621.182.9:662.932

同一ボイラによる各種ストーカ・バーナの性能比較⁽¹⁾馬杉 尙次⁽²⁾ 玉木 恕乎⁽³⁾ 瀬尾 正雄⁽⁴⁾

Study on the Performance of Five Kind Coal-Stokers and Oil-Burners

by Naotsugu MASUGI, Hiroya TAMAKI and Masao Seo

Two coal-stokers and three oil-burners (simple pressure-atomization type) have been tested in the same No.1 test boiler of our laboratory, and the detailed performance curves of those stokers and burners were obtained, concluding with the following considerations:

- (1) At the point of the best efficiency, the oil-burners were better than coal-stokers.
- (2) The working ranges of oil-burner were narrower than those of coal-stoker.
- (3) The excess air ratio of oil-burner at the best efficiency was smaller than that of coal-stoker.
- (4) In the case of oil burning there were certain best density of smoke that gives best efficiency.

The facts thus found are those commonly known already, but these results of our laboratory test give the exact and detailed data and consideration for the comparison of the performance of oil-burner and coal-stoker, since the test was conducted with the same boiler under the same conditions.

1. 緒 言

当部実験用 1 号ボイラにおいてさきに石炭たきかきならしストーカ (KSK-L 型スタインミューラストーカ) の性能試験を行ったが、その後石炭たきとして下込めストーカ 1 種を行った上さらに炉を一部改装して重油たき試験装置を装着し、圧力噴射バーナ 3 種 (単噴射バーナ 2.5φ, スピルバーナ 2.0φ, スピルバーナ 1.75φ) による詳細なボイラ試験を行った。それらの試験結果を総合して、同一ボイラに対する石炭たきと重油たきの各種性能の比較を中心として多くの考察を与えることができたのでここに報告したい。

従来より石炭たきと重油たきの比較に関しては、多くの試験や考察がなされているが、いずれも断片的なものが多い。われわれは他の条件はできるだけ同一に保って燃焼器だけを変えたときのおおのの空気比性能曲面⁽⁵⁾を測定したものであって、その結果により石炭たきと重油たきの差異長短に関する純粋な比較の一端を与えることができるものと思う。なお今回の比較の一つに採用するかきならしストーカの性能結果については前報告⁽⁶⁾の記録をそのまま使用する。

2. 試験装置および方法

2.1 試験装置 試験ボイラは第 1 表に要目を示すような当部第 1 号ボイラである。その燃焼装置以外は前報に述べたものと全く同一で、ただ燃焼室に対し若

第 1 表 ボイラ 要 目

型 式	ヤーロ型三胴水管ボイラ
圧 力	16 kg/cm ² ゲージ飽和温度
温 度	
水 管 径	28 mm φ
水 管 伝 熱 面 積	74 m ²
空 気 予 熱 器 伝 熱 面 積	22.6 m ²
定 格 蒸 発 量	2 000 kg/h
ボイラ水保有量	1 000 kg/h

干の変更を加えて次の各種の燃焼器を順次装置した。

2.2 使用した燃焼器と燃料

(1) 石炭たき

a. かきならしストーカ その要目は第 2 表および第 1 図に示す(詳細構造については前報参照のこと)。

第 2 表 かきならしストーカ要目

火 格 子 面 積	1.8×1=1.8 m ² (初期は 2.1×1=2.1 m ²)
火 格 子 す き ま	2 mm (10 mm につき)
火 炉 容 積	2.7 m ³
レ ー カ 長 さ	0.9 m×30 mm
レ ー カ 時 隔	2~8 分
レ ー カ 速 度	10 cm/s (初期は 20 cm/s)
送 炭 能 力	0~500 kg/h
動 力	3 HP
点 火 ア ー チ 長 さ	460 cm (初期は 760 cm)

第 1 図 実 験 装 置 図

使用した燃料は北海道中塊炭, 雄別中塊炭, 北海道洗中塊, 芦別特中塊, 山岡粉炭および特中塊と粉炭の混炭である。

b. 下込めストーカ その要目は第 3 表に示すとおりで, かきならしストーカのあった位置に火床を更に低くして前方から取付けた。燃料は美唄粉炭およびれん炭 1 号, 2 号, 3 号である。

