

「論文の内容の要旨」

論文題目：モンハナシャコの打撃動作を規範とした高速打撃機構

伊藤 文臣

本博士学位請求論文（以下、本論文とする.）では、モンハンシャコの打撃動作を規範とした高速打撃機構に関して、打撃における発生力を強化するための外骨格の弾性要素の設計論について論じるものである。

ソフトアクチュエータは、高いコンプライアンス特性を有することから、極限環境への適応性や人間との親和性の高さから、ロボット機構への応用が期待されている。しかしながら、アクチュエータが柔軟であるため、弾性エネルギーの蓄積と解放が難しく、高速動作の実現とそれに伴う大きな発生力の実現が困難であった。そこで、本論文では、モンハンシャコの打撃動作を規範として外骨格の弾性要素を取り入れた打撃機構について記述している。

本論文では、はじめに、モンハンシャコにみられる回転方向と並進方向に作用する弾性要素と筋肉要素による発生力の相互作用について着目し、2種類の弾性要素と筋肉用としてのソフトアクチュエータをもとにした打撃機構のモデル構築について記述している。次に、弾性要素に対する弾性エネルギーの蓄積と解放に要する時間を最短化し、打撃における発生力を最大化するための2種類の弾性要素に関する設計手法について記述されている。

さらに、本論文では、モンハンシャコと一般的なプーリ回転機構や他のシャコとの、打撃動作や打撃速度の違いに着目し、楕円回転打撃機構を提案している。この機構について、弾性エネルギーの蓄積と解放、水の抵抗による運動エネルギーの損失の観点から、打撃における発生力を強化するために、アーム先端が楕円回転する機構の設計論について記述されている。

最後に、モンハンシャコの打撃動作を規範として、打撃箇所のみでキャビテーションを発生する打撃機構の設計論について記述されている。開発された打撃機構では、打撃箇所のみでキャビテーションを発生し、ハイスピードカメラにより同期された状態で、打撃における発生力が計測され、モンハンシャコにおけるキャビテーション発生と同様に、ロボット機構においてもキャビテーションの発生により、打撃における発生力が強化されることが示されている。

本研究において報告されている主要な成果は、以下の3つである。(1)モンハンシャコにみられる回転方向と並進方向に作用する2種類の弾性要素とアクチュエータを含めた機構の設計論について記述されていること。(2)モンハンシャコの打撃動作を規範とし、弾性エネルギーを大きく蓄積でき、水の抵抗による運動エネルギーの損失を小さく軽減する楕円回転機構に関する設計手法について記述されていること。(3)モンハンシャコの打撃動作を規範とした打撃機構により、打撃箇所のみでキャビテーションを発生することで、打撃における発生力を強化する機構に関する設計論について記述していること。

「論文審査の結果の要旨」

論文題目：モンハナシャコの打撃動作を規範とした高速打撃機構

伊藤 文臣

I. 論文の主題

モンハナシャコの打撃動作を規範とした高速打撃機構

Fast striking mechanism based on the striking motion of a mantis shrimp.

II. 当該研究分野における位置づけ

本研究では、生物のように柔軟なアクチュエータの拮抗動作と高速動作にともなう発生力を強化するロボット機構に関する設計論構築を目的としている。現在、極限環境への適応性や人間との親和性の高さから、柔軟なアクチュエータを有するソフトロボットに注目が集まる。しかしながら、ソフトロボットはコンプライアンスの高さからエネルギーの蓄積と解放が難しく、高速動作とそれに伴う発生力の強化が難しかった。

そこで、本論文では、モンハナシャコの打撃動作に着目した高速打撃機構の設計論について記述している。この機構では、柔軟なアクチュエータと外骨格機構の複合的な発生力を規範とすることで、柔軟なアクチュエータによる拮抗駆動と弾性エネルギーの蓄積と解放を実現し、それにとともなう発生力を強化する機構を開発した。

III. 論文の構成（目次と各章の概要）

“第1章：序論”。ソフトロボットによる高速動作における実現に関する課題と他研究との比較について記述しており、モンハナシャコの打撃動作を規範とした高速打撃機構の設計論構築の重要性について論じている。

“第2章：モンハナシャコの打撃動作を規範とした打撃機構”。他のロボット機構との比較をもとに、モンハナシャコの弾性機構について記述している。また、モンハナシャコの弾性機構を取り入れたソフトアクチュエータの拮抗機構について記述している。

