

# 電気転てつ機モニタ用の転換負荷推定手法の開発

潮見 俊輔\* 高崎 建\* 往古 直之\*\* 椿 健太郎\*

Estimation Method of Switching Load of Turnout for Point Machine Monitoring System

Shunsuke SHIOMI Ken TAKASAKI Naoyuki OKO Kentaro TSUBAKI

A monitoring system of state of point machine is to estimate switching load of a turnout using motor current and voltage to prevent a switch malfunction of a turnout. In conventional estimation methods, the relationship between load estimation results and measured values of motor voltage and current has been pre-defined. Therefore, if installation conditions of point machine differ from those at the time of design, there will be an error in the estimated value. In order to reduce this error, we have developed a method to precisely estimate the switching load using the same measurement items as conventional methods. We also proposed a method to estimate a switching load even under severe conditions, such as when a clutch slips before a malfunction.

キーワード：電気転てつ機，転換負荷，転てつ機モニタ，クラッチ，転換不能

## 1. はじめに

電気転てつ機は、トングレール等の分岐器の可動部を動作させる機能（転換）と、その位置を保持する機能（鎖錠）などの機能を備える信号保安装置である。電気転てつ機を安定して稼働させるためには、電気転てつ機の転換のための出力（転換力）に対して分岐器の負荷（転換負荷）が小さい状態で用いる必要がある。そのため、電気転てつ機の定期検査では、転換時のモータ電流、クラッチすべり時の電流、および手回しハンドルの回転トルク等の測定が行われている。また、状態監視装置（以下、転てつ機モニタ）を設置して、モータの電流や電圧を測定し、これらから転換負荷の変化や推定値を得る方法<sup>1)</sup>も開発、実用化されている。

転てつ機モニタにおける転換負荷やトルクの推定法の一つとして、モータ電流や電圧に対応する転換負荷やトルクの推定値を記録したテーブルを作成し、計測した電圧、電流からテーブルの該当値を参照する手法がある。この手法は、テーブルを定義する際に前提とした運転状態においては推定値を少ない計算量で得られるため有用である。しかし、前提とは異なる運転状態、例えば高い転換負荷が作用して電気転てつ機内のクラッチ（保護機構）が作動し、転換不能に至るような過酷な運転状態においては、この手法で得られる推定値が実際の負荷と異なる場合があることが確認されている。このように実際の転換負荷と転てつ機モニタの推定値の差異が大きい状態は、転換状態の良否判断や転換不能に対する処置にも

影響する。したがって、転てつ機モニタを設備保守に活用する観点から、過酷な運転状態においても実測値と大きく乖離しない転換負荷の推定値を得られることが望まれる。

本稿では、転てつ機モニタにおける転換負荷推定の課題を示した上で、従来の転てつ機モニタと同一の計測項目を用いてモータのトルクと転換負荷を推定する手法とその効果について述べる。また、高い転換負荷が作用した際に入出力軸間でトルクや回転速度の差が生じるクラッチについて、モータ電流、電圧とクラッチ出力側の回転速度から、クラッチの出力軸のトルクを推定する手法とその効果について述べる。さらに、提案する転換負荷の推定手法を転てつ機モニタとして導入する際に必要となる改修項目と効果の評価結果を報告する。

## 2. 転てつ機モニタによる転換負荷推定と課題

### 2.1 電気転てつ機の構成と構造

電気転てつ機は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のため、モータを動力として、歯車等で回転運動を減速し、カム機構やボールねじ等の機構で動作かんの直動運動に変換する転換機構を備える。また、転換中の動作停止や動作かんに大きな負荷が作用した場合にも、電気転てつ機の内部や転てつ付属装置に過大なトルクや力が作用しないよう防護するトルクリミッタに相当する機能が備えられている。一例としてTS-M形電気転てつ機の機器構成を図1に示す。動力源として交流誘導電動機を使用し、過負荷防護機能としてインダクションクラッチを備えている。また減速機構として歯車、転換機構としてカム機構を備える。

モータと減速・転換機構の間に設けられたインダク

\* 信号技術研究部 信号システム研究室

\*\* 信号技術研究部 信号システム研究室（現 日本信号株式会社）

ショッククラッチは、コイルを励磁することでモータと転換機構の間のトルクを非接触で伝達する。クラッチに一定以上のトルクが作用した場合、モータ側（入力）と転換機構側（出力）の間に回転速度差（すべり）が生じる。

