

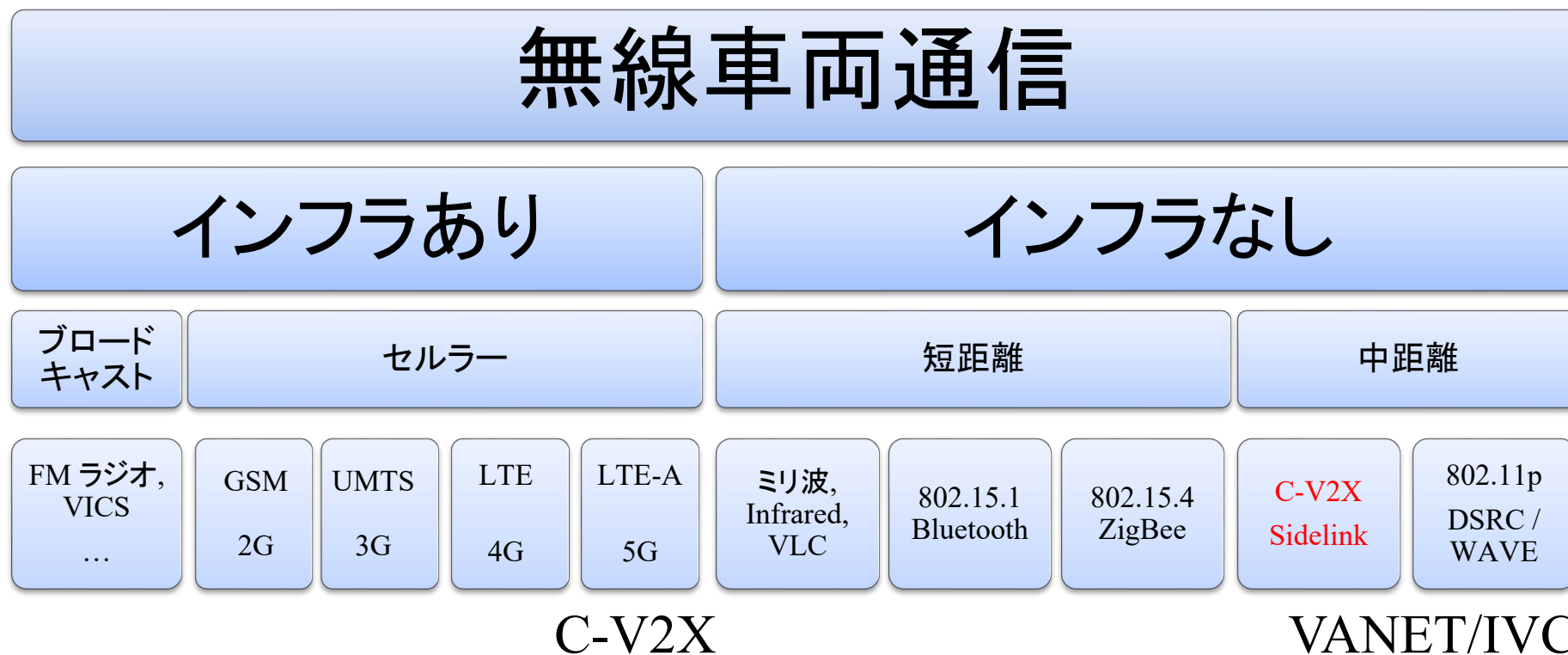
高信頼C-V2X車車間通信技術

電気通信大学 大学院情報理工学研究科
准教授 湯 素華

2023年5月11日

背景：車車間通信^[1]

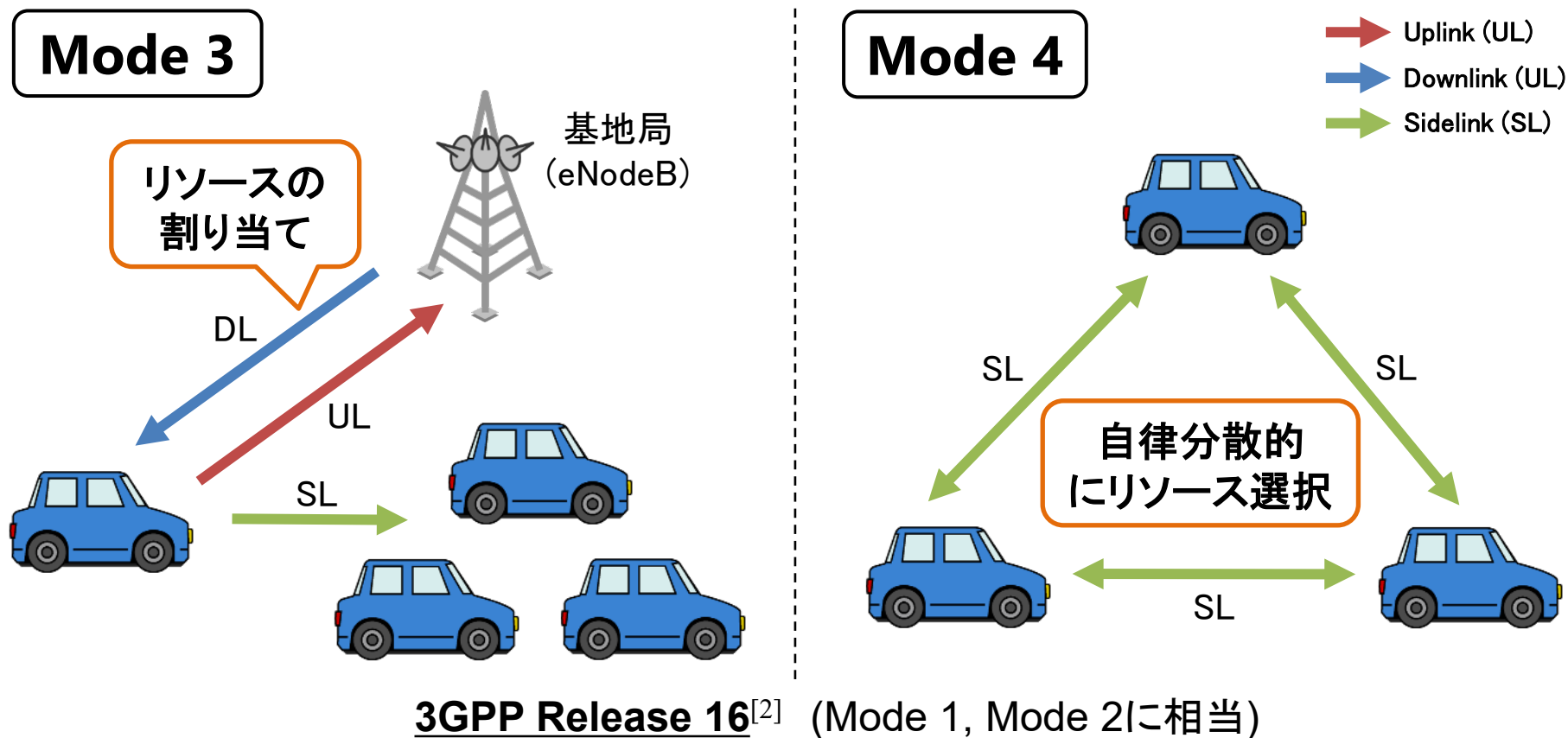
- IEEE、802.11p → IEEE 802.11bd、CSMA技術、毎回送信するとき、チャンネルをアクセスするために、競い合う
- 3GPP C-V2X、送信する前にリソースを予約



