

## 研究ノート

## ロボットの静的安定性に対する計算モデルの検討

宮本晃吉\*1、酒井昌夫\*2、依田康宏\*2、木村宏樹\*2

## Consideration about Calculation Model for Static Stability of Robots

Kokichi MIYAMOTO \*1, Masao SAKAI \*2, Yasuhiro YODA\*2  
and Hiroki KIMURA\*2

Industrial Research Center \*1\*2

JIS B 8446-1(生活支援ロボットの安全要求事項)付属書 I「停止状態での傾きに対する安定性」、「加重状態の安定性」に定められるロボットの静的安定性に対して、設計の初期段階から安全要求事項を検証するための支援ツールとして、円柱形状のロボットにおける計算モデルの検討を行った。さらに、その計算モデルに対して、円柱形状のロボットを想定した試験体を用いて妥当性の確認を行った。

作成した計算モデルでの計算値と実験値の差は、転倒限界角度については±1%以内、転倒限界荷重については±5%以内であった。

## 1. はじめに

少子高齢化の進展に伴い、家庭での家事・介護といった生活支援分野において労働力の不足が懸念されている。そこでロボット技術を生生活支援分野に用いることで、家事や介護に要する労働力を補おうとする機運が高まっている。

ロボット技術を生生活支援分野に用いるには、不特定多数の人とロボットが接触し得ることから対人安全技術や安全基準の確立が必要である。そこで、NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクト<sup>1)</sup>において生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発<sup>2)~5)</sup>が行われた。そして、生活支援ロボットの安全性に関する国際規格であるISO13482(国内規格は JIS B 8445)が制定された。さらに、生活支援ロボットに対してタイプ別の安全要求事項を規定する JIS B 8446-1,2,3 および JIS B 8456-1 が制定された。

これらの規格に沿った安全要求事項を満たすには、リスクアセスメントの実施および安全検証が必須である。安全要求事項の一つである静的安定性については、JIS B 8446-1 付属書 I において「停止状態での傾きに対する安定性」、「加重状態の安定性」が定められ、試験条件範囲内ではロボットが転倒しないことが求められている。もし試作機が安全要求事項を満足しない場合、ロボットの外形形状や部品配置の見直しが必要となり、製品開発において大きな負担を強いられることとなる。そのため、設計の初期段階から安全要求事項を検証するための支援ツールが求められている。

そこで本研究では、その一つとして円柱形状のロボットにおける静的安定性の計算モデルの構築を目指した。

## 2. 実験方法

## 2.1 転倒限界角度についての計算モデル

停止状態のロボットに対する安定性を検証するために、ロボットの転倒限界角度の計算モデルを下の図 1(a)に定義した。静置状態での重心位置の高さを  $H_G(\text{mm})$ 、底辺方向長さを  $L_G(\text{mm})$  とすると、転倒限界角度  $\alpha(^{\circ})$  は次式となる。

$$\alpha = \arctan(L_G/H_G) \quad (\text{式 1})$$

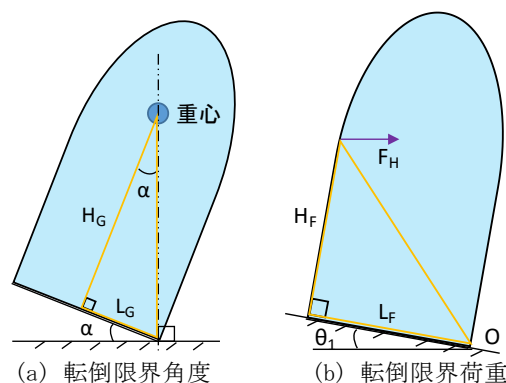


図 1 計算モデル

## 2.2 転倒限界荷重についての計算モデル

ロボットに対する加重状態での安定性を検証するため、転倒限界荷重についての計算モデルを図 1(b)に定義した。ロボットの重量を  $m(\text{kg})$ 、ロボットの初期角度を  $\theta_1(^{\circ})$ 、

