

希薄予混合燃焼器の乱流燃焼騒音特性

環境・エネルギー研究領域	次世代動力研究グループ	*岸 武行
	環境影響評価研究グループ	平岡 克英
	大気環境保全研究グループ	井亀 優
	次世代動力研究グループ	春海 一佳
海上安全研究領域	危険物輸送・防災研究グループ	岡 秀行

1. まえがき

近年、地球環境負荷の低減のために、物流の効率化やエネルギー利用効率の向上、および低環境負荷化への要求が高まっている。そのため、船舶輸送分野においてもガスタービンエンジンの低 NO_x 性、運用性を生かしたスーパーエコシップや、小形高出力の特長を生かしたテクノスーパーライナーの開発計画が進められている。ガスタービンエンジンは、ディーゼルエンジンと比較すると低 NO_x 排出型エンジンであるが、さらなる低 NO_x 化のためには希薄予混合燃焼法の採用が技術的課題となる。

希薄予混合燃焼法は、発電用ガスタービンエンジンではすでに実用化されているが、燃焼安定性が悪く、燃焼振動や吹き消え、逆火等の不安定現象のため、運転範囲が狭いという問題が残されている。すなわち、希薄予混合燃焼の利用範囲を拡大するには、これら不安定燃焼の抑制が必要不可欠である。

本研究では、燃焼振動の発生要因

と考えられる燃焼騒音について調べるため、急拡大保炎方式の実験用予混合燃焼器を用いて、その騒音特性を調べた。燃料は水素を用いた。燃焼騒音は、騒音計を用いてオーバーオール騒音レベルを計測すると同時に、FFTアナライザーを用いて周波数スペクトルを調べた。そして、燃焼騒音特性と当量比との関係を調べた。

以下に実験結果を報告する。

2. 実験設備

2. 1. 実験装置

図-1に実験装置を示す。主燃焼用およびパイロット火炎用の水素の供給流量は、それぞれマスフローコントローラで制御されている。

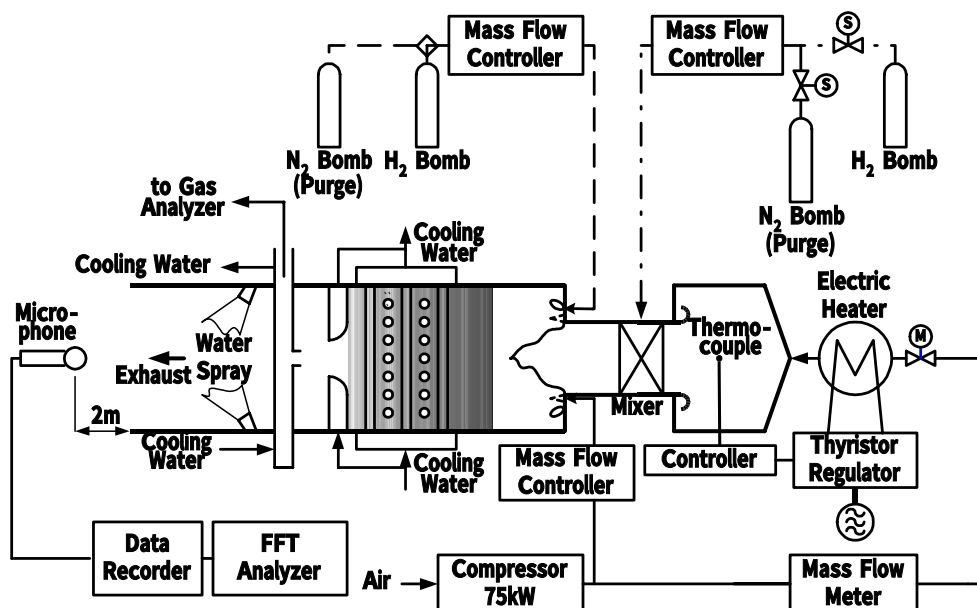


図-1 実験装置概要

騒音計測は、排気管の中心軸から30度の方向、出口より2 mの位置にマイクロフォンを設置して行った。マイクロフォンで捉えられた燃焼騒音は騒音計に入力され、データレコーダーに記録されるとともにオーバーオール騒音レベルが計測され、また、FFTアナライザーにかけられて周波数スペクトル解析も行われる。なお、周波数補正回路の特性は平坦特性に設定した。

