

評価方法

- 中間レポートと、期末レポート
- 出席はとらないが、、、
- 質問やコメントを義務付ける
 - 期中、講義に関する技術的な内容の質問やコメントを最低2回、授業中に行うこと
 - よい質問やコメントは、成績の加点対象
 - 質問者は、講義終了後に名前と学籍番号を申告のこと

インターネットインフラ特論

3. データリンク層

太田昌孝

mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

<ftp://chacha.hpcl.titech.ac.jp/infra3.ppt>

今後の物理層

- 固定幹線、固定アクセス網
 - 光ファイバー
- 移動アクセス網
 - 電波
- 一対(きわめて)多幹線＋アクセス網
 - 電波

データリンク層

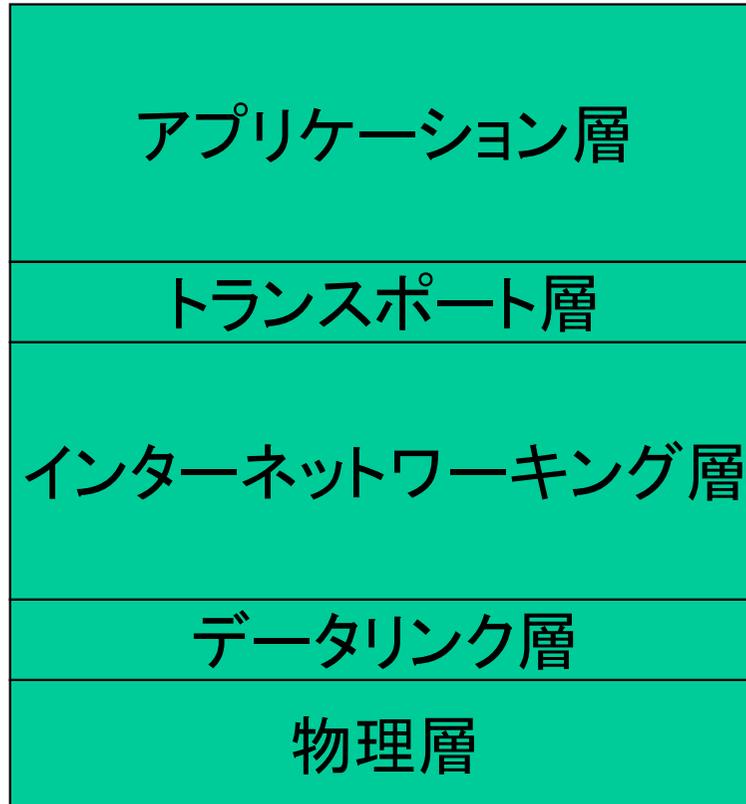
- 各種の必要によりさまざまなものが作られてきた
 - 信頼性、品質保証の能力等々
- インターネットでメジャーなのは、イーサネット
- 電話会社が好きなのはATM
- 今後のインターネットに必要なのは？

データリンク層の機能

- フレーミング
 - バイト境界、パケット境界、、、
- 誤り検出、訂正
- 端末の識別(MAC)
- 障害検出、回避(OAM)
- マルチキャスト
- QoS保証

インターネットのレイヤリング

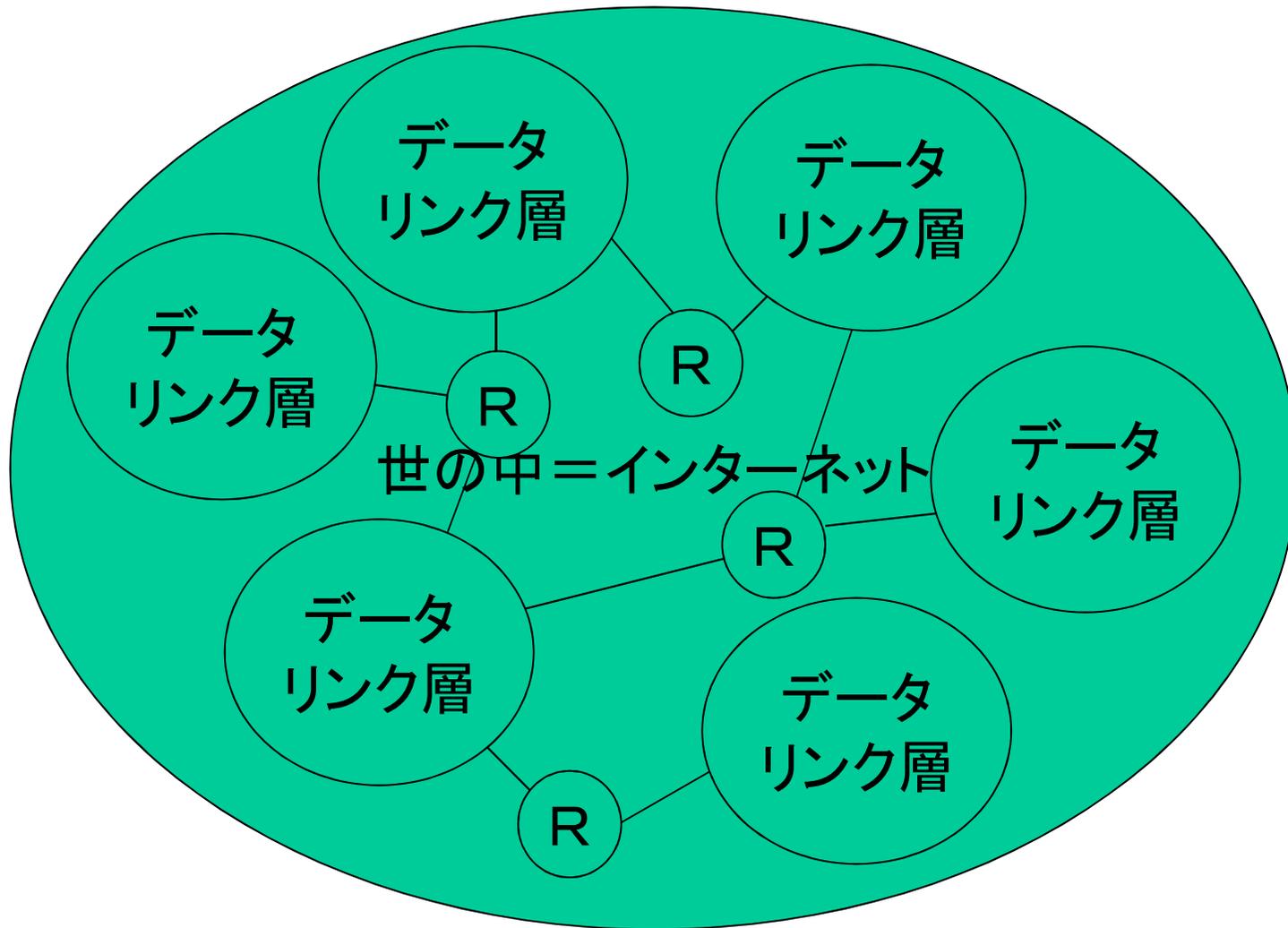
- 物理層、アプリケーション層は必須
- インターネットワーキング層はできる限りのことをやる
- データリンク層、トランスポート層は極力なにもやらない



インターネットのレイヤリング構造

CATENETモデル

- 小さなデータリンクをルータでつなぐ
 - データリンク層内部ではブロードキャストも意味あり
 - 各種設定なしで通信できる
 - 小さいのは機器の数
 - 地理的に大きくてもいい
 - 最少は2
 - ポイントツーポイント



● R : ルータ

CATENETモデル

データリンク層の例

- イーサネット (IEEE802. 3)
- PPP
 - バイトストリーム上でポイントツーポイント
- IEEE802. 11
 - 無線LAN
- SONET / SDH
 - 時分割多重
- ATM / X. 25 (ISDN)

イーサネット

- インターネットでは普通
- 機器が圧倒的に安価
- 10Mbps～100Gbpsまで標準化
 - まもなく400Gbpsも(そろそろ限界か?)
- 初期は、複数送信者が物理層を共有
 - 同時送信は、衝突検出し再送(CSMA/CD)
 - 最近は、スイッチで物理層を分け、衝突なし
 - QoS保証も可能に



基本的なイーサネットのフレーム

MACアドレス

- データリンク層内の複数の端末を識別
- イーサネットでは48ビット
- データリンク層内でユニークであればいい
 - 実際にはグローバルにユニーク
- ブロードキャスト／マルチキャストには専用のMACアドレス

イーサネットとCSMA/CD

(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect)

- 元々のイーサネットでは
 - 複数の送信者が「事前調整なし」に送信
 - 他の送信者が送信中は、さすがに待つ
 - 他の送信者と衝突したことは、検出可能
 - 衝突があった場合は、再送する
 - 乱数で決めた時間だけ待って、再衝突を防ぐ
 - 再衝突の場合は待つ時間を長くして、全体の送信頻度を下げる
 - 送信帯域は混雑次第で保証されない

最近のイーサネットとQoS保証

- ある主のパケットを優先的に出力
- 全二重ポイントツーポイントなら出力は1個
 - CSMA/CDは不要
 - QoS制御は内部のキュー制御だけの問題
- それ以外の場合
 - 複数の出力のあいだでタイミングをあわせないと、、、
 - 大変

イーサネットの問題点

- 8B／10Bエンコーディングによる帯域の無駄(25%)
- パケットあたり18バイトのヘッダー
- CRCが複雑
- 衝突による遅延
- 光アクセス網ではどれも問題にならない

SONET / SDH

- キャリアの時分割多重のための基本の伝送方式
- 156Mbps (52Mbps * 3、OC-3) を基本として、4つをまとめて次の階層をつくる
 - OC-3を16まとめると2.4Gbps (OC-48)
- インターネットでは、ATMあるいはPPPと組み合わせて利用される
- 0.5秒程度で代替経路が選択できる

SONET／SDHの問題点

- 機器が高価
- もはやパケット多重しか必要でない
- 3%程度のヘッダー
- スクランブラーの周期が127と短い
- 代替経路は普段使わないのは無駄
- 設備はすぐ(2年?)に陳腐化するので、現有設備の活用は考えるだけ無駄

PPP (RFC1548)

- Point-to-Point Protocol
- 任意のバイトストリーム(含むSONET/S DH)上でIPパケットを伝送するプロトコル
 - 初期には、ダイヤルアップで利用
 - ユーザ認証機能等もある
- パケット境界を0x7Eで示す
 - ある種のバイトの値(含0x7D、0x7E)は、0x7Dを付加した2バイトでエスケープ表現

PPPの問題点

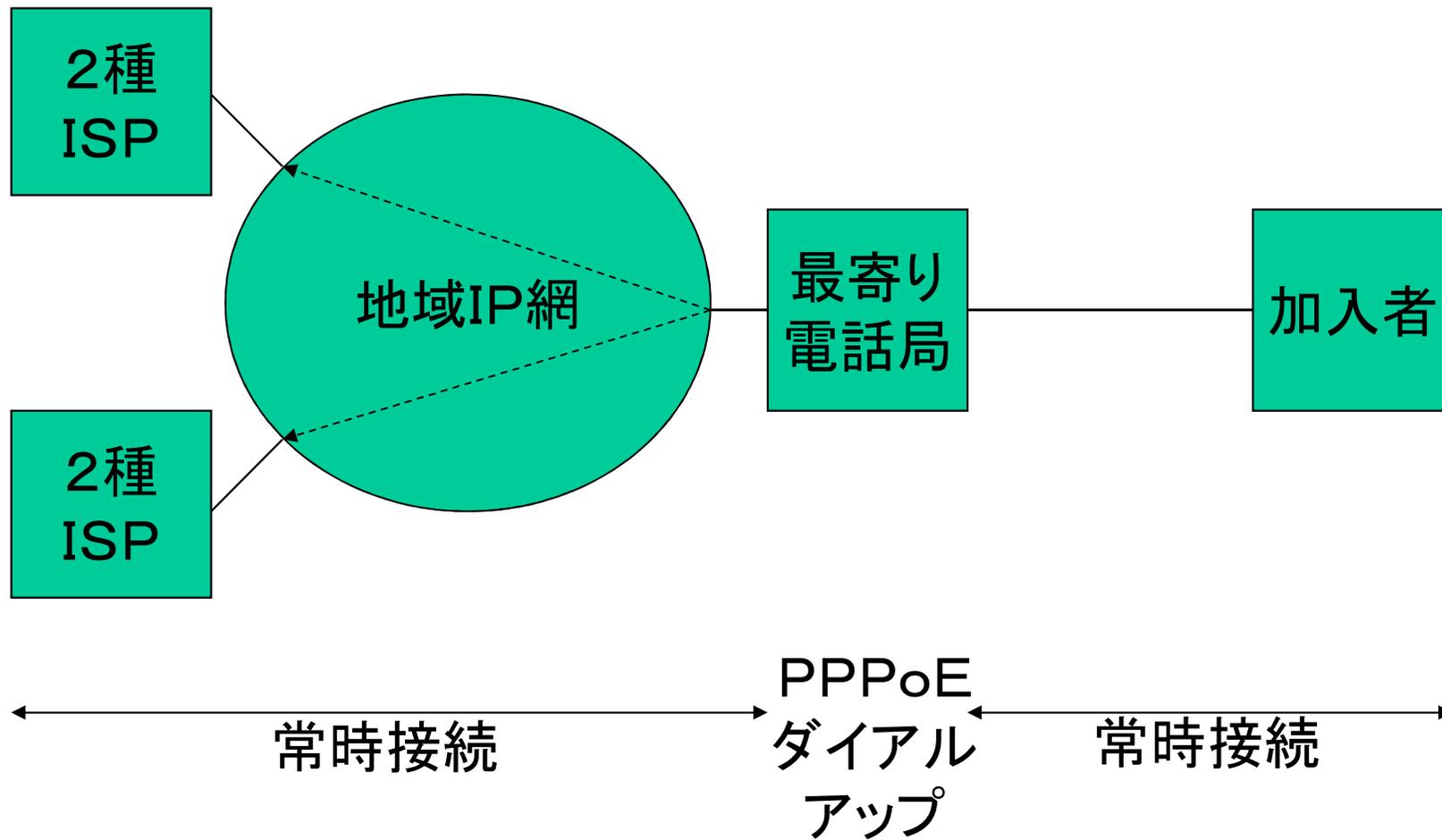
- 1バイトを2バイトにするエスケープは、平均して1%、最悪100%の帯域の無駄
- エスケープがあると、ちゃんとしたQoS(帯域)保証ができない
- SONET/SDHとともに使うと、あるパケットにたいして、1/127の確率で0が連続する

PPP over Ethernet

- イーサネットフレーム中にPPPフレームを埋め込む
- ADSLの物理層は常時接続である
 - 呼ごとに接続先を変えられない
 - データリンク層でダイアルアップ機能を実現
 - PPPによるセキュリティ?
 - 物理層には十分なセキュリティがある

