

新しい技術

UDC 662.94 : 531.787 : 681.2-553

微圧振動による燃焼制御技術の開発

大谷 啓一*・小田原隆一*・鈴木 富雄*・森本浩太郎*
阿部 亨*・森川 哲*²・明石五十六*³・田中 雄司*³

Combustion Control by Minute Pressure Pulsation Pattern

Keiichi OHTANI, Ryuichi ODAWARA, Tomio SUZUKI, Kotaro MORIMOTO,
Tooru ABE, Akira MORIKAWA, Isoroku AKASI, and Yuji TANAKA

1. 結 言

現在のわが国のエネルギーの総需要は、石油換算で年間約5億klである。その15%を消費している鉄鋼業はエネルギー多消費産業といわれ、1973年の第1次石油危機以後強力に省エネルギー活動を推進してきた。

当社における消費エネルギーの割合は、高炉で70%、他の設備で30%であるが、高炉で使用されるコークスを除いても年間の燃料消費量は石油換算で 2.3×10^6 klと膨大な量に達している。その大半は燃焼の形で消費されるので、燃焼改善による省エネルギー技術の開発は重要課題となつている。

製鉄所の燃焼設備の中で、多量の燃料を使用する均熱炉および加熱炉の燃焼改善技術としては、酸素分析計の導入や燃料流量に比例して空気比率を修正するカスケード制御^{1)~3)}、そして計算機の導入による投入熱量のパターン制御などが実用化されている⁴⁾。

その目的はあくまで炉内で発生する熱の有効利用をめざすものであるが、基本となる「炉内の燃焼状態を直接に把握して、制御を行う」という技術は確立されていない。このため、変動要因の多い実炉に、効果的な燃焼改善技術を適用しても十分に成果が得られない場合が多かつた。したがって、実炉の条件下でも燃焼状態をリアルタイムで的確に判断して、常に最適な状態を再現性よく実現させる制御技術の開発が必要となつた。

この方法として、燃焼時に発生する微小圧力の振動に着目して、燃焼状態と振動パターンの相関を検討した。その結果、燃焼状態の指標として使用できることが明らかとなり、この原理を利用した最適燃焼制御装置の実用化を検討した。

2. 燃焼微圧振動

これまで燃焼に関する振動としては、不安定燃焼として取扱われる燃焼振動 (Combustion oscillation) や騒音問題に関連する燃焼ごう音 (Combustion roar) が広く検討されている⁵⁾⁶⁾。しかし、燃焼が開始されると、その安定、不安定にかかわらず必ず微小な圧力振動が発生している。すなわち、燃焼とは可燃物分子の光と熱をとともなう酸化反応現象であつて、火炎はこの集合体である。この酸化反応にとともなう局所的な圧力変動、火炎のふらつき現象、間けつ現象、乱れに付随する局所的な密度変動などが重なつて、通常の安定した燃焼状態の場合でも炉内圧力に重複して、ランダムな微圧振動が発生している。また、最近になつて火炎の発光頻度と振動の関係も明らかにされてお⁷⁾、燃焼時に発生する微圧振動は燃焼状態と密接な関係があることが確認されている。この、燃焼にとともなつて発生する振動を燃焼微圧振動と定義した。

3. 試験装置および方法

3.1 燃焼試験炉と燃焼条件

当社で多量に使用しているブタンガスおよび重油燃料について、微圧振動と燃焼状態の関係を検討するため、試験炉で種々の燃焼状態をつくり、振動パターンを測定した。

試験炉の構造図を Fig. 1 に示す。試験炉は、内径1mφ、長さ4mの円筒横形、耐火壁構造である。燃焼量は 400×10^3 kcal/h、空気温度は320°Cを標準条件としている。

燃焼状態を変化させる要因は種々あるが、実炉で容易

昭和56年3月4日受付 (Received Mar. 4, 1981) (依頼新しい技術)

* (株)神戸製鋼所機械研究所 (Mechanical Engineering Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd., 1-3-18 Wakinohama-cho Chuo-ku Kobe 651)

*² (株)神戸製鋼所浅田研究所 (Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

*³ (株)神戸製鋼所神戸製鉄所 (Kobe Works, Kobe Steel, Ltd.)

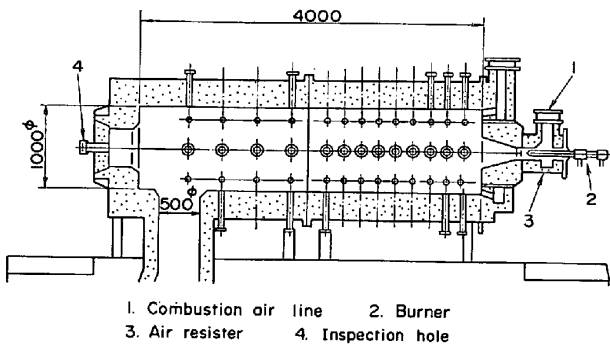


Fig. 1. Profile of experimental furnace.

Table 1. Combustion conditions.

Factors	Conditions	
Burner types	Butane gas	Non-premixing type gas burner
	No. 6 Fuel oil	Intermixing type oil burner
Heat input	400 x 10 ³ kcal/h	
Furnace temperature	1,300 °C	
Secondary air temperature	320 °C	
Burner tip positions	-70 ~ -670 mm*	
Burner tip shapes	Cone, Straight, Eccentric	
Excess air ratio	1.04 ~ 1.74	

* Distance measured from furnace inner surface of burner tile towards air resistor

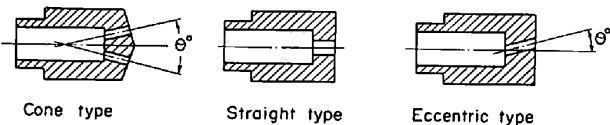


Fig. 2. Burner tip shapes.

