



公益財団法人

ひろしま産業振興機構



3つのひかり 未来をつくる

広島市立大学
Hiroshima City University

Smart Factory推進Mgr養成 e-Learningコース

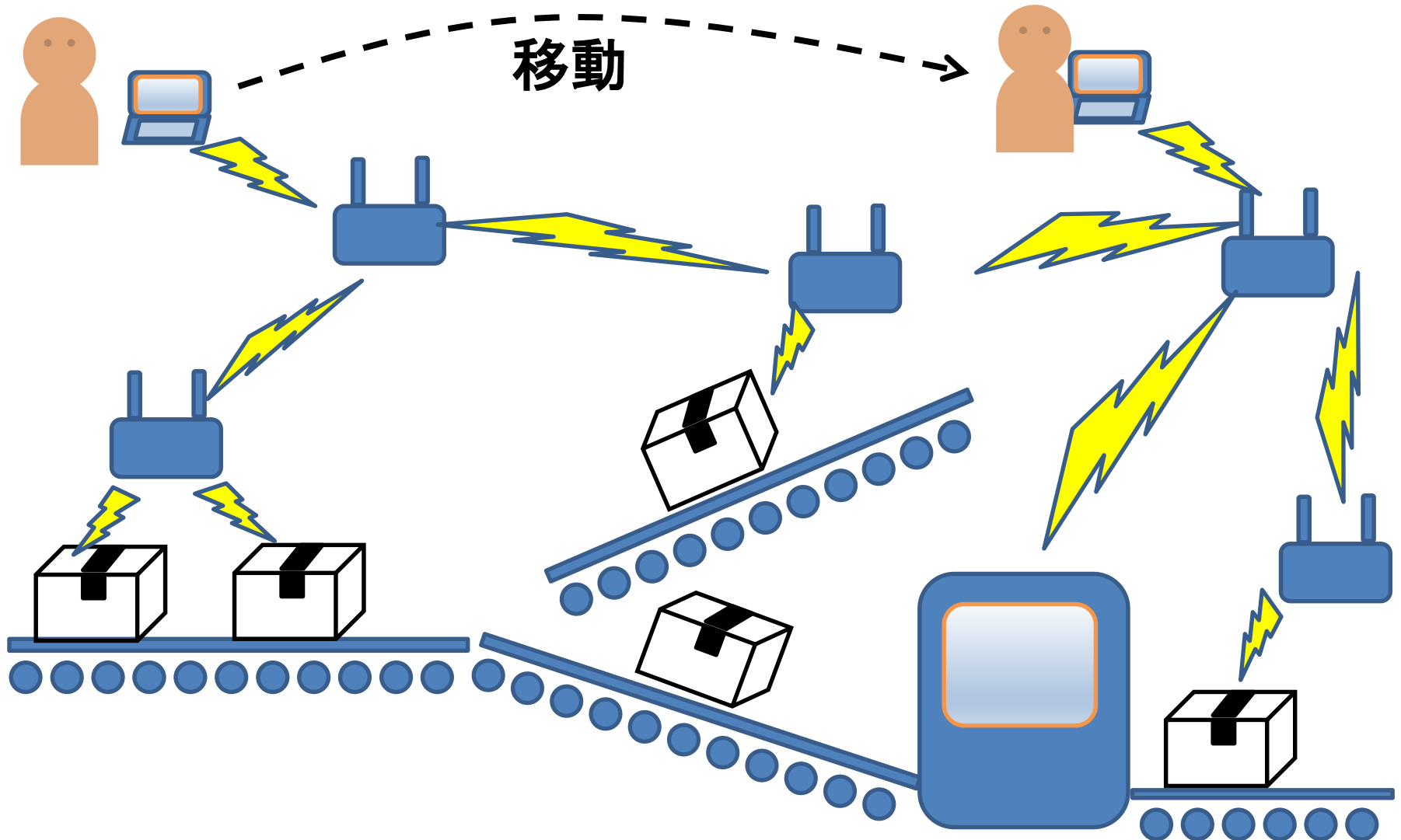
無線ネットワーク概論

大田 知行

広島市立大学 大学院情報科学研究科

- ◆製造現場では、生産性向上のため、センサ端末、映像・音声伝送機器などのIoT端末の導入検討が進んでいる
- ◆機器の配置やラインの構築の柔軟性が求められており、無線通信の利活用が不可欠
- ◆現場で最適化された製造システムを他国の拠点に展開する際、各国の法律に則った上で同一周波数を使用する必要があるため、免許不要のISM帯の無線システム(2.4GHz帯, 5GHz帯)を利用した機器の導入

概要(2)



◆携帯電話システムとは異なり，事業所や家庭内など比較的狭い(ローカルな)エリアで構築される無線LAN(Local Area Network)について述べた上で，無線LAN技術を用いた無線マルチホップ通信について述べる

