

川口研究室における環境関連研究

荒木 進、長谷川 健

1. はじめに

川口研究室は学部学生6名，大学院修士課程学生8名，博士課程学生2名の計16名が在籍する研究室である．我々の扱っている研究は主に燃焼技術に関連するものである．

近年、化石燃料の枯渇や地球温暖化、酸性雨、大気汚染といった地球環境問題が深刻化するに伴い、限り有る資源をいかに効率よく有効に使うことができるか、また、燃焼により発生するNO_xなどによる環境負荷をいかに少なくできるかが、燃焼技術研究の大きな課題となっている．また、化石燃料に替わる燃料を使用する燃焼技術の研究も重要な課題である．本研究室では、特にガスタービン、ボイラ等の燃焼器への応用を想定した燃焼技術の研究を行っている．

今回は前回の環境学生会議での内容に引き続き、

- ・超小型ガスタービン（UMGT）用燃焼器に関する研究
- ・NO_x低減燃焼技術に関する研究

という特に環境問題という点から最もかわりあいの深いと思われるこの2つのテーマについて前回の概要に加えその具体的な研究成果について発表したいと思う．

2. 「超小型ガスタービン（UMGT）用燃焼器に関する研究」

「ガスタービン燃焼器の小型化による燃焼特性への影響」

研究背景・目的

携帯用電子機器や通信機器、医療機器、

冷却装置など小型で携帯できる動力源としては、従来は専ら電池が使用されてきた．しかし、電池は使用済み電池の廃棄によって環境へ影響を与えたり、また、小型化されていく電子機器の中で電池が最も大きく重たい部品になってしまったりと問題が出てきた．

エネルギー密度（単位重量あたりある時間内に得られる出力）は電池の中で最も大きいLiSO₂で320 W・hr/kgであり、メタン燃料を利用したガスタービンの14000 W・hr/kgに遥かに及ばない値である．そこで、より小型軽量でかつ環境への負荷が少ない電源として、超小型のガスタービンが注目されるようになり、米MITにおいて1円玉大のマイクロガスタービン(以下UMGT)が発表された．これは外径12mm、長さ3mmという、今までの常識からは考えられない小ささである．

ただMITのモデルも開発に向けた研究は進められているが各要素の小型化に伴う技術的な問題を克服できていないため、現在に至るまで実用化はされていない．燃焼器においてもそれは例外でないと考えられ、したがって超小型化に伴い燃焼に生じる問題を解明することがUMGT実現へ向けて重要である．また、同レベルのエネルギー密度を持つ電源として燃料電池があり、現時点ではコストおよび信頼性という点でUMGTに利点があると考えられるが、逆に熱効率の悪さという欠点も持っている．燃焼器も含め、いかに効率よく作動させられるかがUMGTの普及への課題である．

このような観点から，本研究室では特に小型化に伴う熱損失割合の増加に着目し，その影響を解明する研究，及び，実際に超小型燃焼器を製作し，その燃焼特

性を明らかにすることで，UMGT用燃焼器としての可能性を探る研究を行っている．

以下に結果の一部を紹介する。

燃焼器モデル

燃焼筒は石英ガラス燃焼筒，断熱セメント燃焼筒，水冷式燃焼筒と交換可能であり，燃焼器高さは軸を変えることでL=15mm，25mm，35mmと変化させられる．エンドプレートは外側排気用と内

側排気用で交換可能であり，それぞれ図2.1に示すような形状となる．また，噴射口は同図に示すように，幅4mm，高さ6.25mmとし，噴射口数を4個とした．燃料-空気混合気は噴射口から燃焼器内に周方向速度のみをもって噴射される．

