが、Fig. 8-18及び8-19に示すように顕著な脱硫性向上は得られなかった。

⑦ 空塔速度

次に、空塔速度を下げ層内の滞留時間を十分に取ることによって脱硫性能の向上を計るという目的で空塔速度変化試験を実施した。その結果を Fig. 8-20 及び 8-21 に示した。この結果、空塔速度を下げることによって脱硫性能は顕著に向上し、当初目標のSOx=700ppm以下の条件に対しては、空塔速度を1.2m/sまで下げることによってCa/S=3で対応可能であることがわかった。しかしながら、これは上込め給炭方式において空塔速度を下げることにより微粉が飛散燃焼する割合が少なくなり、上込め給炭された石炭の大部分が流動床内に入り、脱硫される結果と考えられ、2mm以下の粒径を対象としているベンチスケール試験による特殊性が大きく関係している。

以上の種々の試験結果より、SOx<700ppm達成条件としての基準条件及び燃焼性能試験での試験範囲を下記の通りとした。

項目	基準条件	試験範囲
層温度	850℃	800～900℃
Ca/Sモル比	3	2～4
空塔速度	1.2 m/s	1.2 m/s一定
層内空気比	1.2	1.1～1.2

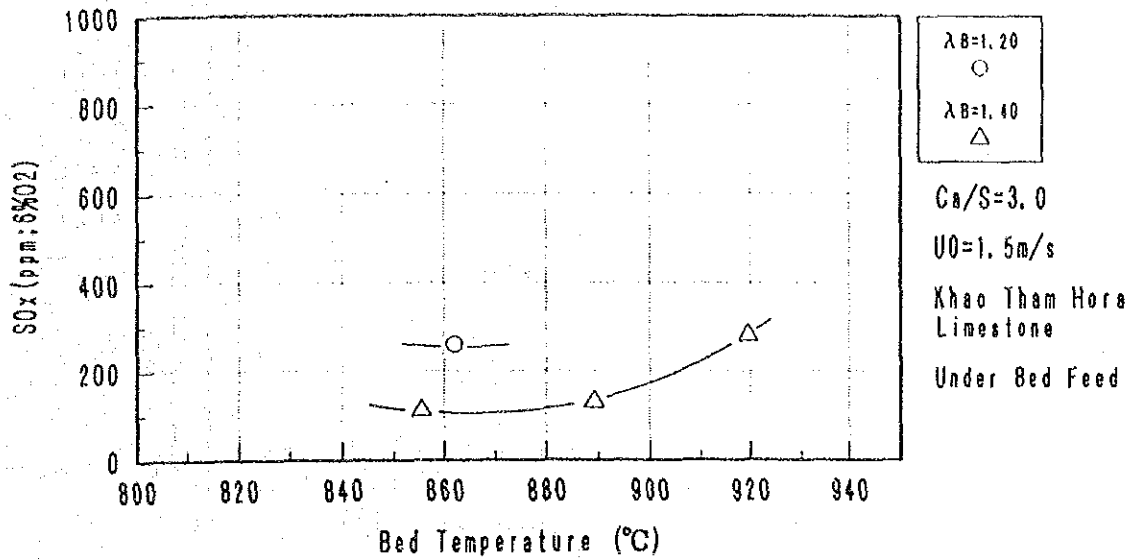


Fig 8-14 SOx emission with different air ratios

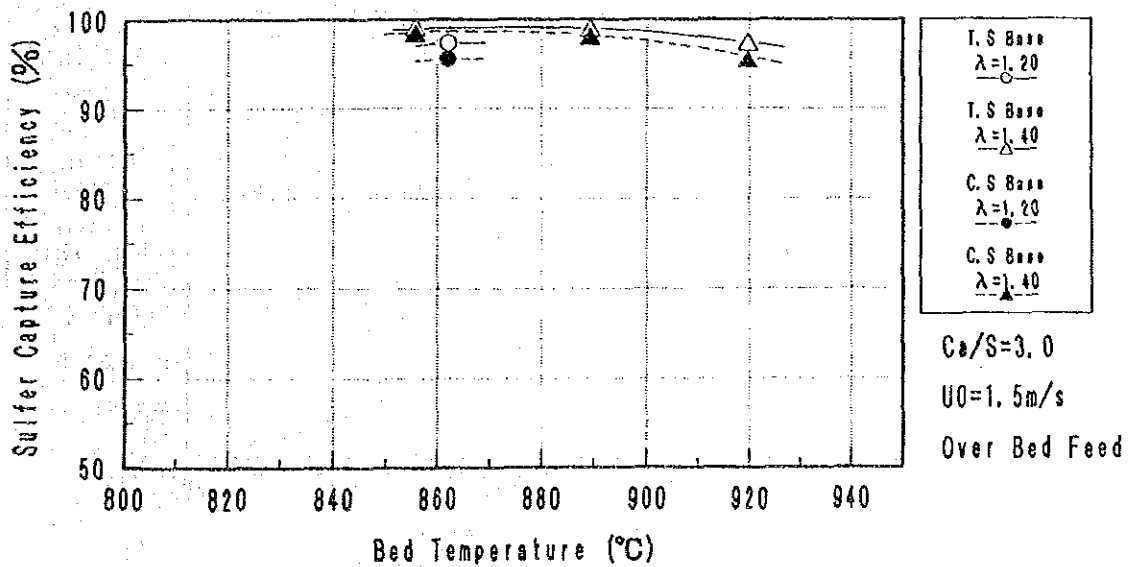


Fig 8-15 Sulfur capture efficiency with different air ratios

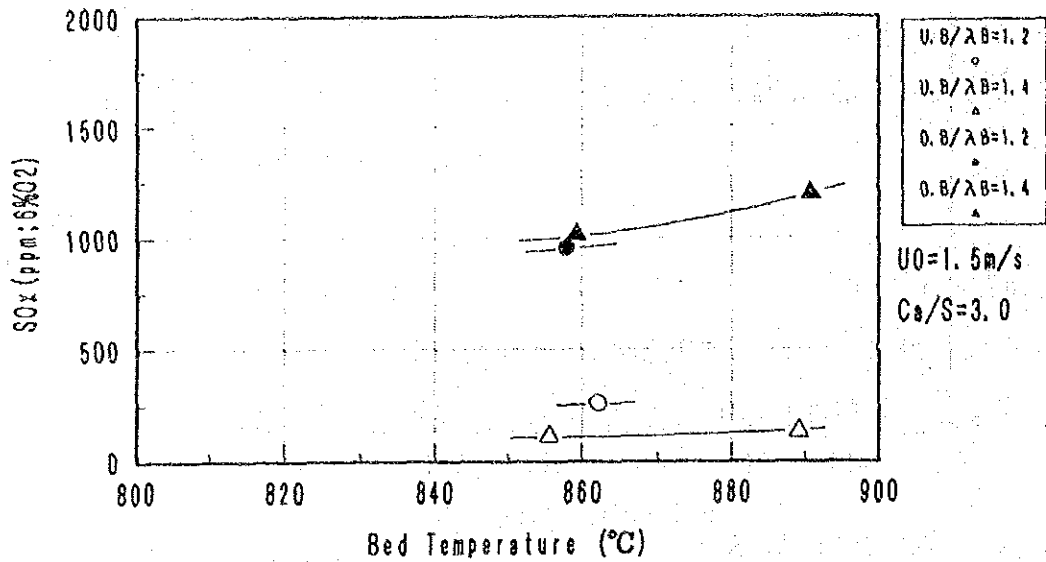


Fig 8-16 SO_x emission with two different coal feed systems

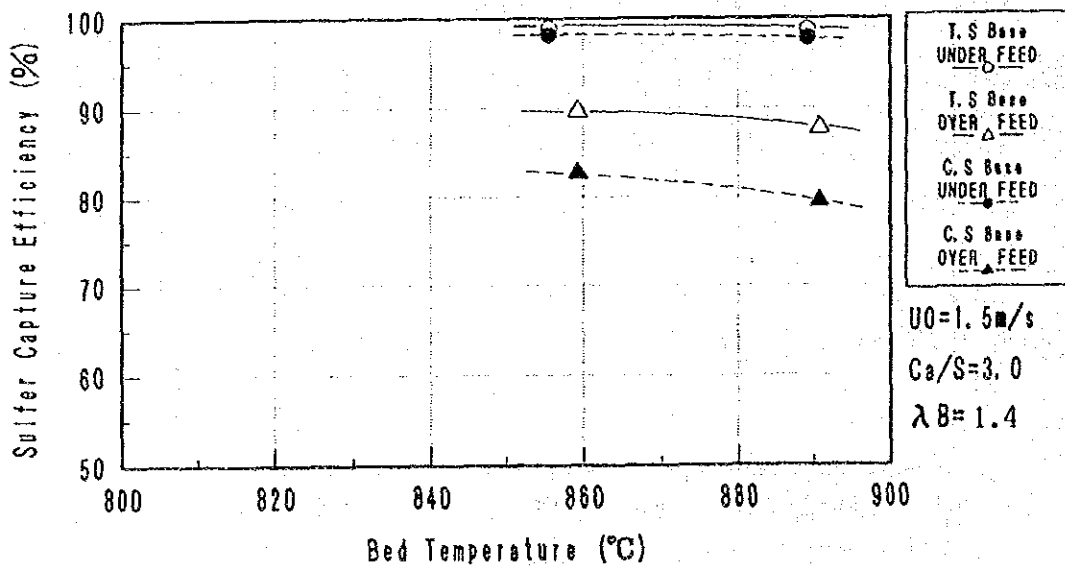


Fig 8-17 Sulfur capture efficiency with different coal feed systems

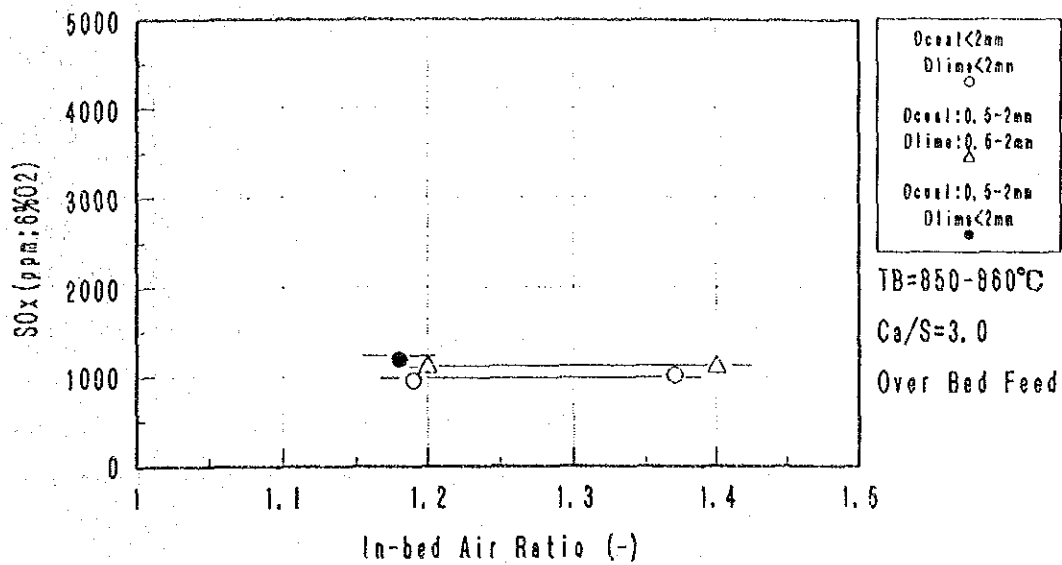


Fig 8-18 SO_x emission with different coal and limestone sizes

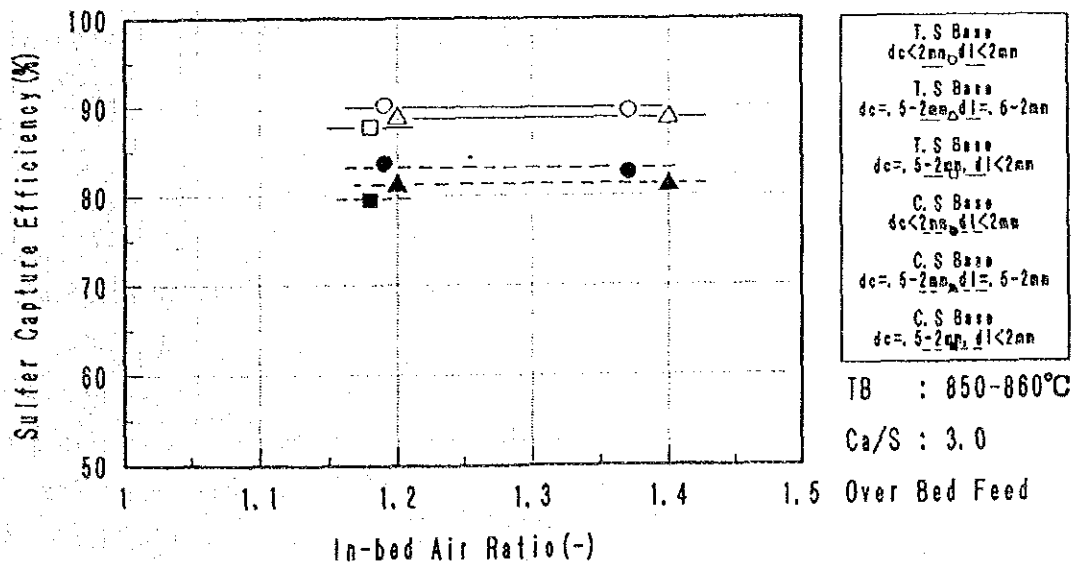


Fig 8-19 Sulfur capture efficiency with different coal and limestone sizes

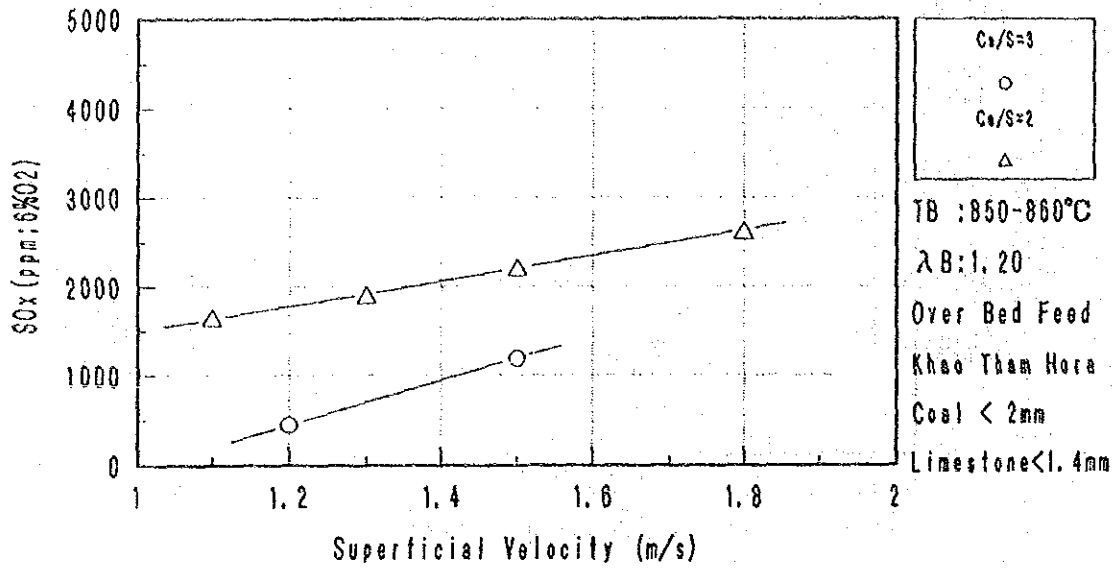


Fig 8-20 SOx emission with different superficial velocity

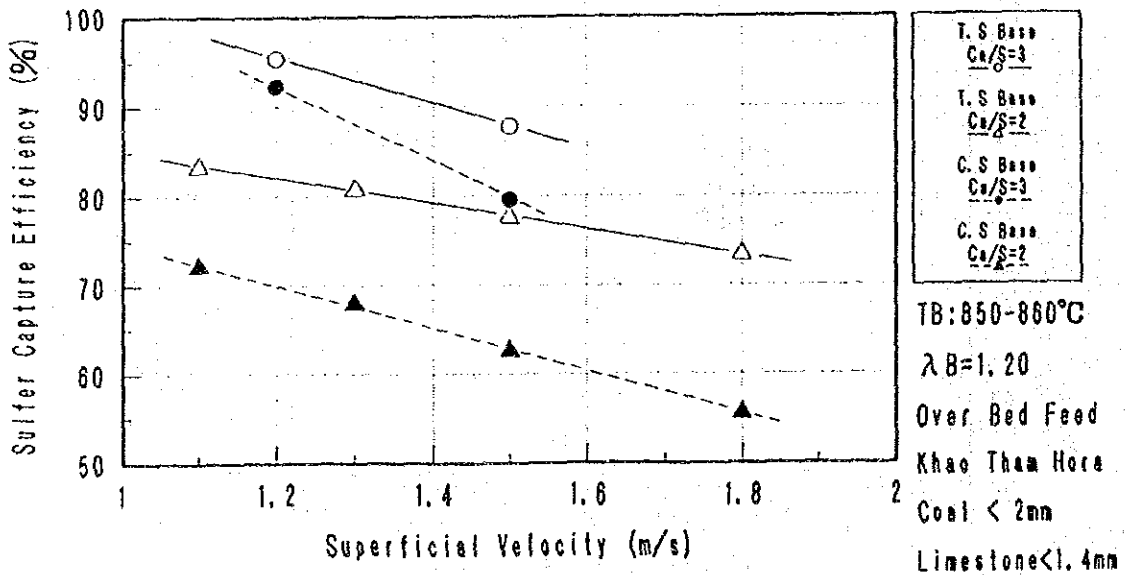


Fig 8-21 Sulfur capture efficiency with different superficial velocity

(2) NO_x

FBC燃焼の場合、窒素酸化物の発生は低温燃焼であるが故に熱生成窒素酸化物の発生は少ないと考えられるが、燃料起源窒素酸化物の発生は無視できない。

燃料中の窒素分のNO_x転換率を1と考えた場合、シンプンリグナイト及びクラビリグナイトのNO_x発生濃度は各々以下の通りとなる。

シンプンリグナイト

$$\left(\frac{0.0049}{14} \times 1,000\right) \text{ Mol/kg fuel} \times 0.0224 \text{ Nm}^3/\text{Mol} = 0.00784 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel (D. B.)}$$

$$\frac{0.00784}{5.642} \times 10^6 \approx 1,390 \text{ ppm}$$

クラビリグナイト

$$\left(\frac{0.0071}{14} \times 1,000\right) \text{ Mol/kg fuel} \times 0.0224 \text{ Nm}^3/\text{Mol} = 0.01136 \text{ Nm}^3/\text{kg fuel (D. B.)}$$

$$\frac{0.01136}{4.135} \times 10^6 \approx 2,747 \text{ ppm}$$

実際には含有窒素分はすべてが燃焼過程で燃料起源NO_xに転換されるのではなく、日本における50MW A-FBC 実証プラントでは転換率は0.1~0.2程度に収まっている。

脱硫試験時に測定したNO_xの結果を以下に報告する。

Fig. 8-22 にNO_xに及ぼす層温の影響を示す。従来の炭種と同様に層温の上昇ともなってNO_xも増加している。この図にはCa/Sモル比を変えたときのNO_xに及ぼす影響も合わせて示しているが、従来日本の実証試験で見られた、Ca/Sモル比が増加するとNO_xが増加するという傾向はなく、逆にNO_xが減少する傾向が見られた。

NO_xの絶対値としては100~300ppmであり、従来のφ100炉におけるNO_x値に対しては極めて低い値となっている。これについては、8.6.2で考察する。

Fig. 8-23 は石灰石銘柄の影響を示しているが、タイ産石灰石は日本産に比べNO_xは低くなる傾向が見られた。

Fig. 8-24 石炭、石灰石粒径のNO_xに及ぼす影響を示したものである。石炭0.5 mmアンダカット、石灰石2 mmアンダの条件においてNO_xが顕著に低下しているが、

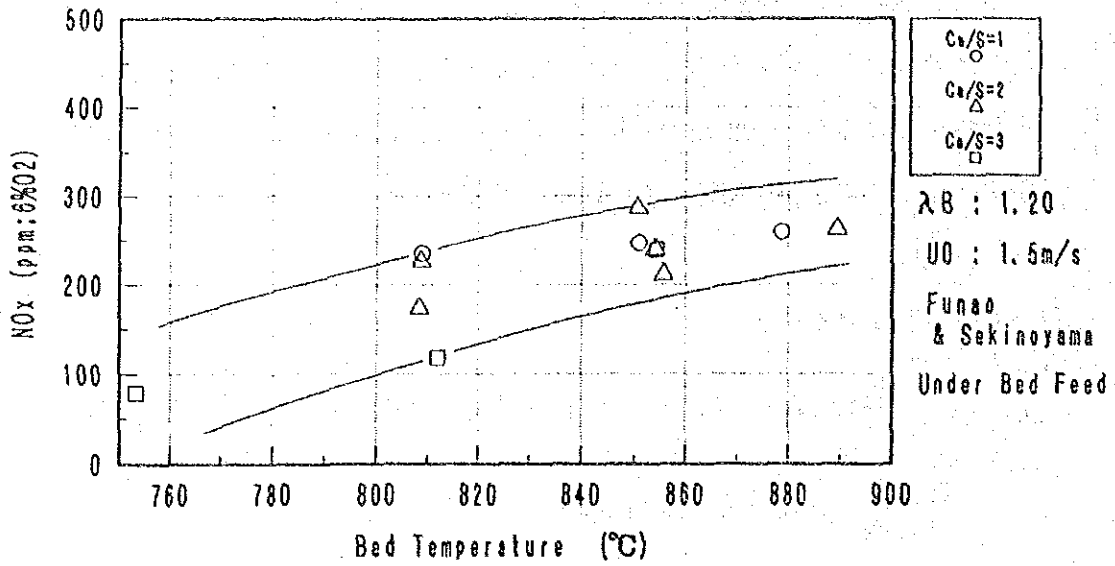


Fig 8-22 NOx emission with different bed temperatures

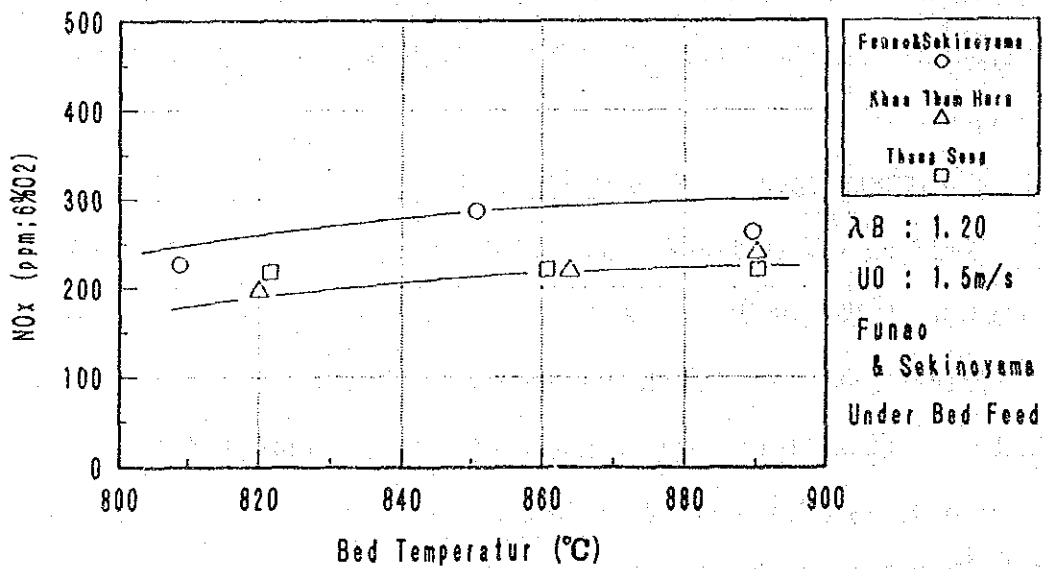


Fig 8-23 NOx emission with different limestones

これは、供給粒径だけでなく同時に層内媒体粒径も、空塔速度1.2m/s運転に備えて流動の安定化を図るために、それまで2mmアンダであったがこれを1.4mmアンダとしていたためである。石灰石0.5~2mmでの試験ではNOxは石炭2mmアンダ給炭時と変わらないことから、上記のNOxが顕著に低下した原因は、媒体粒径を小さくしたことによると考えられる。(この傾向は今までのφ100炉での試験で同様に見られた。)

さらに Fig. 8-25 には空塔速度の影響を示しているが、1.5m/s程度で最も低くなる傾向が見られるが、これは層内空気比の若干のばらつきによるものと判断される。すなわち Fig. 8-26 に示すとおり、1.5m/sのデータが低空気比側に片寄って還元雰囲気での燃焼が進んでいるためと考える。

最後に給炭方式とNOxの関係を Fig. 8-27 に示した。この結果層内空気比1.2では上込め給炭の方がNOxは高く、層内空気比1.4では逆になるという結果となった。これについては8.6.2で考察する。

(3) 燃焼効率

灰中の未燃分の測定から得られたシンブン炭の燃焼効率について報告する。

下込め方式の燃焼効率は Fig. 8-28 及び 8-29 に示したように、従来の実績と同じように層温の上昇に伴って増加し、層温800~900°Cの範囲では98%以上の燃焼効率が得られた。層内空気比に対する特性も従来通り空気比の増加により燃焼効率も増加することがわかった。

日本のFBC実証試験における石炭燃料比(固定炭素分/揮発分)と燃焼効率の関係を Fig. 8-30 に示す。本図から燃料比が低い程燃焼効率が高いことが解り、シンブンリグナイト及びクラビリグナイトにおいて燃料比が各々0.35及び0.43と低く99%以上の燃料効率が実機においても期待される。

