

# 世界初！ 脚光を浴びる徳島大学の画期的な新技術

## 工業応用展開を可能にする最新技術を融合したCT半導体レーザー吸収法を開発

## 独自の画像再構築技術を用いて微粉炭バーナーやエンジンなどへの応用開発に成功

**所要時間・費用ともに短縮、軽減したレーザー計測技術の開発**

エンジンやボイラ等の燃焼機器や半導体製造装置等の科学反応機器の開発では、機械内部の温度やガス濃度の分布の情報を得るために、CFD(数値流体力学)を基に計算機シミュレーションを用いた理論解析が行われています。

しかし、この解析は精度が低いため迅速な開発の妨げとなっており、開発には数十年以上という多大な

時間や、数億円以上という莫大な費用をかけているのが現状です。性能・燃費の向上そして小型化を図る次

世代の高性能機器や制御技術の開発は非常に重要であり、それらの指標を決める上で、レーザー計測技術が不可欠となります。

**従来の技術では困難だった計測を可能にした最新技術を融合してのCT半導体レーザー吸収法**

エンジン筒内のような高温・高圧場

(2000K、5MPa以上)での定量計測は従来の技術では達成が

難しく、また、従来のレーザー計測法でも排ガス計測が中心で、エンジンの計測をするためには、まずエンジンを可視化エンジンとして改造する必要があり。実測では熱電対やガスサンプリング法などが用いられていますが、接触・点計測方式であるため機器内全体の温度・濃度が把握できないことや時間応答性が10Hz程度で低い等の問題点があります。これ

らを解決するために、高精度な空間分布計測技術が求められていました。

そして、そうした課題を解決するため、本研究室では平成12年から平成30年にかけて、光通信の半導体レーザーを用いた燃焼場の温度計測技術と、医療分野で活用されているコンピュータトモグラフィ(CT・Computed Tomography: 画像再構成)技術を融合させ、世界に先駆けて原理検証されたCT半導体レーザー吸収法を開発しました。



大学院先端技術科学教育部  
国際連携教育開発センター 副センター長(兼)教授  
産業院 研究開発事業部門  
産業院兼務教員(併)社産理教授

**出口 祥啓** でぐち よしひろ

### 学歴

1985年3月 豊橋技術科学大学 卒業  
1987年3月 豊橋技術科学大学 エネルギー工学課程修了  
1990年3月 豊橋技術科学大学 大学院工学研究科総合エネルギー工学博士課程修了

### 職歴

1990年4月 三菱重工業株式会社 入社  
1995年4月 三菱重工業株式会社 主任  
1996年4月 航空宇宙技術研究所 客員研究官  
1997年4月 航空宇宙技術研究所 客員研究官  
2004年4月 三菱重工業株式会社 主席研究員  
2004年4月 国立環境研究所 共同研究員  
2010年3月 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 教授  
2012年4月 山形大学 非常勤講師  
2012年9月 National Taiwan University of Science and Technology 客員教授  
2013年4月 山形大学 非常勤講師  
2014年4月 山形大学 非常勤講師  
2014年7月 National Taiwan University of Science and Technology 客員教授  
2015年4月 山形大学 非常勤講師  
2015年7月 National Taiwan University of Science and Technology 客員教授  
2016年4月 山形大学 非常勤講師  
2016年12月 Xi'an Jiaotong University 客員教授  
2017年4月 山形大学 非常勤講師  
2017年4月 徳島大学大学院社会産業理工学研究部 教授  
2017年7月 Sichuan University of Science and Engineering 客員教授  
2018年2月 Xi'an Jiaotong University Chair Professor

この技術は、レーザーが対象ガスを透過する際の光の吸収量を計測し、計測領域における計測対象ガスの物理的状态(濃度・温度等)を示す関数を2次元多項式により設定することで、CTを用いて対象ガスの物理的状态の2次元計測を可能としました。

**高精度な時系列計測を実現し、多様な環境下でガス濃度・温度分布計測が可能**

また、高温・高圧場でのレーザー計測技術とCT解析技術を融合化し、実燃焼機器への適用や2次元温度・濃度の時系列計測も可能です。さらには、1000 Hz以上の時間応答性や従来の手法では計測が困難であった計測場での計測を実現し、高温・高圧場での定量計測も可能であり、機器を改造せずに計測ユニットを導入できるため、機器内の状態を乱すことなく、煤などによる汚れも関係なく計測できます。

