

仙石線における ATACSの 実用化



黒岩 篤*



梅津 知史*



伊藤 徹理*



森井 明*



馬場 裕一*



中山 恒*



今野 信三*

1830年に鉄道が開業して以来、安全を確保するためのさまざまな仕組みが発明され、鉄道の安全と効率的な輸送に大きく貢献してきた。しかし、地上設備による制御、コストの低減、より一層の安全性向上、新たなサービスの提供などの面で課題が残されている。鉄道制御システムのフルモデルチェンジを目的に、これまでの地上設備主体の制御方式に代えて、情報技術をベースに地上・車上の制御分担を機能面から配置した安全・シンプルな列車制御システムATACS (Advanced Train Administration and Communications System) の開発が行われてきた。

ATACSは、1995年に開発に着手した無線を用いた新しい列車制御システムである。ATACSはこれまで当社の研究開発部門において開発を実施し、1995年9月から1998年2月にかけて第1期、2000年10月から2001年2月にかけての第2期、そして2003年10月から2005年3月にかけてプロトタイプ試験と、これまで3回にわたり現車による走行試験を実施してきた。

現在、これまでの研究開発の段階を終了し、仙石線あおば通・東塩釜間での2010年度内の使用開始に向けて車上機装工事、地上工事を進めている段階である。本稿では、これまでの研究開発の経緯および実用化のための検討および現在の進捗状況について報告する。

●キーワード：列車間隔制御、パターン制御、デジタル無線、車上位置検知、軌道回路

1. はじめに

ATACSは、デジタル無線を用いて地上装置・車上装置間で情報の送受信を行い、列車の制御を行うシステムである。このシステムは、1995年に開発に着手して以降、3回の現地試験を実施して機能の確認を行ってきた。現在、これまでの開発および現地試験で得られた知見をもとに、2010年度の仙石線あおば通・東塩釜間での使用開始に向け、工事を進めているところである。

本稿では、これまでの開発の経緯・現地試験の経緯、実用化のための検討について報告する。

近年、移動体通信やコンピュータなどの情報通信技術は進展著しいものがある。また、これらの技術は列車と

いう移動体の制御に適した技術であるとも言える。鉄道制御システムのフルモデルチェンジを目的に、これまでの地上設備主体の制御方式に代えて、情報通信技術をベースに地上・車上の制御分担を機能面から配置した安全・シンプルな鉄道制御システムがATACSである。

1.1 仙石線での ATACS 整備の概要

現在、ATACSは2010年度内の仙石線での使用開始をめざして工事を進めているところである。

仙石線は、仙台都市圏の郊外線で、あおば通駅から石巻駅まで約50kmのうち、複線区間が17.2kmである。地形は、市街地、トンネル、海岸、曲線、高架など変化に富み、実用化に向かったの種々の環境での実証が可能な線区である。

車両運用は、4両編成19列車に限定され、列車本数など

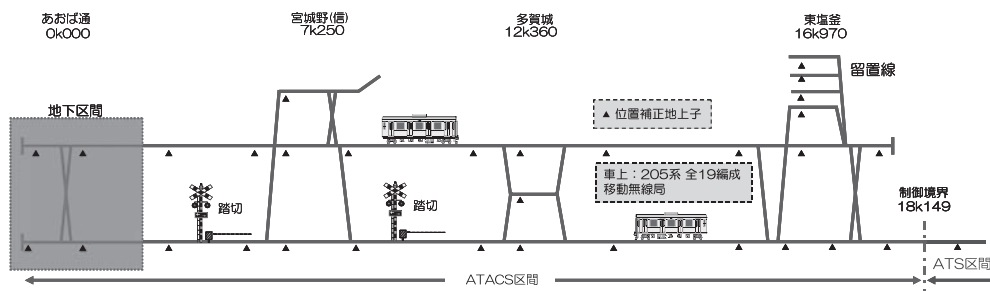


図1 仙石線の設備環境

首都圏に近いものがあり、朝夕のラッシュ時間帯では、最大列車数11本/時となり高密度の輸送を行っている。

今回のATACSの導入区間は、設備環境としては、直流電化1500V区間、CTC(宮城野運輸区構内にCTCセンター)、連動駅4駅、電車区1箇所、踏切18箇所を有している。

現時点で、多賀城駅付近において連続立体交差化工事が進められており、高架区間での電波伝搬と、ATACSシステムにおける線路変更という新しいタイプの工事の試行が可能である。