Fig. 8-31 には上込め給炭における、粒径変化試験時の燃焼効率を示した。この結果からは、0.5mm以下有り、無しの違いは顕著に見られないが、燃焼効率がほぼ99.5%という極めて高いため、ほとんど運転条件等の影響を受けないほど良好に燃焼していると判断される。この結果では、前述の下込め給炭の時の燃焼効率よりも高い値が得られ、一般に言われている結果とは相反する。それを具体的に示したのが Fig. 8-32 であるが、特に層内空気比の低い条件ではその傾向が顕著に現れてい

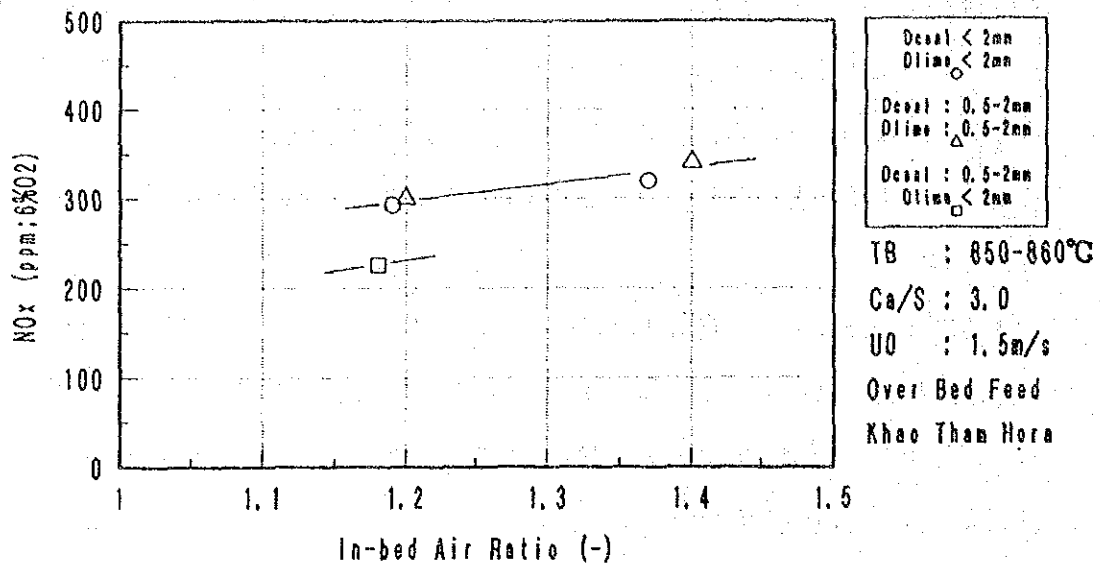


Fig 8-24 NOx emission with different coal and limestone sizes

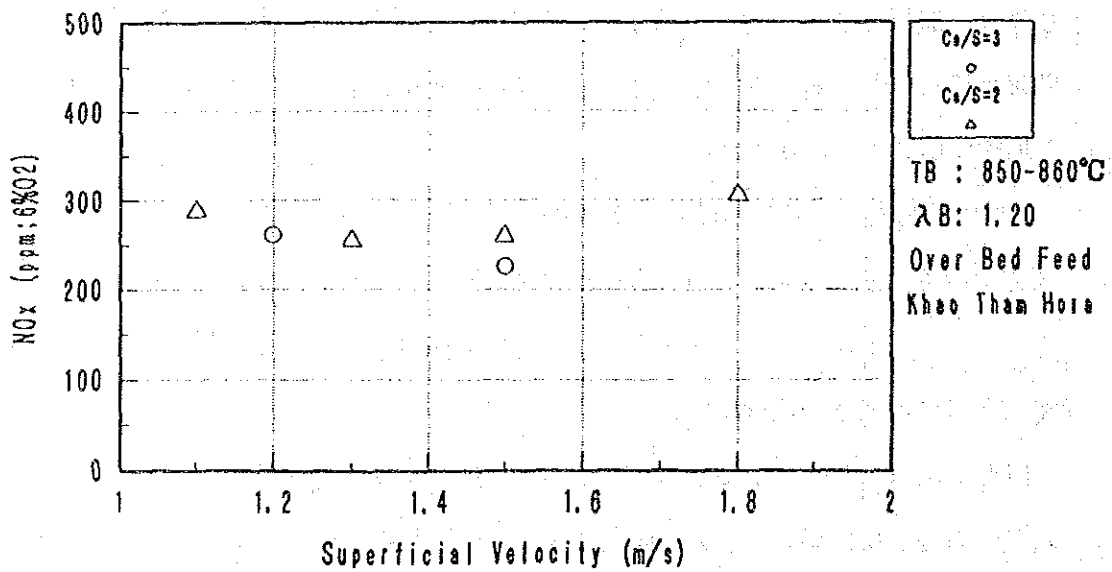


Fig 8-25 NOx emission with different superficial velocities

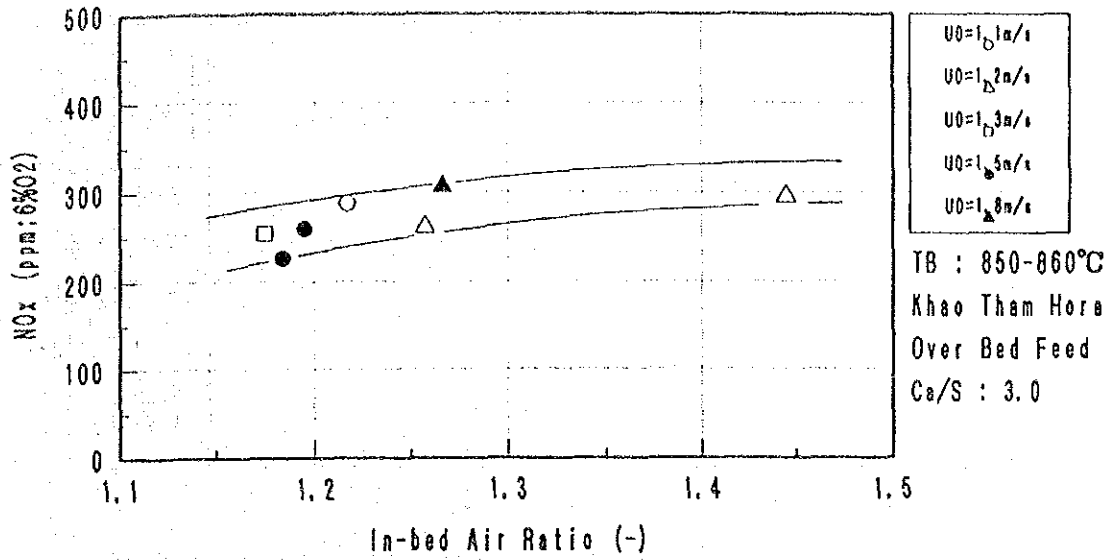


Fig 8-26 NOx emission with different in-bed air ratio

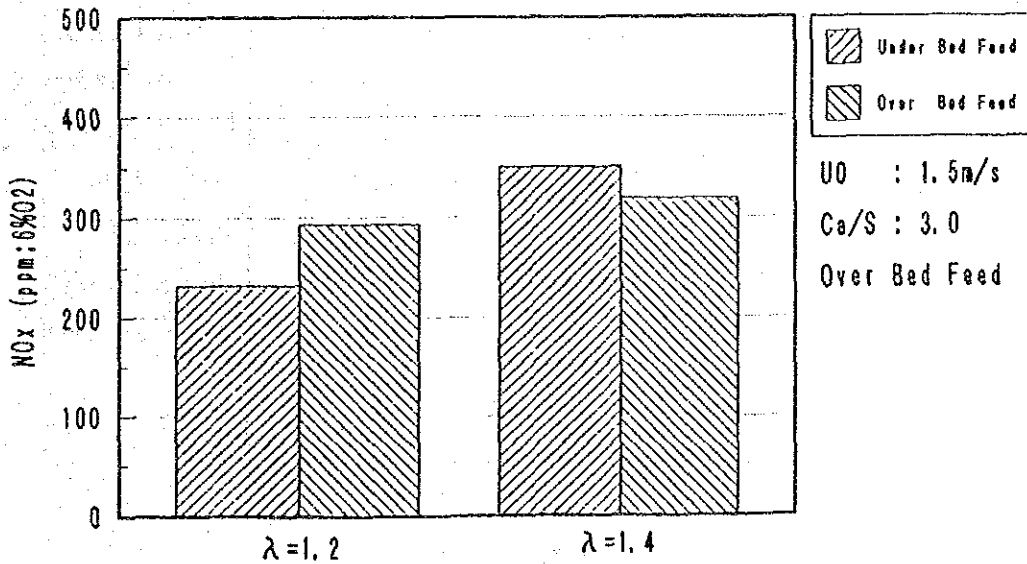


Fig 8-27 NOx emission with different coal feed systems

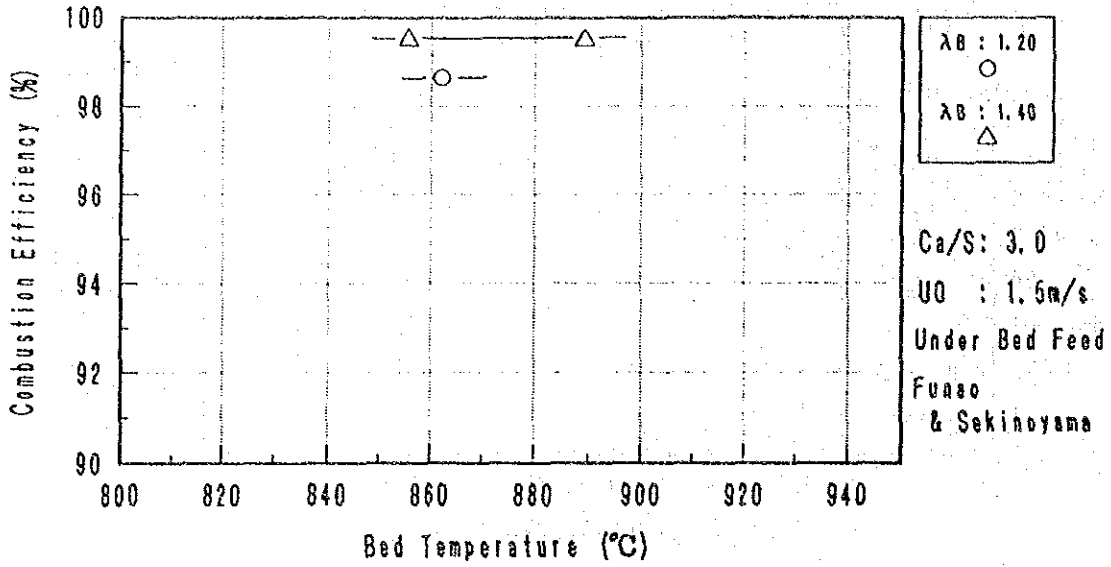


Fig 8-28 Combustion efficiency with different bed temperatures

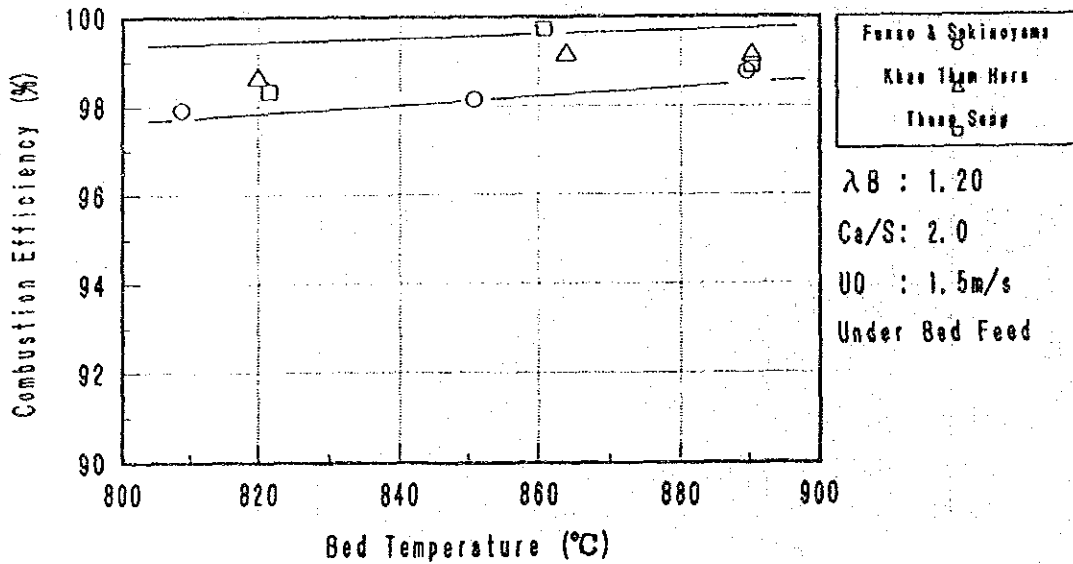


Fig 8-29 Combustion efficiency with different limestone

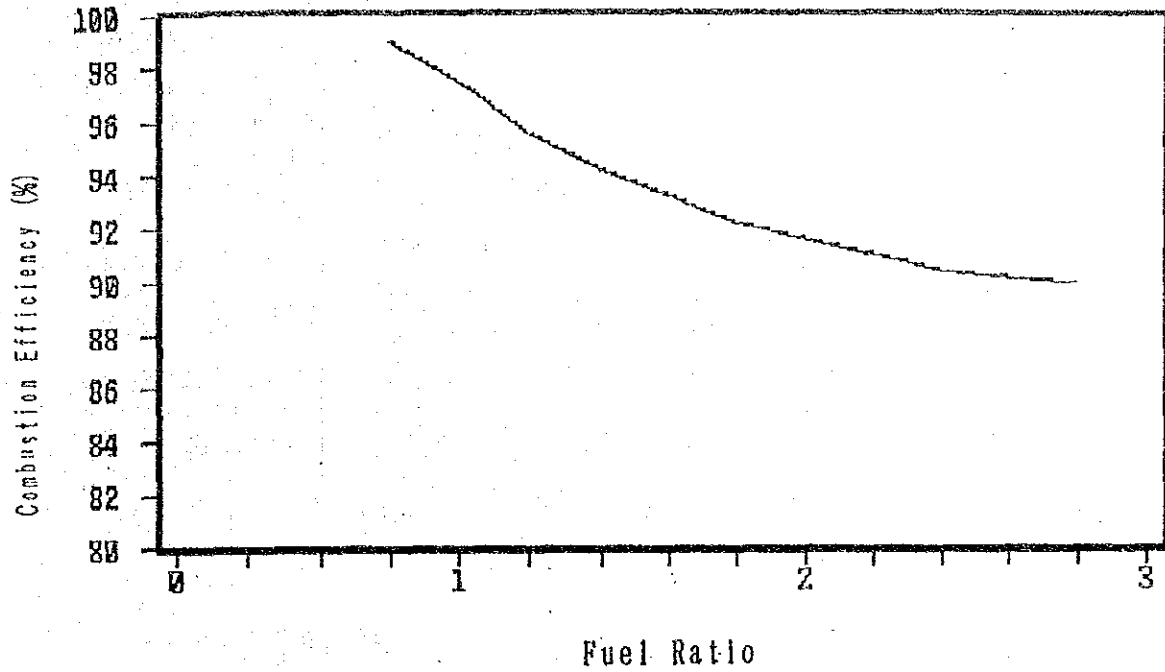


Fig 8-30 Fuel Ratio-Combustion Effi.

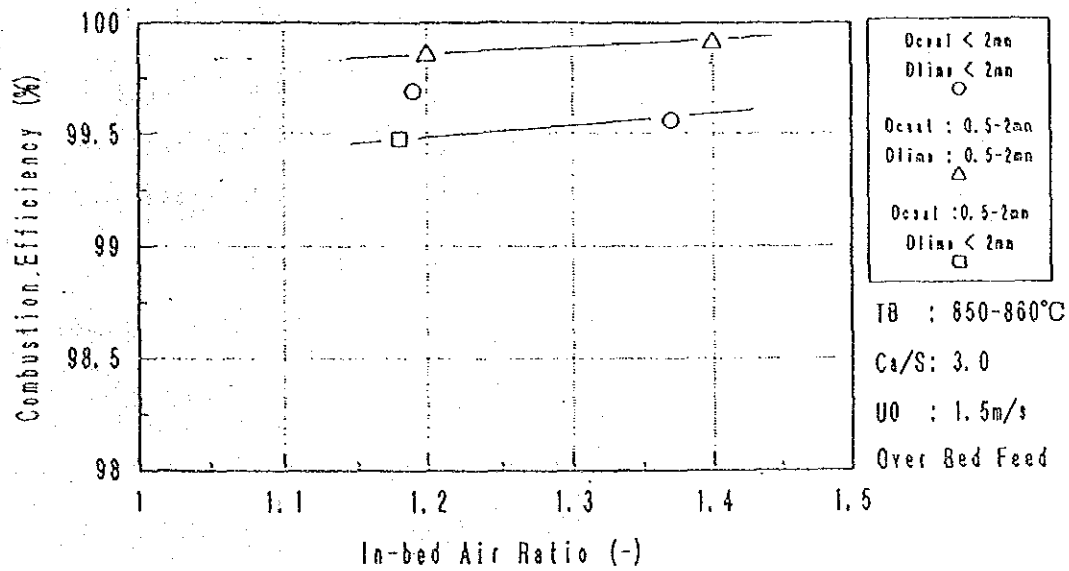


Fig 8-31 Combustion efficiency with different coal and limestone sizes

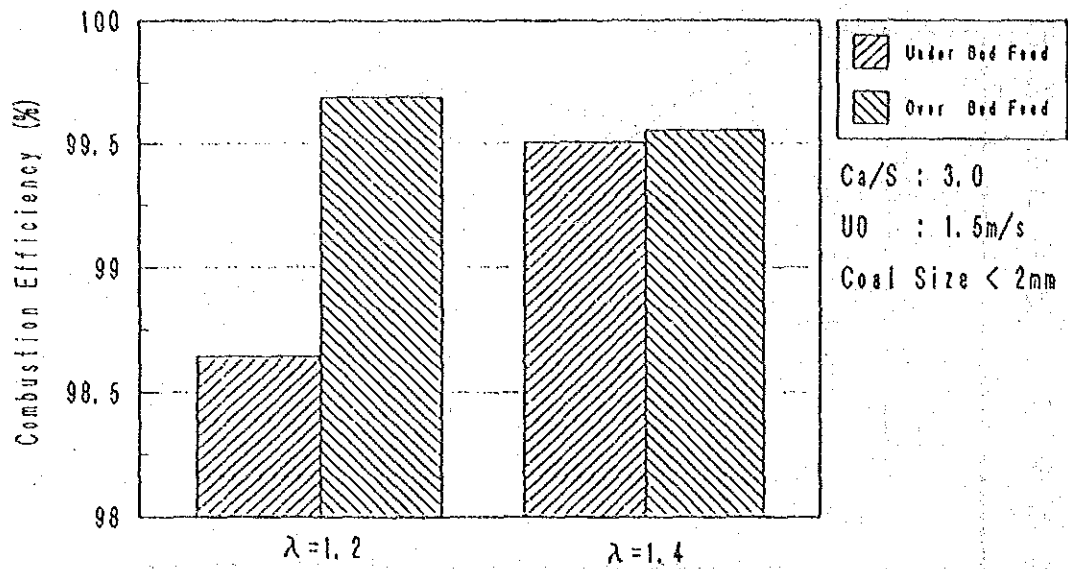


Fig 8-32 Combustion Efficiency with different two coal feed systems

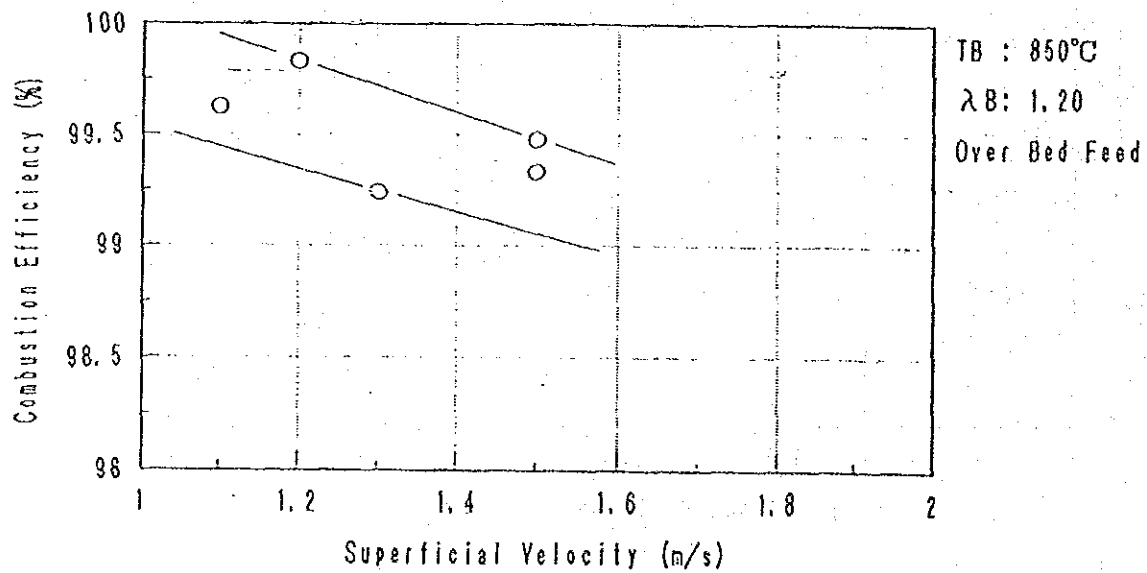


Fig 8-33 Combustion Efficiency with different superficial velocities

る。シンプリグナイトは従来に経験のない極めて燃料比の低い炭種であり、揮発分の燃焼によって給炭ノズル近傍では相当の空気不足条件で層内での燃焼が十分進んでないものと推測されるが、その傾向は下込め給炭の方がより顕著になるものと思われる。一方上込め給炭では石炭搬送用空気が全空気の約15%を占めるという、2段燃焼条件となっており、層上でも良好な燃焼条件下にあると考えられる。従って下込めの場合十分な空気を供給し、層内の燃焼条件を改善することによって燃焼効率の顕著な増加が見られたものと思われる。

最後に Fig. 8-33 に空塔速度と燃焼効率の関係を示す。空塔速度の増加にともなって燃焼効率の低下が顕著に見られた。しかしながら、空塔速度1.5m/s程度以下であれば99%以上の燃焼効率を得られている。

8.5.2 シンブン炭燃焼性能試験

予備試験で得た運転パラメータを基本に層温・Ca/Sモル比パラメータを変化させ、環境特性及び燃焼効率を測定した。シンブン炭燃焼性能試験結果を Table 8-8 に示す。Fig. 8-34 にシンプリグナイト燃焼性能試験時の層温及びCa/Sモル比とSO_xの関係を示す。予備試験結果と同様に脱硫最適温度は従来の800~820°Cに対し、850~860°C程度となっている。またSO_x<700ppmの条件に対しては、予備試験で確認した通り上込め給炭方式ではCa/Sモル比3以上が必要である。空気比を1.20から1.10に低減することによって若干のNO_x低減が見られる。

Fig. 8-35 には同じく層温度と脱硫率の関係を、全Sベース (T. S Base) と燃焼性Sベース (C. S Base) で示すが、Ca/Sモル比を3から4まで増加することによって、脱硫率はさらに増加し、全Sベースで約98%程度と従来の炭種に比べ高い脱硫効率が見られている。

Fig. 8-36 に層温度とNO_xの関係を示す。NO_xは層温の上昇にともなって増加する。また空気比1.20から1.10に低減することによって約50ppm減少する。さらにCa/Sを2から3に増加することによってNO_xは顕著に増加しているが、さらに4まで増加した場合はNO_xの増加は見られなかった。

Fig. 8-37 に層温度と燃焼効率の関係を示す。層温度の増加に伴って燃焼効率は顕著に増加している。また層内空気比の減少にともなって燃焼効率低下が見られる。層温度850度、層内空気比1.20において99%以上の燃焼効率が見られることがわかる。

