

ハンドリング荷重を自動多段調整可能な機械式自重補償上腕アシスト装具

法政大学 ○山田泰之\*

機構 アシストデバイス 機械式自重補償 荷役機械

研究の目的

機械化が困難で、人の手による作業を必要とする現場にて、労働負担を軽減する装着型アシスト装置のために、作業時は必要十分なアシスト力を発揮し、非作業時は、アシスト力を発生せず、通常動作を妨げない自動多段調整可能な機械式自重補償装置の開発と、その上腕アシスト装置での機能確認を目的とする。

研究の内容

全員参加型社会が国の1つの方針でもある。より幅広い身体的な特徴の人々が活躍するためには、作業の省力化や効率化だけでなく、身体的な特徴差を埋める身体アシスト装置も重要である。著者らもこれまで、身体アシスト装置として、上腕を上げたまま行う、いわゆる上向き作業を補助することを目的とした図1の TasKi を開発してきた。約2~4 kgの自重がある腕を、ばねの弾性力と自重を釣り合わせる機械式自重補償機構を用いて補助する。これまで機械式自重補償機構と平行リンクを組み合わせて、腕の動きに追従しながら補助するために、必要なリンク数や補助力を検討してきた。一方で、上向き作業とひとくくりにしても、道具をとる動作や、作業現場を移動する際は、腕をおろす必要があり、一日の作業全体では、腕の自重補償機構による補助が妨げとなる可能性がある。そこで、作業時は必要十分なアシスト力を発揮し、非作業時は、アシスト力を発生せず、通常動作を妨げない自動多段調整可能な機械式自重補償装置と、その上腕アシスト装置への実装を試みる。

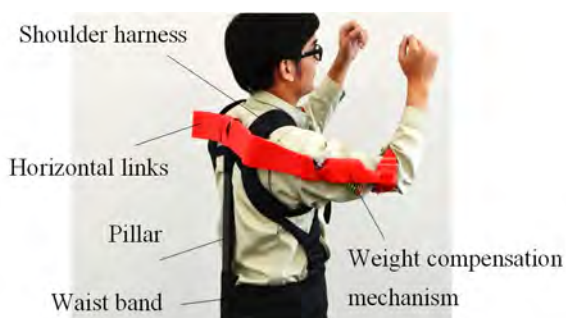


図1 TasKi (2015年)

圧縮ばねを用いた機械式自重補償機構の原理

上肢自重を補償する機械式の自重補償機構について説明する。ズ2のように、本自重補償機構は、圧縮ばねと、揺動スライダにより構成されている。図5のように、支柱

とリンクが接続されている回転軸を点O、点Oから支柱に沿ってhの距離の点を点A、点Oからリンクに沿ってpの距離の点を点Bとする。圧縮ばねは点AB間に自然長が0となるように圧縮状態で配置されている。ばね定数はkとし、ばねの自然長からの圧縮量すなわち、ロッドの突出量をdとする。リンク重心は点Oからlの距離とし、リンク質量をmとする。ばね力が点Oまわりに発生するトルク $\tau_L$ は、リンク自重トルク $\tau_A$ と釣り合う場合、式(1)が成立する。この時必要なばね定数は式(2)で成立する。

$$T_L = T_A$$

$$kph\cos\theta = mgl\cos\theta \quad (1)$$

$$k = \frac{mgl}{ph} \quad (2)$$

この時、リンク角度 $\theta$ 依存せず釣合を確保できる機械式自重補償が可能となる。

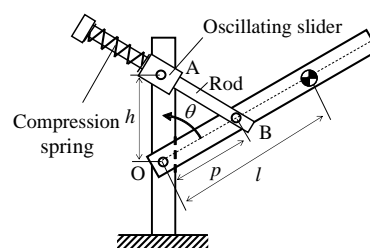


図2 圧縮ばね式自重補償装置

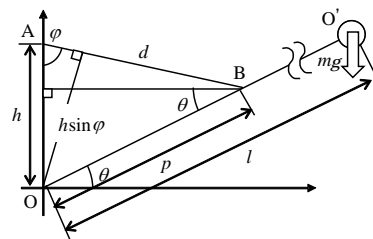
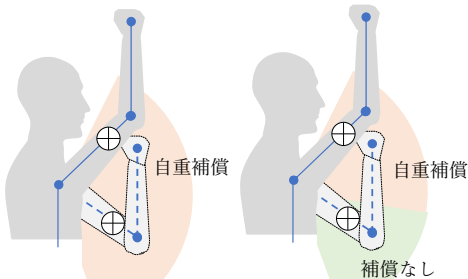


