

人間特性計測に関する研究

研究代表者 菅野 重樹
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

1. 研究課題

超高齢社会に突入しているわが国において、高齢者に歩行等の運動習慣を促すことで健康の維持・増進を図る取り組みが注目されている。人の健康・増進を促すためには、人の特性を明らかにすることが必要である。本研究では人間特性計測システムを用いて、人の動作状態の計測や人に動作変化を及ぼす要因の解析をすることにより、人と協調し人の健康を維持・増進することができるロボットの開発を目指す。

本研究室では人間特性計測について、「歩行訓練ロボットが誘発する人の歩容変化」の研究があり、本年度の研究成果を次節より報告する。本項では、その研究の社会背景、特徴、及び課題点を下記に述べる。

高齢者においては、つま先が上がりにくくなることによりつまずきやすくなり、歩行中の転倒の危険性が増加することが問題視されている。そこで、歩行訓練ロボットの使用により歩行訓練を効率的に行い、つまずきのリスクを低減させることが期待されている。下肢の基準軌道を与える歩行訓練ロボットでは、インピーダンス制御により、基準の下肢軌道から外れた場合のみに基準軌道へと外力で誘導し、随意的な歩行訓練の行う。一方で、歩行訓練ロボットが与えた軌道に抗い、元の歩容に戻る反応が生じる可能性がある。遊脚期の膝に過度な屈曲が生じた場合、大腿直筋の動作が活発化し、伸展方向へのトルクが生じることが報告されている。軌道に誘導する外力が大きいほど、筋が与えられた動作に対し抗う可能性が大きくなり、元のつま先高さの歩容へと戻る反応が生じやすいと予測される。元の歩容に戻る反応が生じにくく、つま先高さが高い軌道へと誘導するためのトルクの大きさは明らかになっていない。従って、つま先高さが増加した歩容へ変化を促すことが可能なロボットの印加トルクの大きさを導出することが求められる。

2. 主な研究成果

2.1 歩行訓練ロボットの開発

Fig. 1に本歩行訓練ロボットの構成を示す。歩行中の動作範囲が最も広い膝関節に着目し、膝に屈曲トルクを与え、遊脚中の膝の屈曲角度を増加させることでつま先高さを増加させることができるようにワイヤ駆動システムを製作した。ワイヤは、被験者が装着しているフレーム末端のロードセルとモータを繋ぐように取り付けられている。この時、訓練者の歩行中に変動するワイヤの長さを補償するためにフレームの大腿部と膝部に2つのプーリを設けた。膝部に設けてあるプーリは膝の屈曲動作と共に回転する。大腿部のプーリは、膝のプーリと転がり接触しており、逆方向に同じ量だけ回転する。そのため、膝の回転によってワイヤが膝のプーリと接触する長さが増加した分、大腿部のプーリと接触する長さが増加するため、下肢に接するワイヤの長さは補償される。また、歩行中の腰の前後方向の動揺によるワイヤ経路長変化を補償するために、モータと人の間に動滑車を設

