

線路閉鎖手続き支援システム (保守用車進路構成機能付) の導入に向けた開発



北村 太郎* 石瀬 裕之* 佐々木 敦*

JR東日本では保守作業の安全性向上を図るため、線路閉鎖手続き及び保守用車使用におけるヒューマンエラーの防止、手続きの簡素化を目的とした「線路閉鎖手続き支援システム(保守用車進路構成機能付)」を2003年度までに開発した。このシステムを営業線区に導入するにあたり、安全性、信頼性を確保、向上するために、①保守用制御サーバにft(フォールトトレラント)サーバを採用、②保守作業計画ダイヤサーバ及びダイヤルアップルータを対象とした故障監視機能の拡充、③線路閉鎖でこのロック、停止現示でこ、進路でこの扱いを保守用制御サーバから行うためのCTC中央装置の改修及び確認試験、を2004年度に実施し、その有効性を確認した。これにより営業線区への導入が可能と判断し、2005年5月より篠ノ井線の松本～篠ノ井間で試行を開始した。

●キーワード：線路閉鎖 保守用車 進路構成 作業時間帯 モバイル

1 はじめに

線路内で保守作業を実施するときは、作業区間に列車が進入しないよう、線路閉鎖手続きを行う。また、保守用車を運転するときは、列車が進入しない手続きのほかに、保守用車の動きに合わせて進路構成が必要である。

これらの手続きは従来、線路閉鎖責任者とCTC指令員が電話連絡で行っているが、連絡ミス、勘違い、取扱いミスといったヒューマンエラーによって、作業区間への列車の進入や列車と保守用車の衝突といった重大事故につながる可能性があった。

JR東日本では2003年度までに、線路閉鎖手続きのシステム化による安全性の向上を目指して、「線路閉鎖手続き支援システム(保守用車進路構成機能付)」(以下、「本システム」)を開発した。2004年度はこのシステムの営業線区への導入に向けて、安全性・信頼性の確保・向上のための開発を行った。

