

## 1. はじめに

地元出身の史家羽仁五郎は、桐生を「日本のフィレンツェ」と呼んだ。また、桐生は徳川家康の命によって作られた日本で最初の工業団地といわれ<sup>1)</sup>、町の中央を通した用水の両側には水車と織機 2410 台を持つ工場が配置されていたとのことである。東京を中心にした約 80km の半径上には、富岡、高崎、前橋、伊勢崎、桐生、足利、佐野、小山、結城などの絹産業都市が並んで「日本のシルクロード」を形成し、その中心の工業と商業の町が桐生市である。ここに桐生高等染色学校が創立されたのは 1915 年であり、設立 90 年を超える伝統を有する。その後、桐生高等工業、桐生工専を経て 1949 年に群馬大学工学部、2007 年に群馬大学 大学院工学研究科となった<sup>2)</sup>。

現在我々の研究室は、「エネルギーシステム工学分野 第2研究室」と呼ばれる。そのルーツは、1949 年の工学部発足と同時に開設された「熱及熱機関講座（浅沼強教授）」、その後の改組で改称された「熱工学講座（倉林俊雄教授）」にある。伝統的に熱力学・熱機関を中心に研究を行ってきており、通称「熱研（ねつけん）」と呼ばれてきた。1989 年の改組時より、研究分野は時代とともに変化するものとして、研究対象の名称ではなく番号を付して呼ぶこととなり、現在の「エネルギー2 研」となった。2007 年度現在の研究室スタッフは、小保方富夫教授、志賀聖一准教授、荒木幹也助教、中村壽雄非常勤職員である。現在エネルギー4 研の石間経章准教授（元エネルギー2 研 助手）も、プロジェクトに応じて随時協力をいただいている。また、学部学生から大学院博士課程学生まで、30 名を超える学生をかかえる大所帯である。

## 2. 研究紹介

2.1 自動車エンジンのレーザ計測 エネルギー2 研では、小保方教授を中心に、レーザ計測手法開発お

よびエンジン流れ解析を行っている。LDA（レーザドップラ流速計）、PDA（位相ドップラ法）、PIV（粒子画像流速計）、LIF（レーザ誘起蛍光法）などの各種レーザ計測法を用い、エンジン計測を行っている。

図1に、サファイア製透明シリンダを有する、4 ストロークサイクル火花点火可視化エンジンを示す<sup>3)</sup>。エンジンを駆動運転し、筒内ガス流動の LDA 計測を行っている。各クランク角における瞬時流速、平均流速、乱れ強さを求め、さらに周波数分離法を用いて乱れの時間・空間スケールの解析を行っている。いうまでもなく、筒内乱れは燃焼過程に大きな影響を及ぼす。筒内乱れの時間変化・空間分布を詳細に計測することで、乱れが燃焼に及ぼす影響を調査する。この研究は、基準となる実験データベース構築を目的に行われており、数値解析ソフトの計算精度検証にも大いに貢献している。

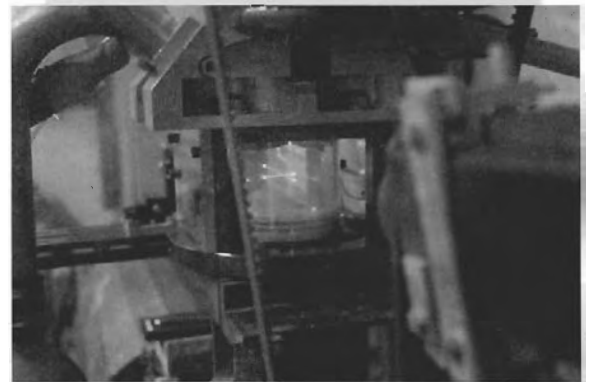


図1 透明シリンダ4 ストロークサイクル可視化エンジン

同じく透明シリンダを有する4 ストロークサイクル火花点火可視化エンジンをを用い、ピストンとシリンダライナ間の潤滑油膜の厚さ・速度同時計測を行っている<sup>4)</sup>。潤滑油に蛍光色素を混入し、エンジンを駆動運転する。YAG レーザによる LIF の蛍光強度から油膜厚さを計測し、同時に PIV 手法を用いて油膜の移動速度を計測する。これまでに、油膜厚さと速度の同時計測の可能性が検証され、今後、発火運転も含めた展開を