呼ごとに接続相手を変える？

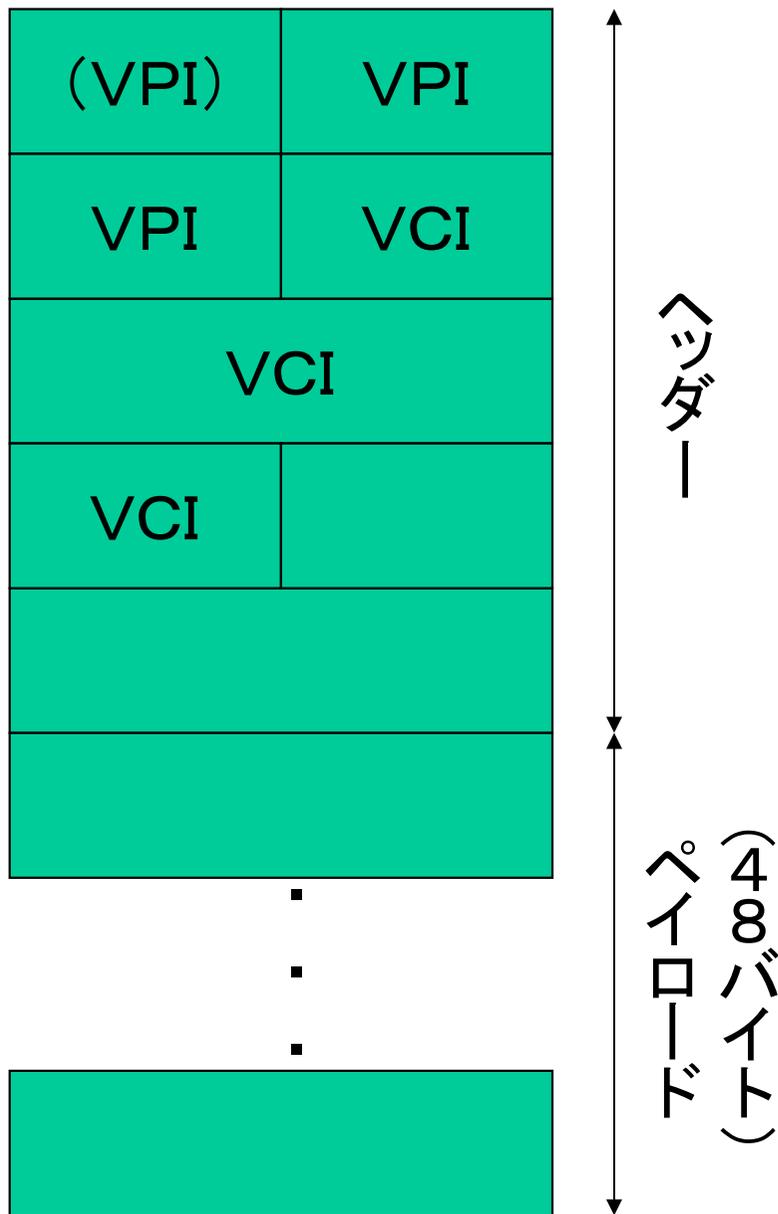
- インターネットにつながのなら、どこでも同じ
- インターネット接続を複数契約？
 - 定額制なら完全な無駄
- プライベートIP網への接続？
 - VPN(IP over IP)で十分
- 呼があるようじゃ、常時接続ではない
 - 電話網経由のダイアルアップのイーサネット網への拡張



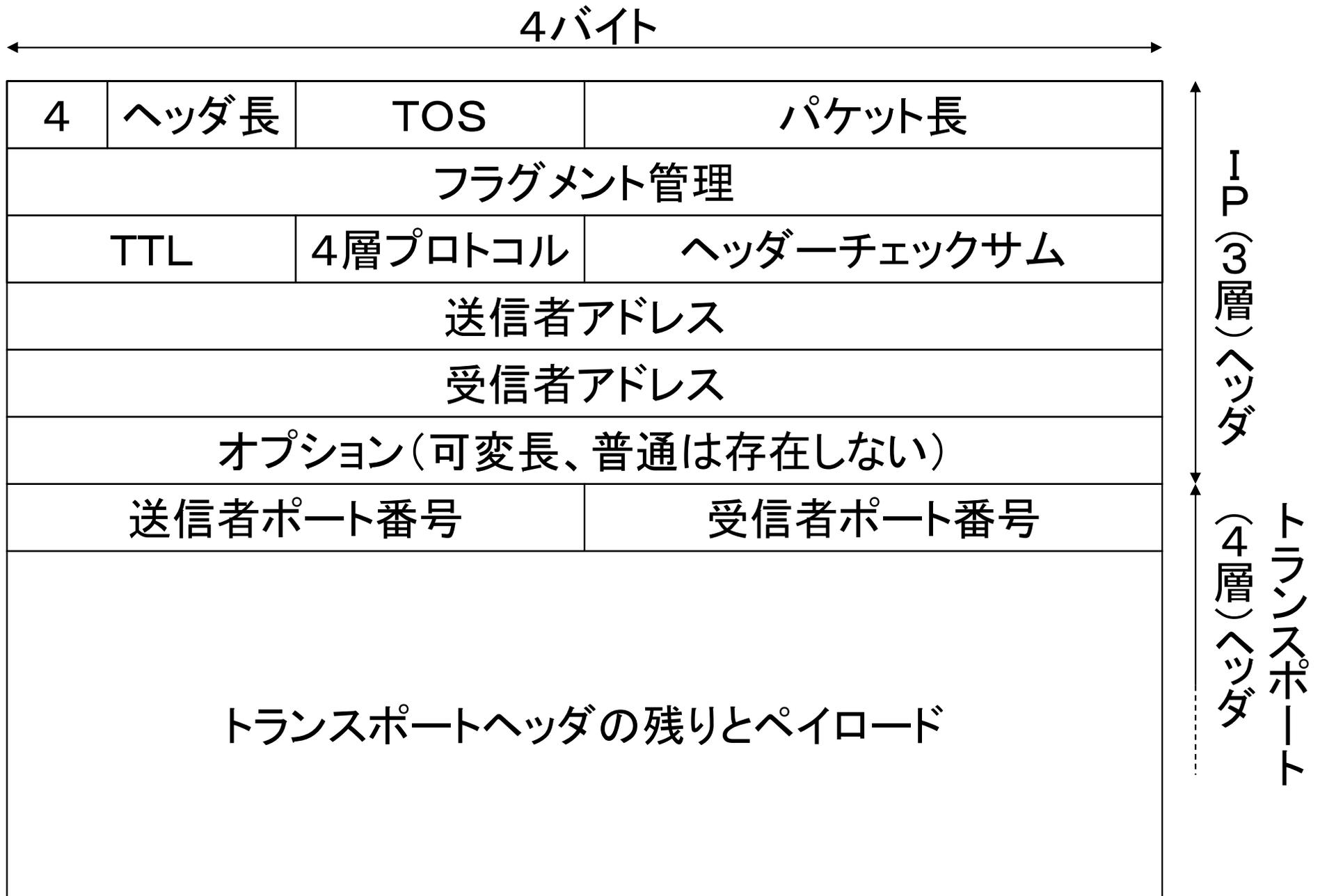
フレッツADSLの常時接続性の喪失

ATM

- SONET／SDHの上で、データをさらに多重化する仕組み
- データを48バイトのセルにわけ、5バイトの単純なヘッダを付加する
 - 複雑なヘッダの処理より速い
- セルヘッダで個々の「通信」を区別し、必要なQoS保証などを行う(はず)



ATMのセル



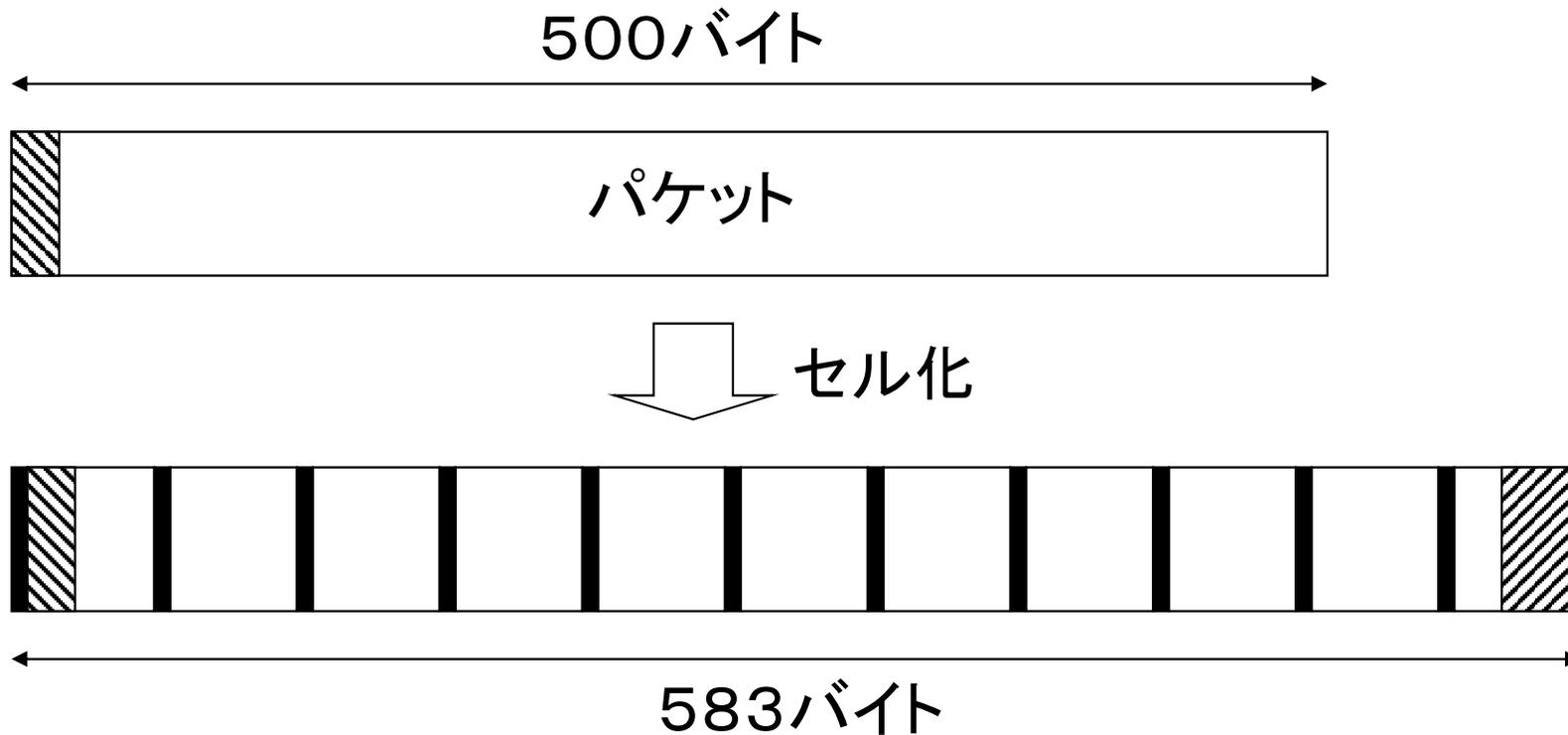
IPv4パケットフォーマット

ATMは速い？

- IPルーター／ATMスイッチの処理
 - (IPパケットやATMセルを)入力
 - ヘッダーから行き先情報を抽出
 - ATMは、ここが単純？
 - ルーティングテーブルを検索
 - ATMは、固定長で検索だから速い？
 - ATMは、テーブルが小さい？
 - パケット／セルを出力インターフェースへ転送
 - 出力

ATMの問題点(1)

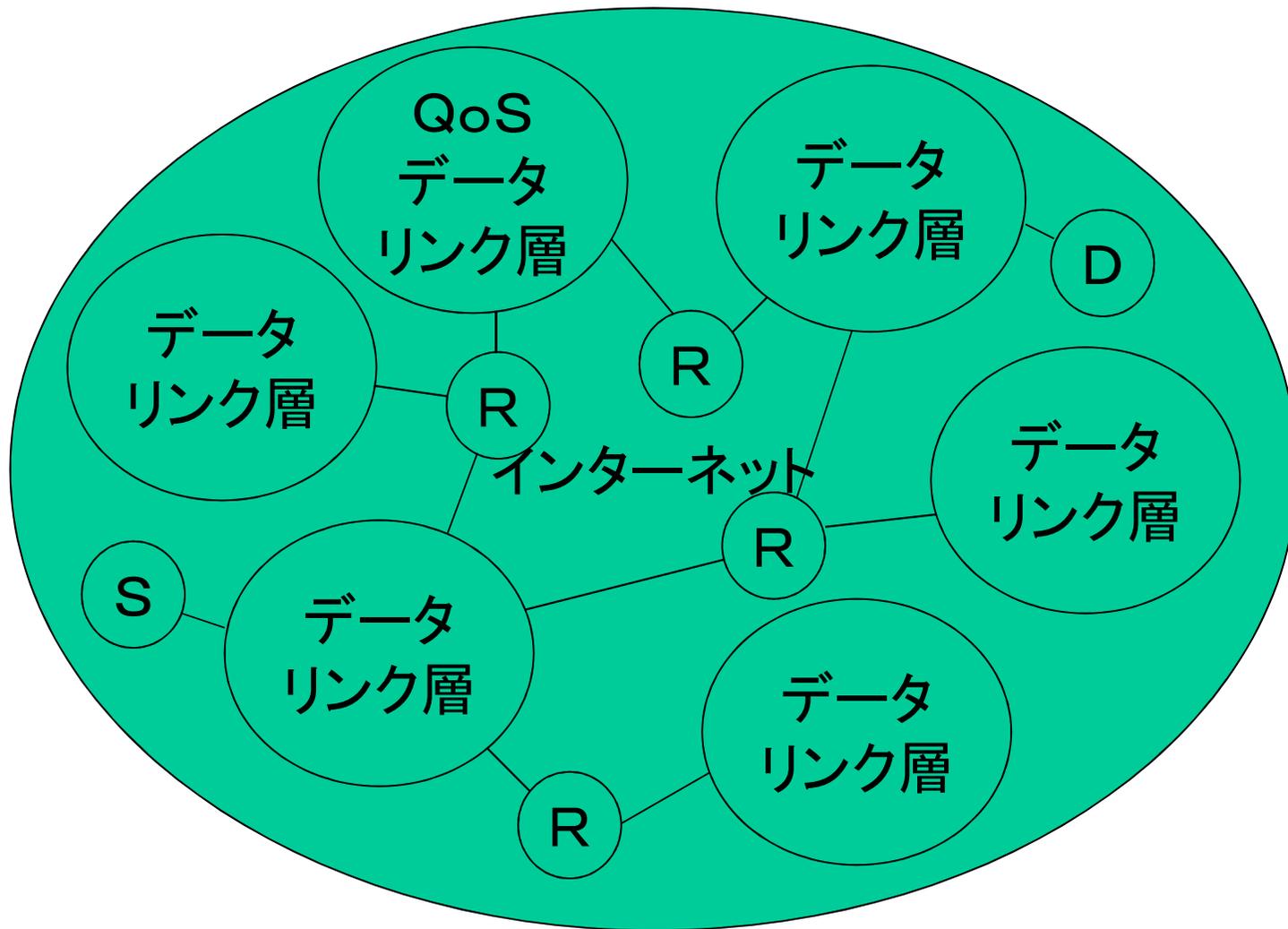
- セル多重化は不要
 - インターネットではパケットしか送らない
- セル化は15%程度の帯域の無駄
- セル単位のルーティングは、パケット単位のルーティングより10倍程度遅い
 - 平均パケット長が500バイト程度なので
- まともな機器はほとんどない(しかも高価)
- QoS保証能力は(あっても)無意味



 : パケットヘッダ (20バイト)  : セルヘッダ (5バイト × 11個)

 : パディング (28バイト)

