

無線LANフレーム構成について

2016年7月8日

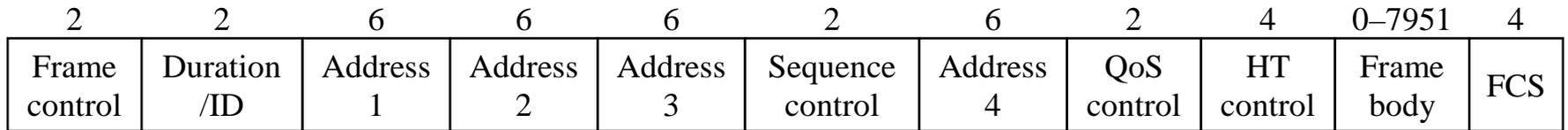
梅原大祐

MACフレームフォーマット

- IEEE 802.11n

※ QoSフィールド: QoS, A-MSDU, メッシュ関連

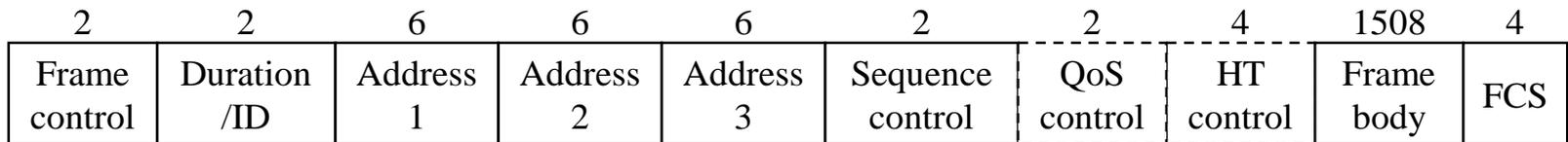
Octets:



← MAC header →

- メッシュネットワークでないケース: IP frame (1,500 byte)

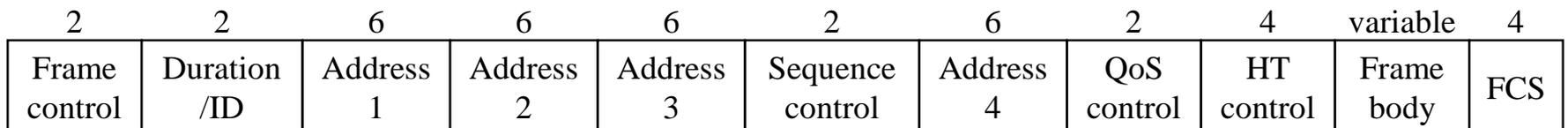
Octets:



← MAC header →

- IEEE 802.11ac

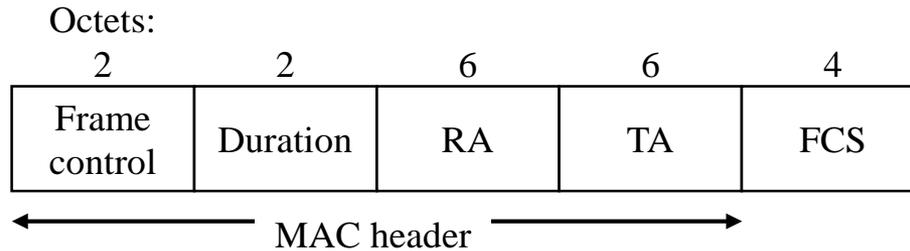
Octets:



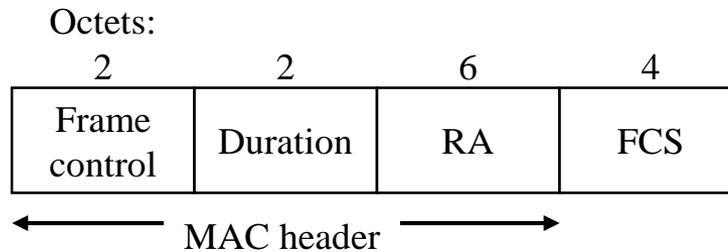
← MAC header →

RTS/CTS/ACKフレームフォーマット

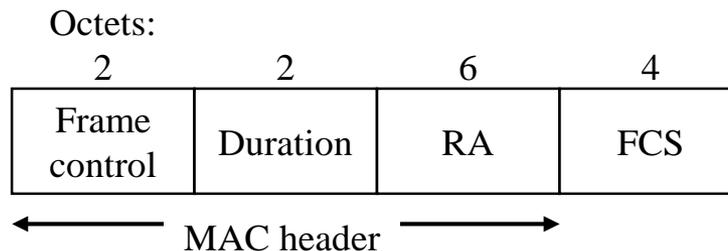
- RTSフレーム (RTS PSDUサイズ: $D_{RTS} = 20$ byte)



