

自己組織化アルゴリズムによる構造形態の自律的生成

日大生産工(院) ○岡村 和美(院) 日大生産工(院) 渡部 文仁
日大生産工 三井 博士 日大生産工 山内 博士

1 はじめに

合理的な構造物の形状最適化問題については数理計画法を用いた解法は多く存在する。ラチスシェルの構造設計において、大崎ら[1][2][3]の研究ではひずみエネルギー最小化と部材長の一様化を最適化問題として定式化し、構造物形状の最適化を行う研究がなされている。しかし、数理計画法では、設計問題の定式化に伴う設計変数の増加によって計算量が増加し解析が困難な場合がある。

本研究では、自己組織化のアルゴリズムを用いて自律的に形態を生成する手法を示す。自己組織化とは「ランダムから秩序へ、自分で組みあがる現象」である。例えば、雪の結晶は自律的にランダム(水滴)から秩序(結晶)へと組みあがる。この自己組織化を利用して、1988年T. コホネンによって発案された自己組織化マップは主にデータマイニングに使用されるなど、多方面で応用されている。例えば、最適化問題への応用例として巡回セールスマン問題(TSP)[4]やアリのフェロモンをモデル化した[5]構造形態創生が挙げられる。

本研究の目的は、形状を構成しているそれぞれの部材が近傍の部材と相互作用を繰り返して一定の秩序を持った形状を生成するアルゴリズムを示すことである。一定の秩序の一つの指針として最適化問題の典型的な一例である部材長一様化とひずみエネルギー最小化についてその有効性を示す。

2 部材長一様化

2. 1 アルゴリズム

部材とノードで構成されたトラス構造物において、部材長一様化問題を自己組織化で用いて解法する手法を示す。図1のようなトラスにおいて、トラスを構成している1部材に注目する。この部材を注目部材 m_i と呼ぶ。図中では注目部材 m_i を黒で表す。続いて m_i に接続している部材を近傍部材 m_n^k とする。図2は注目部材 m_i と近傍部材 m_n^k のみを示す。

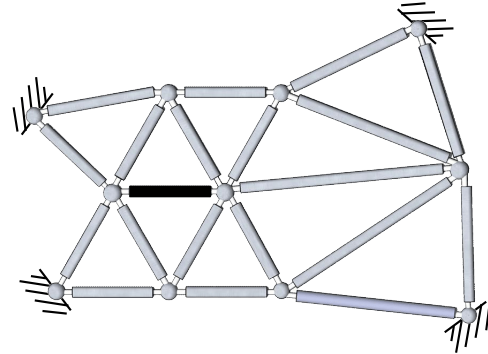


図1 トラス

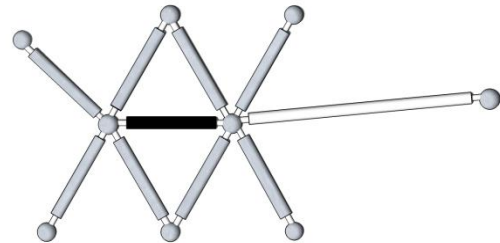


図2 注目部材と選択部材

注目部材 m_i の近傍部材 m_n^k の中で最も長さの異なる部材を選択する。この選択された部材を選択部材 m_s と呼ぶ。図2では選択部材 m_s を白で示している。この最適化問題の目的は、全部材の部材長が等しくなることである。その場合、各部材において注目部材 m_i と選択部材 m_s の長さの差が0になる。

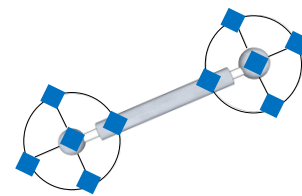


図3 候補点

Autonomous Generation of Structural Form
by Using Self-Organization Algorithm

Kazumi OKAMURA, Tomohito WATABE, Yukari YAMAUCHI and Kazuo MITSUI

選択部材 m_s の長さに合わせて、注目部材 m_t のノードの位置が変化できるよう、注目部材 m_t のノードは候補点を所有する。図3には、候補点が四角形で示されている。

注目部材 m_t の両端のノードに候補点を作成するので $5 \times 5 = 25$ 通りの組み合わせができる。25通りの組み合わせの中から注目部材 m_t と選択部材 m_s の長さの差が最小となる組み合わせを探索し、その候補点へ移動する。このアルゴリズムをまとめると、以下のようになる。