2 線路閉鎖手続き支援システムの概要

2.1 線路閉鎖手続き支援システムの機能

本システムは、次の機能を持つ。

① 線路閉鎖手続き支援機能

輸送総合システムから取得したダイヤデータを保守区端末に表示し、列車間合いを視覚的に確認しながら作業計画を登録する。

② 運行状況把握機能

列車運転状況表示装置(TID)から取得した列車在線・遅延情報をモバイル端末に表示する。

③ 着手・終了通告機能

線路閉鎖の着手・終了通告をモバイル端末の操作により、CTC指令員に設置したダイヤ表示装置に表示させる。CTC指令員は線路閉鎖でこを扱って、着手・終了を承認する。

④ 保守用車進路構成機能

あらかじめ線路閉鎖を設定した区間(システム作業時間帯)において、保守係員がモバイル端末の操作によって、作業の着手・終了、保守用車進路の構成を行う。

2.2 システム構成

本システムの構成は、図1のとおりである。

システムは保守用制御サーバ、ダイヤ表示装置、保守作業計画ダイヤサーバ、保守区端末、モバイル端末から構成され、LAN、パケット通信網などで接続されている。

2.3 システム開発の前提条件

本システムは、次の各項目を前提条件として開発し、同時に安全性を確保した。

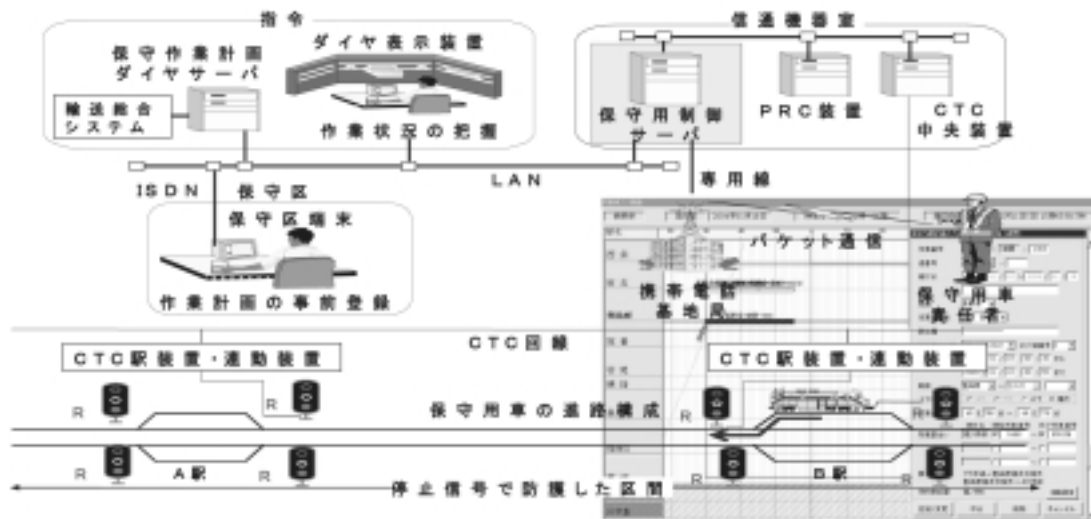


図1 線路閉鎖手続き支援システム（保守用車進路構成機能付）のシステム構成

- (1) 東京圏輸送管理システム(ATOS)区間以外のCTC線区を対象とする
- (2) 作業計画入力は配線図を表示して、保守用車の動きを視覚的に把握できるようにするとともに、進路の連続性チェックをシステム上でを行い、入力ミスを防ぐ
- (3) 保守用車進路構成機能を使用する場合は、一定の作業区間をあらかじめ停止信号で防護した「システム作業時間帯」を前提とし、この「システム作業時間帯」の取扱いは、CTC指令員が行う
- (4) 連動装置は変更せず、モバイル端末からCTC中央装置を介して、保守用車進路を構成する

2.4 保守用制御サーバの機能

今回新たに開発した保守用制御サーバは、CTC中央装置とのI/Fを行う装置で、主な機能は次のとおりである。

- (1) CTC中央装置の信号でこの状態を監視する
- (2) ダイヤ表示装置からシステム作業時間帯設定完了情報を受信し、「線閉てこ」反位と停止信号現示をチェックし、その結果をダイヤ表示装置に送信する
- (3) システム作業時間帯が設定されている区間の「線閉てこ」等をCTC指令操作卓及びPRC装置から制御できないようにロック制御する
- (4) モバイル端末からの進路制御情報を受信し、CTC中央装置に進路制御情報を送信する
- (5) CTC中央装置からの受信データの正当性をチェックし、進路構成完了情報をモバイル端末に送信する

3 保守用車進路構成機能の取扱い

3.1 「システム作業時間帯」施工日の指定

進路構成機能は、「システム作業時間帯」施工日に使用可能である。所定間合いに臨時列車が運転される場合や、連動装置をCTCから解放扱いにする保守作業簿による信号試験がある場合などは「システム作業時間帯」の取消日とする。また、保守用車作業や線路閉鎖作業などが物理的に競合する場合もあり、前月に作業調整会議を開催して、「システム作業時間帯」の施工日と取消日を決定している。

3.2 作業計画の入力

作業計画は、技術センター、パートナー会社に設置した保守区端末で入力する。保守区端末には、図2のように輸送総合システムから取得したダイヤと「システム作業時間帯」の区間、時間帯が四角形の枠で表示される。作業はこの



図2 システム作業時間帯の表示と作業登録画面

枠内にマウスでドラッグすることで区間と時間帯を指定し、作業番号、作業責任者名、連絡先など基本事項を入力した後、保守用車の進路を入力する。

保守用車進路の入力画面では、図3のように構内配線図が表示される。画面上で進路の発点を選択すると、そこから移動可能な着点候補が点滅し、その中から着点を選択する。次の進路は、この着点が新たな発点となり、保守用車の動きに従って順次入力する。

さらに、保守用車進路計画の不連続等の誤りを防止するため、システムによる進路の一筆書きチェックを行う機能を持っている。

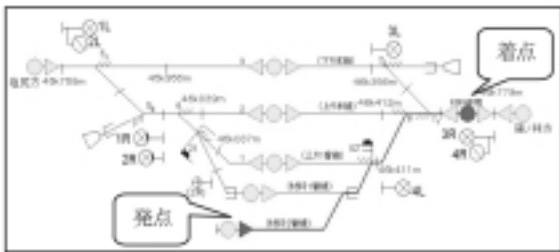


図3 保守用進路の計画入力画面

また、作業計画の登録時にシステム上で競合チェックがされ、競合作業がある場合には確認メッセージが表示される。競合作業の内容は同じ画面上で確認でき、作業責任者間で打合せを行ったうえで登録する。