1.2 システムの基本仕様

最も重要な装置である拠点装置(中間の間隔制御および構内の連動機能を有する)が4箇所、拠点装置ダウン時などに列車在線を管理する在線管理装置が1個、無線基地局が8箇所、一基地局内のゾーン範囲は約3kmである。そのほか補助設備として、ATACS制御エリア境界や列車の滞泊箇所に置かれる車軸検知装置や列車ID検知装置(トランスポンダ)などがある。踏切には論理部はなく、通信機能としゃ断機などの諸機器類のみとなる。

システムの能力は、1ゾーンに12本の列車を収容可能であり、各列車と地上とは、約1秒ごとに情報更新をする。

1.3 ATACSの大きな特徴

信号システムとして見たATACSの技術上の革新的な特徴が二点ある。一点目は、車上で列車位置を算出する方式で、システム境界部分を除いて軌道回路を使わない。ほとんどすべての運転保安制御の基本データとして、この列車位置情報を用いる初めてのケースであり、最も重要な制御情報となる。二点目は、システム間を接続する保安制御に無線を初めて使用する点である。

鉄道では移動体通信としては、これまでは列車無線が使用されているが、これは一般通信用である。

1.4 システム上のしくみと特徴

基幹システムである三種の装置(拠点装置、無線装置、車上装置)ではほとんどの機能が実現される(図2)。これらの装置をデータが流れることであらゆる機能を実現している。車上と地上が双方向の情報伝送で結合されている。線路・車両データベースを元に個別の実線区に応じた制御がされる。

これらの装置は、情報処理装置として十分な信頼性の確保が実現できるため、システムの信頼性・稼働性の飛躍的な増大が期待できる。機能増強もシステムの能力の範囲内でデータ増強とソフトの変更により、容易に実現される。

図のように間隔制御機能などの主要な機能が実現され

る。すなわちATACSは、軌道回路、ATC、ATS-P、連動、踏切を包含しているシステムと言え、従来型の信号装置を統合したものを基本機能として持つと言える。また、容易に新しい機能、例えば単線並列、中間線閉などの増強が可能であるという発展性の高いシステムである。

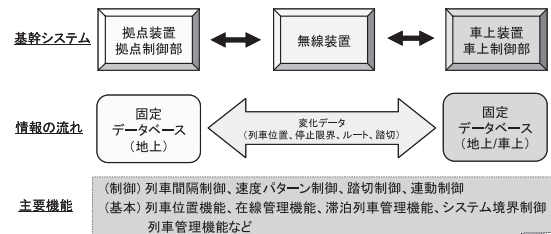


図2 ATACSのデータの流れ

2. ATACSの機能

ATACSの基本となる機能は以下のとおりである。

2.1 列車追跡機能

従来のシステムでは、列車の追跡は軌道回路による列車の検知情報の順序により追跡を行い、これに地上の論理で列車番号を付加することで行っていた。

ATACSでは、拠点装置は車上制御装置から約1秒周期で送信されてくる列車位置と列車の持つ固有のID(列車ID)を連続的に受信し追跡している。

列車の位置の認識は、拠点装置、車上制御装置ともに共通の線路データベースを持ち、車上装置から受信した列車位置情報を拠点装置で線路ブロック上に展開することで行う。図3にATACSの列車追跡のイメージを示す。

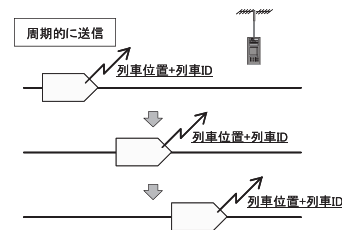


図3 ATACSの列車追跡のイメージ

2.2 列車間隔制御機能

2.2.1 車上位置検知

ATACSでは、列車走行による移動距離は、速度発電機を使用して走行距離を積算して算出する。移動後の列車位置は、無線を介して毎周期拠点装置へ送信する。

列車の立上げ時の位置認識(初期位置)は、電源投入を行う滞泊指定箇所、列車位置不定からの復帰時および

ATACSエリア外からのシステム進入時に行われる。

位置検知の方法は、車上子が地上に設置された位置補正地上子の固有データを読み込み、車上で持つ線路データと照合して位置取得をすることによって行う。この位置に列車長を付加し、線路ブロック内の列車位置を確定する。

