

重負荷作業を解消する直感操作型運搬補助システムの開発(第2報)

坂東 直行 久富 茂樹

Development of an intuitive operation type transport assist system for eliminating heavy load work

Naoyuki BANDO Shigeki KUDOMI

あらまし 身体的負担なく荷揚げ・荷下げ作業できるシステムの実現を目指し、人の直感的な操作感覚を確保しつつ、電動モータにより重量物を昇降する装置の開発状況を報告した。

今年度の試作では、機械機構では昨年度の試作で問題となった騒音が軽減した。ハンドコントローラは無線方式を採用することで、揚げ下げする荷物の大きさによらず操作でき、安全装置としても利用できるスタイルを提案した。駆動回路においては、緩やかに加速・減速できる制御系を構成することで、繊細な操作を可能とした。

今後は、ハンドコントローラの小型化、駆動回路の動作特性の改善を図る予定である。

キーワード ホイスト、不思議遊星歯車、薄膜式ポテンシオメータ、制御系設計

1. はじめに

1. 1 背景

多くの産業には、荷揚げ・荷下げ作業を労働者自身の力で行う状況が残されている。このような作業が頻繁にある仕事は身体的負担が大きいため、労働者は男性が大半を占めてきた。しかし、高齢化する社会への対応や、女性が活躍する場を広げるうえで、このような状況は改善されるべきといえる。

そこで当研究所では昨年度から、身体的負担なく荷揚げ・荷下げ作業ができる装置の開発を行っている^[1]。

本稿では、これまでの開発状況について報告する。

1. 2 開発のねらい

荷揚げ・荷下げ作業を行う装置は、持ち上げる力・下ろす際に荷物を支える力の発揮を、装置が担うものと人と装置で分担するものに分けられる。前者はホイストが該当し、後者にはバランスアームやパワーアシストスーツが挙げられる。

パワーアシストスーツは、アシスト力を発揮するための動力を有するものと、伸び縮みする材質の弾性特性を利用するものに分けられる。パワーアシストスーツの利点は作業者自身が装着することで作業環境を選ばず利用できることにある。しかし前者タイプの場合、装着が面倒、装置の存在が作業の邪魔になる、装置自体の重さがネックとなり長時間作業すると逆に身体的負担が増える、人の動作と装置の動作に不整合がある場合逆に負担を増大させるなど課題が残されている。後者の場合、材質の特性を利用しているため、作業者の姿勢維持が主たる目

的となり、荷揚げ・荷下げへの力軽減の面では効果は望めない。

一方、バランスアームは作業環境に設置し、リンクとカウンターバランスによりシーソーの原理で荷揚げ・荷下げする対象物の重さを相殺することで作業者の負担を軽減する装置である。カウンターバランスの選び方によって人手で運ぶには重いものにも対応でき、荷揚げ・荷下げのみでなく荷の横移動も可能であるが、装置の構造上比較的広い作業環境を必要とし、適用できる作業の種類は多くない。

ホイストはモータによって吊り下げワイヤーやチェーンを巻取りもしくは繰り出し、荷揚げ・荷下げする装置である。モータの出力を選ぶことで、様々な対象物に適用できる。現在のところ人の手では持ち上げることが困難な重量物を運ぶシーンで主に利用されている。

ホイストはその構造から人手で持ち上げることが可能な程度の比較的軽いものであっても利用できるものである。しかし実際は、そういった荷の揚げ下げは人手に依ることが多い。これは、現在のホイストの動作特性と使い勝手に都合の悪い面があり、ホイストを利用することによる作業の負担軽減よりも自らの身体を使うことによる身体感覚と作業フィードバックが結びついた状況のほうが好ましいとユーザが判断するためと考える。

本来ホイストを利用できるにもかかわらずユーザが利用しない状況は、動作特性や使い勝手を改善することで解消できると思われる。そこで本開発ではホイストのモータで荷物を持ち上げるという発想はそのままに、より使いやすくするために、駆動装置とコントローラを作る。

2. 装置の構造と特徴

本研究で開発している装置は本体装置とハンドコントローラで構成され、本体装置は機械機構と駆動回路で構成される。以下に、それぞれの構造と特徴について述べる。

2. 1 本体装置（機械機構）

図1に本年度開発した本体装置を示す。これは動力源であるモータと減速機、荷を吊り下げるチェーンとそれを巻き上げるホイールで構成される機械機構と駆動回路によって構成される。同様の機構は電動ホイス্টに見られるが、そこでは静止中に自重によって荷物が下がらないように電磁ブレーキが備え付けられている。対して本装置では、ブレーキ機能を電磁ブレーキのように部品で構成するのではなく、減速機として用いる歯車機構の特性で実現することで省スペース、省部品化、軽量化を図っている。