動作かんの内部に備えられたカム機構は、最終段の転換歯車上に備えたローラにより駆動される。動作かんの移動量  $x_0$  と回転角  $\theta$  の関係、動作かんに作用する転換負荷  $F_0$  と転換歯車の回転トルク  $T_r$  は幾何学的な関係から、式 (1) および式 (2) により示される。

$$x_0 = \frac{1}{2} L_0 + r_g \sin\theta \quad (1)$$

$$T_r = F_0 r_g \cos\theta \quad (2)$$

$r_g$  は転換歯車上のローラ中心のピッチ円半径、 $L_0$  は動作かんの最大移動量である。

## 2.2 転てつ機モニタによる転換負荷の推定と実測値

転てつ機モニタは、電気転てつ機の動作状態を常時監視し、これらの状態や転換不能の予兆を検出することを目的に設備されている。特に転換負荷の状態監視に関して、スイッチアジャスタ等のひずみを計測する方法が提案されているが<sup>2)</sup>、現行の転てつ機モニタでは、モータの電流や電圧から転換負荷の推定値を間接的に得る方法が採用されている。実験や理論値等で得た結果に基づき、モータ電流、電圧に対する転換負荷やモータトルクの推定値を近似式やテーブルを用いて得る方式などがある<sup>1)</sup>。

転てつ機モニタの転換負荷の推定値と実測値を比較するため、転てつ機モニタが設備されている新幹線用の18番片開き分岐器とTS-M形電気転てつ機を用いて試験を行った。電気転てつ機のモータ電源電圧と分岐器の転換負荷はそれぞれ安定化電源と模擬負荷装置<sup>3)</sup>を用いて変化させた。

図2(a)にモータ電圧に対する転換負荷の平均値（平均転換負荷）の実測値、推定値を示す。模擬負荷装置を作動させない条件での転換負荷の実測値は約1.8kNと一定である一方、転てつ機モニタの推定値は電圧により

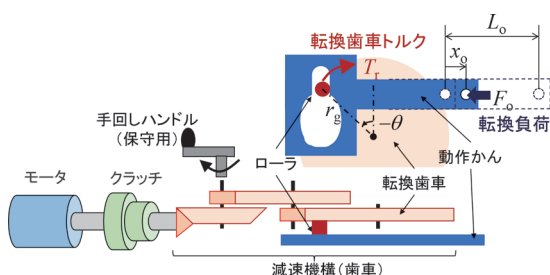


図1 電気転てつ機の機器構成とカム機構の構造

変化し、実測値に対して60%以上乖離するケースも認められた。転てつ機モニタの推定値が実測値と異なる値を示す傾向は、分岐器の転換負荷を変化させた場合にも同様であった。図2(b)に転換負荷の実測値に対する推定値の誤差率、およびその電源電圧との関係を示す。転換負荷の推定値は転換負荷が増加した場合でも実測値に対する誤差を有し、電源電圧に対しても変化する。

このように、転てつ機モニタによる転換負荷の推定値に関して、電圧や転換負荷等の個々の分岐器の使用条件によっては、実測値と大きく乖離するケースがあると考えられる。転てつ機モニタは上記のような特性を有していても、電圧などの条件が変わらない限り転換負荷等の定性的な増加傾向の把握に用いることができる。しかし、電圧や転換負荷等の運転条件によっては実測値と推定値の間に乖離が大きいため、転換負荷増加の原因推定や対策検討への適用には課題があると考えられる。そこで、転てつ機モニタが推定する転換負荷が実測値に対して乖離する条件やその要因について検討を行った。