[1] Dar, K. et al., "Wireless Communication Technologies for ITS Applications," IEEE Communications Magazine, vol. 48 (5), pp. 156-162, May 2010

従来技術：C-V2Xサイドリンク（3GPP Release 14^[1]）

- サイドリンクでは、パケット送信のためにリソースを利用
- Mode 3： パケット送信用リソースを基地局が管理
- Mode 4： 各車両がSPS方式による自律分散制御でリソース選択

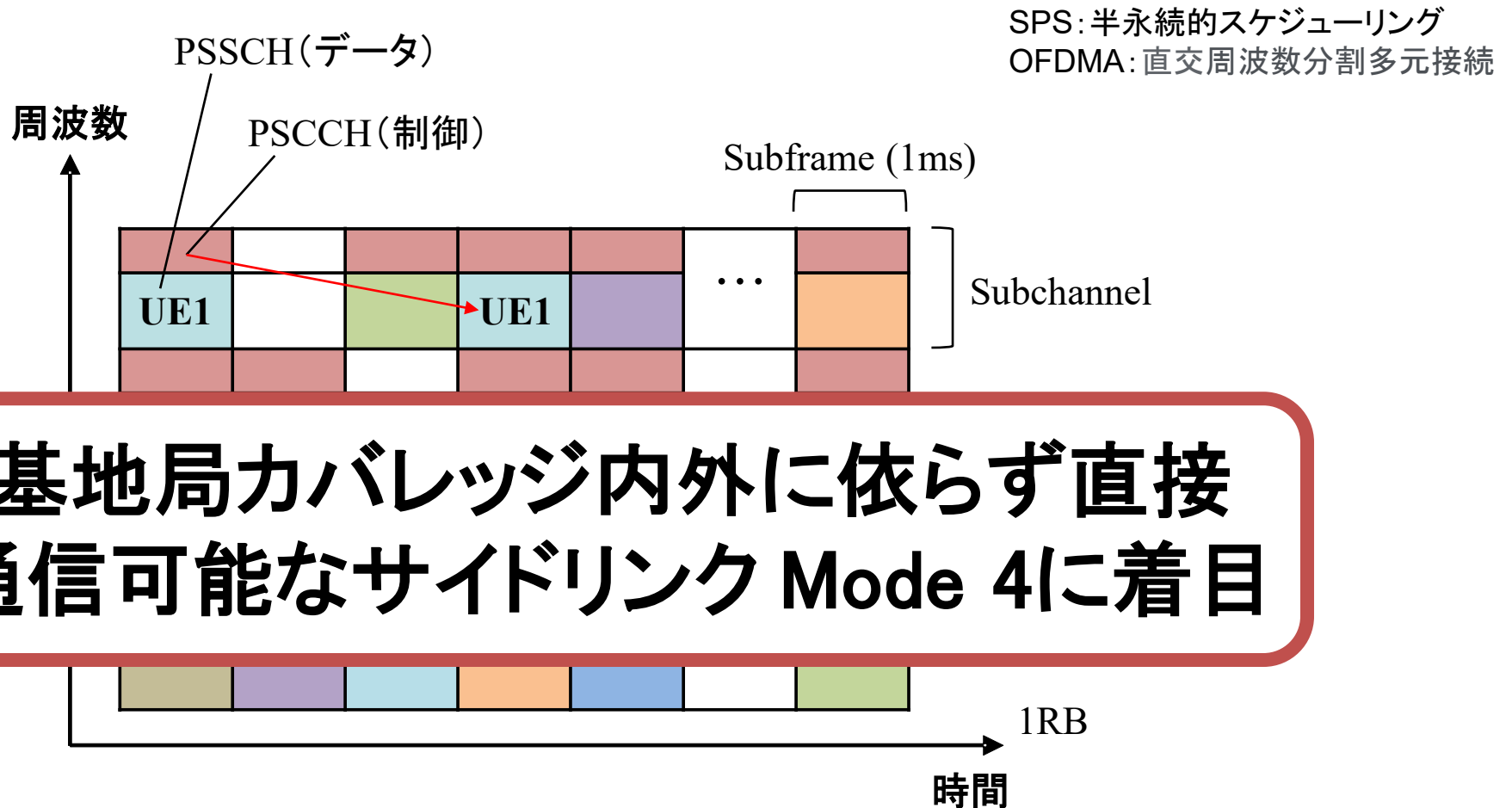


[1] 3GPP TR 21.914 (V14.0.0), “The 3GPP Summary of Rel-14 Work Items,” May 2018.

[2] 3GPP TR 21.916 (V0.5.0), “The 3GPP Summary of Rel-16 Work Items,” July 2020.

