

## 電気電子工学科

## キーワード

レーザーカオス、テラヘルツ波、非線形物理



准教授 / 博士 (工学)

桑島 史欣

Fumiyoji Kuwashima

## 学歴

上智大学 大学院 理工学研究科 博士前期課程 物理専攻 修了  
 福井大学 大学院 工学研究科 博士後期課程 システム設計工学 修了

## 経歴

鹿児島工業高等専門学校 助教授/准教授  
 レーザー学会技術専門委員会「レーザーのカオス・ノイズダイナミックスとその応用」主査

## 相談・講演・共同研究に応じられるテーマ

レーザーカオスを用いたTHz発生、THz分光、カオス応用

## メールアドレス

kuwashima@fukui.ut.ac.jp

## 主な研究と特徴

## 「単一モード Class A レーザーにおけるカオティック発振」

单一モードレーザーでカオスを発生させる場合は、それが3変数以上の系であること及びbad cavity condition ( $\kappa \geq r_{\perp} + r_{//}$ ,  $Q$  の低い共振器の条件) を満たすことが鍵となる。ここで、 $\kappa$  は共振器中の光損失定数、 $r_{\perp}$  は横緩和定数、 $r_{//}$  は縦緩和定数である。レーザーを bad cavity condition からの距離によって分類すると class C ~ class A に分類できる。bad cavity condition から遠い距離にある(class A) 単一モードレーザーでは、反転分布(D)と電気分極(P)の2つの変数は  $r_{\perp}, r_{//} \gg \kappa$  なので電場(E)に従属し、電場の1変数が主としてレーザー発振状態を決めている。

これまで、class A レーザー(He-Ne 6328 Å)での研究は稀であり、Chetverikov (1985)による4モードレーザーでの研究と、Danileiko et. al.(1986)によるリングレーザーによる研究がなされているのみである。これらの研究では、カオスを時系列及びスペクトルのみで判定している。また、これらのレーザーは、1変数系のレーザーでss Aではない。本研究では、1変数系の単一モード class A レーザー(He-Ne 6328 Å)において外部鏡による遅延帰還のみで、カオス光が発生する事をアプロフ指數を用い見いたしました。

## 「レーザーカオスを用いた THz 波の発生」

これまで THz 帯は適当な検出器及び光源が少なかったが、近年フェムト秒レーザーの発達に伴い、THz 波の発生が容易になり、テラヘルツイメージングの光源として応用が期待されているが、フェムト秒レーザーは、数百万円以上と高価であり、装置全体の価格を引き上げてしまう。一方、共同研究者の萩行研究室(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)で、安価な市販の多モードレーザー(半導体レーザーで数万円程度)を用いる方法が開発されたが、THz 波は強度が弱く、安定性に欠け、周波数は約 0.5 THz 以下に限られている。この課題克服のため、スペクトルの広いカオスレーザーを用いる方法を提案した。カオスレーザーは、相関のある系であり、エルゴード性と混合性を有しているため、時間的な平均に達する時間が早く、時間平均は安定であることが特徴である。現在使用しているレーザーは、CD-R 用に用いられているものであり、数 100 円程度の市販品である。これに戻り光による光学的遅延帰還を加えることで、レーザーカオス光を発生している。

これまで、THz 領域では金属は完全導体として働くので、超集束が起きないと考えられてきたが、金属 V 構を作成し、用いることで、検出感度を 1.6 倍上昇した。また、レーザーカオス光とすることで、CW レーザーに比べ振幅で 10 倍程度の信号振幅が得られた。

## 今後の展望

通信速度の上限は、搬送波の 1/10 以下なので、THz 波は、今後の高速通信実現のために必要不可欠の技術である。UCLA との共同研究では強力な局部発振機(周波数倍増器)を用いることで THz 波発生のための光ビートとの差周波を光電動アンテナ内で発生し、RF 領域で観測し、カオス光におけるモードの同時性を証明している。また、この装置は、THz 波の受信機(検出器)としても用いられる。安価な THz 波源、高感度な検出器を構築したうえで、それを用いた高速通信への応用も行ってゆける。また、この手法では RF スペアナで分光するため 1 MHz オーダーの高精度 THz 分光が可能となる。高精度分光器への応用も行える。

高感度で低価格なプラズモン光伝導アンテナそのものも徳島大学、福井大学、UCLA と共同で開発してゆく。THz 波のキーデバイスでありながら、現在は、高価かつ入手が困難であるためである。

このように、安価、高安定、広帯域な THz の発生、検出技術を、物理現象であるカオスの性質そのものを利用することで、世界に先駆けて開発する。

## 所属学会

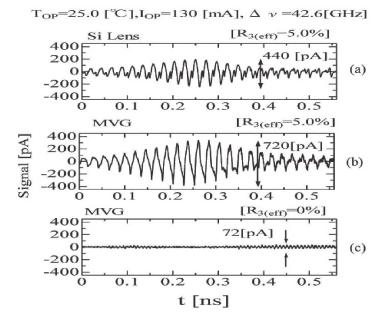
レーザー学会会員 (2008年～現在まで) (2017年より上級会員)  
 応用物理学会会員 (2008年～現在まで)  
 物理学会会員 (1990年～現在まで)  
 応用数理学会 正会員 (2013年～現在まで) (2011年～応用カオス部門幹事)  
 SPIE 永年会員 (2019年～)

## 主要論文・著書

- F. Kuwashima, I. Kitazima and H.Iwasawa : "Theory of chaotic Dynamics on class A laser with optical delayed feedback", Jpn.J.Appl.Phys. Vol.40, No.2A, pp.601-608 (2001)
- Kei Inoue and Fumiyoji Kuwashima : "Evolution of Time Series Obtained from an Experiment of a Laser Chaos by Chaos Degree", INFORMATION, Vol.20, No.10(A), 2017, pp.7093-7100.
- Fumiyoji Kuwashima, Mona Jarrahi, Semih Cakmakyan, Osamu Morikawa, Takuya Shirao, Kazuyuki Iwao, Kazuyoshi Kurihara, Hideaki Kitahara, Takashi Furuya, Kenji Wada, Makoto Nakajima, and Masahiko Tani "Evaluation of high-stability optical beats in laser chaos by plasmonic photomixing", Opt. Express, 28(17) 24833-24844

表1. 媒質定数の大小によるレーザーの分類

单一モード		
good cavity condition		bad cavity condition
class A	class B	class C
$\kappa < r_{//} < r_{\perp}$	$r_{//} \leq \kappa < r_{\perp}$	$\kappa \geq r_{\perp}, r_{//}$
He-Ne(6328 Å) Ar*(4880 Å), Dye	Rb, YAG, Nd <sup>3+</sup> , Glass, CO <sub>2</sub> , 半導体	He-Ne(339 μm) He-Xe(351 μm) FIR ガスレーザー
高次安定性	外力に敏感、緩和発振	高次不安定性
N=1: E	N=2: E,D	N=3: E,D,P
P.D を断熱消去	P を断熱消去	断熱消去出来ない

図1. 発生したTHz波の時間波形 (a)Si lens,  $R_{3(\text{eff})}=5\%$ , (b)MVG,  $R_{3(\text{eff})}=5\%$ , and (c) MVG,  $R_{3(\text{eff})}=0\%$ .