

電気転てつ機の 転換不能の予兆を検出する



潮見 俊輔
Shunsuke Shiomi
信号技術研究部
信号システム研究室
主任研究員



押味 良和
Yoshikazu Oshimi
信号技術研究部
信号システム研究室
副主任研究員

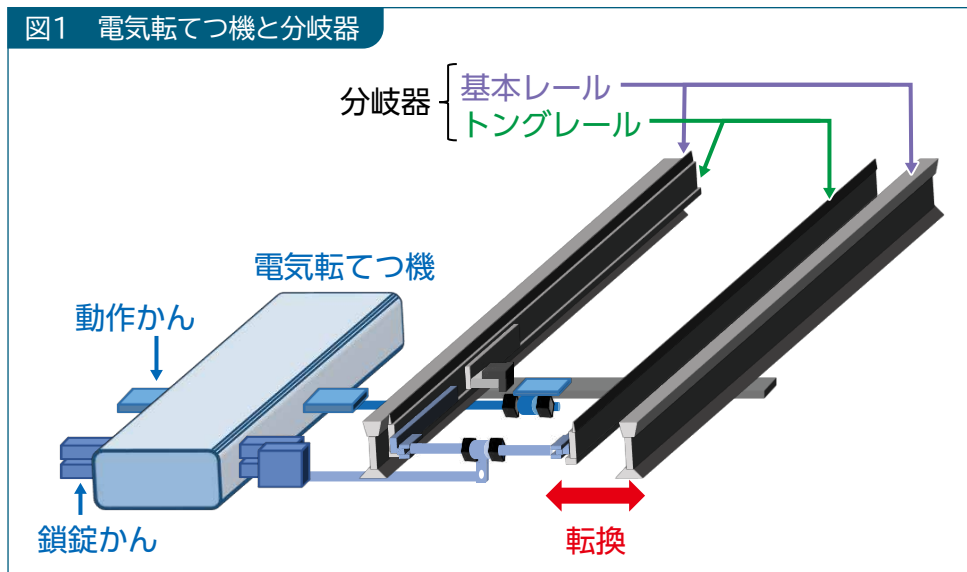
はじめに

電気転てつ機は列車の進行方向を変える分岐器の可動部を動作（転換）させたのちに、分岐器の可動部の位置などが列車を安全に通過させられる状態かをチェック（照査）し、機械的にその位置を保持（鎖錠）する機能をもつ信号保安設備です（図1）。この電気転てつ機の動作が途中で停止してしまうことを**転換不能**といえます。転換不能は列車運行の安定性に係わるため、設備の状態を適切に維持管理して発生の頻度を低くすることが重要です。転換不能に至る電気転てつ機の状態変化をとらえるため、近年、電気転てつ機の動作状態を監視する「転てつ機モニター」が導入されはじめています。

電気転てつ機と転てつ機モニター

電気転てつ機の構造の概略を図2に示します。電気転てつ機はモーターを動力源として、歯車などで回転速度を減速したうえで、分岐器を動かす（転換）機能を有する動作かんや、動作かんの位置の保持（鎖錠）や分岐器の開通方向のチェック（照査）を行う機能を有するロックピースを駆動します。多くの電気転てつ機では、分岐器を動かす際の負荷（転換負荷）が増加したときなどに伝達する**トルク**を制限する機能を有するクラッチが備えられています。また、電気転てつ機の動作の最終段階では、トングレ

図1 電気転てつ機と分岐器



転換不能

転換不能は、電気転てつ機などの動作が途中で停止する事象です。転換不能はさまざまな原因で発生します¹⁾。石などの異物が分岐器の可動部に挟まることで発生する転換不能の発生頻度がもっとも高いですが、設備の状態変化も転換不能の一因となっています。

転換不能が発生するとき、電気転てつ機は駅構内の信号設備の制御を行う連動装置に対して、列車が安全に分岐器上を通過できない状態であることを伝えます。連動装置は、転換不能が発生した分岐器に関連する列車や車両が進入しないよう信号機などの設備を制御します。この機能により列車などの安全性は確保されますが、運行の安定性に影響します。したがって、設備の状態を適切に維持管理し、転換不能の発生頻度を低くすることが重要です。

