



ITS情報通信システムシンポジウム
(H19.06.07)

電波カーブミラー

安心・安全を担う車々間通信技術の研究最前線

唐沢好男

電気通信大学

先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター(AWCC)



〔講演要旨〕

「できたらよい」ということと「できること」のギャップは、その時代の初めにはいつも大きい。そしてそれを近づけるのが、研究であり、技術開発である。本テーマの車々間通信も、そのギャップは、まだ、かなり大きい。

最近のカーナビは便利である。自分の位置は正確にわかるし、目的地までのルートも瞬時に教えてくれる。「その先の交差点を右に曲がってください」というカーナビの声を素直に聞いていれば、迷うことがない。「できたらよい」と「できること」がかなり近づいている例、といえる。

21世紀は**安心・安全社会の実現**が課題になっている。**交通事故のない車社会**もそのひとつである。交通事故がおきない仕組みづくりには、さまざまな技術分野での開発努力が必要であるが、**通信技術**が果たすべき役割は大きい。交通事故の大半は、事故直前の一瞬の不注意によるヒューマンエラーといわれており、**予防安全の技術**がきわめて重要になる。直面する危険を知らせてくれるものが電波であり、通信である。

そこで、「できたらよい」である。カーナビがもう一働き、**近づきつつある危険を教えてくれたらよい**であろう。見通しの悪い交差点で、ビル影から現れる自動車に対して「右から車が近づいています」と教えてほしい。細い曲がりくねった道で「前方から車が来ます」と教えてほしい。しかし、見通しのよい対向車線から近づく車を、「前方から車がきます」といちいち言われれば、うるさいだけで、スイッチを切ってしまうだろう。**知りたい情報（＝近づきつつある危険）だけを教えてくれるのが、この場合の「できたらよい」である。**見えない危険を電波が教えてくれる、まさに「**電波カーブミラー**」である。

最初の一步は、**お互いの車の位置を知らせあい、相互に認識すること**である。自分の位置はカーナビ（GPS）で取得できているので、後はそれを短時間で交換し合えばよいことになる。その手段が**電波のチカラ、すなわちワイヤレス情報通信**であり、車々間通信である。確実に、相手に情報を送りたい、また受けたい。それを「できること」に近づけるのが、**電波伝搬・アンテナ・通信方式の研究**である。電波の伝わりやすさや情報を運ぶ力は周波数によって異なるので、それに適した周波数による通信システムの設計が必要になる。

また、車同士の通信では、携帯電話のような通信システムと違い、基地局に相当する仕切り役がいないので、お互い勝手に情報を出し合うと、電波がぶつかり合って、情報交換効率が悪くなる。**グループメンバー（車群）が離合集散する自律分散制御システムでは同期の確立が難しい問題になる。**でも、このような技術的隘路を切り開いてゆくのは、少し時間がかかるかもしれないが、「できること」と言えよう。最後の難関、「**危険なものだけ選んで教えてくれる**」はどう乗り越えてゆけばよいのだろうか。車々間通信は**先進安全自動車（ASV）の理想**にどこまで近づけるのであろうか。

本講演では、電波伝搬の技術を中心とした私たちの研究を含んで、上記問題解決に向けて行われている**車々間通信の研究**を紹介する。

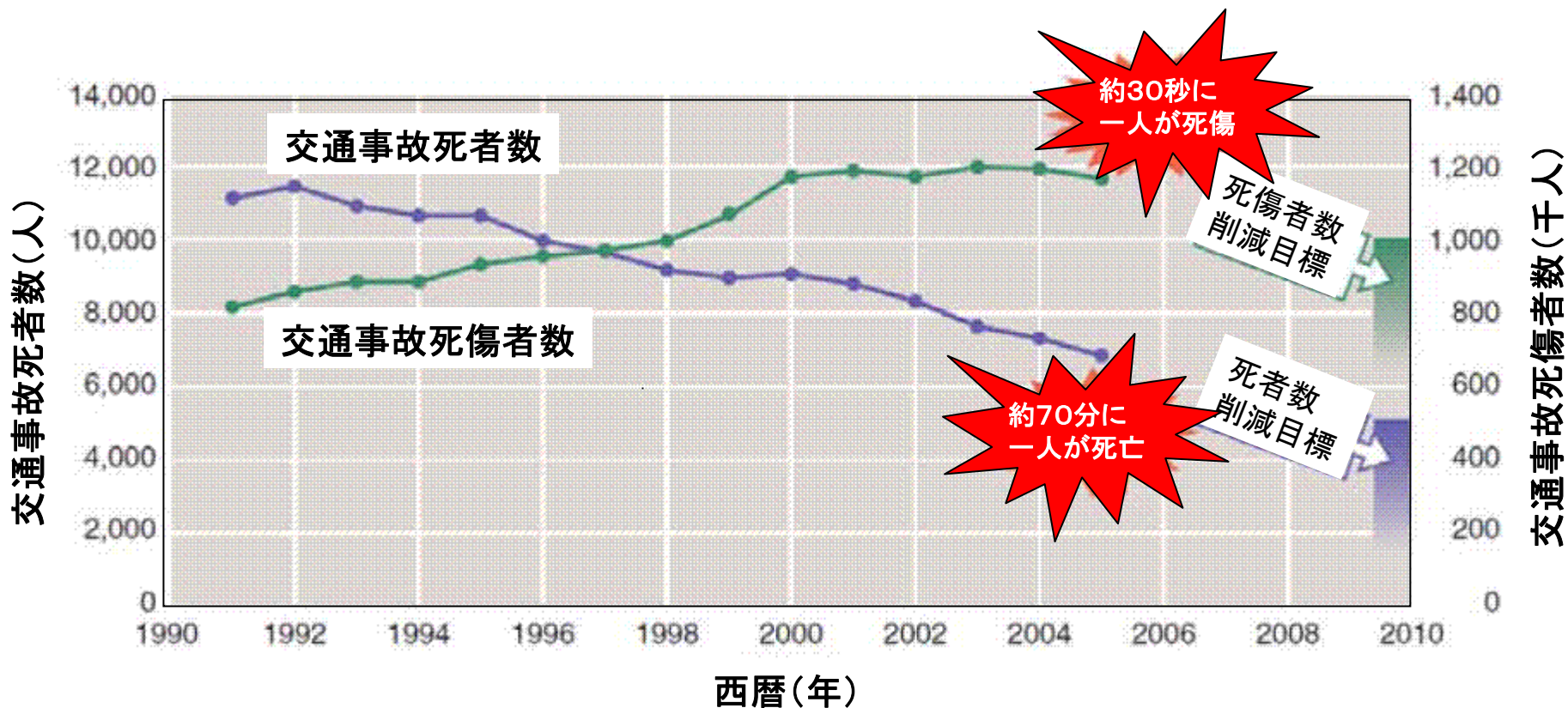


講演の内容

- 交通事故を防ぐ技術としての車々間通信
- 電波伝搬(確実に情報を届ける・受ける)
- アンテナ(MIMO: より高信頼に)
- ネットワーク(混信なく、効率よく)
- 未来技術

