

運転士の応急処置支援のための電子チェックリストの開発

Development of the electronic checklists to support drivers' trouble shooting.



井山 和人*



廣瀬 哲也**



蔵谷 正人***



菅谷 誠****



武田 祐一*



佐藤 春雄**



楠神 健*****

To reduce downtime of train failures, we developed the train version of electronic checklists (ECL) displayed at a monitor on a driver's cab. In an experiment with a driving simulator, we confirmed that the implementation of the ECL resulted in improvement of safety level by reducing drivers' mishandling and punctuality by decreasing downtime in case of train failures. Then, we introduced the ECL to the experimental train (called "MUE-Train") and carried out various tests from its function to usability. The results showed that the ECL has no problem for practical use.

●キーワード：電子チェックリスト、ヒューマン・マシン・インタフェース

1. 研究背景と目的

運行中の列車における車両故障は大きな輸送障害につながる場合が多く、運転士には速やかな応急処置が求められる。しかし応急処置時には、運転士に時間的プレッシャーがかかり、また処置と並行して関係者への連絡を求められるなど、エラーが生じやすい状況にある。

そのために、原因判断を誤る、処置方法を誤るなどの理由により、処置に時間を要する事例が発生している。

航空分野では、1990年代にチェックリストをコックピットのモニター上に表示する「電子チェックリスト（以降ECLとする）」が開発され、機体に故障が発生した際にも使用されている。これは機体の機器情報とチェックリストを連携させることにより、
・故障時に原因に応じたチェックリストを自動提示する
・適切な機器操作を検知してチェックマークが付く

などの機能を備え、従来航空機で用いられていた紙のチェックリストに比べ安全性の向上と、故障処置の時間短縮が図られている。

鉄道分野においても、近年、車両制御技術が発展し、車両の各機器の状態を、車両制御システム（以降システムとする）が統括して把握することが可能となった。そこでECLが、鉄道においても車両故障時の応急処置に効果が期待できると考え、運転士のモニター画面上に表示する鉄道車両用ECLの開発を進めた。

本稿ではそのインタフェース（画面表示）の検討、ならびにシミュレータおよび試験車両での試験結果について報告する。

2. ECLのインタフェースの検討

2.1 鉄道車両用ECLによる支援の方向性

応急処置中に発生する運転士のエラーを、当社の事例から調査した結果、(1) 故障原因の特定の誤り、(2) 誤った記

憶による処置手順の誤り、(3) 誤操作などの機器操作の誤り、の3点に大別できることが分かった。これらを防止するため、以下の3点をECLの支援の方向性とした。

(1) 故障内容の分かりやすい提示

故障の際、運転士は運転台の各種表示灯の点灯・滅灯の状態などから故障内容を判断する。しかし表示の見落としや勘違いにより誤った判断を下す場合がある。そこでより故障内容を把握しやすくするため、ECL上に文字情報でも表示を行い、判断の誤りの防止を図った。

(2) 処置手順の閲覧方法の簡易化

誤った記憶に基づく処置を防ぐには、処置手順を確認しながらの処置が有効と考えられる。

当社では、運転士は応急処置マニュアルを携帯しており、また運転台のモニターにも処置マニュアルを搭載しているものの、故障発生時に使用されないケースが多い。その原因として、既存のマニュアル類は、時間的プレッシャーのかかる状況下において、適切な手順の参照に時間を要することが考えられる。

そこでモニター上に登録されている処置手順を、より簡易に呼び出せるようにすることで、応急処置時のマニュアルの利用率向上を図った。

(3) 処置状況の明確化（チェックリスト化）

処置マニュアルを使用した場合でも、無線の対応に気をとられて、機器操作を一つ忘れてしまうなどの事例が発生している。

そこで表示される処置マニュアルは、適切な機器操作が行われると当該項目の色が変化するなど、ECLの仕組みを取り入れてチェックリスト化し、処置状況の明確化を図った。

2.2 ECLのインタフェース仕様

前節で述べた方向性に基づき、ECLのインタフェースの詳細検討を進めた。検討のためChandraら²⁾による航空分野の

ECL作成ガイドラインや、当社の運転士指導担当の意見に基づいてECLのプロトタイプを作成した。その上でPC上での評価試験および後述するシミュレータ試験の結果を元に改善を進めた。

図1に当社の通勤・近郊型車両の運転台レイアウトの一例として、E233系のものを示す。運転台には3面の液晶モニターが設置されている。左のモニターには速度計や各種表示灯が表示され、中央と右のモニターには列車の運転情報や車両の機器情報が表示される。当社では計器や表示灯以外は、中央のモニターに表示することを基本としているため、ECLも中央画面上で動作する仕様とした。