図3 補償原理図

自動多段調整可能な機械式自重補償装置

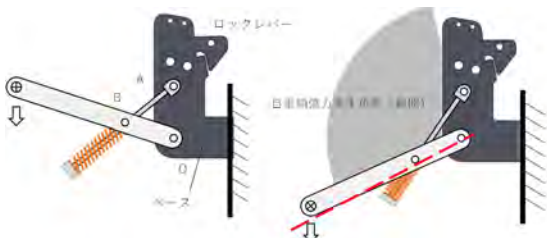
通常の自重補償機構では、式(1)に示したとおり、リンク角度に関係なく、常に一定のばね定数による補助で、リンクの自重トルクが相殺される。そのため、例えば歩く際などに妨げとなる。具体的例をもって説明する。図1の TasKi のように、自重補償を備えたアシスト装置では、腕の角度に関係なく補助が実現できる。このため図4(a)のように、上向き作業を行っている際は、腕自重を相殺し続けてくれるため、腕や肩などの負荷軽減が期待できる。

一方で、他の作業への移動や、他の作業など腕の自重の補助が必要ない状態では、この常に一定に働く自重補償力が動作の妨げとなる。そこで、図 4 (b) のように、上向き作業で利用する角度範囲だけ任意の補助力が発生するように、角度範囲で補助力を段階切り替え可能とすることが有効である。

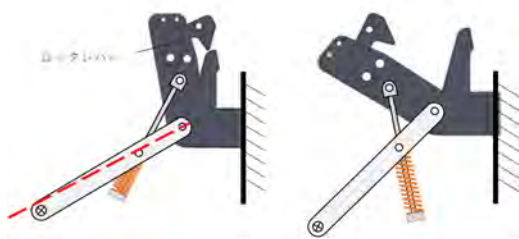


(a) 常時補助 (b)角度範囲で補助力切り替え

図 4 補償力の角度による切り替え。



(a) 自重補償力発生状態



(b) 自重補償力非発生状態

図 5 多段調整可能な機械式自重補償装置

補助力を角度範囲で切り替え可能な自動多段調整可能な機械式自重補償装置を開発する。まずは、1 段切り替えとして図 6 ような構成を検討した。(なお、図の各寸法は知的財産保護の関係で実寸法を表していない) 本機構は、補償機構の支持点 A を、サイドプレートを介して、ロックレバーで、リンク機構の回転中心 O を共有するベースと接続している。ロックレバーとベース部は爪形状で引っかかっているため、所定の力がかかるまで外れない。このロックレバーの回転中心位置、爪形状などを変更することで、図 4(b)のような補助の切り替わりのタイミングを制御する。動作の様子を図 5 に示す。図 5(a)の自重補償力発生状態では、ロックレバーはベースに引っかかった状態で、自重補償ばねは式(5)のつり合い条件満たして変位する。そのため、補助力が発生する。図 5(b)の自重補償

力非発生状態は、補償対象のリンク機構が対象角度範囲外に移動したことで、ロックレバーがベースより外れて、自重補償用ばねが式(5)の関係ではなくなり、自重補償力を発生しなくなる。

実際に上腕補助装置に実装した例を図 6 に示す。試作品は 3D プリンタと MDF 合板を用いて製作されている。実際に図 6 と同様の動作切り替えが可能であるか、実験的に確認した。



図 6 上腕補助装置に実装した様子

### 研究の成果、新知見

本研究は、労働負担の軽減を負担する装着型アシスト装置のために、作業時は必要十分なアシスト力を発揮し、非作業時は、アシスト力を発生せず、通常動作を妨げない自動多段調整可能な機械式自重補償装置の開発と、その上腕アシスト装置での機能確認を目的とした。腕の動作角度に比例して、補助力を変更可能な切り替え機構を検討した。切り替え部のフック機構の形状を調整することで、作業時は予期せず補助力が解除されず、決められた状態では補助力が解除することに成功した。そのため、作業動作と自重補償範囲を事前に適宜設定すれば、特別の切替動作なしに、自重補償状態を切り替え可能とした。本自重補償機構の構造と本機能は新規性と進歩性を有するために、特許出願も行った。

### 今後の予定

既に動作の途中で自動的にアシスト力の切り替え機能のないパンプ型アシストデバイスは多数販売されている。一方で、本研究が提案する自動切替機能を有したアシスト装置は実用化されていない。そのため、本研究の成果をもとに、自動切替機能を有したアシスト装置の実用化を目指す予定である。

### 謝辞

本研究は、新型コロナウイルス感染症が社会問題となった期間に採択された。研究拠点が東京都心であることから、大学での研究に多くの制約を受けた。その状況下で、柔軟なご対応とご支援を頂きました。一般社団法人大成学術財団に大変感謝いたします。