

不整地対応可能なリンク機構を利用した杖の開発

Development of Cane with Link Mechanism for Uneven Terrain

松澤宏治（首都大） 武居直行（首都大） 深谷直樹（都立産技高専）

Koji MATSUZAWA, Tokyo Metropolitan University

Naoyuki TAKESUE, Tokyo Metropolitan University

Naoki FUKAYA, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

Abstract: In this paper, we propose the cane whose tip has improved link mechanisms to support a user on uneven terrain. The mechanisms allows to fit to the ground passively. The grounded part consists of three shape-fitting fingers and the center rod. We explain the detail of the grounded part and experiments for the performance evaluation.

Key Words: Cane, Welfare, Link mechanism, Uneven terrain

1. 緒言

歩行を補助するための杖は，高齢者だけでなく，障がい者をはじめとする歩行に不安がある人に広く利用されている．歩行補助杖とは単脚杖や松葉杖を含む，体を支えるための棒状の福祉用具である．杖の種類は多種多様なものが市場に溢れており，使用者の身体機能に合わせた選択が必要となる．

一般の杖は片手で支持する杖と両手でそれぞれ支持する杖に分けられる．片手持ちの杖の重さは 200g から 400g であり，支持点の数によって単脚杖と多脚杖（3 点支持・4 点支持）に分けられる．腕の力が十分にある人には単脚杖や多脚杖の使用が適しており，腕の力が弱い人には松葉杖やロフトランドクラッチなどが適している．

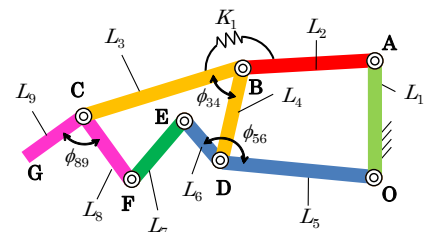
各杖の特徴を以下に示す．

- ・ 単脚杖：構造が単純なため頑丈である
- ・ 3 点支持杖：支持脚と支柱の間が可動のボールジョイントで接続されている
- ・ 4 点支持杖：支持脚と支柱の間が固定されており，平地では最も安定する

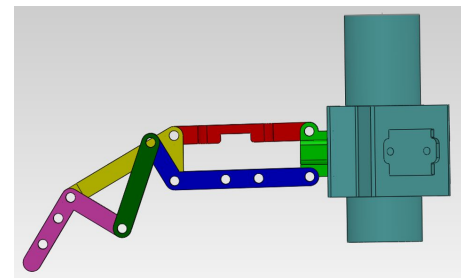
杖は支持点が多くなるほど平地で安定する反面，前後左右へ傾けた際の自由度が小さくなってしまふ．支持脚と支柱の間に関節を用いることで自由度を増すことができるが，その場合ぐらつきが発生するという問題がある．活動領域を広げるためにも，平地のみならず，段差や不整地（砂利道など）においても安定した支持が望まれる．

以上を踏まえ，本研究では，段差や不整地に安定して接地し，滑らかな歩行が可能な杖の開発を目指す．ロボットハンドでは把持する際に対象物の形状になじむように動作するものが開発されている．その中でも，TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand⁽¹⁾ およびダブル技研の D-Hand⁽²⁾ はリンク機構を用いており，同機構はロボットの脚足部にも適用されている⁽³⁾．前報では，これらのリンク機構を参考にし，不整地に対応可能な杖先のためのリンクパラメータを選定した⁽⁴⁾．

その杖は，同リンク機構を 3 脚備え，コンピュータ制御することなく，杖を突くことで杖先が不整地になじむように動作するものである．前報では，その杖が従来の杖と比べて，不整地において，より安定した支持が可能であることが確認された．しかし，そのリンク機構の 1 脚あたりの自由度は 1 であり，そのため不整地の形状によっては，接地性が十分でないという課題があった．そこで本稿では，杖先が地面に接地する際に安定した接地状態を実現するために 1 脚のリンク機構における自由度が 2 となるように構成するとともに，復元力として用いた板ばねをコイルばねに代替したリンク機構を開発する．試作機を用いた接地実験により，その効果を確認する．



