粗 悪 炭 の 燃 焼 に 関 す る 研 究 (第 2 報)⁽¹⁾

(鎖床給炭機と微粉炭を併用する場合の実験報告)

菅原 菅雄⁽²⁾ 佐藤 俊⁽³⁾ 長谷川啓一⁽⁴⁾

Researches on Combustion of Low Grade Coal (2nd Report)

by Sugao SUGAWARA, Takashi SATO and Keiichi HASEGAWA

This paper is the report of experiments for the combustion test of Babcock-Wilcox boiler with chain grate firing combined with pulverized coal supply. The experiments were made under various ratio of fuel supply and rate of combustion. The fuel used for fire grate is lignite and that for pulverized coal is UBE coal. The conclusion is as follows:

The efficiency of combustion depends upon the rate of combustion, ratio of fuel supply and excess air factor is 80~85%. The reasonable value of rate of combustion is about 65~70 kg/m²h and that of excess air factor is 1.3~1.4.

The efficiency of boiler depends upon the rate of load of combustion chamber and ratio of fuel supply and for the rate of combustion of 300,000 kcal/m³h, its value are about 62%, 70% and 73% for 2/1, 1/1 and 1/3 of ratio of fuel supply respectively.

1. 緒 言

水管ボイラの燃焼装置として最も広く使用される鎖床給炭機は、発熱量 6 000 kcal/kg 程度の石炭を燃料として使用するときは、燃焼状態が極めて良好であるが、現在の燃料状態では発熱量 4 000 kcal/kg 程度の低質炭や、発熱量 3 000 kcal/kg の亜炭をも使用しなければならない。かような燃料を鎖床給炭機に使用するとき、着火がおそいのみでなく、炭層を相当な厚さにすると下層までは燃焼せず、多量の可燃性分を含む燃えかすを生じて未燃損失を増加する。この未燃損失を少なくするためには炭層を薄くする必要があるが、これと同時に送りを速くすると着火がおくれ火床の前端数尺は全然燃えないし、また送りをおそくすると火床の途中で燃えきつてしまう。かような状態にあるから粗悪炭を鎖床給炭機でたくには、なんらかの工夫が必要である。その一方法として微粉炭附加燃焼法がある。本研究は鎖床給炭機による1次給炭に亜炭を使用し、2次給炭として宇部炭を微粉として使用する場合で、給炭比(1次給炭量と2次給炭量との比)燃焼率および燃焼室負荷などが、燃焼状態およびボイラ効率に及ぼす影響を調査した。

実験は昭和 23 年 12 月 18 日から 3 日間、大日本紡績山崎工場において配炭公団技術課熱管理課と協同で行ったもので、午前は燃焼状態すなわち燃焼温度、灰かすおよび落下炭の成分などを調査するのを目的として比較的短時間(予定1時間)で行い、午後はボイラ効率を検討する目的で、比較的長時間(予定4時間)に行ったが、第2日の 19 日には停電ストがあつたため信頼し得る結果が十分に得られなかつたことは遺憾

であつた。

2. 実験装置および使用炭

実験に供したボイラおよび燃焼装置は次の通りである。

ボイラ型式 WIF バブコックボイラ
伝熱面積 374 m², 火床面積 8.76 m²
燃焼室容積 15 m³, 微粉炭機 TOM 式
過熱器伝熱面積 42 m², 節炭器伝熱面積 140 m²
微粉炭燃焼装置は浅野物産会社納入のもので、日産造機会社の製作にかかり、正規粉砕量 750 kg/h で 30 HP の電動機によつて 1 750 rpm の速度で回転される車軸に 4 個の回転車を取り付けられ、燃焼室から吸出される熱ガスに空気を混じ、約 250°C とし、これによつて石炭を乾燥しながら粉砕するもので、その粉砕度は次の通りである。

第1表 微粉炭粒度

メッシ	第 1 粉砕室	第 2 粉砕室	第 3 粉砕室	第 4 粉砕室	燃焼室
100以下	64.34%	44.83%	25.78%	23.40%	1.52%
100~200	17.32%	21.59%	27.96%	27.70%	5.16%
200以上	18.31%	33.58%	46.26%	48.90%	93.32%

この数字は各粉砕室に残つた微粉の重量パーセントで、燃焼室に送られる微粉は 93% まで 200 メッシ以上の細かいものである。これによると第4の回転車は粉砕の作用は余りなく、第3の回転車までで粉砕された微粉を燃焼室へ送る送風作用をするものである。送炭管における微粉炭と空気との混合体の流速は 5~6 m/s である。送炭管の配置、噴出方向および噴出速

