

「ITS無線路側機の面的な整備に向けた調査研究」
報告書

平成31年3月

オムロンソーシアルソリューションズ株式会社

目 次

1.	はじめに	1
1.1	目的	1
1.2	本事業の位置づけ	1
1.3	調査研究の方法	1
1.3.1	調査研究体制	1
1.3.2	実施概要	2
1.3.3	実施スケジュール	2
2.	実証環境整備に向けたタイムスロット割当て設計	4
2.1	タイムスロット割当ての前提条件	4
2.1.1	対象交差点	4
2.1.2	使用タイムスロット数の要件	4
2.1.3	要求される通信エリア	7
2.1.4	前提条件まとめ	7
2.2	タイムスロット割当ての考え方	8
2.2.1	所要DURの設定	9
2.2.2	空間伝搬損失の距離特性算出	10
2.2.3	離隔距離算出	12
2.2.4	タイムスロットペア割当て検討	12
3.	実証環境整備に向けたタイムスロット割当て実地検証	14
3.1	実地検証計画	14
3.1.1	実験目的	14
3.1.2	実験時のシステム構成	14
3.1.3	試験条件	14
3.1.4	検証方法	15
3.1.5	実験日	26
3.2	基礎データ取得実験結果	27
3.2.1	実施結果概要	27
3.2.2	実験結果詳細	27
3.3	広域実験結果	34
3.3.1	実験結果概要	34
3.3.2	実験結果詳細	34
3.3.3	タイムスロットペア割当ての変更	35
4.	検討結果を踏まえたタイムスロット割当て方法の確立	37
4.1	タイムスロット割当て条件の整理	37
4.1.1	格子上道路ネットワークにおけるタイムスロット割当て検討	37
4.1.2	混信1の配置における考察	38

4.1.3	混信2の配置における考察	39
4.1.4	混信3の割当てにおける考察	40
4.2	タイムスロット割当て方法案	42
4.2.1	作業フロー案	42
4.2.2	作業内容	43
4.3	非実験対象交差点におけるタイムスロットペア割当て	44
4.3.1	お台場地区	44
4.3.2	羽田地区	45

1. はじめに

1.1 目的

安全運転支援・自動運転システムには、①交通事故の低減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減、④高齢者等の移動支援、⑤運転の快適性の向上という効果が期待され、特に超高齢者社会を迎える中「世界一安全」な道路交通社会を目指す我が国にとって、安全運転支援・自動運転システムを早期に実用化し、普及させていくことは極めて重要である。

安全運転支援・自動運転システムの実用化に当たっては、自動車が信号情報をリアルタイムに認識し、制御を行う仕組みが不可欠である。そこで、路側システムから自動車へ提供する信号情報と、自動車の自律系システムの連携等を行うことが必要となっているところ、路側システムの一つであるITS無線路側機を面的に整備した場合における電波の干渉等が懸念されている。本研究においては、ITS無線路側機を面的に整備・運用するために必要な技術的検討を行い、実運用に向けた提言を行う。

1.2 本事業の位置づけ

本事業は、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システムにおいて実施するものである。

1.3 調査研究の方法

1.3.1 調査研究体制

図 1.1 に本調査研究の実施体制を示す。

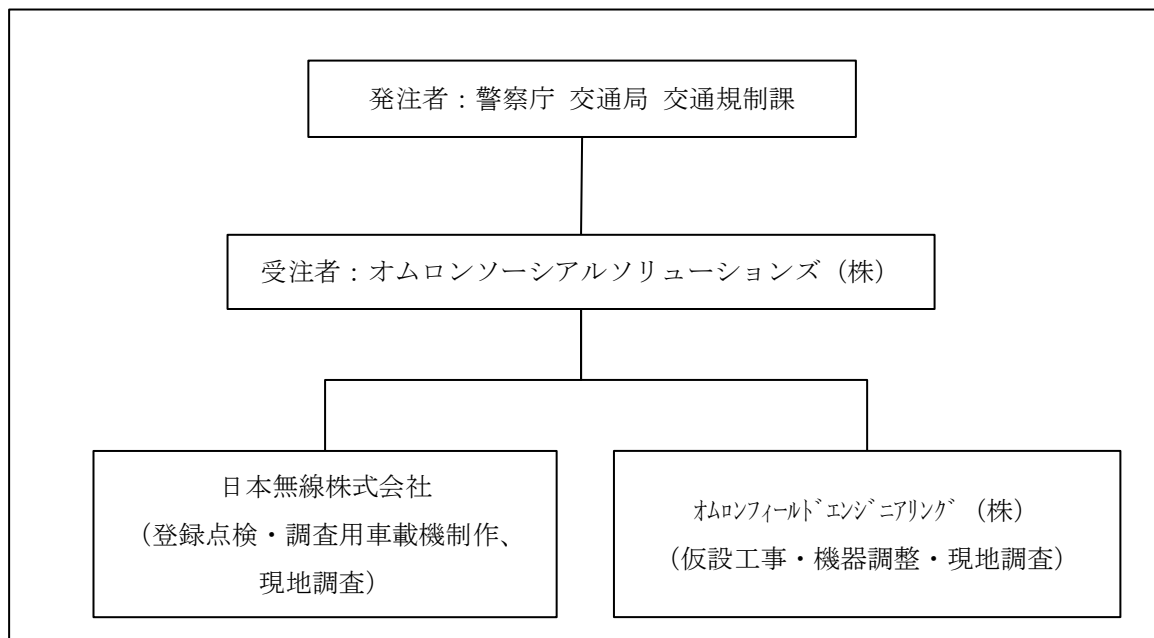


図 1.1 調査研究の実施体制

1.3.2 実施概要

(1) 実証環境整備に向けたタイムスロット割当ての検討

(a) タイムスロット割当ての設計

ITS 無線路側機が送信可能なタイムスロット数は「ARIB STD-T107」で 16 と規定されており、混信の可能性がある地点に電波が到達する各 I T S 無線路側機に対して、各 I T S 無線路側機が送信するタイムスロットが重複しないように割り当てる必要がある。

平成 31 年度に整備を予定している場所において、I T S 無線路側機 18 式を整備した場合のタイムスロット割当て案を設計する。タイムスロット割当て方法を検討するために要件となる各 I T S 無線路側機が使用するタイムスロット数の要件を検討する。近傍の交差点において、同一タイムスロットを割当てた場合の必要な離隔距離について検討する。

検討したタイムスロットの割当て方法に従って、各 I T S 無線路側機にタイムスロットを割り当てる。

(b) 実地検証

(a)の設計に基づき、各 I T S 無線路側機の設定を行い、平成 31 年度に整備を予定している場所に仮設し、電波を発射して検証を行う。同一タイムスロットを用いる I T S 無線路側機間での混信があった場合でも自動運転に必要される通信エリアでは正しく受信できることを確認し、混信エリアでの動作を確認する。

実地検証に当たっては、既設 I T S 無線路側機の現地調査を行い、既設路側機へ影響が出ない検証方法を検討し実地検証を実施する。

(2) 検討結果を踏まえたタイムスロット割当て方法の確立

(a) タイムスロット割当て条件の整理

面的に I T S 無線路側機を整備する際のタイムスロット割当て方法を検討するための必要な情報（設置環境の特性、I T S 無線路側機関係の位置関係等）を整理し、実地測定に基づいて評価する。具体的には同じタイムスロットを用いる I T S 無線路側機間の距離が短い場合の影響について、実地検証結果を用いて考察する。

(b) タイムスロット割当て方法案

(1)と上記の結果を踏まえ、面的に I T S 無線路側機を整備する際のタイムスロット割当てに係る方法案を作成する。

1.3.3 実施スケジュール

本調査研究の実施スケジュールを表 1.1 に示す。実地検証にむけた検討、及び準備作業が必要であるため、実地検証を主にスケジュールを作成した。

表 1.1 調査研究・実施スケジュール

	1月	2月	3月
現地調査			
タイムスロット割当て 机上検討			
タイムスロット案作成			
実地検証			
タイムスロット割当て 方法の確立			

2. 実証環境整備に向けたタイムスロット割当て設計

2.1 タイムスロット割当ての前提条件

2.1.1 対象交差点

表 2.1 に示す 18 交差点を対象にタイムスロット割当てを行い、検証する。ただし、既設交差点（番号なし）はすでにタイムスロットが割当てられており、変更しないことを条件とする。

表 2.1 タイムスロット割当て対象交差点一覧(実験対象)

No	設置場所	交差点種別
1	潮風公園北	横断路
2	潮風公園南	交差点
3	船の科学館入口	交差点
4	東京港湾合同庁舎前	横断路
5	台場駅前第一	交差点
6	台場駅前第二	交差点
7	青海一丁目西	横断路
8	台場	交差点
9	お台場中央第一	交差点
10	お台場中央第二	交差点
11	テレポート駅前	交差点
12	テレコムセンター前	交差点
13	台場一丁目	交差点
14	海浜公園入口	交差点
15	有明橋西	交差点
16	レインボー入口	交差点
17	台場トンネル出口	交差点
18	青海一丁目	交差点
既設 1	東京湾岸警察署前	交差点
既設 2	青海一丁目	交差点
既設 3	テレコムセンター	交差点

2.1.2 使用タイムスロット数の要件

I T S 無線路側機が送信可能なタイムスロット数は「ARIB STD-T107」で 16 と規定されており、混信の可能性のある地点に電波が到達する各 I T S 無線路側機に対して、各 I T S 無線路側機が送信するタイムスロットが重複しないように割り当てる必要がある。

タイムスロットの割当ては、「I T S 無線路側機 運用ガイドライン」に従って検討を進める。ガイドラインでは「システム、サービスに必要なアプリケーションメッセージのデータサイズ、送信頻度から 1 台の I T S 無線路側機が制御周期（100 ミリ秒）あたりに使用する無線送信時

間を見積もり、必要数のタイムスロットをITS無線路側機に割り当てる必要がある」とされている。表2.2に本調査研究のタイムスロット割当て検討で対象とするシステム・サービスを示す。

表2.2 タイムスロット割当て検討で対象とするシステム・サービス

対象とするシステム、サービス	説明
DSSS	信号見落とし防止支援システム、右折時衝突防止支援システム、(右折先)歩行者横断見落とし防止支援システムの運用を想定する。
PTPS	一部の交差点において、高度化PTPSの運用が予定されている。
自動運転用信号情報提供	信号情報を用いたスムーズな自動走行制御の検証が予定されている。

各システム、サービスのメッセージセットと各情報の平均データサイズを表2.3に示す。平均データサイズは、「ITS無線路側機 運用ガイドライン」に記載されているメッセージについては、その値を採用し、記載のないものは、十字路交差点を想定し算出した。ただし、数値については、50バイト単位で丸めている。

表2.3 各システム、サービスのメッセージセットと各情報の平均データサイズ

システム、サービス 情報	DSSS用 メッセージセ ット	PTPS用 メッセージセ ット	自動運転用 メッセージセ ット	DSSS、PTP S、及び自動運転併 用時のメッセージ セット
道路線形情報	250	250		250
サービス支援情報	50	50		50
信号情報	100	100	100	100
規制情報				
車両検知情報	100			100
横断歩行者検知情報	100			100
PTPS サービス支援情報		50		50
交差点識別情報			50	50

各情報をITS無線路側機において無線送信する際、各情報に対して無線ヘッダ及び無線フッタが付加される。無線ヘッダ及び無線フッタの付加を考慮したITS無線路側機での無線送信時間は、「ITS無線路側機 運用ガイドライン」でシステム毎に示されているが、ここでは表2.5に示すよう対象システムの全ての情報を送信することを前提にまとめた。

表 2.4 各情報の無線送信時間

情報	無線送信時間 (マイクロ秒)
道路線形情報	512
サービス支援情報	160
信号情報	192
車両検知情報	192
横断歩行者検知情報	192
P T P S サービス支援情報	160
交差点識別情報	160
合計	1,568

次に上記の7つの情報を送信するために必要なタイムスロット数を算出する。ITS無線路側機において、複数の情報を連続的に送信する際、各情報間に最短スペース時間（32マイクロ秒）が必要となる（図2.1参照）。そのため、最短スペース時間を考慮した全送信時間は、1,792マイクロ秒となり、送信に必要なタイムスロット数は1と算出される。

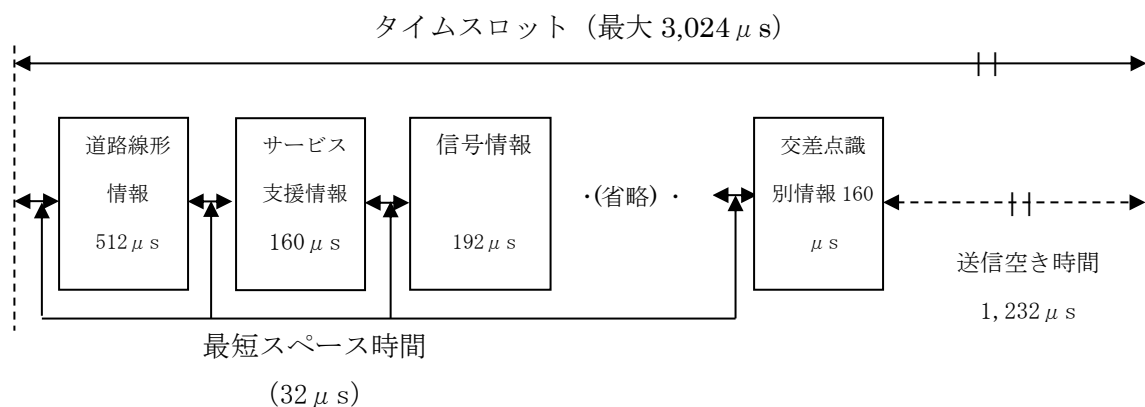


図 2.1 全システムを対象としたタイムスロット利用例

表 2.2 では、本調査研究のタイムスロット割当て検討で対象とするシステム・サービスを示したが、この他路路間通信によるタイムスロット利用が考えられる。路路間通信に用いるタイムスロットは、路車間通信に用いるタイムスロットとは別に割り当てる必要がある。また新設交差点が設置された場合、タイムスロット割当てに余裕がない場合、未使用の1タイムスロットを新設交差点に割当てる等の対応が想定される。ただし、既設3交差点に設置されているITS無線路側機ではそれぞれ2タイムスロットをペアで割当てられている。これらの要件及び既設設定を考慮し、本調査研究では各ITS無線路機が最大2タイムスロットをペアで使用することを要件とする。