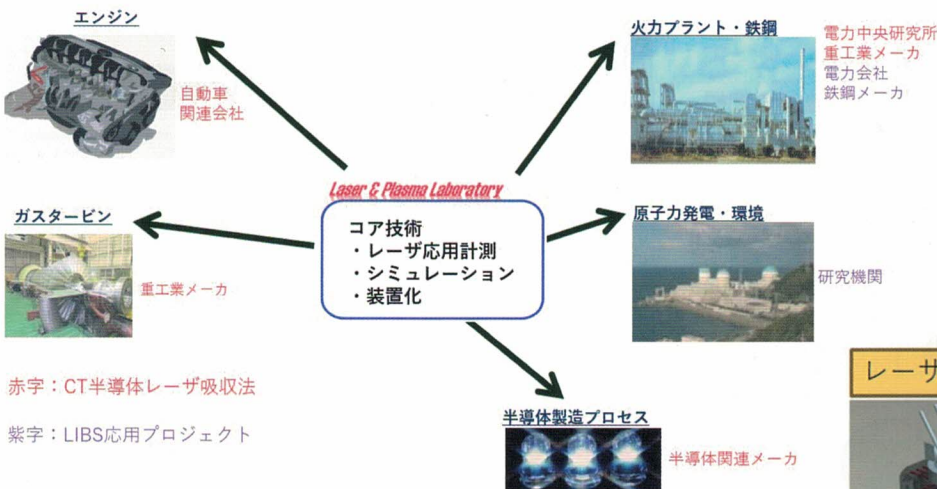
この技術の最大の特長は、2次元・3次元の高精度な時系列計測がリアルタイムで可能であり、これまで計測できなかった多様な環境下でガス濃度・温度分布の計測ができることです。なお、この技術は様々なアプリケーションに活用することが可

**2次元・3次元温度・濃度計測技術の応用展開 概要**

- エンジン、ボイラ等の燃焼機器や半導体製造装置等の化学反応機器の開発現場では、機器内のガス濃度・温度分布の情報を得るため、計算機シミュレーションを用いた理論解析が行われているが、精度が悪く、装置開発におけるボトルネックとなっている。
- 実測には、熱電対やガスサンプリング法が用いられるが、時間応答性が低く(10Hz)、接触・点計測方式であるため、機器内全体の温度・濃度が把握できないことから、高精度な空間分布計測技術が求められている。
- 解決策として、徳島大学において、世界に先駆け原理検証されたCT (Computed Tomography: 画像再構成)

半導体レーザー吸収法を用い、機器の大きな改造や機器内の状態を乱すことなく、2次元、3次元で高精度かつ時系列・リアルタイム計測を可能とし、これまで計測できなかった多様な環境下でガス濃度・温度分布を計測できるキー技術を開発した。

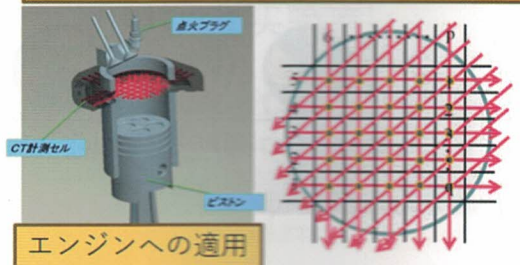
- また、レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)という非接触かつ高感度リアルタイム計測技術があり、多種多様なアプリケーションに適用可能であることが証明されているため、本技術向上に向けて、適用方法の検証や基礎・応用研究にも取り組んでいる。



赤字: CT半導体レーザー吸収法

紫字: LIBS応用プロジェクト

**レーザトモグラフィ (工業版CT装置)**



能であり、発電プラント・エンジン・鉄鋼プロセス・半導体プロセスなどの高度制御や開発の効率化、歩留まり向上などが期待できると考えており、こうしたことから、次のような社会的効果が望めると考えています。

- ・世界初のエンジン筒内の2次元温度濃度分布測定が可能になることで、実測値データによる迅速かつ精度の高い設計を実現。
- ・開発ができ、開発コストの削減につながる。

・燃焼場における実験と理論数値シミュレーション評価が可能となり、燃焼器設計の最適化ならびに見の燃焼の数値シミュレーションへの反映が可能となる。

- ・新製品開発期間の数年内の短縮や次世代制御に貢献することから、省エネルギー化などの環境負荷低減にも大いに貢献でき、SDGsの課題解決にも適合する。

**大学発ベンチャーを設立  
海外からも注目を集める**

研究室ではこの技術をさらに向上させるため、2014年に自動車、重工業、レーザ計測機器メーカーなど14機関とCT半導体レーザ吸収法に関するコンソーシアムを結成

**2次元・3次元温度・濃度計測技術の応用展開 開発技術**

- 対象ガスを透過するレーザ光の吸収量を用いて、計測領域における計測対象ガスの温度・濃度等を把握し、CTを用いて対象ガスの温度・濃度分布を2次元または3次元で計測を可能とする技術。温度や圧力などの環境の変動により光強度が変化した場合でも評価できる手法であるためエンジン筒内やガスタービン、微粉炭燃焼場の燃焼状態も2次元時系列で計測可能であり、温度・濃度の2次元時系列計測への応用展開も可能である。
- 複数のレーザパスの光吸収量から温度・濃度分布を画像再構成し、kHzレベルの応答性を有しつつ、2次元温

