

多入力における半導体レーザーのカオス同期特性 Chaos synchronization properties on multi-input semiconductor lasers

木更津高専¹○小原 翔馬¹National Institute of Technology, Kisarazu College¹○S. Ohara¹

E-mail: ohara@e.kisarazu.ac.jp

はじめに: 結合された振動子間の非線形ダイナミクスや同期現象は自然科学分野の広い領域において非常に注目されており、多岐に渡る研究が行われている。中でも近年、結合された半導体レーザーのカオス同期において、現象の物理的理解などの学術的基礎研究[1]のみならず、半導体レーザーカオスの特徴である複雑かつ高速な同一の振動を示す特性を活用して、ニューロン等の脳を模倣した新たな動的情報処理への応用や、強化学習の分野におけるバンディット問題を解く際のハードウェアでの物理実装方法として期待されている[2]。また近年、電子市場取引が広く普及しており、日々膨大な取引が行われている[3]。より一般的なオークションとして、入札者もしくは出品者の一方が価格を提示するシングルオークションがあり、入札方法として公開入札方式と封印入札方式がある。公開入札方式においては、入札者が提示価格を宣言していくことで落札価格が釣りあがりやすいことや不正が発生しづらい一方で、各入札者の提示価格が公開されてしまうことでプライバシーが漏洩してしまう欠点もある。一方で、封印入札方式では、落札者や落札価格は競売人しか分からないため、入札者間のプライバシーは秘匿されるが、故に競売人側の不正や虚偽が生じる危険性がある。

そこで本研究では、複数の半導体レーザーを入力源としたカオス同期を数値計算により調査する。特に、入力レーザーを入札者、結合強度を提示価格とみなし、結合強度変化に対する同期状態の変化を調査する。

方法: 本研究では、戻り光を有する半導体レーザーのレート方程式である Lang-Kobayashi 方程式を用いて数値計算を行った。本研究のモデル図を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示すように、本研究においては3つの半導体レーザー(レーザー 1, 2, R と呼ぶ)をレーザー M(Mixing laser)へ一方向に注入する。その後、3つのレーザー光が注入されたレーザー M の光は、レーザー A(Auctioneer laser)へ一方向に注入される。本システムを用いてオークションを行うにあたり、レーザー 1, 2 が入札者、レーザー R が出品者、レーザー M が競売場、そしてレーザー A が競売人の役割を果たす。また、シングルオークションにおいて入札者は商品を落札す

るために価格を提示するが、本方式では入札者は提示価格の分だけ結合強度を増加(入札)可能とすることが大きな特徴である。すると、最も結合強度が高いレーザーが、レーザー A との最大同期レーザーとなり、落札という方式である。また、レーザー R の結合強度は最低落札価格(Reserve price)であり、レーザー R が最大同期レーザーの場合、落札者はいないということになる。本方式のメリットは、各入札者間は独立しており、ダイナミクスの干渉もないため、他者の提示価格が分からず、プライバシーが秘匿される点である。本研究では入札者のレーザーの結合強度を変化させた場合の同期を調査する。

結果: レーザー 1 の結合強度 κ_1 を変化させたときの各レーザーとレーザー A 間の同期調査結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2(a) は $\kappa_1 = 31.1 \text{ ns}^{-1}$ のときの相互相関値の時間変化である。各レーザーとレーザー A では相関値が時間変化しており、かつ、最も結合強度の高いレーザー 1 が相関値が最大になる時間の割合が高いことが分かる。次に κ_1 を変化させたときの相互相関値の推移を Fig. 2(b)に示す。レーザー 1 の結合強度を増加させていくと、レーザー A との最大同期レーザーが変化していくことが分かる。このように、結合強度と相互相関値の大小関係が対応していることが観測できた。

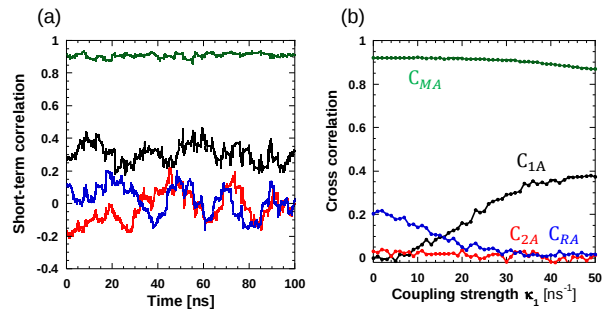


Fig. 2 (a) Short-term cross-correlations ($\kappa_1 = 31.1 \text{ ns}^{-1}$) and (b) cross-correlation values when κ_1 is changed. ($\kappa_2 = 7.78 \text{ ns}^{-1}$, $\kappa_R = 15.5 \text{ ns}^{-1}$)

まとめ: 本研究では、3つの半導体レーザーを注入光としたレーザーをさらに一方向に結合したシステムにおけるカオス同期を数値計算により調査した。1つのレーザーの結合強度を変化させた結果、3つの注入レーザーの結合強度の大小関係と、競売人レーザーとの相互相関値の大小関係が対応したことを観測した。これにより、本手法は半導体レーザーの同期現象を用いたオークション方式として有用であると期待される。

参考文献

- [1] J. Tiana-Alsina, et al., Chaos, **21**, 043102 (2011).
- [2] T. Mihana, et al., Opt. Express, **28**, 401112 (2020).
- [3] B. A. Huberman, et al., J. Econ. Perspect, **9**, 141 (1995).

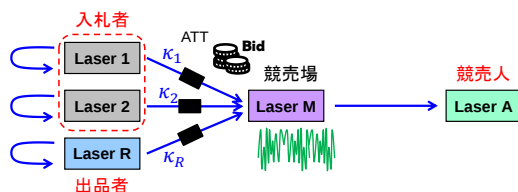


Fig. 1 Schematics of multi-input lasers system