

[招待講演]

アドホックネットワークの通信性能を  
向上させるためには

名城大学 渡邊 晃

2012.1.20

# 内容

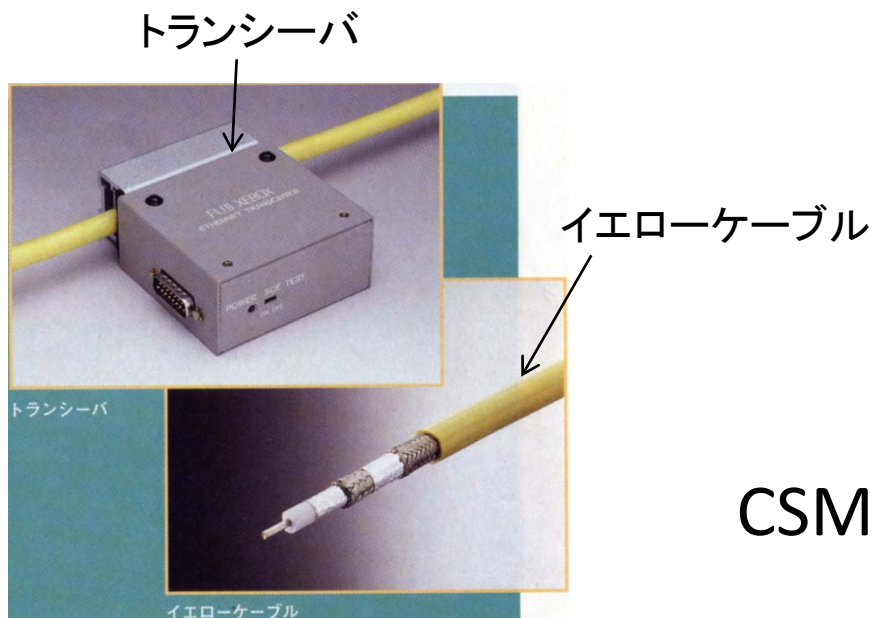
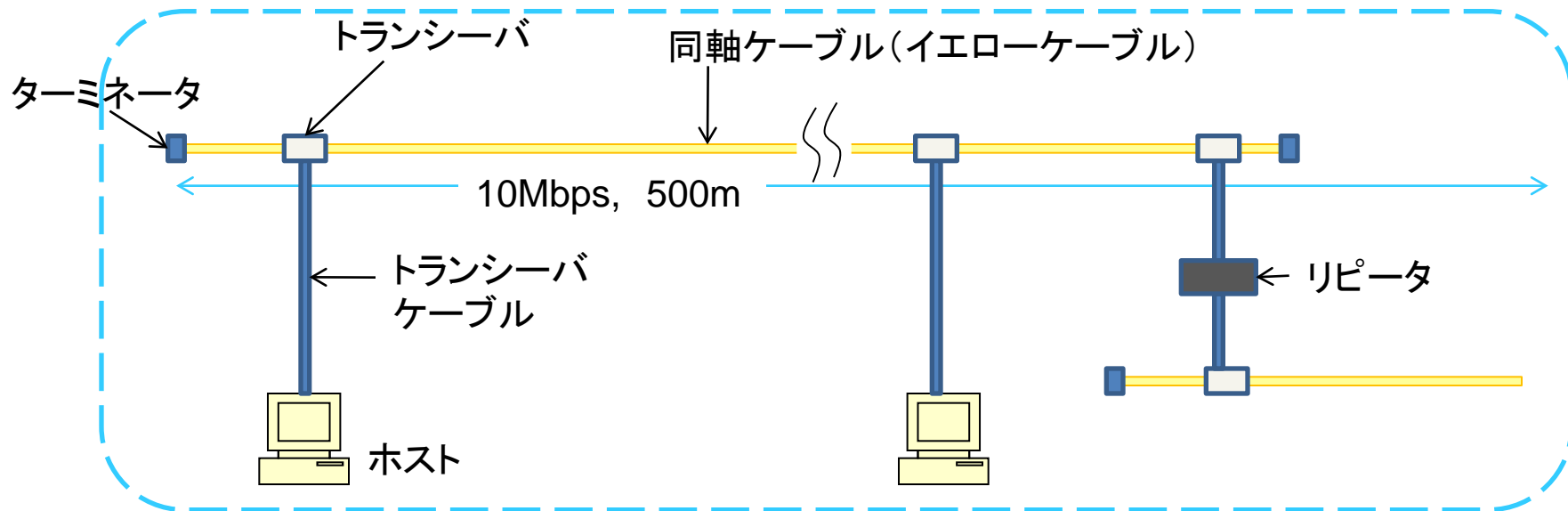
## LANの変遷