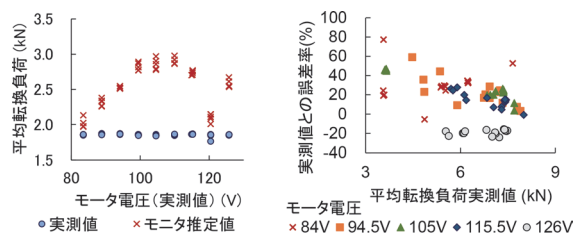
## 3. 転換負荷推定値の誤差とその要因

転換負荷推定値の誤差要因を特定するため、転てつ機モニタの誤差と実測値の関係について電気転てつ機内部の構成や構造を踏まえて分析を行った。

### 3.1 トルク推定における誤差

転てつ機モニタが出力するトルク（手回しハンドル軸におけるトルク）の推定値について、式(1)、式(2)、および減速歯車の歯車比を用いて転換負荷と動作かんストロークの実測値から算出したトルクと比較を行った。図3に実測値から算出したトルクに対する、転てつ機モニタの推定値の誤差率とモータ電圧の関係を示す。トルクの推定値の誤差率は+40%～-40%の範囲に分布しており、現行の電流、電圧に基づくトルクの推定値は実測値から算出したトルクとよく一致しているとは言いがたい。この電流、電圧によるトルクの推定誤差は、転換負荷の推定値に影響すると考えられる。

回転軸のトルクと転換負荷は式(2)より、転換歯車の



(a) 推定値と電圧

(b) 実測値に対する誤差率

図2 転てつ機モニタの転換負荷推定値と実測値

回転角度  $\theta$  と転換歯車のローラ半径  $r_g$  に対して比例関係にある。したがって、式 (2) を用いてトルクの推定値から転換負荷の推定値を計算した場合、両者の誤差率は同程度となることが見込まれる。しかし、転てつ機モニタが推定する転換負荷とトルクの誤差率は、図 3 よりそれぞれ最大 77.4%、40.9% と異なっており上記の関係が成立しない。以上より、転てつ機モニタの内部でトルクの推定値から転換負荷の推定値を計算する過程でも誤差が拡大していると考えられる。

### 3.2 転換機構のトルク・転換負荷伝達特性と誤差

動作かんを駆動するカム機構の構造から、転換歯車の回転角  $\theta$  は転換負荷  $F_0$  と転換歯車軸のトルク  $T_r$  の関数として式 (2) を変形した式 (3) により示される。また、この回転角  $\theta$  は式 (1) より、動作かんストローク  $x_0$  に対して式 (4) に示す関係が得られる。即ち、動作かんストローク  $x_0$  に対する回転角  $\theta$  は一意に決まるため、同時に転換負荷の伝達率  $T_r/F_0$  も一意に決まることがわかる。

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{T_r}{F_0 r_g} \right) \quad (3)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{2x_0 - L_0}{2r_g} \right) \quad (4)$$

現行の転てつ機モニタが出力した転換負荷とトルクの推定値を式 (3) に代入して得た歯車回転角  $\theta_m$  と動作かんストローク推定値  $x_{0m}$  の関係、および式 (4) の幾何学的関係による歯車回転角  $\theta$  と動作かんストローク  $x_0$  の関係を図 4 に示す。転てつ機モニタのトルクと転換負荷の推定値による歯車回転角  $\theta_m$  は、幾何学的関係に基づく  $\theta$  に対して動作かんストロークの中間点付近で特に乖離が大きく、トルクに対して転換負荷の推定値が過大になっていることがわかる。

以上より、転換歯車トルク  $T_r$  による転換負荷  $F_0$  の推定値は、幾何学的関係に基づく式 (2) から算出することが望まれる。この幾何学的関係を用いてトルクから転換負荷を得る方法を本稿では、負荷伝達法と呼ぶ。

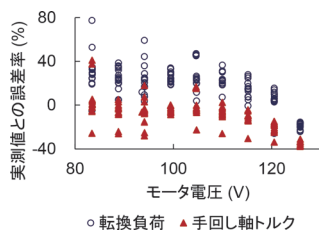


図 3 転てつ機モニタの推定値の実測値との誤差率

### 3.3 クラッチのすべりの影響と誤差

モータと転換機構の間に備えられているクラッチの影響について、図 5 に模擬負荷装置を稼働させモータ電圧 88.3V で転換したときの転換負荷の推定値と実測値、および動作かんストロークの実測値を示す。動作かんストロークの実測値は 5s 付近で速度が低下しており、この地点でクラッチのすべりが発生していると推察される。転てつ機モニタによる転換負荷の推定値は、すべりの発生とほぼ同時に実測値に対して差が拡大する傾向が認められた。