燃焼器出口からの排気管長さは約5 m、排気ガス温度は90～150℃で、音速はおよそ400 m/sである。これらの数値から、排気管を片方開口端の音響管として共鳴周波数を概算すると、低いほうから約20、60、100 Hzになる。

2. 2. 実験用燃焼器

図-2に実験用燃焼器の断面を示す。燃焼器には、7つのベンチュリーと混合管からなる予混合器がある。ベンチュリーののど部は内径10 mm、拡大部の円錐角は14度である。ベンチュリー一つにつき燃料噴出孔は8孔あり、噴出孔の内径は0.75 mmで、燃料である水素はこの噴出孔から空気の流れ方向に対し直角に噴出され、空気と混合される。

燃焼室は目視観察のため、内径100 mm、長

さ300 mmの石英ガラス管でできている。火炎は予混合器出口の周りに形成される還流域の高温の燃焼ガスによって保炎される。火炎が予混合器内に逆火するのを抑制するのを目的に、予混合器出口において厚さ1 mmの空気噴流で予混合気を囲んでいる。

パイロット火炎は拡散火炎であり、燃焼室の上流壁に設置されている4つの噴出孔から水素を還流域に噴出して形成され、主火炎を円滑に点火すると共に、消炎限界近傍で火炎を安定化するために用いる。

3. 実験結果および考察

3. 1. 燃焼騒音の当量比による変化

実験は、大気圧下、パイロット火炎を用いず当量比0.18～0.4の範囲で行った。燃焼用空気は、室温で供給され、予混合気出口の混合気流速はおよそ17 m/sである。

図-3は当量比の変化とともに、オーバーオールの音圧レベルおよび共鳴周波数の音圧レベルがどのように変化しているかを示している。図-3から明らかなように、ある特定の共鳴周波数の音圧レベルがオーバーオールの音圧レベルを支配していることがわかる。

当量比0.18近くでは、オーバーオールの音圧レベルは低い。しかし、この当量比においては、火炎が不安定(消炎限界近傍)で、もっとも低い周波数(20 Hz)のモードが卓越していることがわかる。このモードは、パイロット火炎を点火することで、あるいは当量比を上げて火炎を安定化することで抑制される。火炎安定後、音圧レベルは当量比の増加とともに高くなり、支配的なモードは66 Hzに移る。さらに当量比を増加させると、より高周波