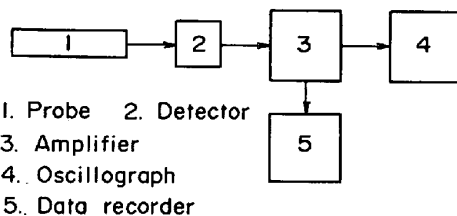


Fig. 3. Block flow diagram of measuring instrument for minute pressure pulsation.

に取り扱えるものとして、バーナ先端位置、バーナチップ形状および空気比を選定した。Table 1にその条件を示す。バーナ位置については、バーナタイル炉内側面を基準位置（ゼロ）にとり、マイナスの符号はバーナをエアスロート側に移動した条件である。バーナをエアスロート側に引くほど燃料と空気は激しく混合するので、急激な燃焼状態になることが知られている。

バーナチップ形状については、その代表構造をFig. 2に示す。コーン形およびストレート形は一般に使用しているチップ形状であるが、偏心形は当社が開発した緩慢燃焼形低NO_xバーナ用のチップである⁸⁾。同一条件における燃焼状態は、コーン形→ストレート形→偏心形の順で緩慢になる。データの採取にあたっては、テストす

る要因のみをかえ、他の条件はすべて一定になるようにした。

3.2 微圧振動測定装置

微圧振動の測定フローシートをFig. 3に示す。測定場所については、振動伝播範囲であれば特に制約はない。しかし、感度や精度上の問題から、火炎長さの1/3~1/2の位置で形成する最高温度域で代表して測定することにした。これは試験炉において、バーナタイル炉内面から煙道に向かって400 mmの位置である。プローブは先端を炉壁面から100 mm突出させた。微圧変換器はひずみゲージを用いた。

オシログラフによつて振動波形を記録し、データレコーダに解析用信号を収録して周波数解析機にかけ、振動のパワースペクトルを求めるようにした。使用した周波数解析機はF. F. T. (Fast fourier transform) 形で、本文に示したパワースペクトルは連続した10回分の解析結果を平均化して、ノイズの影響を除去している。

4. 基礎実験

4.1 燃焼状態と微圧振動特性

ブタンガス燃料でコーン形チップを使用し、他の燃焼条件をすべて同一にして、バーナ先端位置のみを変化させた場合の微圧振動の測定結果をFig. 4に示す。

試験炉々尻の観察窓からみた火炎の状態は、バーナ先端が炉内側に近い位置では緩慢なロングフレイムとなつてはいるが、バーナ先端をエアスロート側に引くほど激しい燃焼状態となり、やがて透明炎となつて予混合炎に近い燃焼状態となつてはいる。

微圧振動波形は緩慢な燃焼時では大きいゆるやかな波形がえられ、急激な燃焼に向かうほど激しい振動へと変化している。これを周波数解析結果のパワースペクトルでみると、緩慢燃焼時では2~4 Hzを主体とした振動であるが、燃焼性が急激な状態に向かうにしたがつて10~20 Hzの周波数成分がではじめる。やがて低い周波数成分が消滅して20~30 Hzの高い周波数成分を主体にする振動へと変化しており、燃焼状態と関連があることがわかる。

なお、実際の振動には100 Hz以上の高い周波数成分を含んでいるが、低周波数領域で十分に燃焼状態の判別ができるので、パワースペクトルの結果は45 Hzまでを示した。

重油燃料についてもブタンガス燃料の場合と同様の傾向が認められた。バーナ先端位置がバーナタイル炉内面からエアスロート側に-70 mmおよび-470 mm入った条件での測定結果をFig. 5に示す。

バーナ先端が炉内側に近い位置にある場合は、緩慢な燃焼状態になつており、それに対応して微圧振動は低い周波数を主体とするパターンになつてはいる。一方、バーナをエアスロート側に深く引いた条件では、急激な燃焼