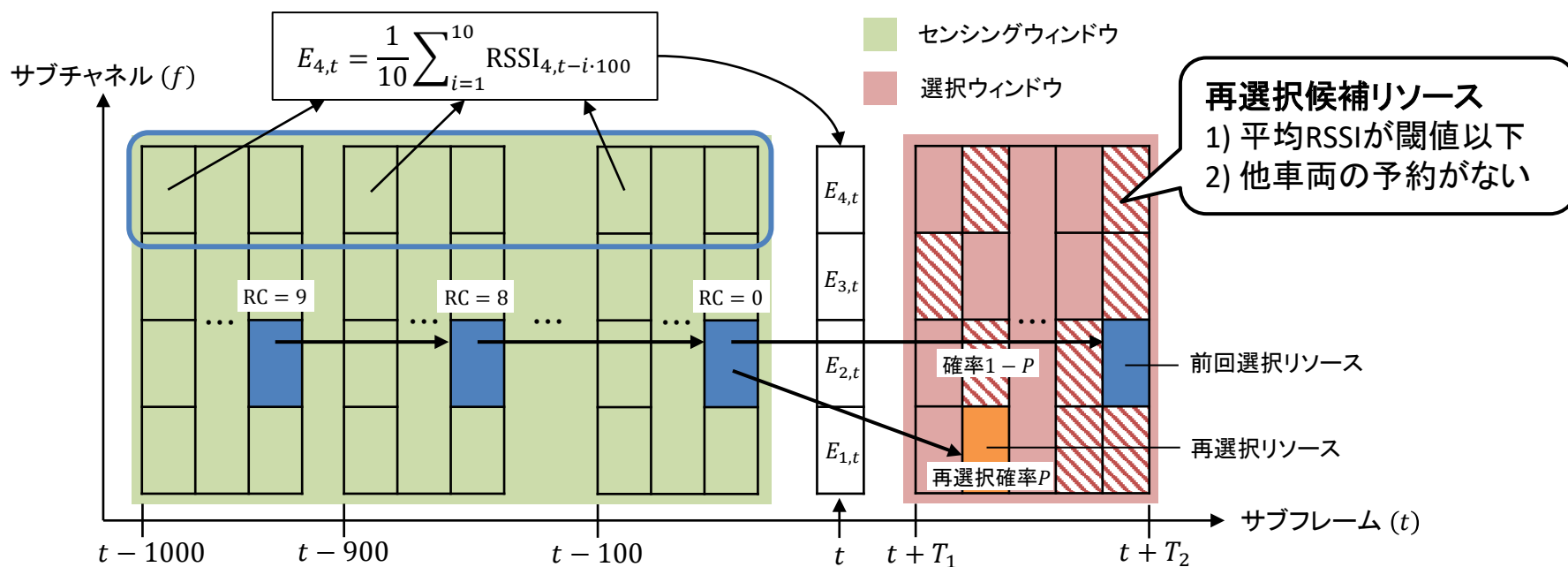
従来技術：サイドリンクにおけるSPS方式

- サイドリンクで自律的なリソース割り当てを行うスケジューラ
- 無線リソースを自律分散制御で割り当てるスケジューラ
 - 周期的送信向け



従来技術：サイドリンクにおけるSPS方式^[1]

無線リソースを自律分散制御で割り当てるスケジューラ



① チャンネルセンシング

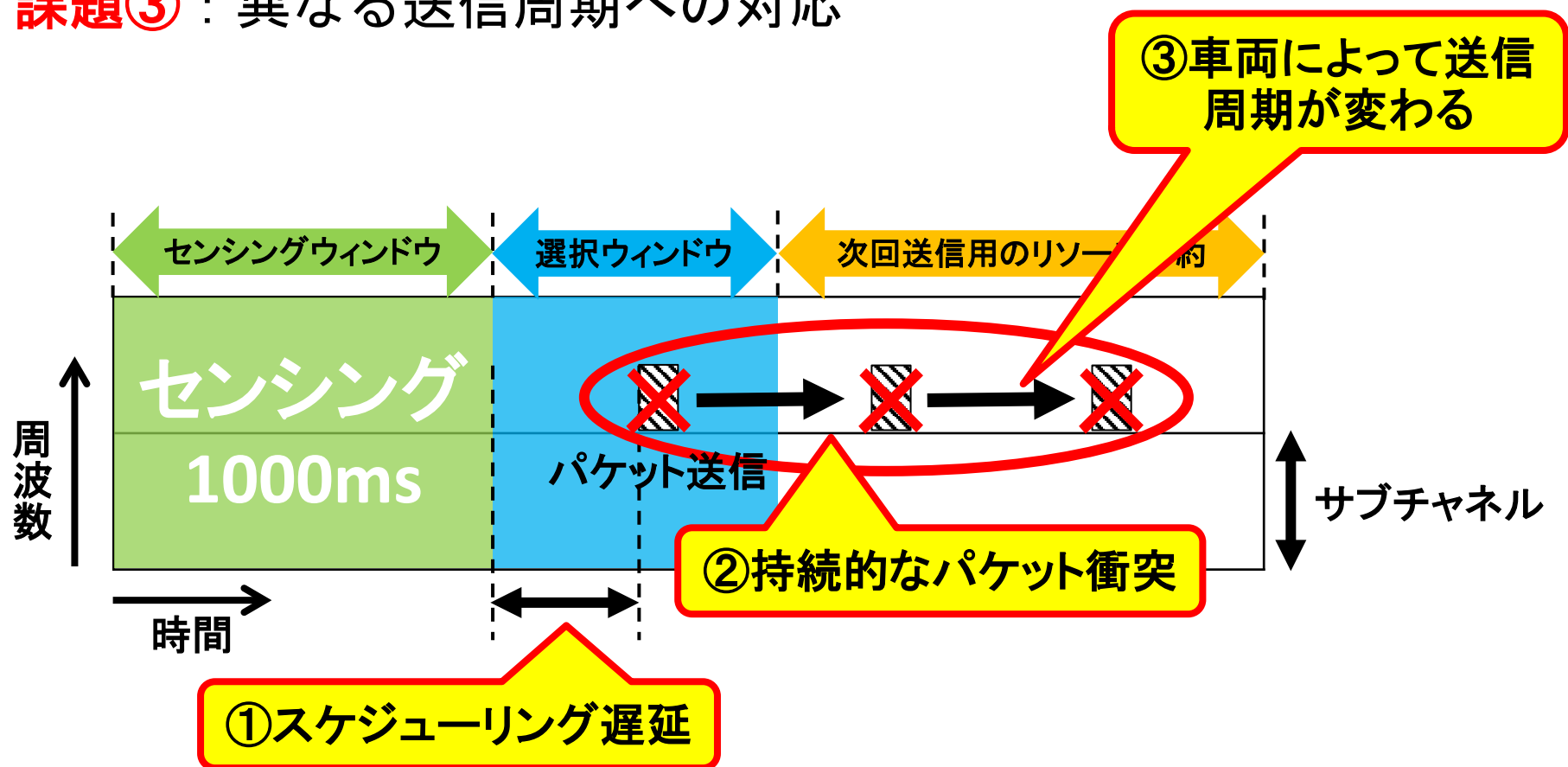
② 再選択候補の特定

③ リソース再選択

[1] A. Nabil, K. Kaur, C. Dietrich and V. Marojevic, "Performance Analysis of Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling in C-V2X Networks," 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Chicago, IL, USA, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTCFall.2018.8690600.