なお、1台のITS無線路側機が送信可能なタイムスロット数は、送信時間制限機能より3タ

タイムスロットであり、上記の要件はこの条件を満たしている。

2.1.3 要求される通信エリア

本検討では路車間通信を対象とし、使用する各システム、サービスにおいて要求される通信エリアを検討し、表 2.5 のとおりまとめた。DSSS に関しては、「ITS 無線路側機 運用ガイドライン」から、より広い通信エリアが要求されるものを抽出した。PTPS に関しては、定まった要件はなく、個別の交差点毎に設計が行われるべきものであるが、ある条件下での要件を示す。自動運転については、通信エリアに対する要件は定まっていないが、DSSS の信号見落とし防止システムで要求される通信エリアが参考になると考える。本調査研究ではこれらの要件を満たすため、190m の通信エリアを要求事項とする。

表 2.5 各システム、サービスにおいて要求される通信エリア

システム、サービス	要求される通信エリア	備考
DSSS	187m	信号見落とし防止支援システム、発進遅れ防止支援システム 規制速度が 60 km/h の場合
PTPS	167m	定まった要件はない。規制速度が 60 km/h、最大青延長時間が 10 秒の場合の要件を示す。
自動運転用 信号情報提供		通信エリアに対する要件は定まっていない。

2.1.4 前提条件まとめ

タイムスロット割当てを行うに当たっての無線仕様等を含めた前提条件を表 2.6 にまとめる。項目は、後述する空間伝搬損失を考慮する上でのモデルで使用される。

表 2.6 タイムスロット割当ての前提条件

項目	値	備考
路側機空中線の地上高	6 m	
車載機空中線の地上高	3 m	地上高が高いほど、空間伝搬損失が少なく、混信の影響を受ける。そのためバスを想定する。
路側機の空中線電力	83 mW	I T S 無線路側機の電力:1MHz あたり 10mW。帯域幅 8.3MHz から空中線電力の総電力は OFDM 変調のため 83mW (10mW/MHz×8.3MHz)。
路側機及び車載機の空中線指向性	無指向性	
路側機の送信変調方式	16QAM/OFDM (12 Mbps)	
路側機の通信エリア半径	190 m	
路側機送信タイムスロット条件	総タイムスロット数 16	
1 台の路側機が使用するタイムスロット数	2	

2.2 タイムスロット割当ての考え方

「I T S 無線路側機 運用ガイドライン」では、他の I T S 無線路側機と同じタイムスロットの割当を行う場合は、相互干渉に関して、所要の D U R (希望波対非希望波比) を確保できるかを机上検討にて確認することと記載されている。そのため、本調査研究では、以下のような手順で、タイムスロット割当てを行う。

(1) 所要 D U R の設定

I T S 無線路側機から送信される希望波を車載機が最も悪い条件において誤りなく受信するために、希望波の信号強度 D (Desire) が他の I T S 無線路側機から送信される非希望波 U (Undesire) よりどれだけ大きくなければならないかの所要値 (所要 D U R) を設定する。

(2) 空間伝搬損失の距離特性算出

所要 D U R を得るための同一の送信タイムスロットを使用する I T S 無線路側機間の離隔距離を導くために空間伝搬損失の距離特性を算出する。

(3) 離隔距離算出

所要 D U R を得るための同一の送信タイムスロットを使用する I T S 無線路側機の離隔距離を算出する。

(4) タイムスロット割当て検討

所要の離隔距離を得られるタイムスロット割当てを検討する。

2.2.1 所要DURの設定

所要DURは、「ARIB STD-T109」において規定されているブロッキング性能を参考に表 2.7 のとおりパケット誤り率を通信要件として設定する。

表 2.7 通信要件

項目	仕様
パケット誤り率	10%未満であること (データ長は、1000 オクテットとする)

上記パケット誤り率を得るため、BER (ビット誤り率) に対するパケット誤り率を算出する。

$$\text{パケット誤り率(\%)} = (1 - (1 - \text{BER})^{8000}) * 100 \quad (\text{式 1})$$

表 2.8 BERに対するパケット誤り率算出結果

BER	パケット誤り率
10^{-4}	55.1%
10^{-5}	7.7%
10^{-6}	0.8%

表 2.8 より、BERとして、 10^{-5} が必要であることが導かれる。路側機の送信変調方式ある16QAMのBER特性の理論値を図 2.2 に示す。この図は、BERに対する1ビット当たりの信号強度とノイズ強度(干渉波レベル)の比を示す。BERが 10^{-5} となる14dBが所要DURとなる。

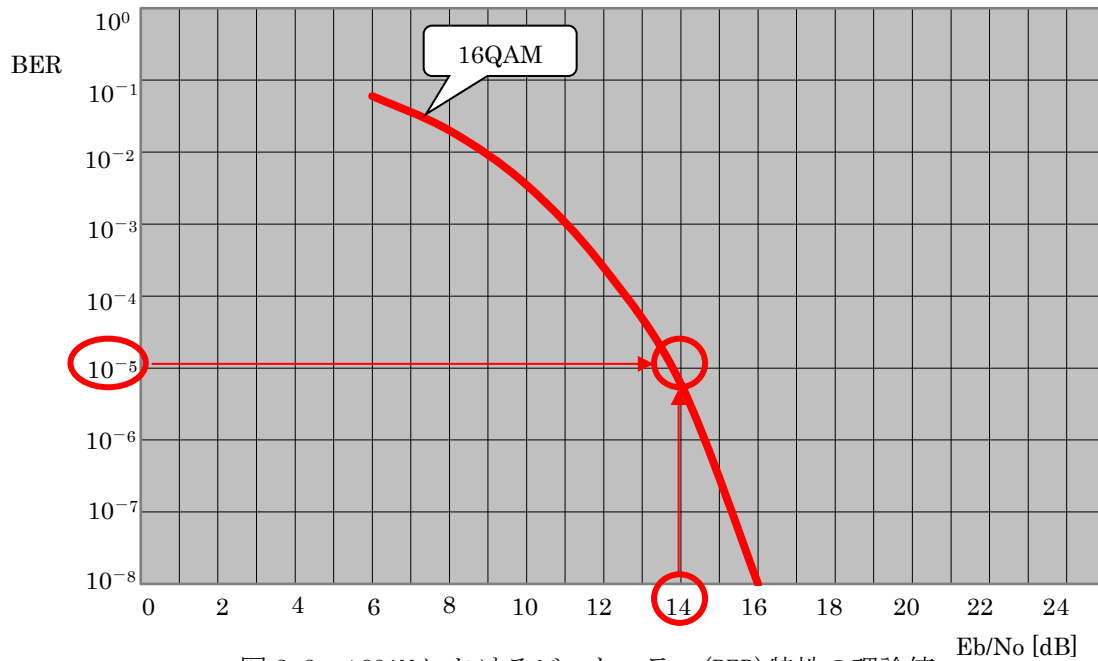


図 2.2 16QAM におけるビットエラー (BER) 特性の理論値

2.2.2 空間伝搬損失の距離特性算出

空間伝搬損失には、理想上の自由空間を対象とした自由空間モデルと、実際の地面や建物、樹木の影響を考慮した奥村-秦モデルがある。本調査研究では、DSSSにおける隣接周波数帯を利用する他システムとの電波干渉及び周波数共用条件の調査検討（「700MHz 帯を用いた運転支援通信システムと隣接システムとの周波数共用条件に関する技術資料」ITS FORUM RC-007）にて、使用実績のある奥村-秦モデルを使用する。

(1) 自由空間モデル

一般的に、理想上の自由空間では次式による電波の伝搬損失が示されている。

自由空間における伝搬損失 L (dB)

$$L = 32.44 + 20\log(f \text{ [MHz]}) + 20\log(d \text{ [km]}) \quad (\text{式 2})$$

f : 周波数、 d : 距離

(2) 奥村-秦モデル

奥村-秦モデル(中小都市モデル)は、実際には地面や建物、樹木が伝搬のフレネル障害になるため、それらを考慮した式として示される。

ITS FORUM RC-007 1.00 版

$$L = 69.55 + 26.16 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(HT) - ((1.11 \cdot \log(f) - 0.7) \cdot HR - (1.56 \cdot \log(f) - 0.8)) + (44.9 - 6.55 \cdot \log(HT)) \cdot \log(D) \quad (\text{式 3})$$

f:周波数[MHz]、 HT:送信アンテナの高さ[m]、 HR:受信アンテナの高さ[m]
d:伝搬距離[km]

(3) 伝搬損失グラフ

前項目の自由空間モデル及び奥村-秦モデルでの距離と伝搬損失のグラフを図 2.3 に示す。本検討の周波数やアンテナ設置高及び通信距離の条件では、図 2.3 のように自由空間モデルと奥村-秦モデルで差が生じる。

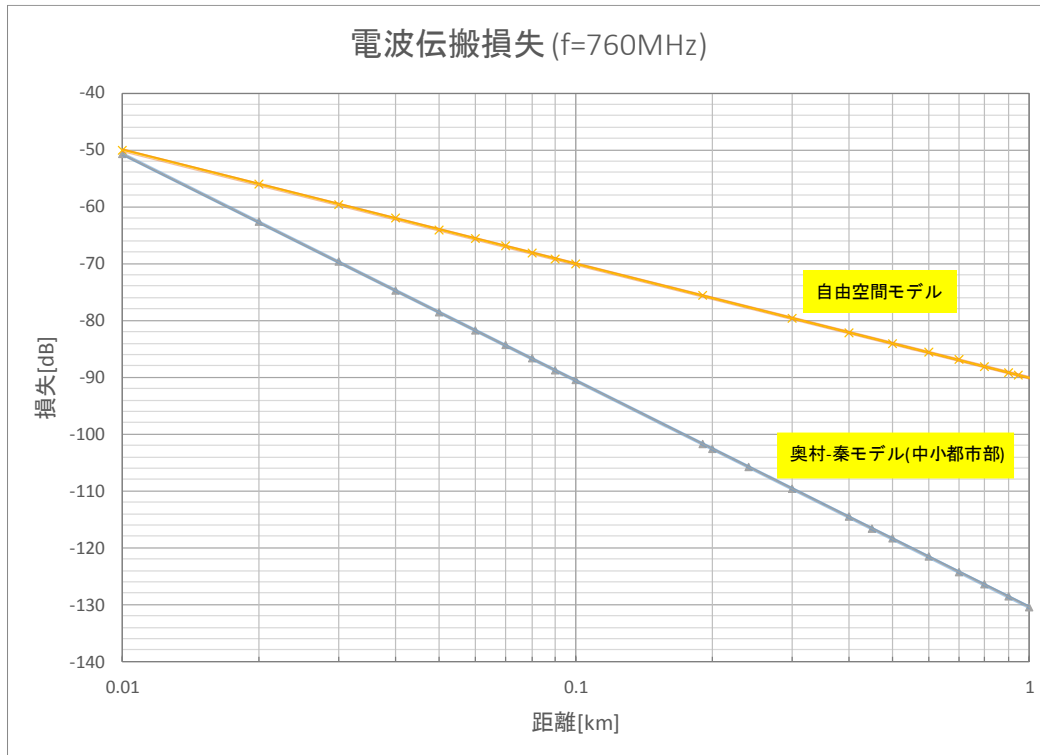


図 2.3 自由空間モデル及び奥村-秦モデルでの伝搬損失 (f=760MHz、HT=6m、HR=3m)

2.2.3 離隔距離算出

(1) 自由空間モデル

14 dBのDURを得るためには希望波の伝搬損失より干渉波の伝搬損失が14 dB大きくなる必要がある。自由空間モデルの場合は式1あるいは図2.3から希望波の伝搬距離に比べて干渉波の伝搬距離が5倍以上になれば所要DURを確保できる。路側機のエリア半径が190mであれば同じタイムスロットを使用するITS無線路側機はエリア端から950m以上離れている必要がある(図2.4)。

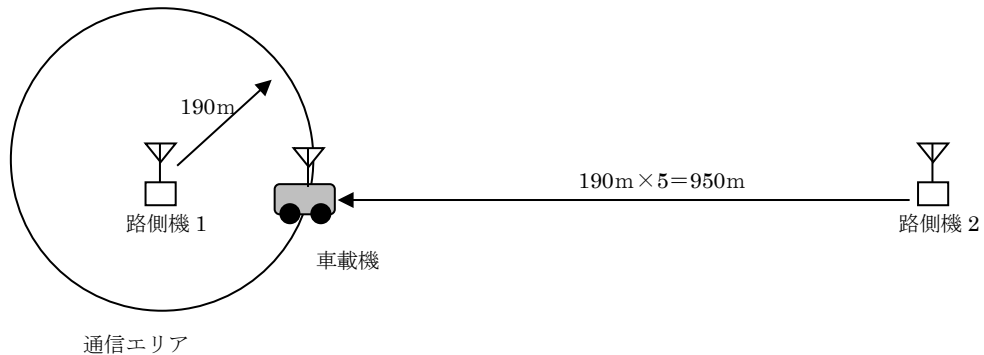


図 2.4 自由空間モデルにおける所要離隔

(2) 奥村-秦モデル

奥村-秦モデルの場合、ITS無線路側機のエリア半径が190mであれば同じタイムスロットを使用するITS無線路側機はエリア端から450m以上離れている必要がある(図2.5)。

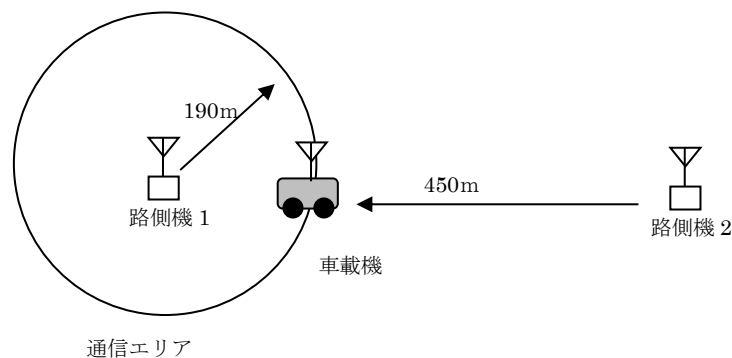


図 2.5 奥村-秦モデルにおける所要離隔

2.2.4 タイムスロットペア割当て検討

通信エリア端(エリア半径190m)における離隔距離が、「奥村-秦モデル」を使用して算定したDUR14dBを得るための所要離隔距離(450m)を確保できるように整備対象の18交差点のタイムスロットペアを割当てた。当該エリアでは交差点間隔が長く、隣接交差点でも所要離隔距離を各できる交差点がある。所要離隔距離を確保できないITS無線路側機では、異な