第 3 表 下込めストーカ要目

項 目	単位	原 計 画	第 1 次 改 造
最 大 送 炭 量	kg/h	215	245
最 大 燃 焼 量	kg/h	160	—
ノ ッ チ 段 数		8	8
火 炉 容 積	m ³	2.8	2.8
ストーカロストル面積	m ²	0.538	0.538
空 気 孔 面 積	m ²	0.0465	0.0673
上 側	m ²	0.0194	0.0308
内 側	m ²	0.0271	0.0365
動 力	HP	2	2

(2) 重油たき ボイラ燃焼室壁面に石炭たきとは反対の後方にエヤコーンを設け, その中央から噴射バーナにて重油燃焼をする。その略図は第 1 図に示してある。使用したバーナは第 4 表に要目を示し, 第 2 図および第 3 図に構造を示すように

第 4 表 バ ー ナ 要 目

種 類	単位	単 純 噴 射 バ ー ナ	1.75φスピ ルバーナ	2.0φスピ ルバーナ
噴射口径	mm	2.5	1.75	2.0
戻り口径	mm	—	2.0	2.0
定格容量	kg/h	100~300	40~160	60~200

第 2 図 単純噴射バーナ

第 3 図 スピルバーナ

a. 単純噴射バーナ 2.5φ 1 個

b. スピルバーナ 1.75φ (戻り部 2.0φ)

c. スピルバーナ 2.0φ (戻り部 2.0φ)

の 3 種を行った。燃料は B 重油がおもで A 重油についても行った。

2.3 試験方法 試験方法としては石炭および重油たきとも燃焼度と空気比をパラメータとするボイラ性能曲面をとる方式によった。かきならしストーカおよび重油たきについては問題はなかったが, 下込めストーカの送風量は火層の抵抗すなわち火層の厚さ, 炭種, 石炭の粒度, 湿分, 整火の時期および方法などによって異なり, 送炭ノッチおよび送風機のダンパ開度を一定にしておいても時間とともに送風量は変化し, 一方, 送炭量も同一ノッチ段数で炭種, 湿分, 粒度によって変り, 大きいときは 20% 程度の差を生ずるので, 燃焼をある定まった空気比にもっていくことは困難であった。その結果一単位の試験中は送炭ノッチおよび送風機のダンパ開度を一定とし, その試験の間の平均空気比をもって, その単位試験の空気比とした。よって系統的な試験を行えず, 性能曲面上のある点をいくつかとり同じような送炭量のものを一つのグループとして性能曲面を作った。

空気比性能曲面をとるための条件として次の二つを実行した。

(1) ボイラ圧力一定とする必要があるので, 主蒸

気の放出管路のおもり式調圧弁に更に背圧の影響をうち消す背圧ピストンをおき、一単位につき $\pm 2\%$ 以内の圧力一定の状態にした。

(2) また炉内風圧は傾斜マノメータで $\pm 1/5$ mm 水柱以内に保つようにダンパもしくは吸引エゼクタを毎回調整した。

一つの燃焼量における一つの空気比をもって一単位とし、一単位の継続時間は重油たきに対して 15 分以上とし、その後半の 10 分もしくはそれ以上をもって定常状態と仮定した。石炭たきについては一単位最低 20 分で、普通は 30 分ないし 2 時間とし、おのおの場合に応じてその後半に定常と見なす時間を適当にきめた。