セル化の無駄 (500バイトIPv4パケットの場合) 29



R : ルータ
 S : 送信者
 R : 受信者

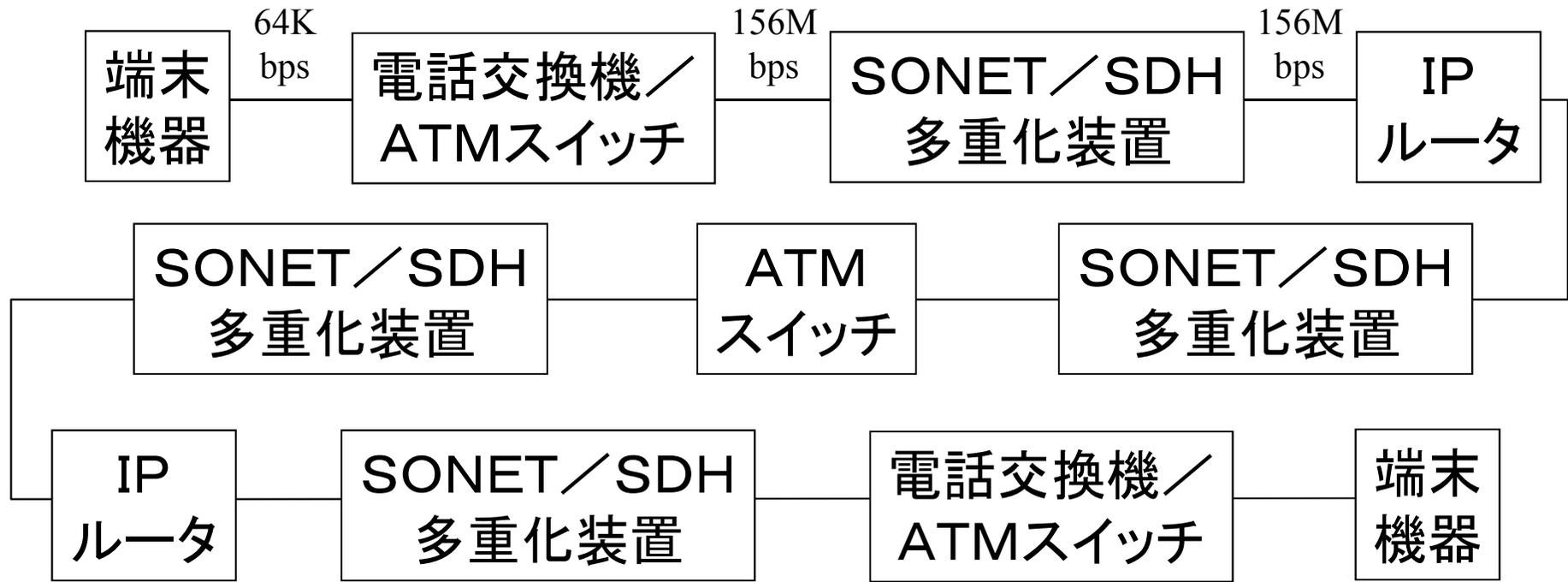
インターネットとQoS保証

X. 25 / ATMの問題点

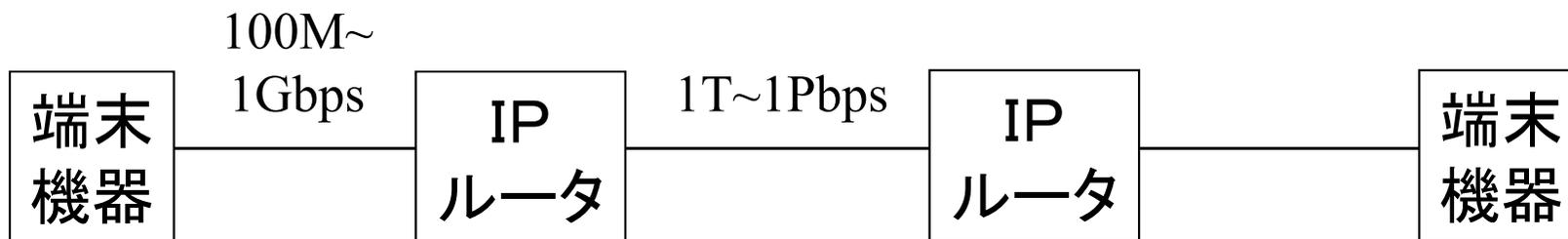
- X. 25 / ATM網は個別の通信を管理する
 - セル / パケットヘッダは通信を識別する
 - ルータ / スイッチは個別の通信を管理
 - コネクションオリエンテッド
- IPは個別の通信を管理しない
 - パケットヘッダは目的地を識別する
 - ルータ / スイッチは各目的地への到達方法を管理
 - 各パケットの処理は独立 (コネクションレス)

光とIPの間

- IP－光 (All Optical Internet)
- IP－WDM分波－光 (Ca * net3等)
- IP－PPP－HDLC－SONET／SDH－WDM分波－光 (新興キャリアの現在)
- IP－MAC－8B／10B－、、、 (Gイーサ)
- IP－LLC／SNAP－AAL5－セル多重－SONET／SDH多重－WDM分波－光 (旧来のキャリア)



a) 電話網(含ISDN)をインフラとしたインターネット



b) インフラとしてのインターネット

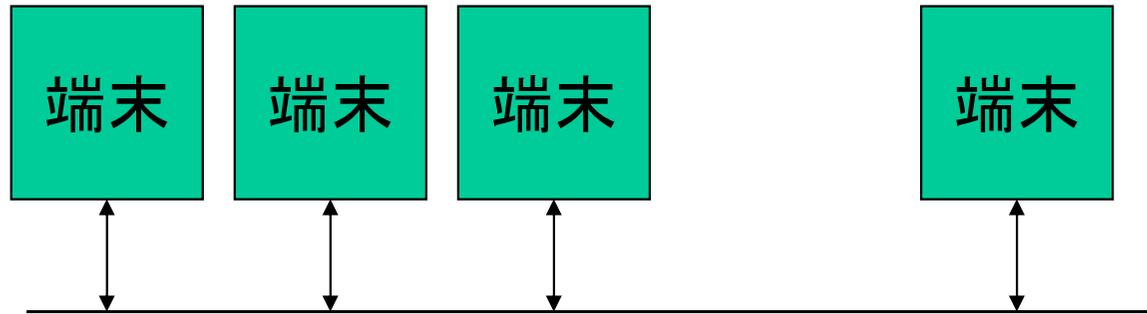
インターネットの進化と簡略化

インターネット新時代の 幹線光データリンク層(1)

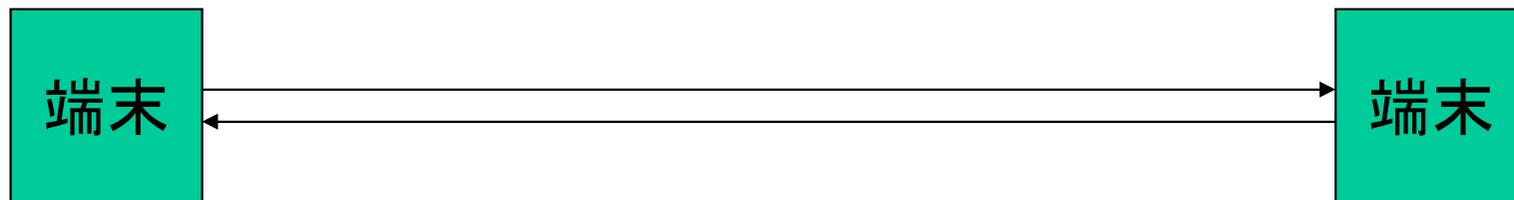
- 品質保証はIP層でやる
 - データリンク層での品質保証は不要
- マルチキャストはIP層でやる
 - データリンク層でのマルチキャストは不要
- テラビット化は、WDM／超並列化で行う
 - 10Gbps～40Gbps程度の速度が必要
- OAMはIP層でやる
 - データリンク層でのOAMは不要

インターネット新時代の 幹線光データリンク層(2)

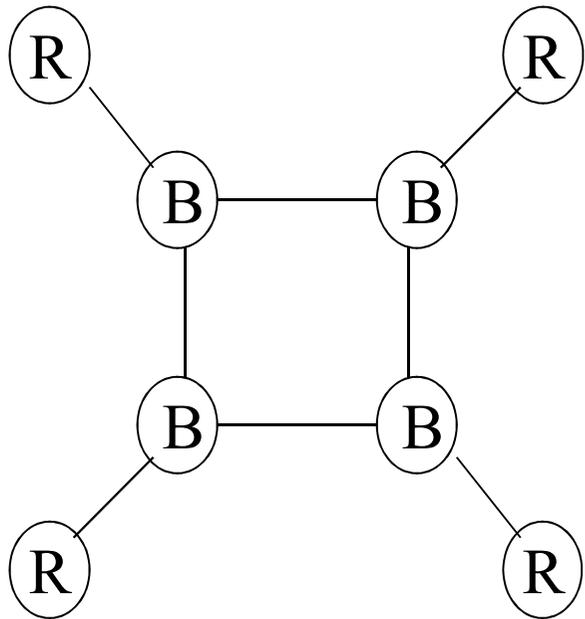
- スイッチはルータなみに高価なので
 - ポイントツーポイントのプロトコルで十分
 - マルチアクセスのデータリンク層では、QoS保証やマルチキャストの独自機能も必要になる
 - ポイントツーポイントのデータリンク層では、QoS保証やマルチキャストはIP層にまかせられる



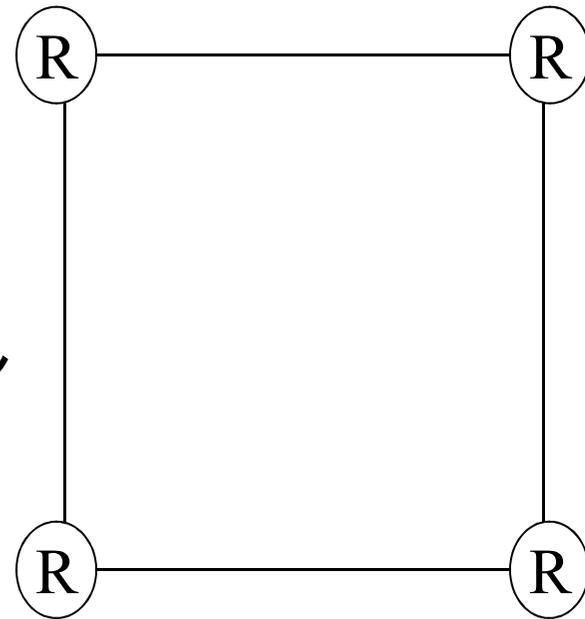
マルチアクセス接続



ポイントツーポイント接続



機器、高速インターフェース、
管理が半減



(R) : ルータ

(B) : ブリッジ

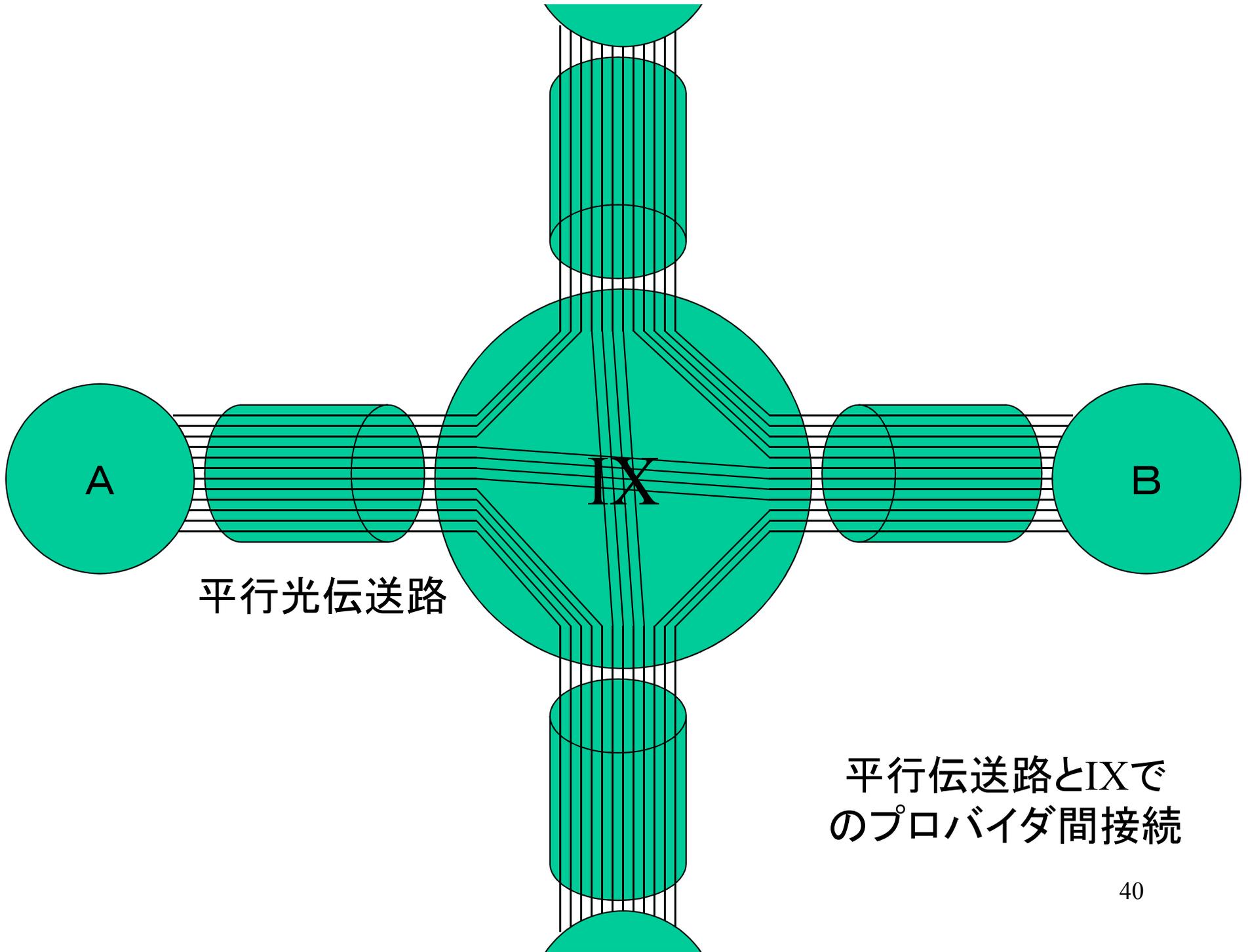
ブリッジの除去

IXとマルチアクセス データリンク層の必要性

- IX(Internet Exchange)では、多数のISPのルータが相互に接続される
 - ルータを個別に接続すると、ISPの数程度の多数のインターフェースが必要
 - ルータをマルチアクセスデータリンク層を介して接続すると、インターフェースは1個で済む
 - MAPOS(RFC2171)の考え方
 - それなりに正しい

超高速インターネット時代の IXとデータリンク層

- IX (Internet Exchange) では、多数のISPのルータがほぼ相互に接続される
 - 1個のインターフェース(10Gbps程度)では遅くて1ISPとつなぐにも不十分
 - ルータはISPの数程度以上の多数の電氣的インターフェースがもともと必要(100波長WDMでは100インターフェース)
 - マルチアクセスの必要性なし



平行光伝送路

平行伝送路とIXで
のプロバイダ間接続

従来の データリンク層の機能

- フレーミング
 - バイト境界、パケット境界、、、
- 誤り検出、訂正
- 端末の識別(MAC)
- 障害検出、回避(OAM)
- マルチキャスト
- QoS保証

インターネット時代の データリンク層の機能

- フレーミング
 - バイト境界は不要、パケット境界のみ
- 誤り検出、(訂正)
- P2Pでは不要
 - 端末の識別(MAC)
 - マルチキャスト
 - QoS保証
- 障害検出、回避(OAM)はルーティングで

IOG (IP over Glass) の概要

- 単純で高速 (10~40Gbps) な IP over 光のための IP 伝送に特化したプロトコル
- ポイントツーポイント
- 2KB の固定フレームと 1535B までの可変長パケット
- フレーム単位の同期、スクランブル、CRC
- パケットヘッダは 4 バイト