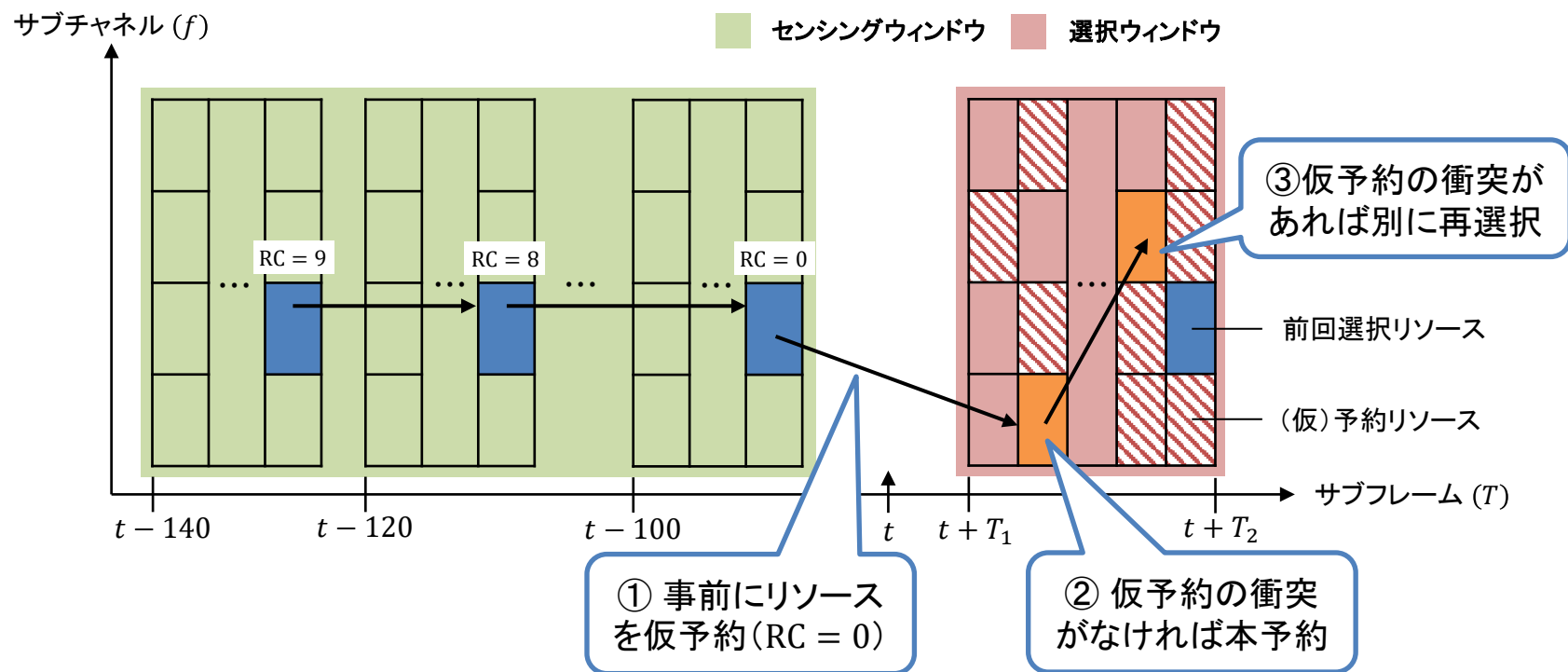
従来技術：SPSの問題点

- **課題①**：スケジューリングによる遅延時間の増大
- **課題②**：同一リソース選択による持続的なパケット衝突
- **課題③**：異なる送信周期への対応



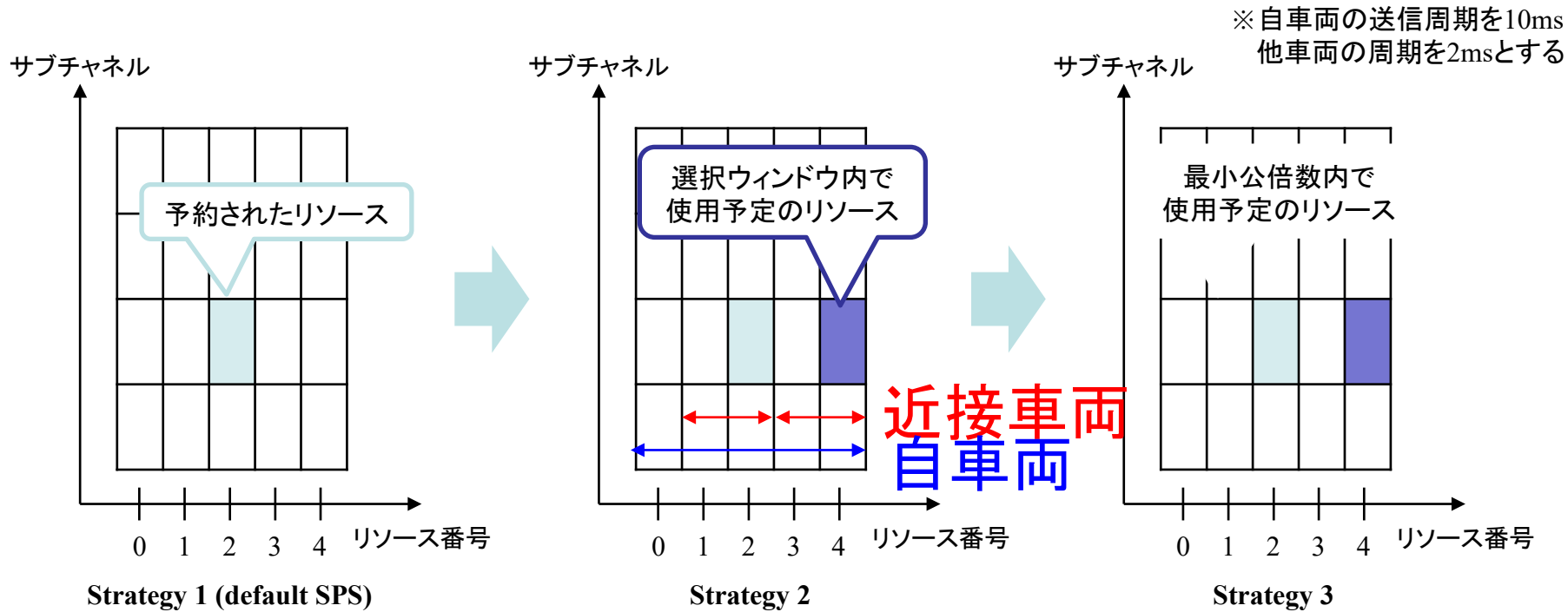
従来技術：2段階自律無線リソース選択法^[1]

[1] T. Maruko, S. Yasukawa, R. Kudo, S. Nagata, and M. Iwamura, "Packet Collision Reduction Scheme for LTE V2X Sidelink Communications," *Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, August 2018.



