

車輪付き回転十字アームを用いた階段昇降車椅子の力学解析

柳原直人 (玉川大) 菅沢深 (玉川大) 鈴木夏夫 (玉川大) 池田隆之 (㈱ミツバ) 金海吉秀 (玉川大院)

Mechanical Analysis of a Stir-Climbing Wheelchair Using Rotary Cross Arm with Wheels

Naoto Yanagihara*, Fukashi Sugawara*, Natuo Suzuki*, Takayuki Ikeda**, Yoshihide Kanaumi*

*Tamagawa University **MITUBA Co.Ltd

Abstract: It was confirmed that authors produced the wheelchair experimentally and that stepping the stairs are possible. In this paper Structure and principle of the wheelchair and necessary belt tension and friction coefficient between tire and grand when it goes up the stair are shown.

1. 緒論

筆者らは標記の車椅子を試作し、階段昇降可能なことを確かめた。本報では、車椅子の構造と原理および、この車椅子において階段を昇る時に必要なベルト張力および車輪と接地面との間の摩擦係数について示す。

2. 車椅子の構造と原理

車椅子は図1に示すように、片側4個ずつ8個の車輪を持つ駆動輪と補助輪、前後に移動可能な座席、先端に補助輪を持つ姿勢保持アーム、本体、キャスターによって構成されている。

平地走行時は駆動輪とキャスターで本体を支え、補助輪は座席上部後方へ収納して移動する。一方、階段昇降時は補助輪を着地させ、座席を後方に移動し、同時に座席を一定角度に支持する。階段上昇時は駆動輪を駆動し補助輪を前にして後向きに上がっていく。下降時は補助輪を後にして前向きに降りていく。また、平地走行では図2(a)に示すように、モータによって駆動プーリが回転するとベルトが回り、各プーリを介して4個の車輪が回転し、接地している車輪AとDの回転によって車椅子は走行する。車輪Aが段差に接触すると車輪Aの回転が停止する。この状態で駆動プーリがさらに回転するとベルトに大きな張力が作用し、図2(b)のように駆動プーリとプーリDの間のベルト長さが徐々に短くなり、プーリDが押し上げられることにより車輪Aの車軸を中心にアームが回転し、アームの中心軸が上昇することによって車椅子が上方に押し上げられる。アームの回転が進んで車輪Bが上の段に接触すると、荷重は車輪Bによ

って支えられるようになり、図2(c)のように車輪Aが上の段に持ち上がるまでアームは車輪Bの車軸を中心に回転しながら徐々に前進する。このような行程を繰り返しながら階段を乗り越えて行く。

3. 力学的解析

階段昇降車椅子に作用する力の関係を明らかにするために、車椅子を本体、駆動輪、補助輪に分け、それぞれについて力と力のモーメントのつり合いについて考える。駆動輪には回転アームおよびこれに付属するプーリ、車輪、ベルトが含まれる。補助輪は回転アームと車輪であり本体は利用する人間を含めた残りの部分とする。

3.1 補助輪に作用する力

補助輪が階段を上るとき、補助輪と階段の相対的な関係から、図3に示すように3つの条件に分ける。

- 条件1 車輪Aが段差に接触し、アームが回転を始めてから、車輪Bが段の上に接触するまで
- 条件2 車輪Bが階段の上に接触してから、車輪Aが段差の側面に接触しながら上昇し、車輪Aが踏み面の角に接触するまで
- 条件3 車輪Aが踏み面の角に接触しながら回転し、踏み面上に乗り上げるまで

