

507 ぜんまいを用いた自転車の走行エネルギー回生

The running energy resurrection of bicycle with spring

正○大滝英征 (埼玉大)、正 琴坂信哉 (埼玉大)

安田斉弘 (埼玉大院)、正 長坂保美 (日本工大)

Hideyuki OHTAKI, Sinya KOTOSAKA and Yasuhiro YASUDA

Saitama University, 255 Shimo-Okubo Sakura-ku Saitama

Yasumi NAGASAKA

Nippon Institute of Technology, 4-1 Gakuendai Miyasiro-machi Saitama

Key words: Spring, energy resurrection, bicycle

1. まえがき

自転車の発車時や坂道走行時の補助駆動機構を組み込んだものとして、電動アシスト自転車が市販されている。これは、電動機や電池を搭載しており、高重量、高価でもある。しかも、多くの充電時間を要し、随時使用できるわけではない。加えて、車両としての法的な規制も加えられる可能性もある。さて、アシスト自転車は、全走行行程を電動駆動するのではなく、発進時や坂道でのみでの利用が多い。このことを勘案すると、何も高価で高重量な電池や電動機を組み込む必要はなく、停車後の発進加速時のみ補助動力を利用する簡便な機構が開発出来れば良い。そこで本研究では、軽量かつ安価であるぜんまいを自転車の補助動力源として利用し、制動時に走行エネルギーをぜんまいに蓄え、発進時に放出する新たな補助駆動機構（エネルギー回生）の開発を行った。

2. 自転車の補助動力としてのぜんまいの利用

2.1 ぜんまいに蓄えられるエネルギー

本研究では接触型の普通型ぜんまいばねを用いた。この最大回転数 $N_{\max}$ ・最大エネルギー保存量 $U_{\max}$ 最大出力トルク $T_{\max}$ は以下の式によって与えられる。

$$N_{\max} = \frac{1}{2h} \left\{ \sqrt{\frac{4lh}{\pi} + d^2} + \sqrt{D^2 - \frac{4lh}{\pi}} - (D + d) \right\}$$

$$U_{\max} = \frac{2\pi^2 E b h^3 N^2}{3l(D^2 - d^2)} [J]$$

$$T_{\max} = \frac{\pi E b h^3 N d}{6lD} [N \cdot m]$$

D : ぜんまい外径[mm] d : ぜんまい内径[mm]

h : 板厚[mm] l : ぜんまい長[mm]

E : 縦弾性係数[N/mm] b : 板幅[mm]

本研究で使用したぜんまいでは、理論上

$$U_{\max} = 79985 [J]$$

$$T_{\max} = 2.31 [N \cdot m]$$

が得られる。

2.2 エネルギーの蓄積及び放出機構

ぜんまいは、巻き込み・巻戻しの回転方向が逆となる。一方、自転車の進行方向は、基本的には前進の一方である。そこで車輪の回転方向は一方でありながらも、搭乗者が無意識のうちに制動時に走行エネルギーを回収、放出出来る機構を遊星歯車機構を組み込み達成した。Fig.1はその機構の概略構成を示したものである。

太陽歯車にぜんまいの内端およびブレーキ、内歯車にぜんまいの外端およびラチェット機構、遊星歯車に取り付け

たキャリアに車輪が組み込まれた構造となっている。以下に具体的な動作の流れを示す。

①フリー走行時：太陽歯車、内歯車、キャリアとも動方向に同速度で回転している。

②制動時：Fig.2に制動時の動力伝達系の構成を示した。ブレーキが懸けるとぜんまいの内端が固定され、車体の慣性エネルギーが 車輪→キャリア→遊星歯車→内歯車→ぜんまい外端へと伝達され、結果的にぜんまいの巻き込みが行われる。停止時には、ラチェットにより、ぜんまいの巻き戻りが起きないように図っている。