◆教科書：

■塚本和也(著)，“無線ネットワークシステムのしくみ，” 共立出版，2017年

◆無線LAN

- MAC層の動作
- 物理層の動作

◆その他の無線ネットワークシステム

- Bluetooth
- ZigBee

◆無線マルチホップネットワーク

- モバイルアドホックネットワーク
- メッシュネットワーク
- センサネットワーク
- 遅延耐性ネットワーク

◆確認テスト

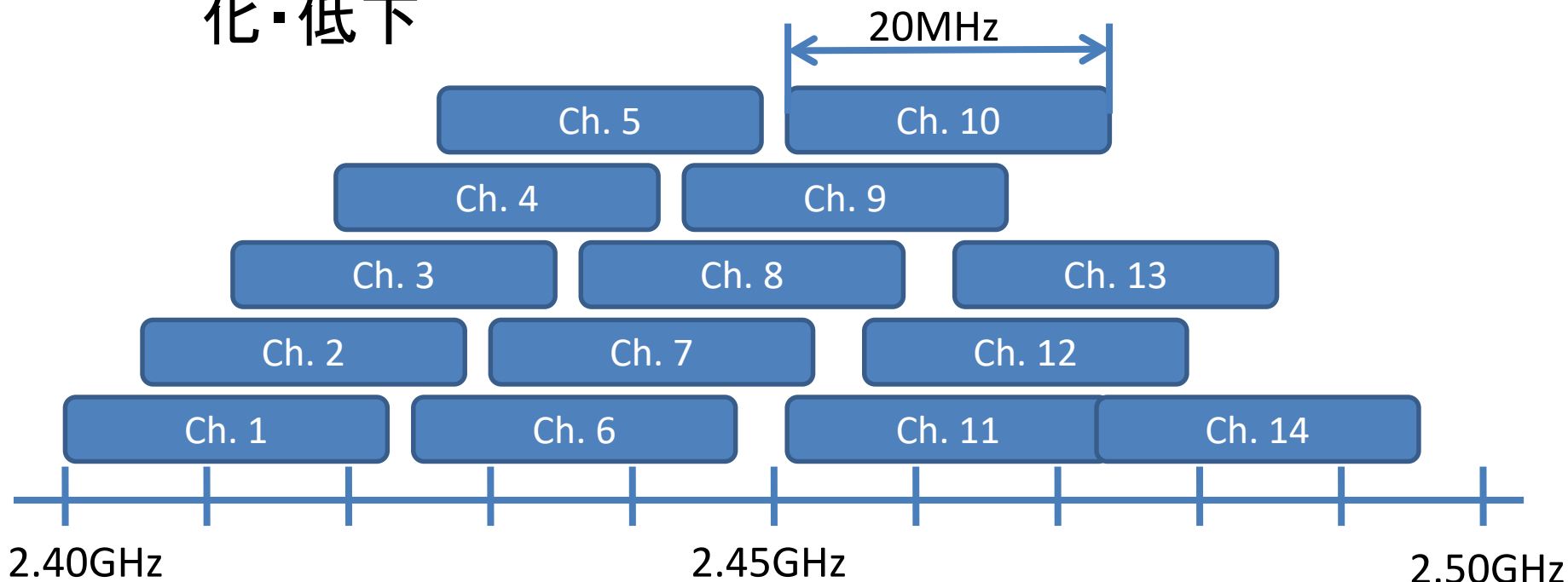


無線LAN

- ◆ローカルなエリアで構築されるコンピュータ間の通信システム
- ◆米国IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) で設立されたIEEE802委員会において標準化が開始
 - 無線LANに関する規格はIEEE802.11ワーキンググループ(WG), それ以外の規格についても様々なWGにおいて, 標準規格の策定作業を開始
- ◆ITU (国際電気通信連合) の世界無線通信会議において, 2.4GHz帯と5GHz帯を利用と決定

◆2.4GHz帯はISM (Industrial, Scientific and Medical) バンドの一部

- 無線通信以外の電子レンジや病院で使用される多数の機器との干渉によって通信性能が不安定化・低下



◆5GHz帯は一部で(気象)レーダと同様の周波数を使用しているため、レーダが使用されていない場合に限ってのみ使用可能

■DFS(Dynamic Frequency Selection)機能の搭載が義務づけられている

–レーダによる周波数利用を検知した際には、干渉しないように無線LANの使用チャンネルを変更

◆IEEE802.11WGが標準化した最初の規格は1997年の802.11

- 上位にMAC(Media Access Control)副層, 下位に複数の物理層が対応

◆MAC層

- 有線LAN(イーサネット)で利用された分散制御方式を基本に提案されたCSMA/CA方式を採用

◆物理層

- ノイズや干渉の影響を軽減するために, いくつかの通信方式が提案され, 2Mb/sの通信速度を提供

◆1997年以降, タスクグループが立ち上げられ, 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11acと順に高速化が進められる



無線LANのMAC層の動作

◆インフラストラクチャ・モード

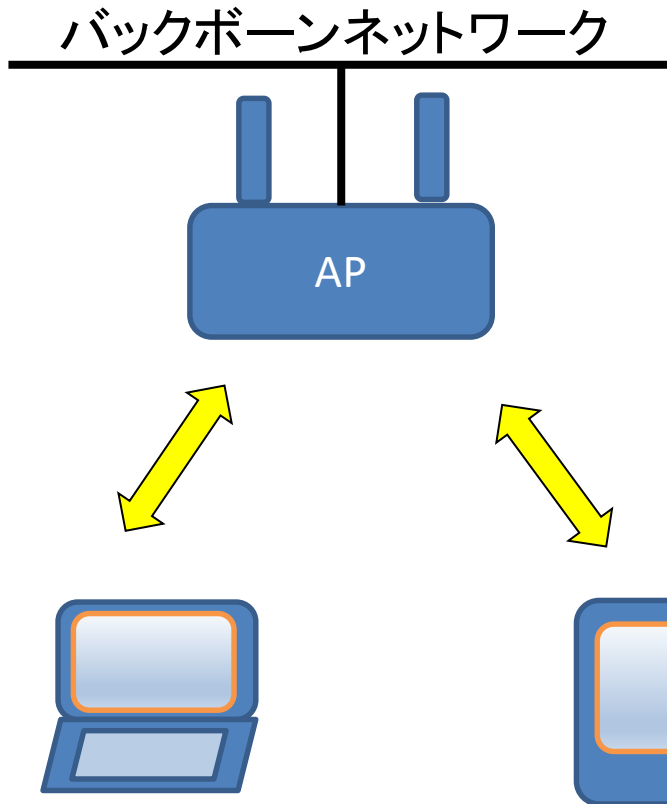
- 無線LAN親機のAP (Access Point)と, その電波到達範囲内に存在する複数の無線LAN子機 (STAtion: STA)で構成され, 親機を通して通信
- インターネットに接続された親機を通じて, 子機は遠方の端末と通信が可能

