

# スライド移動型セルロボットの構造形成手順の考察

## Procedure of Structural Formation by Cellular Robots with the Sliding Motion Mechanism

南 賢吾 (東工大院) 正 小関 道彦 (東工大) 正 伊能 教夫 (東工大)

Kengo MINAMI, Michihiko KOSEKI and Norio INOU,  
Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

This study deals with group robots forming a mechanical structure. The group robots consist of identical cellular robots with same mechanical structure and information processing. To realize the group robots in hardware, we propose a slide motion mechanism that supports a large mechanical loading. This paper discusses the shortest route with minimum energy in transformation when an initial configuration and a final one are given. We also report the energy consumption required for transformation of the cellular robot under various configurations.

**Key Words:** Group Robots, Cellular Robot, Structural Formation, Procedure of Structural Transformation

### 1. 緒言

自律分散型群ロボットは、変形や自己修復などの機能を持ち、様々な作業を遂行可能である。このようなロボットを実現するため、近年多数の研究者によって様々な機構が開発されている[1][2]。しかし、どの機構も移動機能に着目しており、外荷重の支持機能に着目した機構は少ない。そこで本研究では外荷重の支持に適し、構造物を構築可能な群ロボットの開発を目的としている。

本研究が目指す構造物を構築する群ロボットは、それぞれのロボットに発生する応力状態を自身で検知し、相互に情報交換を行う。この時、応力の高い個所を低減するような構造変形が可能ならば、構造物は力学環境に適応した形状に自動的に変化することが期待できる。

このようなロボットシステムを実現するため、本研究室ではスライド移動型セルロボットの機構を開発し、構造物の構築および個々のロボットにかかる荷重の測定が可能であることを確認した[3]。提案するセルロボットは結合時の高剛性を実現するため、移動機能に制約を持っている。そのため構造物の変形時には隣接する複数のロボットが同時に移動する必要があり、その動作アルゴリズムについては未だ明らかにされていない。本稿では、目標形状に変形するための最短経路を探索するシミュレーション手法について述べる。

### 2. スライド移動型セルロボット

外荷重を支持するためには剛性の高い機構が必要である。図1に提案するスライド移動型セルロボットの運動機構を示す[3]。1台のセルロボットには2つの面に対してそれぞれ1つのモータ、4つのホイール、1本のドライブシャフトから成る機構が組み込まれており、これによって四輪駆動を実現している。このセルロボットは隣接するセルロボットの軌道上をホイールが進むことによって、図2に示すように上下左右の移動が可能である。また、全てのセルロボットが隣接するセルロボットと面接触しているため、構築される構造物の高剛性化を実現している。

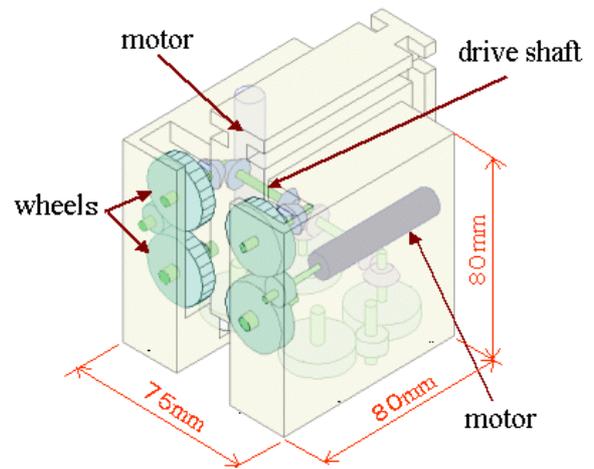


Fig.1 Inner mechanism of the cellular robot

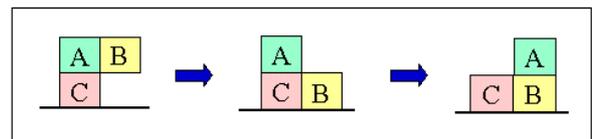


Fig.2 Transformation of cellular robots by sliding motion mechanism

### 3. 最短経路探索シミュレータ

開発したスライド移動型セルロボットは、図3に示すような結合面の鉛直方向に関する分離、結合が出来ないという制約条件がある。この制約条件の下で、初期形状から任意の最終形状に至るまでの変形過程を手作業で追跡するのは非常に煩雑である。そこで、初期形状と最終形状を与えれば、最終形状に至るまでの最短経路を自動的に探索し、変形過程を表示するシミュレータを開発した。このシミュレータでは、図4に示すように初期形状から各移動ステップで構築可能な全ての形状を探索し、目標形状に至る経路を提示する。このシミュレータにより、最終形状に至る最短経路が複数存在することを確認した。