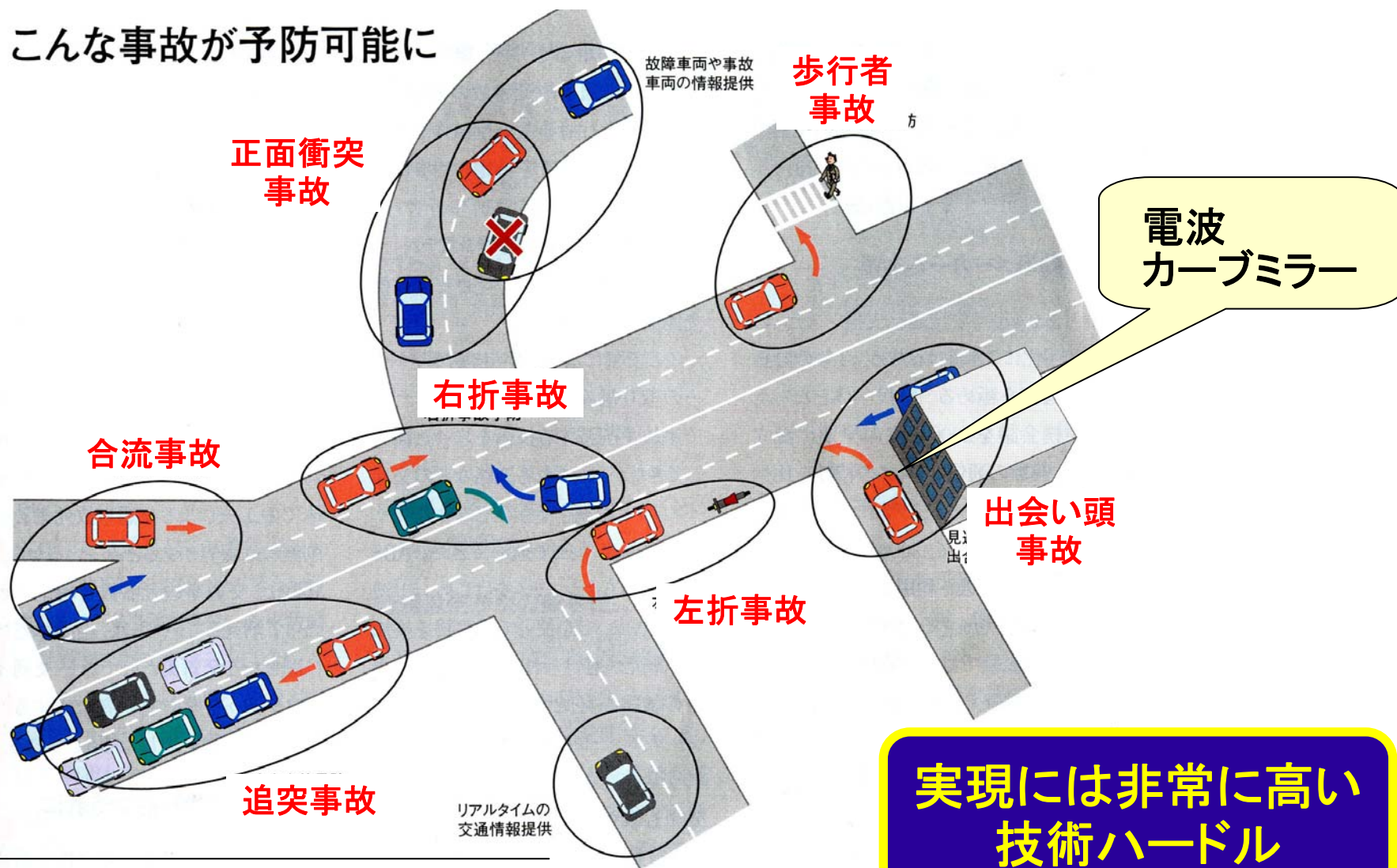


交通事故死者数・死傷者数と削減目標



■ 車々間通信による情報交換が実現されると

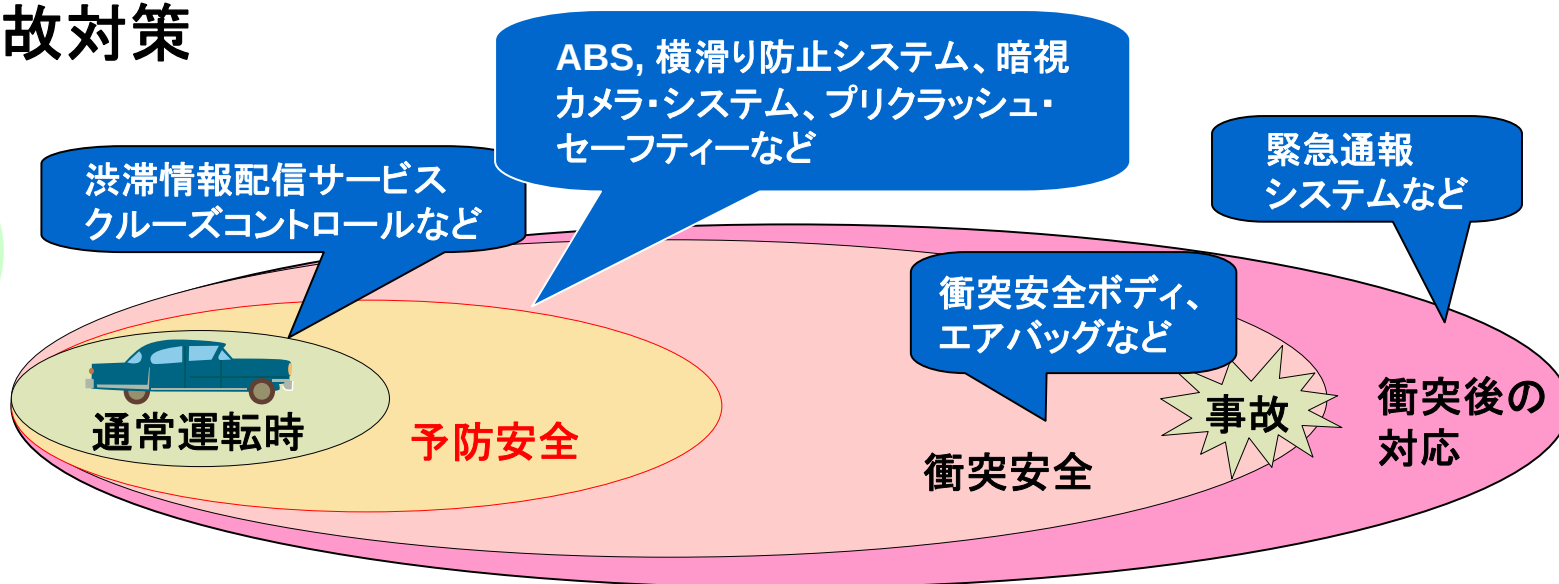
こんな事故が予防可能に



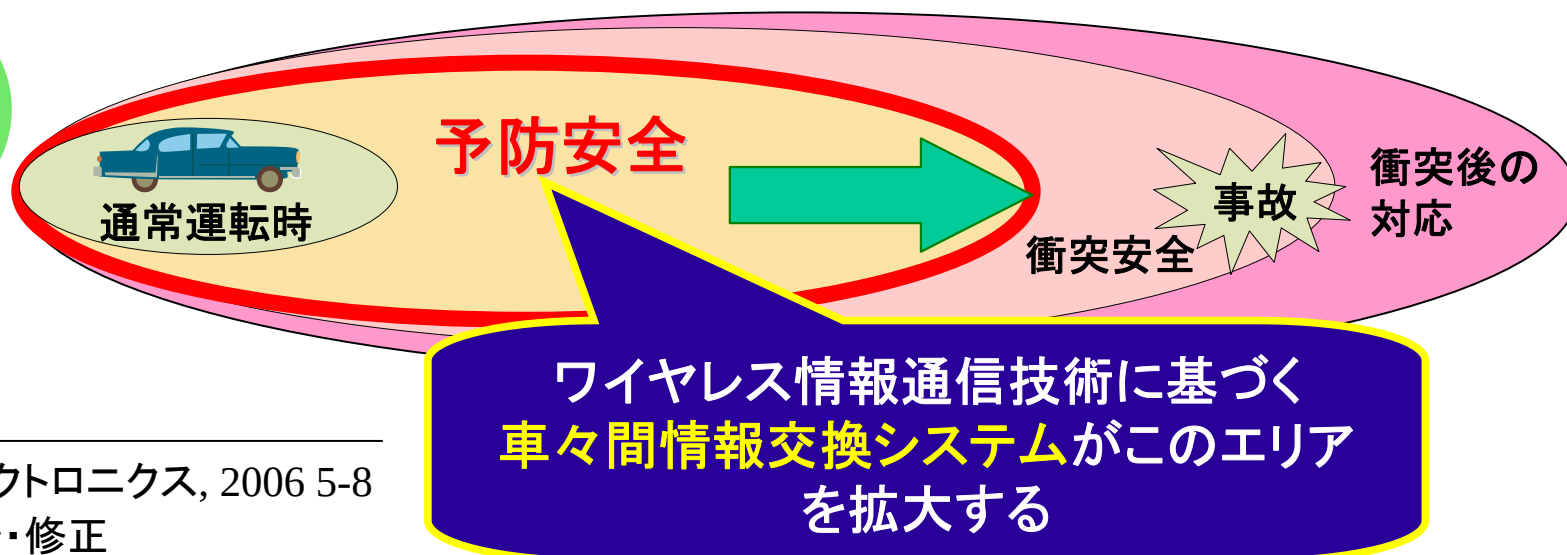


事故対策

これまでの
自動車

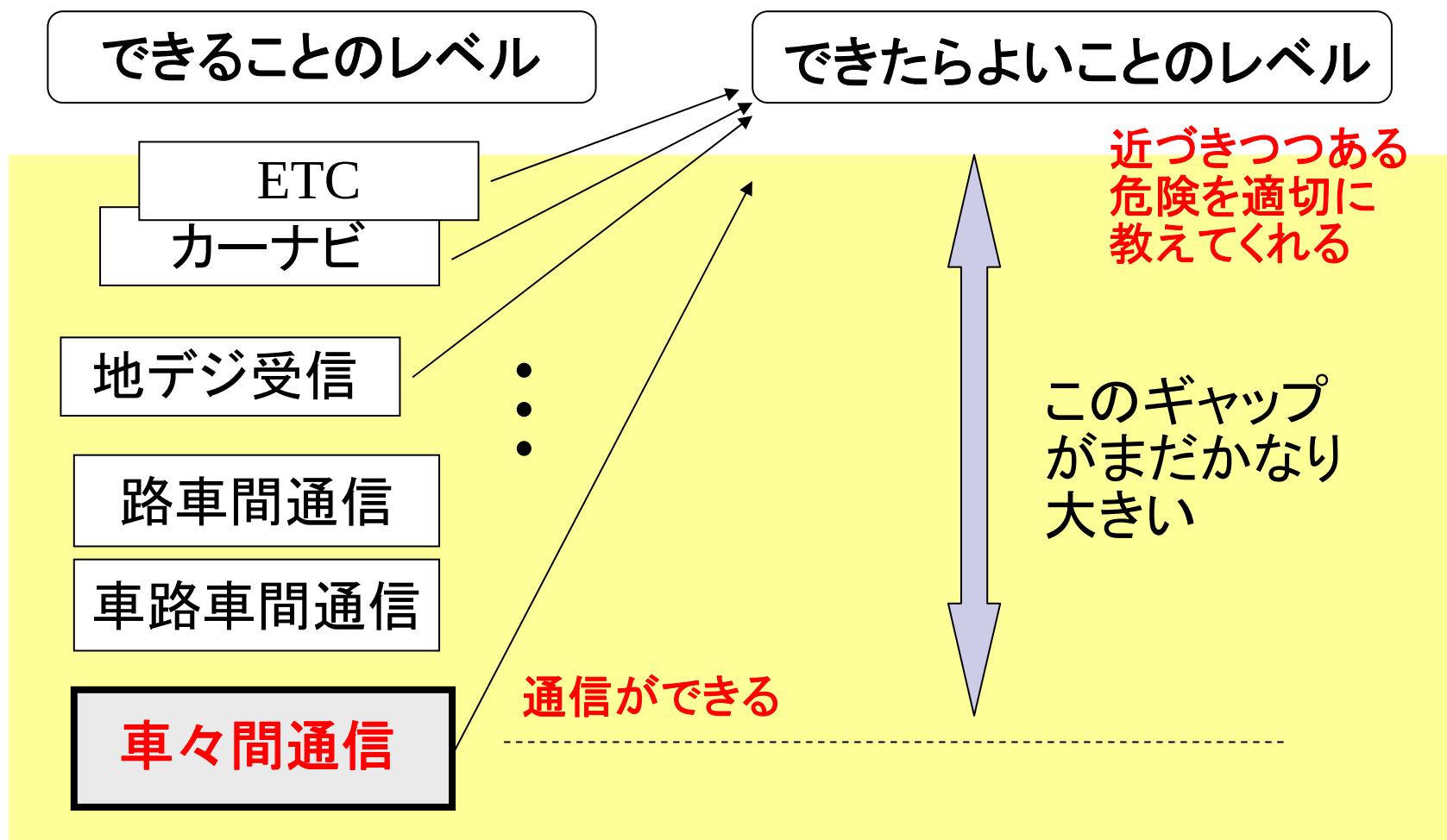


これからの
自動車





ITS: 現実(できること) と 理想(できたらよいこと)

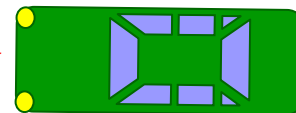
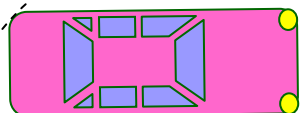
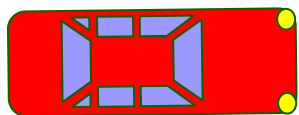
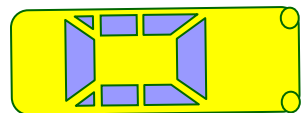


ITS車々間通信技術(お互いの位置情報を交換し合う)

真に危険な情報の選択(人間工学)

車群ネットワーク
自律分散制御システム(ネットワーク)

高信頼リンクの形成(伝送技術)



アンテナ
通信方式
周波数

電波伝搬





確実に相手に情報を伝えるための研究

電波伝搬の研究

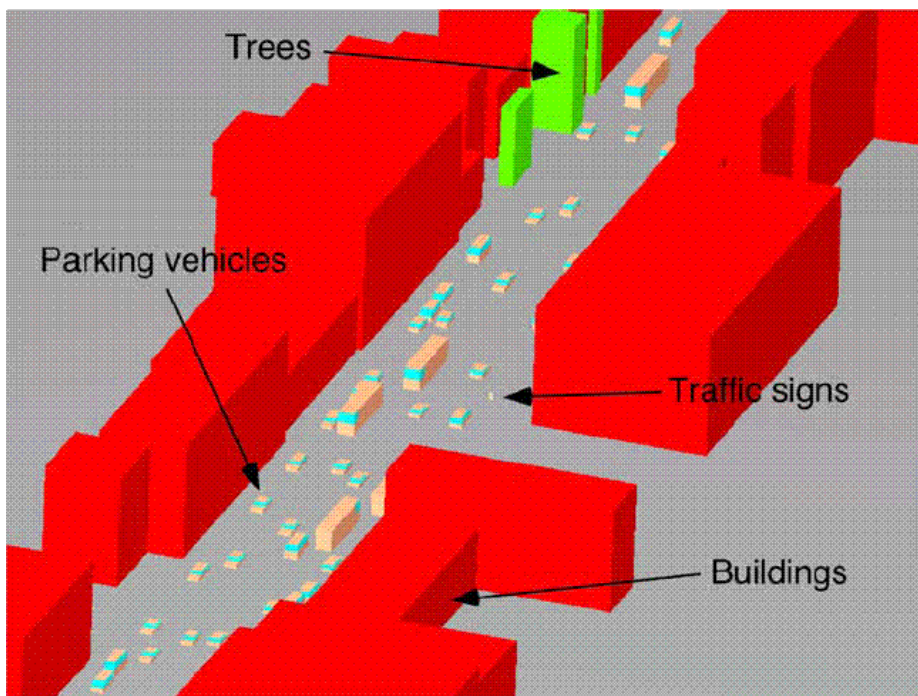
- ドイツKarlsruhe大学
- 同志社大学

電波伝搬＋伝送方式(MIMO)の研究

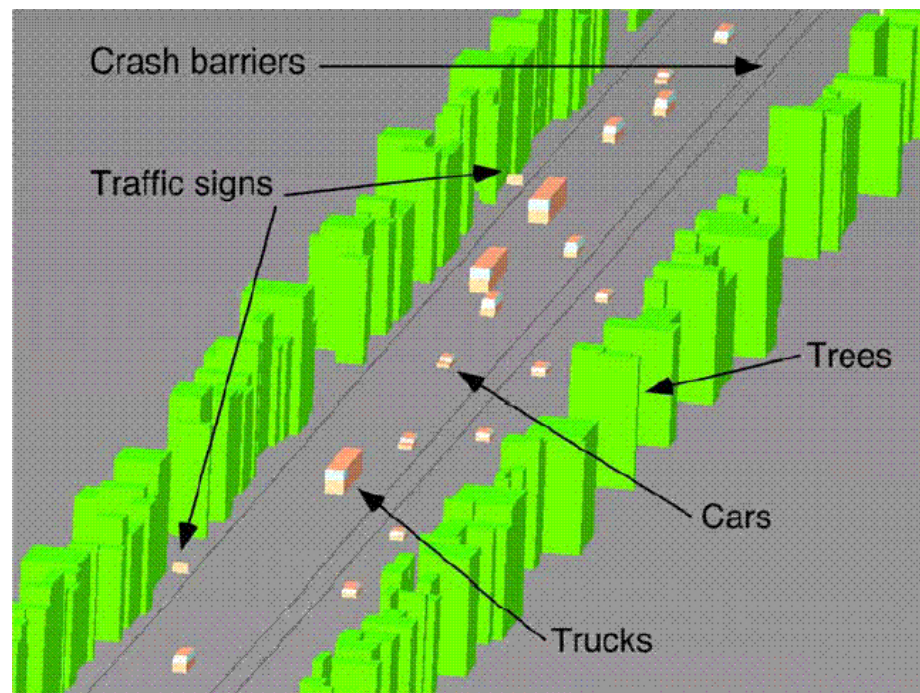
- 豊田中央研究所・電気通信大学

車々間通信：電波伝搬の研究例(ドイツ、Karlsruhe大学)

(対象とする環境)

