資料199-３-１

情報通信審議会　情報通信技術分科会
陸上無線通信委員会　報告

諮問第2033号「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち「300MHz帯無線式列車制御システムに係る技術的条件」について

概要

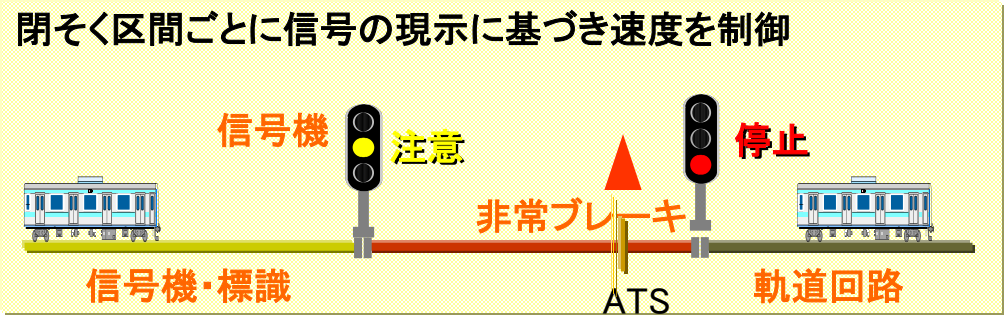
令和8年10月28日

検討の背景等

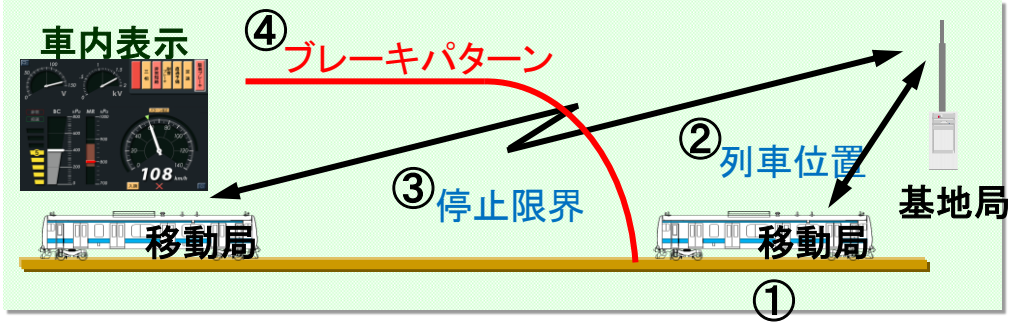
背景

- 鉄道分野では、列車の衝突を防ぐため、列車を一定以上の間隔に保つ「閉そく」等の方法により、安全を確保することが求められている。
- 従来、線路に電流を流し車両の存在を検知する軌道回路、信号機や自動列車停止装置（ATS）等から構成される「固定閉そく」が主に利用されている。
- 「固定閉そく」では、軌道回路を構成する線路長や信号機の設置間隔に応じて閉そく区間が固定されることから運行の柔軟性に欠けること、そして、軌道回路、信号機やATS等、多数の地上設備が必要であり設備の管理コストがかかること等の課題が顕在化。
- これらの課題に対応するため、一部の路線において無線式列車制御システムを用いた「移動閉そく」の導入が進みつつある。
- 今後、京浜東北線や山手線での導入が計画され、利用の大幅な増加が見込まれる300MHz帯無線式列車制御システムに係る技術的条件について検討を行う。