3.3 システム作業時間帯設定時の取扱い

3.3.1 CTC指令員の取扱い

CTC指令員は、「システム作業時間帯」間合いになったことを確認し、CTC操作卓の「線路閉鎖てこ」を扱ってから、ダイヤ表示装置で「システム作業時間帯」の開始設定を行う。システムは区間内のすべての「線路閉鎖てこ」が扱われていることをチェックして、「システム作業時間帯」を開始する。

「システム作業時間帯」を開始してからは終了操作までの間、CTC指令員の取扱いはない。「システム作業時間帯」の施工中は、「線路閉鎖てこ」にはシステム上でロックをかけており、誤って「線路閉鎖てこ」を復位することを防止している。

CTC指令のダイヤ表示装置には、図4のように、「システム作業時間帯」に計画された作業が、「未着手(黄色)」「着手中(赤)」「終了済(緑)」の色別に表示される。「システム作

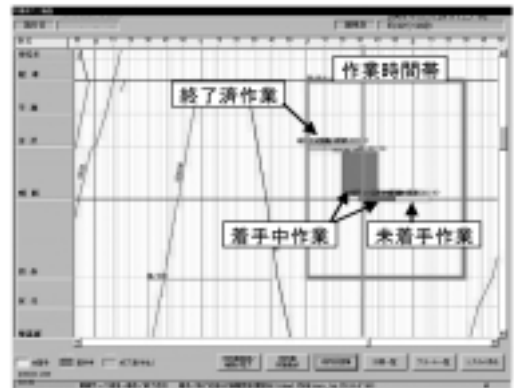


図4 ダイヤ表示装置の画面

業時間帯」の終了時には、CTC指令員はすべての作業が終了していることを確認して、「システム作業時間帯」の解除と「線路閉鎖てこ」の復位を行う。

3.3.2 作業責任者の取扱い

作業責任者は、図5のように、「システム作業時間帯」の開始時刻を確認した後、モバイル端末で作業着手と進路要求を行う。作業区間を選択すると、登録されている作業番号が表示され、この作業番号を選択することで、着手操作に移行できる。このとき、「システム作業時間帯」が開始になってない場合は、作業番号が表示されず、着手することはできない。

進路要求時はモバイル端末に図6のように、構内配線図



図5 作業区間の防護と着手申込手順



図6 尺取虫方式による保守用車進路構成

が表示される。進路は1進路ずつ設定し、設定後に前進路を解除するという尺取虫方式で進路を構成していく。

この画面では、進路要求、転換終了などの他、現場扱い転てつ機の転換や横取り装置の装着、収納タイミングも表示され、扱った後に確認入力をしないと、操作が先に進まないようになっており、戻し忘れを防止している。

保守用車が保守基地に収容され、すべての進路要求や横取り装置の収納が終ると、モバイル端末は作業終了画面となり、CTC指令のダイヤ表示装置の作業計画表示は、赤(着手中)から緑(終了済)に変化する。

3.4 線路閉鎖作業でのてこ扱い機能

線路閉鎖作業において、簡易トロの移動や分岐器の測定などで転てつ機を転換することがあり、従来は、転換の都度CTC指令に要請して転換していた。

本システムでは保守用車進路構成機能の応用として、線路閉鎖作業で転てつ機を転換する機能を持っている。「システム作業時間帯」施工中は、CTCからは転てつてこは扱えないため、保守用車進路と同様に信号てこにより進路を構成することで、転てつ機を転換する。

4 システムの安全性と信頼性

本システムは、CTC中央装置に接続して保守用車の進路を構成し、線路閉鎖てこのロック制御も行うため、導入にあたってはCTC中央装置の信頼性が低下しないよう、

- ① 保守用制御サーバの信頼性向上
- ② 故障監視機能の拡充
- ③ CTC中央装置との接続試験を実施した。

4.1 安全性の考え方と異常時の対応

本システムでは、作業の安全性を確保するとともに、システムの異常時にも列車運行に影響しないように構築した。

- (1) 作業間合いに入ったかどうかの判断はCTC指令員が行い、間合いに入ったことを確認した後、線路閉鎖てこを扱い、「システム作業時間帯」を開始する
- (2) 連動装置は変更しておらず、信号装置としてのフェイルセーフ性は従来どおり連動装置が担保する