\*原稿受付 平成 19 年 11 月 26 日。

\*\* 群馬大学 大学院（桐生市天神町1-5-1）。

予定している。

図2に、マイクロノズルアレイを用いた超音波ガソリン噴射弁を示す<sup>5)</sup>。金属薄膜上に、直径3  $\mu\text{m}$ の超微細ノズルを約10万個配置する。このマイクロノズルアレイから、超音波振動子を用い、約60 kHzの超音波周波数でガソリンを周期的に押し出す。PDAを用い、生成された噴霧の粒径・流速計測を行っている。SMD(ザウター平均粒径)で10  $\mu\text{m}$ 程度の超微細噴霧を、連続的に生成することが可能となった。4ストロークサイクル火花点火エンジンでは、触媒が活性温度に達する以前の冷始動時におけるUHC(未燃炭化水素)排出が大きな問題となっている。従来のポート燃料噴射弁と比較し、噴霧を大幅に微細化することで、UHC排出量を大幅に低減できると期待している。



図2 マイクロノズルアレイを用いた超音波ガソリン噴射弁

**2.2 自動車エンジンの高効率化・排気清浄化** エネルギー2研では、志賀准教授を中心に、自動車エンジンの高効率化・排気清浄化に関する研究を行っている。4ストロークサイクル火花点火エンジン、2ストロークサイクル火花点火エンジンなどを用い、様々な手法によりその性能向上を目指している。

図3に、超過膨張サイクルを用いた4ストロークサイクル火花点火エンジンを示す<sup>6)</sup>。吸気バルブ遅閉じと、高圧縮比ピストンとの組合せにより、超過膨張サイクルを実現する。実質的な圧縮比を10程度に保ったまま、膨張比を30程度まで増大することが可能である。超過膨張効果とポンプ損失低減により、図示熱効率50%程度での運転が可能となっている。超過膨張サイクルの難点は、実質的な行程容積が減少することにより、BMEP(正味平均有効圧力)が低下することにあ

る。現在、過給と超過膨張サイクルとを組合せ、その弱点を克服する可能性を検討している。



図3 超過膨張サイクルガソリンエンジン

掃気ポートからの間欠燃料噴射を用いた、天然ガス2ストロークサイクル火花点火エンジンの性能向上に関する研究を行っている<sup>7)</sup>。2ストロークサイクルエンジンは、比出力が大きくコンパクトであるという本質的な長所を有する。しかしながら、給排気を同時に行う掃気過程において、燃料の一部がそのままシリンダから排出される「吹抜け」が大きな課題となっている。燃料の筒内直接噴射のような大掛かりな装置を用いず吹抜けを低減するため、掃気ポート近傍に設置された低圧燃料噴射弁から、掃気行程中のみ燃料を間欠噴射し、吹抜け低減、熱効率向上を目標とする。ガスマキサーを用いた均質予混合気運転と比較し、UHC排出量をほぼ半減し、BSFC(正味燃料消費率)が25%改善することが確認されている。

**2.3 航空機エンジンの排気清浄化・低騒音化** エネルギー2研では、志賀准教授、荒木助教を中心に、航空機エンジンの排気清浄化・低騒音化に関する研究も行っている。ジェットエンジン燃焼器からのNOx排出量低減法の開発、ジェット騒音低減法の開発を行っている。

図4に、衝突微粒化を用いたジェットエンジン燃料噴射弁を示す<sup>8)</sup>。従来、ジェットエンジン燃料噴射弁では、コンプレッサで圧縮された空気流の運動量を用い、燃料液膜を吹き飛ばして微粒化する「エアブラスト」式が幅広く用いられてきた。エンジン出力を絞ると空気流量が低減するため微粒化程度が悪化し、NOx

やすすの排出量が増大するという大きな問題を抱えている。そこで、細い液体噴流を壁面に衝突させることで微粒化を促進する「衝突微粒化」の概念を組合せ、エンジン運転条件によらず良好な微粒化を可能とする噴射弁の研究を進めている。現在、次世代のLPP（希薄予蒸発予混合）燃焼器への適用可能性について検討を進めている。

