

乱流制御による新機能熱流体システムの創出

(研究期間：平成 12 年度～平成 16 年度)

融合研究機関： 独立行政法人 海上技術安全研究所
独立行政法人 産業技術総合研究所
独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
(研究総括責任者：大橋 秀雄)

開放的融合研究の概要

本研究は、光学計測技術、数値シミュレーション技術、MEMS 等の最新技術を活用し、複雑かつ普遍的な流体現象である乱流現象を解明し、そのマイナス面を抑制し、プラス面を促進する高度な制御手法を開発するものである。これらの技術開発は一企業或いは一研究所で実現することはほぼ不可能なことから、海上技術安全研究所、産業技術総合研究所、宇宙航空研究開発機構の多数の研究者を集約・組織化した研究体制を整えている。

制御対象としては、主要な乱流形態である壁乱流と自由乱流を選定し、サブテーマとして壁乱流を対象とする「能動乱流制御」と自由乱流を対象とする「乱流燃焼制御」を設定した。「能動乱流制御」は壁乱流の負の効果である摩擦抵抗発生の抑制と正の効果である壁・流体間の熱伝達の促進等を目的としている。制御手段としては、壁面にマイクロセンサー・マイクロアクチュエーター・アレーを埋め込む MEMS 技術や、水中に微細な気泡や界面活性剤を少量添加することによる流体物性制御技術を用いて、乱流制御システムのプロトタイプの開発、乱流の能動的制御による摩擦抵抗低減・はく離抑制・伝熱制御の実現を目指している。「乱流燃焼制御」は、自由乱流である噴流乱流の燃焼過程、特に低環境負荷型燃焼技術として期待されている希薄予混合燃焼について、高温環境下で利用可能なセンサー・アクチュエーター技術及びシステム開発、不安定現象の抑制による希薄予混合燃焼の適用範囲の拡大、燃焼効率の向上と有害生成ガスの低減を目指すものである。

(1) 総評（優れた業績が挙げられている）

乱流という流体現象は、輸送、エネルギーをはじめ様々な分野において、効率改善に大きな影響を及ぼす流体現象であり、その制御システムの構築が省エネルギー・環境技術等の確立に向けて重要であると考えられる。乱流制御システムの実現に向けて各種のセンサー、アクチュエーター、発生メカニズム、制御理論の構築がなされたプロトタイプの実装により実証し、乱流の正の面の増長、負の面の改善において具体的達成手段とその量が示され、その研究成果は科学技術のみならず、産業面での価値もきわめて高いと判断できる。

具体的成果の一例としては「能動乱流制御」においては、マイクロバブルを用いて壁乱流を制御する実船実験により最大 60 パーセントの摩擦抵抗の低減が可能であることを実証している。「乱流燃焼制御」では希薄予混合燃焼の実現に向けて燃焼下での現象が精密に把握されたと判断される。各サブテーマとも 3 年後、5 年後の目標を明確にし、海外の研究者が参加する融合研究評価委員会での評価も受けることで、複雑な非線形現象の解明及び新しい知見の獲得をし、それらを実験で実証した。そして本プロジェクトの成果に刺激され、米国、EU でも研究が活発化していることから、優れた業績

が挙げられていると評価できる。

<総合評価：A>

(2) 個別評価

①目標達成度

効率的な研究が遂行される研究体制が確立されており、乱流制御システムの実現に向けて各種のセンサー、アクチュエーター、制御理論が構築されて実証されたものと判断できる。また、乱流の正の面の増長、負の面の改善の量と手段が示されたと考えられる。

具体的には「能動乱流制御の研究」では摩擦抵抗の低減、はく離抑制、伝熱制御が実現され当初の目標が達成されていると判断できる。「乱流燃焼制御の研究」では希薄予混合燃焼の適用範囲が拡大され、燃焼効率が向上しかつ有害ガスの低減を目指すという目標に対して、それぞれの目標は十分達成されていると評価できる。

②研究成果

複雑な非線形現象を解明し、乱流制御を実現するための技術が構築されている。ただし、省エネルギー、低環境負荷に対する研究成果の寄与が定量的には明確であったとは言い難い。

「能動乱流制御の研究」では、乱流摩擦抵抗の7パーセント～10パーセント低減を実証している。マイクロバブルを用いた壁乱流制御では、渦スケールよりも大きな気泡の存在により乱れが抑制されるというメカニズムを世界で初めて明かし、実船において最大60パーセントの摩擦低減効果を達成した。

「乱流燃焼制御の研究」ではLES及びflameletモデルをもとにガスタービン燃焼器内の燃焼挙動についての解析を行い、実験で起こっている現象の主要部分を解明することができた。

本研究で得られた成果は流体に関わる革新的な共通基盤の技術として、製造、運輸、エネルギーなど工学の広い分野に波及効果を及ぼすだけでなく、高度非線形現象の制御というサイエンスの新展開にもつながる可能性も考えられる。また、本研究に刺激され、米国、EUにおいて類似研究が活発化するといった波及効果も見られている。

学会発表及び論文発表が国内、海外共に活発に行われたほか、「知的乱流制御国際シンポジウム」が計6回開催されたことは、当該分野の活性化に資することができたと考えられ、高い評価に値すると考えられる。しかし、特許取得が少なく、特許の出願の取組を重視した当該課題全体の成果管理手法に改善の余地があったものと判断される。

③研究計画・連携体制

関連省庁の異なる海上技術安全研究所、産業技術総合研究所、宇宙航空研究開発機構が共同で知的乱流制御研究センターを設立し、すべての研究者がこの組織に所属して研究を行った。このセンターが設立されるまでは、これらの三つの研究機関は独自に研究を行っていたが、センターの設立により垣根が取り払われ連携が十分に機能したと評価できる。その結果、研究の総合的なレベルアップが図られており、開放融合研究に向けての取組は良好であったと判断される。

④中間評価の反映

本研究は実用化と産業応用を念頭に置いたものであり、中間評価で特許を更に出願するよう指摘されていた。第期において改善は見られるが、3件の出願にとどまっている点は中間評価を十分に反映されたとは言い難い。

(3) 評価結果

総合評価	目標達成度	研究成果	研究計画・連携体制	中間評価の反映
A	a	b	a	b