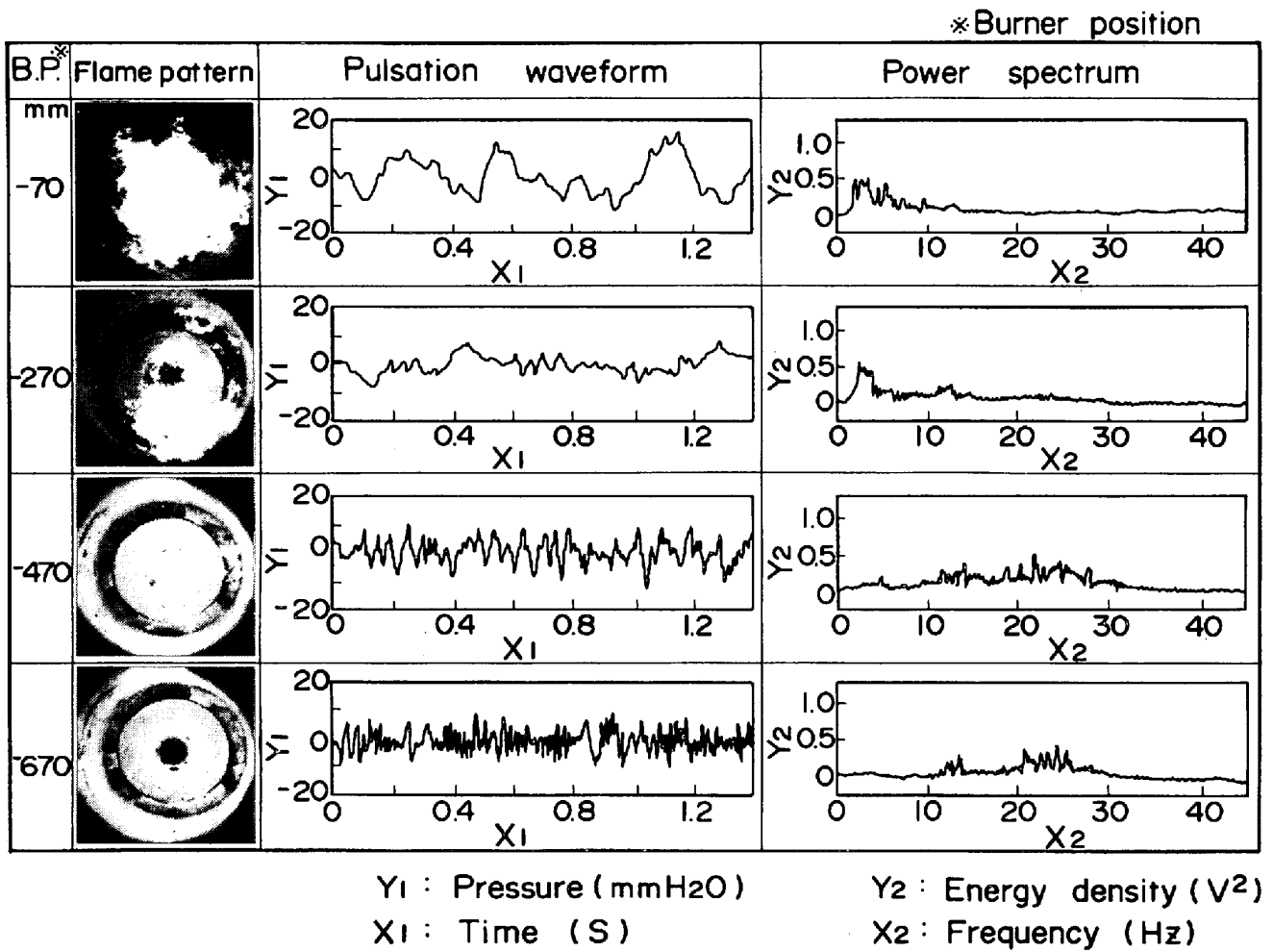


Fig. 4. Effect of burner tip positions on minute pressure pulsation patterns. (Butane gas)

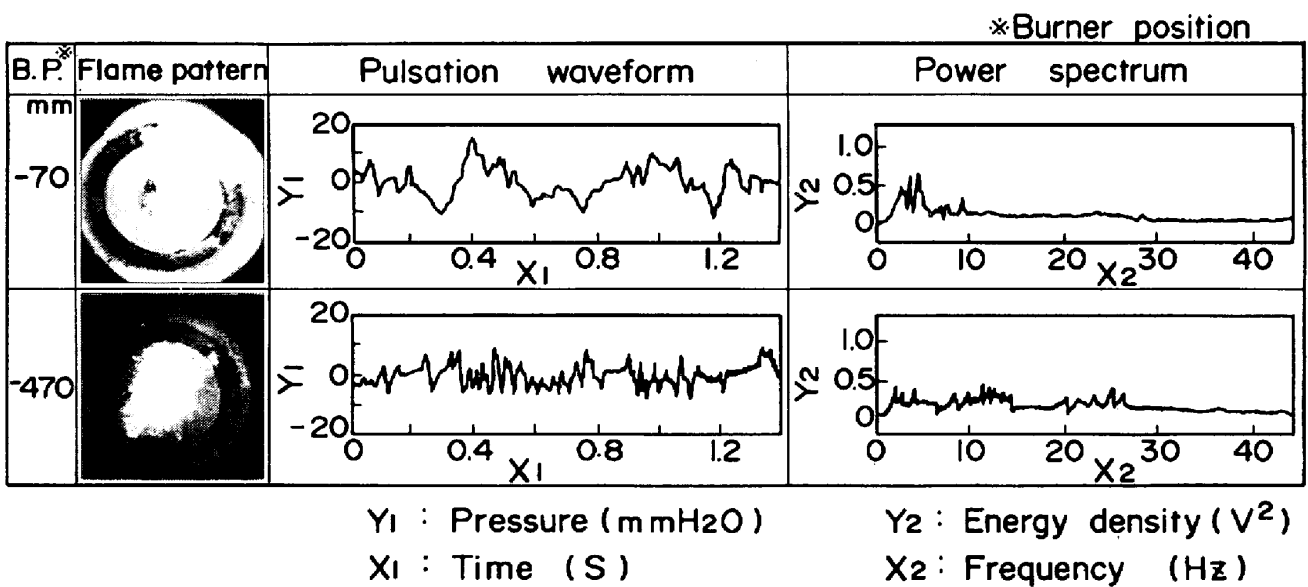


Fig. 5. Effect of burner tip positions on minute pressure pulsation patterns. (No. 6 Fuel oil)

