

■ 技術賞内容紹介 ■

微粉炭燃焼ボイラ用内部セパレート型ワイドレンジバーナの開発

Newly Developed Wide Range Pulverized Coal Burner for Utility Boiler

小谷田 一男*・沖 裕壮**・安部 新一***・小笠原 一****
 Kazuo Koyata Yuso Oki Sinichi Abe Hajime Ogasawara
 檜垣 和司*****・氣賀 尚志*****・高野 伸一*****
 Kazushi Higaki Takashi Kiga Shinichi Takano

1. 緒言

電力構成に占めるベースロード用としての原子力発電の割合が増加することにより、火力発電プラントに夜間の低負荷運転、プラントの運用停止などが求められている。これまで、ベースロード用として位置づけられていた微粉炭燃焼発電プラントもその例外ではなく、重油燃焼発電プラントなみの中間負荷運用が求められるようになってきた。しかし、従来の微粉炭バーナは運用最低負荷が40%程度であるため、低負荷での運用においては運用上の支障となるミルの停止によるバーナ本数の削減または重油燃焼への切り替えが余儀なくされていた。そこで、ミルの停止/起動を行なうことなく、微粉炭バーナで極力低い負荷まで運用できることが望まれてきた。

このような要求に対しては、これまでも低負荷対応の微粉炭バーナの開発が行われてきたが、これらのバーナは構造が複雑でバイパス燃料管や濃縮器などバーナ外の付帯機器も多いことから、新設火力はともかく既設火力の改造などでは十分な検討が必要であり、かつ据付けが煩雑になるなどの問題があった。

そこで、(財)電力中央研究所と石川島播磨重工業(株)(IHI)は構造を簡略化しコンパクト化をはかっ

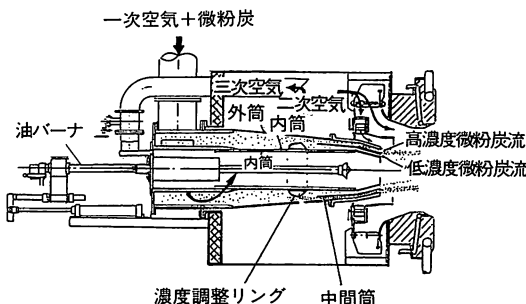


図-1 内部セパレート型ワイドレンジバーナの構造

た内部セパレート型ワイドレンジバーナ(図-1)を共同開発した。その開発は1990年から開始され、要素試験、燃焼試験炉での燃焼試験、摩耗耐久試験などを実施した。そして、その実用化に向け1994年より四国電力(株)を交えた3社共同で、四国電力(株)西条発電所2号ボイラ(250MW微粉炭専焼ボイラ)において24本のバーナのうち4本を本バーナに改造し、実証試験を実施した。その結果、微粉炭専焼でのユニット最低負荷はこれまでの30%負荷から20%負荷まで低減できることが確認され、現在は更に4本のバーナが本バーナに改造され実運用されている。また、現在建設中の700MW級ボイラでも本バーナが採用される予定である。

本稿では、微粉炭専焼ボイラ用内部セパレート型ワイドレンジバーナの開発経緯および実証試験の結果をとりまとめて報告する。

2. 内部セパレート型ワイドレンジバーナの概要

微粉炭燃焼ボイラではミルにより、粉碎された微粉炭は空気(一次空気と呼ぶ)によりバーナまで搬送される。この場合、一次空気の量は、ミルおよび微粉炭管内への微粉炭の堆積を防止するため、必要流量の最

* 財電力中央研究所 横須賀研究所 主管研究員
 ** " 発電システム部 熱動力グループ 担当研究員
 〒240-01 神奈川県横須賀市長坂2-6-1
 *** 四国電力(株)西条発電所 技術次長
 〒793 西条市喜多川853
 **** 四国電力(株)火力部 橋湾火力プロジェクトチーム 副主査
 ***** " " 火力プロジェクトチーム 主任
 〒760-91 高松市丸の内2-5
 ***** 石川島播磨重工業(株)豊洲総合事務所 電力事業部
 燃焼技術部 課長
 ***** " " " 燃焼技術部
 〒135 東京都江東区豊洲3-2-16