固定閉そくのイメージ



移動閉そくのイメージ



移動閉そくによる効果

- 地上設備の簡素化
- 障害発生時等における運行の柔軟性や安定性の向上
- 列車間隔の短縮による輸送力の向上

300MHz帯無線式列車制御システムの適用状況と今後の展望

適用状況と今後の展望

- 2011年に仙石線、2017年に埼京線で使用開始。
- 京浜東北線、山手線で導入が決定している他、**複数の鉄道事業者が導入に関心を示している状況**。

鉄道事業の重要課題
人口減少社会を迎えて
運転士・乗務員・保守作業員等の
確保が困難

無線式列車制御導入

自動運転実現／導入

ATACS首都圏標準化
自動運転の基盤確立

現在

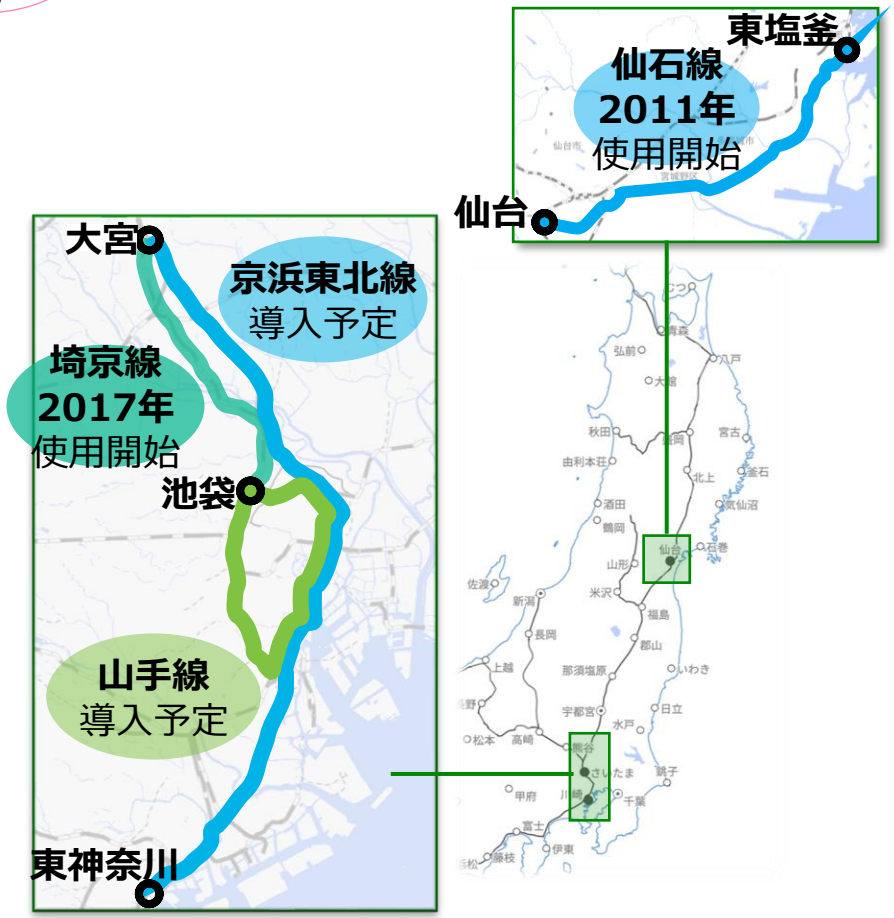
京浜東北線・山手線
将来の自動運転実現を見越した機能を実装

埼京線 2017年11月～
仙石線システムを首都圏で実用化

仙石線 2011年10月～
無線を活用した軌道回路レスシステムの実現

1995年よりJR東日本で開発に着手
1987年　鉄道総研CARAT
1985年　国鉄で開発開始

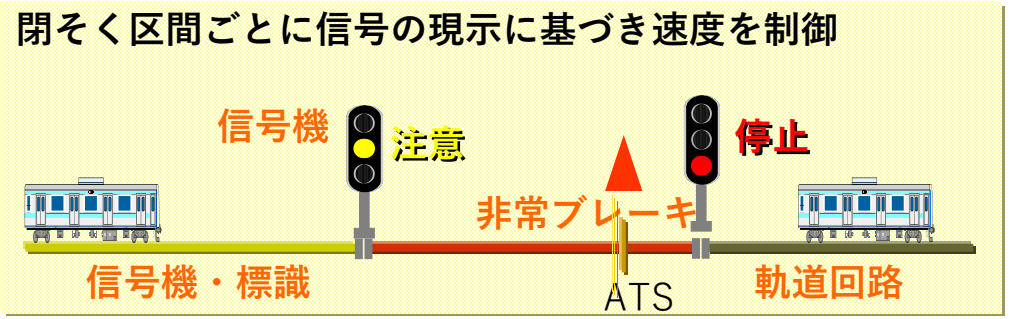
JR東日本ATACS導入区間

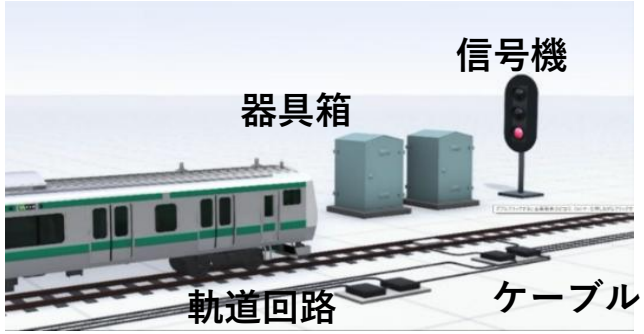


300MHz帯無線式列車制御システムについて

従来の列車制御システム

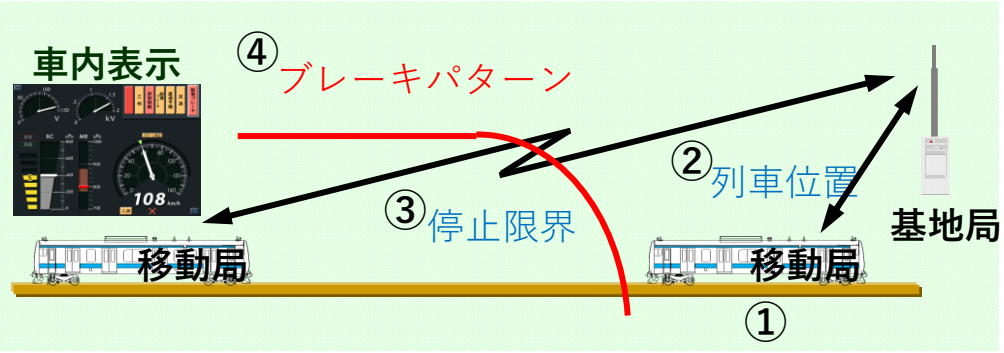
■ 従来の列車制御システムは、レールに電流を流して列車が在線する位置を検知し（軌道回路）、信号機によって後続列車の運転士に対して走行可能な区間と速度を指示する方式。線路の周りに軌道回路、地上信号機、ATS、ケーブル類等の**多くの地上設備が必要**。