◆アドホック・モード

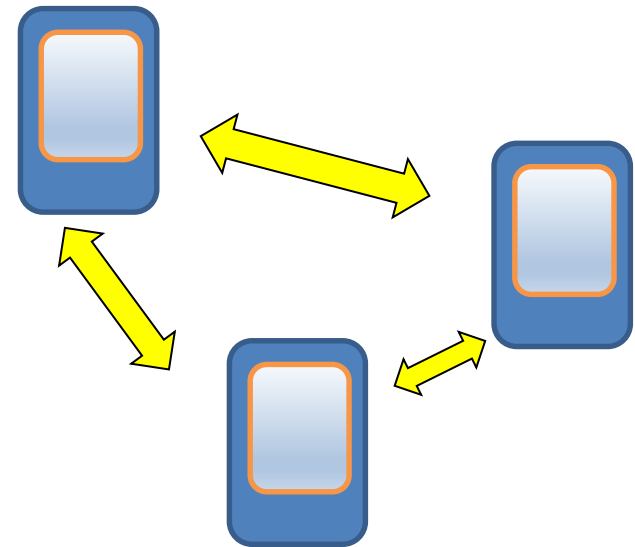
- 端末同士が互いに直接接続して通信
- 端末が近接している時は接続に自由度があるが, 遠方の端末との通信では拡張性に乏しい

802.11の通信モード(2)

インフラストラクチャ・モード



アドホック・モード



◆IEEE802.11系統の無線LANでは, 基本的に全て分散制御による無線チャネルアクセス方式のCSMA/CA方式を採用

- APと複数のSTAが存在し, これらの全ての機器が同一の無線チャネル上で通信
- 同一周波数上では, 同時には1つのSTA(ユーザ)しか利用できず, 複数のSTAが同時に通信を行うとフレーム(データ)衝突が発生し, 通信ができない

- ◆ CSMA/CAでは、フレーム送信前に必ずキャリアセンスを行い、他のSTAやAPが使用している時には、フレームを送信しない
- ◆ 誰も使用していない時のみ、自分のデータ(フレーム)を送信

1. キャリアセンスを行う

- 送信データを保持するSTAは、自分が利用する周波数上で電波が検知されるか調査

2. キャリアセンスを行った時に、電波を検知

a. 電波を検知:

ビジーと判断し、データの送信を一旦延期(これをバックオフという)

b. 電波を検知しなかった時:

IFS (Inter Frame Space) 時間を待った後でフレーム送信を行う(周波数が未使用の状態をアイドルという)

3. STAからフレームを受信したAPは、受信したフレームにエラーがないかFCS (Frame Check Sequence) フィールドを使って確認
 - a. 正常の場合:
ACK (ACKnowledgement) フレームを送信STAへ返信
 - b. 誤りがあった場合:
そのフレームを破棄
4. STAはACKフレームの受信が確認されるまで、一定の回数、同じデータフレームを再送

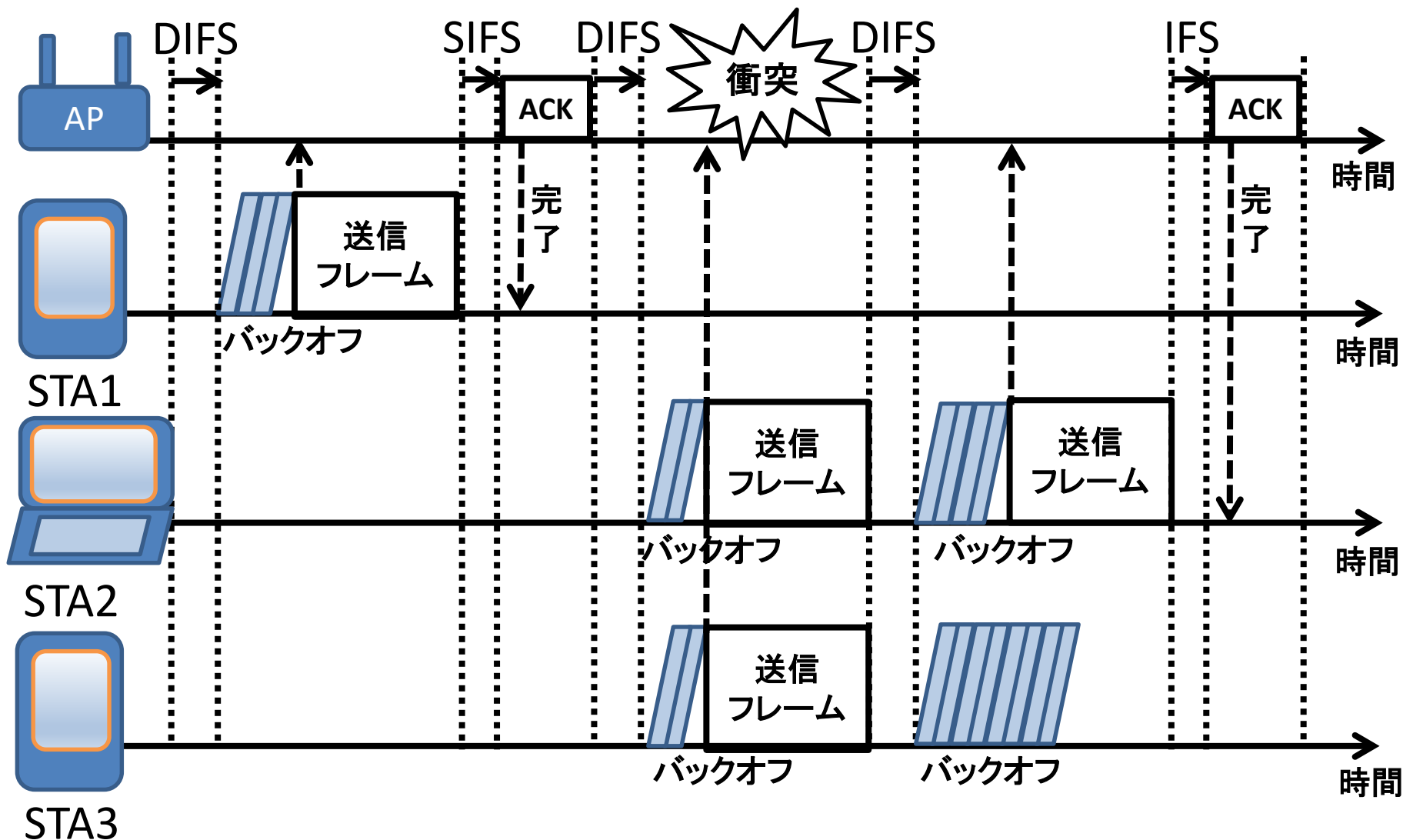
◆IFS時間

- データ送信前にIFS時間として事前に定義された時間を待つ(複数のIFS時間を設定することが可能)