転てつ機モニタがモータ電流と電圧から推定するトルクは、通常の使用状態であるクラッチのすべりの影響がない転換負荷において適切な推定値が得られるよう設計される。そのため、転てつ機モニタがモータ電流と電圧から推定するトルクは、モータが出力するトルクに相当するものであり、ここではクラッチのすべりの影響は考慮されない。また、クラッチにすべりが生じたときの転換機構側に出力されるトルクは、モータ側のトルクに比べて小さい。そのトルクの大きさはクラッチの電磁的特性や機械的な特性に影響を受けるためモータの電流や電圧から推定することは困難である。クラッチのすべりの影響を考慮しない転てつ機モニタにおいて、クラッチのすべりが発生した場合の転換負荷推定値は実測値とは乖離し、かつ過大側の推定値となる。

### 3.4 転換負荷の推定値の誤差要因

以上より、転てつ機モニタが出力する転換負荷の推定値の実測値に対する誤差は、図 6 に示す①～③の要因が影響すると考えることができる。

- ① 電流・電圧によるトルクの推定過程における誤差

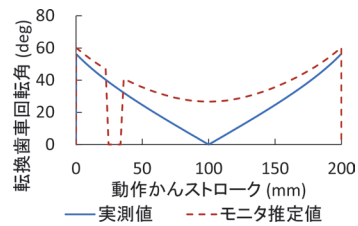


図 4 転換歯車回転角と転てつ機モニタの推定値

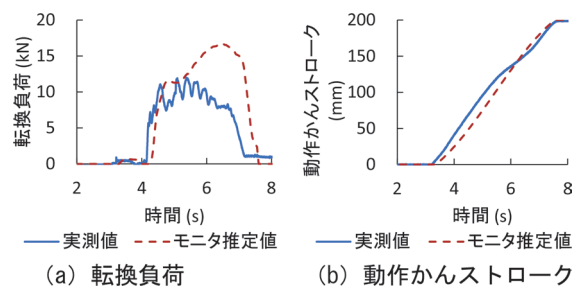


図 5 クラッチすべり時の推定値と実測値

- ② トルクによる転換負荷の推定過程における誤差
- ③ クラッチすべりの影響による誤差

このうち、①と②については試験を行った転てつ機モニタにおいて実測値と乖離する試験結果が認められた。②については転換機構の幾何学的関係を用いた負荷伝達法について提案したが、①のトルクの推定についても電流、電圧とトルクの関係について改めて検討を行うこととした。また、③のクラッチすべりについては、モータの電流や電圧から推定することは困難であるため、計測項目を追加してクラッチすべり時のトルクを推定する手法について検討した。

#### 4. 電流、電圧によるトルク、転換負荷の推定法

##### 4.1 電流、電圧に対するトルク等の特性と電流法

電気転てつ機のモータおよびクラッチの特性を測定するための試験装置として、これらに回転のトルクとして負荷を作用させる回転形負荷試験装置を製作した。

この装置を用いて、負荷トルクが小さくクラッチのすべりが発生しない運転状態における、TS-M形電気転てつ機用のモータ（交流誘導電動機）の電流、電圧とトルク、回転速度の関係について試験を行った。なお、TS-M形電気転てつ機のモータとクラッチは一体構造のため、クラッチの入出力軸の回転速度を共に計測してすべりの発生を特定することができない。そのため、モータ単体の特性を得る試験については、クラッチのすべりトルク（定格電圧において  $6.6\text{N}\cdot\text{m}$ ）<sup>4)</sup> よりも十分に小さい、 $2\text{N}\cdot\text{m}$  以下の負荷トルクが作用したときの試験結果を用いて評価することとした。

図7 (a) にモータ電流に対する出力軸トルクを示す。また、図7 (b) にモータ電流に対する出力軸の回転速度の関係を示す。負荷トルク  $2\text{N}\cdot\text{m}$  以下のとき、モータ電流に対する出力軸トルクは概ね線形関係にある。また、回転速度は電流に対して概ね線形関係にあることが確認された。それぞれの線形近似式の傾きと切片は電圧

によって異なるものの、電流  $I_m$  とトルク  $T_m$  の場合は線形近似式 (5) により、回転速度  $\omega_m$  とトルク  $T_m$  の場合は線形近似式 (6) により得ることができる。例えば線形近似式 (5) では、傾き  $a_{it}$  と切片  $\beta_{it}$  に電圧に応じた値を代入することで両者の関係を得ることができる。なお、線形近似式 (5) を用いて電流からトルクを推定する手法を、電流法と呼ぶ。

