

## 論文の内容の要旨

論文題目 超音速矩形ジェットから生じる騒音のマイクロジェット噴射による低減

氏 名 岡田 隆一

環境適合型次世代超音速ジェット機の実現には高効率の推進システムと共にジェット騒音の更なる低減が不可欠である。ジェットエンジンの排気ジェットが音速を超える場合には、亜音速ジェットで生じる乱流混合騒音に加えて、広帯域衝撃波関連騒音やスクリーチ音が発生し、亜音速機よりも大幅な騒音低減が要求される。ジェット騒音を低減する手段として、シェブロンノズルやタブノズルのようにノズル出口形状に工夫を加えることで主ジェットと周囲大気の混合を促進し、騒音を低減させる方法が提案されている。しかし、騒音規制がない高空巡航時には推力損失の原因となることが指摘されている。

巡航時のエンジン性能の低下を防ぎつつ離着陸時に必要な騒音低減量を得る能動的制御手法として、主ジェットに対して微量のジェットを吹き付けることによって音響場を制御するマイクロジェット噴射がある。高亜音速ジェットを対象としたマイクロジェットに関する研究が種々行われているのに対し、超音速ジェット騒音に対するマイクロジェットの効果を調べた研究例は少なく、詳細な音響場や流れ場の調査が不十分であることから騒音低減メカニズムは未解明である。また、主ノズルを非円形ノズルとした場合のマイクロジェットの騒音低減効果に関する研究例は存在しない。次世代超音速機は概念設計の段階にあり、非円形ノズル使用時のマイクロジェットの騒音低減効果についての知見は有用であると考えられる。

以上のような背景を踏まえ、本研究では図1に示すアスペクト比約10の矩形ノズルからの超音速ジェットを対象にし、マイクロジェットによる騒音低減効果の検証した上で騒音低減要因の解明し、更に適切な噴射方法の提案することを目的とした。目的達成のため実験による音響場の詳細な調査に加え、流れ場の可視化や数値解析を実施した。

高アスペクト比の超音速矩形ジェットから発生する騒音の基礎的特性に関する知見を獲得するため、理論計算や音圧計測、過去の研究で計測されたスペクトルとの比較を行った。その結果、高アスペクト比の矩形ジェットでは主ジェットのフラッピング運動及びスクリーチ音が支配的であり、広帯域衝撃波関連騒音の影響が小さい音響場であることがわかった。

マイクロジェットによる音圧変化とその指向性に関する知見を得るため、マイクロホンを用いた音響計測を実施した。マイクロジェットの噴射口数や間隔、噴射圧をパラメータに、主ノズル内の境界層や主ノズル外のせん断層に対してマイクロジェットを噴射した。ノズル出口マッハ数約1.4の主ジェットの膨張状態を変化させ、マイクロジェットの効果を検証した結果、OASPL値で最大13dB程度の低減効果を持つことがわかった。この場合の主ジェットに対するマイクロジェットの質量流量比は約1.5%であった。音圧のスペクトル解析を実施したところ、図2に示すように低周波数帯域の乱流混合騒音やスクリーチ音が大きく低減することが確認された。乱流混合騒音やスクリーチ音の低減量は高噴射圧ほど大きく、噴射口数には最適値が存在することが示された。一方で主ジェット側方から後方にかけての計測点では、マイクロジェットを噴射することによって高周波数騒音が増大することがわ

かった。主ジェットが不足膨張状態の場合には、高噴射圧条件やノズル内境界層への噴射時に高周波数騒音の増大が顕著に観察された。高周波数騒音の増大が確認された計測点のスペクトルを比較したところ、増大した高周波数騒音は計測点によって周波数帯域が移動する広帯域衝撃波関連騒音と同様の特性を有していることがわかった。

マイクロジェットによる騒音低減の要因を明らかにするため、流れ場をシュリーレン法により可視化しジェットの非定常挙動について調査した。図3に示すようにマイクロジェット噴射によってせん断層内を発達しながら移流する大規模な乱れの発生や主ジェットのフラッピング振動が抑制されることがわかった。