るタイムスロットペアとなるように割当てた。

表 2.9 及び図 2.6 にタイムスロットペア割当て案を示す。各ペアを英文字で示す。

表 2.9 タイムスロットペア割当て案

タイムスロットペア	対象交差点
A	既設 1、9
B	既設 2、5、14
C	既設 3、2、13
D	1、18
E	3、6、12、15
F	4、11
G	7、8、17
H	10、16

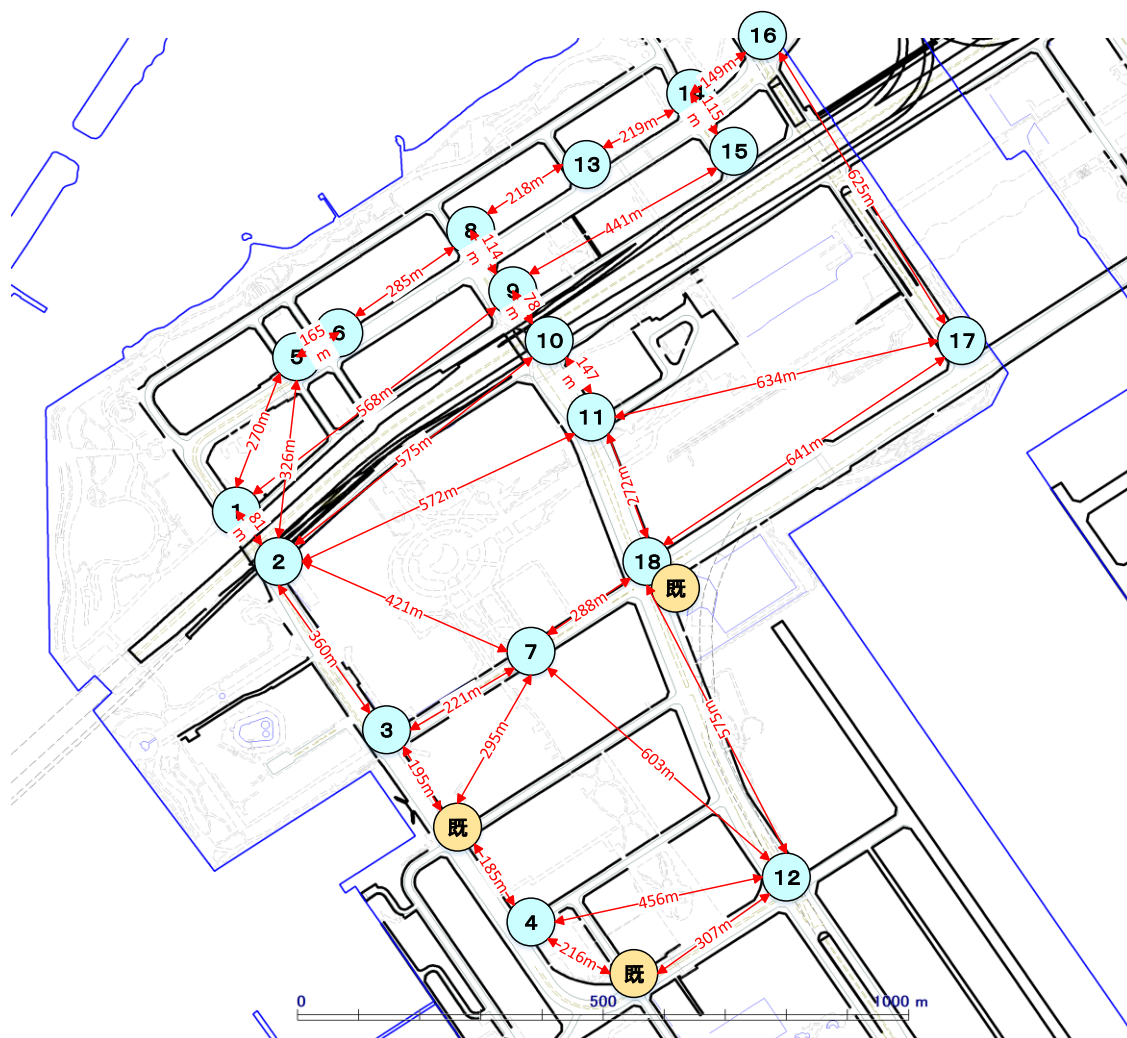


図 2.6 タイムスロットペア割当て案

3. 実証環境整備に向けたタイムスロット割当て実地検証

3.1 実地検証計画

3.1.1 実験目的

I T S無線路側機の面的な整備において、奥村-秦モデルを用いて電波干渉による通信障害を発生させないようにタイムスロット割当てを行った内容に従って I T S無線路側機を設置し、実地走行確認において所定の通信エリアにおいて通信障害が発生しないことを検証する。

3.1.2 実験時のシステム構成

図 3.1 に実験時のシステム構成を示す。対象の 18 交差点に、I T S無線路側機、760MHz アンテナ、GPS アンテナ等を仮設し、I T S無線路側機から電波を発射する。試験車両に受信専用車載機を搭載し、対象路線の走行を行う。模擬中央装置は I T S無線路側機から電波を発射するために必要な道路線形情報等の送信と I T S無線路側機の監視を行う。

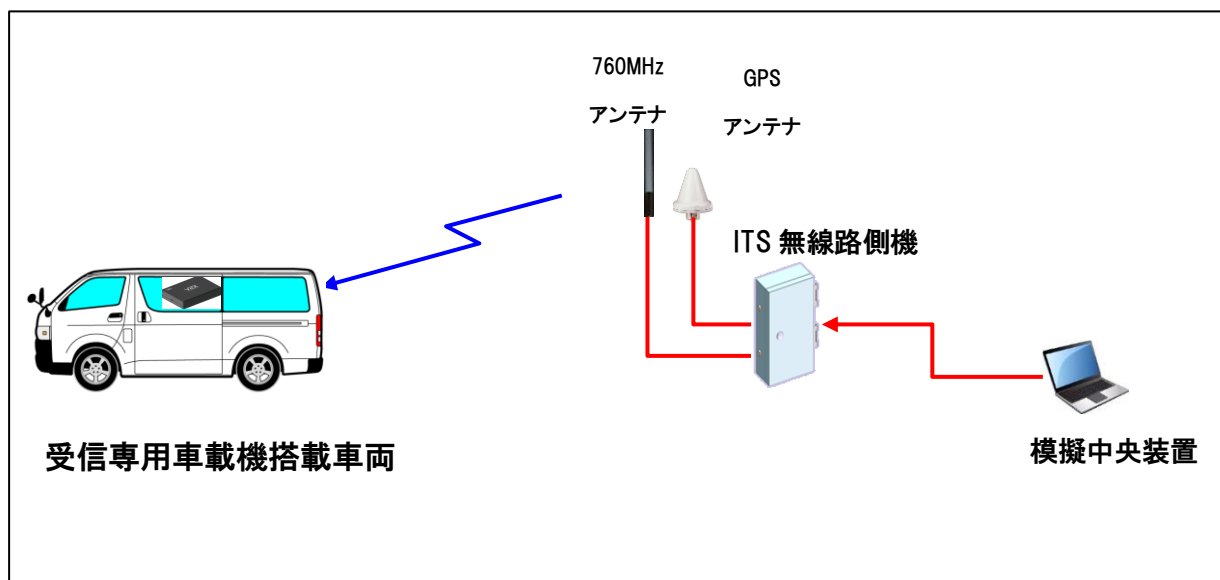


図 3.1 実験時のシステム構成

3.1.3 試験条件

表 3.1 及び図 3.1 に試験条件を示す。送信アンテナは無指向性であるが、各交差点の信号柱等にアームのない状態で仮設するため、柱の影響が出る可能性がある（写真 3.1）。この影響は、本調査研究は回避できないため、試験結果で影響があるとみられる場合は個別に考察する。

表 3.1 試験条件

周波数 f [MHz]	送信アンテナの高さ HT [m]	送信アンテナの利得 [dBi]	受信アンテナの高さ HR [m]	受信アンテナの利得 [dBi]
760	6	2	3	2.15

注 アンテナの利得は、給電線損失を除く

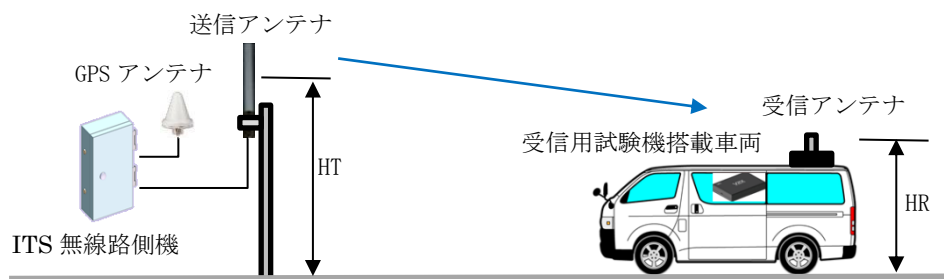


図 3.2 試験条件



写真 3.1 送信アンテナの信号柱への仮設例（赤丸内が、送信アンテナ）

3.1.4 検証方法

試験対象の ITS 無線路側機による電波が実運用中の車載機に影響を与えないよう配慮する。検証は、2 台の ITS 無線路側機の干渉に関するデータを取得するための基礎データ取得実験と、全 ITS 無線路側機から同時に電波を出し、同時受信を確認する広域実験に分けて実施する。

(1) ITS 無線路側機からの電波発射

UTMS 協会 ITS 無線路側機通信アプリケーション共通規格に則り運用区分コードを「0：調整中」にセットして、通信を行う。本方法により、実験用路側機の送信データは実運用中の車載機で無視されるため、運用に影響を与えない。

(2) 基礎データ取得実験

基礎データ取得実験では、同一タイムスロットを使用する路側機間の離隔が十分に行えていることを検証する。机上検討で、離隔の検証が必要な地点を洗い出し、対象地点において、希望波、干渉波のDURを計測し、十分な値であることを確認する。

さらに、対象エリア付近の既設のITS無線路側機を用いて、実際の道路上でRSSIを計測し、本調査分析で用いた伝搬モデル（自由空間モデル、奥村-秦モデル）と実際の損失の差異について確認する。

(a) 同一タイムスロットを使用する交差点の離隔確認

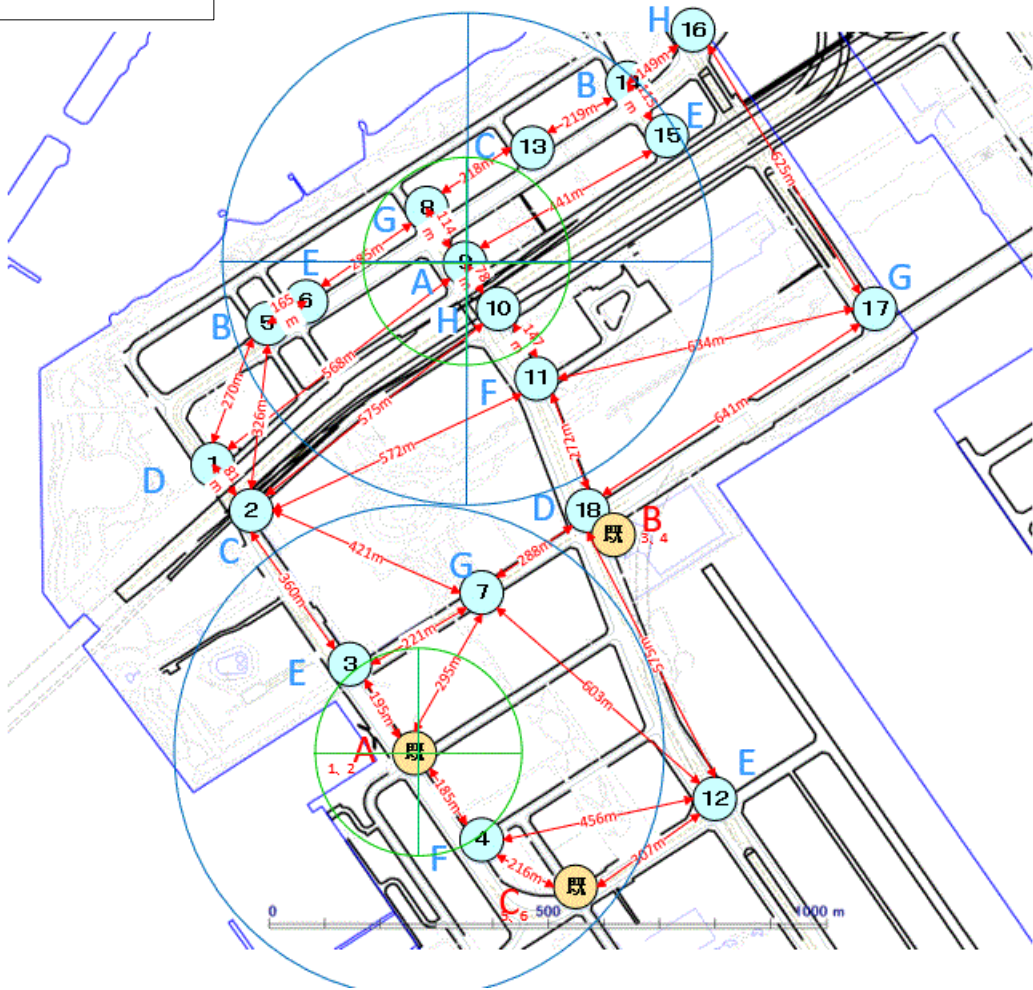
図2.6に示したスロットペア割当て案において、同じタイムスロットを使用する路側機を対象に、奥村-秦モデルから得られた離隔距離（640m）の確保を確認するため、スロットペア毎に半径450mと半径190mの円を描画する。

タイムスロットペアAからHまでの離隔距離の確認結果を表3.2及び図3.3から図3.10に示す。タイムスロットペアD及びEにおいて、離隔距離が不十分となる可能性がある。

表 3.2 離隔距離の確認結果

タイムスロットペア	対象交差点	離隔距離
A	既設 1、9	○
B	既設 2、5、14	○
C	既設 3、2、13	○
D	1、18	1 と 18 間で不十分
E	3、6、12、15	3 と 6 間で不十分
F	4、11	○
G	7、8、17	○
H	10、16	○