(a) Link configuration and parameters



(b) CAD model

Fig.1 Previous link model (Model 1)

2. 不整地対応可能なリンク機構

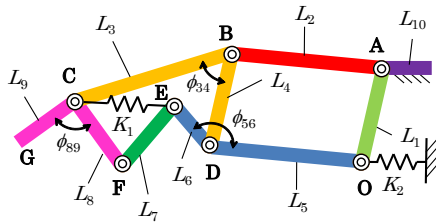
2.1 前報での 1 自由度リンク機構

前報のリンク機構の構成⁽⁴⁾（以後，「モデル 1」と呼ぶ）を図 1 に示す．同図 (a) は構成および各パラメータを，(b) は CAD モデルを表す．モデル 1 ではリンク L_1 を杖の支柱に固定しており，このリンク機構における自由度は 1 である．杖先としてはこのリンク機構が 3 脚分あるため，3 自由度あるが，1 脚についてみると，リンク角度が 1 つ決定されるとリンク機構全体の各リンクの角度が一意に決定してしまう．

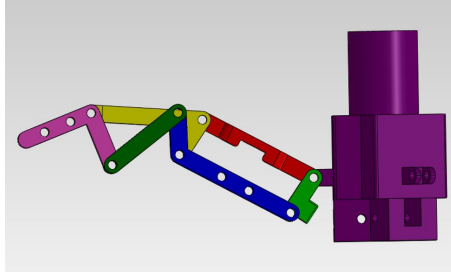
そこで，より多様な不整地に対応するため，リンク機構の自由度を増やすことを考える．

2.2 2 自由度リンク機構の設計

自由度を増やすため，図 1(a) のリンク L_1 を固定せず，A を支点とする方法と，O を支点とする方法が考えられる．本研究では引張りばねを用いることも考慮して，前者の方法を選択した．図 2 のようにリンク L_{10} を杖の支柱に固定するように追加し，2 自由度構成としたモデル（以後，「モデル 2」と呼ぶ）を設計した．図 2 の各リンクの長さや角度を表 1 に示す．リンク L_1, L_2, L_4, L_5 は平行四辺形を形成するように設定している．図 2(b) の CAD モデルでは O 点を拘束せずに，A 点を支点としたリンク L_1 の回転運動が可能となっている．



(a) Link configuration and parameters



(b) CAD model

Fig.2 Modified link model (Model 2)

Table 1 Link parameter

Parameter	Value	Parameter	Value
L_1	15mm	L_7	30mm
L_2	45mm	L_8	20mm
L_3	40mm	L_9	22mm
L_4	15mm	ϕ_{34}	60°
L_5	45mm	ϕ_{56}	120°
L_6	15mm	ϕ_{89}	90°

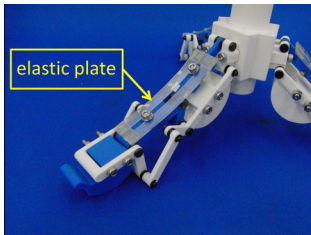


Fig.3 Previous model with elastic plate

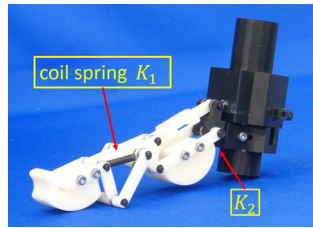


Fig.4 Prototype of modified model

2.3 試作したリンク機構

モデル 1 の概観を図 3 に示す．図 3 に示すように，モデル 1 では L_2 と L_3 にかかる弾性板（板ばね）により復元力を付与していた．

前節のように，リンク機構と支柱の接続部位を変更した図 2(b) の CAD データを基にリンク機構のモデルを作成した．試作したモデル 2 の概観を図 4 に示す．モデル 2 では引張りコイルばねを用いることとし，図 2(a) に示すように C 点と E 点との間をばね定数 $K_1 = 0.05\text{N/mm}$ のコイルばねで連結した．また，O 点と支柱との間をばね定数 $K_2 = 0.17\text{N/mm}$ のコイルばねで連結した．O 点-支柱間の連結に使用するコイルばねのばね定数が低い (0.05N/mm) 場合，引張りばねの復元力が小さくリンクの形状が定位置に戻らなかった．