アドホックネットワークの効率が悪い理由

## 提案

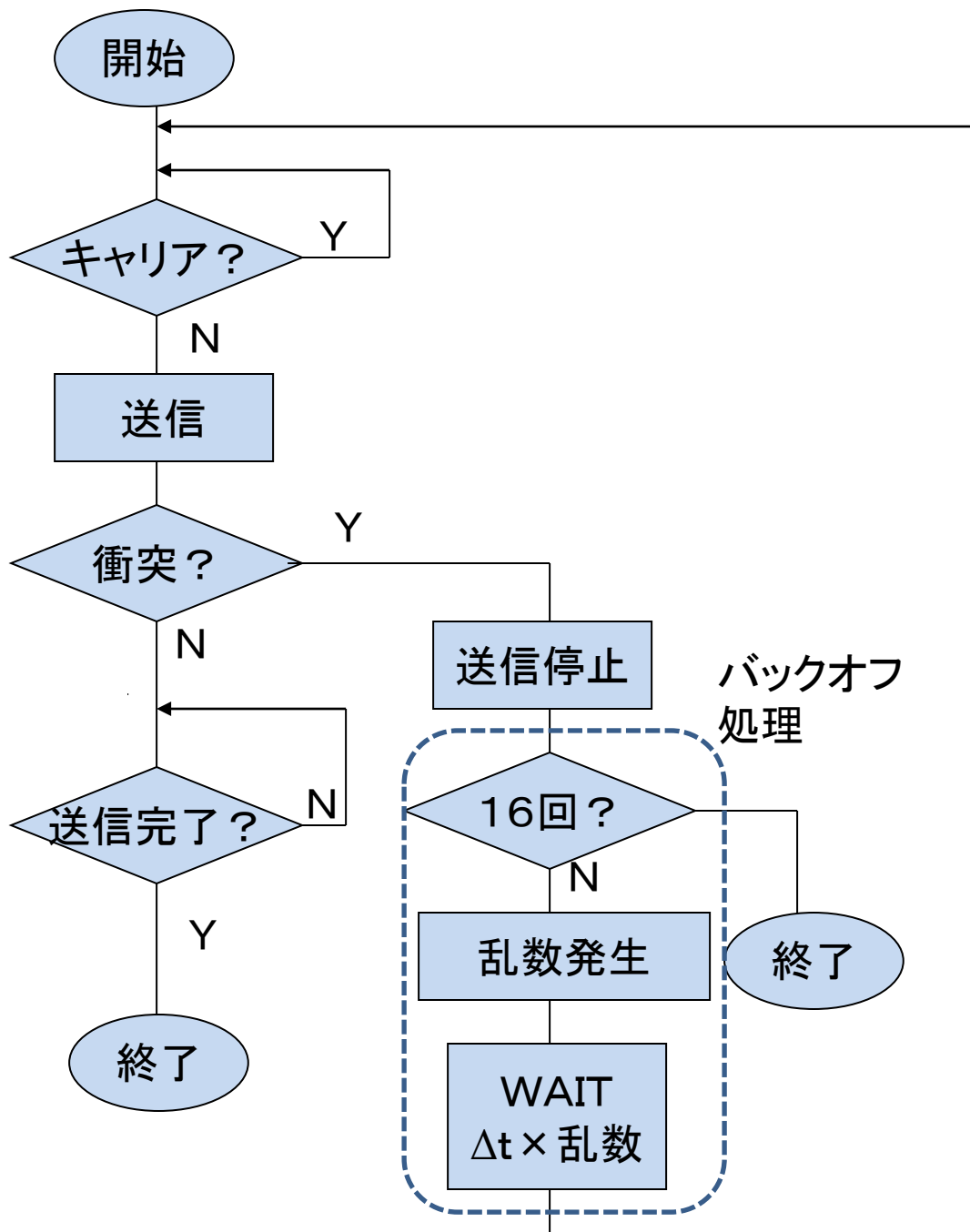
- ストロングビジートーン (SBT) の導入
- スロットタイムとCWの調整

# 30年前のイーサネット(10BASE5)の構成

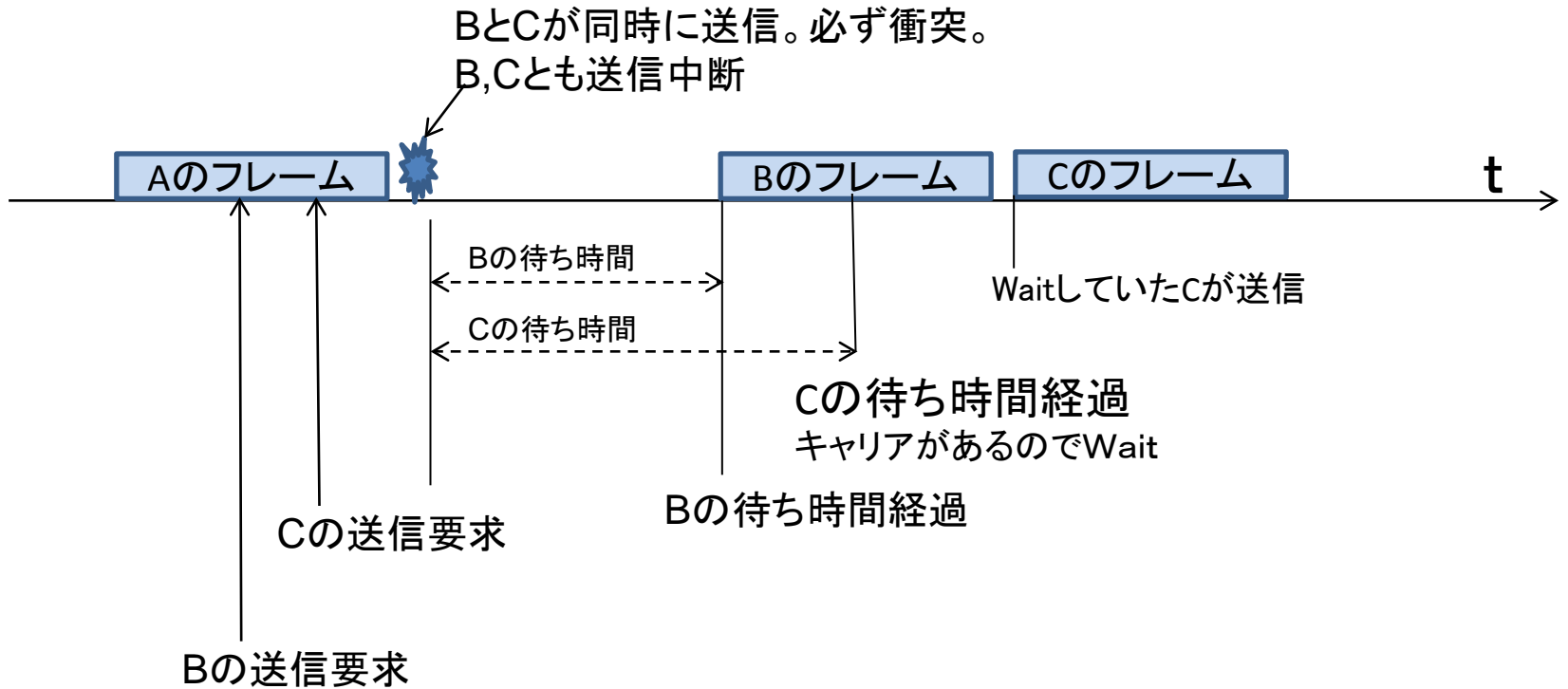


CSMA/CDの発明

# CSMA/CDの アルゴリズム

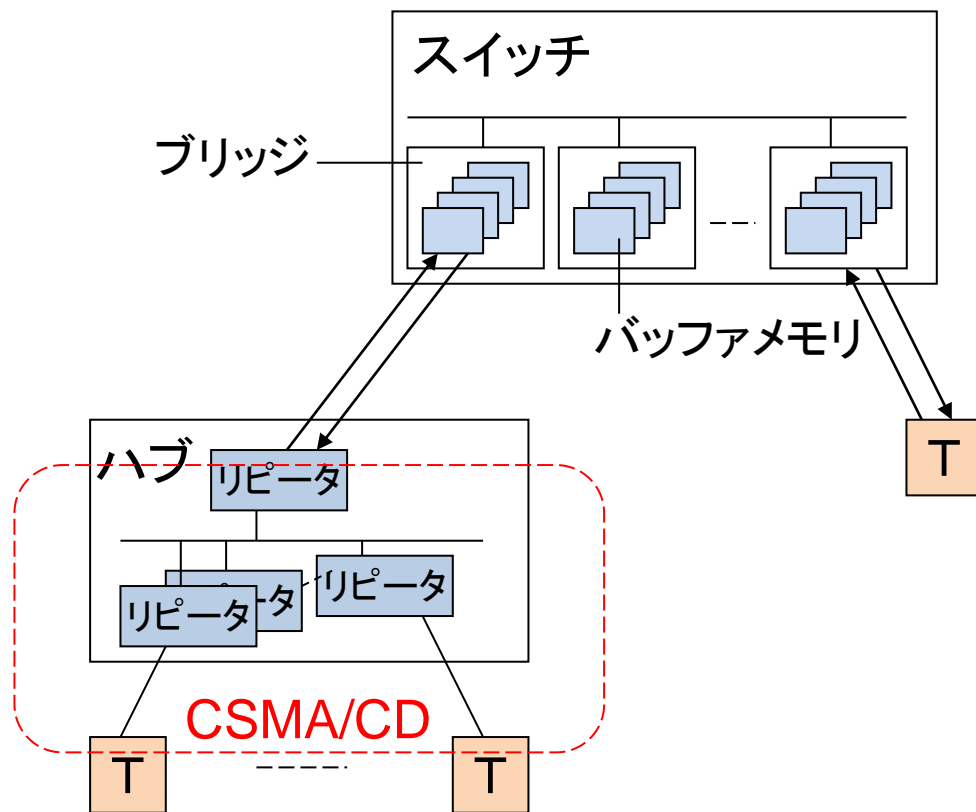


# CSMA/CDの動作



# 近年のイーサネットはスター型

## CSMA/CDは過去の遺産

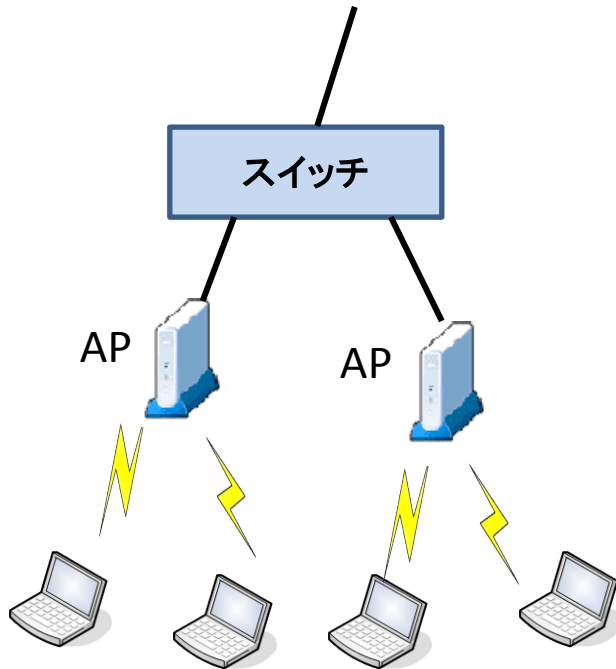


スター型に収束した理由:

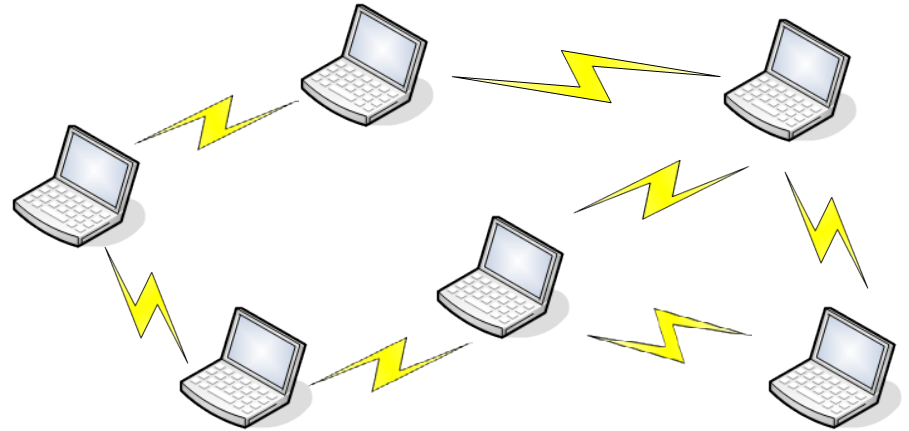
- ・障害の切り分けが容易
- ・電話工事とLAN工事を同時にできる
- ・100mならツイストペア線で届く
- ・スイッチの台頭