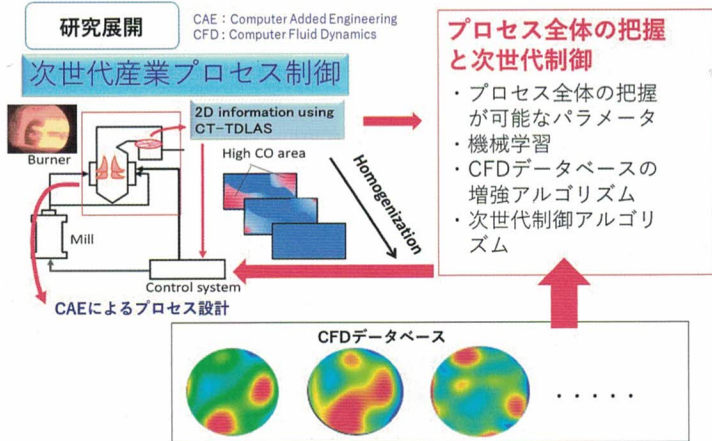
度・濃度分布を画像として計測可能。

**優位性**

- リアルタイムに2次元・3次元の時系列で温度・濃度計測が可能。
- レーザ誘起蛍光法などの技術を用いた装置と比較して小型であり、定量計測も可能。

**課題**

- 次世代産業プロセス制御に向けてシミュレーション値と実測値のずれをAIに学ばせるための開発フィールドの獲得。
- ソフトウェアのアルゴリズム開発。



**従来技術と開発技術の比較**

	従来技術	開発技術
装置構成	<p>燃焼器内部の1点を計測</p>	<p>燃焼器内部の3次元断面分布をリアルタイムに計測</p>
応答性	数十秒	1s以下 (ms可能)
ガス種	計測ガス種ごとに計測装置を用意	同一原理にて温度・複数成分濃度を同時計測可能
計測点	1点 (サンプリング位置を変化させて分布を形成)	数百点以上 (同時計測)

し、企業と連携して技術向上に向けて取り組んでいます。これまでに、2019年6月時点で合計11回の全体討議を開催しており、連携企業と課題を共有しながら研究を進めています。

また、徳島大学発ベンチャー企業として2018年2月に「株式会社 Smart Laser & Plasma Systems (S L & P S)」(代表取締役社長は出口教授)を設立しました。S L & P S は、大学の研究成果を社会に還元し、地域の雇用増大や地域社会貢献することを目的としていて、先端レーザー・プラズマ技術を用いた計測関連機器の設計、製造、販売などを行っています。

2018年度は設立から間もないにもかかわらず、中国やマレーシアなどの海外の取引先から注文を受け、製品を販売しました。現在は海外の取引先に加え、国内の取引先からも製品についての問い合わせや注文を受けています。

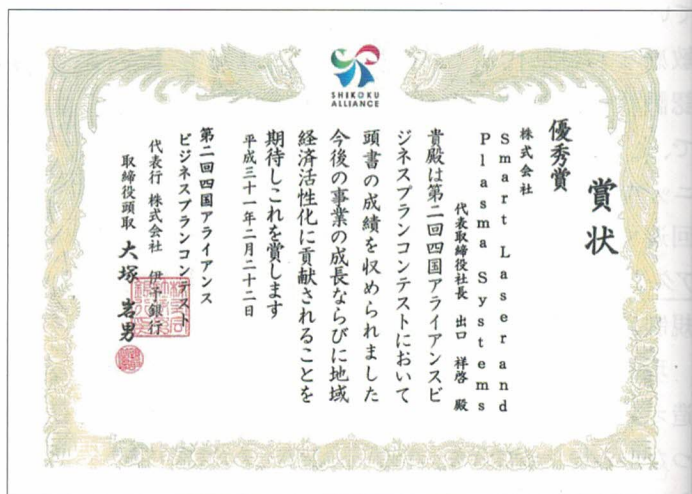
これらの活動が認められ、徳島ビジネスチャレンジメッセ2018では「ニュービジネス支援賞」大賞を受賞し、2019年には第26回源内大賞を受賞しました。

その他、2017年11月に中国の西安交通大学と国際共同研究室

「Laboratory on Advanced Laser Measurement Technology for Industrial Applications」を設立し、2018年3月には徳島大学主催・西安交通大学共催で国際会議を開催するなど、国際共同技術研究開発、海外ニーズへの対応を推進しています。

### 産業プロセスへの応用を展開中

2次元温度、濃度計測可能なCT利用半導体レーザー吸収法や、リアルタイム組成計測ができるレーザー誘起ブレイクダウン法などの実用化を推進しています。これらの技術を基礎とし、産業プロセスなどへ応用展開を図っています。



### 研究体制

- 共同研究と受託研究を併せ、現在20社以上と契約を結び、本研究を進めている。
- OCT半導体レーザー吸収法に関しては、2014年に自動車、重工業、レーザ、計測機器メーカーなど、14機関を含むコンソーシアム(徳島大学が主導機関)を結成しており、本コンソーシアムを通して、本技術開発・提供を行っている。※現在16機関
- 中国の西安交通大学と本技術に関する提携契約を結んでおり、共同研究室にて研究を進めている。