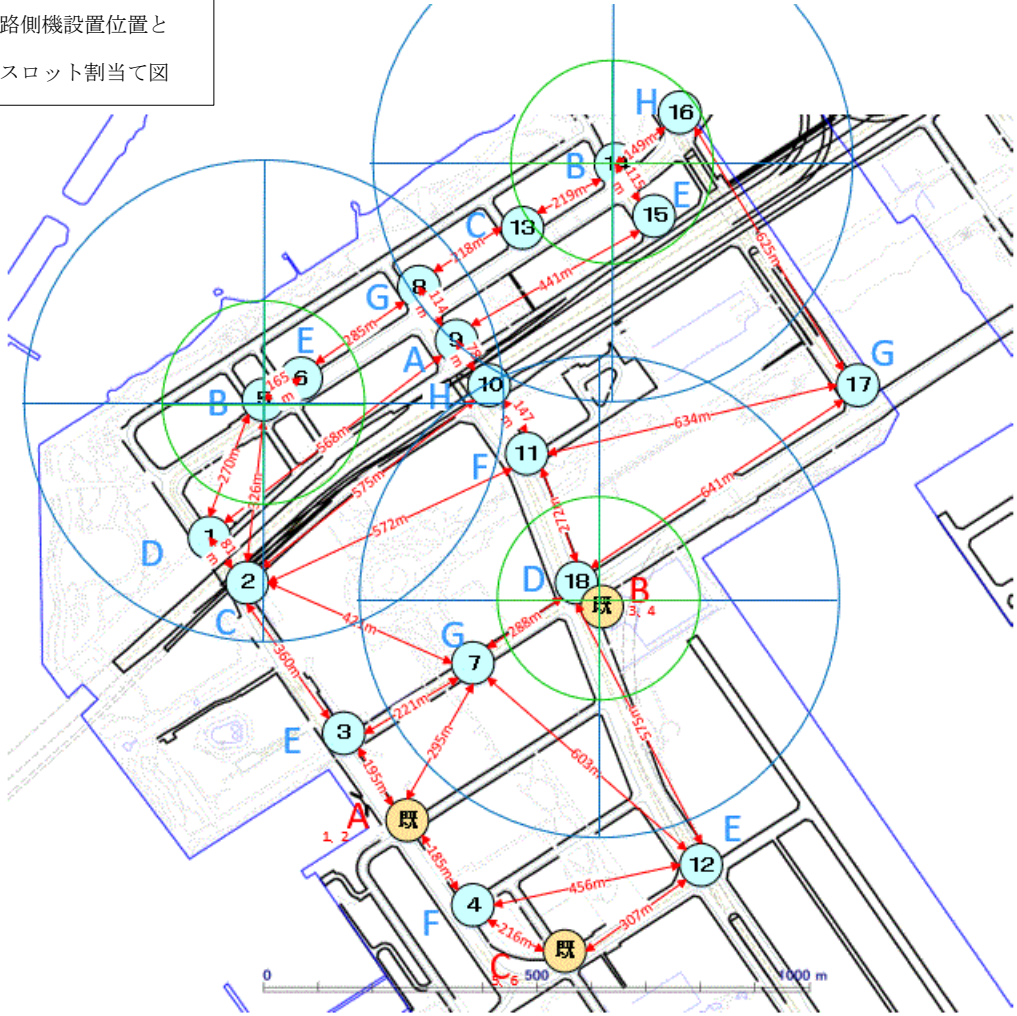
路側機設置位置と
スロット割当て図



緑：必要通信エリア（半径 190m）、青：離隔距離（半径 450m）

図 3.3 タイムスロットペアAの離隔距離確認

路側機設置位置と
スロット割当て図



緑：必要通信エリア（半径 190m）、青：離隔距離（半径 450m）

図 3.4 タイムスロットペア B の離隔距離確認

路側機設置位置と
スロット割当て図



緑：必要通信エリア（半径 190m）、青：離隔距離（半径 450m）

図 3.5 タイムスロットペアCの離隔距離確認

路側機設置位置と
スロット割当て図

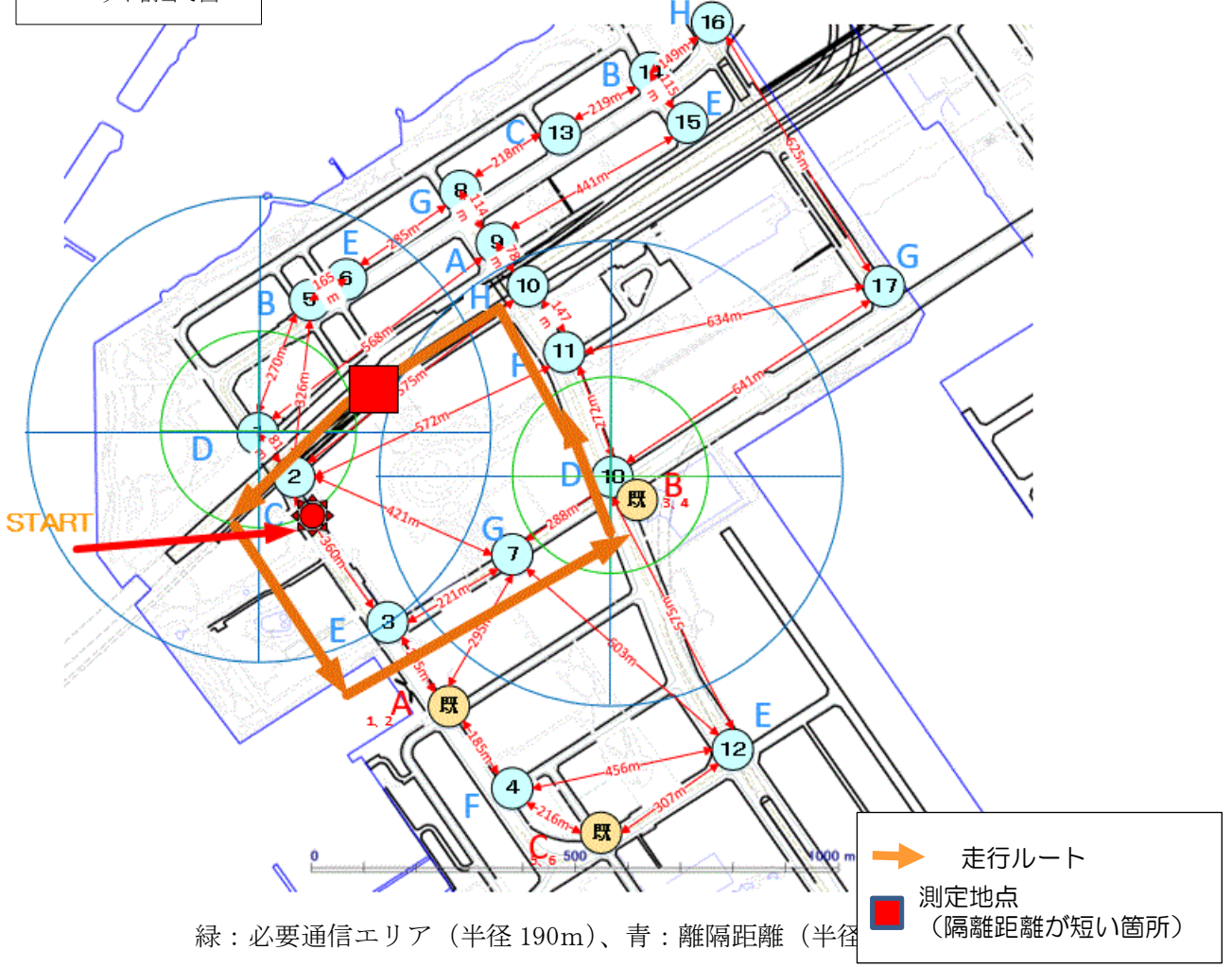
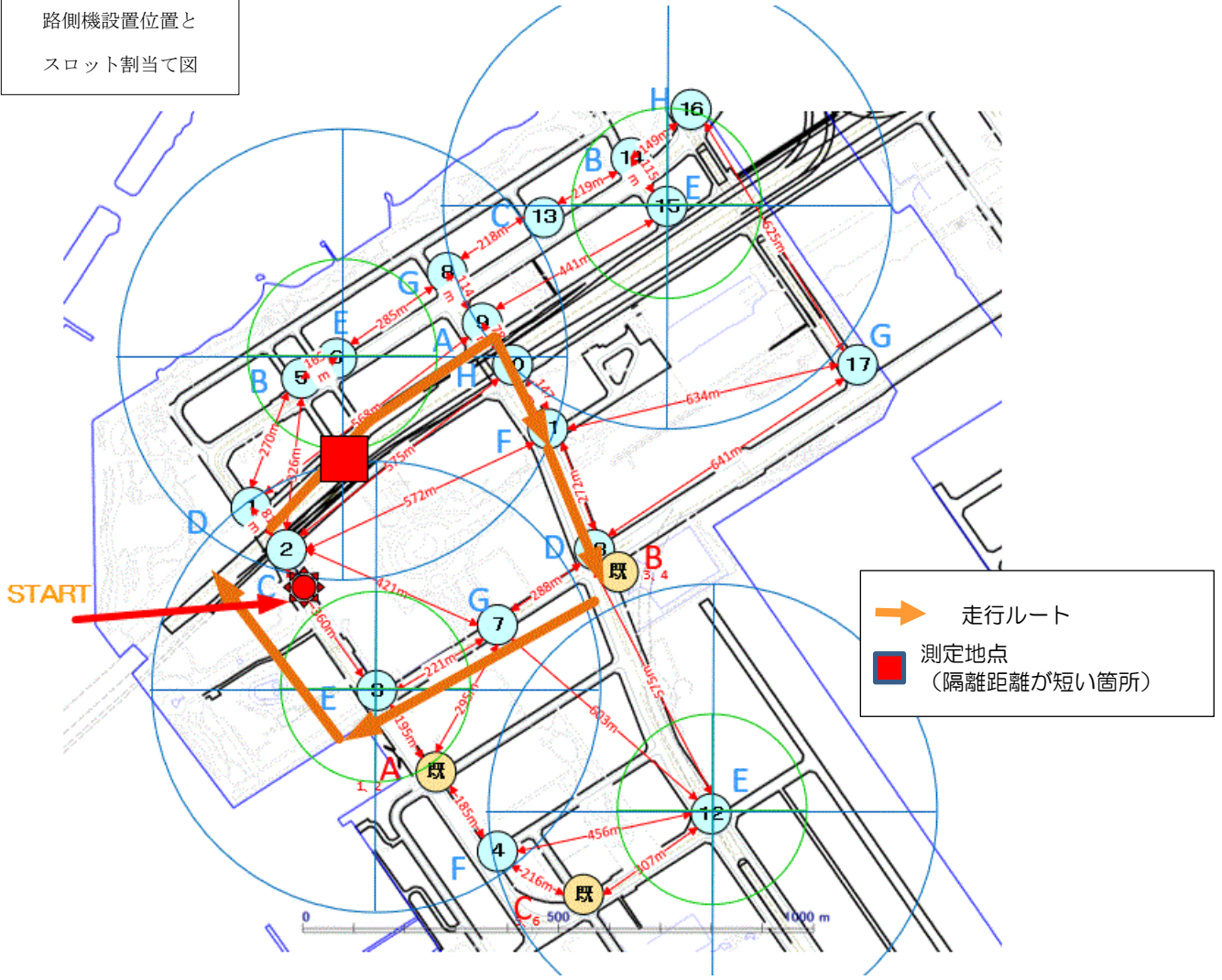


