

# 割出し可能転てつ機を用いた転換システム

潮見 俊輔\* 押味 良和\* 五十嵐 義信\*

## Direction Control System Using the Trailable Point Machine

Shunsuke SHIOMI Yoshikazu OSHIMI Yoshinobu IGARASHI

A spring point machine is used for the turnouts on secondary lines in Japan, since it has advantage of being operated independently of the interlock. The machine was designed for 37kg/m and 40kg/m turnouts, which were generally used on secondary lines. However, some of the machines are currently used for the heavier turnouts, and it has been thought that the insufficient switching force of the spring points causes the problem of the switch malfunctions. A method proposed to solve this problem is the installation of an electric point machine and an interlock having function to control point machine, however, replacing with the electric point machine and improvement of interlocking needs a large amount of expenses. We propose a method for installing a powerful point machine without an interlock replacing: the direction control system which controls the point machine independent of the interlock. In addition, we propose the pneumatic trail-able point machine, which keeps safety level competing with the spring point machine. In this paper, we describe the test results of the system proposed on the test track. Moreover, we discuss the results of an endurance test, in which the operations of more than 110,000 times of the proposed system were carried out.

キーワード：割出し可能転てつ機，踏込転換方式，動力転てつ機，電空転てつ機，発条転てつ機

## 1. はじめに

発条転てつ機は、外部動力や転換動作の制御が不要で、単線区間の行き違い駅に必要な機能を具備した転てつ機として、閑散線区を中心に広く使用されている。閑散線区の比較的軽量の分岐器や車両に即した転換力と割出し力の設定、保守の実態に即した堅牢な構造は、広く利用されてきた理由の一つと考えられる。しかし、発条転てつ機が用いられている箇所の一部では、従来用いられてきた 37kg/m レール等と比べて転換負荷の大きい 50N レールを採用した分岐器が近年導入されはじめています。発条転てつ機は、電気転てつ機と比べて、転換力が小さいため、油切れ等を原因とする転換負荷増加に対して特に影響を受けやすい。これが昨今の発条転てつ機における課題の一つである。

この課題に対して、自動給油器や転てつ減摩器の採用などの転換負荷を適切に維持する設備の開発<sup>1)</sup>や採用、状態監視装置を用いた状態基準保全の検討<sup>2)</sup>、電気転てつ機への置き換え等の施策が行われている。特に、動力転てつ機化は転換力不足の根本的対策といえるが、出発信号機と電気転てつ機との連鎖機能の追加や転てつ制御回路の追加等の連動装置の改修、場合によっては安全側線の設置などを伴うことが課題である。そのため、連動設備の老朽取換等と同時に実施される場合を除いて、既

\* 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

存の方法による発条転てつ機の動力転てつ機への置き換えには困難さがあると考えられる。

以上の課題解決のため、連動装置論理の変更を行わずに転換力の大きい動力転てつ機を用いる転換システムを開発した。具体的には、連動装置と独立して転てつ機の制御を行う「踏込転換システム」と、このシステムを適用した場合の分岐器背向からの車両走行の安全を担保するための「割出し可能転てつ機」の開発を行った。本報では、システムの概要を提案するとともに、現車による動作試験、耐久試験の実施結果について報告する。

## 2. 踏込転換システムの開発

### 2.1 現行方式の分析

現行の転換システムの機器構成および動作手順より、発条転てつ機から電気転てつ機への変更にあたって必要となる項目について整理を行った。両転てつ機の転換動作制御のフローを図1に示す。

発条転てつ機を用いるシステムと電気転てつ機を用いるシステムの間大きな相違は以下の2点である。

- ・ 出発信号機と転てつ機との連鎖関係の有無
- ・ 転てつ機へのエネルギー外部供給の有無

発条転てつ機は、出発信号機に関して連動装置による転換制御や転換方向の照査を行わない一方、電気転てつ機ではそれを必要とするため、システムの変更には

特集：信号通信技術

連動装置のロジック、配線の変更が必要となる。また、エネルギーを外部供給する必要上、電気転てつ機は電源(AC105V, 10A程度)と機器室までの配線を必要とする。動力転てつ機を用いるには外部エネルギーの供給が必須であるが、これ以外のシステムの変更を最小化するためには、連動装置の連鎖関係を現行の発条転てつ機のものに踏襲したシステムの構築が必要と考えられる。