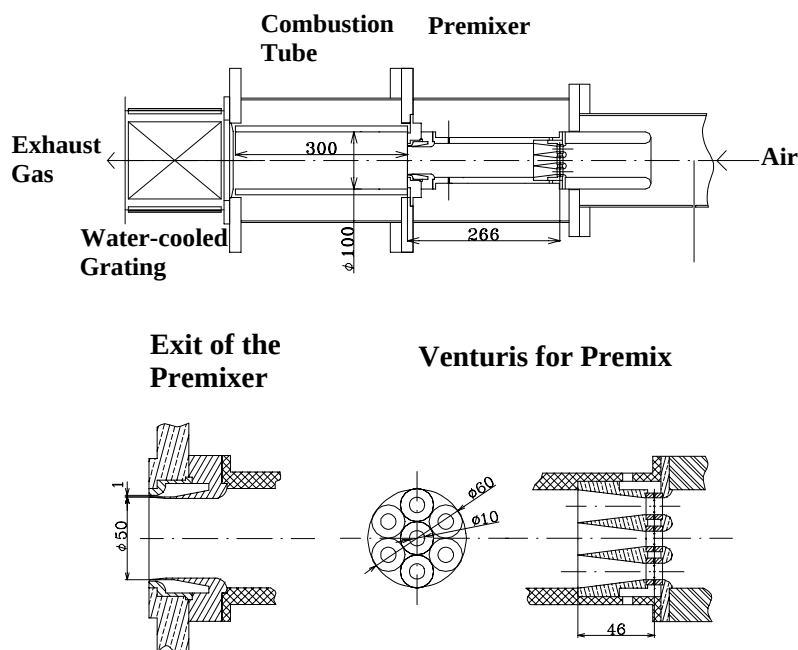
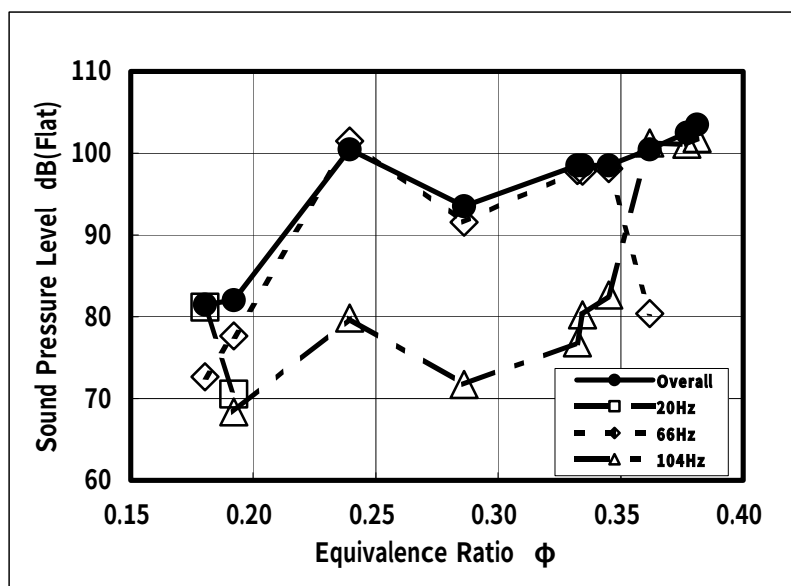


図-2 予混合器断面



図－３ 燃焼騒音のオーバーオールと
共鳴周波数の音圧レベルの比較

の104Hzのモードに移り、66Hzのモードは減衰する。この、モードの移行が、当量比の増大とともに火炎帯において、より高周波の発熱変動が卓越し始めたことによるものかどうかは現在検討中である。

図－４は、図－３における、当量比が増大して（0.35近傍）66Hzの共鳴モードから104Hzの共鳴モードに移行した時の騒音スペクトルを示している。（a）の図から、当量比の5%程度のわずかな違いで共鳴モードが変化していることがわかる。逆に、（b）の図から分かるように共鳴周波数以外の周波数の音圧レベルはそれほど変化していないことがわかる。このことは、共鳴を逃れることが騒音レベルの低下を目指す上でもっとも効果的であり、広い範囲の周波数帯の減音を目指すことは困難で効果的でないこと示唆している。

4. 結論

希薄予混合燃焼での燃焼振動の発生要因と考えられる燃焼騒音について調べるため、急拡大保

炎方式の実験用予混合燃焼器を用いてその音響特性を調べた。燃焼騒音は、オーバーオールの騒音レベルを計測すると同時に、周波数スペクトルを調べた。そして、燃焼騒音特性と当量比との関係を調べ、以下の結論を得た。

（１）燃焼騒音のオーバーオールの音圧レベルは、ある特定の共鳴周波数の音圧レベルが支配している。

（２）当量比0.18近くで火炎が不安定な場合、20Hzのモードが支配的であるが、パイロット火炎を点火することで、あるいは、当量比を上げて火炎を安定化することでこのモードは抑制される。