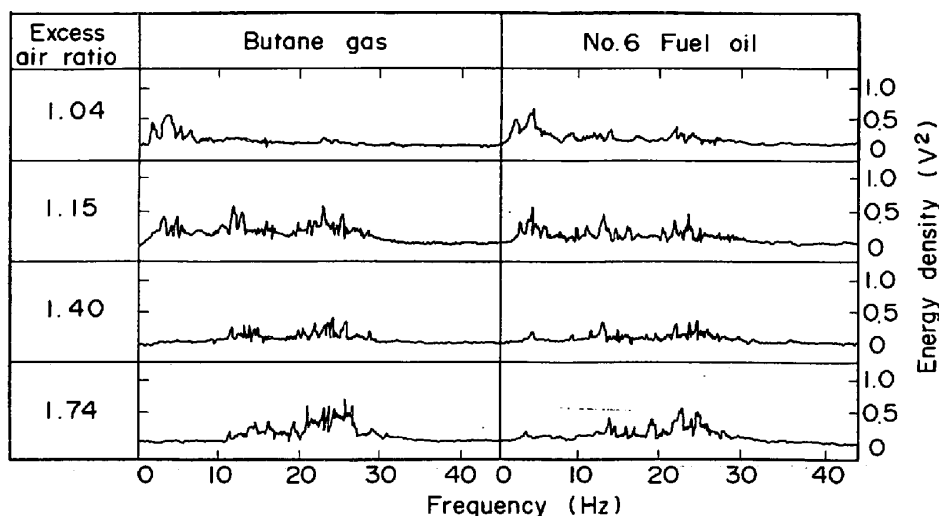


Fig. 6. Power spectrums when excess air ratio are changed.

状態となつて激しい振動がえられており、重油燃料においても燃焼状態と微圧振動の関連があることがわかる。

バーナチップ形状の違いによる燃焼状態の変化も、微圧振動パターンをよく反映していた。すなわち、先の Fig. 2 に示したバーナチップを使用して同一条件で燃焼すると、コーン形→ストレート形→偏心形の順に振動はゆるやかになつていた。この傾向は燃料と燃焼用空気との混合性のよい順と対応している。また、代表的バーナチップ形状の相違のほか、孔数、孔径および燃料噴射角度をかえた種々のチップ形状についても微圧振動を測定した。いずれの場合も燃焼状態と振動パターンのよい対応がえられ、緩慢燃焼になるチップ使用時ではゆるやかな振動が、急速あるいは急激な燃焼になるチップ使用時には高い周波数成分を主体とする振動がえられた。

つぎに空気比の影響について、ブタンガスおよび重油燃料における振動測定結果のワースペクトルを Fig. 6 に示した。バーナチップ形状は一般市販品のコーン形で、バーナ位置は通常の燃焼位置に固定して、空気比を 1.04~1.74 (排ガス O₂ 濃度 0.8~9.3%) まで 4 段階変えた結果である。

ブタンガスおよび重油燃焼時ともほぼ同様の傾向が得られた。すなわち、低空気比の緩慢燃焼の場合には低い周波数を主体とする振動がえられ、高空気比の急速あるいは急激な条件では高い周波数成分が主体となる振動に移行していることが明らかである。

4.2 NO_x と微圧振動特性

NO_x には空気中の窒素と酸素とが反応してできる Thermal NO_x と燃料中の窒素と空気中の酸素が反応してできる Fuel NO_x とがあることはよく知られている。このうち多くを占める Thermal NO_x は燃焼状態と深い関係を持つている。したがつて、NO_x は燃焼状態を反映する微圧振動とも相関があることが十分に予想できる。

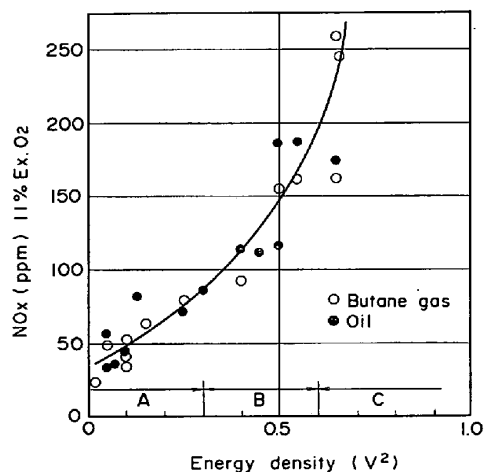


Fig. 7. Relationship between energy density and NO_x.

Fig. 7 はブタンガスおよび重油燃料について、これまでに述べたバーナ位置、バーナチップ形状および空気比をかえた試験結果での NO_x と微圧振動パターンをまとめたものである。横軸は振動のエネルギーで、20~30 Hz 間の最大値を表している。振動のエネルギーレベルと NO_x は十分に相関があり、上記因子によって決まる燃焼状態と NO_x は一義的に関係していることが明らかとなった。

このエネルギーレベルで燃焼状態を 3 段階にわけると、0.3 以下で緩慢燃焼域 A、0.3~0.6 で通常燃焼域 B、0.6 以上で急激燃焼域 C に大別できる。このように、微圧振動を指標にして燃焼状態の定量化を行えば、NO_x 制御にも有効である。なお、エネルギーレベルが 0.1 以下ではスモークが発生する。したがつて、スモークの制御も可能であることが確認されている。