- CTSフレーム (CTS PSDUサイズ: $D_{CTS} = 14$ byte)

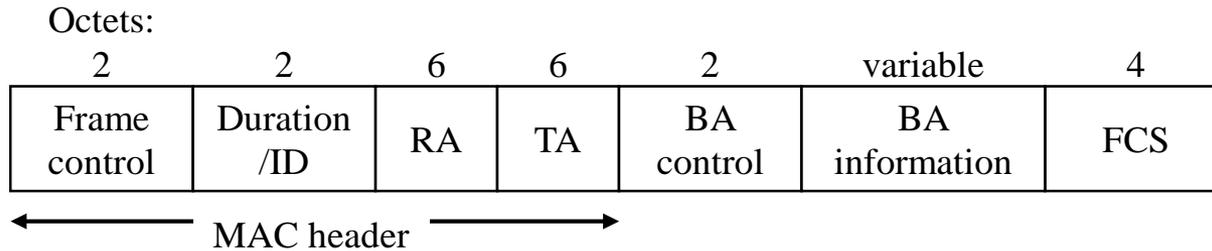


- ACKフレーム (ACK PSDUサイズ: $D_{ACK} = 14$ byte)

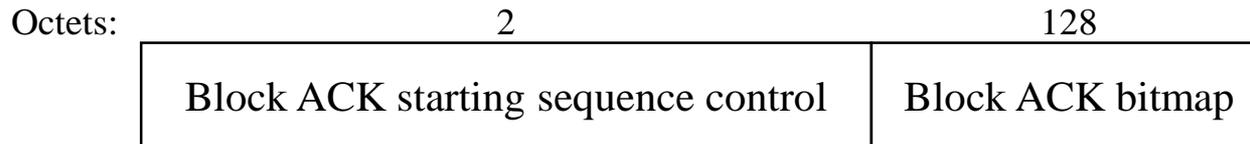


ブロックACKフレームフォーマット

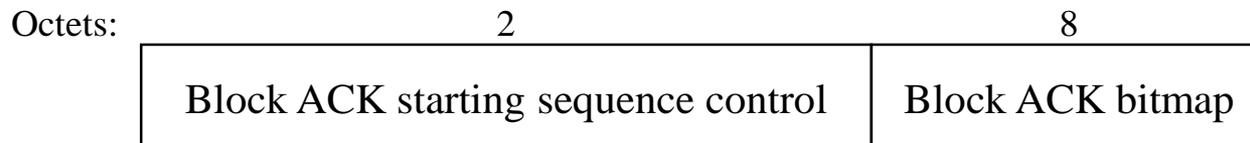
• ブロックACKフレーム



• BA情報: 基本ブロックACKフレーム $D_{BBACK} = 152$ byte



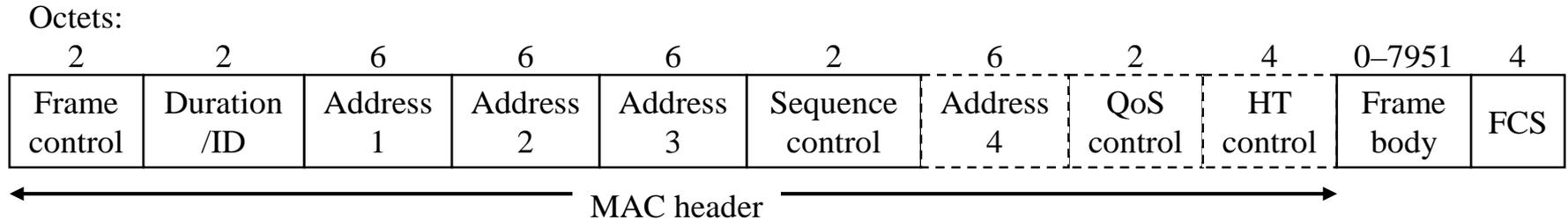
• BA情報: 圧縮ブロックACKフレーム $D_{CBACK} = 32$ byte