度は燃焼状態と密接な関係にあるもので、当該工場では年余にわたる研究の結果、現在の配置に決定し良好な結果を得ている。なお燃焼をさらに確実にするため 2 次空気を微粉炭の送入口付近に噴入している。

微粉炭量は 8 段に変化され、120 kg/h の段階で最大 960 kg/h の送炭ができる設計であり、鎖床給炭機の送りは 4 段に調節され（3 段目で 6 m/h 余の速度）、炭層の最大は約 150 mm で、25 HP の送風機によつて強圧通風を行う。炭層の調節はコールゲートで行うから任意の厚さにできるはずであるが、使用炭（亜炭）の塊の関係から限度があつて、100 mm 以下にはできなかった。

1 次給炭としては亜炭を使用し、第 1 日および第 2 日は岐阜産の炭質亜炭、第 3 日は月ヶ瀬産の木質亜炭である。第 3 日の木質亜炭は塊が大きいので、炭層の厚さを一様にするため、破碎機で粉砕して使用した。2 次給炭として使用した微粉炭は宇部産の 7 級切込炭で、その分析結果および発熱量は第 2 表および第 3 表に示す通りである。

第 2 表 1 次炭（鎖床用）亜炭

実験日	湿分	水分	灰分	揮発分	固定炭素	発熱量 kcal/kg	
	%	%	%	%	%	高位	低位
第 1 日	7.3	23.60	27.81	24.28	24.31	2 828	2 346
第 2 日	9.5	12.69	37.82	26.97	22.52	3 247	2 826
第 3 日	12.9	5.89	48.41	29.26	16.44	2 711	2 325

水分以下の含有率および発熱量は除湿炭に対するものである。高位発熱量はボンブ熱量計で測定した値で

第 4 表 給炭量（除湿炭）

実験日	実験番号	実験時間 h mn	炭層厚さ mm	給炭機 送り	微粉機 送り	1 次給炭量 kg/h	2 次給炭量 kg/h	給炭比
第 1 日	1	1 0	115	2/4	6/8	541.5	700.0	1/1.30
	I	4 0	115	2/4, 1/4	8/8	307.0	936.6	1/3.05
第 2 日	2 _a	1 0	100	2/4	7/8	630.0	820.0	1/1.30
	2 _b	0 45	100	2/4	4/8	576.6	434.0	1.33/1
	II _a	3 40*	100	3/4, 2/4	8/8	658.6	838.9	1/1.27
	II _b	2 30	100			714.4	807.6	1/1.13
第 3 日	3	1 45	115	3/4	5/8	976.0	558.0	1.75/1
	III	4 0	115	3/4, 2/4	6/8	1 042.5	593.3	1.75/1

* 途中の停電時間 20 分を除く。

実験中の測定事項、測定場所および測定器具は第 5 表に示す通りである。

なお参考としてボイラ室内外の気温を測定した。煙道ダンプは節炭器前にあつて、その開度は 1/10 ないし 2/10 の間で調節し、通風圧が 0 ± 1mm 水柱にな

第 3 表 2 次炭（微粉炭）宇部炭

実験日	湿分	水分	灰分	揮発分	固定炭素	発熱量 kcal/kg	
	%	%	%	%	%	高位	低位
第 1 日	2.1	5.87	38.46	29.68	25.99	4 147	3 768
第 2 日	3.5	4.33	39.39	30.08	26.20	4 089	3 719
第 3 日	4.1	5.84	37.86	30.73	25.57	4 158	3 778

あり、低位発熱量は設案式

$$H=0.013(V+436)$$

(H は水素含有率 %, V は純炭中の揮発分%) によつて水素量 H (6.3~6.5%) を求め

$$H_u=H_0-600(W+9H)$$

(H_u は低位発熱量, H_0 は高位発熱量 kcal/kg, W は水分含有量, H は水素含有量) によつて算定した値である。

発熱量の点では石炭を給炭機に、亜炭を微粉炭として用いた方がよいと考えられるが、当該工場では石炭を微粉にして使用している。これは石炭は粉碎が容易であつて微粉になり易いことにもよるが、またクリンカ生成の点では、亜炭を給炭機に使用した方がよいことにもよるものと思われる。

3, 実験方法および測定事項

実験は給炭機の送り、炭層および微粉機の送りを変じ、その数種の組合せによつて給炭比、火床負荷および燃焼室負荷を変じて行つた。その組合せおよび給炭量は第 4 表の通りである。