以降既存車両の画面表示を現行型、開発したECLの画面表示を改善型と表記し、前節の3つの支援について、それを実現するインタフェースを説明する。

(1) 故障内容の分かりやすい提示

図2の画面Aは、通常の運転中に表示する運転情報画面である(図1の中央のモニターに表示)。

現行型では車両故障が発生すると、運転台の一番左のモニター上にある故障表示灯などにより、故障内容を運転士に知らせる。改善型ではそれに加え、運転士が正しく故



図1 運転台の液晶モニター (E233系車両)

障内容を把握できるよう、システムで故障の内容を特定し、運転情報画面の下部にそれを文字で表示することとした(図2の[B])。

(2) 処置手順の閲覧方法の簡易化

現行型において、運転台モニター上に搭載されているマニュアルを表示するためには、図3に示すように、マニュアルメニューを呼び出し、その上で適切なマニュアルを20前後の項目の中から選択する必要がある。

改善型では、適切なチェックリストを簡易に閲覧できるようにするため、適切なチェックリストをシステムで判断し、図2の[C]の下部に設けた「処置開始」ボタンをタッチするだけで表示できる仕様とした。

(3) 処置状況の明確化 (チェックリスト化)

行うべき処置を一つ飛ばしてしまうなどのエラーを防ぐため、表示される各処置項目は3色で色分けする仕様(実施済みの

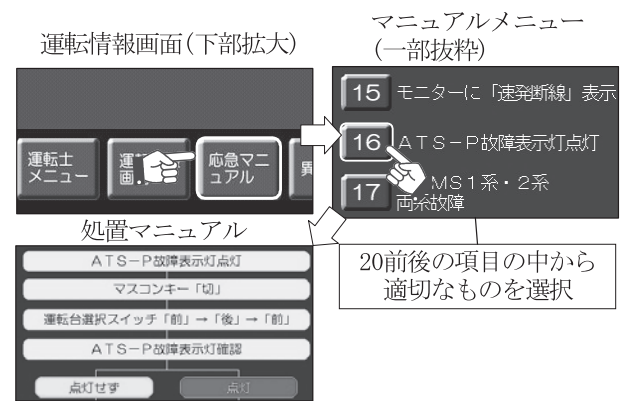


図3 現行型のマニュアル表示方法

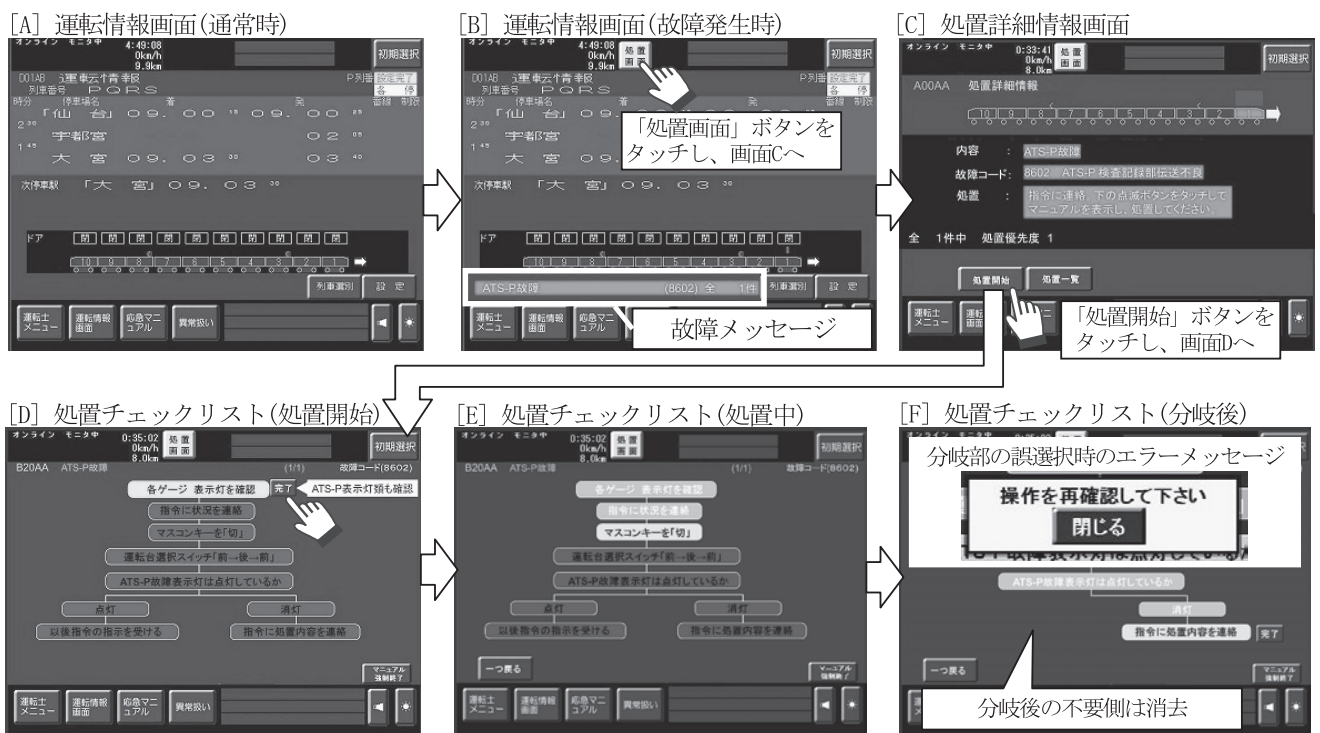


図2 開発した電子チェックリストの画面デザインおよび画面遷移

項目は灰色、次に行なうべき項目は黄緑色、未実施の項目は深緑色)とし、チェックリスト化した(図2の[E])。

なお航空分野では、処置手順をチェックリスト形式で記載するため、チェックマークの記入でチェックを行う。

一方当社の既存の処置マニュアルはフロー図形式を採用している。そのため異常時でも容易に使えるよう、ECLも処置手順はフロー図形式で記載することとした。しかしフロー図形式でチェックマークを使用すると見易さが低下するため、チェックマークに換えて、上記のように処置の進捗を色分けで表示する手法を採った。

また項目の色は適切な機器操作をシステムで検知して自動的に変化する仕様とした。例えば「マスコンキーの入」を要求する項目は、マスコンキーを入にすることで色が変化(図2の[E])。それにより、誤ったスイッチを操作する、操作を忘れる、などのエラーが発生した際でも、項目の色により処置の誤りに気づくことを可能とした。

分岐部では、正しい選択肢を選択すると不要側を消去して状況を明確化し、また誤った選択肢を選択すると、再確認を求めるエラーメッセージを表示する。これにより分岐部では運転士の意識的な確認を促すとともに、選択の誤りはシステムで防止することとした(図2の[F])。

3. シミュレータでの効果検証

3.1 評価試験の実施方法