空気比の変更は一般に空気比の多い方から逐次減少して行く方法を取り、急激に大きな変化を生じさせることは避けた。

2・4 計測 給炭量はホッパ投入前にはかり、各試験時の湿分を毎回計測した。重油消費量は検定済の傾斜板式流量計を使用し、重油加熱を行った場合には温度補正を行った。給水量はオーバル積算流量計を用い、空気比変更試験一単位の真蒸発量は給水流量に試験開始時と終了時の水準差およびドラム内圧力差による保有水量と熱量の増減による補正値を加えた。蒸気流量はオリフィス式蒸気流量計で計測した。風量はオリフィスによる差圧を読み、空気室および下込めストーカの火床下の風圧はマノメータにて測定した。ガス分析および煙濃度の計測は第 1 図に概略を示す。ガス分析は空気予熱器前の燃焼ガスを連続的に吸引して CO_2 をブラウン式および理化電機式の CO_2 メータにより、 O_2 は試作の磁気式 O_2 -メータ⁽⁷⁾にて行い、オルザットガス分析もあわせて行った。煙濃度は試作光電堆式煙濃度計をおもに用い、肉眼によるリンゲルマン濃度も比較を行うため計測した。火炎温度は連続式のふく射高温計で火炎最高温度を測定した。実験の当初は光高温計によったので比較のときはふく射高温計を基準として差を補正した。炉内風圧は空気の流れによる影響をなくすために 12 倍の傾斜マノメータで常に $1/5$ mm 水柱以内となるようにした。

3. 試験経過および結果

3・1 試験経過 石炭たきとして下込めストーカ 11 単位 (おのおの 1.5 時間ないし 6 時間)、重油たきとして直接噴射バーナ 2.5ϕ で 16 単位、スピルバーナ 1.75ϕ で 29 単位、スピルバーナ 2.0ϕ で 44 単位 (おのおの 20 分ないし 2 時間) の詳細な定常試験を行い、さきに行ったかきならしストーカ 36 単位の結果も比較の一つとして採用した。

重油たきでは各測定項は試験時間中大きな変化はないが、石炭たきではかきならしストーカのレーカによる周期性があり、下込めストーカでは約 30 分おきくらいに整火の必要があって整火直後は変動が多かった

が、なるべく長時間行って、全体の平均をとる方式を採った。

3・2 試験結果

(1) **空気比性能曲面** 各燃焼器の空気比性能曲面を第 4 図ないし第 8 図に示す。第 4 図はかきならしストーカによる性能曲面である。炭種、炭層厚さによる影響は認められない。漏れ空気が多いので空気比を

第 4 図 かきならしストーカ空気比性能曲面

第 5 図 下込めストーカ空気比性能曲面

1.2 以下にさげることは困難である。第 5 図は下込めストーカによる性能曲面で石炭およびれん炭について行ったが、このストーカでも炭種による相違は認められない。ただれん炭は粉炭に比してかたまりが大きいので燃えきりの時間が長い。下込めストーカは空気比に対して比較的敏感で、最良効率をはずれると見かけの効率は急激に低下する。これは下込めストーカの燃焼が空気量によって影響を受け、送炭した量は必ずしも燃焼した量ではなく、空気量の過少の場合には空気量に対して過剰の石炭は堆積し、空気量が過多の場合には火層厚さに対して風圧が高くなるので風は吹抜けの状態になる。ゆえに同一送炭量に対する空気比性能曲面は最良空気比をはずれば効率は非常に低下しやすい傾向がある。

第 6 図は単純噴射バーナによるボイラ性能曲面である。このバーナの容量の大きい所では送風量が送風機の容量以上になるので、広範囲の空気比変更はできなかった。

スピルバーナは第 7 図、第 8 図によるごとく両者容量の相違だけで大きな違いはない。

第 6 図 単純噴射バーナ空気比性能曲面

第 7 図 スピルバーナ 1.75φ 空気比性能曲面

第 8 図 スピルバーナ 2.0φ 空気比性能曲面

一般に重油たきは石炭たきに比して空気比の変更は容易であり、空気比 1.0 以下も可能で、最良効率を与える空気比は前者が 1.4~1.7 に対し後者は 1.6~1.8 と多くなる。

使用したボイラのボイラ効率の絶対値はボイラが小形であり水管のピッチが狭く汚損が多いこと、伝熱面に対し炉壁が大きいのでふく射損失が多い点や、ボイラ壁が緊密でなく漏れ空气の多いことからあまり高くなく、重油たきで 70% 前後、石炭たきで 65% 前後であった。