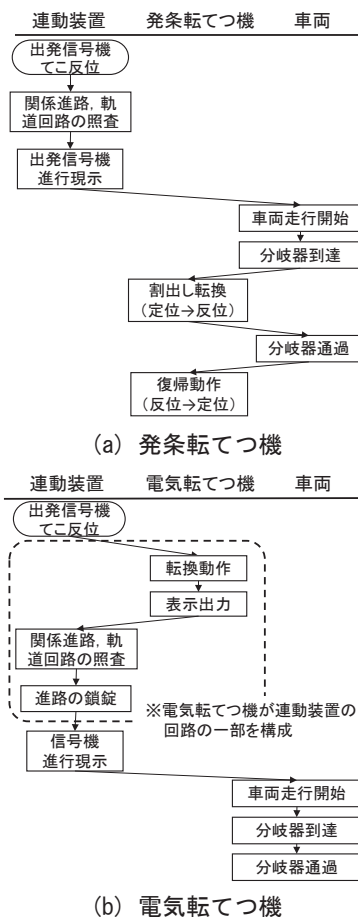


図1 現行の転換システムの制御フロー（背向進入時）

2.2 提案手法—踏込転換方式—

連動装置の動作と独立して動力転てつ機の転換制御を行う方式として、信号機の現示や列車の在線位置に類する情報を元に転てつ機の転換方向の制御を行う「踏込転換方式」を提案する。

2.2.1 基本機能と動作

踏込転換方式は、発条転てつ機の機能である、背向反位からの進出と、対向側から背向定位への進入の2つの機能を制御装置と動力転てつ機を用いて以下により実現する。

- (a) 背向反位からの進出 (図2)
  - ① 分岐器背向反位からの列車検知情報に対して、分岐器を定位から反位に転換する。
  - ② 分岐器通過情報に対して、分岐器を反位から定位

に復位する。

(b) 対向側から背向定位への進入

分岐器対向側からの列車検知情報に対して、分岐器通過情報を次に受信するまで、分岐器を定位に保持する。

これを実現する機器の構成例と動作概要を図2に示す。また、制御のフローを図3に示す。踏込転換方式では、発条転てつ機と同様、分岐器の開通方向を問わず出発信号機は進行現示を出しうる。制御機能が正常に動作した場合には、車両が分岐器上に達するまでに前述(a)の機能により分岐器が反位側に転換された状態となるが、何らかの理由によりそれが成立しない場合であっても、車両が分岐器上を通過した際に車両や設備に支障しないことを担保する必要がある。そのため、踏込転換方式に用いる動力転てつ機は、割出し可能な鎖錠機構が必須となる。