電流法と従来手法によるトルクについて、転換負荷の実測値から算出した値に対する推定値の誤差率を図8に示す。クラッチのすべりの影響が少ない、平均転換負荷  $5\text{kN}$  以下の試験結果における誤差率の分布は従来手法が  $+37\% \sim -25\%$  に対して、電流法は  $-6\% \sim -25\%$  であり、動作毎のばらつきが従来手法よりも小さいことを確認した。

$$T_m = a_{it} I_m + \beta_{it} \quad (5)$$

$$T_m = a_{\omega} \omega_m + \beta_{\omega} \quad (6)$$

##### 4.2 電流法、負荷伝達法によるトルク、転換負荷の推定

以上の電流法、および3.2節に述べた負荷伝達法を組み合わせる転換負荷を推定した結果を図9に示す。ま

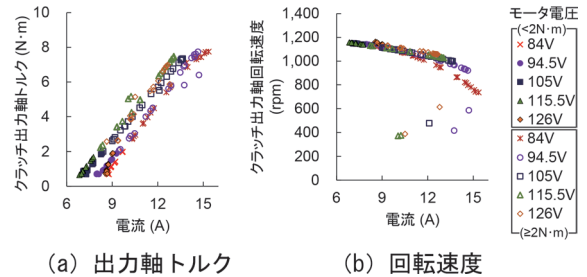


図7 モータ電流に対するトルク、回転速度

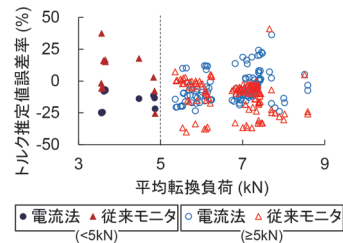


図8 トルク推定値の誤差率（電流法と従来手法）

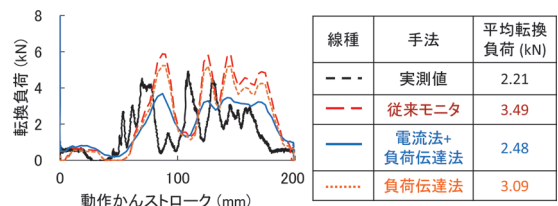


図9 電流法、負荷伝達法による転換負荷推定値

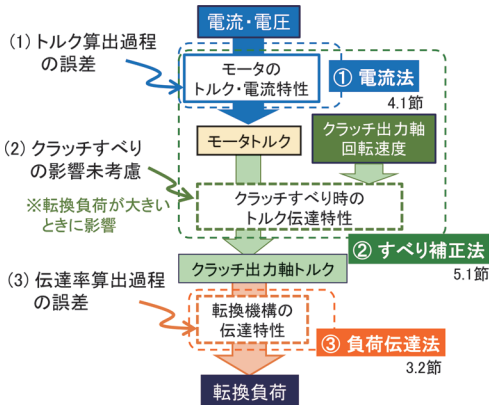


図6 転換負荷の推定誤差の要因と提案手法

た、転てつ機モニタのトルク推定値を用いて負荷伝達法により推定した転換負荷、従来の転てつ機モニタによる転換負荷推定値、および実測値についても示す。

電流法と負荷伝達法を組み合わせた転換負荷推定値は、従来の転てつ機モニタの推定値、および負荷伝達法を単体で適用した推定値と比べると、転換中を平均した転換負荷の大きさが実測値に最も近い。また、負荷伝達法を単体で適用したときの推定値についても、電流法に次ぐ結果が得られた。

## 5. クラッチすべりを考慮したトルク推定法

### 5.1 クラッチすべり時の特性

クラッチの入出力軸の回転速度差（すべり）が発生したときのモータ電流、電圧、および出力軸のトルク、回転速度の関係について回転形負荷試験装置を用いて試験を行った。4.1 節にて述べたモータ電流  $I_m$  に対する線形関係を踏まえて推定したモータの回転速度  $\omega_m$  と、試験装置で計測したクラッチ出力軸の回転速度  $\omega_c$  との比  $\omega_c/\omega_m$  と、クラッチ出力軸に作用させた負荷トルク  $T_c$  の関係を図 10 に示す。モータ電圧 84V の場合、クラッチ出力軸側に作用した負荷トルク  $T_c$  が  $5N \cdot m$  以上のときに回転速度比  $\omega_c/\omega_m$  が 1.0 を下回り、クラッチにおいてすべりが発生していることがわかる。また、線形近似式 (5) によるモータトルクの推定値  $T_m$  とクラッチ出力軸に作用する負荷トルク  $T_c$  を比較した結果、クラッチのすべりが小さい状態（回転速度比 0.9 以上）では両者が概ね一致する。一方、すべりが著しくなった場合には両者は一致しない。したがって、すべりが著しいときのクラッチの出力トルクを電流法によりモータトルクから推定することは困難であるといえる。

