

# 光センサを利用したトルク検出器の開発

(第1報: 対向スリット式トルク検出器の提案と実現性の検討)

佐野正憲 (非, 仙台電波工業高等専門学校)  
熊谷和志 (非, 仙台電波工業高等専門学校)  
荒 雅彦 (非, 仙台電波工業高等専門学校)  
鈴木健司 (非, 仙台電波工業高等専門学校)  
大泉哲哉 (正, 仙台電波工業高等専門学校)

## 1. はじめに

近年, 制御技術は長足の進歩を遂げ, より高精度な制御が可能になってきている. サーボシステムの対象も位置や速度のみならず, 厳密なトルク制御が行われるようになってきた. これに伴い, 様々なトルク検出器も開発されている<sup>たとえば(1)</sup>.

しかしながら, サーボシステムにおいてトルク検出器が使用される例は少ないように思われる. 現在, NC工作機械などに用いられるトルクフィードバックシステムにおいては, 電流検出でトルク検出を代用する手法が一般的である. ここで使われる電流はモータ駆動電流であり, 基本的にセミクローズドループ制御となる. したがって, 外乱の影響を受けやすく, 低剛性や大バックラッシュの機械系では厳密な制御が困難である. 厳密なトルク制御を行うためにトルク検出器やロードセルを用いる例があるが, いずれも高価なシステムになってしまう.

例えば, ソーラーカーや電気自動車では高効率化という観点から厳密なトルク制御が必要になるとされている. また, 電動補助車いすでは操縦性という観点から手動回転力のきめ細かいトルク検出が必要である. これらに使用されるトルク検出器は, 今後の普及を考えれば安価であることが求められる.

本研究では, これらの要求に応えられる, 小形で安価なトルク検出器を開発することを目的とする. 本報では, トーションバー両端に回転スリットを設けて対向させることによりトルクを検出する, 新しいトルク検出方式を提案するとともに, その実現性について検討を加えたので報告する.

## 2. 対向スリット式トルク検出器の原理

新しいトルク検出方式の構成を図1に示す. 回転スリット2枚は, トルク検出用のトーションバーの両端それぞれに固定し, 中央で対向させている. 検

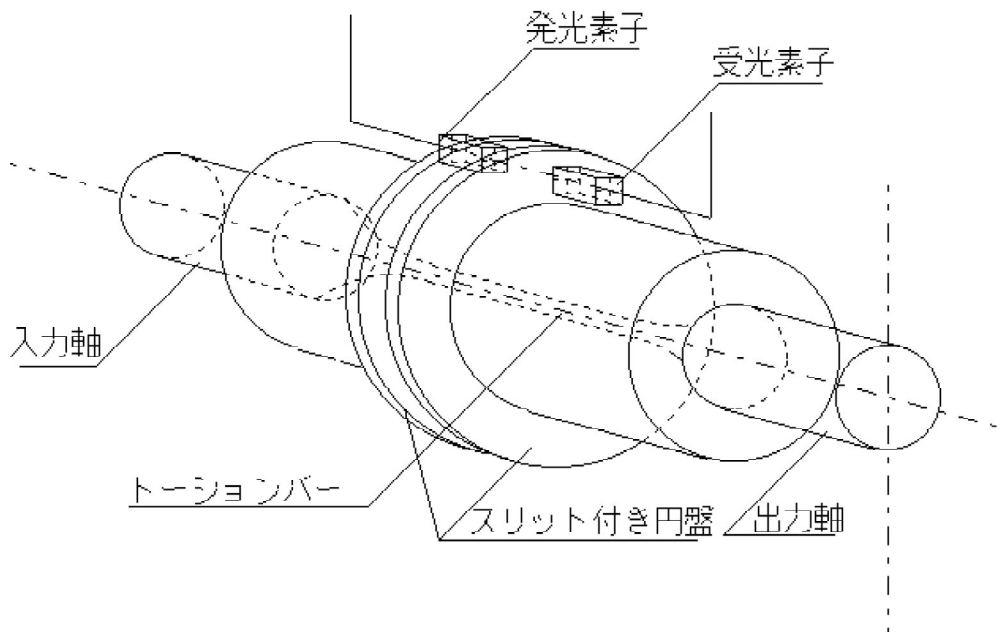


図1 トルク検出器の構成

出部は発光素子，回転スリット部，固定スリット，受光素子で構成される．回転スリットを中央で対向させていることから，対向スリット式トルク検出器と名付けた．

トーシヨンバーのねじれは，回転スリット同士の位相の変化となり，回転スリット部の開口幅の変化となるので，発光素子から受光素子へ通過する光量の変化あるいはデューティ比の変化として検出することが可能である．ねじれ方向の検出は，回転スリット同士の位相を予めずらしておくことにより，ねじれ方向によってデューティ比の増減方向を変えることで対応できる．さらに，検出部の構成は基本的に光学式ロータリエンコーダと同じであるので，回転数も同時に検出可能である．また，検出部を2組以上設けることにより，回転方向も検出できる．

