

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 請川 克之

修士（工学）請川 克之 提出の論文は「モジュール型宇宙建造物の自己組立に関する研究」と題し、6章と補遺とから成っている。

国際宇宙ステーションなど現在あるいは将来の宇宙建造物の建造方法は、ほとんどが展開構造を含む部分構造を宇宙飛行士が操作するマニピュレータや作業ロボットにより組み立てることを想定している。しかしそのような方法では建造物全体の完成に至るまでに多くの時間が必要で、建造のコストも高くならざるを得ず、また建造途中での計画変更などにも柔軟に対応することができない。その場合、部分構造は電力モジュール、制御モジュール、あるいは居住モジュールなどのように機能別に設計され、また組立システムも別個に検討されるのが通常である。本研究は、従来の宇宙建造物システムの建造におけるそのような問題点の解決のために、建造物システムと組立システムを分散化して、モジュール化した建造物と組立作業ロボットを統合したより柔軟な自動組立システムの構築を目指したものである。個々のモジュールに単純な建造機能を持たせた多数の均質なモジュールからなる宇宙建造物の自動組立の概念を提示し、その特徴を明確にするとともに、基本的な課題である組立完了までのモジュールの移動手順計画（自己組立の動作計画）について詳細な検討と考察を行っている。二次元の正六角形状のモジュールにより頂点を軸に回転移動しつつ初期に集積していた状態から目的形状を構成しようとする場合を例にしたシミュレーションにより、提示した自己組立におけるデッドロック状態の解決法が有効であることや将来の本格的な宇宙建造物システムを想定した階層モジュラー構造の自己組立が可能であることを明確に示している。

第1章は序論であり、今までの研究を紹介し、本研究の目的を述べている。特に建造物の分割化と組立作業の自動化に共通する関連研究として、モジュラーロボット分野の研究を概観し、従来の自己組立の動作計画に関する研究を紹介している。

第2章では、多数の均質なモジュールによる建造物システムの分散化と複数の作業ロボットの使用などによる組立システムの分散化が重要であることを述べ、本論文において提案する単純な建造機能を持たせた均質な多数のモジュールからなる宇宙建造物の自己組立システムの意味を述べている。すなわち、それが建造物システムにおいては建造・機能・撤収・再利用といった建造物のライフサイクルの考察に基づく知的適応建造物の一種であり、組立システムにおいては従来の高機能で集中型の組立システムとは対極に位置付けられることを示している。

第3章では、自己組立の動作計画方法において、シミュレーテッドアニーリング法による中央集権的な方法およびセルオートマトンによる自律分散的な方法の計算処理時間やモジュールの移動数、および累積成功率について検討している。中央集権的な方法では移動の障害となる領域を考慮した場合にも適用可能な評価関数として目的形状までの重みを考慮した距離を提案し、自律

分散的な方法では、セルオートマトンのルールを目的形状に合わせて変更する部分と不変である部分とに分けて考える方法を提案した。それらにより初期に集積した形状から直列状の形状への基本的な自己組立についてのシミュレーションを行い、構造物の規模が大きくなり、中央集権的な方法では計算処理時間が想定される許容範囲を超えるような場合に、自律分散的な方法が有効であることを示している。

第4章では、自律分散的な自己組立の動作計画において重要な課題であるデッドロックについて考察し、モジュールの移動先を不適切に制限することがその本質的な発生理由であることを指摘して、モジュールの移動にランダム性を与えてそれを操作することで移動ルールを適宜緩和する方法を提案している。そして、デッドロックに陥ったと判断した場合には徐々にランダム性を高めていきそれ以外では急速にランダム性を低下させること、および目的形状の位置が初期形状の中心に近くなるように基点モジュールを設定することが、組立完了までに要するステップ数を抑えた効率的な組立になることをシミュレーションにより明らかにしている。

第5章では、宇宙構造物システムの形状としてより実用的な閉ループ形状や階層モジュラー形状を目的形状として取り上げ、それらの自己組立について考察している。閉ループ形状は直列状の形状と比較して組立が格段に困難となるが、ランダム性を操作する方法により組立を完了できることを示している。また、階層モジュラー形状の構造では、低い世代のモジュールからなる開ループ形状を中間形状として段階的に組立を行う動作計画方法を提案し、それによらない直接的な自己組立はほとんど成立しないことを示している。

第6章は、結論であり、本研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文は、個々のモジュールに単純な建造機能を持たせた多数の均質なモジュールからなる宇宙構造物の自己組立について、ランダム性を操作する方法を導入した動作計画と階層性を考慮した動作計画を提案し、それらの有効性を示して、大型あるいは複雑な宇宙構造物の組立において高い柔軟性を持つ組立システムの実現を可能としたもので、航空宇宙工学、構造工学、およびロボット工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。