図 3.6 タイムスロットペアDの離隔距離確認

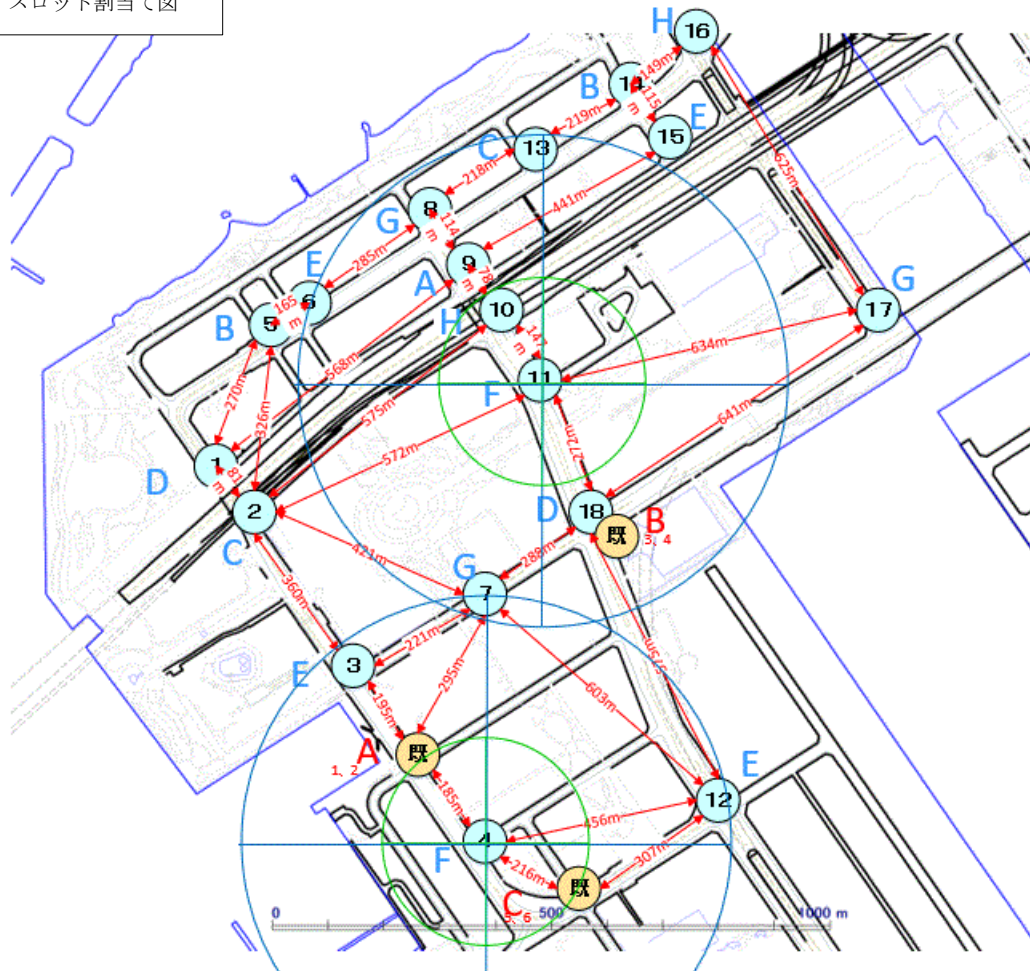
路側機設置位置と
スロット割当て図



緑：必要通信エリア（半径 190m）、青：離隔距離（半径 450m）

図 3.7 タイムスロットペアEの離隔距離確認

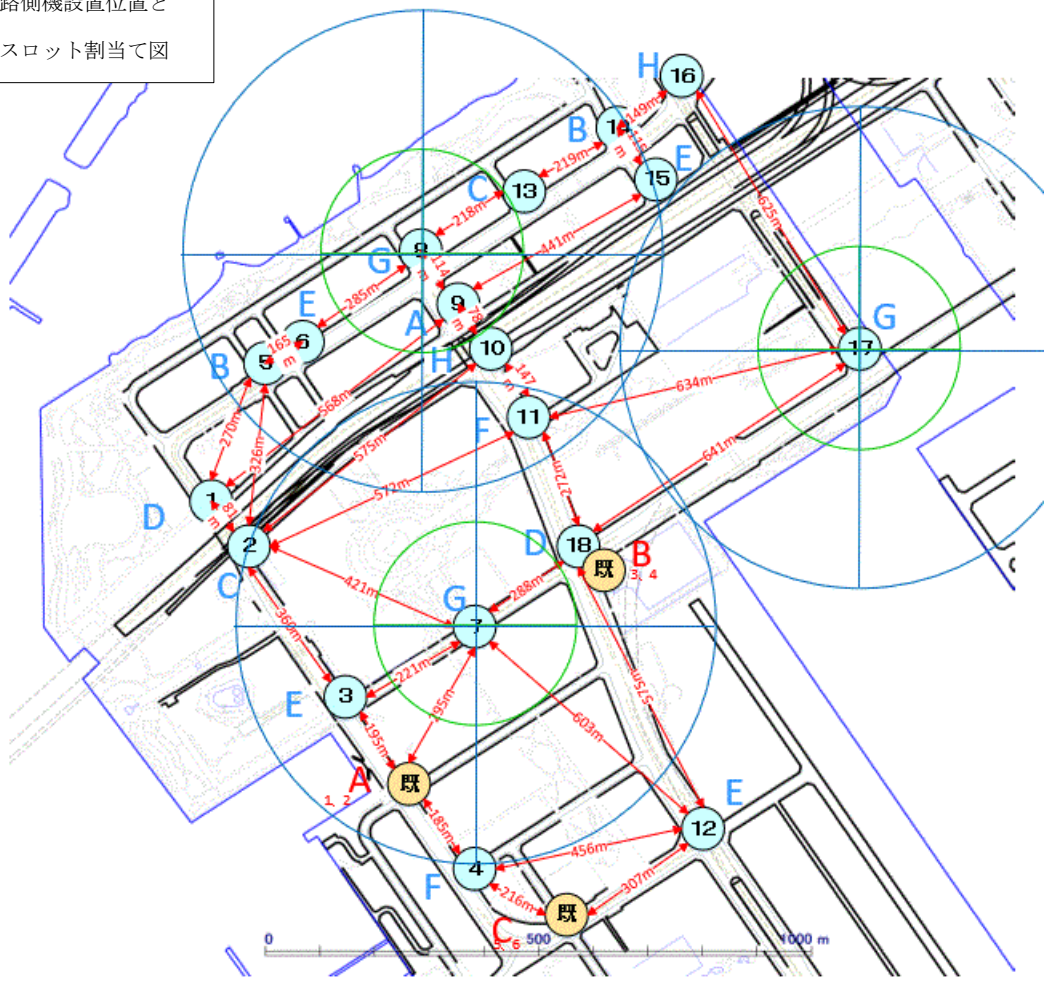
路側機設置位置と
スロット割当て図



緑：必要通信エリア（半径 190m）、青：離隔距離（半径 450m）

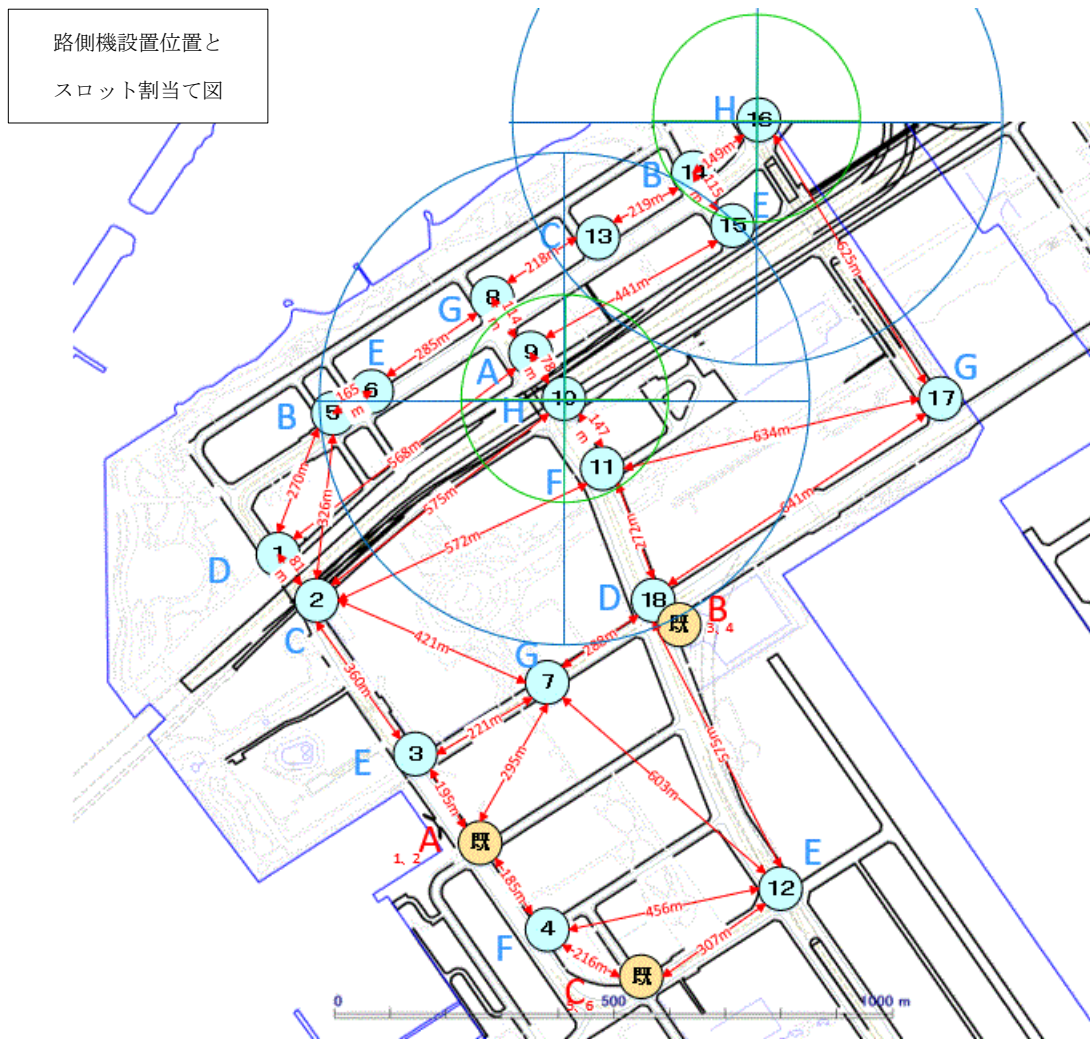
図 3.8 タイムスロットペアFの離隔距離確認

路側機設置位置と
スロット割当て図



緑：必要通信エリア（半径 190m）、青：離隔距離（半径 450m）

図 3.9 タイムスロットペアGの離隔距離確認



緑：必要通信エリア（半径 190m）、青：離隔距離（半径 450m）

図 3.10 タイムスロットペアHの離隔距離確認

(b) 希望波、干渉波のRSSI計測

2 台のITS無線路側機（希望波，干渉波）について、1 台毎に電波を放射し、受信専用車載機で受信信号強度（RSSI）を測定する。測定位置を正確にするため車両を路肩に停止させて、測定を行う。

(c) DURの算出、確認

以下の計算式で、DUR14dBが確保できていることを検証する。

$$DUR = \text{希望波 RSSI} / \text{干渉波 RSSI}$$

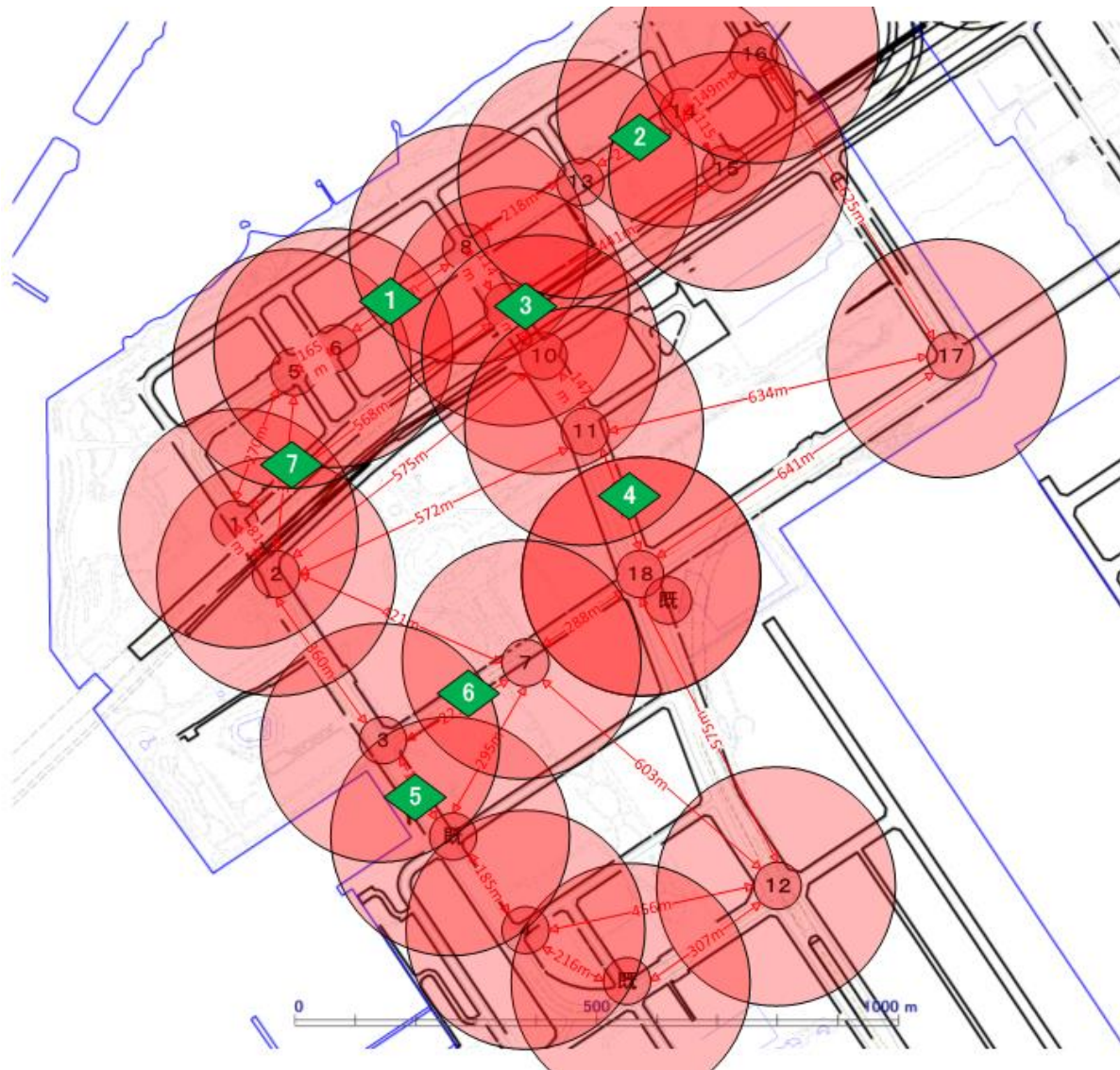
(d) 実際の対象エリア付近の道路でのRSSI計測

既設のITS無線路側機から送信される電波を走行状態で受信し、RSSIを測定を行い、

伝搬損失グラフを作成する。理論値と測定値の差異を確認し、伝搬損失モデルの適用について考察する。

(2) 広域実験

18台のITS無線路側機から同時に電波を発射し、受信専用車載機は、車両を停車させた状態で受信を行い、受信レベルを測定する。測定ポイントは、複数のITS無線路側機からの受信が見込まれる7地点を図3.11に示す。



緑：測定地点番号、赤：通信エリア（半径190m）

図 3.11 広域実験の測地地点

3.1.5 実験日

(1) 基礎データ取得試験

2019年2月22日

(2) 広域試験

2019年2月28日、3月1日

3.2 基礎データ取得実験結果

3.2.1 実施結果概要

同一タイムスロットを割当てた2つの交差点同士のDURをアンテナから測地地点までの距離を用いて奥村・秦モデルで計算し、期待されるDURを算出した。その測定地点において、希望波RSSI、干渉波RSSIを計測し、14dBのDURが得られることを確認できた。

伝搬損失モデルと実際の伝搬損失を比較し、道路毎に特性は若干異なるが、全体的には多くの地点で自由空間モデルと奥村-秦モデルの中間の値をとることが確認できた。

3.2.2 実験結果詳細

(1) タイムスロットペアD

実験結果を表3.3に示す。測定地点において、14dB以上のDURが得られること確認した。測定されたDURと奥村-秦モデルから算出されたDURの差は小さい。これは、測定地点とアンテナ間に樹木や建物が少なかったことが要因と推測する。

表 3.3 実験結果 (タイムスロットペアD)

項目		値	備考
希望波	交差点番号	1	潮風公園北交差点
	アンテナから測定地点までの距離	190 m	
	奥村-秦モデル 伝搬損失	101.7 dB	
	RSSI (測定値)	-61 dBm	
干渉波	交差点番号	18	青海一丁目交差点
	アンテナから測定地点までの距離	511 m	
	奥村-秦モデル 伝搬損失	118.8 dB	
	RSSI (測定値)	-83 dBm	受信感度を下回る
奥村-秦モデルで期待されるDUR		20.3 dB	
計測結果から算出したDU比		17.1 dB	
車載機の受信感度 (仕様)		-77 dBm	

(2) タイムスロットペアE

実験結果を表3.4に示す。測定地点におけるDURは4dBと14dBを大きく下回る結果となった。希望波のRSSIが小さいことが影響している。測定地点とアンテナ間には大きな建物があり、建物による遮蔽の影響で希望波の受信電力が減衰したことが原因と考える。

そこで、測定地点をサービス起点相当の位置に変更した。測定地点から交差点6への道路は一方通行であるため、実際にはサービス起点位置にはならないため、サービス起点相当の位置とした。変更後の測定地点を図3.12に、実験結果を表3.5に示す。DURは18dBと14dBを上回っている。しかし、測定されたDURと奥村-秦モデルから算出されたDURの差は約22dBと大きい。これは、図3.12に示すとおり、ITS無線路側機のアンテナ設置位置が、交差点よりやや内側に入っていること、近くに建造物があること、アンテナと測定地点間に歩行