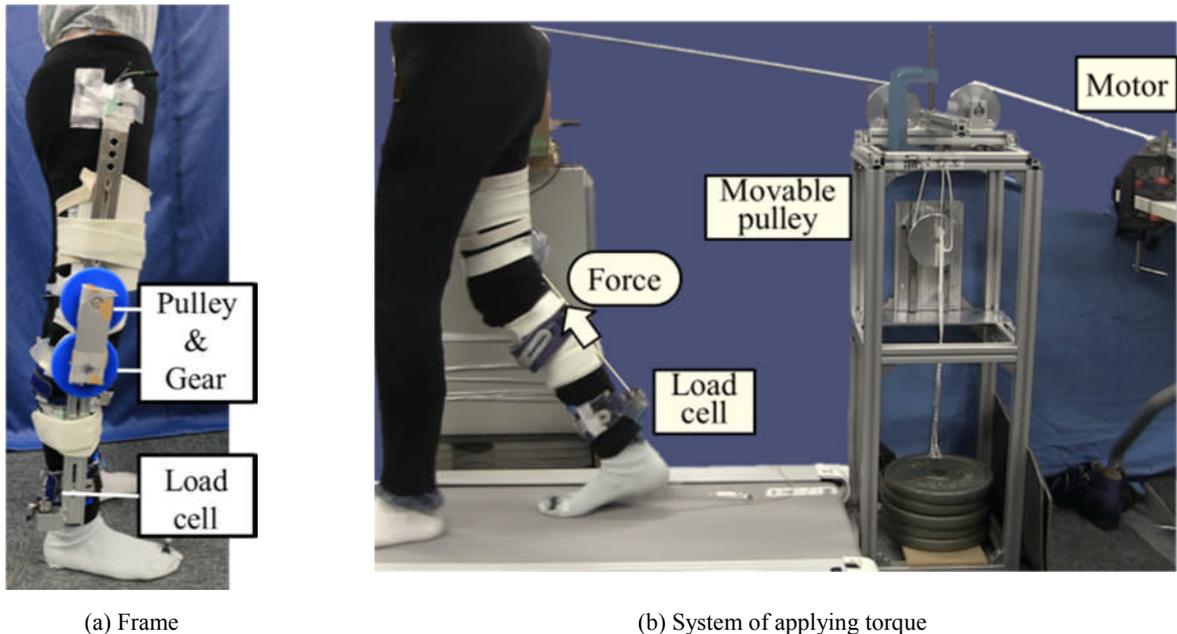


Fig. 1 Experimental system consisting of treadmill, frame, motor

け、受動的にワイヤ経路長が一定となるようにした。

ロボットの介入の度合いを減らし、訓練者が能動的に歩行することを担保するために、屈曲トルクの印加は遊脚を開始する前遊脚期のみとした。前遊脚期では、股関節が伸展状態で、足裏の底圧が踵からつま先の方へ移動し、踵が地面から離床される。従って、前遊脚期を検出するために、踵部にフィルム式力センサを、股関節に角度センサを設けた。前遊脚期以外においては膝関節にトルクが印加されないようにし、前遊脚期検出時のみに屈曲方向へトルクを印加した。印加する時間は、前遊脚期が歩行周期の1割を占めるため、予備実験で取得した歩行データよりおよそ50[bpm]の歩行リズムで歩行することを想定し、0.12[s]とした。前遊脚期を検出した時において、目標値のトルクを与えるために、ロードセルによりワイヤにかかる張力をフィードバックし、フレームの中心からのモーメントアーム0.05[m]との積によりトルクを算出し、トルクの制御を行った。

2.2 つま先高さが増加した歩容の維持を促す前遊脚期における膝屈曲トルクの大きさの検討

高齢者と若年者では新しい歩容の学習率に差がないことから、一人当たりの実験数を増やすために、フィージビリティスタディーとして、今回は若年健常者を対象に、トルク印加によるつま先高さの変化を観察した。

本実験は早稲田大学の対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認 (No. 2015-091) を受け、被験者からインフォームドコンセントを得た上で行った。若年健常者3名が実験に参加した (男性3名, 年齢: 23 ± 1 歳; 体重: 55 ± 7 [kg], 身長: 168 ± 5 [cm])。被験者がトレッドミル上を2.0[km/h]で歩行している時のつま先高さを光学式モーションキャプチャシステム (Rapter-E, Motion Analysis, USA) で計測した。

定常状態の歩行を計測するために、各試行の初めにトレッドミル上で30[s]間歩行をして後に計測を開始した。歩行訓練の効果として短期記憶の影響が観測されるように、トルク印加前後で15[s]間歩行するように設定した。従って、最初の15[s]間は実験装置からの干渉がない通常歩行をし、続けて20[s]間で実験装置により検出した前遊脚期に膝関節へ屈曲トルクを印加し、そして最後の

15[s]間は再び通常歩行を行った。予備実験の中でトルク印加中に膝の屈曲角度を増大できた0.7[Nm]を基準に、印加するトルクの目標値として0.4[Nm], 0.6[Nm], 0.8[Nm], 1.0[Nm]の4つを設けた。各目標値の条件において2セットずつ試行を行った。