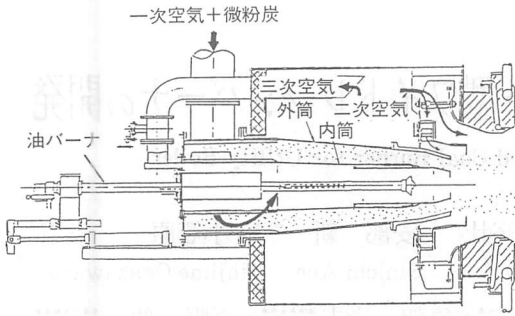


図-2 IHI-DFバーナの構造

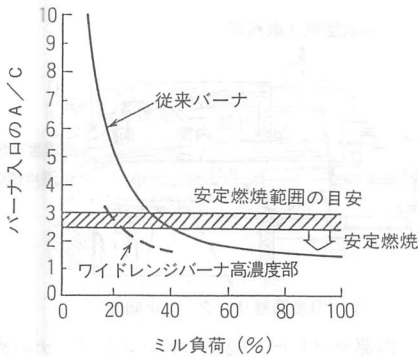
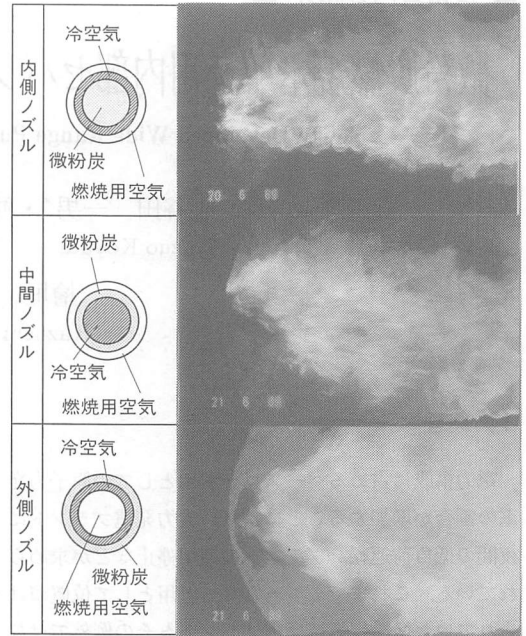


図-3 ミル負荷-A/C (Air/Coal) の関係

低値が決められている。このため、給炭量の少ないミル低負荷時においては、バーナへ送られる微粉炭管内の微粉炭流は低濃度となり、従来のIHI-DFバーナ(図-2)では安定して燃焼することが困難な状態になる。すなわち、図-3に示すように、従来バーナでの安定燃焼を維持できる搬送用空気量と微粉炭量の比(A/C)は2.5~3.0、このときのミル負荷は35~40%であり、これが最低燃焼可能負荷となっている。一方、ワイドレンジバーナにおいては、バーナ内部の微粉炭通路に設けられた濃度調整リングと中間筒により低負荷時の希薄な微粉炭流を濃淡に分離し、バーナノズル出口部に高濃度微粉炭流を局部的に形成する。これによって従来バーナでは安定燃焼がむずかしい、A/Cの大きな低負荷においても、安定した燃焼を得ることができる。

3. 内部セパレート型ワイドレンジバーナの開発経緯

本バーナは3重管ノズルを採用しており、これが従来の微粉炭バーナと大きく異なる点である。そこで、開発に当たっては微粉炭流の濃縮特性のみならず、保炎性を含む基礎特性について十分検討を行なった。