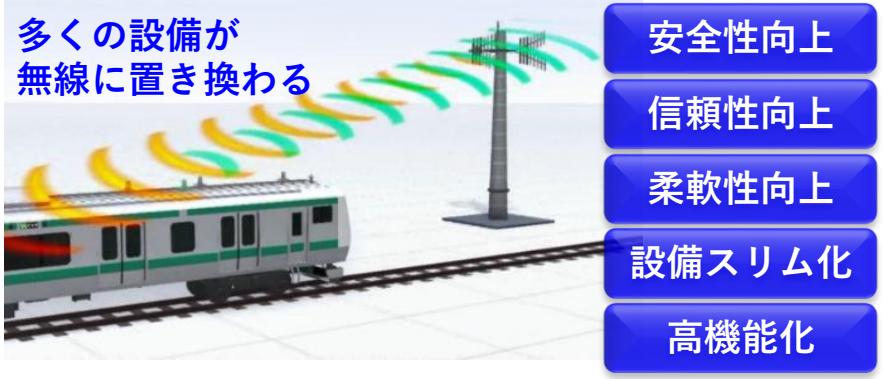




無線式列車制御システム

■ 無線式列車制御システムは、列車位置検知を軌道回路によらずに、走行する列車自らが在線する位置を検知、無線を使い、地車間で双方向に情報通信を行うことで列車を制御。**安全性向上、安定的な列車運行**が可能。





①：車上制御装置は、地上子と速度センサにより自身の列車位置を算出
②：車上制御装置は、**無線（移動局→基地局）を介して**『列車位置』を地上制御装置（拠点装置）へ送信
③：地上制御装置は、**無線（基地局→移動局）を介して** 列車位置から作成した『停止限界』を後続列車へ送信
④：車上制御装置は、ブレーキパターンを作成、車内表示に表示し、運転手が操縦。

検討の目的

将来の自動運転・ドライバレス運転に対応するために、無線の変調方式を**新方式**（相対空間マッピング変調方式）に変更。

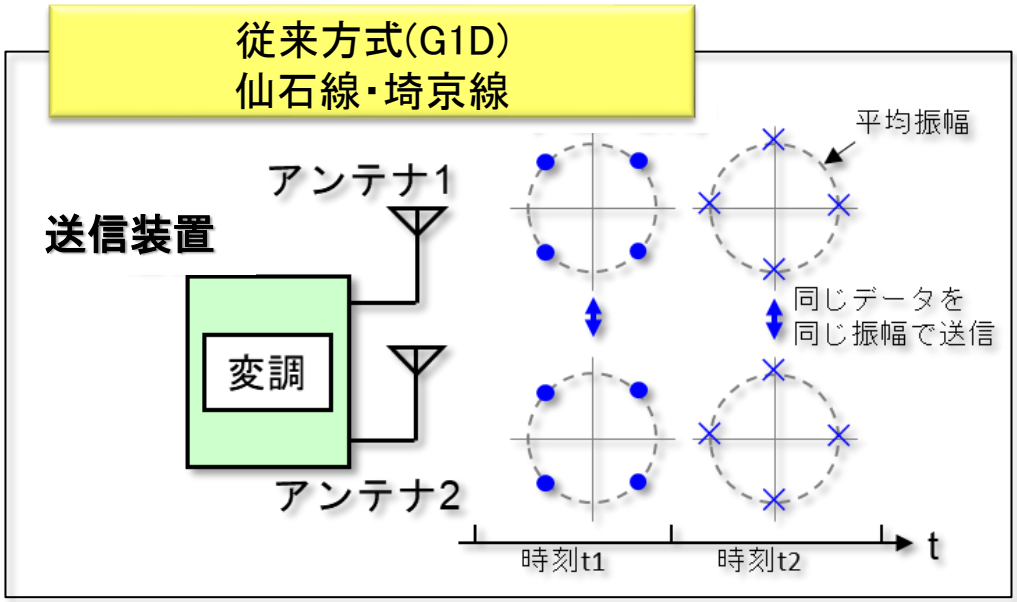
- 新方式の型式は、D1Dが適用される。D1Dは、**技術適合証明の対象外**のため、現状、各無線局の免許について、個別に免許を受けている。
- 今後の列車無線システムの展開（無線局の量産）に向けて、技術基準を策定し、技術適合証明の対象とすることで、**免許手続きの効率化**（落成検査不要など）を図る。