るようにした。

4. 実験結果

微粉炭機関係の温度を第 6 表に示す。

火床下への落下炭および灰坑から取り出す燃えかす

第5表 測定事項など

測定事項	測定場所	測定器具
温度	火床中央	光学高温計
"	燃焼室内 { 前部アーチ端	"
"	後部アーチ端	"
"	水管下	"
ガス温度	節炭器前	熱電対
"	節炭器後	"
"	燃焼ガス吸込ダクト	"
"	微粉炭機入口	水銀温度計
"	微粉炭機出口	"
"	微粉炭吹込口	"
蒸気温度	過熱器出口	水銀温度計
水温度	給水タンク	"
"	節炭器出口	"
蒸気圧力	ボイラドラム	ブルドン管圧力計
風圧	水管下側壁	傾斜マノメータ
"	節炭器前	U字管マノメータ
風速	微粉炭吹込ダクト	ピット管
ガス分析	水管下側	オルザート分析器
"	節炭器前	"
水量	給水管	量水計
燃料量		台秤
落下炭量		台秤

第6表 微粉炭機関係の温度

吸入ガス温度	微粉機入口温度	微粉機出口温度	吹込口温度
574°C	248°C	92.2°C	84.2°C

第7表 落下炭の分析結果

実験番号	湿分 %	水分 %	灰分 %	揮発分 %	固定炭素 %	発熱量 kcal/kg
I	3.35	1.91	59.78	22.35	15.96	2 158
3	3.95	2.57	61.46	21.92	14.05	2 133

第8表 燃えかすの分析結果

実験番号	水分 %	灰分 %	揮発分 %	固定炭素 %	発熱量 kcal/kg
1	0.47	77.83	7.02	14.68	1 465
I	1.92	78.68	19.40		1 367
2 _a	1.42	73.99	9.90	14.69	1 712
2 _b	1.02	74.50	9.10	15.38	1 680
II _a , II _b	3.05	69.70	27.95		1 900
3	3.53	75.72	4.26	16.48	1 343
III	3.09	68.33	28.58		1 842

は試料をとつてその工業分析を行つたが、その分析結果は第7表および第8表に示す通りである。

第7表および第8表の発熱量は計算によつて求めた

高位発熱量である。その計算方法は、使用炭の灰分および水分をのぞいた無灰無水部分の 1 kg ごとの高位発熱量（普通純炭発熱量という）を落下炭および燃えかすの無灰無水部分量に乗じて求めたものである。

落下炭は給炭機に使用した亜炭の粉末がすきまから落下したものである。使用炭は第1日および第2日は炭質亜炭、第3日は木質亜炭であつたから、試料としてはこの2種をとつた。その発熱量は著しく大きく原炭の約 77% あるが、その量は極めて少く、使用亜炭量の 4.1 ~ 9.2% である。したがつてこのための損失は 1.0 ~ 3.2% である。燃えかすの発熱量は 1340 ~ 1900 kcal/kg で第1報で報告した手たき中空ロストルにおけるもの (550 ~ 780 kcal/kg) に比して著しく大きい。これは給炭機における燃焼状態は不良で、未燃炭の多いことを示している。燃焼損失としては落下炭損失、灰坑から取り出される燃えかすによる損失、煙道中に堆積する灰かす中の未燃損失、飛塵損失、未燃ガスによる損失、不完全燃焼による損失などがあつて、これらを求め燃焼効率を算定することは、燃焼試験として重要なことで、このためには落下炭量、灰坑中の燃えかす量、煙道中の残灰量、飛塵の量およびその成分を測定し、かつ煙道ガスの分析を行わねばならないが、本実験では落下炭量とその成分、灰坑中の燃えかすの成分および煙道ガスの成分を測定したにすぎないから、燃焼効率を算定することはできなかったが、後述のように燃焼損失の主要部を占める燃えかす中の未燃分の多寡によつて燃焼効率の良否を察知することができる。

第9表は燃焼試験成績の主要値を示す。

この表における通風圧およびガス分析結果は、煙道ダンパ前（節炭器前）における値で、燃焼室内におけるものはただ参考にしたのみで、この表には示さなかつたが、この両者を比較すると燃焼室内では煙道ダンパ前に比して O₂ が多く CO₂ が少い。CO の量はほとんど同一である。このことは燃焼室内では過剰空気が多く燃焼が完結していないが、煙道中で燃えることを示している。

空気過剰率 μ は次式で計算した。

$$\mu = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \frac{O_2 - 0.5 CO}{N_2}}$$