- 再選択時の衝突を削減し、受信率の向上が見込める
- × フォーマット変更が必要なため、SPSとの互換性が保てない

従来技術：異なる周期に対応した衝突確率の削減手法 (Preclude) [2]

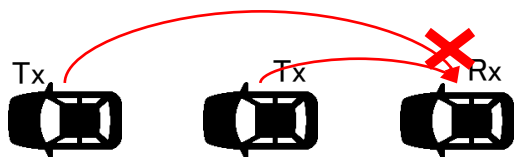


- 将来使用予定のリソースを事前に候補から除外する
- SPSとの互換性があり、オーバーヘッドがない
- × リソース毎の干渉量が考慮されていない

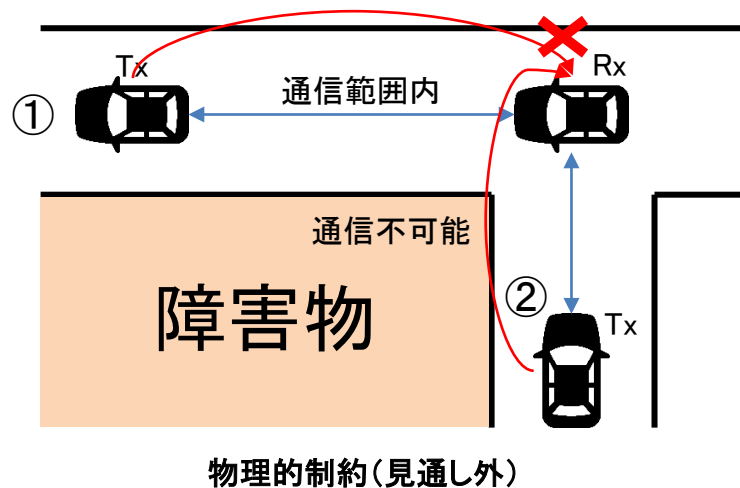
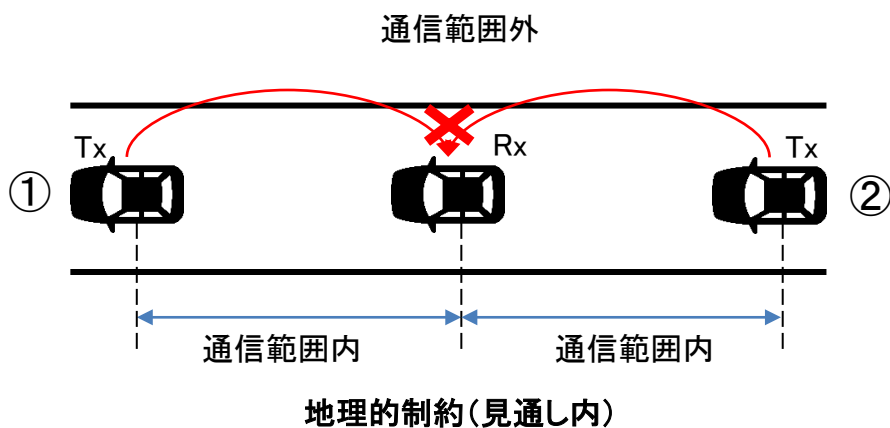
[2] T. H. Lee and C. F. Lin, "Reducing Collision Probability in Sensing-Based SPS Algorithm for V2X Sidelink Communications," *IEEE REGION 10 CONFERENCE (TENCON)*, November 2020, pp. 303-308.

SPS方式における送信衝突

同時送信による衝突

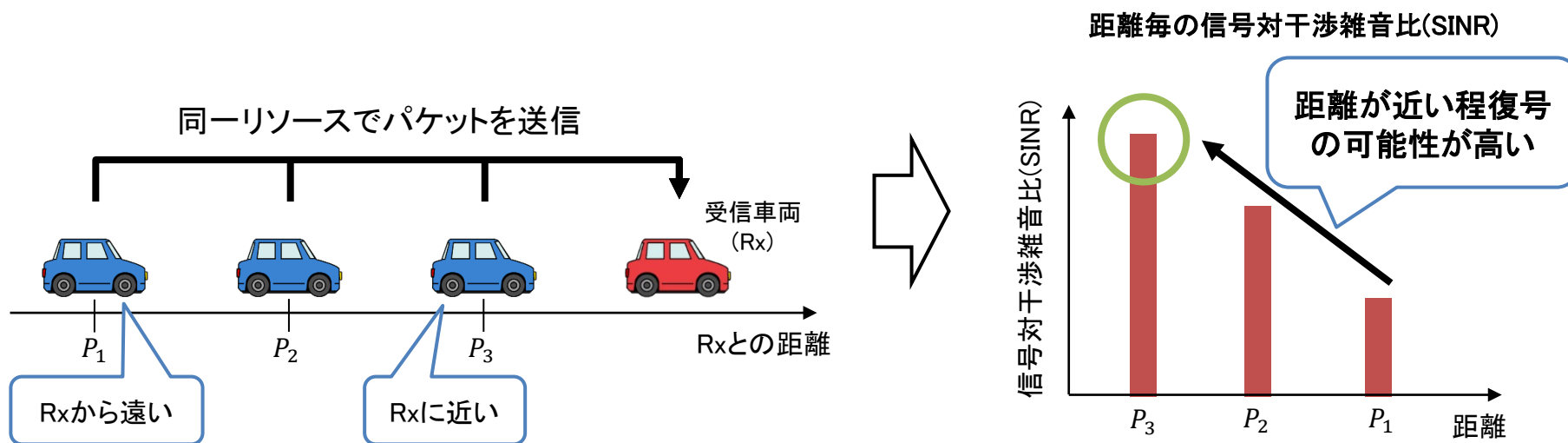


隠れ端末による衝突



キャプチャ効果 (Capture Effect^[1])

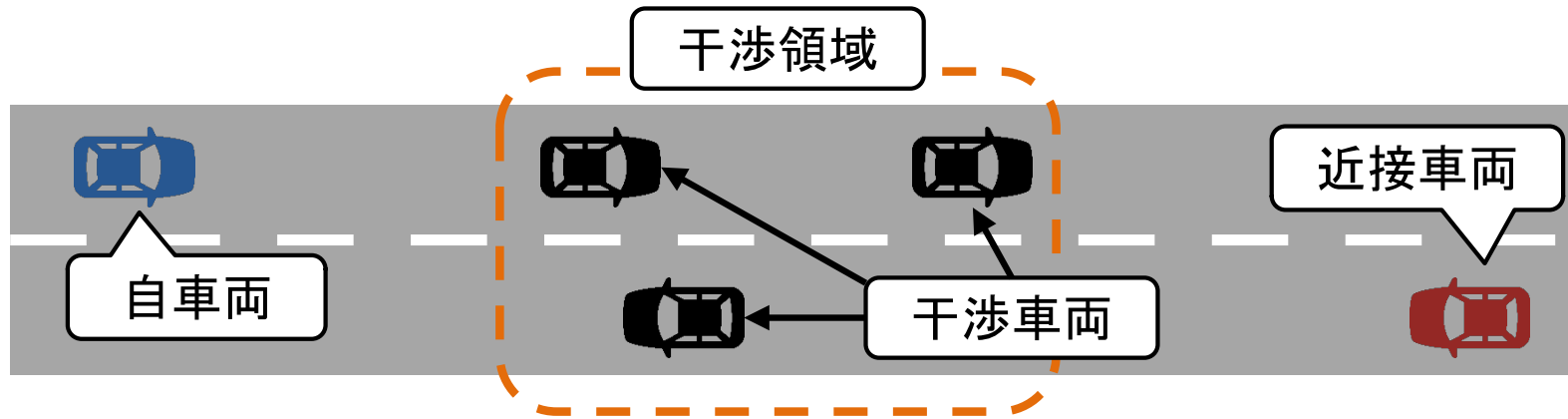
物理層でのシグナル検知時のSINR(復号可能性)に関する特性



パケット衝突が発生しても近距離程復号の可能性が高い

[1] Jae Hyun Kim and Jong Kyu Lee, "Capture effects of wireless CSMA/CA protocols in Rayleigh and shadow fading channels," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 48, no. 4, pp. 1277-1286, July 1999, doi: 10.1109/25.775376.