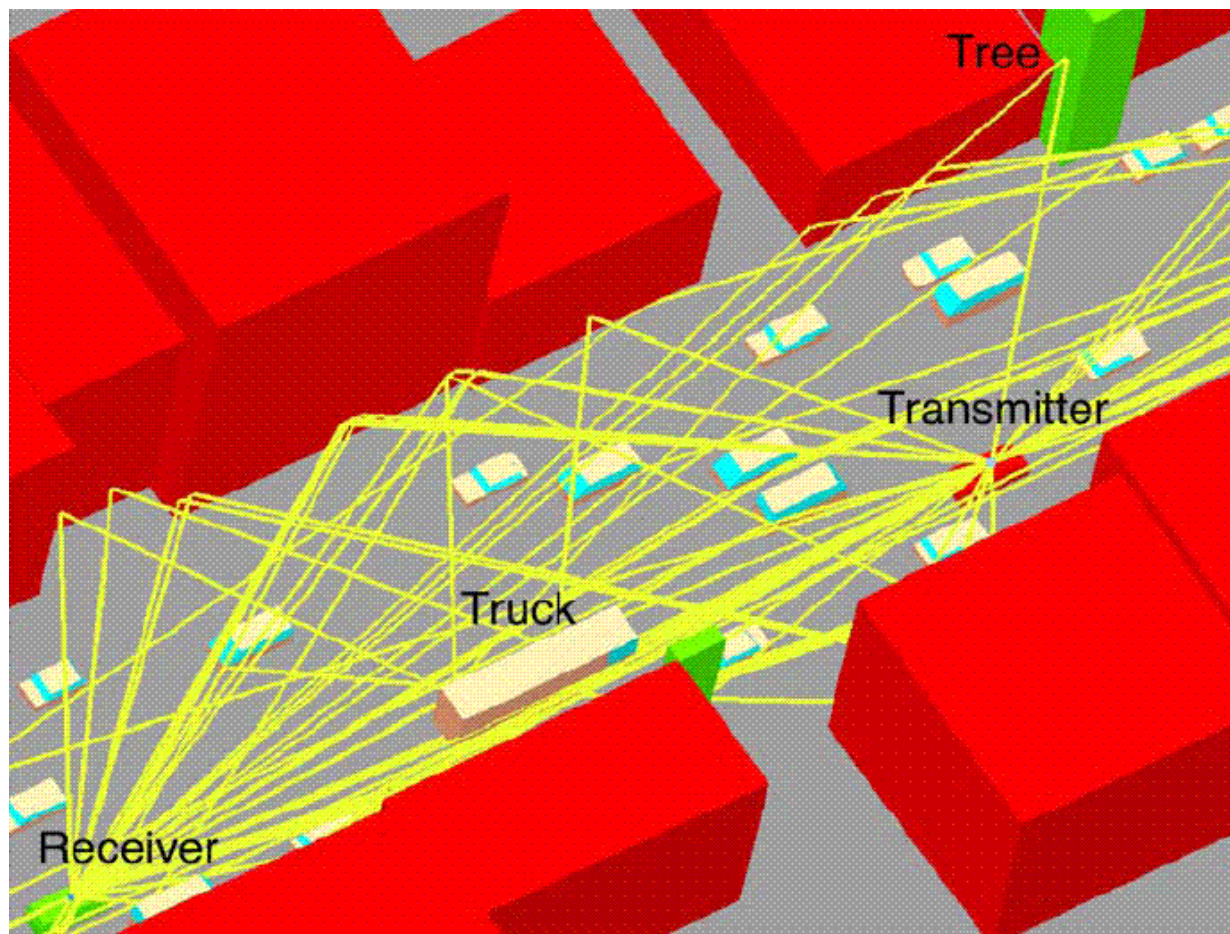


4レーンの市街地道路



6レーンの自動車道路

車々間通信：電波伝搬の研究例（ドイツ、Karlsruhe大学） （レイトレーシング）



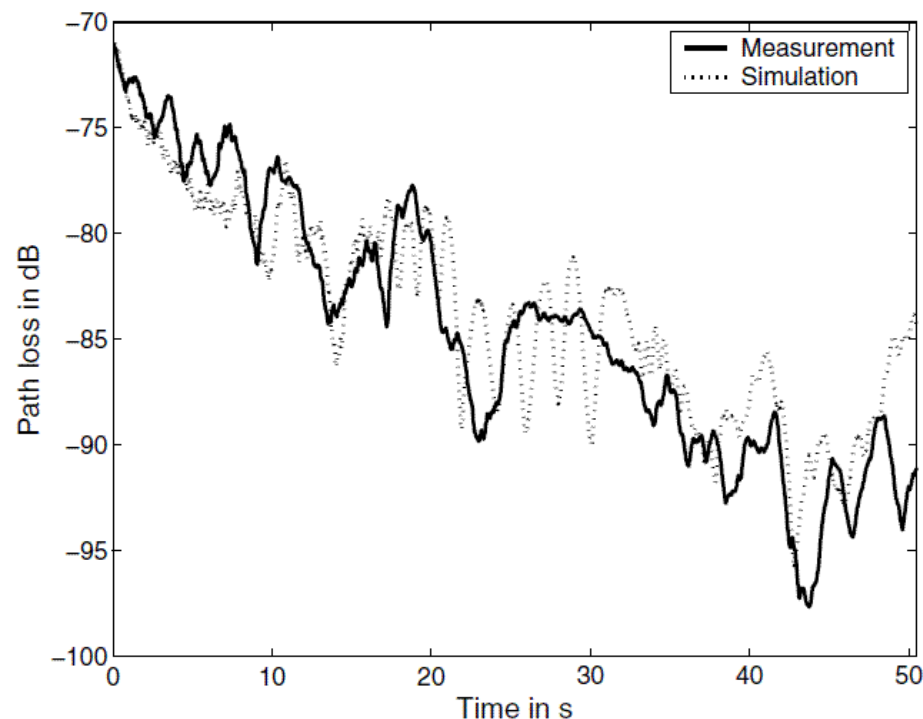
車々間通信：電波伝搬の研究例(ドイツ、Karlsruhe大学)

(レイトレーシング結果と実測地の比較: $f = 5.2$ GHz)

(環境)



(結果)





レイトレーシングは、車々間通信の電波伝搬特性を把握する上で強力な手段になる！

(詳細検討以前の、特性の概略把握をしたい場合に非常に有力な手段)

■ レイトレーシングのメリット

車々間通信を想定した環境について、多くのパラメータを変化させた計算(シミュレーション)ができるので、伝搬特性の全体的・総合的な傾向が把握できる

■ 検討可能なパラメータ依存性

- | | | | |
|----------|----------|--------------|--------|
| ・見通しの有無 | ・周波数 | ・道路幅 | ・アンテナ高 |
| ・交差点形状 | ・交差点角度 | ・交差点周囲の建物の有無 | |
| ・アンテナ指向性 | ・遮蔽車両の影響 | など | |

■ 計算ソフトが充実してきている



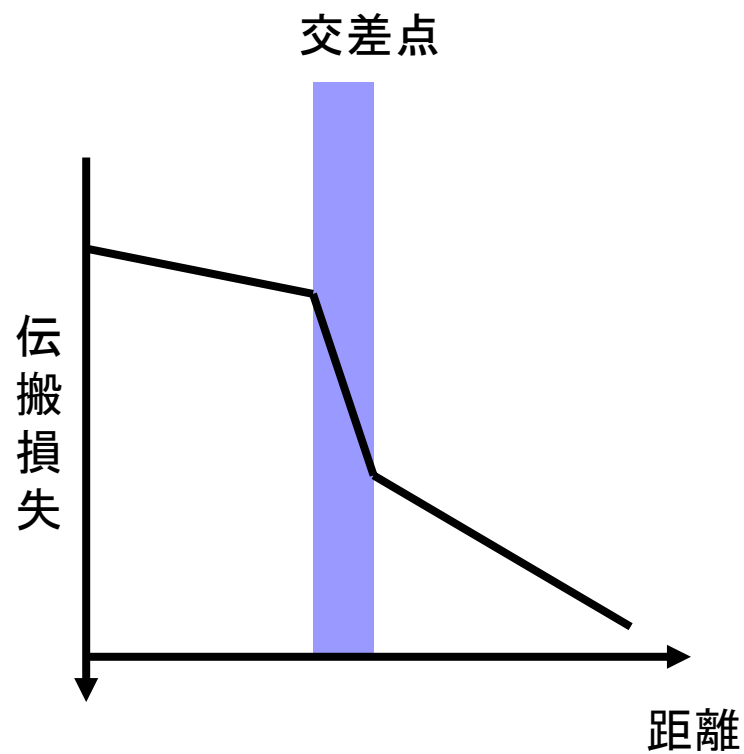
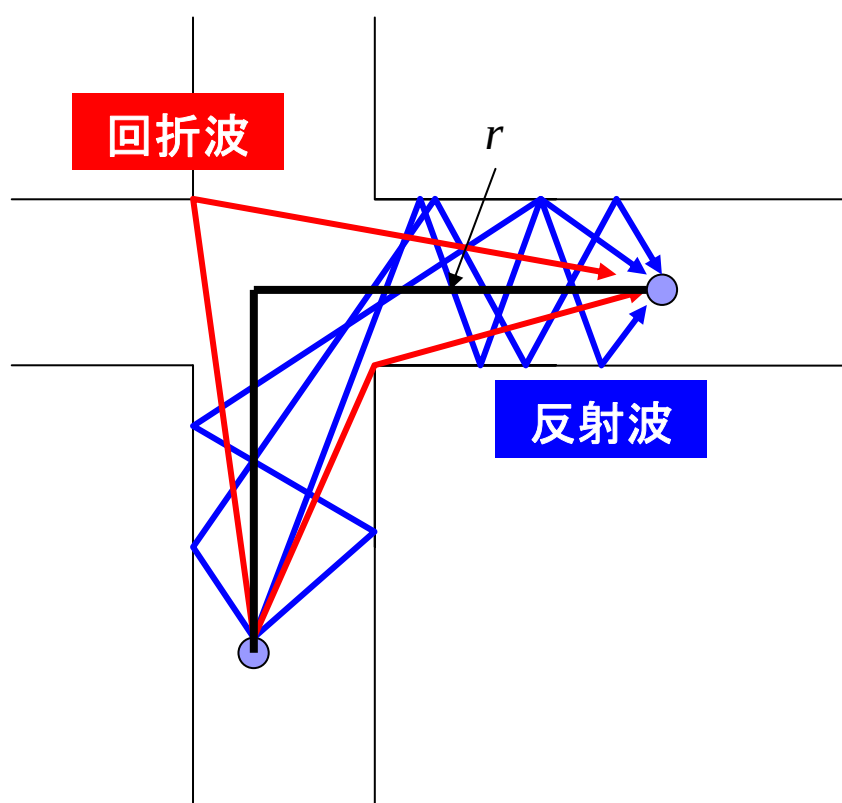
検討結果の事例紹介

レイトレーシングシミュレーションによる 車々間通信電波伝搬特性の総合的評価

2007年3月15日
同志社大学工学部
岩井 誠人

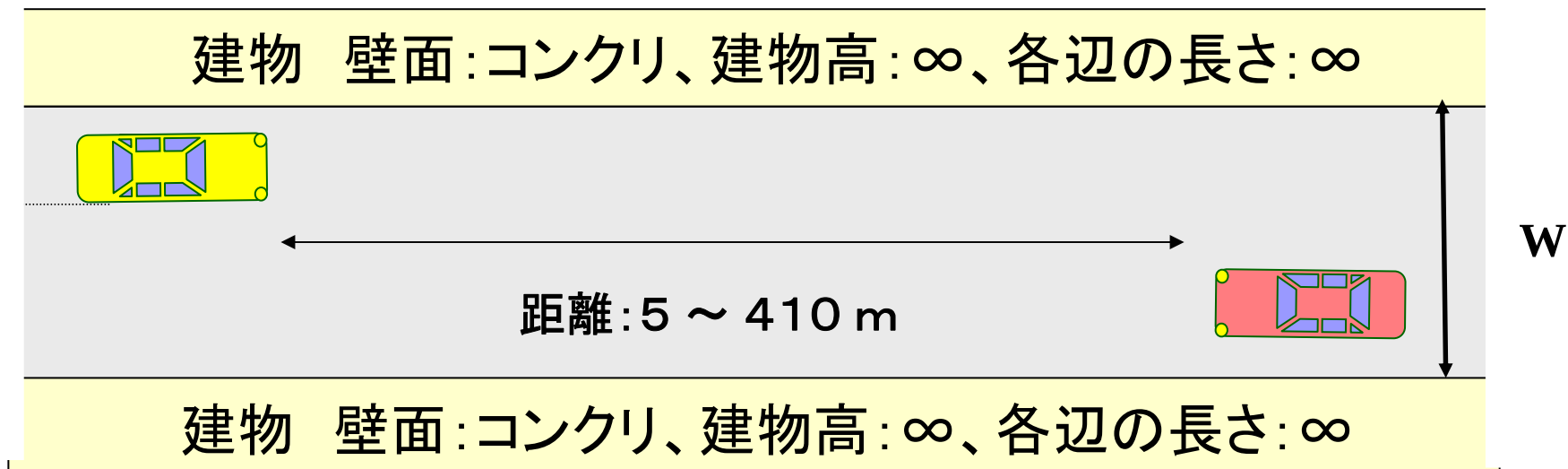
ITS情報通信システム推進会議・車々間通信システム専門委員会からの
委託研究「車々間通信における電波伝搬シミュレーション解析及び調査
研究」の報告会スライドより