ECLの効果を検証するため、2012年2月から2012年4月に運転士用訓練シミュレータ上で、当社運転士を実験参加者として評価試験を行った。評価は現行型・改善型の双方で運転中に車両故障を発生させ、処置の遂行状況を調査する方法で行った。

実験参加者に対しては、モニターの表示内容が変更されていることやその使用方法についての説明は行わず、「発生する車両故障の応急処置を行うこと」のみをお願いした。また指令役(実験者)は処置方法についての具体的な指示を行わなかった。

実験参加者は、現行型の表示モニター付き車両を日常的に運転している運転士32名とした。それぞれの実験参加者は現行型と改善型の双方を使用し、ATSやモーターの故障など、3~6事例の応急処置を行った。現行型と改善型の試行順序は学習効果を排除できるように決定した。

3.2 評価試験の結果および考察

現行型と改善型の比較にあたり、まず処置の総合的な指標として、処置の完了率を比較した。ここで処置の完了とは、実験参加者が指令役に処置方法を確認することなく処置を

完遂した場合と定義した。

その結果、処置完了率は現行型の86%(83試行中71試行)に対して改善型では96%(76試行中73試行)となり、改善型の方が完了率が有意($p<.05$)に高かった。

以下ECLのインタフェースの有効性について2.1節で述べた3つの観点から検証を行った。

(1) 故障内容の分かりやすい提示

前述の処置が完了できなかった試行について、故障内容の特定を誤った試行(誤った判断をした、または故障内容が分からなかった)数を調査した。現行型では7試行で見られたのに対し、改善型では故障内容の特定を誤った試行は見られなかった。

また全ての実験参加者が、初めて改善型を使用した際に故障メッセージ(図2の[B])を確認したと述べており、故障内容の表示機能は有効であったと考えられる。

(2) 処置手順の閲覧方法の簡易化

処置時に適切な処置手順を参照した割合を表1に示す。これは学習効果を排除するため、32名の実験参加者が試験日の最初に行った試行での結果である。

表1 処置手順の参照率の現改比較

	参照	非参照	合計
現行型 (マニュアル)	1 (5%)	18 (95%)	19
改善型 (チェックリスト)	11 (85%)	2 (15%)	13
合計	12	20	32

その結果、改善型の方が有意($p<.01$)に参照率が高く、これはワンタッチで適切なチェックリストを表示できるデザインが有効に機能した結果と考えられる。

(3) 処置状況の明確化(チェックリスト化)

処置の失念(必要な機器操作を飛ばしてしまうこと)防止のために、チェックリストの各項目を、処置の進捗に応じて3色に色分けする効果について、検証を行った。

実験参加者が処置完了まで処置手順を表示していた試行において、処置の失念は現行型で14試行中1試行発生したのに対し、改善型では48試行全てで発生しなかった。改善型では処置の失念は発生しなかったものの、現行型との有意差は認められなかった。

