

# ストロングビジートーンを用いたアドホックネットワークにおける

## メディアアクセス方式の提案

森一養

アドホックネットワークには、本質的に避けられない問題として「隠れ端末問題」が存在する。「隠れ端末問題」への対策として IEEE802.11 標準規格では RTS (Request to Send) /CTS (Clear to Send) 方式が採用されているがパケットの衝突を完全に防止することはできない。そこで、ストロングビジートーン (SBT: Strong Busy Tone)[1]と呼ぶ特殊な制御信号を用いることにより、この課題を解決する方法を提案する。

## Proposal of a Media Access control in an Ad-hoc Network using a Strong Busy Tone

KATSUYASU MORI

There is "the issue of passing away terminal" in the ad hoc network as the problem that is not avoided essentially. An RTS (Request to Send) /CTS (Clear to Send) method is adopted in the IEEE802.11 standard norm as measures to "the issue of passing away terminal",but cannot completely prevent the collision of the packet. Therefore it is Strong busy tone (SBT:I suggest a method to solve this problem by using a special control signal to call Strong Busy Tone)[1]

### 1. はじめに

無線 LAN は、その利便性から急速に普及してきており、今後も更なる拡大が予想される。無線 LAN は配線工事が不要なためコストがかからない。また端末設置の自由性が高く容易に LAN の構築が可能である。

無線 LAN ネットワークにはインフラストラクチャモードとアドホックモードがある。インフラストラクチャモードとは、端末は必ずアクセスポイントを経由して通信し、アクセスポイント間は有線で接続する方式である。一方、アドホックモードは無線端末間で直接通信する方式である。その応用として直接電波の届かない端末との通信は他の端末を経由するアドホックネットワークがある。アドホックネットワークは、ネットワークの構築を容易に実現することができるという利点がある。しかし、大規模のネットワークになると、隠れ端末問題によるパケット衝突などの影響で大幅にスループットが低下するという課題がある。

隠れ端末問題を解決するには、送信端末だけでなく宛先端末に隣接する全ての端末に対

して送信端末が現在送信中であること知らせる必要がある。IEEE802.11 ではこの問題を解決するために RTS/CTS 方式を採用している。この方式では、近隣の端末が RTS /CTS を受信することで、一定期間通信を控えることにより衝突を防止する。しかし、RTS/CTS 方式ではトラフィック負荷が高くなると、異なる RTS/CTS シーケンスどうしが衝突する可能性がある。その理由は、RTS または CTS 自体が一種のパケットであり、一連のシーケンスに一定の時間が必要となるためである。また、無駄に待機しなくてはならない状況がでてくる場合もある。従って RTS/CTS だけではアドホックネットワークの課題を完全に解決することはできない。

そこで、隠れ端末問題を解決するための方式として単一周波数の信号からなるビジートーンを用いた方式やその応用システムが提案されている [2] [3] [4]。ビジートーンとは単一周波数からなる制御信号である。ビジートーンには情報が含まれないため、複数の装置が同時にビジートーンを発生しても、周辺の装置はその信号を検知できる。ビジートーン

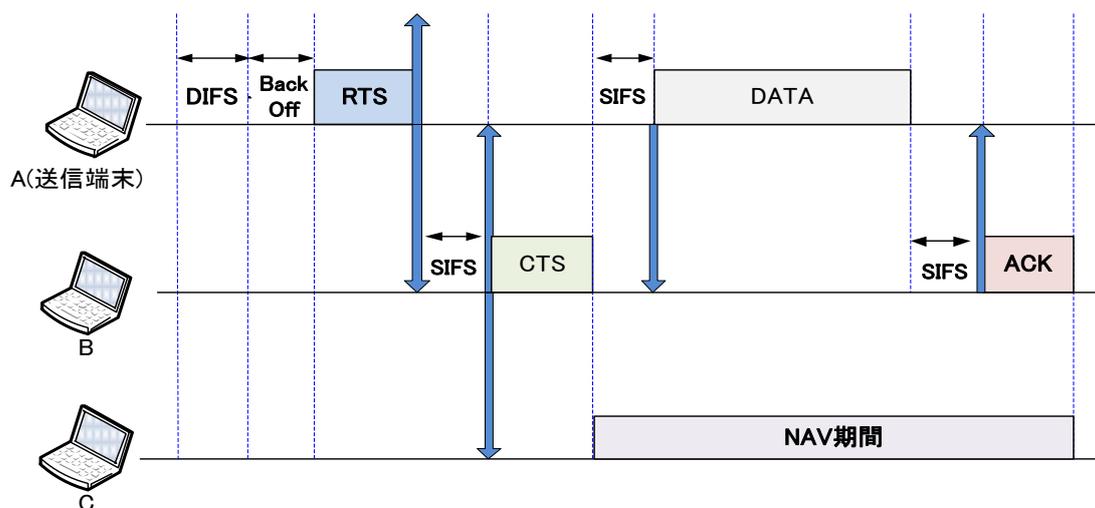


図 1 RTS/CTS 方式の動作

を検知した端末は、その間送信を控えることにより衝突を回避できる。文献[2]では、通信帯域の外にビジートーン周波数を定義し、送信と同時にビジートーンを発生させる。ビジートーンにより RTS/CTS の課題を一部回避できるが、RTS どちらの衝突を防止することまではできない。

我々はこれまで、ビジートーンの到達範囲を拡大させ、周辺端末との RTS の衝突を大幅に減少させる方式を提案してきた。以後このビジートーンをストロングビジートーン (SBT: Strong Busy Tone)[1]と呼ぶ。SBT を RTS および CTS の送信と同時に発生させ、RTS どちらの衝突を防止する。これにより、隠れ端末同士の同時送信を防止でき、スループットの低下を防止することができる。

本論文ではストロングビジートーン (SBT) を DATA 送信と同時に発生させることにより、RTS/CTS のシーケンスを不要とする方式を提案する。この方式では RTS/CTS による無駄な時間を削減するとともに、衝突によるスループットの低下を防止することができる。

以下 2, 3 章では RTS/CTS 方式及び関連研究とその課題を説明し、4 章で提案方式について述べる。5 章で提案方式の有効性についての予測を述べ、後に 6 章でまとめを行う。

## 2. 既存技術

### 2.1 RTS/CTS方式

隠れ端末問題を解決するには、送信端末と宛先端末に隣接する全ての端末にチャンネルが使用中であることを知らせる必要がある。RTS/CTS方式の動作を図1に示す。図1において端末Aの電波は端末Bには届くが、端末Cには届

