

第 6 章

スループットとMACレイヤの高機能化

7/19 T4 中村

802.11a/g/bのスループットの計算

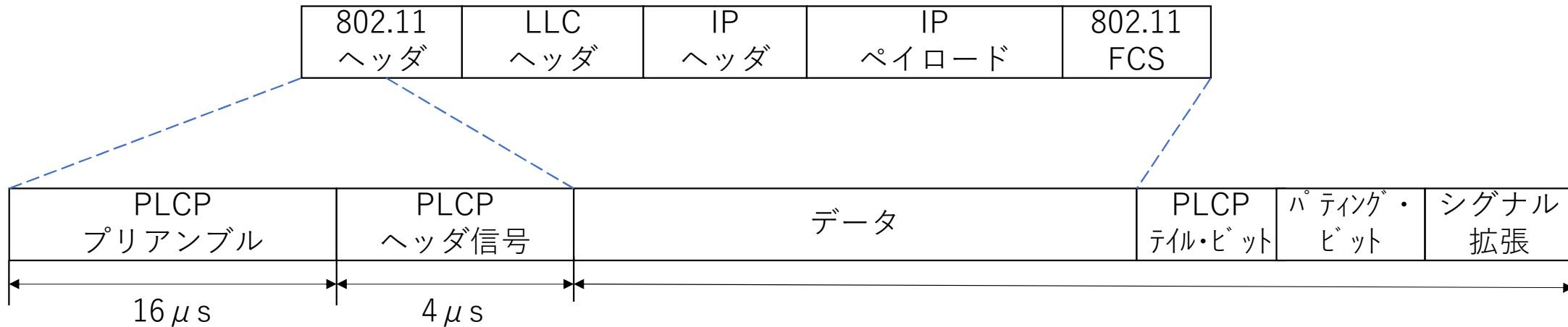
復習

スループットとは

→データの転送効率 単位時間当たりのペイロードの量 単位[bps]

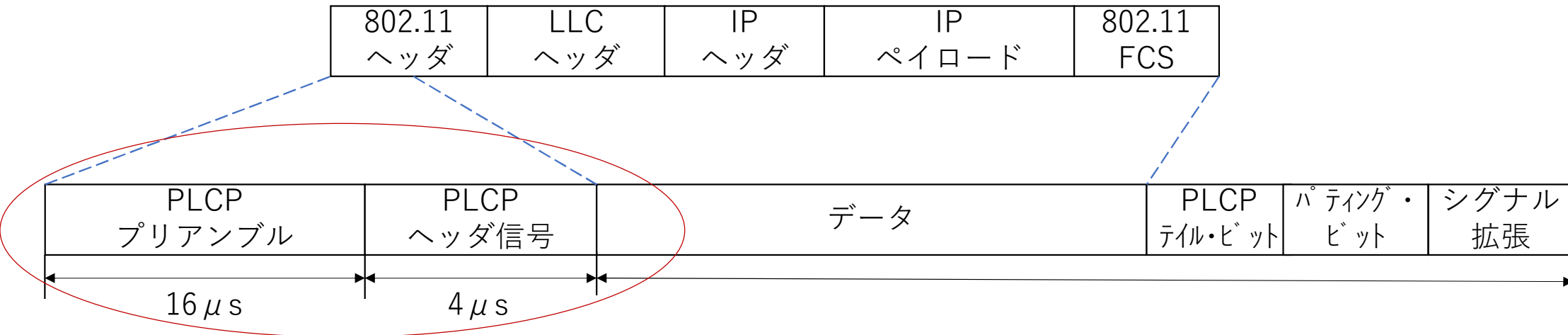
- 802.11a/gの無線伝送レートは最大54[Mbps]
- 802.11bの無線伝送レートは最大11[Mbps]

802.11a/gのPLCPフレーム・フォーマット



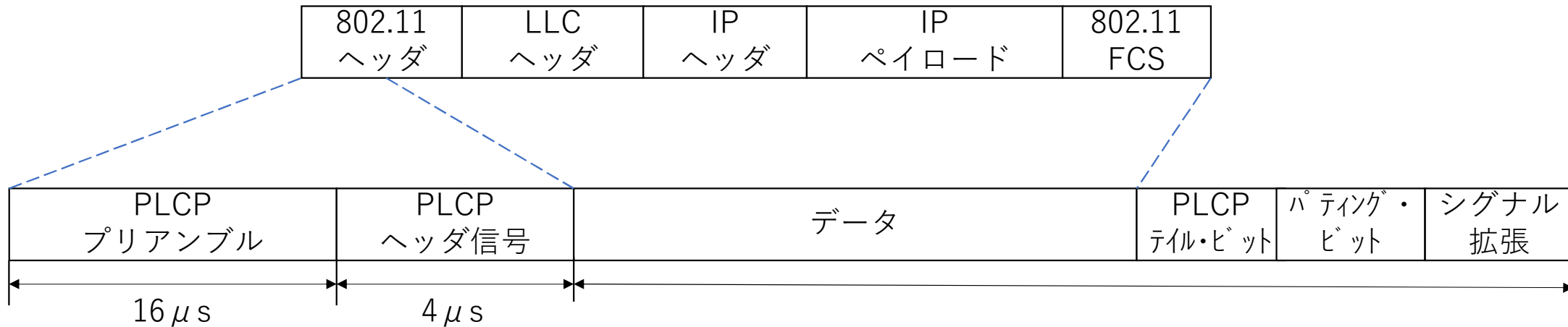
- LLC(Logical Link Control)ヘッダ
エラー制御やフレーム制御などの機能
- IP(Internet Protocol)ヘッダ
IPバージョン・送信元アドレス・宛先アドレスなどが格納
- FCS(Frame Check Sequence)
データに付加される誤り検出符号

802.11a/gのPLCPフレーム・フォーマット



- PLCP(Physical Layer Convergence Protocol)プリアンブル
同期をとるために、フレームの先頭に追加されるビット列
- PLCPヘッダ信号
変調方式(伝送速度)、データ長などの情報があるヘッダ