レイトレーシングと伝搬モデル





【見通し内環境モデル】

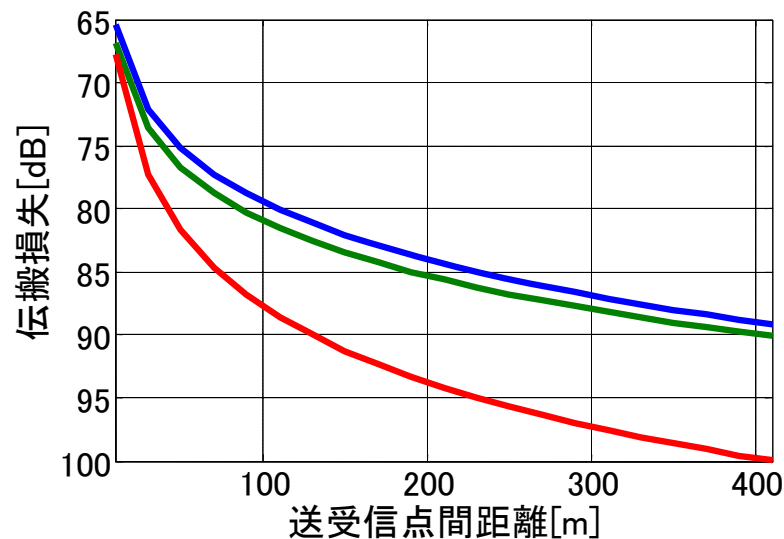




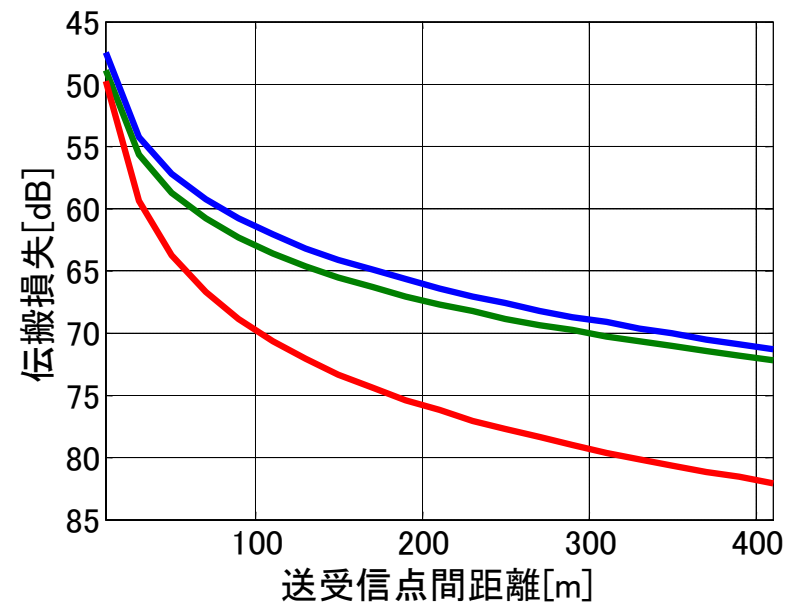
平均伝搬損失と車間距離の関係

見通し内の通信

5.8 GHz



740 MHz

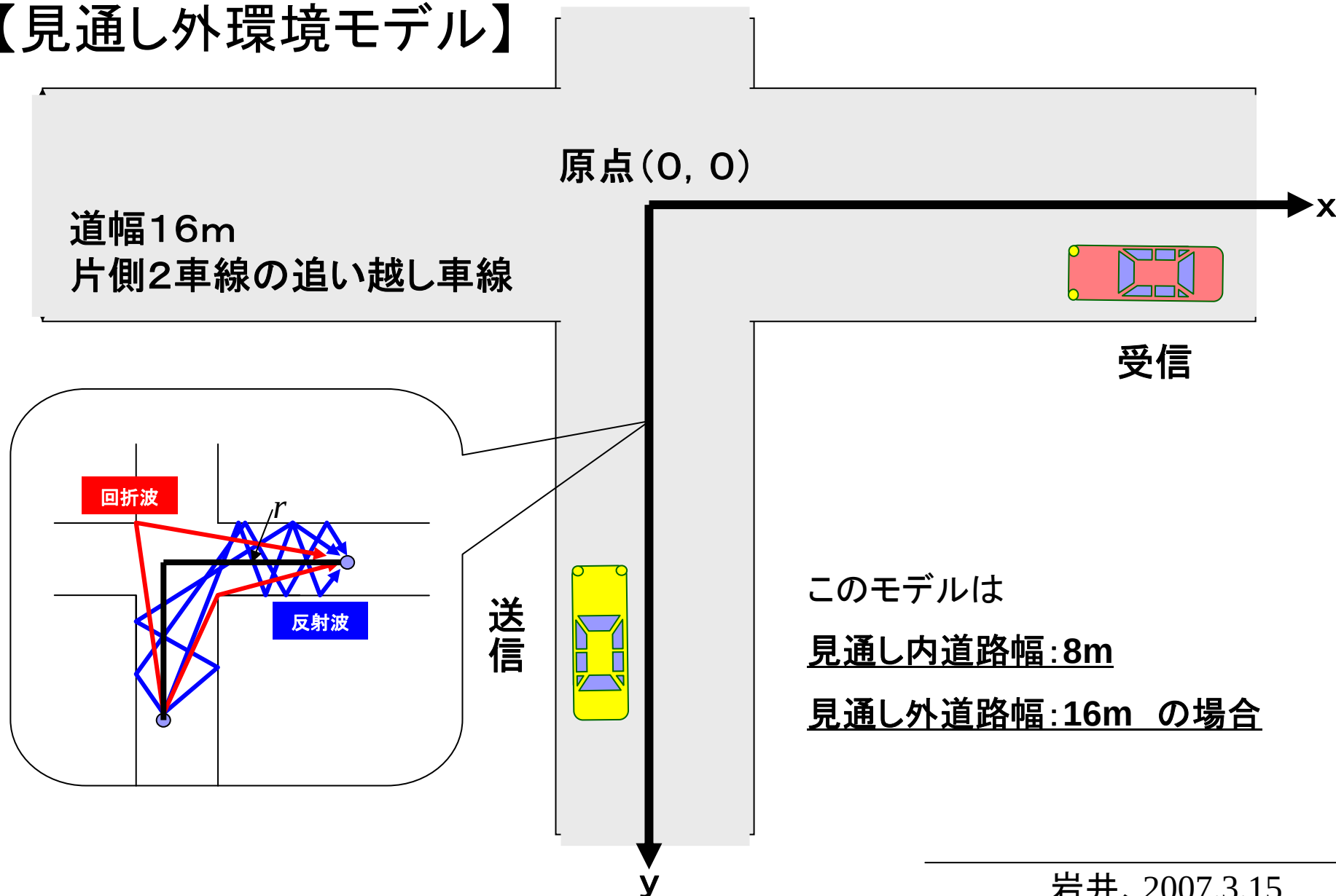


- 道幅8m
- 道幅16m
- 自由空間伝搬損失

自由空間の伝搬損失は
周波数の2乗に比例(この場合は約18dB)



【見通し外環境モデル】

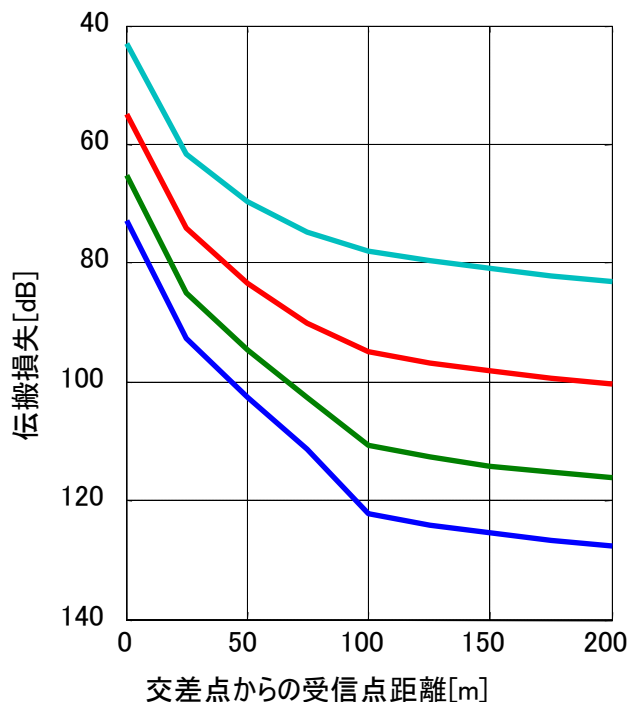




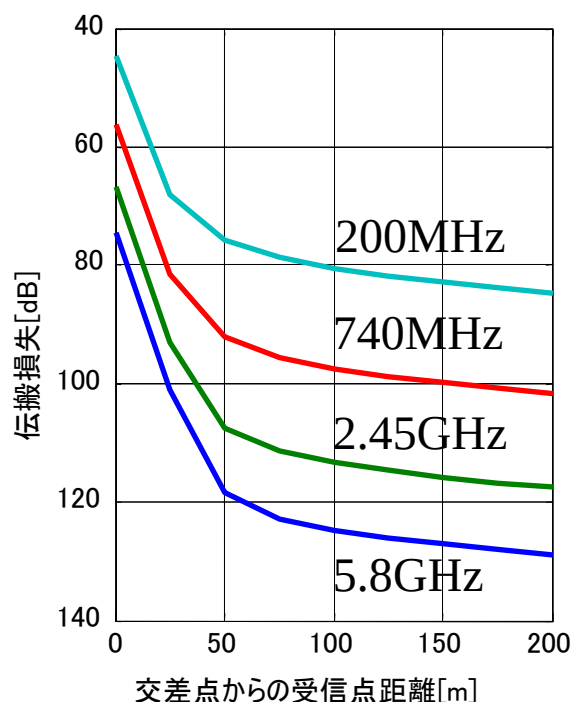
見通し外環境における伝搬損失の周波数依存性

交差点⇄送信点間距離:

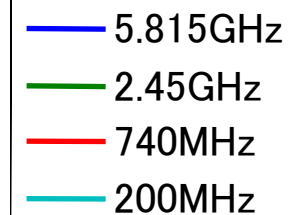
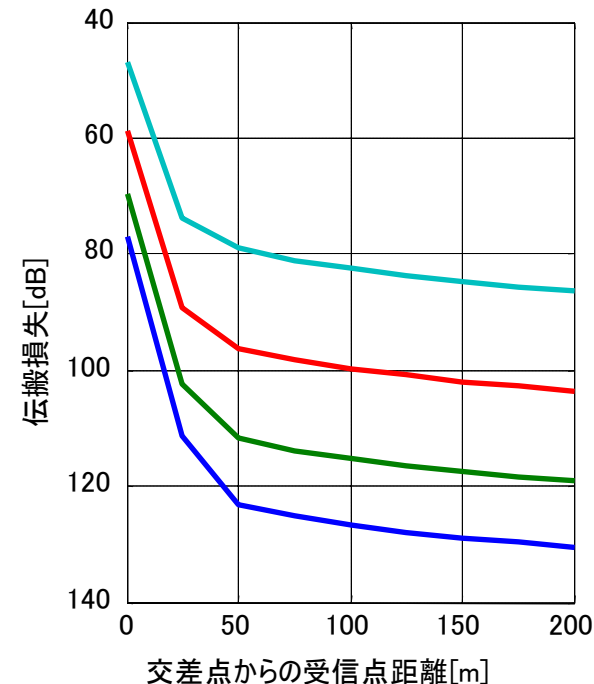
15m



25m



45m





計算から得られた伝搬特性に関する知見(抜粋)

■ 見通し内環境(直進車両間)

- 平均伝搬損失は自由空間伝搬よりも小さい

■ 見通し外環境(交差点を挟んで右側、あるいは左側の車両間)

- 交差点から近い環境と遠い環境に状況が大別され、前者は主に反射波が、後者は主に回折波が、それぞれ支配的な伝搬パスとなる

■ 周波数特性

- 見通し内では、平均伝搬損失が周波数の二乗に比例するという自由空間伝搬と同様の特性を示す
- 見通し外でも、交差点近傍では、見通し内と同様の傾向である
- ただし、見通し外の交差点から離れた地点では、周波数の二乗以上の差が生じる