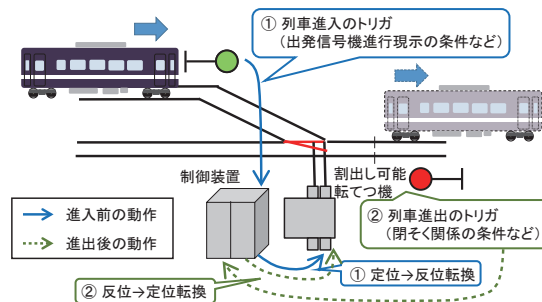


図2 踏込転換方式の機器構成例と動作概要（背向進入）

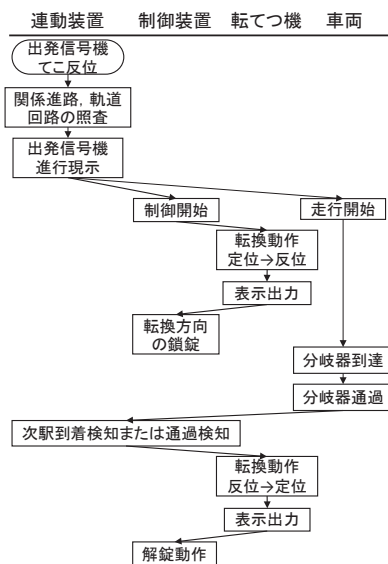


図3 踏込転換方式の制御フロー

2.2.2 制御の方法と条件

転換制御のための車両の進入、進出は、既存の軌道回路等の列車検知装置の条件のほか、進入および進出を検知する点検知式の列車検知装置の適用、および既存の出発信号機や電気転てつ鎖錠器の制御条件を用いることが

考えられる。各方式の利点と課題を表1に示す。適用箇所の列車検知装置や連動装置、閉そく装置の状況により適する構成は異なる。発条転てつ機が導入されている駅の多くでは、背向反位からの進入条件に出発信号機の信号制御リレーを、分岐器進出に閉そく装置の方向鎖錠リレーの条件を用いることで、列車検知装置を用いない構成とすることも可能である。なお、踏込転換方式は、列車検知の条件によらず論理は同一のため、制御装置の結線を標準化できる利点を有している。

表1 制御入力方式毎の利点と課題

| 手法            | 適用箇所 | 利点                    | 課題                   |
|---------------|------|-----------------------|----------------------|
| 軌道回路          | 全箇所  | 既存設備の活用               | 対向検知に使用する場合、あおり対策が必要 |
| 点検知式列車検知装置    | 全箇所  | 検知位置の制約小              | 閉電路式の場合、電源喪失時の対策を要す  |
| 出発信号機の信号制御リレー | 背向反位 | 既存設備の活用<br>分岐器上非在線の担保 |                      |
| 電磁転てつ鎖錠回路     | 対向   | 既存設備の活用<br>分岐器上非在線の担保 |                      |

### 2.3 踏込転換制御装置の試作

提案手法について実機、実車による動作検証を行うため、踏込転換制御装置の信号用リレーを用いた結線の設計、試作を行った。結線図を図4に、使用リレーの役割を表2に示す。

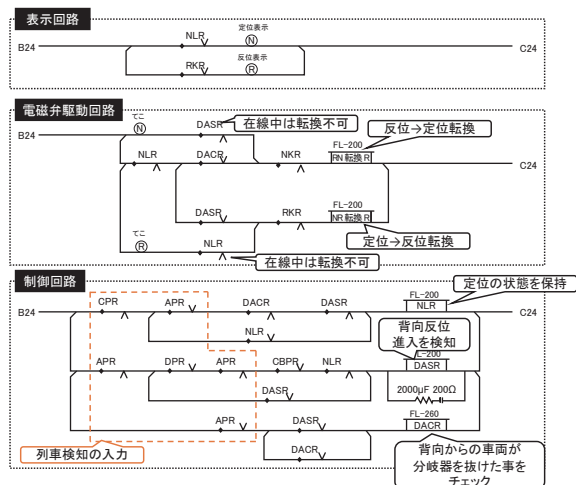


図4 踏込転換制御装置結線図

表2 制御装置リレーの役割

|      | リレー名称   | 役割                          | 初期状態    |
|------|---------|-----------------------------|---------|
| 制御論理 | NLR     | 定位の状態を保持する                  | ↓落下     |
|      | DASR    | 背向反位からの進入状態を示す              | ↓落下     |
|      | DACR    | 背向反位からの車両が分岐器を通過したことをチェックする | ↓落下     |
| 入力   | APR     | 対向側の列車検知                    | ↓落下     |
|      | CPR     | 背向定位側の列車検知                  | ↓落下     |
|      | CBPR    | CPRの反応リレー(反位接点)             | ↑動作     |
|      | DPR     | 背向反位側の列車検知                  | ↓落下     |
| 出力   | NR 転換 R | 転てつ機の転換制御(定位→反位)            | ↓落下     |
|      | RN 転換 R | 転てつ機の転換制御(反位→定位)            | ↓落下     |
| 表示   | NKR     | 転てつ機からの表示(定位)               | 転換状態による |
|      | RKR     | 転てつ機からの表示(反位)               | 転換状態による |