802.11a/gのPLCPフレーム・フォーマット



- PLCPテイル・ビット

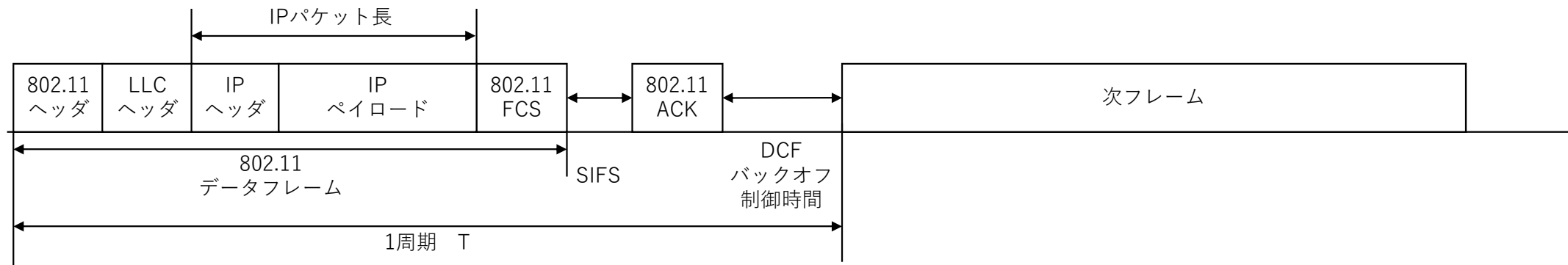
PLCPヘッダ信号に対応する信号

- パディング・ビット

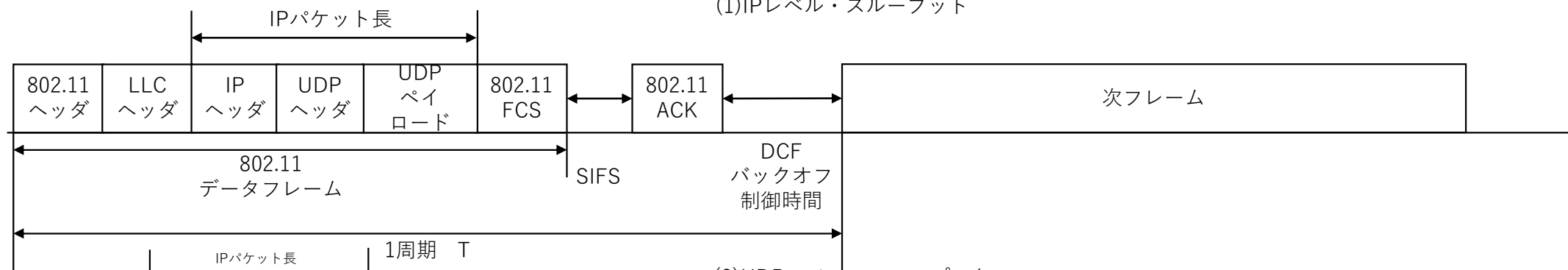
フレーム長を $4\mu s$ の整数倍の長さになるように調整する機能

- シグナル拡張

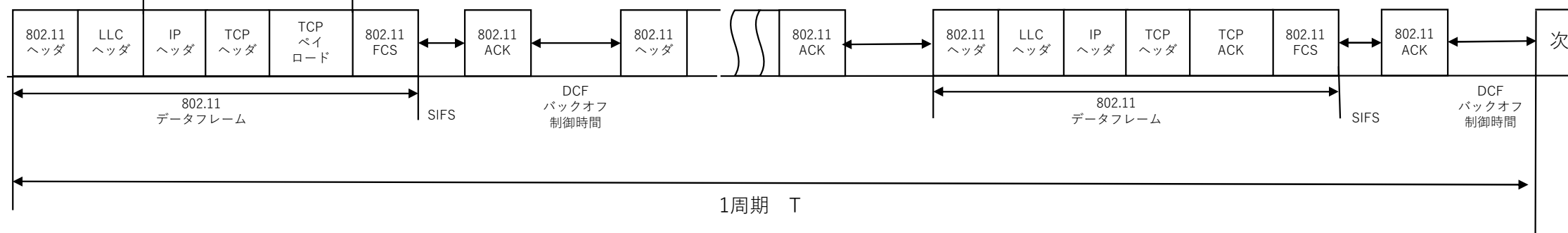
802.11/gの場合のみ信号 $6\mu s$ の無信号期間を付加



(1)IPレベル・スループット



(2)UDPレベル・スループット



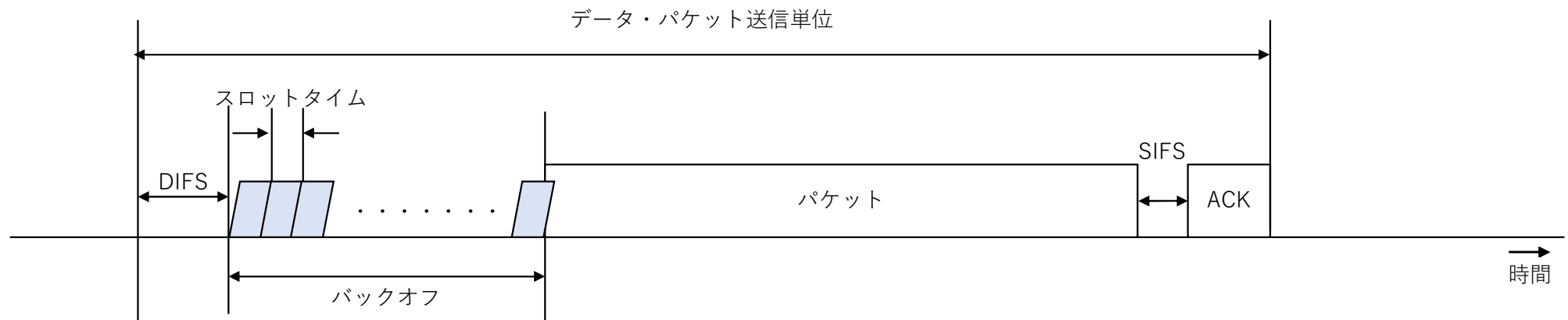
(3)TCPレベル・スループット

DCF(Distributed Coordination Function)

- DCFバックオフ制御時間の平均

$$\text{DIFS} + \text{CWmin} \times \text{スロットタイム} / 2$$

$\text{CWmin} \times \text{スロットタイム} / 2 \rightarrow 2$ 進数バックオフ制御のバックオフ時間



- IEEE802.11ACKフレーム長[μs]

PLCPプリアンプル+{PLCPヘッダ(ヘッダ)+ラウンドアップ{{PLCPヘッダ(サービス)+802.11ACKフレーム+FCS+tail}/OFDMシンボルごとのデータビット}} $\times 4$

$=16+\{1+\text{ラウンドアップ}\{(16+10\times 8+4\times 8+6)/\text{OFDMシンボルごとのデータビット}\}\}\times 4$

- IEEE802.11データフレーム長[μs]

PLCPプリアンプル+{PLCPヘッダ(ヘッダ)+ラウンドアップ{{PLCPヘッダ(サービス)+802.11MACヘッダ+LLCヘッダ+IPパケット+FCS+tail}/OFDMシンボルごとのデータビット}} $\times 4$

$=16+\{1+\text{ラウンドアップ}\{16+24\times 8+8\times 8+1500\times 8+4\times 8+6/\text{OFDMシンボルごとのデータビット}\}\}\times 4$

- IEEE802.11データフレーム長 $[\mu s]$ (TCP-ACKパケットの場合)

PLCPプリアンプル+{PLCPヘッダ(ヘッダ)+ラウンドアップ{{PLCPヘッダ(サービス)+802.11MACヘッダ+LLCヘッダ+TCP-ACKパケット+FCS+tail}/OFDMシンボルごとのデータビット}} $\times 4$

$=16+\{1+\text{ラウンドアップ}\{16+24\times 8+8\times 8+40\times 8+4\times 8+6/\text{OFDMシンボルごとのデータビット}\}\}\times 4$

- 802.11aのSIFS

SIFS : $16[\mu s]$ スロットタイム : $9[\mu s]$

- 802.11gのSIFS

SIFS : $10[\mu s]$ スロットタイム : $20[\mu s]$

ショートスロットタイム : $9[\mu s]$

- OFDMシンボルごとのデータビット

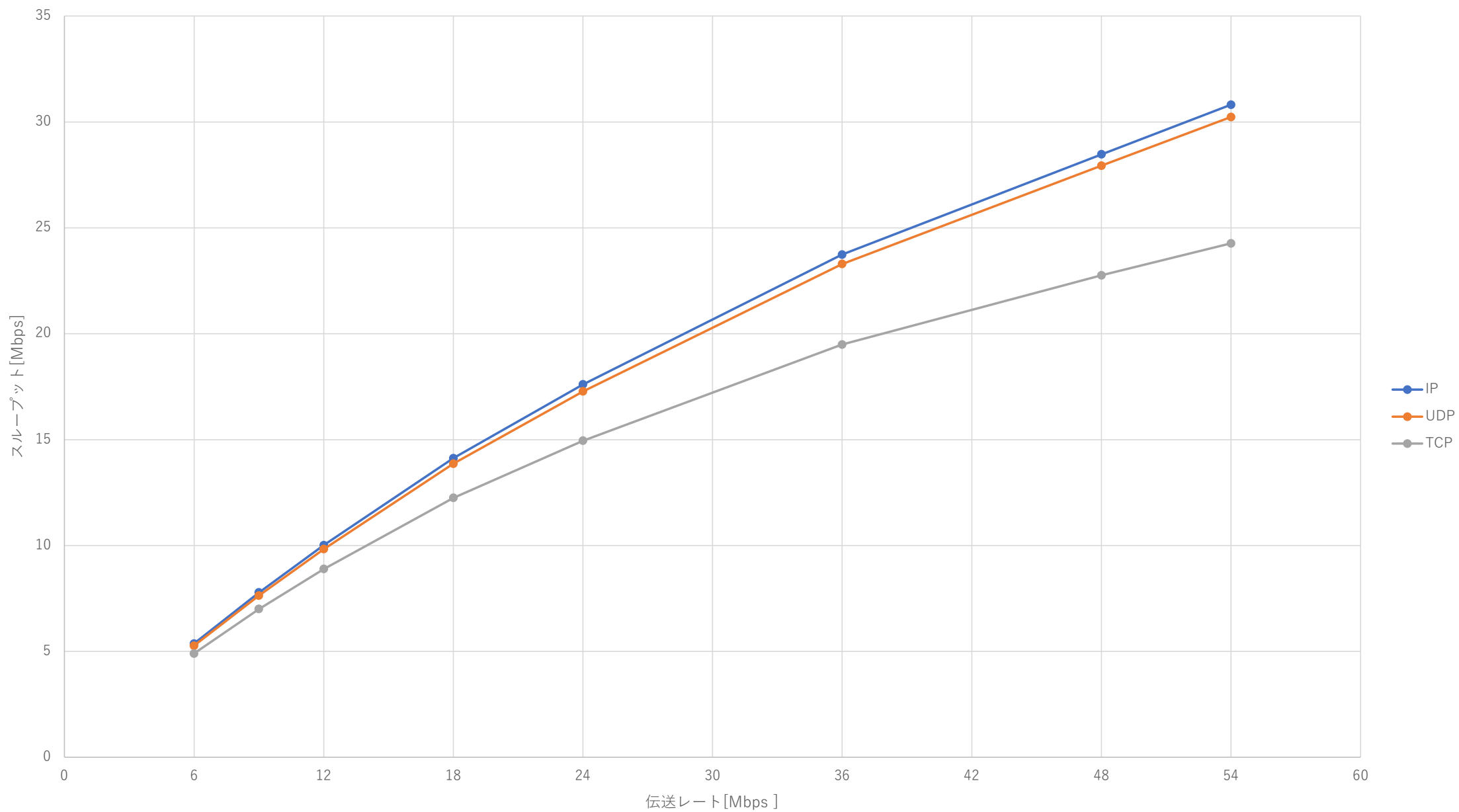
OFDMシンボルごとのデータビット	
伝送レート[Mbps]	データビット[bit]
6	24
9	36
12	48
18	72
24	96
36	144
48	192
54	216