しかし航空分野でのガイドライン²⁾では、進捗状況の明確化は行うべきと述べられているため、継続してこの表示方法をとることとした。

4. 試験車両での効果検証

訓練シミュレータでの検証の結果、ECLの導入により処置の完了率の向上などが期待できることが分かった。

そこで実用化を見据え、ECLが車両制御システムにおよぼす影響を確認するため、当社の次世代車両制御システム (INTEROS) の一機能としてECLを試作し、2013年9月にシステムの動作検証、および現車でのユーザビリティ評価試験を行った。

ECLのインターフェースは、既に効果を確認したシミュレータ試験時のものを踏襲したが、INTEROSの仕様にあわせ、配色や文字の大きさなどに修正を加えている。

4.1 システムの動作検証試験の結果

システムの動作検証試験では、ECLの動作負荷を最大とした状態 (メモリー容量の上限まで長いチェックリストを表示させるなど) においても、車両機器が通常時と同様の動作をするかを検証した。その結果

- ・他の車両機器が誤動作しないこと
 - ・車両の加速やブレーキなどの応答時間が変化しないこと
- など車両制御システムに悪影響が無いことを確認した。

4.2 ユーザビリティ評価試験の結果と考察

評価試験は、現業機関の運転士指導担当者4名が、模擬的に発生させた故障を、ECLを用いて処置をする方法で行った。試験はINTEROSが搭載されている多目的試験車 (MUE-Train) で行い、模擬故障は、発生頻度や処置の特徴 (処置時に車両の電源を切ることの要否など) の観点から、保安装置の故障など代表的な10種類を選定した。実験参加者の意見は、処置をしながら気づいた点を都度コメントする思考発話法、および試行後のアンケート評価で収集した。

思考発話からは44件の課題・意見が抽出された。文字量や適切な言葉使いなどに関してが20件、使用する色など画面デザインに関してが10件、故障が複数発生した際の画面遷移方法など機能仕様に関してが6件、その他が8件であった。これらの意見は、ECLの実用化の際に設計に反映させる予定である。

また試行後のアンケートは「使い方がすぐ分かる」など21の質問について「5:大変そう思う」～「1:全くそう思わない」の5段階で評価を行った。その結果「原因がすぐ分かる」は4.0と、故障内容の表示機能が効果的であったとの結果を得たのに対し、「使い方がすぐ分かる」は3.5、「文章が読みやすい」は3.0と異常時用のシステムとしては低い評価であった。

「使い方がすぐ分かる」の評点について、その理由をイン

タビューした結果、「処置中に別の故障が発生した際の画面の動きが、教育を受けなかったために理解しにくかった」との意見が得られた。しかし「単独故障の際は違和感なく使用できる」、また「一度使用法の教育を受ければ複数故障においても利用できる」との意見であったためインターフェースの改善は不要と判断した。

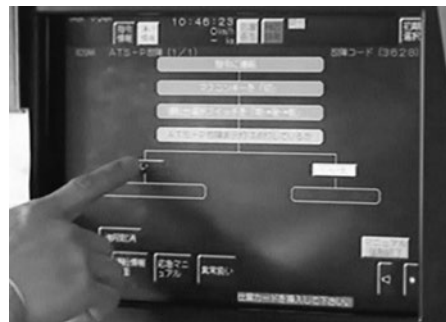


図4 MUE-Trainでの試験の様子

また「文章が読みやすい」が3.0と低評価だったのは、チェックリストに細かな注意点を記載したために、読みやすさを損なったことが原因と分かり、チェックリストは要点をおさえた上でシンプルな記載とすることが重要との知見を得た。

5. まとめ

本研究開発では鉄道車両用のECLの開発を行い、シミュレータ上での評価試験を行った。試験ではECLのインターフェースの有効性を検証し、その結果、ECLにより処置の完了率が向上することが分かった。また実際の車両でのシステム動作試験、およびユーザビリティ評価試験にて良好な結果を収め、実用化に向けた技術的課題を解決した。

ECLの実用化のためには、ルールの変更など、チェックリストの内容変更にも速やかに対応していく体制が求められる。そこで今後はチェックリストの更新システムの構築、および更新作業の担当者に分かりやすいチェックリストを作成するためのノウハウの提供を進めていく。

参考文献

- 1) Boorman, D.: Safety benefits of electronic checklists- an analysis of commercial transport accidents; Focusing Attention on Aviation Safety(2001).
- 2) Chandra, D. C., et al: Human factors considerations in the design and evaluation of Electronic Flight Bags (EFBs), Version 2; Report No. DOT / FAA / AR- 03/67(2003).