

1715 車上連動による列車制御システムの情報伝送における 列車無線回線の共用についての一検討

正 [電] ○北野 隆康 (鉄道総合技術研究所)

正 [電] 佐々木 達也 (鉄道総合技術研究所)

A Study on Train Radio Line Sharing for Train Control System with On-board Interlocking

Takayasu KITANO, Railway Technical Research Institute 2-8-38 Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo 185-8540, Japan

Tatsuya SASAKI, Railway Technical Research Institute 2-8-38 Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo 185-8540, Japan

In order to reduce the field equipment in train control system for secondary lines using radio communication, train radio channel is shared for the information transmission between central control system and on-board devices. As a case study, we apply a method of sharing train radio channel to on-board interlocking system which is currently under development.

Keywords : Train control system, on-board interlocking, radio communications, train radio

1. はじめに

近年、地上設備の簡易化を目的として、車上位置検知と無線情報伝送を用いた無線式列車制御システムの開発が進んでいる。地上装置と車上装置との間の情報伝送に無線を利用しており、無線伝送が重要な技術となっている。安定した情報伝送を行うには、専用の周波数帯を確保した上で専用の無線伝送装置を導入することが理想である。しかし、閑散線区を対象とすると、多くの専用装置の新規導入が困難であり、既存設備を活用して新規設備の導入を少なくすることが有効であると考えられる。

そこで、閑散線区向けに検討を進めている車上連動による列車制御システム¹⁾を対象に、地上設備と車上装置との間で既存の列車無線回線を利用して列車制御情報を伝送する方法を検討する。列車無線と列車制御情報の伝送に列車無線回線を使用すると、列車無線と列車制御で回線が競合することが課題になるが、閑散線区への適用に限定すると、運転本数と伝送される情報量との兼ね合いにより回線が競合する頻度を抑えることも可能であると考えられる。

列車無線の設備を共用するという観点では、列車無線として割り当てられている周波数帯の中で、列車無線で使用している周波数と互いに影響しない周波数を列車制御専用で使用することも考えられるが、ここでは、同じ周波数での共用を対象として検討する。

2. 無線を用いた列車制御における情報伝送

2.1 閑散線区向けシステムにおける情報伝送

列車制御システムで無線伝送を用いる場合、専用の無線回線と無線機を用いることが良いが、高価である。これに対して、汎用的な周波数帯であるISM帯の利用も考えられるが、他の機器からの干渉があることや電波出力の制約などから、列車制御に必要なエリアをカバーするには多くの無線機が必要となる。また、新規に導入する場合、無線機の設置と電源の確保などの工事が必要となる。閑散線区への導入を考慮すると、コスト面に課題がある。

閑散線区における無線式列車制御システムの情報伝送には次の特徴がある。

- ・ 運転本数や連動駅数が少ない場合、情報伝送の頻度も少なくなる
- ・ 運転時に余裕がある場合、伝送遅延を考慮してシステムを設計することが可能である
- ・ 閑散線区向けシステムで比較的多く用いられる駅間を1閉そくとする方式では、情報伝送が必要となるのは一部の箇所であり、常に情報伝送が必要になるとは限らない

上記の3つを踏まえると、列車無線回線と設備を共用して列車制御情報の伝送で使用することも可能であると考えられる。列車無線との間で回線と設備を共用すると、列車制御情報と列車無線が競合することが問題になるが、新規に導入する装置が少なくコストの削減が可能である。

本稿では、閑散線区に無線式列車制御システムを導入することを目的とし、閑散線区向けに検討を進めている車上連動による列車制御システムを例として、列車無線回線を共用する方法について検討する。なお、閑散線区ではCタイプ列車無線の運用が多いことから、Cタイプ列車無線への適用を前提とする。

2.2 車上連動による列車制御システムの情報伝送

車上連動による列車制御システム¹⁾では、連動に関する機能を車上に搭載することで、地上設備の簡易化を図っている。当システムでは、車上で走行位置を検知し、地上に設置された閉そく管理装置との間で無線による情報伝送を行い、次走行区間の閉そくの確保・解放要求を行う。そのため、地上の閉そく管理装置と車上装置との間の無線情報伝送は重要な要素である。

当システムにおける情報伝送の概要をFig. 1に示す。基本的には常時の情報伝送は不要であり、転てつ機など進路制御や閉そく確保を行う箇所のみで地上と車上間の情報伝送が必要となる。なお、車上装置から地上設備へ伝送される情報は、列車情報、地点情報、要求閉そく区間(鎖錠、解錠など)であり、地上設備から車上装置へ伝送される情報は、列車情報、進路情報、閉そく区間である¹⁾。

