

# 列車統合管理システムの最新技術と今後の展望

甲村哲朗\* 瀧川義史\*  
安東永昇\*  
岡田万基\*

Latest Technologies and Future Prospects of Train Control and Monitoring System

Tetsuo Komura, Eisho Ando, Yuruki Okada, Yoshihito Takigawa

## 要 旨

鉄道車両における列車統合管理システム(Train Control and Monitoring System : TCMS)は、安全性向上と乗客サービス向上のために、機器の監視や制御だけでなく、省エネルギー走行を実現する機能、地上設備との通信(地車間通信)を活用した保守支援機能など、多岐にわたる機能が求められている。近年では、これらの機能要求に加え、鉄道事業者からTCMSに対して、次の要求事項がある。

### (1) 国際規格への準拠

車両伝送方式として、固定編成内通信にはIEC 61375-3-4で標準化されるECN(Ethernet Consist Network)、固定編成間通信にはIEC 61375-2-5で標準化されるETB(Ethernet Train Backbone)に適用すること。

### (2) 機能安全認証の取得

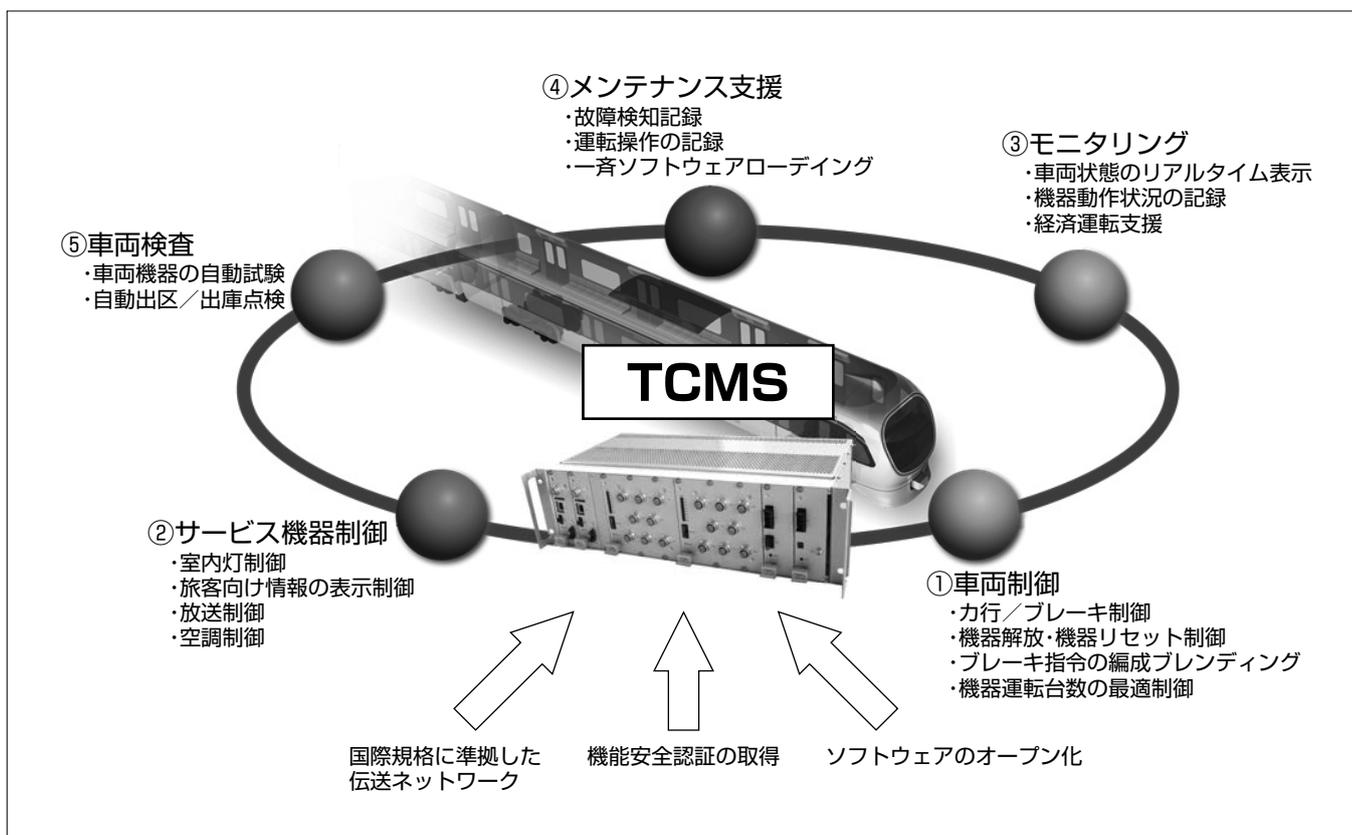
力行やブレーキ制御など車両制御に対して適正な安全レベルを確保するため、機能安全認証レベルSIL2(Safety Integrity Level 2)を取得すること。