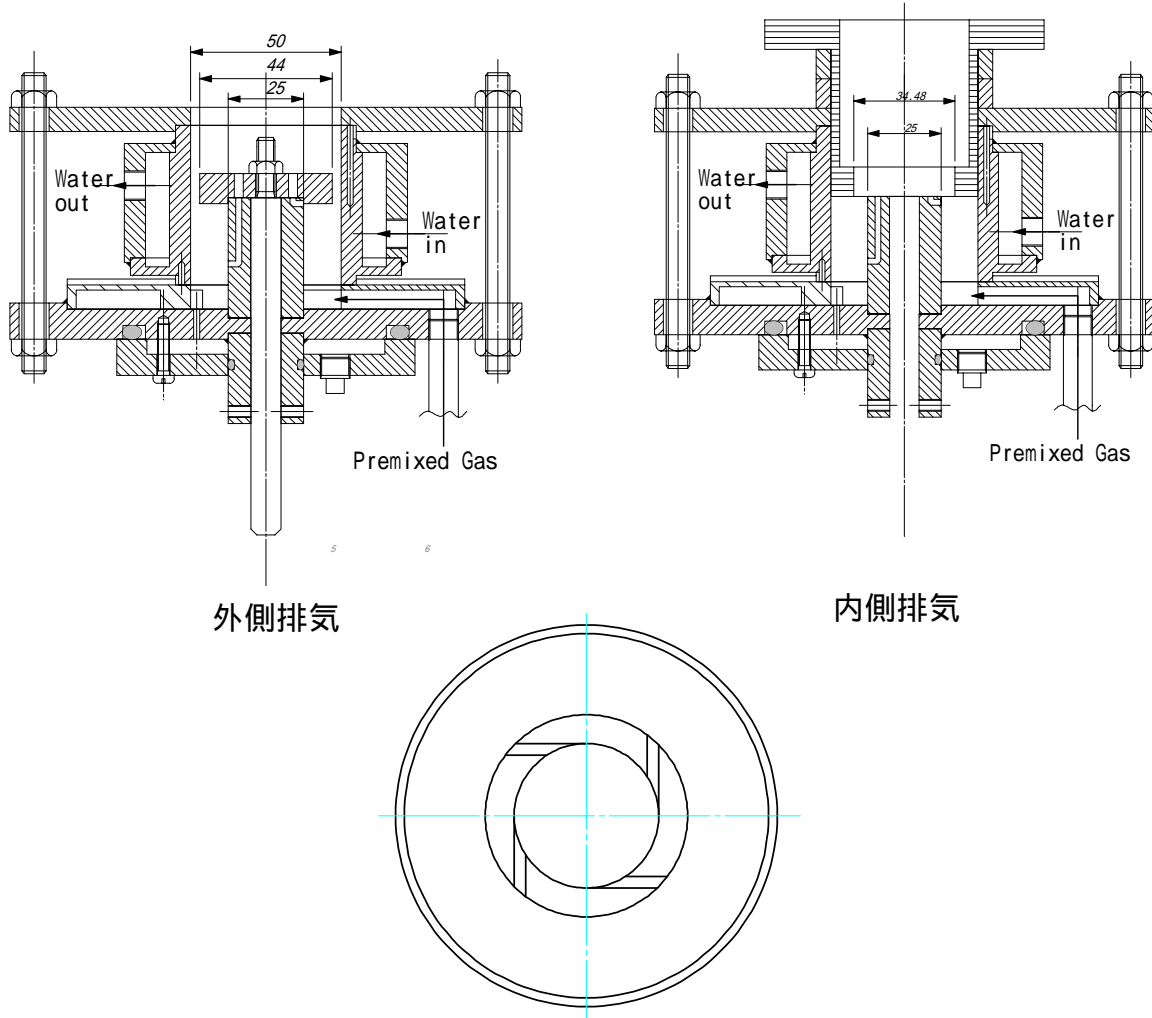


図 2.1 燃焼器

代表的な火炎写真

図 2.2 に内側排気の代表的な火炎写真を示す

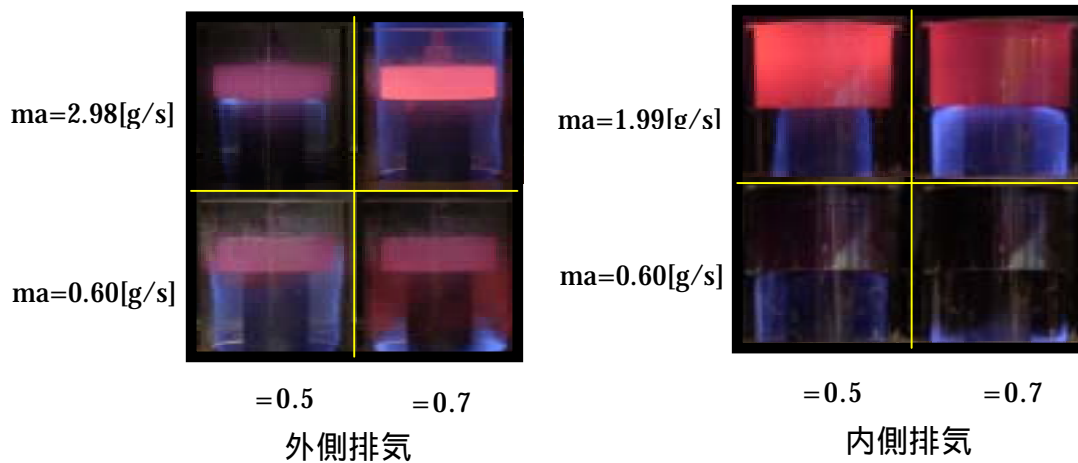


図 2.2 外側排気・内側排気それぞれにおける火炎写真

実験結果

図 2.3 に外側排気における燃焼器内 UHC・CO 分布を示す。

UHC は軸近傍から徐々に減少し壁面近傍において急激に増加する。燃焼器内側においては燃焼器下流に設けられているエンドプレートの影響により循環流が生じ、未燃分が存在すると考えられる。壁面近傍においては部分吹き消えにより急激な未燃分の増加を招いたと考えられる。高さによる違いを比べると $L=35\text{mm}$ のほうがより広範囲に UHC の分布が見られ安定的に燃焼が行われていることがわかる。