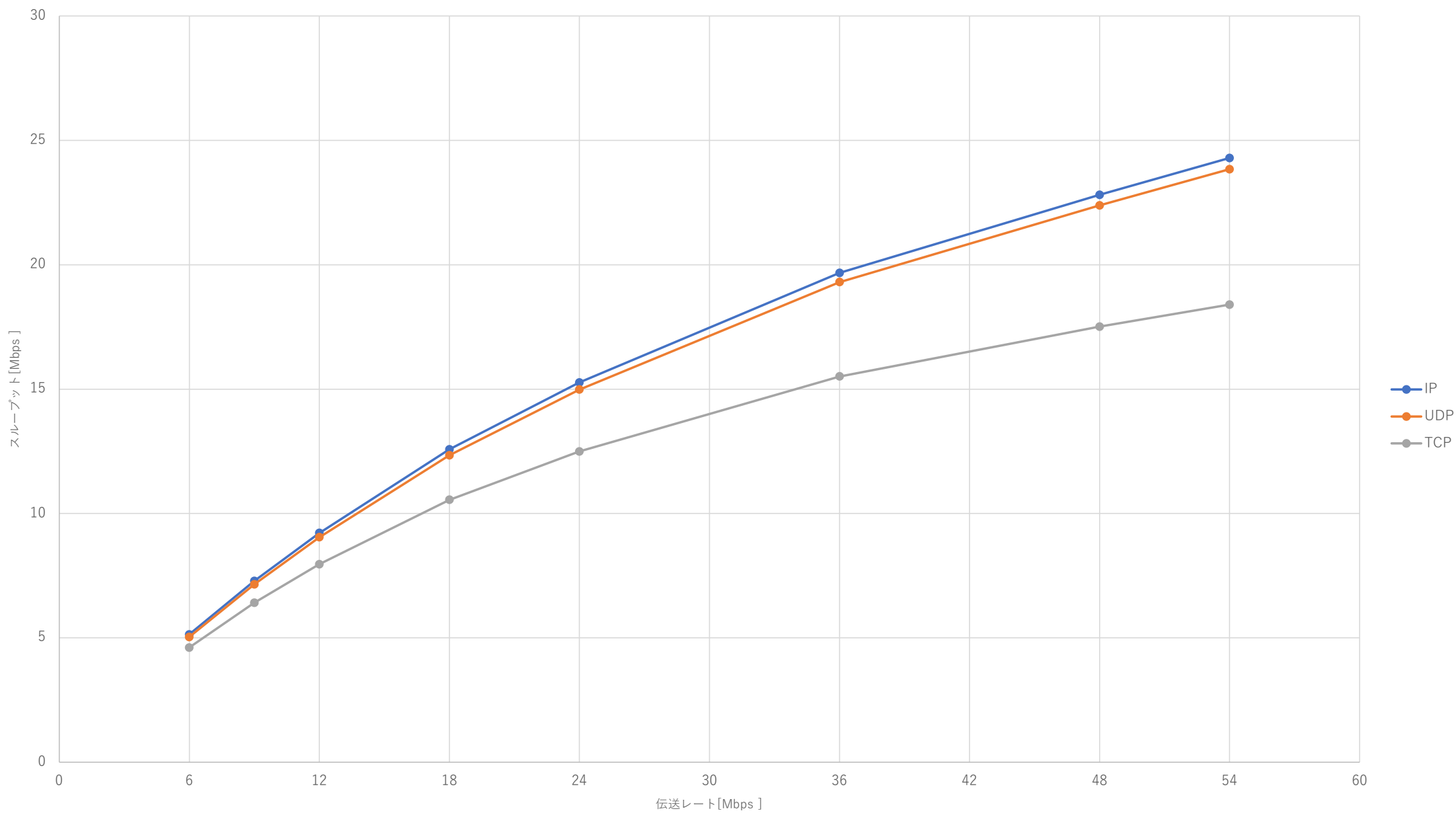
- ラウンドアップ

小数点以下を繰り上げ

UDPペイロード長=1472[byte]

TCPペイロード長=1460[byte]





- 802.11aのDCFバックオフ制御平均時間

$$\text{DIFS} + \text{CWmin} \times \text{スロットタイム} / 2$$

$$= 34 + 15 \times 9 / 2$$

$$= 101.5$$

- 802.11gのDCFバックオフ制御平均時間(スロットタイム使用時)

$$\text{DIFS} + \text{CWmin} \times \text{スロットタイム} / 2$$

$$= 56 + 15 \times 20 / 2$$

$$= 206$$

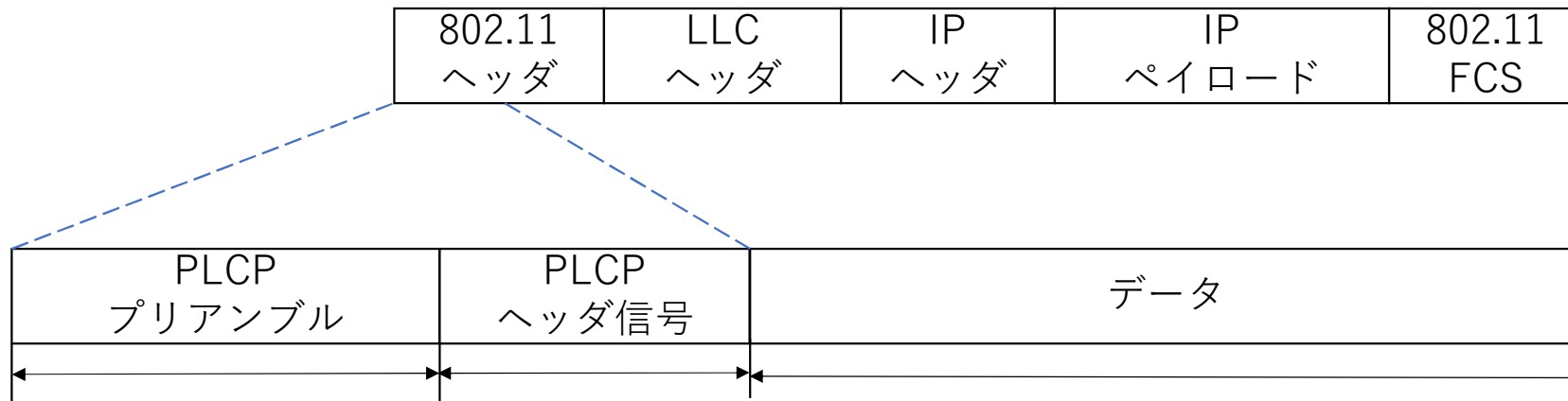
- 802.11gのDCFバックオフ制御平均時間(スロットタイム使用時)

$$\text{DIFS} + \text{CWmin} \times \text{スロットタイム} / 2$$

$$= 34 + 15 \times 9 / 2$$

$$= 101.5$$

802.11bのPLCPフレーム・フォーマット



- ロングプリアンブルとショートプリアンブル

801.11b では高速化オプションとして 2[Mbps] 変調 96[μ s]のモードが追加された

メリット

伝送速度が速い

デメリット

通信範囲が狭い

- IEEE802.11ACKフレーム長[s]

PLCPプリアンプル+PLCPヘッダ/ PLCPヘッダ伝送レート

+ (802.11ACKフレーム+FCS)/伝送レート

=144+48/1[Mbps] +(10×8+4×8)/伝送レート[Mbps](ロング)

=72+48/2[Mbps] +(10×8+4×8)/伝送レート[Mbps](ショート)

- IEEE802.11データフレーム長[s]

PLCPプリアンプル+PLCPヘッダ/ PLCPヘッダ伝送レート

+ (802.11MACヘッダ+LLCヘッダ+IPパケット+FCS)/伝送レート

= 144+48/1[Mbps] +(24×8+8×8+1500×8+4×8)/伝送レート[Mbps](ロング)

= 72+48/2[Mbps] +(24×8+8×8+1500×8+4×8)/伝送レート[Mbps](ショート)

- IEEE802.11ACKフレーム長[s]

PLCPプリアンプル+PLCPヘッダ/ PLCPヘッダ伝送レート

+ (802.11MACヘッダ+LLCヘッダ+TCP-ACKパケット+FCS)/伝送レート

=144+48/1[Mbps] +(24×8+8×8+40×8+4×8)/伝送レート[Mbps](ロング)

=72+48/2[Mbps] +(24×8+8×8+40×8+4×8)/伝送レート[Mbps](ショート)

