ホタルの集団同期発光を模擬した引込み現象の実現 (多数の電子ホタルを用いた引込み実験)

Realization of Frequency Entrainment Simulating Synchronous Flashing of Fireflies (Experiment on Frequency Entrainment Using a lot of Electronic Fireflies)

学○ 鯉江 一也 (滋賀県立大院)
正 松村 雄一 (山梨大)

正 栗田 裕 (滋賀県立大)
学 松田 成勝 (滋賀県立大)

Kazuya NAMAZUE, The University of Shiga Prefecture, 2500 Hassaka-cho, Hikone-shi, Shiga, 522-8533 Japan

Yutaka KURITA, The University of Shiga Prefecture

Yuichi MATSUMURA, University of Yamanashi, 4-3-11 Takeda, Kofu-shi, Yamanashi, 400-8511 Japan

Shigekatsu MATSUDA, The University of Shiga Prefecture

1 緒 言

本報では、ホタルの集団同期発光に見られるような、生体系における引込み現象を解明する。

2 ホタルを模擬した自励振動子

ホタルの集団同期発光を模擬するため、図1に示す自励振動子を提案した。この自励振動子はフィードバックループ内に増幅要素と飽和要素、位相遅れ要素をもつ。位相遅れ要素と増幅要素で自励発振させ、飽和要素で振幅を有限の値に抑えて、定常振動とする。この自励振動子に周期的な外力を印加し、強制引込みを発生させ、同期範囲と位相差をシミュレーションから求めた (図2 実線)。

飽和要素の入出力間で位相差はないので、飽和要素は入力的大小に応じてゲインが変化する可変ゲインとして働いている。定常振動のときは定常状態であるため、飽和要素の可変ゲインの値 K' は一定と見なすことができる。このとき、自励振動子の入出力間の伝達特性は次式となる。

$$\frac{X(s)}{X'(s)} = G_{x' \rightarrow x}(s) = \frac{KK'}{1 + KK' \frac{1}{(1+Ts)^4}} \quad \text{..... (1)}$$

引込み特性である同期範囲と位相差を推定するため、強制力の影響がない場合の自励振動子の振幅 X で無次元化した強制力の振幅 X'/X を求める。

$$\frac{X'}{X} = \left| \frac{X'(s)}{X(s)} \right| = \frac{1}{|G_{x' \rightarrow x}(s)|} \quad \text{..... (2)}$$

この段階では、 K' の値は未知である。そこで、自励振動子の周波数伝達関数から入出力間の位相差 ϕ を求める。

$$\tan \phi = \frac{\text{Im}[G_{x' \rightarrow x}(j\omega)]}{\text{Re}[G_{x' \rightarrow x}(j\omega)]} \quad \text{..... (3)}$$

Fig.1 Self-excited oscillator

式 (3) を K' について解くと、 K' の値を決定できる。本手法から求めた同期範囲と位相差を、図2中に破線で示す。

3 引込み実験

図1に示す自励振動子を基本に、電子回路により自励発振する「電子ホタル」を製作した (図3)。この電子ホタルを用いて、ホタルの集団同期発光を再現した (図4)。

4 結 論

ホタルの集団同期発光のような生体系における引込み現象の発生メカニズムを明らかにした。

Fig.2 Synchronization area

Fig.3 Electronic firefly

(a) Plane arrangement (b) Synchronization
Fig.4 Simulating synchronous flashing of fireflies