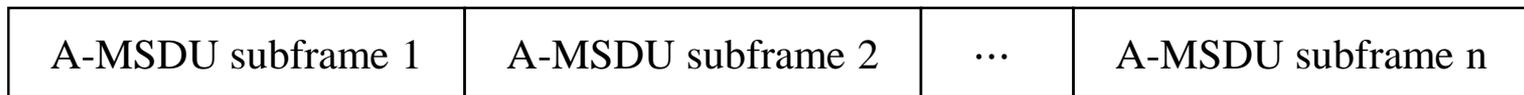
データフレームフォーマット(IEEE 802.11n)

• データフレーム

※ QoSフィールド: QoS, A-MSDU, メッシュ関連

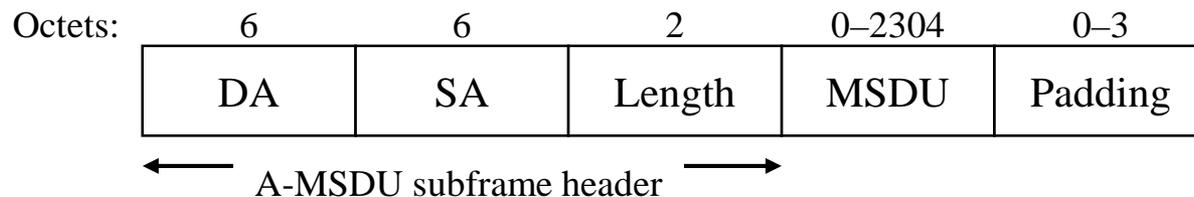


• A-MSDU構成



• A-MSDUサブフレーム構成

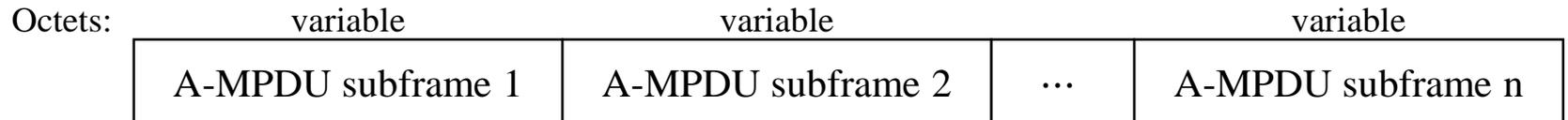
※ パディング ⇒ 全体が4の倍数



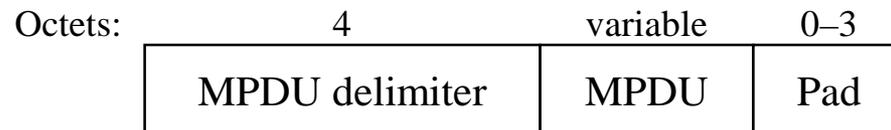
A-MPDUフォーマット(IEEE 802.11n)

- A-MPDUフォーマット

➤ 最大サイズ: 65,535 octets



- A-MPDUサブフレームフォーマット



- MPDUデリミタ

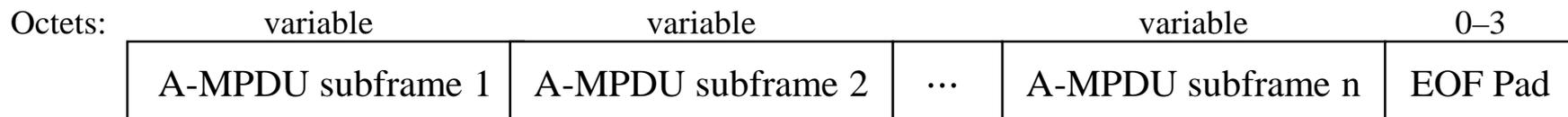


※ パディング ⇒ 全体が4の倍数

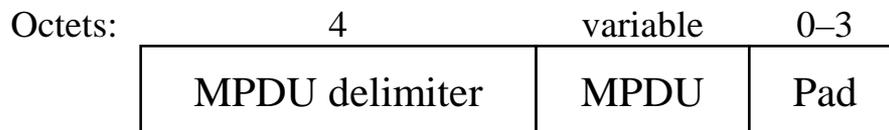
A-MPDUフォーマット(IEEE 802.11ac)

- A-MPDUフォーマット

- 最大サイズ pre-EOF padding: 1,048,575 octets

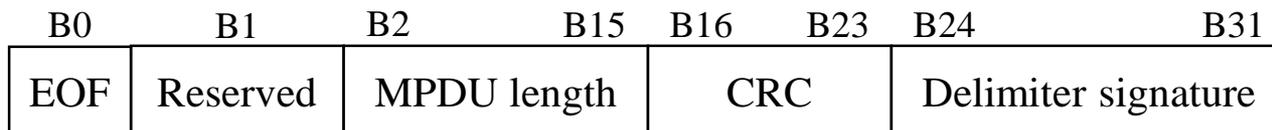


- A-MPDUサブフレームフォーマット



- MPDUデリミタ(non-DMG)