また速度発電機は、走行により誤差が発生するため、必要な箇所に位置補正地上子を設置し、列車の通過時に地上子の固有データを読み込み、位置補正を行うことで誤差の縮小化を図っている。

実用化時には、確実に位置検知を行うために車上装置により位置補正地上子の脱落検知を行うとともに車上の位置検知論理に車輪の滑走の補正を組み込むなど、機能を付加し、位置検知精度の向上を図る。図4にATACSにおける位置認識の概要を示す。



2.2.2 列車間隔制御

列車自らが検知した列車位置情報を、デジタル無線により列車制御を行う地上の拠点装置へ送信する。拠点装置は、受信した列車位置情報をもとに、列車走行に必要な進路を構成し、進路の末端までの間で走行に支障となる条件検索（前方を走行する列車、システム境界、経路終端など）を行い、列車が走行できる最遠端の位置（停止限界）を算出し、デジタル無線により列車へ送信する。

拠点装置より停止限界を受信した車上装置は、停止限界から現在位置までの速度照査パターンを作成し、列車はその範囲内を走行する。列車速度が速度照査パターンを超過した場合、車上制御装置は、ブレーキ制御を出力し停止限界の手前に列車を停止させる。図5にATACSにおける列車間隔制御の概要を示す。

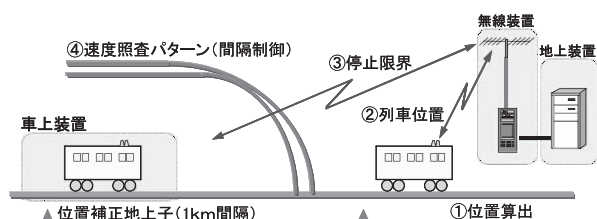


図5 列車間隔制御の概要

2.3 構内連動制御機能

構内連動制御は、レールを一定区分のブロックと呼ばれる区間に分割し、そのブロックと分岐器の関係を明確化して進路制御を行う。つまり、ブロックと現行の軌道回路の区間とを関連付けATACSによるブロック単位での位置情報を、軌道回路相当の区間に関連付け、従来の連動の論理を踏襲することで安全な制御ができる仕組みとしている。（図6）

また、ATACSは連続したパターン制御で速度制御を行うことが可能であるため、ATCと同じく過走防護は不要である。

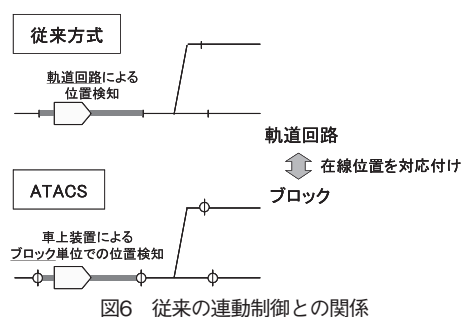


図6 従来の連動制御との関係

2.4 踏切制御機能

踏切制御は、現行の軌道回路と踏切制御子による警報制御に代わって、車上制御装置が各踏切までの到達時間を算出し、その到達時間が必要警報時間以下となった場合、拠点装置に対して当該踏切の警報を要求する。また、警報の停止は、列車位置情報から踏切を列車後端が完全に通過したと認識することにより行う。

ATACSでは、踏切が警報していない場合、踏切手前に列車を停止させる制御を行うことにより、踏切無しや断時の衝突事故防止を行う。

また、ATACSの車上装置が故障し、非常運転などにより踏切を通過する場合に備え、踏切のバックアップ機能を付加している。

図7にATACSの踏切制御の流れを示す。

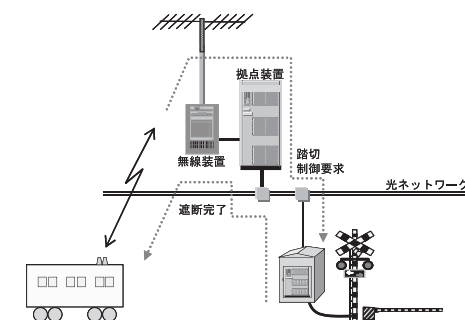


図7 踏切制御イメージ

2.5 臨時速度制限機能

システム管理端末（指令に設置する端末）で、任意の区間の臨時速度制限を設定すると、その情報が拠点装置を経由して車上制御装置に伝送される。

車上制御装置は、拠点装置から臨時速度制限を受信した場合、臨時速度制限を線路データに反映させ、臨時速度制限を入れた速度照査パターンを作成する。

また、速度照査パターンは列車長を加味し、列車最後尾が速度制限範囲を越えた時点で、速度制限を解消して通常パターン制御に戻る。

この機能は、災害や工事などの多くの機会に活用される機能であり、安全性を向上させるための支援機能である。実用化にあたっては、ユーザインタフェースについて十分考慮のうえ、導入することとなる。