“第3章：2種類の弾性要素に着目したシャコ規範型打撃機構モデルの構築”。並進方向と回転方向に作用する2種類の弾性要素とソフトアクチュエータの複合力を利用するモンハナシャコ規範型高速打撃機構について、打撃モデル構築とそれを基にしたシミュレーションと実験について論じている。

“第4章：2種類の弾性要素に関する打撃速度とアームの屈伸に関する設計”。アームの屈伸に要する時間を最短化し、打撃における発生力を最大化するためのアーム速度の最大化に関して、ソフトアクチュエータとの複合力を発生する並進方向と回転方向に作用する2種類の弾性要素の設計論について記述している。

“第5章：エネルギー蓄積と損失低下のための楕円回転機構”。他のシャコや一般的な回転機構とは異なり、モンハナシャコのアーム先端の軌跡が楕円回転することに着目し、高い弾

性エネルギーの蓄積・解放と水の抵抗によるエネルギー損失の軽減を可能にする高速打撃機構の設計論について記述している。

“第6章：キャビテーションにより打撃効果を強化可能な機構の開発”。

打撃箇所のみでキャビテーションを発生するモンハナシャコの弾性設計に着目し、打撃箇所のみで、キャビテーションを発生し、打撃における発生力を強化可能な機構の設計手法とシミュレーションと実験の結果について記述している。

“第7章：結論”。本論文の要約を示し、今後の研究課題を記述した。

IV. 論文の独自性や成果

論文の独自性として以下の点があげられる。

- ・高いコンプライアンスを有するソフトアクチュエータによる拮抗駆動と外骨格の弾性要素を規範とした高速動作の両方を単一の機構により実現するため、モンハンシャコの打撃機構に関してアクチュエータを含めた外骨格の弾性要素に関する設計論について記述していること。
- ・水中において高速動作するシャコの種類に着目し、モンハンシャコの楕円回転する打撃機構について、エネルギーの蓄積と解放、水の抵抗の軽減の観点から、ロボット機構として応用するための設計論について記述したこと。
- ・打撃における発生力を強化するため、モンハンシャコの打撃動作を規範として、打撃箇所のみでキャビテーションを発生する打撃機構に関する設計論について記述したこと。

以上よりその成果を以下に示す。

- ・並進方向と回転方向に作用する弾性要素とアクチュエータの複合的な発生力をもとにして、アームの屈伸に要する時間を最短化し、アームの打撃における発生力を最大化するためのアーム速度を最大化する弾性要素に関する設計論が構築され、打撃における発生力の強化に、2種類の弾性要素が貢献するメカニズムについて明らかとした。
- ・アーム先端が楕円軌跡となる打撃機構について、従来打撃機構との比較をもとにして、筋肉要素により弾性要素に蓄積可能な弾性エネルギーを大きくでき、水の抵抗によるアームの運動エネルギー損失を軽減できる機構に関する設計論が構築された。
- ・モンハンシャコの打撃動作を規範とした打撃機構により、打撃箇所のみでキャビテーションを発生可能な機構に関する設計論が構築され、実機実験において、モンハンシャコの打撃と同様にロボット機構においても打撃箇所のみで、キャビテーションが発生し、発生力が強化されることが分かった。

V. 論文の課題

本論文で構築した設計論をもとに、高速動作をするロボットとして応用することで、モンハンシャコの打撃機構の有用性について、実用性の高い段階で示すことが可能になる。

さらに、キャビテーションにより生じる2連続の発生力が打撃対象物に与える影響につい

て、物理現象をもとに解明する必要がある。

IV. 論文の評価

従来の研究では弾性要素と筋肉要素の複合的な発生力に着目していない。本論文では、モンハナシャコの打撃機構に関する設計論に関して弾性要素と筋肉要素の複合的な発生力を考慮して、モデル化、シミュレーション、実機開発、実験と評価を通して、機構の有効性を示した点は大いに評価できる。また提案されている機構は、水中・空中など異なる環境においても打撃における発生力を強化することが示されていることから、ロボットの機構として応用されることに期待できる。

以上より、本論文は博士(工学)の学位を授与する十分な水準に達しているものと評価する。