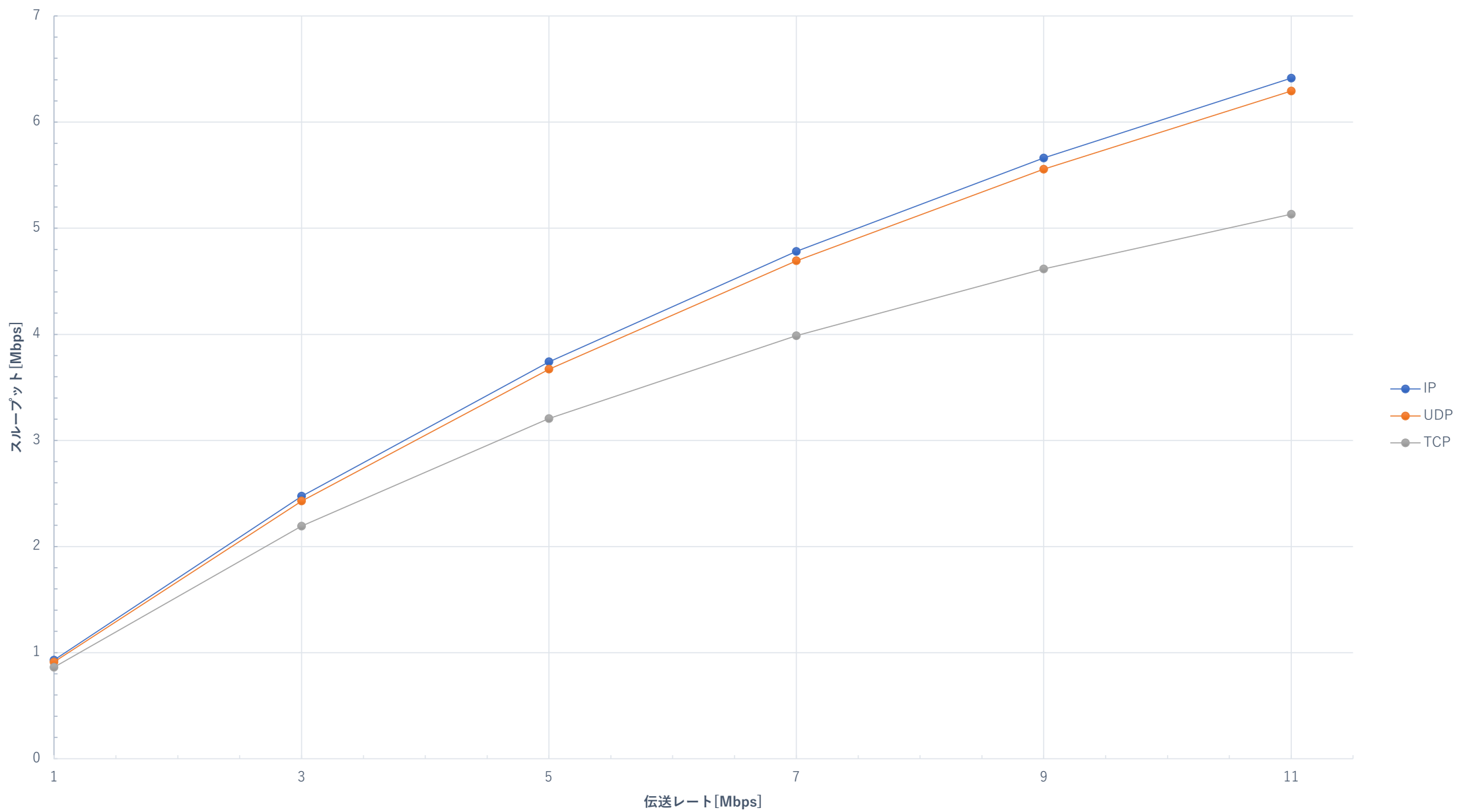
- フレーム感覚

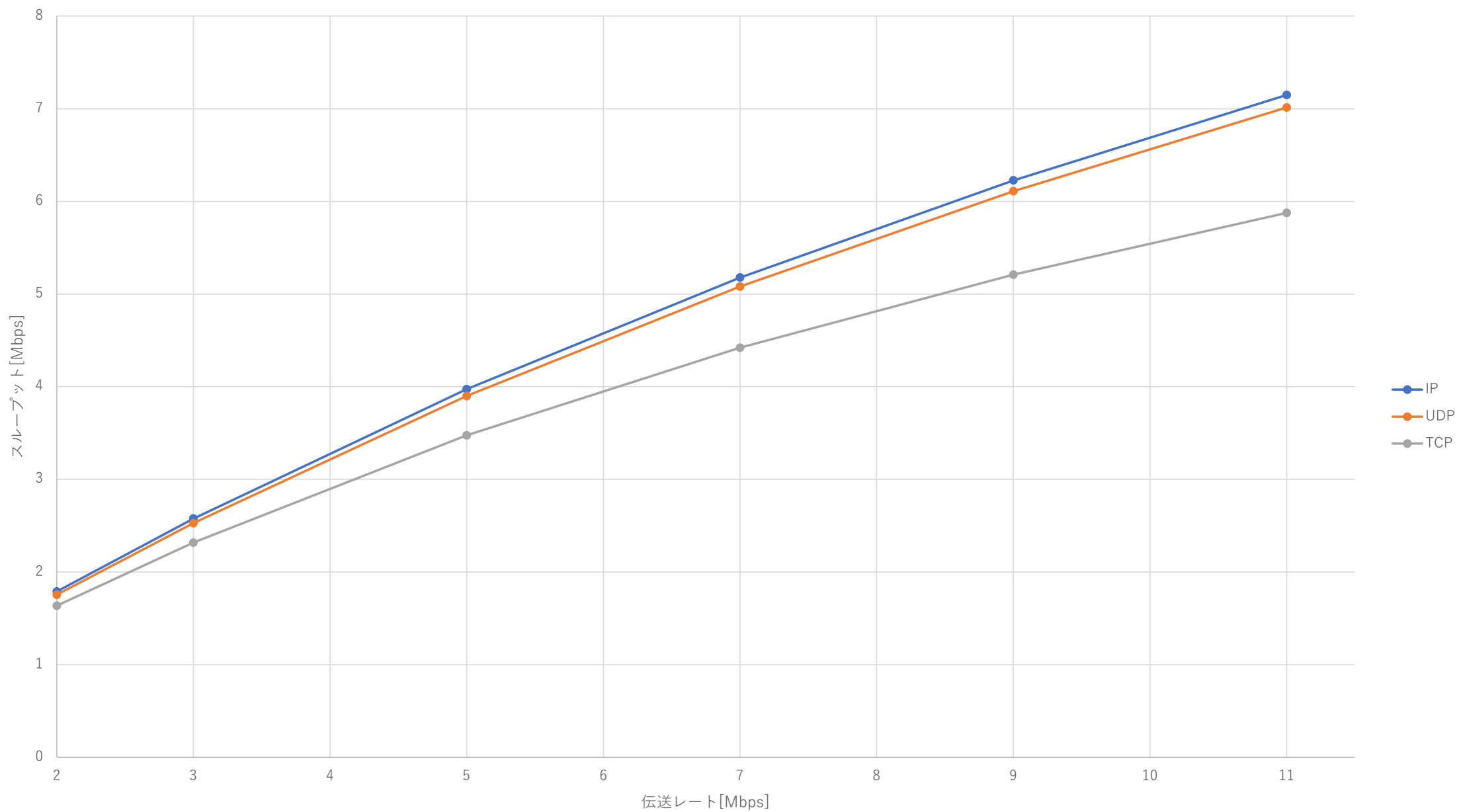
SIFS 10[s]

