

## 論文審査の結果の要旨

氏名：齊 藤 嘉 久

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：階層化による統合型列車制御システムの開発に関する研究

審査委員：（主査） 教授 高 橋 聖

（副査） 教授 吉 川 浩 名誉教授 中 村 英 夫

申請論文の研究領域は、列車制御に関するものである。列車制御の中でも特に列車の安全な運転制御に関わる列車保安制御は、信号保安と呼ばれてきた。信号保安システムは、列車の進路構成における転てつ機と信号機間の連鎖を行う連動装置、軌道回路による列車の位置検知により一定区間に1列車の存在しか許容させない閉塞装置、運転士の過誤による事故防止を図るための自動列車停止装置（ATS）、そして自動列車制御装置（ATC）などにより構成されている。列車制御は以上のような信号保安に加え、都市圏における慢性的な遅延発生の抑制や、列車のエネルギー消費の削減も考慮し、列車の安定・安全・効率輸送を意図した制御が行われている。列車制御システムをその発展経緯からみると、各種装置が他装置とインタフェースをとりながら、順次組み込まれ高度化して来ており、個々の装置が「並立した縦割り型」の個別機能構成となっている。このような構成が、複雑なシステム構成や共通機能の重複、さらには装置ごとの考え方の違い等が発生し、従来から大きな課題となっていた。

申請論文では、以上のような課題を踏まえ、情報の一元化を目指し、今日の技術に立脚した「本来あるべき列車制御システム」を構築することを目的としている。まず、列車の運転制御に必要な本来あるべき情報は何か、そして、その情報は、どのように生成すべきかを検討している。その結果、現場に不可欠な転てつ機と踏切、そして列車をベースに、センター処理装置が現場機器を制御し、その結果をもとに列車に走行可能な地点情報を伝達するという、IoTに沿ったシステムアーキテクチャを持った、新たな考え方の列車制御システムが必要であることを見出した。この考え方を実現するために、システムを総合的に再構築すべきとの立場から、「階層化」という概念を導入した新たな列車制御システムを提案している。すなわち、従来の多くの装置が、縦割りの独立した構成から成るものに対し、それぞれの装置を『機能層』、『ネットワーク層』、『端末層』の横割りの階層構成として階層ごとに統合し、これを「統合型列車制御システム（UTCS）」と称した。さらに、このUTCSのケーススタディとして「ATP閉塞システム」を開発し、安全性の高い運転制御と効率的な保全を実現できることを示した。

以上のように、申請論文は、社会に与える影響も大きく、また技術領域での水準も高いものである。以下、論文の章立てに沿って審査の内容を報告する。

論文は、第1章の序論から第7章の結論に至る全7章から構成されている。

「第1章 序論」では、本研究の背景や位置づけ、目的および概要がわかりやすく説明されている。今日の列車制御は「安全制御」のみにとどまらず、「安定・安全・効率的輸送」を担うリアルタイム制御が必須となっていること、そして従来のシステムが、個々の装置が「並立した縦割り型」の個別機能構成となっており、複雑なシステム構成や共通機能の重複、さらには装置毎の考え方の違い等が生じていることを述べることで、申請論文の解決すべき課題を明確に浮き上がらせており、申請論文の重要性が明確にされている点で評価できる。

「第2章 既存列車制御装置・システムの特徴と分析」では、申請論文のテーマである「統合型列車制御システム」が対象とする既存列車制御システムの中で、特に列車の安全運転を目的とした列車保安制御を担う鉄道信号システムを中心に、その特徴を分析している。本章では、既存の鉄道信号システムを構成する保安装置として、閉塞装置、連動装置、ATS・ATC、踏切保安装置を取り上げ、その役割と現状および課題と共に、これからのあるべき姿を展望することで、申請論文で提案する「統合型列車制御システム」開発の意義を具体的に示している点で評価できる。

「第3章 階層化による既存列車制御システムの再構築」では、第2章で述べられた既存列車制御シ

システムの分析をもとに、列車制御システムの理想形を考察している。その結果、列車制御システムの各装置を「階層的」に俯瞰して、これらを論理処理部：(機能層)と現場機器インタフェース部：(端末層)、そして、その間を結ぶ伝送部：(ネットワーク層)に「階層分類統合」した新たな「階層化システム」の概念の導入が必要であることを述べ、既存列車制御システムの再構築を図っている。「階層化システム」は、不可欠な要素のみが相互に情報交換を行うことで必要な保安制御を行うため、従来制御のために生み出されてきた各種装置を持たない究極の省設備化が図られている。そして、信頼性および安全性向上に加え、インタフェース最小化による安全性向上が期待できる。さらに、鉄道システムに望まれる発展性、柔軟性および保守性も実現することが可能であり、本章で述べられている「階層化システム」の概念は、その独創性ととも高く評価できる。