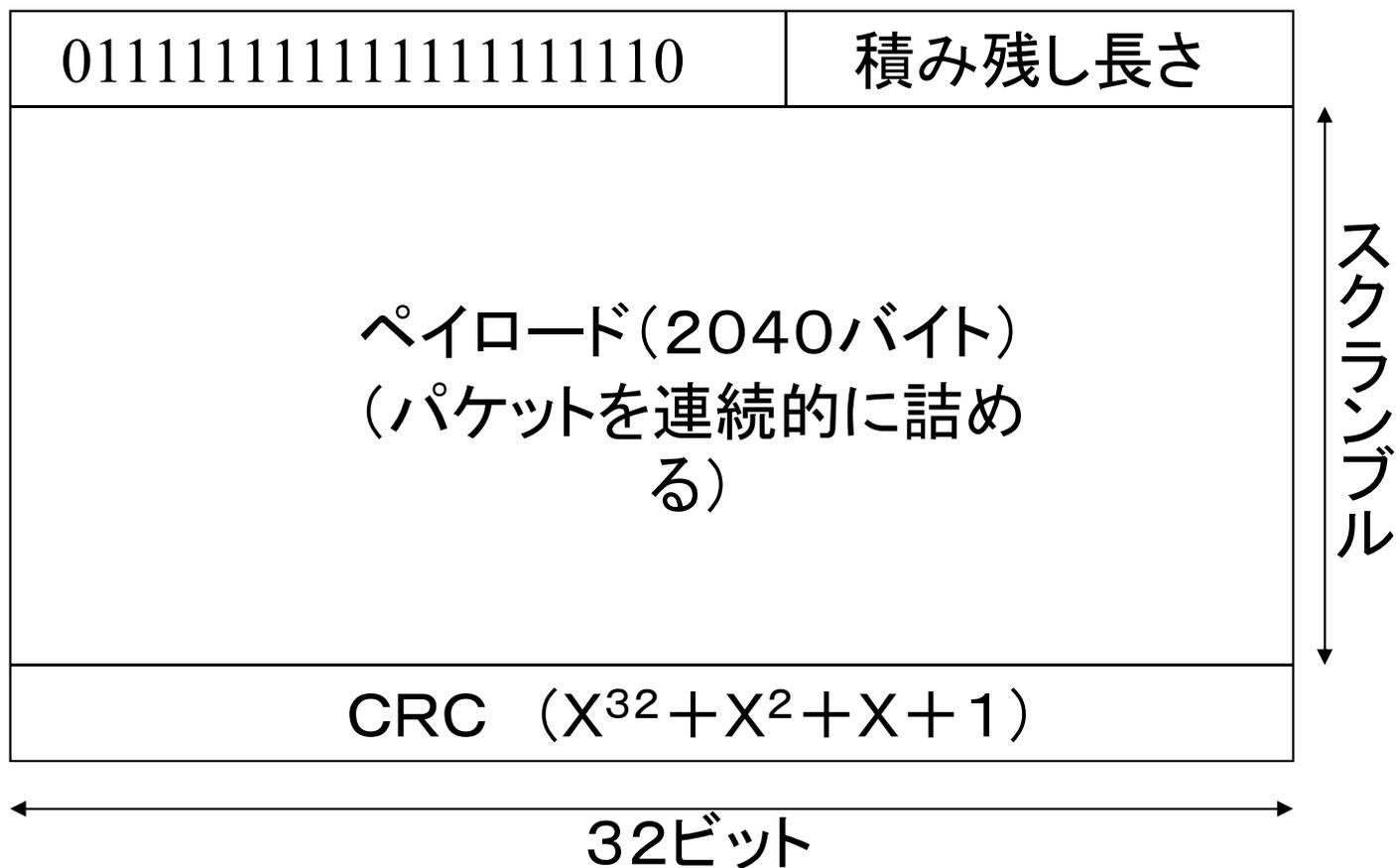
IOGの特長

- 長いスクランブル周期 (2^{43})
- 少ないオーバーヘッド
 - フレームあたり8バイト (同期フラグ + CRC)
 - パケットあたり4バイト (長さ + ラベル)
- 高速並列計算に向く多項式
 - $X^{15} + X + 1$ (スクランブラ)
 - $X^{32} + X^2 + X + 1$ (CRC)
- パケット長は、20バイト～1535バイト

IOGとCRC

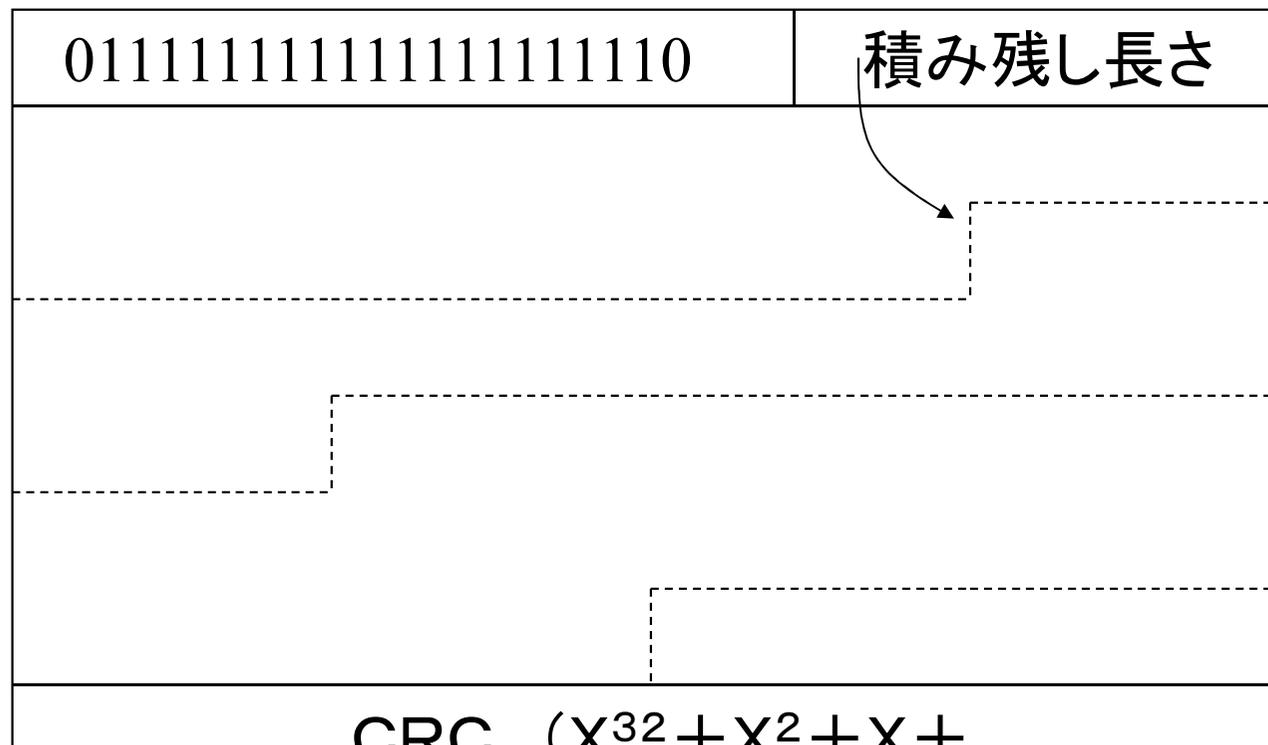
- $X^{32} + X^2 + X + 1$ を採用
 - 21次の原始多項式を因数にもつ
 - 2Mビットまでのハミング距離3
 - $X + 1$ も因数にもつ
 - ハミング距離は実は4 (SEC、DED)
 - 32並列、64並列の計算が簡単
 - XORのファンイン(つまり段数)が少ない
 - 32並列で5入力が可能 (CRC32は18入力)
 - 高速計算に向く (2入力XORが3段と5段)

IOGのフレーム



IOGフレームとパケット境界

- 同期はフレームでとる
- フレーム最初のパケット境界をマーク



IOGのチケット

チケット (チケット)	0 (チケット)	イーサタイプ (チケット)	チケット中身
----------------	----------	------------------	--------

チケット (チケット)	レベル	2 (チケット)	チケット中身
----------------	-----	----------	--------

最大パケット長

- 長いほど、ヘッダーの無駄がへる
- 長いと、データを詰めるのが大変
- イーサネットでは1500B
- IPv4では最低64B、長いパケットは分割
- IPv6(次世代IP規格)では最低1280B
- IPv6では、最大パケット長を自動検出
 - ただし、マルチキャストでは不可能
- 1500バイト程度あれば十分

電波とインターネット

- 近距離(小電力)
 - 多数の基地局を設置
 - IPモビリティと組み合わせて携帯インターネットサービスを実現
- 長距離(大電力)
 - 1対(きわめて)多通信には電波は最適
 - きわめて多数で電波帯域を共有しての多対多双方向通信は無理

電波アクセス網上の データリンク層

- 物理層がマルチアクセスなので
 - MACアドレスによる端末の識別は必要
- 基地局(放送局)を仮定してよい
 - 基地局が制御の中心となる
 - 多対多の対等な関係は不要
- QoS保証もP2Pより複雑
 - 基地局があるので一般的な場合より楽
- 安い技術(IEEE802.11無線LAN)

無線LANアクセス網と セキュリティ

- ダイアルアップ感覚では
 - 接続開始時にPPPで認証
 - 電話網、イーサネット網経由なら、セキュア
 - 電話網、イーサネット網は同じ相手と1対1で接続
 - 無線LAN網の場合は不十分
 - 無線LAN網では複数の相手と常に通信可能
 - 最初に認証した相手かどうか認証が必要
 - » MACアドレスは誤魔化し放題
- 無線LANではパケット単位の認証が必須

イーサネットとCSMA/CD

(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect)

- 元々のイーサネットでは
 - 複数の送信者が「事前調整なし」に送信
 - 他の送信者が送信中は、さすがに待つ
 - 他の送信者と衝突したことは、検出可能
 - 衝突があった場合は、再送する
 - 乱数で決めた時間だけ待って、再衝突を防ぐ
 - 再衝突の場合は待つ時間を長くして、全体の送信頻度を下げる
 - 送信帯域は混雑次第で保証されない

無線LANとCSMA/CA

(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)

- 無線では、衝突の検出が一般に不可能
 - 送受の電力が違いすぎ、自分が送信中には他の送信を検知できない
 - 受信者には近いが送信者からは遠い他の送信は、送信者には検知できない場合も
 - ACKの欠如により衝突を検出
 - 後はCSMA/CDとほぼ同じ
 - ブロードキャストはACKが返せず低信頼
 - イーサネットとの重要な違い

Immediate access when medium is free \geq DIFS

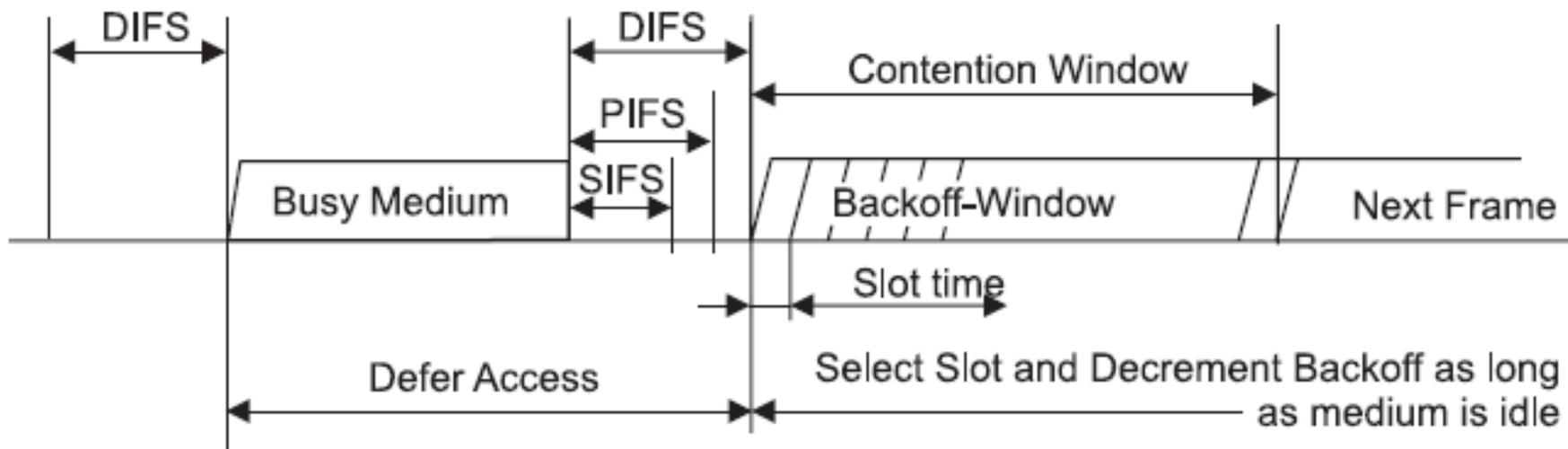


Figure 49—Some IFS relationships

IEEE 802.11規格書より

電波による一対(きわめて)多通信のデータリンク層

- MPEG2-TS?
 - デジタル放送で採用(DVB等)
 - MPEG2映像伝送専用
 - IPをMPEG2上のペイロードの一種として載せることは可能だが、、、
 - 画像のフォーマットはMPEG2 over IP over MPEG2-TS?
- ネイティブIPのデータリンク層が筋

今後の物理層

- 固定幹線、固定アクセス網
 - 光ファイバー(一対一)
- 移動アクセス網
 - 電波(一対多)
- 一対(きわめて)多くの幹線とアクセス網
 - 電波

今後のデータリンク層

- 固定幹線
 - イーサネット？全光ルータ？
- 固定アクセス網
 - イーサネット
- 移動アクセス網
 - IEEE802. 11
- 一対(きわめて)多の幹線とアクセス網
 - ？

WAN技術とLAN技術

- WAN (含MPEG)
 - 規制の世界 (だった)
 - 正式な国際標準 (ISO、ITU (鈍重)) が重要
 - 価格や性能は二の次
- LAN
 - 自由競争の世界
 - 価格や性能が全て
 - デファクト標準、フォーラム標準でかまわない

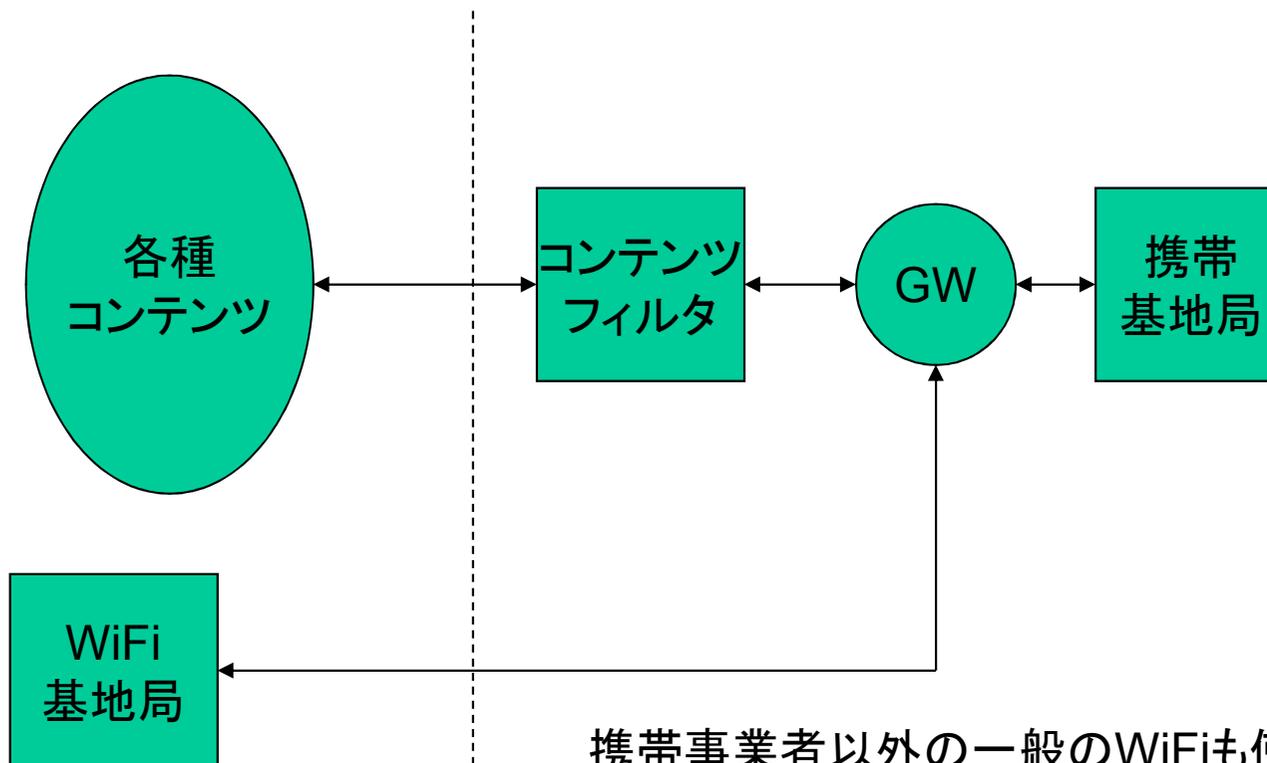
今後の携帯電話

- 容量が足りない
- 携帯電話網は高価
 - WiFiへトラフィックを逃がしたいが、、、
- WiFiを3／4Gの補完と見るか？
 - 電話網の複雑さをずっと継承
- WiFiを3／4Gの置き換えと見るか？
 - 低価格化、単純化、効率化の余地大