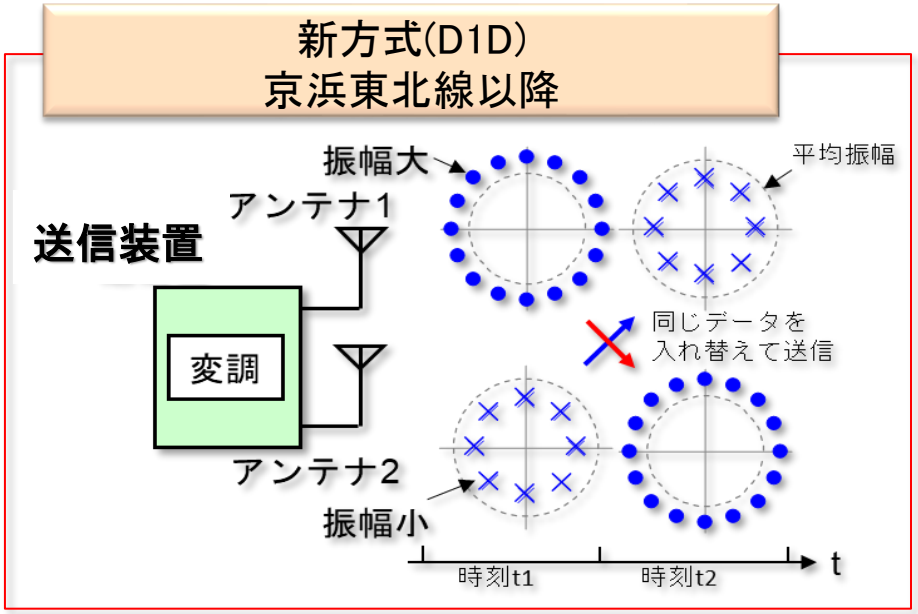
項目			列車制御システムの技術的条件	
			従来方式	新方式
一般的条件	通信方式		同報通信方式、双方向通信方式	
	変調方式		位相変調(G1D)	振幅位相変調(D1D)
	使用周波数帯		(1) 移動局：330MHz帯　(2) 基地局：350MHz帯	
	無線チャネル数		(1) 移動局：6.25kHz間隔の24波　(2) 基地局：6.25kHz間隔の24波 ※関東圏・近畿圏を対象に、奥村－秦モデルをもとに 基地局配置と周波数割振を検討した結果で必要なチャネル数	
無線設備の技術的条件	送信装置	周波数の許容偏差	(1) 移動局：±0.9ppm以内(基地局周波数追従精度±0.7ppm以内) (2) 基地局：±0.9ppm以内(基地局周波数追従システム時±0.2ppm以内)	
		空中線電力	(1) 移動局：1W以下　(2) 基地局：1W、3W	
		空中線電力の許容偏差	+20%～-50%	
		占有周波数帯幅の許容値	5.8kHz	
		スプリアス発射及び不要発射の強度の許容値	2.5μW以下又は基本周波数の平均電力よりも60dB以上低い値、 ただし、１W以下の無線局は25μW以下	
		隣接チャネル漏えい電力の許容値	搬送波から6.25kHz離れた周波数の±2.4kHzの帯域内に輻射される電力が、1W以下の場合は搬送波より45dB以上低い値、1Wを超える場合は32μW以下又は搬送波より55dB以上低い値	
	受信装置		副次的に発する電波等の限度については、4nW 以下とする。	

新方式について

- 京浜東北線以降、新方式として『**相対空間マッピング変調方式**』を採用。
  （仙石線・埼京線で使用されている従来方式はπ/4シフトQPSKで、一度に2bitの信号を伝送）
- 相対空間マッピング変調は、振幅の異なる８PSK(3bit)と16PSK(4bit)の信号を送信ダイバシチアンテナ毎に割り当てて伝送。そして、割り当てるアンテナを入れ替えて同じ内容を再度伝送する。

⇒ 2回で計8bitの信号を伝送。実質、**1度に4bitの信号を伝送**し、従来からの伝送容量2倍化を実現。
同振幅の**16PSKとの比較で信号点間隔を広くできる**ため、雑音耐性が高い。





300MHz帯の周波数使用状況等

周波数使用状況等

- 現行の列車制御システム
  - 330MHz帯・350MHz帯の周波数分割多重（FDD）方式
  - 狭帯域デジタル通信方式の無線局として技術基準適合証明及び免許を受けて運用
    → 今後の導入に際して高度化するため、技術的条件を検討
- 下側隣接は50kHz以上の離調、上側隣接は鉄道用（列車無線）として利用

330MHz帯

350MHz帯

必要周波数の考え方

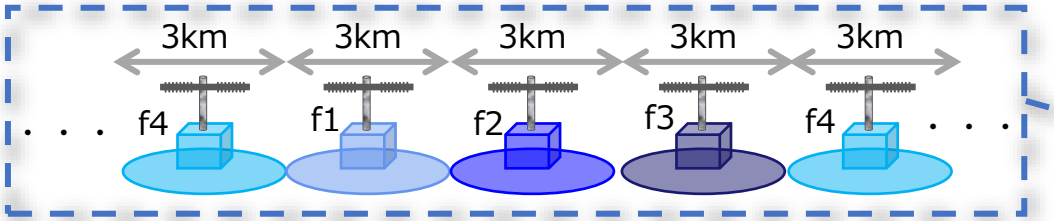
周波数繰り返し

- 基本※、1基地局の無線エリアは3km、**1線区に4波を割り当てて繰り返し使用**。
- 干渉が考えられない隔地の線区同士は、同一周波数を割当て。（例：下右図の線区Aと線区G）