図8に臨時速度制限制御のイメージを示す。

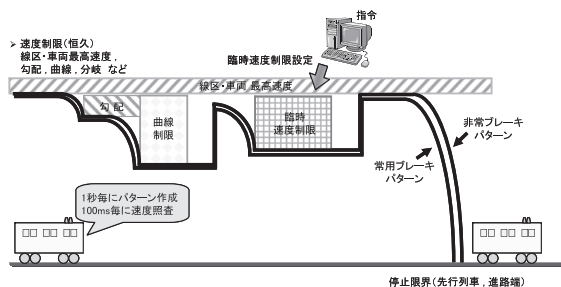


図8 臨時速度制限のイメージ

2.6 システム進入・進出機能

ATACS区間への進入、進出は、境界となる区間に切換ブロックを設定し、この区間を走行中に制御方式の自動切換を行う。(ATACS ⇄ ATS)

システム内への進入は、切換ブロックの手前に設置した地上子を通って列車位置を確定し、拠点装置と無線により接続を開始する。切換ブロックを走行中に、システム進入となる箇所では車上制御装置は制御状態をATS から ATACSに切替える。

システム外への進出は、進入と同様の切換ブロックを設定し、このブロック内を走行中に切換箇所において車上制御装置は、制御状態をATACSからATSに切替え、一定区間走行後、無線送信を停止する。

また、ATACSでは軌道回路が設備されていないため、ATACS車上装置が動作していない列車がシステム内に進入するとたいへん危険である。そこで、システム境界に非搭載車検知装置を設備し、ATACS車上装置が動作していない列車がATACSシステム内に進入した場合には、本装

置が列車の進入を検知し、関係列車に緊急停止信号を送信する。また、当該の列車もATS装置により停車制御される。

2.7 列車防護機能

ホームの非常ボタンや踏切支障報知装置、踏切障害物検知装置の動作など（現行は特殊信号発光機によっているもの）により緊急に列車を停止させる場合への対応として、ATACSでは列車防護制御を行う。

当該の地上設備の動作条件を拠点装置に取り込み、その防護すべき範囲を関係する列車に対して送信することにより、車上装置では防護範囲手前までの速度照査パターンを発生させて、列車を当該箇所の手前までに停止させる。仮に走行位置が防護パターン内にかかって走行している場合は、非常停止制御する。

2.8 無線伝送制御機能

無線基地局は各々制御範囲を持ち、制御範囲内にいる列車と通信を行う。携帯電話などの移動体通信においてもハンドオーバー制御は行われているが、ATACSでは列車制御に用いるため、列車が制御範囲を出て、他の無線基地局の範囲に入った際にも制御が確実に継続して行われなければならない。

このため、基地局を移動する際、移動先で通信を行うための無線スロットをあらかじめ確保することにより制御の連続性を保証する仕組みとしている。これらの制御は地上ネットワークにより接続された拠点装置で行う。

