

印刷機用遊星ローラ式トラクションドライブ減速ユニットについて

Planetary Roller Type Traction Drive Unit for Printing Machine

河野晶彦 A. KAWANO

This paper describes the issues including the rotation unevenness, transmission torque and service life which should be studied when applying traction drive speed reducer to printing machine. Specifically, comparison between conventional gear type speed reducer was made to prove the advantageous characteristics such as efficiency, vibration and backlash. The results show the possibility for traction drive unit to expand its practical applications in various fields in the future.

Key Words: traction drive, rotation unevenness, printing machine, speed reducer, planetary roller

1. はじめに

近年，デジタル画像処理技術の急速な進歩に伴い，印刷機はより高画質化へと進みつつあるが，その画像品質を支えるためには印刷紙を送る動力伝達部において非常に高い回転精度が必要である．一般に動力伝達部で必要とされる回転速度は数 min^{-1} ～数十 min^{-1} であることが多く，駆動モータ+減速装置の組み合わせが一般的に使用される．

こうした用途においては，従来の歯車やベルトによる減速方式では限界があるため，新しい減速方式のニーズが高まってきている．

当社は以前より電動自転車やパワーステアリング用途のトラクションドライブ(図1)がもつ高い回転精度に着目し，印刷機分野での実用化を進めている．

本報では当社での印刷機用途におけるトラクションドライブの考え方について解説する．



図1 遊星ローラ式トラクションドライブ
Planetary roller type traction drive unit

2. 基本原理

図2に示すようにトラクションドライブでは2つの圧接されたローラ間に介在する油膜によって，駆動側ローラから従動側ローラへ動力が伝達される．

ローラ間には微小な相対速度差が存在し，油膜をせん断するため接線力(トラクション力)Tが発生する．

トラクション力Tは式(1)で表される．

$$T = \mu P \tag{1}$$

μ : トラクション係数

P : ローラに発生する圧接力

μ はトラクション係数と呼ばれ，摩擦係数に類似するものである．

この係数が高い潤滑油を一般的にトラクションオイルと称している．

トラクションオイルは高圧力下でガラス転移することにより高いトラクション係数を発生することができる．

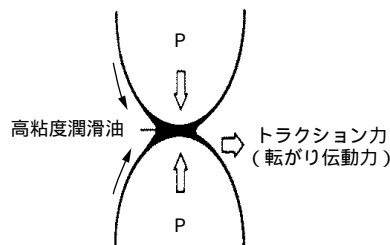


図2 トラクション力発生原理
Principle of traction force

3. 印刷機への適用

3.1 特徴

印刷機は図3に示すとおり感光フィルムにレーザー光を照射し、網点を打つことで文字や像を作り出しているが、フィルムの送り速度が変動すると印刷にむらが生じてしまう。

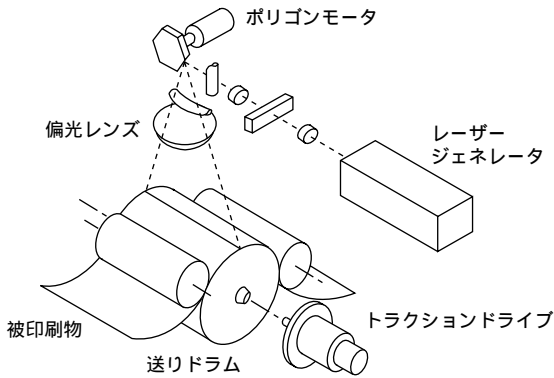


図3 印刷機の構造

Structure of printing machine

実際には駆動モータを比較的速度変動が小さい高速領域で運転し、その回転を減速することで低回転速度域の速度変動を抑制する使い方が一般的である。

さて、一般にトラクションドライブには以下に示す特徴がある。

- 高回転精度
- 転がり伝達であるので容易に高回転精度が得られる
- 高効率
- 動力損失が少なく高い効率が得やすい
- 低騒音・低振動
- 歯車のような噛みあいによる振動や騒音がない
- 低バックラッシュ
- 転がり伝達であるので容易にバックラッシュを低減できる