かないものとする。端末Aと端末C は隠れ端末の関係にある。端末Aはデータフレーム送信前にDIFS(Distributed Coordination Function Interframe Space)とバックオフ時間を加えた時間だけキャリアがないことを検出すると送信を予約するためRTSを端末Bに送信する。端末B はSIFS(Short Interframe Space)時間後に端末A に予約を許可するCTSを返信する。CTS を受信した端末A はSIFS時間後にDATAを送信する。端末B はDATA受信完了後、SIFS時間後にACKを返信して通信を終了する。端末B が送信したCTS は遠隔にある端末Cも受信することができる。RTS には無線帯域を使用する予定期間が記載されており、これがCTSに転記されて端末C に届く。周辺端末はRTS/CTS を監視しており、これらを検出すると一連のシーケンスが終了するまでの所定の期間だけ送信を禁止する。この期間のことをNAV(Network Allocation Vector)と呼ぶ。このように端末Cに仮想的なキャリアセンス状態を作ることにより送信が禁止され、衝突を回避することができる。

### 2.2 RTS/CTS方式の課題

RTS/CTS 自体は一種の packets である。そのため、RTS/CTS シーケンス実行時に遠隔端末が同様のシーケンスを開始すると、衝突が避けられないという課題がある。RTS/CTS 方式の課題の例を図 2 に示す。端末 A が送信した RTS フレームに対して、端末 B は CTS フレームを返信して送信を許可する。ここで、RTS/CTS のやりとりの間に端末 D が RTS フレームを送信すると、端末 B が送信した CTS フレームと衝突が発生する(衝突 1)。端末 D は

CTS の応答がないため、RTS フレームを再送信する。一方、端末 A は端末 B からの CTS フレームを受信すると、端末 C で衝突が発生していることに気がつかずに端末 B に対して DATA 送信を始める。端末 C は端末 D からの RTS フレームに回答して CTS フレームを送信するため、端末 A の DATA と衝突が発生する(衝突 2)。これにより、端末 A は再送信が必要となり、スループット低下の原因となる。

図 3 は端末 A が端末 B に RTS を送信したときに端末 C がほぼ同時に端末 B に RTS を送信した状態を示す。このとき端末 A と端末 C は隠れ端末状態にあるためお互いを検知できない。よってこのようにほぼ同時に RTS を送信してしまうことがある。端末 B では端末 A からの RTS と端末 C の RTS の衝突が発生し正しく受信できない。端末 A と端末 C は端末 B からの CTS の返信が来ないので RTS の再送処理に入る。このようにお互いが検知できない状態にあると何度も送信エラーが続く可能性が高くなる。図 3 は端末 A が先に RTS の再送時間となる。端末 A と端末 B で RTS/CTS のやり取りが行われ、更にデータフレームの送信が成功した場合である。端末 D は端末 C の RTS を受信し、RTS に記載されている NAV 期間だけ送信を禁止するため端末 D は無駄な時間待機することになる。

すると同時にビジートーンを発生させる。このとき、端末 C が RTS を送信すると同時にビジートーンを発生させる。端末 B では RTS どちらの衝突が発生し、ビジートーンの有無に関わらず正しく受信できない。つまり、図 3 と同様の状況はビジートーンを用いても解決することはできない。

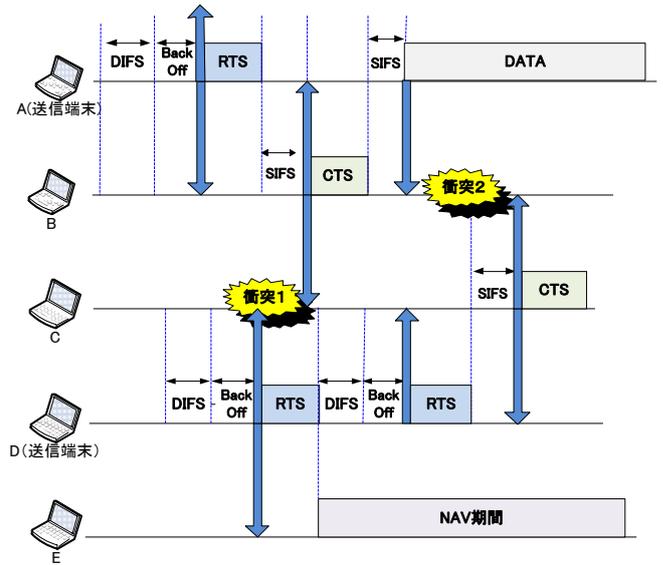


図 2 RTS/CTS 方式の課題例 1

### 2.3 ビジートーンによる解決策

隠れ端末問題を解決するために単一周波数の信号からなるビジートーンを用いた MAC プロトコルが提案されている。ビジートーンを検知した端末はその間パケットの送信を控えることにより衝突を回避できる。ビジートーンは、単一周波数であるため電力消費は大きいものではない。情報が無いので複数の装置が同時にビジートーンを発生させたとしても周辺の装置はこれを検知することができる。図 2 と同様の状況でビジートーン使用した場合の例を図 4 に示す。端末 A は RTS を送信すると同時にビジートーンを発生させる。端末 B は RTS を受信したら CTS の返信と同時にビジートーンを DATA の受信完了まで発生させる。端末 B が CTS の送信中に端末 D が RTS を送信すると、端末 B が送信した CTS と衝突する。端末 D は RTS を再送するが、端末 C はビジートーンを受信中なので CTS を返信せず、図 2 の課題の一部を解決できる。しかし、端末 B の CTS と端末 D の RTS が衝突することは避けられない。また、端末 E が無駄に待機することは解決できない。