# 無線LAN

インフラストラクチャモード



アドホックネットワーク



CSMA/CA

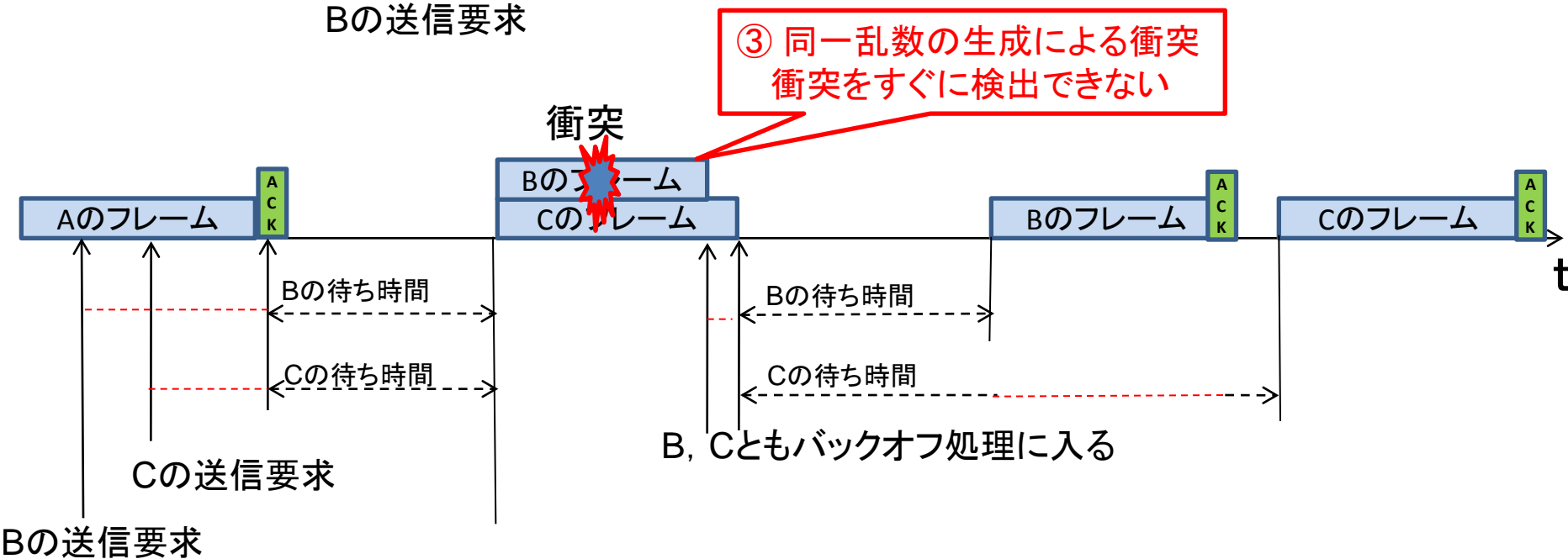
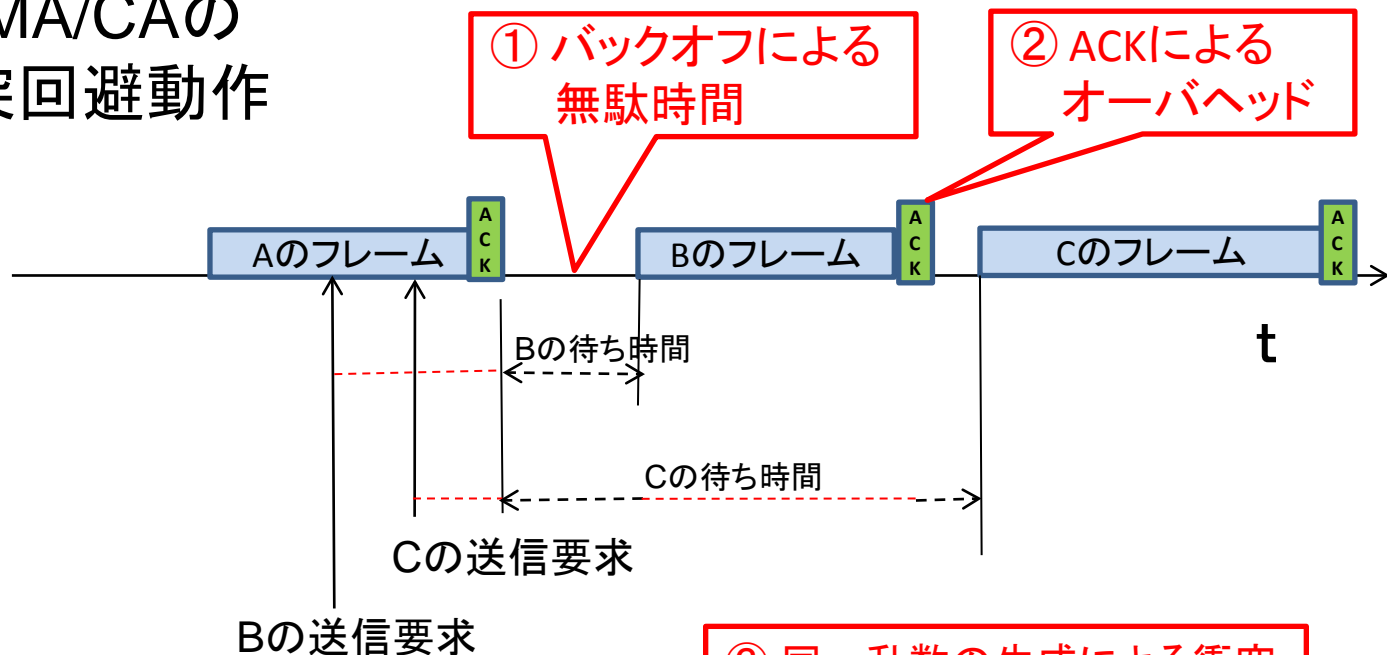
(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

# アドホックネットワークの効率が悪い原因

- ・衝突を検出できない ⇒ CSMA/CA、ACKの導入
  - ① バックオフによる無駄時間
  - ② ACKによるオーバヘッド
- ・衝突を完全に回避することができない
  - ③ 衝突してもACKの有無を確認するまでそのことがわからない
- ・隠れ端末問題の存在 ⇒ RTS/CTSの導入
  - ④ RTS/CTSによるオーバヘッド、パケット数の増加
  - ⑤ RTSどうしの衝突、CTS/データの衝突が避けられない
- ・受信開始時に同期信号が必要 ⇒ PLCP
  - ⑥ PLCPによるオーバヘッド
- ・マルチホップ通信を行う
  - ⑦ 通信を待たされることによる帯域減少
- ・その他
  - ⑧ ルーティングテーブルの不整合によるループの発生
  - ⑨ ブロードキャストの消失によりメトリックが正しく伝わらない可能性
  - ⑩ キャリアの広がりによるノイズ
  - ⑪ チャンネルの利用方法があいまい
  - ⑫ 無線自体の不安定さ