### 2.3.1 動作の概要

背向反位からの列車進入時、対向からの列車進入時の動作を以下に示す。

#### 【背向反位からの列車進入】

- ① DPRが動作し、NLR落下をチェックしてDASR動作。DASRは自己保持。
- ② DASR動作によりNR転換R動作。
- ③ 転てつ機反位転換制御。転換終了後RKR動作。
- ④ 車両通過後、APR動作しDASRが一定時間後に落下。同時にNR転換R落下。DASRが落下するまでの間にDACR動作。
- ⑤ DACR動作によりRN転換R動作。
- ⑥ 転てつ機定位転換制御。転換終了後NKR動作。

#### 【対向からの列車進入】

- ① APR動作し、NLR動作。NLRは自己保持。NLR動作中は転換方向定位保持。
- ② 車両通過後、CPR動作し、NLR落下。

### 2.3.2 異常時の動作

異常な動作状態として、電源の喪失、列車検知の失敗、列車検知の2段動作が考えられる。これらの動作に対する制御装置の挙動を机上検討した結果を表3に示す。電源喪失時、列車検知の失敗時、列車検知失敗後に列車検知が正常動作した場合の何れにおいても、車両通過中の途中転換や異線進入は、結線上発生しないことを確認した。

表3 異常時動作の検討結果

| 事象            | 動作              | 結果   |
|---------------|-----------------|--|
| 電源喪失          | 全リレー落下          | 電源喪失前の転換状態を保持                                  |
| 列車検知失敗(背向進入時) | 定位→反位への転換制御行われず | 割出し可能転てつ機の割出し機能動作                              |
| 列車検知失敗(対向進入時) | 反位のまま保持         | 次列車が背向進入：影響なし<br>次列車が対向進入：反位照査のため場内信号停止現示      |
| 2段動作(対向進入時)   | NLR動作           | 次列車が対向進入：影響なし<br>次列車が背向進入：転換は行われませんが、割出し転換で通過可 |

## 3. 割出し可能転てつ機の開発

### 3.1 踏込転換用の動力転てつ機の要求機能

踏込転換方式は背向からの列車進入に対して、動力による転換を基本とするが、転換制御が正常に行われない場合にも車両や設備に損傷をあたえずに通過させるための割出し可能な鎖錠機構を備えることが必要となる。一方で、分岐器対向からの車両進入に対しては、接着側のトングレールを動作かんで保持する鎖錠機能が必要である。また、車両の進入を転換制御のトリガとする場合、制御を受けた後から分岐器の転換が完了するまでの転換時間は短時間である方が、トリガの設置位置の制約が少ないため望ましい。

必要機能を満たす電気転てつ機は既に実用化されているが<sup>3)</sup> 転換時間はNS形電気転てつ機と同等である。そ

特集：信号通信技術

ここで、踏込転換用として理想的な性能をもつ転てつ機として、転換時間の短縮と高い転換力を両立する電空式の割出し可能転てつ機の試作を行った。

3.2 割出し可能転てつ機の試作

試作した電空式の割出し可能転てつ機を図5に示す。動作かんと鎖錠かんに左右それぞれのトングレール専用として2本備える構造とした。鎖錠機構は、接着側はロックピースにより動作かんに保持し、鎖錠かんに挿入するNS形と同等のものを用いている。開口側の鎖錠機構は、割出し時に鎖錠機構を解錠する機能を持たせ、これにより非常時の割り出しを許容する構造とした(図6)。