次に図 3 と同様の状況でビジートーン使用した場合を図 5 に示す。端末 A が RTS を送信

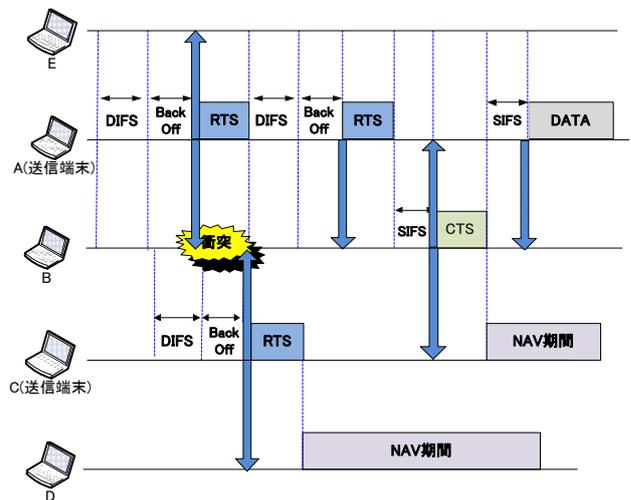


図 3 RTS/CTS 方式の課題例 2

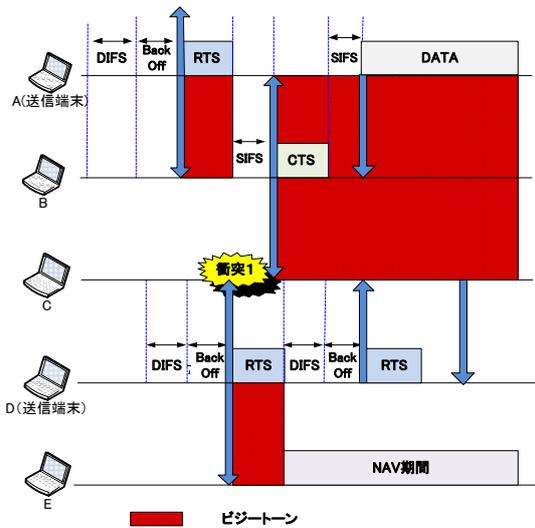


図4 ビジートーンによる制御1

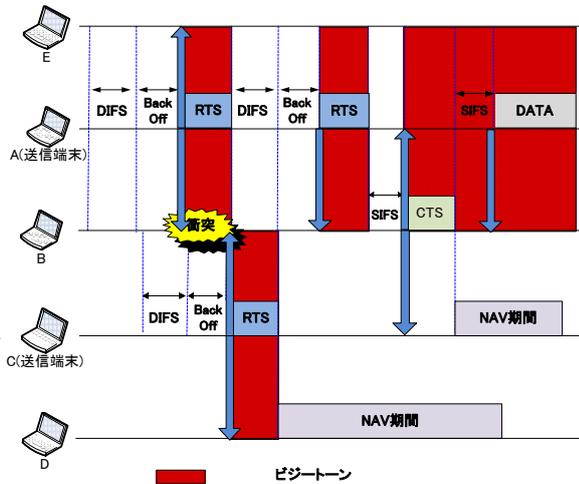


図5 ビジートーンによる制御2

### 3. 提案方式

#### 4.1 SBTの導入

我々がこれまで提案してきた SBT 方式の概要を述べる。SBT はビジートーンの到達範囲を拡大し、周辺端末に送信を開始したことを遠方の端末までいち早く伝え端末を制御することを目的とする。SBT は RTS と CTS の送信時に発生させ、RTS と CTS の時間と SIFS 時間経過後に停止させる。SBT を感知している間は周囲の端末は送信を控えるものとする。SBT の到達範囲と発生させる時間は、RTS の場合は発生させた端末を中心に 3 ホップ先まで、CTS の場合は発生させた端末を中心に 2 ホップ先まで拡大させる。到達範囲をこのように設定した理由は、図2、および図3で示したように送信端末から 3 ホップ先にある隠れ端末の影響でパケットの衝突が発生するためである。同様に CTS も 2 ホップ先にある隠れ状態の端末とのパケットの衝突がおこるためである。SBT は単一の周波数であり、送信範囲を拡大することによる電力消費の増加は大きなものではない。

ストロングビジートーン (SBT) の動作を図6に示す。端末 A は端末 B に RTS を送信すると同時に送信範囲 3 倍の SBT を発生させる。これにより端末 A が RTS を送信している間は端末 B, C, D は送信を控える。RTS を受信した端末 B は端末 A に CTS を返信する。このとき CTS と同時に送信範囲 2 倍の SBT を発生させる。端末 B が CTS を送信している間、端末 A, C,

D は送信を控える。端末 C は端末 B からの CTS を検出するとその内容により NAV 期間に入る。端末 A が送信中に端末 D が RTS を端末 C に送信しても、端末 C は NAV 期間に入っているため RTS は無視され、端末 D は RTS の再送を試みる。このように RTS/CTS の送信状況を、SBT を用いて遠方の端末にも伝えることができるため、衝突自体の発生を大幅に軽減させることができる。ビジートーンが受信側端末に到達するまでの時間は、距離が 100m とすると  $0.3 \mu$  秒であり、ビジートーンの検知は即座に可能である。RTS パケットを検知するまでの時間が  $207 \mu$  秒かかるのに比べると衝突可能性を大きく改善できることが期待できる。

表1に IEEE802.11g におけるシーケンスの処理時間を示す。フレームの先頭には PLCP (physical layer convergence protocol) プリアンブルと PLCP ヘッダが定義されている。プリアンブルの部分は受信信号の同期を取るのに必要な部分であり、ヘッダの部分は、伝送速度、パケットの長さの情報が記載されており本体のデータ通信速度を識別するものである。