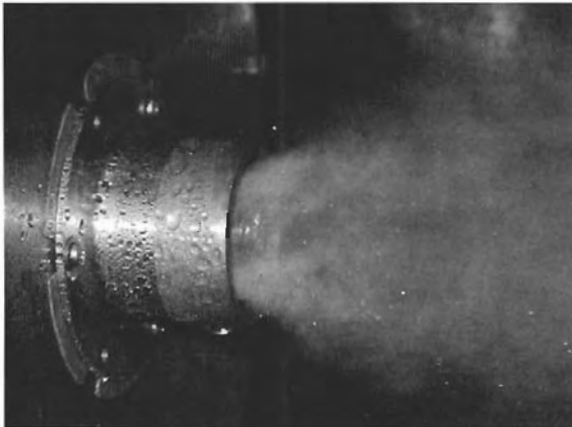


図4 衝突微粒化を用いたジェットエンジン燃料噴射弁

超音速ジェットエンジンの排気騒音低減に関する研究も行っている<sup>9)</sup>。次世代超音速旅客機開発において、ジェット騒音低減技術はキーテクノロジーである。ジェットエンジンノズル壁面からの少量の気体噴射により、ジェット騒音を大幅に低減する技術の開発を行っている。高温・高速のエンジン排気に機械部品がさらされることがないため高い信頼性を有し、また気体噴射圧力、噴射位置を柔軟に変更できる高い制御性を有した装置として期待される。

### 3. おわりに

「エンジン」は、我々人類の繁栄を支えてきた類まれな機械である。動力を生み出す装置として、我々の生活のありとあらゆる場面で目にすることができる。そして、その性能向上が、これからの地球環境を考える上で必須の課題となっている。エネルギー2研では、エンジン吸排気管効果の解析(熱及熱機関講座 初代教授 浅沼強先生)や、ホンダ CVCC エンジンの開発(昭和28年卒業 元本田技術研究所 八木静夫氏)など、世界的な業績をあげた先輩諸氏に続くべく、エンジンをあらゆる角度から検証し、その性能向上を図っていきたいと考えている。

### 参考文献

1) 佐羽秀夫, “徳川家康と桐生新町”, 紫会ニュース

(群馬大学 工学部機械システム学科・同窓会誌), 21 (1998), pp. 6-7.

- 2) 小保方富夫, 可視化情報, 21 巻 82 号, 2001, pp. 35-36.
- 3) 横田浩仁, 石間経章, 武藤亮, 川井田剛, 森山侑祐, 金子誠, 小保方富夫, “駆動運転四サイクル機関内ガス流動の標準データ構築”, 第19回内燃機関シンポジウム講演論文集 (CD-Rom), 2007 年 1 月 9 日, 日本機械学会.
- 4) 馬場泰一, 種市雄吾, 石間経章, 保方富夫, “LIF および PIV による潤滑油膜挙動の解析に関する基礎研究”, 日本機械学会論文集 (B編), 72 巻 716 号, 2006, pp. 1001-1006.
- 5) 荒木幹也, 嶋津有宏, 石間章経, 志賀聖一, 小保方富夫, 増淵匡彦, 杉本知士郎, “マイクロノズルアレイを用いた超音波微粒化”, 日本機械学会論文集 (B編), 2007, 73 巻 726 号, pp. 622-630.
- 6) Yuichi SAKATA, Kosuke YAMANA, Kenji NISHIDA, Takayuki SHIMIZU, Seiichi SHIGA, Mikiya ARAKI, Hisao NAKAMURA and Tomio OBOKATA, “A Study on Optimization of an Over-Expansion Cycle Gasoline Engine with Late-Closing of Intake Valves”, SAE 2007-24-0089, Proc. 8th International Conference on Engines for Automobile (ICE 2007) (CD-Rom), 2007.
- 7) Hiroshi NAKAMURA, Takenori FUKUSHIMA, Hideo KISHIMOTO, Mikiya ARAKI, Seiichi SHIGA, Hisao NAKAMURA and Tomio OBOKATA, “The Effect of Fuel Injection Rate and Engine Speed on the Performance in a 2-Stroke Spark-Ignition Engine Fueled-with Scavenging-Port Injection of a CNG”, Proc. 13th Small Engine Technology Conference (SETC 2007) (CD-Rom), 2007.
- 8) 荒木幹也, 堀越順, 山田秀志, 志賀聖一, 林茂, 中村壽雄, 小保方富夫, “衝突噴流型ジェットエンジン燃料噴射弁の微粒化特性に及ぼす壁面形状の効果”, 日本機械学会論文集 (B編), 2005, 71 巻 710 号, pp. 2568-2574.
- 9) Mikiya ARAKI, Kosuke KUWABARA, Seiichi SHIGA and Tomio OBOKATA, “Effects of Aerodynamic Tabs on Screech Reduction of a Supersonic Jet”, AIAA Journal, 2006, Vol. 44, No. 2, pp. 408-411.

### 著者紹介



荒木 幹也

- ・1973 年生.
- ・群馬大学大学院工学研究科.
- ・東京大学大学院 航空宇宙工学 専攻 博士課程修了.
- ・圧縮性流体力学, 燃焼.