転換機構は、2個のエアシリンダにより動作かんにそれぞれ動作させる直動型の機構を用いている。エアシリンダへの供給空気は外部より供給し、転てつ機内部の電磁弁により電氣的に制御される。加えて、保守作業用の手回し転換機構を備えた。これは1個のハンドルの回転で2本の動作かんに動作させる機構とし、取り扱い上は一般的な電気転てつ機と同等とした。



図5 割出し可能転てつ機(試作機)

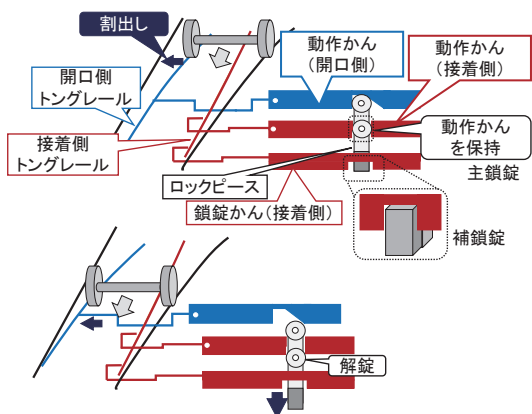


図6 割出しを許容する鎖錠機構の概念図

4. 機能確認

4.1 実車による機能確認試験

踏込転換、および割出し可能転てつ機の基本機能の確認を行うため、鉄道総研所内試験線にて実車による機能確認試験を実施した。試験項目は以下の2項目である。

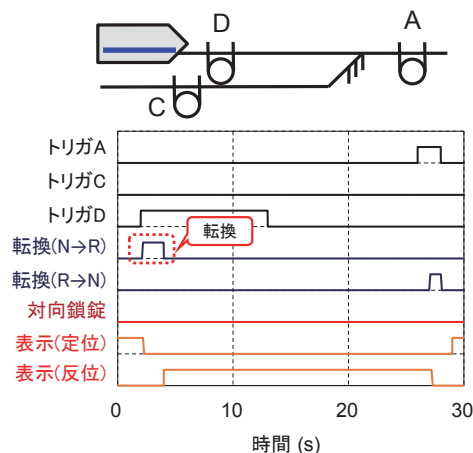
- ① 踏込転換試験
- ② 割出し転換試験

踏込転換試験では、分岐器背向から進入したときに反位へ動力転換すること、分岐器対向へ進入したときに定位へ動力転換すること、および分岐器対向から進入したときに定位を保持することの3点を確認した。分岐器の前後に設置されている既設の踏切制御子を列車検知のトリガとして用いた。

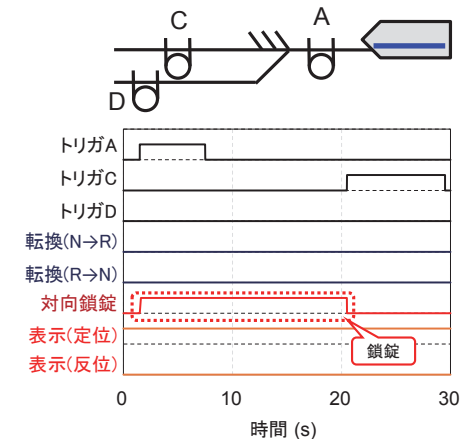
割出し転換試験では、上記踏込転換が正常動作しない場合を想定し、分岐器の開通方向と異なる方向から列車を背向から割出しさせ、転てつ機の割出しを許容する機能と、車両が通過できることを確認した。

両試験ともに、車両を時速5km/hより45km/hまで5km/h刻みで速度向上し、踏込転換は全14回、割出し転換は全16回実施した。その結果、全ての試番において、踏込転換制御装置、割出し可能転てつ機はともに所定の動作を行うことを確認した。図7に、踏込転換試験時の制御装置の各リレーの動作例を示す。