### (3) ソフトウェアのオープン化

TCMSのソフトウェア変更が鉄道事業者自身で実施可能な仕組みを提供すること。

三菱電機では、これらの要求を満足するTCMSとして、普及・標準化されたEthernet<sup>(注1)</sup>をTCN(Train Communication Network)に適用したTCMSを開発した。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。



## 三菱電機のTCMS

当社では、TCMSのパイオニアとして第1世代のモニタ装置以降、市場ニーズに応えるTCMSを開発、進化させてきた。最新のTCMSでは、近年の鉄道事業者からの様々な要求に応える機能を提供し、安全・安定輸送への貢献を目指す。

## 1. ま え が き

当社は、1979年に鉄道車両向けTCMSを京都市交通局に納入以降、市場ニーズに応じてシステムを進化させてきた。これまでに国内市場で多数の納入実績を持ち、海外市場でも積極的にビジネスを展開している。

本稿では、当社のTCMSの技術変遷、最新技術、今後の展望について述べる。

## 2. TCMSの技術変遷

### 2.1 第1世代(1980年～)：モニタシステム

モニタシステムは、各車に搭載された伝送端末装置によって、車両内の各機器の動作監視、車内案内表示装置や空調装置等の乗客サービス機器の遠隔制御などの機能を実現している。これらの機能によって、乗務員と検修係員への業務支援及び車両運用と検修作業の効率化を実現した。

### 2.2 第2世代(1990年～)：車両情報制御システム

車両情報制御システム(Train control Information management System：TIS)は、モニタシステムに制御指令伝送機能(運転台から各車への制御指令の伝送機能)を追加し、これまで制御指令信号ごとに列車内に引き通していたケーブルを伝送化することで、車両間配線の削減による車両軽量化と自動車上試験による保守の省力化を実現した。

### 2.3 第3世代(1995年～)：車両情報統合管理システム

車両情報統合管理システム(Train Integrated Management System：TIMS)は、従来、リレーや車両配線による車両回路で各装置が独立して実現していた制御機能(コンプレッサ制御、パンタ制御など)をマイクロプロセッサ上のソフトウェア論理とシリアル伝送に置き換え、車両全体として機能の統合・向上を図った。これによって、車両の部品数や配線数の削減による車両軽量化を実現するとともに、車両システムとして機能の最適化を行った。

### 2.4 第4世代(2015年～)：列車統合管理システム

列車統合管理システム(TCMS)は、情報技術の進展によって高性能化・高機能化が進み、車両全体の情報を統合し、車両単独でなく列車としての制御、省エネルギー化、地上装置との連携など車両に不可欠なものとなっている。このため、国内外の鉄道事業者、鉄道車両メーカーはTCMSを車両の核となる重要なシステムと位置付けており、次に挙げる要求事項の重要性が高まっている。

- (1) 海外市場展開に向けたTCN国際規格(IEC 61375)への準拠
- (2) 制御機能の安全性確保を掲示するための機能安全認証レベルSIL 2の認証取得
- (3) 製品出荷後の仕様変更をユーザー自身で対応可能とするためのソフトウェアオープン化

当社では、これらを基本的な装置要求仕様とし、車両シ

ステム設計の短納期化要求への対応や、地車間ネットワークを活用した地上からの列車運用支援機能に対応した最新のTCMSを開発した。

## 3. TCMSの最新技術

### 3.1 TCMSのシステム構成

Ethernet(100BASE-TX)の高速伝送を活用し、分散制御方式から中央集約制御方式にシステム変更を行い、リアルタイム性を損なわず列車全体制御を実現した。システムの特徴を次に示す。

- (1) 演算機能を中央装置(CCU)に集約し、編成内で冗長化
- (2) 伝送ネットワークにEthernetを採用し、さらに、リングネットワーク及びデュアルホーミング構成として冗長化

従来システムでは車両間伝送はアークネット伝送(~10Mbps)を用い、狭い伝送帯域で効率的にリアルタイム伝送可能なプロトコルを適用し、中央装置及び端末装置のCPU基板で処理していた。一方、中央装置及び端末装置の機器伝送は主にRS485伝送を使用しているため、中央装置及び端末装置にプロトコル変換機能が必要であり、RS485基板でプロトコル変換を行っていた。このため、アプリケーション演算は、車両間の伝送帯域制約及び車両間伝送と機器伝送のプロトコル変換による伝送遅延が発生する。このような環境下でも制御指令のリアルタイム性を確保するために、先頭車両の中央装置と各車両の端末装置で機能分担する分散制御方式を採用していた。