以上、燃焼試験炉において、バーナ位置、バーナチップ形状および空気比を変化させ、緩慢から急激な燃焼状

態をつくり出し、微圧振動を測定した。いずれの条件でも、緩慢燃焼の場合は低い周波数成分を主体とする振動が、急激な燃焼状態では高い周波数を主体とする振動が燃焼状態に対応して得られた。

これにより、本技術が燃焼状態を定量的に表現する技術として、また、 NO_x やスモーク等の公害防止技術として使用できることが明らかとなった。

4.3 省エネルギー燃焼状態

燃焼状態が微圧振動で表せることは明らかとなったが、それではどのような燃焼状態が実炉において最適といえるのかが問題となる。ここでは、鉄鋼用の高温の均熱炉や加熱炉を想定し考察を加えた。なお、これらの炉では省エネルギーはむろんのこと窒素酸化物が低濃度であることが要求されており、両者を満足させる燃焼状態を実現させる必要がある。

4.3.1 省エネルギーと低 NO_x を両立させる燃焼状態

省エネルギー上では炉内の伝熱が最も重要な問題である。鉄鋼用高温炉においては大部分が輻射伝熱であり、これを分類すると炉壁輻射と火炎輻射にわけられる。実炉では、これらを含めた総輻射量 (Total radiant heat flux) が重要であるが、そのためには火炎輻射量を増加させる必要がある。

火炎輻射量 Q [kcal/h] は次式で示される。

$$Q = A_f \cdot \sigma \cdot \epsilon_f \{ (T_f + 273)^4 - (T_w + 273)^4 \} \dots \dots (1)$$

ここで、 A_f ; 火炎表面積 [m²]

σ ; ステファンボルツマン定数 = 4.88×10^8
[kcal/m² · h · K⁴]

ϵ_f ; 火炎輻射率 [-], T_f ; 平均火炎温度
[°C]

T_w ; 炉温または被加熱物温度 [°C]

前述したような緩慢燃焼は火炎温度が低下するので、 NO_x 対策に有効であることがよく知られている。この場合、(1)式から判断すると Q は小さくなる方向である。しかしながら、緩慢燃焼では燃料と燃焼用空気との拡散混合が抑制されるため、燃料粒周囲の酸素供給が不十分になり、残炭形のすすが発生する。このため、輝炎輻射が増加することになる。すなわち、(1)式の火炎輻射率 ϵ_f は増加し、また、火炎表面積 A_f も増加する方向にあるので、火炎温度の低下をこれらで補って総火炎輻射量を増加させることができる。各燃焼状態の輻射率や温度から Q を計算すると、緩慢燃焼の方が火炎からの輻射量は約1割増加する結果が得られた。

したがって、緩慢燃焼は省エネルギーと低 NO_x を両立させることが明らかとなった。

4.3.2 火炎輻射特性

試験炉で種々の燃焼状態をつくり、薄板形 (Thin foil type) の輻射計で火炎からの輻射量を測定し、緩慢燃焼の有効性を検討した。

重油燃料において、燃料を微粒化するために使用する

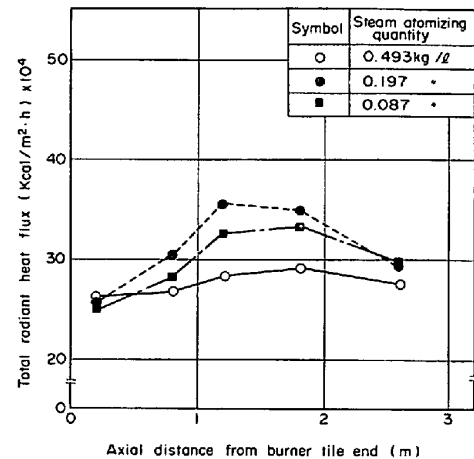


Fig. 8. Effect of atomizing quantity on radiant heat flux distributions.

アトマイズ量を変化させた場合の輻射量分布の測定結果を Fig. 8 に示す。アトマイズ量を減少すると、燃料粒径が増大して燃焼状態は緩慢側に移行するが、火炎からの輻射量は増大する結果がえられた。これは燃料粒径の増大でスート生成量が多くなり、スートやコーク粒子による固体輻射が増加して、火炎輻射量が増大したものと考えられる。しかし、極度にアトマイズ量を減少すると、スモークが多量に発生して輻射量は低下するようになる。

上記要因のほかに、バーナ位置や空気比の影響についても調査した。いずれの条件でも、緩慢燃焼化で輻射量は3~15% 向上する傾向が認められた。しかし、炉内で多量のスモークが発生するようになると、やはり輻射量は減少した。

以上のように、その下限の条件は存在するが、ブタンガスや重油などの C/H が高い燃料を使用する場合、緩慢燃焼の実現は火炎からの輻射量が増加し、加熱性を高めると判断できるので、燃料原単位低減に有効であるといえる。この燃焼状態を微圧振動パターンで示せば、低周波数成分が主体となる振動である。