3. 実験

3.1 段差接地実験

試作したリンク機構のモデルが段差でどのように接地をするのか実験を行った．平面に厚さ 9mm の木板を二枚重ねて置き，リンク機構を接地させた．モデル 1 とモデル 2 のそれぞれに対し

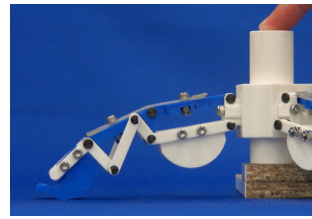


Fig.5 Step test1: Model 1

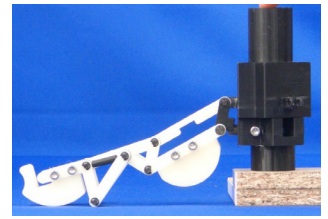


Fig.6 Step test1: Model 2

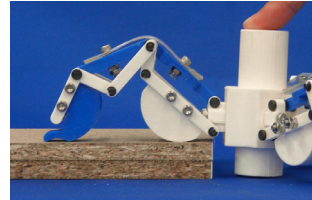


Fig.7 Step test2: Model 1

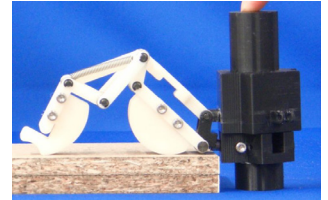


Fig.8 Step test2: Model 2

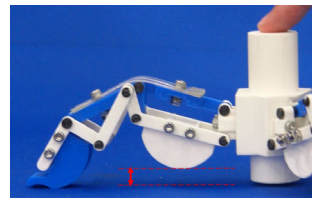


Fig.9 Flatland test: Model 1

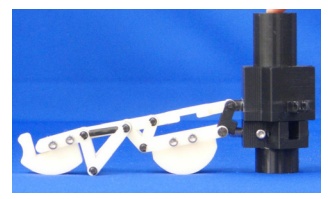


Fig.10 Flatland test: Model 2

て実験を行い，比較した（図 5～8）．この実験では図 5，7 のモデル 1 と，図 6，8 のモデル 2 は，大きな差異なく地面になじんでいることがわかった．

3.2 平地における接地の比較

平地に対してモデル 1 とモデル 2 がどのように接地するのか実験を行い，比較した（図 9～10）．モデル 1 の接地点は先端の 1 点だけだが（図 9），モデル 2 では追加した自由度により接地点は 2 点になることがわかった．

4. 結言

本研究では不整地対応可能なリンク機構を利用した杖の開発を目指し，リンク機構の自由度を一つ増やすことにより，接地性が向上することを確認した．また，モデル 1 で取り付けていた板ばねに換えてコイルばねを実装することで，ばねの交換が容易になり，メンテナンス性が向上した．

今後は，杖の支柱に対して 3 方向にモデル 2 のリンク機構を取り付け，3 脚の場合のモデル 1 とモデル 2 との比較を行う．コイルばねの剛性についても，より適した条件を設定できるように検討する．その際に各リンクにかかる応力やモーメントについても定量的に評価する予定である．

参考文献

- (1) Naoki FUKAYA, Shigeki TOYAMA, Tamim ASFOUR, Ruediger DILLMAN: Design of the TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand, Proc. of IEEE/RSJ IROS2000, pp.1754-1759, 2000.
- (2) ダブル技研 HP: www.j-d.co.jp/dhand/dhand_top.html
- (3) 吉武典彦, 深谷直樹, 武居直行: 二足歩行ロボットのための不整地対応型脚足部の開発および実験, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2012, 2E1-6, 2012.
- (4) 浅津翔太, 武居直行, 深谷直樹: なじみ機構を有する不整地対応可能な杖の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A1-02b2, 2016.