

631 機械的エネルギー蓄積材料および装置に関する研究

Study on the Materials and the Device for the Accumulating Mechanical Energy.

○学 青木 慎 (新潟大) 正 石橋 達弥 (新潟大) 正 大木 基史 (新潟大)
柳川 貴文 (富士通ディフェンスシステムズ(株))

Shin AOKI, Tatsuya ISHIBASHI, Motofumi OHKI :

Faculty of Engineering, Niigata University 8050 2-no-cho Ikarashi, Niigata 950-2181, JAPAN

Takafumi YANAGAWA : Fujitsu Defense Systems Co.

Key Words: Accumulating mechanical energy, Spiral spring, New materials

1. 緒言

近年、機械的性質に優れた新素材が数多く開発されてきている。それにより、実用化にまでいたらなかった過去のエネルギー蓄積装置が見直されている。

本研究ではこれまでの素材 (ばね鋼等) よりも高弾性高強度、軽量といった優れた特性を持つ新素材を機械的エネルギー蓄積材料として想定し、また小さなスペースの中で効率的、かつクリーンなエネルギーを蓄える装置として今見直されている「渦巻きばね」を基本とした装置について検討した。さらに、他のエネルギー蓄積装置であるフライホイールやバッテリー等との比較検討を行った結果について報告する。

2. 新素材

今回検討する新素材としては、炭素繊維として東レのトレカ(糸)M60J、トレカコンポジット M60J およびカーボンナノチューブについて検討した。各素材の機械的特性を、Table1 に示す。また、比較として一般的なばね鋼 SUS9 の機械的特性も示す。

3. 接触型渦巻きばね

接触型渦巻きばねの利点は、限られた空間で大きな変形のもとに比較的大きなエネルギーを蓄積できるところにある。また、蓄積されるエネルギーはバッテリーや燃料電池と違い機械的エネルギーが蓄積されるため、変換際のエネルギーロスが少なく効率的である。バッテリーは充電に数時間かかってしまうが渦巻きばねはエネルギーを数十秒程

で蓄積できる。また、排気物、ノイズ、廃棄処理等の公害問題を抱えているエネルギー蓄積装置が多い中、その心配もなく非常にクリーンなエネルギー蓄積装置である。

4. 接触型渦巻きばねの設計

設計対象とした渦巻きばねの寸法は、渦巻きばね製作会社(モリテックスチール(株))が製作可能である最大寸法とした。

板厚(t) : 3mm 板幅(b) : 50mm 長さ(l) : 40000mm

中心軸(d) : 35mm 外径(D) : 530mm

設計式は以下のものを用いた。

$$T_{max} = Ebt^3 \times \left(\frac{0.03}{t} - \frac{4 \times 10^{-6} \times (d+t/2)^2}{t^3} \right) / 10.92$$

$$K_b = \frac{2bt^3 E \pi}{12l(1-0.3^2)}$$

$$N_{max} = \frac{K}{2t(\sqrt{4lt/\pi + d^2} + \sqrt{D^2 - 4lt/\pi} - (D+d))}$$

T_{max} : 最大トルク K_b : ばね定数 N_{max} : 最大巻数

E : 引張弾性率 K : 回転定数

Fig.1 に設計した渦巻きばねのトルク曲線を示す。トレカでは一般的なばね鋼の約3倍、トレカコンポジットでは約1.8倍のトルクが期待できる。トレカ(糸)を用いたものであれば、中心軸に発生する最大トルクは392N・mであるので普通自動車のトルクが約200~300N・m 小型自動車、バイク等のトルクが50~100N・m 程度ということを見ると、短い距離であれば自動車やバイクも動かす

Table1 Mechanical properties of new materials

	Young's modulus (GPa)	ultimate elongation (%)	Density (g/cm ³)
Carbon(M60J)	590	0.7	1.93
Carbon composite (M60J)	360	0.6	1.93
Carbon nano tube	5000	-	1.30
Spring steel(SUS9)	205	0.5	7.85