なお個々の詳細記録は別報⁽¹⁰⁾に掲載する予定である。

(2) 各個の燃焼器の負荷特性

第 9 図に各個の

第 9 図 燃焼器別負荷特性

性能曲面のうち最良効率の点だけを各燃焼器別にとった。本ボイラに対する最良燃焼度は約 35 万 kcal/m³h であって、石炭たき、重油たきとも同じである。

石炭たきでは、かきならしストーカが広範囲の負荷が可変であり、しかも広範囲にわたり性能も良好である。下込めストーカは力度の高いところは火床の大きさ、羽口の空気穴面積によって制限をうけ負荷可変範囲は狭い。しかし両ストーカとも最良効率、最良空気比はほぼ等しく、本ボイラに対する石炭たきの限界を示している。炭種による差は両者ないが、後者では炭層の厚さによる影響があらわれる。

重油たきでは各バーナによって、性能のよい負荷範囲、すなわち使用範囲があり、それを越すと急激に効率は低下する。このことから負荷に対するバーナ選択が必要である。3 種のバーナは負荷範囲を異にするだけで傾向においてあまり差はなく、負荷変更可能範囲は 50% 程度で狭い。2 種のスピルバーナではボイラの同一負荷の場合に通常の負荷範囲では小なるバーナの高負荷のところを使うよりも大なるバーナの低負荷を使った方がよい。これはバーナの静特性⁽⁹⁾から高容量バーナの低負荷の方が平均粒径も小さく噴射角度も広いので燃焼がよく行われる。

重油たきと石炭たきの全体の比較をすると重油たきは石炭たきに比して一般に効率よく、最良効率を与える空気比も小である。石炭たきの火床上の未燃分損失とボイラの同一負荷で、排気温度が重油石炭たきともほぼ等しいので、空気比の差による排気損失の差が生じ、この二者の和が重油たきと石炭たきの効率の差を説明するものと思われる。一種類の燃焼器ではかきならしストーカは負荷変更範囲は非常に大きく、特に低負荷では上記 3 種のバーナの出し得ないところまで可能である。本ボイラにたきうる最大の火炉負荷は石炭たき重油たきとも大して差はない。火炉の高負荷では重油たきは石炭たきに比して、はるかに効率良好である。

(3) 煙濃度 第 10 図、第 11 図に煙濃度計による煙濃度を横軸とするボイラ効率曲面を石炭たき、重油たきについて示す。各燃焼器によって最良効率を与える煙濃度があり、重油たきでは 10~20% で最も性能がよく、石炭たきでは効率良い場合の煙濃度は重油たきのときより多く 20~40% 程度である。最良効率

第 10 図 石炭煙濃度

第 11 図 重油煙濃度

第 12 図 最良煙濃度範囲

を与える煙濃度を火炉負荷に対してとったのが第 12 図である。石炭たきでは負荷の増加とともに最良効率を与える煙濃度もふえるが、重油たきでは中負荷で一時非常に薄くなり、それより負荷が高くて低くても煙濃度は増加する傾向がある。

(4) 火炎温度 負荷に対する火炎最高温度を第 13 図に示す。火炎温度はふく射高温計で下込めス

第 13 図 最高火炎温度

ーカと重油たきの後半の試験で測定した。かきならしストーカは光高温計で測定したので、その両者の差を補正した。最高火炎温度は石炭たきでは 2 種の燃焼器であり変らず、重油たきは測定の回数が少ないので傾向はあまりわからない。

(5) 過渡特性 第 14 図は急激に燃焼状態を変えたときの過渡特性を示す。横軸に時間を取り縦軸に

第 14 図 過渡特性

は蒸発量の変化前の定常値に対する比をとる。同図のように負荷を大きく変えるのであれば石炭たきも重油たきも、時定数はあまり変らない。ただ石炭たきの場合には火層の厚さ、湿分によって影響されるところが割合に大きいようであり、始動停止などの大きな

4. 考 察

前章までの 5 種のストーカ・バーナの性能試験結果から一般的な見地で重油たきと石炭たきの特徴を考察すると次のようになる。

石炭たき

- 1 種類の燃焼器では負荷の変動可能範囲は比較的広い。
- 極く低い負荷でも運転できる。
- 一般に重油たきより効率が悪い。
- 炭種による差はあまりないようである。
- 最良空気比が大きい。
- 発煙が多い。