燃料発熱量は1次炭および2次炭の合計に対する除湿炭の平均値で、亜炭を多量に使用した第3日の発熱量は他日よりかなり小である。

落下炭損失は落下炭量と落下炭の発熱量との積によつて使用炭 1 kg 当りの損失熱量を求め、使用発熱量に対する百分率を算出した。

第 9 表 燃 焼 試 験 成 績

実 験 番 号	1	I	2 _a	2 _b	II _a	II _b	3	II
燃焼室負荷 kcal/m ³ h	383 400	307 300	339 400	227 300	349 600	354 500	302 500	321 800
給炭機燃焼率 kg/m ² h	61.7	35.0	72.0	65.8	75.0	81.5	111	119
給 炭 比	1/1.0	1/3.05	1/1.30	1.33/1	1/1.27	1/1.13	1.75/1	1.75/1
燃 焼 室 温 度 °C	火 床 中 央	1 271	1 330	1 327	1 236	1 322	1 313	1 287
	前部アーチ端	1 120	1 175	1 110	1 148	1 176	1 206	1 176
	後部アーチ端	1 125	1 246	1 233	1 083	1 178	1 197	1 203
	水 管 下 側	821	1 059	1 084	928	1 105	1 126	1 071
通風圧 mm 水 柱	+2.08	+0.76	-0.15	+0.21	-0.34	-0.30	+0.53	+0.12
ガス分析 %	CO ₂	11.0	12.7	12.9	11.0	14.0	14.1	14.6
	O ₂	7.8	5.8	6.0	6.6	3.0	2.9	3.4
	CO	0.25	0.2	0.0	0.0	0.0	0.14	0.07
空 気 過 剩 率	1.55	1.34	1.40	1.44	1.18	1.13	1.19	1.12
燃料高位発熱量 kcal/kg	3 590	3 835	3 740	3 624	3 732	3 707	3 285	3 268
落下炭損失 %	1.09	1.01	2.14	3.20	2.08	2.06	3.24	3.02
不完全燃焼損失 %	1.58	1.20	0.0	0.0	0.0	0.32	0.36	0.0
燃えかす中の未燃分%	41.3	36.0	46.1	46.7	52.4	52.6	41.9	57.7

不完全燃焼損失は CO 含有量に起因するもので燃料 1 kg 当り 3 040 CO·V kcal である。ここに CO は煙道ガス中の一酸化炭素含有量, V は燃焼ガスの体積で, その値は Rosin 式を用い

$$V = V_0 + (\mu - 1) a_0$$

で求めた。ただし V_0 は理論燃焼 ガス量, a_0 は理論空気量, μ は空気過剰率である。

燃えかす中の未燃分%の値は, 燃えかす中の燃焼性分(揮発分と固定炭素との和)と使用炭(除湿炭)中

の燃焼性分との比として求めた。

この表によると落下炭損失と不完全燃焼損失は少く, その合計の最大は 3.6% にすぎない。燃焼効率はおおよそ 80~85% と推定されるから燃焼効率を支配するものは主として燃えかす中の未燃分の量によると考えられる。燃えかす中の未燃分量と給炭機燃焼率との関係を見ると, 燃焼率が大きくなると未燃損失が増加する。たとえば実験 I では燃焼率 35 kg/m²h で未燃分は 36% であり, 実験 II では燃焼率 119 kg/m²h で未燃

第 10 表 蒸 発 試 験 成 績

実 験 番 号	1	I	2 _b	II _a	3	II
平均蒸気圧力 kg/cm ²	4.88	3.04	4.86	3.53	3.89	4.61
平均蒸気温度 °C	201.0	200.0	206.4	205.4	199.3	197.3
給水温度 °C	給水タンク	16	16	16	16	16
	節炭器後	50	50	66	63.4	58.2
排ガス温度 °C	節炭器前	212.5	221.0	224.5	238.7	237.0
	節炭器後	134.0	132.3	164.5	150.8	183.5
給 炭 量 (除湿) kg/h	1 次 炭	686	917	419	809	536
	2 次 炭	501	284.5	522	597	851
	合 計	1 187	1 201.5	941	1 406	1 387
給 水 量 kg/h	4 036	4 311	3 272	3 573	3 690	3 872
蒸 発 補 正 kg/h	-72	+218	-127	+264	+37	+117
相当蒸発量 kg/h	4 912	5 533	3 928	4 702	4 592	4 892
相当蒸発率 kg/m ² h	13.1	14.8	10.5	12.6	12.3	13.1
燃料低位発熱量 kcal/kg	3 149	3 418	3 208	3 323	2 854	2 851
蒸 発 倍 数*	実 際	4.14	4.61	4.17	3.34	3.31
	理 論	5.84	6.34	5.95	6.16	5.29
排 ガ ス 損 失 %	7.87	6.59	9.62	7.18	10.16	8.16
ボ イ ラ 効 率 %	70.8	72.7	70.1	54.2	62.6	61.6