電気転てつ機のトルク

トルクは、回転軸のねじりの強さであり、回転軸の円周方向に働く力と、回転中心から力が作用する位置までの距離の積で表すことができます。電気転てつ機は、モーターやクラッチ、歯車などの回転運動する機構を備えていますので、これらに働くトルクの大きさは状態の良否を判断するうえで重要な指標です。電気転てつ機の検査では、手動で転換動作を行うために減速機構の軸と接続した手回しハンドルを操作して転換動作を行います。このときの手回しハンドルのトルクを計測したり、体感することで転換負荷の大きさを間接的に知ることができます。

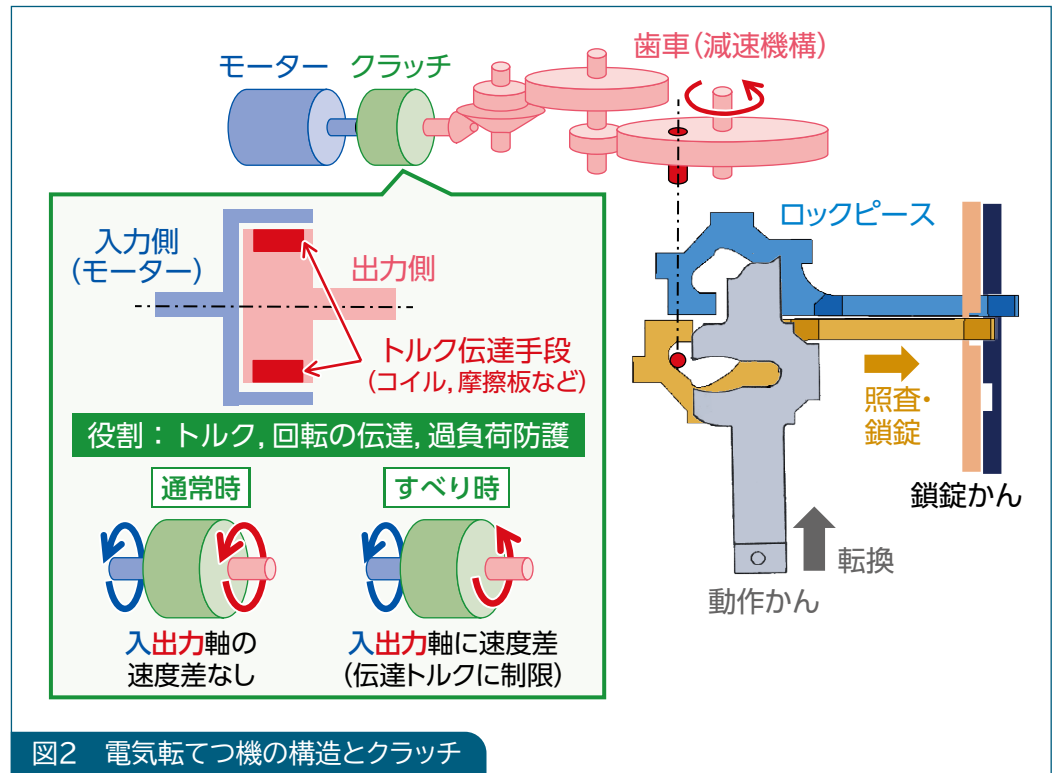


図2 電気転てつ機の構造とクラッチ

ルなどの分岐器の可動部に接続された鎖錠かんにロックピースを挿入することで開通方向を照査します。

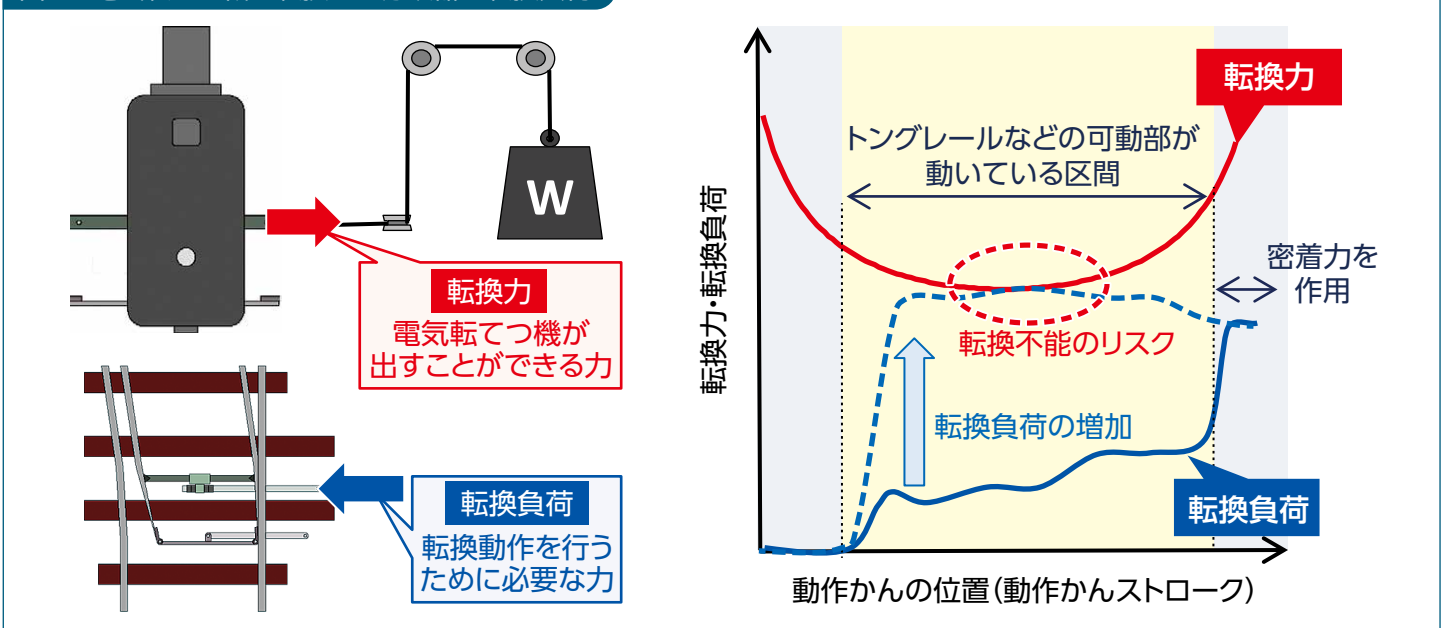
転てつ機モニターは、転換、鎖錠、照査の電気転てつ機の一連の動作を監視・記録する状態監視装置です。転換動作に対しては、モーターの電流や電圧を計測、記録する機能を、照査機能に対しては、鎖錠かんの位置のずれを計測、記録する機能を備えています²⁾。また、これら