者用高架デッキが存在することが要因と考える。

表 3.4 実験結果 (タイムスロットペアE)

項目		値	備考
希 望 波	交差点番号	6	台場駅前第二交差点
	アンテナから測定地点までの距離	134 m	
	奥村-秦モデル 伝搬損失	95.7 d B	
	R S S I (測定値)	-76 d B m	減衰が大きい
干 渉 波	送信交差点番号	3	船の科学館入口交差点
	アンテナから測定地点までの距離	513 m	
	奥村-秦モデル 伝搬損失	118.9 d B	
	R S S I (測定値)	-80 d B m	受信感度を下回る
奥村-秦モデルで期待されるDUR		23.2 d B	
測定結果から算出したDUR		4 d B	14 d Bを下回る
車載機の受信感度		-77 d B m	仕様

表 3.5 実験結果 (タイムスロットペアE : 測定地点見直し後)

項目		値	備考
希 望 波	交差点番号	6	台場駅前第二交差点
	アンテナから測定地点までの距離	100 m	
	奥村-秦モデル 伝搬損失	90.6 d B	
	R S S I (測定値)	-65 d B m	
干 渉 波	交差点番号	3	船の科学館入口交差点
	アンテナから測定地点までの距離	557 m	
	奥村-秦モデル 伝搬損失	120.3 d B	
	R S S I (測定値)	-83 d B m	受信感度を下回る
奥村-秦モデルで期待されるDUR		29.7 d B m	
測定結果から算出したDUR		18 d B m	
車載機の受信感度		-77 d B m	仕様

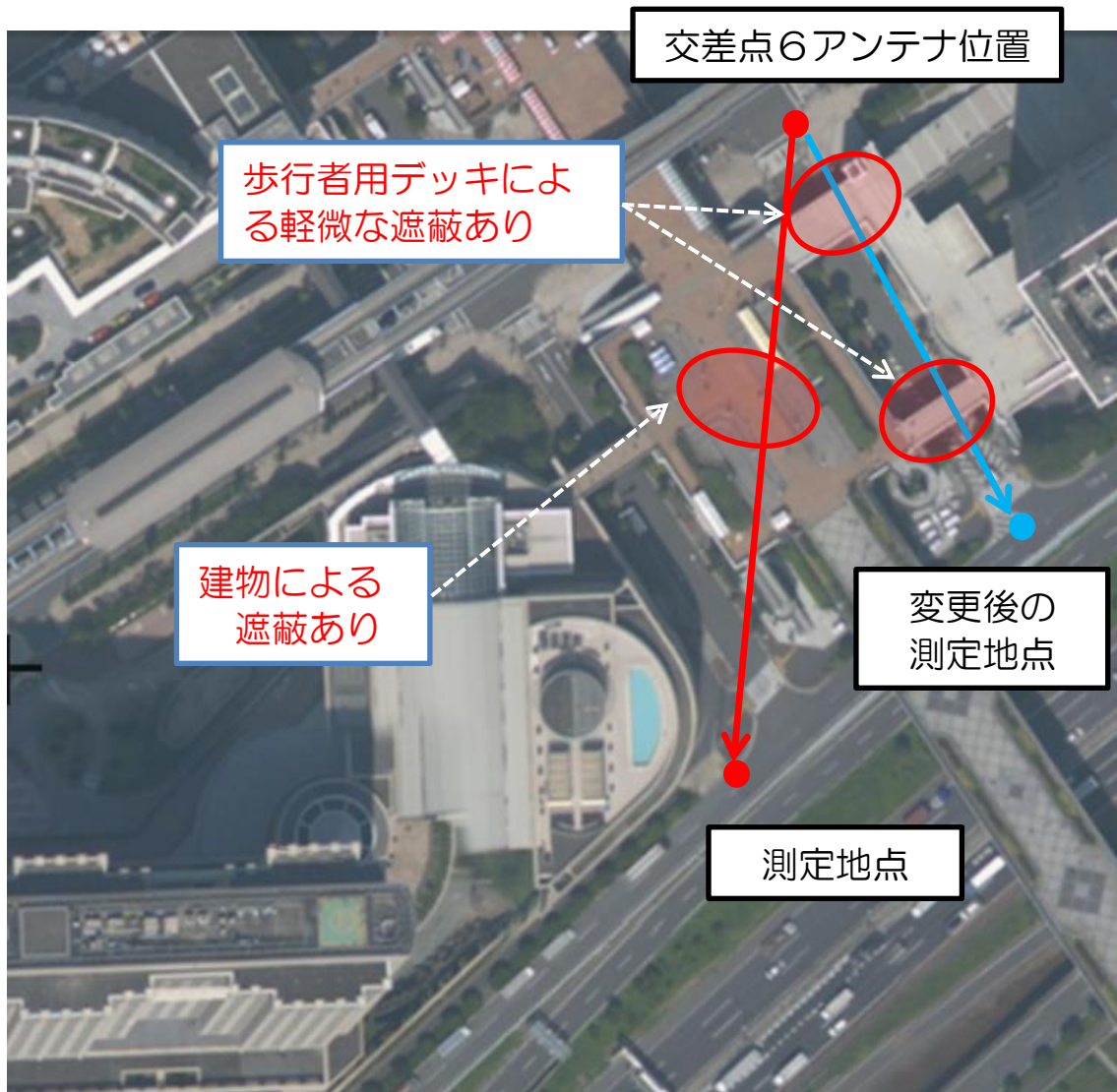


図 3.12 測定地点の見直し

(3) 伝搬損失測定結果

表 3.6 に伝搬損失測定結果の概要を示す。図 3.13 から図 3.18 に測定結果グラフを示す。道路毎に特性は若干異なるが、全体的には多くの地点で自由空間モデルと奥村-秦モデルの中間の値をとる。測定した各道路では I T S 無線路側機の設置位置、車線数、電波の遮蔽物の有無等が異なり、伝搬損失に影響していると考えられる。本調査研究では、奥村-秦モデルを元に離隔距離を定めて設計しているため、直進道路や道路幅員が広い、横断歩道がない等伝搬損失が少ない道路では、自由空間モデルを元にした離隔距離を参考に余裕をもった離隔距離とすることが必要と考える。

表 3.6 伝搬損失測定結果の概要

対象道路	計測結果の概要
船の科学館南側	<p>概ね自由空間モデルと奥村-秦モデルの中間の伝搬損失をとる。</p> <p><伝搬損失に影響する道路等の特徴></p> <ul style="list-style-type: none"> ・片側2車線 ・中央にゆりかもめの橋脚 ・ITS無線路側機のアンテナは西側道路の路側に設置
青海一丁目南側	<p>距離が近い場合（200m以内）では、自由空間モデルに近い伝搬損失をとり、距離が長くなると自由空間モデルと奥村-秦モデルの中間の伝搬損失をとる。</p> <p><伝搬損失に影響する道路等の特徴></p> <ul style="list-style-type: none"> ・片側3車線 ・中央にゆりかもめの橋脚 ・ITS無線路側機のアンテナは東側道路の中央分離帯に設置 ・交差点は大きく、開けている
青海一丁目東側	<p>概ね自由空間モデルと奥村-秦モデルの中間の伝搬損失をとる。</p> <p><伝搬損失に影響する道路等の特徴></p> <ul style="list-style-type: none"> ・片側3車線 ・中央にゆりかもめの橋脚 ・ITS無線路側機のアンテナは東側道路の中央分離帯に設置 ・交差点は大きく、開けている



図 3.13 船の科学館南側の対象道路

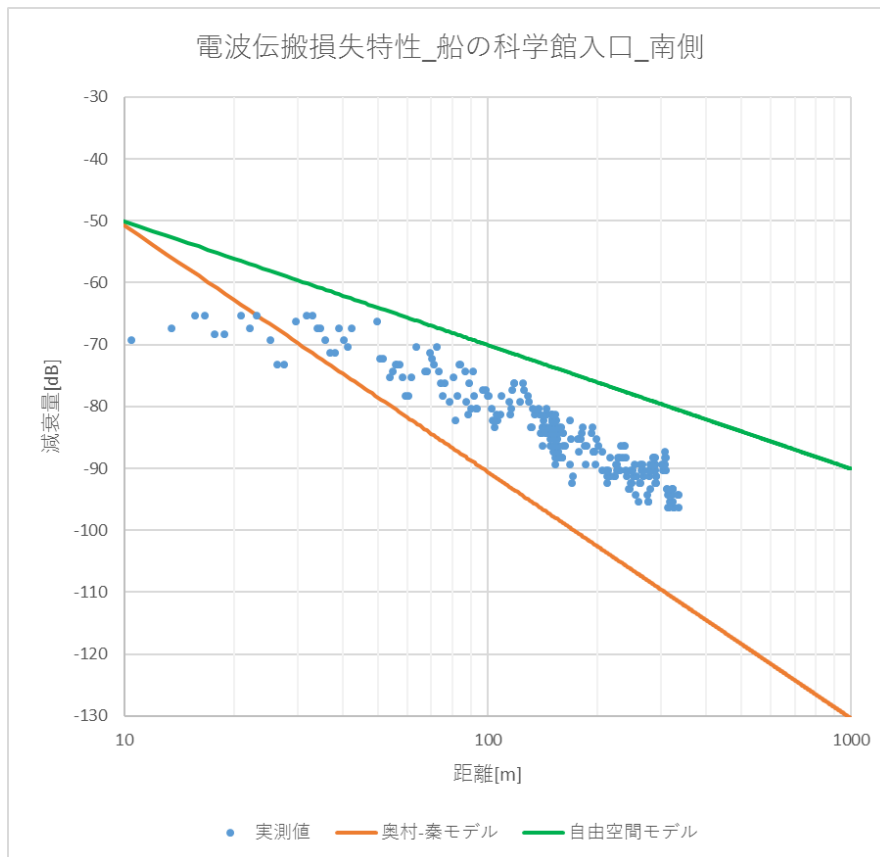


図 3.14 船の科学館南側の測定結果グラフ



図 3.15 青海一丁目南側の対象道路

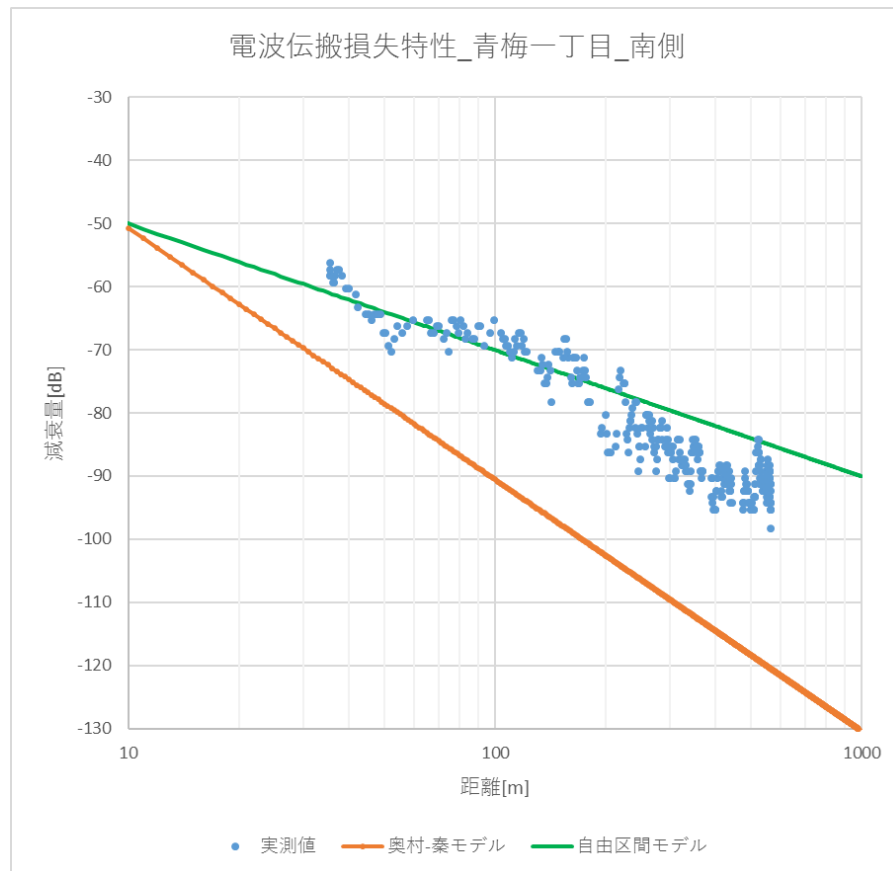


図 3.16 青海一丁目南側の測定結果グラフ



図 3.17 青海一丁目東側の対象道路

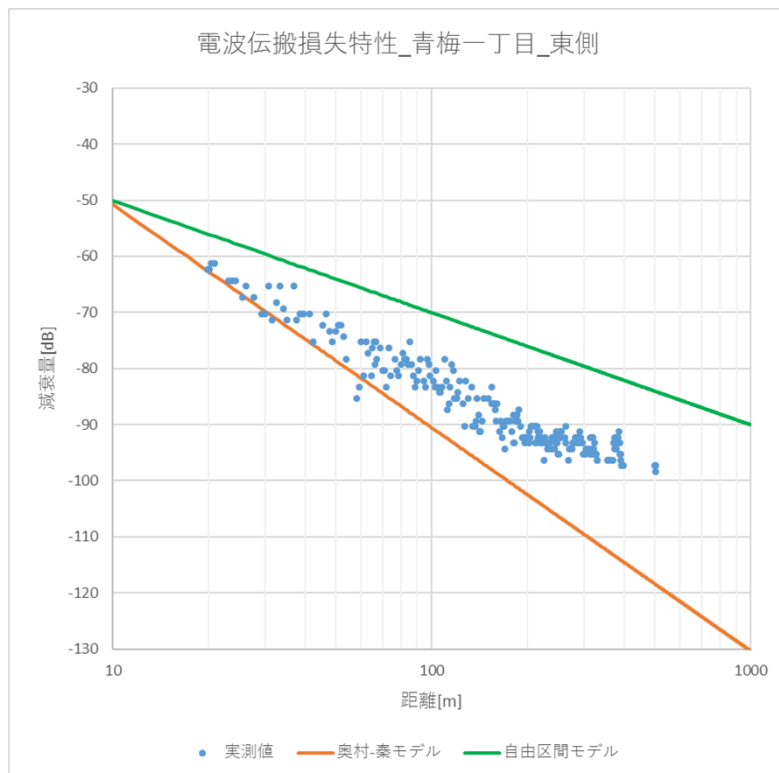


図 3.18 青海一丁目東側の測定結果グラフ

3.3 広域実験結果

3.3.1 実験結果概要

複数の I T S 無線路側機の通信エリアに入っている 7 か所の測定地点において、複数の I T S 無線路側機から受信できていることを確認した。アンテナ位置から測定地点までの距離だけで判定した受信エリアでは建造物等の影響で受信できない I T S 無線路側機もあったが、当該交差点のサービスに必要な地点ではないため問題とはならない。