干渉領域・干渉車両

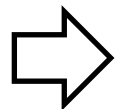
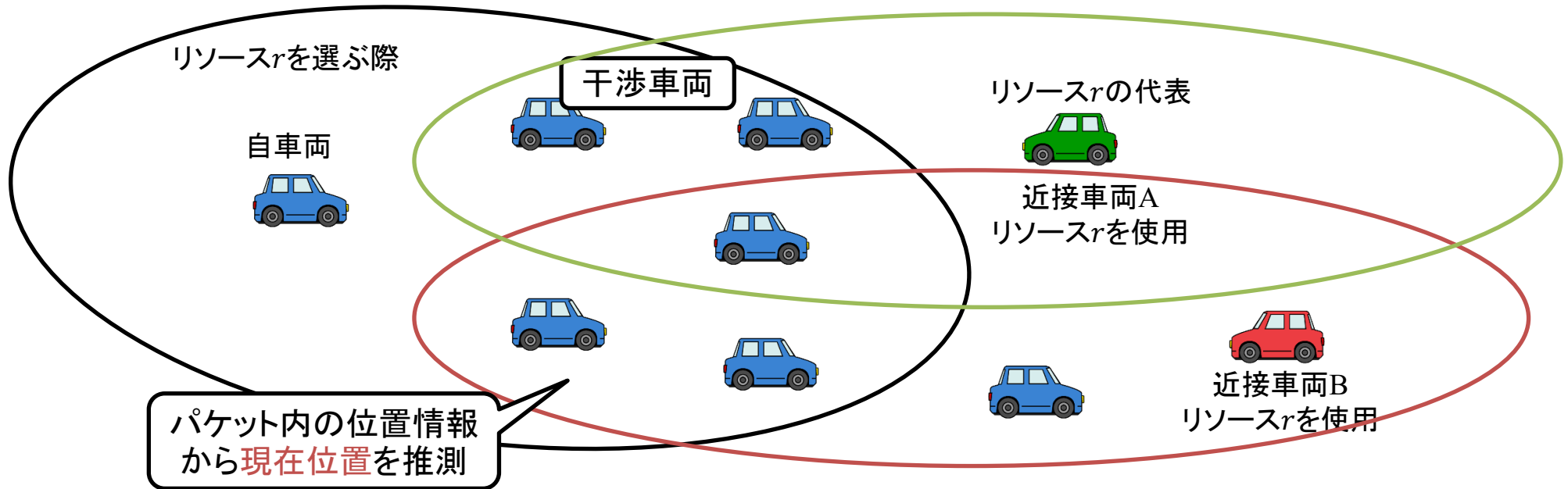


- 700MHzの車車間通信で、位置情報が共有されるとする
- 共通の位置情報を基に5.9GHzのV2X通信のリソース割り当てを行う

新技術：IPMI方式^[1]

1. 追加情報によるオーバーヘッドの解決、
2. 近距離での性能改善

同一リソースを選択したときに発生する干渉車両(パケット衝突)を推測



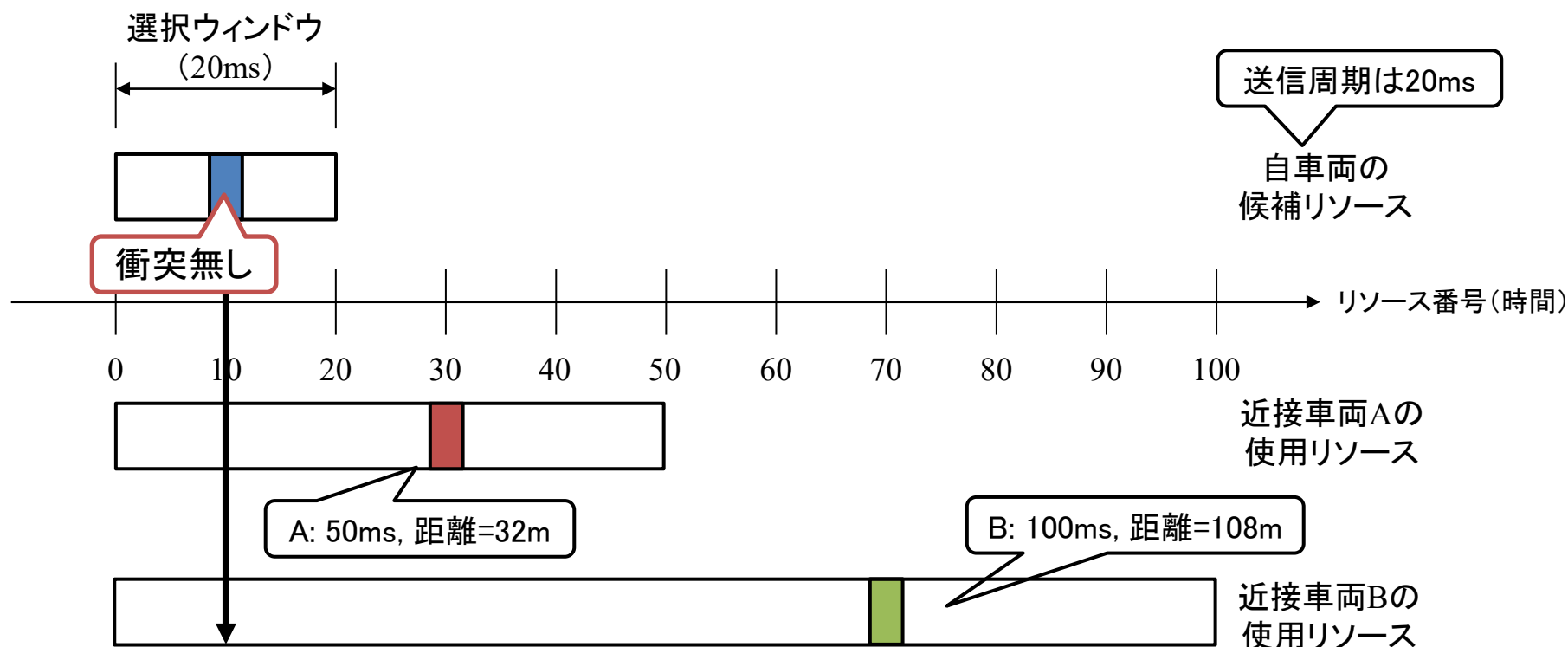
近接車両毎にパケット衝突が発生する干渉車両数を推測

[1] Y. Segawa, S. Tang, T. Ueno, T. Ogishi, and S. Obana, "Improving Performance of C-V2X Sidelink by Interference Prediction and Multi-Interval Extension," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 42518-42528, 2022.