歯車機構によるブレーキ機能は、ある種の歯車機構が持つセルフロック特性を利用している。セルフロック特性を持つ歯車機構としては、ねじ歯車とそれと対となるウォームホイールで構成されるウォーム歯車機構があるが、この機構の場合、ねじ歯車の回転軸に対しウォームホイールの回転軸が一致しないため、省スペース化を図るうえで不利である。また、ウォーム歯車機構のセルフロック特性は歯車の歯面の摩擦特性と関連するため、確実な動作を保証するのが難しい。そこで本装置では、同じくセルフロック特性をもつ歯車機構として知られている不思議遊星歯車機構を採用している。不思議遊星歯車機構は遊星歯車機構の一種で、太陽歯車と遊星歯車および歯数の異なる2つの内歯車によって構成される。内歯車のひとつを固定し、太陽歯車を回転させると、他方の内歯車が回転する。逆に内歯車から太陽歯車を回転させようとした場合は、これを妨げる力が歯車に働きセルフロックが起こる。

昨年度は、NC切削による簡易な加工方法で歯車を製作したため加工精度が低く、駆動時の騒音が問題となっていた。また、小型の歯車を製作することが難しく、歯車機構のサイズが大きくなってしまった。そこで今年の試作では加工方法を検討することで歯車の精度を上げるとともに、ダウンサイジングを試みた。その結果、騒音は一般的なホイス্টの駆動音と同等まで軽減した。サイズも前年比で42%の小型化に成功した。

チェーンの巻き上げ機構は、昨年度は簡易なドラム巻取り式を採用していたが、チェーンにはなじまない方式であったため、チェーンの形に彫った穴を側面にもつチェーンホイールで荷重を支持しつつ、巻取り・繰り出しをおこなう方式に変更した。これによりドラムが不要となりサイズダウンにつながるとともに、チェーンの長さ制限がなくなった。

完成した本体装置のサイズは、幅300mm、奥行き

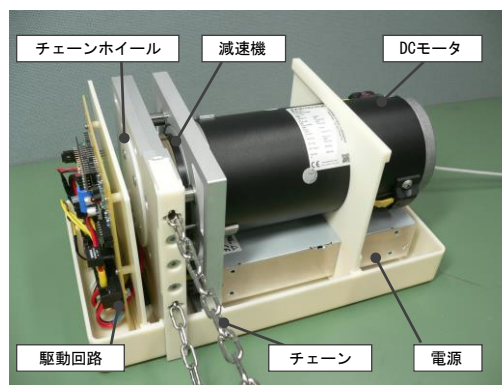


図1 本体装置

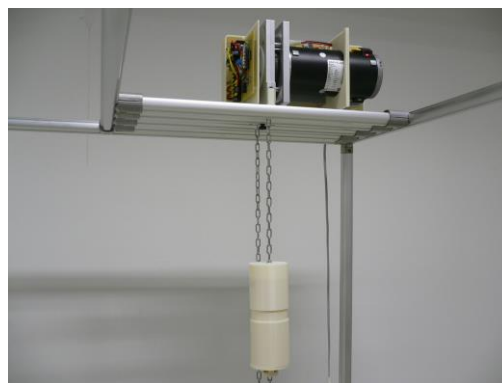
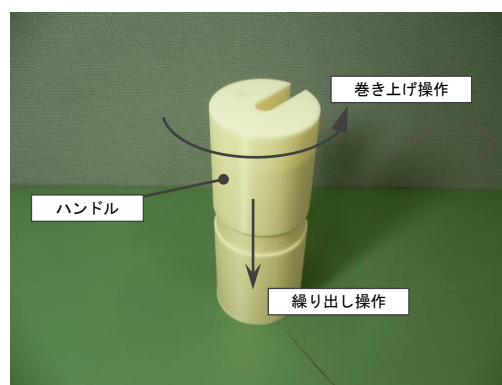


図2 ハンドコントローラ

160mm、高さ160mm、重量は7.5kgとなった。

2. 2 ハンドコントローラ

ユーザが装置を操作するハンドコントローラは、人の直感的な操作をサポートしつつ、安全確実に動作するスタイルを探索している。

本年度は初期試作として、図2に示す形状を試作した。コントローラは、円筒形状の本体に、同じく円筒形状のハンドル部がかぶさる形となっており、ハンドル操作は円筒軸状をスライドさせる方向と、軸回りに捻る方向に可能となっている。また、円筒中央部には空間が設けられており、ここにチェーンを通して固定できる。コントローラはチェーンから脱着可能なように、中央部から側面に向かいスリットを設けている。