WiFiを3/4Gの補完と見る場合

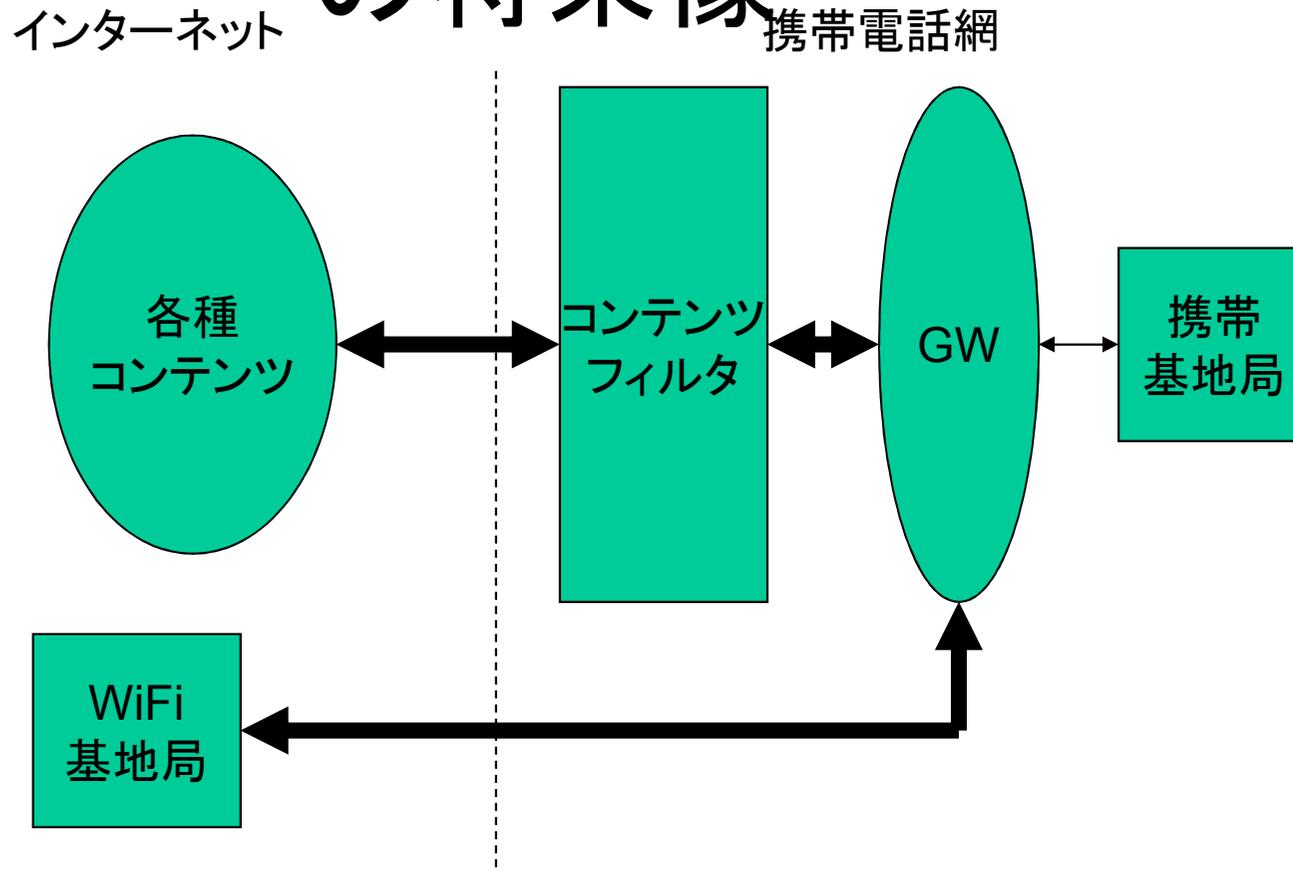
インターネット

携帯電話網

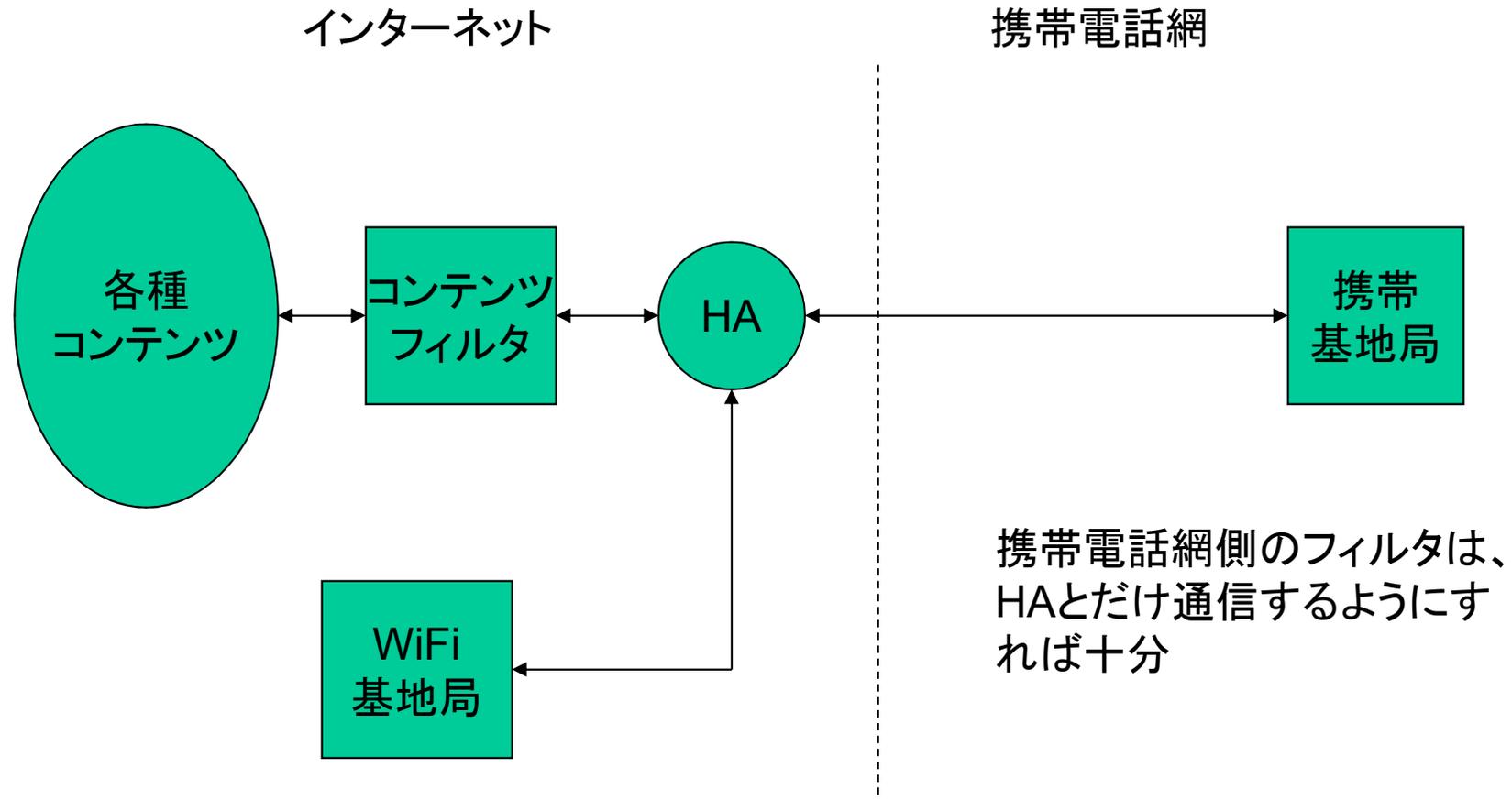


携帯事業者以外の一般のWiFiも使う場合は、GWでアドレス付け替えも

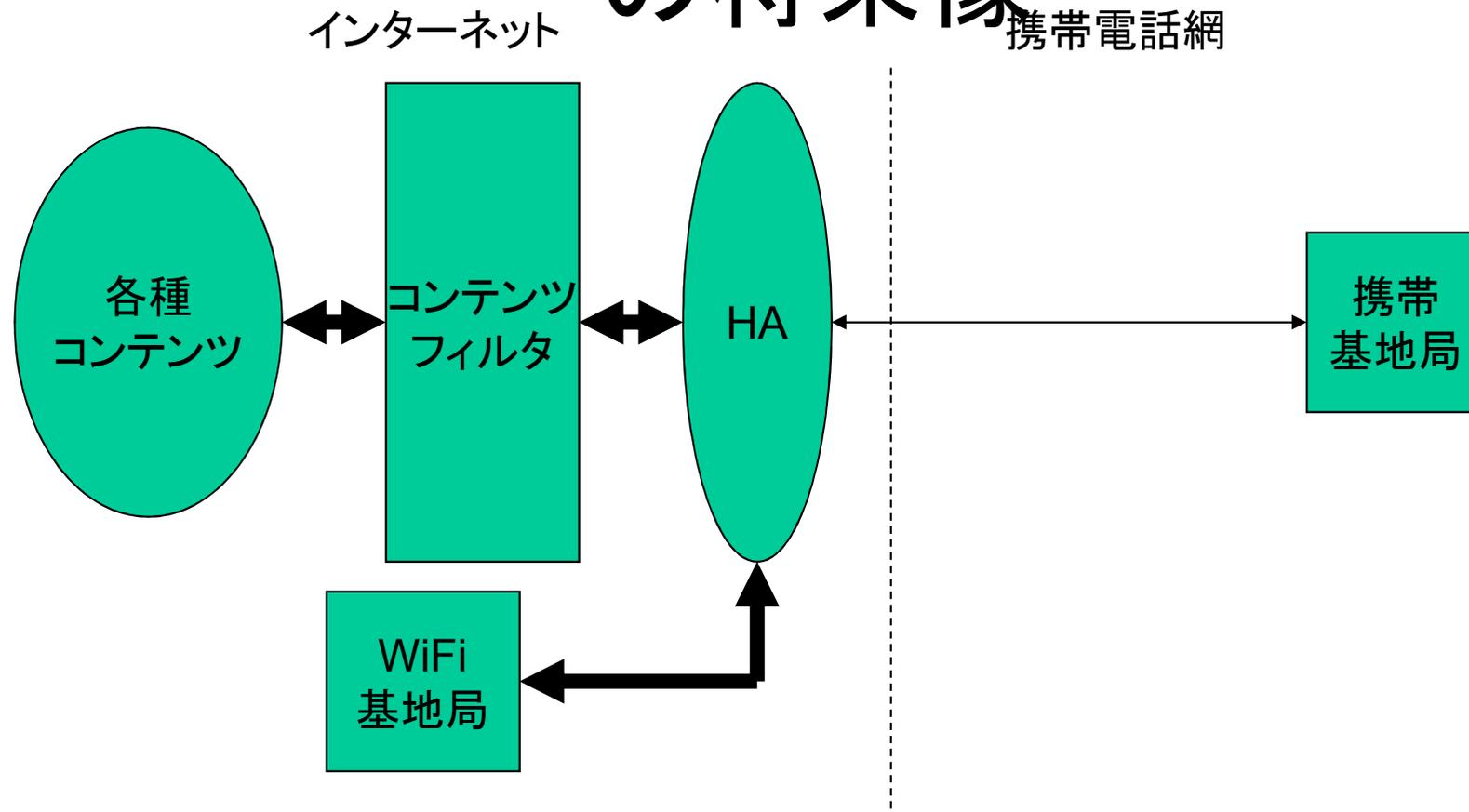
WiFiを3/4Gの補完と見る場合 の将来像



WiFiを3/4Gの置き換えと見る場合

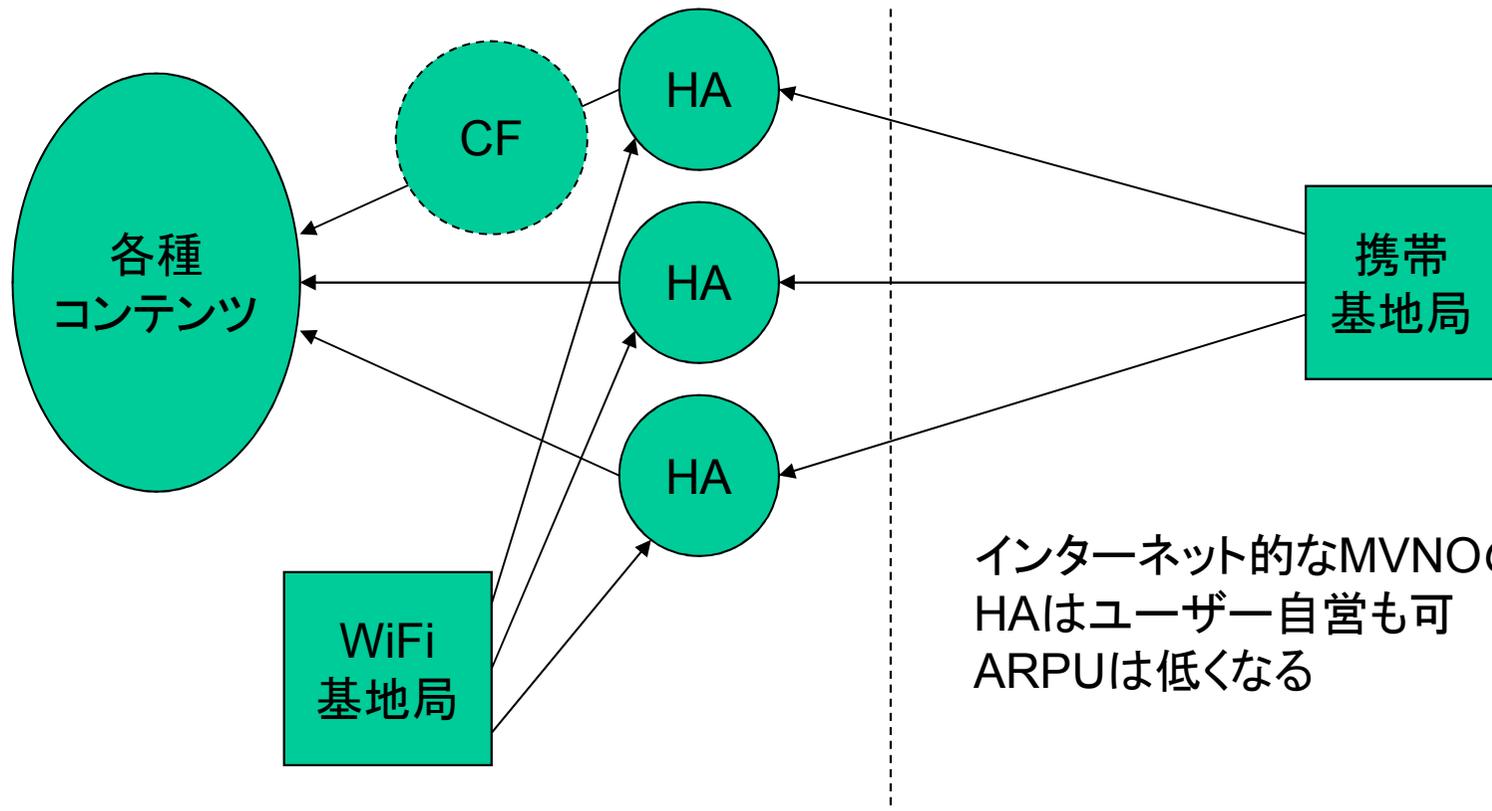


WiFiを3/4Gの置き換えと見る場合 の将来像



WiFiを3/4Gの置き換えと見る場合

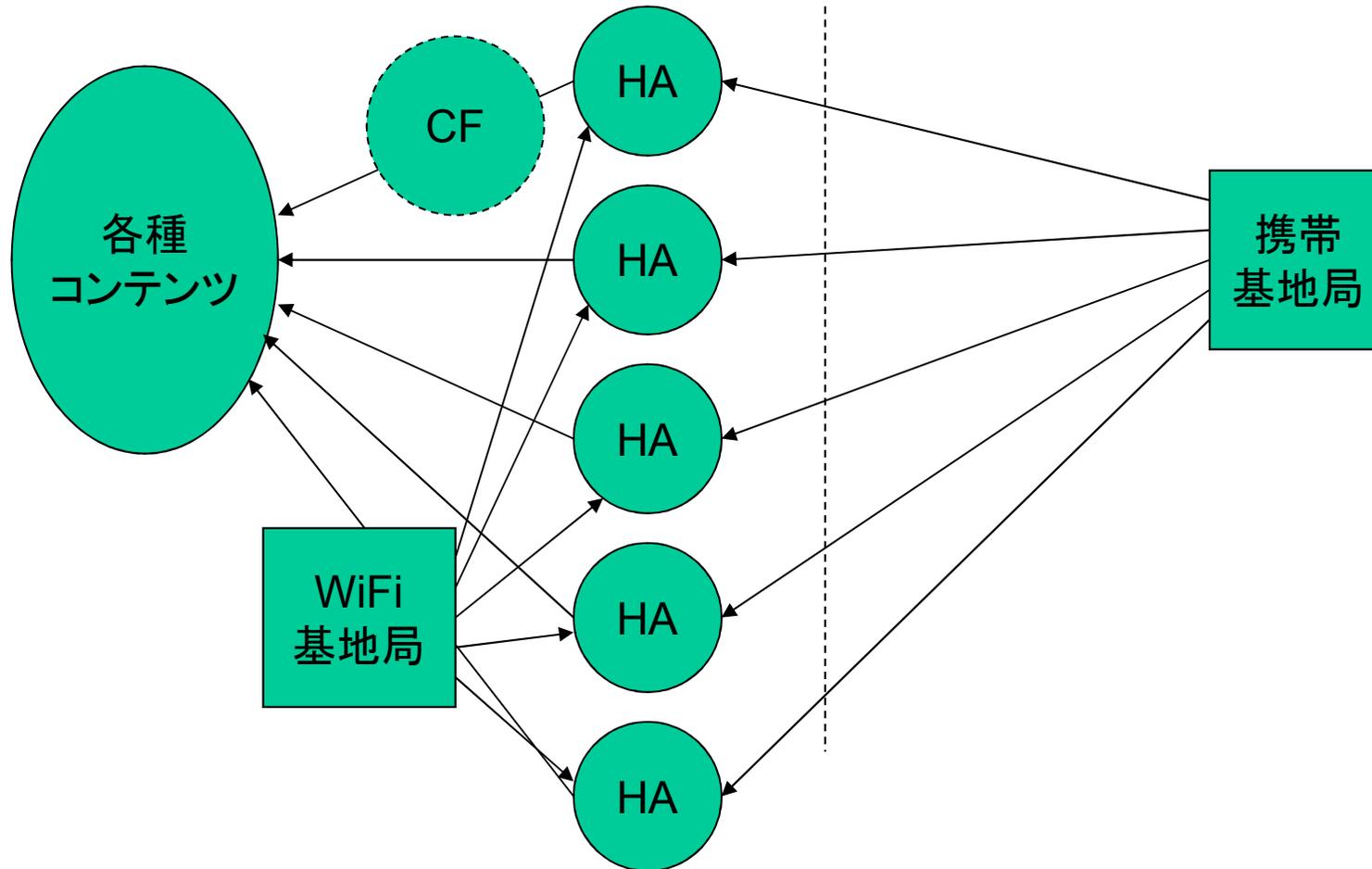
HA(やコンテンツフィルタ)がアンバンドルされた場合
インターネット 携帯電話網



インターネット的なMVNOのあり方
HAはユーザー自営も可
ARPUは低くなる

WiFiを3/4Gの置き換えと見る場合

HA(やコンテンツフィルタ)がアンバンドルされた場合の将来像
インターネット 携帯電話網



今日のまとめ

- データリンク層は単純でいい
 - 物理層がポイントツーポイントならデータリンク層もポイントツーポイントでいい
 - 常時接続は当然
 - IP層と重複する機能は不要
 - エンドツーエンドでサポートされていない機能がデータリンク層にあっても無意味
- LAN技術が安くて速い

おまけ

セルラーインターネットワーキング
のための新しい通信パラダイム:
Packet Division Multiple Access (PDMA)

太田昌孝

東京工業大学情報理工学研究科

mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

有線通信で何が起きたか？

- 当初は電話網経由のインターネット利用
 - 低速、高価、従量制課金、帯域の無駄、、、
- インターネットでは
 - パケット多重のみで十分
- ブロードバンド化の進展とともに
 - WANへのLAN(イーサネット)技術の進出
 - 電話網系多重化技術(SONET/SDH、ATM等)は消失へ

ベストエフォートと保証

- 電話アプリケーション主体の電話網では
 - 接続すれば、QoSはほぼ保証される
 - 接続できるかどうかは、ベストエフォート
- (現状の)インターネットでは
 - 接続は、ほぼ保証される
 - 接続した後のQoSは、ベストエフォート
- 電話はある種のQoS保証通信に特化した極めて「特殊」なアプリケーション

従来の「極めて」「特殊」な セルラーネットワーク

- 電話網としてのセルラーネットワーク
- 電話アプリケーションの「特殊」な性質
 - 連続通信
 - ある程度の時間連続してトラフィックが発生