CO は半径方向に向かって徐々に減少し壁面近傍で極大をとっている。CO は燃焼の中間生成物であるので壁面近傍の吹き消えを起こしている不安定な燃焼領域では CO 濃度は急激に増加し、より壁面側の領域では燃焼が行われていないため CO は生成されずこのような分布になったと考えられる。 $L=35\text{mm}$ では壁面近

傍の減少に転じる領域が広いいため、CO の分布からも安定的に燃焼が行われる範囲が狭いことがわかる。

以上より、壁面近傍においていかに火炎を安定的に形成させられるかが、未燃分の排出の減少につながるといえる

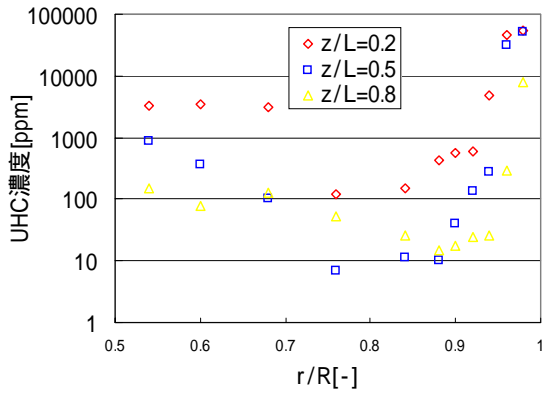


図4.21 UHC濃度分布(L=15mm ma=1.5g/s)

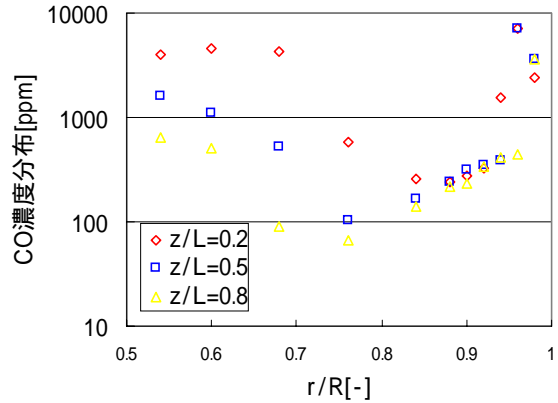


図4.22 CO濃度分布(L=15mm ma=1.5g/s)

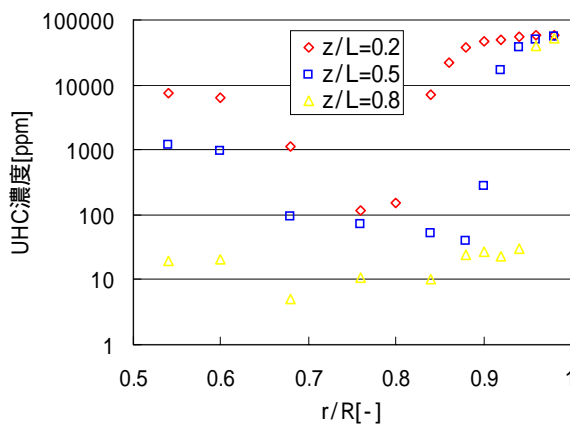


図4.23 UHC濃度分布(L=35mm ma=3.0g/s)