◆バックオフアルゴリズム

- 複数のSTAが同時に送信するような状況では常に衝突が発生し、データの送信ができない。フレームが衝突する確率を減らすためにバックオフと呼ばれる手法を採用
- STAがキャリアセンスした時に通信チャネルがビジーの場合、設定された範囲内からランダムに選択された時間待機をした後で、再度送信を試みる(この待機時間をバックオフ時間と呼ぶ)

無線チャネルアクセス制御(6)

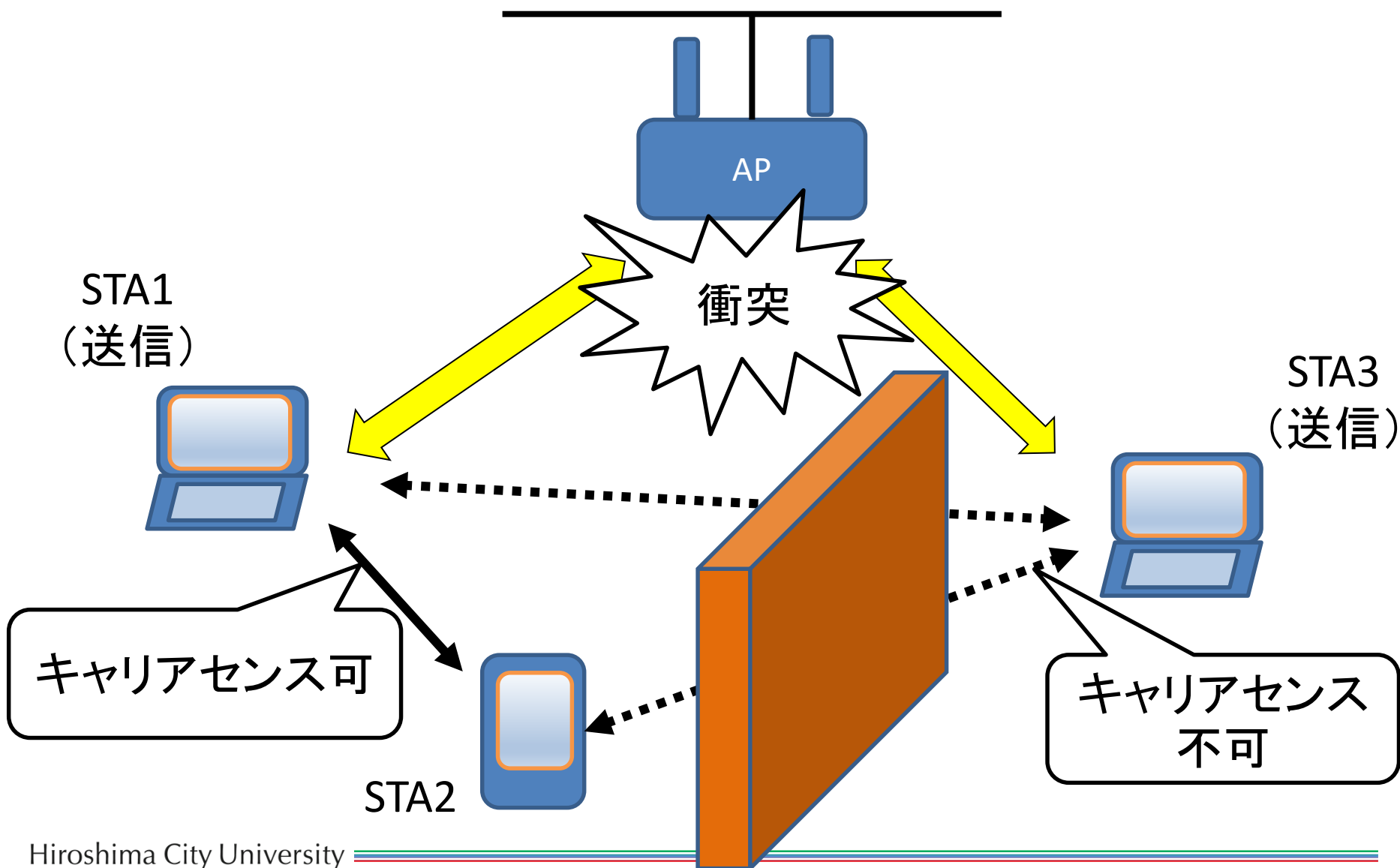


◆STA間の距離や障害物の存在によって互いの無線信号が届かず、キャリアセンスが機能しない場合が存在する

■これを隠れ端末問題と呼ぶ

◆この問題を解決するために、RTS(Request To Send)とCTS(Clear To Send)を使った仮想キャリアセンスというしくみを利用

隠れ端末問題とRTS/CTS(2)





無線LANの物理層の動作(高速化)

- ◆最初の802.11で提案された通信方式を採用し、互換性を維持
- ◆さらに、高速化のために相補符号変調(CCK: Complementary Code Keying)方式を採用
- ◆2.4GHz帯で最大11Mb/sの伝送方式を実現
 - 11 / 5.5 / 2 / 1 Mb/sの四つの伝送速度を提供

- ◆ 1997年に新たな周波数として5GHz帯が使用可能となる
- ◆ OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 方式を採用
- ◆ 最大で54Mb/sの通信速度を提供可能

- ◆ 2.4GHz帯を用いることで802.11bとの互換性を維持しつつ、5GHz帯を使う802.11aとの上位互換性を持つ
- ◆ 802.11aと同様に最大54Mb/sの通信速度を提供

- ◆ 2.4GHzと5GHz帯の両方を利用し、最大伝送速度が54Mb/sから600Mb/sと大幅に高速化
- ◆ 以下の技術を組み合わせることにより高速化を実現
 - 帯域幅の拡大
 - アンテナ数の増大
 - 誤り訂正技術等のその他の工夫