 - 双方向通信
 - 連続して双方向にトラフィックが発生
 - (半)固定帯域
 - 通信に帯域を固定的に割り当て
- 今後電話トラフィックの比重が減ると、、、

一般のセルラーネットワーク

- 電話の持つ「特殊」な性質は仮定できない
- 一般の通信
 - 不連続通信
 - トラフィックは発生時期は、一般に予測不能
 - 片方向通信
 - トラフィックは、一般に片方向にのみ発生
 - 帯域不定
 - トラフィックの発生量は、一般に予測不能

一般のパケットセルラー ネットワークの性質

- トラフィックはパケット単位で発生
- データパケットの発生は、一般に予測不能
- 基地局は比較的煩雑(数十分の1秒～数秒間隔?)にビーコン(パケット)を発生
- 移動局はたまに(数十秒間隔?)基地局への登録(新規、更新、取消)を行う
- それ以外のトラフィックは発生したくない

一般の packets セルラー ネットワークと移動速度

- 基地局は(セルの大きさ) / (移動速度) より十分頻繁にビーコンをだす必要がある
 - TDD 基地局 アンテナ ダイバーシティには不足
- 移動局は一般にあまり packets を出さない
 - 基地局は移動局の位置を推測不能
 - アクティブアンテナ技術は利用できない
 - 移動局は異なる基地局の出現は検出可能
 - セクターアンテナ技術は利用できる

インターネットの性質とセルラー インターネットワーキング

- インターネットはパケットネットワーク
- トラフィック特性は、なんでもあり、一般
 - 混雑時にはパケット落ち、それに端末が反応
 - インターネット電話トラフィックは、電話網上の電話トラフィックと同様の性質を持つが、、、
 - 連続、双方向通信、(半)固定帯域
 - ただし、粒度はパケット単位なので、荒い
- セルラーインターネットワーキングには
 - 一般のトラフィックに対応できる仕組みが必要₇₅

CSMA/CAと802.11規格群

- パケット送出前にランダムに待つ
 - 二重化、多重化とも、通信スロットをパケット単位で完全に動的に確保
 - いかなるトラフィックパターンにも対応できる
 - 電話のトラフィックパターンにも対応できる
- 帯域が足りない場合
 - 何度か遅延を増やして再送、最終的に落とす
 - インターネットに好適

Immediate access when medium is free \geq DIFS

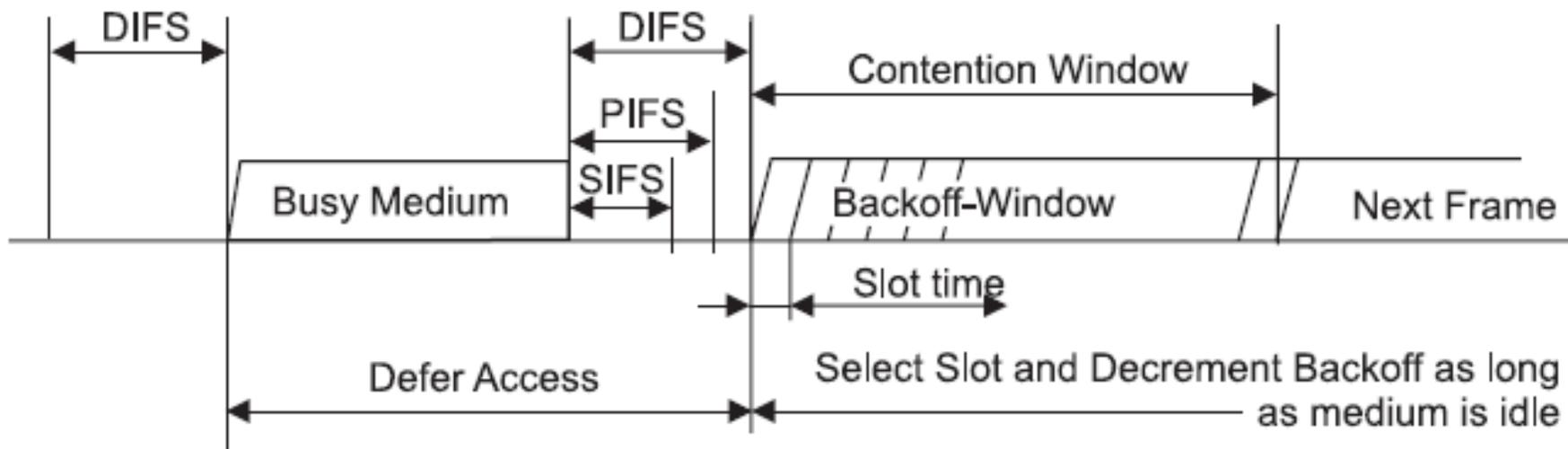
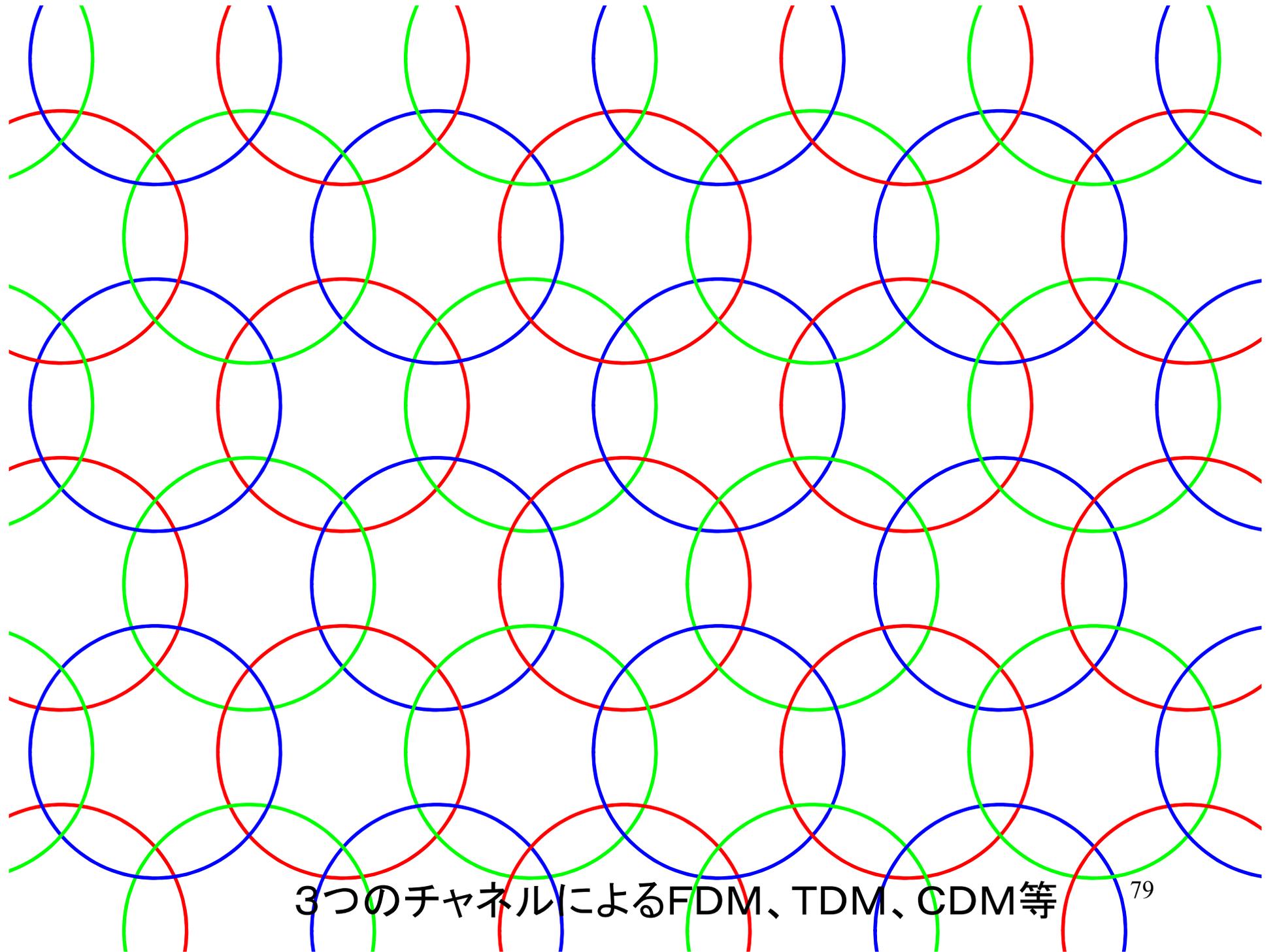


Figure 49—Some IFS relationships

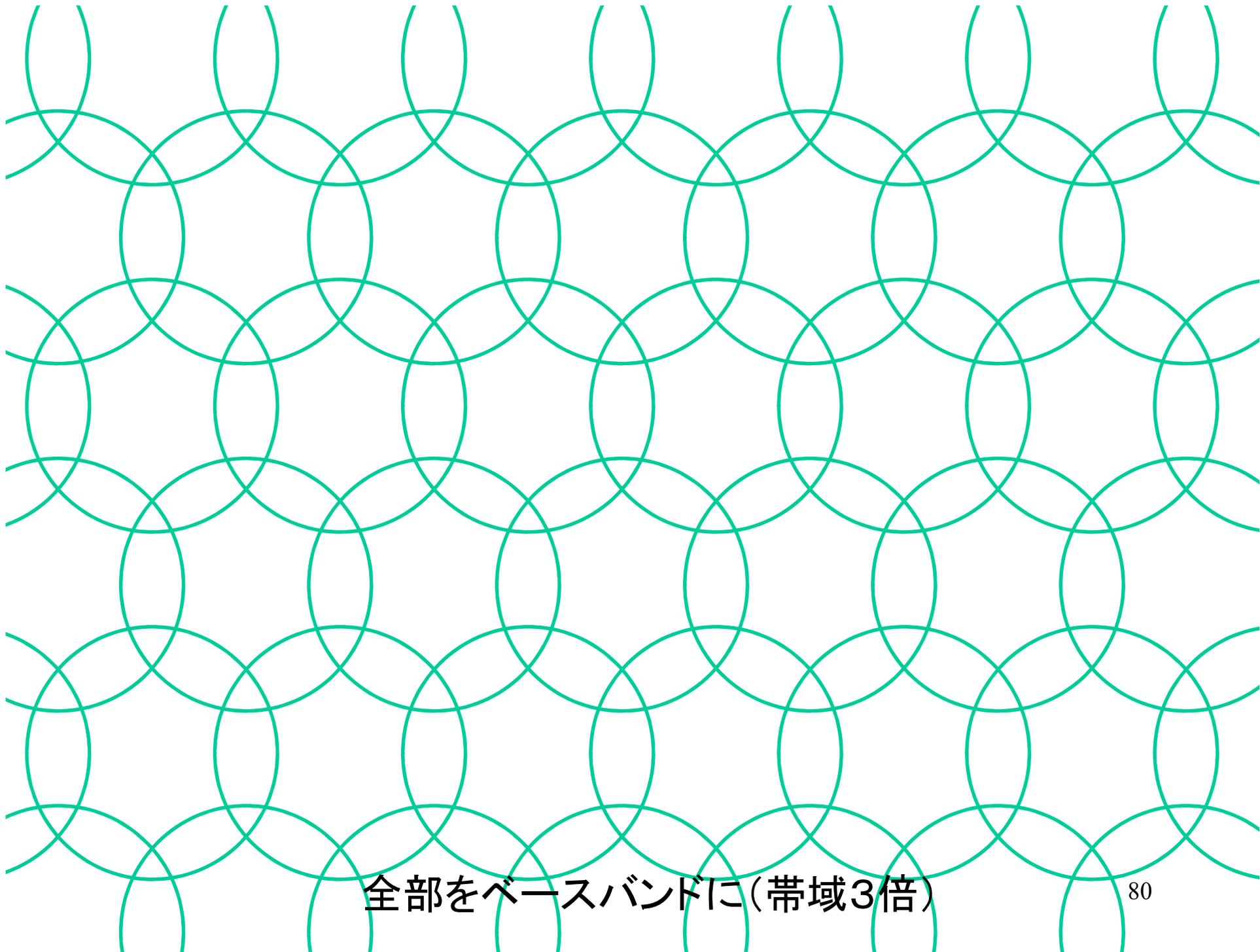
IEEE 802.11規格書より

PDMA (Packet Division Multiple Access)