なお、火炎輻射に関する詳細な検討は別報にゆずる⁹⁾。

5. 実用化試験

5.1 実炉における微圧振動と燃焼特性

これまで述べてきた試験炉による結果を前提として、以下の実炉試験を実施した。

本技術はどのような炉に対しても適用できるわけであるが、ここでは鉄鋼用の均熱炉に適用した例を中心に述べる。

調査した均熱炉の構造を Fig. 9 に示す。炉の形式は上部2方向焚きで、おもな仕様はつぎのとおりである。

炉 容 6 600 L × 2 800 W × 2 875 H
燃 料 ミナス重油、蒸気アトマイズ方式
燃焼量 最大 400 l/h

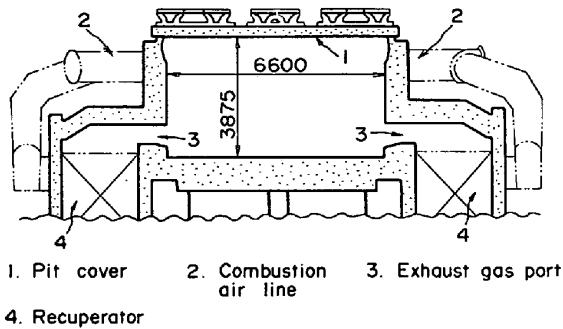


Fig. 9. Profile of testing soaking pit. (Top two way type)

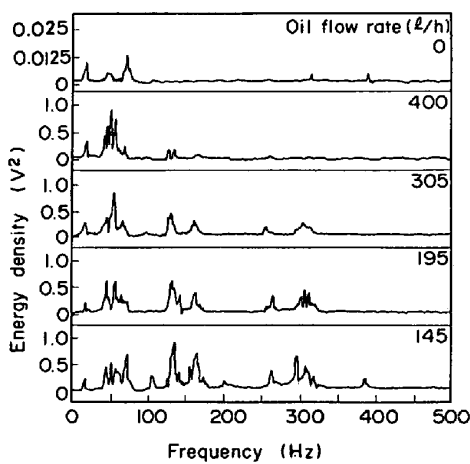


Fig. 10. Power spectrum of soaking pit over one heat cycle.

装入量 約 84 t/charge

微圧振動の測定は試験炉の場合と同方式であるが、微圧変換器は分解能および耐熱性にすぐれた水晶式圧電形低圧変換器をもちいた。測定プローブは設備上の制約があつて、エアスロートから挿入し、温度上の耐久性を考慮して、バーナ先端より 300 mm スロート側に引いた位置にその先端がくるように固定した。この位置でも十分に燃焼状態を検出することができた。なお、プローブをスロート側に引きすぎると、送風の影響を含むようになり、燃焼状態の検出精度は低下する。

通常操業時の 1 ヒートサイクルにわたる微圧振動の解析結果を Fig. 10 に示す。消火時には振動はほとんど検出されず、パワースペクトルは低いエネルギーの分布を示している。(燃焼時の 1/100) しか、燃焼開始とともに 100 Hz 以上の周波数成分を含む激しい振動がえられ、とくに燃料のターンダウン(燃料流量の減少)で、高い周波数成分が多くなる特徴が認められた。この高い周波数側のエネルギーが増加することは、燃焼状態が急激な方向に変化していることを意味している。

火炎の肉眼観察によると、最大燃焼時には緩慢な燃焼であつたが、ターンダウンとともにシャープな短炎が形

成されていつた。これは全燃焼域にわたつてアトマイズ量を一定にしているため、ターンダウン時には燃料に対する相対的なアトマイズ量が増加したためと考えられる。なお、排ガス残存 O₂ 濃度も 1 ヒートサイクルにわたつて調査したが、2~3% で安定しており、燃焼状態への O₂ の影響は無視できる。

したがつて、本均熱炉では主に相対アトマイズ量の影響で燃焼状態が大幅に変化し、それが微圧振動パターンに反映しているといえる。そこで、微圧振動パターンを指標にアトマイズ量を制御して、最適な燃焼状態が 1 ヒートサイクルにわたつて維持できる方法を検討した。

振動パターンを燃焼状態の指標とする場合、それを一義的に表現し、アナログ信号に変換する必要がある。これにはいくつかの方法があるが、ここでは次式で示す振動エネルギー比 R_E を定義した。

$$R_E = \frac{\text{特定周波数帯域の振動エネルギーの積分値}}{\text{全振動のエネルギーの積分値}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、特定周波数帯域とは、燃焼状態の変動によく追従して変化する周波数帯域のことである。今回は先に述べた Fig. 10 の結果から、全体の周波数帯域を 0~500 Hz とし、特定周波数帯域を 100~500 Hz とした。 R_E が大きくなることは、100 Hz 以上の振動エネルギーが相対的に増加することであり、燃焼状態が急激になることを意味している。

R_E で整理した実炉の測定結果を Fig. 11 に示す。アトマイズ圧力が 4~4.5 kg/cm² の通常操業の条件では、ターンダウンとともに R_E は増加し、燃焼は急激な状態に変化している。そこで、試験的にアトマイズ圧力を 3 および 2 kg/cm² に低下させた。 R_E のレベルは全体的に低下するが、やはりターンダウンで増加する傾向を示した。なお、 R_E が 0.15 以下になるとスモークが発生した。したがつて、 R_E が 0.17~0.20 で一定になるようにアトマイズ量を制御すれば、1 ヒートサイクルにわたつて最適な緩慢燃焼が実現できることになる。

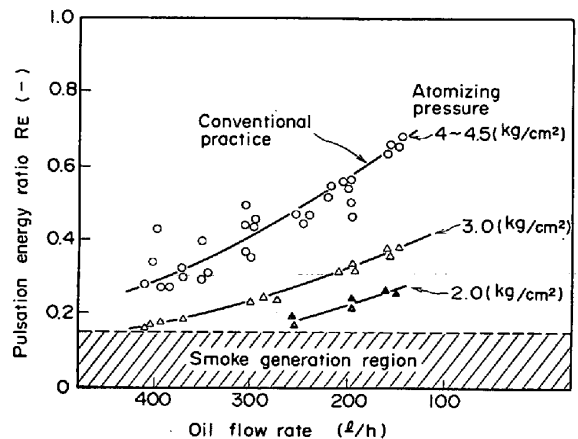


Fig. 11. Relationship between oil flow rate and pulsation energy ratio R_E .