ここで、車上装置から地上設備に対して情報伝送を開

始する場合の処理の流れを Fig. 2 に示す。まず、車上から地上の中央装置へ列車 ID などの情報と通信要求を送信する (①)。これに対し中央装置では、情報伝送を行う相手の列車 ID と通信許可を返送する (②)。通信許可を受け取った列車は、中央装置との情報伝送 (③) を開始する。なお、前述の列車情報、地点情報、閉そく情報などの情報伝送は③で行われることになる。

本稿では、車上連動による列車制御システムを基に検討するが、車上連動以外の無線を用いた列車制御システムにも適用が可能であると考えられる。

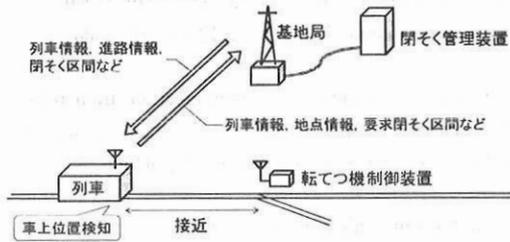


Fig. 1 Information transmission in on-board interlocking system.

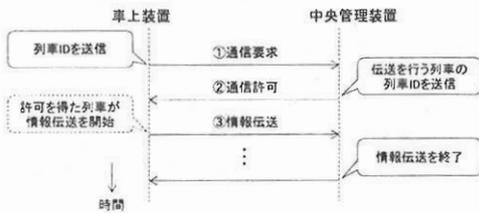


Fig. 2 Time chart of transmission.

3. 列車無線と列車制御情報伝送の共用

3.1 Cタイプ列車無線

Cタイプ列車無線²⁾では、400MHz帯の3種類の搬送波周波数が用意されている。それぞれ上りと下り用途で2波および、入換と指令呼出用途で1波が運用されている。通話方式はプレストーク(単信式)で、呼出しは音声により行っている(音声呼出し)。

列車制御情報の伝送で列車無線を共用する場合でも、上記の3つの周波数を使用する。なお、伝送中の列車制御情報 (Fig. 2②や③に相当) と車上からの通信要求 (Fig. 2①に相当) が同時に受信されることがないように、車上からの通信要求のみ入換・指令呼出用途の周波数を使用し、それ以外の情報伝送には上りあるいは下りの周波数を使用するとする。

3.2 無線回線共用時の課題

Cタイプ列車無線システムは、Fig. 3 に示すように、列車無線1ゾーンに対して1列車のみが通話可能であり、同一ゾーン内にある列車が回線を使用している間は他の列車が同時に使用できない。そのため、列車制御情報の伝送に列車無線回線を使用すると、他の列車が列車無線を使用している間は列車制御情報を伝送できない。さらに、必要な情報が伝送されないために閉そくの確保や進路制御ができず、列車の運転取扱いに支障する恐れがある。列車無線を共用する場合は、この課題を解決する必要があるが、線区や環境などの条件により発生頻度や対策が異なるため、あらゆる条件で最適である対策を定めることは難しい。

無線回線を共用する方法としては、列車無線と列車制

御の情報を多重化して同時に伝送する方法と、事前に優先するシステムを定めておき、その優先順に従って伝送することで競合を避ける方法の2つがあげられる。

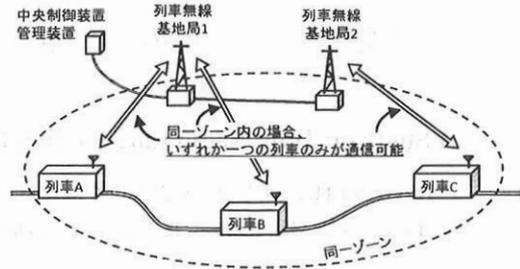


Fig. 3 Problem of sharing train radio channel.

