

# ペダリングにおいて最大パワーを生み出す クランク位置の関数としての回転角速度

吉 福 康 郎

## 1. はじめに

短距離の自転車競走において最も重要なのは乗員のパワーである。Harrison<sup>1)</sup>はこの観点から、Hill<sup>2)</sup>の方程式を用いて楕円ギヤを装備した自転車のパワーを調べた。また、Miller<sup>3)</sup>らはクランク回転速度とトルクの間にある種のカ-速度関係を仮定し、可変ギヤ比の駆動機構によりパワーが12.6%増すことを理論的に示した。

著者らは<sup>4)</sup>すでにHarrisonの研究を大幅に拡張し、下肢の筋骨格モデルに基づき、クランクの長さ、骨盤の傾斜角、サドル高、クランク回転速度がパワーに与える影響をコンピュータ計算によって示した。今回の研究はその延長上にあり、クランクの回転速度がその位置によるとして、最大パワーを引き出せる位置の関数としての回転速度を求めることを目的とした。

## 2. 方法

### 2. 1 自転車-乗員系の力学モデル

自転車-乗員系の力学モデルを図1に示す。このモデルの構成要素は、一平面内の5個の剛体(骨盤、大腿、

下腿、クランク、シートパイプ)と4個の摩擦のない継ぎ手(股関節H、膝関節K、ペダル軸P、クランク軸O)である。クランク長は $r=17.0\text{cm}$ とした。

### 2. 2 下肢の筋骨格モデル

筋骨格モデルを図2に示す。股関節(HJ)と膝関節(KJ)の運動に携わる筋を7つの筋群に分類した。図1のモデルにおいて、足関節とペダル軸が一致すると仮定した。また、各筋群は点状の起始と停止を持つ単一筋のように振舞うと仮定した。

### 2. 3 筋特性

筋の収縮特性はHillの方程式を拡張した次の式に従うと仮定した。

$$(F+a)(v+b)=(gF_0+a)b \quad (1)$$

$$a/F_0=b/v_0=0.25 \quad (2)$$

$F_0$ は最適筋長における等尺性収縮力、 $v_0$ は無負荷時の最大短縮速度である。また、

$$F_0=40\text{N}/\text{cm}^2 \cdot \text{PCSA} \quad (3)$$

$$v_0=8\text{s}^{-1} \cdot L_f \quad (4)$$

$$g = -6.25(1/l_0)^2 + 12.5(1/l_0) - 5.25 \quad (5)$$

(Woittiez et al.<sup>4)</sup>)

と仮定した。ただし、PCSA は筋の生理学的横断面積、 $L_f$  は筋線維長、 $l$  は筋長、 $l_0$  は最適筋長である。 $l_0$  は HJ と KJ の角度がそれぞれ  $75^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$ 、 $40^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$  の範囲で変化したときの筋長の最大値と最小値の平均であると仮定した。

#### 2. 4 パワーの定義

クランクが一回転する際、短縮中の筋群は(1)式に従って収縮し、伸長中の筋群は完全に休息すると仮定し、クランク一回転中に全筋群がした仕事を一回転にかかる時間で割った値を平均パワーと定義した。

#### 2. 5 デザインパラメータ

デザインパラメータは、図1の $\alpha$  (骨盤の前方への傾斜角)、 $h$  (サドル高)、 $\dot{\theta}$  (クランク角度 $\theta$ の関数としてのクランク回転角速度)、 $\theta_M$  ( $\theta$ の上限)の4つとした。さらに、左右のクランクが独立に回転する場合と通常の駆動機構のように対称的に回転する場合のそれぞれについて考えた。

$\theta_M = 200, 240, 280$  rpm の3通りの場合のそれぞれについて、平均パワーが最大になるような $\alpha$ 、 $h$ 、 $\dot{\theta}$ をコンピュータ計算によって求めた。 $\dot{\theta}$ は $\theta = 15i$  ( $i = 0, 2, \dots, 23$ )の24点において値を指定し、その他のクランク角度ではその両隣の値を直線で補間した。

### 3. 結果と考察

左右のクランクが独立に動く場合の結果を表1に示す。

表1 3通りの $\theta_M$ についてパワーを最大にするパラメータ値とクランクの平均回転速度

$\theta_M$ (rpm)	$\alpha$ (deg)	$h$ (cm)	$\bar{\dot{\theta}}$ (rpm)	P (W)
200	6	69	129.2	745
240	5	69	141.3	774
280	5	69	151.6	795

クランクが等角速度で回転する場合、下肢の筋群の発揮する平均パワーは、骨盤の傾斜角 $\alpha = 2^\circ$ 、サドル高 $h = 53$  cm、角速度 $\dot{\theta} = 177$  rpm のとき最大値 $P = 640$  W (片脚)であった。これに比べると、パワーの増加は左右のクランクが対称的に動く場合わずか1%であった。左右のクランクが独立に動く場合、表1のようにパワーの増加は16-24%であった。このことから、クランクの回転速度がクランク位置の関数として変化する駆動方式がパワー増大のため有効であると結論できる。

(筆者は中部大学工学部自然第2系列教授)

#### 参考文献

- 1) Harrison, J. Y. Human factors 12 : 315-329, 1970.
- 2) Hill, A. V. Proc. Royal Soc. London 126 : 136-195, 1938.
- 3) Miller, N. R. Int. conf. medical devices and sports equipment : 49-56, 1980.
- 4) Woittiez et al. J. Morphology 182 : 95-113, 1984.
- 5) Yoshihuku Y. et al. J Biomechanics 23 : 1069-1079, 1990.

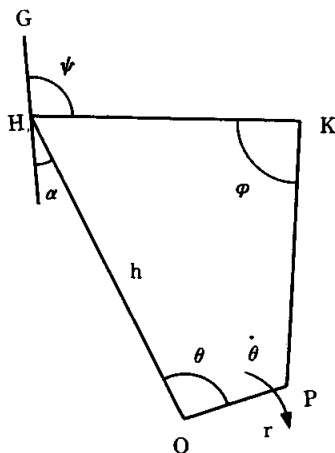


図1 自転車一乗員系の力学モデル

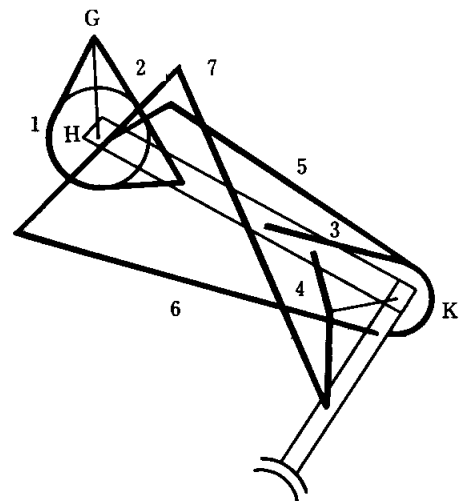


図2 下肢の筋骨格モデル