

パワー増幅ロボットにおける操作者への過負荷を排除する機構設計

Mechanism Design for Eliminating Overloading on Operator for Power Amplification Robot

城 垣 内 剛*
Go Shirogauchi

高出力なロボットアームを人間の四肢の動きに追従させることにより、あたかも人間の力が数百倍に増幅されたかのような感覚で、人間単体では不可能な重作業を可能にするパワー増幅ロボット（パワーローダー）の開発を行っている。本ロボットは、人間では扱えない重量物を持ち上げるために、機構設計段階で操作者に対して過負荷がかからないよう配慮した。

We are developing a Power Amplification Robot (Power Loader) which will perform the hard labor that a human being cannot do by having a high-output robot arm follow the movement of human limbs. This robot will lift loads which are too heavy for a human being to lift. So we gave consideration to eliminating overloading on the operator.

1. パワー増幅ロボット

建築・土木分野のような重作業が伴う作業現場においては、作業員の肉体的負担を軽減することにより作業全体の効率化を図り、工期短縮につなげたいというニーズが潜在的に存在している。そこで、筆者らは、人間の関節構造とは異なる構造をもちながら、人間の四肢の動作に追従することができる腕と脚をもったパワー増幅ロボット（パワーローダー）の開発を進めている（第1図）。



第1図 パワーローダー
Fig. 1 Power loader

1.1 パワーローダーの基本構成

パワーローダーは、腕と脚をもち、それぞれの操作部に搭載された6軸力センサーと、制御系を実現するための

コンピュータ、モータ駆動用のサーボアンプなどから構成されている。

重量物を拾い上げる動作のために、腕は左右独立に3次元的な動作が可能である。重量物を把持するときに、さまざまな角度からアプローチできるよう、腕の先端に装備されたハンドは左右ともに、手首を中心に上下方向に回転、また前後軸を中心にした回転（ねじり動作）が可能になっている。脚は、操作者の脚の動きに追従するため、付け根部分を中心に前後・上下・左右に動作が可能である。

1.2 ハードウェア設計上の課題

本ロボットは、人間では支えられない重量物を扱うことを前提としているため、操作者に過負荷がかからない構造でなくてはならない。操作者にかかる過負荷は、重量物を扱うことによる予測可能な過負荷と、機械的な故障や制御ソフトウェアのバグなどに起因する、予測不可能な過負荷が考えられる。

予測可能な過負荷を取り除く方法として、重量物の荷重が直接、操作者にかからない構造にする必要がある。したがって、ハンドでつかんだ重量物の荷重はロボットの腕、胴、脚で支えなければならない。加えて、ロボットはロボット自身の重量と操作者の体重も同時に支える必要がある。さらに、歩行時には脚を伸長した状態で、上記全重量を立脚のみで支えなければならない。しかし、単純に減速比を大きく取ってモータの負荷を軽くすると、負荷がかかっていない遊脚の応答性が悪化する。この問題を解決するために、脚のリンク構造を工夫した。

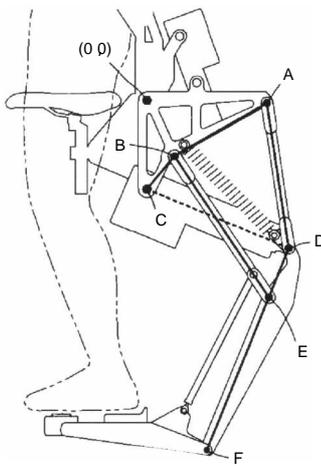
また、操作者は、高出力で動作するロボットに直接触れて動作させる。これによって、操作者は自分の操作に対するロボットの挙動を感じ、直感的な操作が可能になるが、予測不可能な要因によって、万が一、ロボットから人間に対して過剰な力がフィードバックされた場合の、過負荷に対する安全上の配慮も重要である。この問題に

* アクティブリンク（株）
Activelink Co., Ltd.

対応するための一例として、手首の操作部にメカヒューズの適用を試みた。

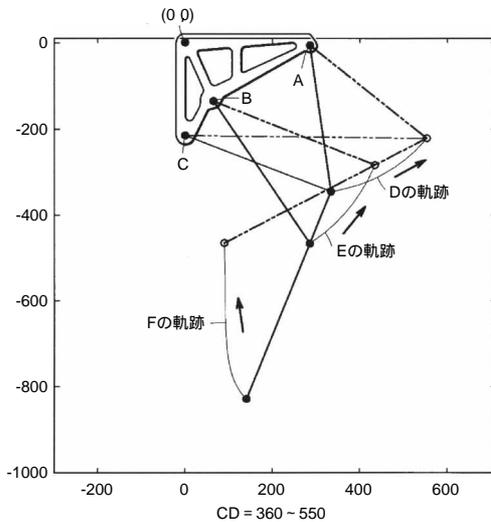
2. 脚の構造

脚は荷重を支えながら、操作者自身の脚部との干渉を避けるため、人間の関節構造とは大きく異なるリンク構造を採っている。第2図に、この模式図を示す。(0,0)は便宜上の原点、A、B、C、D、Eは各リンクの関節、Fは作用点、CD間の点線はアクチュエータを表している。



