

一方向結合半導体レーザリングのカオス同期特性

Chaos Synchronization in Unidirectionally Coupled Semiconductor Laser Rings

静大工 ○小澤 諒, 生源寺 類, 大坪 順次
Shizuoka Univ. ○Ryo Ozawa, Rui Shogenji, Junji Ohtsubo
E-mail : tajohts@ipc.shizuoka.ac.jp

1. はじめに

複雑系におけるクラスター同期として、ニューロンからなるネットワーク間の同期現象が注目されている。モデルは異なるが、複数半導体レーザを用いたレーザ間の結合においても同様なクラスター同期が起こることが知られている。

本研究では、リング状に一方向結合した3つの半導体レーザを使い、レート方程式を用いた数値計算によりカオス同期のダイナミクス特性について調べた。特性を調べるに当たって、実際の半導体レーザで発生する自然放出光の影響についても考慮した。

2. モデルとレート方程式

リング状に一方向結合した3つの半導体レーザのモデルをFig. 1に示す。

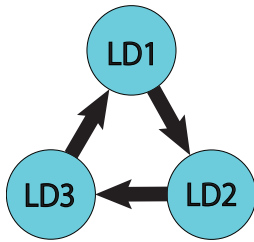


Fig. 1 System Configuration

LD1、LD2、LD3は半導体レーザを表し、光注入によりLD1→LD2→LD3→LD1へと一方向に結合している。

数値計算で用いたレート方程式を以下に示す。

$$\frac{dE_k(t)}{dt} = \frac{1}{2}(1 - i\alpha)G_k\{n_k(t) - n_{th}\}E_k(t) + \frac{\kappa_{inj,l}}{\tau_{in}}E_l(t - \tau_{inj,l}) \quad (1)$$

$$\frac{dn_k(t)}{dt} = \frac{J}{ed} - \frac{n_k(t)}{\tau_s} - G_k\{n_k(t) - n_0\}|E(t)|^2 \quad (2)$$

$$\kappa_{inj,l} = \frac{r_{inj}}{r_0} \sqrt{\frac{1 - r_0^2}{\eta}} \quad (3)$$

下付き文字 k ($=1,2,3$)、 l ($=3,1,2$)はLD1、LD2、LD3をそれぞれ表す。式(1)の第2項は光注入を表し、 $\tau_{inj,l}$ はレーザ間の注入光伝播時間($=3\text{ns}$)、 κ_{inj} は光注入率を表す。計算ではレーザのデバイスパラメータは全て等しくした。

3. 数値計算結果

カオス同期の精度を評価するために用いた相互相関関数を式(4)に示す。

$$C(\tau) = \frac{\langle I_l(t) \cdot I_k(t - \tau) \rangle}{\sqrt{\langle I_l^2(t) \rangle \langle I_k^2(t) \rangle}} \quad (4)$$

$\langle \rangle$ は時間平均を、 I_l 、 I_k は出力光強度を表す。 C が1なら同位相、-1なら逆位相で相関がとれ同期しており、 C が0ならば相関はなく非同期となっていることを表す。

Fig. 2に、レーザ間の離調は零として注入率を30%とし、(a)自然放出光ノイズを考慮しない場合と(b)ノイズを考慮した場合についてLD1とLD2の出力強度の相関関数を示す。Fig. 2(a)より、ノイズが無い場合はゼロ遅延で同期していることが分かる。サブピークは注入光伝播時間に相当する3nsごとに現れている。Fig. 2(b)より、ノイズによって対称性が崩れた場合、LD1に対してLD2が3ns遅れて同期していることが分かる。また、サブピークはリング1周分の伝播時間に相当する9nsごとに現れている。同様の結果が、LD2とLD3、LD3とLD1の間でも確認できた。

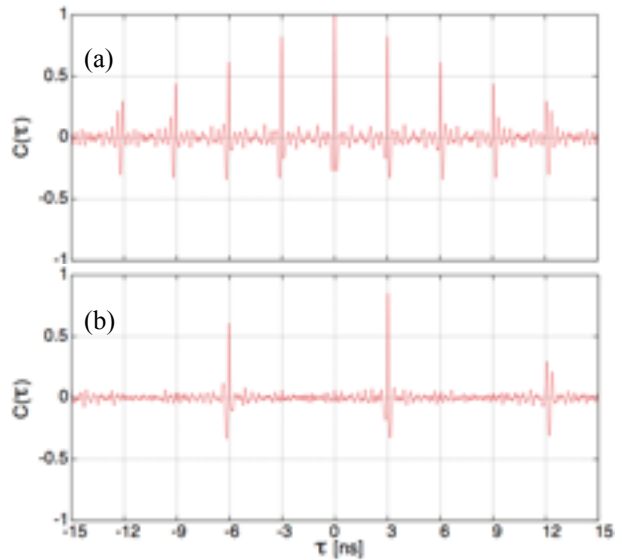


Fig. 2 Correlation Function

4. まとめ

本研究では、リング状に一方向結合させた3つの半導体レーザのカオス同期特性についてレート方程式を用いた数値計算で調査した。レーザ間の周波数離調を考慮した場合や、光注入伝播時間が異なる場合には、より複雑なダイナミクスが予想される。