

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	ロボット関節のための瞬間的に切り替わる負荷感応型変速機
Title(English)	Load-sensitive Rapidly-switchable Transmission for Robot Joints
著者(和文)	PHLERNJAI Maroay
Author(English)	Maroay Phlernjai
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10661号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小俣 透,吉田 和弘,吉岡 勇人,只野 耕太郎,石田 忠,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10661号, Conferred date:2017/9/20, 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

(博士課程)

## 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	Phlernjai Maroay		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小俣 透	教授	審査員	石田忠	准教授
	審査員	吉田和弘	教授		高山俊男	特定准教授
		吉岡勇人	准教授			
只野耕太郎		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Load-sensitive Rapidly-switchable Transmission for Robot Joints」と題し、全5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、ロボットの関節には、状況により高速低トルクと低速高トルクが要求されるために変速機が必要であり、なおかつ作業性の向上のためにはその切り替えが瞬間的に行われることが好ましいことを指摘している。また一方で、人と作業空間を共有する場合の安全性の確保や、衝突時のロボット関節自体の破損を防ぐには、高速動作時には高いコンプライアンスが要求されることを述べている。そこで本研究は、一つのモータによる駆動で負荷に感応して瞬間的に変速が行われ、高速動作状態では高いコンプライアンスを有する、ロボットのハンドや関節に利用可能な小型の変速機を開発することを目的としている。

第2章「Load-sensitive Rapidly-switchable Transmission (LRT)」では、まず従来開発されてきた減速比の異なる二つのモータを用いた2段階切り替え式の変速装置を、そのモータと減速機の接続方式により、直列接続式と並列接続式に分類している。高速駆動時に高いコンプライアンスを実現するためには、並列接続式を用いる必要があり、さらに高減速比モータ側にトルクダイオードもしくはクラッチ機構を組み込む必要があることを述べている。そこで本研究の目的である一つのモータによる負荷感応動作を行わせるためには、モータの出力を差動機構により2系統に分け、それらを高減速比と低減速比の異なる機構を介して再び出力に並列に接続する方式を提案している。この方式は、高減速比側の駆動部に設けたクラッチ機構を負荷により動作させ、一定負荷以上になると高トルク動作となる。さらに、このクラッチが動作を開始してから高減速比側の動力が出力に接続されるまでのクラッチの隙間を調節することで、低減速比側の出力が外力によりバックドライブ可能となる動作範囲を調節し、その間の高いコンプライアンスを実現させることを提案している。

第3章「Cable-driven LRT」では、まずロボットハンドの指にはケーブルとプーリを用いた駆動方式が多く用いられていることを述べ、本章ではそれに適用できる変速機を開発を行うことを述べている。次に、動滑車が差動機構として機能することを述べ、高速動作時には動滑車は動か

ケーブルの動作が直接指関節を駆動し、負荷がかかると動滑車が並進して、動滑車と一体になったラックギヤが最終段のプーリに取り付けられたギヤと噛み合っ、動滑車の駆動力により指を高トルクに駆動する方式を提案している。これを基に開発した指関節装置は、高さ 80 mm、幅 50 mm、厚み 22 mm、質量 156 g の、人の手のひらに収まる小型の駆動部に、長さ 50 mm、質量 74 g の 2 関節を持つ 1 指を備え、変速比は 14.5 となった。動作実験では高速動作時には 372 %s で動き、最大指先力は 24.6 N であった。また、クラッチの隙間に相当するラックギヤと歯車の距離を、指関節がその全動作範囲でバックドライブ可能な距離とすることで衝撃を避けられるよう設計し、このとき変速に要した時間は 0.25 s となり、従来のロボットハンドと比較して高い性能を示している。

第 4 章「Gear-driven LRT」では、まずラックギヤによる高トルク駆動は、動作範囲が大きくなるとラックギヤの動作空間が大きくなり、肘や膝関節のような関節には適さないことを述べている。そこで通常回転式のギヤの歯の一部切り欠いた切り欠きギヤを用い、高速駆動時には接続を切った状態とできるが、負荷がかかると切り欠きギヤが回転して相方のギヤと接続されるクラッチ機構を提案している。このクラッチ機構ではギヤが噛み合う際にギヤの歯先同士が接触してしまうと、接触力が相方のギヤの回転軸の方向に向いてしまうため、ギヤが回転できず動けなくなることを指摘している。そこでこれを回避するために、切り欠きギヤを可動式のリンク機構で支持する方法を提案し、確実に接続するためのリンクと相方のギヤのなす角度の条件を明らかにし、実験により検証している。開発した関節機構は縦 77 mm、横 95 mm、厚み 58.5 mm、質量 650 g の、人の肘に収まる大きさで、変速比は 22.1 であった。ギヤの許容トルクで駆動した場合、高速動作時の最大角速度は 230 %s、高トルク駆動時のトルクは 4 Nm で動作範囲が 210 °となった。また、切り欠きギヤが相方のギヤと噛み合うまでの距離を、バックドライブが可能な角度範囲が 90 °となるように設計し、このとき変速にかかる時間は 1 s となり、従来の義手用に開発された肘関節と比較して高い性能を示している。

第 5 章「Research conclusion and future work」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題について述べている。

以上要するに本論文は、一つのモータによる駆動で負荷に感応して瞬間的に変速が行われ、高速動作状態では高いコンプライアンスを有する、ロボットのハンドや関節に利用可能な小型の変速機的设计方法を示し、試作と実験によりその性能を評価したものであり、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、我々は、本論文を博士（工学）の学位論文として十分価値があるものと認める。