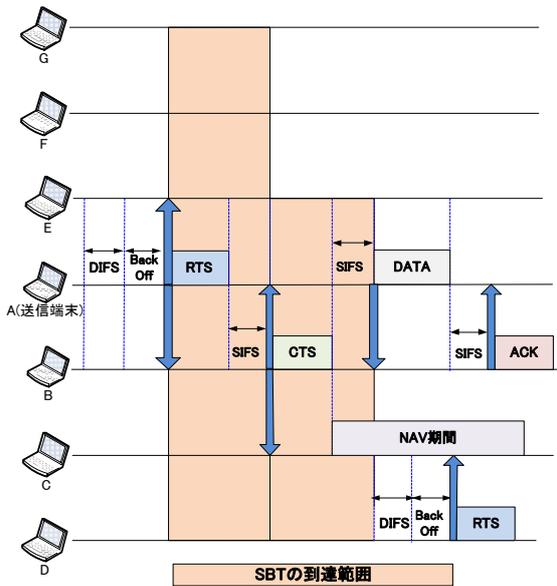


図6 RTS/CTSにSBTを使用

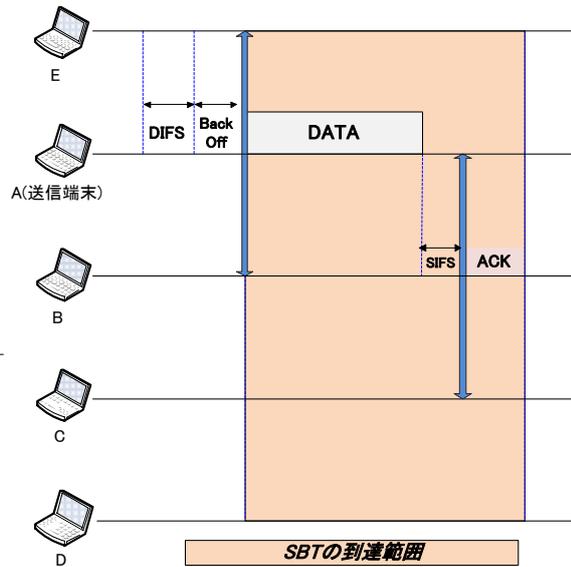


図7 提案方式の動作(ユニキャスト)

表1 シーケンスの処理時間

IEEE802.11g		時間( $\mu$ s)
DIFS		50
Backoff		20~620
RTS	PLCP	192
	本体	15
SIFS		10
CTS	PLCP	192
	本体	11
DATA	PLCP	26
	本体	14~228
ACK	PLCP	26
	本体	11

#### 4.2 提案方式

本論文では SBT の考えをさらにおし進め、RTS/CTS シーケンス事態を除去する方法を提案する。提案方式の動作を図7に示す。端末AがDIFS時間とバックオフ時間後DATAを端末Bに送ると同時にSBTを3倍の距離まで送信する。到達範囲を3倍にした理由は4.1と

同様である。DATAを受信した端末Bは端末AにSIFS時間の後ACKを返す。SBTはACKが終了するまで送信し続ける。周囲の端末はSBTを感知している間は送信ができない。SBTを導入することにより、衝突を大幅に減らすことができる。

## 5. SBTの有効性の予測

1 ホップ先の端末に SBT が届くのにかかる時間は  $0.3 \mu$  秒である。一方、RTS を認識するのにかかる時間は  $207 \mu$  秒かかる事から、有効性として次のような予測がたてられる。SBT を 3 ホップ先まで飛ばすので、SBT の時間と、RTS でかかる時間と比較すると、約 230 倍違う。このことからパケット衝突確率は  $1/230$  に低減できると考えられる。また、SBT の送信範囲内にある端末数を  $N$  個とするとさらに衝突確率が  $1/N$  に減少する。よって、衝突回数は  $1/230 * N$  に減少すると予測される。さらに、SBT により周辺端末の送信を制御することにより、RTS/CTS が不要となるため、無駄なオーバーヘッドを減らすことができる。

## 6. むすび

SBT を用いることにより、RTS/CTS を行わずにアドホックネットワークの「隠れ端末問題」を解決できる方法を提案した。今後は提案方式を ns-2 (Network Simulator2) にて評価していく予定である。評価項目として SBT の送信範囲におけるスループットの衝突数、パケット到達率などがあげられる。

## 参考文献

- [1] 後藤秀暢, 伊藤将志, 渡邊晃: アドホックネットワークのパケット衝突によるスループットの低下を防ぐ方式の検討 (DICOM02009) シンポジウム論文集, vol. 2009, No. 1, pp.593-597, Jul2009
- [2] Masaki Bandai, Iwao Sasase, : Performance Analysis of a Medium Access Control Protocol with Busy Tones in Wireless Ad Hoc Networks, IEICE technical report. Communication systems 101(54) pp. 7-12 (2001)
- [3] Deng, J. and Hass, Z, J. : Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) : A New Medium Access Control for Packet Radio Networks, IEEE ICUPC' 98, Vol.2, pp.973-977 (1998).
- [4] Deng, J. and Hass, Z, J. : Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) : A Multiple Access Control Scheme for Ad Hoc Networks, IEEE Trans. Communications, Vol.50, No.6, pp.975-985 (2002).



# ストロングビジートーンを用いたアドホックネットワークにおけるメディアアクセス方式の提案

渡邊研究室  
070428334 森一養

Watanabe Lab. ~be Lab.

# 研究背景

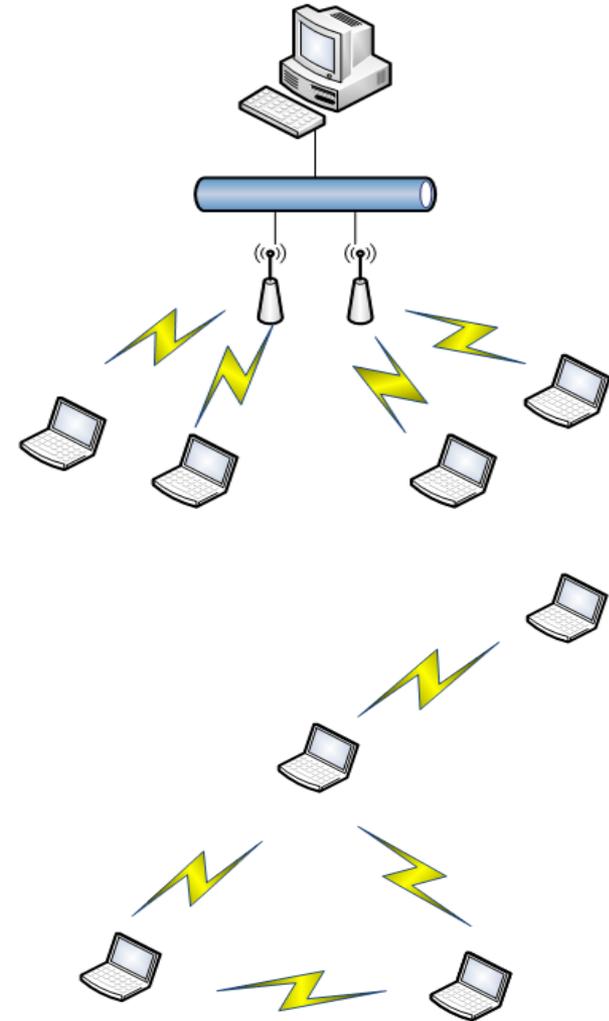
- 無線LAN(Local Area Network)
- 現在端末の場所に関係なく通信を行える利便性から広く普及し一般的になってきている
- 公衆エリアでのホットスポット
  
