# 新幹線用無絶縁 ATC 軌道回路の開発(現地試験報告)

[電] 中村 信幸 〇[電] 横田 倫一 [電] 須貝 孝博(鉄道·運輸機構)

[電] 松木 孝仁 [電] 佐藤 利之 鈴木 淳司 (JR 東日本)

[電] 福田光芳(鉄道総研)

[電] 本戸 慎治 [電] 大沼 晴彦(日立製作所)

Development of Jointless ATC Track Circuit for SHINKANSEN (Field Test Report)

Nobuyuki Nakamura, ORinichi Yokota, Takahiro Sugai, (JRTT) Takahito Matsuki, Toshiyuki Sato, Atushi Suzuki ,(JR East) Mitsuyoshi Fukuda ,(RTRI) Shinji Hondo, Haruhiko Onuma, (Hitachi)

A new type of jointless track circuit of ATP (Automatic Train Protection) system for Shinkansen network extending toward northern snowy area of Japan has been tested on track line of construction field. Valuable following results were obtained by the comparison of the test data from the field test and those of computer simulation. All the important performance factors of ATP track circuit such as minimum required receiver level of ATP signal, shunting resistance, etc are within a reasonable level. These results show that we can get the accuracy data from the computer simulation.

キーワード:新幹線, ATC 装置, ATC 軌道回路, 無絶縁軌道回路 Key Words: SHINKANSEN, ATC device, ATC track circuit, Jointless track circuit

## 1. はじめに

現在建設中の東北新幹線(八戸・新青森間)は総延長 81.8kmの路線であり、この区間は積雪が多く特に七戸〜新 青森間は多雪地域である.そのため、七戸〜新青森間では 線路上にスプリンクラーで温水を撒いて消雪する散水消雪 方式が採用されるが、積雪がある状態から散水を行うと軌 道回路の漏洩コンダクタンスが急激に増加することが、 種々の軌道回路影響調査にて判明している.この対策とし て低コストで軌道回路の漏洩コンダクタンスが大きい散水 消雪区間にも対応できる新幹線用無絶縁 ATC(Automatic Train Control:自動列車制御システム)軌道回路を開発した. これまでに、シミュレーションによる検討及び、擬似軌道 回路による試験を行い、地上装置を試作し、実際の新幹線 設備において実車走行試験を行った.今回、実用1号機の 地上装置を用いて八甲田トンネル内にて伝送特性検証試験 を行った.本発表ではこの試験結果について報告する.

#### 2. 開発経緯

#### 2. 1 前提条件

東北新幹線では、八戸までの区間で ATC 設備として DS-ATC(Digital communication & control for Shinkansen -ATC)システムが稼働しており、車両側もこれに対応する DS-ATC 車上装置が装備されている. そこで新青森延伸 時には地上システムから車両に伝送する ATC 波は, その 周波数,車上における信号受信強度,及び電文内容を DS-ATC システムと同じにして,新規延伸区間に乗り入 れるための車両改造を不要とした.

また、この区間は多雪地域であり、積雪時には温水を スプリンクラーにより散布して消雪する計画である、同 種の対策は既に上越新幹線に適用されているが、雪の溶 融過程でスノースラッシュ(雪が水分を含んでシャーベ ット状になったもの)が生じ、レール間の漏洩コンダクタ ンスが通常の約3倍の1.0S/km程度になる、このことは 上越新幹線での報告書や東北新幹線船岡消雪試験所(青 森市)での散水消雪試験で実測されている.これが軌道回 路条件として, 八戸までの既開業区間と異なる点であり, 新しい ATC システムはこの様な条件の下で,現行車両の ATC 波受信性能に対応する必要がある.なお、既存の上 越新幹線では、レール間に一定間隔でコンデンサを接続 し、伝送特性の改善と漏洩コンダクタンスの変化による レベル変動抑制を図った並列コンデンサ方式が採用され ている<sup>3)</sup>. しかし, 並列コンデンサ方式においては, コ ンデンサ付加等の初期コストの増加とレール近傍に設置 した多数のコンデンサの脱落による機能低下に対する保

全を必要とする.更に最近では,新幹線車両からの落雪 による現場機器の損傷が数多く報告されているので,現 場機器が少ないシステムを考慮する必要がある.