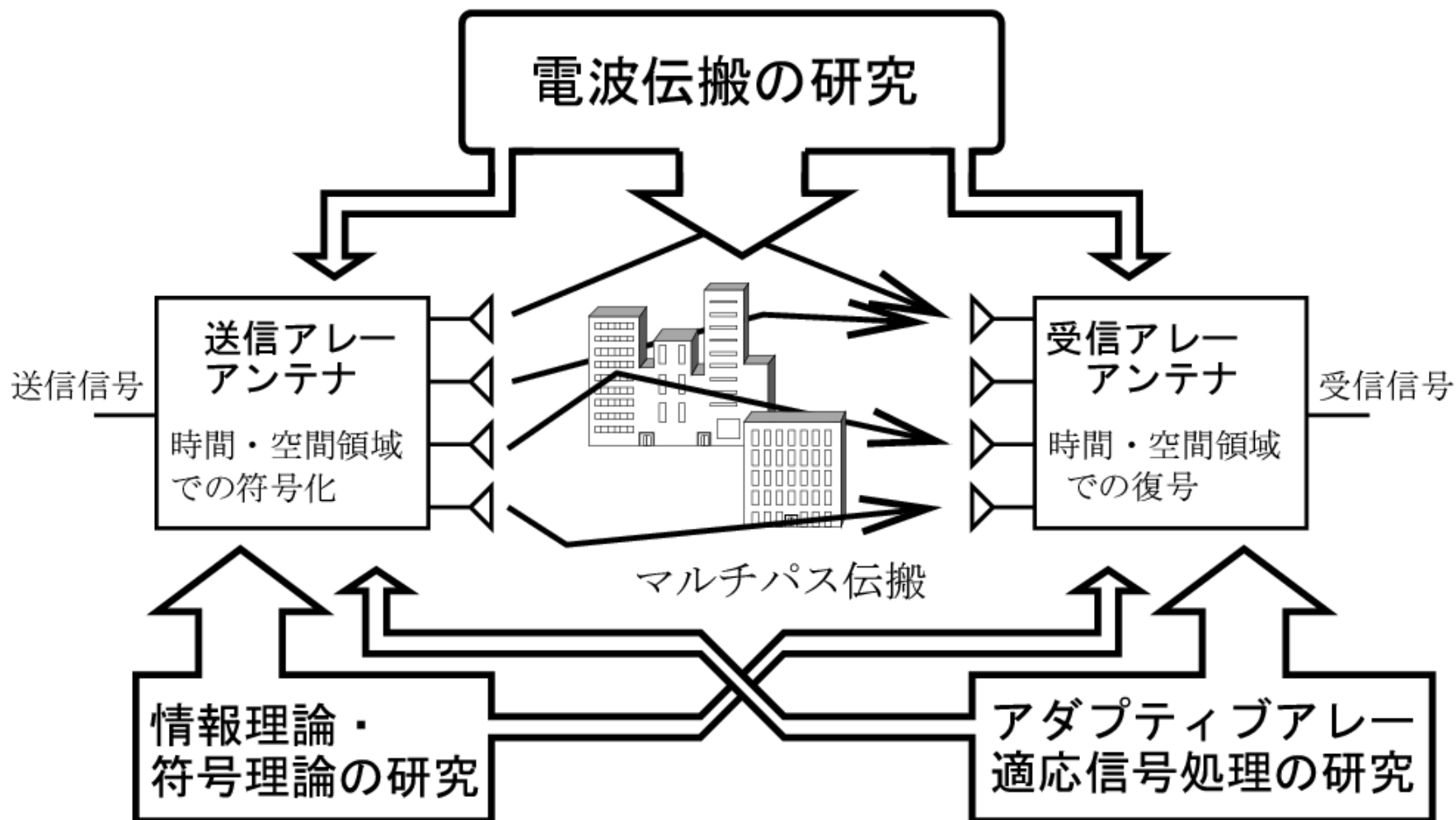
情報をより確実に伝えるための技術

アレーアンテナの利用

- ダイバーシチ
- **MIMO(時空間符号化伝送(STBC))**



MIMO 情報伝送技術

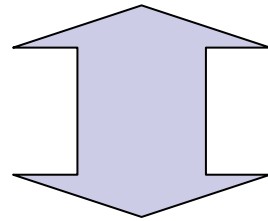


MIMO: Multi-Input Multi-Output
(多入力・多出力システム)



MIMO: その二つの顔

- (1) **たくさんの情報を伝送する技術**
(高スループット技術: マルチストリーム伝送)



両方求めるのは欲張りすぎ

- (2) **切れないリンクを実現する技術**
(高信頼性技術: 送受信ダイバーシチ)



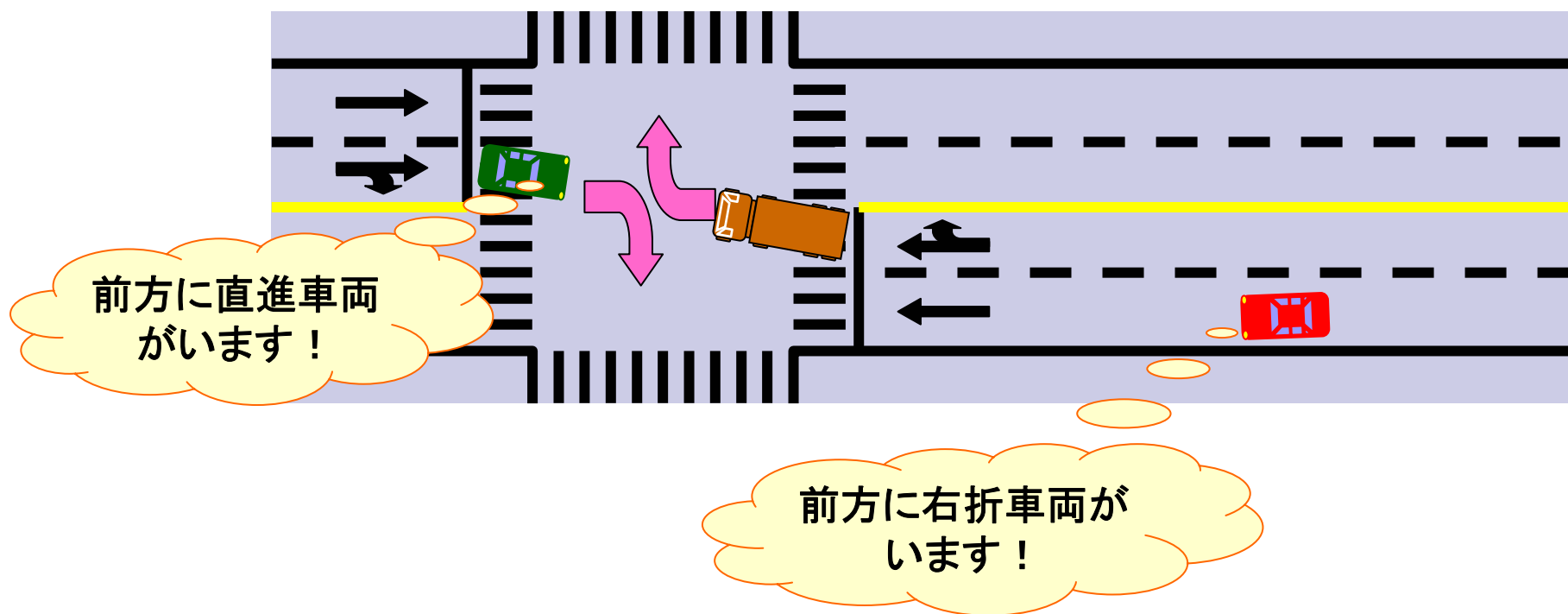
大型車両による遮蔽を考慮した MIMO-STBC車々間通信特性

(豊田中央研究所・電気通信大学)

MIMO-STBCの伝送特性評価

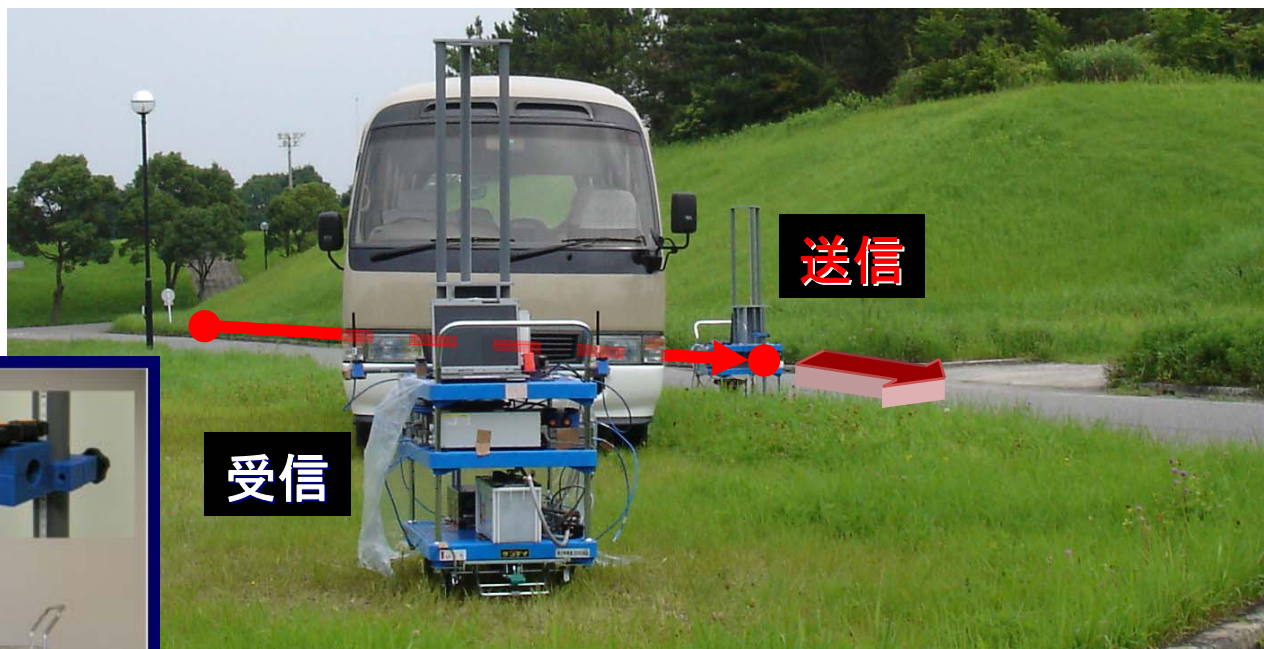
■ 右直事故シーン

大型車による遮蔽環境



伝搬測定実験(測定環境)

■ オープンサイト



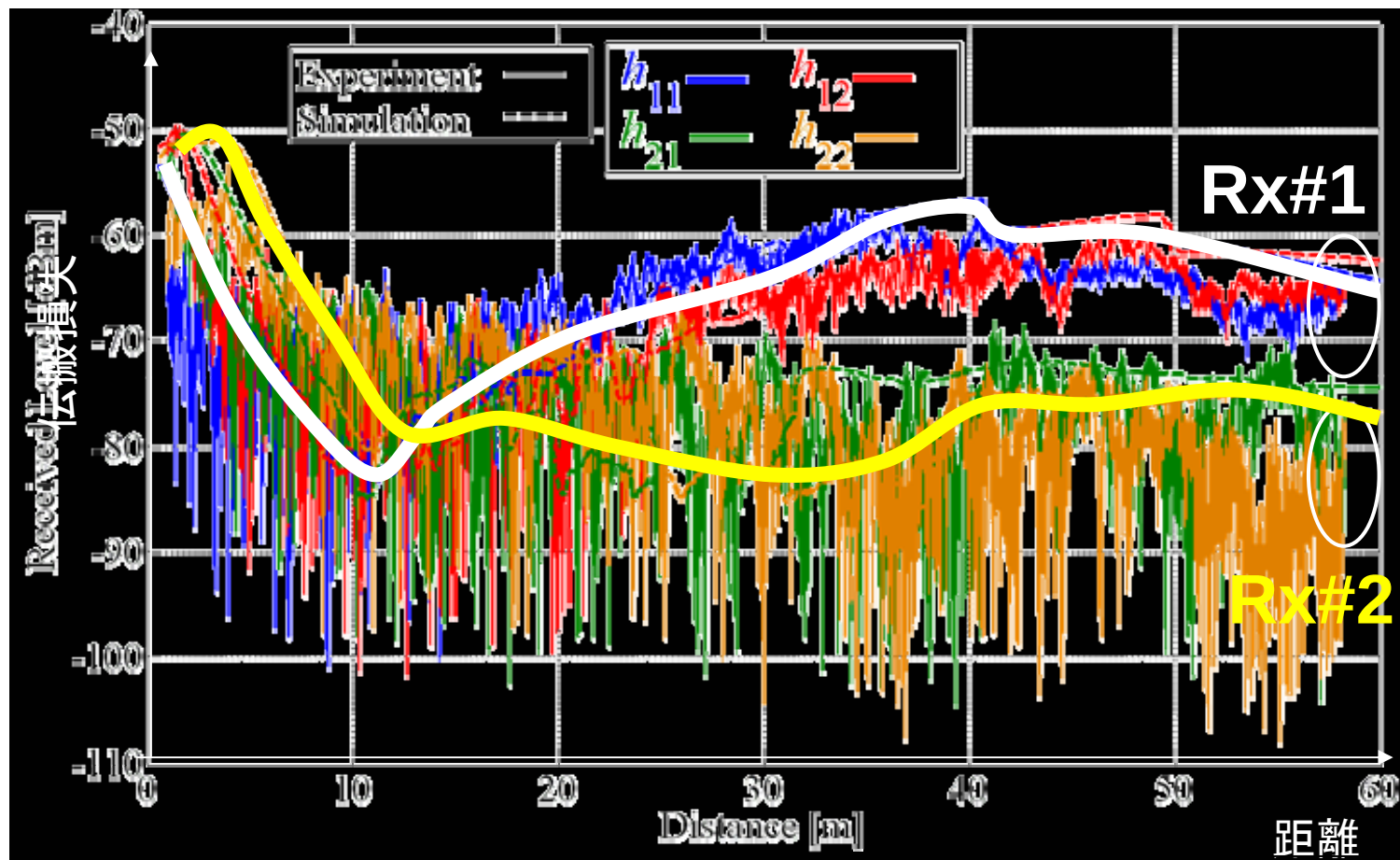
上から見た図

伊藤等、H18.09 電子情報通信学会通ソ大会
K. Ito et al., IEEE 2007 VTC Fall (to be presented)