3.2 基本構造

当社では、遊星ローラ式トラクションドライブ構造を採用しており、太陽軸からの入力を遊星ローラの公転出力として取り出す減速方式としている。

当構造のトラクションドライブ減速ユニットの採用理由を以下に示す。

- 構造が単純であり、信頼性が高い
- 圧接力を与えやすく、その圧接力は内部で吸収される
- また、ユーザーでの取り扱いを簡易化するため駆動モータと一体化したユニット製品としてい

る。駆動モータの種別は問わないが、ステッピングモータやサーボモータと組み合わせる例がもっとも多い。

図4にトラクションドライブの構造例を示す。

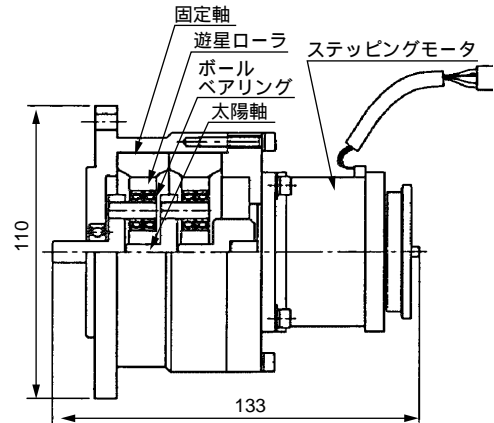


図4 トラクションドライブの構造(製版機向け)

Structure of planetary type traction drive unit (film feeder)

3.3 角速度変動率(回転むら)

角速度変動率とは回転むらの尺度で、回転軸の角速度変動を回転角速度で除した値で定義する。

これは印刷機の画質に直接影響を与える最も重要な品質特性の一つであり、可能な限り小さいことが望ましい。

図4のトラクションドライブを測定すると図5のような角速度変動データが得られ、さらにこれを周波数解析すると図6に示すスペクトルデータとなる。これらピークの発生周波数から、ある程度回転むらの要因が推測できる。

一方、トラクションドライブにおける回転むらは同一の製品を測定しても測定装置により結果が異なる場合が多い。

これは測定装置自体の剛性や回転体の慣性モーメントにより共振等の振動成分の影響度合が変わるため注意を要する。

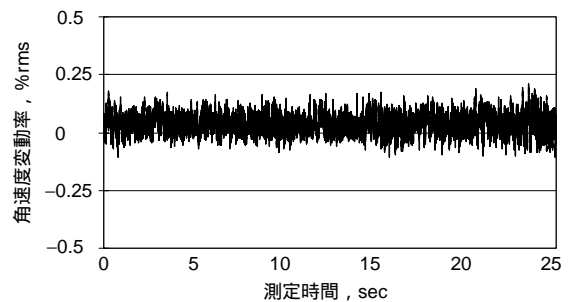


図5 角速度変動波形(測定例)

Waveform of angular velocity fluctuation (measured sample)

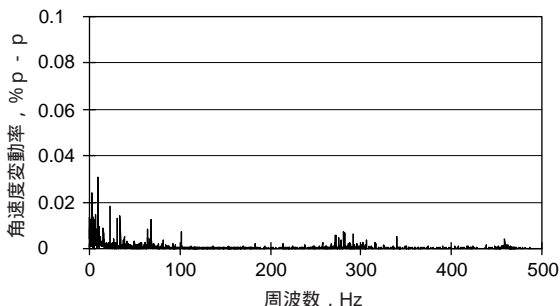


図6 角速度変動率の周波数解析結果
Result of frequency analysis on angular velocity fluctuation ratio

3.4 伝達トルク

トラクションドライブの伝達トルク T_q は式(2)より得られる。

$$T_q = \mu P Z d / 2 \tag{2}$$

Z : 遊星ローラ個数
d : 太陽軸外径

トラクションドライブでは動力を転がり伝達する構造であるため、運転中は常時微小な滑りをとめない、その滑り率は伝達トルクと密接に相関がある。

滑り率と伝達トルクの関係の測定例を図7に示す。

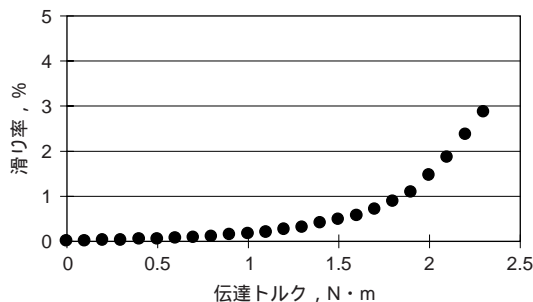


図7 伝達トルクと滑り率の関係
Relation between transmission torque and slip ration in traction drive unit