実験データの分析仮定において、奥村-秦モデルで算出される伝搬損失より低い地点があることが分かり、タイムスロット割当て変更を検討した。

3.3.2 実験結果詳細

広域実験結果を表 3.7 に示す。各計測地点で、各 I T S 無線路側機からの受信電波に関する R S S I を表 3.8 に示す。

測定地点から I T S 無線路側機までの距離が 190m 以内である受信エリア内で概ね受信できていることを確認できた。

3 測定地点、3 基の I T S 無線路側機については受信エリア内で受信ができなかった。測定地点と I T S 無線路側機間に建造物等の遮蔽物があることが要因である。測定地点は I T S 無線路側機との距離だけで受信確認したが、実際にはその路側機との路車間通信によるサービスをうける流入路等でない場合は、受信できないことは問題とならない。未受信の測定地点と I T S 無線路側機の関係では、サービスを受ける流入路ではないため、問題なしと判定した。

表 3.7 広域実験結果

測定地点番号	試験結果		
	受信エリア内 受信	受信エリア内 未受信	受信エリア外 受信
1	6, 8	9	5, 13
2	13, 14, 15	-	8, 16
3	9, 10, 11	8	既設 2
4	11, 18, 既設 1	-	10
5	3, 既設 2	-	4
6	7	-	2, 3, 既設 2
7	1, 2	5	3, 7

注) 試験結果の数字は、I T S 無線路側機の番号を示す。既は既設 I T S 無線路側機を示す。

表 3.8 に広域実験結果詳細を示す。各地点で 1 分前後の受信を行い正しく受信できたパケット数をカウントし、受信期間から送信パケット数を算出し、パケット誤り率 (P E R) を算出し、5 段階で P E R レベルとしてまとめた。190m の通信範囲内であっても P E R がレベル B 以下の I T S 無線路側機が存在することが分かった。本調査研究では、I T S 無線路側機アンテナが仮設であるため条件が悪いことが影響している可能性があるが、ゆりかもめ橋脚、高架道路、街路樹

等の遮蔽物が影響していると考えられる。そのため、I T S無線路側機の整備時にはパケット誤り率を広範囲に調査し、パケット誤り率が大きい場合は、交差点毎に求められる通信範囲を検討し、その影響を把握し、対策することが必要と考える。

表 3.8 広域実験結果詳細

定地点 番号	I T S無線路 側機番号	距離 (m)	通信 範囲外	R S S I (d B m)	P E R レベル	遮蔽物
1	5	215	○	-73.5	C	高架道路
	6	138		-73.4	B	ゆりかもめ橋脚
	8	160		-56.6	A	ゆりかもめ橋脚
	13	336	○	-73.5	C	ゆりかもめ橋脚
2	8	324	○	-76.3	B	
	13	142		-55.7	B	ゆりかもめ橋脚
	14	102		-54.8	A	お台場海浜公園駅
	15	141		-72.9	A	ビル
	16	217	○	-70.5	B	
3	9	107		-60.5	C	歩行者デッキ
	10	17		-48.3	A	
	11	113		-65.7	A	
	既設 2	396	○	-74.3	D	
4	10	266	○	-73.4	C	
	11	156		-61.0	B	高架道路
	18	160		-66.2	C	
	既設 2	131		-54.7	C	街路樹
5	3	159		-73.2	A	
	4	219	○	-67.8	A	ゆりかもめ橋脚
	既設 1	63		-45.3	A	ゆりかもめ橋脚
6	2	421	○	-74.5	D	
	7	39		-56.3	A	
	3	447	○	-78.2	E	
	既設 2	286	○	-74.7	B	
7	1	68		-59.0	A	
	2	141		-65.4	A	
	3	450	○	-77.4	C	ゆりかもめ橋脚
	7	485	○	-76.0	E	高架道路

注) 距離欄は、測定地点と I T S無線路側機間の距離を示す。通信範囲外欄は、距離が 190mを超える路側機を示す。P E Rレベルは、パケット誤り率を次のとおり 5 段階で示したものである。A: 20%以下、B: 40%以下、C: 60%以下、D: 80%以下、E: 100%以下

3.3.3 タイムスロットペア割当ての変更

広域実験の結果、今回のエリアでは I T S無線路側機から遮蔽物がなく見通せる道路が多く、

距離が長い場合でも通信可能であることが分かった。すなわち、このことはタイムスロット割当て根拠とした奥村-秦モデルより伝搬損失が少ない場合があり、必要なDURが得られない可能性があることを示す。上記の条件にあてはまるITS無線路側機は、路側機5-路側機14、路側機7-路側機17の組合せである。これらの路側機的一方を表3.7のようにタイムスロットを変更する必要がある。

表 3.9 タイムスロットペアの変更

ITS無線路側機の番号	変更前のタイムスロットペア	変更後のタイムスロットペア
14	B	D
17	G	C

4. 検討結果を踏まえたタイムスロット割当て方法の確立

4.1 タイムスロット割当て条件の整理

タイムスロット割当て方法の確立にむけて、3章で実施した実証環境整備に向けたタイムスロット割当て実地検証結果を踏まえて、タイムスロット割当て条件を整理する。

4.1.1 格子上道路ネットワークにおけるタイムスロット割当て検討

単純な格子上のネットワークでは、同じタイムスロットを使用する交差点は1つ交差点を越えた対角線に配置することを基本とする方法が考えられる。16タイムスロットを2スロットずつ8ペアにして、同じペア番号を持つ交差点を対角に配置することで建物の影響を受け混信を減らせることが期待できる。図4.1は、そのタイムスロットペアの割当て例であり、○印は、ITS無線路側機を示し、数字はペア番号を示す。

タイムスロットペアが8ペアに限られるため、図4.1の混信3のように必ずしも同じペア番号のITS無線路側機を対角には配置できない。同じ路線上に配置した場合には見通し距離が長くなり、また奥村-秦モデルによる伝搬損失よりは小さくなるため、離隔距離640mではDUR14dBを確保できないリスクが高まる。このような場合には、自由空間モデルを用いた離隔距離（参照）である1140mを確保できれば、問題は生じない。

タイムスロットペアが8ペアに限られることによる制限は、2交差点を1タイムスロットに制限することで9ペアができ、同じタイムスロットをより対角に配置しやすくなる。今回のタイムスロット割当てでは、各ITS無線路側機が2タイムスロットを使用することを要件として検討しているが、導入対象エリアでの必要タイムスロット数を明確にすることで、タイムスロット割当てに対する自由度を上げることができる。

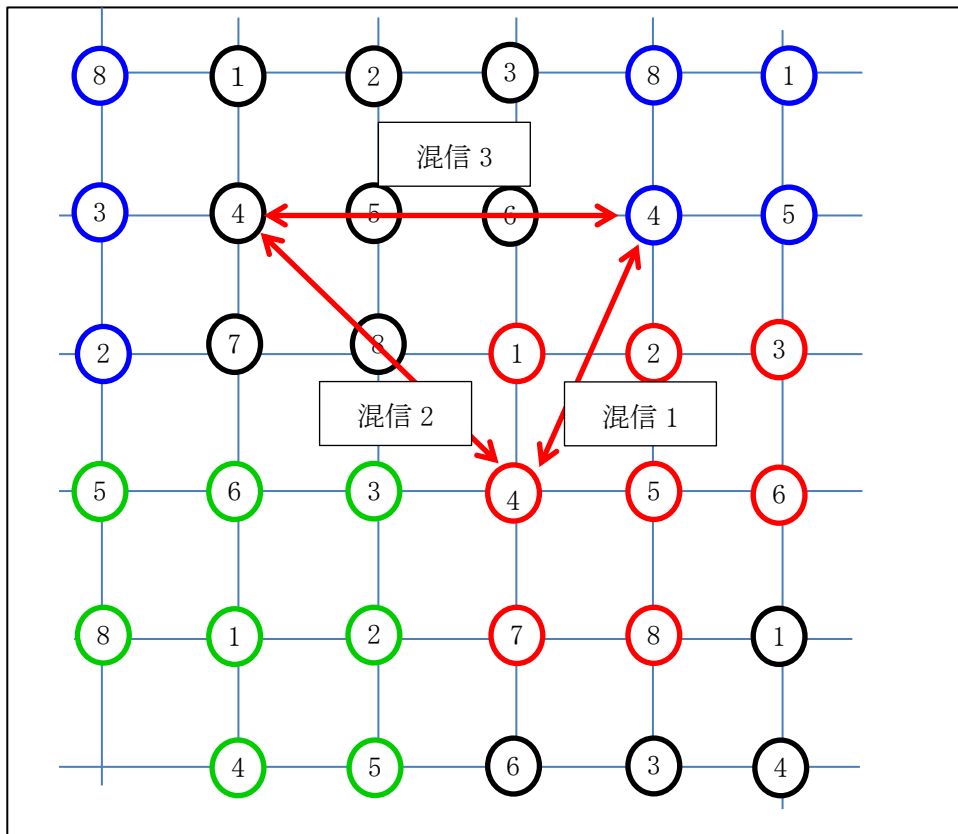


図 4.1 格子上道路ネットワークにおけるタイムスロットペアの割当てと混信

4.1.2 混信 1 の配置における考察

2章で検討したとおり、奥村-秦モデルでは同一タイムスロットが割当てされたITS無線路側機間の離隔距離が640mあれば混信は生じない。離隔距離がとれない場合でも、3章で検証したように遮蔽物により奥村-秦モデルより大きな伝搬損失があれば混信は生じない。しかし、道路では横断歩道橋、標識を除けば、遮蔽物は少ない。混信 1 では、図 4.2 のような無線サービスエリア内の交差点が混信地点となる場合について検討する。

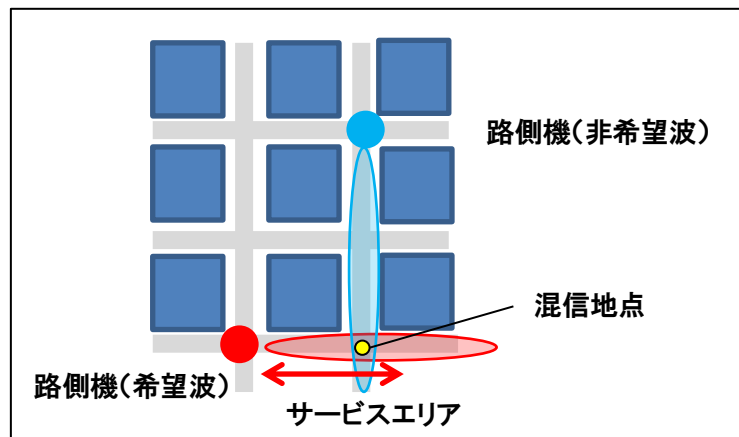


図 4.2 混信 1 における検討

路側機（希望波）から混信地点までの距離を 150mとした場合の奥村-秦モデル、及び自由空間モデルにおけるDUR算出結果をそれぞれ表 4.1、表 4.2 に示す。路側機（非希望波）から混信地点までの距離が奥村-秦モデルでは 340m、自由空間モデルでは 760mあれば所要DURを確保でき、混信しない。また、路側機（希望波）から混信地点までの距離を 190mとした場合は 2 章での検討のとおり、路側機（非希望波）から混信地点までの距離が奥村-秦モデルでは 450m、自由空間モデルでは 950mあれば所要DURを確保でき、混信しない。

表 4.1 混信 1 の混信地点(150m)におけるDUR算出（奥村-秦モデル）

路側機（希望波）から混信地点までの距離（m）	路側機（非希望波）から混信地点までの距離（m）	希望波の伝送損失（dB）	非希望波の伝送損失（dB）	DUR
150	300	97.7	109.6	11.9
150	320	97.7	110.7	13.0
150	340	97.7	111.8	14.1
150	360	97.7	112.8	15.1
150	380	97.7	113.7	16.0

表 4.2 混信 1 の混信地点(150m)におけるDUR算出（自由空間モデル）

路側機（希望波）から混信地点までの距離（m）	路側機（非希望波）から混信地点までの距離（m）	希望波の伝送損失（dB）	非希望波の伝送損失（dB）	DUR
150	700	73.6	87.0	13.4
150	720	73.6	87.2	13.6
150	740	73.6	87.4	13.8
150	760	73.6	87.7	14.1
150	780	73.6	87.9	14.3

4.1.3 混信 2 の配置における考察

混信 2 では、図 4.3 のような無線サービスエリア内の交差点が混信地点となる場合でかつ、路側機（希望波）から混信地点までの距離と路側機（非希望波）から混信地点までの距離がおおむね等しい場合を検討する。

このような条件では、希望波の伝送損失と非希望波の伝送損失に大きな差が生じないため、混信地点で所要DURを満たさないため、混信を避けられない。そのため、図 4.3 に示すようにサービスエリアが混信地点に入らないような配置に限って、混信の影響を回避できる。混信地点と路側機の距離が短い場合は電波の回折の影響がでるため、サービスエリアと混信地点に一定の距離をとることが望ましい。

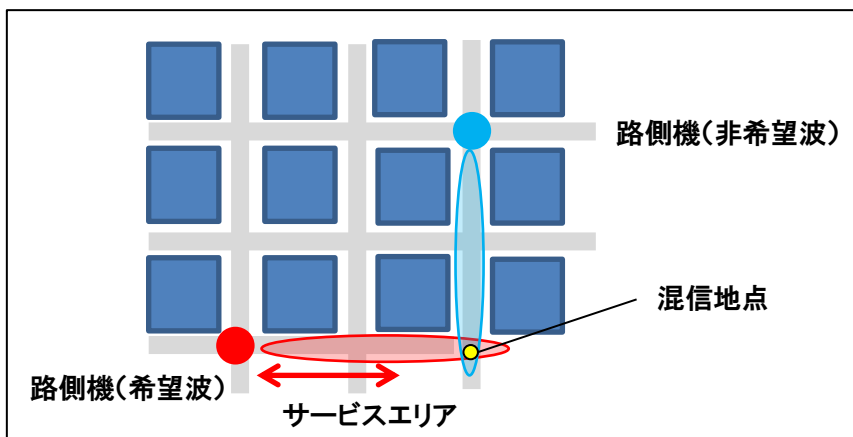


図 4.3 混信 2 における検討

4.1.4 混信 3 の割当てにおける考察

混信 3 では、図 4.3 のような直線道路に ITS 無線路側機が設置され、無線サービスエリア内が混信地点となる場合を検討する。このケースは、2 章における検討と同じであるが、「3.2 基礎データ取得実験結果」で示したとおり、伝搬損失が奥村-秦モデルと自由空間モデルの中間の値をとることを考慮した離隔距離とすることが必要となる。具体的には距離が奥村-秦モデルの離隔距離が 640m、自由空間モデルでの離隔距離が 1140mであることを考慮して設置する。十分な離隔距離がとれない場合は、使用タイムスロット数を 1 タイムスロットに限定し同一タイムスロットペアを使用しないようにする、もしくはアンテナ設置位置を考慮して適用する伝搬損失を選択することが考えられる。「3.2 基礎データ取得実験結果」で取得したデータにおいても図 4.5 に示すように、混信地点に近い路側にアンテナが設置される場合は伝搬損失が大きくなる結果となっている。