- 無線LANの利点
- 配線工事が不要
- 端末の設置が容易に行える
- 迅速なLANの構築が可能

# 無線LANのネットワーク

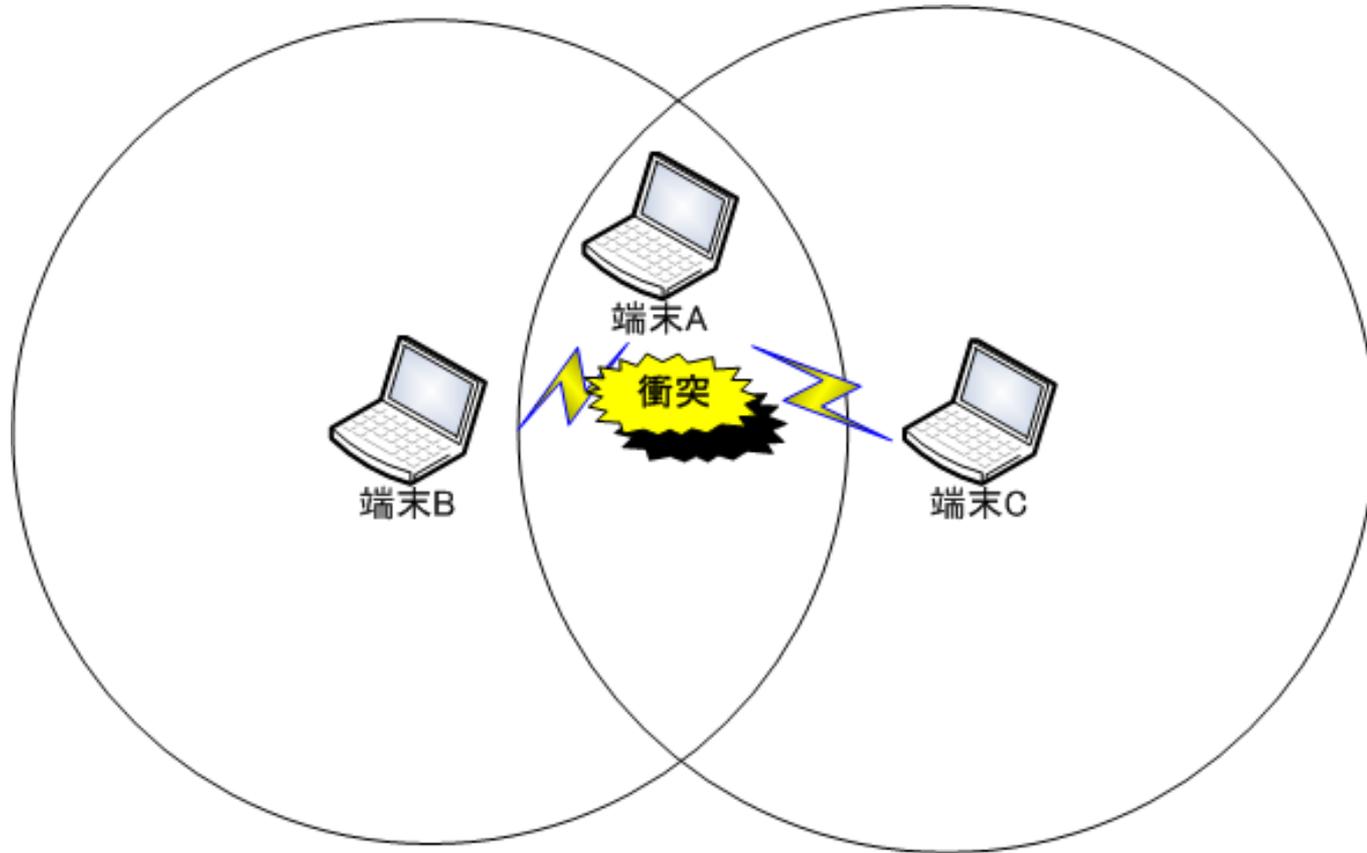
- インフラストラクチャモード
  - アクセスポイント間は有線
  - アクセスポイントと端末間は無線
- アドホックネットワーク
  - 無線端末間同士でアクセスする
  - 直接届かない場合は端末間を経由する