- (1) 構造物全体から1つの部材を選び、注目部材 m_t とする。
- (2) 注目部材 m_t に対する近傍部材 m_n^k の中で、注目部材 m_t と最も長さが異なる部材を探索し、選択部材 m_s とする。
- (3) 注目部材 m_t のノードに候補点を作成する。
- (4) 候補点の組み合わせ25通りの中から、注目部材 m_t と選択部材 m_s の長さの差が最小となる組み合わせを探索する。
- (5) 選択された注目部材 m_t の候補点にノードを移動する。
- (6) (1)～(5)をすべての部材について実行する。この動作を学習と呼ぶ。
- (7) (1)～(6)の学習を終了条件が満足するまで繰り返す。

候補点は、図4に示すようにノードを中心とした半径 r の円上に生成する。

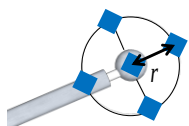


図4 候補ノードの位置

候補点の位置を決める円の半径 r は、注目部材 m_t の長さを l_t 、選択部材 m_s の長さを l_s とすると以下の式で決定する。

$$r = \alpha \cdot \frac{|l_t - l_s|}{2} \quad (1)$$

α は係数であり、以下に示す例題では0.5の値を与えた。アルゴリズム(4)では移動後の部材長を l'_t とすると、部材長一様化問題の場合、式(2)で表される評価値 e を用いてアルゴリズム(4)を実行する。

$$e = (l_s - l'_t)^2 \quad (2)$$

2. 2 例題

図5は36節点60部材から構成される例題である。図中の左上端、右上端、左下端のノードは固定し、グレーのノードは直線上のみ移動し、その他すべてのノードは自由に移動する。図6は200回後の学習結果である。図7は学習による部材長の変化である。300回程度の学習ですべての部材長1000となったことが分かる。

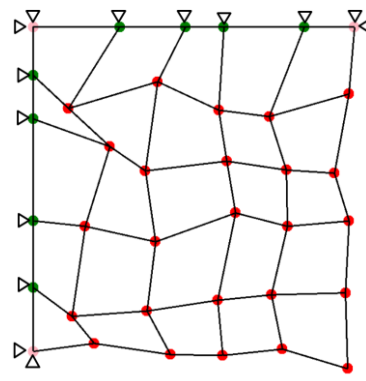


図5 36節点60部材 (例題1)

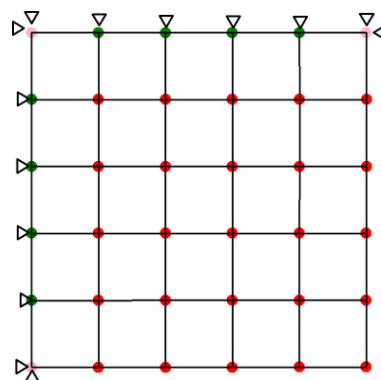


図6 学習結果 (200回学習結果)

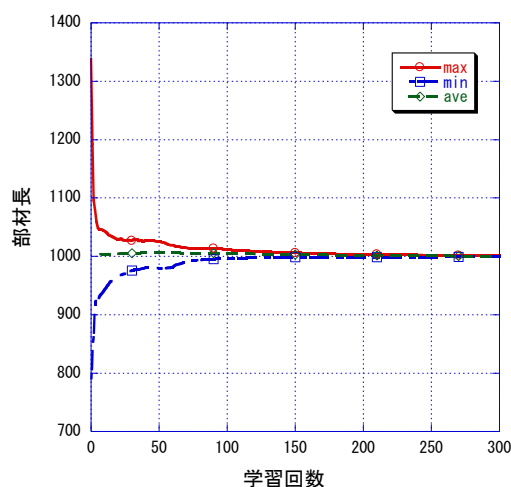


図7 部材長の変化 (例題1)

図8は215節点558部材で構成される例題である。図中の上部にあるすべてのノードは固定で、その他すべてのノードは自由に移動する。図9は200回後の学習結果である。この結果から穴のあるトラスの例題でも本アルゴリズムが有効であることが分かった。