全ての条件において力のつり合いより次式を得る。

$$F_{IX} = R_{IX} \dots \quad F_{IY} + m_I g = R_{IY} \dots$$

補助輪中心の O_I 周りの力のモーメントのつり合い式は条件1では

$$R_{IX} \cdot L_I \sin \theta_I = R_{IY} \cdot L_I \cos \theta_I$$

条件2では、

$$R_{IX} \cdot L_I \sin \theta_I = R_{IY} \cdot L_I \sin \theta_I$$

条件3では

$$R_{IX} \{r_I - L_I \cos \theta_I\} = R_{IY} \cdot L_I \sin \theta_I$$

となる。これらモーメントのつり合い式に式を代入して整理すると、各条件における F_{IX} の最大値として次式を得る。

$$F_{IX} = F_{IY} + m_I g \dots$$

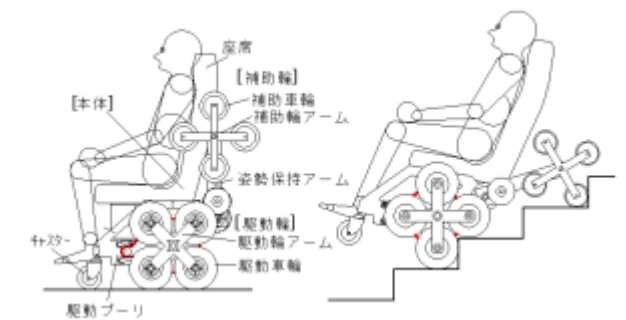


図1 車椅子の概要

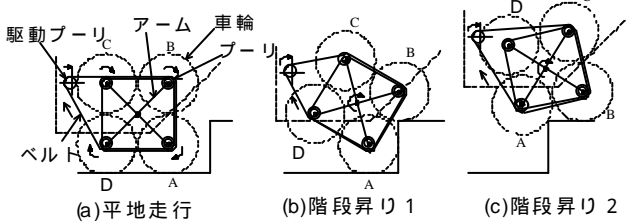
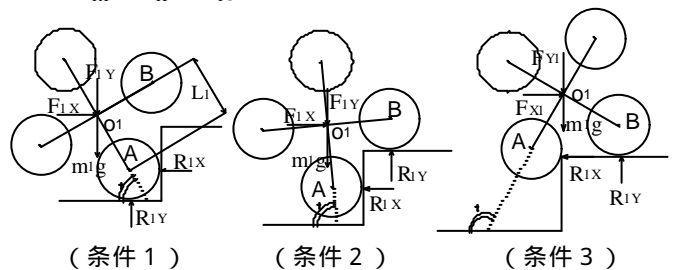


図2 回転アームの運動



(条件1) (条件2) (条件3)

- m_I : 補助輪の質量 r_I : 補助車輪の半径
- L_I : 補助輪アームの長さ
- θ_I : O_I と車輪Aの中心を結んだ直線と水平面の角度
- $F_{IX} F_{IY}$: 本体から受ける力のx,y方向の成分
- $R_{IX} R_{IY}$: 車輪に作用する力のx,y方向の成分

図3 補助輪に作用する力

3.2 本体に作用する力

図4に示すように、駆動輪の中心 O_2 を座標の原点とし、本体に作用する力と力のモーメントのつり合い式は次のようになる。

$$F_{1X} = F_{2X} + P \cos \alpha \dots$$

$$F_{1Y} + F_{2Y} = m_0 g + P \sin \alpha \dots$$

$$F_{1X} \cdot Y_1 + F_{1Y} \cdot X_1 + P \cdot L_1 = m_0 g X_0 \dots$$

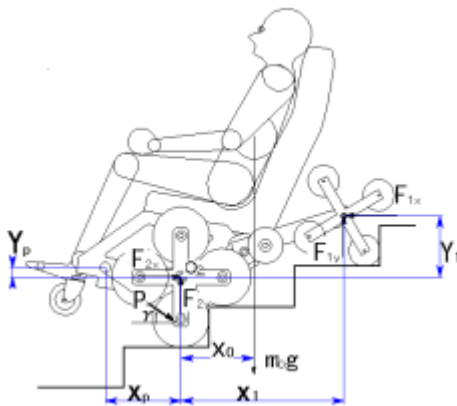
3.3 駆動輪に作用する力

図5に示すように、駆動輪が階段を上るとき、階段との相対的な関係から、補助輪と同様、3つの条件に分け、力のつり合い、 O_2 周りの力のモーメントのつり合い式を導く。

計算を簡単にするために階段の側面と車輪との間の摩擦力は少ないので、これを無視している。

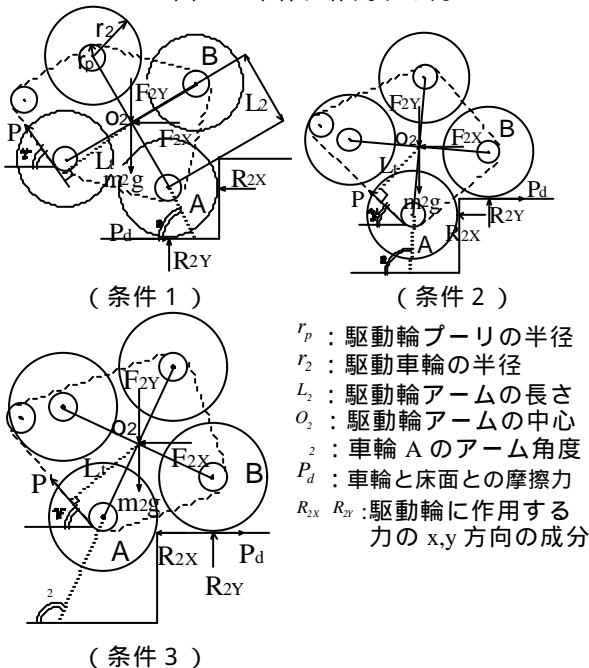
条件1では

$$P_d = F_{2X} + P \cos \alpha + R_{2X} \dots$$



- m_0 : 搭乗者を含めた本体の質量
- X_0 : 搭乗者を含めた本体重心の座標
- X_1 Y_1 : 補助輪の中心座標 X_p Y_p : プーリの中心座標
- L_1 : O_2 からベルトへの垂線の長さ
- α : ベルトの角度 P : ベルトの張力
- F_{2X} F_{2Y} : 駆動輪から受ける力の x,y 方向の成分