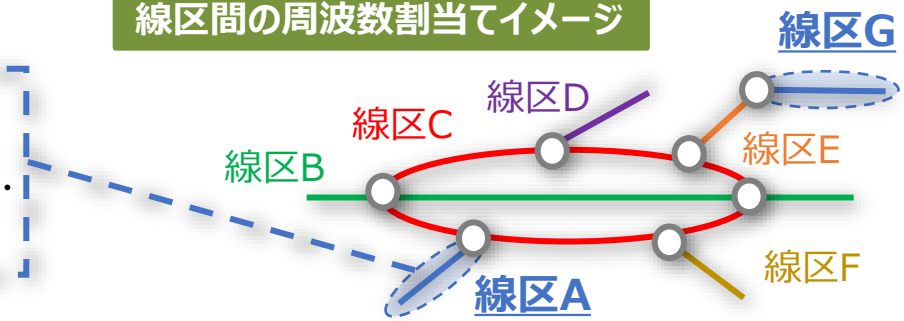
☞ **導入予定線区**（2020年検討時点）**を24波でカバー**。

※湾曲した線形など干渉対策で5周波以上使用する場合もあり

線区内の周波数繰り返しイメージ



線区間の周波数割当てイメージ

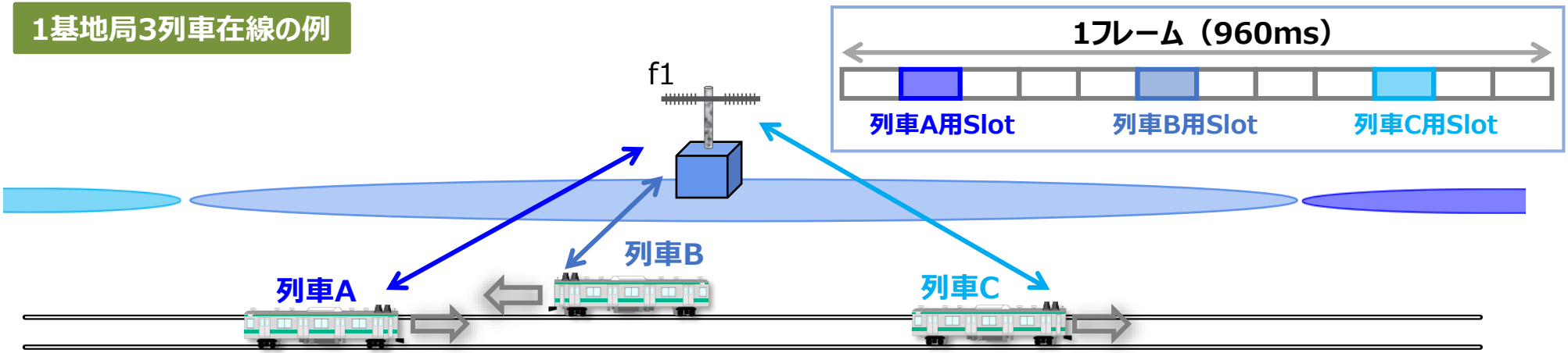


多元接続

- 各基地局、1フレーム（960ms）を12のタイムスロットに分割し、**移動局ごとに使用スロットを割り当て（TDMA）**。

☞ 1基地局あたり最大12編成の列車と通信ができ、京浜・山手などの高密度線区でも支障ないことを確認済み。

1基地局3列車在線の例



周波数共用に関する検討

周波数共用の考え方

■ 300MHz帯無線式列車制御システム及び隣接する列車無線との間での**同一周波数干渉、隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧**について、共用検討を行う。

●鉄道用無線システムの諸元

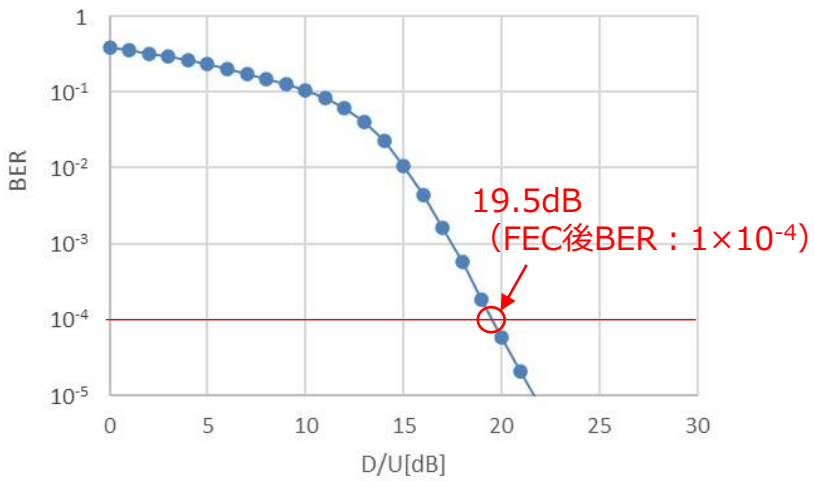
項目＼システム	列車無線システム	列車制御システム（従来方式）	列車制御システム（新方式）
変調方式	位相変調（G1D）	位相変調（G1D）	振幅位相変調（D1D）
使用周波数帯	① 移動局：330MHz帯　② 基地局：350MHz帯		
チャネル間隔	6.25kHz間隔22波	6.25kHz間隔24波	
空中線電力	① 移動局：1W以下 ② 基地局：4W	① 移動局：1W以下 ② 基地局：1W、3W	
占有周波数帯幅	5.8kHz		
隣接チャネル漏えい電力	1W以下：搬送波より45dB以上低い値 1W超：32μW以下又は搬送波より55dB以上低い値		

