

## 燃焼振動に関する実験的研究

(第2報 旋回型燃焼器における着火時の振動,  
波形の分類および周波数と強さの関係)

岸本 健\* 熊井康仁\*\* 栗原 晃\*\*

### A Study on Experiment of Combustion Driving Oscillations

(II. Pressure Oscillation at Ignition in Swirl Combustor,  
Type of Wave Form and Relation Frequency and Level)

By Ken Kishimoto\*, Yasuhito Kumai\*\* and Akira Kurihara\*\*

**Synopsis:** They said that pressure oscillations can't be generated in swirl combustors, but we predicted to occur the pressure oscillation by the mechanism that was reported in previous paper.

In this paper, this mechanism is established experimentally, but it's oscillation is very weak. Other type of pressure oscillations is generated by ignition. This oscillation grows intense and it's frequency is varied when flame front is propagated in burner tube.

**要旨:** 旋回型燃焼器では混合がよく火炎の安定性もよいため燃焼振動がおこりにくいとされてきた。しかし前報に示すような機構で圧力振動の発生することを予測し、本実験で振動の起ることを確めた。その詳着火時に火炎が燃焼管の中を伝播し、火炎の位置が燃焼管の70~90%に進んだとき強い圧力振動を発生し、その圧力振動は周波数変動を伴う。そして、ある特定の条件下では着火時の圧力振動が終了してから弱い定常振動を発生することがわかった。

#### 1. はじめに

前報(1)に示したように従来振動燃焼の発振力とさかれていた熱発生速度と圧力の変動の他に火炎面の移動によっても発振力が出る。本報では前報で示した燃焼器後に燃焼管をとりつけ、火炎面の移動による圧力振動の存在を確かめたと同時に着火時における圧力振動についても定性的に説明したのでここに報告する。

#### 2. 装置と方法

燃焼器に燃焼管を取り付けたものを図1に示す。図中の燃焼器の詳細は前報に示す。燃焼管は内径100mmの水冷構造であり長さを変えられることができる。その側面には50mmおきに数個の圧力センサ(共和電業製PGM-2K)が取り付けられるようになっている。圧力の信号

は増幅器を介して電磁オシログラフに記録した。

燃焼は軸上に設けられた燃料入口よりLPGを流し、それより40mm下流で空気を管の接線方向の供給ノズルから入れた。なお着火は出口で着火した。

#### 3. 流量と混合比による着火音の種類

燃料のLPGと空気を所定の量に設定し、燃焼管出口において着火すると着火時のみ振動音を発生することが多く、ある条件下では微少の定常振動が見られる。この着火時の振動音を着火音と呼ぶ。着火音にはその強さと振動波形のさまざまなものがあり、それらは流量と混合比で領域をもっている。着火音の分類を振動の波形と強さで図2に示すように番号をつけて行なった。これらの波形のうちで定常振動に至る着火音はタイプ $\beta_1$ と $\beta_2$ の2つである。この分類に基づいて図3から図5に燃焼管長の異なる場合のそれぞれの領域を示す。管長が決まると、最も強い振動音はほぼ理論混合比の線上にあり、流量がある条件にあるときに発生する。この最も強い場所を図中に○で示した。この点は管長が長くなり周波数

\* 機械工学科専任講師  
Lecturer, Mechanical Engng. Div.

\*\* 学生  
a graduate, Mechanical Engng. Div.