DCFバックオフ制御平均時間=DIFS+CWmin×スロットタイム/2

=50+31×20/2

=360



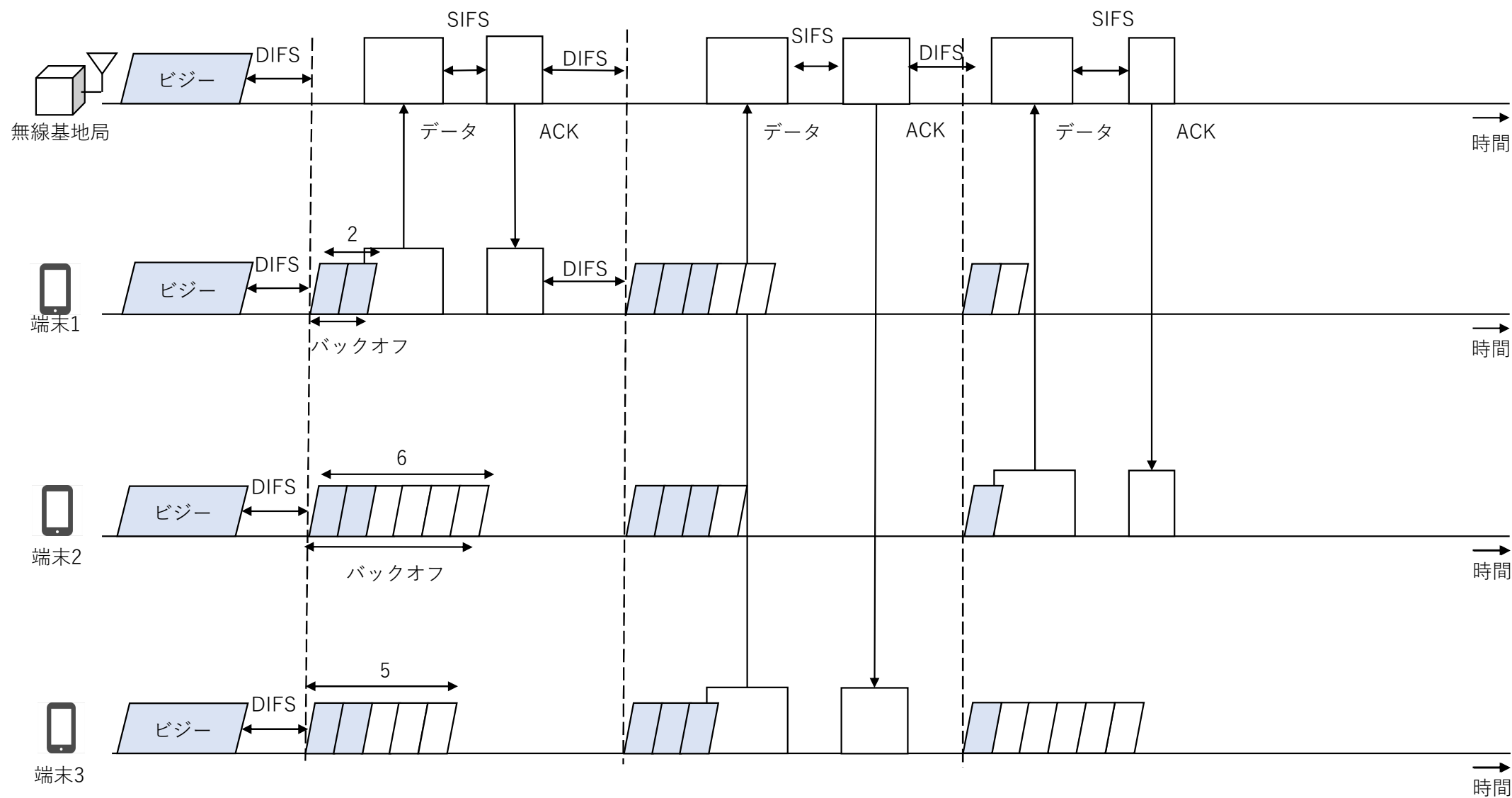


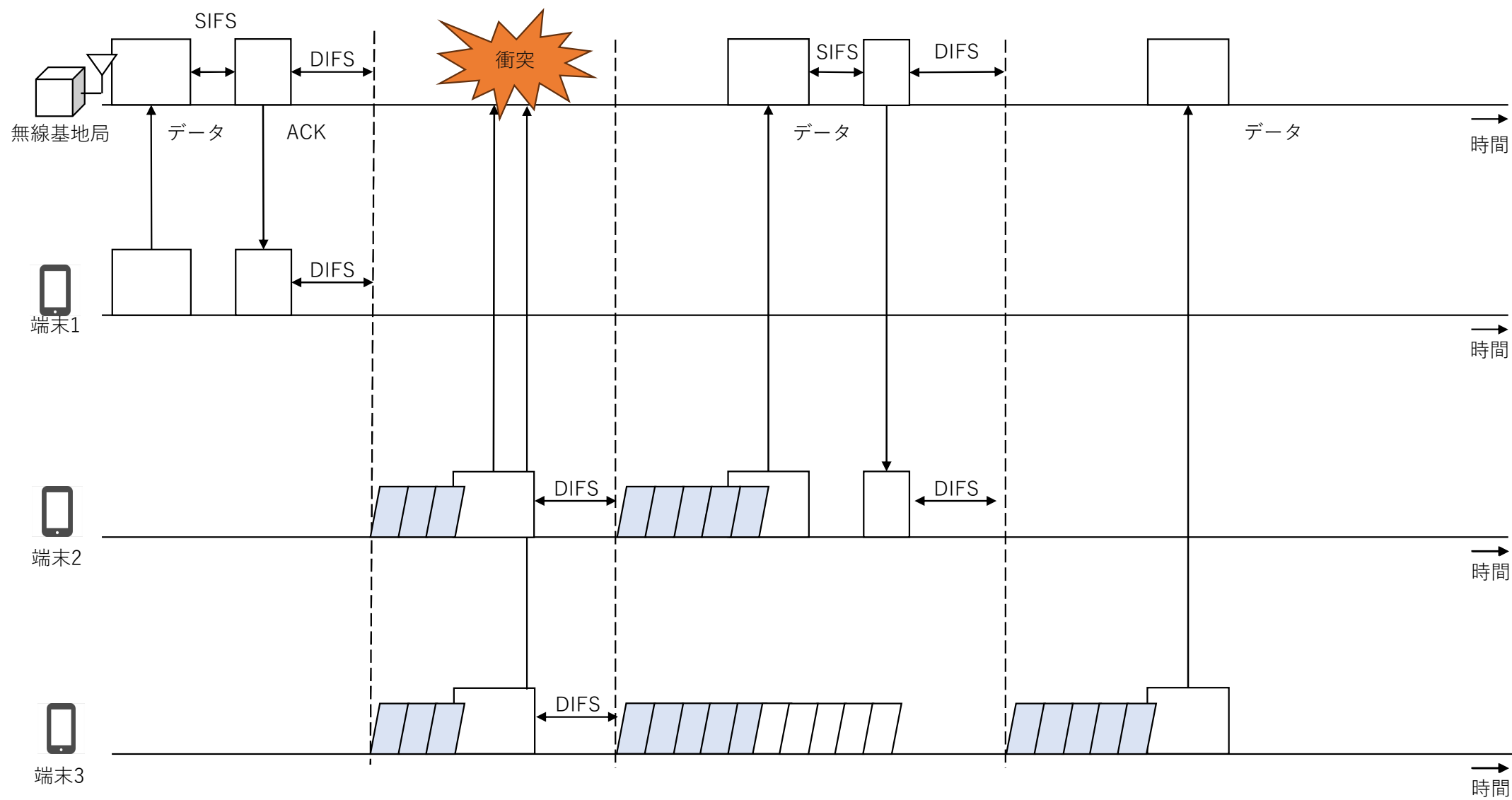
CSMA/CAの2進数バックオフ制御の特性

- 無線アクセス制御方式のスループット

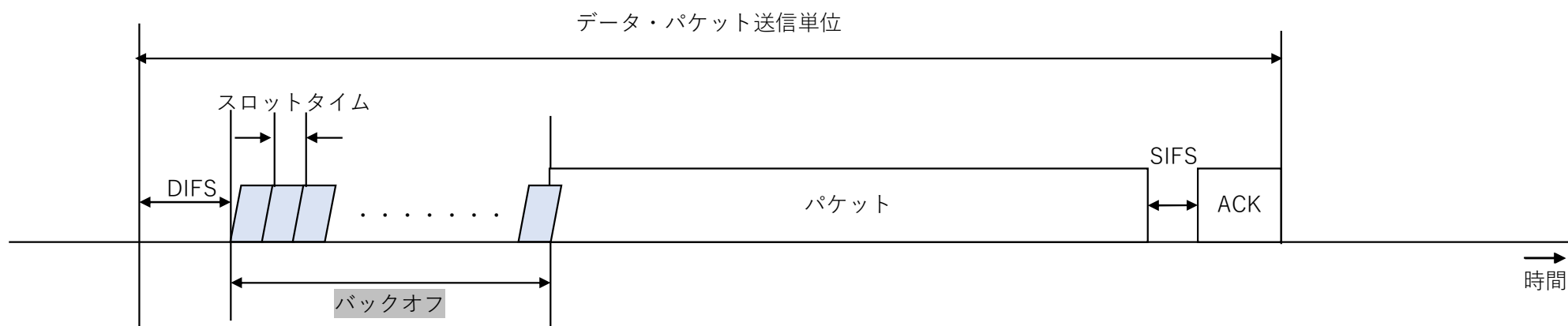
$$\text{スループット} = \frac{\text{送信が成功したデータトラフィック}}{\text{送信しようとしているデータトラフィック}}$$

スループットを計算することでアクセス制御方式による無線チャネルの利用効率を計算できる





再送信回数	CW	
	802.11a	802.11b
0	15	31
1	31	63
2	63	127
3	127	255
4	255	511
5	511	1023
6	1023	1023

