

平成 31年 1月 11日

機械工 学専攻	学籍番号 第 123144 号	指導教員	内山直樹 章忠
氏名	櫻庭崇紘		

論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	ぜんまいによるブレーキ回生機構の設計と制御
---------	-----------------------

(要旨 1,200 字程度)

1. 緒言

世界的な人口増加や工業化によりエネルギー需要が高まり、資源枯渇や環境問題への懸念から一層の省エネルギー技術が望まれている。省エネルギー技術の一つにエネルギー回生があり、モータとバッテリーによる回生機構がハイブリッド自動車に広く応用されているが、製造廃棄時におけるコストや環境負荷が大きく、回生率もそれほど高くないという問題がある。

エネルギー貯蔵に弾性材料を用いた機械式の回生機構に関する研究事例が存在し、従来のモータとバッテリーによる回生機構と比較して高い回生率を有することが報告されている。また、バネ等の弾性材料にはステンレス鋼などの鉄鋼材料が使用されるため、環境負荷やリサイクルにおいても優位性が高い。本研究ではエネルギー貯蔵材料としてぜんまいを用いることに焦点を当てる。

ぜんまいによるブレーキ回生機構は単純な移動装置への応用も考えられる。ガントリーローダのような加減速を繰り返す搬送装置は、自動車と比較し移動質量が大きくないため回生可能なエネルギーが相対的に小さいが、提案機構により効率的にエネルギーを回収できる。

本研究では、ぜんまいによるブレーキ回生機構を製作し、移動消費エネルギーの低減効果を調査した。また、移動装置への応用のための制御系設計や、回生率向上のための機構改良を実施した。

2. 機構設計

移動装置の駆動軸は加速時と減速時に同一方向に回転するが、ぜんまいはエネルギーの貯蔵時と放出時で回転方向が反対となるため、提案機構には任意のタイミングで回転方向を逆転可能な伝達機構が必要となる。本研究では電磁クラッチを用いた機構、磁力歯車を用いた機構、遊星歯車機構を用いた機構を製作し、回生率や省エネルギー効果を調査した。

3. 制御系設計

提案機構にはぜんまいやモータが搭載されているが、ぜんまいは常に一定トルクを出力するため移動アシストとして使用され、正確な移動制御にはモータの制御が必要となる。本研究では一般的なPID制御に外乱オブザーバを組み合わせた制御系を提案し、目標速度軌道への追従性能を調査した。

4. 結言

本研究で製作した回転逆転機構は意図した動作が確認されたが、電磁クラッチを用いた機構はブレーキ回生時において常に電力を消費するため、エネルギー回生による省エネルギー効果が相殺された。しかし、定常的な電力を消費しない機構に変更した場合、38.9%の移動消費エネルギー削減の可能性が確認された。歯車を用いた機構では定常的に電力を消費せずにブレーキ回生を実施可能であり、遊星歯車機構を用いた回生機構は回生率が46.6%である。

PID制御に外乱オブザーバを組み合わせた提案制御法は、PID制御のみと比較し目標速度軌道への追従性能が28.3%向上した。

本研究により高い省エネルギー効果が期待できるぜんまいによるブレーキ回生機構の実現可能性が確認されたため、ガントリーローダのような実際の搬送装置への応用が今後の課題である。

Date of Submission (month day, year) : January 11, 2019

Department Mechanical Engineering	Student ID Number D123144	Supervisors Naoki Uchiyama Chu Syou
Applicant's name Takahiro Sakuraba		

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Design and control of a regenerative brake mechanism with a spiral spring
-----------------	---

Approx. 800 words

1. Introduction

Energy demand has been increasing due to worldwide population growth and industrialization, and further energy saving technologies are required due to the depletion of fossil fuels and environmental problems. Energy regeneration is one of approaches for energy saving, and a regenerative brake mechanism using a motor and a battery is widely applied to hybrid vehicles. However, costs and environmental burden are heavy in manufacturing and disposal, and the regenerative ratio is not sufficient.

There exist several studies on a mechanical regenerative brake mechanism using elastic materials for energy storing. It is reported that these mechanisms have higher regenerative ratio than conventional one using a motor and a battery. In addition, steel materials such as stainless steel are used for elastic materials such as spring. Elastic materials have high superiority in environmental burden or recycling. This study focus on a spiral spring for energy storage.

It is considered that applying a regenerative brake mechanism with a spiral spring to simple motion machines. The moving mass of transferring machines such as a gantry loader that repeats acceleration and deceleration is small compared with automobiles, therefore the regenerated energy is relatively small. However, the small energy can be stored effectively by the proposed mechanism, which is expected to provide a high regenerative ratio.

An experimental system that has a regenerative brake mechanism with a spiral spring is developed, and the effectiveness for energy saving is investigated. In addition, a controller for applying to moving machines and a mechanical mechanism for improving a regenerative ratio are implemented.

2. Mechanical design

The rotational direction of spiral spring is opposite between acceleration and deceleration although the output shaft of moving machines rotates only one direction. Therefore, transmission that can reverse the rotational direction is required in the proposed mechanism. Transmission systems with electromagnetic clutch, magnetic gears and planetary gear mechanisms are developed, and the regenerative ratio and effectiveness of energy saving are investigated.

3. Controller design

A spiral spring and a motor are installed in the proposed mechanism. Because the spiral spring outputs constant torque, motor control is required for accurate motion. A control method combined a typical PID controller and a disturbance observer is proposed, and its tracking performance is experimentally investigated.

4. Conclusion

The intended motion of the proposed mechanism for reversal rotational direction is achieved. However, electric energy is consumed in a regenerative brake for the electromagnetic clutch, and the regeneration efficiency is reduced. If the proposed system is assumed not to consume such electric energy, a possibility of 38.9% reduction of consumed energy is confirmed. The mechanisms with gears can implement a regenerative brake without consuming such electric energy, and the regenerative ratio of the mechanism with planetary gear mechanisms is increased to 46.6%.

The proposed controller combined a typical PID controller and a disturbance observer improves 28.3% of the tracking performance, compared to a PID controller without a disturbance observer.

In this research, a feasibility of the regenerative brake mechanism with a spiral spring, which is expected high effect of energy saving, is confirmed, and therefore applying to an actual transferring machine such as a gantry loader is left for future work.