

次世代分岐器対応 新型電気転てつ機の開発



小幡 信夫*



森 健司**



市倉 庸宏*

ES形電気転てつ機（通称:次世代転てつ機）は、軽量化および調整箇所削減などによる作業性の向上を実現し、2002年以降約260台展開している。この間ハード・ソフト両面における各種改良を行ってきたが、耐雷性能、耐水性能などに課題があるほか使用環境条件に制約がある。そこで次世代分岐器の更なる展開に際し、安全・安定稼働の確保、設置・保守管理の簡素化、使用環境の広域化などのコンセプトを設定し次世代分岐器に対応する新型電気転てつ機（ESⅡ形）を開発した。

本稿では、ESⅡ形電気転てつ機、転てつ付属装置、モニタ装置の概要を述べると共に、各種性能評価試験によって要求仕様を満たしていることを確認したので、その結果について述べる。

●キーワード：次世代転てつ機、雷害対策

1. はじめに

1.1 ES形電気転てつ機

ES形電気転てつ機（以下『ES形』、図1）は、2000形分岐器（通称:次世代分岐器）用の電気転てつ機として2002年より導入され、

- (1) マクラギ上にロッド類を集約し、分岐器におけるスイッチマルタイによる突き止め作業の機械化を実現
 - (2) 徹底的な小形・軽量化（約99kgとNS形の1/3以下）
 - (3) LED表示・確認ゲージの採用による密着・ロック調整作業の改善（図2）
 - (4) 故障出力や転換力等データの遠隔監視（モニタ機能）の標準装備
- などにより、施工性・作業性の向上を実現した。



図1 ES形電気転てつ機



図2 LED表示・確認ゲージによるロック調整支援

1.2 ES形の課題

ES形はハード・ソフト両面における各種改良を行いながら約260台展開してきたが、以下のとおり性能上の課題や使用条件の制約がある。

(1) 性能上の課題

雷害対策として耐雷トランスの追加施工を実施し、耐雷性能を約9kVに高めている。しかしさらに30kVまで向上することにより雷害を受ける確率を1/10以下に低減できるという知見があり¹⁾、首都圏の安定輸送を考慮すると、耐雷性能は30kV確保することが望ましい。

また、耐水仕様ではないため、一時的な水没にも耐えられる性能が望ましい。

(2) 使用環境条件の制約

内方分岐器・外方分岐器（カント区間上にある分岐器）、寒冷地（-10℃以下）、交流電化区間には使用できない。

2000形分岐器は今後もさらに展開が見込まれるため、1.1項で述べたES形の特長を継承しつつ課題や制約の解消を目的として、新型電気転てつ機（以下『ESⅡ形』）を開発した。

2. ESⅡ形電気転てつ機

2.1 仕様と特長

ES形の特長を継承しつつ、ES形で明らかになった課題や制限の解消を目的として、ESⅡ形の仕様・構造を検討した。以下にESⅡ形の新しいコンセプトを記載すると共に、そのコンセプトを満たすためにESⅡ形で実現した主な仕様を示す。また、外観を図3に示す。



図3 ES II形の外観

2.1.1 安全・安定稼働の確保

(a) 耐雷性能の向上

耐雷トランス、保安器（劣化表示付）を内蔵した。また、等電位バーによりレール接地を行い、雷サージをレールへ逃がすこととした（図4）。これにより、耐雷性能はES形の約9kV（耐雷トランス施工時）に対し、30kVに向上した。

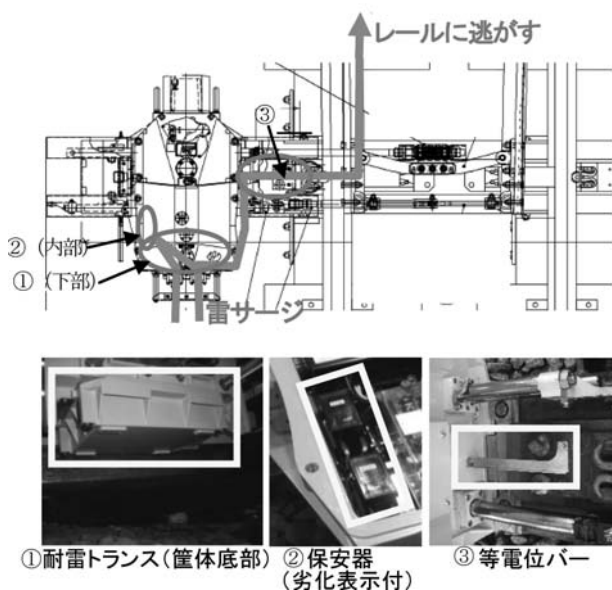


図4 雷害対策

(b) 耐水性能の向上

密閉構造によって耐水性能を向上し、水に対する保護等級について、ES形のIPX4（水の飛沫に対して保護）に対し、IPX7（一時的に水中に沈めても影響がない）を確保した。水中試験中のES II形を図5に示す。