図9にATACSとのハンドオーバー制御イメージを示す。また、図10に無線基地局の配置と無線の概要を示す。

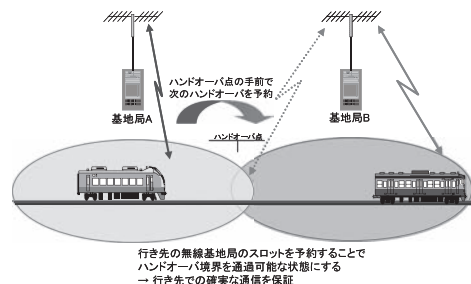


図9 無線のハンドオーバー制御

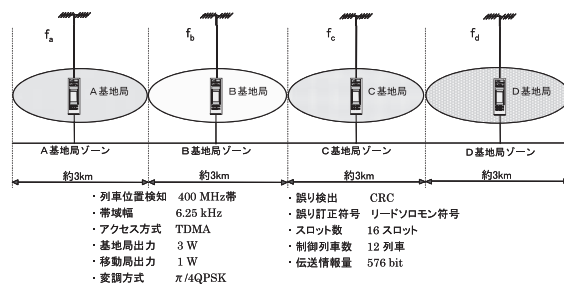


図10 無線基地局の配置と無線の概要

3. 開発と試験の経緯

3.1 現地試験

ATACSは1995年の開発着手以降、これまで3回にわたって現地試験を実施し、機能検証を行ってきた。

これまでの開発と現地での実車による試験の経緯の概要は以下のとおりである。

3.1.1 第1期試験

1995年9月から1998年2月にかけて、仙石線苦竹～東塩釜間の約16kmの区間で実列車4編成を用いて走行試験を実施した。

この第1期試験では、ATACSシステムの基本となる、車上位置検知、無線伝送、列車間隔制御についての機能の検証を行っている。

3.1.2 第2期試験

第1期試験の結果を受け、2000年10月から2001年2月にかけて、第2期試験を仙石線苦竹～多賀城間で試験列車2編成を用いて実施した。

この試験では、指令装置、システム管理装置、拠点装置、現行の連動装置踏切制御装置から制御状態を入力するインタフェース装置を作成し機能の確認を行った。また、無線基地局を宮城野信号場、中野栄の各駅に設置し、軌間内には列車の位置を検知するためのトランスポンダ地上子を設置し、第1期試験に比べ、より実際の走行状態で近い状態での機能確認を実施した。

一方、車上制御装置は、103系1編成とクモヤ145の1編成に機装した。

走行試験は、昼間のモニタラン走行試験（営業運転でブレーキ出力を行わない試験）、夜間の本線でのコントロールラン試験を行っている。

3.1.3 プロトタイプ（第3期）試験

2003年10月から2005年3月にかけて仙石線あおば通・東塩釜間において、プロトタイプ試験を実施した。

このプロトタイプ試験は、実用化を意識し、長期間にわたるシステムの信頼性の検証・システム（装置）異常時の対応機能などについてデータを収集するとともに、実列車による夜間の走行試験（コントロールラン）を実施するなどして機能の確認を行った。

このプロトタイプ試験の結果を受け、社内・社外の有識者によるシステム評価委員会を開催し、システムの安全性や信頼性、実用化の可否などについて審議を受けた。

その結果、上記項目に対して実用化レベルにあるとの評価を得ることができ、現在の実用化の取組みの礎となっている。

4. 使用開始に向けた進捗状況

4.1 工事

車上装置は、車上制御装置（集中・非集中）、引き通し線、車上無線装置、速度発電機、表示装置などから構成されている。

現在、仙石線を営業列車として走行する205系電車19編成と、電気検測車E193系1編成の合計20編成の車上装置の製作を終え、車両への搭載工事を進めているところである。車上装置の機装工事は、2009年秋までにはすべて完了する予定である。

一方、地上装置の設置工事については、2008年2月に東北運輸局より工事計画の認可を頂き、仙石線での実用化に向けて工事を進めているところである。

地上工事は、対象区間内の4つの連動駅のうち、3駅分の連動装置の取替えのほか、1駅については連動装置の改修を行う工事を含んでいる。このほか、対象区間内の全踏切の改修工事も含んでいる。また、付帯する工事として、電源設備の増強工事、枕木交換、横断管路新設、機器室新設、空調設備の新設などがある。現在は、これらの工事を進めているところである。

ATACS地上装置の製作工事については、一部の機能を除き製作を終了しており、4.2章で記載する合同組合せ試験を終えている。2009年秋には組合せ試験で出た不具合の改修を完了し、再度組合せ試験によって機能確認を実施後に、現地の装置に投入する予定である。

4.2 合同組合せ試験

2009年3月から2009年5月までのおよそ3ヶ月にわたり、ATACSの車上・地上・無線の各装置を組合わせた合同組合せ試験をメーカ工場内において実施した。

本試験は、ATACSの特徴の一つである車上による位置検知方式を活用したもので、各装置を組合せ車上装置に位置情報を擬似的に入力することで、実際の線路上を走行しているかのような環境をシステム上で構築したものである。

この方法により、実車による現地での走行試験を行うことなく、各装置が単体で確認することが困難であった各装置間のインタフェース機能や列車の間隔制御機能、踏切制御機能、無線機能など、多くの機能の確認を工場内において行うことができた。

