

論文の内容の要旨

論文題目 「Experimental and numerical study on propagation of
detonation wave in combustible jet train」
(可燃性噴流列中を伝播する爆轟波に関する実験および数値解析的研究)

学位申請者 Faming Wang

キーワード：爆轟，爆轟エンジン，爆轟解析，LES，プレッシャーゲイン燃焼

21 世紀以来，炭素排出削減は各国が直面する大きな課題となっている．国際エネルギー機関（IEA）などの調査によると，世界のセクター別 CO₂ 排出量では，運輸が全体の 23% であり，そのうち航空機は 13% を占めている．また，気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では，航空セクターの CO₂ 排出量は 2050 年に現在の 2-5 倍に達すると予測している．それを解決するため，従来のブレイトンサイクルを利用する航空エンジンに対して理論熱効率が 20% 以上向上するプレッシャーゲイン燃焼を利用する回転 detonation エンジン（Rotating Detonation Engine: RDE）の開発が一つの案として挙げられている．RDE は単純な構造を持ち，従来のジェットエンジンより圧縮機やタービンが減るため航空用エンジンの長さや重量を劇的に小さくすることが出来る．またそれにもかかわらず高い燃焼器圧力を発生できるため，高性能で環境負荷の少ない推進機関の実現が可能となると期待されている．

しかし現在に至るまでの研究で，燃焼室内の燃料の不完全混合，燃焼室曲率，乱流および壁面損失など様々な要因による RDE 内部の爆轟波が非理想的な伝播形態が得られているため，従来の定圧燃焼における理論値に比して 80-90% 程度の比推力に留まっており，実用化に至らなかった．

本研究では，燃料の不完全混合問題に着目し，湾曲した RDE 燃焼室を展開して線形形状にした線形燃焼器を提案した．線形燃焼器の利点として，燃焼室形状による影響の排除ができ，燃料の混合のみの影響を解明することができる．他に，可視化範囲が大きい，爆轟による損傷が低減できる利点を持つ．また，本研究では，実験および LES 解析により，従来行われていない完全混合状態の燃料噴流列中を伝播爆轟波の伝播様態を明らかにした．燃料の混合促進は爆轟波伝播の改善に対する上限を確認した．また，非予混合燃料を用いる際に燃料の混合促進は爆轟伝播に対する影響を明らかにした．

本論文は 6 章で構成されており，以下に各章の概要を示す

第 1 章は序論であり，本研究の背景と目的を述べた．回転爆轟エンジンの現状と実用化に向ける課題点について明らかにし，従来の研究事例をまとめた．これにより，提案した線形燃焼器による燃料混合が爆轟波の伝播に与える影響の解明の新規性と有用性を明らかにし，本研究の社会的意義を示した．章の最後では，本論文の構成および概要について述べた．

第2章では、本研究で使用する乱流燃焼解析コード CHARIOT の特徴と爆轟解析に使用する解析手法をまとめた。次に1次元数値解析を行い、実験結果と数値解析結果の比較によるコード検証を行った。CHARIOTは爆轟の解析に適応できることを確認した。

第3章では、爆轟管実験を行い、爆轟波の伝播特性である圧力、速度とセル構造を捉えた。同時に前章で検証した手法を用いて2次元数値解析を行い、実験値との比較により解析手法の妥当性を再確認し、爆轟の解析に適用する格子幅を確認した。

第4章では、線形燃焼器による低燃料供給圧での爆轟波伝播様態についてまとめた。初めに、低燃料供給圧条件での線形燃焼器による爆轟波伝播の可視化実験を行い、爆轟波の伝播様態を捉えた。次に爆轟波前後流れ場の詳細を解明するため、数値解析を行い、燃料と爆轟波の干渉を明らかにした。次に非予混合燃料での爆轟波伝播の数値解析を行い、非予混合燃料での爆轟波の伝播速度低下とダブルインジェクターによる燃料混合への促進作用を明らかにし、燃料混合促進が爆轟波伝播の改善への有用性を確認した。

第5章では、前章で得られた成果をRDEの応用に向け、周期条件を用いた模擬2次元RDEの燃焼室で伝播する数値解析を行い、異なる燃料混合状態が回転爆轟波の伝播への影響を明らかにした。その結果、予混合燃料が非予混合燃料よりの爆轟波伝播の改善と燃料混合の促進は爆轟波伝播の改善に有用であることを明らかにした。

第6章では本論文の結論を述べた。各章で得られた本研究の成果を総合して述べた。予混合燃料では非常に低い供給圧でも爆轟波の伝播の維持ができ、その伝播速度は理論値の90%以上に達することを明らかにした。ダブルインジェクターによる混合の促進は爆轟波伝播に対する改善を明らかにした。

本研究で得られた成果を応用することで、回転爆轟エンジンの性能と燃費の向上が期待でき、RDEの実用化の前進に貢献できると考える。将来、環境負荷の少ない高性能推進機関の実現により航空業界の排ガス問題の改善に貢献すると期待できる。