# CSMA/CAの 衝突回避動作



# 隠れ端末問題

⇒ RTS-CTSの導入

④ RTS/CTSによるオーバヘッド、パケット数の増加

⑤ RTSどうしの衝突、CTS/データの衝突

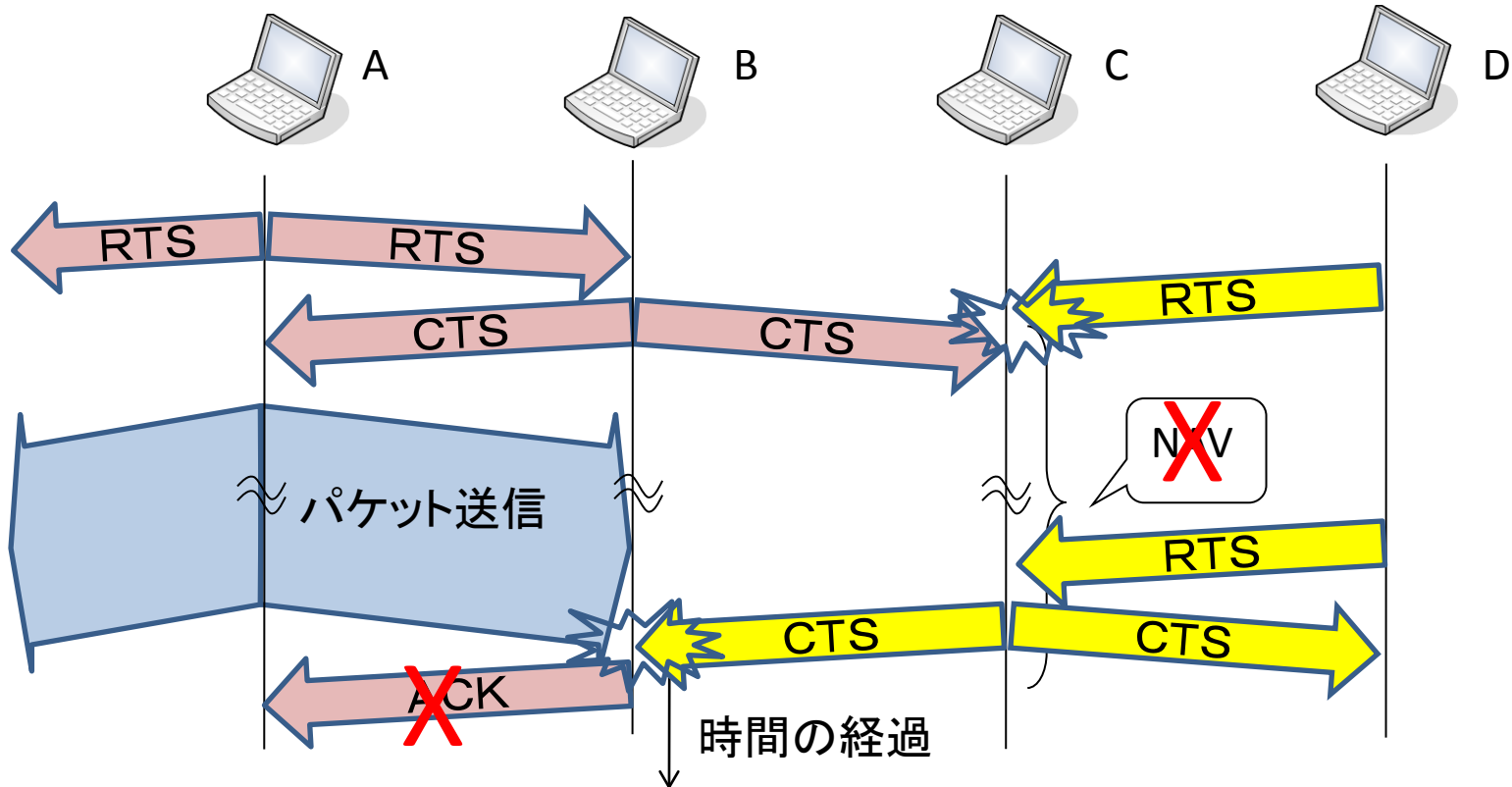
## RTSのMACヘッダ

2	2	6	6	4
フレーム制御	デュレーション	宛先MAC	送信元MAC	FCS

## CTS/ACKのMACヘッダ

2	2	6	4
フレーム制御	デュレーション	宛先MAC	FCS

### AからBへの送信



# 802.11フレームフォーマット



## Physical Layer Convergence Protocol

		PLCP		MACヘッダ以降
		プリアンブル	ヘッダ	
802. 11b	長さ	18/9バイト	6バイト	0~2, 312バイト
	速度	1Mbps	1Mbps	2, 5. 5, 11Mbps
802. 11g	長さ	12/9	6	0~2, 312
	速度	6Mbps	6Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps

PLCPプリアンブル;同期信号

PLCPヘッダ;変調方式、伝送速度、データ長などの情報

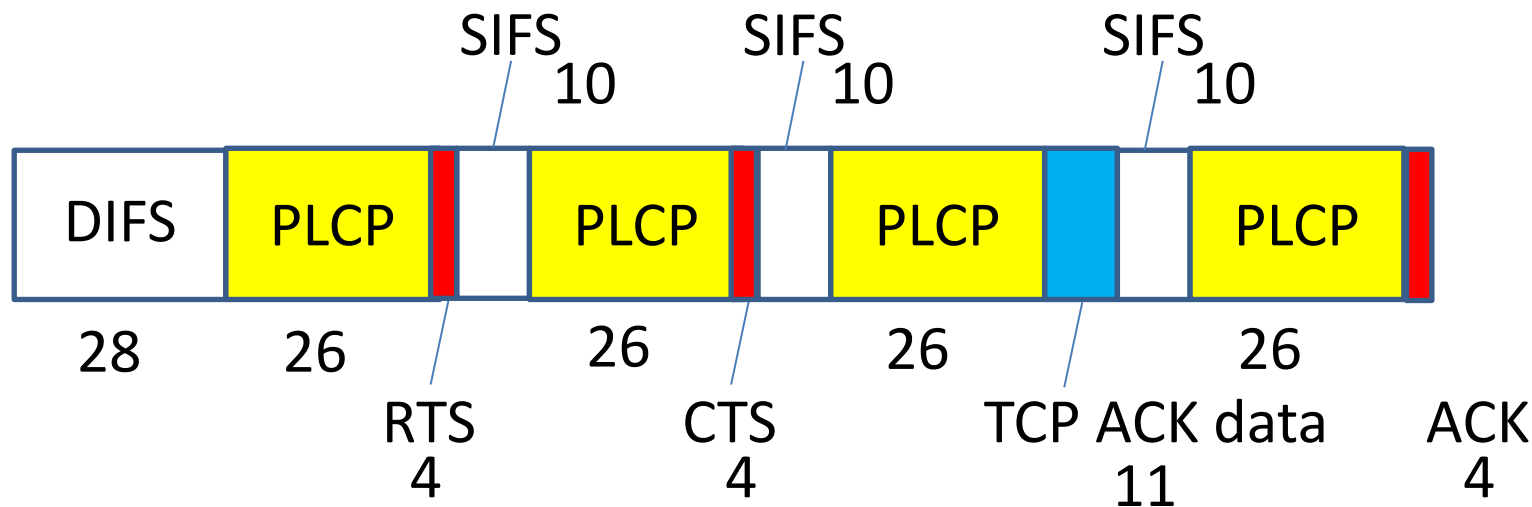
# シーケンス時間の内訳(単位:μ秒)

		802.11b	802.11g
DIFS		50	28
RTS	PLCP	192	26
	本体(20)	15	4
SIFS		10	10
CTS	PLCP	192	26
	本体(14)	10	4
SIFS		10	10
DATA	PLCP	192	26
	TCP data (1,536)	1,117	228
	TCP ACK (76)	55	11
SIFS		10	10
ACK	PLCP	192	26
	本体(14)	10	4

長データの場合

短データの場合

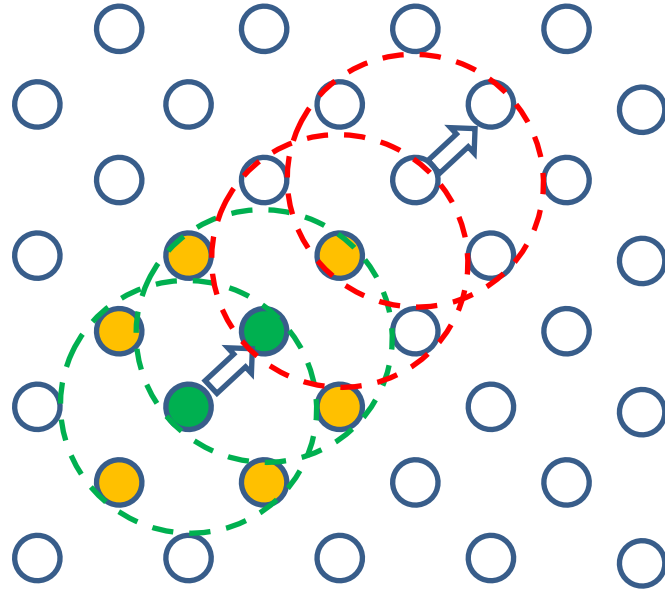
# 802.11gにおけるシーケンス時間 (短データの場合、単位:μ秒)



TCP ACK data (76バイト) 11μ秒  
送信にかかる時間合計 185μ秒

⑥ PLCPによるオーバヘッド

# マルチホップ通信による影響



⑦ 通信を待たされることによる実質的な帯域減少

1ホップすると $1/2$ 、2ホップすると $1/3$

# その他の要因

- ⑧ メトリックの伝搬遅延  
ルーティングテーブル不整合によるループの発生
- ⑨ ブロードキャストの消失を検出できない  
メトリックが正しく伝わらない可能性
- ⑩ キャリアの広がりによるノイズ
- ⑪ チャンネルの利用方法があいまい
- ⑫ 無線自体の不安定さ

# 提案方式

前提：既存方式との混在を可能とする  
(下位互換性)