TCMSでは車両間伝送と機器伝送をEthernet化(100Mbps)することでプロトコル変換をなくした。また、伝送速度が速いため端末装置から先頭車両の中央装置に制御機能を移しても、車両制御や機器制御は運用上問題ない。このため、各車両の端末装置はパケット転送機能等と伝送機能に特化したCN(Communication Node)とし、全車両の制御機能、演算機能は、中央装置に集約した。なお、機器伝送でRS485伝送が必要な場合、CNではEthernet伝送とRS485伝送のプロトコル変換を行う(図1)。

システムを構成する各装置は、国内/海外を問わず鉄道事業者からの小型化要求に応え、3Uサイズ・フロントアクセスの装置として開発した。特に海外では、運転室及び客室内ロッカールーム19インチラックに3Uサイズで機器を収容する方式が主流である(図2)。

### 3.2 ネットワークの国際規格への準拠

TCMSによるモニタリング機能、制御機能の多様化及び地車間通信機能によって、伝送速度の高速化・大容量化が必要であり、国際規格IEC 61375に準拠し、グローバルスタンダードとなっているEthernet伝送(100BASE-TX 100Mbps)を採用した。

国際規格で列車用データ伝送TCNのアーキテクチャは

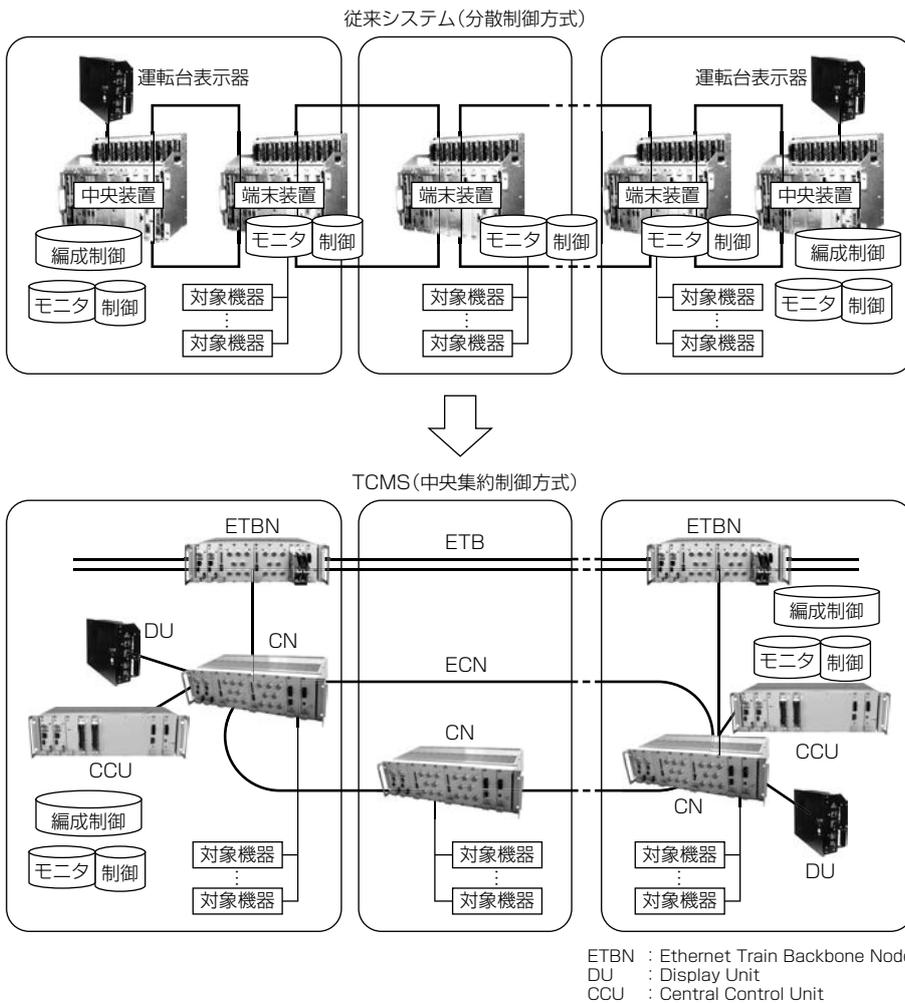


図1. 従来システムとTCMSの比較

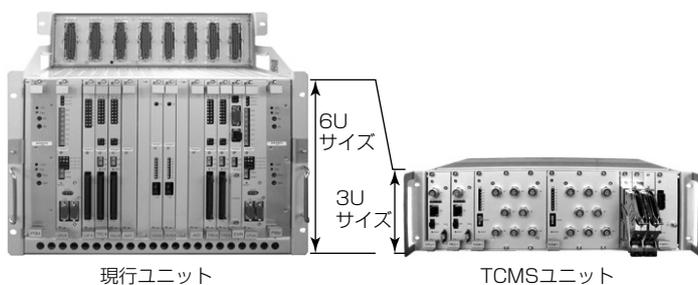


図2. 現行ユニットとTCMSユニットの比較

固定編成間伝送であるETBと固定編成内伝送であるECNの2階層構造となっている(図3)。国際規格IEC 61375と当社仕様の対比を表1に示す。当社TCMSのTCNは、IEC 61375で標準化されるETBとECNを適用した。伝送プロトコル(フォーマットを含む)については、ETB及びECN双方に、IEC 61375-2-3で標準化されるTRDP(Train Real time Data Protocol)を適用した。本来、ECNにTRDPの適用は必須ではないが、ETBで採用するTRDPをECNにも水平展開する流れがあり、市場動向に対応して汎用性を確保した。

### 3.3 機能安全認証レベルSIL 2への適合

IEC 62425で、システムの安全度水準を表す指標SILはレベル1からレベル4までの4段階で定められている。ソフトウェアの比重が高まってきた列車制御に対して、近年、特に海外の鉄道事業者は機能安全を要求する傾向があり、TCMSに対して適正な安全レベルが求められている。このため、当社は第三者認証機関による審査を受け、TCMSの機能安全評価を実施してSIL 2 認証を取得した。