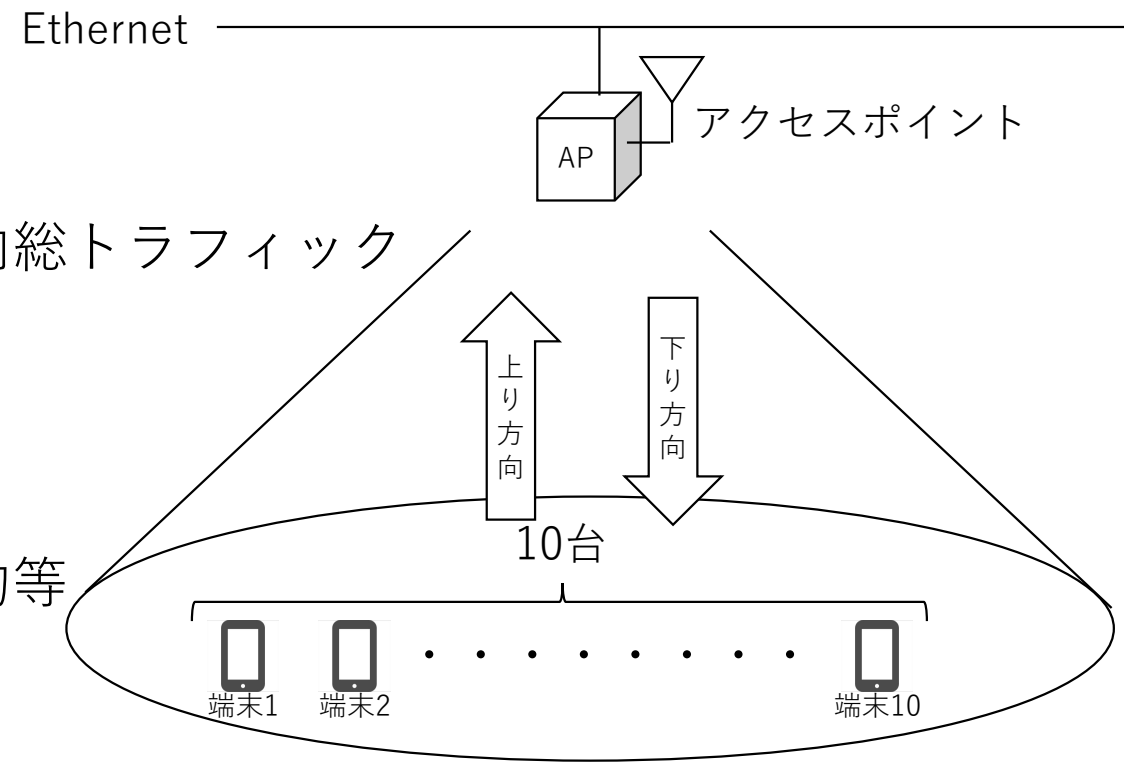


$$\text{バックオフ時間} = (\text{CWmin} \times \text{スロットタイム}) / 2$$

802.11a/b無線LANのスループット特性

設定

- 単一セル
- 上り方向総トラフィック = 下り方向総トラフィック
- 端末数：10
- 端末からのトラフィック：すべて均等



- 結果

送信トラフィック量が増加するとともにスループットも増加するが最大スループットを達した後もトラフィック量を増加させるとわずかにスループットが低下する

- 802.11aと802.11bを比較すると...