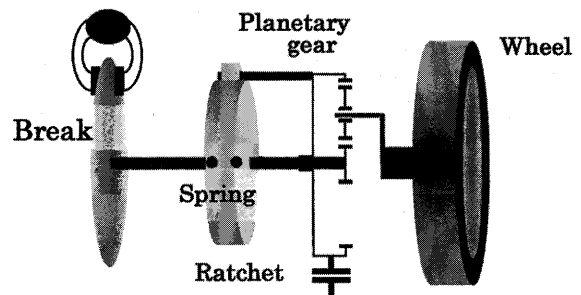


Fig.1 Arrangement of the mechanical devices

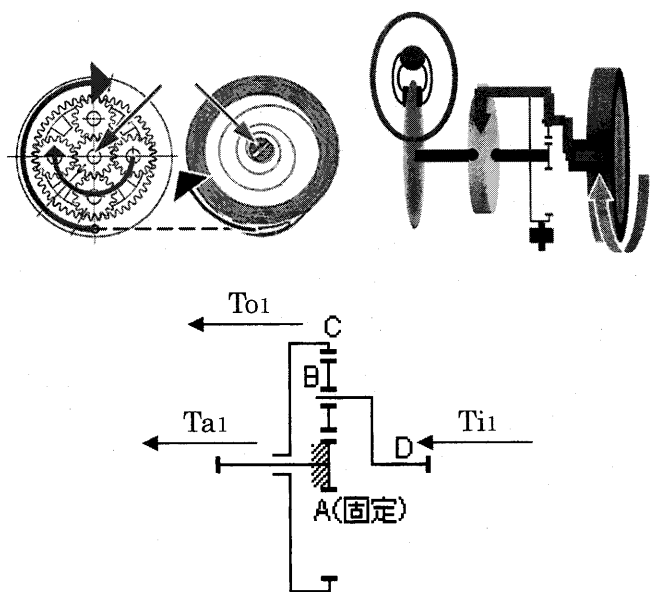


Fig.2 Arrangement of the mechanical devices when the brake is operated

③発進時：Fig. 3は、発進時の動力伝達系を示したものである。ブレーキを開放することで、太陽歯車、ぜんまい内端が自由状態となり、ぜんまい内端→太陽歯車→遊星歯車→キャリア→車輪と伝達し、ぜんまいのエネルギーが車体の駆動エネルギーとなる。

Fig. 2については、

$$T_{o1} = \frac{R-1}{R} RT_{i1} \quad T_{a1} = \frac{1}{R} T_{i1}$$

Fig. 3については

$$T_{o2} = RT_{i2} \quad T_{a2} = -(R-1)T_{i1}$$

ここで、 $T_a = T_2$ とすると

$$T_{o2} = (R-1)T_{i1}$$

T_{i1} 車輪からの入力トルク
 T_{o1} 遊星歯車を経て出力されるトルク
 T_{i2} ぜんまいからの出力トルク
 T_{o2} 遊星歯車を経て出力されるトルク
 R ：太陽ギヤ→遊星ギヤの減速比

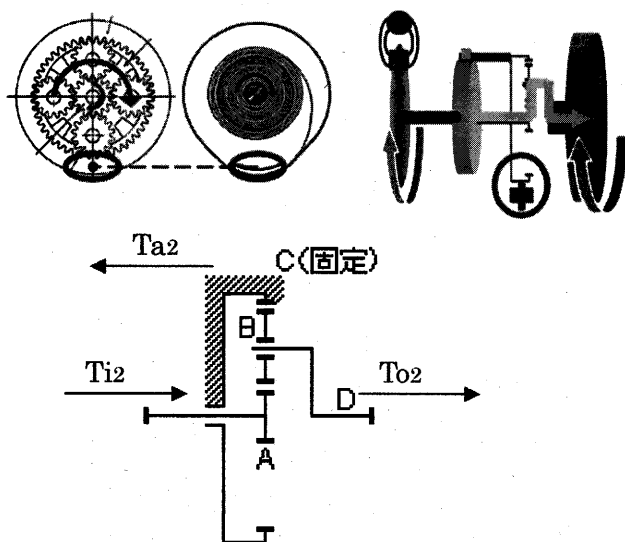


Fig. 3 Arrangement of the mechanical devices when the brake is operated

3 試作機及び特性

3.1 試作機：Fig. 4は、本研究において試作した装置の外観を示したものである。遊星歯車の減速比は5である。

3.2 特性：ぜんまいにかかる力の測定はばねばかりを用い、トルクへの変換は腕の長さを掛け合わせて行った。Fig. 5は、車輪を回転させ、ぜんまいを巻き上げた際におけるぜんまい側の巻き戻しトルクを、巻き込み回転数との関係で示したものである。ここで、自転車の発進に必要なトルクは