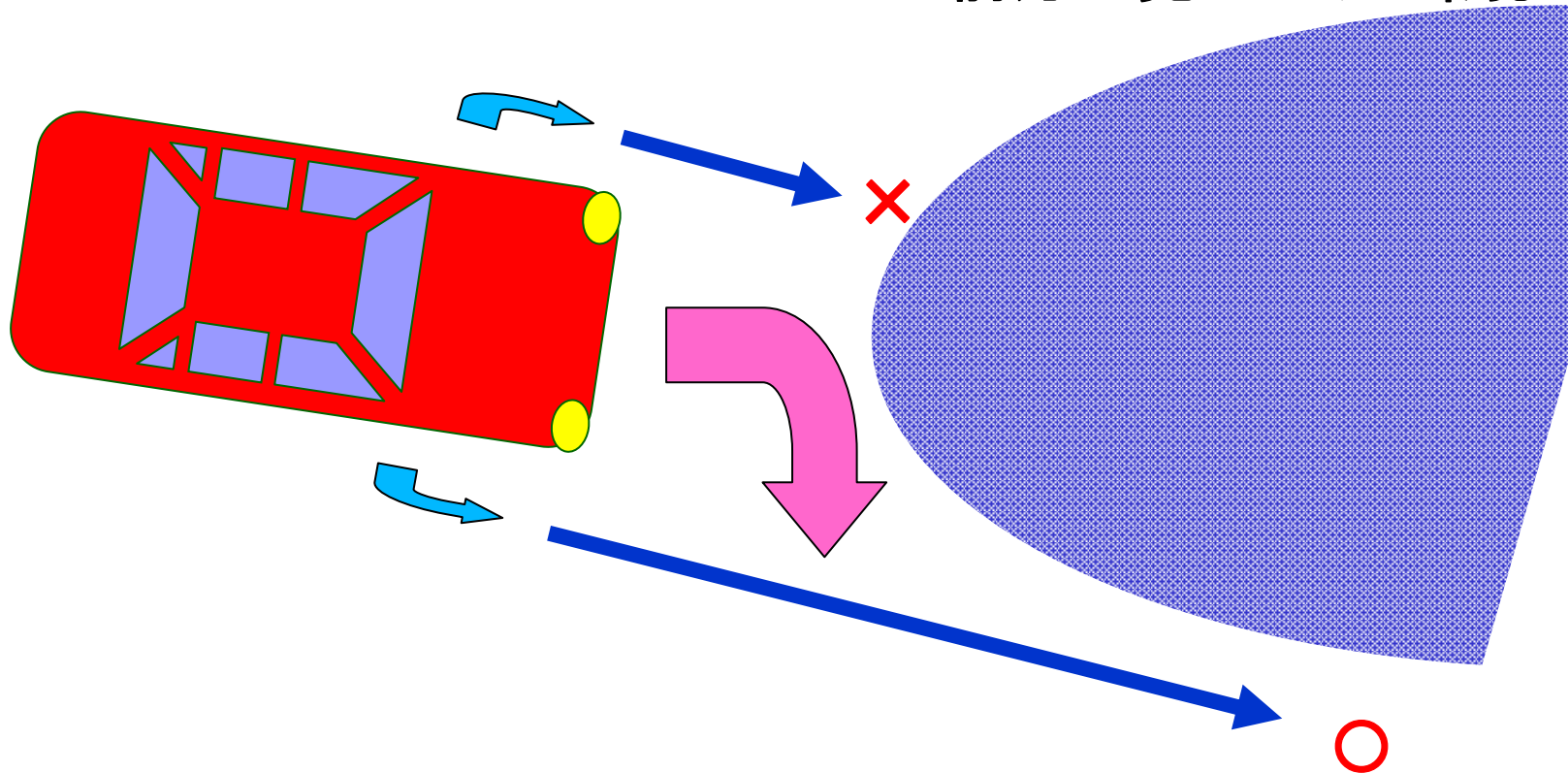
実験結果

- 実験値(瞬時値)、シミュレーション(短区間中央値)



MIMO(ダイバーシチ)の効果

大型車両での遮蔽等
前方が見えにくい環境



車の左右の2ヶ所(例えばドアミラーの裏面)にアンテナを置くと、
どちらかのアンテナで、見通しが得られる場合があり
前方が見えにくい環境の時には、ダイバーシチ効果が大きい
(ちょうど左右のドアミラーで安全が確認できるように)

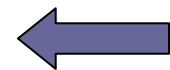
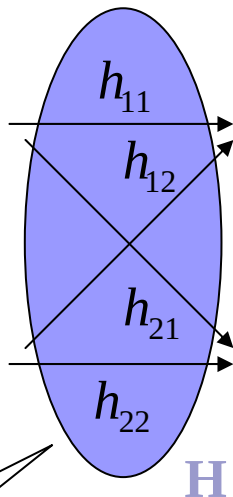
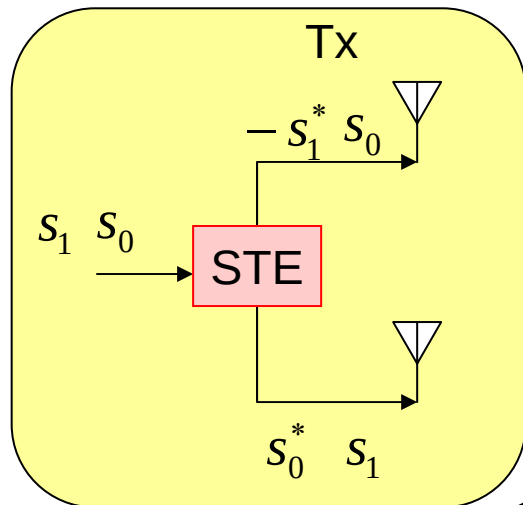


高信頼化を目指すMIMO通信方式

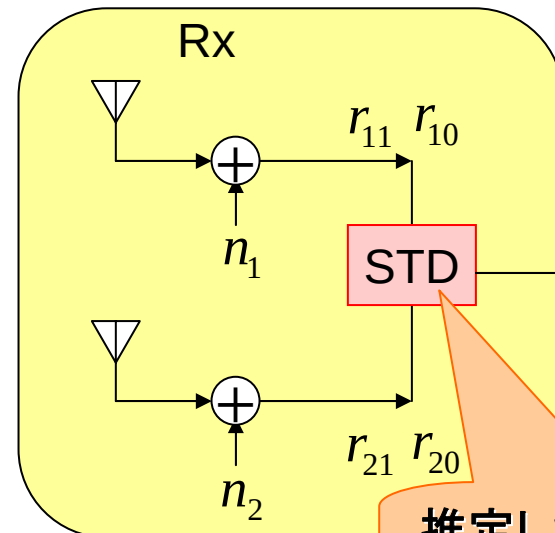
⇒ 時空間符号化 (Space-Time Block Coding)

符号化方法と伝搬路推定が鍵

高速移動



高速



推定した伝搬路行列 $\tilde{H}$
の精度が要求される

高速フェージング に対する対策が研究課題

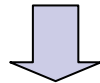


地上デジタル放送波の OFDMガードインターバル周期情報を利用した 同期システム型車々間通信ネットワークの提案

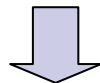
(電気通信大学・豊田中央研究所)



仕切り役のいない車群での効率的情報交換 自律分散制御システム



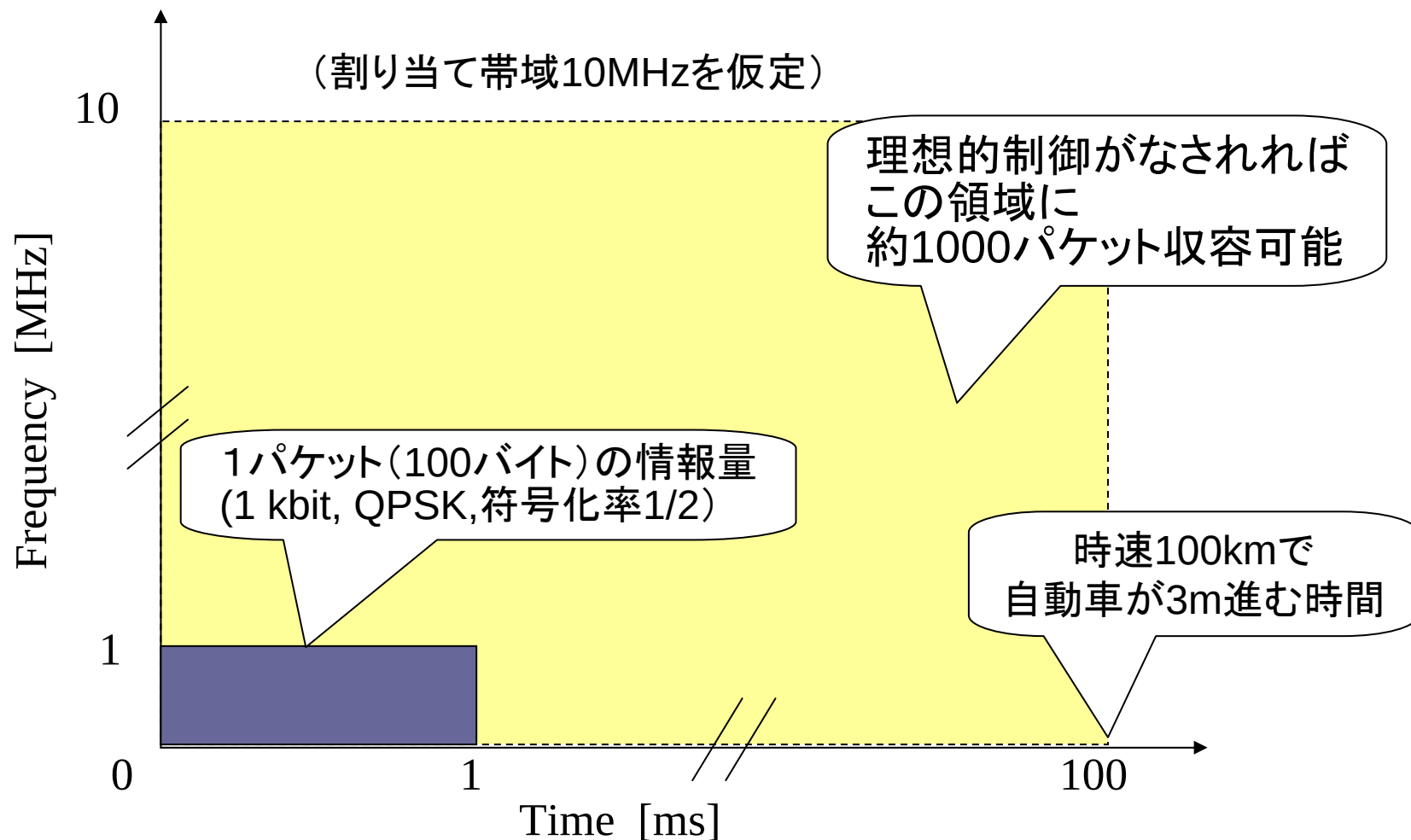
同期確立が重要



同期確立の方法

- 自己システム内での同期確立
- 外部システムを利用した同期確立
 - GPSを利用する方法(正確な1秒パルス等)
 - 地上デジタル放送のガードインターバル(GI)を利用する方法