の値や、これらの値から算出した推定値が通常と異なる状態になった場合や、あらかじめ設定した値を超過した場合には、警報を保守区や指令などに伝える機能を備えています。

転換負荷の増加と転換不能

分岐器が動かされる際の負荷（転換負荷）と、電気転てつ機が分岐器を動かす力（転換力）の関係を図3に示します。レールが水平移動する

図3 電気転てつ機の転換力と分岐器の転換負荷



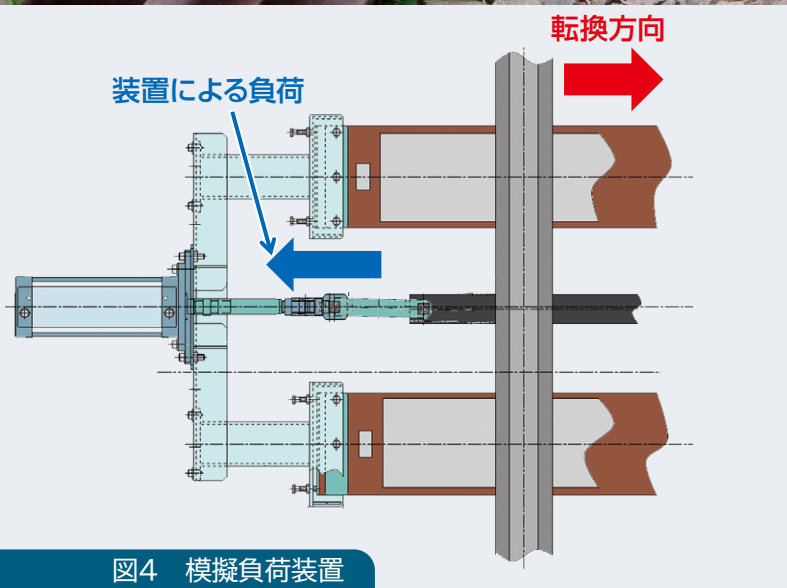
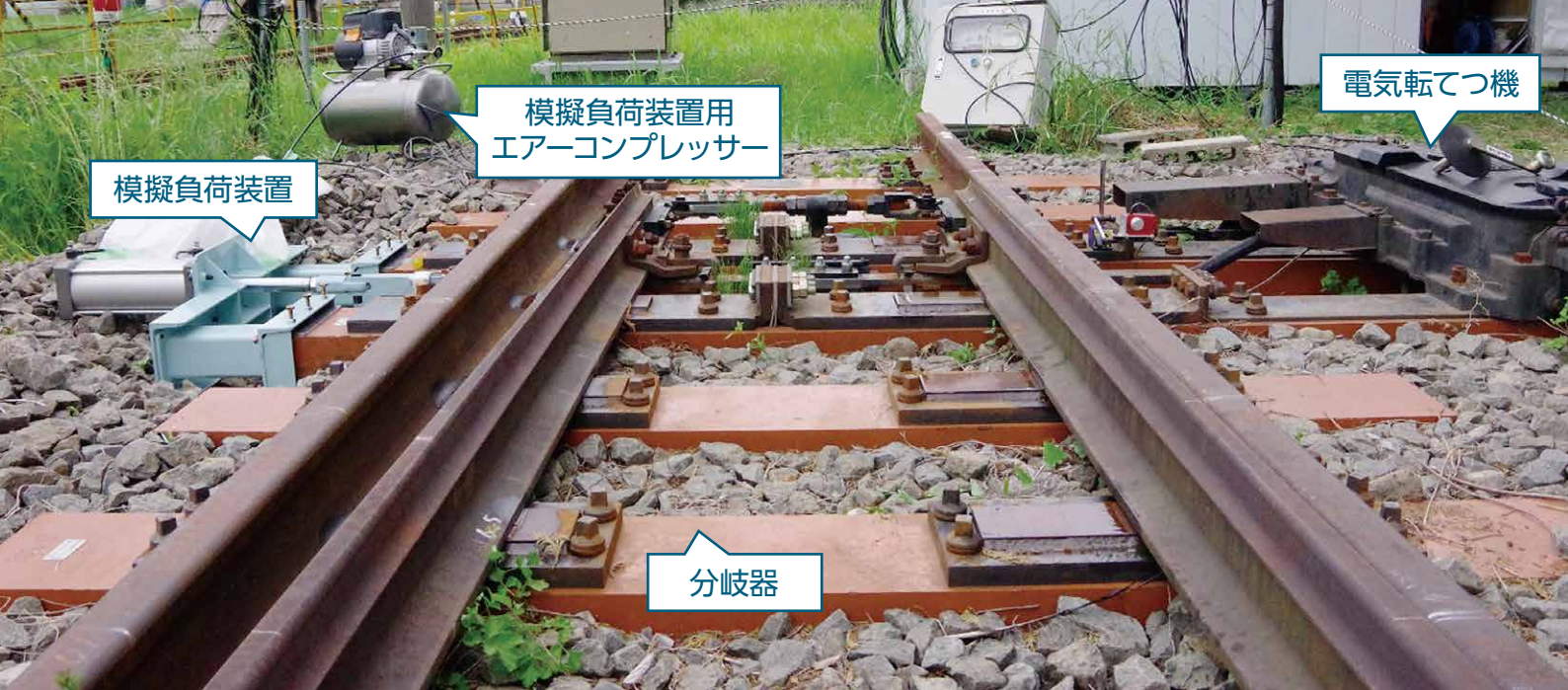


図4 模擬負荷装置

電気転てつ機のカム機構

カム機構は、回転運動を直線運動に変換する機構の一つです。電気転てつ機では、動作かんやロックピースに掘られたみぞ（内面カム）の上を、歯車に接続されたローラーがなぞっていくことで、歯車の回転運動を直線運動に変換しています。カム機構のほか、ボールねじなどを用いて回転運動を直線運動に変換する電気転てつ機も存在します。カム機構を用いた電気転てつ機の動作かんに一定の力を加えた場合、ローラーに接続された歯車に伝達されるトルクは、動作かんストロークの始端と終端では最小に、ストロークの中間点では最大になる特性を示します。