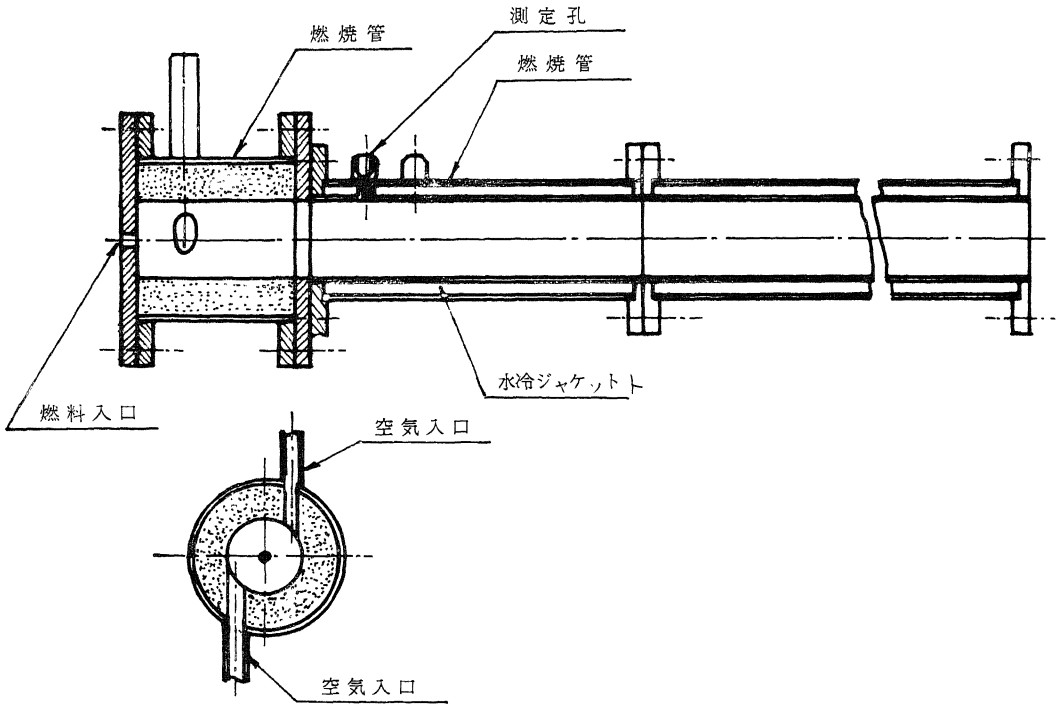


図1 燃焼器

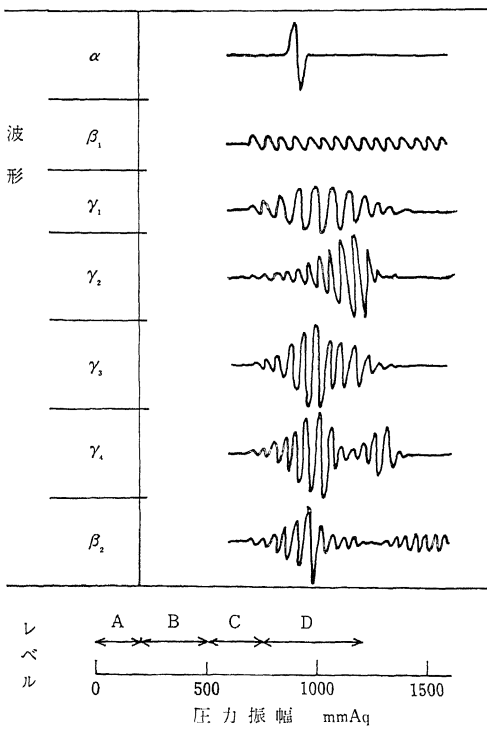


図2 分類方法

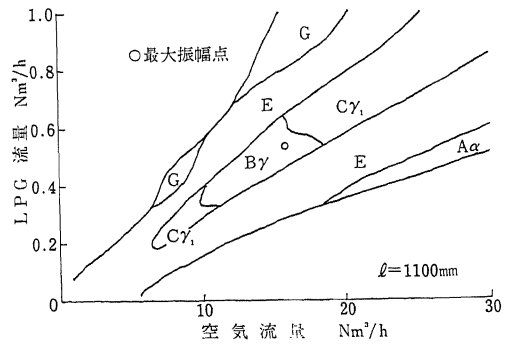


図3 着火音の領域 (その1)

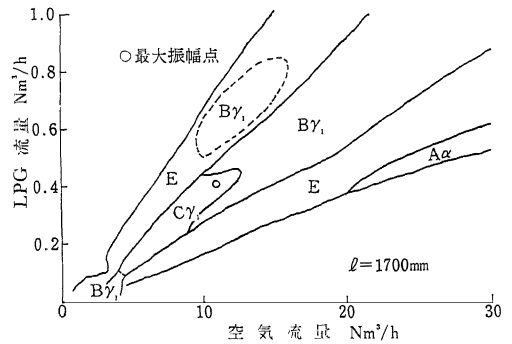


図4 着火音の分類 (その2)

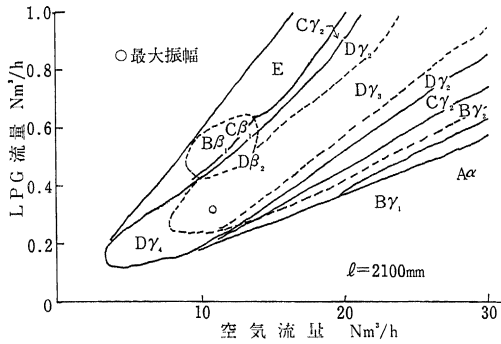


図5 着火音の分類 (その3)