第2図 パワーローダーの脚
Fig. 2 Legs of Power Loader

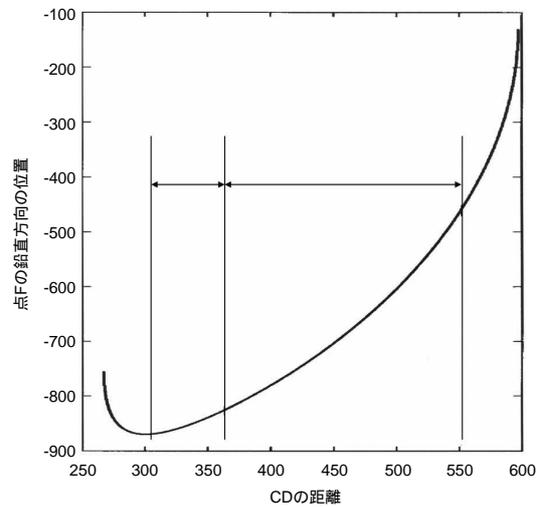
アクチュエータCDが伸長したときのFの軌跡は、第3図のようになる。



第3図 脚の軌跡
Fig. 3 Locus of leg

さらに、このときのアクチュエータCDの長さでF点の鉛直方向の位置との関係を、第4図に示す。

このリンク形状は、操作者の脚が伸びている姿勢をとった場合、この近傍で鉛直方向の変異量が小さくなり（第4図： ）、この姿勢では重量物の荷重や、操作者の体重、ロボット自身の重量などの重力による影響がモータに伝わりにくい。さらに、操作者が脚を曲げると、鉛直方向の変異量が大きくなり、すばやく動作させることが可能となる（第4図： ）。したがって、歩行時の立脚のモータ負荷低減と遊脚の応答性を同時に確保することができる。これにより、応答性を損なうことなく、操作者に重量物の荷重をかけない構造を実現している。

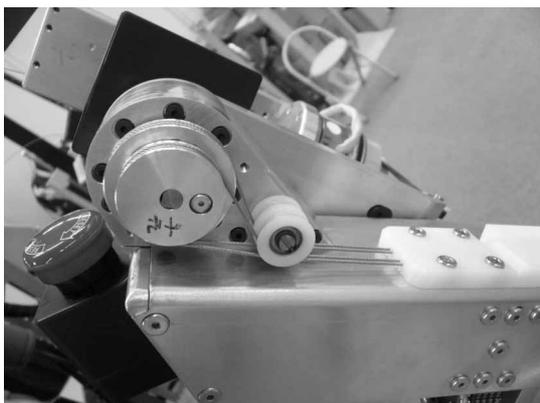


第4図 CDの距離と点Fの関係
Fig. 4 Relations of distance CD and point F

3. メカヒューズ

本ロボットでは、予測不可能な過負荷から操作者の安全を確保するために、一定以上の荷重がかかると破断する構造（メカヒューズ）を一部に採用している（第5図）。

第5図は、パワーローダーの手首の動作を操作部のグリップの動作に機械的にフィードバックさせるためのプーリーとワイヤーである。このワイヤーの強度を適切に選択することによって、操作者の手首に危険な荷重がかかるまえにワイヤーが断裂する構造を作ることができ、操作者を手首の腱裂傷や、脱臼、骨折から守ることが可能となる。



第5図 メカヒューズ (操作部グリップ外側)

Fig. 5 Mechanical fuse (outside of controller grip)

4. 動向と展望

本ロボットは、未だ機能検証用の試作機に過ぎないが、今後の実証実験により、これらの機構設計の具体的な効果などを検証し、次回の開発に盛り込むことにより、早期の実用化を目指す。

建築・土木分野からの実用化を想定しているが、災害救助などでも活躍が期待されている。今後は、より広い分野への適用も考慮しながら、実用化開発を進めていく。

会社紹介

アクティブリンク株式会社

設立：2003年 社長：藤本弘道

事業内容：ロボット技術をベースとした新規事業開拓・R&D受託開発事業

ビジョン：パワーアシスト技術で人と機械の新しい関係の創造を目指す。

URL：<http://psuf.panasonic.co.jp/alc/company/>