

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(1/1)

研究題目	超音波を援用した革新的低公害燃焼器の開発	報告書作成者	廣田光智
研究従事者	廣田光智		
研究目的	<p>燃料と空気が並行に噴出される噴流の横から、20kHz を超える周波数の音(超音波)を照射して圧力変動を起こし、その混合を促進させる。これにより、火炎長さを短くして窒素酸化物(NO_x)を低減させる効果を向上させたい。特に本助成課題では、混合度合いをモニタしながら最適な振動面・反射面の設置条件とその有効範囲を調査した。</p> <p>これまでの研究では、ボルト締めランジュバン振動子による振動面と、同形状の反射面に挟まれる空間中に音の定在波を作り出し、燃焼制御を試みていた。このときに、振動面と反射面の設置角度、位置、形状が火炎長さの変化にシビアに効くことがわかってきた。火炎が長い場合には高温部分が大きいことから、高温のときに発生する窒素酸化物(サーマル NO)の排出が増加する。従って、超音波によって火炎長さを短くできれば、窒素酸化物を低減できる。超音波定在波の空間中に噴流出口から伸びる長い火炎が形成された場合、混合が促進されるうえに火炎面が変形するため火炎長さが短くなり安定する。超音波の強さが強いほどその効果が強いことがわかっている。そこで本研究では、超音波定在波の強さ(噴流の混合度合い)を火炎の安定度合いで判定することとした。何も制御しないと不安定な火炎に対して超音波を照射して安定化する実験を行い、定在波の最適な形成条件を振動面と反射面の形状や設置方法を変えて安定度合いの変化を調査した。これらの音場において得られた安定度合いを様々な燃焼条件において調査し、その有効範囲を示した。</p>		

研究内容	<p>密度の異なる境界面では、超音波が力として作用する。燃焼器の中では、燃料噴流と空気流との境界面、火炎と周囲空気との境界面など、この密度の異なる境界面が多数存在する。本研究で提案する装置では、この境界面に超音波の圧力振動を与え、燃焼状態を変化させる。まだ燃えていない領域では境界面を振動させることで混合を促進させることができる。また、火炎面では音の力を受けて一方向に火炎を変形させつつ曲げることができる。ただし、本装置は、振動面と同軸上に反射面を設置して正対させることで得られる定在音場の音圧分布と音圧が、装置の設置状態に対して非常に敏感に作用するため、必ずしも最適な条件で燃焼制御できていない。最も効果的に音をこの境界面に作用させるためには、反射面で受けた音波を損失なく振動面へ返すことが重要である。そこで、振動面と反射面の平行度、反射面の形状などを変化させて、火炎の安定度合いがどのように変化するかを、図1の装置を用いて以下の手順で観察した。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 噴流バーナから周囲空気流にメタン燃料を噴出させて着火するとバーナ出口に付着する火炎ができる。この状態で空気流あるいはメタン燃料流速をゆっくり増加させると、バーナ出口から浮き上がった状態で火炎が安定する。この空間中に浮遊する浮き上がり火炎が、空気流あるいはメタン燃料流速を増減させてそのまま浮き上がって消えてしまう(吹き飛び限界)、あるいはバーナに再度付着する(再付着限界)限界を調査する。その二つの限界値に囲まれた浮き上がり火炎としての安定範囲を、極限状態の燃焼の安定度合いとして評価する。2. 噴流出口直後にボルト締めランジュバン型振動子に単純段付きホーン(直径15mm)を取り付けた振動面と反射面に挟まれる領域をつくる。ファンクションジェネレータを入力信号として、マッチングトランスと安定化電源によって振動子を共振周波数の20kHz近傍で駆動する。3. 超音波を作用させない状態で浮き上がり火炎を形成し、ここに後から超音波定在波を作用させたい状態で、1の安定度合いを測定する。4. 3の方法で、反射面の角度を正対した状態、11度傾けた状態、22度傾けた状態に変更し、それぞれ安定度合いを測定する。5. 3の方法で、直径30mmの円形型反射面、直径70mm、幅80mmの凹型の反射面に変更し、それぞれ安定度合いを測定する。6. 3の方法で、反射面がない状態、あるいは超音波を作用させない状態で、それぞれ安定度合いを測定する。7. 4、5、6のそれぞれの設定において、騒音計を用いて音場の音圧分布を測定する。8. 4、5、6、7を比較、検討する。
------	--