そこで、計測が可能なモータ電流、電圧、およびクラッチ出力軸の回転速度からクラッチの出力軸トルク  $T_c$  を推定する手法について検討した。その結果、図 11 に示す、モータトルク最大値  $T_{mc}$  とクラッチ出力軸トルク  $T_c$  との比  $T_c/T_{mc}$  に対する回転速度比  $\omega_c/\omega_m$  を得た。ここで、回転速度比とトルク比は式 (7) の指数関数により近似される。また、 $T_{mc}$  は式 (6) にクラッチ出力軸回転速度  $\omega_c$  を代入し導出されることから、計測が可能なモ-

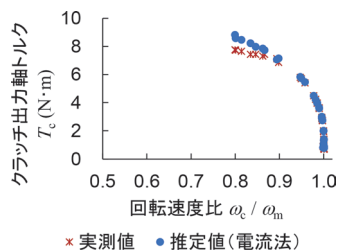


図 10 クラッチの入出力軸回転速度比と負荷トルク

ータ電流、電圧、およびクラッチ出力軸回転速度から TS-M 形電氣転てつ機のすべり時のクラッチ出力軸のトルク  $T_c$  を得ることができる。上記の方法によりクラッチ出力軸トルクを推定する手法を、すべり補正法と呼ぶ。

$$T_c = a_{wT} T_c \exp\left(\beta_{wT} \frac{\omega_c}{\omega_m}\right) \quad (7)$$

なお、式 (7) の係数  $a_{wT}$  や  $\beta_{wT}$  はクラッチの構造や特性により異なる値となる。また、接触面圧や摩擦係数が摩耗や調整状態によって変化するクラッチは、構造上、出力軸のトルクや回転速度がこれらの影響を受けるため、この推定手法を適用することは困難である。

### 5.2 すべり補正法、負荷伝達法による転換負荷の推定

図 12 にクラッチのすべりを伴いながら転換が完了した事例、およびクラッチのすべりが発生し転換不能に至った事例のそれぞれについて、すべり補正法と負荷伝達法を用いて得た転換負荷の推定値と実測値、および電流法と従来の転てつ機モニタによる推定値を示す。本結果は、計測を行った動作かんの移動量からクラッチ出力軸の回転速度を推定してすべり補正法を適用した結果であるが、すべり補正法を用いた推定結果は、図 12 (a) の転換が完了した事例、図 12 (b) の転換不能となった事例において、他の推定法に対して最も実測値に近い推定結果となっている。

以上より、本稿で提案したトルクと転換負荷の推定手法を用いた転換負荷の推定値は、いずれも従来の転てつ機モニタでの転換負荷の推定値よりも実測値に近い転換

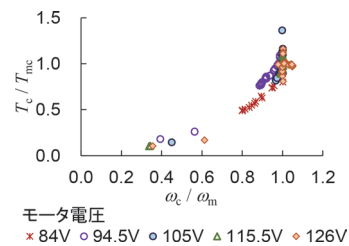
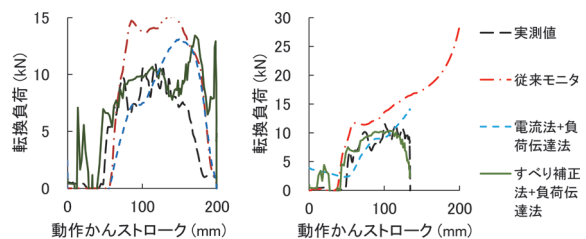


図 11 クラッチすべり時のトルク比・回転速度比特性



(a) 転換完了時

(b) 転換不能時

図 12 すべり補正法による転換負荷の推定

負荷を推定できることを確認した。また、各手法は、すべり補正法と負荷伝達法を組み合わせた場合、電流法と負荷伝達法を組み合わせた場合、および負荷伝達法を単独で適用した組み合わせの場合の順で実測値に近い転換負荷の推定値が得られることを確認した。

