

床反力測定によるスイッチ不要な立ち上がり補助装置の開発 ～マジックハンド機構の改良と動作実験～

○阿部 功^{a)}、齋藤 愛奈^{b)}、清水 亮兵^{c)}、池内 秀隆^{d)}

^{a)} 大分大学理工学部技術部、^{b)} 大分大学理工学部創生工学科、

^{c)} 大分大学大学院工学研究科、^{d)} 大分大学医学部先進医療科学科

1. 背景および目的

現在の日本は、出生率の減少や医療の発達によって平均寿命が伸びたことにより少子高齢化が進んでいる。厚生労働省によると 2065 年には人口の約 38.4%が 65 歳以上の高齢者になると推計されている。立ち上がり動作は、高齢者および膝か腰に何らかの疾患のある人にとって困難な動作であるが、日常生活において必要不可欠である。立ち上りを補助する装置の開発はこれらの人々の支援に役立ち、社会的意義の面でも重要である。市販の立ち上がり補助装置は、立ち座り動作に関してスイッチ操作が主流である。我々は、スイッチ操作を無くすことで操作の簡素化、および手の不自由な人にも使用可能な補助装置の開発を行っている^[1]。本研究の目的は、現在開発中の立ち上がり補助装置において強度不足により破損した部分の改良を行う。その後、使用者の立ち座り動作を検出する床反力測定機器を組み込むことである。これにより本装置は使用者の立ち座り動作の際に増減する床反力を測定し、その特徴により使用者の意思・状態を判断しそれに応じた動作を行うことが可能である。

2. 2023 年度に開発した立ち上がり補助装置

2023 年度までに開発した立ち上がり補助装置を図 1 に示す^[1]。この装置は装置の後部にモータを配置しボールねじを回転させ、マジックハンド機構により台座が上下する。台座の上に人が腰掛け、立ち上がり動作を補助する。この装置は、人間の立ち座り動作に適応するため装置と床面を約 34°傾けている。台座に 60 kg の重りを乗せ、速度 370 mm/s で約 600 mm の上昇/下降の動作を開発目標としている。

動作確認を行った結果、50 kg の重りを乗せた時にマジックハンド機構を取り付けている部品が破損した。破損した状態を図 2 に示す。破損した部品は厚み 10 mm のアルミ板 (A5052) であり、M6 の

ねじ穴部分が変形しておりねじが外れていた。そこで力学モデルを作成し強度解析による設計変更を行う。

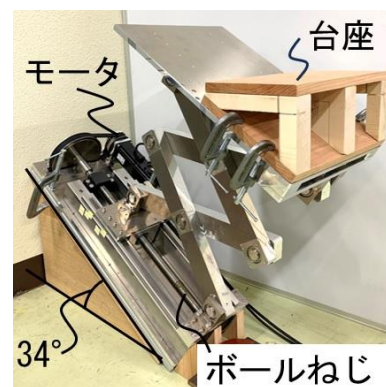


図 1 立ち上がり補助装置

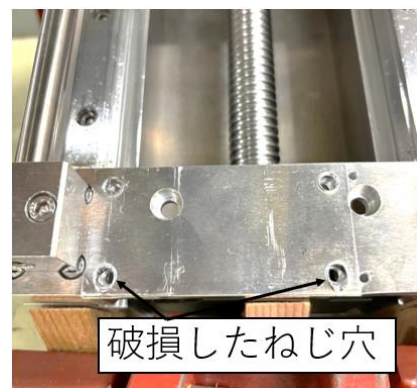


図 2 破損した部品

3. 力学モデル作成と強度解析による設計変更

3. 1 力学モデルの作成

マジックハンド機構の装置下面とアームとの角度が 13°の時、マジックハンド機構の横方向の力が増加し、ねじ穴が破損したのではないかと考える。本装置におけるマジックハンド機構の力学モデルを図 3 に示す。マジックハンド機構の回転軸の天板側を点 (i)、(ii) 装置土台側を (iii)、(iv) とする。

台座の中点をOとし、点Oに荷重W [N]が発生すると想定する。マジックハンド機構に対する鉛直方向の力を F_r 、水平方向の力を F_a とする。また、点 (iii) における水平方向の力を $F_{a\text{right}}$ 、鉛直方向の力を $F_{r\text{right}}$ とする。点 (i) におけるマジックハンド機構のアームにかかる力を x_1 とする。今回求めたい力は点 (iii) における水平方向の力 $F_{a\text{right}}$ である。マジックハンド機構と床との角度を θ_1 、マジックハンド機構の装置下面とアームとの角度を θ_2 とする。