図5 水没試験中のES II

(c) 故障しにくい転換機構・密着機構

転換機構・密着機構には、実績ある歯車機構を採用した（図6）。

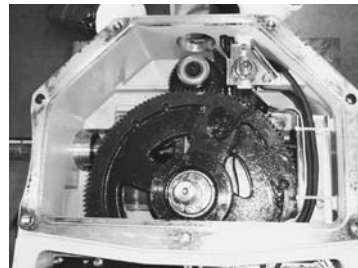


図6 歯車機構

(d) 制御部故障時での開通方向表示出力

転てつ制御リレー、回路制御器の採用により、故障時でもポイントの開通方向を連動装置に出力することができ、列車運行を継続可能性を高めた（図7）。



図7 転てつ制御リレー（右）回路制御器（左）

(e) 錯誤転換、錯誤表示をしない

転換時以外は電気転てつ機のモータへの電源供給を遮断する「モータ電源しゃ断回路」を内蔵した。

(f) 分岐器の変位に対する許容量確保

軌道変位（左右のレールの高低差、トンゲレール先端の食い違い）に対して余裕を持った最大転換トルク（約4kN）を確保した。

2.1.2 設置・保守管理の簡素化

(a) 左右共用化

電気転てつ機が分岐器に対して左右どちらにでも据付けできる構造（左右共用）とした。NS形など従来の電気転てつ機では据付位置の左右の変更に対し、主・副鎖錠かんの組み替えを行う必要があったほか、ES形では構造上現場での組み換えが行わず右付用と左付用の2種類とした。それに対しES II形では鎖錠かんの左右にあらかじめ継手金具を備えることにより、主・副鎖錠かんを組み替えることなく設置することが可能となった。継手金具は、左右どちらでも接続かんを接続可能とするため、左右で異なった形状とした。（図8）これにより、予備品の削減を実現した。

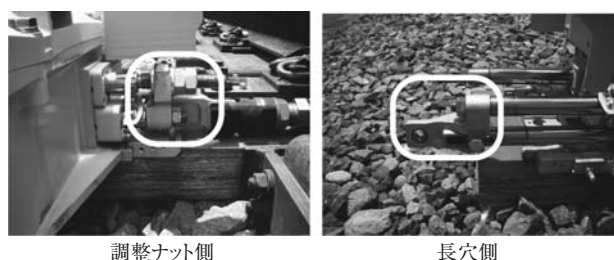


図8 鎖錠かん継手金具

(b) 施工不良の防止

転てつ機内部における配線作業を不要とするために、配線変更はジャンパの挿し替えで行うこととした。また、挿し間違い防止のため色や形状を分けて区別しやすくした(図9)。また、転てつ機外部(信号機器室および器具箱)では、据付位置や定位開通方向によらずすべて同じピンアサインとした。

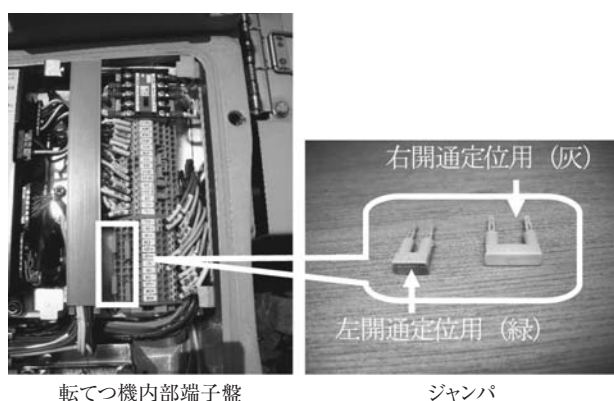


図9 ジャンパ

(c) 操作性の向上

保全検査などで使用する電動転換用押しボタン、手回しハンドルは転てつ機筐体上部から操作する構造とし、操作性を向上した(図10)。



図10 手回しハンドル、押しボタン

(d) 分かりやすいモニタ表示

ES形の特長である分かり易いモニタ表示は、その特長を継承し、ES形と共用可能とした。

2.1.3 長寿命化・エコ設計

(a) 現場での部品交換可

ES形は密閉式のため、故障時は不具合箇所にかかわらず転てつ機全体を交換していた。

これに対しESIIでは密閉式の耐水形ながら転てつ機蓋カバーを開閉可能とし、転てつ機内部の部品を部分的に交換可能とすることで、障害発生時のダウンタイム短縮、保全などのコストダウンを実現した。現地で交換可能な内部部品を図11に示す。

