

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	弾性拘束された2曲面からなる新しい対偶
Title(English)	Novel Kinematic Pairs Composed of Elastically Constrained Two Curved Surfaces
著者(和文)	木村直人
Author(English)	Naoto Kimura
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11594号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岩附 信行,鈴森 康一,武田 行生,岡田 昌史,進士 忠彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11594号, Conferred date:2020/9/25, 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	木村 直人		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	岩附 信行	教授		進士 忠彦	教授
	審査員	鈴森 康一	教授	審査員		
		武田 行生	教授			
		岡田 昌史	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Novel Kinematic Pairs Composed of Elastically Constrained Two Curved Surfaces (弾性拘束された2曲面からなる新しい対偶)”と題し、以下の6章より成る。

第1章 “Introduction (序論)” では、従来の低次対偶を用いるリンク機構では、所望の運動を創成するための十分な設計変数がないこと、構造が複雑化すること等の問題があり、カムなどの高次対偶を用いた機構による複雑な空間運動創成のための機構の構成論や量の総合法を整備し、近年発展目覚ましい3Dプリンタ等の製造技術を活用することで、新しい高次対偶の開発が可能となり、新たな機構構成論の構築に発展する可能性があることを指摘している。そして、2曲面が接触を維持するよう弾性要素で拘束する新しい対偶である「弾性拘束対偶」を提案して、対偶素間の所望の相対空間運動を与えると同時に、これを有する「弾性拘束対偶ーリンク機構」の総合により、所望の複雑な空間運動を創成する空間機構が得ることが期待できると述べている。さらに従来研究を概観して、弾性拘束対偶により所望の機構運動の創成を可能とすること、付与する弾性拘束を活用して柔軟性を有する機構が得られること、弾性拘束の一部にアクチュエーション機能を付与すれば能動対偶が得られることに言及し、新たに「空間転がり接触対偶」と「柔軟拘束対偶」ならびにそれらの能動対偶の設計手法を明らかにするとともに、それらを用いた弾性拘束対偶ーリンク機構の総合手法を示すことが本論文の目的であると述べている。

第2章 “The Spatial Rolling Contact Pair (空間転がり接触対偶)” では、2対偶素間の所望の相対空間運動を創成できる「空間転がり接触対偶」の基本設計手法を明らかにしている。これは、曲面からなる2対偶素が線接触しつつ転がりながら所望の相対空間運動を創成する1自由度対偶である。まず、所望の相対空間運動の瞬間らせん軸の包絡面として接触曲面を理論的に導いている。次に、2曲面間の滑りと分離を抑制する弾性拘束として、可展面以外でも適用可能な弾性帯と複数の線形ばねの配置について、想定される外力条件下で転がりを維持するための設計手法を示している。そして、空間転がり接触対偶を持つ空間経路創成機構をいくつか試作して実験検証した結果を示し、この対偶を用いた空間1自由度機構による所望の空間運動の創成を確認している。

第3章 “The Active Spatial Rolling Contact Pair (能動空間転がり接触対偶)”では、所望の相対空間運動を能動的に創成できる「能動空間転がり接触対偶」の設計・制御手法を明らかにしている。これは、空間転がり接触対偶の線形ばねを柔軟直動アクチュエータなどの能動弾性要素に置き換え、2対偶素を拮抗駆動する1自由度能動対偶である。まず、2対偶素が安定な相対転がり運動

を創成できるように、駆動力の伝達性を最大化する能動弾性要素の配置手法と駆動冗長性を活用する能動弾性要素の制御手法を提案している。そして、2種類の能動弾性要素を用いた対偶を設計・試作し、創成軌道の測定実験により、この対偶が安定な相対転がり運動を行いつつ所望の空間運動を創成できることを示している。

第4章 “The Flexibly Constrained Pair (柔軟拘束対偶)”では、2対偶素間に剛でない相対運動拘束を持つ「柔軟拘束対偶」の設計手法を明らかにしている。これは、複数の球面を持つ対偶素と複数のカム曲面を持つ対偶素を複数の線形ばねで拘束した構造を持つ多自由度対偶である。各球面とカム曲面は1点で滑り接触し、2曲面間の抗力とばねの弾性力により所望の方向に復元力を持つ。まず、線形ばねの最適配置とカム曲面の形状設計を行って、対偶素間の主要な相対運動方向の剛性を低減し、他の方向に所望の非線形剛性を付与することで、剛性の差による「柔軟な相対運動拘束」を実現している。そして、種々の相対運動拘束を持つ対偶を設計・試作し、その多次元剛性を測定したすることにより、試作対偶が指定した相対運動拘束特性を持つことを明らかにしている。さらに、1軸回転を主要な相対運動とした柔軟拘束回転対偶を組み込んだ平面閉ループロボット機構について、無負荷時の運動精度と突発的な外力に対する柔軟性を両立できることを示している。

第5章 “The Active Flexibly Constrained Pair (能動柔軟拘束対偶)”では、主要な方向に能動的に相対運動でき、他の方向に受動的な柔軟性を持つ「能動柔軟拘束対偶」の設計手法を明らかにしている。これは、柔軟拘束対偶の線形ばねを能動弾性要素に置き換え、対偶素間を拮抗駆動する劣駆動構造を持つ。これについて、劣駆動系の主要な相対運動方向への駆動力の伝達性を最大化するように能動弾性要素の配置を最適化する手法を提案している。また、駆動方向と受動変位方向に所望の非線形剛性を付与する能動弾性要素の配置手法も明らかにしている。そして、2種類の相対運動拘束を持つ対偶を設計・試作し、その性能を理論解析と実験により調べた結果を示し、能動柔軟拘束対偶は、方向による剛性の差を活用して、衝撃力を吸収しつつ駆動可能なことを明らかにしている。

第6章 “Conclusion (結論)”では、本研究で得られた結果を要約して述べている。

以上を要するに、本論文は、リンク機構の総合を拡張するために、弾性拘束される2曲面で構成される新しい「弾性拘束対偶」を提案し、その設計手法を具体化して試作と性能評価によりその実現性と有用性を示したうえで、「弾性拘束対偶ーリンク機構」の総合へ適用したものであり、工学上ならびに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。