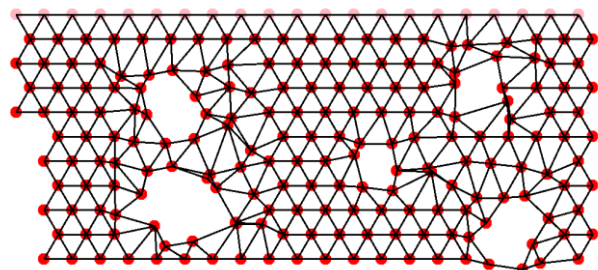


図8 215節点558部材（例題2）

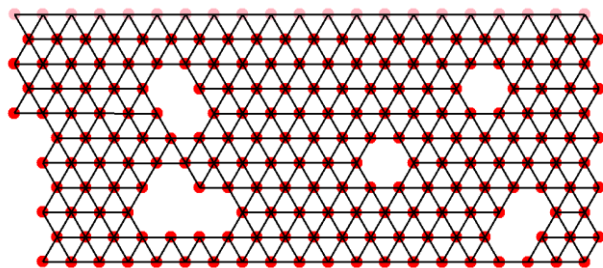


図9 学習結果（200回学習結果）

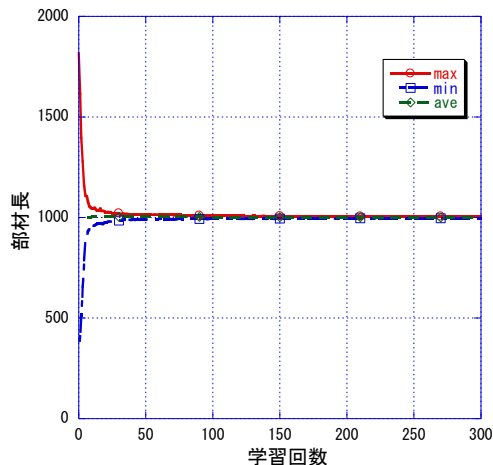


図10 部材長の変化（例題2）

図10より、部材数が増加した大規模な例題でも、200回程度の学習回数で解けることが分かった。

図11は、151節点270部材で構成される例題である。図中の左上端、左下端、右下端のノードは固定し、斜辺上のノードはこの斜辺上のみ移動し、その他すべてのノードは自由に移動する。この例題は三角形の内部に部材とノードを配置したものである。図12は学習結果である。図12より、ノードの移動に制約を加えた例題にも有効であることが分かった。

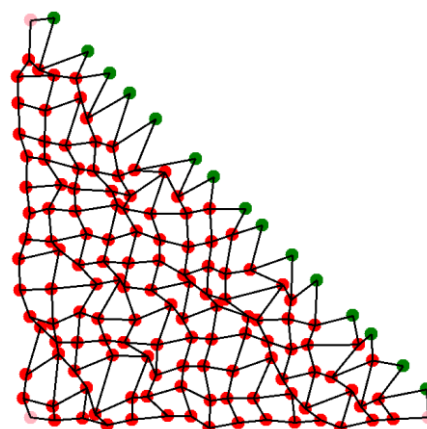


図11 151節点270部材（例題3）

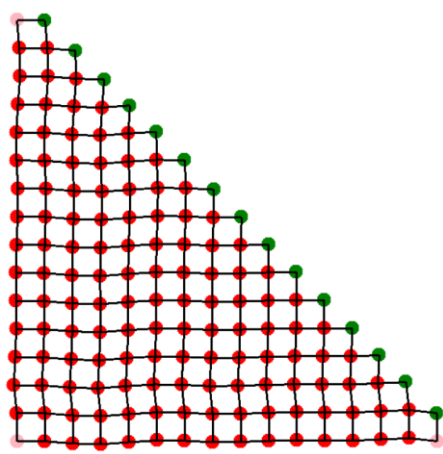


図12 学習結果

図13は周囲のノードをスプライン上に配置した例題である。293節点814部材で構成される。図14は学習結果である。このように、周囲のノードが曲線上のみを移動可とした例題にも有効であることが分かった。