- 通信スロットをパケット単位で完全に動的に確保する方式(CSMA/CA等)を、セル間の調整に利用する通信パラダイム
 - 全セルで全通信帯域を共有
 - セル間での通信帯域の動的な有効利用が可能
 - セル設計が不要
- CSMA/CA等のオーバーヘッドは問題



3つのチャネルによるFDM、TDM、CDM等



全部をベースバンドに(帯域3倍)

PDMAの特徴

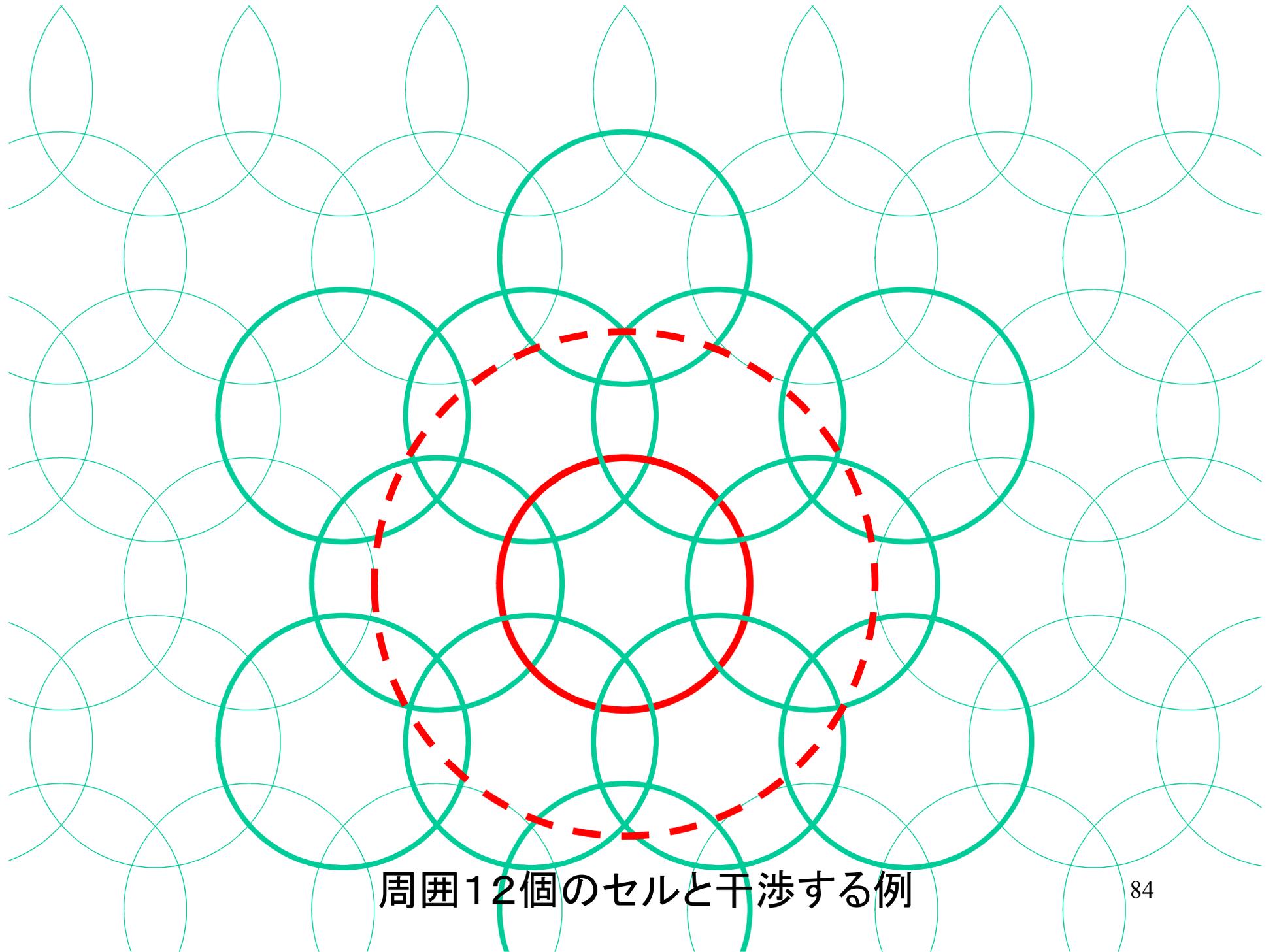
- セル間のスムーズハンドオーバーが容易
 - 単一高周波回路で、Make-before-Break
 - 実は、そもそもの研究の契機
- CSMA/CAの調整はセル間だけでなく
 - 事業者間の調整も自動的に行う
 - 全事業者が全通信帯域を共有可能

セル内での PDMA (CSMA/CA) の効率

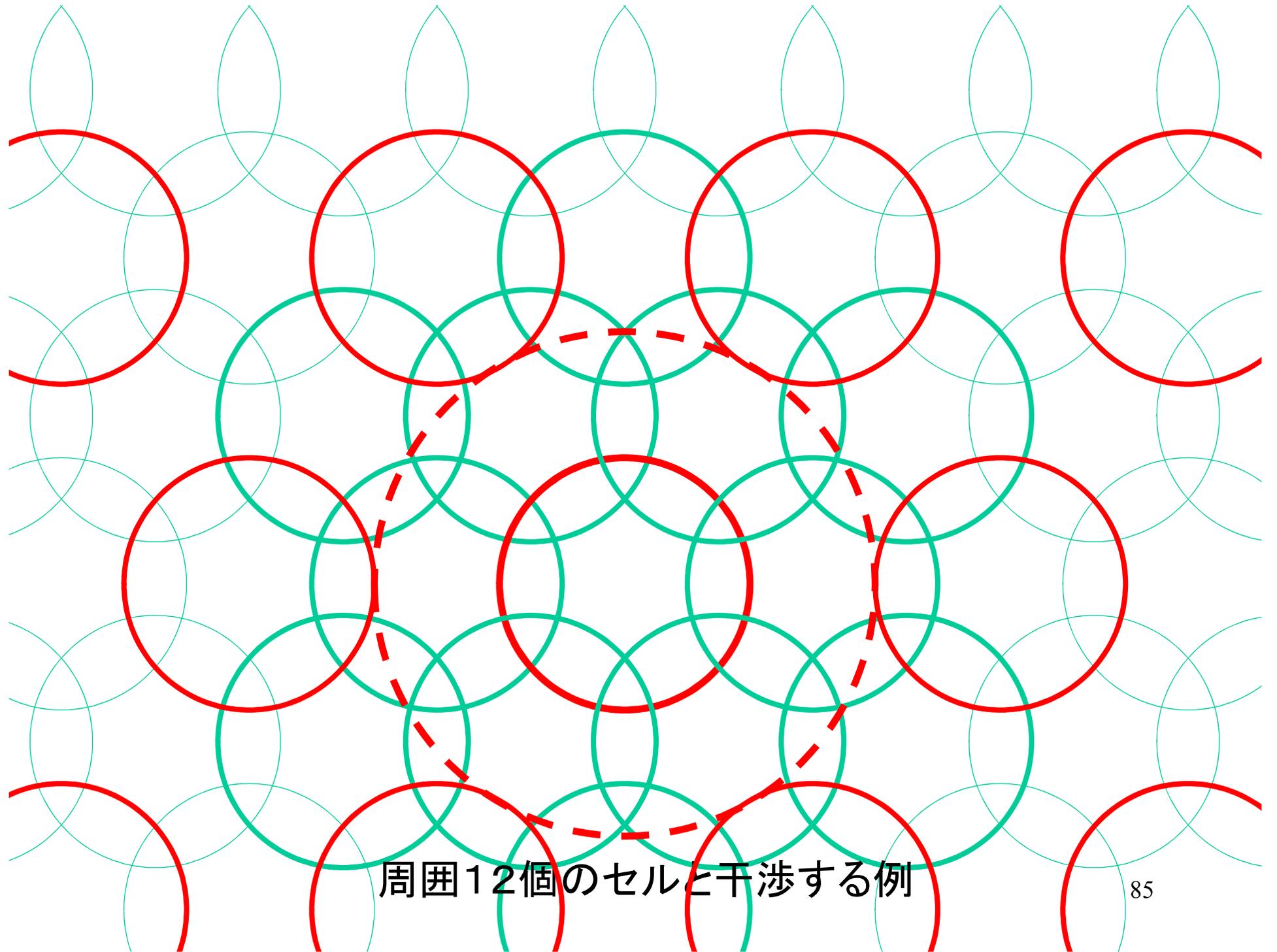
- 802. 11aと同一タイミング、セル半径500m、データリンクヘッダ34B、パケット長1500B、ビットレート100Mbpsで
 - パケット送出時間は
 - $122.7\mu\text{s}$
 - 衝突再送のない場合の平均パケット間隔は
 - $128\mu\text{s}$
 - 実効速度47Mbps、およそ50%の効率

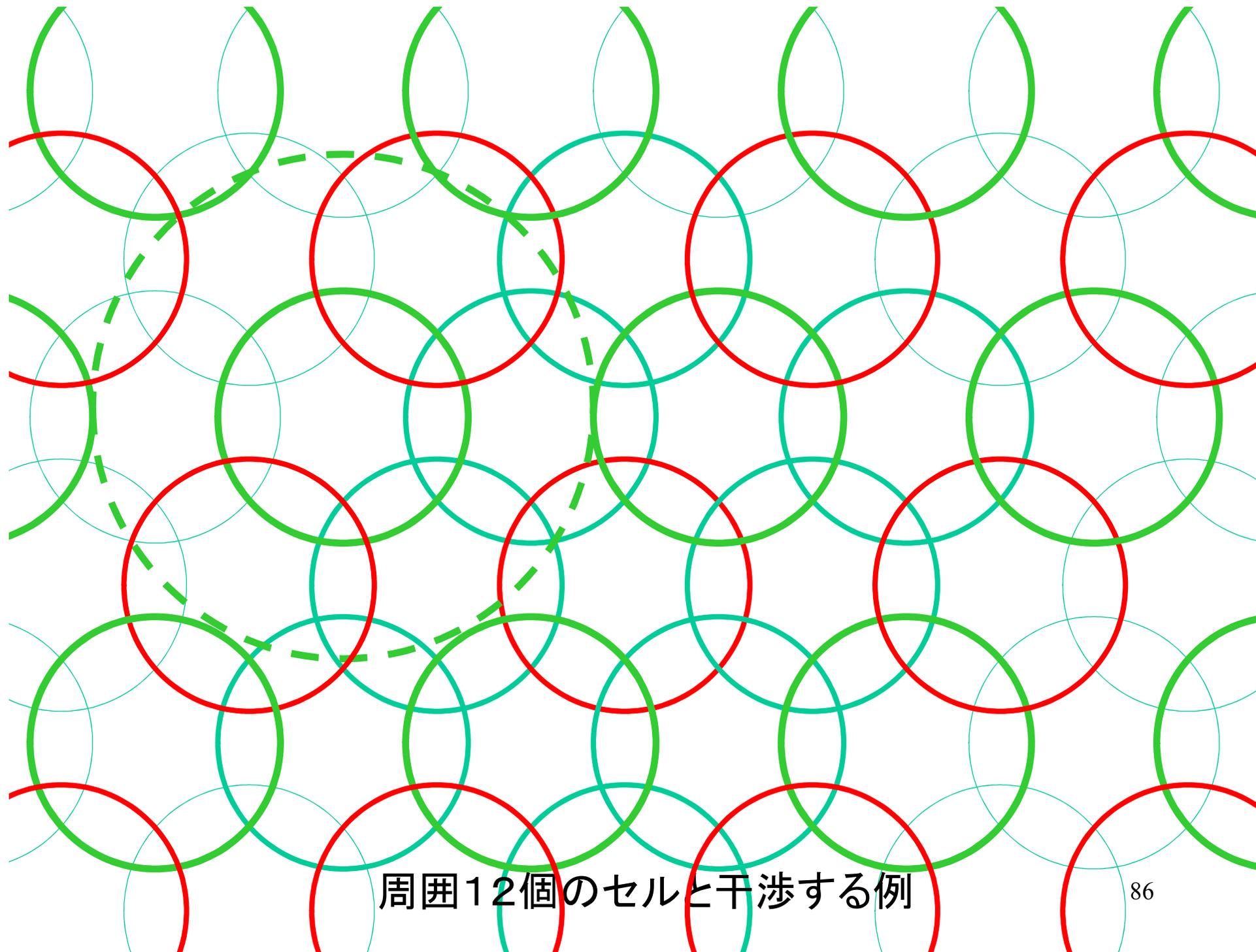
セル間での PDMAの効率

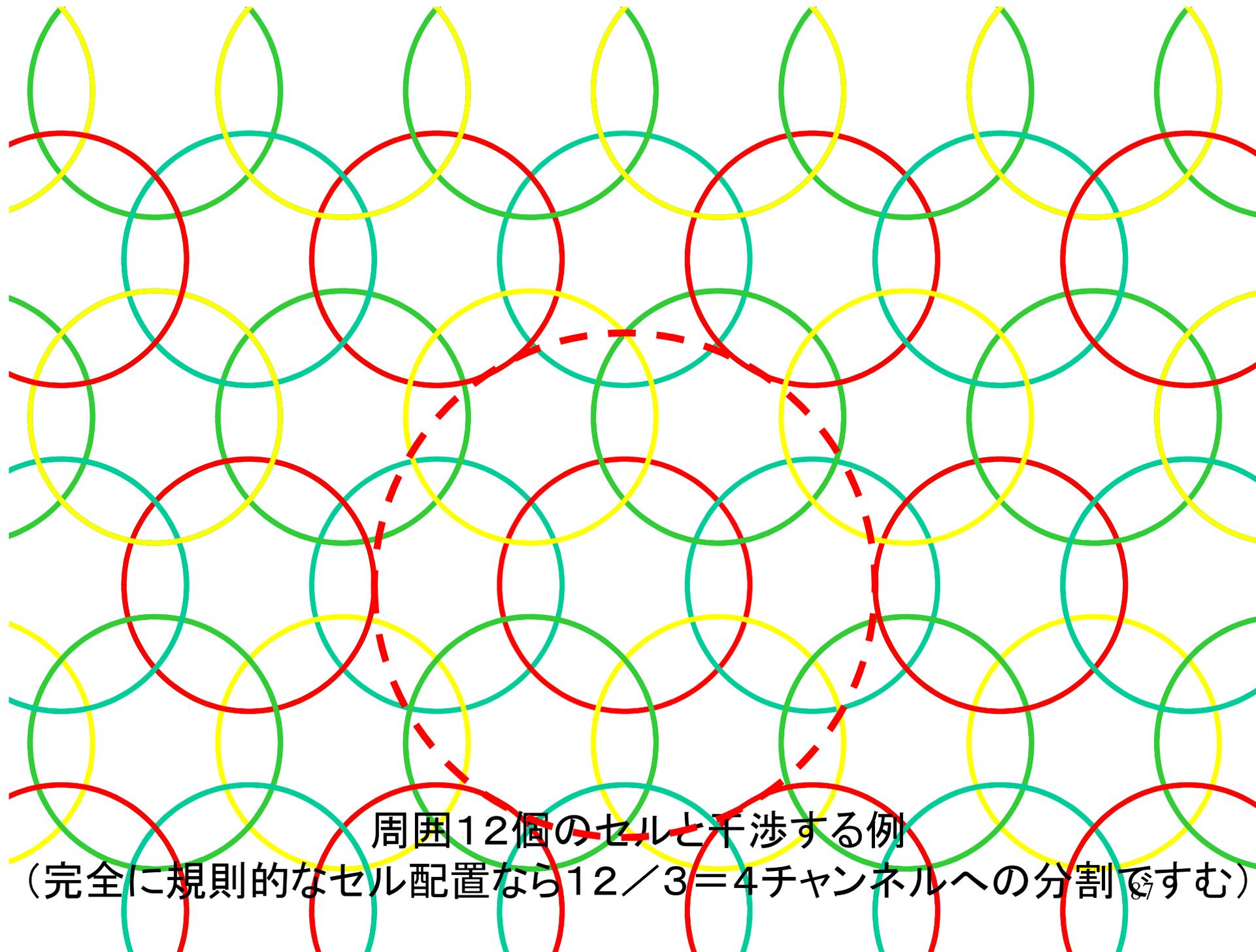
- セル面積を S 、セル内の電波が同じチャネルの通信干渉する領域の面積を I とする
 - 各セルで同一量の通信が定常的にある場合
 - PDMAの各セルは全帯域の S/I が使える
 - TDMA等の各セルが使える帯域は
 - セルが乱雑に配置された場合、全帯域の S/I
 - セルが完全に規則的に配置された場合、3倍程度改善
 - 1セルでのみ通信がある場合
 - PDMAでは自動的に全帯域が使える



