

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560165

研究課題名(和文) ベルトの自己締結性の解明と応用機器の創製

研究課題名(英文) Study of self-locking property of belt and its application products

研究代表者

今戸 啓二 (IMADO, Keiji)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：80160050

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：ベルトを軸に数回巻き付けてトルクを加えると、ベルトは張力により自己締結を生じ、軸に完全に摩擦固定されることを理論的に解明し、実験による確認を行った。この現象を利用することで、軸芯がオフセットした状態でもトルク伝導可能な簡単なクラッチを開発した。オフセット量と角速度変動量の関係式を求め、実験による確認を行った。クラッチを応用した三輪車を開発し、滑らかに走行可能なことを確認した。

研究成果の概要(英文)：The self-locking property of a belt wrapped two or three times around an axis was clarified theoretically and was confirmed experimentally. By utilizing this property, a simple structured clutch was developed, which can transmit torque even in an off-centered condition. The relation between the off-centered distance and the corresponding variation of angular velocity was derived from geometrical viewpoint. The theoretical relation was confirmed by means of experiments. A tricycle was developed by using the clutch mentioned above. Experiments confirmed that the clutch works properly and that the tricycle runs smoothly without any vibration.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジ-

キーワード：トライボロジ- ベルト摩擦 自己締結 クラッチ 角速度

1. 研究開始当初の背景

物流現場で広く使われているベルトバックルは経験と勘を頼りに作られており、理論に基づいたものではなかった。今戸はゴム張力を利用した腰部負担軽減具の開発に必要な、ベルト長さが簡単に調整可能なベルトバックルに無いことに気づき、ベルトの摩擦固定理論の考察から始めた。その結果、摩擦固定理論の解明に成功し、ベルトの重ね巻きにより発現する自己締結現象が摩擦固定の本質であることを見出した。バックルは通常多軸構造であるが、単軸上でも自己締結現象が発現することを理論的に予測し、ベルトの自己締結に必要な条件も見出した。それらの成果によりベルト式クラッチの創案に至った。

2. 研究の目的

軸にベルトを重ね巻きして張力を与えると、ある条件下ではベルトは自身の張力で軸に完全に摩擦固定される。そのベルトの自己締結性を詳細に探求することと、その特性を応用したクラッチや軸継手などの簡単な機器の試作・評価を行い、実用化への糸口を探ることを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

ベルト式クラッチの評価のため、図1に示す実験装置を製作した。回転数 60r/min のギヤドモータからのトルクは、パワーリングから自己締結ベルトを介し、内軸に伝えられる。内軸は電磁ブレーキと連結され、所定の大きさの負荷トルクを与えることができる。原軸であるパワーリングの回転角度と、従軸となる内軸の角度は、角度センサを利用して測定した。角速度の計算は数値微分を行うとノイズが強調されるため、面積速度法を用いた。

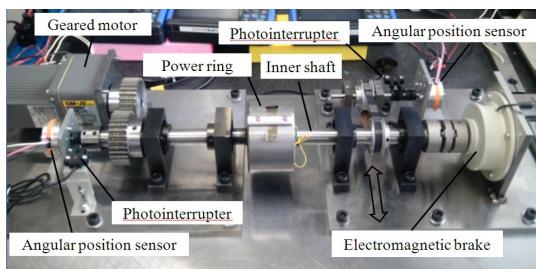


図1 実験装置

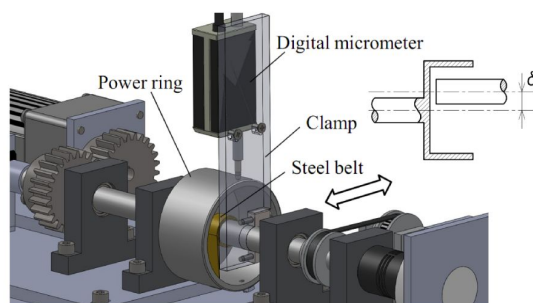


図2 軸心オフセットの測定法

原軸と従軸の軸芯間のオフセット量は、図2に示すように、従軸側を搭載した基板を矢印の方向にずらすことで 0~4mm の範囲で調整できる。軸心オフセット量の大きさは、内軸に取り付けたデジタルマイクロメータの接触子を、パワーリング周面に接触させながらパワーリングを回転させることで正確に測定した。パワーリング周面は原軸に溶接した後旋盤加工しているため、原軸とパワーリングの軸芯は一致している。