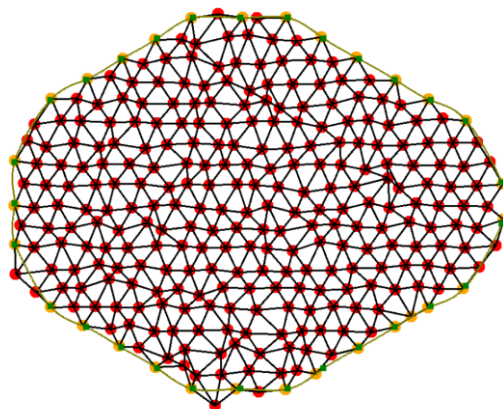


図13 293節点814部材（例題4）

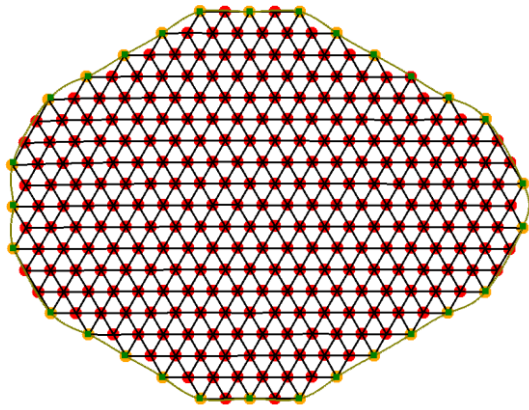


図14 学習結果

3 ひずみエネルギー最小化

3. 1 アルゴリズム

部材長一様化のためのアルゴリズムで示した評価値 e を変更して、ひずみエネルギー最小化問題への応用することができる。ひずみエネルギー最小化の評価として式(3)に示されるコンプライアンスを指標とする。

$$C = \frac{1}{2} \{P\}^T \{u\} \quad (3)$$

式(3)において、 $\{P\}$ は節点荷重ベクトル、 $\{u\}$ は節点変位ベクトルである。候補点に部材が移動した時の変位ベクトルを $\{u^*\}$ とすると、コンプライアンス C' は式(4)で示される。

$$C' = \frac{1}{2} \{P\}^T \{u^*\} \quad (4)$$

式(3)(4)から、評価値 e は以下のように決定する。

$$e = C' - C \quad (5)$$

式(7)の評価値 e は、移動前のコンプライアンス C と移動アルゴリズム(4)において、25通りの候補点の組み合わせの中から評価値 e が最小となるものが探索される。変化する部材の長さ l_i とすると、候補ノードを決定する円の半径 r は以下のように決定する。

$$r = L\alpha \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (6)$$

L と α は定数であり、 L は r の最大値を与え、 α は $0 < \alpha < 1$ の値を与える。 t は現在の学習回数、 T は学習回数とする。

4 まとめ

本研究において自己組織化を用いた解法が、部材長一様化問題に有効であることを示すことができた。また、本手法のひずみエネルギー最小化問題への応用も示すことができた。本手法は極めて単純なアルゴリズムであり、部材長一様化とひずみエネルギー最小化の多目的問題にも応用することできると思われる。さらに、本アルゴリズムを拡張し三次元への応用も容易であると思われる。

今後の課題は、曲面上にノードが配置されている問題において、本手法の有効性を示すことである。

「参考文献」

- 1) 大崎純, 藤田慎之輔: 四角形グリッドを有するラチスシェルの部材一様化とひずみエネルギー最小化を考慮した多目的最適化, 第33回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.135-138, 2010.
- 2) 藤田慎之輔, 大崎純: ひずみエネルギーとパラメトリック曲面の代数不変量を考慮したシェルの形状最適化, 日本建築学会構造系論文集, 第74巻, 639号, pp.857-863, 2009.
- 3) 小河利行, 大崎純, 立石理恵: 線形座屈荷重最大化と部材長一様化を目的とした単層ラチスシェルの形状最適化, 建築学会構造系論文集, 第507号, pp.129-136, 2003.
- 4) 山川烈, 徳高平蔵, 藤村喜久郎: 自己組織化マップ応用事例集 SOMによる可視化情報処理, 海文堂出版, 2005.
- 5) 三井和男, 宮永圭佑: 活性因子・抑制因子系に着想を得た構造最適化手法, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第33回情報システム・利用・技術シンポジウム, pp.139-142, 2010.
- 6) 岡村和美, 渡部文仁, 三井和男: 構造形態を自律的に生成する自己組織化アルゴリズム(投稿中)