- ◆ 802.11nの後継として2014年1月に標準化が完了
- ◆ 2016年8月時点での最新規格(一般的な家庭用製品としては2019年1月時点では最新)
- ◆ 雑音や妨害電波が比較的少ない5GHz帯のみの利用
- ◆ 規格上の物理層における最大伝送速度は6.9Gb/s, 実効データ伝送速度でも1Gb/s以上の実現が目標
 - 帯域幅の更なる拡大, 変調方式の高度化, ストリーム数の増加等の技術を組み合わせて実現



その他の無線ネットワークシステム

◆事業所や家庭内など比較的狭い(ローカルな)エリアで使用する無線LAN以外の無線ネットワークシステム

- Bluetooth

- ZigBee

- ◆ エリクソン社が提案した近距離型無線接続技術
- ◆ スマートフォンやノート型PC, Raspberry Piの小型端末等, 様々な機器に搭載
- ◆ 端末同士の接続などに使用
- ◆ 2.4GHz帯を使用し, 通信速度は1~24Mb/s
- ◆ モバイル端末向けに消費電力を抑えたBLE (Bluetooth Low Energy) 技術も存在
 - 通信速度は1Mb/s
- ◆ 通信可能範囲は数m~数十m

- ◆ 802.15.4TGにて標準化
- ◆ 920MHz帯(日本), 2.4GHz帯(世界共通)を利用
- ◆ 2005年にIEEE802.15.4として標準化が終了し, センサネットワークに適用
- ◆ 物理層とMAC層の標準化はIEEE802.15.4で行い, ネットワーク層以上の標準化は業界団体のZigBeeアライアンスが推進
- ◆ 通信速度は20~250Kb/s



無線マルチホップネットワーク

- ◆携帯電話(スマートフォン)は携帯電話会社の基地局, 無線LANの子機(STA)はインターネットに接続された親機(AP)を通じて通信が可能
- ◆基地局やAPの電波が届かないエリアでの, 無線通信端末のネットワーク接続の要求
- ◆複数の無線端末や基地局同士が無線通信によって相互接続されて, 無線によるマルチホップ通信を行う方法が考案

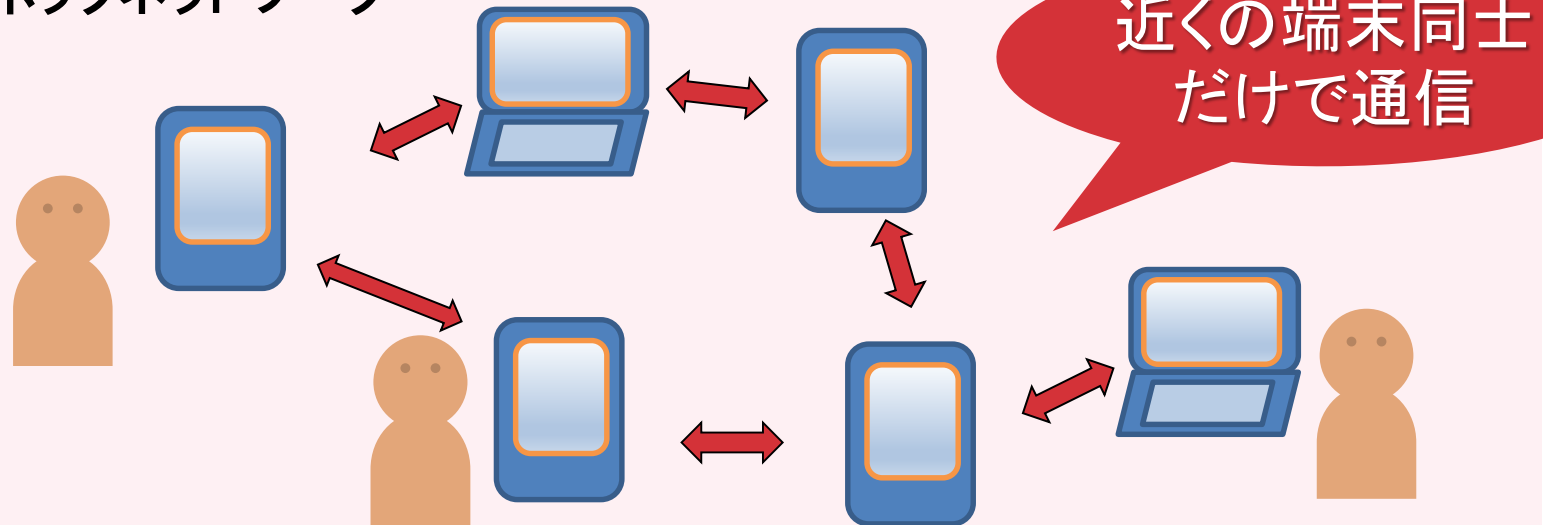
- ◆無線通信端末が自由自在に他の端末と通信ができることにより、基地局から1ホップの無線通信では実現できなかった様々なサービスの実現が可能
- ◆それぞれのサービスに対する通信要求は、利用環境に応じて多種多様なため、これらに対応する様々な無線マルチホップネットワークが存在



モバイルアドホックネットワーク (MANET)

- ◆ MANET (Mobile Ad-hoc NETwork) と呼ばれる
- ◆ ネットワークインフラが存在しない環境において、携帯電話や車両などの移動可能なモバイル端末が、自律的に互いを接続して構築するネットワーク

アドホックネットワーク



- ◆ インフラに依存することなくネットワークが構築可能
- ◆ ネットワーク内にインターネットに接続する基地局と接続可能な端末が存在すると、その端末を介してインターネットに接続可能
- ◆ 無線マルチホップにより、より遠くに位置するユーザに対しても、通信が可能