力点位置の高さを  $H_F$ (mm)、底辺方向の長さを  $L_F$ (mm) とする。この場合、支点  $O$  を中心とする重力  $g$ (m/s<sup>2</sup>) によるモーメントと水平方向の転倒限界荷重  $F_H$ (N) によるモーメントのつり合いから、 $F_H$  は次式で導出される。

$$F_H = mg(L_G \cos \theta_1 - H_G \sin \theta_1) / (H_F \cos \theta_1 + L_F \sin \theta_1) \quad (\text{式 2})$$

### 2.3 計算モデルの評価

作成した計算モデルの妥当性を評価するために、円柱形状のアルミ材を試験体として実験を行った。図 2 に転倒限界角度についての実験イメージを示す。実験に用いた試験体の直径  $L$  および転倒限界時の高さ  $H_L$  を測定することで、転倒限界角度を求めた。

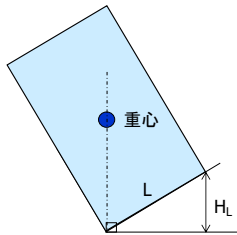


図 2 転倒限界角度についての実験イメージ

また図 3 に転倒限界荷重についての実験風景を示す。転倒限界荷重は、メカニカルフォースゲージ((株)イマダ製 PSM-300N、FB-20N)を用いて各試験条件において 10 回測定を行い、平均値を求めた。



図 3 転倒限界荷重についての実験風景

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 転倒限界角度の計算モデルの評価

本実験で用いた試験体の諸元を表 1 に示す。試験体の諸元から式 1 を用いて求めた計算値は 30.8° であった。

表 1 試験体の諸元

材質(アルミニウム合金)	A5052
重量 $m$ (kg)	6.14
直径 $L$ (mm)	120.0
重心位置の底辺方向長さ $L_G$ (mm)	60.0
重心位置の高さ $H_G$ (mm)	100.7

これに対して、実験より得られた  $H_L$  は 62mm、これから求めた転倒限界角度は 31.1° であった。このことから、計算値と実験値の差は±1%以内であった。

### 3.2 転倒限界荷重の計算モデルの評価

転倒限界荷重について、式 2 による計算値と実験値を図 4 に示す。 $H_F=97$ mm、127mm、177mm の 3 条件に対して計算値と実験値を比較した結果、それぞれの差は±5%以内であった。

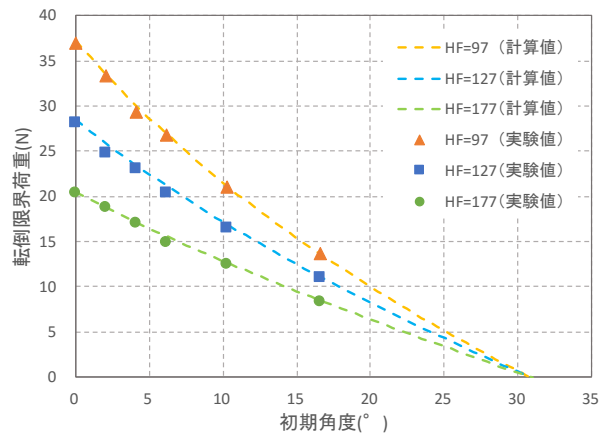


図 4 転倒限界荷重と初期角度の関係

## 4. 結び

JIS B 8446-1 付属書 I において定められるロボットの静的安定性に対する設計支援ツールの一つとして、計算モデルを作成し、実験による評価を行った。

その結果、計算モデルでの計算値と実験値の差は、転倒限界角度については±1%以内、転倒限界荷重については±5%以内であった。今後は、計算モデルを様々な形状のロボットに対して拡張することや、動的安定性に対する検討を行っていく。

## 文献

- 1) NEDO: NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクト [http://www.nedo.go.jp/activities/EP\\_00270.html](http://www.nedo.go.jp/activities/EP_00270.html), (2020.4.2)
- 2) 藤川達夫, 松本治, 山田陽滋, 池田博康: 日本ロボット学会学術講演会, **28**, 1B2-5(2010)
- 3) 池田博康, 丹羽邦幸, 清水雄一郎: 日本ロボット学会学術講演会, **28**, 1B2-3(2010)
- 4) 斉藤剛, 池田博康, 岡部康平: 日本ロボット学会学術講演会, **30**, 3O2-3(2012)
- 5) 比留川博久: 「生活支援ロボット実用化プロジェクト」(事後評価) 第 1 回分科会 資料 6-2(2014)