ベルトは厚さ 0.12mm、幅 12mm、硬さ 550HV のスチールベルトを利用した。軸とベルトの間は無潤滑であるが、ベルト間には摩擦係数を下げるため、二硫化モリブデン入りのグリスを僅かに塗布した。スチールベルトのほかに、厚さ 1.2mm、幅 16mm の合成繊維のベルトも使用した。合成繊維ベルト同志の摩擦係数を下げるために、二硫化モリブデンを混入したフィルムであるスライドテープをベルト間に挟み込んだ。

ベルトの疲労試験と従軸側の慣性モーメントの大きさの角速度変動への影響を調べるため、図1と類似の構造をした回転数 360r/min の試験機も製作した。

4. 研究成果

図3に従軸である内軸側に取り付けた角度センサの時間的変化の一例を示す。図より軸心オフセットの大きい程、直線からの逸脱は大きくなり、角速度の変動を示している。一方、原軸であるパワーリング側に取り付けた角度センサの出力は、軸心オフセッ

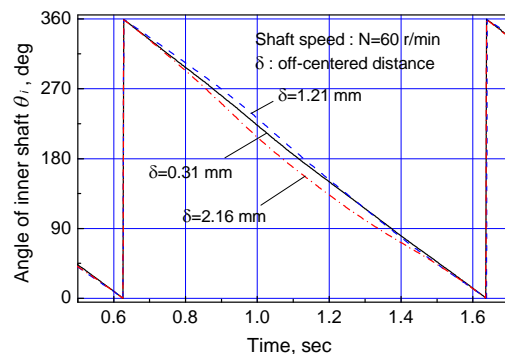


図3 内軸側角度センサの時間的変化

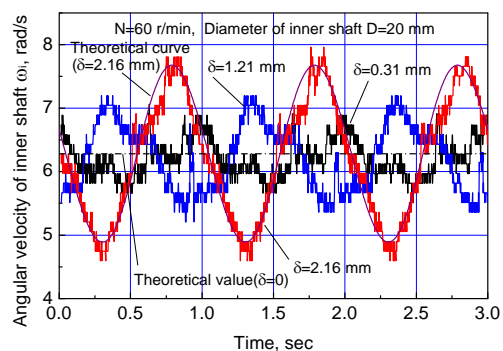


図4 軸心オフセットがある場合の内軸角速度の時間的変化

トの大きさに関わらず全て線形となり、一定角速度で回転していることを確認した。

図3に示した角度センサの出力から、面積速度法により角速度を計算した結果を図4に示す。一点鎖線は軸心オフセットがない場合の理論的角速度であり、 $\delta=2.16\text{mm}$ については理論的角速度も実線でプロットしている。図より軸心オフセットの増大に伴い角速度変動の大きくなること分かる。また実験値と理論的角速度は良く一致していることが分かる。

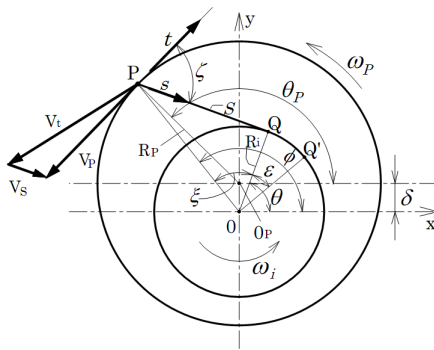


図5 ベルト式クラッチの機構学的モデル

理論的角速度は図5に示した機構学的モデルを利用して計算した。図は内軸とパワーリングの軸心はだけオフセットした状態で、ベルトSにより連結され、パワーリングと内軸はそれぞれ ω_p と ω_i の角速度で回転している状態を示している。理論的角速度比と内軸の角加速度 α_i は式(1)、(2)で計算できる。

$$\frac{\omega_i}{\omega_p} = 1 + \frac{R_p}{R_i} \frac{\delta \cos \theta_p}{\{R_p \sin(\theta_p - \theta) + \delta \cos \theta\}} \quad (1)$$

$$\alpha_i = - \frac{\omega_p^2 R_p \delta (R_p^2 F_1 + 2R_p \delta F_2 + \delta^2 F_3)}{4R_i \{R_p \sin(\theta_p - \theta) + \delta \cos \theta\}^3} \quad (2)$$