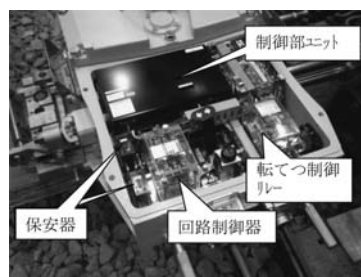


図11 交換可能な内部部品

各駅の信号機器室に設置されたモニタ装置の故障情報により、不具合のある部品を特定し、当該部品の交換のみで復旧させることが可能となった。

(b) メーカーでのオーバーホールを実施

オーバーホールを行うことで耐用寿命の延伸を可能とした。

2.1.4 使用環境の広域化

(a) 内方分岐器・外方分岐器(カント区間上の分岐器)に対応した(最大カント70mm)。図12にカント70mmにおける転換試験の様子を示す。

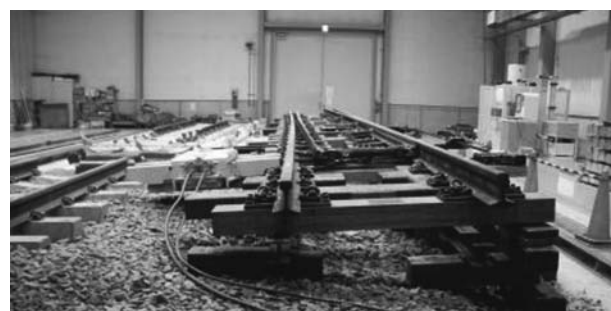


図12 カント70mmでの連続転換試験

(b) 使用温度-20~+60℃とし、ヒータの追加設置を行うことなく寒冷地でも使用可能とした。

(c) 標準の転換時間5秒に加え、3.5秒転換タイプを用意し、列車タイヤにより高速転換が必要な箇所にも対応した。

(d) 交流電化区間に使用可能

等電位バーによりレールと電氣的に接続することで、誘導による影響を抑制した。

一般的なNS形、2000形分岐器用ES形、そして今回開発したESⅡ形の比較を表1に示す。ESⅡ形では2000形分岐器対応、サーボモータ採用、モニタ機能の充実などES形の長所を踏襲しつつ、耐雷性能や耐水性能、使用環境の広域化などの改良を行った。

表1 各種電気転てつ機の比較

	NS形	ES形	ESⅡ形
2000形分岐器対応	不可	可	可
モータ及び転換力伝達	電動機＋マグネットクラッチ	サーボモータ（クラッチレス）	サーボモータ（クラッチレス）
電源	AC105V ± 20%	AC200V ± 10%	AC105V ± 20%
カント、寒冷地、交流区間	可	不可	可
モニタ機能	追加可能	標準	標準
耐雷性能	30kV	約 9kV	30kV
防水特性	JIS E 3017 2種（散水）	JIS C 0920 （IPX4散水）	JIS C 0920（IPX7 耐水）

2.2 性能評価試験

前述した仕様・構造が要求仕様を満足することを確認するため、性能評価試験を実施した。以下に主な試験内容および結果を示す。

2.2.1 温度サイクル試験【JIS E 3020 6 種】

-30℃と+60℃に保った恒温槽に交互に3時間以上放置し、これを5 サイクル繰り返した。電動転換を行い、正常に転換動作しかつモニタ上にサーボモータ故障などが発生しないことを確認した。試験後に気密試験を実施し気密漏れがないこと、及び外観・内部に異常ないことを確認した。

2.2.2 低温・高温試験【JIS E 3019 5 種】

規定温度はJIS 規格（-20℃～+60℃）よりも厳しく-20℃～+70℃とし、放置時間もJIS 規格2 時間に対し、供試体機内温度が完全に収束するまで（低温時約10時間、高温時約30時間）放置し、正常動作を確認した（図13）。

さらに、-20℃で、押しボタンスイッチを繰り返し扱い、正常に動作することを確認した（図14）。



図13 低温・高温試験



図14 低温中の押ボタン試験

2.2.3 振動試験【JIS E 3014 3 種 B】

衝撃試験【JIS E 3015 4 種】

振動試験・衝撃試験の試験条件を表2に示す。

表2 振動試験・衝撃試験の試験条件

試験項目	加振方向	試験条件
共振、振動機能試験	X、Y、Z 軸	10 ～ 38Hz 複振幅 2.5mm 38 ～ 1000Hz 加速度複振幅 15G (往復加振時間 16 分)
振動耐久試験	X、Y、Z 軸	100Hz 加速度複振幅 21G (加振時間 1 時間)
衝撃試験	X、Y、Z 軸	4 種 C 種 (衝撃の大きさ 30G、回数 5×10^4 回)