◆コスト的・地理的に通信インフラを敷設することが困難な災害地や山間地においても構築可能

- 警察や消防などによる搜索や救助活動, 住民への避難指示, および被災者同士の安全確認等の情報伝達のネットワークとして使用可能

◆小型無人機飛行体のドローンも無線通信機器として利用可能

- ドローン同士でネットワークを構築することにより, 人が立ち入ることができないような環境でも情報伝達が可能

◆端末は自律的に移動するため、通信リンクの切断や生成が頻繁に発生

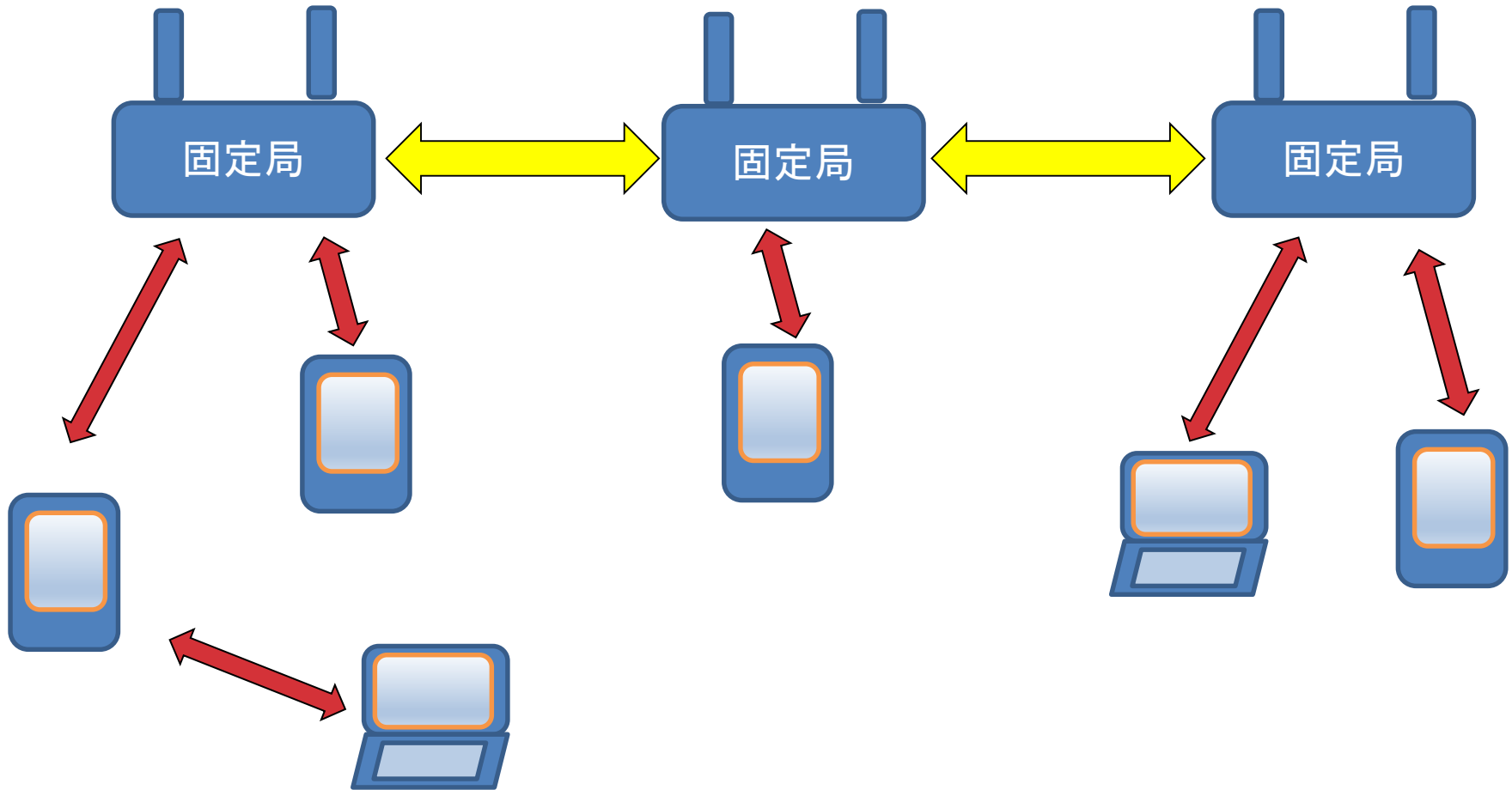
- 一部の端末のみでの情報交換によって効率的にトポロジを構築する必要がある
- ネットワークトポロジの頻繁な変化に適応的に対応可能な新たなルーティングプロトコルが必要
- 端末はバッテリー駆動のため、ネットワーク全体の通信継続時間を延ばすために、単純な最短経路のルーティングではなく、各端末の消費電力や電力残量を考慮したルーティングが必要



無線メッシュネットワーク (WMN)

- ◆WMN(Wireless Mesh Network)と呼ばれる
- ◆固定された基地局間を無線通信で接続
 - 各基地局の通信可能なエリアが比較的狭い, 無線LAN等のネットワークを用いてWMNを構築
- ◆移動端末は近隣の基地局に接続することで, ネットワークへの接続性を得る
- ◆インターネット接続をある特定のエリアに提供するための通信インフラとしての役割
 - 災害時の一時的な通信インフラの提供としても有力なアプリケーション

無線メッシュネットワーク(2)