## 欠点

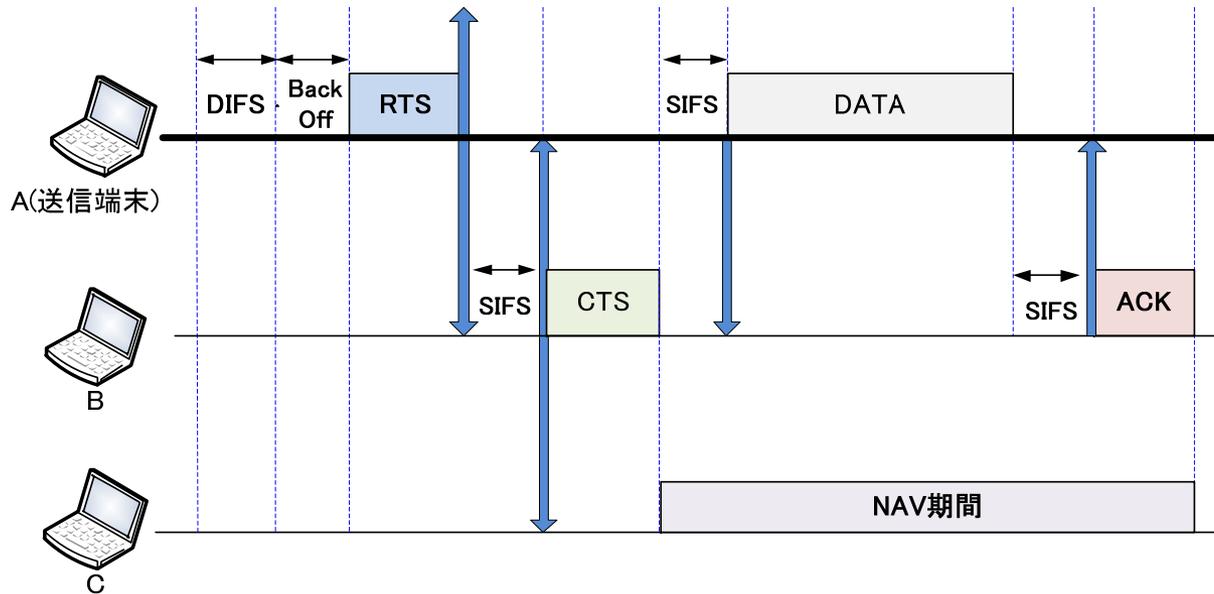
- パケット衝突により伝送効率が悪くなる



# アドホックネットワークの課題 (隠れ端末問題)



# RTS/CTS方式



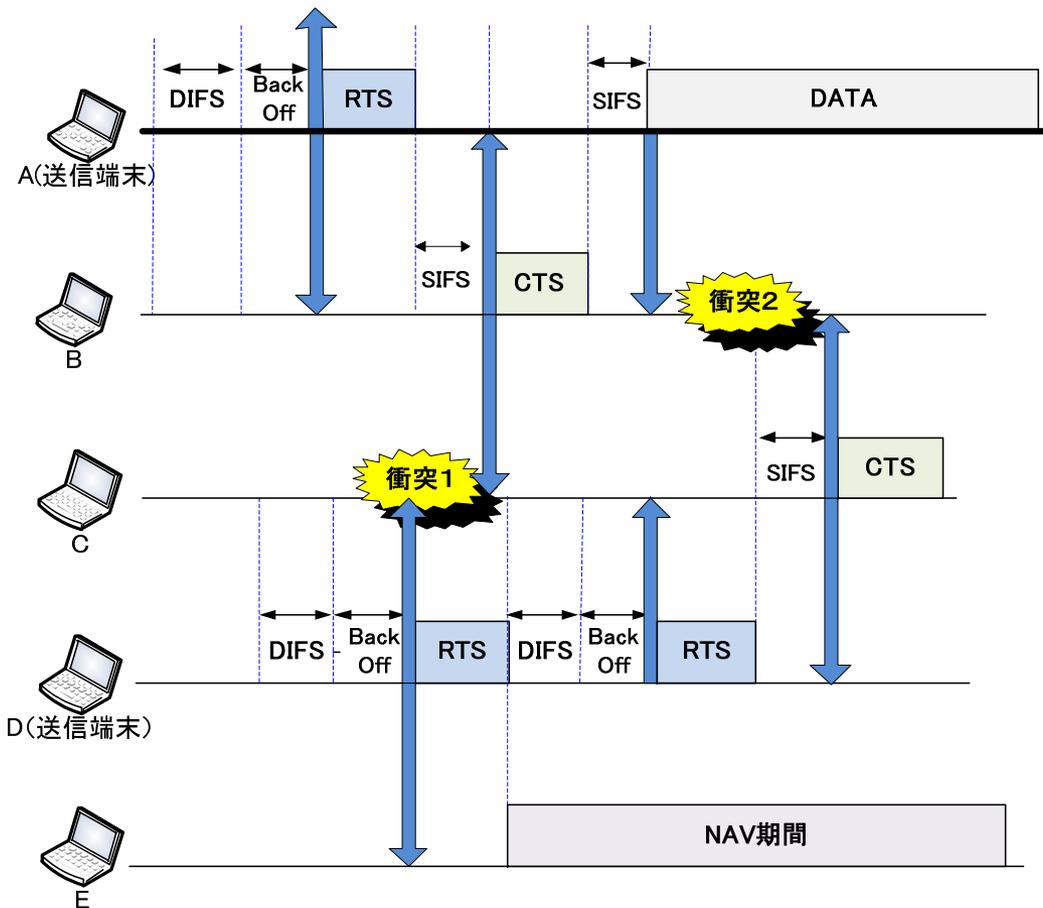
RTS (Request to Send): 送信要求

CTS (Clear to Send): 受信準備完了

NAV期間: 送信禁止期間

- 隠れ端末問題解決するためにIEEE802.11ではRTS/CTS方式による送信予約によりこの課題を解決している
- 隠れ末端端問題を回避するために受信末端に隣接する全ての端末にチャンネルが使用中である事を知らせるが、RTS/CTS方式ではすべての衝突を防ぐことはできない

# RTS/CTSの課題(衝突例)

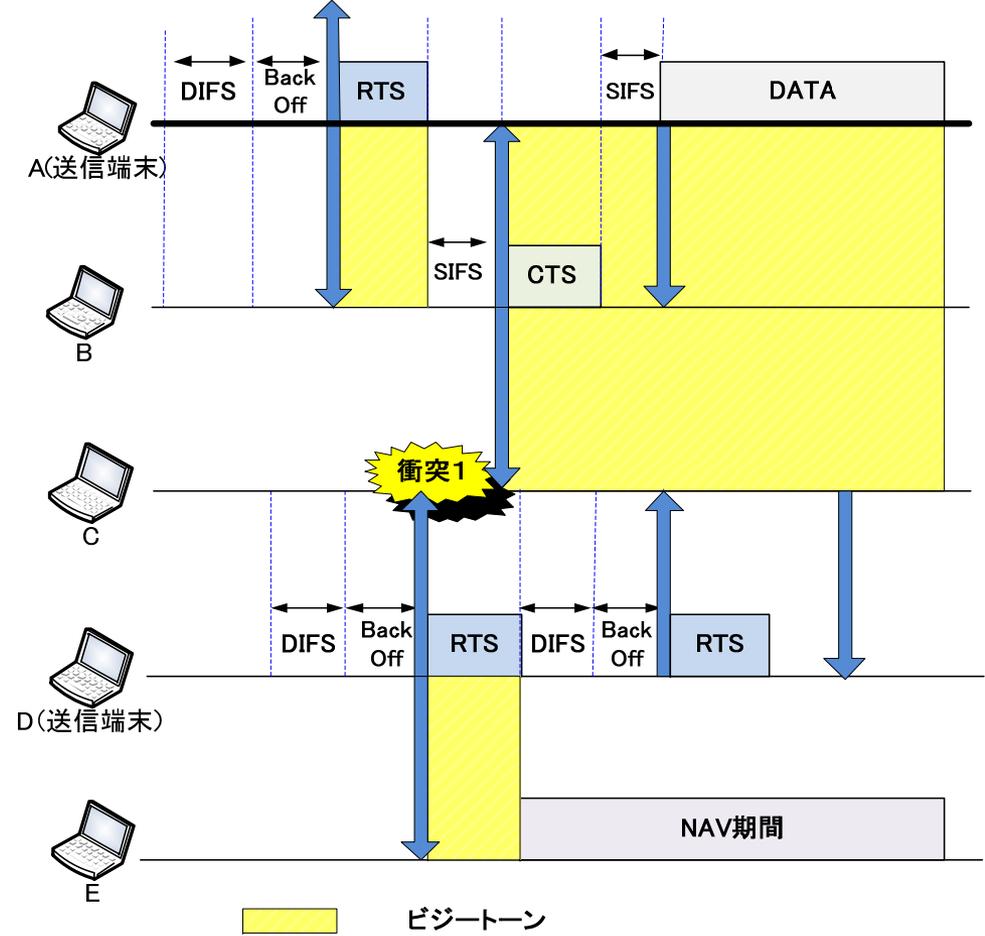


RTSとCTSの衝突(衝突1)    DATAとCTSの衝突(衝突2)