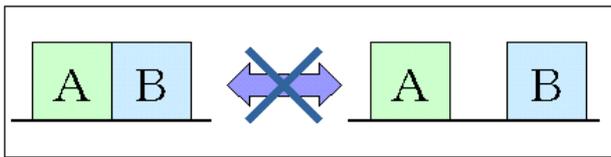


Fig.3 Constraint in transformation

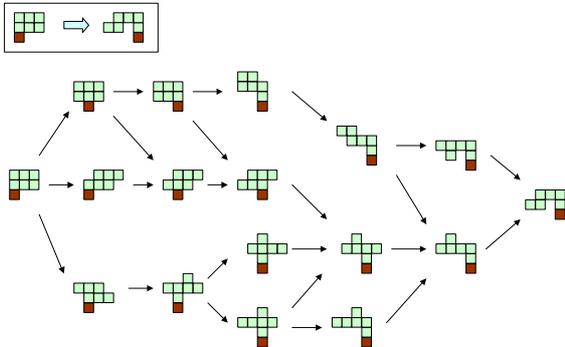


Fig.4 Structural formation by group robots with slide type motion mechanism

#### 4. 変形過程における消費エネルギー

開発した最短経路探索シミュレータは初期形状から派生する全ての形状を探索しているため、目標形状発見に至るまでに膨大な計算時間を必要とする。また、幾何学的に構築可能な経路は探索するが、変形に必要な駆動力や剛性は考慮されていない。

そこで、このシミュレータに移動の際に必要なエネルギーを計算するルーチンを組み込めば、構築不可能な経路を排除して計算時間を短縮することができるかと期待される。また、複数存在する最短経路のうち、最もエネルギー消費量が小さい経路を選択することも可能となる。

そこで、実機を用いて基本的な移動パターンにおけるエネルギー消費量[J]を測定した。エネルギー消費量は、駆動中のモータに加わる電流、電圧を 100msec のサンプリング間隔で AD 変換ボードを用いて PC に取り込み、計算された電力を積分することによって算出した。測定結果を図 5 に示す。

上述の方法で、初期形状と最終形状を与えた時に探索された変形経路に沿ったエネルギー消費量を図 6 に示す。複数存在する最短経路の中でエネルギー消費量が最小となる経路が存在することがわかる。なお、図 6 における(e)の表示は概算値である。

#### 5. 結論

構造物を構築するスライド移動型セルロボットを対象として、初期形状から任意の形状に変形する際の最短経路を探索、表示するシミュレータを開発した。さらに、セルロボットの基本的な移動パターンにおけるエネルギー消費量を測定し、複数の最短経路の中で総エネルギー消費量が最小の変形経路を決定できることを示した。

Number of moving robots			
1	2	3	4
0.7	0.8	1.0	2.1
		0.9	1.1

Number of moving robots			
1	2	3	4
1.6	4.6	—	—
	3.6	5.0	7.6

Number of moving robots			
1	2	3	4
0.5	0.6	0.8	1.2
	1.0	0.6	0.6

■ : Driving robot  
 ■ : Carried robot  
 — : Couldn't move

Fig.5 Energy consumption of configurational change

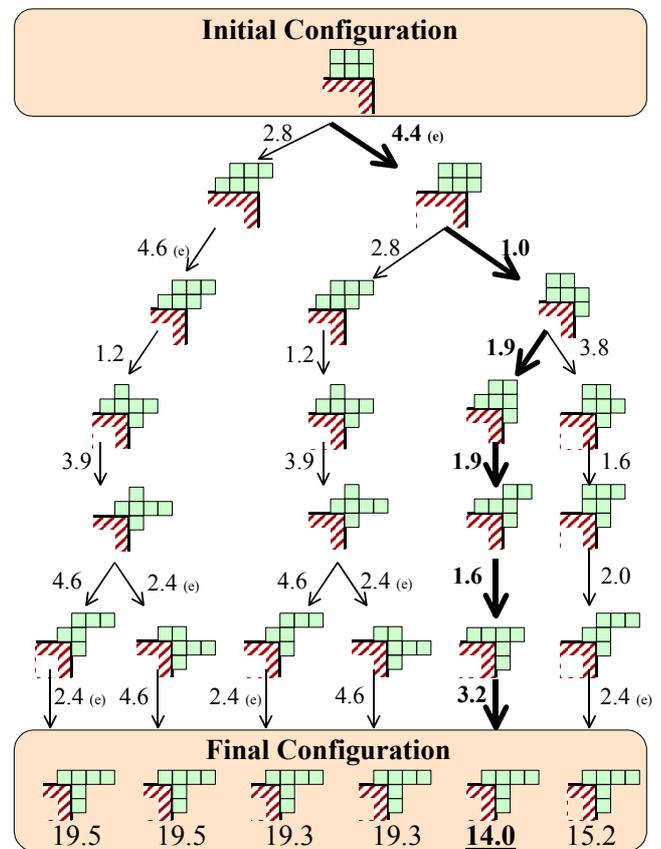


Fig.6 Total energy for structural transformation

#### 参考文献

- [1]S.Murata, E.Yoshida, K.Tomita, H.Kurokawa, A.Kamimura, and S.Kokaji: Hardware Design of Modular Robotic System,Proc. Of 2000 IEEE/RSJ.International Conference on Intelligent Robots and System(IROS2000),CD-ROM,F-AIII-5
- [2]M.Yim, D.G.Duff, K.Roufas, Y.Zhang and C.Eldershaw: Evolution of PolyBot: A Modular Reconfigurable Robot, TITAC COE/Super Mechano-Systems Symposium 2001, Plenary Talk 4, (CD-ROM), 2001
- [3]伊能教夫・小関道彦・南賢吾・小林広和; 構造物を構築する群ロボットの運動機構, ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集 [No.02-6], (CD-ROM)1P1-L12, 2002