### 3.4 ソフトウェアのオープン化

製品出荷後の機能変更は、基本的には有償での対応となるため、ソフトウェア変更も鉄道事業者自身で対応する場合が多い。ソフトウェアオープン化要求に対しては、1998年に故障データベース機能を開発し、それ以降の海外向けシステムに標準で搭載している。故障データベースは、故障に関する機能をプログラムから切り離してデータベース化したもので、地上端末上でのパラメータ設定によって次の変更が可能である。

- (1) 故障検知論理
- (2) トレースデータに記録する信号の種類
- (3) 故障名称
- (4) 運転台画面に表示する故障処置ガイダンスの内容
- (5) 故障レベル(記録のみ、故障画面表示など、検知後の処理レベル)

TCMSでも、これらの考えを踏襲し、地上端末上でのパラメータ設定による変更を可能としている。さらに、TCMSではこれまでのプログラミング言語を使用したソフトウェア開発に加え、PLC(Programmable Logic Controller)ツールを使用した開発環境を適用した。PLCツールを適用して開発する対象は、リレーや車両配線による車両回路で実現していた車両制御論理及び従来はデータベースで変更していた故障検知論理とした。

従来、車両回路によって実現していた車両制御論理をTCMSのソフトウェアに置き換えることで、車両配線や部品数が削減され、車両の軽量化につながる。そのため、TCMSへの車両制御論理の取り込みが積極的に行われている。これらの車両制御論理の置き換えに、親和性が高く等価的な論理を作成することができるPLCツールを使用することで、ソフトウェアのホワイトボックス化にもなる。

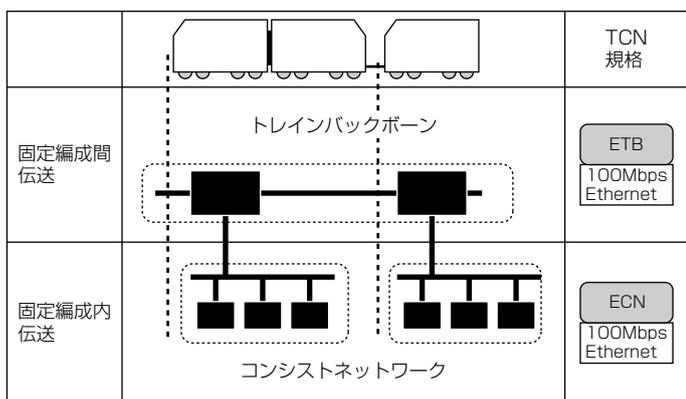


図3. TCNのアーキテクチャ

表1. 国際規格と当社仕様の比較

階層	IEC 61375の規定		当社仕様	
	固定編成間	固定編成内	固定編成間	固定編成内
アプリケーション	事業者ごと		ユーザー開放を考慮したアプリケーション	
アプリケーションプロファイル	IEC 61375-2-4で制定予定	規格化なし	IEC 61375-2-3 TRDP準拠	
コミュニケーションプロファイル	IEC 61375-2-3		IEC 61375-2-3 TRDP準拠	
OSIモデル7～5層/ アプリケーション層/ プレゼンテーション層/ セッション層	IEC 61375-2-5 ETB	IEC 61375-3-4 ECN	IEC 61375-2-5 ETB準拠	IEC 61375-3-4 ECN準拠
OSIモデル4層/ トランスポート層				
OSIモデル3層/ ネットワーク層				
OSIモデル2層/ データリンク層				
OSIモデル1層/ 物理層				