# ビジートーン(BT)とは

- RTS/CTS方式の課題を解決するために、ビジートーンを用いたMACプロトコルが提案されている
- ビジートーンとは単一の周波数である
- ビジートーンを検知した端末はパケットの送信を控える
- ビジートーンの電力消費は単一周波数であるため小さい

# ビジートーン(BT)を用いた既存技術

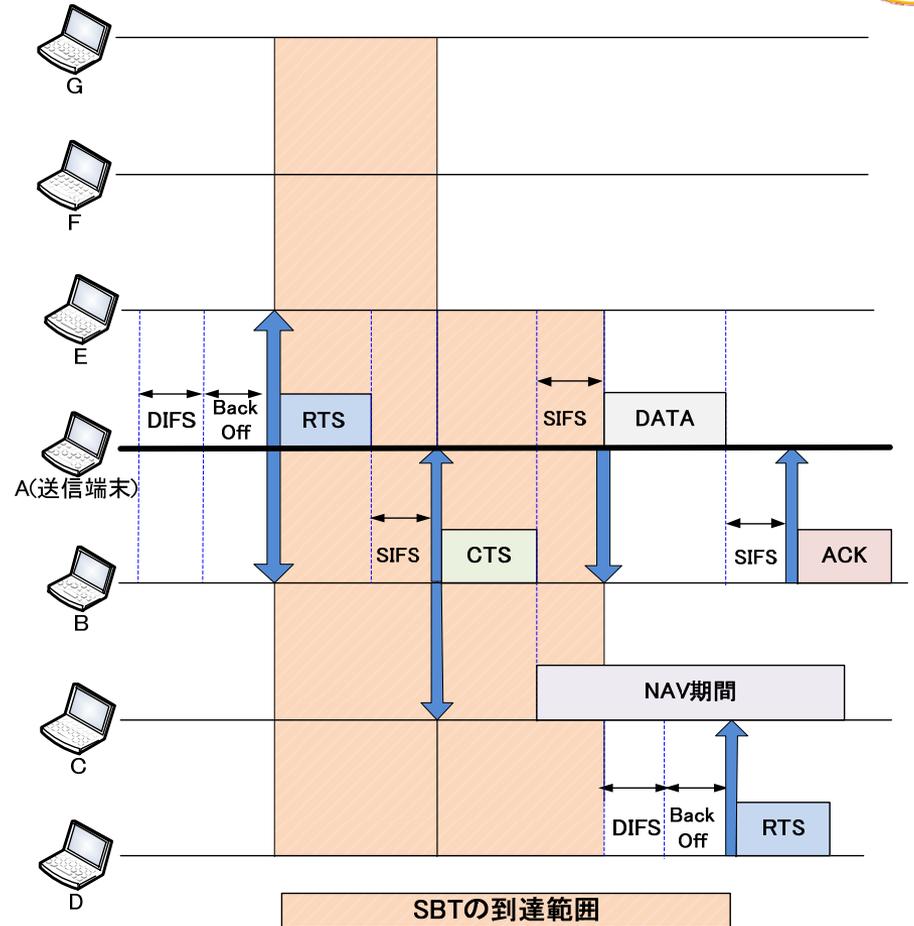


- RTS送信と同時にRTS送信完了までとCTS送信と同時にDATA送信完了までビジートーンを発生させる

Masaki Bandai, Iwao Sasase, Performance Analysis of a Medium Access Control Protocol with Busy Tones in Wireless Ad Hoc Networks, IEICE technical report. Communication systems 101(54)pp.7-12(2001)

# ストロングビジートーン(SBT)

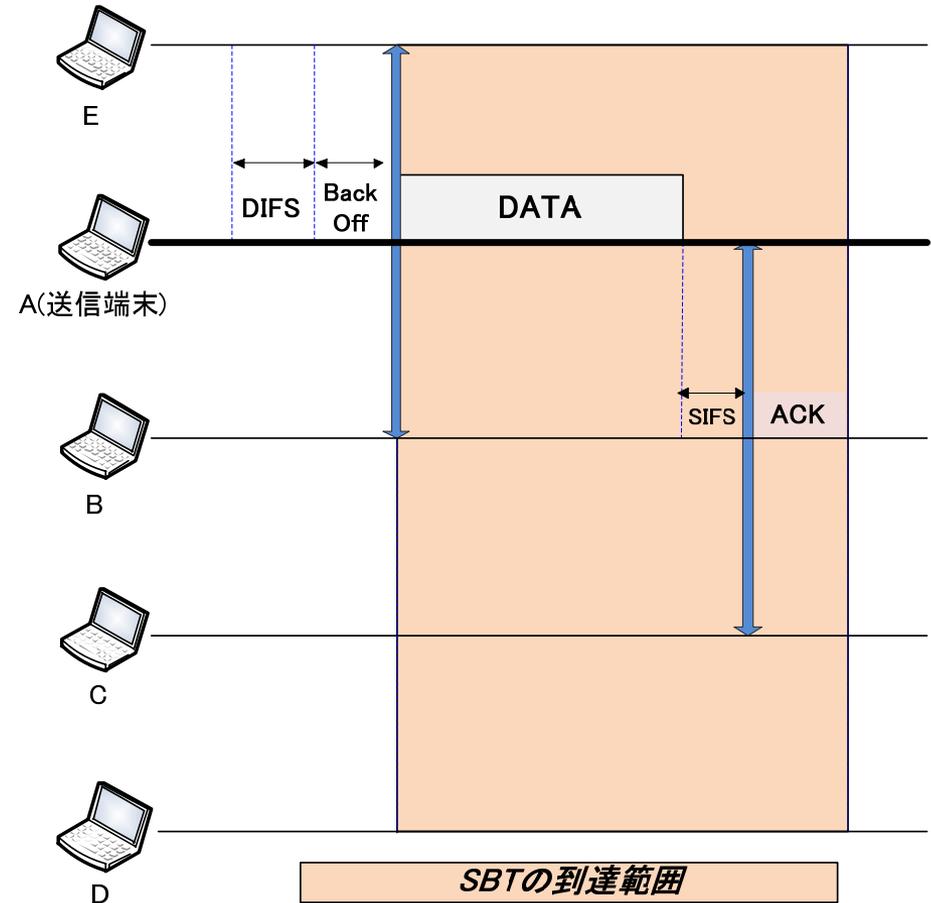
- 電波到達範囲を拡大させたビジートーンを発生させこれにより周辺端末を制御しパケット衝突を防止するシステム
- このシステムで使用するビジートーンをSBT(Strong Busy Tone)とする
- SBTはRTS又はCTSの送信時に発生させ、RTS又はCTSの送信が完了し、SIFS時間経過後に停止させる
- 使用するSBTの周波数は1つのみ
- SBTの電波到達範囲
  - RTS送信時は3倍まで拡大
  - CTS送信時は2倍まで拡大



