

2025年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「 マルチイオンプローブ計測システムの実用化に関する研究 」
[広島工業大学 ・ 教授] [八房 智顯]

1. はじめに

近年、内燃機関の高効率化および CO₂排出量削減の要求はますます高まっている。熱効率向上のためには高圧縮比化やリーン燃焼などの技術が有効であるが、これらの運転条件ではノッキングなどの異常燃焼が発生しやすくなる。そのため、燃焼室内の燃焼状態を高時間分解能かつ空間情報を伴って計測できる技術の重要性が高まっている。

従来、エンジン燃焼の計測にはシリンダ内圧計測や光学可視化計測が広く用いられてきた。しかし、圧力計測では空間情報が限定されるという問題があり、光学計測は高温・高圧環境に対する適用性や装置構成の制約がある。

本研究では、燃焼室内に多数配置したイオンプローブにより火炎伝播を検出するマルチイオンプローブ計測法(Multiple Ion Probes measurement method: MIP)の実用化を目的として研究を実施した。本研究では、計測ハードウェアとデータ解析技術の両面から技術基盤の整備を行った。

2. 概要

マルチイオンプローブ計測法は、燃焼室内壁面上に複数配置したイオンプローブによって火炎の到達を検出し、燃焼の進行状態を空間的に把握する計測手法である。火炎がプローブに接触するとイオン電流が発生し、その信号を取得することで火炎の伝播の様子を知ることができる。

図 1 に、本研究で対象としたマルチイオンプローブ計測システムの概略を示す。燃焼室内に配置された複数のイオンプローブで検出された信号は、信号増幅回路によって増幅され、多チャンネルデータ記録装置により記録される。その後、取得されたデータはコンピュータ上で解析され、火炎の広がりや時間変化を可視化することができる。

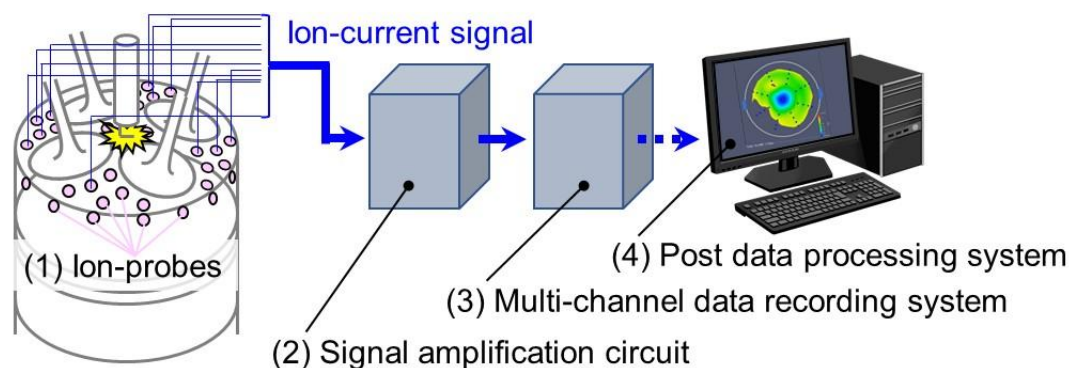


図 1 マルチイオンプローブ計測システムの概略

本研究では図 1 に示す計測システムのうち、(2)信号増幅回路および(4)データ処理システムに関する技術開発を行った。マルチイオンプローブ計測法は、燃焼現象を空間的に把握できる有効な手法であるが、実際に研究や実験の現場で活用するためには、計測装置およびデータ解析の両面で技術的な課題が存在する。そこで本研究では、マルチイオンプローブ計測法の実用化に向けて、以下の二つの課題に取り組んだ。

課題 1: マルチイオンプローブ計測法の実用化に向けたイオン信号アンプ開発

課題 2: 3次元壁面上の火炎信号処理 — イオンプローブのデータ後処理技術

課題 1 では、微弱なイオン電流を安定して取得するための信号アンプの開発を行い、実験装置として利用可能な計測機器の構築を目指した。一方、課題 2 では、多数のイオンプローブから得られるデータを用いて火炎の広がりや再構築するためのデータ処理技術を整備し、誰でも比較的容易に解析を行える環境の構築を目指した。本研究では、これら二つの課題を並行して研究開発することにより、マルチイオンプローブ計測法を実際の研究現場で活用できる計測・解析基盤の整備を行った。

3. 研究成果および今後の課題

本研究では、前章で示した二つの課題について研究開発を行い、計測装置およびデータ解析の両面で成果を得た。

(1) イオン信号アンプの開発 (課題 1)

マルチイオンプローブで検出されるイオン電流は非常に微弱であるため、信号の安定した取得には高感度かつ低ノイズの信号アンプが必要となる。本研究では、イオン信号を安定して取得するための信号アンプの開発を行い、実験用プロトタイプを製作した。図 1 に試作したイオン信号アンプの外観を示す。本装置は複数チャンネルのイオン信号を同時に取得できる構成となっており、実験装置への接続を考慮した構造となっている。