したがって，この新しいトルク検出方式では，ねじれ量，ねじれ方向，回転数，回転方向の4つの物理量を同時に検出することが可能である．

### 3. 実現性の検討

まず，ねじれ量とデューティ比の関係を考える．回転スリット1枚におけるデューティ比を $\alpha_1$ ，回転スリット同士の初期位相ずれを $\phi_e$ （電気角），トーシヨンバーのねじれ量を $\theta_e$ （電気角），ねじれの正方向がデューティ比増加方向とすると，回転スリット部を通過する光のデューティ比 $\alpha$ は次式で表される．

$$\alpha = \alpha_1 - \frac{1}{2\pi}(\phi_e - \theta_e) \quad (1)$$

固定スリットを用いて光の回り込みを抑えたとすると，受光素子で得られる信号のデューティ比も式(1)で得られる値に等しくなる．したがって，ねじれ量とデューティ比は図2のような線形比例の関係になる．

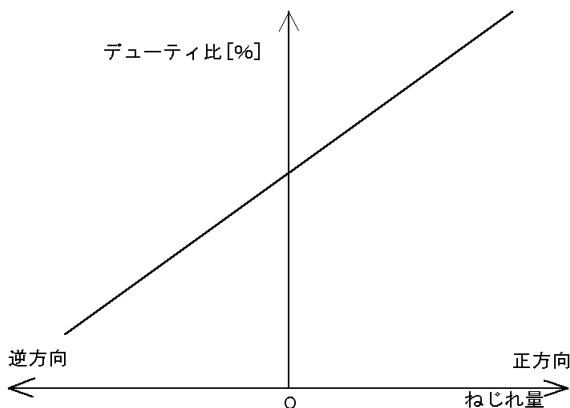


図2 ねじれ量とデューティ比

ねじれ量0の初期デューティ比の設定，つまり回転スリットのデューティ比 $\alpha_1$ および初期位相ずれ $\phi_e$ の設定については検討の余地がある．

次に，トーシヨンバーの大きさについて試算してみる．例えば，トルク $T=98$ [Nm]においてねじれ量 $\theta=1$ [deg]となるトーシヨンバーの大きさは，以下の式を用いればよい．

$$\tau = G \frac{r}{l} \theta \quad (2)$$

$$T = \frac{1}{2} \pi r^3 \tau \quad (3)$$

ここで， $\tau$ はせん断応力， $G$ は横弾性係数， $r$ はトーシヨンバーの半径， $l$ は長さである．また，ねじれ量 $\theta$ は機械角であり，電気角 $\theta_e$ とは換算が必要である．これらより， $G=8.1 \times 10^4$ [MN/m<sup>2</sup>]， $l=10$ [mm]とした場合， $r=4.58$ [mm]という結果が得られる．したがって，かなり小形にトルク検出器を製作することが可能である．

回転数および回転方向の検出については，検出部は光学式エンコーダと同じ構成であるので，検討の必要はないであろう．市販の光学式エンコーダの価格を考えれば，低価格化にも十分に対応可能であることがうかがえる．

ねじれ量の検出をデューティ比の変化で行った場合，停止時および極低回転時の検出が困難であることが予想される．この場合は，光量変化を利用することで解決が可能である．トルク検出の精度を考えれば，光量変化とデューティ比変化を併用するのが望ましいが，電動補助車いすのように粗い分解能で構わない用途では光量変化のみの利用でも実用になる可能性がある．光量変化とデューティ比変化の併用および単独利用については今後の検討課題である．

### 4. 終わりに

ソーラーカーや電気自動車，電動補助車いすなどで使用する，小形で安価なトルク検出器として対向スリット式トルク検出器を提案し，この新しいトルク検出方式では，ねじれ量，ねじれ方向，回転数，回転方向の4つの物理量を同時に検出することが可能であることを示した．また，その実現性について検討を加えた．

今後は試作，評価を行っていきたい．

### 参考文献

- 1) 大関，青山：磁歪式トルクセンサによる工具異常の認識，日本機械学会誌，100，944，(1997.7)，805.