後藤秀暢, 伊藤将志, 渡邊晃: アドホックネットワークのパケット衝突によるスループットの低下を防ぐ方式の検討 (DICOMO2009) シンポジウム論文集, vol.2009, No.1, pp593-597, Jul2009

# 提案方式

- DATA送信と同時にSBT (Strong Busy Tone) と呼ぶ単一周波数の信号を広範囲に送信する
  - ACK終了時までとする
  - 送信範囲は3hop先までとする
- SBTにより周辺端末に送信中であることをいち早く伝える事により衝突を大幅に減らす事ができる
- RTS/CTSは不要
- SBTを発生させている範囲にある端末は送信活動はできない



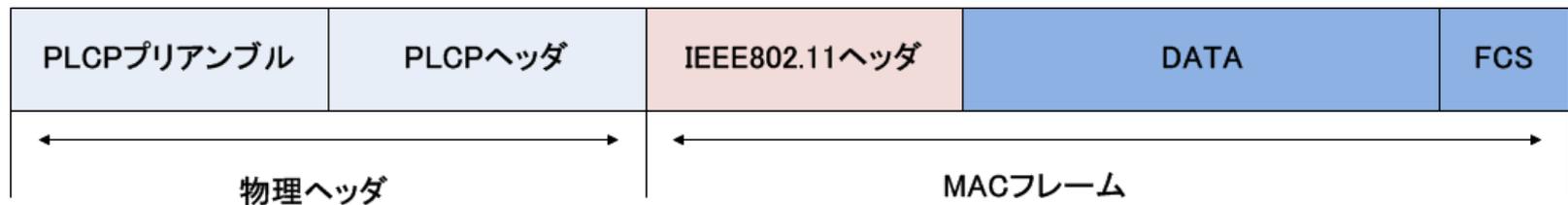
ユニキャスト通信

SBTが1hop先に届くまでの時間:  $0.3 \mu$  秒

# PLCP

## PLCPプリアンブル、PLCPヘッダ

- ▶ プリアンブル部分: 受信信号の同期を取るのに必要
- ▶ ヘッダ部分: 伝送速度、パケットの長さの情報が記載されており本体のデータ通信速度識別する
- ▶ すべての端末が受信できるように最低速度で送信する
- ▶ RTS/CTS自体はパケットサイズは短いがPLCP部分が長いいためスループット低下の原因になる



# SBTの有効性の予測

- ▶ SBTにより周辺端末を送信制御することによりRTS/CTSが不要  
→無駄なシーケンスを減らすことができる

1hop先の端末を制御するのにかかる時間

- SBT:0.3 $\mu$ 秒 RTS:29 $\mu$ 秒
- 約 $1/[29/(0.3*3)]$ 倍パケット衝突する確率が大幅に減少すると考えられる
- SBTの送信範囲にある端末数をN個とするとさらに $1/N$ 倍確率が減少
- $1/32*N$ 倍に減少

IEEE802.11g		時間( $\mu$ s)
DIFS		34
Backoff		20~620
RTS	PLCP	26
	本体	3
SIFS		10
CTS	PLCP	26
	本体	3
DATA	PLCP	26
	本体	228
ACK	PLCP	26
	本体	3

# まとめ

- SBTを用いることにより、アドホックネットワークの「隠れ端末問題」を解決する方法提案した
- 今後は様々な動作シナリオをns-2にて評価していく予定である
- 我々の研究室ではネットワークシミュレータns-2をRTS/CTSと同時にSBTを発生させるよう改造されている



# 補足資料

# 補足資料1



- ▶ DIFS(Distributed Coordination Function Interframe Space)  
キャリア・センスを行う際に, ビジー状態のチャネルから未使用状態に変化したと判断されるまでに必要なチャネルの連続未使用期間
- ▶ SIFS (short interframe space)  
最短のフレーム送信間隔(待ち時間)
- ▶ Backoff時間  
乱数の値に一定時間を掛けることで決める待ち時間  
チャネルが空き状態になった後, 発生させた乱数の数に応じて送信を待機する  
バックオフ時間 = 乱数値 × スロット・タイム
- ▶ NAV (Network Allocation Vector)  
RTS/CTSにはどのくらいの時間無線チャネルを占有するかが書かれている  
各端末はそれに応じてNAV と呼ばれる無線チャネル用のタイマーを設定  
端末はフレームに記載されている期間(NAV)だけ送信を禁止することにより衝突を防止する

# 補足資料2



## ▶ 処理時間一覽

項目		時間( $\mu$ s)		
		b	g	b/g
DIFS		50	34	50
RTS	PLCP	192	26	192
	RTS本体	15	3	15
SIFS		10	10	10
CTS	PLCP	192	26	192
	CTS本体	11	3	11
DATA	PLCP	192	26	26
	DATA本体	1117	228	228
ACK	PLCP	192	26	26
	ACK本体	11	3	3

# 補足資料3

- ▶ ソフトウェア無線 (Software-defined radio)  
電子回路 (ハードウェア) に変更を加えることなく、制御ソフトウェアを変更することによって、無線通信方式を切り替えることが可能な無線通信。