* 蒸発倍数とは除湿炭 1kg 当りの相当蒸発量 kg をいう。

分は 57.7% である。ただ実験 3 は燃焼率が大きいにかかわらず未燃分が少いが、これは分析試料の採取が不完全で平均試料が得られなかつたものと考えられる。

ボイラ効率を正確に求めるには、燃焼状態を一定にすると共に、蒸気使用量を一定にし、蒸気圧力および水面の変化を少くし、実験の始動時と終了時において、これらが完全に同一に保持されねばならない。また給水量および給炭量も正確に計測する必要がある。しかし実際の使用運転状態においては作業状態を一定に保ち、給水量および給炭量を正確に測ることは困難である。その測定の不正確、運転状態の不同による誤差を少くするには長時間実験が必要である。実験 I, II_a および III の実験時間は 4 時間で妥当であるが、1 ないし 3 の実験時間はボイラの蒸発試験としては短時間にすぎる。したがって蒸発試験の成績としては、比較的妥当と考えられる I, II_a, III, 1, 2_b および 3 を採ることとし、その主要値を第 10 表に示す。

蒸発補正は実験開始時と終了時における圧力変化に対する補正で、圧力の相違による温度の差異に対し、ボイラ水量とボイラ体の水当量とからボイラの蓄熱量を求め、その相当蒸発量をとつた。表中の相当蒸発量は給水量から算出した相当蒸発量にこの補正を施したものである。

排ガス損失は $V(i_1 - i_2)$ で燃料 1 kg ごとの損失熱量を求め、燃料の発熱量の百分率をとつた。ここに V は燃焼ガスの体積、 i_1 は排ガスのエンタルピ、 i_2 は大気温度における排ガスのエンタルピである。ボイラ効率は除湿炭の実際蒸発倍数と理論蒸発倍数との比として求めた。

この実験結果によると伝熱面積 1m² 当りの相当蒸発率は 11 ~ 15 kg/m²h で甚だ少い。したがって適正炭を使用する場合にくらべてボイラ容量は著しく小さくなっている。ボイラ効率は給炭比および燃焼室負荷の影響を受け、給炭比の小さいとき、すなわち微粉炭を割合に多く供給したときに良好であると共に、燃焼室負荷の小さいとき、すなわちボイラを楽に使用するときの良い値を示す。実験 II_a のボイラ効率が特に悪いのは、この実験中に 20 分間停電があつたためと考えられる。

5. 結 論

発熱量 3 000 ~ 4 000 kcal/kg の粗悪炭を使用する微粉炭併用鎖床給炭機つき水管ボイラに対し次のことがいえる。

燃焼効率は火床上の燃焼率、燃焼室負荷、給炭比および空気過剰率などによつて支配され、おおよそ 80 ~ 95% と推定され、その損失の大部分は灰かす中の未燃分によるものである。この未燃損失は主として火床上の燃焼率によつて支配され、燃焼率が大きいと未燃損失が多くなる。すなわち灰かす中の未燃分の量は火床上の燃焼率が 35 kg/m²h のときは 36% 程度であるが、70 kg/m²h のときは 48%, 120 kg/m²h のときは 53% に達する。このため火床上の燃焼率が大きくなると燃焼効率が低下する。燃焼率の許容値は給炭比と燃焼室負荷および使用炭によつて異なるが、亜炭を使用する場合はおおよそ 65 ~ 70 kg/m²h と推定される。したがって蒸発率を増加するためには、微粉炭の燃焼量を増加しなければならない。火床からの落下炭の発熱量は大きい、その量は供給炭の 4 ~ 9% 程度であるから、このための損失は 1 ~ 3% である。空気過剰率は 1.3 ~ 1.4 がよい。空気過剰率が小であると未燃損失が多くなる。しかし不完全燃焼をおこす懸念はない。

伝熱面の相当蒸発率は 11 ~ 15 kg/m²h である。したがって適正炭を使用する場合にくらべて蒸発量が著しく少くなり、半分またはそれ以下になる。

ボイラ効率は燃焼室負荷と給炭比によつて支配され、燃焼室負荷が 300 000 kcal/m³h のとき、給炭比が 2/1 ならば 62%, 1/1 ならば 70%, 1/3 ならば 73% 程度である。しかして燃焼室負荷が少くなれば多少よくなる。なお燃焼を中止すると効率が著しく低下することが認められた。

本研究は文部省試験研究費によつて行つたものである。

注：一

(1) 昭和 24 年 5 月 27 日 日本機械学会関西支部第 166 回講演会において講演、原稿受付昭和 24 年 12 月 26 日。

(2) 正員、京都大学。

(3) 正員、京都大学。

(4) 京都大学。