- (3) 「システム作業時間帯」施工中は、線路閉鎖てこをロックしており、作業時間帯施工区間に誤って進行信号が現示されることを防ぐ
- (4) 2進路先までの競合チェックを行っており、競合発生時には、作業責任者どうしの打合せを促し、進路競合による保守用車進路の構成不能(デッドロック)を防ぐ
- (5) 現場扱いの転てつ機や横取り装置を使用する進路の場合は、扱いのタイミングをモバイル端末に表示するとともに、横取り装置については、作業終了後に収納されていない場合は、CTC指令に警報を出す
- (6) システムに異常が発生し、保守用車進路が解除できなくなった場合は、CTC中央装置とシステムを強制切離しして、保守用車進路を解除することができる

4.2 保守用制御サーバの信頼性向上

本システムの信頼性の要は、CTC中央装置との接続を可能とし、モバイル端末に表示する画面データを作成する「保守用制御サーバ」と呼ばれるサーバである。

「保守用制御サーバ」が故障した場合には、次のような事象が起これると考えられる。

- (1) システムによる保守作業が線区全体にわたり実行不可
- (2) 保守作業中に故障した場合には、保守用車進路が残ったままとなり、CTC中央装置から強制切離し操作が必要
- (3) 運行状況の把握、線閉手続き支援機能も実行不可
従って、実用化するにあたり「保守用制御サーバ」の高信頼性、すなわちハードウェア故障時においてもシステムを停止させることなく運用し、かつ早急に正常な状態に復旧することが要求される。

4.2.1 保守用制御サーバの信頼性向上方策

「保守用制御サーバ」の信頼性向上方策について、構成方式、コスト等を調査し、最適と考えられる方策について検討した結果、次の2つの方式に絞られた。

- ① PCサーバによる2重化(サーバクラスタシステム)
クラスタの語源の“房”という言葉から想像されるとおり、複数のサーバからなるサーバ群を1つのサーバのように扱うシステム
- ② フォールト・トレラントサーバ(ftサーバ)の採用
ftサーバとは、図7のようにサーバ内のハードウェアコンポーネントを2重化(または、多重化)し、1つのハード

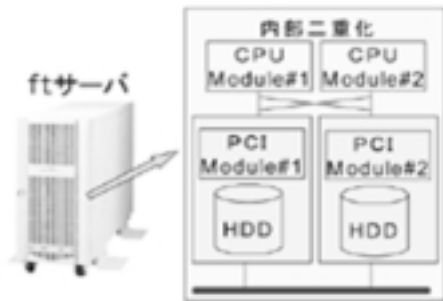


図7 ftサーバとその内部構成

ウェアコンポーネントに障害が発生した時に、別のハードウェアコンポーネントに切替えることにより、システムを停止させないシステム

この2つの方式を比較すると、信頼性については、双方とも同じレベルに向上することから、システム構築の難易度、コスト的に有利なftサーバの方を採用することとした。

4.2.2 ftサーバ採用時の機能確認試験結果

ftサーバの機能確認試験は、表1の項目で実施した。

表1 ftサーバの機能確認試験項目

試験実施項目
片系電源故障時に各種機能が正常動作
片系CPUモジュール故障時に各種機能が正常動作
片系PCIモジュール故障時に各種機能が正常動作
片系LAN故障時に各種機能が正常動作

機能確認試験の結果、電源、LAN、PCIモジュール、CPUが2重系になり、各種試験の結果、どの部分にハード故障が起きても、「保守用制御サーバ」の機能を停止することなく系切替が実施され、故障回復後には2重系に移行することが確認できた。

よって、ftサーバを採用することにより、「保守用制御サーバ」の信頼性に大きな影響を及ぼすハード故障によるシステム停止を防止でき、十分に信頼性の向上が図れると評価した。

4.3 故障監視範囲の拡充

本システムの故障監視機能については、図8のように、線路閉鎖手続き支援システムの故障監視機能に、進路構成に直接関係する機器に対する故障監視機能を加える形としていたが、故障監視の対象を指令室に設置される当該システムの装置全体とし、故障が発生した場合の故障箇所の特定を容易にするとともに、復旧時間を短縮するため、故

