

転てつ機モニタにおける動作かんストロークの監視とその効果

潮見 俊輔* 高崎 建 (鉄道総研)

Effects of Operation Rod Stroke Monitoring on Monitoring System for Electric Point Machines
Shunsuke Shiomi*, Ken Takasaki, (Railway Technical Research Institute)

In our previous study, it was confirmed that monitoring rotation speed of gears in an electric point machine is effective to estimate switching load of switch precisely for forecasting of switch malfunction. In this paper, a judgement method of operation statuses of point machines and an adjustment method for small fluctuation of estimated switching load in normal operation were proposed as other effective methods of monitoring the speed and operation rod stroke.

キーワード：電気転てつ機，転てつ機モニタ，状態監視，動作かんストローク，クラッチ，すべり
(Electric point machine, Monitoring system of point machine, Condition monitoring, Operation rod stroke, Clutch, Slip of clutch)

1. はじめに

電気転てつ機は、分岐器の開通方向を変える転換、転換後の状態を保持する鎖錠、開通方向や鎖錠状態の照査の機能を有する信号保安装置であり、この動作の途中停止（転換不能）や故障は列車運行に影響する。これらを防止するための設備として、転換不能や電気転てつ機の故障につながる状態変化を検出する転てつ機モニタが開発、実用化されている。転てつ機モニタは、転換動作時のモータの電流や電圧を計測する機能や、分岐器の転換負荷等を推定する機能を有している。転換動作の状態を判断する際には、転てつモニタが出力するこれらの計測値や推定値が用いられる。

転てつ機モニタによる転換負荷の推定値について、実際の転換負荷と大きさや時間変化の傾向が異なる場合があることが指摘されていた⁽¹⁾。筆者らはこの原因と対策について検討を行ってきた^{(2),(3)}。これまでに、電気転てつ機のモータと動作かんを駆動する転換機構の間に備えられるクラッチにおいて、回転速度差（すべり）が生じる際に転換負荷の推定値と実際の値の誤差が拡大することを示した。また、一部の電気転てつ機に用いられるインダクションクラッチの入出力軸のトルク比とすべりの特性を用いて、クラッチにすべりが生じる場合のクラッチ出力軸のトルクを、出力軸の回転速度およびモータの電圧、電流から推定することで、誤差を低減する手法を示した⁽⁴⁾。

上記の手法を適用しクラッチ出力軸やこれに直結する転換機構の各歯車の回転速度を測定することで、電気転てつ

機の動作かんの移動量（動作かんストローク）を得ることが可能となる。本稿では、動作かんストロークやクラッチ出力軸等の回転速度の測定による、転てつ機モニタの動作状態や異常等の検出機能に対する効果について報告する。また、動作かんストロークに対する転換負荷の変化傾向がモニタ装置による推定値と実測値で異なる事象に対する補正法とその効果について報告する。

2. 転てつ機モニタとクラッチすべりの補正

〈2・1〉 電気転てつ機と転てつ機モニタ 電気転てつ機はモータを動力として、減速と直動運動への変換機能を担う転換機構と動作かんを駆動してトングレール等の分岐器の可動部を移動させる転換動作を実現している。また、分岐器を転換させる際の負荷（転換負荷）の増加や異物の介在等による転換不能時にモータと転換機構の間で過大なトルクが作用することを防止するため、クラッチ等の保護機構が備えられている（図1）。

転てつ機モニタは、転換不能の予兆を検出することを目的として電気転てつ機の動作状態を監視する設備である。転換動作に関してはモータの電流や電圧を監視し、電流や電圧等から算出されるモータの回転トルクや転換負荷の推定値から状態変化を検出する方式が一般に用いられる。電流や電圧による転換負荷推定値の算出は、実験や理論値等で得た結果に基づき作成した近似式やテーブルを用いる方式がある⁽⁵⁾。

〈2・2〉 転てつ機モニタとクラッチのすべり クラッチは過大なトルクが作用した際に伝達するトルクを制限す

る機能をもつ機構部品である。摩擦力や電磁力等により、通常時は入力側と出力側の回転速度やトルクを伝達する一方、転換負荷の増加等によりクラッチがすべるときには、モータに接続されるクラッチの入力軸と転換機構に接続される出力軸の間でトルクや回転速度に差が生じる。