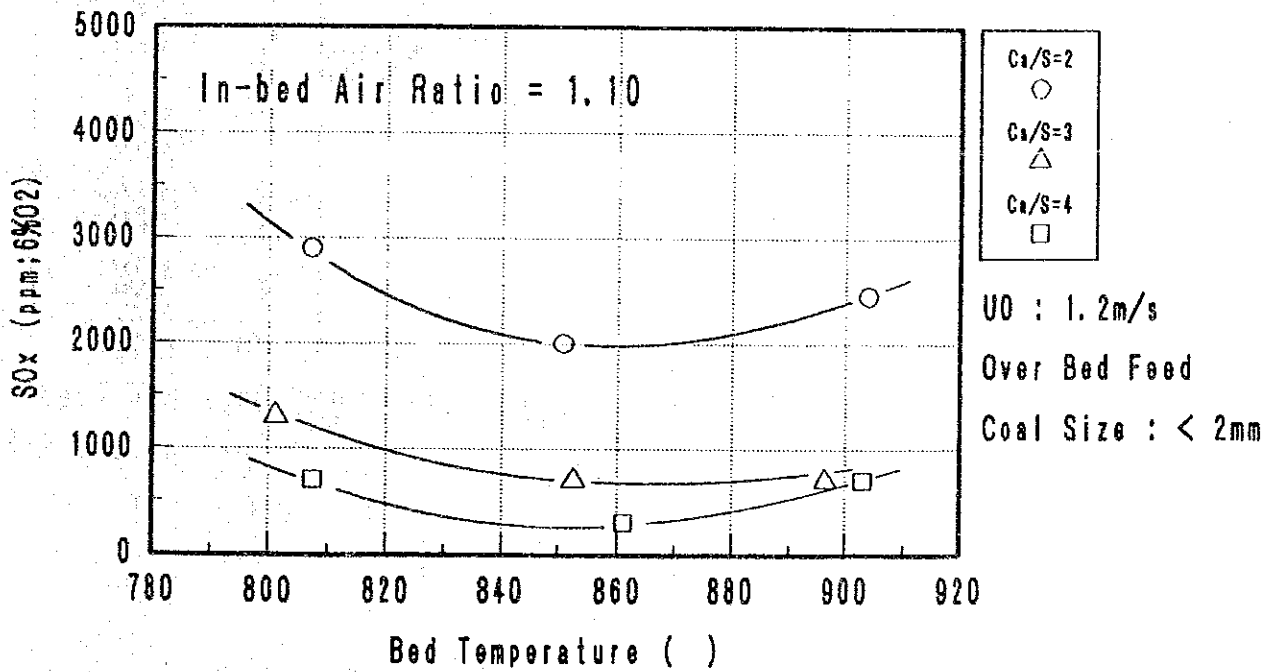
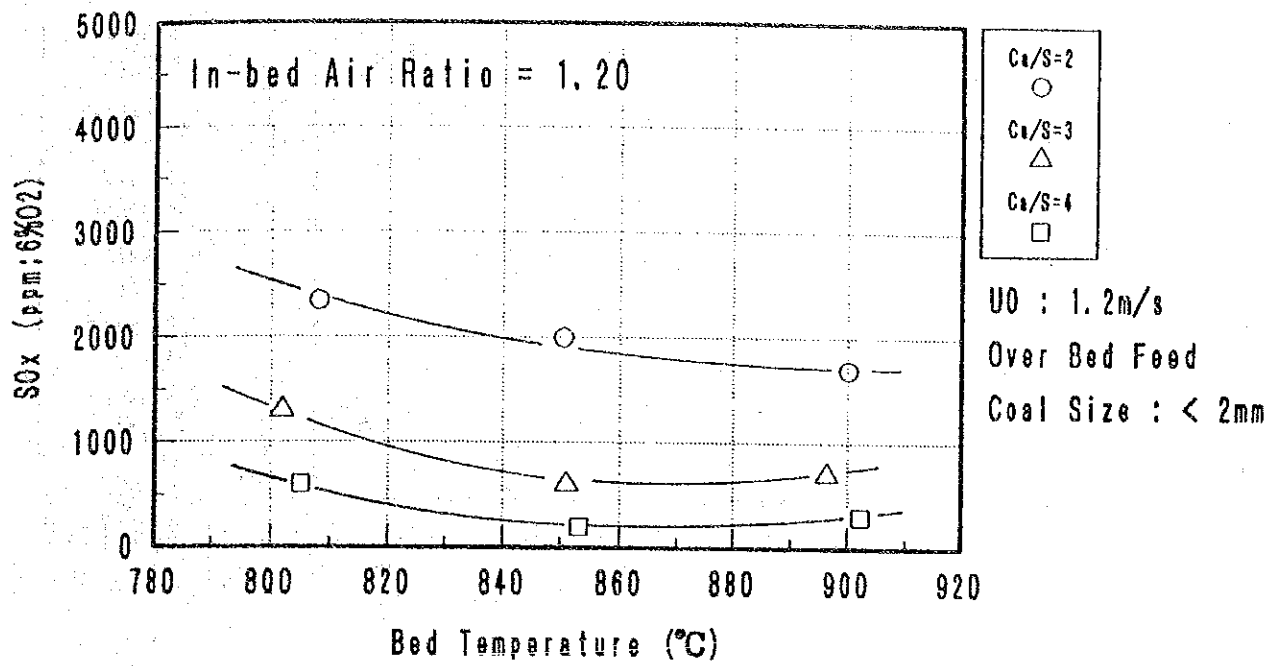


Fig 8-34 SOx emission with different bed temperatures and Ca/S molar ratio

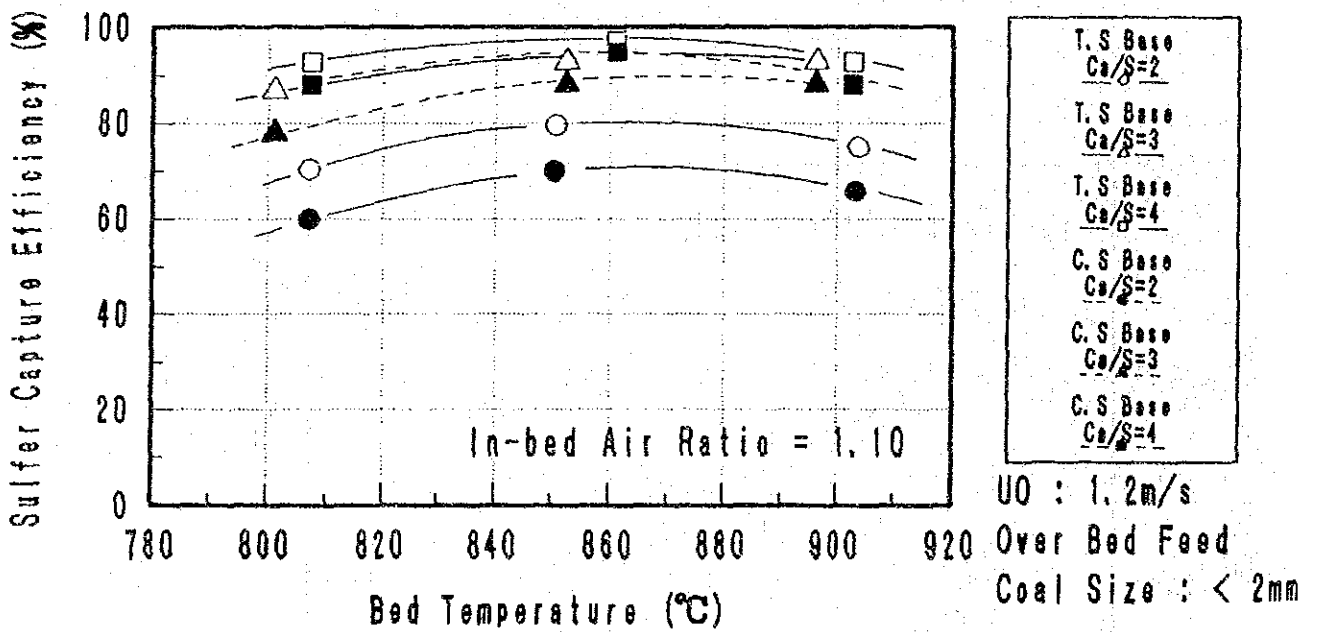
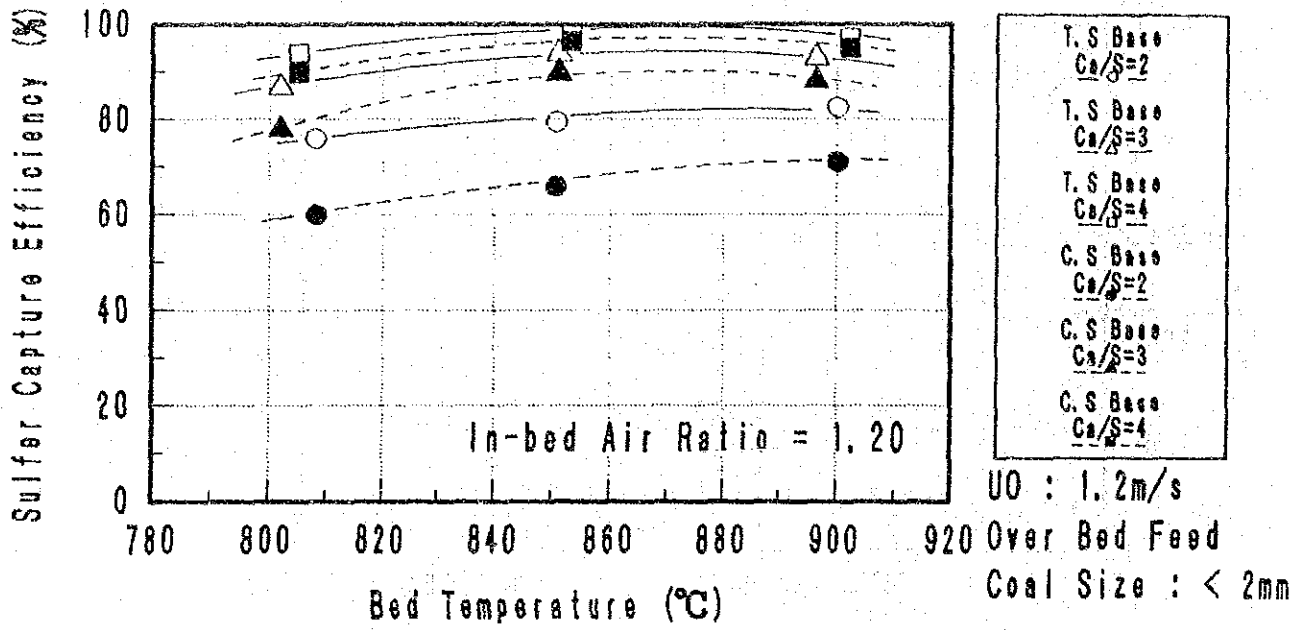


Fig 8-35 Sulfur capture efficiency with different bed temperatures and Ca/S molar ratio

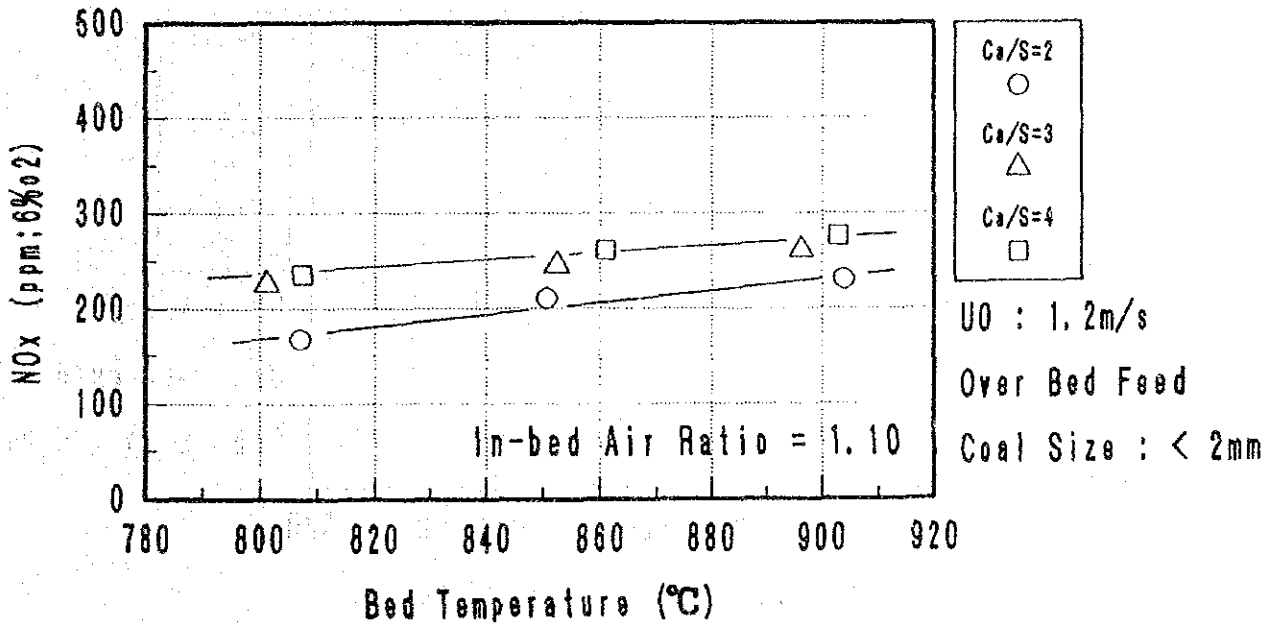
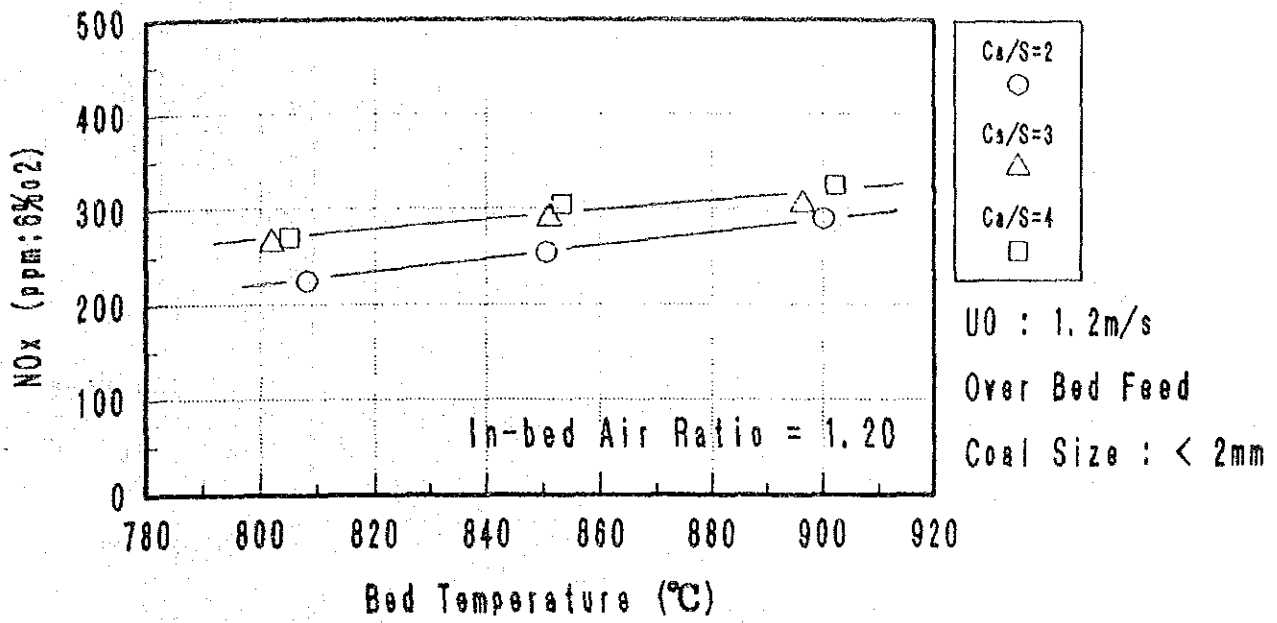


Fig 8-36 NOx emission with different bed temperatures

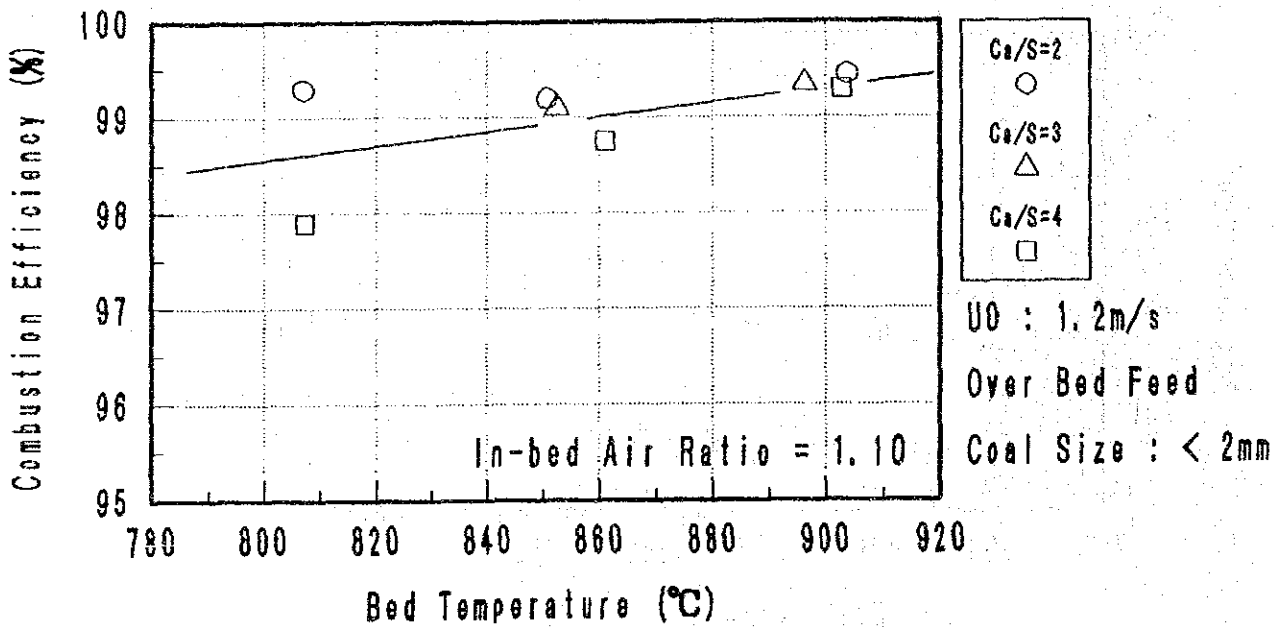
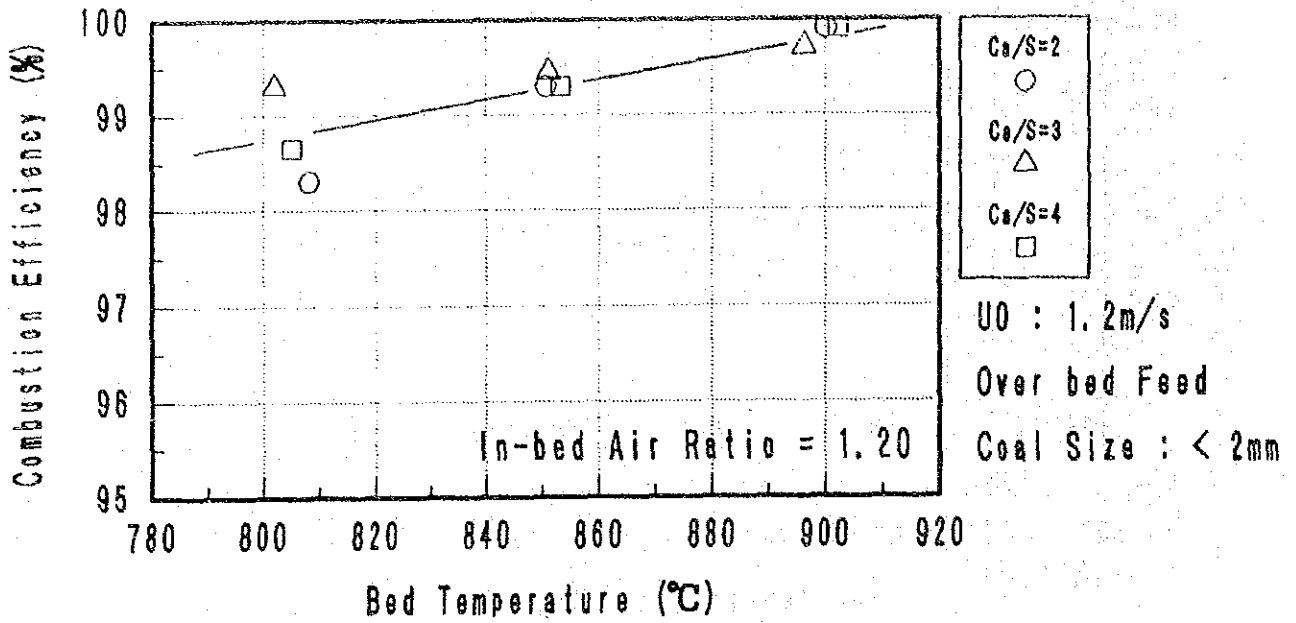


Fig 8-37 Combustion efficiency with different bed temperatures

8.5.3 クラブリグナイト燃焼性能試験

クラブリグナイト燃焼性能試験結果を Table 8-9 に示す。クラブリグナイト燃焼性能試験結果をシンブンリグナイト燃焼性能試験の結果と比較して以下に説明する。

Fig. 8-38 に層温度とSO_xの関係を示す。クラブリグナイトはシンブンリグナイトに比べ燃料中S分は約1/3程度とすくないにもかかわらず、SO_xレベルは高くなっている。この傾向は特に高温側で顕著に見られる。これについては、炭種だけでなく石灰石銘柄も異なっており、両者が影響していると思われる。

Fig. 8-39 には同じく層温度に対する脱硫率の特性を示すが、Ca/Sをモル比3において層温850度、層内空気比1.20の最適条件において、脱硫率はシンブン炭に比べ低く83%程度である。さらにモル比を増加することによって Fig. 8-41 に示す通りモル比4まで増加しても全Sベースで90%に至らなかった。

Fig. 8-42 にNO_xについての炭種比較を示す。様々な層温度、層内空気比条件において、クラブリグナイトはシンブンリグナイトに比較し高い値を示した。NO_x転換率はシンブンリグナイト0.13~0.18、クラブリグナイト0.1~0.13であった。

燃焼効率については Fig. 8-43 に示すとおり、これもシンブンリグナイトの方が良好な性能が得られ、脱硫、NO_x、燃焼効率の全ての性能の点でシンブンリグナイトの方が優れていることを確認した。

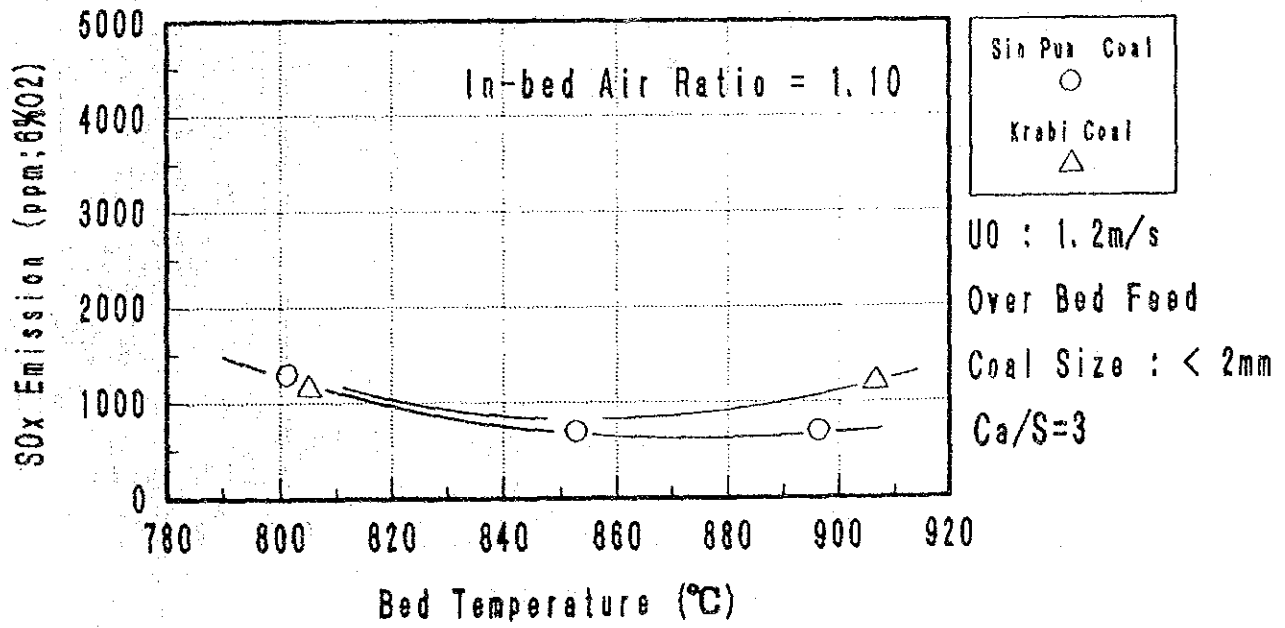
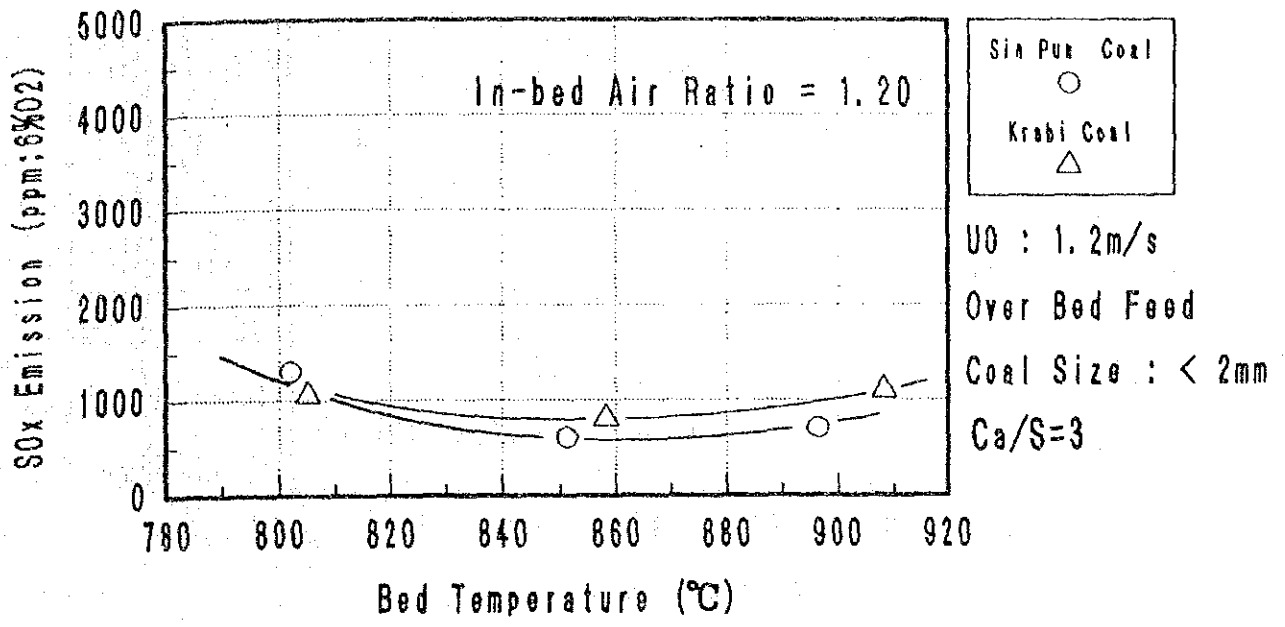