理想的な制御時の情報収容量

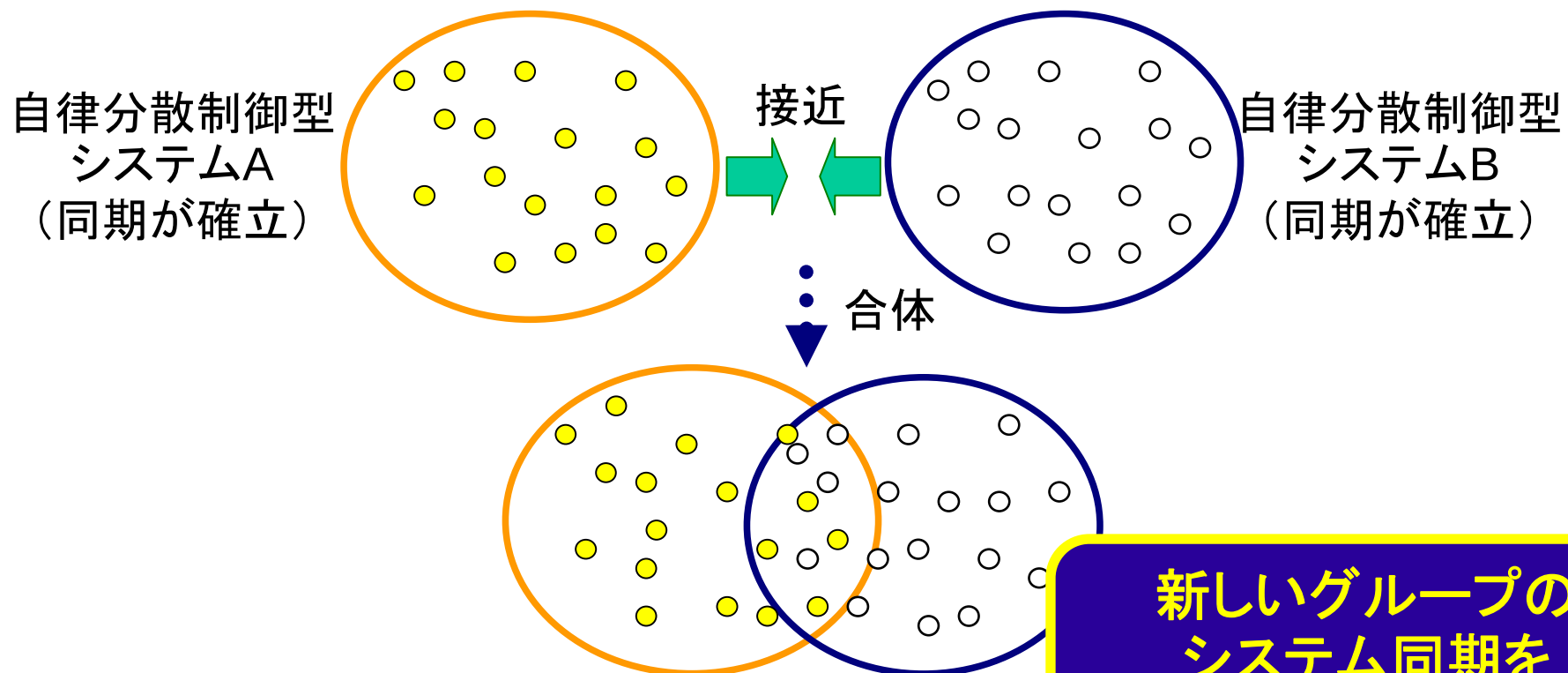


効率をあげるためには同期型システムが理想



自律分散制御システムにおける 同期確立問題

■ 課題



新しいグループの
システム同期を
どうスムーズに取るか？

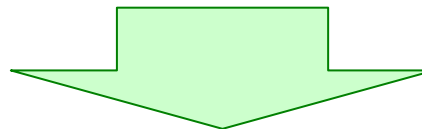


■ 車々間通信システムの同期確立

□ 外部情報の利用

- 地上デジタル放送のガードインターバルは約1m秒毎

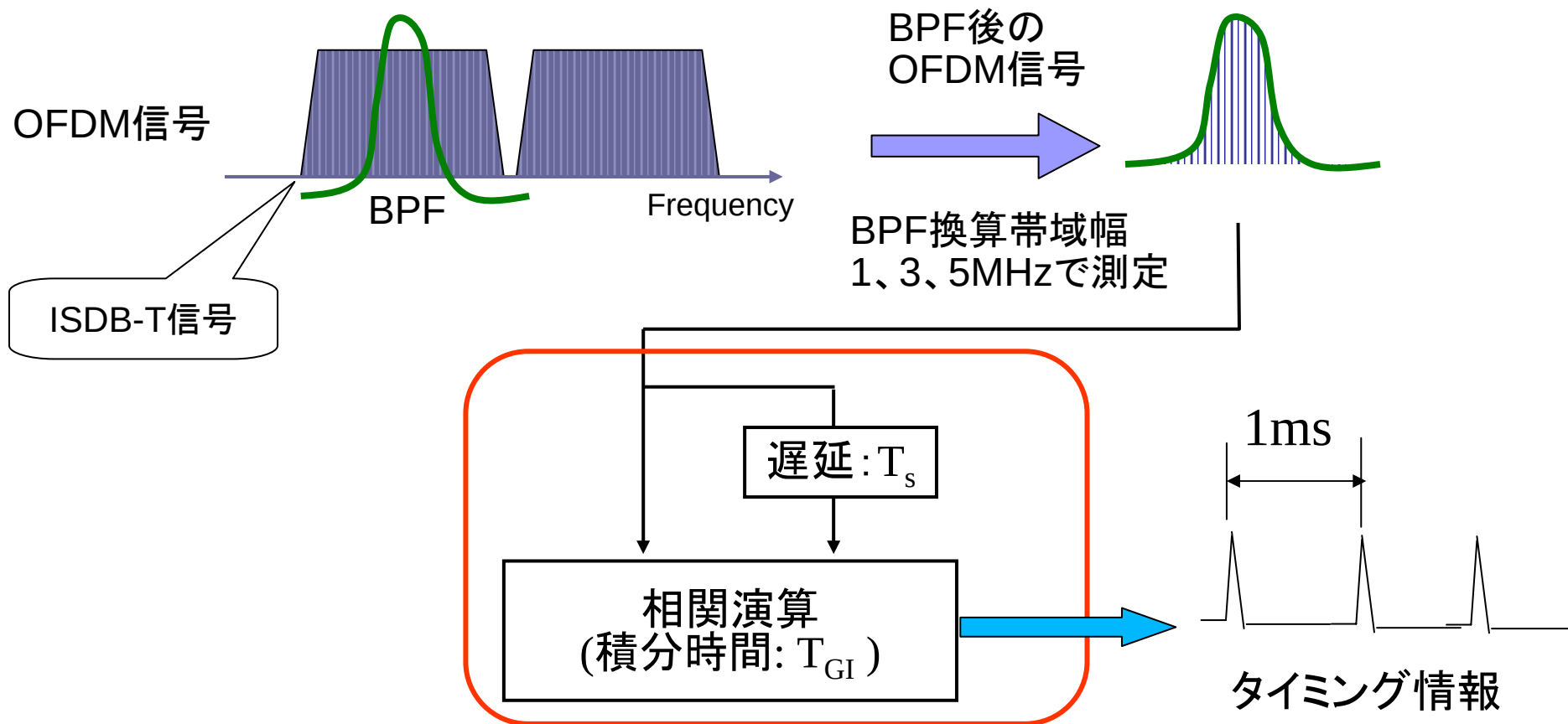
**地上デジタル放送波のOFDMガードインターバル
周期情報を利用した車々間通信システムの提案**



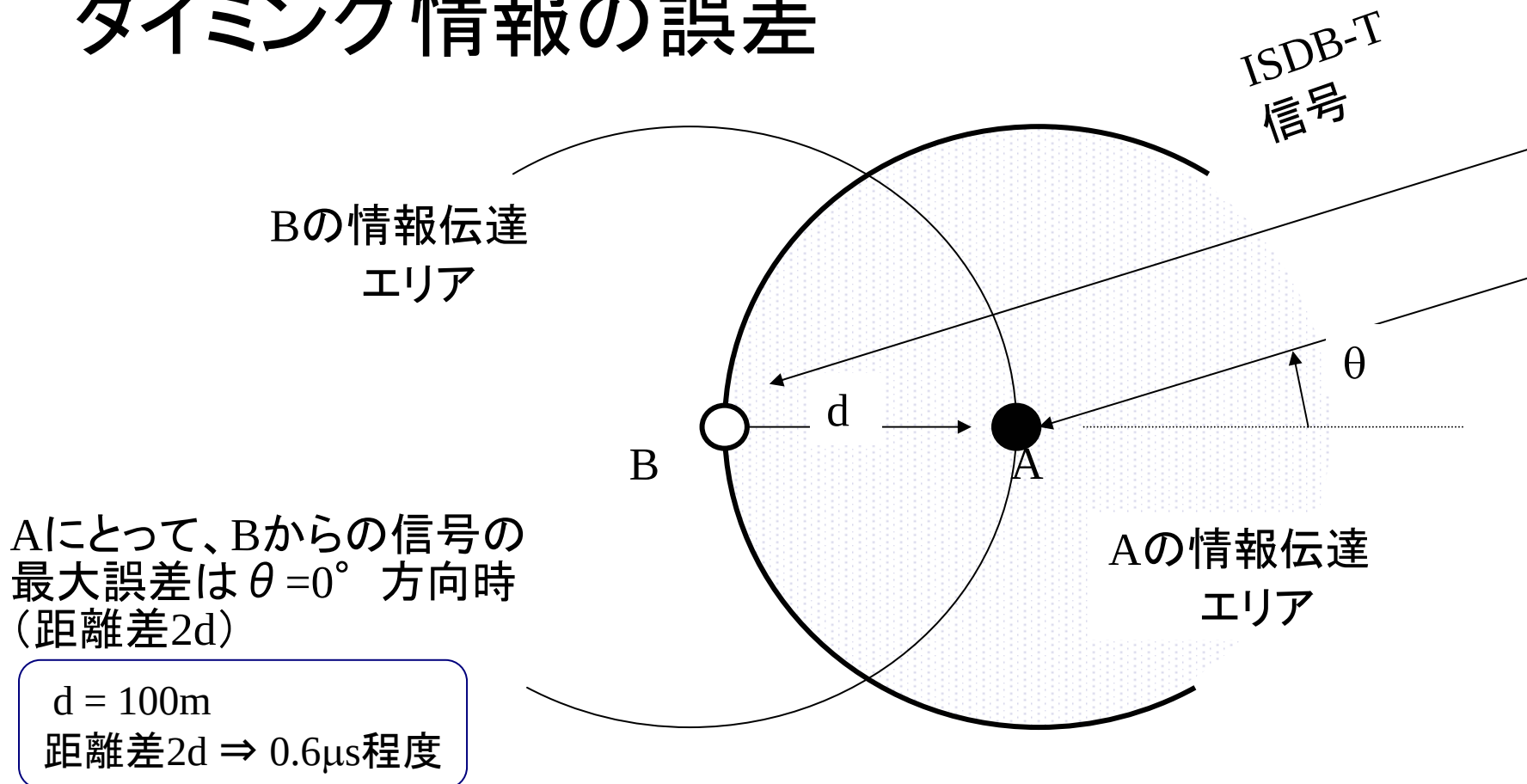
実際の測定データにより、検出可否や精度を調査



地上デジタル放送波を利用した同期信号の取得



自動車間の距離差に伴う タイミング情報の誤差



マルチパスや低CNRの影響を実測データから確認



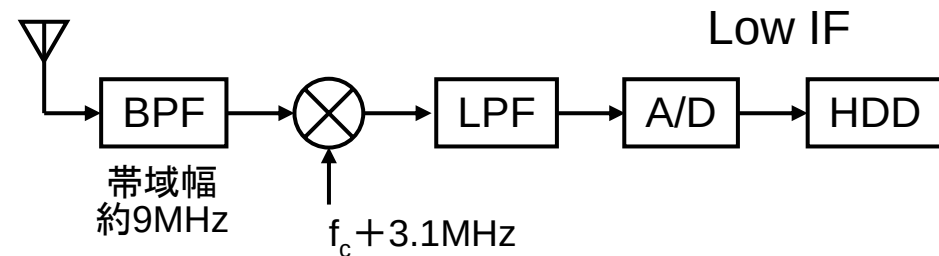
■ 放送波概要 (ISDB-T)

帯域幅	5.572 MHz
有効シンボル長(T_s)	1,008 μs
ガードインターバル長(T_{GI})	126 μs
サブキャリア数	5,616
セグメント数	13
変調方式	64QAM(12セグ)、 QPSK(ワンセグ)
受信信号チャンネル	27ch(NHK-G)、 557.142857MHz