加振中はモータ電源、表示電源を通電し、開通方向表示の瞬断、モニタ上に故障情報が表示されないことを確認した。

各方向の加振後に、正常に電動転換ができることを確認した。

振動試験中一部部品の破損やモニタ伝送エラーなどが発生したが、対策を行った上で再試験を実施し、異常がないことを確認した（図15）。



図15 振動・衝撃試験（Z軸）

2.2.4 耐雷試験

(1) 耐圧目標値確認

電子機器であるモータドライバの耐圧が10kVであることを確認し、雷サージ印加時における電源線、条件線の電圧の目標値を10kVに設定した。

(2) 条件ケーブルの対策の比較

DC3.5kV保安器、DC5.5kV保安器、エアギャップ1.0mmで比較した。DC5.5kV保安器、エアギャップ1.0mmは、条件線電圧が10kVを超過するため、DC3.5kV保安器を採用することとした。DC3.5kV保安器の仕様上の絶縁耐圧は、±20%を考慮しても $DC3.5/\sqrt{2} \times 0.8 \div AC2.0kV$ であり、目標値であるAC1.5kV以上を確保することができた。

(3) 保安器特性確認

DC3.5kV耐圧で劣化表示付の保安器を開発し、保安器実装時の特性を確認した。最大30kVまで印加を行い、条件線の電圧が10kVを超えないことを確認した。

(4) 一括印加試験

稼働状態にてケーブル全回線に一括して雷サージを印加する試験を行い、30kV印加で問題がないことを確認した。

(5) 誘導雷サージ試験

稼働状態にてケーブルに誘導雷を印加する試験を行い、30kV印加で問題がないことを確認した。その後限界試験を実施し、50kVで問題ないことを確認した。

試験の様子を図16に示す。

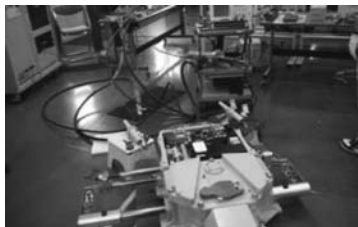


図16 耐雷試験

2.2.5 連続転換試験【JIS E 3001】

カント70mmに設定した次世代高番数分岐器（60kレール16番）にESII形を設置し、転換時間3.5秒設定、5秒設定それぞれにおいて連続転換試験を実施した。手試験回数についてJISの規定では耐用寿命によらず22万回であるが、本試験ではESII形が40万回転換でオーバーホールを行う仕様であることから、その1.5倍の60万回以上実施し、転換試験中に異常のないことを確認した。また、試験後分解調査を行い、各部に異常がないことを確認した。（図17）

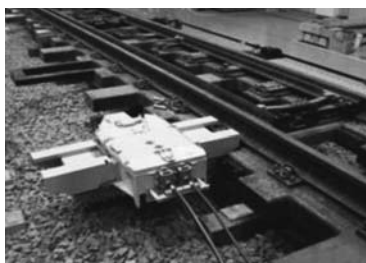


図17 連続転換試験

2.2.6 EMC 試験【IEC62236-4-2,3,4,8,9】

IECに基づき、放射RF電磁界、電力周波数磁界、パルス磁界、静電気放電、電圧ディップ・瞬停、ファーストランジェントバースト、伝導性電磁界、レール伝導性電磁界、インパルス、レールインパルスを転てつ機に印加し、影響がないことを確認した（図18）。さらに、実使用を考慮し、保守作業時に使用する無線機を使用した電磁界試験を実施し影響がないことを確認した。



図18 EMC試験

2.2.7 水没試験【JIS E 3017 D a） 【JIS C 0920（IPX7）】

JISに基づき、転てつ機を最下部が1mより深い位置になるように水槽内に設置し、30分間放置して浸水などがないことを確認した。さらにJIS以上の試験として、水中で電動転換10,000回および手回し転換の実施、さらに泥水中で3,000回電動転換し正常動作および内部に浸水などがないことを確認した。（図19）



図19 水没試験

2.2.8 いじわる試験

機構部への異物混入試験、動作中のハンマリング試験、動作中の断線試験、ハンドルスイッチ耐久試験、上限/下限電圧試験、過電圧入力試験などを実施し、動作に異常がないことを確認した。