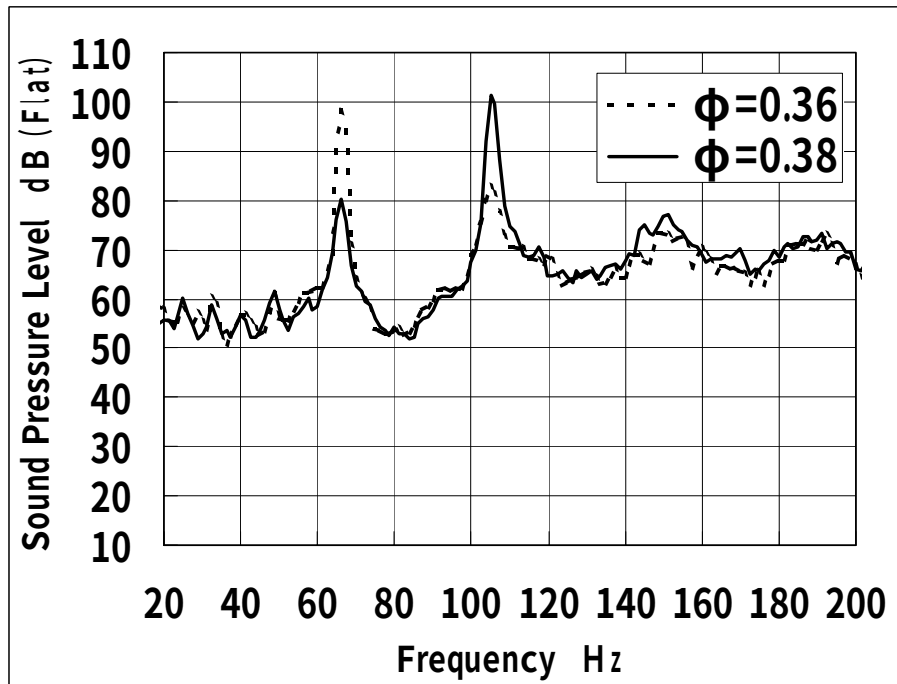
（３）火炎が安定になる当量比以上では、パイロット火炎の共鳴に対する影響は見られず、当量比が増してある値を越えると、より高周波数のモードが支配的になり、低周波数のモードは減衰する。

（４）共鳴モードはわずかな当量比の違いで変化し、共鳴周波数以外の音圧レベルはそれほど変化しない。

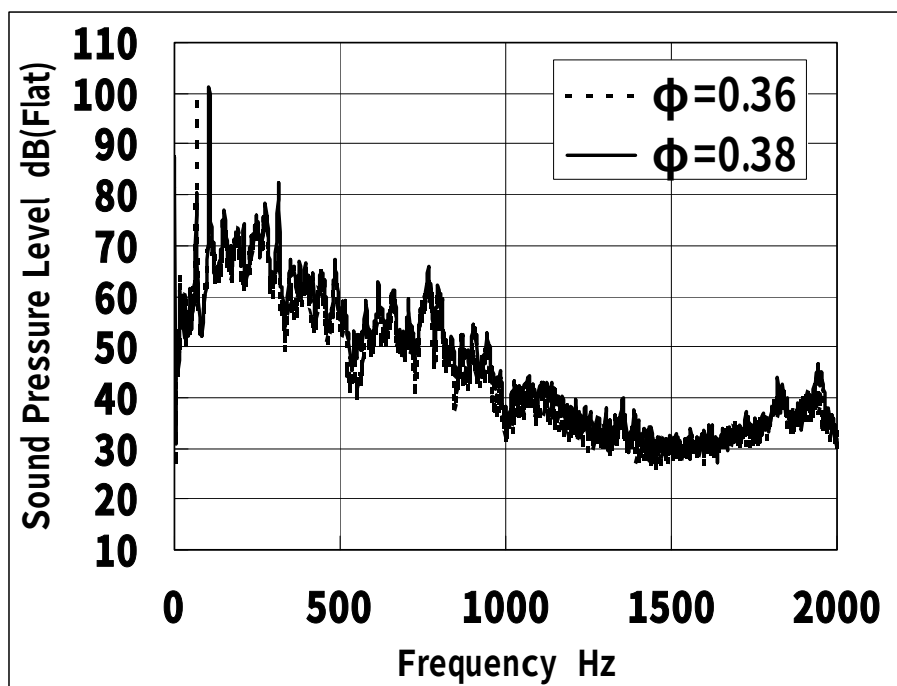
本研究は文部科学省開放的融合研究「乱流制御による新機能熱流体システムの創出」に基づき、知的乱流制御研究センターの研究活動の一環として行われた。

参考文献

1. Bernard Lewis and Guenther von Elve, *Combustion, Flames and Explosions of Gases*, New York, Academic Press, 1961.



(a) 共鳴周波数近傍



(b) 0～2 kHzの範囲

図ー4 当量比による共鳴周波数の変化