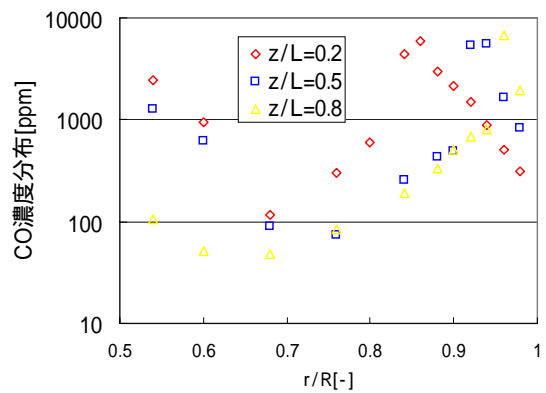


図4.24 CO濃度分布(L=35mm ma=3.0g/s)

図 2.3 外側排気における燃焼器内 UHC・CO 分布

3. 「強い旋回空気流を用いた NO_x 低減燃焼技術」

「強旋回気流を用いた拡散燃焼器の燃焼特性」

研究背景，及び目的

火炎温度を低下させることで NO_x 発生量を低減させる燃焼形態の一つに希薄予混合燃焼というものがある。これは量論混合比（理論上完全に反応する燃料と空気の質量比）より多量の空気を，燃料と燃焼器手前で予め十分に混合させた後で燃料希薄の状態での燃焼させる方法である。ただ，燃料と空気を予め混合しない拡散燃焼に比べ火炎の安定性が悪く火炎の伝播による逆火の危険性があるという欠点を持つ。

本研究で着目した燃焼形態は，拡散燃

焼でありながら予混合燃焼の性質も併せ持つ渦巻き燃焼である。これは，燃焼器手前で混合は行わないものの，燃焼器内の強い渦巻き状の流れによって燃料と空気を急速に混合させることで，拡散燃焼の性質である火炎の安定性の良さと予混合燃焼の性質である NO_x 発生量の低減を実現できると考えられている燃焼法である。

本研究では，渦巻き燃焼器の燃料噴射口の位置と寸法が燃焼特性と排気特性に及ぼす影響を明らかにすることで，渦巻き火炎の構造を調べることを目的としている。

以下に結果の一部を紹介する。

燃焼器モデル

実験装置の燃焼器部分は図 3.1 に示すように、空気は円筒形の燃焼室（半径 $R = 45[\text{mm}]$ ）の接線方向速度のみを、燃料は

その燃焼室の中心軸方向速度のみを与えられ、別々に供給される。

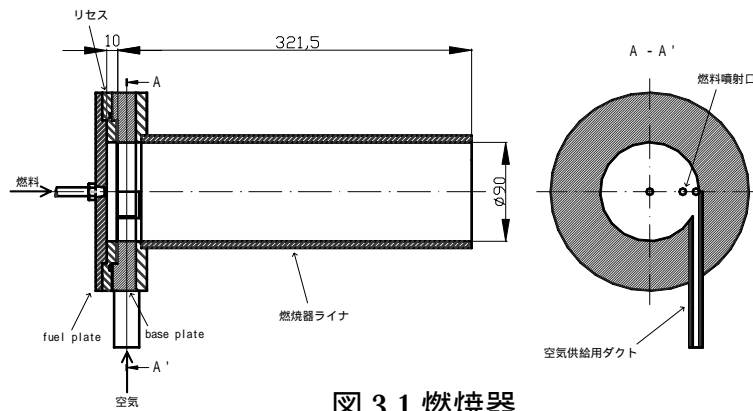
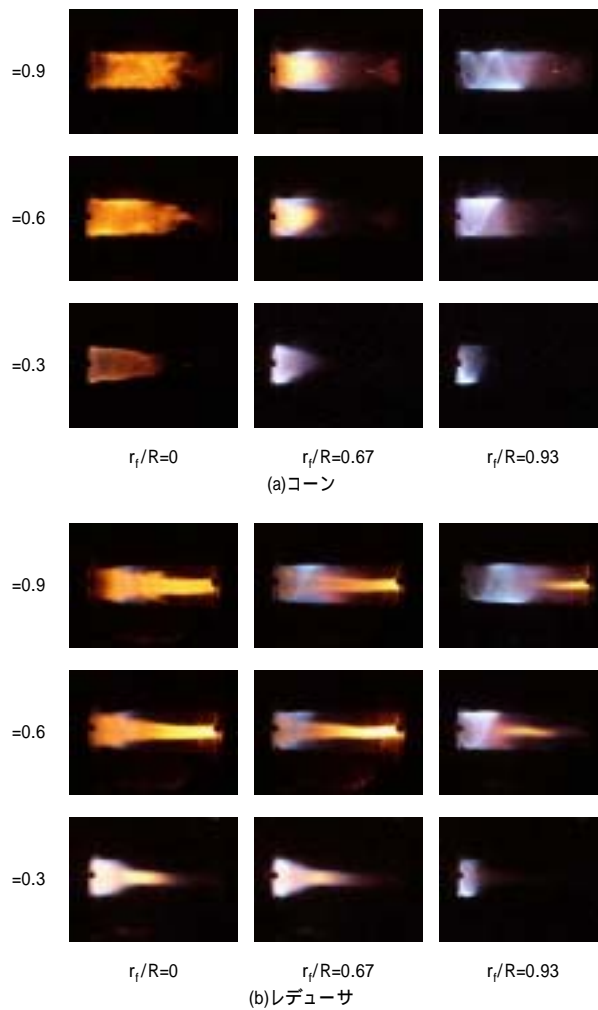