割出し時の各部応力等については、動作かん軸力が、瞬間的にスイッチアジャスタの仕様上定められる引張方向圧縮方向の力9.8kNを超過した。耐久性向上の観点からは軸力は低いことが望ましいが、発条転てつ機のような常時割出し転換を行う用途ではなく、踏込転換の機



(a) 分岐器背向からの走行



(b) 分岐器対向からの走行

図7 踏込転換試験

能喪失時の担保としての機能であるため機能上の問題は無いと考える。また、各部の最大応力については、各部材の疲れ限度（240MPa）と比較して十分小さい値であることを確認した。割出し転換試験の結果を表4に、割出し転換時の状況を図8に示す。

表4 割出し転換試験結果

|           | 動作かん    |     | オフセット      |       | 肘金首部     |       |
|-----------|---------|-----|------------|-------|----------|-------|
|           | 軸力 (kN) |     | 下部応力 (MPa) |       | 応力 (MPa) |       |
|           | 定位      | 反位  | 定位         | 反位    | 定位       | 反位    |
| 最大値       | 10.2    | 6.2 | -104.6     | -46.6 | 110.8    | -46.6 |
| 速度 (km/h) | 15      | 40  | 15         | 40    | 5        | 45    |

※応力の負の値は圧縮方向を示す



図8 割出し転換試験の状況

#### 4.2 耐久動作試験

踏込転換制御装置、および割出し可能転てつ機の連続動作に対する影響を確認するため、耐久動作試験を実施した。転てつ機は無負荷状態で動作させ、試験装置に列車走行を模擬する信号を入力して、制御装置と転てつ機の動作を行った。試験条件を表5に示す。累計11.4万回の動作を行った結果、制御装置の動作は正常に行われることを確認した。ねじ固定としている箇所の緩み防止など、細部の見直しが必要な項目はあるが、割出し可能転てつ機の基本となる、転換や照査、鎖錠機構は正常に動作することを確認した。

表5 耐久動作試験の試験条件

|          |         |
|----------|---------|
| 動作頻度     | 2回/分    |
| 動作かん負荷   | 無負荷     |
| 試験日数(延べ) | 101日    |
| 動作回数     | 114253回 |

#### 4.3 定常負荷試験

転換負荷の転換時間への影響を確認するため、動作かんのうち片側に0kNから0.98kNまで0.098kN毎に増加する定常負荷を与え、このときの転換時間の測定を行った。結果を図9に示す。閑散線区で用いられる分岐器の転換負荷は多くとも1kN（両トングレールの合計）程度であるが、その2倍となる片トングレールあたり約1kNの負荷においても、転換時間は2.1秒と、無負荷時と比較した転換時間の増分は約0.7秒であることを確認した。

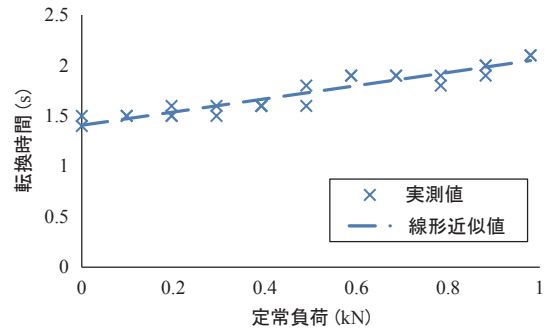


図9 定常負荷試験結果

#### 4.4 耐環境試験

割出し可能転てつ機の動力源として用いた圧縮空気は、過去には高速転換や耐水性を必要とする箇所で使用されていたが、国内では現在ほぼ全てが電気転てつ機に置き換えられている。これは、電気転てつ機の機能向上や排水設備の改良が主な理由であるが、圧縮空気を用いる機器の保守性に課題があったことも一因と考えられている。今回、圧縮空気を転てつ機の動力源として適用するにあたり、課題とされた保守上の課題抽出を行うため、鉄道沿線に空圧機器を設置して、長期の耐環境試験を実施した。