●共用検討の組合せ　※同一周波数干渉は、最も干渉影響を受ける新方式同士の場合で検討する。

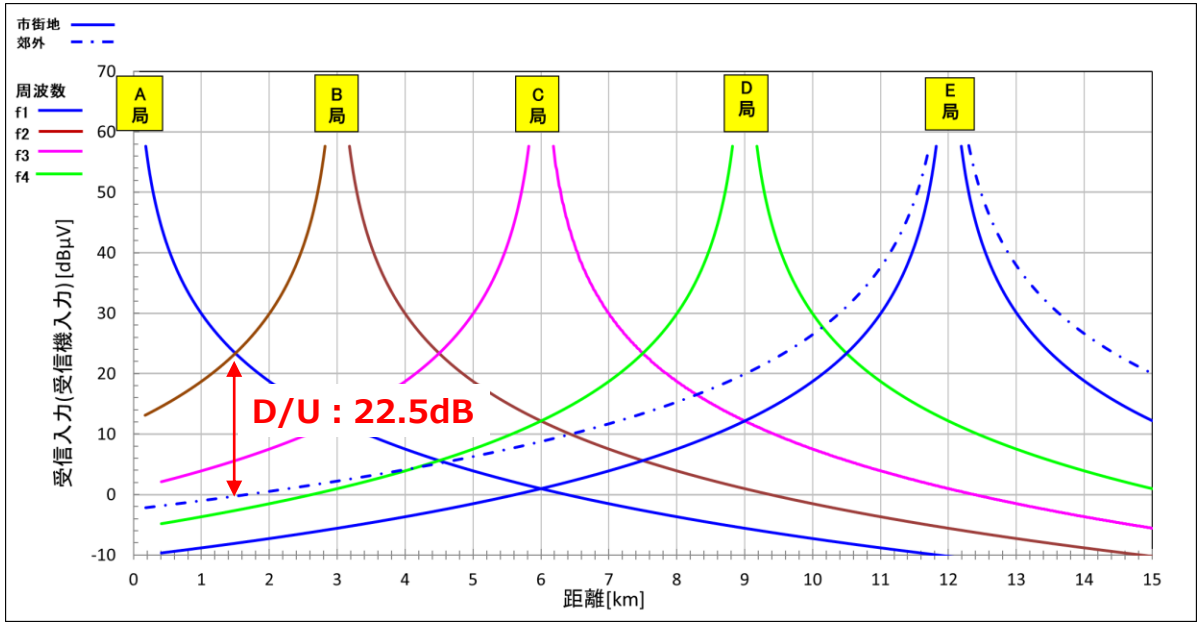
与干渉側＼被干渉側	列車制御システム（新方式）	列車制御システム（従来方式）	列車無線システム
列車制御システム（新方式）	① 同一周波数干渉※ ② 隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧	① 同一周波数干渉※ ② 隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧	② 隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧
列車制御システム（従来方式）	① 同一周波数干渉※ ② 隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧	現行基準につき省略	現行基準につき省略
列車無線システム	② 隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧	現行基準につき省略	現行基準につき省略

同一周波数干渉

- 列車制御システムは、**誤り訂正後のBER特性1×10^{-4}**にて設計
  → **同一チャネル周波数共用条件を満たすD/Uは19.5dB**（左図）
- 基地局間距離3kmで4周波繰り返しの条件において、同一チャネルを使用するA局から1.5kmの距離で、E局間（離隔距離12km）とのD/Uは22.5dB → **19.5dB以上を確保できており共用可能**（右図）