実験条件

■ 測定システム

- トータルレコーダ



■ 実験車両

- 1Boxタイプ



■ 受信アンテナ

- ルーフ上市販ポールアンテナ1素子

■ 測定場所

- 電通大周辺、多摩地区
(東京タワーから約20kmの地区)





検討対象

Case	平均CNR	伝搬環境／受信状況
1	40 dB以上	マルチパス無し (誤りなく受信)
2	20 dB前後	1.4 μ 秒程度の大きな遅延波 (TV受信可否ボーダー付近)
3	0 dB程度以下	受信波のスペクトル認識困難 (TV受信不能)

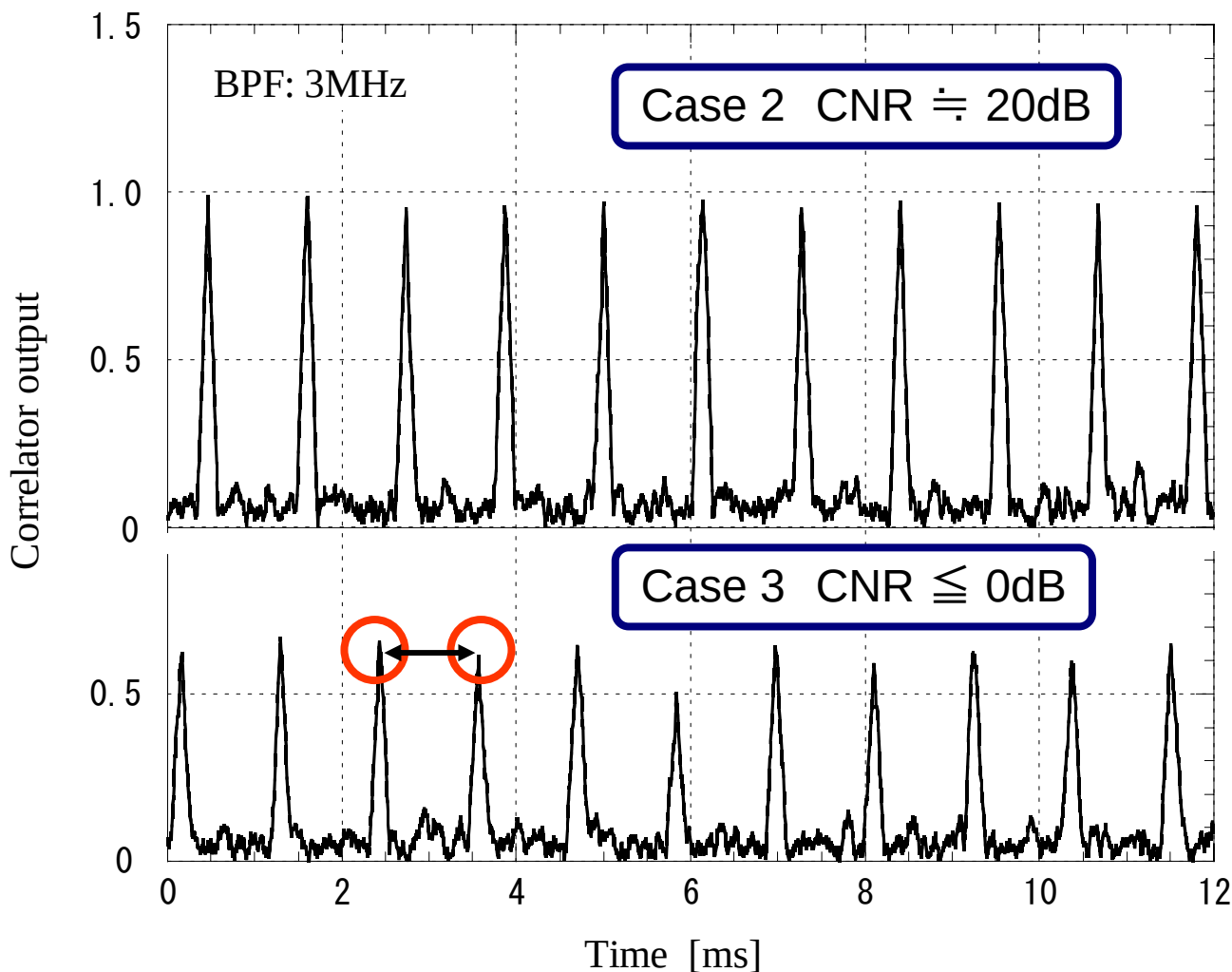
Case 1: 電通大建物屋上

Case 2: } 電通大・多摩地区にて移動受信
Case 3: }

・各約2秒間の受信データ(GI:2000ポイント分)

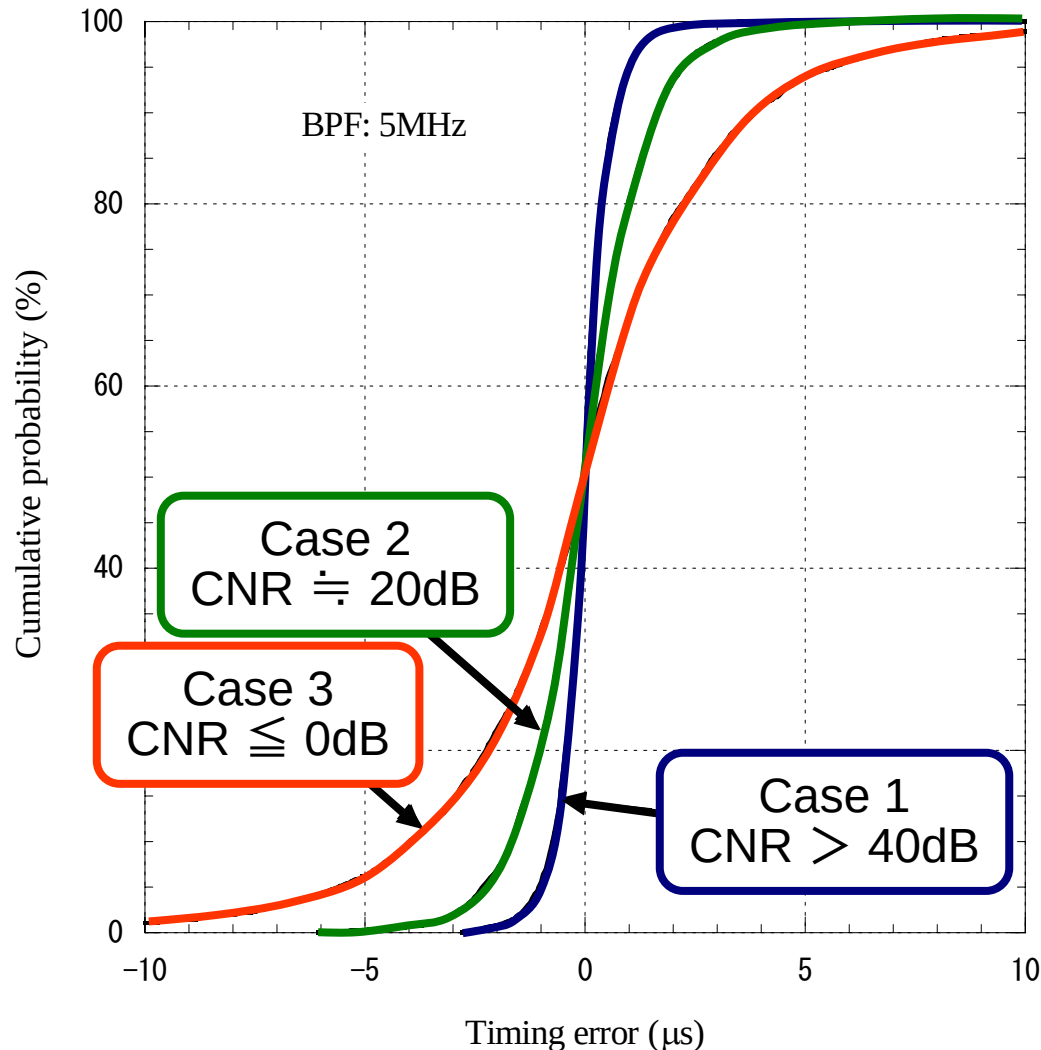


信号処理結果 (GI 相関出力結果)





信号処理結果 (タイミング間隔誤差の統計的評価)



	1-99%幅
Case 1	$\pm 1.75 \mu\text{s}$
Case 2	$\pm 3.60 \mu\text{s}$
Case 3	$\pm 10.2 \mu\text{s}$

低CNR環境下においても
10 μ 秒程度の誤差



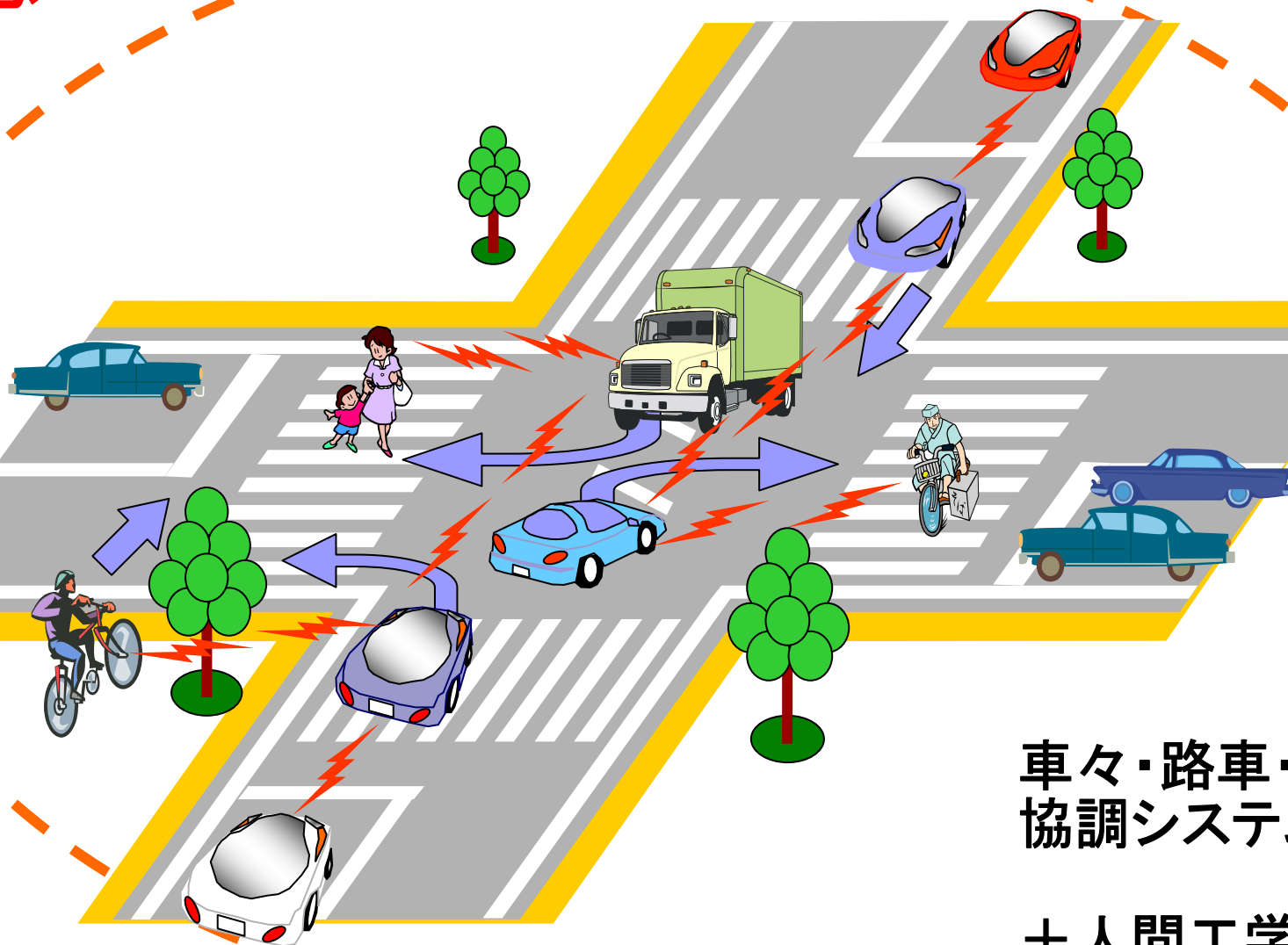
地デジGI利用同期システムのまとめ

- 地上デジタル放送波の利用により、**1.134ms間隔で**
10 μ s以内の誤差で同期信号用パルスが得られる
- この手法を用いた伝送方式により、自律分散制御型の車々間通信ネットワークにおける同期問題の、少なくとも主要な部分の問題が解決できる

地上デジタル放送波のGI情報は、周辺の端末にとって、1ms毎に聞こえる太鼓の音

→パケット送出の同期信号として有望

理想



車々・路車・人車
協調システム

+人間工学