写真1 スノースラッシュの状況

またATCシステムに必須のTD(Train detection:列車検知) 機能には、軌道回路方式、車軸検知器方式、無線方式、交 差誘導線方式があるが、車両改造が不要であることと、従 来の実績を考慮し、軌道回路方式とした.なお、軌道回路 方式の実績として、最大漏洩コンダクタンスが海水の漏水 により3S/kmにも達すると想定された津軽海峡線の海底部 において、250mの軌道回路長で、無絶縁軌道回路方式によ り実現されたATC・1F形システム<sup>4</sup>が挙げられる.そこで、 スノースラッシュが発生する環境下の新幹線区間で、ATC 電文伝送機能と列車検知の機能を実現する軌道回路の検討 を行った.

## 2.2 軌道回路の構成

軌道回路の方式には、軌道境界にレール絶縁を入れる 有絶縁方式とレール絶縁を入れない無絶縁方式があり、 建設および保守コストに関してそれぞれ一長一短があ る.従来の無絶縁方式は、有絶縁方式に比べて建設コス トが高いため、新幹線の既開業区間は海底区間を除いて 有絶縁方式が適用されてきたと思われる.

しかし最近の軌道回路用送信器・受信器の一体化構成 方式など、コストダウン及び省スペース化技術の適用を 前提に建設コストを比較検討した結果、無絶縁軌道回路 方式を選択し且つ、一般区間(最大漏洩コンダクタンス 0.3S/km)で1,000m、散水消雪区間(同、1.0 S/km)で500m の軌道回路長が実現可能ならば、従来のATC 設備費と同 等以下の建設コストで済むという見通しが得られた。

これは、軌道回路境界設備としての接着レール絶縁(以下, IJ (Insulated Joint)と略記), インピーダンスボンド(以下, ZB と略記)が不要であり, ATC 伝送ケーブルが有絶縁軌道回路では2回線必要になるのに対して非共振式無絶縁軌道回路では1回線で済むことに起因している.

しかも無絶縁方式であれば,保守が必要なレール絶縁 部分を減らせるため,長期的にみて保守コストの低減も 期待できる.

2.3 シミュレーションによる検討

開発の第1段階では計算機シミュレーションにより,必要なATC 波伝送性能とTD 性能を上記の構成において得るための電気的仕様を検討し,実現性について見通しを得た.

今回,非共振式の無絶縁軌道回路としたため、どうして も他軌道回路に信号電流が流失してしまい、目標値である ATC 短絡電流 400mA を確保するのが困難であった.その ため本区間の最大ケーブル長 14km に合わせて MT1 (Matching Transfer:変成器)の励磁インピーダンスを調整 し、送信器出力端での電圧と電流の位相差を少なくするこ とで、ATC 短絡電流を確保できた.また、電気的特性をケ ーブル長 14km と等価にするため、ケーブル長が短い箇所 は擬似ケーブルを挿入する手法をとった.図1にシミュレ ーション軌道回路構成図を示す.

次に、開発の第2段階として各機器を試作し、回路素子 で構成した擬似軌道回路装置に対しATC波及びTD波を送 受信して実測を行い、シミュレーションと同等の性能が得 られることを確認した<sup>1)</sup>.



Tx:送信器, Rx:受信器

図1 シミュレーション軌道回路構成図

#### 2. 4 静的検証試験

既設の東北新幹線(盛岡・八戸間)いわて沼宮内駅の信号 通信機器室に試験装置を仮設した.レールとケーブルは実 物を使用し,東京方1.5~6.7kmの本線を使用して試験を行 った.この区間は、トンネル及び高架橋で構成され、有絶 縁軌道回路が5回路,総延長5,203mの区間であり、これ を試験用に1,000m無絶縁軌道回路3回路と500m前後の無 絶縁軌道回路4回路に構成した.