新技術：IPMI方式

3. 異なる送信周期の考慮

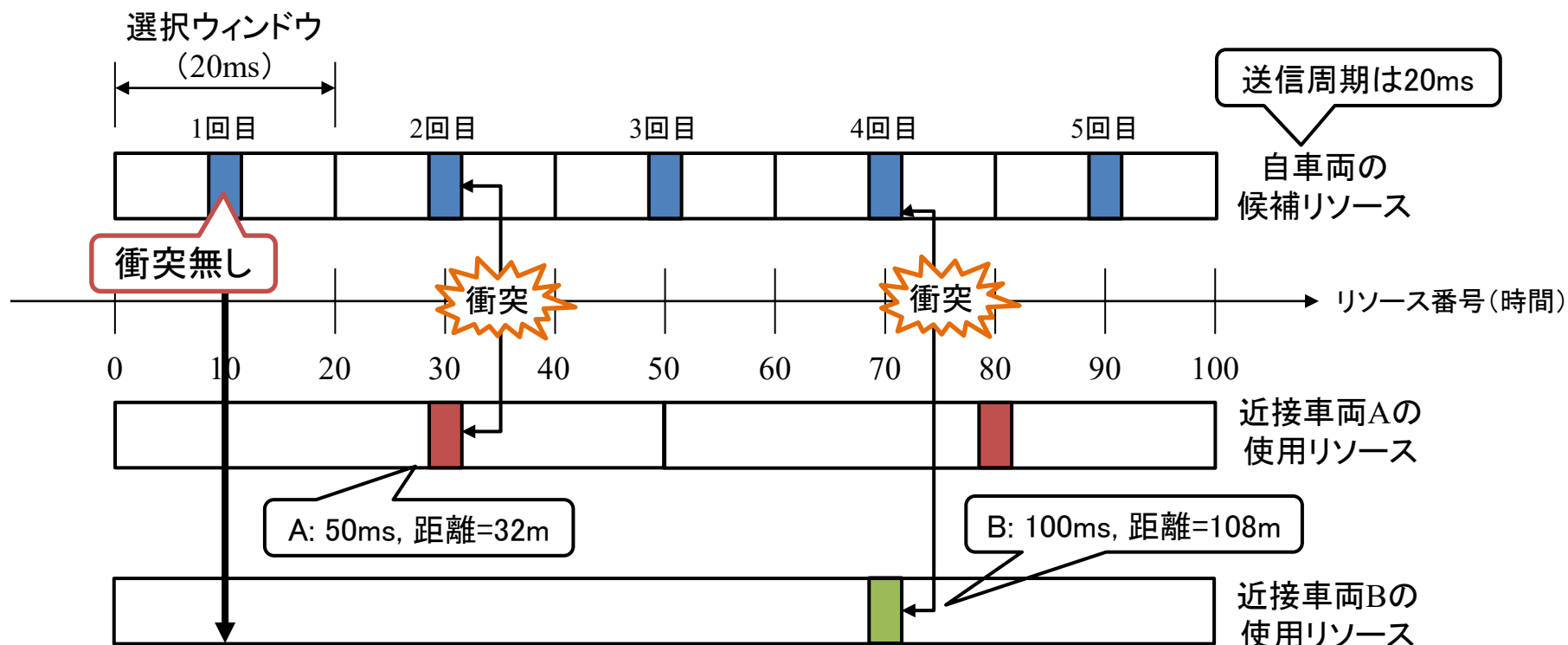
将来使用予定のリソースを考慮して干渉車両と距離情報を推測



新技術：IPMI方式

3. 異なる送信周期の考慮

将来使用予定のリソースを考慮して干渉車両と距離情報を推測

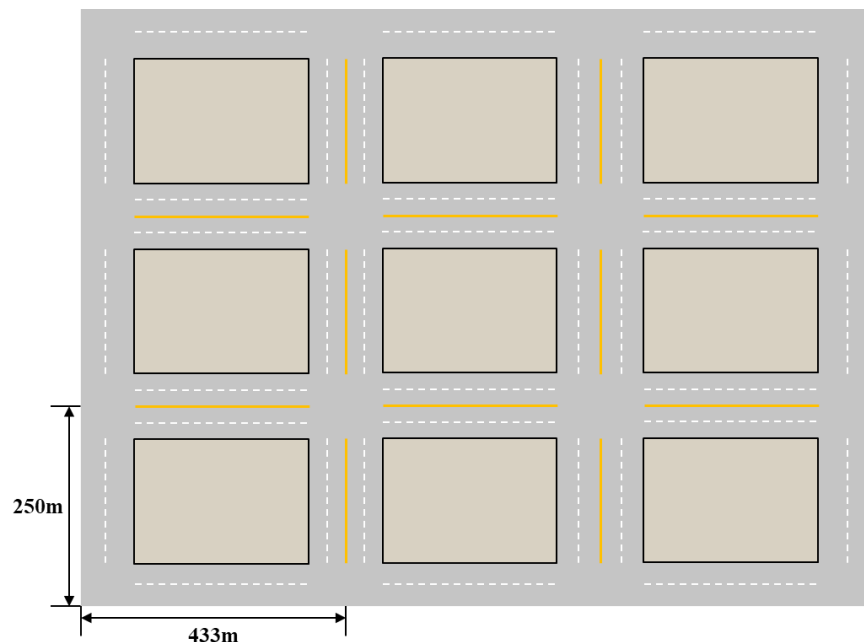


- 1. 将来衝突するリソースの情報に更新(近距離車両を優先)
- 2. 干渉車両数が最小かつ距離が最大のリソースを選択

新技術・従来技術の比較

- 従来技術（SPS）の問題点であった、送信衝突問題を緩和することに成功した。
- 位置情報を利用してスケジューリングを行うため、追加情報によるオーバーヘッドが発生しない。
- 異なる送信周期を持つ車両の混在を考慮し、高い信頼性を維持する。
- SPSとの後方互換性があるため、部分的に運用する場合でも十分な可用性がある。

シミュレーション環境・条件 (3GPP Urbanモデル)



項目	値
シナリオサイズ	1299 × 750m
車線数	片側2車線 (合計4車線)
車両台数	60km/h: 147台, 15km/h: 591台
車両速度	15 or 60km/h (固定)
通信範囲	150m
適用割合	100% (デフォルト)