重油たき

- 1 種類のバーナでは負荷範囲は狭いので、もっと広い負荷範囲のバーナを見出す必要がある。現在の 3 種類のバーナでは適正な運転をするのにボイラの負荷に応じてバーナを取替える手数が要る。
- 極く低い負荷では性能は低下する。
- 一般にいて最良効率は石炭たきよりも 3~4 % 多く、特に高負荷では石炭たきに比してはるかに性能がよい。
- 最良空気比は小である。
- 発煙が少いままで性能よく運転できる。
- 負荷の変動も石炭たきのように、種々の因子に

よって影響されるところが少く弾力性が強い。

g. 石炭たきのような周期性や経時による変化が少い。

その他一般的考察

a. 重油たきに対しては煙濃度をパラメータとしたときは、空気比をパラメータとするのと同様な一種の性能曲面が描けて、最良効率を与える煙濃度が存在する。その付近の濃度は一般に約 10% 前後の淡い煙である。排気温度によっても全く同様な性能曲線が描ける。

b. 石炭たきおよび重油たきのそれぞれの最良効率のときを比較すると前記のようになるが、實際上最良効率をはずれた位置で運転すれば効率において両者ともたいして差がなくなる可能性があり、特に空気量の変動に対して重油たきの方が敏感である。

5. 結 言

以上のごとく 5 種類のストーカおよびバーナで、空気比性能曲線を主にして石炭たき重油たきの性能比較

を行った。その結果、従来より定性的にいわれている線をあまり出なかったが、実際に同一ボイラにより系統的な比較実測値をうることができた点において何らか貢献するところあれば幸である。

ストーカ・バーナの比較としては以上の 5 種類の外に機構の異なるなお多数のストーカ・バーナについて実験を行う必要があり、またバーナとしても広い負荷範囲で効率よいバーナを見出すよう努力している。

注：一

- (1) 昭和 30 年 5 月 21 日 第 603 回講演会において講演、原稿受付 昭和 30 年 8 月 20 日。
- (2)(4) 正員、運輸技術研究所。
- (3) 准員、運輸技術研究所。
- (5) 抜山、武山、千葉、機械学会論文集、18 巻 67 号、95 ページ (昭 27)。
- (6) 馬杉、清水、外 5 名、機械学会誌、56 巻 415 号、617 ページ (昭 28)。
- (7) 馬杉、自動制御、2 巻 3 号 (1955-9)。
- (8) 瀬尾、造船協会論文集、97 号 (昭 30)。
- (9) 寺野、機械学会論文集、19 巻 88 号、45 ページ (昭 28)。
- (10) 馬杉、運研報告、5 巻 12 号前後に掲載予定。

621.43.019.8

石油機関のノッキングに対する水噴射の影響⁽¹⁾

喜多野 晴 一⁽²⁾ 丸 尾 寿 彦⁽³⁾

The Effect of Water-Injection Upon the Knocking of Kerosene Engine

by Seiichi KITANO and Toshihiko MARUO

At the running of kerosene engine by gas oil, heating of mixture is very effective in light load, but in heavy load knocking combustion occurs and engine performance is lowered.

We researched the effect of water injection on the knocking at such a state, changing the air-fuel ratio and water quantity injected.

It was found that knocking was suppressed, power output or thermal efficiency was increased respectively by about 10% as a result of injecting a proper amount of water in the suction pipe.

Water injection was most effective for rich mixture.

In case of non-heating of mixture, water injection was equally effective for knocking.

1. 結 言

石油機関に低質燃料(軽油)を用いた場合、混合気の加熱が機関性能に及ぼす影響については既に実験を行い、その結果を発表した⁽⁴⁾。それによれば混合気を加熱すると軽負荷では著しく熱効率を高めうるが、全負荷付近になるとノッキングが大になり、かえって性能が低下することがわかった。

そこで混合気加熱の場合、全負荷付近以上において

は水噴射を行ったならば、ノッキング抑制に効果があり性能を向上出来るものと考えてこの実験を行った。また混合気を加熱しない場合でも、負荷が大になるとノッキングを起すので、これに対しても水噴射が有効なはずであるから、これもあわせて実験した。第 1 図は前に行った実験結果の一例であるが、点線で示した EF' および BC' が混合気を加熱せざる場合および加熱せる場合の水噴射による効果予想線である。

なおガソリン機関に対しては水噴射の実験⁽⁵⁾がこれ