

Allelopathy Particle Swarm Optimization の提案と その RC 版耐衝撃設計問題への適用例

(有)ミツワ電器 正会員 〇江本 久雄 山口大学大学院 正会員 中村 秀明
電気化学工業(株) 正会員 高橋 順 山口大学大学院 フェロー会員 宮本 文穂

1. 目的

構造物の最適設計問題は「最も望ましい設計(解)」を求めることであり、解析手法と最適化手法を組合せた解法などが従来から研究されている。例えば、FEM 解析と遺伝的アルゴリズムを組合せた方法があげられる。このような手法は、パラメトリックに設計値を変更し繰り返し計算により解を求めるため、最適化手法を用いたとしても解析の計算量が膨大となる。そのため、より効率的に解を探索できる最適化手法の研究が重要である。

本研究では、最適化手法の「計算量の低減」を目指し、連続値を取り扱える Particle Swarm Optimization (PSO)¹⁾ に Allelopath²⁾ という自然界の現象を模倣的に応用した手法を提案する。また、最適設計問題として RC 版耐衝撃設計問題に適用しその有効性を検討した。

2. Allelopathy Particle Swarm Optimization の提案

植物の他感作用(Allelopathy)をモデル化し、これを PSO のアルゴリズムに取り込んだ最適化手法について検討した。この手法を Allelopathy Particle Swarm Optimization (Allelopathy PSO) と呼ぶことにする。

PSO は、社会性を持つ生物の群れの行動をモデル化したアルゴリズム¹⁾である。PSO は、複数の粒子が属する群れを生成し、群れ内で情報を共有しながら解空間を動き回り、最適解の探索を行なう。

一方、Allelopathy²⁾の語源は、ギリシャ語の allelon(互いに)と pathos(一方が他方に障害を与える)の合成語といわれている。Allelopathy²⁾は Molisch という学者が 1937 年に提唱した原理で、ある一種の植物(微生物を含む)が生産する化学物質が環境に放出されることによって他植物に直接または間接的に与える作用を指す。このとき植物間では化学物質を利用して情報交換をしている。

これらを組合せた Allelopathy PSO は植物の他感作用(Allelopathy)をモデル化した最適化アルゴリズムである。また、Allelopathy PSO は、基本的な粒子群の生成方法は PSO と同様であるが、①粒子数が解探索中に変化することと、②粒子速度の計算法に改良を施している点が PSO と異なる。その処理手順を図 1 に示す。

Allelopathy PSO の粒子速度は式(1)により得られる。

$$v_i^{k+1} = \sum_{j=1}^{n_k} r_j (x_j^k - x_i^k)(Indiv_{x_j^k} - Indiv_{x_i^k}) + r_{n_{k+1}} (gBest - x_i^k)(Indiv_{gBest} - Indiv_{x_i^k}) \quad (1)$$

ここで、 n_k は k 世代目における粒子数、 $Indiv_{x_j^k}$ は x_j^k における適応度、 $r_1 \dots r_{k+1}$ は $[0,1]$ の一様乱数である。また、Allelopathy PSO の粒子数や最大粒子速度は、粒子の収束程度によって増減する。この粒子数や最大粒子速度の計算には、式(2)、式(3)を用いる。

$$n_{k+1} = f(p)n_0 \quad (2)$$

$$v_{max}^{k+1} = f(p)v_{max}^0 \quad (3)$$

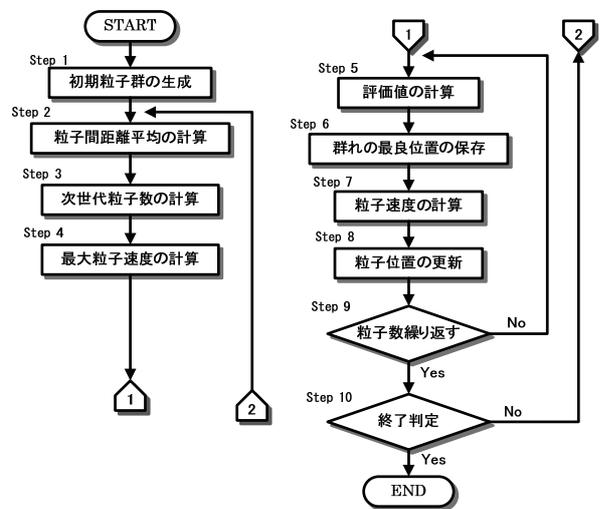


図 1 Allelopathy PSO の処理手順

キーワード 最適化手法, Allelopathy, Particle Swarm Optimization, 設計問題

連絡先 ミツワ電器 〒755-0002 山口県宇部市亀浦 2 丁目 4-1 TEL : 0836-32-1105

ここで、 $f(p)$ は次世代粒子数と最大粒子速度の変化傾向を表す関数であり、任意に設定できる。また、 n_0 は初期粒子数、 v_{\max}^0 は初期粒子最大速度である。