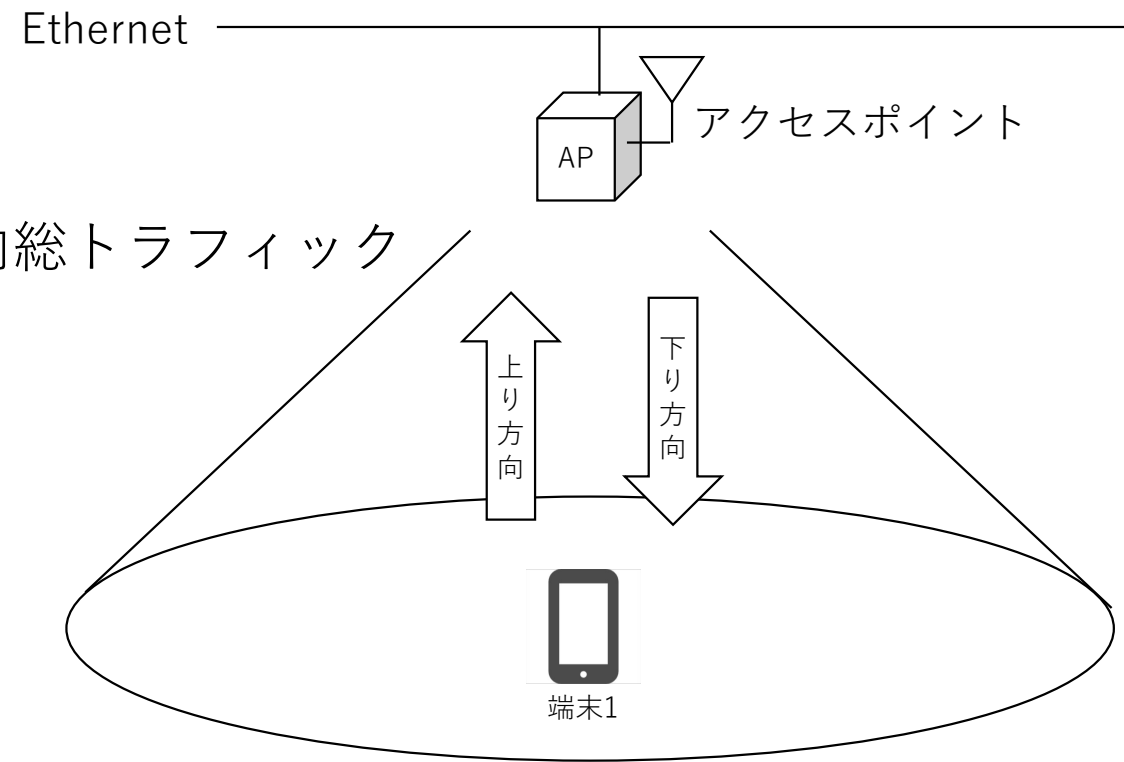
802.11aのほうがスループットの低下度合いが大きい

→802.11aのCWminの値が802.11bのCWminの値の半分で端末が多くなると衝突確率が802.11 b より高くなるためであると考えられる

802.11b準拠無線LANのスループット特性

設定1

- 単一セル
- 上り方向総トラフィック = 下り方向総トラフィック
- 端末数：1



- 結果

最大スループットを達した後もトラフィック量を増加させてもスループットはほとんど低下しない

→データパケットの衝突が起こっていない

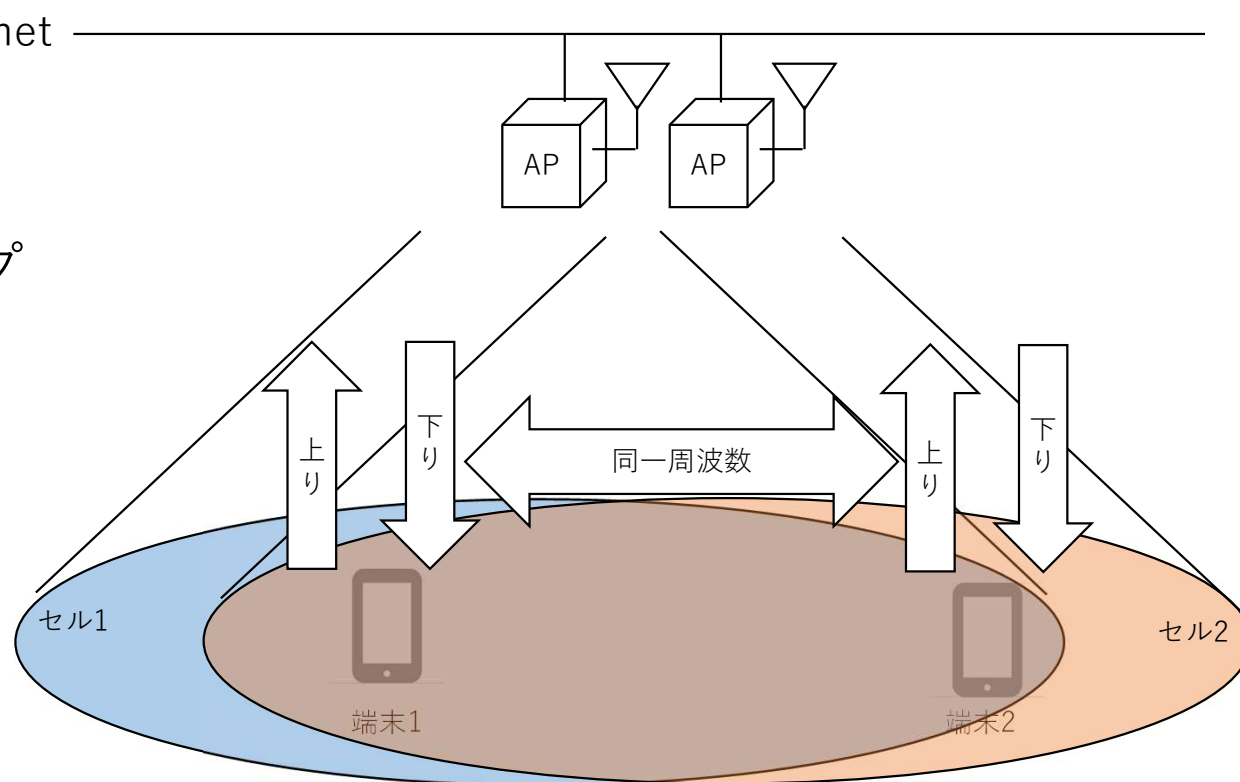
- データサイズを変える

データサイズを小さくするとスループットは低下する

→一周期のパケットの大きさに対するオーバーヘッド(ACK,ヘッダ,SIFS,DIFS)の割合が大きくなるため

設定2

- セル数：2(同一周波数)
- 上り方向総トラフィック＝下り方向総トラフィック
- 端末数：1(各セルごと)
- セル1,2はほぼオーバーラップ



- 結果

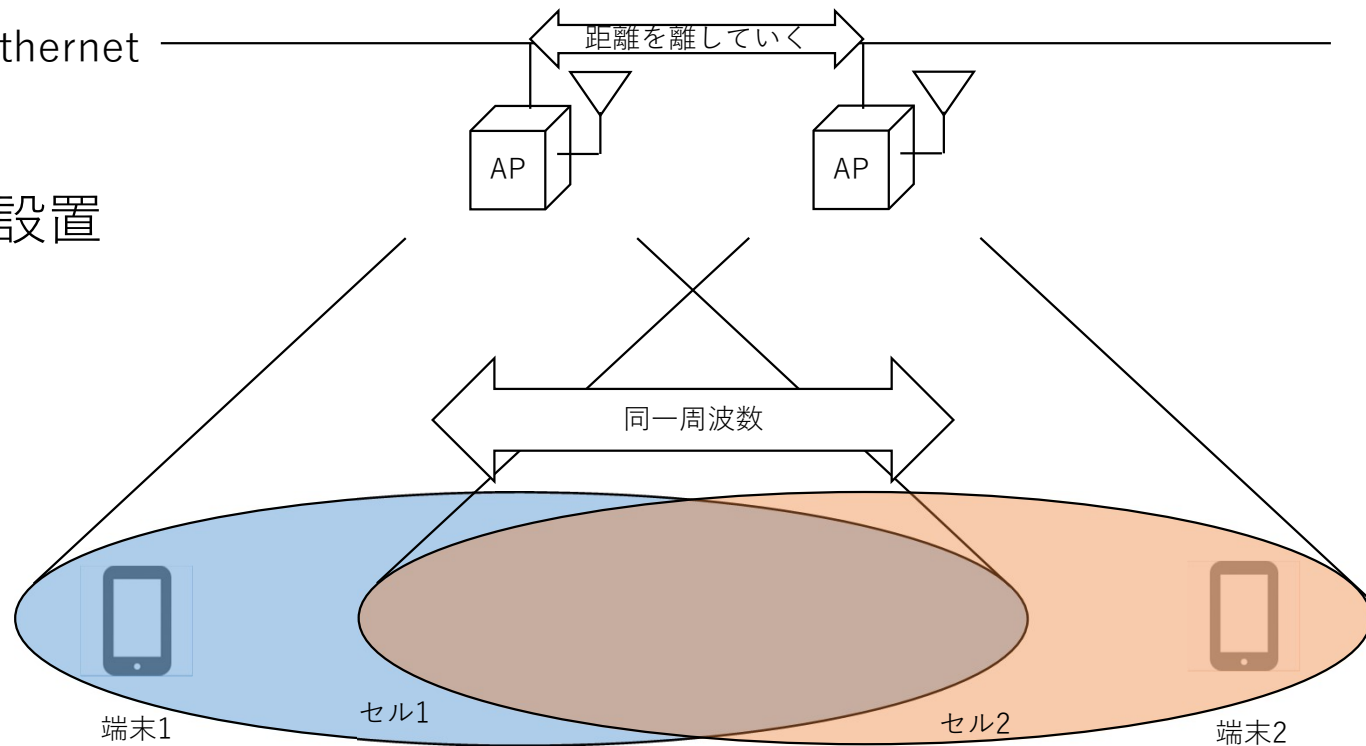
各セルごとのスループットがほぼ同じになる

2つのスループットの和は単一セルの場合とほぼ等しい

→一つの無線チャネルを二つのセルでシェアしていることがわかる

設定 3

- セル数：2
- 同一周波数を使用
- 端末数：1(各セルごと) Ethernet
- APは見通しのよい場所に設置



- キャリアセンスの結果

AP間のキャリアセンス成功率はほぼ100%

端末間または端末、PA間でのキャリアセンス成功率は距離が離れるとともに大きく低下する

屋外環境下だとほぼ0%まで低下する

- スループットの結果

スループットは距離とともに低下する

AP間が150m離れたとき局所的に各セルごとのスループットが低下する

さらに離すとスループットは上昇し、互いに干渉を与えない範囲まで離れるとスループットは一定になる

→キャリアセンス確率が低下する一方、干渉確率も低下するため

屋外のほうがスループットは高い

→屋内では壁やガラスの影響により受信レベル変動が大きい

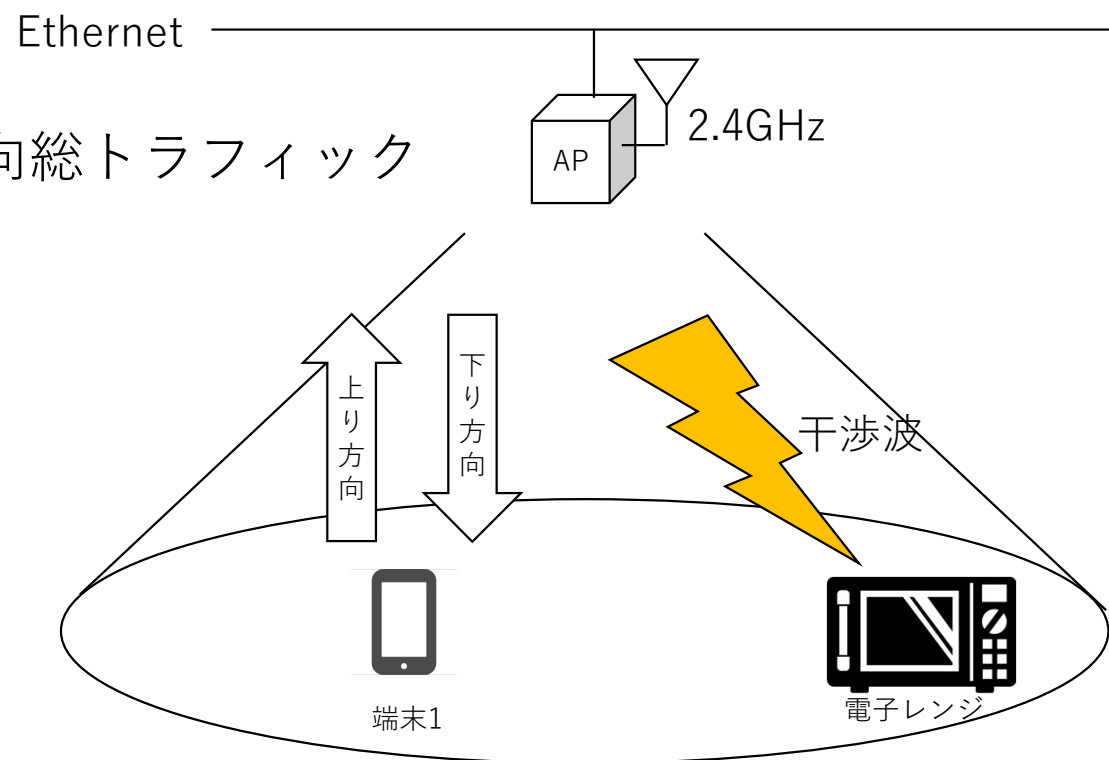
このため屋内では0mでもキャリアセンスが100%にならず隠れ端末状態になる場合があるためスループットが低い

設定 3

- 上り方向総トラフィック = 下り方向総トラフィック

- セル数 : 1

- 端末数 : 1



- 結果

高トラフィック領域のスループットが低下する

教科書の例では送信トラフィック量が3Mbpsを超えたとき干渉なしのスループットより56%低下することがわかる

- スループット低下の原因

端末がキャリアセンスしたとき電子レンジからの干渉波をビジーと感知するため送信待機するため

データの送受信中に干渉期間が開始されるとパケットロスが発生するため

MACレイヤの高機能化とQoS

QoS(Quality of Service)：サービス品質

802.11 eはMACレイヤにQoS機能を追加する規格が標準化されている
DCFとPCF(Point Coordination Function)の機能を統合的に提供する
HCF(Hybrid Coordination Function)の機能が規定されている)

QoSの制御機能

- HCF contention-based channel access
- HCF controlled channel access

- HCF contention-based channel access

(HCF競合チャネルアクセス)

従来から規定されているDCF(自立分散的なアクセス制御)を拡張したアクセス制御によってデータ送信時に優先制御を行う優先制御型のQoS

- HCF controlled channel access

従来、オプションとして規定されていたPCF(集中制御(ポーリング)によるアクセス制御)を拡張し合意された帯域幅や遅延時間などのパラメータを保証するパラメータ保証型QoS

従来のCSMA/CAを改良した HCF競合チャネルアクセス

- EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)

従来のDCF手順で使用するチャネルアクセス手順を拡張したという意味

- AC (Access Category)