つま先高さの指標として、膝屈曲角度が最大時のつま先高さを計測した。トルク印加前後におけるつま先高さの変化量を計測した。印加トルクは、Fig. 2に示すように、目標値に対しばらつきが大きいことから、各周期において印加したトルクの最大値の印加期間全体の中央値を代表値として用いた。

実験結果として、前遊脚期に印加したトルクと最大つま先高さの増加量の関係をFig. 3に示す。横軸がトルクの大きさ、縦軸がつま先高さの増加量を示す。印加トルクが0.8[Nm]付近の時、3人の被験者でつま先高さが増加した。つま先高さが増加するトルクの範囲は被験者ごとにより異なるが、トルクが大きくなるとつま先高さに増加が見られ、そしてさらにトルクが大きくなるとつま先高さの増加が見られないという傾向が確認された。従って、ロボットによる印加トルクの大きさにはつま先高さが増加した歩容へと変化しやすくなる範囲があることが示唆された。本実験により確認されたつま先高さの増加量は最大で約2[mm]である。元の花つま先高さが約20[mm]であったため、元の花つま先高さに対して1割程増加した。長期的な歩行訓練の実施により段階的につま先高さを増加させるために、被験者の能力に応じた段階的なつま先高さ目標値の設定方法の検討が今後必要となる。