Fig 8-38 SOx emission with different bed temperatures

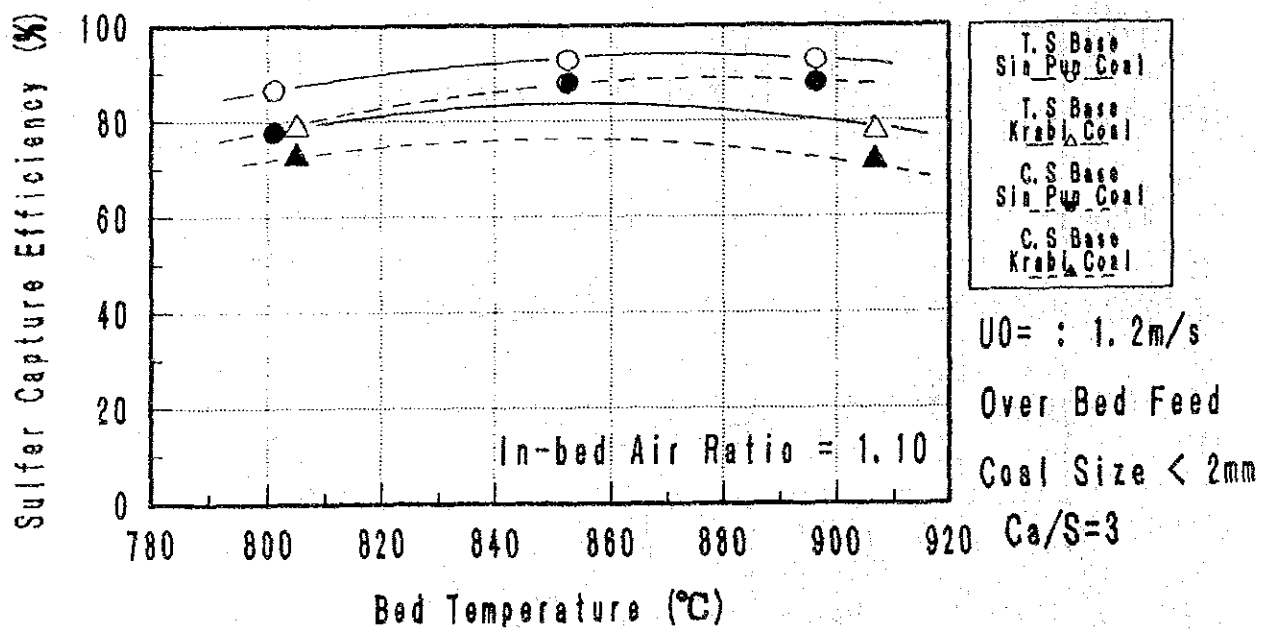
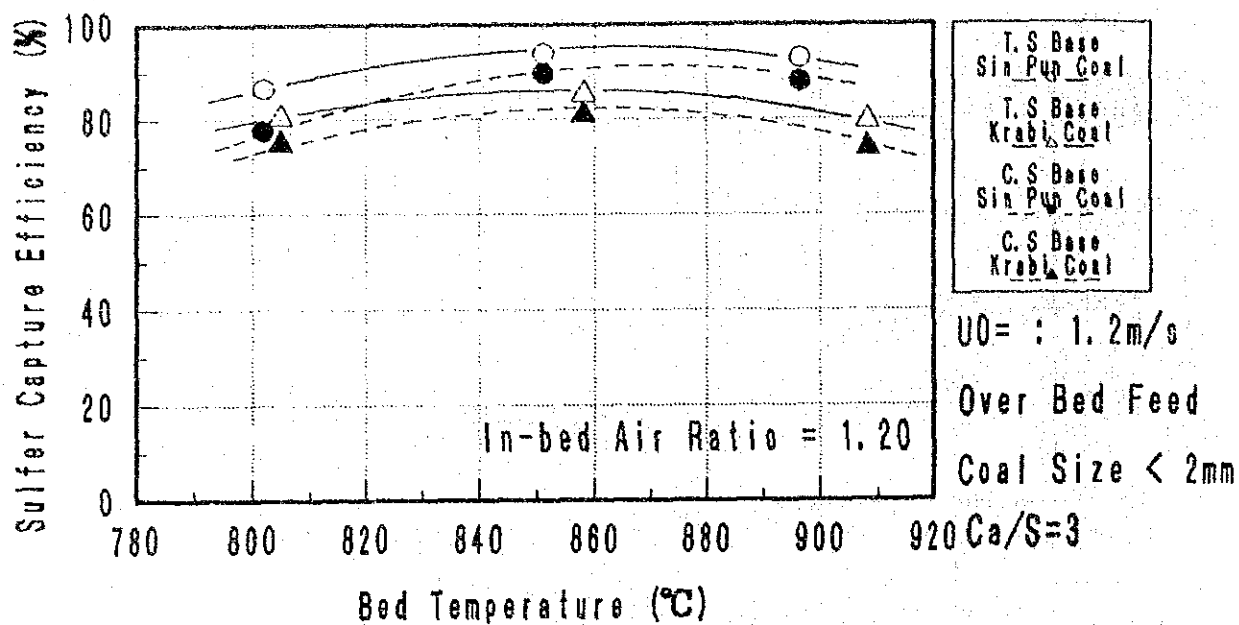


Fig 8-39 Sulfur capture efficiency with different bed temperatures

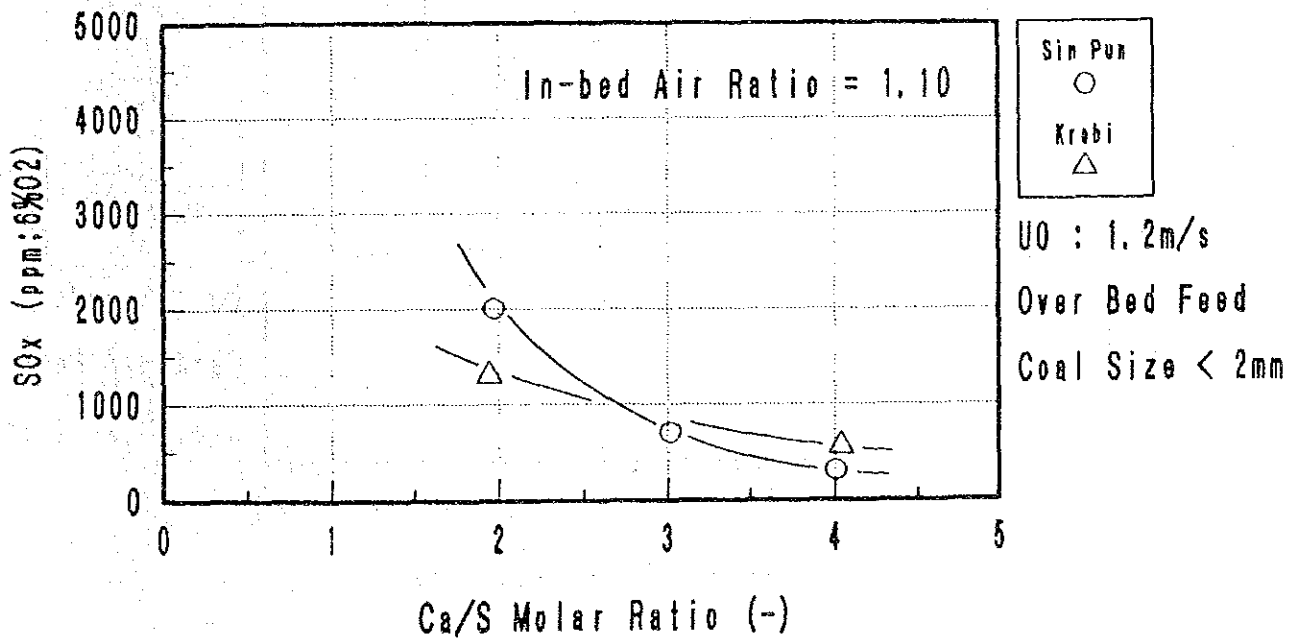
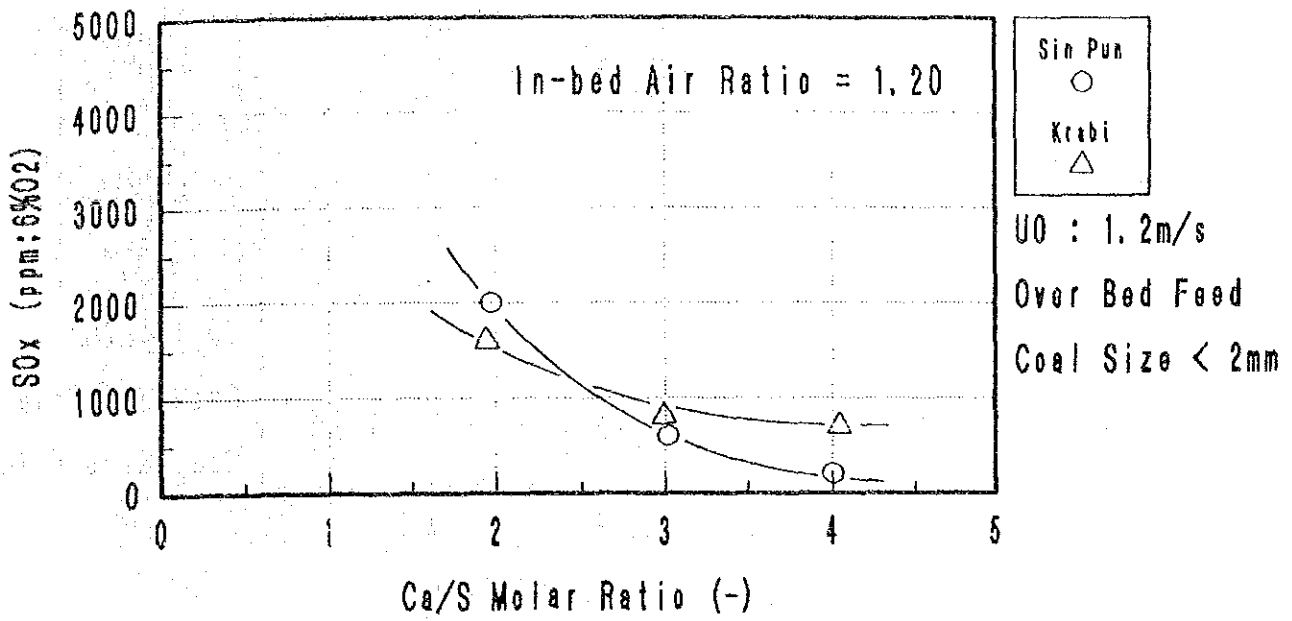


Fig 8-40 SO_x emission with different Ca/S molar ratios

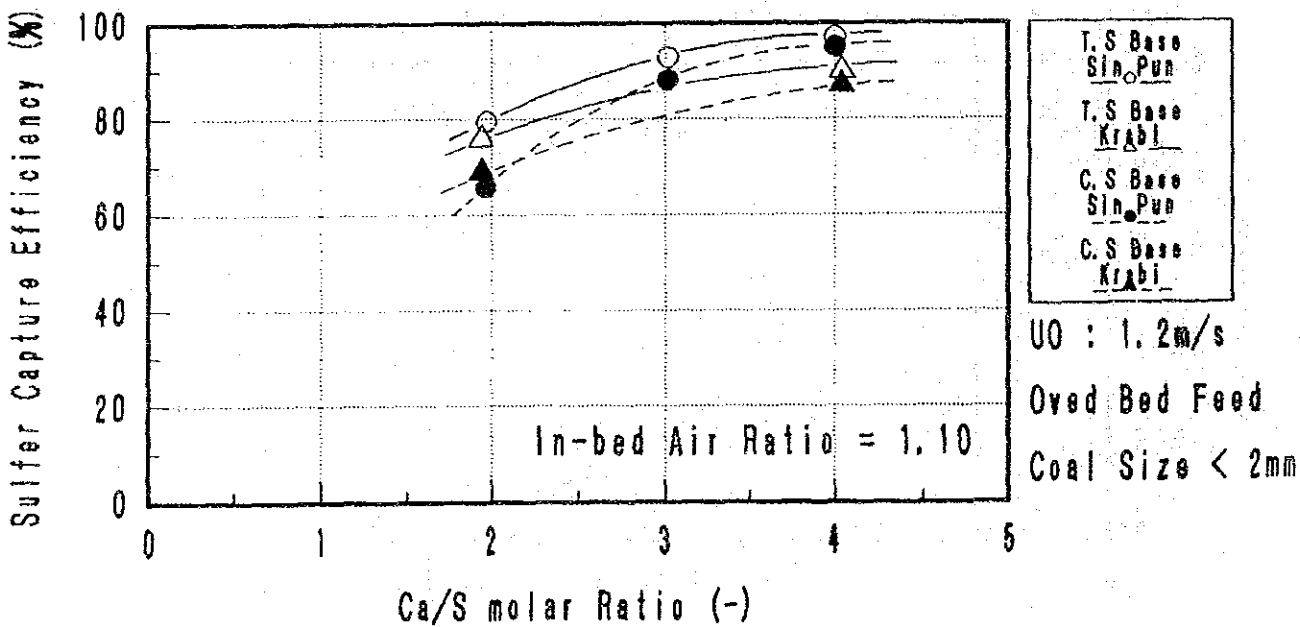
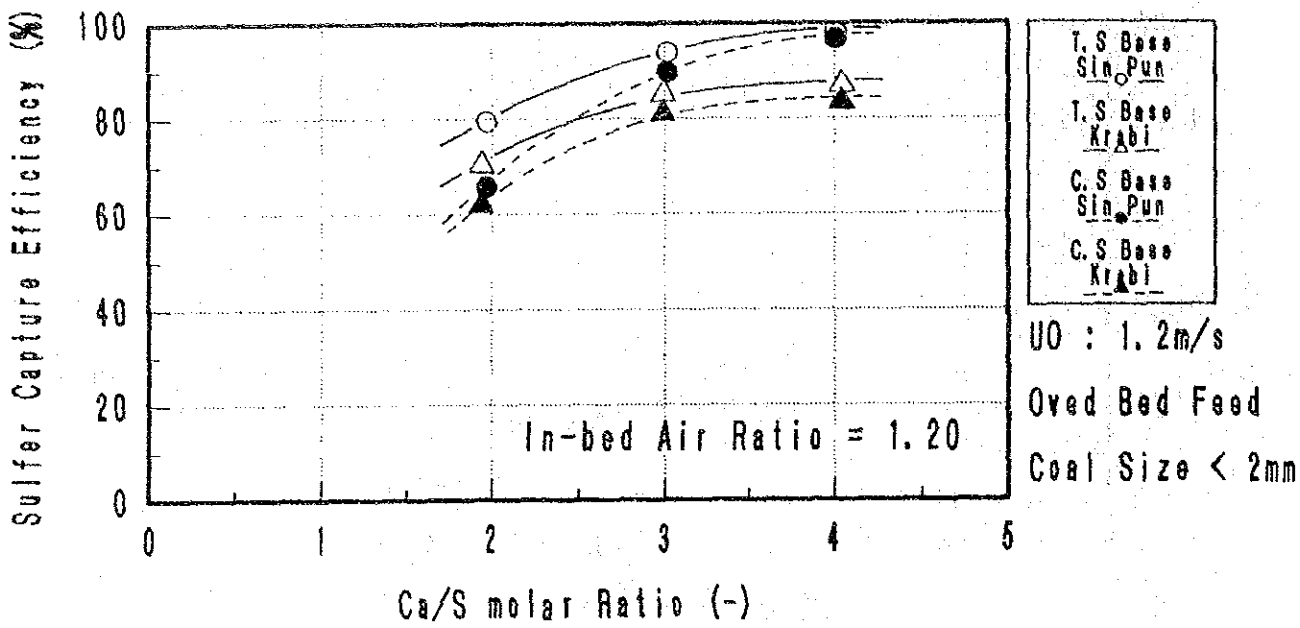


Fig 8-41 Sulfur capture efficiency with different Ca/S molar ratios

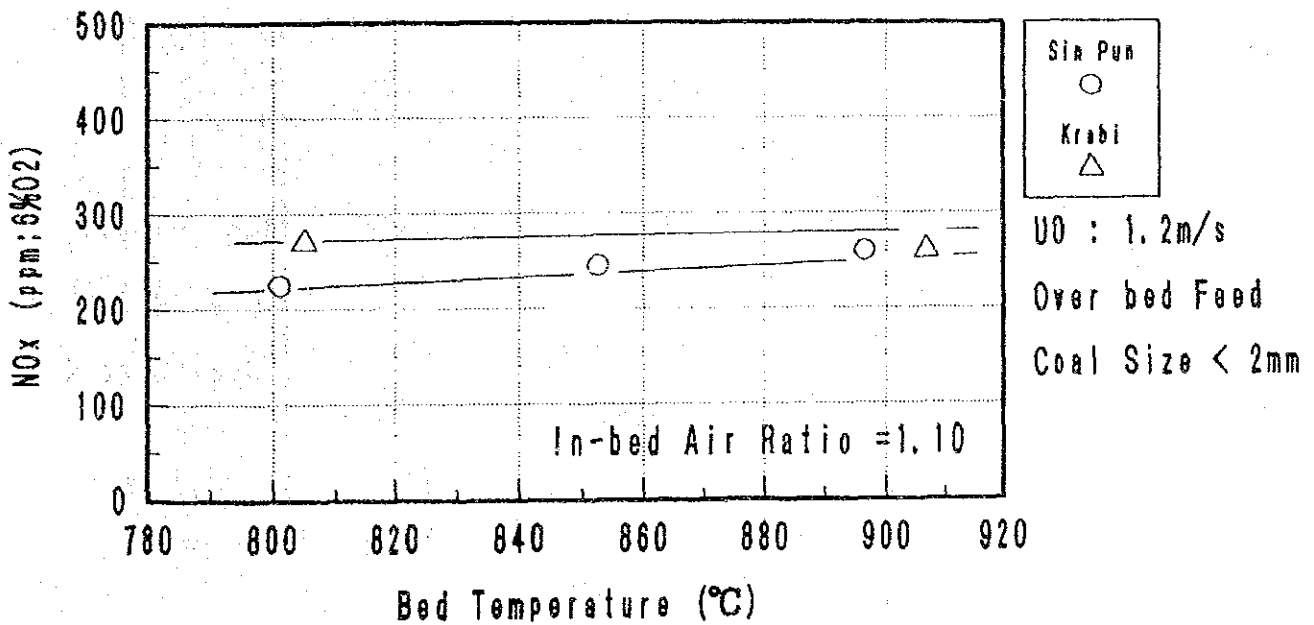
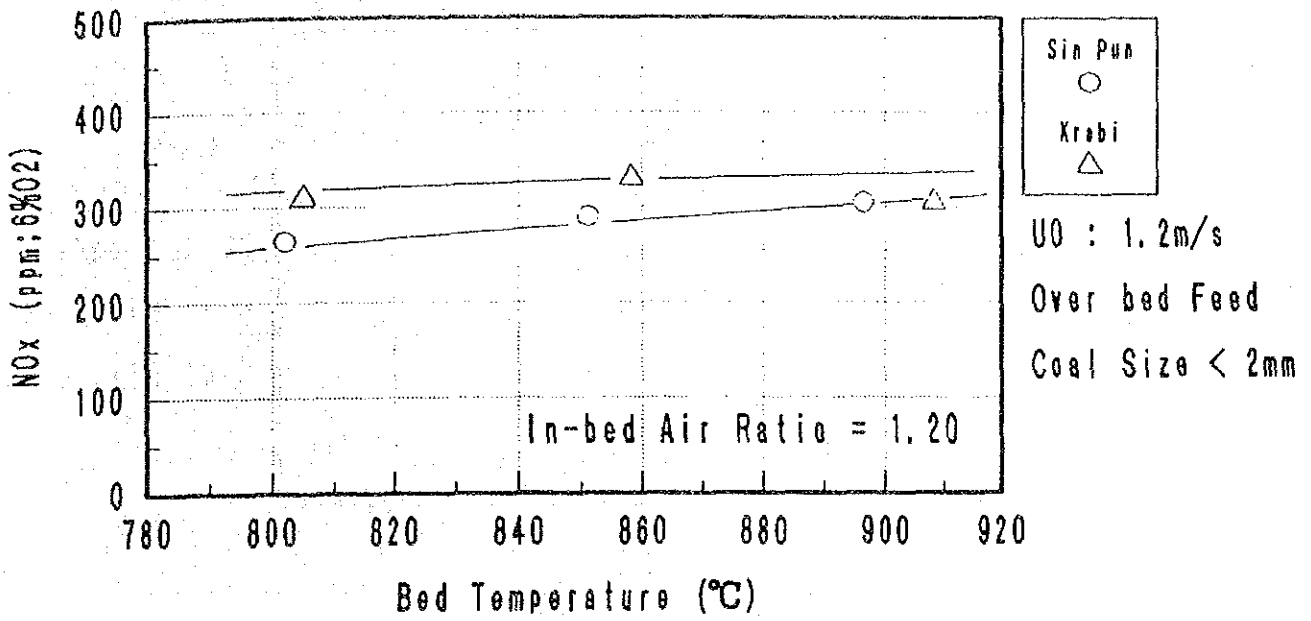


Fig 8-42 NO_x emission
 with different bed temperatures

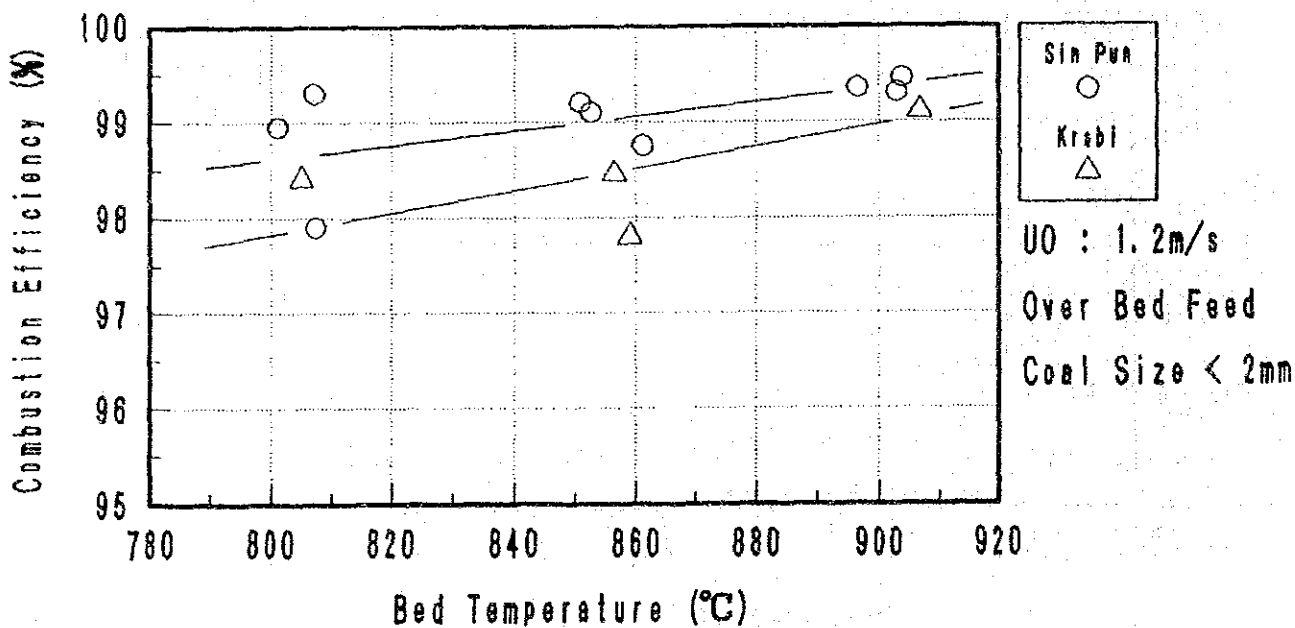
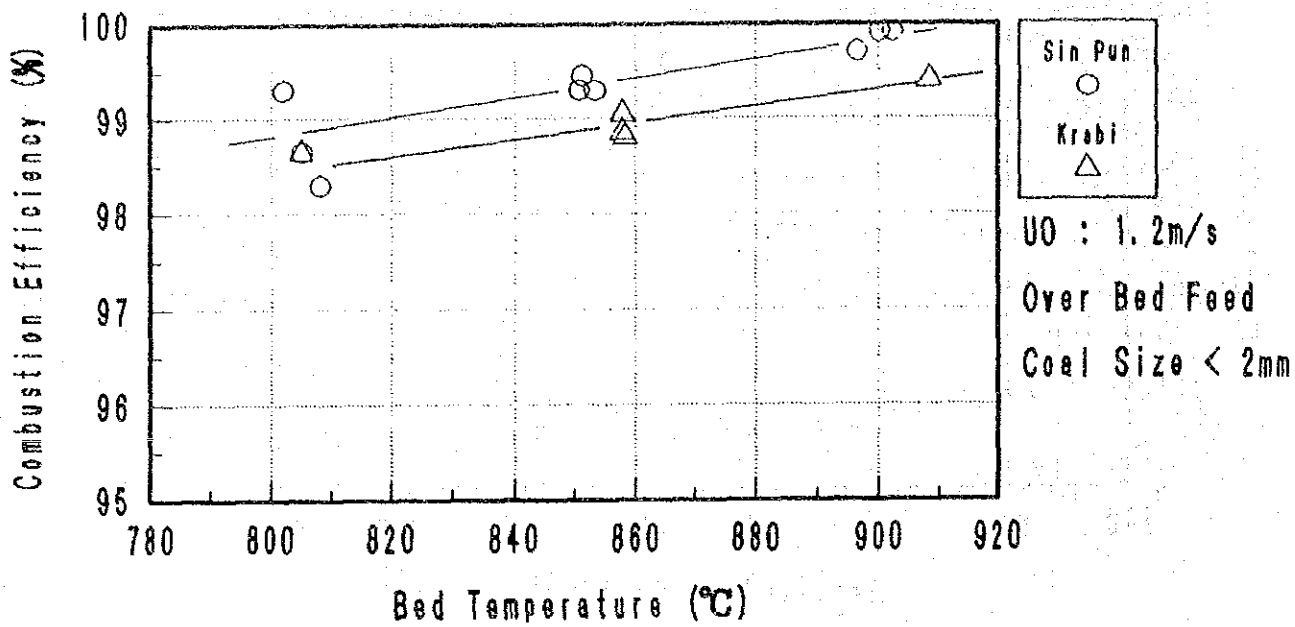