BER特性



電波伝搬特性（秦式）

新方式：相対空間マッピング変調
希望波（D）：新方式　　妨害波（U）：新方式
FEC後BER特性
送信：2ダイバーシチ　　受信：2ダイバーシチ

【諸元】
基地局間隔：基本3km
周波数：350MHz帯
送信出力：3W
地上アンテナ高：15m
車上アンテナ高：4m

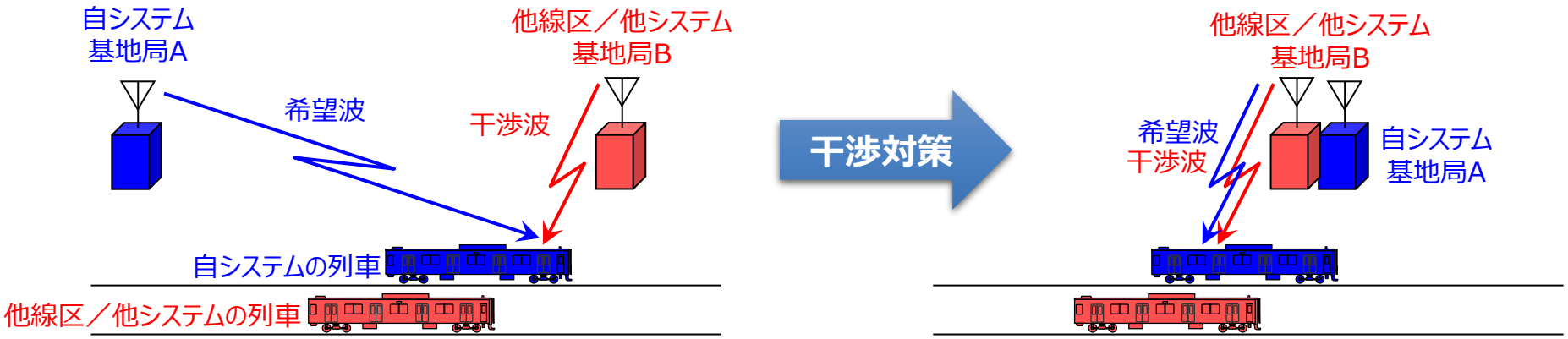
A－E局：市街地（実線）
E局：郊外も追加（点線）

※ 秦式は、地上アンテナ高30m以上が適用範囲であるが、実測結果を踏まえて本検討では秦式を使用している。

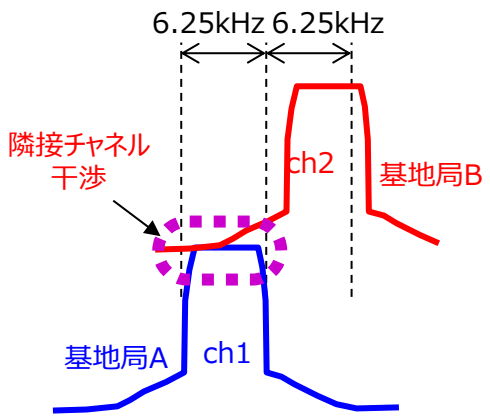
隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧（基地局から移動局）

基地局から移動局への干渉

- 移動局に対して、自システムの基地局が遠くにあり、他線区・他システムの基地局が近くにある場合、**希望波と干渉波の受信レベルの差により、隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧による影響**を受ける。
- 並走区間や交差する箇所では、**基地局の置局配置をそろえることで、干渉の影響を回避**。