「第4章 統合型列車制御システムの提案」では、第3章で導入した「階層化システム」の概念に基づいた新たなシステムである「統合型列車制御システム (UTCS)」について述べている。第2章、第3章までの分析および考察をベースに、今日の閉塞装置、連動装置、そして多くの問題を抱える踏切制御装置等に関して、このUTCSが目指す理想的なシステムの可能性について考察・提案している。機能層に位置する統合型処理部では、列車の保安制御を一元処理するために、「支障点」という概念を導入し、踏切や転てつ機を含んだ経路の安全運転を、駅中間と同様に実施する「走行路」として定めている。その結果、論理を現場からセンターに集約することに成功すると共に、論理を有した機能層と、現場機器とのインタフェースをつかさどる端末層、そして両者をつなぐネットワーク層から成る、“横割りの3階層構造”で統合整理することが可能であることを示している。これにより、既存のATC・ATSは不要となり、また駅構内においても従来の駅連動装置は不要となり、駅構内も駅中間も同様の保安制御が実現可能となることを明らかにしている。これらのことは、列車の保安制御上、非常に大きな留意点と言える点で高く評価できる。さらに、本章では、UTCSの「安全性」を既存の自動閉塞による信号方式やデジタルATCと比較して評価している。既存のシステムが、現場機器の故障をそのまま危険側に遷移する可能性があるのに対し、UTCSは、すべてメッセージ交換で処理が進むため、通信上の適切な対策を施すことにより、高い安全性が確保できるという画期的な機能を明らかにしている。

「第5章 統合型列車制御システムの検討とケーススタディ」では、鉄道事業者が、デジタルATCや既存の無線式の列車制御システムであるCBTCを志向した場合を前提としたソリューションとして、「統合型列車制御システム (UTCS)」の効果を検討している。そして、地方交通線用に適用した事例として研究開発が進み、実用の域に達した「ATP閉塞システム」を、ケーススタディの一つとして説明している。その結果、ユーザである鉄道事業者が、デジタルATCや既存CBTCを志向した場合でも、UTCSを用いることで、デジタルATCの地上設備が大幅に削減できるほか、いずれCBTCへの移行を考えた際も、スムーズに移行・実現できることを示している。さらに、UTCSと他の既存列車制御システムとの関係も明らかにしている。また、ケーススタディの一つである「ATP閉塞システム」の導入が、老朽更新期を迎えた既存システムの現状維持や延命ではなく、汎用の情報・通信技術を利用した廉価で、かつ安全性の高い運転制御と効率的な保安を提供できることを示している。これらの成果は、地方鉄道の競争力を高め、地域の暮らしに組み込まれた持続可能な存在として、地方鉄道を蘇えらせることができると可能性を持っており、非常に高く評価できる。

「第6章 システム論から見た統合型列車制御システム」では、UTCSを鉄道システムではなく、一般的なシステム論から見た位置づけについて検討している。UTCSを、ICTの時代に可能となった協調安全であるSafety2.0の視点から評価し、UTCSは、Safety2.0の中でも、最も進んだ本質制御の概念を利用していることを確認している。さらに、システム論として交通システムで重要視されているMaaSを取り上げ、UTCSの概念をMaaSに持ち込むことにより、交通システムの発展にも貢献できることを示している点でも本章の内容は高く評価できる。

「第7章 結論」では、申請者の行った研究の成果や今後の課題を述べている。本研究で取り上げたこれまでの列車制御システムでは、個々の装置が「並立した縦割り型」の個別機能構成となっていることによる様々な課題があったが、「階層化」という概念を導入し新たな列車制御システムを提案した本研究によって、これら課題に対して十分な成果が得られたことを明確に結論づけている。

申請者の研究は、本来あるべき列車制御システムの本質に迫り、システムを構成する各装置を『機能層』、『ネットワーク層』、『端末層』の横割りの階層構成として階層ごとに統合し、「統合型列車制御システム (UTCS)」を提案したものである。そして、この UTCS を具現化した「ATP 閉塞システム」を開発し、安全性の高い運転制御と効率的な保全を実現できることを示している。本研究の成果は、広く世界の鉄道産業の発展にも貢献する可能性を持っているものとして非常に高く評価できる。

以上のことは、本論文の申請者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和4年10月13日