Fig 8-43 Combustion efficiency with different bed temperatures

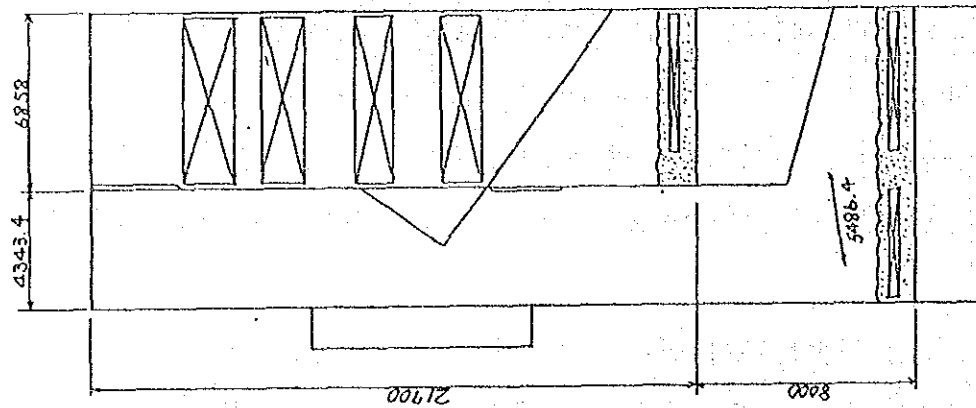
8.6 結果の評価

8.6.1 小型燃焼試験装置の特性

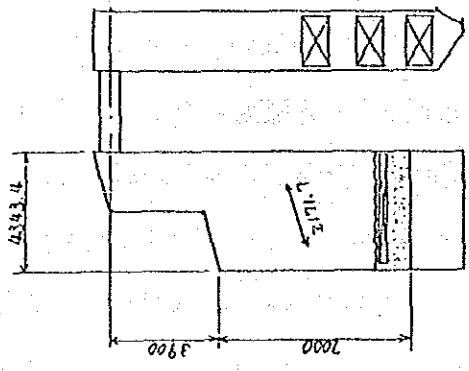
実機性能予測に当たって、 $\phi 100$ 炉の装置特性を従来実績をもとに評価する。

Fig. 8-44 は本試験装置と各種試験装置の装置寸法の比較を示した $\phi 100$ 炉は内径 100mm、火炉高さは約 2.5m 程度である。流動層高は約 200mm で試験を行っている。これに対し、20t/h パイロットプラント及び 50MW 実証プラントは同図に示すと通りの寸法で、流動層高は 1.2m ~ 1.5m と小型炉に対し異なっている。実機の評価にあたっては特にこの流動層高の違いの影響などは、パイロット燃焼試験で特性を把握する予定である。

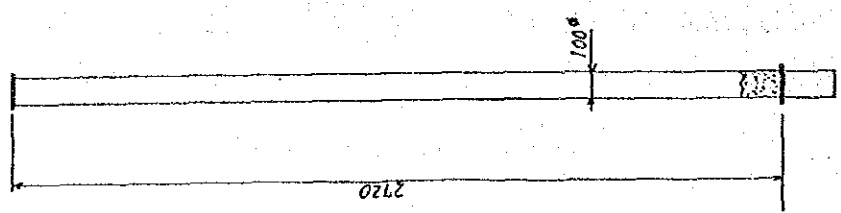
Fig. 8-45 に層温に対する脱硫性能の特性を示す。これは全てエルメロ炭による燃焼試験結果をまとめたものであるが、 $\phi 100$ 炉と 20t/h パイロットプラントとでは非常によく一致した結果が得られていた。50MW 実証プラントにおいては、 $\phi 100$ 炉に比べ脱硫性能は向上しているが、この原因については、層内伝熱管が極めて密な配置となっており、石灰石の飛散抑制効果が得られたためと推測している。このように、絶対値は伝熱管構造などの影響を考慮する必要があるが、層温に対する相関性だけでなく、種々の運転条件、炭種、石灰石銘柄等に対する傾向値は大型炉と良い一致が見られている。Fig. 8-46 は層温に対する NO_x の特性を示す。これも同じエルメロ炭をベースに評価したものであるが、脱硫特性と異なり NO_x の値は大型炉と小型炉とでは大きく異なっている。この原因は、層高が低く層内の NO_x 還元が十分進まないことと、Fig. 8-47 に示すとおり小型炉は空塔部ガス温度が大型炉に比べ極めて低く、空塔部での NO_x 還元が相対的に少ないためと考えられている従って、 NO_x に関しては運転条件、炭種、石灰石銘柄等の各種影響因子に対する傾向値の把握に重点を置いた基礎試験を主体に実施してきた。



50MW demonstration plant



20t/h pilot plant



bench scale test facility

Fig 8-44 FBC combustion test facilities

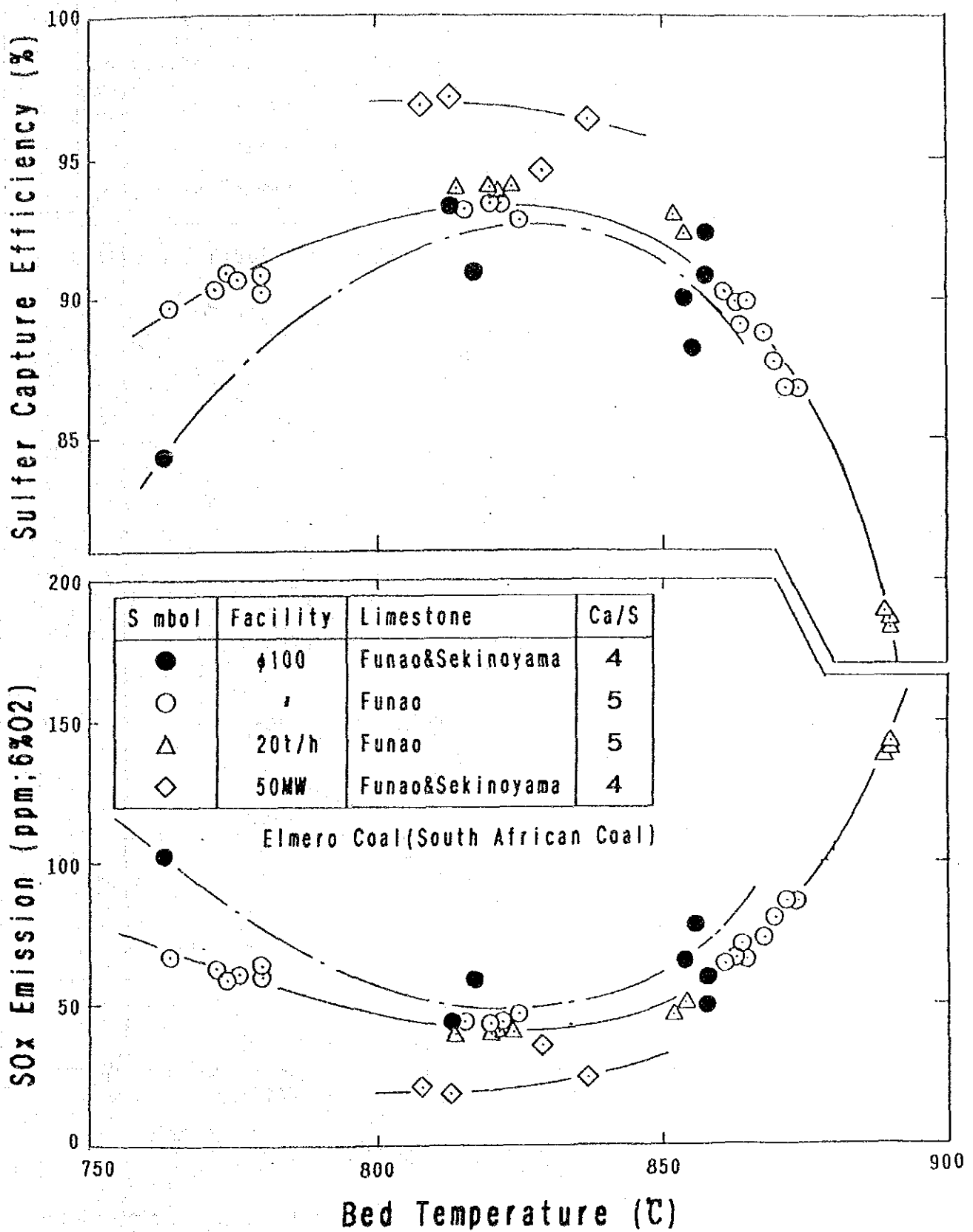


Fig 8-45 Desulfurization characteristic with different scale

Symbol	Facility	Limestone	Ca/S
●	φ100	Funao&Sekinoyama	4
○	'	Funao	5
△	20t/h	Funao	5
◇	50MW	Funao&Sekinoyama	4

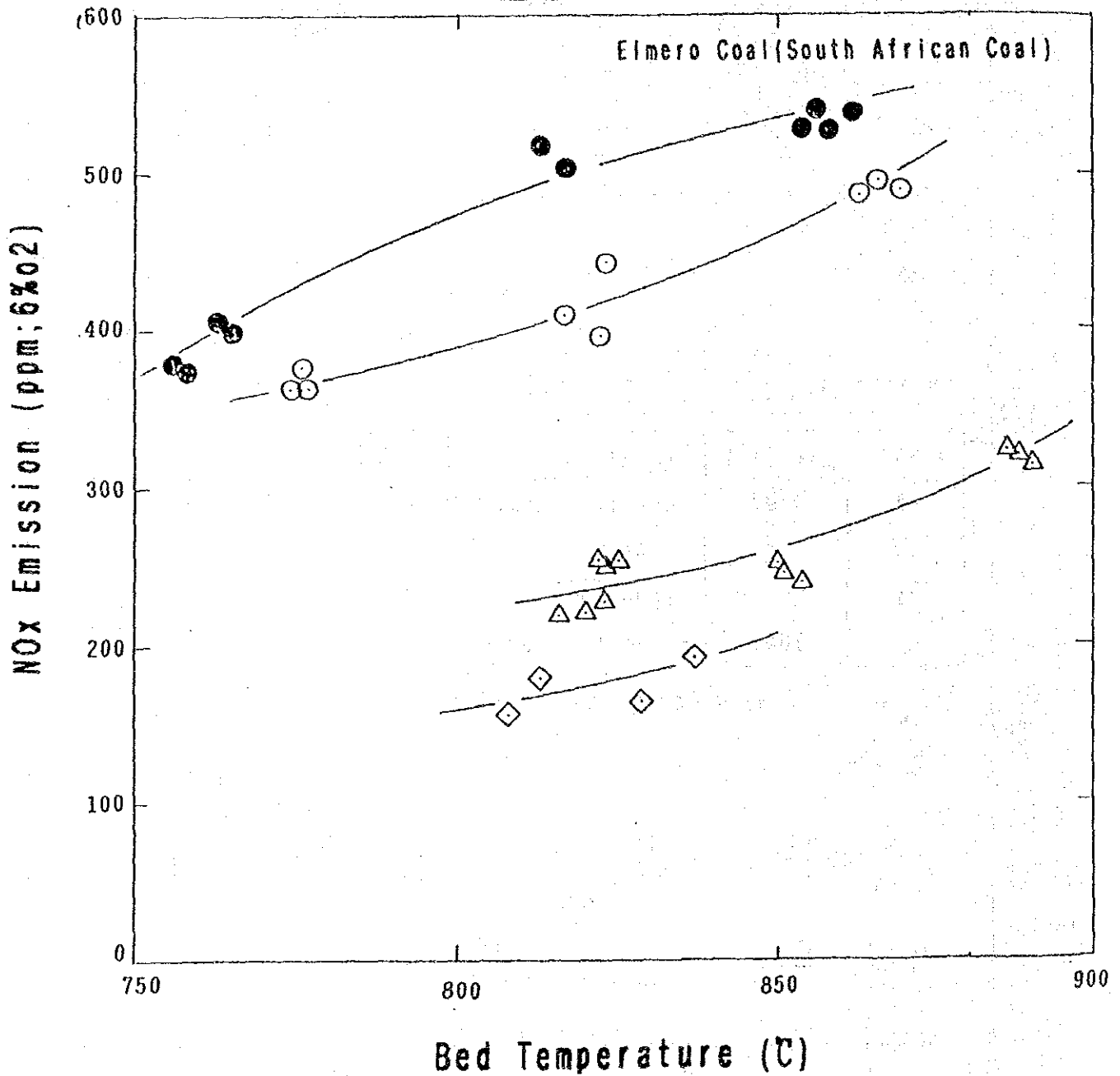


Fig 8-46 NOx emission characteristic with different scale

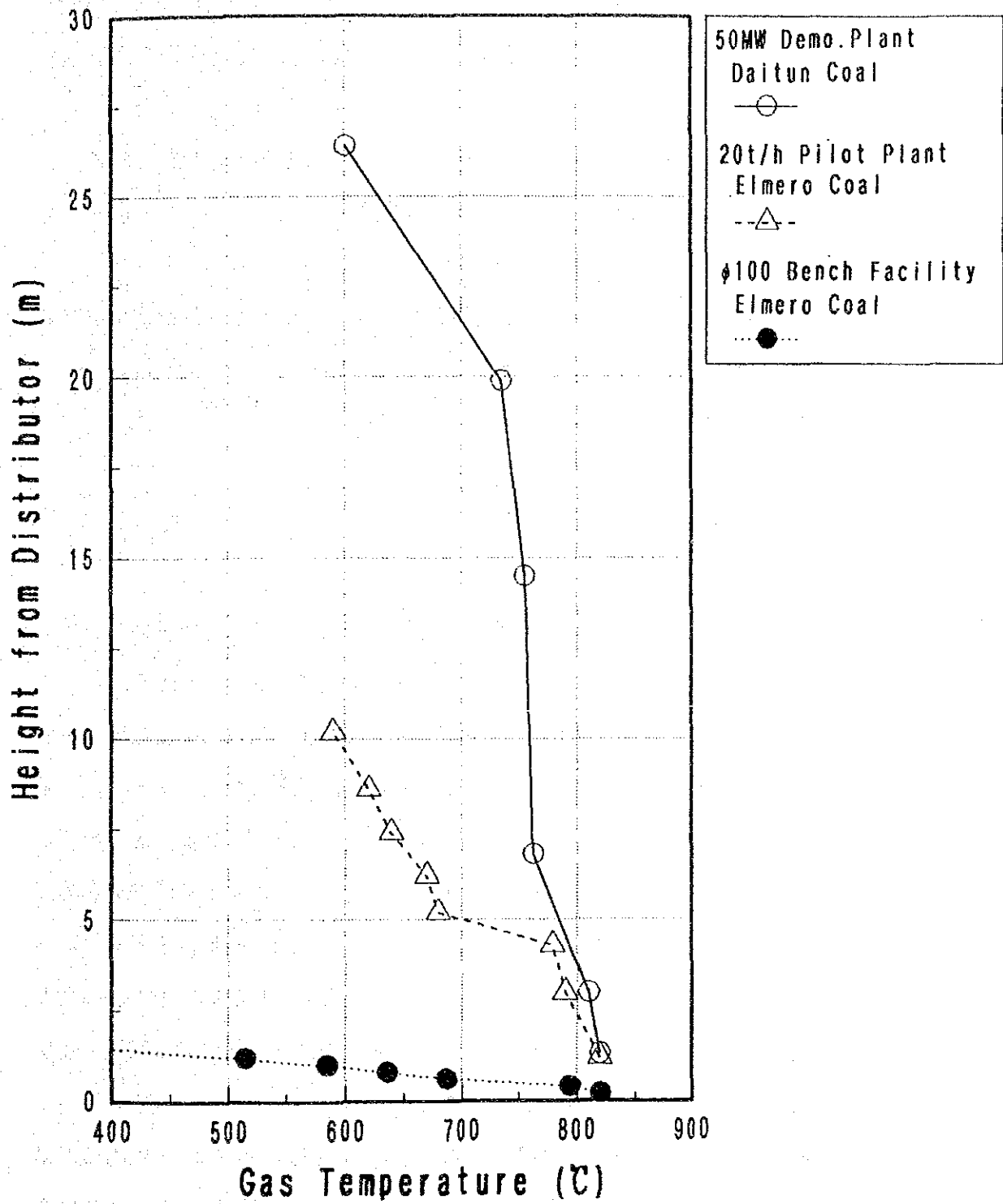


Fig 8-47 Gas temperature distribution in furnace

8.6.2 実機性能評価

(1) 脱硫性能

1) 層温度について

今回のタイ国シンブンリグナイト及びクラビリグナイトの脱硫性能においては層温850度程度の温度領域に置いて最適点があり、従来よりも30度程度高温側へ移行している。小型炉の層温に対する脱硫特性は、大型炉とよく一致しており、実機規模においても層温850度程度が最適温度になることが十分予想される。これについては、さらにパイロットスケールの燃焼試験において確認する。そこでこの高温側移行の原因について以下に考察する。

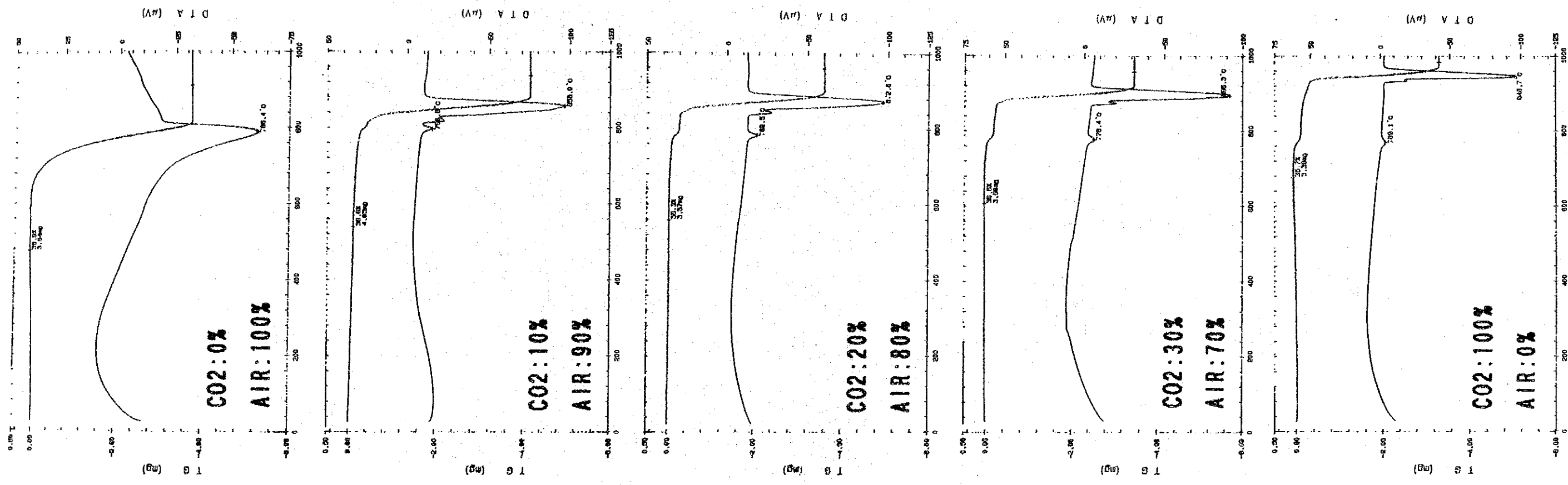
今回の燃焼試験では下記の点が従来と異なっている。これが脱硫反応に関わる脱炭酸反応、脱硫反応、 CaSO_4 の再生反応にどう影響するかを考察した。

- ① 石灰石銘柄
- ② 高S分炭
- ③ 高揮発分炭

石灰石銘柄については、比較のために実施した船尾、関の山石灰石においても既にこの現象が見られたことから、石灰石銘柄は原因ではないと言える。

次に極めてS分が高いことは、石灰石供給量の増加及び脱硫に必要な酸素量の増加、即ち供給空気量の増加が脱硫特性に影響すると考えられる。まず、石灰石供給量の増加はその脱炭酸反応により放出される CO_2 も増加させる。 CO_2 雰囲気濃度を変えた時の石灰石の脱炭酸反応特性を Fig. 8-48 に示す。その結果どの程度の脱炭酸反応温度の上昇になるかを試算した結果を Fig. 8-49 にまとめているが、結論として 10°C 程度以下でありこれが主因とは考えられない。また、Ca/Sモル比を変えても、また比較的S分の低いクラビリグナイトにおいても同様の現象が見られることから考えて直接要因とは考えにくい。

次に酸素量の増加に関して、試算結果では燃焼空気比1.20 ($\phi 100$ 炉出口 O_2 濃度3.5%相当) に対して実際に送風している空気量は脱硫反応で吸収される酸素量も含めると燃料に対して1.24程度に相当する。このため、これは高温側で CaSO_4 から $(\text{CaO} + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2)$ への再生反応が起こりにくく、脱硫性能が高温でも維持されると推測される。これについては、Fig. 8-34 のシンブンリグナイト燃



Temperature (°C)

Fig 8-48 Differential Thermal Analysis with different CO2 conditions

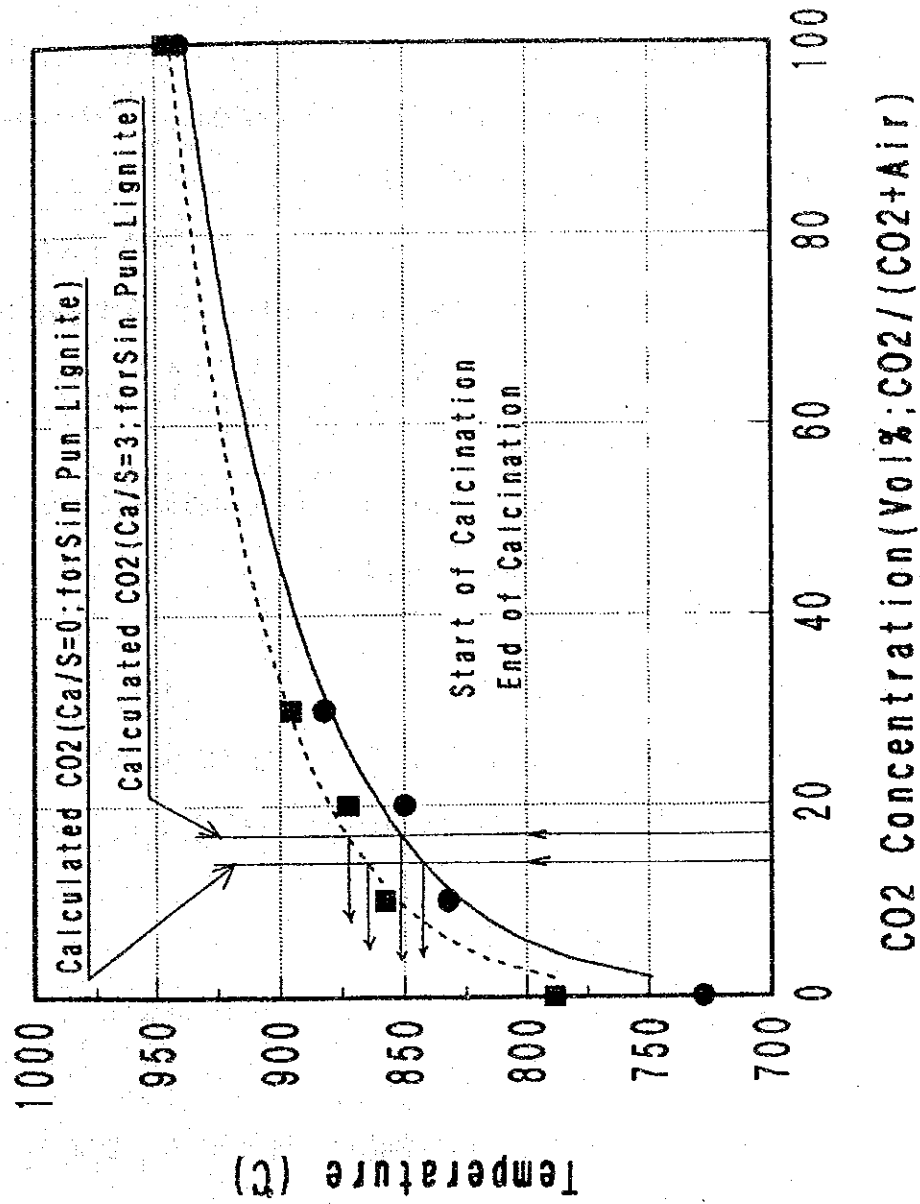


Fig 8-49 Calcination temperature with different CO2 concentration

焼性能試験結果からも空気比を高めると最適温度は上昇傾向が見られこの推測を裏付ける結果と考える。日本での実証試験では空気比を高めた試験で、脱硫最適温度が空気比に依存して変化するという現象は見られなかったが、今回のように極めて高い揮発分の場合、給炭ノズル近傍は極度な還元雰囲気傾向となりこのような現象が起り易い条件となっているものと考えられる。