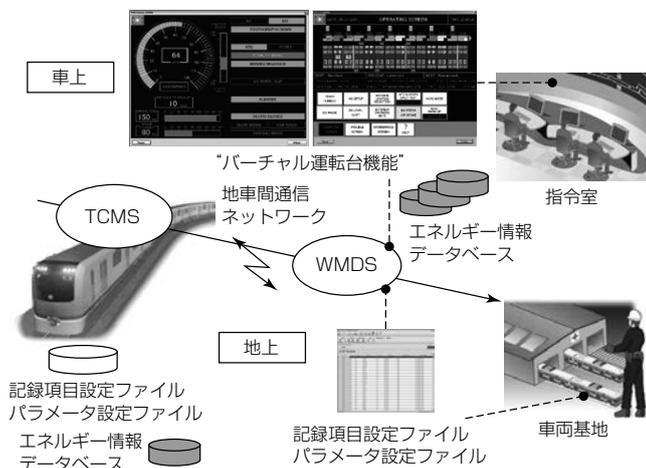


図4. WMDSを活用した列車運用支援機能イメージ

故障検知論理についても、PLCツールを適用することで、鉄道事業者による故障検知論理の変更を容易に可能としている。

### 3.5 地車間ネットワークを活用した列車運用支援

TCMSと地上側のWMDS(Wayside Monitoring and Diagnostic System)の連携によって、今後、更なる列車運用支援機能が可能になる。地上で運転台表示器の状態を再現する“バーチャル運転台機能”や、地上から車両のパラメータを設定する“リモート設定機能”に加え、列車ごとのエネルギー情

報データベースを基に実績ランカーブと計画ランカーブの評価を行い、新たな計画ランカーブを作成する“省エネルギー走行支援機能”への活用等が挙げられる(図4)<sup>(1)(2)</sup>。

## 4. TCMSを中心としたネットワークによる統括管理

鉄道車両に搭載する主要電機品(TCMS, 推進制御装置, ブレーキ装置, 保安装置等)を1社で担当できる当社の強みを最大限に活用し、各車載機器が持つ情報をネットワークでTCMSに集約し、統括管理して制御に活用することで、次のような付加価値を提供する。

### (1) 省エネルギー化

- ① 推進制御装置, ブレーキ装置との連携を活用したモータ高効率運転及び回生ブレーキの性能向上
- ② 自動運転装置, 推進制御装置, 主電動機のノウハウを活用し、運転士に対して省エネルギー運転を支援。TCMSが走行位置に応じて、省エネルギーランカーブ、目標速度を運転台表示器に表示
- ③ 補助電源装置の特性を活用し、並列同期運転の軽負荷時での休止制御を用いた補助電源装置の高効率化

### (2) 保守性の向上

- ① TCMSから複数の機器の車上試験を同時に実施することによる保守時間の短縮
- ② TCMSに機器の長期的な状態情報(漏れ電流, 接触器の動作回数, ブロワーの動作回数等)を蓄積し、そのデータを基に各機器の交換アラームを表示する等の予防保全

## 5. 今後の展望

今後は、ネットワークによる統括管理に加え、各電機品の機能分担を見直し、編成全体としてTCMSを中心とした電機品の機能分担の最適化を進めていく。さらに、電機品間の機能融合、統括制御による機種開発を推進する。

## 6. むすび

列車統括管理システムの技術変遷、最新技術と今後の展望について述べた。今後は、主要電機品を全て製造できる当社の強みを最大限に活用し、市場ニーズに対して最適かつコストパフォーマンスの高いシステムに進化させ、更なる鉄道の安全・安定輸送に貢献していく。

## 参考文献

- (1) 山本 律, ほか: 省エネルギー化に取り組む列車運転制御システムの最新動向, 三菱電機技報, 86, No.9, 520~523 (2012)
- (2) 木村尚史: 交通システムの変遷と将来展望, 三菱電機技報, 88, No.9, 518~521 (2014)