ここで、(2)の分子にある係数は、

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= 4 \sin^2(\theta_p - \theta) \sin \theta_p \\ F_2 &= 2 + \cos 2\theta - \cos 2(\theta_p - \theta) \\ F_3 &= 4 \cos^2 \theta \sin \theta_p \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

である。式(1)、(2)を利用して計算した結果を図4、6、7に示す。角加速度を実験的に高精度で求めることは難しいが、計算式が得られたことで角速度に似た変化をすることが分かった。

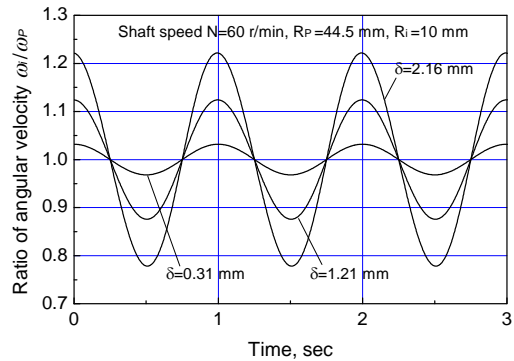


図6 理論的角速度比の時間的变化

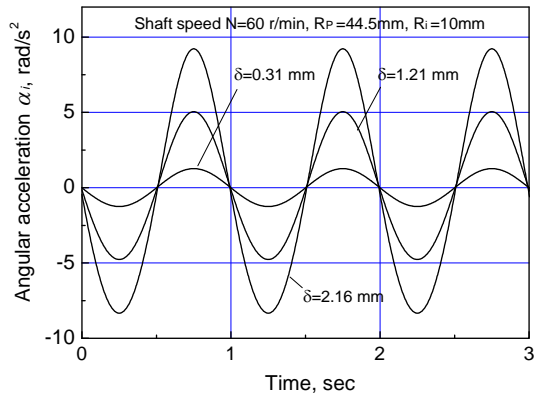


図7 内軸の理論的角加速度の時間的变化

このように、ベルト式クラッチでは軸心オフセットがあっても回転トルクを伝導可能なことを確認した。また負荷トルクが変動した状態でも、ベルトは滑ることなくパワーを伝導可能なことを確認した。

次にベルトの疲労試験を行った結果について述べる。図8は横軸に軸心オフセット量、縦軸はベルトが破断するまでの内軸の総回転数を示す。がスチールベルト、が合成繊維ベルトの結果である。ここで、合成繊維ベルトについては360万回後にベルトを観察した結果、破断する気配が無かったため、実験を中断した。スチールベルトでは軸心オフセット量の増大に伴い、疲労寿命は低下することが分かる。ベルトは図5に示すパワーリング側のP点で破断していた。ベルトが破断する原因は、軸心オフセットがある場合、ベルトの内軸方向への角度が変動するためである。剛性の高いスチールベルトではP点に繰返し曲げ応力が作用することで破断に至る。一方、柔軟性の高い合成繊維ベルトの場合、 $\delta=3.38\text{mm}$ のように非常に大きな軸心オフセットがある場合でも、ベルトは破断することなく、長時間運転可能であった。