各種測定の結果,ATC 短絡電流及び TD 特性においてシ ミュレーションと同等の結果が得られた.

## 2.5 実車走行試験

静的検証試験に使用した試験装置を用い実際に列車を走 行させて検証するため、2007年3月に4日間、営業列車終 了後に実車走行試験を実施した.走行速度は、低速の 20km/h と高速の260km/h とした.これは、速度によって ATC 波踏込送信開始位置にばらつきが発生し、最悪の場合 一時的に停止信号が現示される懸念があるためである.実 車走行を実施した結果、短絡電流、ATC 波踏込送信、TD 波短絡減衰量,境界ずれなどはシミュレーション結果に対して良好な結果が得られた.

その結果, 無絶縁軌道回路においても 1,000m(0.3S/km) および 500m (1.0S/km) の制御が可能であると結論付ける ことができた.

## 3. 検証試験

#### 3.1 試験区間とシステム構成

実用1号機の試験区間として,現在建設中の東北新幹線 (八戸・新青森間)七戸駅信号通信機器室及び八甲田トンネ ル内635k833m~645k585mの上下22軌道回路にて伝送 特性検証試験を行った.七戸試験区間構成図を図2に示す. この区間は,標準の無絶縁軌道回路構成以外に機器室境界 に使用した片側有絶縁軌道回路やCPW,NW用ZBを有し ている.またレール破断時のレベル低下を測定するため, 試験用にレールの一部(B下40T,A上6T)を未溶接で施 工している.

これまでの検討結果に従い,送信器は ATC 出力 35W(45.5dBm), TD 出力 5W(37dBm)とし,励磁インピーダ ンスを調整した MT1 を用い,また擬似ケーブルにより電 気的にケーブル長を一定の14kmとしている.



## 3. 2 試験項目

(1) 列車非在線レベル測定

列車非在線時の TD 波の実効電力,インピーダンス,位 相を各機器の入力端,出力端で測定した.その結果シミュ レーションと同等の特性が得られていることを確認した. 図3に実効電力の実測値とシミュレーションの比較図を示 す。

(2) 短絡減衰量測定

軌道回路の在線判定閾値を確認するため,軌道回路を 0.1 Ωで短絡時の短絡減衰量を測定した.その結果,短絡減衰 量はシミュレーションと同等の特性が得られた.従ってシ ミュレーション実施時に設定した在線判定閾値(-10.5dB)で 問題ないことが確認できた.

(3) 境界ずれ測定

無絶縁軌道回路の軌道回路境界では両軌道回路の列車検 知範囲が重複している。軌道回路境界に列車が接近または



図3 TD信号レベルダイヤグラム(下33T)

離れる場合に送受電端より離れた位置で列車検知する. こ の最大距離を境界ずれという.境界ずれの測定方法は,対 象軌道回路の送受電端より隣接軌道回路側に 5m 間隔で順 次軌道回路を 0.1Ωで短絡して軌道回路が在線を検知しな くなる距離を確認した. 図4に境界ずれ(在線判定位置) 測定結果の概要,表1に測定結果を示す.図4では進入端打 込み点を 0m として描画している.表1より、進入側の境 界ずれ(在線判定位置)は最大 35m,進出側の境界ずれ(非 在線判定位置)は最大 45m となり,設計値の 100m 以内を 満足している.



表1 境界ずれ測定結果

軌道名	上り線				下り線	
	上 13T	上 14T	上 15T	上 16T	下 31丁	下 30T
進入側	20m	25m	25m	-	35m	30m
進出側	40m	30m	35m	35m	45m	-

(4) オーバーリーチ測定

TD の周波数は無絶縁軌道回路でのオーバーリーチを考 慮し、上下3波ずつ計6波で構成している.図2にTDの 周波数配置を示す.送信点から5軌道回路を挟んで同一周 波数の軌道回路受信点となる.その間のTD波の減衰が小 さいと不正な信号を受信する恐れがある.本システムでは TD波もデジタル電文によるIDを持つため不正動作をする ことはないが、信号の混合による電文の破壊のため、不正 に列車在線と判定する可能性がある.