可能なこと：衝突をいかに減らすか

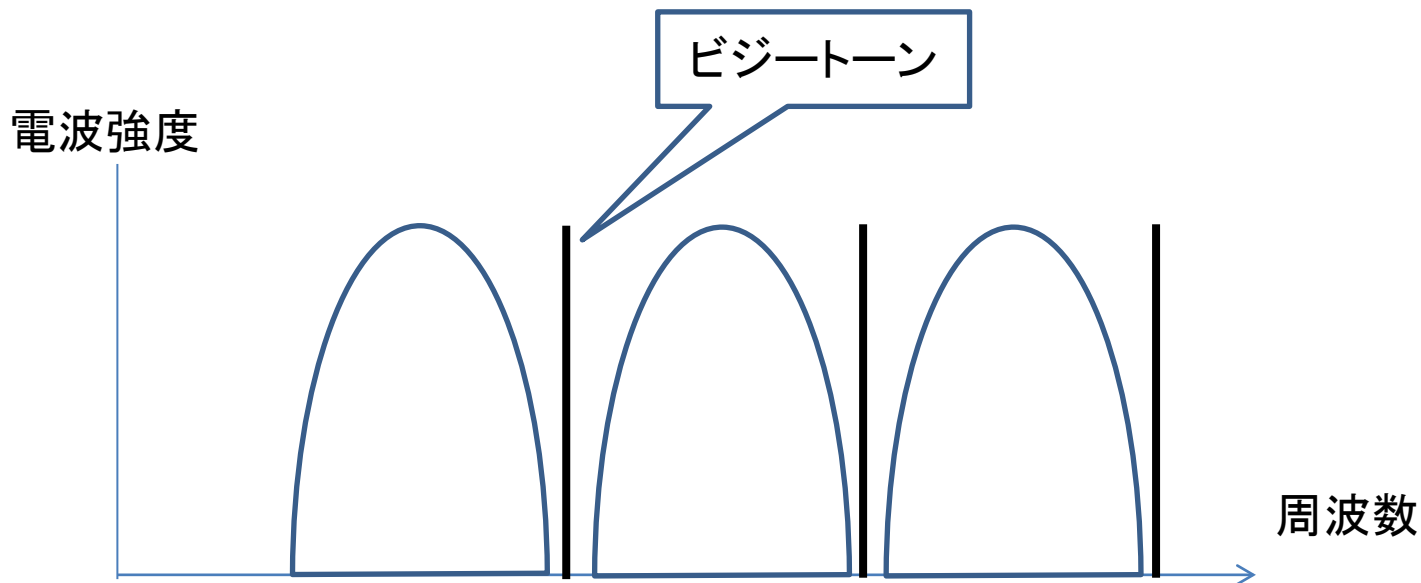
(1) ストロングビジートーンの導入

(2) スロットタイムとCWの調整



## ビジートーンとは

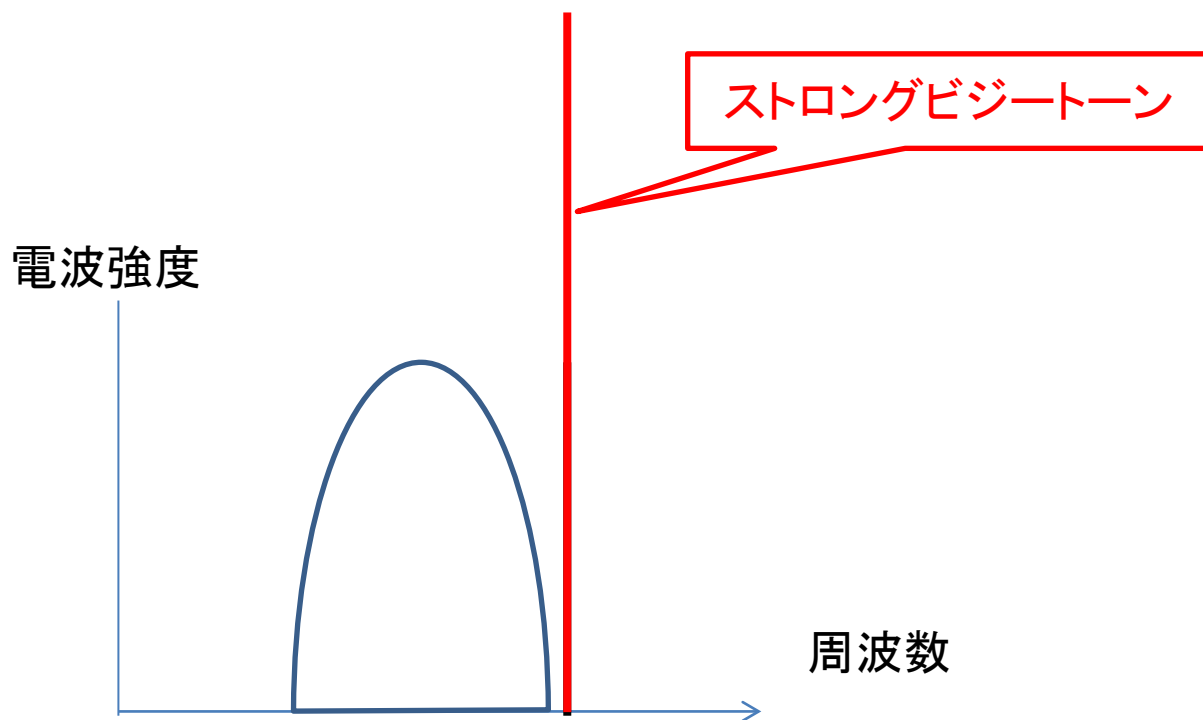
- ・単一の周波数
- ・通信中であることを周囲に伝える制御信号
- ・衝突の概念はない
- ・帯域が狭いため、消費電力は小さい