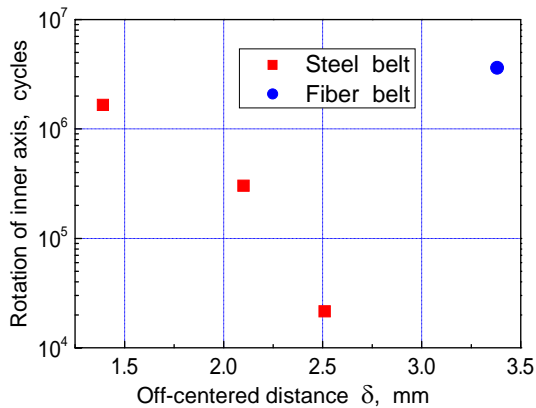


図8 ベルトの疲労寿命試験結果

最後にベルト式クラッチを三輪車に応用した写真を図9に示す。実際に運転した結果、ベルトは滑ることなく坂道も登れることを確認した。またスチールベルトの間に二硫化モリブデンの僅かに塗布することでクラッチの接合感が鋭くなることを、下肢を通して体感できた。一方、二硫化モリブデンを塗布しない場合は、半クラッチ状態となり、接合することはできなかった。このことはベルトの自己締結にはベルト同士の摩擦係数が、軸とベルトとの摩擦係数より小さくする必要があることを示した理論式の正しいことを裏付けている。またベルト式クラッチを利用した三輪車では、走行中にペダルを漕ぐことを止めても、クラッチは自然に切れるため、自転車のように滑らかに走行可能なことを確認した。三輪車がカーブを曲がる際、外側タイヤの角速度は、内側タイヤの角速度より速くなるが、従動軸の角速度が原動軸の角速度より速くなればクラッチは自動的に切れるため、外側タイヤの駆動軸は無理することなく滑らかにカーブを曲がれることを確認した。



図9 ベルトクラッチ式三輪車

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Keiji Imado and Hironori Nakata, Experimental Study of Novel Clutch Utilizing Self-Locking Property of Belt, Proc. of ImechE Journal of Engineering Tribology, 227, 8, 2013, pp.912-918.

Keiji Imado, Kyouhei Uesaka and Hironori Nakata, Study of Belt Friction with Three Times Wrapping Condition, Tribology on line, 8, 2, 2013, pp.179-185.

Hironori Nakata, Kyouhei Uesaka, Yasushi Ono and Keiji Imado, Experimental study of clutch utilizing self-locking property of belt, Tribology on line, 8, 1, 2013, pp.117-121.

[学会発表](計10件)

寺田潔史, 庄惇宏, 今戸啓二, ベルト式クラッチの疲労寿命に関する研究, トライボロジ - 会議 2013 秋 福岡 予稿集, Oct. 23-25, 2013

Keiji Imado, Hironori Nakata and Atsuhiko Shou, Study of belt-type one-way clutch, Extended abstracts of World Tribology Congress 2013, Torino, Italy, September 8 - 13, 2013

今戸啓二, 庄惇宏, 寺田潔史, 中田亘政, ベルトの自己締結性に関する研究, トライボロジ - 会議 春 東京 予稿集, May 20-22, 2013

寺田潔史, 庄惇宏, 中田亘政, 三浦篤義, 今戸啓二, ベルト式クラッチを利用した三輪車の開発, 日本機械学会関西支部第88 期定時総会講演会, 大阪工業大学, Mar. 16-17, 2013

庄惇宏, 中田亘政, 今戸啓二, ベルト式クラッチの機構解析とその応用, トライボロジ - 会議 秋 室蘭, Sep. 16-18, 2012.

Keiji Imado, Hironori Nakata, Kyouhei Uesaka and Atsuyoshi Miura, Experimental study of novel clutch utilizing self-locking property of belt, NordTrib, Trondheim Norway, Jun 12-15, 2012

中田亘政, 今戸啓二, ベルト式クラッチに関する実験的研究, トライボロジ - 会議 春 東京, May 14-16, 2012

庄惇宏, 三浦篤義, 今戸啓二, ベルト式ワンウェイクラッチの応用に関する研究, 日本機械学会東海支部 61 期総会講演会 名古屋工業大学, Mar. 15-16, 2012

Hironori Nakata, Kyohei Uesaka, Atsuyoshi Miura and Keiji Imado, Study of self-locking property of belt and its application, ITC Hiroshima, Oct. 31- Nov. 3, 2011

中田亘政, 上坂恭平, 今戸啓二, 3 回重ね巻きしたベルトの摩擦に関する研究, トライボロジ - 会議 東京, May 23-25, 2011

〔図書〕(計1件)

Keiji Imado, Frictional property of flexible element, New Tribological Ways, ISBN 978-953-307-206-7, edited by Taher Ghrib p.235-264. (2011) Intech Open Access Publisher

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計1件)

名称：Cリング型ベルト式クラッチ
発明者：今戸啓二
権利者：大分大学
種類：特許
番号：特許第 5499416 号
取得年月日：2013 年 3 月 20 日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今戸 啓二 (IMADO, Keiji)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：80160050

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：