日本国内の電気転てつ機の多くでは交流誘導電動機が用いられている。転換動作は通常モータの定格内で行われるため、転てつ機モニタはモータの電流、電圧からトルクや回転速度を間接的に推定できる。しかし、クラッチがすべる場合のクラッチ出力軸のトルクや回転速度は、クラッチ入力軸のトルクや回転速度を観測しても得られない。即ち、モータの電流や電圧のみからの推定が困難である。このため、クラッチがすべる際には、モニタ装置が推定する転換負荷と実際の転換負荷に誤差が生じる。

(2・3) すべり補正法による転換負荷の推定 TS-M形電気転てつ機に用いられているインダクションクラッチの入出力軸の回転速度比とトルク比の関係を図 2 に示す。回転速度比からトルク比が一意に得られることに注目して、モータの電流、電圧から推定するトルクと回転速度、および測定したクラッチ出力軸の回転速度からクラッチ出力軸のトルクを推定する「すべり補正法」を開発した(4)。

図 3 にモータの電流、電圧から推定した転換負荷、すべり補正法により推定した転換負荷、および実際の転換負荷の例としてクラッチのすべりが発生し転換不能に至った場合の結果を示す。すべり補正法は、電流と電圧による転換負荷の推定手法(電流法)に比べて実測値に近い結果が得られた。

(2・4) 回転速度の検出 クラッチ出力軸の回転速度

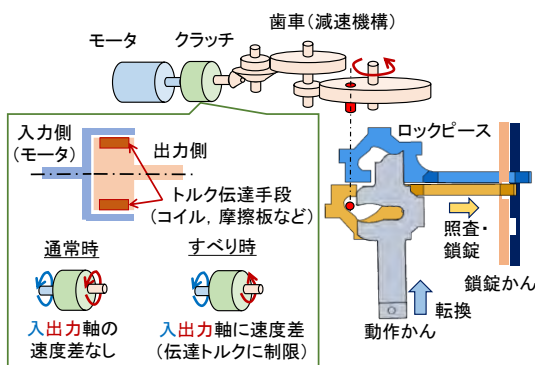


図 1 電気転てつ機の構造とクラッチ

Fig.1. Structure of an electric point machine and a clutch

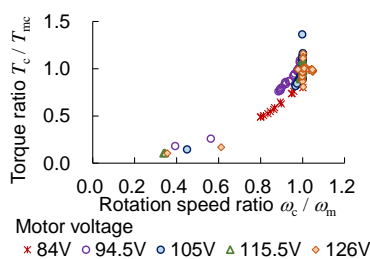


図 2 インダクションクラッチの回転速度・トルク特性
Fig.2. Torque – rotation speed ratios of an induction clutch

の測定は、クラッチ出力軸直近にロータリエンコーダ等を設けて測定する方法のほか、転換機構内で減速に用いる歯車の回転を磁気センサ等で測定する方法、および動作かんの直線運動を測定して回転速度に変換する方法がある。

複数対の歯車を組み合わせて減速を行う転換機構に歯車センサを設ける場合、速度を得るための歯車の通過時間の計測は、減速後の低速で回転する歯車で行う方が容易であり高い精度で得ることができる。一方で歯車による回転速度の測定は原理上、2つの歯が通過する間の平均速度であるため、歯車の2歯の通過の間に回転速度が大きく変化する場合は、クラッチ出力時の実際の回転速度とセンサから得た速度に誤差が生じる可能性がある。この影響は減速後の歯車の方において影響が顕著となる。このことから、センサの設置位置は、上記の速度の精度や誤差を考慮して決定する必要がある。

3. 転換状態の判断と動作かんストローク

(3・1) 電気転てつ機の動作と状態の判断 電気転てつ機の動作に伴うモータの電流と動作かんストロークの変化、および各機構の動作の関係を図 4 に示す。モータが回転を開始すると、鎖錠機構を解錠する動作が最初に行われる。次に転換機構が駆動し転換動作を開始する。最後に鎖錠機構が再度駆動し、鎖錠と照査の動作が行われる。