際の摩擦力などによる分岐器の転換負荷は、トングレールなどの可動部が移動している間に作用します。また、転換動作の最後に可動部を基本レールなどの固定部に押しつける力（密着力）が作用します。

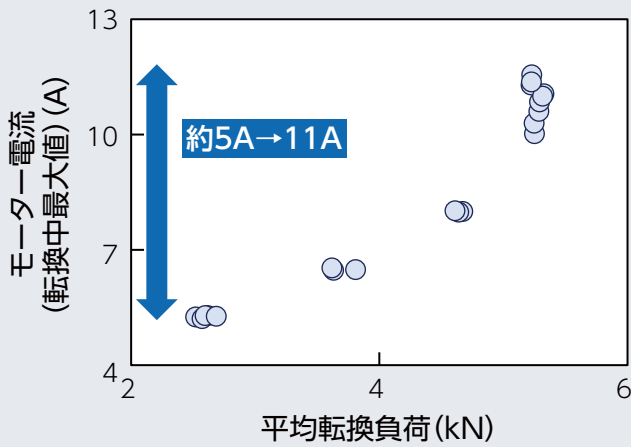
一方、電気転てつ機の転換力は、電気転てつ機の種類や構造、動作電圧などによって変わりますが、これらの変化がない限りはおおむね同じ力が出力されます。日本国内ではカム機構[®]で動作かんに駆動する方式の電気転てつ機が多く用いられています。

電気転てつ機の転換力よりも転換負荷が十分に小さい、通常の使用状態では転換動作は正常

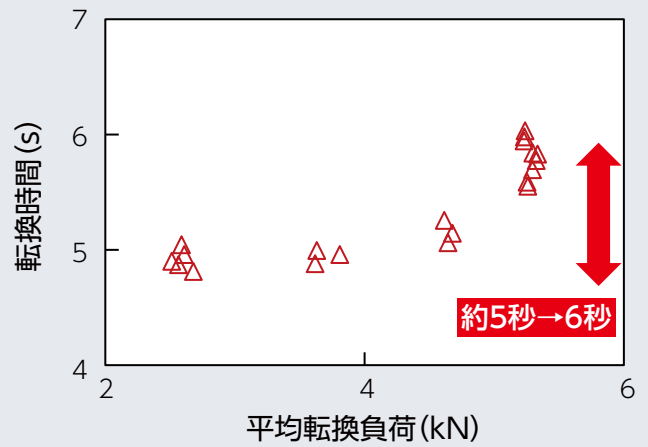
に行われます。しかし、転換負荷が増加して転換力との差が小さくなると、電気転てつ機内のクラッチが機能し、モーター側の回転速度と出力側の回転速度に速度差（すべり）が発生します。さらに、転換負荷によりモーターやクラッチに作用するトルクが、モーターの最大トルクや、クラッチが伝達可能な最大トルクを超過すると、転換動作が行えなくなり転換不能に至ります。

転換電流、転換時間から 転換不能の予兆を検出する

転換不能の予兆と、転てつ機モニターが監視



(a) モーター電流と転換負荷



(b) 転換時間と転換負荷

図5 転換負荷とモーター電流, 転換時間

するモーターの電流, およびモーターの電流から得ることができる転換時間 (転換動作の開始から終了までの時間) の関係について実験的に調査しました³⁾。実験では, クラッチのすべりトルクが調整可能なNS-A形電気転てつ機, および模擬負荷装置 (図4) により転換負荷を可変できる分岐器を用いました。

