学位授与年度	2026 年度	第　19　号

審 査 結 果 の 要 旨

審査委員会

審査員主査 博士後期課程 専　攻　長	大嶋　和彦
審　査　員	蔦森　秀夫
審　査　員	尾形　和哉
審　査　員	田中　淑晴
審　査　員	川福　基裕
審　査　員	井上　剛志

論文題目：　確動カム動作を利用した新しい減速原理による減速機の小形化に関する研究

申 請 者：　林　秀行　（課程博士）

審査要旨

今日、自動車や電子機器製造をはじめとする生産現場では、複数のサーボモータで構成される多軸ロボットが重用されているが、より高度な動作を実現させるために、ロボットの１関節部に対して３個のサーボモータを用いて、ロール、ピッチ、ヨー回転を同時に実現するような機構が求められている。このような要請に応えるために、サーボモータ自体の小型化が強く望まれている。

サーボモータは、DC モータ、減速機、サーボ機構の３種類の要素から構成されるが、サーボ機構は半導体素子の高集積化によって、DC モータは永久磁石の高性能化によって、それぞれ小形化が実現できている。減速機に関しては、単に小型化（小径化・薄型化）が求められるだけでなく、DC モータの小型化に伴う回転速度の高速化および出力トルクの低下に対応するために、これまで以上に高い減速比が求められる。

サーボモータに従来多用されている遊星歯車減速機、偏心揺動歯車減速機、波動歯車減速機では、小径化に関してはいずれの減速機も入れ子構造であることによって、薄型化に関しては個々に固有の問題によって、それらの小型化には限界がある。

本研究では、より小型で高い減速比を有する減速機を開発することを目的としており、上記３種類の代表的な減速機で採用されている歯と歯の噛み合いとは全く異なる、ピンと曲線溝、あるいはボールと曲線溝の相互作用による確動カム動作を利用した４種類の減速機構を提案している。

試作機を製作してトルク変動やトルク伝達効率などの動力伝達特性を計測し、従来減速機との対比で性能を評価した上で、実用化に向けての展望を述べている。

本論文は、これら一連の検討成果について、全６章から構成されている。

申請者〔　林　秀行　〕

第１章では、本研究の背景と目的、論文の構成が示されるとともに、既往の研究および本研究の位置づけについて述べられ、本論文の新規性および独創性が明確にされている。

第２章では、サイクロイダル遊星歯車減速機について述べられている。これは、遊星歯車減速機と偏心揺動歯車減速機の問題点を意識して、知育玩具であるスピログラフから減速動作の発想を得たものである。遊星歯車に設けた伝動ピンが、これに対向する出力板に彫られた滑りエピトロコイド曲線溝の壁面を押し出すという確動カム動作によって、単段での高い減速比と無振動を小型の減速機構で実現できることが説明されている。

減速機を試作して動力伝達特性を調査したところ、上記のねらいが十分に達成でき、無負荷損失トルクが既製品の遊星歯車減速機と同程度に低いことが確認された。その一方で、トルク変動が大きく、トルク伝達効率に改善の余地があることが今後の課題として明示されている。

第３章では、ハイポトロコイダル遊星歯車減速機について述べられている。これは、第２章で述べたサイクロイダル遊星歯車減速機の動力伝達特性の改善をねらいとして、出力板の溝曲線を滑りエピトロコイドから滑りハイポトロコイドに変更したものである。曲線溝の形状によって伝動ピンが曲線溝の壁面を押し出す効率がどのように変化するのかが詳細に説明されている。

減速機を試作して動力伝達特性を調査したところ、サイクロイダル遊星歯車減速機の小型で高減速比・無振動、低無負荷損失トルクといった利点はそのままに、トルク変動とトルク伝達効率を既製品の遊星歯車減速機と同程度にまで向上できることが明らかにされている。

第４章では、エリアシング式減速機について述べられている。これは、第２章と第３章で述べたサイクロイダル遊星歯車減速機・ハイポトロコイダル遊星歯車減速機に対して、本体のさらなる薄型化を目指したものであり、標本化定理におけるエリアシング現象から減速動作の発想を得たものである。２枚の円板状部品のそれぞれに彫られている周期数の異なる正弦波形状の曲線溝とこれらに挟まれる複数のベアリングボールとの板カム動作によって、単段での高い減速比と無振動を小型の減速機構で実現できることが説明されている。

減速機を試作して動力伝達特性を調査したところ、上記のねらいが十分に達成できていることに加えて、トルク変動と無負荷損失トルクが既製品の遊星歯車減速機と同程度に低いことが確認された。その一方で、ベアリングボールと溝との間で発生する差動滑りによる摩擦に起因して、トルク伝達効率が 70％と必ずしも満足できる値ではないことが今後の課題として明示されている。

第５章では、スライダ減速機について述べられている。これは、波動歯車減速機の短所である厚型構造の解消を意識したものであり、エリアシング式減速機の２種類の溝が入力部とステータの正弦波形状の歯形に、ベアリングボールが棒状のスライダにそれぞれ置き換わった構造となっている。エリアシング式減速機と同じ減速動作を採用することで、波動歯車減速機における弾性変形を回避しつつ、より薄型で同等の高減速比を実現できることが説明されている。

減速機を試作して動力伝達特性を調査したところ、上記のねらいが十分に達成できていることに加えて、無負荷損失トルクが既製品の波動歯車減速機と同程度に低いことが確認された。その一方で、スライダとスライダ溝の間で発生する摺動摩擦に起因して、トルク変動が大きく、トルク伝達効率も 37％と非常に低いことが今後の課題として明示されている。

第６章では、結論として本研究の成果がまとめられ、今後の課題と展望が述べられている。

以上のように、本論文は、近年のサーボモータに対する要請に応じることを目的として、従来重用されている代表的な３種類の減速機に比較して、本体のさらなる小型化および高減速比を実現する減速機の開発について論じられたものである。本論文においては、４種類の減速機について説明がなされているが、それらはすべて本論文に纏めることに先立って特許を取得しており、その新規性と独創性については担保されているものと考えられる。

本研究成果は、日本機械学会論文集に２編掲載されており、うち１件は日本機械学会の 2023 年論文アクセスランキングで第２位となるなど高い評価を受けている。また、このことに起因して、日刊工業新聞社より執筆依頼を受け、機械設計誌に解説記事を１件寄稿している。さらに、精密工学会より依頼を受け、その内容に関する講演を行っている。

よって、申請者である林秀行氏は大同大学博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有すると判定する。