図4 本体に作用する力



(条件1)

(条件2)

(条件3)

- r_p : 駆動輪プーリの半径
- r_2 : 駆動車輪の半径
- L_2 : 駆動輪アームの長さ
- O_2 : 駆動輪アームの中心
- α_2 : 車輪Aのアーム角度
- P_d : 車輪と床面との摩擦力
- R_{2X} R_{2Y} : 駆動輪に作用する力の x,y 方向の成分

図5 駆動輪に作用する力

$$F_{2Y} + m_2 g = P \sin \alpha + R_{2Y} \dots$$

$$P_d (r_2 + L_2 \sin \alpha_2) + R_{2Y} \cdot L_2 \cos \alpha_2 = R_{2X} \cdot L_2 \sin \alpha_2 + P \cdot L_1 \dots$$

条件2では

$$P_d = F_{2X} + R_{2X} + P \cos \alpha \dots$$

$$F_{2Y} + m_2 g = R_{2Y} + P \sin \alpha \dots$$

$$R_{2X} \cdot L_2 \sin \alpha_2 + P \cdot L_1 = R_{2Y} \cdot L_2 \sin \alpha_2 + P_d (r_2 - L_2 \cos \alpha_2) \dots$$

条件3では

$$P_d = F_{2X} + R_{2X} + P \cos \alpha \dots$$

$$F_{2Y} + m_2 g = R_{2Y} + P \sin \alpha \dots$$

$$R_{2X} (r_p + L_2 \sin \alpha_2) + P \cdot L_1 = R_{2Y} \cdot L_2 \sin \alpha_2 + P_d (r_2 - L_2 \cos \alpha_2) \dots$$

P と P_d とは、モーメントのつり合いより

$$P \cdot r_p = P_d \cdot r_2 \dots$$

となる。

3.4 ベルト張力および摩擦係数の計算結果

ベルトの張力を計算するために、上記で導き出した式を用いて各条件に連立方程式を立てガウスの消去法を用いて数値解析を行う。

駆動車輪と接地面との間の必要な摩擦係数 μ は

$$\mu = \frac{P_d}{R_{2Y}} \dots$$

となる。

表1に計算に用いた値を示す。重心の位置を $X_0 = 180\text{mm}$ としたときのベルトの張力 P および摩擦係数 μ の計算結果を図6に示す。 P は条件2の初期に最大値を示しその値は $P_{\max} = 1490\text{N}$ であった。摩擦係数 μ は P の値にほぼ対応しており最大で $\mu_{\max} = 0.272$ となり通常の走行状態では問題ない値であることが分かった。

その他の計算結果において、補助輪の接地力となる $F_{1Y} + m_1 g$ の値が負になると補助輪が前方に浮き上がり、車椅子が倒れる危険がある。また、駆動輪が段差の側面を押す力となる R_{2X} の値が負になると前進不能となることから、計算条件では階段昇降可能な重心の位置は $97\text{mm} < X_0 < 202\text{mm}$ であることが示された。

4. 結論

車椅子の階段昇降時において、本体の重心の位置の調整および制御が重要であることが示された。

表1 計算に用いた値

m_0	150 kg	l_2	162 mm	x_p	-249 mm	x_1	633 mm
m_1	5 kg	r_p	28 mm	y_p	12 mm	y_1	279 mm
m_2	10 kg	r_2	100 mm	x_0	180 mm		

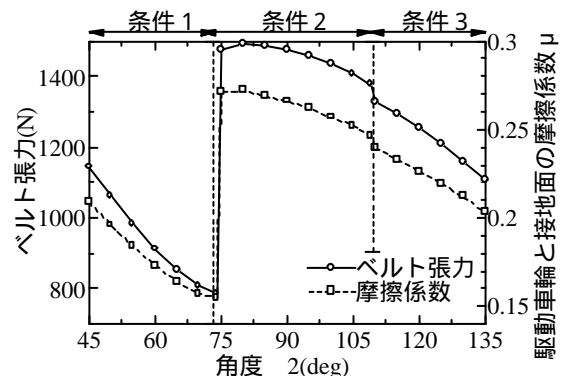


図6 ベルト張力 P および摩擦係数 μ の変化