試験は、図10に示す動作試験装置を分岐器上に設置して実施した。この装置は、発条転てつ機の復帰不能の発生時にシリンダを動作させて復帰動作の補助を行う機能を持つ。試験は計225日実施したが、のべ162日間は発条転てつ機の復帰不能を検知した場合にシリンダを動作させる制御とし、残り63日は分岐器対向から列車が接近する条件を連動装置から受けた時にシリンダを1往復動作させる制御とした。試験期間を通じて、シリンダ空気圧、空気流量、コンプレッサタンクのドレン量、コンプレッサの動作電流、およびコンプレッサを収容する器具箱の温度、湿度を測定した。試験条件を表6に示す。

その結果、試験期間を通じて、空気圧および空気流量に大きな変化はないことを確認した。復帰不能を検知してシリンダを動作する期間（162日間）に復帰不能は発

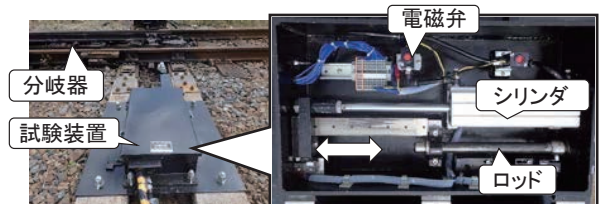


図10 動作試験装置

表6 試験条件（耐環境試験）

|             |         |           |
|-------------|---------|-----------|
| タンク圧力（絶対圧）  | (MPa)   | 0.75～0.95 |
| シリンダ圧力（絶対圧） | (MPa)   | 0.5       |
| シリンダ体積      | (L)     | 0.7       |
| 動作頻度        | (回/日)   | 35        |
| 漏気量（推定値）    | (L/min) | 3.3       |

特集：信号通信技術

生しなかったため、この期間にシリンダは動作しなかったが、装置各部からの漏気により、コンプレッサが定期的に稼働した。そのため、試験期間を通じてコンプレッサのタンク内に空気の圧縮に伴って生じる水分（ドレン）が貯留することが確認された。タンクからドレンを抜き取った際に計量した結果を表7に示す。

ドレンの管理は転てつ機の動力源として圧縮空気を扱う上で保全上の課題となり得る。稼働実績および理論値から、ドレン量は設置する地域の温度および湿度や稼働実績に依存すると考えられる。ドレンの抜き取り周期  $T_m$  (日)、タンク容量  $V_t$  (L)、漏気量  $Q$  (L/min)、シリンダ容量  $V_s$  (L) および動作周期  $N$  の関係は式(1)、式(2)で示される<sup>4)</sup>。なお、 $P_t$  はタンク圧力、 $P_s$  はシリンダ圧力、 $P_0$  は大気圧を示す。また、 $T_1$  は吸込空気温度、 $h$  は湿度を示し、 $\kappa$  はポリトロップ係数（動作実績より 1.015 と仮定）、 $a(T)$  は温度  $T$  (°C) の飽和水蒸気量を示す。

$$T_m(1440P_0Q + NV_sP_s)f(T_1) \leq V_t - V_sP_s/(P_t - P_s) \quad (1)$$

$$f(T_1) = \left\{ a(T_1)(P_t/P_0)^{1/\kappa} h - a\left((P_t/P_0)^{(\kappa-1)/\kappa}\right) \right\} / P_t \quad (2)$$

式(1)および式(2)より、開発した割出し可能転てつ機（シリンダ容積 1.22 (L) 2本）をタンク容積 20 (L) のコンプレッサを用いて、表6に示す圧力、動作頻度で動作させた場合の漏気量とドレン量を試算した。空気温度 30 (°C)、湿度 70 (%) 一定と仮定した場合の試算結果を表8に示す。

試算により、提案する割出し可能転てつ機について、理論値ではあるが、漏気量を動作試験装置の稼働実績と同程度の 4.1 (L/min) 以下になるよう管理を行った場合に、半年以上の期間はドレンの抜き取りを行わずに装置を稼働できる結果が得られた。以上、耐久試験および机上検討の結果より、転てつ機の動力源として空圧機器を用いた場合に課題となる漏気とドレンの管理は、現状