冷空気：低濃度微粉炭流を模擬 微粉炭：高濃度微粉炭流を模擬

写1 3重管バーナによる噴出位置検討のための燃焼試験結果

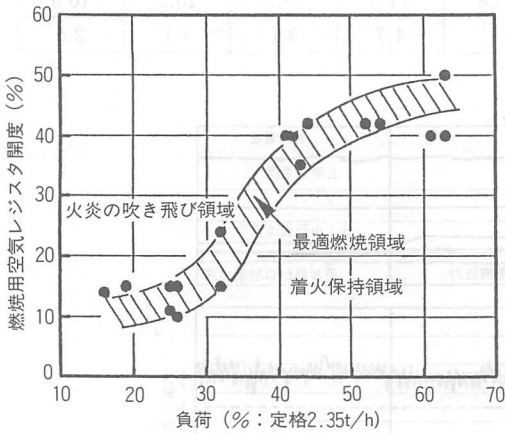
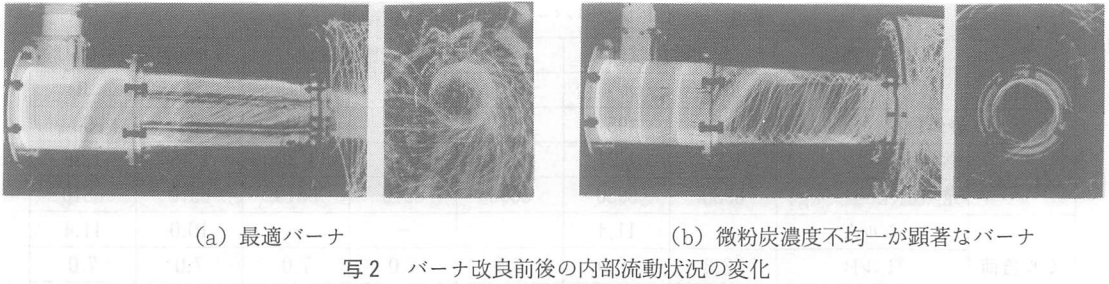
3.1 要素試験

3重管ノズルのどの位置から微粉炭を噴出すれば燃焼が安定化するかを確認するため、燃焼量150kg/hの3重管バーナを試作し燃焼試験を行った。微粉炭の噴出位置を変化させた場合の燃焼状況の変化を写1に示す。3条件のうち微粉炭を外側ノズルから噴出させた場合が火炎角度の大きい安定した短炎が容易に形成されることを確認した¹⁾。

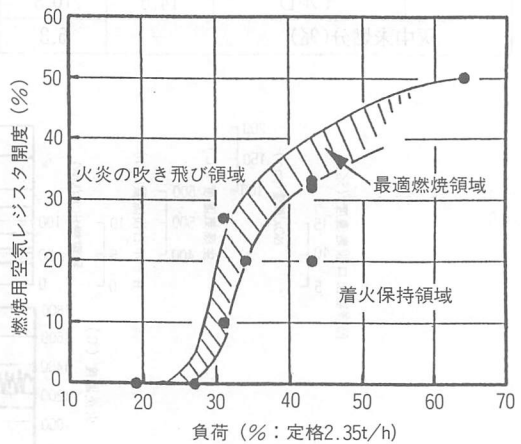
また本バーナは濃度調節機構としては構造が簡単な濃度調整リングを設置している。そこで、濃縮性能に与えるリングの形状、位置を評価するために、コールドフローパターン試験を実施し、濃縮性能の良いリング形状およびリング位置を決定した²⁾。

3.2 ベンチスケールの燃焼試験

以上の基礎試験結果を参考にして、燃焼量120kg/hのワイドレンジバーナを試作し燃焼試験を実施した。試験は燃料比1.6の海外炭を用いて行い、定格負荷から25%負荷まで安定して燃焼できることを確認した。さらに、目標の最低負荷20%を達成すべく、詳細に調査したところ、微粉炭流のノズル円周方向の偏流が見られることが分かった。そこで、微粉炭流の可視化試験を行いバーナの内部構造の最適化を行った。可視化



(a) ワイドレンジバーナの火炎保持裕度
(低負荷でも着火保持領域が存在する)



(b) 従来低NOxバーナの火炎保持裕度

図-4 パイロットスケールバーナの燃焼安定性の比較

試験の結果を写2に示す。写真より微粉炭流の偏流がほぼなくなったことが確認でき、さらに燃焼試験により最低負荷20%が確認された。

3.3 パイロットスケールの燃焼試験

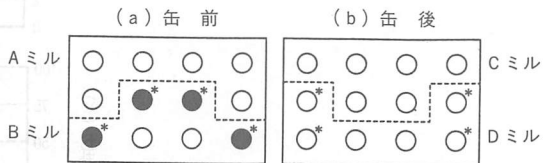
目標最低負荷20%を達成した燃焼量120kg/hのバーナを2.35t/hまでスケールアップし、燃焼試験を実施した。試験にあたっては基準バーナである従来バーナにより比較試験も行った。試験の結果、図-4に示すように従来バーナの最低負荷が30%程度であるのに対し、本バーナが20%以下の極低負荷条件においても安定な燃焼が維持でき、負荷16%程度まで燃焼可能であることが確認された。

