

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	機構学的等価機構による低自由度パラレルマニピュレータの運動解析と設計
Title(English)	Kinematic Analysis and Design of Lower-mobility Parallel Manipulator Based on Kinematically Equivalent Mechanism
著者(和文)	梁 星海
Author(English)	Xinghai Liang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11268号, 授与年月日:2019年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:武田 行生,岩附 信行,岡田 昌史,遠藤 玄,菅原 雄介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11268号, Conferred date:2019/9/20, 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	LIANG Xinghai		
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	審査員	主査	武田 行生	教授	菅原 雄介	准教授
		審査員	岩附 信行	教授	-	-
			岡田 昌史	教授	-	-
			遠藤 玄	准教授	-	-

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“Kinematic Analysis and Design of Lower-mobility Parallel Manipulator Based on Kinematically Equivalent Mechanism” と題して、全 6 章よりなる。

第 1 章 “Introduction” では、本論文の背景および研究目的について述べている。パラレルマニピュレータ (Parallel Manipulator : PM と略記) は、これを構成するリンクが複数の閉回路を有することから、シリアルマニピュレータに比べて、負荷容量、剛性、精度の観点で優れている。6 自由度の空間機構からなる PM (Full-Mobility Parallel Manipulator : FMPM と略記) では、その解析および設計に用いる基本的な機構学的手法の整備が進み、これらに基づくフライトシミュレータ等の開発実績が多数存在している。PM の中で、機構の自由度が 6 未満のものは低自由度パラレルマニピュレータ (Lower-Mobility Parallel Manipulator : LMPM と略記) と呼ばれ、単純な構造でありコンパクトであって安価に製作できることから、特定の作業に適した多自由度機構として実用化が期待されるものの、ピックアンドブレースロボット等の例はいくつかあるが、実用化実績が少ない。この理由の一つとして、LMPM では、その自由度が 6 未満であるため、機構を構成する複数の閉回路により出力リンクの位置・姿勢パラメータ間の従属関係が生じるために、運動解析が複雑となり、機構設計に有用な手法の整備が進んでいないことが挙げられる。これに対し、本研究では、LMPM の中で比較的単純で種々の応用が期待される機構に見られる共通的な構造を見出し、機構解析・設計手法が整備されている FMPM と LMPM との機構学的類似点に着目した機構学的等価機構 (Kinematically Equivalent Mechanism : KEM と略記) を提案し、これに基づいて LMPM の統一的な機構解析・設計手法を開発することが目的であると述べている。

第 2 章 “Kinematically Equivalent Mechanism of Lower-mobility Parallel Manipulator” では、本論文の基礎となる LMPM の KEM について、その概念と構築方法を示している。多くの研究論文で取り上げられている LMPM には、静止リンクと出力リンクの間にリンクと対偶から構成される連鎖が 3 本配置され、各連鎖内の能動対偶を固定すると、静止リンクと出力リンクの間には 1 つの球対偶 (S と表記) と 1 つの回転対偶 (R と表記) からなる連鎖が 3 本配置された構造物となるものが多く存在することを述べ、これを 3-SR(RS) primary structure (素構造物) と呼び、本研究の対象としている。次に、LMPM の各連鎖に 1 つ以上の能動対偶を付加して 6 自由度とし、その逆変位解析が解析的に求解可能となるように対偶の配置位置・姿勢を定めた上で、追加した能動対偶変位に拘束条件を適切に設定すると、この連鎖は元の LMPM の連鎖と機構学的に等価であることから、これを LMPM の 1 つの KEM として提案し、これを機構設計全体を通して統一的に活用して運動解析および設計を行うことが有用であると主張している。また、3-SR(RS)素構造物は球対偶を 2 重球対偶とした 6-SS 構造物と機構学的に等価であることから、3-SR(RS)素構造物を含む LMPM の KEM として、6-SS 構造物を含む構成を提案し、その導出方法を具体的に示している。

第 3 章 “An Iterative Method for the Inverse Kinematics of Lower-mobility Parallel Manipulator” では、LMPM の逆変位解析において、出力リンクの位置・姿勢を表すすべての成分を同時に与えることができないため、解析的に求解可能なのは特殊な幾何学的条件を満足する機構のみであり、一般には複雑な連立方程式を数値解析により求める以外に方法はなく、このことが効率的な機構設計を阻んでいたことを踏まえ、第 2 章で提案した KEM に基づく LMPM の逆変位解析法を提案している。そして、LMPM の KEM を求めたのち、LMPM の自由度に等しい数の出力変位成分を与えるとともに残りの出力変位成分の初期値を与えて KEM の逆変位解析を行い、KEM における能動対偶変位に関する拘束条件に基づく出力変位補正を一次近似式により行う一連の手順を示し、これを繰り返すことにより LMPM の逆変位解析を単純な計算式のみによって実行可能としている。そして、この手法を種々の構造の LMPM に適用し、その有用性を示している。

第 4 章 “Kinematic Performance Index for Lower-mobility Parallel Manipulator” では、PM の機構設計では入出力関係のみならず受動対偶を介した運動伝達性の評価をその物理的意味が明確な指数により統一的に行うことが必要であることを指摘した上で、LMPM を対象とした、圧力角に基づく運動伝達指数を提案している。そして、第 2 章で提案した KEM のうち、6-SS 構造物に基づく KEM を用いることにより、すべての 3-RS(SR)素構造物となる LMPM の運動伝達指数が FMPM の運動伝達指数と同一手順・手法により定義できること、これにより自由度・構造の異なる機構を対象とした統一的な設計が可能となることを示している。そして、具体的な機構を対象として、この指数と出力リンクの外力に抗するための対偶作用力の大きさの関係、作業領域内の指数の分布、特異姿勢の解析、従来手法との比較などの数値例を示し、提案した指数の有効性・有用性を示している。

第 5 章 “Kinematic Analysis and Optimal Design of Lower-mobility Parallel Manipulator” では、本論文で提案した変位解析法および運動伝達指数を適用した、具体的な解析例および設計例を示し、提案した手法の機構設計における有用性を示している。

第 6 章 “Conclusions and Future Work” では、本論文で得られた結果を要約し、今後の研究課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、低自由度パラレルマニピュレータを対象として、6 自由度のパラレルマニピュレータにおける能動対偶に関する拘束条件を付与した機構学的等価機構に基づく変位解析法および運動伝達指数を提案し、従来困難であった統一的な解析・設計を可能としたもので、工学上および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と認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (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。