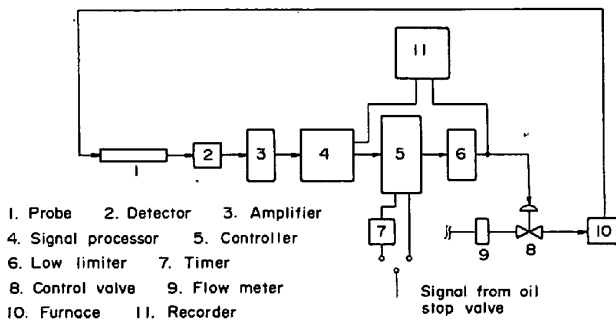


Fig. 12. Block flow diagram of atomizing quantity control apparatus.

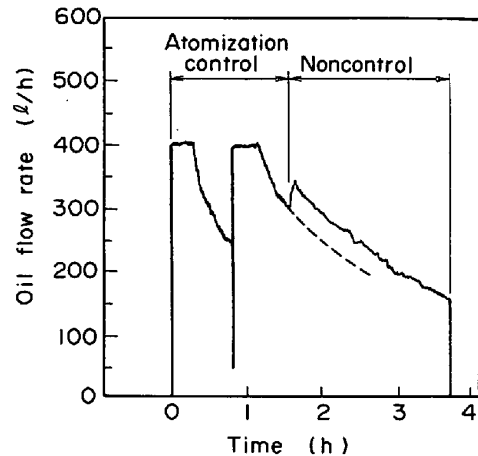


Fig. 13. Chart of oil flow rate.

5.2 アトマイズ量制御系への微圧振動の応用

5.2.1 均熱炉への適用

実操業において、燃焼量や他の条件が変動しても最適燃焼が維持できるように、微圧振動を応用したアトマイズ量の自動制御装置を試作した。その制御系のフローシートを Fig. 12 に示す。図中の微圧信号処理機はローパスフィルタ、ハイパスフィルタおよび割算機で構成し、連続して測定される振動パターンを(2)式で示したアナログ信号として出力するようになっている。

調節計にあらかじめ最適と考える燃焼状態の振動エネルギー比を設定しておけば、信号処理機からの出力信号と調節計設定値との偏差に応じてアトマイズ制御弁を作動させ、設定した燃焼状態を維持することができる。この他、着火時の不安定状態を除去するためのタイマ、バーナ保護やスモークの発生防止のための下限リミッタ、消火時にバーナのパーズ機能をもたせるためのハードマニュアル設定付の調節計などを組み入れ、実操業で問題が生じないように考慮している。

本装置で制御した場合の重油流量チャートの1例を Fig. 13 に示す。これは1ヒートサイクルの中間で、アトマイズ制御を中断し、重油使用量の低減効果を確認したものである。制御を中断した時点で重油流量は20~30 l/h 上昇しており、アトマイズ量を制御し、緩慢燃焼化をはかることで、燃料原単位の低減効果があることがわかる。

燃料原単位の低減効果を正確に把握するため、制御前後の各50チャージ分の原単位について、重回帰分析により検討した。装入条件を同一にして比較すると、重油使用量で約7~14%の低減効果が認められた。また、アトマイズ蒸気量の節約は20%でNO_xの低減率は25%であった。

一般に省エネルギーの効果は、対象とする設備が対策前にどのようなレベルにあるかによつて大幅に異なってくる。すなわち、省エネルギーがあまり進んでいないものほど対策後の効果は大きくなるといえる。

本均熱炉は微圧振動による制御を適用する前に、あらゆる省エネルギー対策がとられており、燃料原単位は全国

でも最も低い炉であった。しかし、本技術によつて、さらに1割の省エネルギーが達成できた。

均熱炉への適用例では、緩慢燃焼になる制御を行つたが、炉によつては急激燃焼がよい場合もある。本技術はこれらの両者、あるいはその組み合わせ燃焼にも十分対応できるものである。

5.2.2 複数バーナ炉への適用

5.2.1 で述べた均熱炉はバーナ数が少ない炉であるが、鉄鋼用の炉には1炉あたり5~80本のバーナを備えた加熱炉がある。そこで、鍛造用台車形加熱炉で多数のバーナを設備した炉の燃焼制御法を検討した。

バーナ数が多い炉においては、設備投資やメンテナンスの面から、バーナ個々の制御はなされておらず、何本かを一組にして制御しているのが一般的である。このため、各バーナの燃焼状態が異なり、炉内で偏熱をおこしたり、最適な燃焼制御が実施できない問題があつた。

これらを解決するため、各バーナの燃焼状態の判定に微圧振動法を適用した。制御系に計算機を組み入れて、異常バーナの早期発見、各バーナの燃焼状態の差の検出、さらにアトマイズ量の制御による最適燃焼制御などを実施した結果、約10%の燃料節約を確認することができた。