ジェット内部のショックセル構造やせん断層の変化に関する情報を補うため、流れ場の定常RANS解析を実施した。低周波数音の抑制に加え高周波数音の増大が抑えられたケースの流れ場を解析したところ、マイクロジェット噴射によって生じる圧縮波が主ノズル出口に生じる膨張波の影響を緩和し、下流のショックセル構造が弱められることがわかった。一方で、高周波数騒音が増大した場合の流れ場の解析結果では、マイクロジェットによって生じた衝撃波の影響でノズル出口静圧が増大し、ノズル外の噴流部のショックセルが強くなっている様子が見られた。また、噴射口の間隔が適切な場合にはマイクロジェットの主ジェットへの貫入によりせん断層が波状の形状に変化することが確認された。

音響場と流れ場の検討結果から、高アスペクト比の超音速矩形ジェットから発生する騒音に対しては、スクリーチ音の原因であるフィードバックループの遮断と、低周波騒音の発生要因となるせん断層不安定の抑制によって騒音低減を得ていると考察された。また、マイクロジェット噴射による高周波帯域の騒音増大は主ジェット内に生じたもしくは強化された衝撃波構造によるものであることを示した。

以上のように本研究ではマイクロジェットが矩形ノズルから噴射される超音速ジェットの騒音低減に有効であることを示した。また流れ場の詳細な検討からマイクロジェットによる騒音低減の要因を明らかにすることができた。更にその知見に基づいて主ジェットの状態に応じたマイクロジェットの適切な噴射方法を提案した。

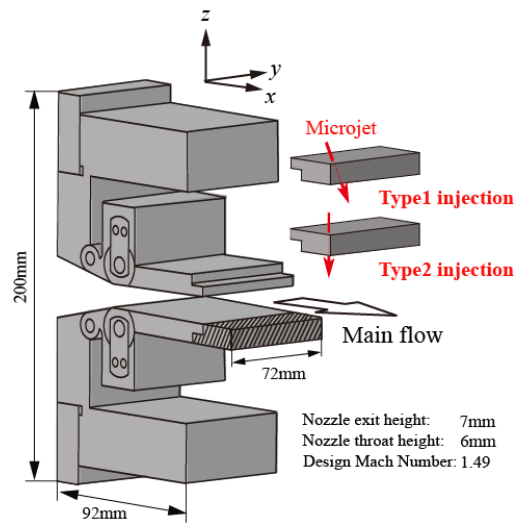


Figure 1 Schematic of main nozzle with microjet injection system

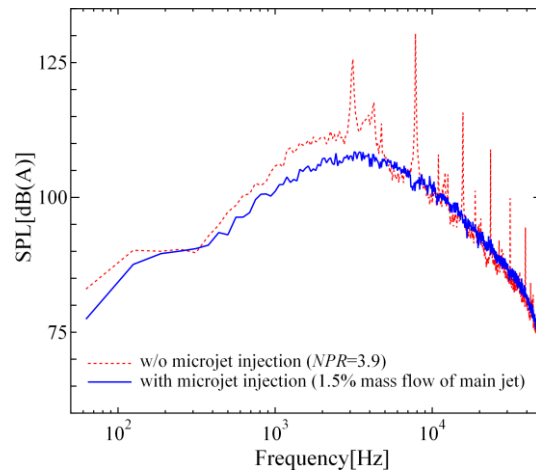


Figure 2 Power spectra ( $M=1.39$ , under-expanded main jet)

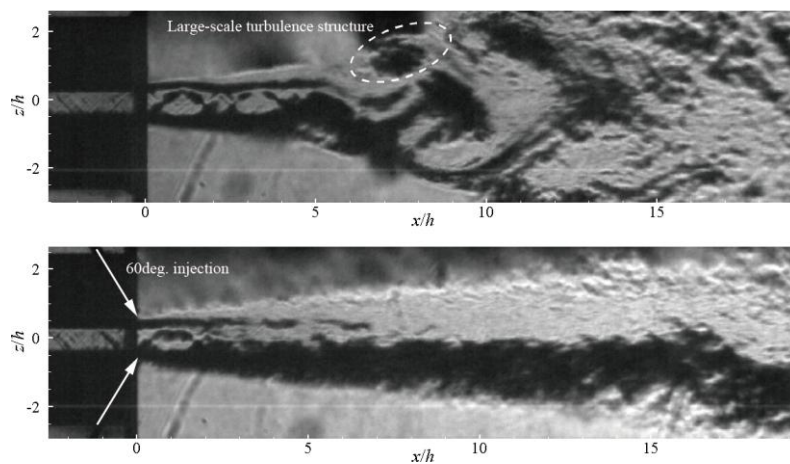


Figure 3 Instantaneous Schlieren images (upper: w/o microjet, lower: with microjet,  $M=1.39$ )