これまでの試験結果により本バーナの実用化にめどが立ったため、実機において実証試験を行った。

4. 実缶実証試験

西条発電所2号ボイラにおいて、つぎの点を確認するために実缶実証試験を実施した。

1. 実缶運用におけるバーナ最低負荷性能の確認



○: 通常バーナ ●: ワイドレンジバーナ
*: 最低負荷での燃焼バーナ

図-5 西条発電所2号ボイラのバーナ配置

2. バーナ耐久性の確認および耐摩耗材の選定

4.1 ワイドレンジバーナへの改造

本ボイラは、最低負荷運転の際、図-5に示すボイラ下側のBミル系統およびDミル系統のうち、*印をつけた8本のバーナのみが使用される。そのため、本実証試験ではこのうちのBミルの4本のバーナをワイドレンジバーナに改造した。なお、一部のバーナでは微粉炭通路内の摩耗を考慮し、バーナ内筒表面および外筒内面の材質に試験的に耐摩耗材料を使用した。

バーナの燃焼状態の監視および評価には常設のIHI-

表1 ワイドレンジバーナ実証実証試験結果

項目	種別	現状確認試験		ミル2台最低負荷試験			ミル4台最低負荷試験	
		ミル2台	ミル4台	I	II	III	I	II
プラント最低負荷 (MW)		63	95	51	50	50	90	90
石炭	燃料比(FC/VM)	1.27	1.27	1.47	1.45	1.36	1.45	1.36
	発熱量(kcal/kg)	6930	6930	6690	6970	6810	6970	6810
ミル負荷 (t/h)	ミルA	—	11.4	—	—	—	10.0	11.4
	ミルB	13.3	10.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0
	ミルC	—	10.9	—	—	—	10.5	10.5
	ミルD	14.5	10.3	15.8	14.8	15.5	10.5	10.5
灰中未燃分(%)		—	5.3	—	4.7	3.1	4.1	2.8

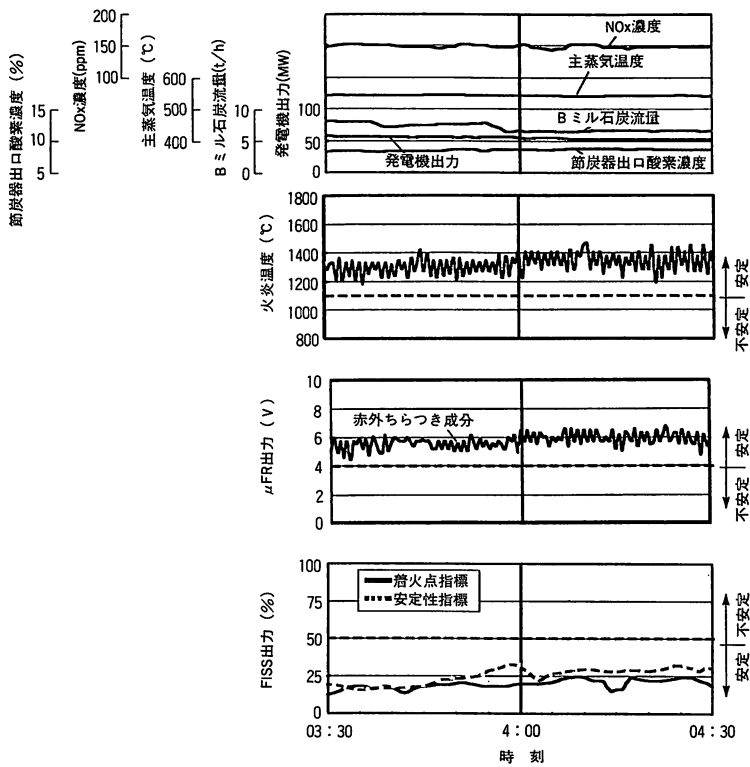


図-6 ミル2台での最低負荷確認時のプラントデータ

μFR火炎検出器および燃焼診断装置 (FISS)⁴⁾ならびに、バーナ正面の覗窓に仮設した2色式温度計⁵⁾を用いた。ここでFISSとはバーナごとの燃焼状態(火炎の着火性、安定性、火炎温度、クリンカの付着)を各バーナ火炎からの光を分光分析することにより評価するものである。