3.3 情報の多重化による方法

列車無線と列車制御で互いに影響を及ぼさない変調方式を用いると、現行の列車無線に影響を与えないように列車制御情報の伝送機能を付加することが可能である。

Cタイプ列車無線で使用されている周波数変調は、周波数の大小に情報を割り当てており、電解強度や振幅が変動しても情報が劣化しにくいという長所がある。これに対して、振幅変調では、振幅の変化に情報を割り当てるため、周波数の変化に対して耐性がある。これを利用して、周波数変調の列車無線に対して列車制御情報に振幅変調を用いると、同時に伝送することが可能になると考えられる。しかし、振幅変調は無線端末が移動する場合に振幅の変動も大きくなることから、移動中の情報伝送には技術的課題が多い。

したがって、情報を多重化して伝送するには、要素技術の開発が必要であり、相応のコストが必要になる。

3.4 優先するシステムを指定して共用する方法

システムを構築する時点で優先するシステムを定めておき、その優先順に従って共用することで、同じ周波数での競合を避ける方法が考えられる。この方法では、回線を優先する方針を事前に定めておくことが必要である。

ここでは、列車無線を優先する場合と列車制御情報の伝送を優先する場合、および、先に接続されているシステムを優先させる場合を取り上げ、それぞれの特徴と課題について述べる。

3.4.1 列車無線を優先する場合

列車制御情報の伝送中に同一ゾーン内の他の列車から列車無線の電波が送信されると、列車制御情報の伝送を中断して列車無線を優先させる。この例を Fig. 4 に示す。同図では、列車Aが中央管理装置と情報を伝送している途中に、列車Bから列車無線が送信される時の処理を表している。中央管理装置が列車Bからの列車無線を検知すると、列車Aとの間で行っていた伝送を中断し、列車Bとの間で列車無線通話を行う。列車無線通話中は、列車Aは待機しており、通信許可が出た後に中央管理装置との間で通信を行う。

列車無線を優先させる場合、列車無線の使用中は同一ゾーン内で列車制御情報の伝送が不可能になるため、列車無線の使用時間が長くなると閉そくの確保や進路の構成ができず、運転取扱いに支障が出る。この対策として、列車無線が割り込む可能性を考慮した上で列車制御情報伝送の手順や通信開始のタイミングに余裕を持たせる、あるいは、列車無線の代替となる通話手段を用意し、緊急時のみ列車無線を使用するよう決めるなどの運用を

検討する必要がある。

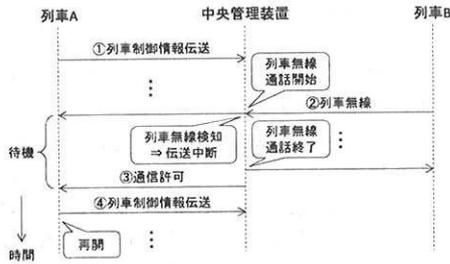


Fig. 4 Time chart of the case of train radio is given priority over train control transmission.

3.4.2 列車制御情報の伝送を優先する場合

列車制御情報の伝送を優先する場合は、列車制御情報の伝送中は、空線信号などにより回線が使用中であることを通知し、他の列車から列車無線を送信しないようにする。列車制御情報が伝送中であることを通知できない場合は、列車制御情報を伝送している途中で列車無線の電波を受信しても、列車制御情報の伝送が終了するまでは列車無線に応答させない。この例を Fig. 5 に示す。同図では、列車 A が中央装置に対して列車制御情報を伝送している途中に、別の列車 B から列車無線が送信される様子を示している。列車制御情報の伝送中に列車無線が送信されても情報伝送を継続し、情報伝送終了後に列車無線を開始することになる。

列車制御を優先させると、進路制御などの列車制御情報が滞りなく伝送できるため、運転取扱いに支障が出ることは少ないと考えられる。しかし、運転本数や連動駅数の関係で、列車無線が頻繁に中断されることがや接続できない可能性もあるため、列車無線による関係箇所との連絡が必要となる場合でも列車無線が使用できない可能性があることが課題である。関係箇所の通話が必要になることが予想される場合は、列車無線に代わる通話手段を事前に準備するなどの対策が必要である。

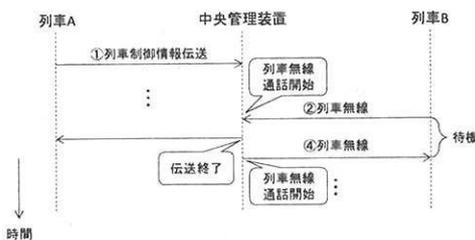


Fig. 5 Time chart of the case of train control transmission is given priority over train radio.