さらに、揮発分が高く給炭部で急速に燃焼が進むということから、燃料及び石灰石吹き込み部では従来の石炭に比べ高CO₂ 雰囲気となっていることが予想されるが、これも脱炭酸反応温度の上昇をもたらす要因のひとつとなっていることが考えられる。

最後にSO_xの発生側を調べるために、マクロ熱天秤によるSO₂ 発生特性を調べたが、Fig. 8-50 に示すとおり、シンプリグナイト、クラビリグナイトとも800~900℃領域で特異な現象は見られなかった。

以上をまとめると今回の脱硫反応最適温度の高温側移行の原因は極めて高S分且つ高揮発分という条件が重なった結果生じた現象と推測する。

2) Ca/Sモル比について

今回のシンブン炭燃焼性能試験の結果では、当初目標のSO_x<700ppmに対しては給炭方式によって異なり、下記のとおり相対的にCa/Sをモル比にして1相当の違いとなる。

上込め方式：Ca/Sモル比 ≥ 3

下込め方式：Ca/Sモル比 ≥ 2

下込め方式においてモル比と流動床出口SO_xの関係は Fig. 8-51 に示す通り、両対数表上ほぼ線型な相関を持つ。

またBM中のCaO含有率と出口SO_x濃度の相関は、Fig. 8-52 に示す通り、強い相関関係があり、下込め方式の場合モル比2でCaO含有率25%近傍で出口SO_x濃度700ppm以下を保てる。シンプリグナイトは、タイ国石灰石との組み合わせにおいても非常に良い脱硫性能を持っている。

上込め方式の場合、微粉が流動床内に入る前に飛散燃焼し、脱硫剤であるBMと接触せずに出口SO_x濃度を高めておりCa/Sモル比3でBM中CaO含有率が30%近傍

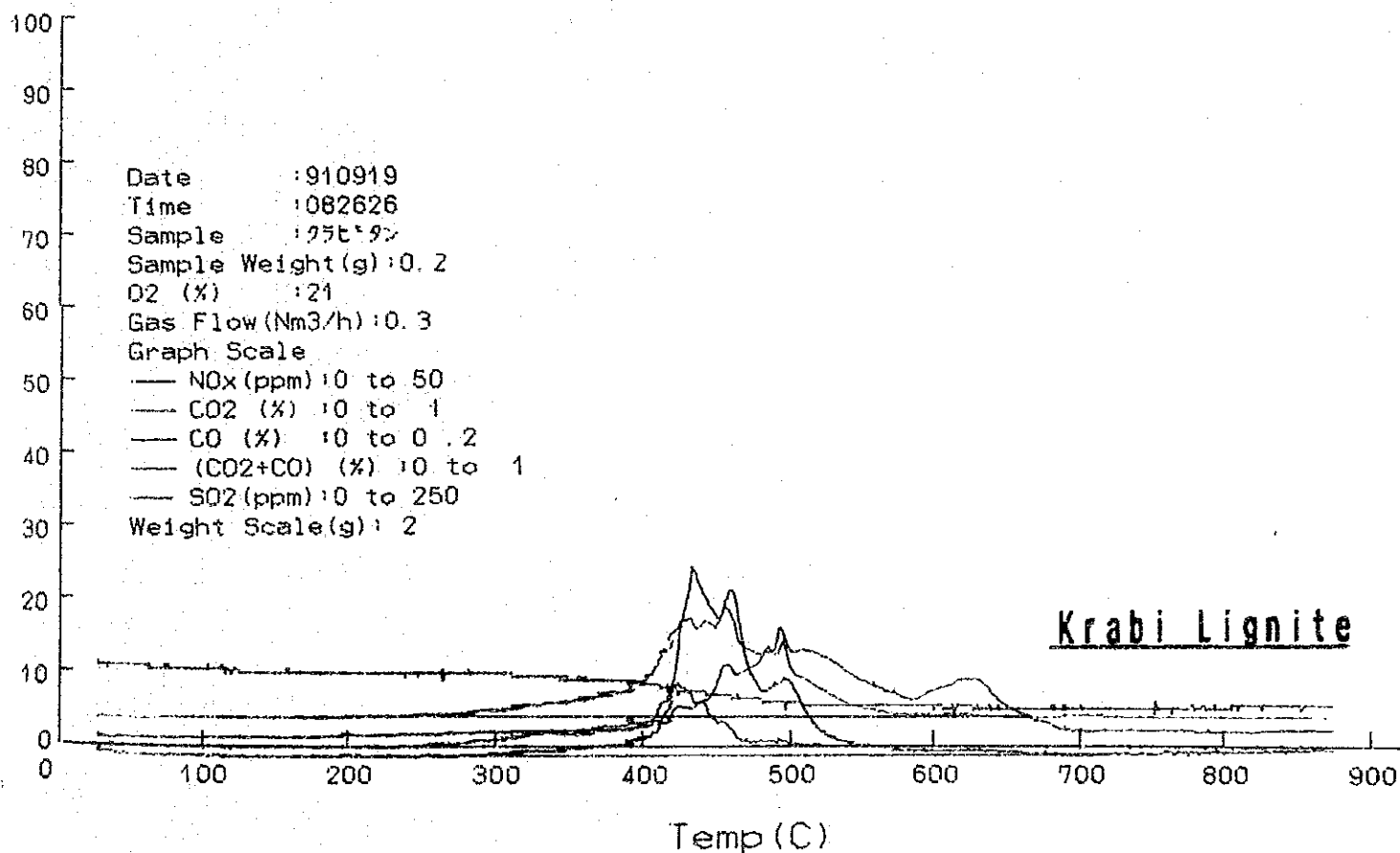
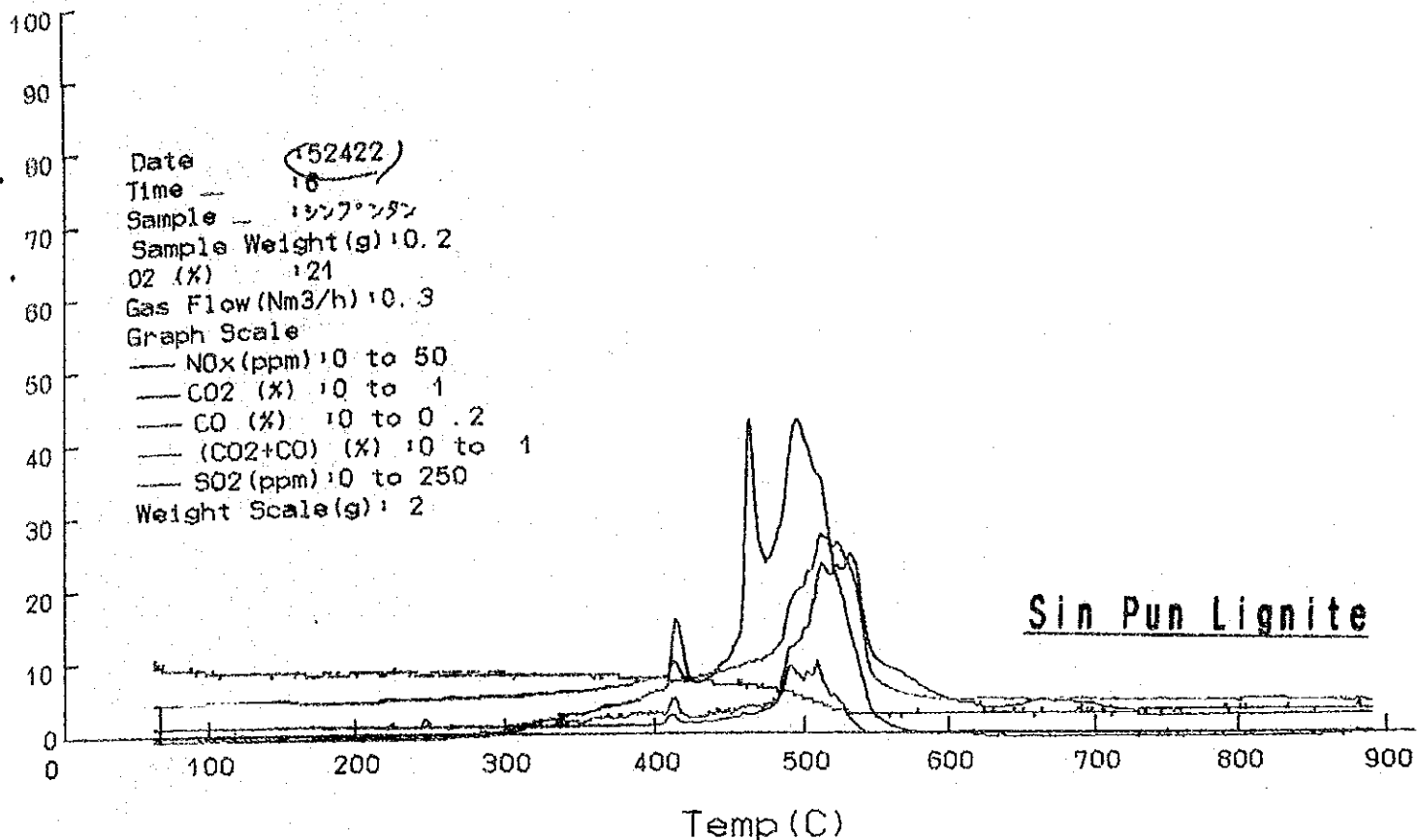


Fig 8-50 Macro Termobalance Analyzing Results

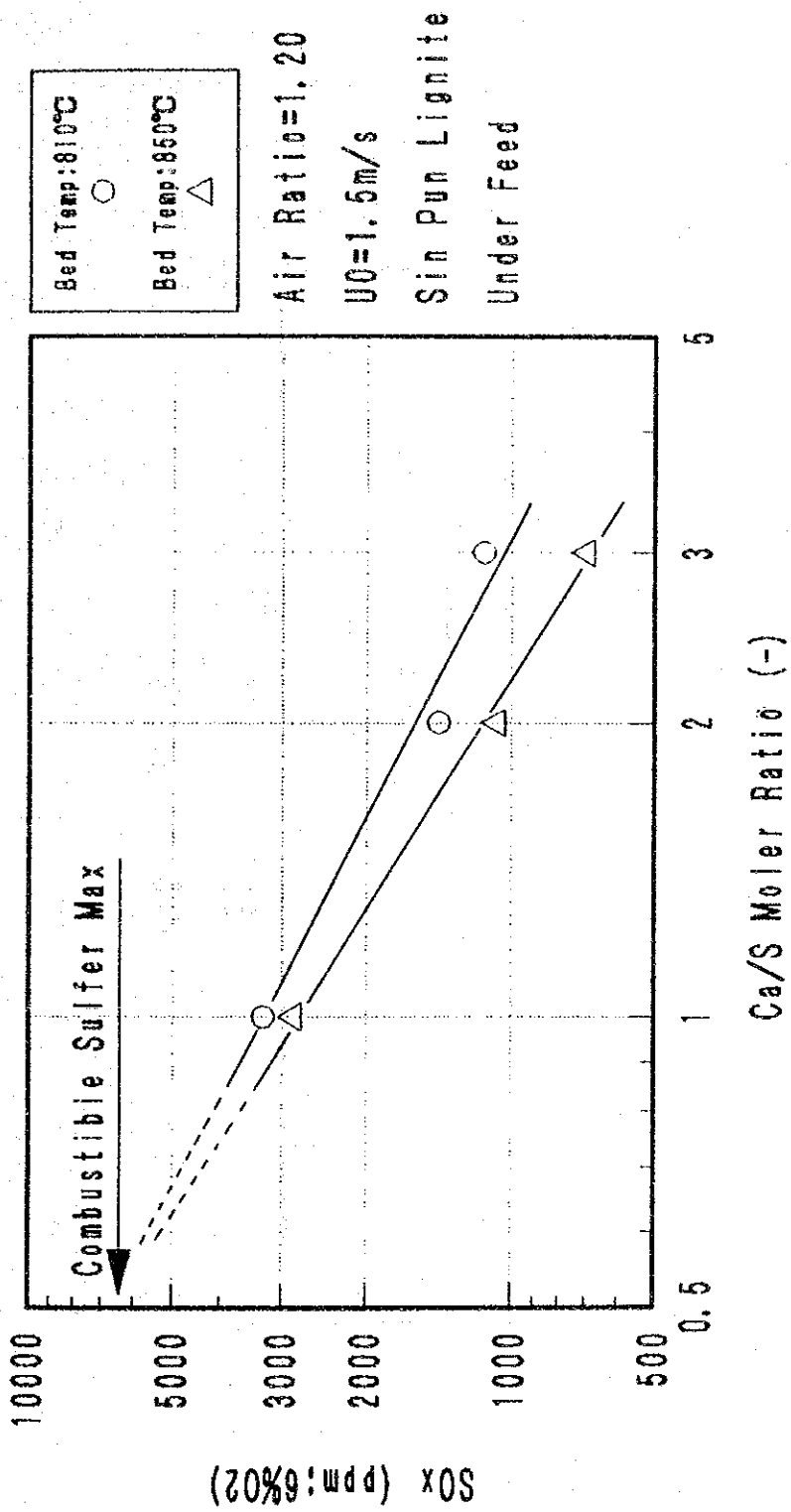


Fig 8-51 SOx emission with different Ca/S

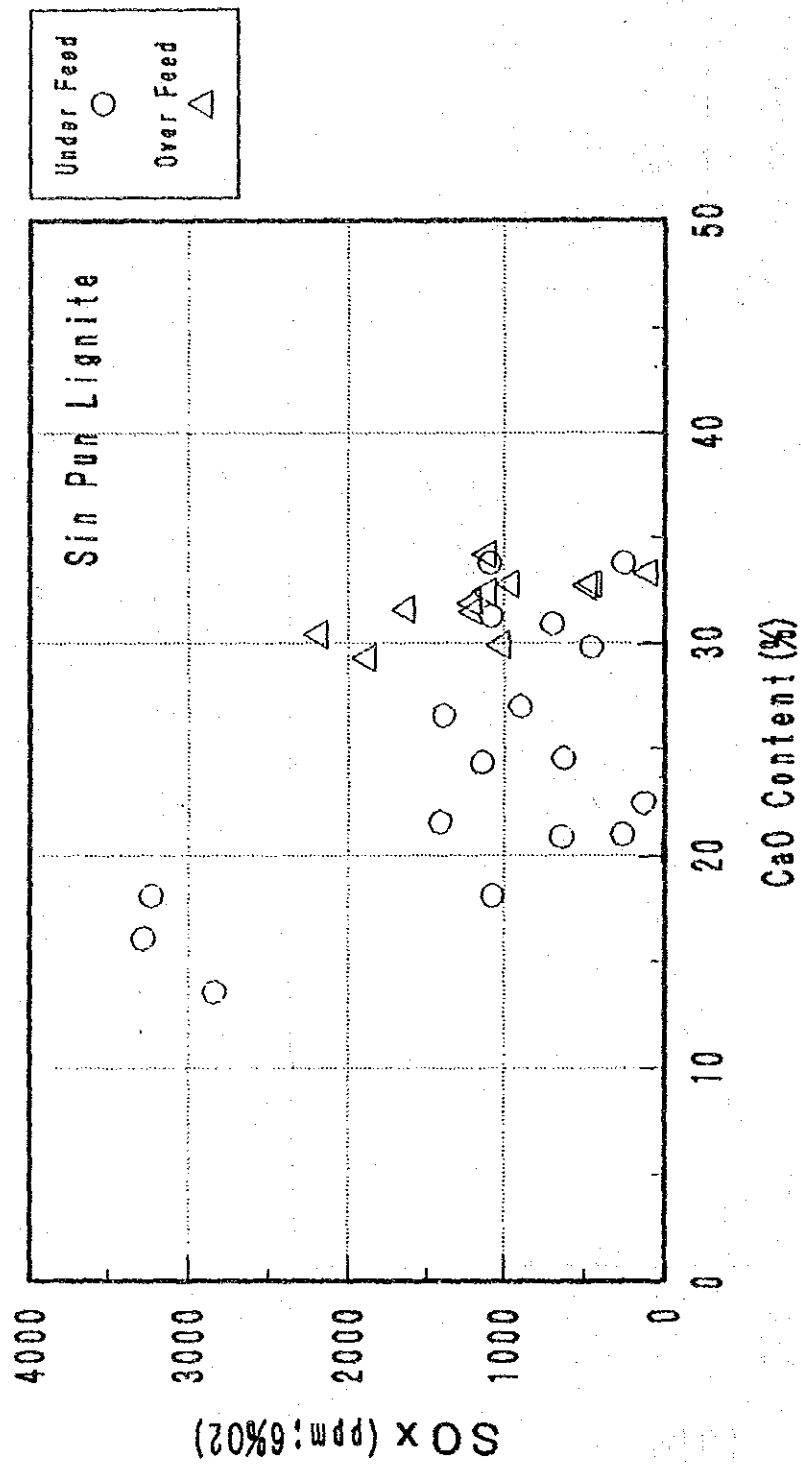


Fig 8-52 Effect of CaO content in bed material

にもかかわらず700ppm近傍のSO₂排出濃度となっている。

このことから今後微粉炭を上込め給炭系から取り除き、灰リサイクル系統等の流動床下部に給炭する方式の検討を行い、Ca/Sモル比を下げても高脱硫率を得る設備検討が必要である。

また、飛散灰中のCaO及びCaCO₃含有率が高いことからこれらの未反応脱硫剤をリサイクルし、石灰石投入量を減らすことも設備検討の課題となる。

灰リサイクル設備検討はパイロットスケール燃焼試験にて物質収支（マテリアルバランス）を確認し、FBCシステムの経済設計に反映する。

3) 空塔速度

今回の試験では脱硫性能は空塔速度に顕著な影響を受け、上込め給炭方式でSO_x700ppm達成には空塔速度1.2m/s以下が必要であった。しかしながら、本試験においては装置の制約上、実機に比べ極めて細かい粒径条件で運転されたことが大きな要因と考えられる。どの程度SO_x排出量が空塔速度の影響を受けるかパイロットスケール試験で確認する必要がある。

(2) NO_x

NO_xは日本における実証試験で400～600ppmであったのに対し今回のタイ国褐炭はシンブンリグナイト、クラビリグナイトとも200～300ppmと従来の半分以下であることが確認された。この原因は Fig. 8-53 に示す通り従来の炭種に比べ空塔部ガス温度が極めて高く空塔部でのNO_x還元反応が促進されたこと、さらに極めて高い揮発分により給炭部での層内のNO_x還元反応が進んだことによると思われる。

今回の試験では給炭方式変化試験を実施したが、Fig. 8-27 の結果では給炭方式の影響が空気比によって逆転するという現象が見られたがこの原因について考察する。

Fig. 8-53 は給炭方式及び空気比条件によるガス温度分布特性の違いも併せてプロットしているが、上込め給炭では下込めに比べガス温度分の上昇が顕著にみられる。これは層上部での燃焼によるものと考えられるが、層上給炭とともに給炭管詰まり防止のためにその搬送用空気を供給（全空気量の約15%相当）しているため層上燃焼を促進し、かつ層上でのNO_x排出も促進されているものと思われる。

この時の層上空気量は搬送に必要な量を供給しているため、条件によらず一定となっていることから、層上でのNO_x排出量も条件によらず一定と考えられる。それによってある一定のNO_x値が傘上げされているとすると、空気比増加にともなうNO_x増加割合は少なくなるといえる。即ち層上給炭条件では空気比の増加に伴うNO_x増加割合は、下込めに比べ相対的に少なくなり、Fig. 8-27 に示した逆転現象が生じたものと推測する。

実機のNO_xに対しては、今回の炭種の低NO_xの主因が層内の還元かあるいは層上での還元かによって異なる。前者であれば実機においても従来炭よりも低下傾向、後者であればもともとガス温度の高い実機の場合、従来炭よりもNO_xが低減できることは期待できない。これについては、空塔部温度条件が実機に近いパイロットスケール試験の結果を評価する必要がある。

従来の実績では、実機NO_xは少なくとも小型炉よりも高くなることはなかったことから、NO_x目標値として提示されている500ppm以下は達成可能と考える。

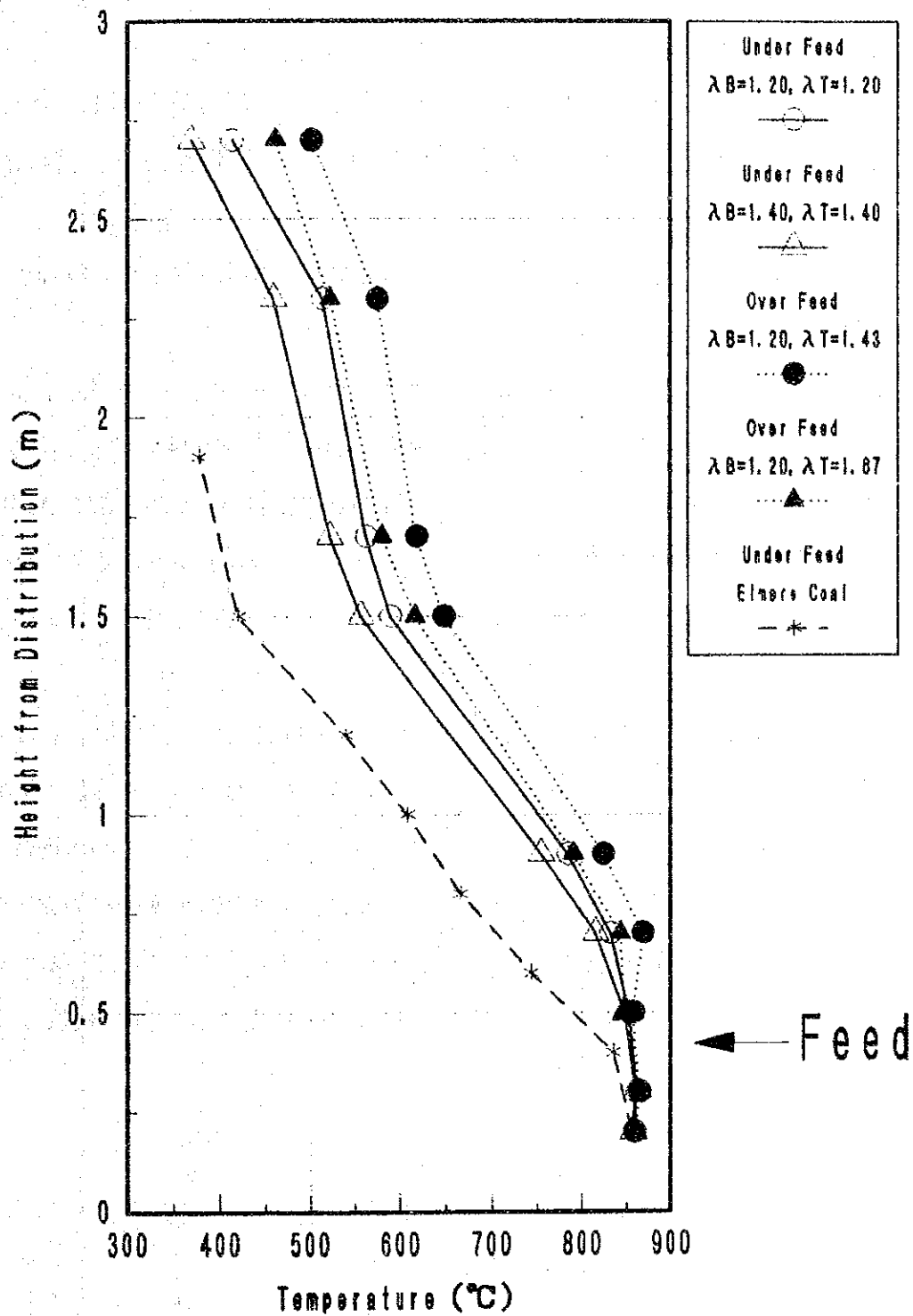


Fig 8-53 Gas temperature distribution in furnace

(3) 燃焼効率

今回のφ100炉の試験結果では、上込め、下込めとも98%以上の燃焼効率が得られている。実機の燃焼効率も98%以上の燃焼効率が得られると予想される。燃焼効率の絶対値については、空塔部温度条件、粒経条件が実機のそれに近いパイロットスケール試験で確認のできると考える。

Fig. 8-54 炉内ガス温度 O_2 濃度の高さ方向分布を示す。炉内温度は既に説明しているとおり上込め給炭条件では、給炭位置の上部で下込め給炭よりも上昇傾向になっている。

O_2 は分散板上1,000mm以上ではほぼ一定になっており、燃焼が完了していることが分かる。

O_2 濃度分布測定結果より、上込め給炭の方が燃焼は比較的低い位置で完了していると言えよう。これは、上込め給炭の場合層内と層上との両方から空気を供給しているため、極めて揮発分の高い炭種であるが空気との接触効率が良好で燃焼が効率的に行われているためと推測される。しかしながら、これは装置が小さく、且つ大量の空気を温度の高い層表面近傍から供給しているという装置条件によるものと思われる。

次に炉内の NO_x 濃度分布を Fig. 8-55 に示す。 NO_x は層上から空塔部にかけて減少傾向が見られ、空塔部で NO_x 還元が行われていることがわかる。さらに上込め給炭の場合ほぼ分散板上800mm程度でこの反応が終了しているが、下込めの場合にはさらに1,500mm程度まで反応が継続している。これは、先ほど O_2 濃度分布の違いから考えて、下込めの場合燃料と空気との接触が悪く燃焼が緩漫となっているため、チャーあるいは還元性物質が層上に多く存在し、 NO_x の還元反応を促進しているものと推測される。