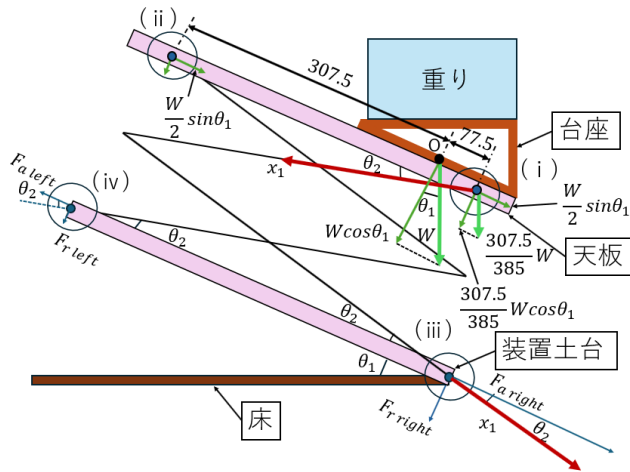


図3 マジックハンド機構の力学モデル

荷重点Oは点 (i) から 77.5 mm の位置であり、点 (ii) からは 307.5 mm の位置とする。よって、点 (i) にかかる力は $\frac{307.5}{385}W$ となる。荷重の台座に対する鉛直方向の力は $\frac{307.5W}{385}\cos\theta_1$ であり、水平方向の力は $\frac{W}{2}\sin\theta_1$ である。したがって、 x_1 は式 (1)、 $F_{r\text{right}}$ は式 (2)、 $F_{a\text{right}}$ は式 (3) となる。

$$x_1 = \frac{307.5}{385}W\cos\theta_1 \times \frac{1}{\sin\theta_2} \quad (1)$$

$$F_{r\text{right}} = x_1 \times \sin\theta_2 = \frac{307.5}{385}W\cos\theta_1 \times \frac{1}{\tan\theta_2} \quad (2)$$

$$F_{a\text{right}} = \frac{w}{2}\cos\theta_1 \times \frac{1}{\tan\theta_2} + \frac{w\sin\theta_1}{2} \quad (3)$$

3. 2 強度計算

$\theta_1 = 34^\circ$ 、 $\theta_2 = 13^\circ$ の時の $F_{a\text{right}}$ は、式(3)より 2159.32 N となる。この力を受ける部品はねじ 4 本

で固定しているため、1本のねじ部にかかる力は 539.83 N となる。アルミ板のねじ部を図 4 に示す。アルミ板の端面とねじ穴までの距離は 4 mm であり、破損した部分の面積は $4 \times 6 = 24 \text{ mm}^2$ であると想定する。よって、アルミ板の端面とネジ穴にかかるせん断応力は 22.49 MPa となる。アルミ (A5052) の許容せん断応力は 62.5 MPa^[2]より、安全率は 2.78 となる。繰り返し荷重が発生する場合は、安全率 6 以上が推奨されている^[3]ため、今回の破損が発生したと考える。

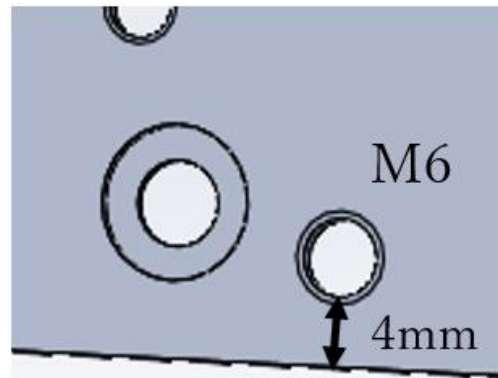


図4 アルミ板のねじ穴部

3. 3 設計変更

破損した部分の設計変更後の部品形状を図 5 に示す。アルミ板の材質をステンレス (SUS304) へ変更し、ねじ穴から端面までの厚みを 14 mm とした。これにより新しい部品の安全率は 15.94 となり、繰り返し荷重が発生しても破損する可能性は低い。また、ねじへの負荷を減らすために、力を面で受けるように形状の変更も行った。