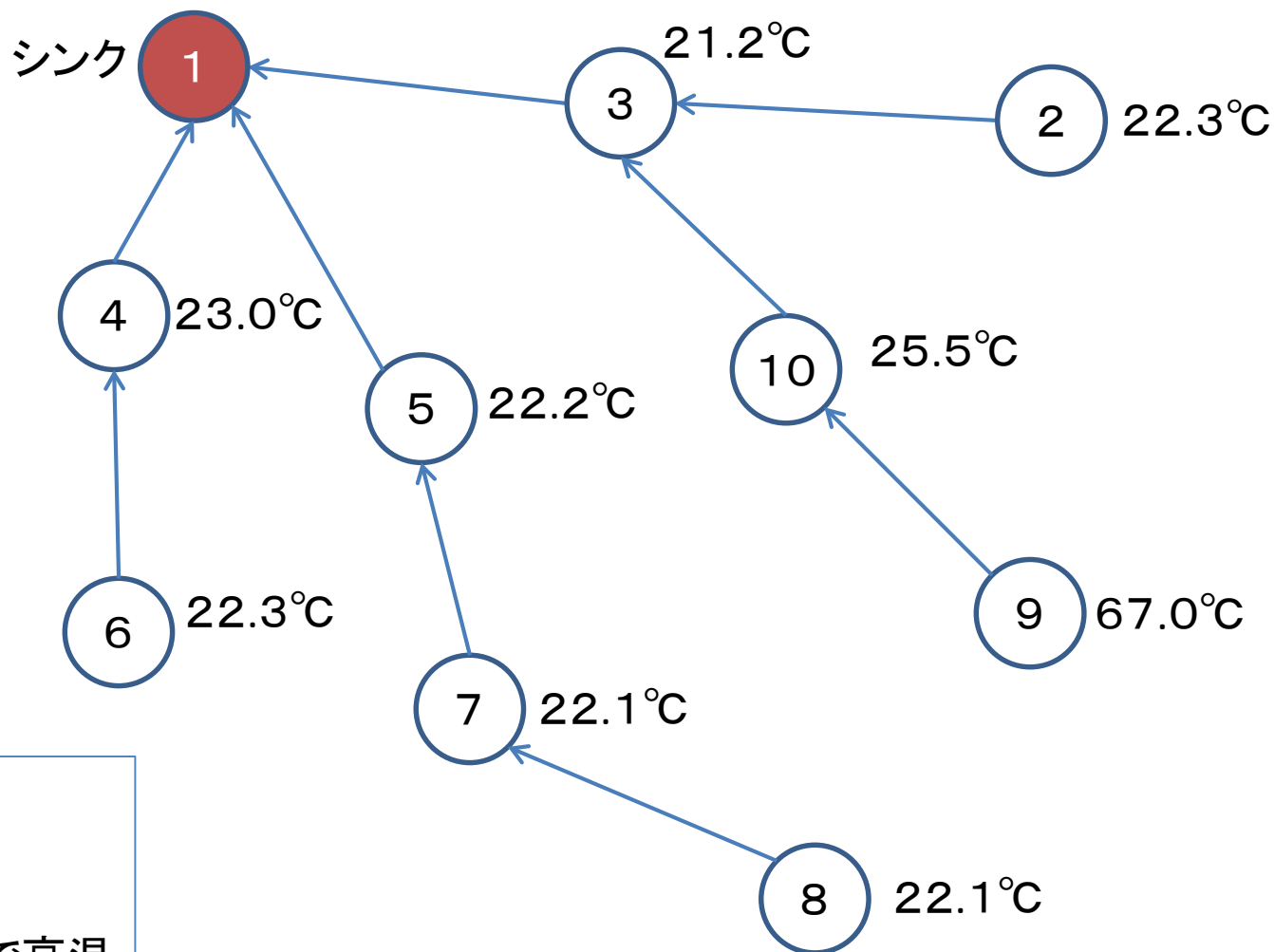




無線センサネットワーク (WSN)

- ◆ WSN (Wireless Sensor Network) と呼ばれる
- ◆ 計算能力, ストレージ, 電力に制限のある小型の無線機器にセンサを取り付けて, 特定の地理的空間内に分散配置して構築されるネットワーク
- ◆ 各センサ機器が測定した値を, センサ機器間の無線マルチホップ通信により特定の情報収集用の機器(シンク)に集約する

無線センサネットワーク(2)



最低 21.2°C
最高 67.0°C
平均 25.06°C
イベント ノード9で高温

◆利用例:

- 広い空間エリア内の温度や湿度といった情報を把握

◆各センサ機器はバッテリー駆動で動作するため、長時間のネットワーク稼働時間を実現するために、

- センサ機器や中継端末の配置場所
- シンクまでのルーティング
- センシングしたデータの送信頻度

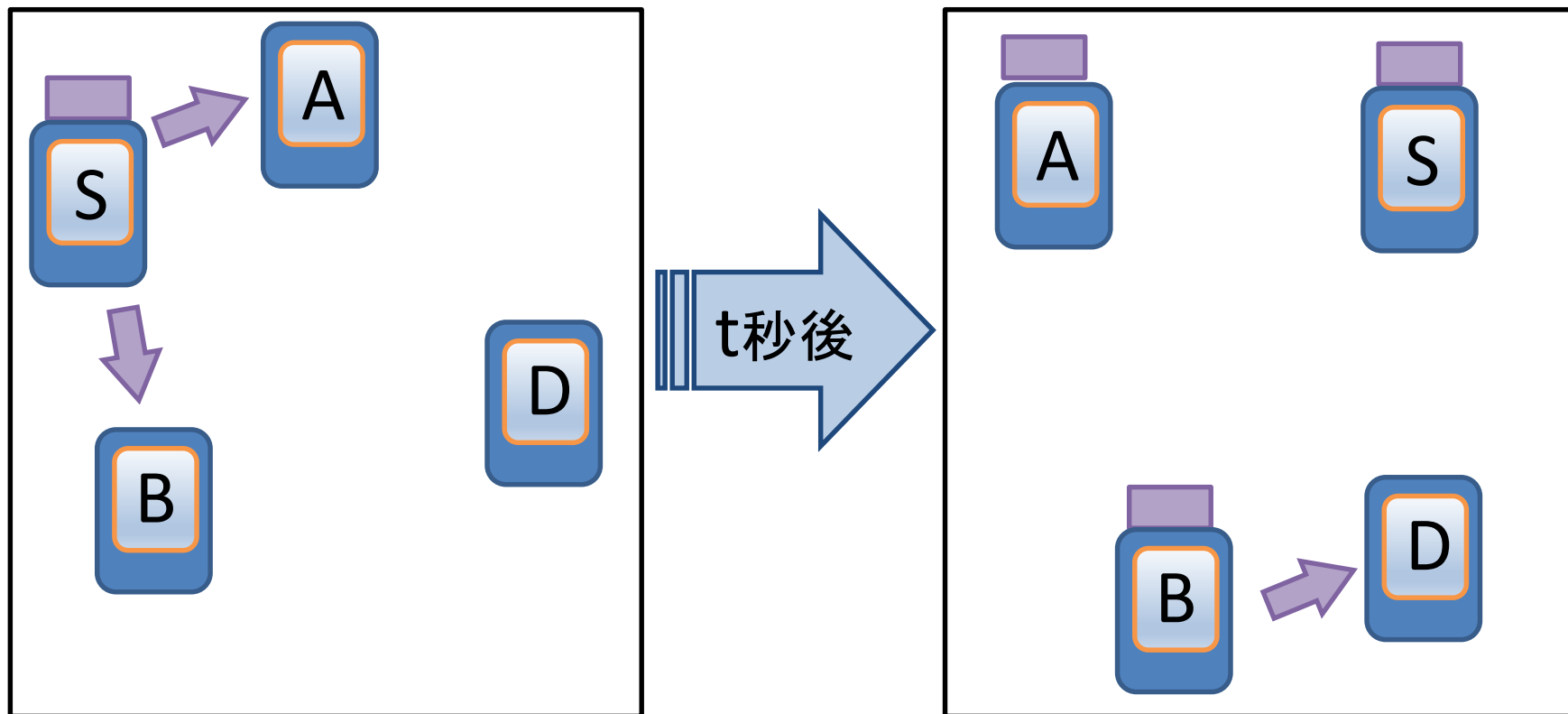
などを考慮した上でネットワークを構築する必要がある



遅延耐性ネットワーク (DTN)

- ◆DTN (Delay Tolerant Network) と呼ばれる
- ◆各端末が移動性を持ち, 配置密度が低い
 - 端末同士は比較的低い頻度でしか通信可能な状況とならない
 - ネットワーク内の端末同士は常に接続されていない
- ◆各端末は自分のストレージにパケットを保持し, 通信可能な範囲内まで近づいた端末と出会ったときにパケットを渡す
 - リアルタイムな通信は実現できない

遅延耐性ネットワーク(2)



■ : データ

◆情報が届くまでの時間が長くても許容される
ような通信に使用

◆利用例:

- 周囲の不特定多数の人への情報配信や拡散を
目的としたアプリケーションに適している



まとめ

- ◆事業所内の製造現場等で構築する無線ネットワークとして使用可能な無線LAN技術の説明
- ◆無線LAN技術を用いた無線マルチホップ通信の説明



確認テスト

問1. 無線LANの概要

◆無線LANで利用されている周波数帯として、正しいものをすべて選択せよ

1. 2.4GHz帯
2. 920MHz帯
3. 5GHz帯
4. 1.5GHz帯

問1. 無線LANの概要(回答)

◆無線LANで利用されている周波数帯として、正しいものをすべて選択せよ

1. 2.4GHz帯
2. 920MHz帯
3. 5GHz帯
4. 1.5GHz帯

問2. 無線LANのMAC層の動作

◆アドホック・モードとして、正しいものをすべて選択せよ

1. 親機を通して、他の端末と通信可能
2. 端末同士が互いに直接接続して通信可能
3. 遠方の端末との通信に有効
4. 親機を必要としない

問2. 無線LANのMAC層の動作(回答)

◆アドホック・モードとして, 正しいものをすべて
選択せよ

1. 親機を通して, 他の端末と通信可能
2. 端末同士が互いに直接接続して通信可能
3. 遠方の端末との通信に有効
4. 親機を必要としない

問3. 無線チャネルアクセス制御

◆ 以下は無線LANで採用されているCSMA/CA方式の特徴の説明である. 空欄を埋めよ

- APと【 1 】のSTAが存在し, これらの全ての機器が【 2 】の無線チャネル上で通信
- 同一周波数上では, 同時には【 3 】の STA (ユーザ)しか利用できず, 複数のSTAが【 4 】に通信を行うと【 5 】衝突が発生し, 通信ができない

◆ 以下は無線LANで採用されているCSMA/CA方式の特徴の説明である. 空欄を埋めよ

- APと**複数**のSTAが存在し, これらの全ての機器が**同一**の無線チャネル上で通信
- 同一周波数上では, 同時には**1つ**のSTA(ユーザ)しか利用できず, 複数のSTAが**同時**に通信を行うと**フレーム(データ)**衝突が発生し, 通信ができない

◆以下は隠れ端末問題とRTS/CTSの特徴の説明である。空欄を埋めよ

- STA間の【 1 】や【 2 】の存在によって互いの無線信号が届かず，【 3 】が機能しない場合が存在する
- 隠れ端末問題を解決するために，【 4 】と【 5 】を使った仮想キャリアセンスというしくみを利用



◆ 以下は隠れ端末問題とRTS/CTSの特徴の説明である. 空欄を埋めよ

- STA間の**距離**や**障害物**の存在によって互いの無線信号が届かず, **キャリアセンス**が機能しない場合が存在する
- 隠れ端末問題を解決するために, **RTS(Request To Send)**と**CTS(Clear To Send)**を使った仮想キャリアセンスというしくみを利用

問5. 無線センサネットワーク

◆以下はWSNの特徴の説明である. 空欄を埋めよ

- 計算能力, ストレージ, 電力に制限のある【 1 】の無線機器に【 2 】を取り付けて, 特定の地理的空間内に分散配置して構築されるネットワーク
- 各センサ機器が測定した値を, センサ機器間の【 3 】通信により特定の情報収集用の機器(【 4 】)に集約する
- 各センサ機器は【 5 】で動作するため, 長時間のネットワーク【 6 】を実現するために,
 - センサ機器や中継端末の【 7 】
 - シンクまでの【 8 】
 - センシングしたデータの【 9 】などを考慮した上でネットワークを構築する必要がある

◆ 以下はWSNの特徴の説明である. 空欄を埋めよ

- 計算能力, ストレージ, 電力に制限のある**小型**の無線機器に**センサ**を取り付けて, 特定の地理的空間内に分散配置して構築されるネットワーク
- 各センサ機器が測定した値を, センサ機器間の**無線マルチホップ**通信により特定の情報収集用の機器(**シンク**)に集約する
- 各センサ機器は**バッテリー駆動**で動作するため, 長時間のネットワーク**稼働時間**を実現するために,
 - センサ機器や中継端末の**配置場所**
 - シンクまでの**ルーティング**
 - センシングしたデータの**送信頻度**などを考慮した上でネットワークを構築する必要がある