図 3.1 燃焼器

代表的な火炎写真

図 3.2 は入口空気温度 $T_a = 300\text{K}$ 、空気流量 $m_a = 5.8\text{g/s}$ における総括当量比、

燃料噴射口位置、出口形状を変化させた際の火炎写真である。



燃料・空気ポート数 $N=1$ 、入口空気温度 $T_a=300\text{K}$ 、空気流量 $m_a=5.8\text{g/s}$

図 3.2 総括当量比、燃料噴射口位置、出口形状を変化させた際の火炎写真

実験結果

・燃料噴射口位置変化による排気組成

図 3.3 に燃料噴射口半径方向位置 r_f 、及び空気流量 Q_a を変化させた際の、排気中の NO_x 濃度 (O_2 16%換算) の測定結果を示す。

この結果から、燃料噴射口半径方向位置が壁面近傍の条件 (r_f/R が大きい条件) では、 NO_x の発生量が著しく低減されることが分かる。現在国内で最も厳しい規制を課している横浜市や川崎市の指導値である 10ppm (O_2 16%換算) を満足する値となっている。

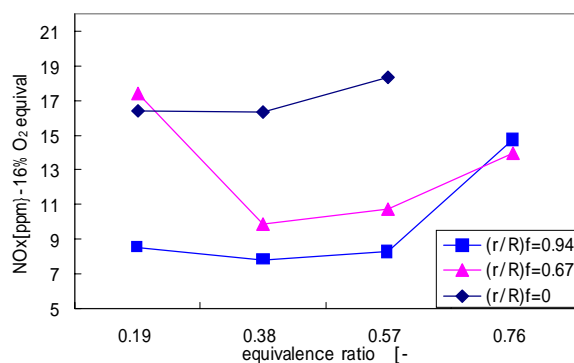


図 3.3 排気組成(燃料噴射口位置変化)

・入口空気温度変化による排気組成

図 3.4 に空気流量 $m_a=5.8\text{g/s}$ 、総括当量比 $\phi=0.6$ 、燃料噴射口位置 $r_f/R=0.67$ とし、入口空気温度を変化させた際の排気組成を示す。

入口空気温度上昇に伴い、 CO 、 UHC 排出濃度については減少していることが分かる。また NO_x 排出濃度については温度上昇により増加している。これは入口空気温度上昇に伴う反応速度の増加により火炎帯下流の 1800K 以上の領域で生成するとされるサーマル NO_x が顕著に発生したためだと考えられる。

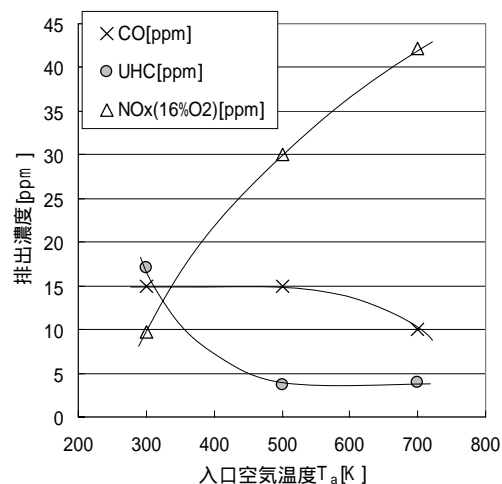


図 3.4 排気組成(入口空気温度変化)

5. おわりに

川口研究室では、今年度から NO_x 低減を目的とした低カロリー燃料の燃焼に関する研究と、分散型発電用小型ガスタービン燃焼器の研究を始めている。

次回以降の会議でも、これらの結果も加えさらなる研究成果を報告していきたいと思う。