3. 転てつ付属装置(フロントロッド)の改良

レールには列車の在線の有無を検知するための軌道回路の信号電流が流れており、左右のレールを短絡すると軌道回路が在線を検知する仕組みになっている。図20にES形、ESII形それぞれの電氣的つながりを色分けして示す。

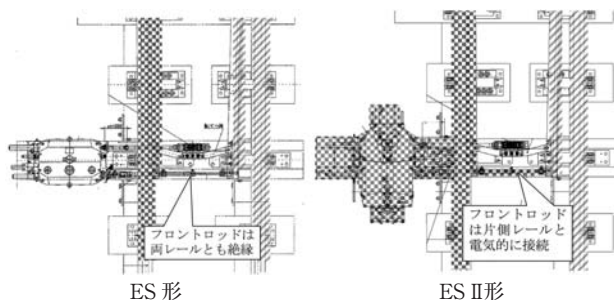


図20 電気転てつ機とレールとの電氣的接続

ESII形では雷害対策により雷サージをレールに逃がすため片側レールと電氣的に接続したため、電気転てつ機およびフロントロッドが片側レールと同電位となる。フロントロッドの肘金部は絶縁されており、これはNS形など従来の電気転てつ機も同様で通常状態では問題ではないが、万一鉄片などの異物の介在により、転てつ機と遠い側のレールとフロントロッドが接触すると軌道回路が不正に在線検知するため、フロントロッドの肘金部の絶縁を、ES形に比べ強化する改良を行った。改良したフロントロッドの絶縁部の写真を図21に示す。



図21 ES形用フロントロッドの絶縁部と、ESII用に改良したフロントロッド絶縁部（右）

なお、改良したフロントロッドはES形でも使用可能であり、誤使用防止のため今後はES形、ESII形ともこの改良形フロントロッドを使用するよう仕様の統一を行った。

4 モニタ装置

転てつ機の転換データの集積、故障判定および出力を行うモニタ装置はES形では標準装備となり、障害発生時の原因調査や保全作業などに大きく貢献している。ESII形ではその特長を引き継ぎ、さらに改良を行った。具体的には機器構成はES形と同じ（モニタ中継器、モニタ処理部、モニタ表示部）とし、ES形、ESII形の混在に対応できる装置を開発した。各機器の写真を図22に示す。



モニタ中継器



モニタ表示部



モニタ処理部

図22 ESII用モニタ装置各機器

特徴は、下記のとおりである。

- (1) ハードウェア（モニタ中継器、モニタ表示部、モニタ処理部）はES形用モニタ装置と同一
- (2) ソフトウェアの基本機能（転てつ機の転換データの集積、故障出力および定常状態監視システムとの伝送機能）もES形用モニタ装置と同一で、ES形、ESII形を混在した監視が可能
- (3) 追加機能として、ポイントが転換しなくても転換制御信号を受けていれば転換データを記録する機能を追加（混在して監視を行うES形でも記録）これにより、転換不能障害発生時に転換データを残す機会が増え、原因究明に寄与することが期待できる。

転換データの画面例を図24に示す。

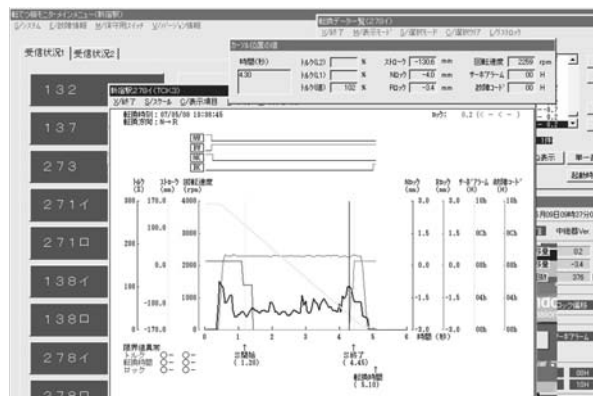


図24 転換データの画面例

5. 今後の予定

ESII形電気転てつ機は、2010年7月に川崎貨物駅で第1号機が使用を開始した。同駅を含め、第1次試行として、計5ヶ所へ導入する予定である。第1次試行では検証期間を設け稼働状況を確認し、その結果に基づき第2次試行の判断を行う予定である。さらにその後の稼働状況により、順次導入を進めていく予定である。

今後、本開発品をベースにネットワーク信号制御システムへの対応可能な次世代分岐器対応電気転てつ機の開発を行うほか、モニタデータを元にした規定値管理について研究を行う予定である。

6. 参考文献

参考文献

- 1) 新井英樹, 菅原宏之, 佐藤和敏, 鉄道沿線の信号設備における雷過電圧発生頻度の推定, RTRI REPORT, Vol.20, No.10, pp.35~40, 2006.10.