この多数バーナの制御方式の応用として、現在、ボイラや他の工業炉への適用を検討中である。

なお、複数バーナ設置炉における燃焼ばらつき判定や制御法についての詳細は次の機会にゆずる。

6. 微圧振動による燃焼制御技術の特徴

(1) ガス分布や温度分布を測定する必要がなく、燃焼状態が定量的に判断できる。

(2) 燃焼状態が直接測定できるので、種々の燃焼条件が変動しても最適な燃焼状態に制御できる。

(3) 圧力伝播を検知すればよいので、メンテナンスが非常に簡単で、応答性が早い。

(4) 従来のパターン制御法と比べるとコスト高にな

るが、独立系で確実な制御ができる。

(5) 単に省エネルギー技術にとどまらず、燃焼にともなつて発生する NO_x や煤煙などの公害防止技術としても使用できる。

6. 結 言

現在、省エネルギー効果は除々に減速段階に入り、新しい技術開発を必要としている。燃焼に関しても、これまでのような温度や排ガス酸素量などの間接的な信号で燃焼状態を制御する方法からの脱却が待たれていた。

その方法として、燃焼時に発生する微圧振動に着目して検討を重ねた結果、燃焼制御技術として実用化することができた。本技術は、燃焼に関する省エネルギーや公害抑制技術として鉄鋼分野のみならず、あらゆる分野の燃焼管理技術として使用できるものと考えられる。

文 献

- 1) 特許公報：特公昭 53-25127
- 2) 佐藤邦昭：熱管理士，3(1978)． p. 27

- 3) 鶴木勝彦，梅ヶ辻好博：鉄と鋼，63 (1978) 13， p. 1879
- 4) 例えば，川野晴雄，横井玉雄，高橋亮一，成合靖正，高力 満：燃焼におけるコンピュータの利用に関する講習会テキスト，(1978)， p. 67，燃料協会燃焼部会編
- 5) A. A. PUTNAM and D. J. BROWN, Combustion noise: Problems and Potentials, "Combustion Technology-Some Modern Developments" ed. by PALMER and BEER(1974), P. 128[Academic Press]
- 6) RC-SC40 燃焼装置の騒音振動研究分科会，研究成果報告書 (1979)，日本機械学会編
- 7) 田畑明久，菅野義裕，桑原 茂，今野和行：東京瓦斯技研報告，(1979) 24， p. 225
- 8) 森本浩太郎，山形敏明，大谷啓一，小田原隆一，福田達衛，富松文男，広瀬 勇：鉄と鋼，63 (1977) 11， p. 81
- 9) 鈴木富雄，日本機械学会，第7回技術講演会発表予定 (1981-8)

統 計

自動車における各種材料の競争

車1台当たりの原材料構成割合は、車種別、メーカー別で異なるが、下表は日本自動車工業会資料による小型・普通車の原材料比率の推移を示したものである。軽量化とか省エネとかが叫ばれる中で、鉄鋼材料の使用比率は意外に減少しておらず、この10年間ほぼ80%で推移しているが、その中で目立つのは冷

小型・普通車の原材料の比率推移
(重量 %)

原 材 料		43年度	45年度	48年度	52年度
鉄 鋼 材 料	鉄鋼板管	6.0	3.6	3.2	3.2
	鉄鋼棒	3.2	2.5	2.3	1.8
	鉄鋼板	11.7	9.9	14.4	14.7
	鉄鋼管	41.7	42.3	40.0	38.4
	鉄鋼板管	1.8	1.4	1.6	4.4
	鉄鋼素鋼	1.8	2.5	2.3	2.2
	鉄鋼炭素鋼	6.4	8.2	7.8	7.2
	鉄鋼合金鋼	5.3	5.4	5.6	4.7
	鉄鋼耐食	0.4	0.3	0.3	0.9
	鉄鋼耐熱	2.7	2.0	2.2	2.0
鉄鋼その他	—	1.2	1.6	1.5	
小 計		81.2	79.3	81.3	81.0
非 鉄 材 料	アルミ地金	2.3	3.2	2.8	2.6
	銅および鉛	1.2	1.1	1.0	0.9
	亜鉛	0.7	0.6	0.6	0.6
	亜鉛の他	0.9	0.5	0.5	0.6
	その他	0.1	0.1	0.1	0.1
小 計		5.2	5.5	5.0	4.8

延鋼板の一部が表面処理鋼板に移行していることである。アルミ地金、圧延品は2~3%の間であり変化なく、一方プラスチックはさすがに急増している。なお、外国に比べて日本での生産割合の多いバス・トラックでは、アルミ、プラスチックとも乗用車平均よりも使用割合はさらに少ない。

非 金 属 材 料	塗 工 石 ガ ブ ラ ス チ ッ ク の 他	2.6	2.2	2.1	1.5
		4.7	5.6	4.7	4.3
		0.1	0.1	0.1	0.1
		2.3	2.7	2.8	2.7
		1.5	2.0	2.9	3.5
		2.4	2.6	1.1	2.1
小 計		13.6	15.1	13.8	14.2
計		100.0	100.0	100.0	100.0

- 注 1. 鋳鉄の比率は機種により4~15%にばらつく
 2. 公害対策用耐食、耐熱用鋼材は平均4~5kgになるが重量比率として表れる数値は少ない
 3. 年度別各社の機種構成により重量構成比率は必ずしも一定傾向を示さぬものもある

(城戸敬一：鉄鋼界，31 (1981) 4， p. 18)