が低下してくると低流量側に移行する。これは管長が短かいと前報に示したように燃焼管中心部の逆流領域が出口まで延び空気が出口から流入するため燃焼している混合気が流入した空気との混合により発熱速度が低下することで発振力が減少するためと考えられ、管長が長いと逆流領域が出口まで至らないために高温の燃焼ガスの逆流があってもそれほど発振力の低下はみられない。このように定性的に判断できる。つまり発振力を作り出す燃料の供給量は少なくてすむ。

また、振動の発生は着火による圧力変動と考えられるが、かなりの希薄側においては管内に単発の圧力変動のみが表われる領域 A が存在し、長さが 1700mm をこえると、過濃側に微弱な定常振動領域の存在することがわかった。この領域での発振のメカニズムは次回に報告する。

#### 4. 管内での着火音の変化

管出口で着火した混合気で、燃焼領域が内部へ伝播する様子は、図6に示す圧力波形より推察できる。図6で矢印で示した所は圧力低下が起きたところである。この圧力低下は上流端に近いほど大きくなる。この矢印間の時間から火炎の伝播速度を出すと図7のようになり、空

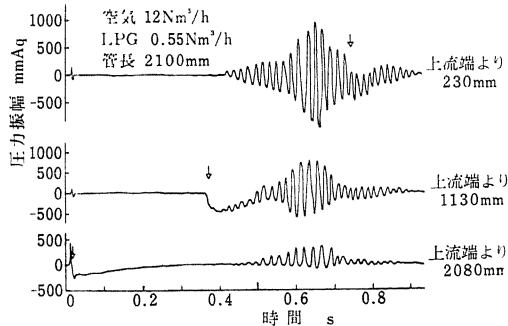


図6 圧力波形

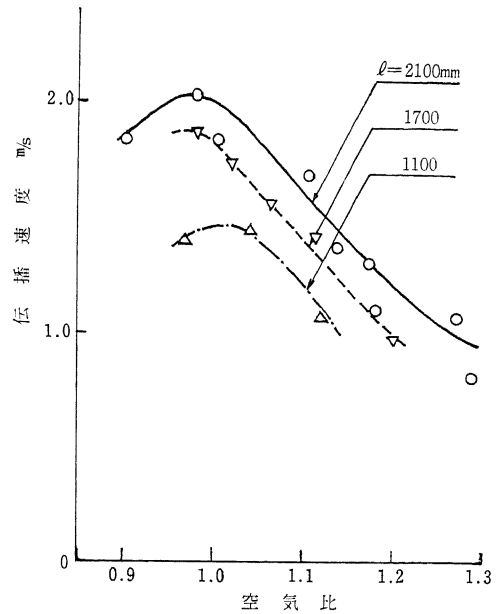


図7 火炎の伝播速度

気比でまとめられる燃焼速度の値よりも大きいのが、管内が乱流であることを考えると文献(2)に見られるものと定性的に同じと言え、この圧力低下が火炎の通過時刻を示すと考えてよい。火炎面の前後ではガスの膨張のため速度が異なり、火炎面の後流では流速が増し圧力が低下する。この低下の量は管内であるため増速分からベルターイの定理を用いて簡単に求めた圧力低下分より著しく大きいと思われる。着火音がどのように管内に伝播してゆくかは図8に示す。定常の振動では気性振動の様

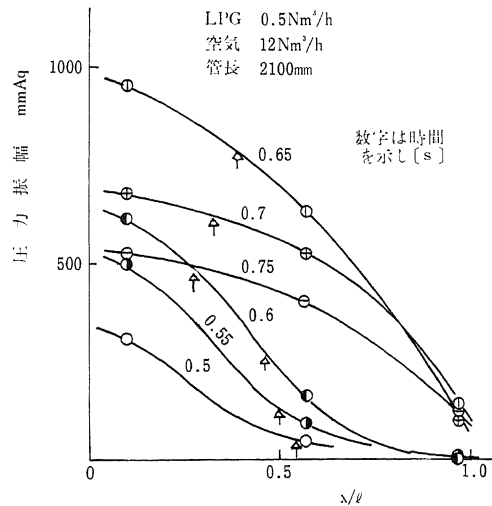


図8 着火音の圧力モード

相を示すが出口から火炎面が伝播することと圧力が管内にトリガされるところが管出口であることより定常振動の場合と異なり圧力の節が初期には火炎面の後方わずかのところにあり、火炎面が上流端より400mm くらいに達すると定常振動の圧力モードと同様の形をとるようになる。図8に矢印で示す点は火炎面の位置を推定したものである。

