

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	多次元多変量光学計測と超並列 GPU-DNS による高圧乱流 燃焼機構の解明と高度応用
研究機関・部局・職名	東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
氏名	店橋 護

【研究目的】

我が国の一次エネルギー供給の約 85%は依然として化石燃料の燃焼が担っている。太陽光、風力、バイオマス等の自然エネルギーの有効利用技術の確立は、化石燃料依存からの脱却に必要不可欠であるが、それらから獲得できるエネルギー量が我が国のエネルギー需要を満たすようになるには長い年月が必要とされる。このため、各種燃焼器には、更なる高効率化と低環境負荷化が求められており、それらは地球・都市環境問題の解決に直結する。多くの実用燃焼器内の流れは乱流燃焼状態にあるが、理論的、実験的及び数値的取り扱いの困難さから、実用燃焼器で用いられている高圧力環境下の乱流燃焼機構には、未解明な点が多く残されている。一方、化石燃料の枯渇懸念と CO₂ 排出量の低減の観点から、自然由来代替燃料の有効利用が望まれており、これには燃料組成の異なる代替燃料の燃焼特性の解明とそれを予測する詳細化学反応機構の構築という新たな研究展開が必要である。さらに、エネルギー有効利用の観点から、マイクロ・ガスタービンや均一圧縮着火(HCCI)エンジン等の新たな燃焼器の開発も要請されており、燃焼技術の更なる高度化と低環境負荷化には、高圧乱流燃焼研究と代替燃料の燃焼研究を融合させ、それらを高度に応用することが必要である。本研究では、実用燃焼器の更なる高効率化と低環境負荷化を目指して、高圧乱流燃焼機構、自然由来代替燃料の乱流燃焼特性及びマイクロ・ガスタービンや HCCI エンジン等の新型燃焼器における乱流燃焼特性を解明することを目的としている。

【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】

① 総合所見

本研究課題で、高圧燃焼反応における化学種の特定やその化学種の反応を時系列的に追跡する計測システムを開発し、また、多次元多変量光学計測及び超並列 GPU での超高速計算技術を開発し、実用燃焼機器の更なる高効率化、低環境負荷化を目指し

た。本研究で乱流噴流予混合燃焼について超高速計算技術を用い解析し、多次元多変量光学計測を適用し、高圧乱流燃焼機構・特性を明らかにしたことは高く評価できる。これらの開発により、マイクロ・ガスタービンの実用燃焼器フル・シミュレーション実現への貢献、さらに HCCI エンジンにおける自着火・火炎伝播機構の解明に基づく HCCI 燃焼の着火制御手法の確立に寄与することができた。

今後、得られた研究成果を最大限活用することにより、実際の産業用燃焼器の高効率化、低環境負荷化に大きく貢献することが期待される。

また、開発された光学的測定システム、燃焼解析のための超高速計算技術は世界的に見ても非常に高い技術レベルにあり、解析・計測技術の汎用化を積極的に進めることを期待する。

② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

本研究で、複数化学種濃度と速度の同時計測法や時系列速度計測法等を発展させた多次元多変量光学計測と、超並列 GPU 計算技術、高圧力環境下及び代替燃料に対応可能な化学反応機構とその効率的応用法を融合させた大規模 DNS 技術が開発された。これらは世界に優れた実験的・数値的研究手法として評価できる。

従来の乱流燃焼研究に対して、本研究を一層発展させることで乱流燃焼研究の根本を見直すことにつながる可能性が示された。従来、化学反応機構は、着火、火炎伝播及び消炎をそれぞれ異なる燃焼器形態において計測された結果を総合することにより構築・検証されてきた。これに対して、本研究におけるマイクロフローリアクターの燃焼特性に関する数値的研究では、流動・燃焼条件によって着火・火炎伝播・消炎が一つの系で時系列的に捉え解析することが可能であり、化学反応機構を総合的に開発・検証できる革新的な手法となり得ることが明らかとなった。

また、HCCI燃焼は新燃焼技術として注目されながらも、着火制御の困難さがその実用化に障害となっていたが、本研究により得られた燃焼形態に関する知見はHCCI燃焼の着火制御手法の確立ひいてはHCCIエンジンの実用化に向けて、大きな進展をもたらすものと期待される。

さらに、高精度乱流燃焼モデルを用いた LES に基づく乱流燃焼シミュレータは高効率と低環境負荷を実現する燃焼器の設計に活用できると考えられる。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

補助事業期間の当初に多次元多変量光学計測の高時間分解能化が実現されたことにより、計測技術のブレークスルーが行われ、乱流燃焼の微細構造解明へ向けて大きく前進したと言える。計測手法は産業界への波及効果もあり、先進性・優位性は認め

られる。

従来の計測手法では明らかにすることができなかった乱流燃焼における火炎の微細構造が定量的にとらえられ、その結果、火炎要素の曲率、燃焼速度に基づいて、従来の定説が覆される可能性を見出した。LES モデルの構築のための知見として特筆すべき研究成果であると認められる。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

計測手法の高度化と並行して開発されている GPU-DNS 手法は計算機の高度利用の促進に大いに寄与すると認められる。

燃焼に関する本研究の成果および、計測手法と計算手法は自動車メーカー等が導入を検討するなど、従来にない高効率、低環境負荷燃焼機器の実現への貢献が見込まれ、社会的・経済的な効果は大いに見込まれ、グリーン・イノベーションへの貢献が見込まれる。

さらに、光学的測定システムの技術は高い汎用性があると考えられ、その波及効果は大きい。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

研究計画の策定ならびに実行、研究体制の構築、研究実施マネジメントはいずれも適切である。火災事故の発生により当初計画の一部変更を余儀なくされたが、その後の研究開発の努力により、優れた成果を上げた。よって、マネジメントは適切に行われたと考えられる。

雑誌論文 14 件 (掲載済み (査読有り) : 7 件、掲載済み (査読無し) : 5 件、未掲載 : 2 件)、会議発表 70 件 (専門家向け : 64 件、一般向け : 6 件) がある。研究で得られた成果、開発された計測装置等特許の対象となるものは多くあるものと考えられるので知財権獲得のための努力を期待する。

研究課題の内容や研究成果は、ホームページによって情報を適切に更新することで国民に対して広く発信すると共に、オープンキャンパスや学園祭において研究室を一般に向けて公開すること、東京工業大学により企画された公開講演会に参画することにより、対話形式での情報発信を行い、また、これらの活動を通して小中高生を含む国民との対話には積極的に取り組んだ。以上、研究成果の公表、国民との科学技術対話は適切に行われた。