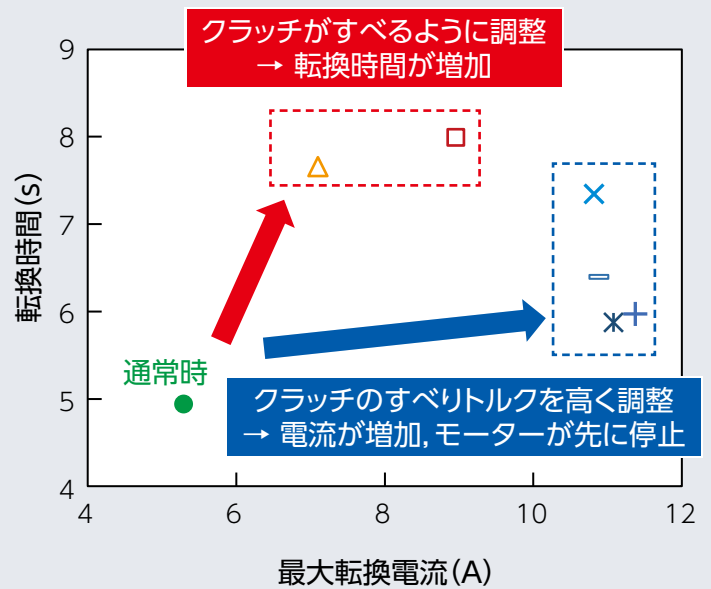
クラッチのすべりが発生しにくくなるよう, すべりトルクを最大に調整したときの転換負荷の増加に対する電流と転換時間の関係を図5に示します。モーター電流と転換負荷はいずれも転換負荷に対して増加傾向にあることがわかります。転換負荷が約2.5kNから約4.5kNに増加したときに, 電流は約5Aから約11Aまで変化しました。一方, 転換時間の増加は小さく, 通常時の約5秒に対して, 負荷が増加したときの増加は約1秒に留まりました。

次に, 転換不能が発生する直前の転換電流 (転換動作中のモーター電流), 転換時間とクラッチの調整状態の関係についての試験結果を図6に示します。クラッチがすべりはじめるトルクをモーターが停止するトルクより大きく設定した場合 (調整ねじを締めた状態) と, モーターより先にクラッチがすべりはじめるよう設定した場合 (調整ねじを緩めた状態) では, 転換不能直前の電流と転換時間の傾向が異なることがわかり

ました。前者の場合は通常時に対する転換時間の増加は小さい一方, 電流が大きく変化する特徴を有しています。一方, 後者の場合は, 電流の増加は小さく, 転換時間が通常時よりも大きく増加する特徴を有しています。

このことから, 電流と転換時間のそれぞれの増加傾向に注目することで, 転換不能の予兆とその原因 (モーターの停止, クラッチのすべり) を検出することが可能であるといえます。たとえば, 転換電流の増加が小さく, かつ転換時間