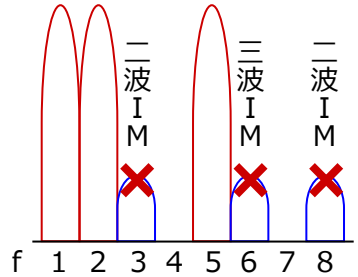


隣接チャネル干渉



隣接チャネルの漏洩電力により影響を受ける

相互変調



基地局A→Bに影響するIM波の計算

二波IM（2fa－fb）

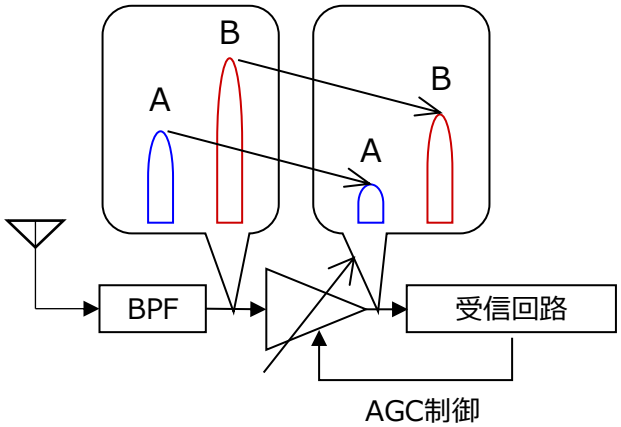
2×f2-f1=f3　2×f5-f2=f8

三波IM（fa+fb-fc）

f2+f5-f1=f6

相互変調により影響を受ける

感度抑圧

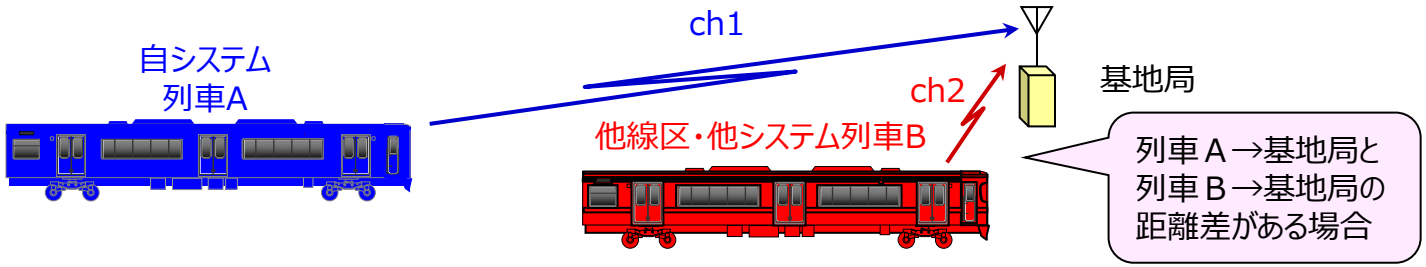


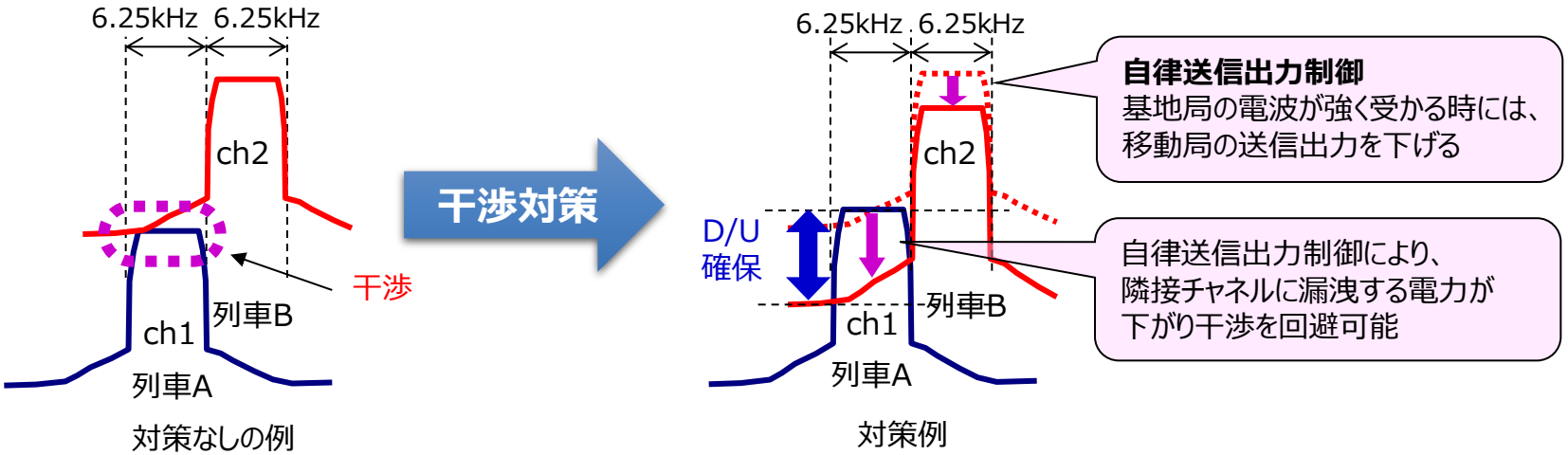
自動利得制御により感度抑圧の影響を受ける

隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧（移動局から基地局）

移動局から基地局への干渉

- 基地局に対して、自システムの移動局が遠くにあり、他線区・他システムの移動局が近くにある場合、**希望波と干渉波の受信レベルの差により、隣接チャネル干渉、相互変調、感度抑圧による影響**を受ける。
- 移動局側で基地局の電波が強く受かる場合には、**移動局において送信出力を下げることで、干渉の影響を回避**。





技術的条件（案）

■ 一般的条件

通信方式	規定しない
変調方式	規定しない
電波の型式	規定しない
使用周波数帯	移動局：330MHz帯 基地局：350MHz帯
無線チャネル	移動局：335.8875MHzから336.03125MHzの6.25kHz間隔24波 基地局：352.3875MHzから352.53125MHzの6.25kHz間隔24波

■ 無線設備の技術的条件

周波数の許容偏差	基地局　：±0.9ppm（基準局の場合は、±0.2ppm） 移動局（1W超）　：±0.9ppm（基準局に対する周波数追従機能を使用する場合は、±0.7＋A※ ppm） 移動局（1W以下）：±1.5ppm（基準局に対する周波数追従機能を使用する場合は、±0.7＋A※ ppm） ※Aは、基準局の周波数の偏差とする。
空中線電力	規定しない
空中線電力の許容偏差	＋20%～－50%
占有周波数帯幅の許容値	5.8kHz
スプリアス発射及び不要発射の強度の許容値	2.5μW以下又は基本周波数の平均電力よりも60dB以上低い値 ただし、1W以下の無線局は25μW以下
隣接チャネル漏えい電力の許容値	搬送波から6.25kHz離れた周波数の±2.4kHzの帯域内に輻射される電力が、1W以下の場合は搬送波より45dB以上低い値、1Wを超える場合は32μW以下又は搬送波より55dB以上低い値
副次的に発射する電波等の限度	4nW以下