4.2 実証試験

4.2.1 現状確認試験

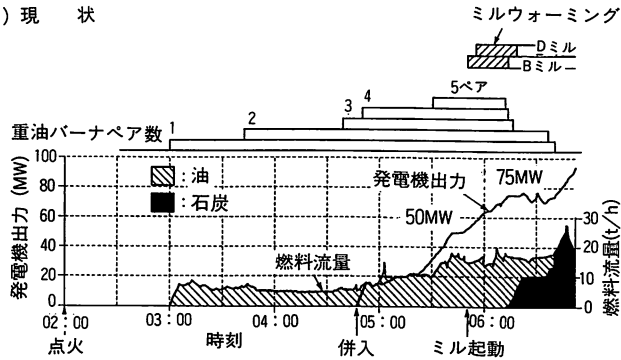
バーナの改造に先き立ち、改造後の燃焼状態と比較

することを目的として、従来バーナでの燃焼可能最低負荷、火炎形状、火炎検出器出力、火炎監視装置出力、プラントデータなど現状確認を実施した。

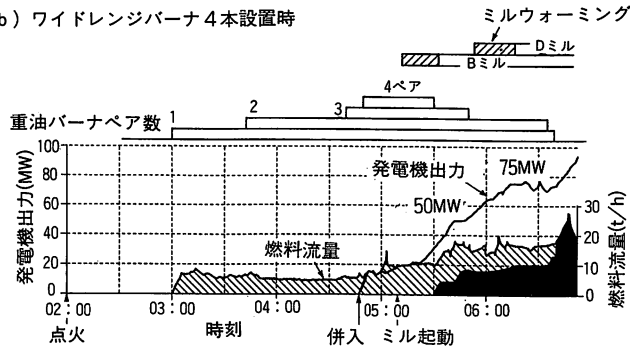
4.2.2 ワイドレンジバーナ実証試験結果

実証試験ではミル2台および4台での最低負荷確認試験およびDSS (Daily Start and Stop) 時の起動試験を行なった。試験結果を現状確認試験の結果と比較して表1に示す。また、約1年の通常運用を通じてバーナの耐久性を確認し実用的な材料選定が可能

(a) 現 状



(b) ワイドレンジバーナ4本設置時



(注) 石炭の流量は油換算とする。

図-7 熱缶起動時の石炭投入時期の早期化

となった。

(1) ミル2台での最低負荷試験

ミル2台でのプラント最低負荷 (50MW) への負荷降下時のプラントデータおよび各燃焼評価指標出力を図-6に示す。同図に示すようにBミルの負荷が最低負荷にいたるまで各燃焼評価指標出力は現状確認試験で求めた安定燃焼範囲内にあり、低負荷においても十分安定した燃焼が得られていることを確認できた。また、主蒸気温度やNO_xについても十分安定しており、運用上問題ないことが確認できた。

さらに、負荷降下率を1MW/min. として行なった負荷降下試験においても、負荷変化中に過渡的に燃焼状況が悪化することもなく十分安定した燃焼を維持できることを確認した。これによりミル2台の確認最低負荷は現状確認試験での63MWからプラントの給水制御上の最低負荷である50MWとなった。

(2) ミル4台での最低負荷試験

中間負荷運用への適応性をさらに評価するために、ミルの起動停止の必要ないミル4台での石炭専焼最低負荷確認試験を実施した。燃焼バーナは、各ミル4本ずつ合計：16本で行なった。ワイドレンジバーナの改

造前、ミル4台での確認最低負荷は95MWであったが、バーナ改造後の最低負荷は計画どおり90MWまで運用できることを確認した。また、灰中未燃分についてはバーナの改造により若干下がる傾向を示している。

(3) 起動時の微粉炭投入時期の早期化

本バーナの使用によりボイラ起動時に使用される重油を従来より早く石炭に切り替えることができることを確認するため、とくにDSSを考慮した熱缶起動時のケースについて確認試験を実施した。