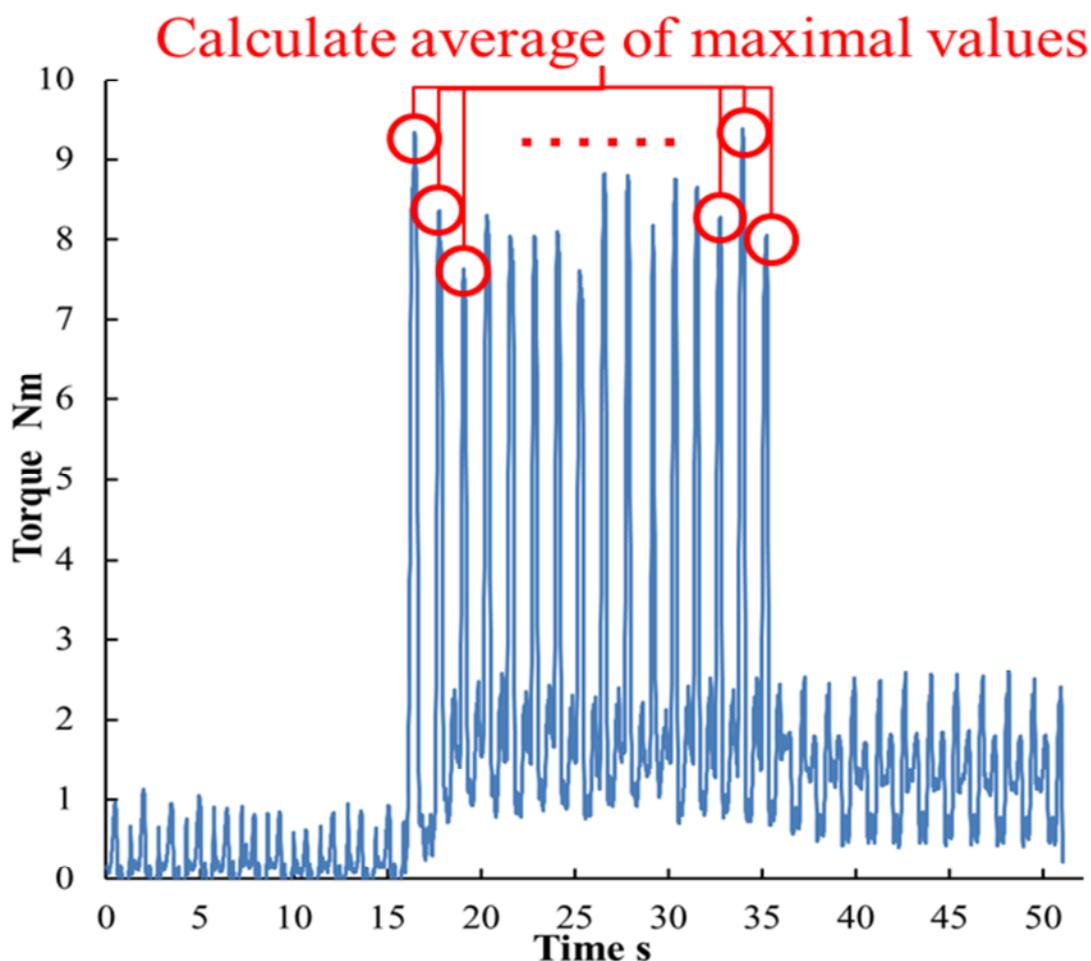


Fig.2 Calculation of the applied force magnitude

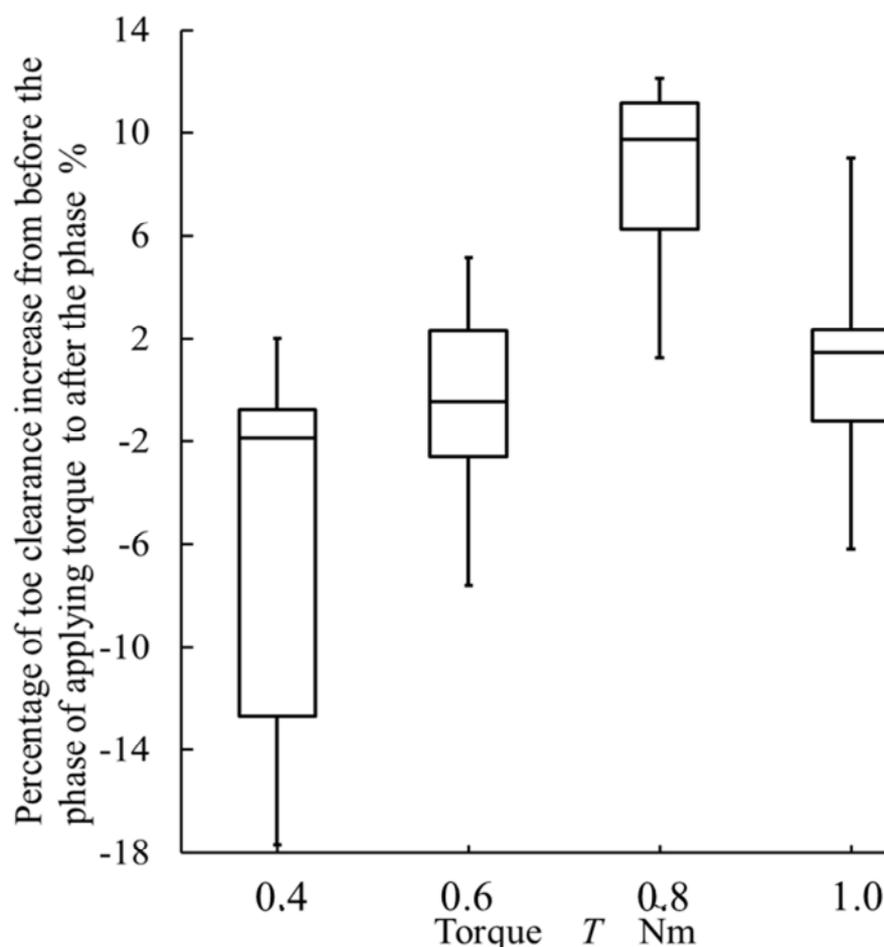


Fig. 3 Relation between the magnitude of applied torque during the pre-swing phase and the percent of toe clearance change

3. 研究業績 (MS ゴシック、太字、11 ポイント)

3.1 学術論文 (MS 明朝体、11 ポイント)

[1] Moondeep Shrestha, Ayano Kobayashi, Tomoya Onishi, Hayato Yanagawa, Yuta Yokoyama, Erika Uno, Alexander Schmitz, Mitsuhiro Kamezaki, and Shigeki Sugano, "Exploring the Use of Light and Display Indicators for Communicating Directional Intent," Proceedings of 2016 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2016), pp. 1651 - 1656, July, 2016.