図6 転換不能直前におけるモーター電流, 転換時間とクラッチの調整状態



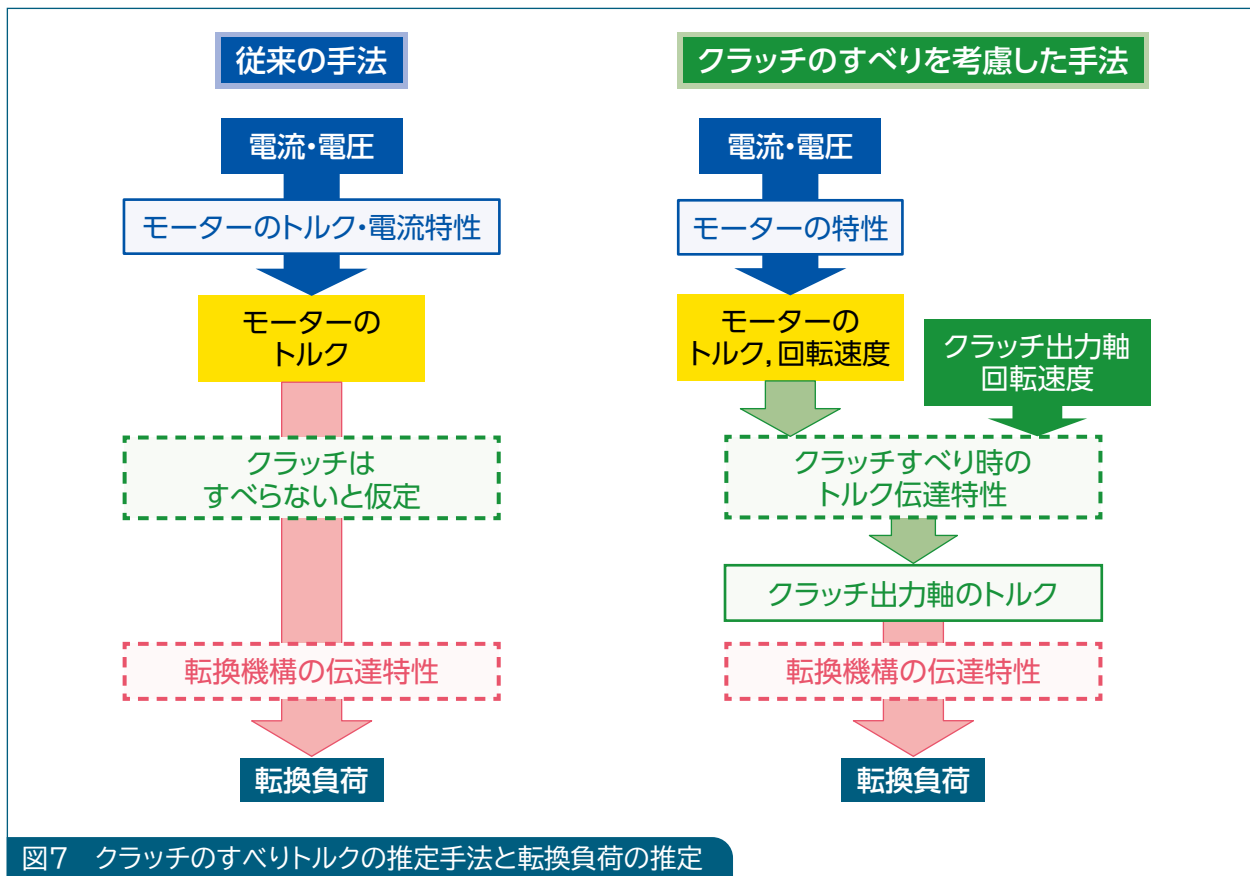


図7 クラッチのすべりトルクの推定手法と転換負荷の推定

が大きく増加するような傾向を示す場合には、クラッチの調整ねじの緩みが発生している可能性があるかと判断することもできます。このように、転換電流や転換時間の変化と電気転つ機内部の挙動の関係に着目することで、転換不能の予兆の検出に加えて、原因についても判断することができます。

転換負荷の大きさを推定する

転つ機モニターが計測した電流や電圧などから転換負荷の大きさの推定値を出力する機能は、保守区や指令において動作結果を確認して状態を判断するうえで有用です。これまでの転換負荷の推定手法は、電流や電圧からモーターのトルクを推定し、クラッチはすべらないと仮