試験の結果、従来、熱缶起動時の微粉炭の投入可能時期はプラント負荷が75MW (30%負荷) に達した時点であったのに対し、ミルを早期に起動した場合 (20MW相当時) でも、微粉炭バーナが安定した燃焼を実現することを確認した。これらの結果をもとに、熱缶起動時のミル起動タイミングを従来より早期のタービン併入直後としたときの予想起動カーブを、通常起動の場合と比較して図-7に示す。同図から、微粉炭燃焼開始時期を早めることで、起動用重油をDSS起動1回あたり約5t削減できることがわかる。

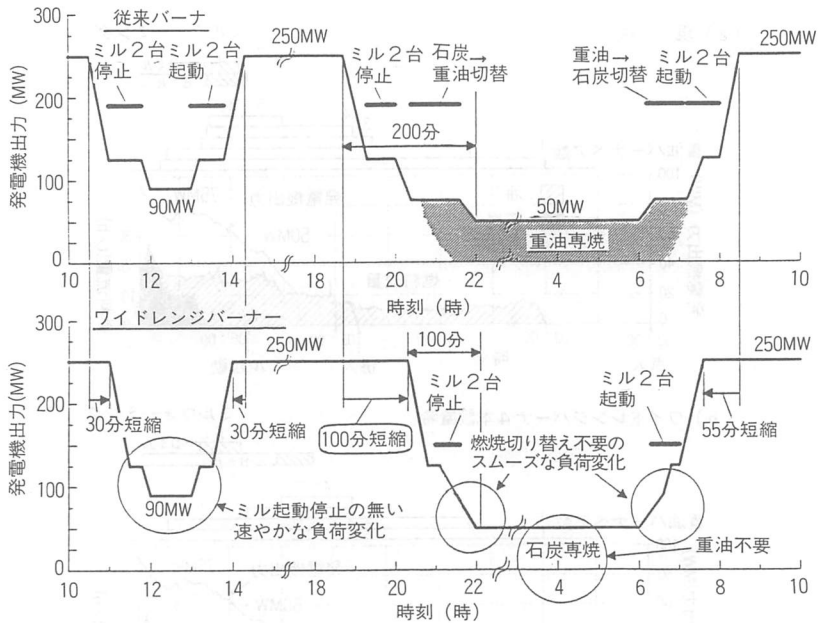


図-8 ワイドレンジバーナーによる運用性改善効果

5. 運用特性の改善

図-8に西条2号ボイラにおけるワイドレンジバーナー8本導入後の運用例を示す。図よりミル4台で運用負荷範囲が拡大されることにより、中間負荷でのミルの起動/停止がなくなり、ミル起動/停止時に必要であった助燃用の軽油が不要となるほか、負荷変化に必要な時間も大幅に短縮できる。また、プラント最低負荷まで石炭専焼が可能となったことにより、重油→石炭の切り替えが不要になり、重油消費が大幅に削減されると共に、迅速な負荷変化が可能となった。

6. 結言

油バーナ並の低負荷まで安定燃焼が可能でかつ、従来の微粉炭バーナ並にコンパクトな構造を持つ内部セパレート型ワイドレンジバーナを開発し、実証試験により微粉炭燃焼用ボイラの中間負荷運用への対応に非常に効果的であることを確認した。

今後、新設されるボイラ、既設のボイラを問わず本バーナがひろく採用され、微粉炭火力の運用性を向上させることを確信している。

参考文献

- 1) 小谷田一男, 沖裕社, 氣賀尚志, 牧野啓二 微粉炭バーナにおける燃焼安定性に及ぼす微粉炭噴出位置の影響 第28回燃焼シンポジウム 1990
- 2) 小谷田一男, 沖裕社, 宮前茂広, 氣賀尚志 石炭火力の運用性を改善するワイドレンジバーナの開発 火力原子力発電 Vol.45 No.3 1993
- 3) T. Kiga, S. Miyamae, K. Koyata, Y. Oki and T. Tanaka : Pilot-Scale Experimental Study on WR Burner for Low Load Operation JSME-ASME International Conference on Power Engineering-93 Proceedings Vol.2 pp. 331-336
- 4) H. Hashimoto, S. Miyamae, K. Makino and K. Tamaoki : Development of Flame Diagnostic System for a Coal Firing Boiler International Power Generation Conference 1992
- 5) 沖裕社, 小谷田一男, 安部新一, 小笠原一, 檜垣和司, 氣賀尚志, 高野伸一 : 微粉炭ワイドレンジバーナの実証確認試験 電中研報告 W94019 1995