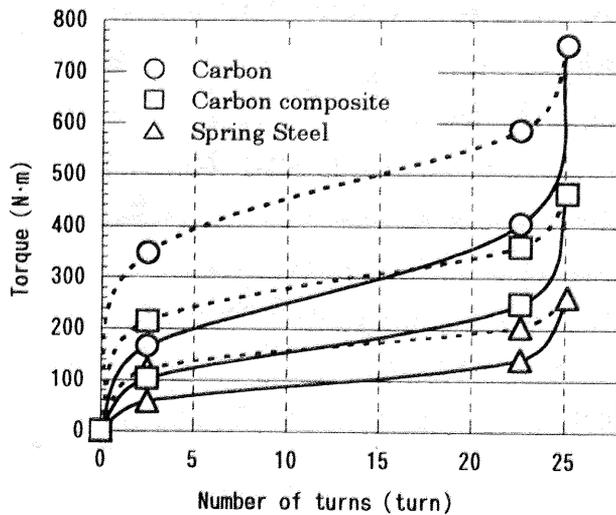


Fig.1 Torque curve

ことができるほどの出力が期待できる。しかも、ばね自体の重さも 1/4~1/5 従来のもより軽量になっている。

5.接触型渦巻きばねに蓄積されるエネルギー

この設計した渦巻きばねに蓄積される総エネルギー量を計算によって求めると、Table2 のようになる。一般的なばね鋼に比べると重量エネルギー密度においてかなりの飛躍が見られる。参考として、現時点で最も強度が高い素材であるとされるカーボンナノチューブの引張弾性率を用いて渦巻きばねを設計すると、総エネルギー蓄積量はトレカの場合の約 9 倍とさらなる向上が期待できる。

6.エネルギー蓄積装置としての接触型渦巻きばねの可能性

今回設計した渦巻きばねのエネルギー密度と他の蓄積装置とのエネルギー密度の比較を、Table3 に示す。他の蓄積装置に比べるとエネルギー密度においてはかなりの差が見られる。本研究では、現在市販されている新素材および

次世代の新素材であるカーボンナノチューブを用いた渦巻きばねのエネルギー蓄積装置としての可能性について検討してきたが、渦巻きばねのみでの他の蓄積装置に代わる動力源としての利用は困難であると考えられる。しかし、渦巻きばねは数十秒程度でエネルギー蓄積が可能であり、また機械的エネルギーが蓄積されるためエネルギー効率がよいといった長所があるため、他のエネルギー蓄積装置とのハイブリッド化を図ることにより、用途によっては使用の可能性が拡大すると考えられる。

7.結言

(1)効率的、かつクリーンなエネルギーを蓄積する装置として新素材を用いた渦巻きばねについて検討した。新素材を用いることによってエネルギー蓄積性能が飛躍的に向上することが判明した。

(2)現時点での新素材の性能では、動力源として独立して機能することは難しいと考えられるが、ハイブリッド化を検討することで新たな用途を見出す可能性がある。

渦巻きばねのエネルギー蓄積量に関してはまだ未解決な点が多いことから、渦巻きばねの製作および蓄積装置の性能解析を行うことが今後必要である。

最後に、ばねの設計に際していろいろと御教示・御協力いただいたモリテックスチール株式会社に感謝申し上げます。

<参考文献>

- ばね 第3版 ばね技術研究会編 丸善
 ばねの設計 ばね技術研究会編 丸善
 エネルギー変換工学 谷 辰夫、小山 茂夫、他共著
 東レ トレカ 炭素繊維資料

Table2 Accumulating energy and energy density

	Accumulating energy (Wh)	Energy density per Weight (Wh/kg)	Energy density per Content (Wh/l)
Carbon (M60J)	4.6	0.4	0.33
Carbon composite (M60J)	2.85	0.25	0.20
Carbon nano tube	39.4	5.05	2.80
Spring Steel (SUS9)	1.62	0.034	0.12

Table3 Energy density and conversion efficiency

	Energy density per Weight (Wh/kg)	Energy density per Content (Wh/l)	Conversion efficiency (%)
Spiral Spring (Carbon)	0.4	0.33	85%
Spiral Spring (Carbon nano tube)	5.05	2.80	85%
Li ion battery	150	300	60%
Fuel cell methanol reforming	400	250	45%
Super Capacitor	6.5	4.3	70%
Flywheel (Carbon)	132	273	85%