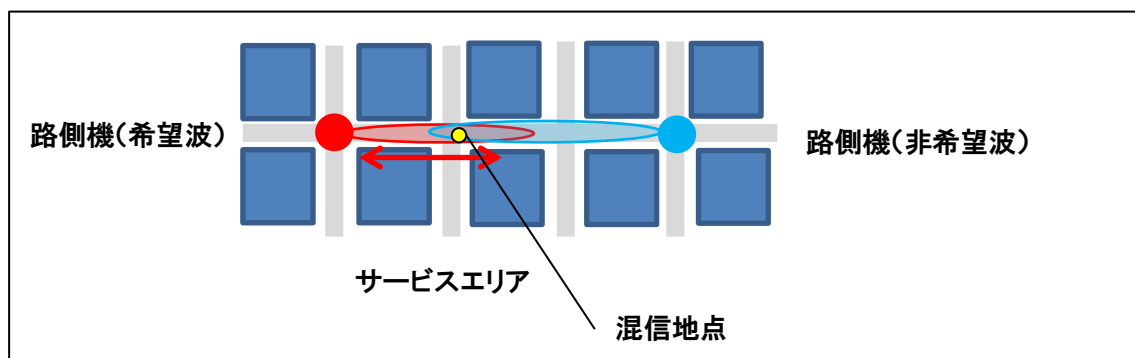


図 4.4 混信 3 における検討

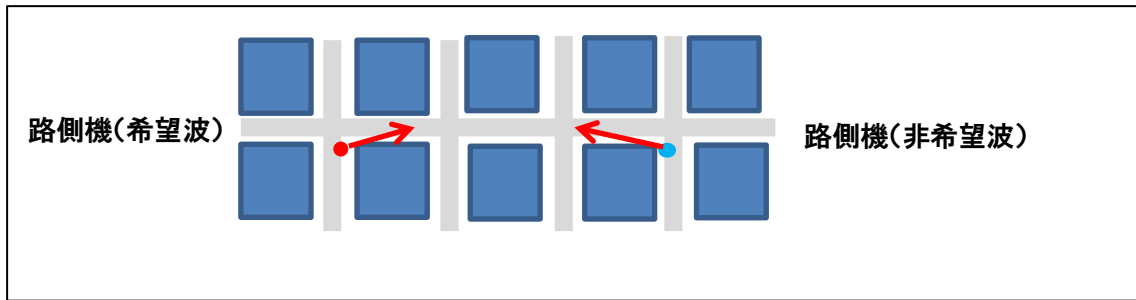


図 4.5 アンテナ設置位置による伝搬損失の考慮

4.2 タイムスロット割当て方法案

4.1 項の検討と 3 章の結果を踏まえ、面的に ITS 無線路側機を設置する際のタイムスロット割当てに係る方法案を検討する。

4.2.1 作業フロー案

図 4.6 にタイムスロット割当て作業フロー案を示す。

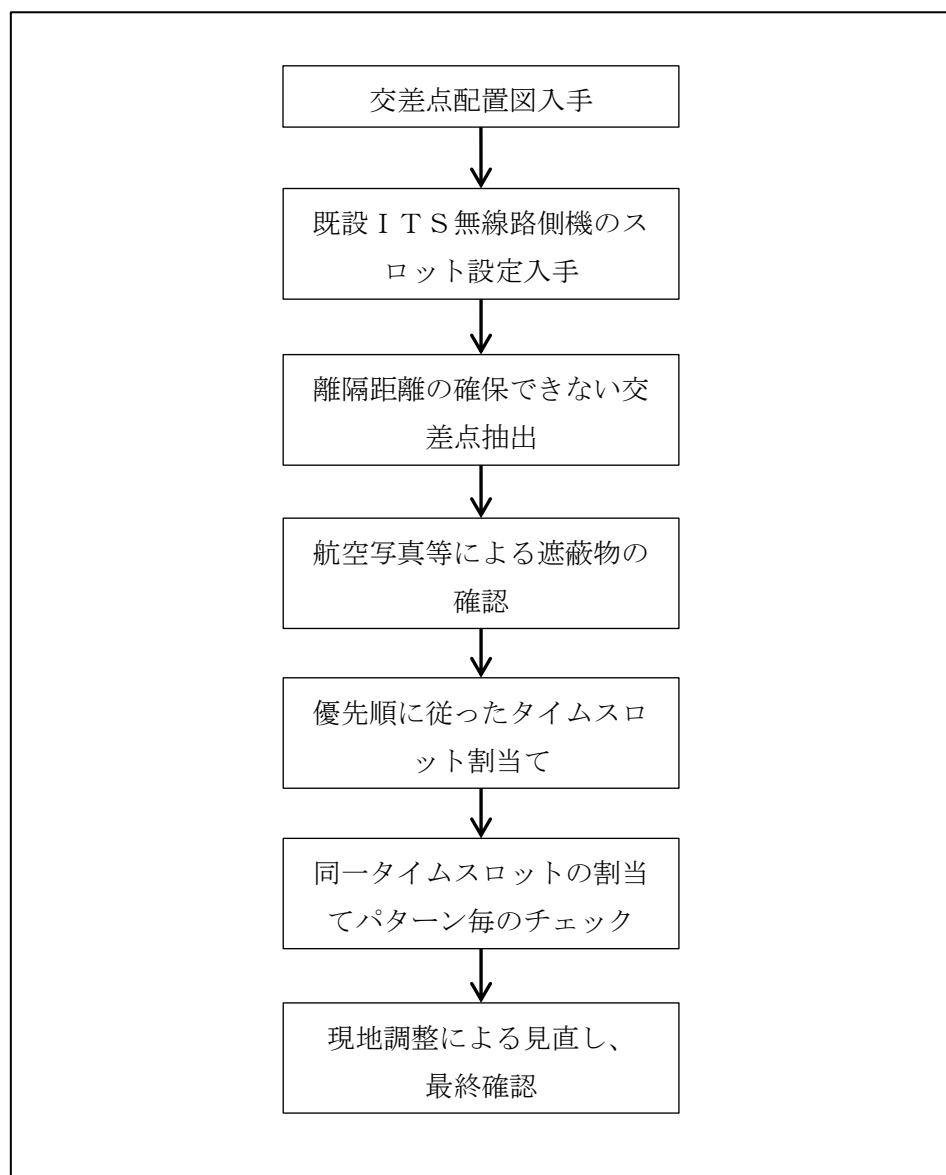


図 4.6 タイムスロット割当て作業フロー案

4.2.2 作業内容

図 4.6 の作業フロー案に示した各作業の内容を表 4.3 に示す。

表 4.3 タイムスロット割当て作業内容

作業項目	内容	補足事項
交差点配置図入手	I T S 無線路側機を設置予定の当該エリアの交差点配置地図を入手する。各交差点の信号制御機の設置位置がわかる図面も入手する。	I T S 無線アンテナを設置する具体的な場所がわかること。
既設 I T S 無線路側機のタイムスロット設定入手	既設 I T S 無線路側機に割当てられたタイムスロットは前提条件となるため設定を入手する。	近くに既設 I T S 無線路側機がある場合。
離隔距離の確保できない交差点抽出	奥村-秦モデルから得られた離隔距離 640m がとれるよう、各交差点に 190m と 450m の円を描き、混信エリアがあり同一タイムスロット割当てができない交差点を抽出する。	混信エリアが道路上にない場合は、同一タイムスロット割当て可とする。
航空写真等による遮蔽物の確認	同一タイムスロット割当てができない交差点を対象に航空写真等により建造物などで十分な遮蔽が期待できるか確認する。	道路上の混信エリアを対象に確認する。
優先順に従ったタイムスロットペア割当て	8つのタイムスロットペアを優先順に従って割り当てる。 ① 離隔距離を確保できない交差点 相手交差点数の多い交差点から順に割り当てる。 ② 離隔距離を確保できない交差点 交差点が直線になる交差点から割り当てる（混信 3、混信 2、混信 1 の順に混信を避ける）。	
同一タイムスロットの割当てパターン毎のチェック	できあがったタイムスロット割当て案で、混信 1、混信 2、混信 3 の配置があるか、優先順に混信を回避できているか確認する。	混信 3 がある場合は、自由空間モデルでの離隔距離も考慮すること。 回避が困難な場合は、アンテナ設置位置も含めて、伝搬損失を推定すること。
現地調整による見直し、最終確認	混信が想定される場合は、現地調整時に R S S I を計測し所要 D U R が満たされていることを確認する。	

4.3 非実験対象交差点におけるタイムスロットペア割当て

4.3.1 お台場地区

お台場地区のタイムスロット割当て未実施の11交差点(表4.4のとおり)を対象にタイムスロットペア割当てを行った結果を表4.4及び図4.7に示す。

表4.4 お台場地区におけるタイムスロットペア割当て未実施交差点一覧

No	設置場所	交差点種別
19	フェリー埠頭第二	交差点
20	フェリー埠頭第一	交差点
21	有明三丁目	交差点
22	フェリー埠頭入口	交差点
23	有明コロシウム西	横断路
24	東京ビックサイト正門	交差点
25	有明コロシウム北	交差点
26	有明中央橋北	交差点
27	有明中央橋南	交差点
28	有明テニスの森	交差点
29	東京ビックサイト前	交差点
既設4	有明コロシウム前	交差点
既設5	有明駅前	交差点
既設6	東京ビックサイト前	交差点

表4.5 タイムスロットペア案

タイムスロットペア	対象交差点
A	既設1、既設6、9、23
B	既設2、5、20
C	既設3、2、13、17、27
D	既設4、1、14、18、21
E	既設5、3、6、12、15、28
F	4、11、22、26
G	7、8、19、29
H	10、16、24、25

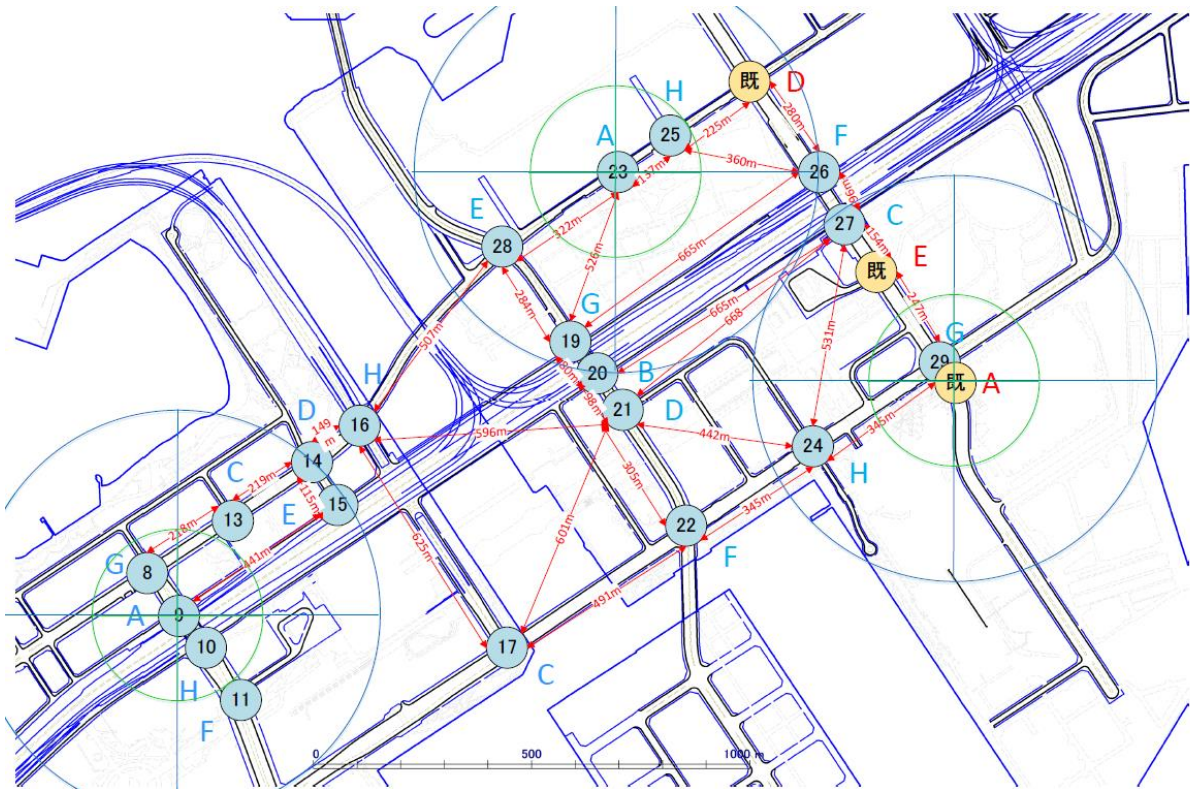


図 4.7 お台場地区の非実験対象交差点へのタイムスロットペア割当て結果

4.3.2 羽田地区

羽田地区の9交差点(表4.6のとおり)を対象にタイムスロットペア割当てを行った結果を図4.8に示す。羽田地区は9交差点が対象のため、1タイムスロットペアを離れた交差点に割り当てることで混信を回避できる。

表 4.6 羽田地区におけるタイムスロットペア割当て対象交差点一覧

No	設置場所	交差点種別
1	天空橋駅前	交差点
2	羽田空港二丁目西	交差点
3	羽田空港二丁目	交差点
4	国際線西	交差点
5	国際線東	交差点
6	羽田空港整備場入口	交差点
7	穴守橋北	交差点
8	弁天橋東	交差点
9	(仮称)天空橋東	交差点



図 4.8 羽田地区の非実験対象交差点へのタイムスロットペア割当て結果