研究のポイント	<p>本研究では、音を伝える媒質が空気であることから、音の減衰が固体や液体に比べて格段に大きい。従って、振動面から照射される音波は反射面に到達するまでにすでに減衰して音圧が小さくなっている。さらに振動面からの音波は 20kHz の周波数でも照射面よりも範囲が拡大して伝わるため、同一面積の正対した反射面で受けた音波は、振動面へすべて戻るわけではない。この超音波の欠点を抑制するため、反射面での音波の反射をなるべく損失なく振動面へ返すことがポイントとなる。</p> <p>本研究助成によって、振動面と反射面の正対位置を詳細に調整できるように、角度調整用ゴニオステージ、一軸ステージ、レーザービーム光源、反射面設置アタッチメントを構築した(図2)。反射面の傾きが振動面に照射されたレーザー光によって判定でき、設置状態を詳細にモニタできる。また、最適に調整された装置を液体燃料噴射装置に作用させた(本助成をきっかけにした発展研究のため、詳細は研究報告書参照)。これにより実燃焼器における効果を検証した。</p>
研究結果	<p>図3に安定度合いの変化を示す。横軸は燃料流速、縦軸は空気流速である。燃料流速を一定にした状態で空気流速を増減させたときに、火炎がバーナから吹き飛んで消える限界値あるいはバーナ出口に再付着する限界値をプロットしている。各プロットは、●が反射面を正対させた場合、▲が反射面を11度傾けた場合、▽が反射面を22度傾けた場合、◆が反射面が凹型の場合の結果である。比較のために、□に反射面を設置しない場合、小さい●に超音波を作用させない場合の結果も記した。この図の再付着限界から吹き飛び限界までの範囲を浮き上がり火炎が安定に形成できる範囲として定義し縦軸としたものが、図4である。この図の縦軸が大きいほど浮き上がり火炎が安定に形成される範囲が広く、超音波の効果が強く作用していることを示している。図より、◆の反射面が凹型の場合が一番効果が大きく、燃料流速が 2m/s を超える乱流燃焼状態においても効果が持続していることがわかった。また、●の反射面が正対させた場合は、燃料流速の小さい範囲で効果的であり、それ以外の条件は音の反射の損失が大きく、超音波を使用しない条件に近づいていた。図5の音圧分布をみると、凹型反射面が音圧の強弱がはっきり出ており、反射面が正対したもの、傾いたものとなるほど音圧差が小さくなっていた。火炎面へ超音波を効果的に作用させるためには、音場の音圧差を大きくする必要がある。実燃焼器への応用を鑑み、これらの結果を未燃焼の気液二相流に適用したところ、液体噴流方向の偏向と微粒化促進という一定の効果を確認した(研究報告書参照)。</p>
今後の課題	<p>実燃焼器では、運転状態によって内部温度が異なる。本研究で提案する装置では、温度の変化で音速が変化し、超音波の共振周波数が変化する。そのため、使用温度に準じた周波数設定が必要である。また、使用した振動子はそもそも熱に弱いので、長時間の連続使用ができない。従って装置の冷却等も考慮する必要がある。</p> <p>また今回の結果から、実燃焼器において超音波を作用させる場合、対象とする密度の境界面それぞれで音圧の最適化が必要であることがわかった。未燃の気液二相流を制御するほどの音圧を火炎面に作用させると、効果が強すぎて失火してしまうため、運転条件によって時々刻々の制御が必要である。</p>

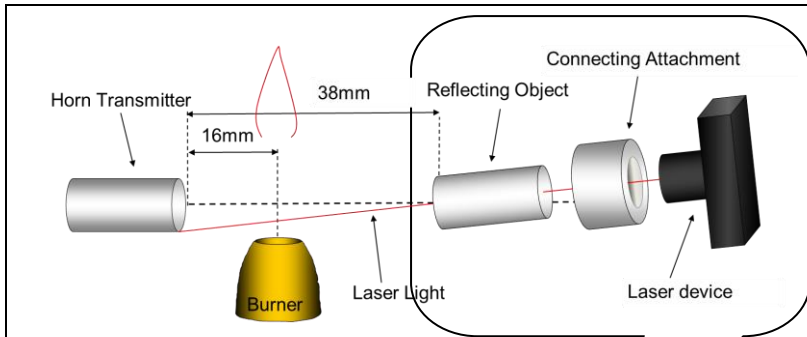


図1 実験装置概要図(直径2mmと20mmの同軸バーナからメタンと空気を噴出, 上方に火炎形成)