表7 動作試験装置のタンク内ドレン貯留実績

| 期間          | ドレン量 (mL) | 日数 | 1日あたりドレン量 (mL/day) | 器具箱内平均温度 (°C) | 器具箱内平均湿度 (%) |
|-------------|-----------|----|--------------------|---------------|--------------|
| 3.2 ~ 4.6   | 665       | 35 | 19.0               | 14.7          | 55.2         |
| 4.6 ~ 5.13  | 1010      | 37 | 27.3               | 20.9          | 55.8         |
| 5.13 ~ 5.25 | 275       | 12 | 22.9               | 25            | 51.1         |
| 5.26 ~ 6.10 | 762       | 15 | 50.8               | 25.1          | 58.7         |
| 6.10 ~ 7.4  | 1355      | 24 | 56.5               | 29.6          | 60.8         |
| 7.4 ~ 7.21  | 1050      | 17 | 61.8               | 33            | 53.6         |
| 7.21 ~ 8.4  | 795       | 14 | 56.8               | 33.2          | 58.1         |
| 8.4 ~ 9.6   | 2045      | 33 | 62.0               | 32.2          | 56.8         |
| 9.6 ~ 10.3  | 1635      | 27 | 60.6               | 28.8          | 68.5         |

表8 ドレン抜き取り周期と漏気量の関係（試算）

| 漏気量 $Q$ (L/min)     | 26.2 | 8.5 | 4.1 | 2.6 | 1.9 |
|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| ドレン抜き取り周期 $T_m$ (日) | 30   | 90  | 180 | 270 | 360 |

の電気転てつ機と同じ検査周期を踏襲することが可能であると考えられる。

4.5 評価と今後の課題

今回開発した割出し可能転てつ機に対し、転換や割出しといった基本機能を確認し、基本的な耐久性を満たす見込みが得られた。また、転てつ機の動力としての空圧機器の利用やその保守に関する課題の整理が行われた。今後は、必要により、状態監視技術等の適用による空圧機器の保守の軽減等について検討を行う。

踏込転換制御装置に関しては、信号用リレーによる機器の構成およびその機能確認を実施し、良好な結果を得ることができた。耐久性について今後更に検証を進めるとともに、必要により適用箇所の設備実態にあわせた結線や機能の適用性の検証や実証を進めていきたいと考えている。また、既に実用化されている割出し可能な電気転てつ機と組み合わせたシステムの提案を行いたいと考えている。

5. おわりに

発条転てつ機の使用環境の変化に伴う、転換力不足に対するアプローチの一つとして、踏込転換システムと割出し可能転てつ機を適用する手法の提案、試作、検証を実施した。その結果、実車走行を含む基本機能と耐久性を確認し、概ね良好な結果が得られた。割出し可能転てつ機と踏込転換機能を用いた転換システムの適用により、閑散線区における転換不能の解消に寄与したいと願う。なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

謝辞

耐環境試験の実施にあたっては、西日本旅客鉄道株式会社の関係各位の協力を頂いた。この場を以て感謝申し上げます。

文献

- 1) 紫尾豪氏、宮下優、五十嵐義信：高速用・発条用転てつ減摩器の開発、第22回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、2015
- 2) 潮見俊輔、五十嵐義信、押味良和、原智昭：発条転てつ機用モニタリング装置の開発、鉄道総研報告、Vol.28, No.4, pp.11-16, 2014
- 3) 櫻井育雄：割出し可能な電気転てつ機の開発、鉄道総研報告、Vol.9, No.11, pp.31-35, 1995
- 4) 潮見俊輔、押味良和、沼田紘司：圧縮空気をを用いた転てつ装置の保守周期に関する検討、第23回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、pp.481-484, 2016