$$\begin{aligned} T &\geq \mu RMg \\ &= 2.2638 [\text{N} \cdot \text{m}] \end{aligned} \quad \begin{aligned} R &= 0.3 [\text{m}] \\ M &= 70 [\text{kg}] \\ \mu &= 0.01 \end{aligned}$$

と想定される。Fig. 5と比較検討すると、本装置では、自

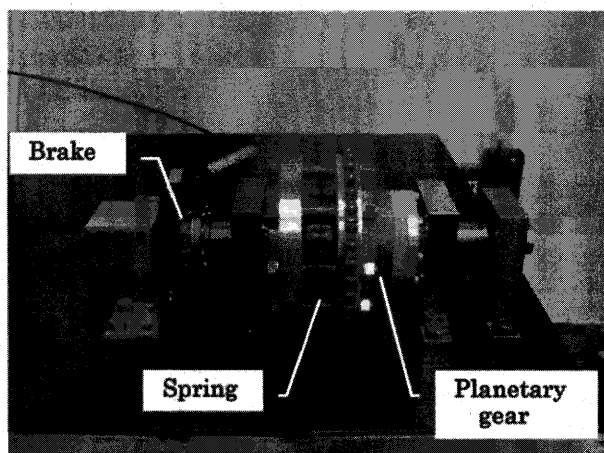


Fig. 4 The energy resurrection device of bicycle with spring

転車の発進時に必要とされるトルクを十分確保出来るものと考えられる。

次に所定の巻き数まで巻き上げた後、ブレーキを解放し、蓄えられたエネルギーを完全に放出し車輪を回転させた時点でブレーキをかけ、車輪の回転エネルギーを再びぜんまいに蓄える。そして再度ブレーキを解放し、車輪を回転させる。その回転し始める時の巻き戻しトルクを測定する。Fig. 6は、その際ぜんまいの巻き数と解放前後の巻き戻しトルクの関係を示したものである。既存の自転車用回生ブレーキの回生率は30%前後だが、本装置は74~83%と、それを上回っていることが伺える。

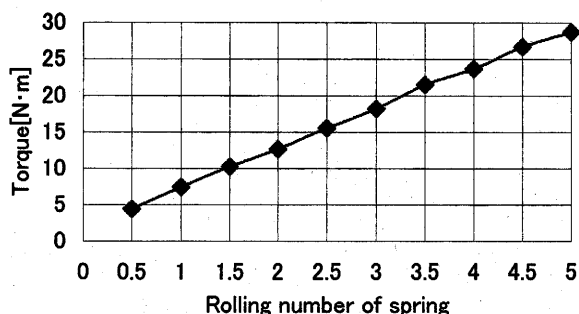


Fig. 5 The relation of the rolling number of spring and torque

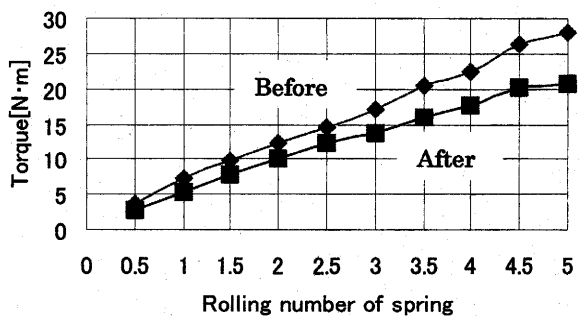


Fig. 6 The relation of the rolling number of spring and torque