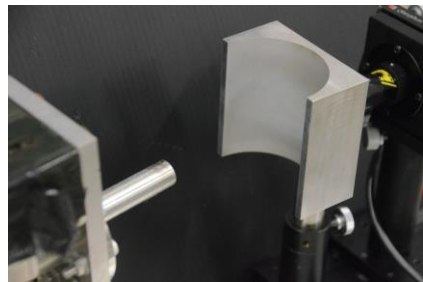
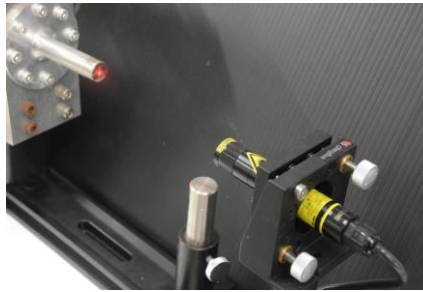


図2 振動面と反射面の照射軸あわせレーザー光装置(上段)と凹型反射面(下段)(本助成にて構築した部分)

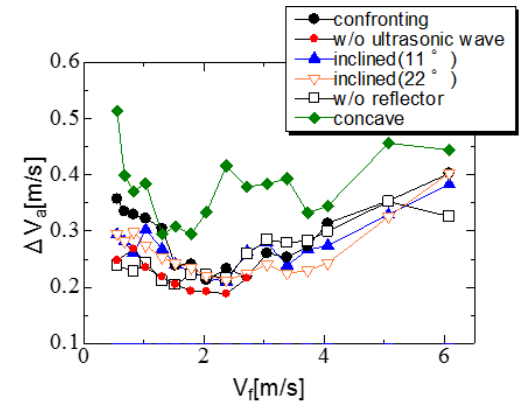
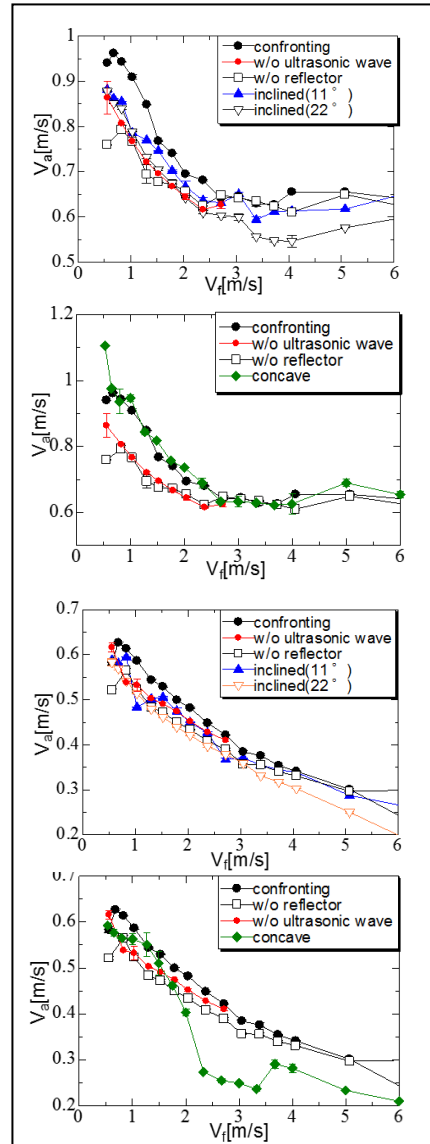


図4 超音波による浮き上がり火炎の安定範囲(図3の吹き飛び限界から再付着限界までの V_a の差)

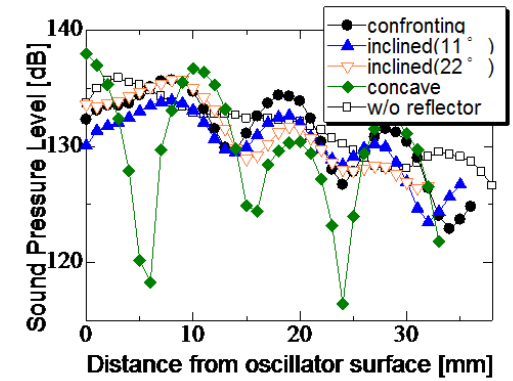


図5 振動面と反射面に挟まれた空間中の音圧分布

図3 超音波を作用させた場合の火炎の安定度合い(上段二段=吹き飛び限界、下段二段=再付着限界)