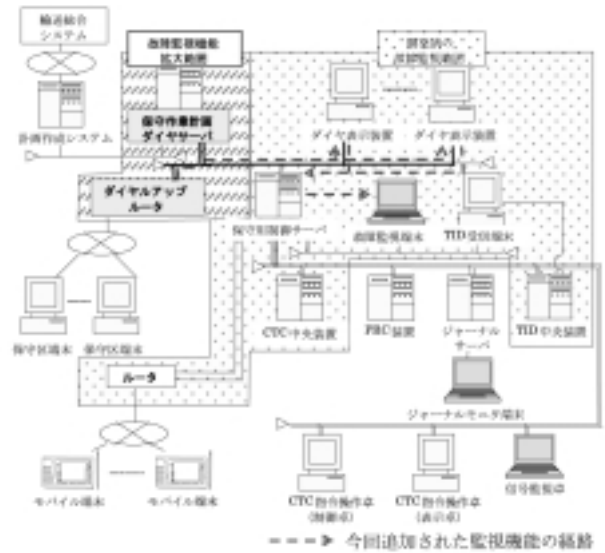


図8 故障監視機能の拡充

障監視機能を拡充することとした。

4.3.1 故障監視機能の拡充方法の検討

今回、拡充する部分は、ダイヤ表示装置～保守作業計画ダイヤサーバ、保守作業計画ダイヤサーバ～ダイヤルアップルータの2箇所である。この2箇所の故障を監視する方法について、次のような検討を行った。

ダイヤ表示装置から保守用制御サーバを経由して故障監視端末に表示する仕組みは既存の機能として存在している。そこで、保守作業計画ダイヤサーバ、ダイヤルアップルータの疎通確認情報をダイヤ表示装置で集約し、ダイヤ表示装置の故障情報と合わせて保守用制御サーバに送信し、故障監視端末に表示させることとした。

4.3.2 故障監視機能の拡充方法の決定

保守作業計画ダイヤサーバ及びダイヤルアップルータの疎通確認情報をダイヤ表示装置が取得する方法として、次の2つが考えられる。

- (1) 保守作業計画ダイヤサーバがダイヤルアップルータに対して疎通確認し、ダイヤ表示装置が保守作業計画ダイヤサーバからダイヤルアップルータの疎通確認情報を取得する(図9)
- (2) ダイヤ表示装置が保守作業計画ダイヤサーバ及びダ

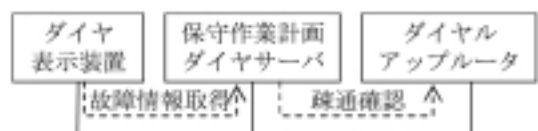


図9 故障監視機能の拡充方法(案1)

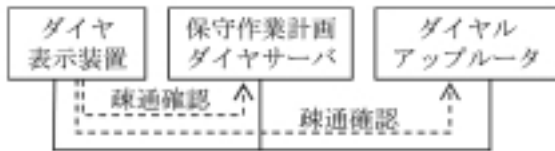


図10 故障監視機能の拡充方法(案2)

ダイヤルアップルータに疎通確認を実施する(図10)

この2つの方法について、現状のシステムとの適合性、保守性、改修コストなどを比較すると、案2の方が現状のシステムとの適合性がよく、経済的であるため、案2を採用した。

4.3.3 拡充した故障監視機能の現地検証試験結果

現地検証試験により、ダイヤ表示装置から、保守作業計画ダイヤサーバ、ダイヤルアップルータに対してネットワーク疎通を確認する機能について確認した。

この故障監視機能の拡充により、線区全体に影響を与える各装置の異常と、各装置間の回線の不具合発生を検知することが可能となり、故障の早期発見と原因の早期特定が可能となった。

よって、本システムを実用化し、たとえ予期せぬ障害が発生した場合であっても、早期に故障箇所を特定し、被害を最小限にすることができるので、本システムは実用に足る故障復帰機能を持っていると考えられる。

4.4 CTC中央装置の改修

本システムでは、保守係員の安全確保のため、列車運行のない「システム作業時間帯」設定区間に限り進路構成機能を認めている。そのため、CTC指令員が「線路閉鎖てこ」を扱った後の「システム作業時間帯」設定中は、「線路閉鎖てこ」にロック制御をかけることとした。この機能を実現するために、次のようにCTC中央装置を改修する必要がある。