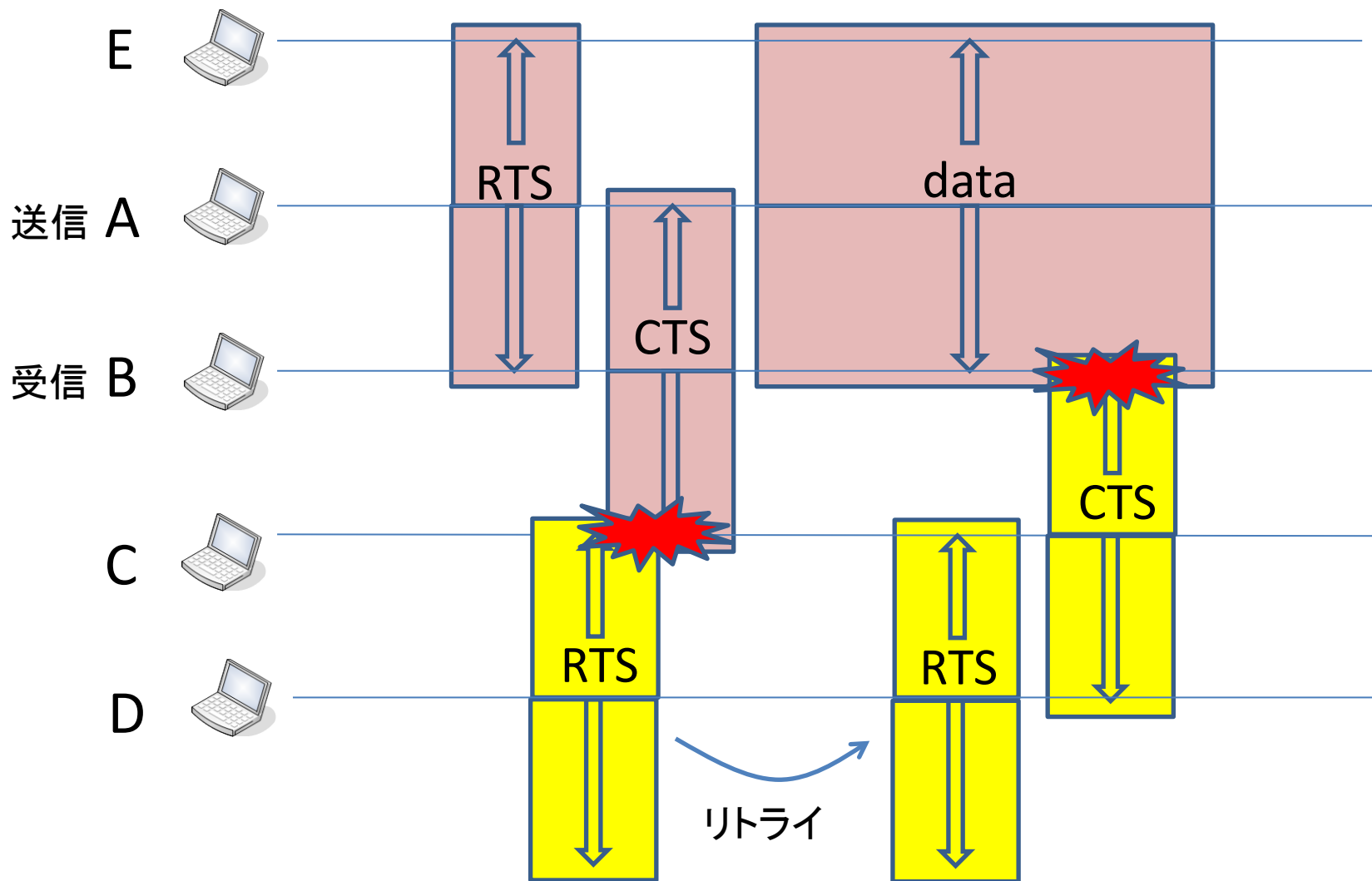
当初、隠れ端末、さらし端末問題の解決方法として導入された

## (1) ストロングビジートーンの導入

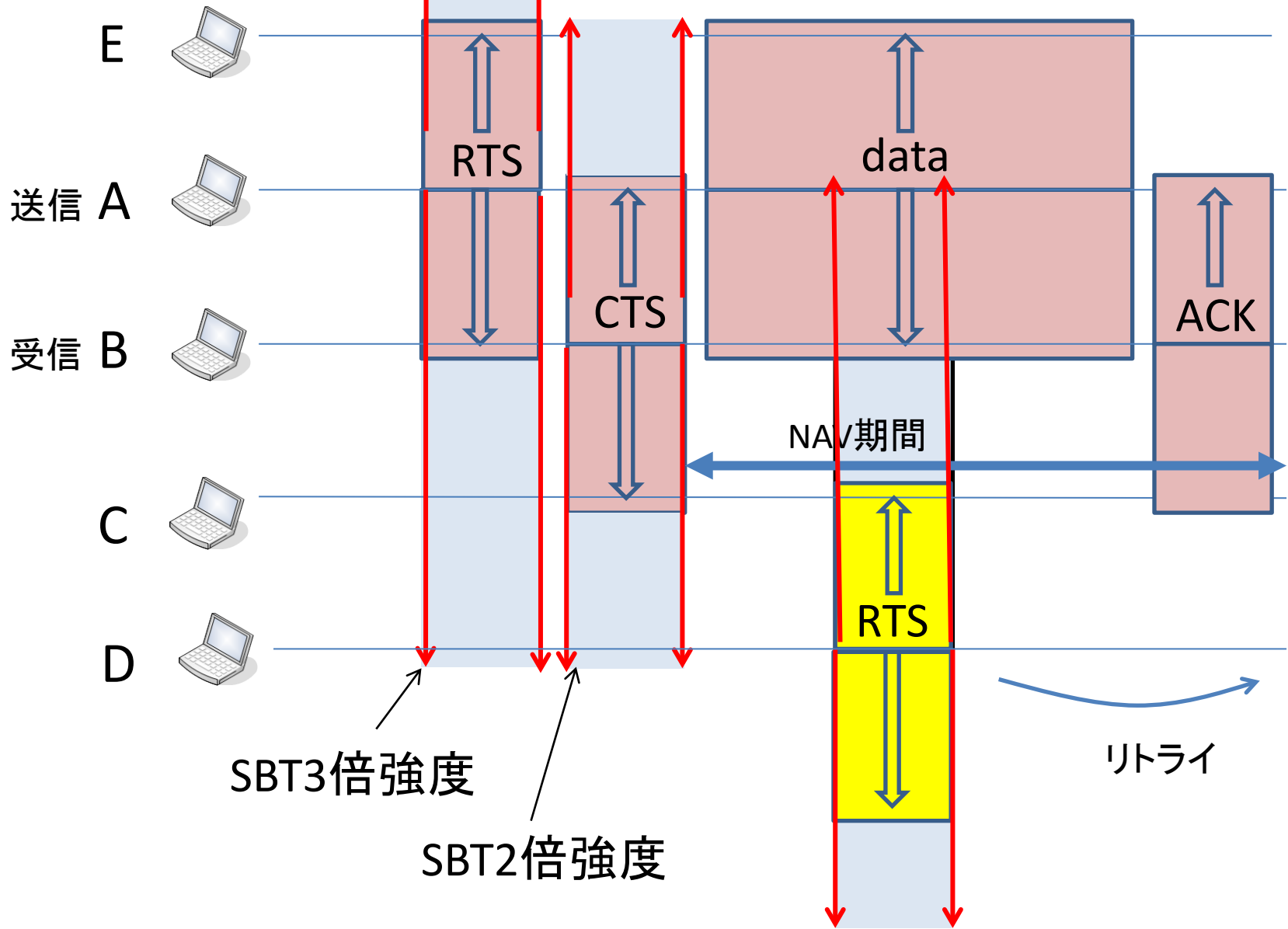
- ・ビジートーンの電波強度を上げたものをストロングビジートーン (SBT) として定義する
- ・RTSと同時に、SBTを3倍の距離まで送信する
- ・CTSと同時に、SBTを2倍の距離まで送信する
- ・ビジートーン受信中に**新たな**送信を開始してはいけない
- ・送信中にビジートーンを受信しても無視する



# アドホックネットワークによる衝突の例(隠れ端末が存在するとき)



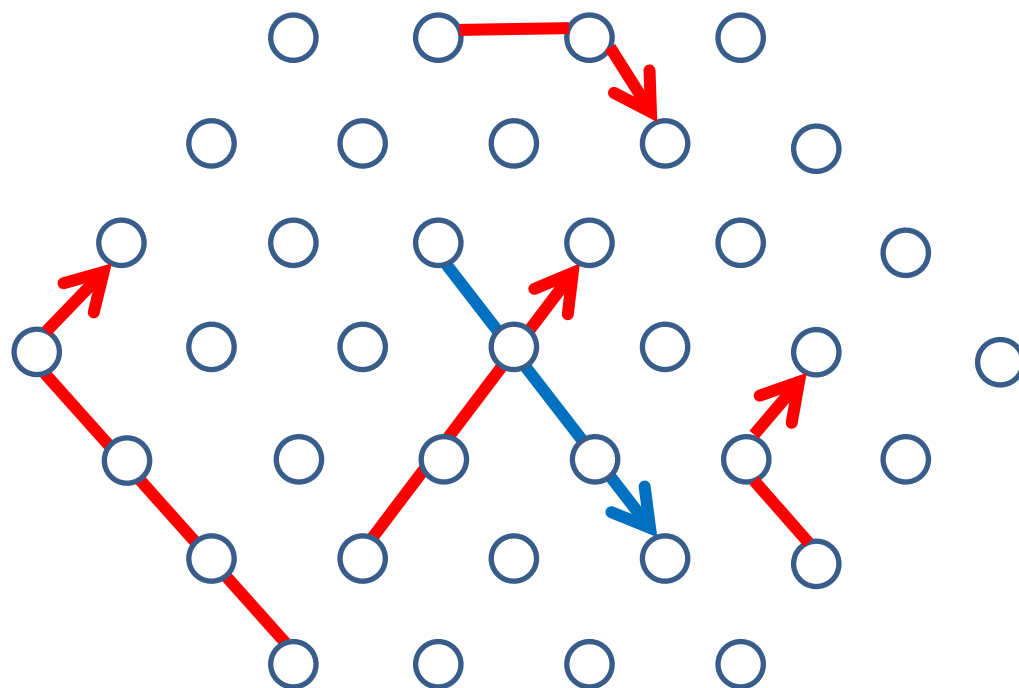
# SBTによる衝突回避



# Ns-2によるシミュレーション

ビジートーンを別チャネル  
の擬似パケットとして模擬

背景トラフィックを増加して  
いったときのTCPスループット  
を測定



- メッシュネットワークを想定(ノードは動かない)
- 台数:37台
- ノード間距離:90m
- パケット到達範囲:100m
- SBT2到達距離:200m
- SBT3到達距離:300m
- 802.11g

→ 測定トラフィック(TCP)

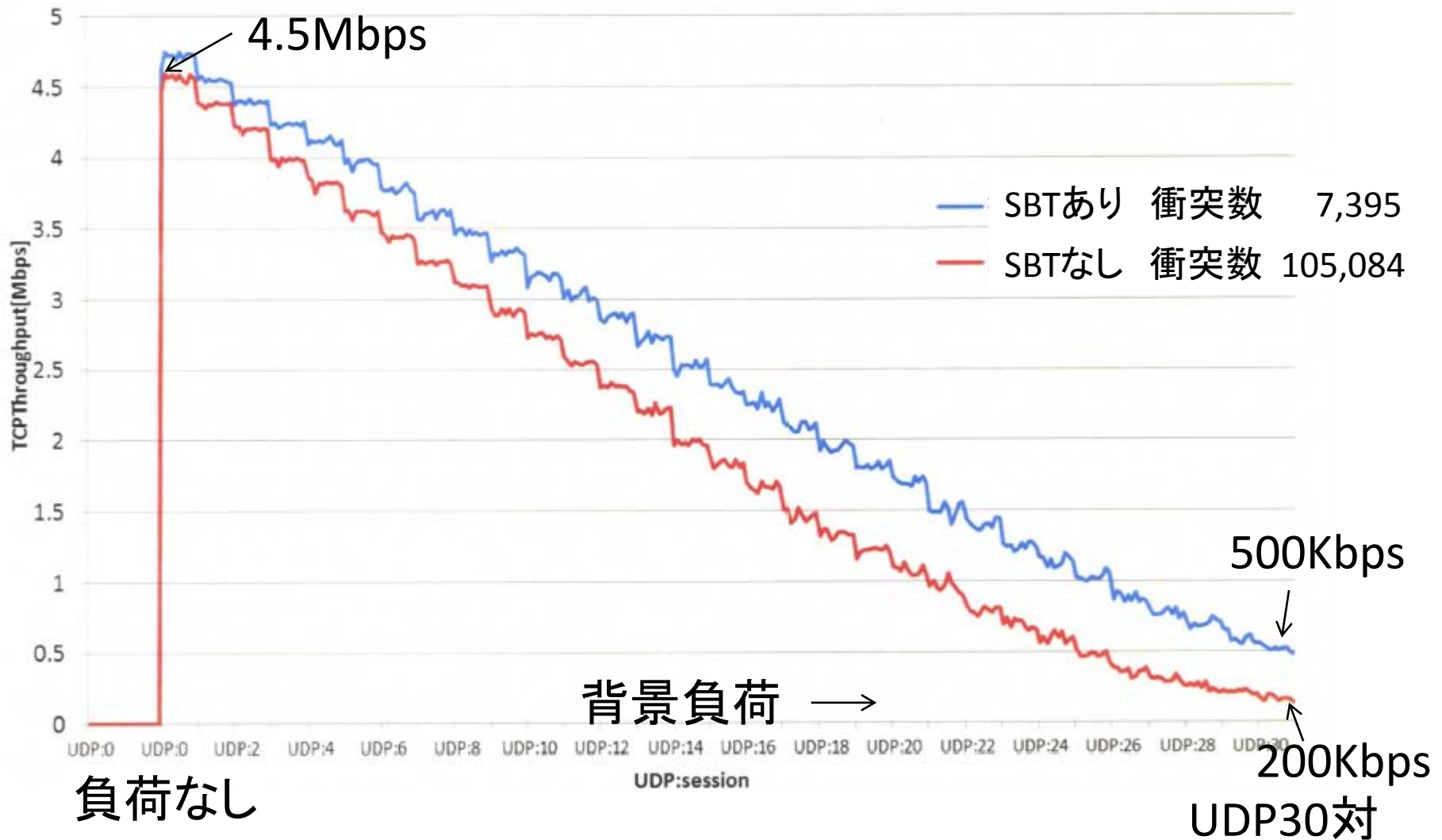
→ 背景トラフィック(UDP)

