

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	空間素構造物の数の総合とその空間閉ループリンク機構の運動解析・設計への応用
Title(English)	Number synthesis of spatial prime structures and their applications to kinematic analysis and design of spatial closed-loop link mechanisms
著者(和文)	有賀嵩紘
Author(English)	Takahiro Aruga
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第259号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岩附 信行,武田 行生,岡田 昌史,遠藤 玄,菅原 雄介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第259号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	有賀 高紘	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	岩附 信行	教授	審査員	菅原 雄介	准教授
	審査員	武田 行生	教授			
		岡田 昌史	教授			
		遠藤 玄	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「空間素構造物の数の総合とその空間閉ループリンク機構の運動解析・設計への応用」と題し、以下の6章から成る。

第1章「緒論」では、複雑な入出力関数や空間軌道を生成できる1自由度空間リンク機構や高速・高剛性のマニピュレータとなる多自由度空間パラレル機構など、空間閉ループリンク機構の活用が期待されているものの、その系統的な運動解析手法が確立されておらず、新たな機構設計への展開が進んでいないことを指摘している。他方、平面閉ループリンク機構では、自由度零の平面リンク連鎖中の1節を取り外し、その節を接続していた対偶を運動が既知である他の節に接続することで新たな平面リンク機構が構成できる「平面素構造物」が提案され、それに基づく系統的な平面リンク機構の運動解析手法が構築されていると述べている。そこで、この平面素構造物を空間リンク連鎖に拡張した「空間素構造物」の数の総合を行うとともに、得られた空間素構造物の由来連鎖の運動解析手法を構築し、それらを空間閉ループリンク機構の運動解析と設計に応用することが本研究の目的であると述べている。

第2章「空間素構造物の数の総合」では、空間素構造物を網羅的に数え上げている。自由度3以下の対偶を有する自由度零の空間リンク連鎖中の節数と対偶数の条件式を求めたのち、節接続や対偶自由度の配置の組み合わせを網羅的に列挙して空間素構造物の候補を抽出し、それらの候補について、グラフ理論における双対グラフを用いて網羅的に部分連鎖を列挙してその自由度の計算を行い、内部に自由度零以下の部分連鎖を有するものを排除している。さらに、連鎖の隣接行列の要素配置を網羅的に調査してトポロジーの同一性の判定を行って、重複する候補を排除している。最後に、球対偶のみからなる2対偶素節に起因する余剰自由度を有する自由度1以上の空間素構造物についても網羅的に列挙している。結果として、3節、4節、5節の空間素構造物をそれぞれ3種、13種、97種求めている。

第3章「空間素構造物由来連鎖の運動解析」では、空間素構造物由来連鎖の運動解析手法を構築している。全ての3節素構造物および一部の4、5節素構造物について、その1節上の各対偶の位置・姿勢とその時間微分値が与えられたとき、他のすべての対偶の位置・姿勢とその時間微分値を、可能な限り代数的に求める手法を示している。単ループ素構造物由来連鎖と複ループ素構造物由来連鎖について、その運動解析手法に関してそれぞれ2グループに分類し、単ループ連鎖については、2つの空間図形の交点として球対偶変位を求めることで変位解析を行う手法、他の連鎖については閉回路方程式から一元の代数方程式を立式して解く変位解析手法を示している。複ループ連鎖では、1つのループの余剰自由度を有する素構造物を用いた変位解析と2つの球対偶の2対偶素節を回転対偶に置き換えた他のループの解析を組み合わせた手法を示し、他の複ループ連鎖については1つの対偶変位を変数とした一元の高次代数方程式を立式する手法を示している。さらに、一つの素構造物から得られる複数の由来連鎖について、そのうち1種類の由来連鎖について運動解析手法を構築すれば、座標変換により他の由来連鎖についても運動解析が可能であることを明らかにしている。また、すべての変位解析が代数的に行われているか、高次代数方程式を解く問題に帰着されているため、解析式の時間微分もし

くは高次代数方程式の時間微分を用いることにより、連鎖中の対偶の位置・姿勢の時間微分値が容易に計算できることを示している。

第4章「空間素構造物を用いた空間機構の運動解析」では、空間素構造物由来連鎖の運動解析手法を用いた空間閉ループリンク機構の運動解析を行っている。まず、順運動学解析では入力運動を、逆運動学解析では出力運動を与えて得られる構造物中の空間素構造物を検出し、それらの空間素構造物由来連鎖の運動解析を適用していく機構の解析手順の定め方について説明している。例として、1自由度 RCS-R-PSS 空間6節機構の順運動学解析および3自由度 RRS-RS-RCS 空間7節機構の順／逆運動学解析を行い、前者については、変位解析結果の3D-CAD 計算結果との比較、ならびに速度・加速度解析結果と変位解析結果の数値微分値との比較により解析手法の妥当性を明らかにし、後者については、試作機構による実験により、正確な解析が行われていることを示している。

第5章「空間素構造物を用いた空間機構設計」では、空間素構造物を応用した空間閉ループリンク機構の運動解析に基づく機構設計を行っている。まず1自由度 RCS-R-PSS 空間6節機構について、圧力角を運動伝達性の評価指標とする最適設計を行っている。次に3自由度 RRS-RS-RCS 空間7節機構について、出力点の作業領域を最大化する最適設計を行うとともに、運動解析式の解の存在条件を調べることにより、作業領域の境界が機構中の部分連鎖の運動限界や機構の特異姿勢に相当することを判別可能であることを示している。

第6章「結論」では、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の研究の展望について述べている。

以上要するに、本論文は、空間素構造物の数の総合を行うとともに、得られた空間素構造物の由来連鎖の運動解析を構築し、空間閉ループリンク機構の系統的かつ効率的な運動解析ならびに設計に応用することを可能にしたものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。