図7では伝達トルク値で1~1.5N・m付近に傾きが大きく変化する箇所があるが、これはトラクションドライブのサイズや圧接力により変化する。

この傾きが変わる領域をこえるような伝達トルクで用いると、滑り率が増加するため寿命に大きな影響を与える。

また、歯車減速と異なり滑り等により減速比が微小に変動するため、位置誤差(1回転当たりの原点復帰精度)が累積していくという特徴を有している。

この位置誤差が運用上問題となる場合は、駆動モータにトラクションドライブの出力信号を入力して制御する必要がある。

3.5 減速比

本構造における減速比は式(3)で表される。

$$N = (D / d) + 1 \tag{3}$$

N : 減速比
D : 固定輪内径

トラクションドライブでは構造上、遊星ローラの個数は3個以上が必要である。

遊星ローラの個数から最大減速比を算出するには式(4)を用いる。

$$N_{max} = 2 / \{ 1 - \sin(\pi / Z) \} \tag{4}$$

N_{max} : 最大減速比

表1 遊星ローラ減速比表
Maximum speed reducing ratio

遊星ローラ数	最大減速比
3	14.928
4	6.828
5	4.851
6	4.000
7	3.532
8	3.239
9	3.039
10	2.894

このことから、1段当たりの最大減速比は表1に示すように約14.9となる。14.9以上の減速比が必要な場合は、トラクションドライブを直列に複数段組み合わせることで得ることができる。

弊社で製品化されているものの多くは2段減速で、50~100という減速比が多い。

構成部品である太陽軸、遊星ローラ、固定輪の軌道径は各々寸法公差をもっており、設定減速比に対して1%以下の誤差を有している。

3.6 効率

トラクションドライブの効率 は式(5)にて算出できる。

$$= 100 \cdot (T_0 \cdot R_0) / (T_1 \cdot R_1) \tag{5}$$

T_0 : 出力トルク
 R_0 : 出力回転速度
 T_1 : 入力トルク
 R_1 : 入力回転速度

一段減速時の効率の測定例を図8に示す。
伝達トルク等の使用条件の影響は受けるが、おむね90%以上の効率となる。

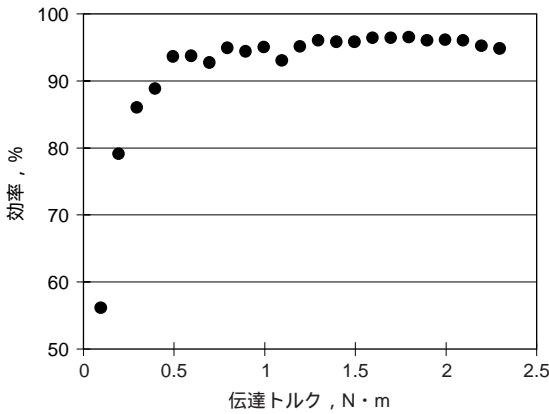


図8 効率
Efficiency of torque transmission

3.7 振動

トラクションドライブでは前述のように転がり伝達であるので、他の減速方式よりも振動は小さい特徴がある。

同サイズの遊星歯車減速機と振動値を比較した結果を図9に示す。

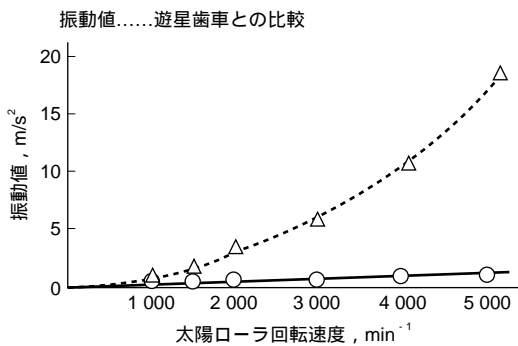


図9 振動値の比較
Comparison of vibration value

3.8 寿命

トラクションドライブにおける寿命の考え方を下記に示す。

この中で最も短いものが実際の寿命となる。
はく離寿命

- 1 軌道の転がり疲れによるはく離寿命
- 2 軌道の面圧の調整により防止ができる
- 3 ただし、エッジロード部および滑りが発生した場合は除く

軌道摩耗

- 1 軌道の摩耗により法線荷重が低下し、トルク伝達できなくなる状態

2 軌道の油膜切れが原因で発生する

《油膜切れの主な原因》

- ・ 潤滑油の枯渇、供給不足
- ・ 軌道の接触面圧過大
- ・ 軌道粗さ過大

グリース枯渇(軌道摩耗)