今回の試験では機器故障時にオーバーリーチ量が増加す ることを考慮し、送着電施設を順次脱落させ、測定した. 測定の結果、オーバーリーチによる受信レベルの上昇は設 計値の 2.0dB 以内であった.

(5) ATC 短絡電流測定

軌道回路を 0.1 Ω で短絡時に短絡箇所での ATC 短絡電流 を確認した.送信器出力最大時の ATC 短絡電流は 621mA 以上確保できた.設計値は漏洩コンダクタンス 0.3S/km に おいて 400mA である.今回の測定では漏洩コンダクタン スを測定していないが,軌道回路状態は乾燥していたので, この数値は妥当と考える.

(6) 列車続行特性測定

先行列車と後続列車が最も接近した場合に、後続列車用

の ATC 電流が先行列車側に分流し,後続列車の ATC 電流 が減少することを考慮して実施した試験である.今回のシ ステムでは最も接近するのは1軌道回路の間隔で列車が続 行運転をした場合である.その結果,先行列車非在線時に 856mA で,先行列車在線時に 950mA となり,列車続行に より後続列車は ATC 短絡電流と ATC 電文において影響を 受けないことが確認できた.

(7) レール破断検知特性

この試験はレール破断時に軌道回路が在線状態となることを確認するものである. A 上 6T と B 下 40T の軌道中間 位置で模擬的にレールを破断して短絡減衰量を測定した. その結果, レール破断時には受信レベルが 25.7dB 以上減衰 し,軌道は在線状態となることが確認できた.

## 4. まとめ

これまで無絶縁 ATC 軌道回路は, 有絶縁軌道回路と比 較すると経済的に劣るとされ, 特殊個所を除き適用され なかった. しかし, 無絶縁軌道回路はレール周りの現場 機器が少なく保全性が良いことから, 新幹線用無絶縁 ATC 軌道回路の開発を行った. シミュレーションにより 貯雪・トンネル区間では軌道回路長 1,000m, 散水消雪区 間では 500m をそれぞれ制御できる見通しが得られた.

その後,無絶縁軌道回路システムを試作し,静的検証 試験・実車走行試験を経て,東北新幹線(八戸・新青森間) への導入を決定した.

今回,実用1号機を現在建設中の七戸駅信号通信機器室 及び八甲田トンネル内に設備して伝送特性検証試験を行っ た.各試験によりTDの信号レベルや短絡減衰量,境界ず れ,オーバーリーチ,ATC短絡電流がシミュレーションと 同等となり,設計値を十分に満足している結果となった. また,列車続行により後続列車が先行列車の影響を受けな いこと,レール破断時には軌道回路が正しく在線検知する ことが確認できた.

今後,現在建設中の東北新幹線(八戸・新青森間)に随時実 機を設備するが,実用化に向けての最終確認が取れた.ま た,本システムは,散水消雪区間に対応できるほか貯雪・ トンネル区間の性能も合わせて開発したため,今後北陸新 幹線などのJR 東日本仕様の新幹線車両が走行する整備新 幹線区間でも採用可能なシステムであると考えている.

#### 参考文献

1) 奥谷民雄,中村信幸,五十嵐得郎,松木孝仁,福田 光芳,渡辺郁夫,網谷憲晴,大沼晴彦:新幹線用無絶 縁 ATC 軌道回路の開発,電気学会研究会資料 交通・ 電気鉄道・ITS 合同研究会 TER-06-89/ITS-06-46,2006 2) 奥谷民雄,中村信幸,須貝孝博,仁分康雄,大内透, 松木孝仁,福田光芳,本戸慎治,大沼晴彦:新幹線用 無絶縁 ATC 軌道回路の開発(試験報告),電気学会研 究会資料 交通・電気鉄道研究会 TER-07-37/2007 3)加藤雄二,望月正廣:並列コンデンサによる軌道回 路安定対策について,信号保安,VOL.38,No.8 p.374-379,1983 4)直江正直:2.1 三線式軌道回路 ATC の特徴,信号保 安,VOL.42,No.10 p.520-524,1987