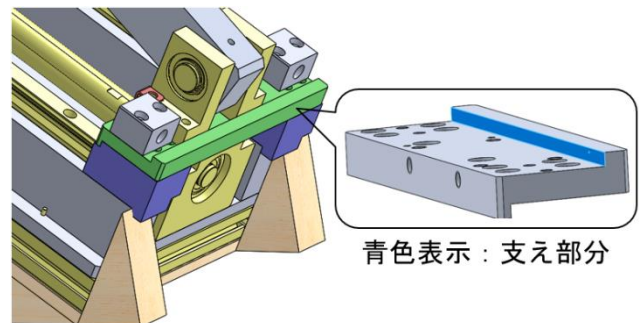


図5 設計変更後の部品形状

4. 動作確認

安川電機の Sigma Win+を用いて動作確認実験を行った。本実験では、プログラム JOG 運転機能の台形制御を用いた。運転条件は、速度 536 min^{-1} 、加減速時間 300 ms 、停止時間 250 ms 、重りは 10, 20, 30, 40 kg とした。また、マジックハンド機構の装置下面とアームとの角度の動作範囲は $15^\circ \sim 40^\circ$ とした。重り 40 kg の時の実験結果を図 6 に示す。横軸が時間、左の縦軸が速度、右の縦軸がトルクの指令値[%]である。実験の結果より、トルク指令値が 100 % を大きく超えることなく、大きな負荷は発生せず動作に問題は発生しなかった。

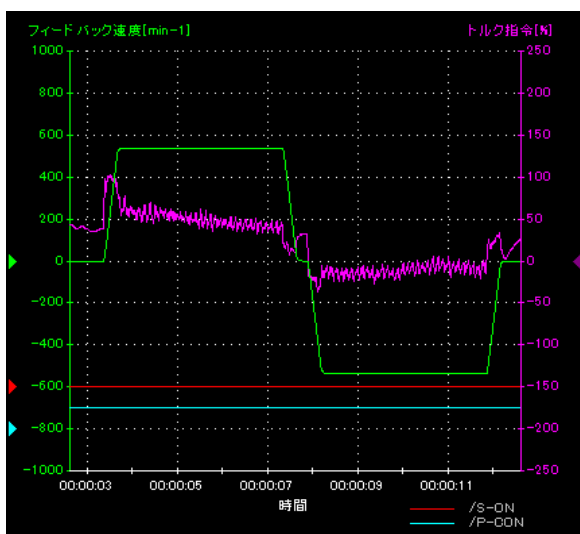


図 6 重り 40kg の時の動作実験の結果

5. 床反力測定による動作実験, および考察

4 章の動作確認実験では、Sigma Win+を使用したのが、これでは床反力の測定データを使用した自動運転が行えない。そこで以前、自動運転を行っていたプログラムを使用し、床反力を利用した動作実験を行った。

人の立ち座り動作による床反力を測定するためバランス Will ボード (Nintendo,RVL-021) を使用する。この Will ボードと制御パソコンを Bluetooth で接続する。床反力測定による動作確認実験を図 7 に示す。床にある Wii ボードに被験者が乗ると、台座が被験者の臀部まで上昇する。被験者が座り動作を行うと台座が下降する。その後、被験者が立ち上がり動作を行うと台座が上昇する。



図 7 床反力測定を用いた動作実験

実験の動作条件は 4 章と同様とし、重りは乗せずに人が台座に腰掛けるようにした。実験の結果、立ち上がり補助装置が正常に動作することが確認できた。今後は被験者実験を行うため重り 60 kg を乗せて動作実験を行う。

6. 結言

本論文では、開発した立ち上がり補助装置において力学モデルによる強度解析を実施し設計変更を行った。強度解析の結果、破損した部品の安全率は設計変更前が 2.78, 設計変更後が 15.94 となり強度を増加することができた。設計変更後、動作実験を行い重さ 40 kg で、トルク指令値が 100 % を大きく超えることはなく正常に動作した。その後、床反力測定に Will ボードを使用し、被験者の立ち座り動作を検出し自動操作が可能だった。

参考文献

- [1] 床反力センシング型立ち上がり補助装置の研究-ばね組込機構の検討-, 長友幸也, 清水良平, 阿部功, 池内秀隆, 計測自動制御学会九州支部学術講演会, 104A4, 2024.
- [2] 基礎機械設計工学第 3 班, 兼田慎宏, 山本雄二, オーム社, 2013.
- [3] JIS にもとづく機械設計製図便覧第 10 班, 大西清, 理工学社, pp4-5, 2014.

謝辞

本研究は、令和 6 年度 科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (奨励研究) 課題番号: 24H02548 を受けて実施した。ここに感謝の意を表す。