3. Allelopathy Particle Swarm Optimization の特徴

ここでは、Allelopathy PSO の特徴を把握するために PSO との性能比較実験を式(4)のテスト関数(Rastrigin-1.0)を用いて行った。また、この関数は図 2 に示すような形状である。1000 回の最適化探索を繰り返し、計算量に対する探索成功率を比較した。

$$f(x, y) = 20 + (x - 1)^2 - 10 \cos \{2\pi(x - 1)\} + (y - 1)^2 - 10 \cos \{2\pi(y - 1)\} \tag{4}$$

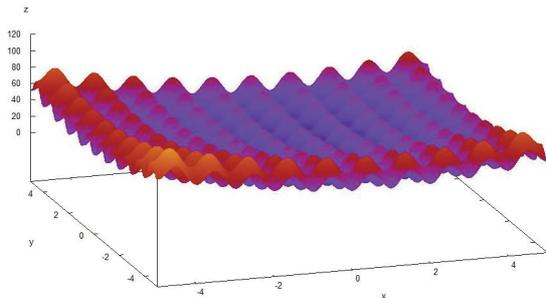


図 2 テスト関数 (Rastrigin-1.0 関数) の形状

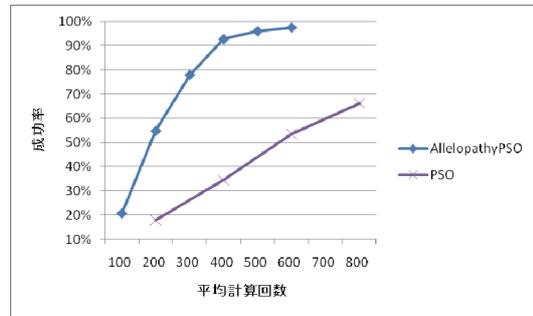


図 3 平均計算回数に対する探索成功率

本テスト関数では、図 3 から PSO に比べ Allelopathy PSO が解探索の成功率と平均計算回数ともに優れていることが分かる。つまり、Allelopathy PSO は、少ない計算量で最適解の探索が可能となる。

4. RC 版耐衝撃設計問題への適用例

Allelopathy PSO を図 4 に示す RC 版の耐衝撃設計問題³⁾に適用し、衝撃設計の計算と組み合わせることで行う最適設計の例を示す。設計変数・目的関数を以下とする。

- ・設計変数：版厚 = 10~13cm
- ・目的関数：破壊時衝撃荷重 = 最大化

このときの最適解は、表 1 の通りで、版厚 12.35cm となった。

表 1 RC 版耐衝撃設計問題の最適解

設計案	版厚 (cm)	コンクリートの種類	版上部		版下部		破壊時衝撃荷重 (N)
			形状	主筋本数	形状	主筋本数	
1	12.35	高強度コンクリート	D19	16	D13	12	1375000

また、本適用例で Allelopathy PSO と PSO を比較した結果、平均計算回数と探索成功率はほぼ同等で、図 5 のように初期粒子数が多い場合に Allelopathy PSO が優れていることがわかった。

5. まとめ

本研究では、Allelopathy の原理を取り込んだ PSO を提案した。この手法は、PSO よりも計算量の低減を目指したもので、計算量が設計時間に影響する設計問題などへの活用が期待できる。

なお、本検討にあたりご尽力頂いた山口大学工学部（学生）の瀧口春菜氏に感謝致します。

参考文献

- 1) J. Kennedy, R. Eberhart: Particle Swarm Optimization, Proc. of IEEE the International Conference on Neural Networks, Vol.IV, pp.1942-1948. 1995.
- 2) Elroy L. Rice : アレロパシー, 学会出版センター, 1991.
- 3) 江本久雄, 別府万寿博, 中村秀明, 宮本文穂 : 複数の準最適解を探索可能な DPSO の提案と衝撃荷重を受ける RC 版の最適設計, 土木学会論文集 F, Vol. 62, No. 3, pp.419-432, 2006.

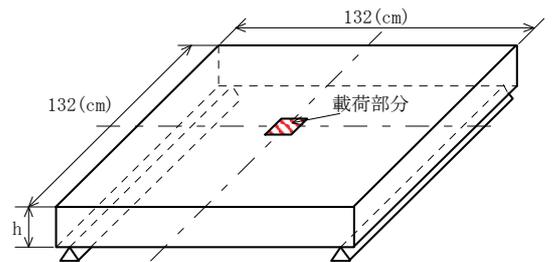


図 4 RC 版の概略

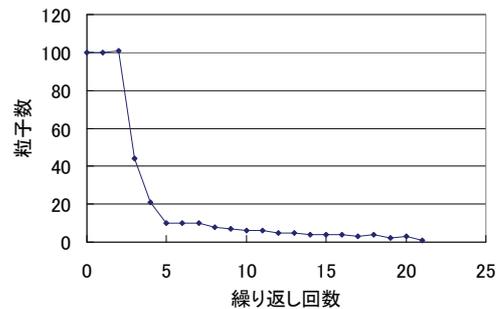


図 5 粒子数の推移