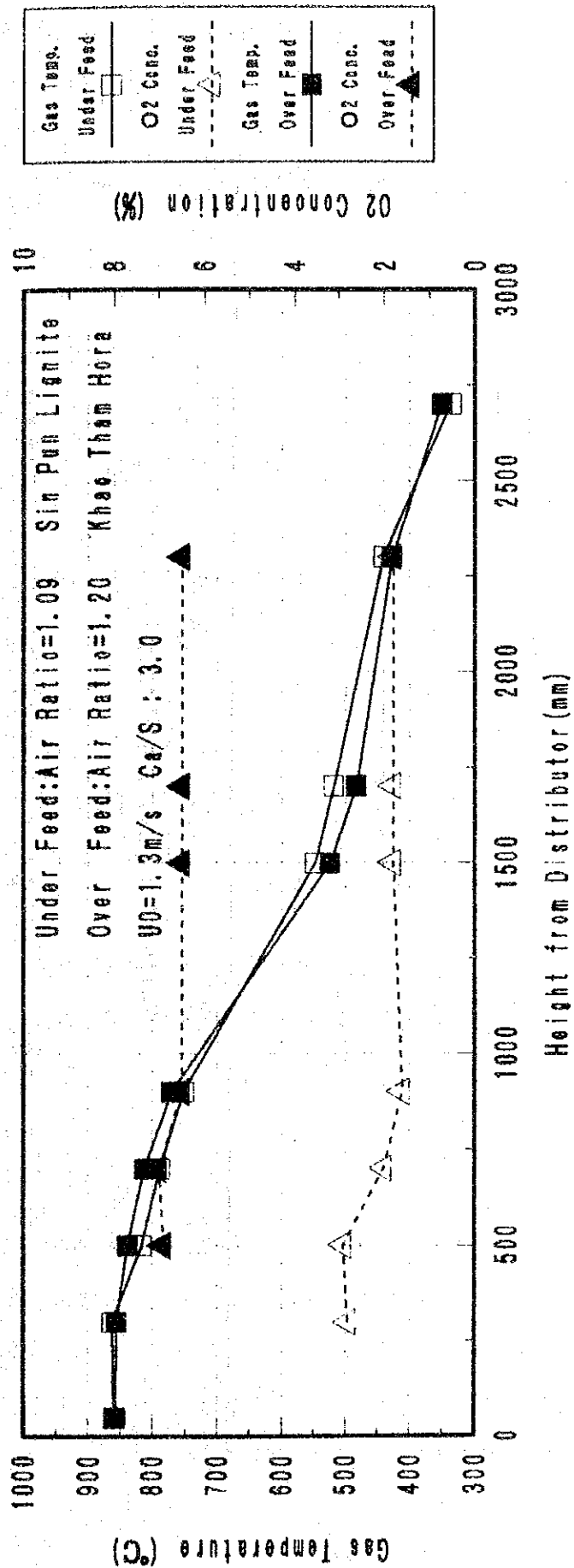


Fig 8-54 Temperature and O2 distribution in furnace

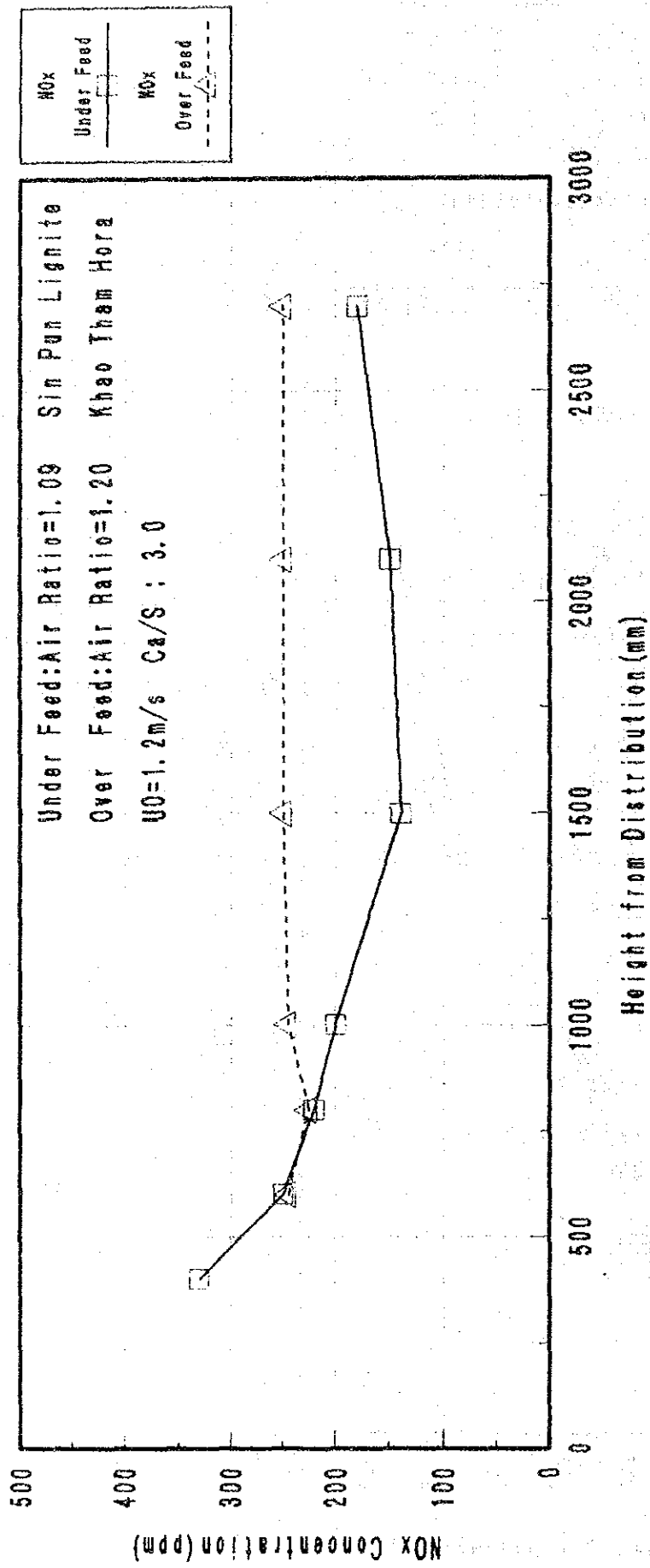


Fig 8-55 NOx concentration in furnace

8.7 まとめ

- 1) 脱硫性能は層温850°C程度で最適になることがわかった。さらにパイロットスケール試験結果を踏まえ、今後の実機設計基準層温度の選定に反映する必要がある。
- 2) 石灰石銘柄としては、Thung Songに比べKhao Tham Horaの方が脱硫性能に優れている。
- 3) 今回目標としたSO_x<700ppmの条件で、下込め方式ではCa/Sモル比2、上込め方式ではCa/Sモル比3であった。下込め方式は上込め方式に比べ相対的にCa/Sモル比で約1相当の石灰石量の低減になる。
- 4) 今回の試験では空塔速度低減による脱硫性能の顕著な向上が見られたが、実機同等の石炭、石灰石粒経条件であるパイロット試験での再現確認が必要である。
- 5) NO_xはφ100炉の結果では200~300ppm程度であり、実機の場合さらに低減も期待でき、当初目標の500ppm以下は達成可能と考えるが、パイロットスケール試験結果を踏まえた検討が必要。
- 6) 燃焼効率については、従来の大型炉の実績から98%以上の効率が予想される。また上込め給炭による顕著な燃焼試験の低下は見られなかったが、燃焼効率の絶対値についてはパイロットスケール試験にて最終的に確認する。
- 7) シンプリグナイト/Khao Tham Horaとクラブリグナイト/Yod Po Sile Thongとの比較試験の結果、シンプリグナイト/Khao Tham Hora石灰石の組み合わせが脱硫性能、NO_x排出、燃焼効率のいずれの点においても優れた性能を有していることを確認した。また、粗大粒子の炉底沈降による流動不良という点においても、シンプリグナイトの方が好ましい炭種であることが解った。

第9章 パイロットスケール燃焼試験

第9章 パイロットスケール燃焼試験

	頁
9.1 概 要	9-1
9.2 試験装置	9-6
9.3 リグナイト及び石灰石の化学分析	9-25
9.4 試験リグナイト及び石灰石粒径分析	9-32
9.5 試験結果	9-36
9.6 結果の評価	9-86

List of Figures

Fig. 9-1	A-FBC System
Fig. 9-2	Fluidized Bed for Bubbling FBC and Pilot Scale Combustion Facility
Fig. 9-3a	Combustion Test Furnace
Fig. 9-3b	Schematic Diagram of AFBC Test Facility
Fig. 9-4	Size Distribution
Fig. 9-5	Size Distribution (Lime Stone)
Fig. 9-6	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Heat Release Rate
Fig. 9-7	Temperature Profile (Effect of Heat Release Rate)
Fig. 9-8	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Excess Air Ratio
Fig. 9-9	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Bed Temperature
Fig. 9-10	NO _x Emission (Effect of Bed Temperature)
Fig. 9-11	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Ca/S Molar Ratio
Fig. 9-12	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Ca/S Molar Ratio
Fig. 9-13	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Ash Recycle Ratio
Fig. 9-14	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Ash Recycle Ratio
Fig. 9-15	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Ash Recycle Ratio
Fig. 9-16	SO _x Emission (Effect of Ash Recycle Ratio)
Fig. 9-17	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Coal Feed Method
Fig. 9-18	Temperature Profile (Effect of Coal Feed Method)
Fig. 9-19	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Coal Size
Fig. 9-20	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Coal Size
Fig. 9-21	Temperature Profile (Effect of Coal Size)
Fig. 9-22	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Lime Stone Size
Fig. 9-23	Pilot Scale Comb. Test Results: Effect of Lime Stone Size
Fig. 9-24	BM Blow Rate (Effect of Superficial Velocities)
Fig. 9-25	Size Distribution of BM (Data No. T-11)
Fig. 9-26	Size Distribution of Cyclone Ash
Fig. 9-27	Size Distribution of Bag Filter Ash

List of Tables

Table 9-1a	Pilot Scale AFBC Combustion Test Schedule
Table 9-1b	Test Conditions for Pilot Plant Test (Step-1)
Table 9-1b	Test conditions for Pilot Plant Test (Step-2)
Table 9-2	Proximate Analysis of Lignite (EGAT data)
Table 9-3	Chemical Analysis of Lignite (JICA data) Blended Lignite (Sin Pun 4: Krabi 1)
Table 9-4	Ash Analysis of Blended Lignite (JICA data)
Table 9-5	Monitoring Results of Lignite Analysis
Table 9-6	Average Value of Ultimate Analysis (As-Fired of Blended Lignite)
Table 9-7	Chemical Analysis of Limestone
Table 9-8	Lignite Size for Test
Table 9-9	Small Particle Involvement of Limestone
Table 9-10a	Pilot Scale PFBC Test Data (Final)
Table 9-10b	Pilot Scale PFBC Test Data (Final)
Table 9-11	Size Distribution of Respective Ash and Limestone
Table 9-12	CO ₃ Contents of Each Ash
Table 9-13	SiO ₂ Content S/Ca & Fe/Si Molar Ratio
Table 9-14	Combustion Efficiency

9.1 概 要

パイロットスケール燃焼試験は、実機をモデル化したA-FBC燃焼炉で実物粒径におけるタイ産石灰石とシンブンリグナイト・クラブリグナイトの組み合わせで燃焼させ、技術的適用性を試験することを目的としている。

本試験は、また、フィージビリティ設計に必要なデータを入手することも目的としている。特に、石灰石消費は、高硫黄低発熱量リグナイトであるために脱硫に対し膨大な消費量を必要とし本調査の経済的適用可能性に大きな影響を与える。

燃焼試験概要を Fig. 9-1 に示す。また、以下の項目を試験によって確認した。

事前試験

- a. リグナイト及び石灰石の化学分析
- b. リグナイト及び石灰石の粒径分布

試験 (Table 9-1a, 9-1b 参照)

- a. 炉床負荷
- b. 過剰空気率
- c. 層 温
- d. Ca/Sモル比
- e. 灰リサイクル比
- f. リグナイト給炭方式
- g. リグナイト粒径
- h. 石灰石粒径
- i. 物質収支確認と灰性状分析

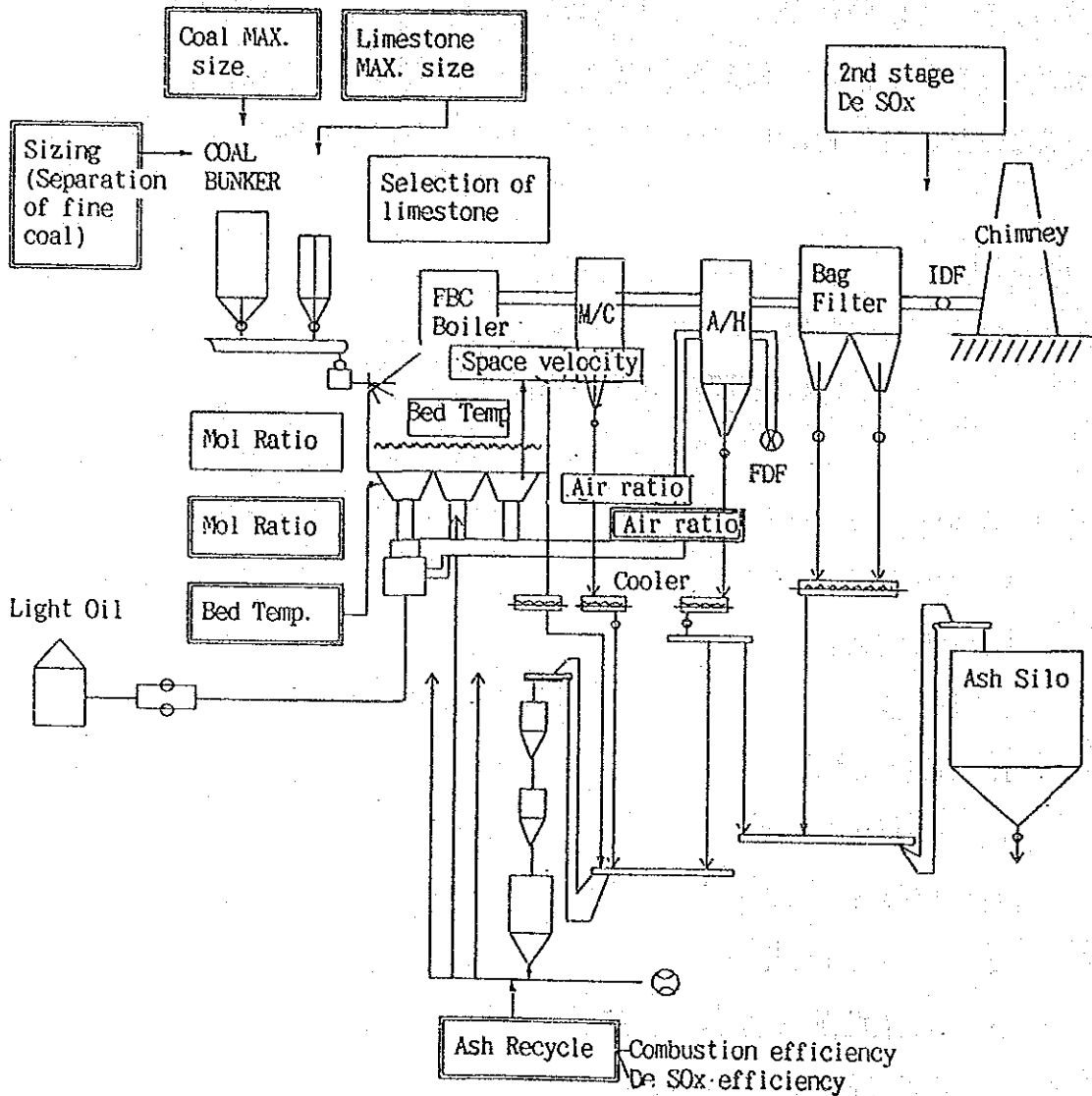
以上の試験結果、シンブン及びクラブリグナイトは、A-FBCにおいて、Ca/Sモル比 2 の石灰石注入により、脱硫率90%で燃焼させ得ることが確認できた。

さらにまた、いくつかの試験結果の組み合わせにより、Ca/Sモル比 2及び灰リサイクル比 1.5の条件で94%（設計炭において700ppm SO_x排出）の脱硫率が達成できることが

推定される。NOx排出量については、タイ国提案規制値 1000mg/Nm³ (NO₂換算で約 500ppm) よりも、はるかに低い200ppm以下でA-FBC燃焼が可能であることも確認された。

燃焼効率については、A-FBCは99%以上の効率でリグナイトを燃焼させ得ることも確認した。

Fig. 9-1 A-FBC System



- This mark shows the confirmation item in the bench scale combustion test.
- This mark shows the confirmation item in the pilot scale combustion test.

Table 9-1a Pilot Scale AFBC Combustion Test Schedule

	1992 Mar	1992 Apr	1992 May	1992 Jun
1. Crushing Lime-Stone	Arrival -	<u>4/3</u> <u>4/20</u>		
2. Lignite Drying	Arrival -	<u>4/3</u> <u>4/28</u>		
3. Lignite Sieving		<u>4/22</u> <u>4/28</u>		
4. Lignite Blending		<u>4/17</u>	<u>5/4</u>	
5. Test Preparation				
6. Test Facility Tuning	Coal Combustion			
7. Test			<u>Step 1</u> <u>Step2</u>	
8. Sample Analyzing				

Table 9-1b Test Conditions for Pilot Plant Test (Step-1)

Parameter	Date	5-11M Tu/We	5-12/13 Tu/We	5-14 Th			5-15 Fr			5-16 Sa			5-17 Su
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Heat Release Rate (Q)		Data No.											
Total Air Ratio (AR)		Q & A Parameter											
Bed Temperature (T _B)		Survey	1.2	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5				
Ca/S Molar Ratio		850		850		800	850	850	880				850
Cyclone Ash Recycle													1.8 - 3.6
Coal Feed System													Non Recycle
Coal Size													Non Recycle
Lime Stone Size													Non Recycle
Remarks													Non Recycle

Table 9-1b Test Conditions for Pilot Plant Test (Step-2)

Date	5-19 Tu		5-20 W			5-21 Th			5-22 Fr			5-23 Sa		Remarks
	Test No.	T-12	T-13	T-14	T-15	T-16	T-17	T-18	T-19	T-20	T-21	T-22	T-23	
Heat Release Rate (Q)		0.8	1.0	1.2	1.2			1.2			1.2		$\times 10^6$ kcal/m ² h	
Total Air Ratio (Ar)		1.3 (~ 1.4)											1.3	
Bed Temperature (T _B)		825°C											825°C	
Ca/S Molar Ratio		3.0			2.0			2.5			2.5			
Cyclone Ash Recycle Ratio		0			0.4	0.8	1.2	0.4	0.8	1.2	1.2			
Coal Feed System		Over Feed (80) / Under Feed (20)											UF	
Coal Size		+2.8 mm Crushing/ -2.8 mm											-8.6 mm	
Lime Stone Size		-3 mm											-3mm -3mm Fine	
Remarks	15:00 Ignition 19:00 Coal Feed	SO ₂ Sampling after Bag Filter Hot Bunking												

9.2 試験装置

パイロットスケール試験装置は、炉床負荷、空塔速度等の実機運転条件を模擬するものでなければならない。Fig. 9-2 は実機A-FBCの流動床とパイロットスケール試験装置流動床との比較を示す。

パイロットスケール燃焼炉の表面は0.5m×0.5mであり、流動床高さは1.2～1.5mと実機流動床と同じ高さである。

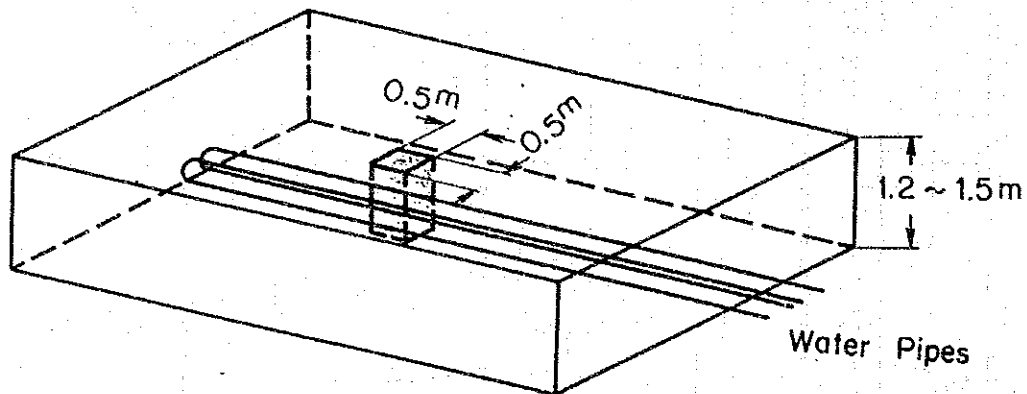


Fig. 9-2 Fluidized Bed for Bubbling FBC and Pilot Scale Combustion Facility

パイロットスケール燃焼装置を使用することにより、リグナイトと石灰石の流動床内の特性を実機と同等に正確に確認でき流動床及び飛散灰の物質収支も、この試験装置で確認できる。Fig. 9-3a と 9-3b は試験装置の外形を示し、Photo 9-1 ～ 9-3 にこの試験装置の写真を示す。