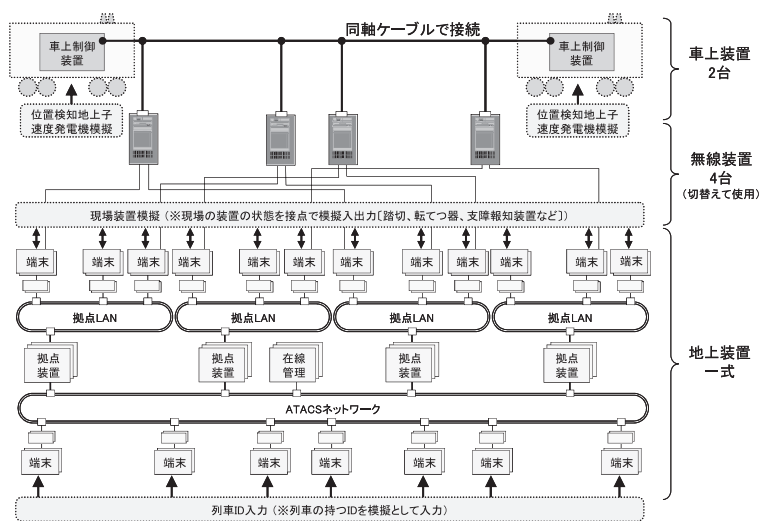


図11 組合せ試験の装置構成

装置構成は、車上装置は実際に搭載予定の装置1組と、予備装置1組の計2編成分を、地上装置はすべての実用化装置と現場の模擬装置を、無線装置は実用化装置2台と予備機、メーカーのハウスマシンの計4台を有線により地上装置・車上装置を接続する構成により、実際の環境に極めて近い装置構成での試験を行った。

合同組合せ試験の構成の概略を図11に示す。

5. 今後の予定

今後は、2010年度内の仙石線での使用開始に向け、各種試験・検査、訓練などを実施していく予定である。そのため、2010年度初から仙石線において、営業列車によるモニタラン試験、夜間に実列車を用いて機能確認を行うコントロールラン試験を約1年かけて実施する予定である。

またその1年後に予定している第2ステップ（主に踏切制御機能）の使用開始に向け取組みを進めていく。

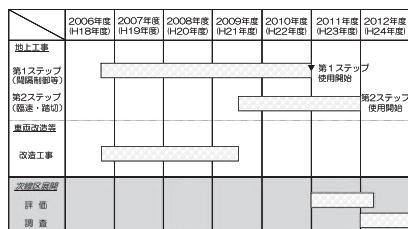


図12 今後の予定

6. 世界の動向

世界的にも無線を用いた列車制御システムの開発・導入が進められている。代表的なシステムとしては、

ERTMS (European Rail Traffic Management System) /ETCS (European Train Control System) やCBTC (Communication Based Train Control) がある。

近年では、ヨーロッパの一部の高速鉄道やニューヨーク地下鉄で実用化されているが、本格的なシステムとしては、仙石線でのATACSが世界初のシステムとなる。

7. おわりに

これまでATACSの開発には多くの関係者のご協力を頂き、現在実用化に向けて取組む段階に至っている。

ATACSの実用化は、その本来の目的である設備の軽減やメンテナンス性の向上などのほかにも、上記に示したように世界に向けた技術力のアピールとなり、日本の鉄道の革新に向けた効果も期待できる。

当社が今後の世界の鉄道システムをリードするうえでも、仙石線でのATACSの実用化は重要な役割をもっている。そのためにも今後とも皆様方のご協力をいただきつつ、実用化に向けて取組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 立石幸也、武子 淳ほか；JR EAST Technical Review No.12, Summer 2005, “無線による列車制御システム ATACSプロトタイプ試験結果”, pp.40～51
- 2) 立石幸也・馬場裕一・青柳繁晴・武子淳・齋藤信哉・鈴木康明ほか；「ATACSの開発とプロトタイプ試験」サイバネ, 2003.1
- 3) 今野信三；「JR 東日本ATACS システムにおける列車位置検知」鉄道車両と技術 No.137
- 4) 青柳繁晴・武内浩一・今野信三；「ATACSにおける稼働性確保のしくみについて」信頼性学会, 2007.5
- 5) 今野信三；「無線による列車制御と車上システム」鉄道車両工業 448号, 2008.10