4.4.1 CTC中央装置の改修内容

本システム使用区間を、必ず「停止信号」とし、本システムによる進路構成を可能とするため、CTC中央装置に次のような機能を付加する改修を行った。

- (1) 「保守用制御サーバ」との接続機能
- (2) 「作業時間帯」設定区間については、CTC指令員の誤扱いによっても「停止信号」を保持する機能

(3) 停止信号の状態での進路を構成する機能

また、保守用制御サーバの故障時を考慮して、保守用制御サーバの制御指令を強制的に切離しできる「強制切離し」機能を付加し、「切離し」状態の場合には、保守用制御サーバからの制御を全て無効とする機能も付加する改修も行った。

4.4.2 CTC中央装置改修に伴う現地確認試験結果

現地確認試験では改修後のCTC中央装置が現行接続されている運行管理システムに使用しても支障がないことも確認を行い、CTC手動進路制御をはじめとする制御機能および駅連動装置からの表示情報が正常であることが確認できた。試験項目は、表2のとおりである。

試験の結果、改修したCTC中央装置等については、切替えても問題がないことが確認された。

表2 CTC接続試験実施項目

試験実施項目
指令操作卓から「保守用制御サーバ」の切離し/接続が正常に実施できること
信号監視卓からCTC中央装置の系切替制御、迂回モード切替制御ができること
「作業時間帯」設定時、CTC操作卓から「停止現示てこ」「線路閉鎖てこ」を操作し、制御が無効となること
信号機の制御/表示、軌道回路の表示が正常であること
「作業時間帯」設定区間外及び「強制切離し」時にCTC機能が正常であること

5 保守用車進路構成機能の導入

5.1 システム作業時間帯区間及び設定時間

保守用車進路構成機能の開発及び実用化のための各種開発・試験は2004年度で終了した。すでに線路閉鎖手続き支援システムが導入されている長野支社の中央東線、篠ノ井線のうち、篠ノ井線の松本～篠ノ井間で2005年5月から進路構成機能の試行を開始した試行を開始するにあたり、長野支社の技術センターのエリアや列車間合い等を考慮して、システム作業時間帯の区間及び設定時間の標準を図11のように定めた。

5.2 導入時教育

本システムを試行開始するにあたり、2005年4月に長野支社の各技術センター、設備関係パートナー会社、輸送指



図11 システム作業時間帯の区間及び設定時間



図12 講習会で使用したシステム

令、設備指令への講習会を実施した。講習会は、図12のようにシステムの各端末のほか、CTC装置のシミュレーターを使用して行った。

5.3 導入効果

システムはこれまで順調に稼動しており、表3のように9月末までに、3区間で、のべ110回の「システム作業時間帯」を設定、約200件の保守作業を実施した。

表3 システム作業時間帯設定回数 (2005.5~9)

	システム作業時間帯 設定回数	線路閉鎖	保守用車 使用
作時間帯A	32	46	26
作時間帯B	30	29	7
作時間帯C	48	63	28
計	110	138	61

導入の効果として、実際に使用している関係者の意見では、主に次の効果が挙げられる。

- (1) 保守用車作業の計画作成ミスがなくなった
- (2) 保守用車進路計画の正当性チェックにより、作業計画

の確認が容易になった

- (3) CTC指令員の保守用車の進路構成がなくなった
- (4) 従来の「作業時間帯」では、施設指令員が保守作業の着手承認、終了確認を行っていたが、「システム作業時間帯」では不要となった
- (5) 保守用車進路は尺取虫方式で進路を構成していくため、誤った進路構成がなくなった
- (6) 着手・終了時の待ち時間が減少した
- (7) 保守作業件数制限がなくなった

6 おわりに

2002年から3年間にわたり、保守用車進路構成機能の開発及び実用化のための各種開発・試験に取り組み、2005年5月より、篠ノ井線の松本～篠ノ井間にて、試行を開始した。

今後試行から早期に本実施への移行を目指すとともに、他線区へ導入を拡大していくことにより、保守作業の安全性向上に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 川見 豊顕, 佐々木 敦, 田中 豊; 線路閉鎖手続き支援システムの開発, Technical Review, No3, pp.67-72, 2003, Spring
- 2) 川見 豊顕; 保守係員による保守用車進路構成システムの開発, JR EAST R&D REPORT, No22, pp.5-8, 2003, October