## 6. 提案手法の導入に対する評価

転てつ機モニタの導入、特に既に転てつ機モニタが導入されている箇所において提案手法を適用する場合の課題を抽出するため、計測項目の追加、端末等に対する改修項目、および導入効果について評価を行った。表1に評価結果を示す。

負荷伝達法は、現在の転てつ機モニタ内部でのトルクと動作かんストロークの推定値を用いた転換負荷の推定方法のみが変更となるため、駅装置の改修により転てつ機モニタの内部での演算方法を変更することで導入できることが見込まれる。また、暫定的な導入方法として、現行の転てつ機モニタの機能として備えられている、転換動作毎のデータの外部出力機能を用いて書き出したCSV形式のデータを入力して負荷伝達法による推定値を出力する外部ソフトウェアを使用する方法が考えられる。外部ソフトウェアは、利用の都度計算を必要とするが、転換不能の兆候が認められる場合や転換不能後の原因調査の際、より実測値に近い推定値に基づき判断することが可能となる。

電流法についても、転てつ機モニタ内部での電流と電圧に基づく転換負荷の推定方法が主な変更点である。負荷伝達法とあわせて駅装置の改修で転てつ機モニタの内部での演算方法を変更することで改修の効果が得られることが見込まれる。

すべり補正法については、現在計測されていない歯車回転速度の計測が追加となるため、センサのほか、電気転てつ機内端末、転てつ機モニタの駅装置等の全面的な改修が必要となる。しかし、負荷伝達法と組み合わせることで、転てつ機モニタを用いて検出すべき転換不能直前の転換負荷の状態を従来手法よりも正確に得られることが見込まれる。また、正確な動作かんストロークも得られることから、その導入効果は提案する手法の中で最

も高い。同様の効果は回転軸のトルクの計測や、クラッチの入出力軸の回転速度を共に計測する構成でも得られるが、前者は測定の原理上、S/N(信号/ノイズ)を確保するために回転軸の強度を落とす必要があり、耐久性や実装の観点で困難である。後者は電気転てつ機のモータやクラッチ部の構造変更を伴うことから、コストや実装に関する課題が多い。したがって、クラッチすべりに対する補正については、提案するすべり補正法と負荷伝達法の組み合わせがコストや実現性の観点から最も優れていると考えられる。

## 7. まとめ

転てつ機モニタに適用する転換負荷の推定手法について検討を行った結果、以下の結果が得られた。

(1) 転てつ機モニタにおける転換負荷推定誤差は、モータトルクの推定、トルクや動作かんストロークによる転換負荷の推定、トルクに対するクラッチのすべりが要因である。

(2) モータ電流、電圧からトルク、転換負荷を推定可能な手法(電流法と負荷伝達法)、およびクラッチ出力軸の回転速度を上記に加えて計測してクラッチすべり時のトルクを推定可能な手法(すべり補正法)を提案した。

(3) 提案手法の導入に伴う課題と導入効果を評価した。提案手法はいずれも従来手法に対して実測値に近い推定値が得られることを確認した。

本稿で示した転換負荷推定手法が、転てつ装置の維持管理に活用できると考える。

## 謝 辞

本研究における現地試験の実施にあたり、西日本旅客鉄道株式会社の関係者には多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

## 文 献

- 1) 西武雄：在来線用電気転てつ機モニタの開発，京三サーキュラー，Vol.52，No.5，2001
- 2) 潮見俊輔，五十嵐義信，安藤公志，濱田良和：発条転てつ機の転換負荷の状態監視方法の提案，鉄道総研報告，Vol.25，No.5，pp.23-28，2011
- 3) 潮見俊輔：電気転てつ機の状態推定手法，鉄道と電気技術，Vol.33，No.3，pp.3-8，2022
- 4) 伊東周二，安原碩人：高信頼性電気転てつ機(第2報)-TS形電気転てつ機用クラッチの改良-，鉄道技術研究所速報，No.80-1005，1980

表1 提案手法の導入に伴う改修項目と効果の評価

手法	追加測定項目	精度	ハードウェア更新	コスト	容易性	効果	評価
①電流法 +③負荷伝達法	なし	中	駅装置	中	やや易	中	○
現行モニタ+ ③負荷伝達法	なし	低	不要	低	易	やや低	○
直接測定	回転軸トルク	高	現場端末、 駅装置	高	困難	高	×
②すべり補正法 +③負荷伝達法	クラッチ 出力軸速度	中	現場端末、 駅装置	高	中	高	○