- 1)グリース潤滑の場合にのみ適用
- 2)グリース潤滑の場合は、一般的にこの形態で寿命に至る

- 3)負荷トルクすなわち軌道部の滑りが油膜を削り取っていき最終的に油膜切れとなる

製品化された印刷機用トラクションドライブでは要求性能上メンテナンスフリーとするため給脂機構をもたないグリース潤滑が主流であり、適正な使用方法であれば上述のグリース枯渇で寿命に至る。

図10に印刷機用トラクションドライブの寿命促進試験例を示す。

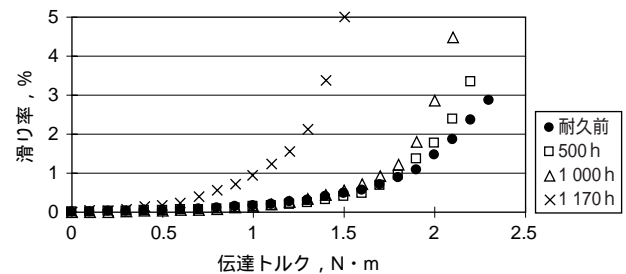


図10 寿命促進試験による伝達トルクの変化

Fluctuation of transmission torque by life prolonging test

この例では図10のようにグリース枯渇が発生するまで(~1 000 h)はほぼ初期の滑り曲線を維持するが、グリース枯渇にともない軌道摩耗が発生し始めると短時間で寿命となる。

回転むらも同様で軌道摩耗が始まるまではほぼ初期のレベルを維持する。

3.9 バックラッシ

トラクションドライブでは転がり伝達のため原理的にバックラッシは存在しないが、遊星ローラ内の軸受隙間によりバックラッシを生じる。

図4に紹介する構造では軸受に予圧を与え隙間をなくすことにより3.9arc・s(角度・秒)を達成している。

この例ではバックラッシは認められておらず、ほとんどがヒステリシス成分である。

当社で同サイズのウォームギヤを測定した結果では60arc・s以上であったことから、この値が非常に小さい値であることがわかる。

バックラッシがあまり重要ではない用途であれば転がり軸受をころ軸受や滑り軸受にすることで

ユニット全体の小型化を図ることができる。

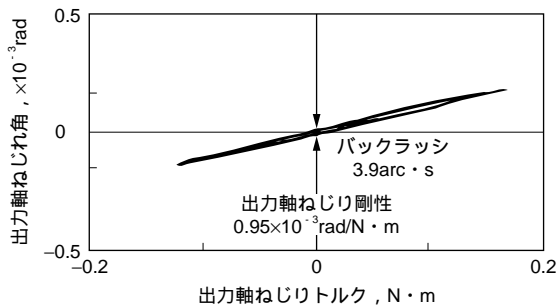


図11 バックラッシ
Traction drive unit backlash

3.10 駆動モータ

トラクションドライブと組み合わせて使用する駆動モータには、特に制限はないが静粛性や高速回転が必要な用途ではサーボモータを低速回転で、高い駆動力が必要な場合はステッピングモータを採用することが多い。

駆動モータのもつ位置誤差量はトラクションドライブの減速比だけ低減されるが、回転むらは直接出力されてしまうので、できるだけ回転精度が高い駆動モータを使用し運転する必要がある。

位置誤差量：モータへの位置指令に対するモータ軸回転角度の理想量と実際との偏差を表したもの

4. おわりに

高画質化がさらに進むと思われる、印刷機用途ではより回転むらが小さい減速機構の要望が、今後も増加すると推測される。

こうした用途でトラクションドライブを使用するにあたっては滑りが生じるという特性を理解した上で運用しなければならない。

また静粛性、バックラッシ、応答性等動力伝達以外にも歯車方式の技術限界をこえる新しい減速装置として広い分野に適用されることを期待する。

筆者



河野晶彦*
A. KAWANO

* 軸受事業本部 ユニット技術部