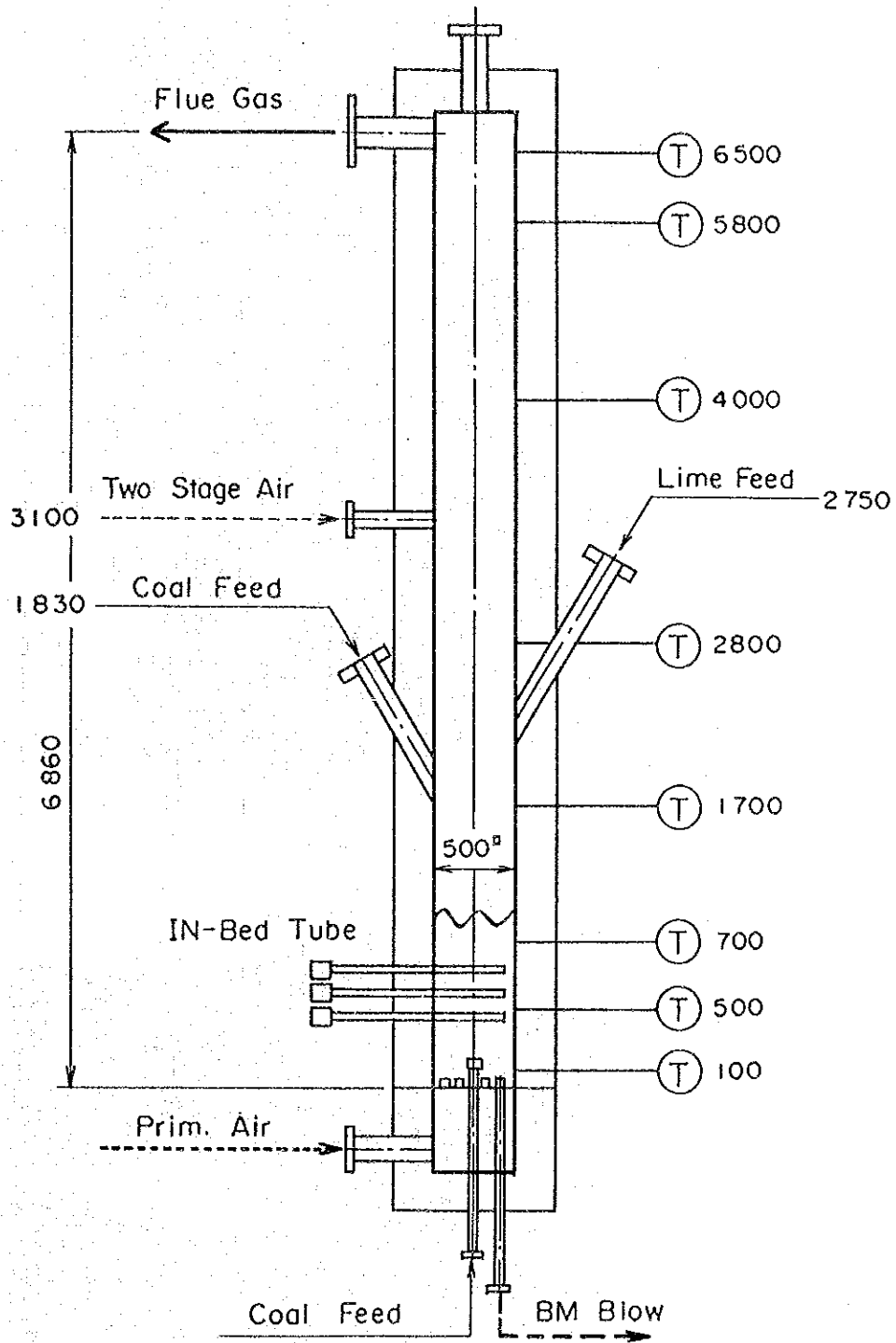


Fig. 9-3a Combustion Test Furnace

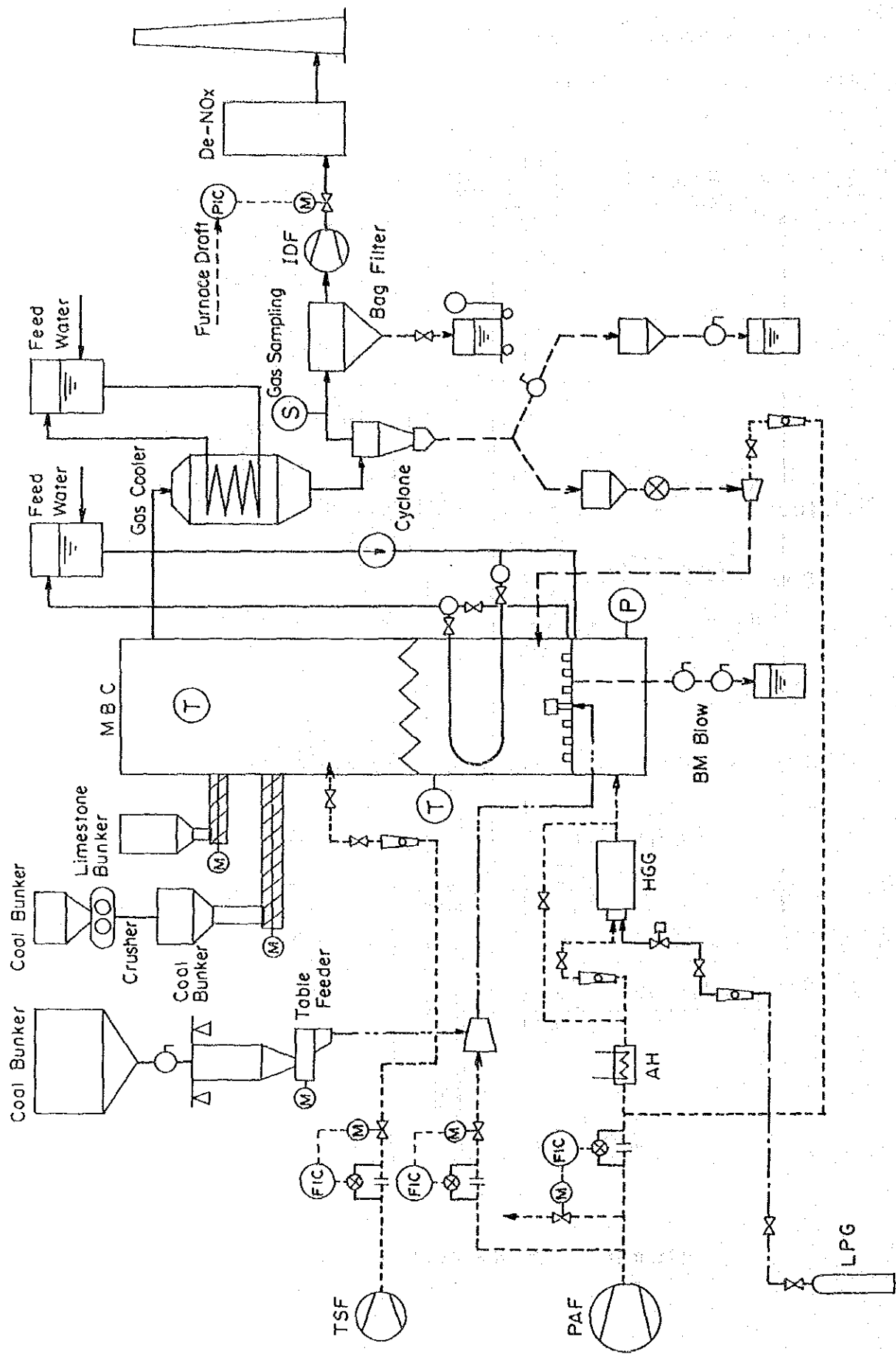


Fig. 9-3b Schematic Diagram of AFBC Test Facility

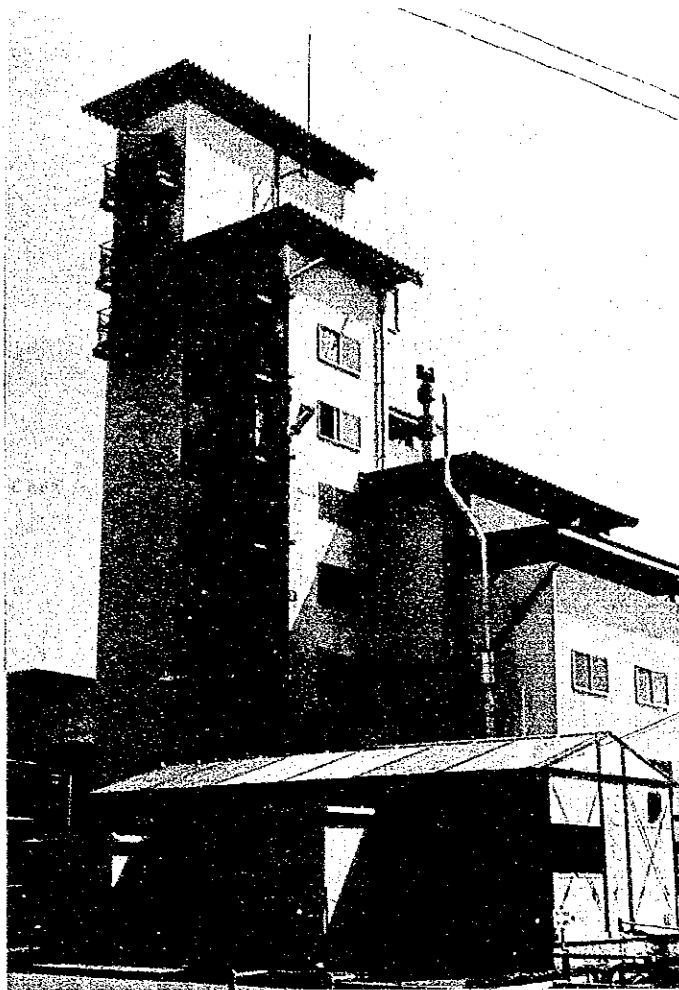
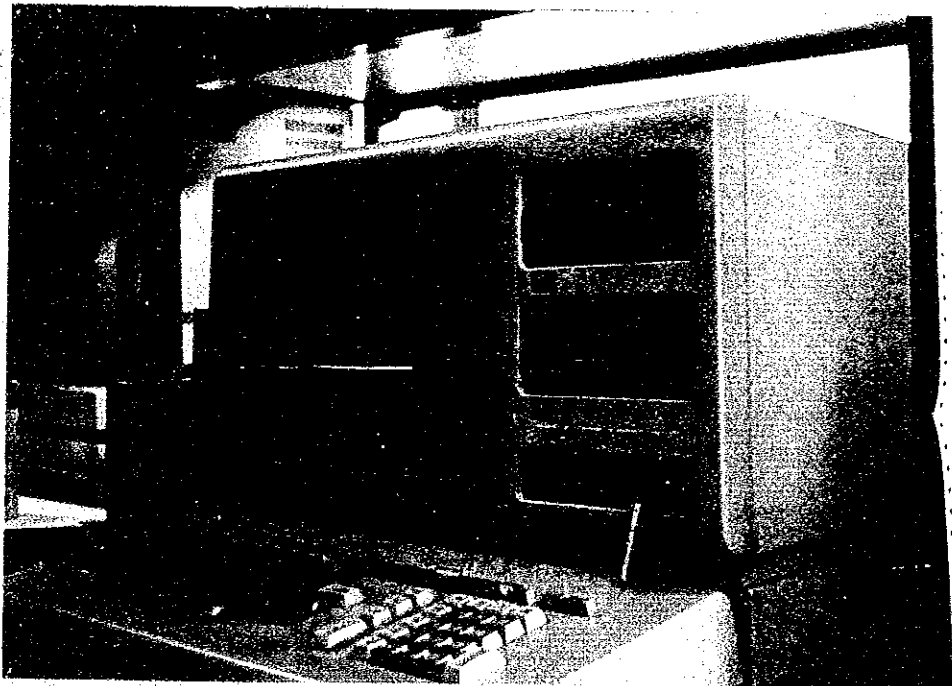


Photo 9-1

Tower for Combustion Test Furnace



Monitoring CRT for Combustion Test

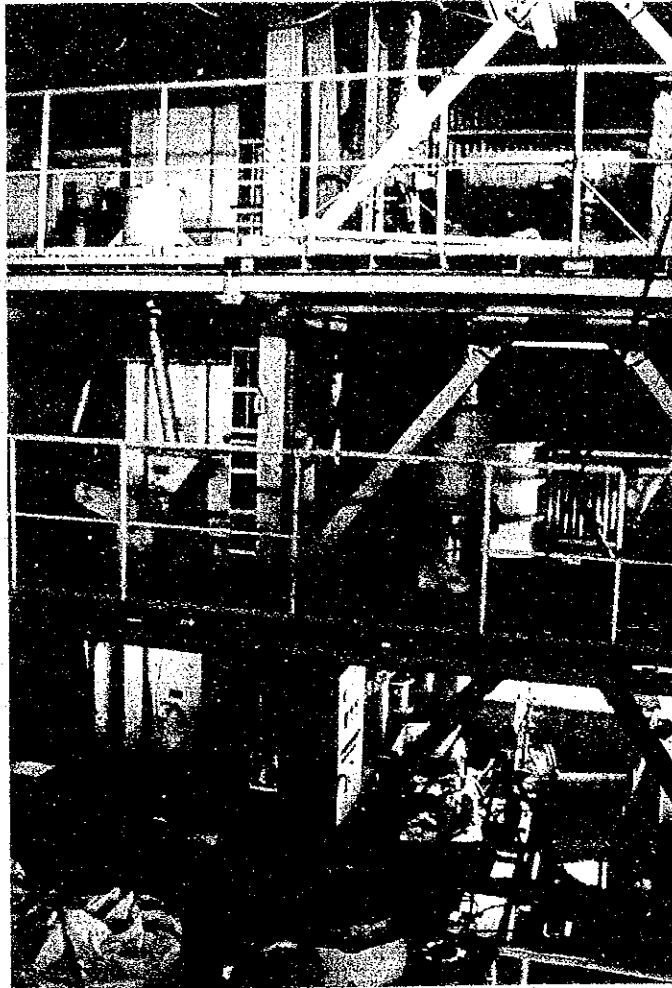


Photo 9-2

Test Furnace

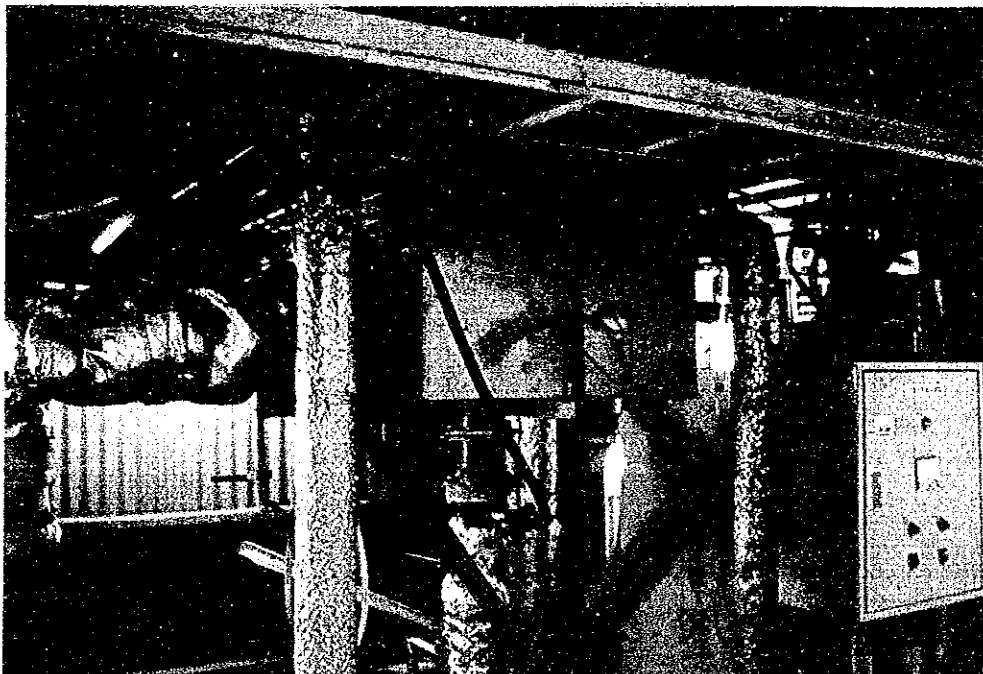
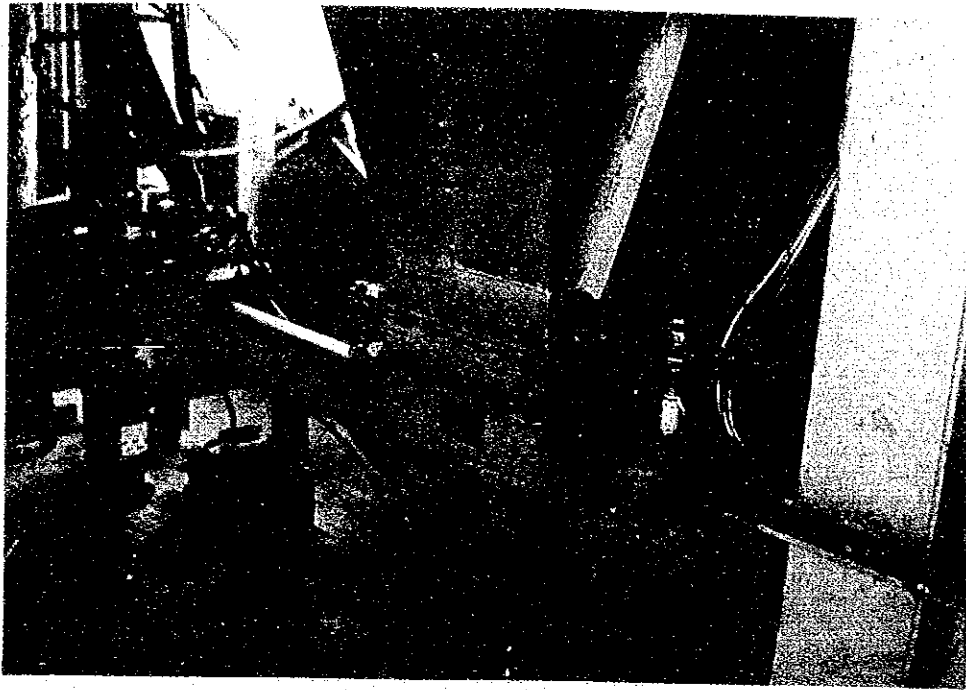
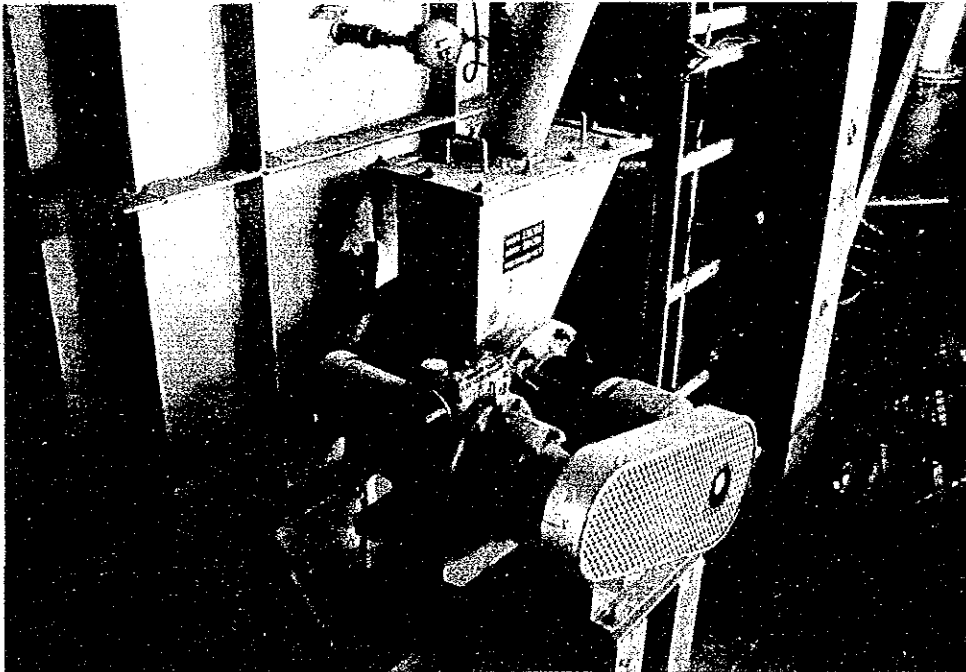


Photo 9-3

Bottom of Test Furnace



Coal Feeder (Screw Feeder)



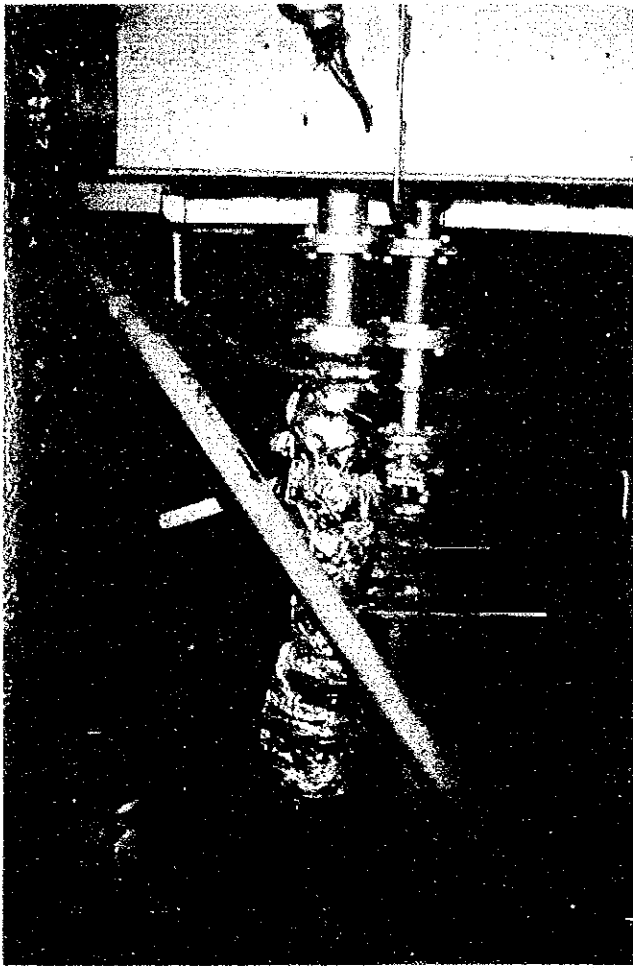
Limestone Feeder (Screw Feeder)



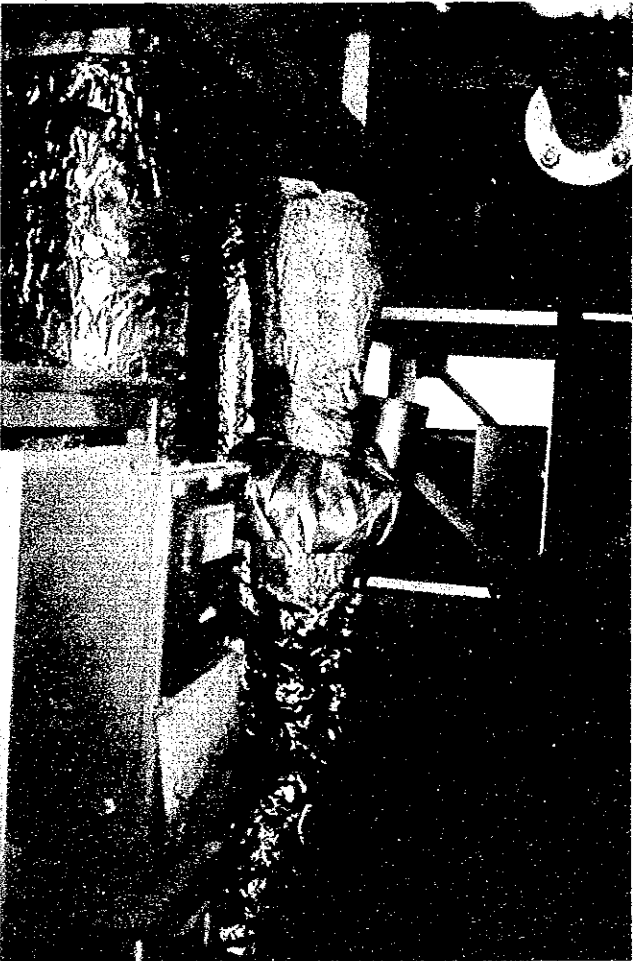
Blending Mixer



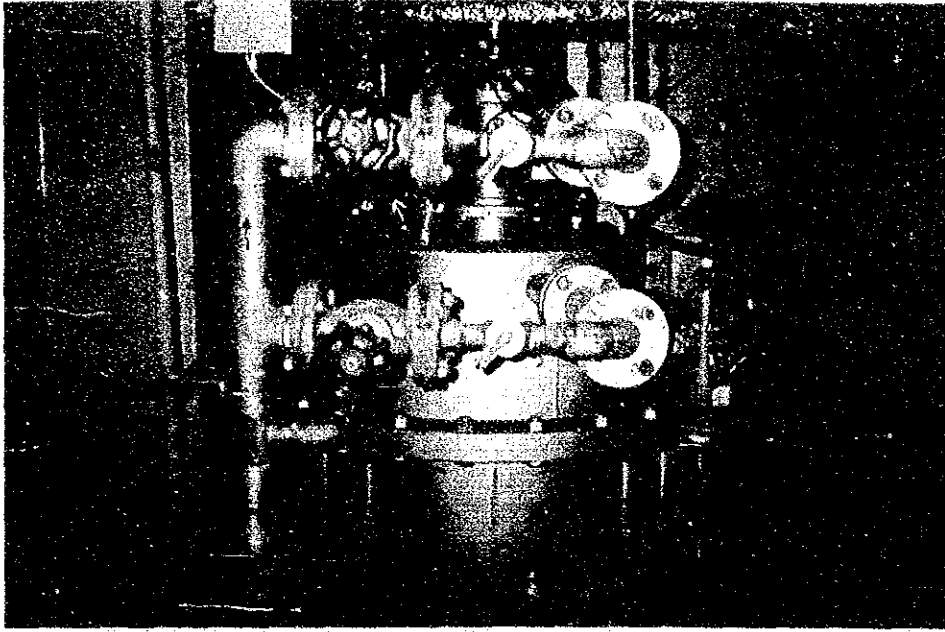
Crusher (Roller Crusher)



B.M. Ash Blow



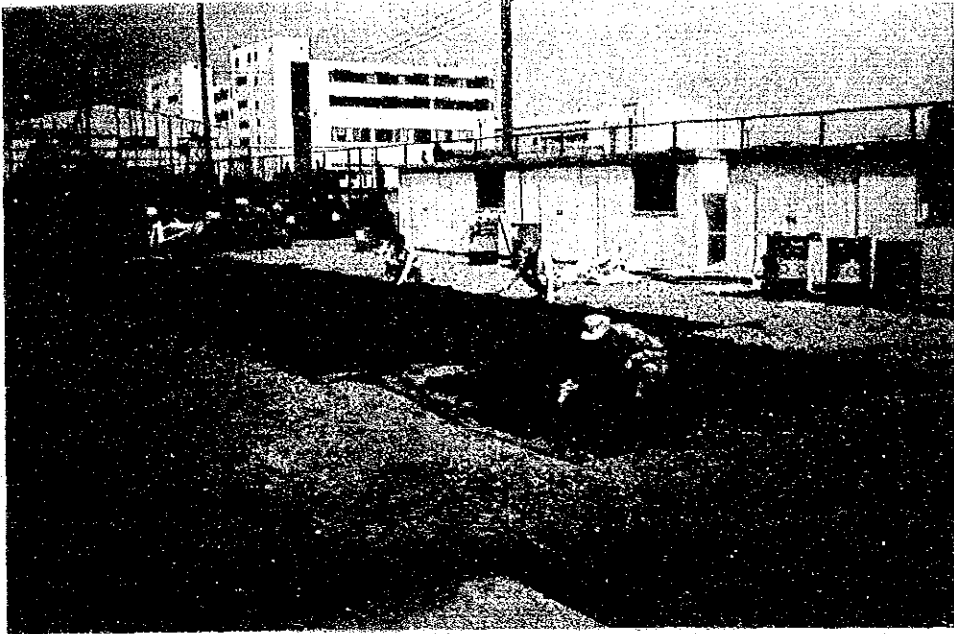
Mechanical Cyclone



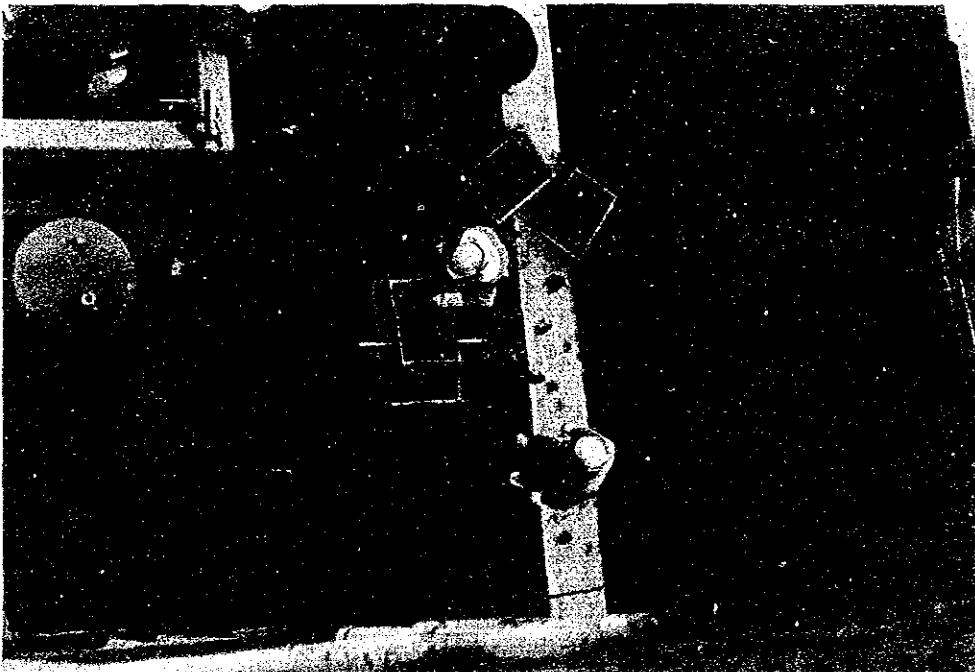
Starting Barner



Bed Temperature
Control Pipes



Lignite Sizing



Lignite Sizing (2.8 mm Sieve)