試作装置の評価の過程では、信号に影響を与えるノイズの問題が確認されたが、回路構成の検討および改良を行うことで、安定した信号取得が可能となった。これにより、マルチイオンプローブ計測に必要な信号品質を確保することができた。

今回製作した装置はプロトタイプであるが、実際に装置を製作したことで、実験現場での接続方法や装置配置などの使用感を確認することができた。これにより、今後の装置改良および製品化に向けた具体的な検討を進めるための基礎を得ることができた。



図 1 試作したマルチイオンプローブ用イオン信号アンプ (プロトタイプ)

(2) 3次元壁面上の火炎信号処理技術(課題2)

マルチイオンプローブ計測では、多数のイオンプローブから火炎到達の時刻情報が取得される。従来は、これらのデータを複数のアプリケーションソフトを用いて段階的に処理する必要があり、解析作業は個々の研究者の経験に依存する部分が大きかった。

本研究では、Pythonを用いてデータ処理を一体化した解析環境を構築し、データ読み込みから可視化までを一貫して実行できる解析システムを開発した。これにより、従来は個別に行っていたデータ整理や解析処理を一つの環境で実行できるようになり、データ解析の作業効率を大きく向上させることができた。また、本解析システムでは最終的な出力形式として動画出力を可能としている。図2に示すように、火炎面の時間発展を連続的に表示することで、燃焼現象の変化を直感的に理解できるようになっている。このような解析環境の整備により、専門的な解析手順を個別に構築することなく、比較的容易にデータ処理を行うことが可能となった。

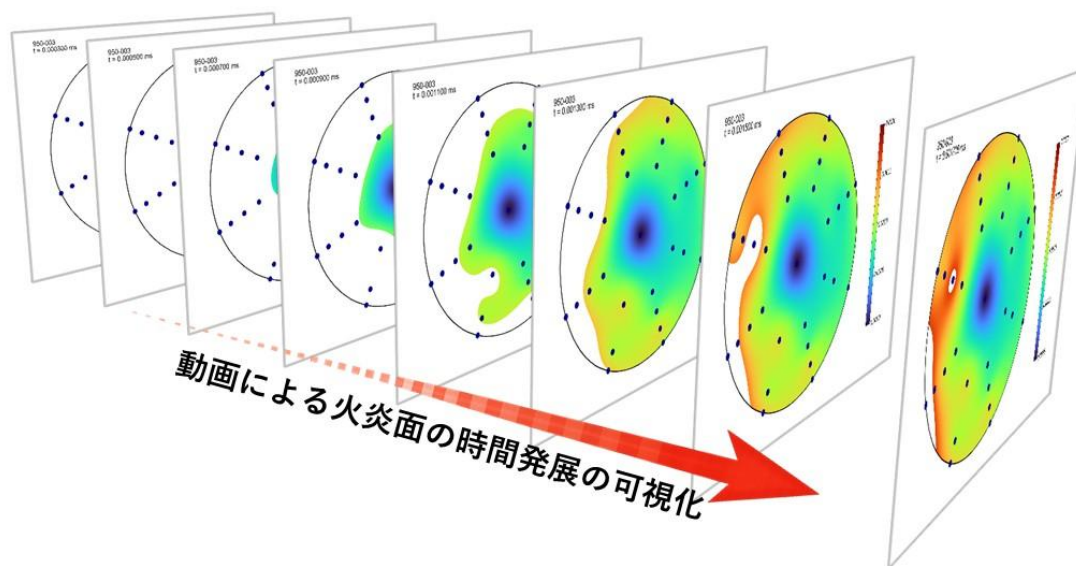


図2 火炎面の時間発展を動画として可視化した例

4. おわりに

本研究では、マルチイオンプローブ計測法の実用化に向けて、イオン信号アンプの開発と火炎信号データ処理技術の構築を並行して進めた。その結果、計測装置およびデータ解析の両面において基礎的な技術基盤を整備することができた。また、本研究で構築した計測・解析環境により、燃焼の空間的な広がりを比較的容易に可視化できるようになり、燃焼現象の理解を助ける新しい計測手法としての有効性を示すことができた。

5. 本研究の今後の計画

本研究により、マルチイオンプローブ計測法の実用化に向けた基礎技術を整備することができた。今後は、本研究で得られた成果を基盤として、計測装置の改良および実験装置への適用を進めるとともに、燃焼現象の理解や燃焼制御への応用に向けた研究を進めていく予定である。具体的には、以下の研究を進める予定である。

- ・イオン信号アンプの改良および実用化設計
- ・実機エンジンへの適用による燃焼解析
- ・燃焼状態モニタリング技術への展開
- ・燃焼変動評価指標の検討

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

現在なし

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

現在準備中

(3) 本研究会の参加企業・団体名

オオアサ電子株式会社



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp/>