3.4.3 先に接続されているシステムが優先される場合

列車無線と列車制御情報を区別せず、先に接続しているシステムを優先して接続することも考えられる。つまり、既に列車無線あるいは列車制御情報の伝送のどちらかが回線を使用している場合は、別の列車が列車無線または列車制御情報の伝送を行うとしても、先に接続されている通信が終わるまでは次の通信を行わないというものである。

上記の場合、回線の優先制御に関する処理は少なくともすむが、優先されるシステムが状況次第で変化するため、あらかじめ競合の組合せとその際に支障する事象を整理した上で運転取扱いに支障が生じにくい構成にすることは必要である。

4. 列車制御情報伝送機能の追加

4.1 列車無線装置への情報伝送機能の追加

アナログ列車無線が運用されている線区に機能を追加する場合、次の3つの構成が考えられる。

- ・アナログ列車無線設備に、アナログ伝送方式の列車制御装置を追加する。
- ・アナログ列車無線設備に、デジタル伝送方式を用いた列車制御装置を追加する。
- ・列車無線をデジタル列車無線に更新し、さらに列車制御機能を追加する。

なお、今回はデジタル列車無線に更新した上で列車制御機能を追加する場合については対象としない。ただし、この場合は既存の ATACS³⁾などで検討・実装されているシステムと類似の構成になると考えられる。

4.2 Cタイプ列車無線における情報伝送

既存の列車無線回線を使用して情報伝送を行う技術として、Cタイプ列車無線を使用した文字情報伝送システム⁴⁾が提案されている。これは、列車無線回線を利用して文字情報を伝送する技術であるが、同様の手法により列車制御の情報伝送に応用することも可能である。ただし、文献⁴⁾は中央装置から車上装置への下りの伝送を主としており、列車制御システムのように車上装置から中央装置への上り伝送も重要であることが異なる。

4.3 地上設備への列車制御情報伝送機能の追加

既存の列車無線設備を活用して列車制御機能を追加する場合、Fig. 6 に示すような、既存の装置の間に新しく通信回線を制御する装置を接続し、列車無線と列車制御情報を制御することが必要になると考えられる。

なお、Fig. 6 における既存設備に関しては、文献²⁾の構成と表記に従っている。

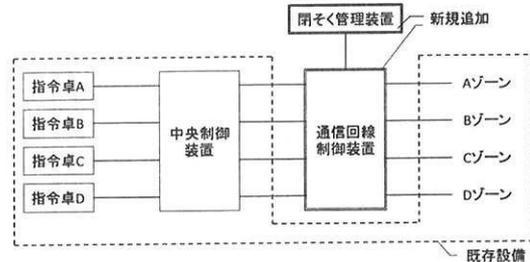


Fig. 6 Configuration of field equipment.

4.4 車上装置への機能追加

車上の列車無線装置に新しく列車制御情報の伝送機能を追加する場合、次の構成が考えられる。

- (1) 列車無線機能付きの車上装置に更新する場合
- (2) 既存装置の間に車上装置を接続する場合
- (3) 既存の装置から分岐する形で接続する場合

なお、いずれの構成でも、電波を受信する際に、用途が列車制御システムに関するものと列車無線のものを識別する機能が必要である。

(1) 列車無線機能付きの車上装置に更新する場合

既存の乗務員用の列車無線機を置き換える形で、列車無線に適合した列車無線通話機付きの装置に更新する場合の構成を Fig. 7 に示す。同図には、列車無線アンテナを共有している防護無線システムも併記している。

この構成では、列車無線装置の乗務員側のインタフェ

ースである車上装置を取り替えることになり、従来装置との互換性を考慮する必要がなくなる。そのため、地上と車上の間の伝送における電文や伝送方式などに関して制約はない。つまり、この構成では列車制御に適した伝送方式の採用が可能である。ただし、従来システムとの互換性がない場合は、当システムの車上装置が搭載された車両が、そのままシステム未導入の他線区に乗り入れることは困難になる。

また、列車無線と列車制御の両方が一つの装置に依存することになるため、新規に導入した装置が故障すると、列車制御の機能だけでなく列車無線も使用不能になる点が課題となる。

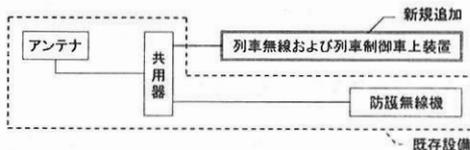


Fig. 7 Configuration of onboard equipment (New device which is composed of train control system and train radio system instead of traditional train radio devices).