周囲12個のセルと干渉する例





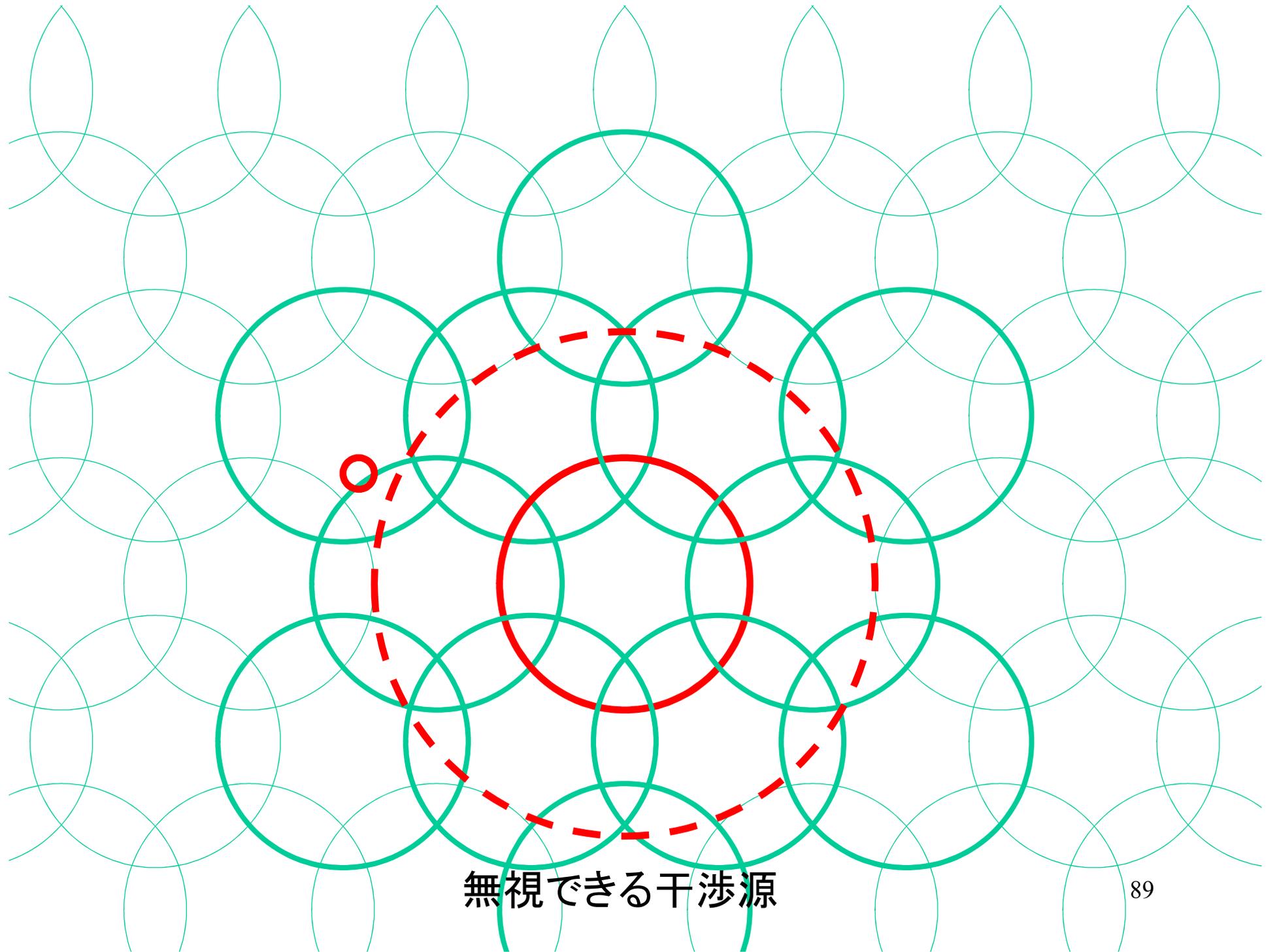


周囲12個のセルと干渉する例

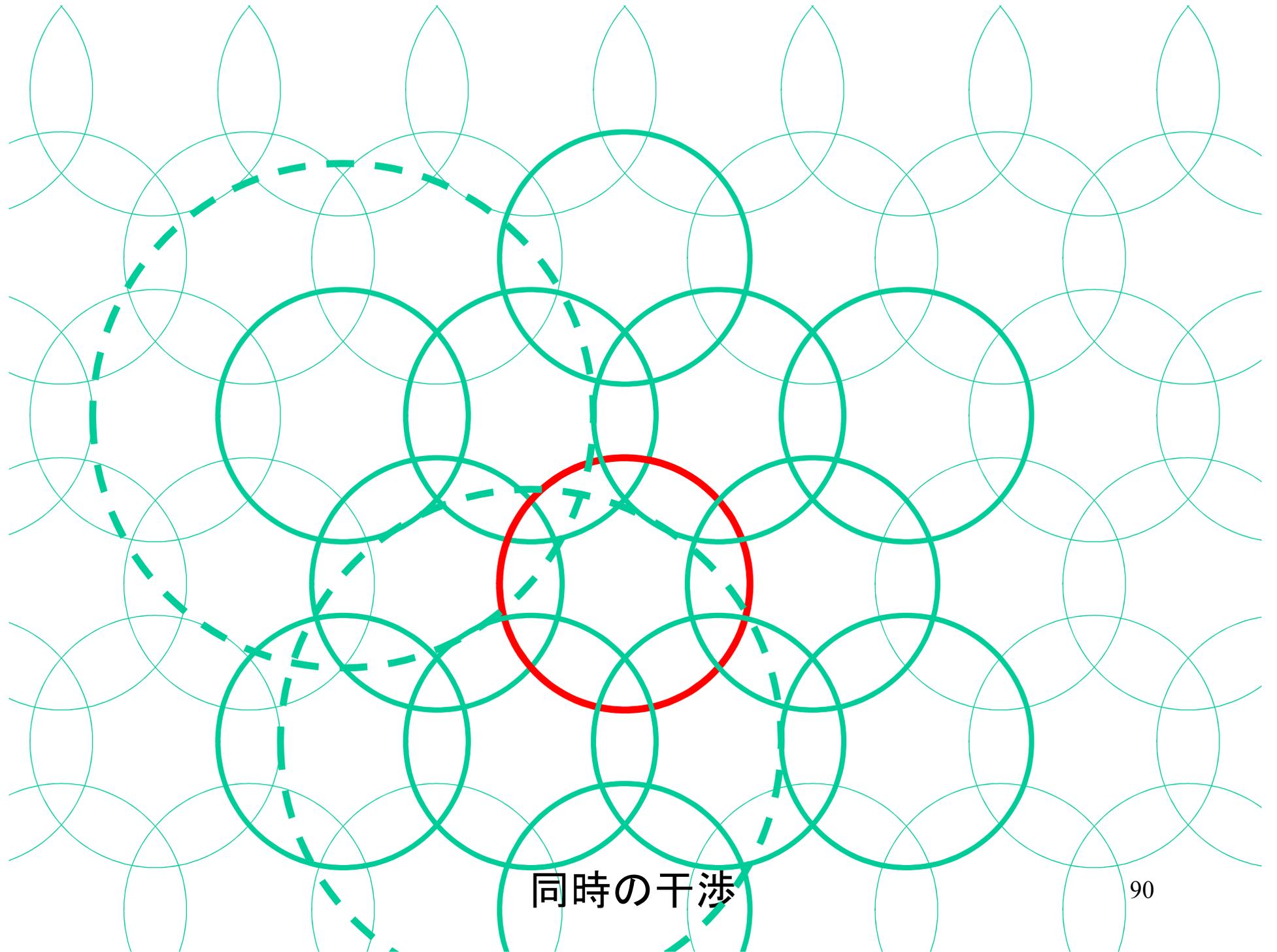
(完全に規則的なセル配置なら $12 / 3 = 4$ チャンネルへの分割ですむ)

PDMAでのセル間の 干渉の実際

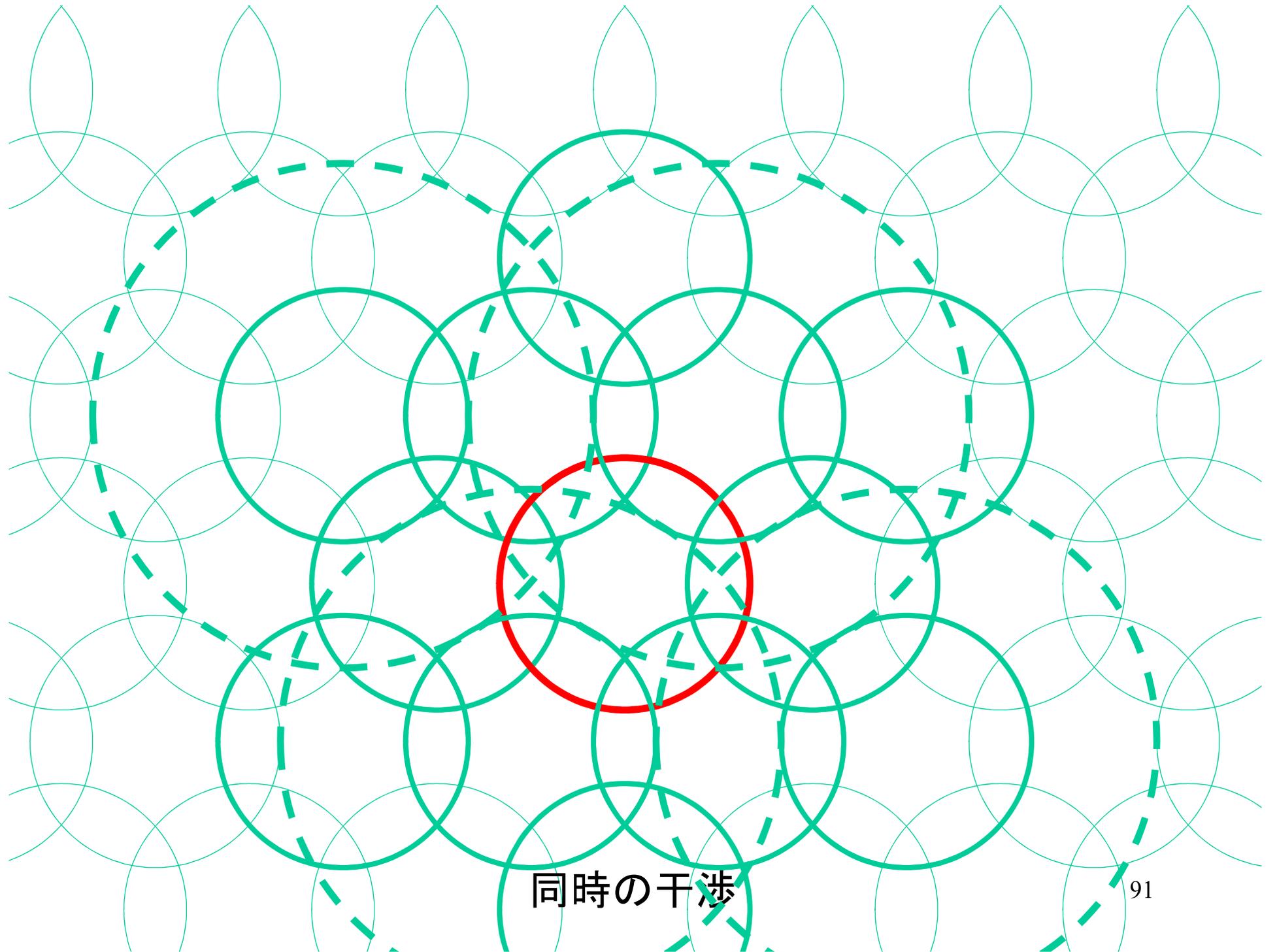
- セル間が相互に干渉しあう位置にあっても
 - 実際に端末がある場所によっては干渉はない
 - セル単位でチャンネルを割り当てる場合には、少しでも干渉範囲にあるセルには別のチャンネルが必要
- セル間が相互に干渉しあう位置にあっても
 - 通信が行われていないセルとの干渉はない
 - セル内の効率の悪さがある程度カバーできる
- 相互に干渉しないセルからの同時干渉



無視できる干渉源



同時の干渉



同時の干渉

ビーコンの頻度

- セル半径を500mとして、500mを300Km/時で移動中に10回のビーコンを拾うとすると
 - ビーコン間隔は0.6秒
- 単一RFで複数チャンネルのビーコンをスキップできない場合は
 - ハンドオーバー時間はチャンネル数分低下
 - PDMAには、この問題は無い

非常時通信とQoS保証

- 802.11規格群では、一般の packets より短めの待ち時間の packets により
 - 高優先度の送出を実現
 - いかにも一般の packets のトラフィックが多くても
 - 高優先度 packets のために、一定の通信帯域が確保される
 - 基地局ビーコンや移動局登録に利用可能
 - 非常時通信に利用可能
 - QoS保証通信に利用可能

PDMAの電波政策上の特徴

- 利用可能な全ての電波帯域を全事業者、全利用者で共有
 - 限られた電波資源を最大限に利用可能
 - 事業者間調整が不要
 - 事業者への電波割り当ても不要
 - 周波数オークションも無意味
- 通常の通信は定額制電波利用料
 - QoS保証通信には、従量制電波利用料

PDMAとIPR

- 802.11技術には
 - 必須特許はない(らしい)
 - 電力制御はむしろ有害か？
- PDMAはパラダイムなので
 - 特許には向かない(?)
 - 既存の実装もある
 - 実際に同じ周波数のセルが重なることは多い

PDMAの今後

- 5GHzでの実証実験済み
 - 108Mbps、移動体、スムーズハンドオーバ
 - <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h17/050601-1/050601-1.html>
- 4. 9GHz帯では、免許不要で実運用可能