電気転てつ機の状態を電流や転換負荷から判断する際には、転換や鎖錠などの動作段階に分けた上で判断することが必要である。また、転換動作中に転換負荷が増加する位置を特定することは、その原因を推定する上で重要な情報

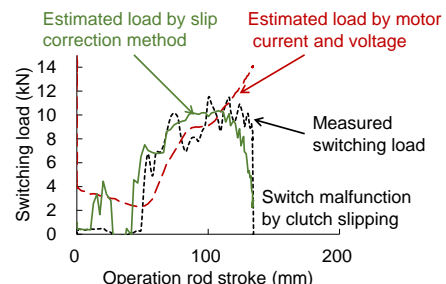


図 3 すべり補正法による転換負荷の推定

Fig.3. Results of switching load estimation by slip correction method

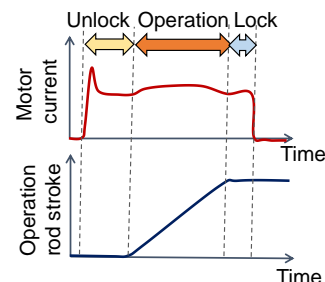


図 4 電気転てつ機のモータ電流と動作かんストローク
Fig.4. Motor current and operation rod stroke of electric point machine in operation

となり得る。そのため、動作かんストロークを測定、推定する機能は転てつ機モニタにおいて不可欠である。

〈3・2〉 動作かんストロークの測定、推定 動作かんストロークを取得する方式は以下①, ②に大別される。

方式①は 2.4 節に述べた歯車の回転角などのセンサを内蔵して動作かんストロークを直接測定する方式である。歯車にセンサを設ける場合は、動作かんを駆動するカム機構にあわせた回転角からストロークへの換算が必要になるが、すべり補正のためのセンサとしても使用できる。

方式②は、電流の通電開始、終了時間から動作かんの動作開始、終了時間を推定する方式である。電源の通電開始から一定時間経過した時間を動作かんの動作開始時間、電源の通電終了から一定時間さかのぼった時間を動作かんの動作終了時間として、その間を動作かんが一定速度で移動すると仮定して動作かんストロークを算出する。

方式②はセンサを必要としない利点があるが、鎖錠や解錠の所要時間、および動作かんの移動速度が変化しないという仮定に基づいているため、図 5 に示すような転換動作中のクラッチのすべりによる速度変化の検出は困難である。また、電気転てつ機内部の負荷増加や電圧変動等による鎖錠、解錠動作の時間変化の検出も困難である。方式①はこれらの影響を受けないが、方式②は動作かんストロークや鎖錠、解錠のタイミングの推定値に影響し、誤差が生じる場合がある。

4. 転換負荷波形の誤差要因と補正法

〈4・1〉 転換負荷波形の推定値と実測値の比較 TS-M 形電気転てつ機と 18 番弾性分岐器を組み合わせたときの転換負荷と動作かんストロークの関係 (転換負荷波形) について、転換負荷とストロークをそれぞれ測定した結果と、電流、電圧から転換負荷とストロークの推定値を算出した結果を図 6 に示す。電気転てつ機のモータの電流-トルク特性と転換機構の負荷伝達特性を踏まえた手法 (以下、電流法) ④で算出した転換負荷の推定値は、転換動作中の平均値に関しては実測値に近い値を示している。その一方で、動作かんストロークに対する転換負荷は両者で異なることが確認された。また、動作かんストロークの推定値に対するモータ電流についても転換負荷の実測値が変化する位置と異なる位置で変動していることがわかる。

電流法による転換負荷の推定値の実測値に対する差異の要因の特定とその対策を示すため、動作かんストロークの

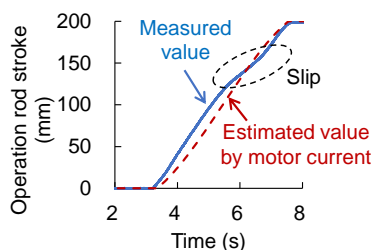


図 5 クラッチのすべりと動作かんストローク
Fig.5. Slip of clutch and operation rod stroke

推定方法と、転換負荷に対してモータ電流が時間遅れを生じる要因となりうるクラッチのすべりの影響について検討した。

〈4・2〉 ストロークの推定による影響 電流の通電開始と終了時刻から動作かんストロークを推定する方法が、転換負荷波形の実測値と推定値の誤差に与える影響を評価するため、18 番弾性分岐器の事例 (図 6) において動作かんストロークの実測値と推定値を用いた場合の転換負荷波形を図 7(a)に、動作かんストロークの実測値と推定値の差の時間変化を図 7(b)に示す。