(2) 既存装置の間に車上装置を接続する場合

既存のアンテナ共用器と列車無線装置の間に列車制御車上装置を接続する構成や、アンテナ共用器と既存の列車無線装置の間に回線切替機などを設置し、そこに列車制御車上装置を接続する構成が考えられる。この構成を Fig. 8 に示す。列車制御車上装置に注目すると(1)の構成と同じであり、列車制御に適した伝送方式を用いることが可能であるが、乗務員用の無線機など車上の列車無線装置に既存のものを使用することが異なる。既存の列車無線装置への互換性を考慮する必要があるため、(1)の構成に比べると制約が生じる。

本構成では、既存の列車無線装置への入出力の互換性を考慮する必要はあるが、既存の装置を使用できることが利点である。また、互換性を考慮した設計により、当該システムの車上装置を搭載した車両が、システム未導入の他の線区に乗り入れることも可能になる。

ただし、(1)の場合と同じく、列車制御車上装置が故障した場合は、同時に列車無線も使用不可になる点が課題である。

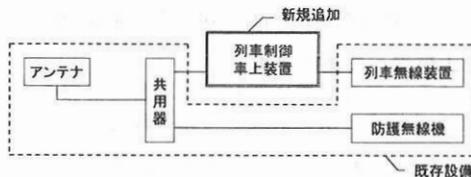


Fig. 8 Configuration of onboard equipment (Train control device is connected between antenna duplexer and train radio device).

(3) 既存の装置から分岐する形で接続する場合

既存の列車無線装置から分岐して列車制御車上装置を接続すると、列車無線と列車制御の各装置の接続や動作が独立となる構成が可能である。この例が Fig. 9 である。この構成は、(1)や(2)の場合とは異なり、列車制御車上装置が故障しても列車無線による通話が可能である。

しかし、既存の列車無線装置には受信した電波を用途別に振り分ける機構が搭載されていないため、列車無線装置でも列車制御の情報が受信されることになる。その

ため、地上-車上間での伝送において、列車無線に影響を及ぼさない形式の列車制御情報を使用する必要がある。また、同じ列車内でも列車無線装置と列車制御車上装置が同時に伝送を行う可能性があり、同じ列車内で伝送情報の衝突を防止する機能が必要である。

ここでは、車上の列車無線装置に列車制御に関する機能を追加する構成について3つ述べたが、それぞれに特徴があり、線区や環境、車両構造などを考慮して最適な構成を選択することになる。しかし、(3)の既存の列車無線装置から分岐して接続する構成については、電文・伝送方式に制約がある上に、列車制御車上装置でも列車制御情報を抽出する機能が必要になり、(2)の列車制御車上装置と機能的には差がないことから、(1)か(2)の構成で実現するのが妥当であると考えられる。

また当システムを、使用する編成が固定されているような線区に導入する場合は(1)の構成が容易であるが、導入する線区に様々な車両が乗り入れることが見込まれる場合などは、(2)の構成が妥当であると考えられる。今後、(2)の構成を深度化したい。

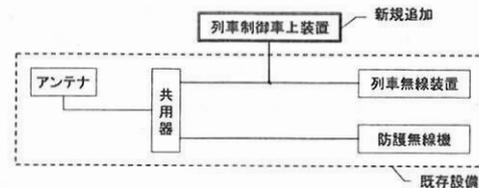


Fig. 9 Configuration of on-board equipment (Train control device is connected independently of train radio devices).

5. まとめ

車上連動による列車制御システムを例として、閑散線区向けに開発を進めている無線式列車制御システムにおける情報伝送に、既存の列車無線設備に列車制御用途の伝送機能を追加して、回線を共用する方法を検討した。

列車無線回線を共用すると、新規に追加する装置が少なくなることが利点であるが、回線が競合して必要な時に列車無線が使用できない、あるいは、列車制御情報を伝送できずに運転取扱いに支障が生じる可能性があることが課題になる。ただし、閑散線区に限定すると、常時伝送する必要がないことから、事前に優先度などを定めておくことで共用できる可能性がある。なお、具体的な方式検討のためには、様々な条件下で通信回線などのアベイラビリティを試算するケーススタディが必要である。具体的な構成については今後検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 佐々木達也, 北野隆康: 車上連動による進路制御の基礎検討, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 通号 49, 2012 年
- 2) 列車無線, 鉄道技術者のための電気概論 通信シリーズ 4, 日本鉄道電気技術協会, 2002
- 3) 森井明, 今野信三, 中山恒, 馬場裕一, 黒岩篤, 伊藤徹理: 無線を用いた新しい列車制御システムの導入, 鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 通号 46, 2009 年 11 月
- 4) 中島和幸, 濱田高史: C タイプ列車無線による文字データ伝送システムの構築, 鉄道と電気技術, 17 巻 1 号, pp.39-43, 2006