比較方式における主要機能の比較

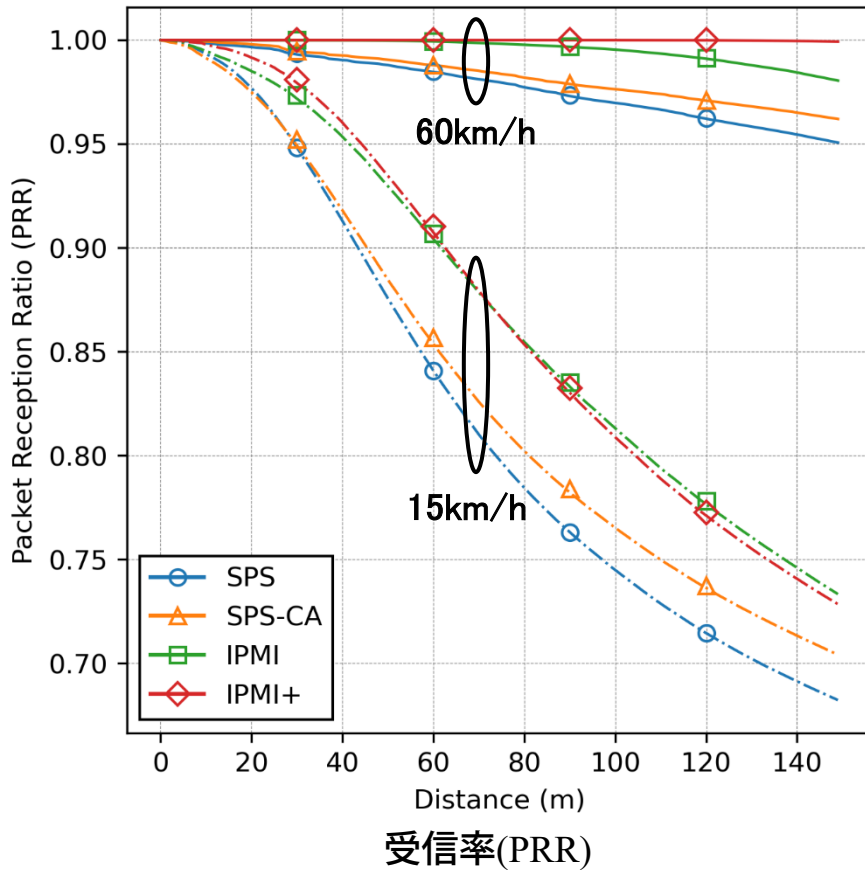
機能	SPS	Preclude	SPS-CA	IPMI	IPMI+ IPMI + BS
リソース毎の 干渉量の推測	×	×	○	○	○
異なる送信周期 への拡張	×	○	×	○	○
オーバーヘッドが発 生しない	○	○	×	○	×

評価項目

- パケット受信率 (PRR) = $\frac{\text{復号に成功したパケット数}}{\text{車両が物理層で検知したパケットシグナル数}}$

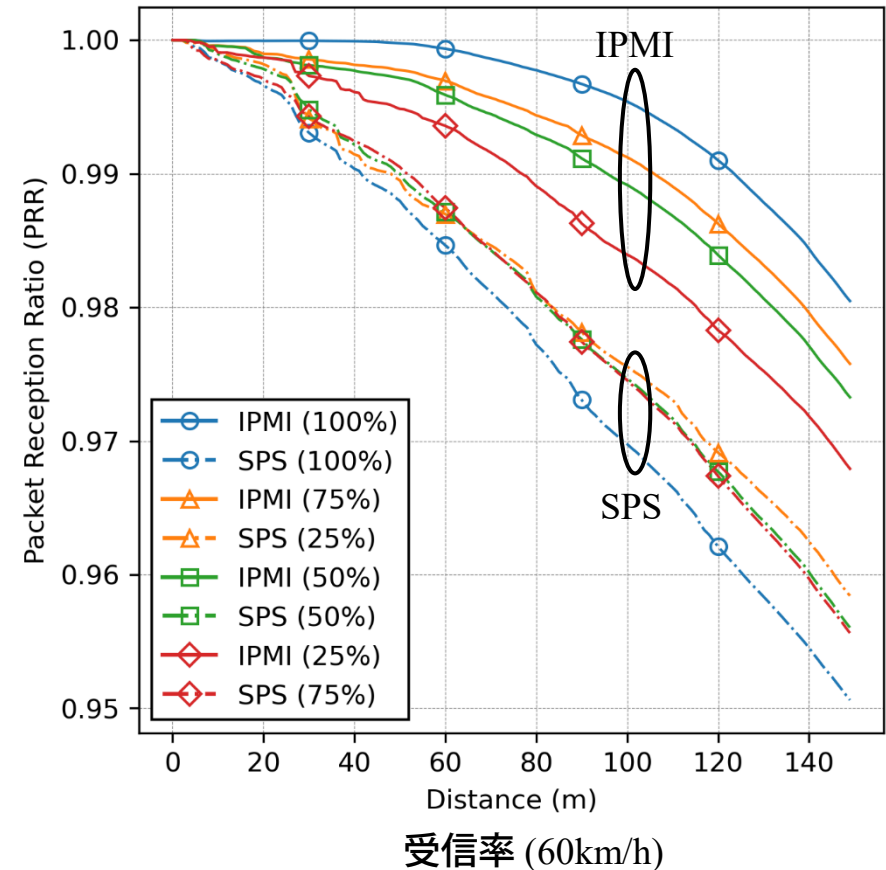
新技術・従来技術の比較

信頼性の評価 (Urbanモデル)



遠距離だけでなく近距離でも大きく信頼性を改善

可用性の評価 (Urbanモデル)



適用割合に関係なくSPSよりもIPMIの方が高い受信率を維持

想定される用途

- 車車間直接通信
- 本技術の特徴を生かして、衝突率を低減するメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、部分車両のみ本技術を導入する初期運用段階でも効果が期待される。
- 他にVoIPや、ロボット間の無線通信などにも、本技術が使える。

実用化に向けた課題

- 700MHzの車車間通信により、全ての車両が同じ位置情報を共有できるとしたが、パケットロスへの対応が必要
- 送信衝突とスケジューリング遅延の二つの課題があったが、今回主に送信衝突を対象とした、遅延への対応が必要
- 一定の受信率を維持するために、車両数が増え、チャンネル混雑になる場合、送信周期の制御も必要

企業への期待

- リソース選択時、受信率と遅延のトレードオフが必要であり、受信率を一定値以上に維持しながら、遅延の削減が可能と考えている。
- 車車間通信テストベッドを持つ、企業との共同研究を希望。
- また、V2X車載通信機を開発中の企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：車載装置、通信方法および車載装置プログラム
- 出願番号：特願2022-029178
- 出願人：電気通信大学
- 発明者：瀬川 洋介、湯 素華、小花 貞夫

産学連携の経歴

- 2015年-2021年 KDDI総研と共同研究実施

お問い合わせ先

国立大学法人電気通信大学
産学官連携センター
産学官連携ワンストップサービス

TEL 042-443-5871

FAX 042-443-5725

E-mail onestop@sangaku.uec.ac.jp