同時刻における動作かんストロークの推定値と実測値の差は最大 5.7mm であった。図 6 のストローク 70mm 付近で認められる転換負荷実測値の転換負荷の増加傾向は、電流法ではストローク 87mm 付近で認められており、両者の差 17mm は動作かんストロークの推定方法による差に対して大きい。動作かんストロークの推定値は、電圧の変動や鎖錠、解錠時の負荷変化に影響を受けて実測値に対する誤差を拡大させる可能性があるが、図 6 に示す一般的な負荷の分岐器の転換負荷波形における推定値と実測値の違いは、ストロークの推定方法が主たる要因になっているとは考えにくい。

〈4・3〉 クラッチのすべりの影響 転換負荷の変動に対するクラッチのすべりの影響について評価を行うため、クラッチのすべりの影響を補正するすべり補正法による転換負荷の推定値と、電流法による推定値、および転換負荷

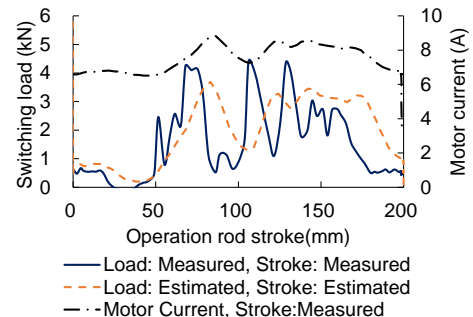
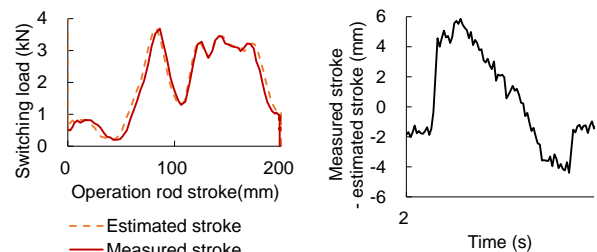


図 6 転換負荷波形 (電流法による推定値と実測値)、およびモータ電流

Fig.6. Switching load, operation rod stroke (estimated by motor current and measured) and motor current



(a) 転換負荷波形 (b) 動作かんストロークの推定値と実測値の差 (ストロークの推定による影響)

図 7 動作かんストロークの推定による影響

Fig.7. Effects by estimation of operation rod stroke for switching load - stroke characteristics

の実測値を比較した。

図 8 に重錘形試験装置⁽³⁾により、転換負荷を動作かんに作用させて転換したときの転換負荷の実測値、およびすべり補正法と電流法による転換負荷の推定値を示す。電流法による転換負荷の推定値は分岐器における転換負荷波形と同様に実測値の変化に対する時間遅れが認められる。一方、すべり補正法による転換負荷の推定値は、実測値に対して負荷の変動幅が小さいものの、実測値に対する位置や時間の遅れは電流法に比べて小さい。図 9 にクラッチ出力軸の回転速度の変化と転換負荷の変化を示す。重錘の上下移動に伴うワイヤ等のたわみによる転換負荷の変動とほぼ同一の位置でクラッチ出力軸の回転速度が変化していることがわかる。

以上より、転換負荷波形の実測値と電流法による推定値の差異は、主に負荷の変動に伴うクラッチの一時的なすべりによる影響であると考えられる。転換負荷が局所的に変動するときに実測値に近い転換負荷の推定値を得るためには、すべり補正法などのクラッチにおけるトルクと回転速度への影響を補正する転換負荷推定法の適用が必要である。