### 5. 着火音の周波数とレベル

着火より初期には図8に示すモードのように波長の1/4は管長より短い。そのため周波数は大きくなると予想される。図9に図8と同一条件の周波数の変化を示す。長さ2100mm、温度673°Kでの基本周波数は62.9Hzである。ところが最大80Hz程度の振動数をもつ場合には1000mmの1/4波長となり75%ほどの有効長さしかないことになる。図9において周波数が上昇してゆく過程では、火炎面が開口端と同じ反射面となるためであるが、その反射は弱い(反射係数が小さい圧力振幅で有効な)ため圧力振幅が大きくなると開口端(燃焼管の)

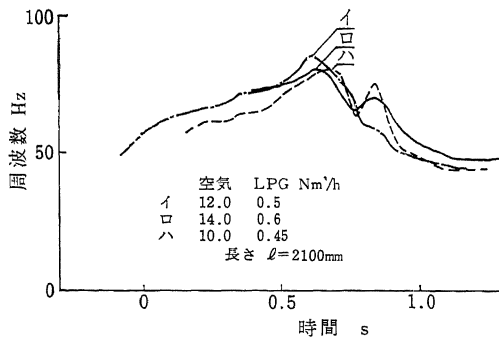


図9 周波数の変化

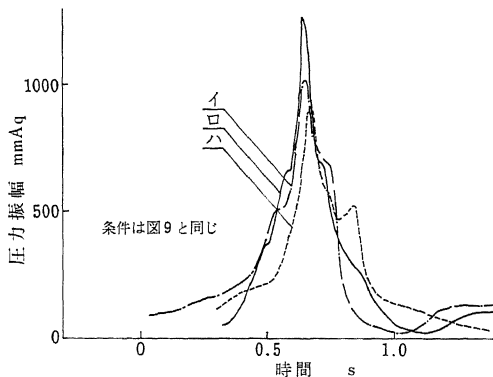


図10 振幅(レベル)の変化

反射面になる。0.8秒くらいに表われる周波数変化はちょうど図9を測定した圧力測定孔を火炎が通過する時に一致し、火炎面を反射面とする別のモードの振動があると予想される。このときは、逆流領域内に火炎が入り瞬間的に上流端に火炎が進むため図10の圧力も上昇する。

圧力レベルの変化を示す図10で最大圧力振幅を示す時刻0.6秒では、管長の1/3~1/4のところに発熱領域が存在し、Singing flameの管との関係(文献2)と一致する。この場所は圧力振幅と混合気供給量の変動による熱発生速度の積で表わされる仕事量が最大となる場所に一致するところである。本実験では、火炎はこの場所にとどまらず上流に進むため熱による仕事量が再び減少してしまう。しかし、図5で表われる $\beta$ の領域では供給量変動による熱発生速度の変動は存在するが、それ以上に前述のSinging flame条件からはずれるため、火炎位置の変動による発端機構の方が支配的と思われる。しかし詳しい調査をしなければその割合を定量的に示すことはできない。

### 6. まとめ

火炎位置変動がもたらす発振力の大きさをさらに詳細に調べるため製作した装置であったが、十分強い圧力振幅を得ることができなかった。しかし、着火から火炎面移動に伴う圧力変動の変化という興味ある現象を得る結果となったため、この紙面上で実験結果とその定性的な説明を加えた。以上のことをまとめると

- (1) 混合気供給速度よりかなり速い着火に対しても、供給速度に依存する圧力波形が現われた。
- (2) その波形は図3~5に示す領域のように分類できる。
- (3) 着火時の圧力モードは音(圧力)の反射面に火炎面を考えれば説明でき、周波数の変化の説明もつく。
- (4) ある特定の条件下では、火炎面移動を駆動力とする圧力変動が起っていると考えられる。

### 7. おわりに

本実験は昭和52年度の卒業研究・実験としてなされたものである。

### 参考文献

- 1) 岸本, 他2名 国士館大学紀要 第11号(昭53年3月), 12.
- 2) Patnum, A. A., Combustion Driveu Osillations in Industry, Elsevier (1971).