

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 石村 康生

修士（工学）石村康生提出の論文は「宇宙構造物における自律分散概念に関する研究」と題し、6章と付録とから成っている。

宇宙開発へのさまざまな需要が高まる近年、要求されるミッションの多様化や高度化に伴い、対応する宇宙構造物には複雑化や大型化の傾向が現れてきつつある。前者の代表例として、知的適応構造物と称される構造物があり、後者の例として大型アンテナや宇宙ステーションなどの構造物がある。しかし、複雑あるいは巨大な構造物システムを構築するにはさまざまな問題が予想される。その一つはコントロールなどのタスクにおける処理負荷の増大である。次に、要素の複雑化や数の増加に伴い、故障要素の存在確率が高くなること、さらには、システムの変更や拡張に際しての作業が煩雑になることである。そこで要求されるのは、処理速度の向上、部分故障に対するシステム全体としての高い耐故障性の確保、および容易な拡張性である。これらの要求を満たす有力な手段として自律分散的な構造物システムの構築がありうる。それについては、早急な開発が渴望されているにも関わらず、未だ確たる研究がなされていない。

本研究では、宇宙構造物システムに自律分散概念の導入を試み、その有効性についての考察を行っている。それと同時に、サブシステム間の相互作用として平均化に着目し、その実現を熱伝導現象の類推に基づく制御により行っている。宇宙構造物システムへの自律分散概念の導入を明示的に行うのは、本論文が世界的にも初めての試みである。まず、宇宙構造物システムとして高い冗長度を持つ可変形状トラスを対象に自律分散制御を提案し、その有効性について検証をしている。次に、サブシステム間の相互作用の中でも特に平均化の相互作用に焦点を当てて研究をしている。平均化の相互作用とは、サブシステムの持つ何らかの物理量をサブシステム間で平均化する相互作用のことである。それを作り出す指針として、物理的な背景が明確で汎用性のある熱伝導現象の類推に基づく制御手法を提案して、冗長マニピュレータと展開アレイの事例をもとにその効果を明らかにしている。

第1章は序論であり、本研究の背景となった今までの自律分散概念の研究を概観し、本研究の目的を述べている。

第2章では、宇宙構造物における潮流として複雑化や巨大化の傾向があることを示し、その傾向から生じる多くの問題解決に分散化が有効であることを指摘している。さらに、分散化の流れの中で生じた課題を整理し、宇宙構造物システムへの自律分散

概念導入の必要性を明らかにしている。

第3章では、自律分散概念の導入の有効性を、可変形状トラスのエンドエフェクタの位置および姿勢制御を例にして、明らかにした。拡張性については、構成要素数を変化させたいずれの場合にも対応が可能であることを確かめている。処理速度については、提案する自律分散制御則によって並列処理が可能であることを示し、逆運動学に基づく制御則と比較してモジュール数が増大した場合に自律分散制御が優位であることを確かめている。耐故障性については、幾つかの故障エージェントがある場合でも、エンドエフェクタの位置および姿勢制御が可能であることを示している。さらに、協調行動として平均化の相互作用を各サブシステムの規則に組み込むことにより、障害物の回避可能範囲が広がることを明らかにしている。

第4章では、可変形状トラスを変換したシリアルリンクの冗長マニピュレータを例に、形状の平均化について相互作用の効果を明らかにした。この平均化の相互作用を実現するサブシステムの規則として、熱伝導方程式に基づく制御則の提案を行っている。数値計算により本制御則で手先の位置制御が可能であることを確かめ、また解析的にも本制御則の漸近安定性を示している。さらに、障害物回避問題を含む数値計算を行い、提案する熱伝導型制御によって、最終形状において障害物に沿った一様なリンクベクトルを実現できることを確かめている。また、熱伝導型制御の特徴を明確にするため波動型制御との対比も行っている。

第5章では、モジュール型展開宇宙構造物の展開における平均化の相互作用の考察を行っている。ここでは、展開の同期を展開進行度の平均化と捉えている。各サブシステムが展開力を持つモジュール型構造物の展開について数値計算を行い、無制御時には非同期挙動が生じることを明らかにしている。次に、同期性向上のために前章で提案した熱伝導方程式に基づく平均化の相互作用を組み込み、数値計算により、提案する制御則が同期性の向上をもたらす事を示している。

第6章は結論であり、本研究の成果を要約している。特に、熱伝導方程式に基づく制御則は熱伝導現象という明確な物理的背景を持っているがゆえに論理的で、また形状や展開進行度というまったく性格の異なる事例の両方に有効であることから平均化という相互作用の組み込みに対して汎用性があると結論している。

以上要するに、本論文は、宇宙構造物システムに自律分散概念を導入することが有効であることを示し、その際平均化の相互作用を実現するために、論理的かつ汎用性のある指針として、熱伝導現象の類推に基づく制御方式が有効であることを明らかにしたものであり、航空宇宙工学、構造工学および制御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。