## シミュレーション条件

測定トラフィック	通信タイプ	FTP
	パケットサイズ	1000バイト
	通信本数	1対
背景トラフィック	通信タイプ	CBR
	パケットサイズ	200バイト
	データ転送量	64Kbps
	通信本数	1～30対

10秒ごとにUDP背景トラフィックを増加  
UDPの対はランダムに選定  
40回の平均値

# 背景トラフィックとTCPスループットの関係



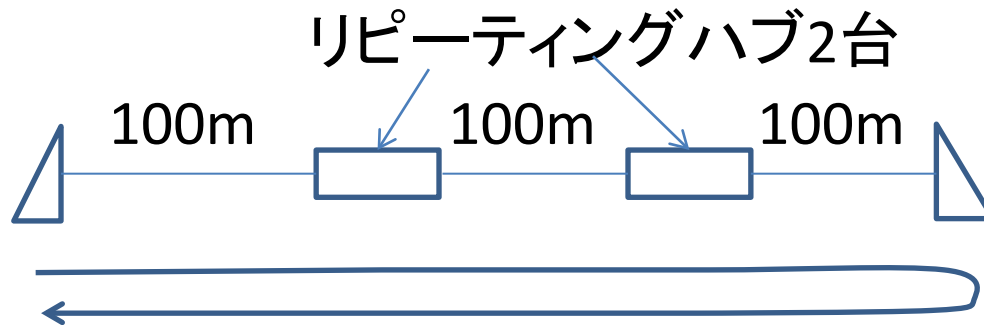
衝突がかなり残っていることが判明  
(同一乱数の発生に起因)

## (2)スロット時間とCWの調整

バックオフ時間 =  $\Delta t \times [0, CW]$

	10BASE-T	100BASE-TX	802.11g
スロット時間 $\Delta t$	51.2 $\mu$	5.12 $\mu$	9 $\mu$
CW	1~1,023	1~1,023	15~1,023

有線におけるスロットタイムの決定方法



信号が行って返るまでの最悪時間 = 512ビット  
異なる乱数であれば衝突しないことが保証される

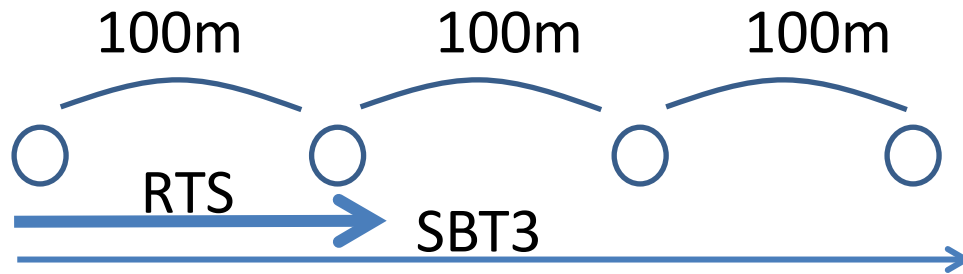


無線LANは衝突を検出する必要がない

→行きだけでよい

アドホックネットワークにはリピータがない

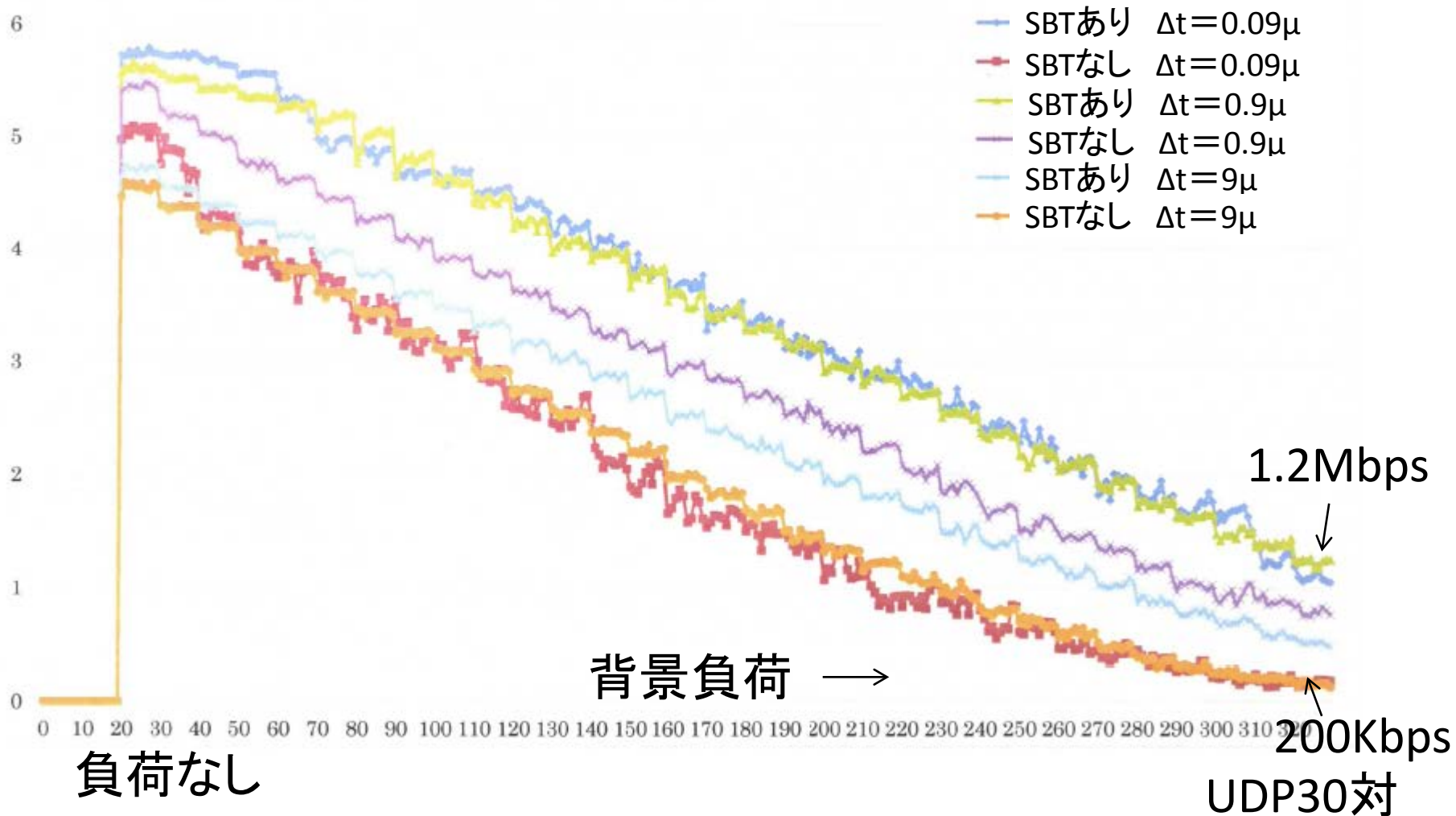
→電磁波速度で考えればよい



電磁波が300m (SBT3の到達距離) 進む時間・・・0.9 $\mu$ 秒

	802.11g	提案
スロット時間	9 $\mu$	0.9 $\mu$
CW	15, 31, 63, 127, ・・・511, 1023	150, 310, 630, 1270, ・・・ 5110, 10230