図8 転換負荷の推定結果

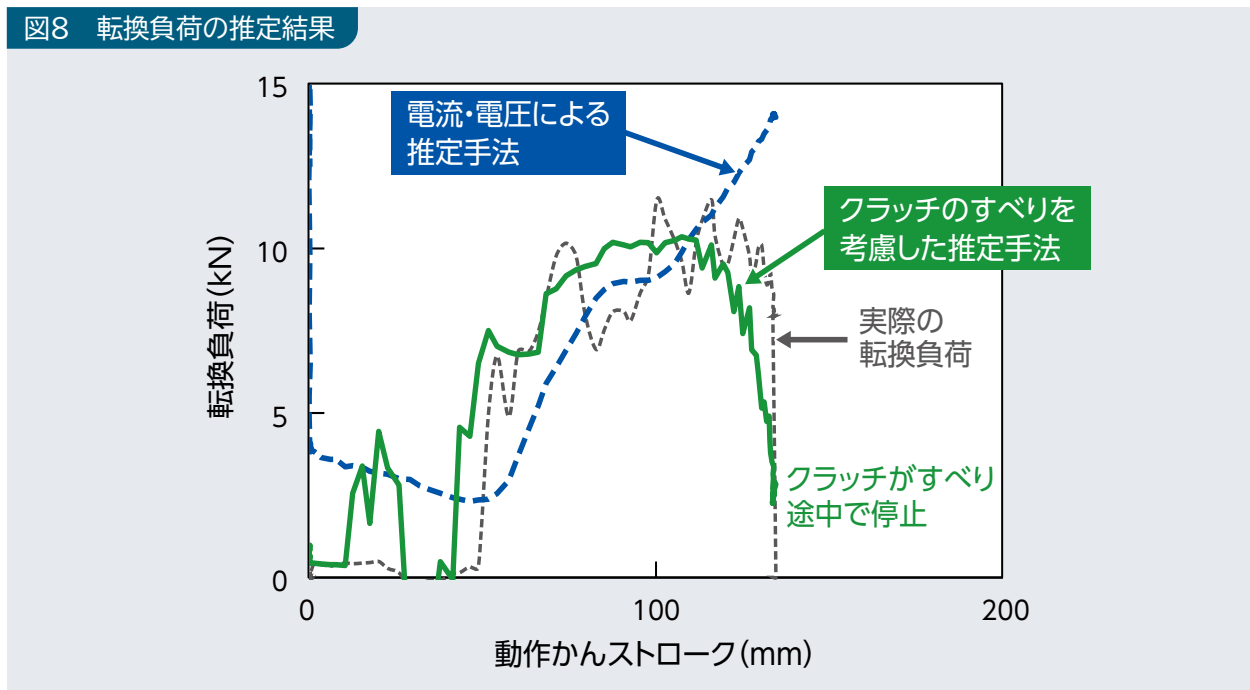


表1 転換負荷の推定機能と転てつ機モニターに求められる機能

| 手法 | 現行モニターに 対する追加測定項目 | 精度 | 更新箇所 | コスト | 容易性 | 効果 |
|---------------------|-----------------------|----|----------------------|-----|---------------|----|
| トルクを直接 測定する方法 | 回転軸トルク | 高 | 多数 特に転てつ機の構造変更を伴う | 最も高 | センサー 内蔵が困難 | 高 |
| 電流, 電圧から 推定する方法 | なし | 中 | 少 処理装置 | 中 | やや易 | 中 |
| クラッチのすべり トルク推定手法 | クラッチ出力軸速度 (歯車回転速度) | 中 | 中 内蔵端末, 処理装置 | 高 | 中 | 高 |

定したうえで、動作かんに作用する転換負荷を推定していました。通常の動作状態ではこの方法は有用ですが、大きな転換負荷が作用してクラッチがすべるような状態では、実際の転換負荷に対して推定値が過大になる課題がありました。

そこで、クラッチがすべるときのトルクと回転速度に一定の関係を有するクラッチを対象とした転換負荷の推定手法⁴⁾を開発しました(図7)。この手法は、モーターの電流、電圧から推定したモーターのトルクおよび回転速度と、計測が容易なクラッチの出力軸の回転速度からクラッチの出力軸のトルクを推定します。クラッチがすべることで転換不能が発生したときの転換負荷を、従来の推定法とこの手法でそれぞれ推定した結果を図8に示します。クラッチのすべりを考慮しない従来の推定手法に比べて、今回開発したクラッチのすべりを考慮した手法は、センサー⁵⁾で測定した転換負荷に近い推定値が得られることがわかりました。

表1に今回提案した手法と、従来の手法、およびトルクをセンサーで直接計測する手法につ

いて特徴を比較した結果を示します。提案する手法は回転速度を計測するセンサーを電気転てつ機の内部に備える必要があるため、設備の改修をとともいません。しかし、強度や耐久性の観点で実現が困難な、電気転てつ機にトルクセンサーを内蔵する方式と同等の効果が見込まれます。また、モーターのトルクを電流や電圧から推定する手法も、通常の動作状態の監視や、転換負荷に至る初期の段階での予兆の判断に有用と考えます。

おわりに

ここでは、電気転てつ機の動作状態を監視する転てつ機モニターを用いて、電流や転換時間から転換不能の予兆を検出する手法と、従来手法では困難だったクラッチすべり時の転換負荷の推定手法を紹介しました。前者は既存の転てつ機モニターを用いた転換不能の予兆検出に、後者は転てつ機モニターの新設や改修時に適用することで、転換不能の予兆検出や電気転てつ機の動作状態の監視に用いることが可能です。

RRR

文 献

- 1) 櫻井育雄：新しい電気転てつ機を目指して，RRR，Vol.47，No.9，pp.27-32，1990
- 2) 五十嵐義信，渡辺郁夫：新しい転てつ機モニタ装置，RRR，Vol.61，No.10，pp.26-29，2004
- 3) 遠山喬，潮見俊輔，押味良和，佐藤輝空：遠隔監視データを用いた電気転てつ機と軌道回路の状態推定手法，鉄道総研報告，Vol.34，No.7，pp.5-10，2020
- 4) 潮見俊輔，高崎建，往古直之，椿健太郎：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) 潮見俊輔：ジョーピン形軸力計，RRR，Vol.74，No.1，p.40，2017