送信するデータの 카테고리ごとに提供するサービスの品質に差をつける
ことによって優先制御(Prioritized QoS)を提供する

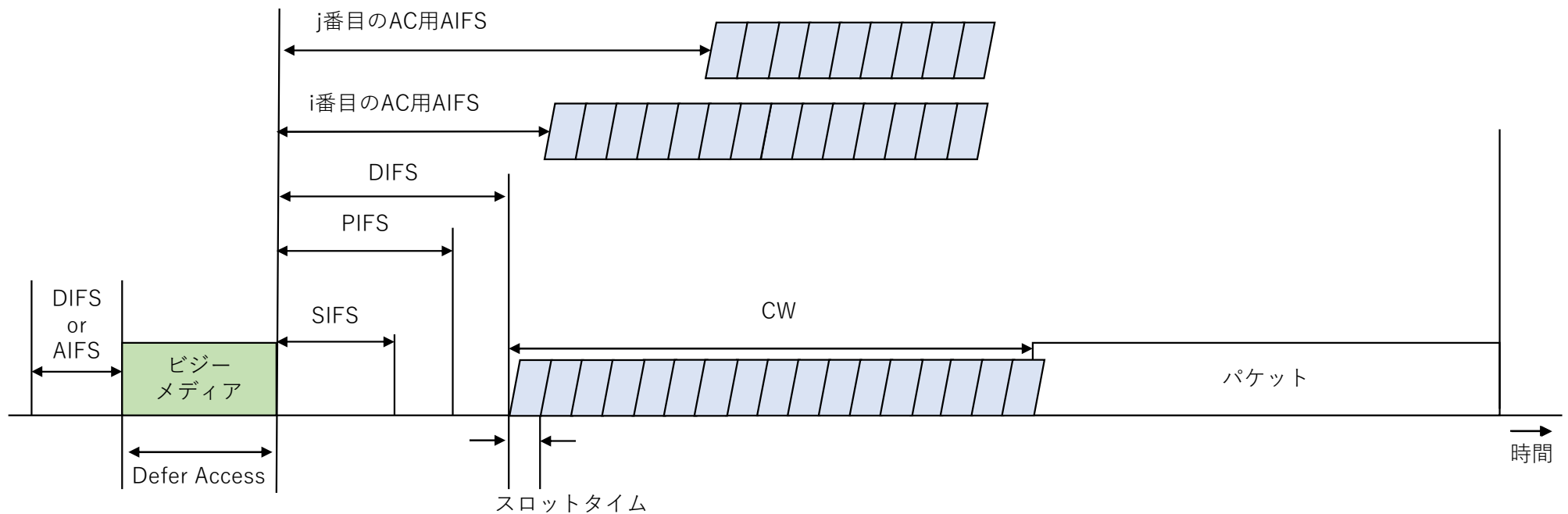
ACの具体的なカテゴリー

- AC_BK(背景トラフィック用)
- AC_BE(ベストエフォートデータ用)
- AC_VI(ビデオデータ用)
- AC_VO(音声データ用)

優先制御のために使用されるパラメータ

- AIFS (Arbitration IFS、フレーム送信間隔)
- CW
- TXOP (Transmission Opportunity、排他的なチャネルの利用)

- EDSAではDIFSの時間の代わりにACの優先度に応じたAIFS時間を使用する
- 優先度の高いACほどAIFS時間の値は短く設定されていてこれをもとにアクセス制御をおこなうことでAC間の優先制御を実現できる



AC	CW		AIFS	TXOP Limit		
	最小値 CWmin	最大値 Cwmax		物理レイヤ		
				802.11b (DSSS,CCK)	802.11a/g (OFDM) ()	その他物理 レイヤ
AC_BK	aCWmin	aCWmax	7	0	0	0
AC_BE	aCWmin	aCWmax	3	0	0	0
AC_VI	$(aCWmin+1)/2-1$	aCWmin	2	6.016ms	0	0
AC_VO	aCWmin	$(aCWmin+1)/2-1$	2	3.264ms	0	0

- HCF競合チャネルアクセスでも 2 進数バックオフアルゴリズムが採用

バックオフアルゴリズムにより発生させる乱数の範囲をACに応じて変えることで乱数の範囲を小さくし短い待機時間でのデータ送信が行える

- TXOP (Transmission Oppotunity、排他的なチャネルの利用)

アクセスポイントまたは端末が、EDCAに競合制御によりチャネルのアクセス権を取得した後、そのチャネルを排他的に使用できる時間を表すパラメータ

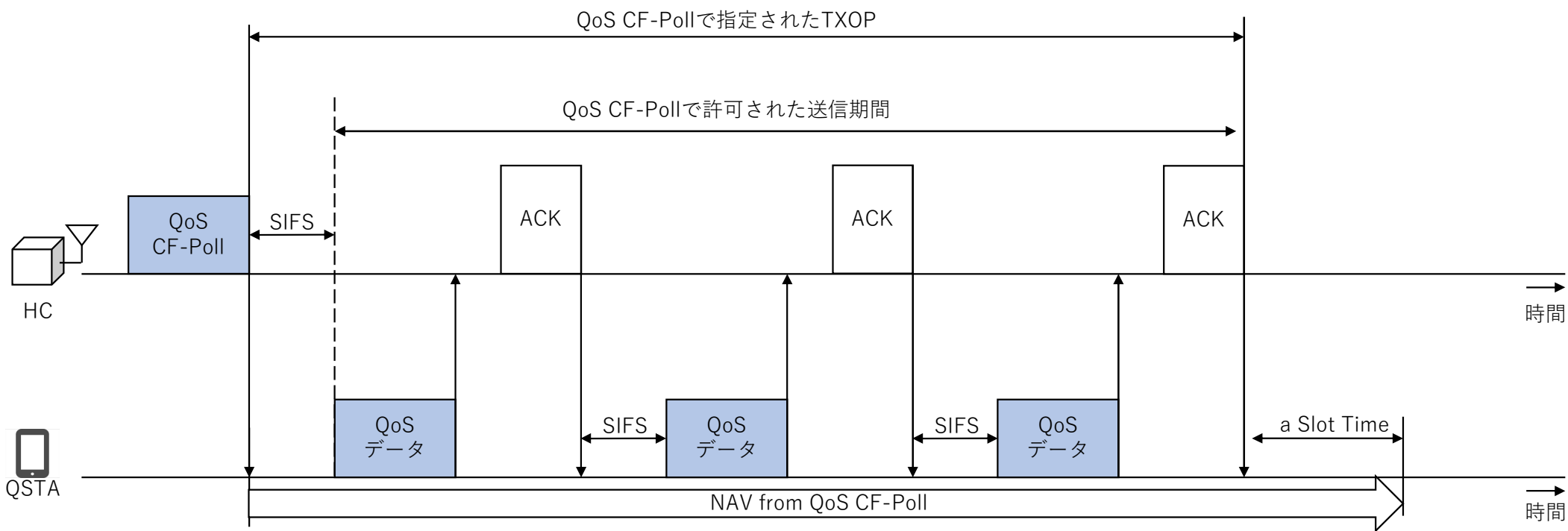
TXOP が 0 の場合は、アクセス権を獲得後に送信できるフレーム数は 1 つだけとなる

ポーリングによるHCFコントロールド チャネルアクセス(HCCA)

HCCAとは？

HCCAは従来のPCF に相当し、端末の優先度を考慮したスケジューリングを行い、送信を許可した端末に許可するチャネル使用時間が書かれたポーリングフレームを送信し送信を許可された端末が送信中は、他の端末はアクセスを抑制され、QoS が保証される。

ポーリングを行う主体はHC(Hybrid Coordinator)と呼ばれ、QoS対応のアクセスポイント(QAP：QoS Access Point)がこの役割を果たす



高効率な伝送が行えるブロックACK

ブロックACK

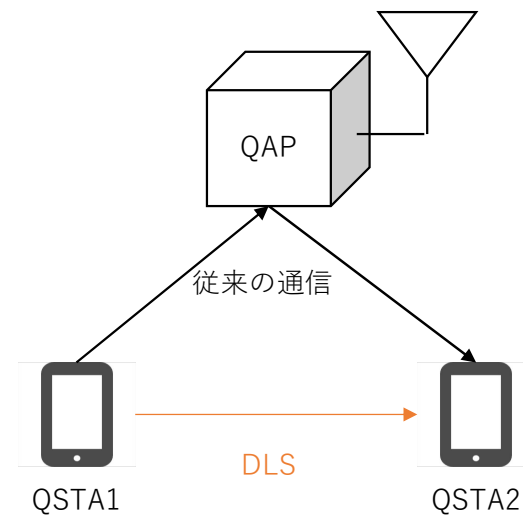
伝達誤りなどにより相手に届かなかったフレームのみ選択的に再送する伝搬

- SIFSで行われ送信側はデータを連続的に送信した後ブロックACKリクエストと呼ばれるフレームを用いて受信側に応答の送信を促す
- 受信側はブロックACKリクエストを受信後ブロックACKによって返答する
- ブロックACKによって応答された局は解析を行い送信に失敗したフレームのみを再送する

同一セル内の端末間で直接通信できる新 DLS

DLS(Direct Link Setup)とは

インフラストラクチャーネットワークで同じBSS(セル)にいる端末間の直接通信機能を提供するプロトコル



- QoSを考慮したパワーセーブ機能APSD

APSD(Automatic Power Save Delivery)はデータ転送時の通信品質を維持しながらパワーセーブを行いたいという要望から採用された機能

- Scheduled-ASPD

基地局と端末との間で合意された、一定の間隔ごとにデータの送受信を行う

- Unscheduled-ASPD

パワーセーブ中の端末から送信されるトリガーフレームを機にデータ転送を行う

高精度なタイマー同期をとる機能

再送タイミングや高精度なフレーム制御やフレーム飛びの検出に利用される

Ethernet