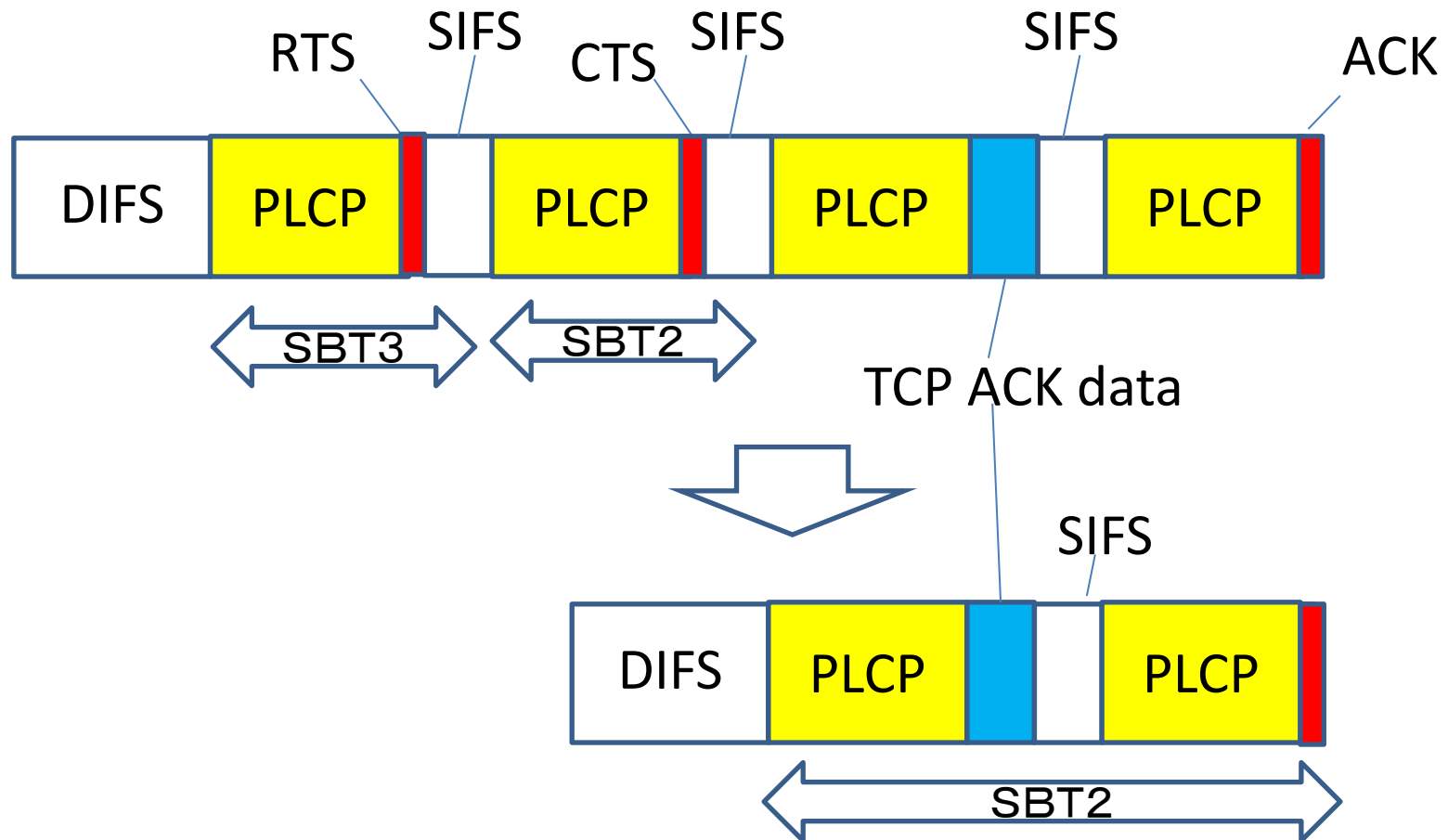
# 背景トラフィックとTCPスループットの関係 (スロットタイムを調整した場合)



# SBTの可能性

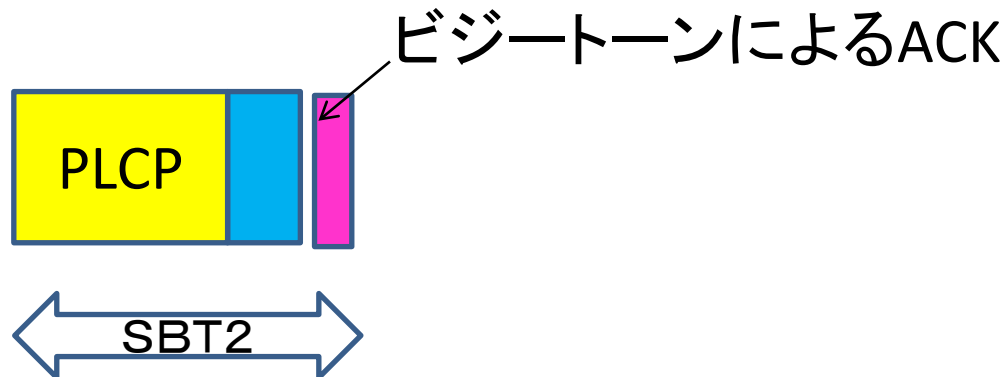
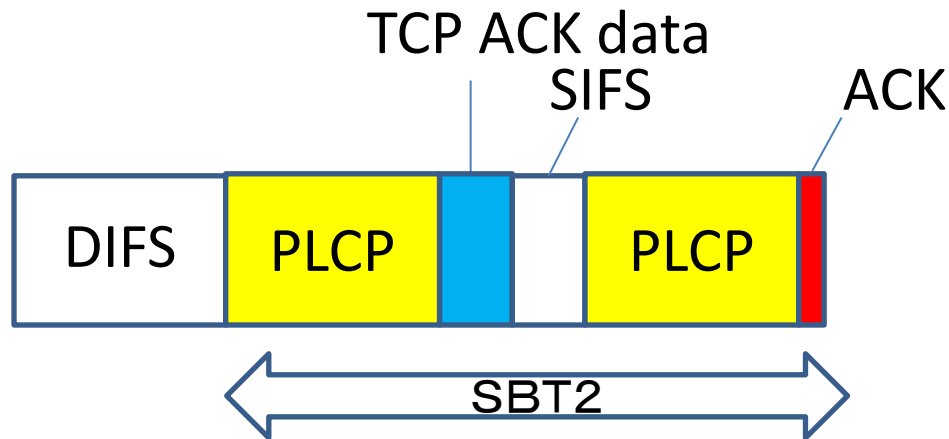
下位互換性を考慮しないと何が出来るか？

- ①RTS/CTSを廃止し、SBTのみで制御する  
SBTの距離は2倍でOK



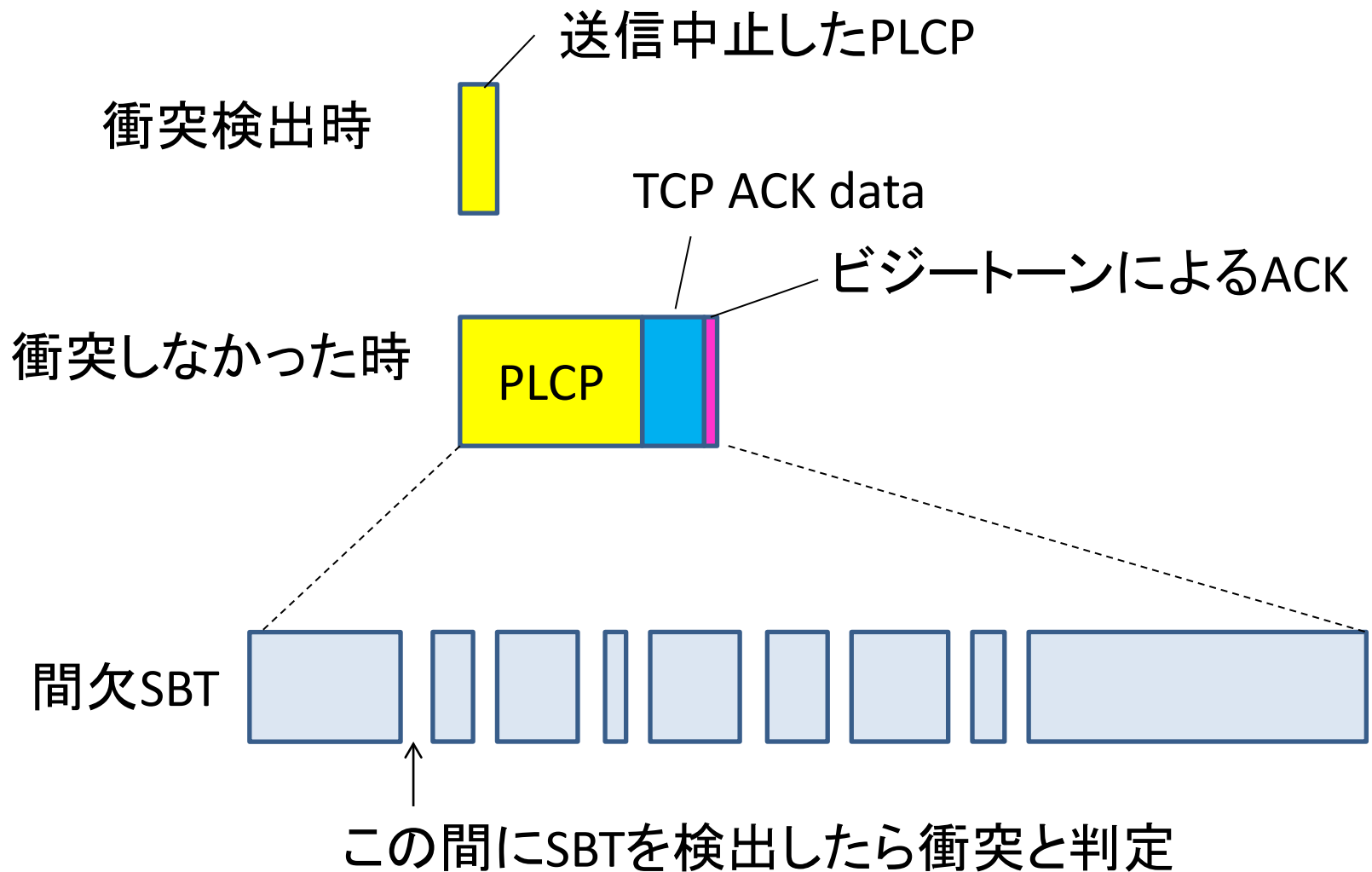
## ②ACKをビジートーンで返す

DIFS、SIFSも不要となる



### ③ SBTで衝突を検出する

PLCPを途中で中止できる



# まとめ

- ・SBTの導入効果とスロットタイムの調整効果について

- ・SBTの可能性は大きい

PLCPは？