本研究において直感的な操作とは、荷を上げ下げする

際の人の自然な動作によって装置が動くこととしている。よってハンドルの操作は、荷を上には上げたいときは上にハンドルをスライドさせ、下に下げたいときは下にハンドルをスライドさせるのが直感的である。この動きを実現するには、コントローラにはハンドルから手をはなした際に中立位置に戻る機構が必要となる。それにはバネを使うのがシンプルであるが、中立位置から離れた位置でハンドルから手を離してしまうと、バネの特性によりハンドルが中立点付近で振動的に動いてしまうことが懸念される。そこで今回の試作では、そのような振動が生じないように、荷の上昇と下降の操作を、円筒ハンドルの回転とスライドというモードの異なる操作に割り当てたコントローラを試してみることにした。

なお、コントローラは本体装置からは独立しており、操作信号は無線により本体装置に送られる。これにより、持ち上げるものが大きくチェーンまで手が届かない場合にも操作可能にしている。また、コントローラの数容易に増やすことができる。ここで仮にチェーンに固定したコントローラとは別のコントローラによってチェーンが巻き上げた場合、チェーンに固定されたコントローラが本体装置等に触れた際にはチェーンを繰り出す信号が送られるため、安全装置としても機能する。

本試作ではハンドルの回転操作に違和感がないようチェーンを回転中心とした。しかしハンドルの回転中心にはチェーンを通すための空間が設けられているため回転式センサを配置することができない。そこで、コントローラの円筒部内側に薄膜式のポテンショメータを貼り付け回転位置に相当する抵抗を測定することで、回転位置を得る構造とした。図3に、コントローラ内部を示す。

試作したコントローラは、センサを内部に収めるためのサイズが必要であったため人が片手で操作するには、サイズが大きくなってしまった。また、微妙な位置決めをするために巻き上げと繰り出しを連続して行う際、ハンドル操作のモードが異なるため不自然な操作感覚となり、慣れでは解消しなかった。

今後は、サイズダウンを検討するとともに、ハンドル操作を軸方向スライドのみとしつつ確実に動作する構造を考案する必要がある。

2. 3 本体装置（駆動回路）

ユーザがハンドコントローラに対して行った操作は、無線によって本体装置の駆動回路に送られる。駆動回路は受信した信号に基づいてモータを駆動する。

一般的なホイストは速度が一定でオン・オフするものであり、スイッチを押すと瞬刻間にその速度になる。また離すと同時に電磁ブレーキが作用し、回転体が瞬時に止まる。この動作により、動作開始時と停止時に大きな加速度が生じる。何度もボタン操作を繰り返しパルス状の加速度が生じるとモータの慣性により、ホイストを設置している構造体を揺らす。このため繊細な操作には向かず、荷にも衝撃的な力に屈しない剛性が必要となる。

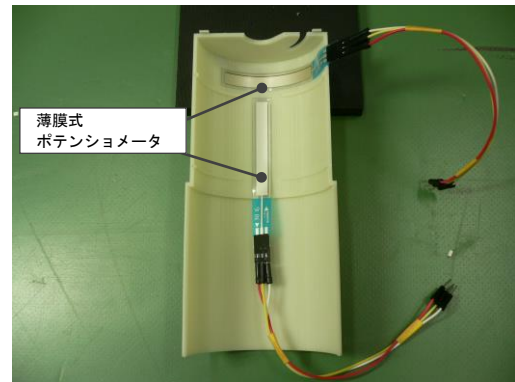


図3 コントローラ内部

また、巻き上げ・繰り出し速度が一定で、比較的にはやく設定されているため、細かな位置に調整することが難しい。これらがホイストの適用範囲を狭めている原因のひとつと考えている。

そこで、本研究では駆動回路にマイコンを組み込み、緩やかに加速・減速する制御系を構成している。

本年度の試作では、ハンドコントローラのセンサ信号をそのままモータの制御信号に変換する単純な制御系を構成し動作を検証した。その結果、無線通信操作による僅かな時間遅れや、主軸の慣性により駆動・停止する際の反応が悪いなど、無駄時間と応答性の低さが見られた。このため細かな位置決めをする操作は可能であるが難しく、狙った使い勝手を得られていない。

今後は、本システムに組み込み可能な補償制御を検討し、動作特性の改善する必要がある。

3. まとめ

身体的負担なく荷揚げ・荷下げ作業できるシステムの実現を目指し、人の直感的な操作感覚を確保しつつ、電動モータにより重量物を昇降する装置の開発状況を報告した。

今年度の試作では、機械機構では昨年度の試作で問題となった騒音が軽減した。ハンドコントローラは無線方式を採用することで、揚げ下げする荷物の大きさによらず操作でき、安全装置としても利用できるスタイルを提案した。駆動回路においては、緩やかに加速・減速できる制御系を構成することで、繊細な操作を可能とした。

今後は、ハンドコントローラの小型化、駆動回路の動作特性の改善を図る予定である。

文 献

- [1] 坂東直行, 久富茂樹, “重負荷作業を解消する直感操作型運搬補助システムの開発 (第1報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, pp.54-55, 2017.