[2] Moondeep Shrestha, Tomoya Onishi, Ayano Kobayashi, Erika Uno, Hayato Yanagawa, Yuta Yokoyama, Alexander Schmitz, Mitsuhiro Kamezaki, Shigeki Sugano, "Intent Communiation in Navigation through the Use of Light and Screen Indicators", Proc. ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interaction (HRI2016), 査読有, paper no. B3, 2016.

3.2 学会および社会的活動

[3] 三宅 太文, 築根 まり子, 小林 洋, 菅野 重樹, 藤江 正克, "前遊脚期における膝関節に対する屈曲トルクをつま先高さに及ぼす効果の検証", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 横浜, 2016年6月.

[4] 岡村尚美, 築根まり子, 小林洋, 菅野重樹, 藤江正克, "腓腹筋の静的ストレッチングにおける姿勢変化が筋粘弾性変化に及ぼす影響", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 横浜, 2016年6月.

- [5] 南雲美乃, 加藤陽, 小林洋, 藤江正克, 菅野重樹, “義手操作能力評価に向けた書字動作時の躍度による遠位動作評価手法の構築”, 第37回バイオメカニズム学術講演会, 富山, 2016年11月
- [6] 三宅太文, 小林洋, 藤江正克, 菅野重樹, “歩行訓練ロボット制御のための下肢関節間の協調性に着目した歩容の定量化手法の検討”, 第32回ライフサポート学会大会, 第16回日本生活支援工学会大会, 日本機械学会 福祉工学シンポジウム2016, 仙台, 2016年9月.
- [7] 伊藤寛将, 岡村尚美, 川崎基資, 小林洋, 藤江正克, 菅野重樹 筋線維の活動に応じた筋電図変化に基づく最小リハビリ負荷導出手法の構築 第32回ライフサポート学会大会, 第16回日本生活支援工学会大会, 日本機械学会 福祉工学シンポジウム2016, 仙台, 2016年9月
- [8] 加藤陽, 松本侑也, 小林洋, 藤江正克, 菅野重樹, “筋隆起形状変化に対し筋収縮特性を考慮に入れた手関節角度の推定 第37回バイオメカニズム学術講演会”, 富山, 2016年11月.
- [9] 人とロボットの協調移動におけるロボットの行動と人の印象の関連性評価, 小林彩乃, 亀崎允啓, 横山悠太, 柳川勇人, 菅野重樹, 第17回システムインテグレーション部門講演会(SI2016), pp. 2454-2457, 札幌, 2016年12月.
- [10] ロボットの移動効率と人の心理面に配慮した人-ロボット協調移動フレームワークの提案, 横山悠太, 柳川勇人, 小林彩乃, Alexander Schmitz, 亀崎允啓, 菅野重樹, 第34回日本ロボット学会学術講演会(日本ロボット学会), paper no. 2B1-02, 2016年09月
- [11] 人とロボットの協調移動におけるロボットの行動と人の感情の関連性評価, 小林彩乃, 横山悠太, 柳川勇人, 亀崎允啓, 菅野重樹, 第34回日本ロボット学会学術講演会(日本ロボット学会), paper no. 2B1-01, 山形, 2016年09月
- [12] ロボットの移動方向表出システムが人間の移動に及ぼす影響に関する調査, 大西智也, Moondeep Chandra Shrestha, 宇野絵莉香, 柳川勇人, Alexander Schmitz, 亀崎允啓, 菅野重樹, 第34回日本ロボット学会学術講演会(日本ロボット学会), paper no. 2B1-03, 山形, 2016年09月

4. 研究活動の課題と展望 (MS ゴシック、太字、11ポイント)

本研究により, ロボットによる印加トルクの大きさにはつま先高さが増加した歩容へと変化しやすくなる範囲があることが示めされた. 本実験では, 0.8[Nm]において, トルク印加終了後においても, 増加したつま先高さが残存していることが確認できた. 適切なトルクの大きさに関しては, 個人間で違いが出る可能性が高いため, 今後, 実験の被験者数を増やし, 適切なトルクの範囲を導出し, 個人に応じた印加トルクの設定アルゴリズムを構築する. 高齢者を対象とした長期的な歩行訓練の実施により段階的につま先高さを増加させるために, 被験者の能力に応じて段階的なつま先高さ目標値の設定方法を検討することが必要である.