5. 動作かんストローク等の監視とその効果

転てつ機モニタにおける動作かんストロークや転換機構の歯車回転速度等の監視による効果は以下のとおりである。

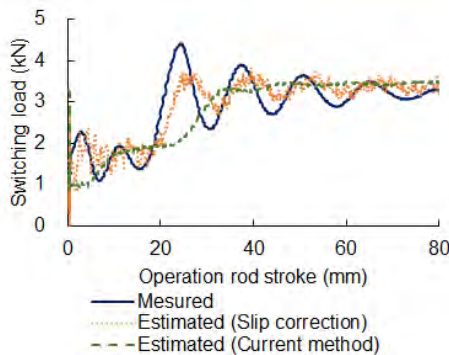


図 8 転換負荷の推定手法による負荷変動の補正効果
Fig.8. Effect for correction of load fluctuation by estimation methods of switching load

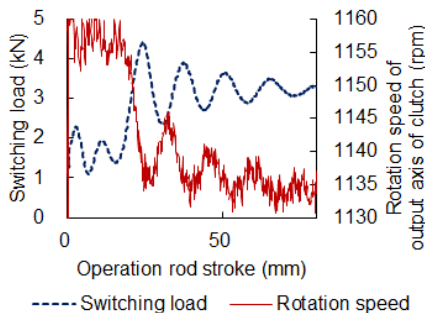


図 9 クラッチ出力軸の回転速度と転換負荷の変化
Fig.9. Rotation speed of output axis of the clutch and switching load

(a) クラッチのすべりによる転換負荷推定値の補正

(b) 動作状態の判別とすべりの検出

クラッチのすべりによる転換負荷推定値の補正は、転換負荷が高く恒常的にクラッチにすべりが発生している状態における補正のほか、一般的な負荷の分岐器の転換における局所的な負荷変動に対しても有効であることを示した。現在は TS-M 形電気転てつ機に使用されるインダクションクラッチにおける特性と補正法が提案されているが、今後他の方式のクラッチにおけるすべり時のトルク推定法が提案された際にも同様の効果が期待される。

動作状態の判別と動作かんストロークの計測については、電流や負荷の変動から設備の状態を推定する際に欠かせない情報である。電流の通電状態から動作かんストロークを推定する手法では困難な、解錠時や鎖錠時の異常の検出に活用できる。また、現在はすべりに対するトルク伝達の特性が明らかになっていないフリクションクラッチ等を用いる電気転てつ機においては、転換負荷の増加によるクラッチのすべりの検出に活用することが期待される。

6. おわりに

動作かんストロークや動作かんを駆動する歯車の回転速度の監視による、転てつ機モニタの機能に対する効果について検討した。その結果、インダクションクラッチを用いた電気転てつ機におけるクラッチのすべりによる転換負荷推定値の補正、電気転てつ機の動作状態の判別、およびクラッチの種類によらないすべりの検出が可能となることを確認した。

電気転てつ機内部へのセンサの内臓は転てつ機モニタの価格や施工コストを高める要因となるが、歯車センサによる動作かんストローク等の監視は、特に転換負荷の変化を検出する機能に対し高い効果が得られることを示した。本検討結果を踏まえた転てつ機モニタの普及により、転換不能の防止が期待される。

文 献

- (1) 宮本大資, 沖川知穂, 三上祐美:「電気転てつ機転換負荷力の検証について」, 第 31 回鉄道電気テクニカルフォーラム論文集, pp.157-160 (2018)
- (2) 潮見俊輔, 椿健太郎, 往古直之, 高崎建:「電気転てつ機の転換電流による転換負荷推定手法における課題」, 日本機械学会 第 30 回交通・物流部門大会講演論文集, TL10-2 (2021), doi:10.1299/jsmetld.2021.30.TL10-2
- (3) 高崎建, 潮見俊輔, 往古直之, 椿健太郎, 西山幸夫, 「負荷試験装置を用いた電気転てつ機の転換負荷推定手法の検討 (重錘形装置を用いた一定負荷に対する電流・トルク特性の把握)」, 電気学会研究会資料 ITS, 交通・電気鉄道合同研究会, ITS-21-032, TER-21-081 (2021)
- (4) 潮見俊輔, 高崎建, 往古直之, 椿健太郎:「電気転てつ機モニタ用の転換負荷推定手法の開発」, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.31-36 (2022)
- (5) 西武雄:「在来線用電気転てつ機モニタの開発」, 京三サーキュラ一, Vol.52, No.5, pp.4-9 (2001)