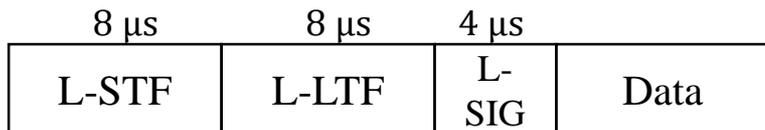
※ DMG: Directional Multi-Gigabit



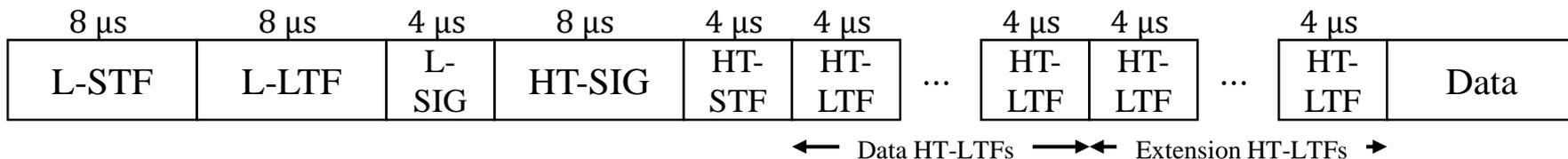
※ パディング ⇒ 全体が4の倍数

PPDUフォーマット

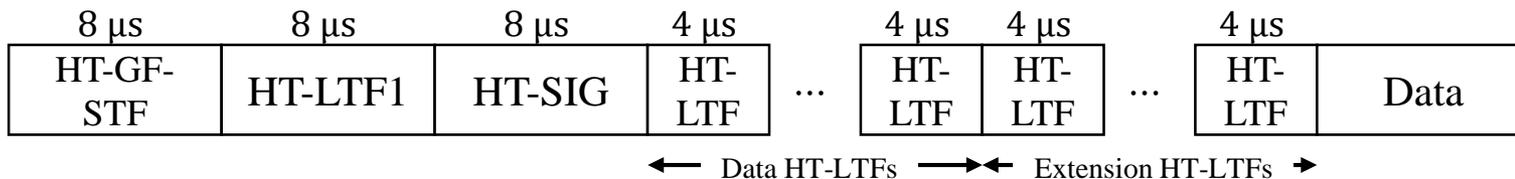
- Non-HT PPDU



- HT-mixed format PPDU

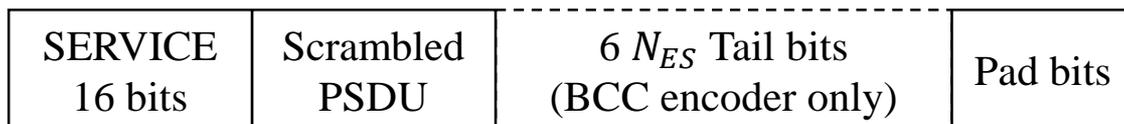


- HT-greenfield format PPDU



- Format of Data field

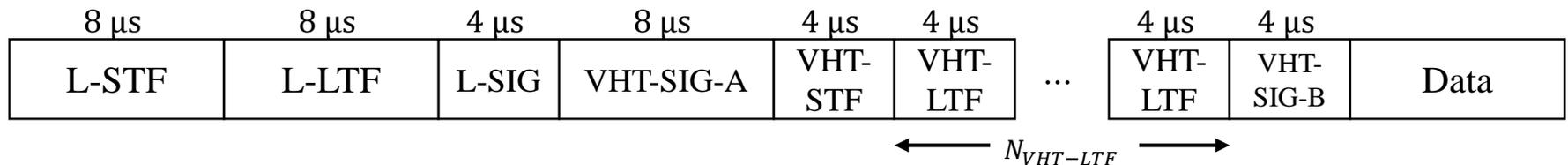
※ N_{ES} : Data field用のBCC符号化器の数



VHT PPDUフォーマット

- VHT PPDU format

- 最大PSDUサイズ: 4,692,480 octets
- 最大PPDU duration: 5,484 μ s
- VHT-LTFシンボル数: $N_{VHT-LTF} \in \{1,2,4,6,8\}$



タイミング関係パラメータ

• 記号の説明

Δ_F : サブキャリア周波数間隔, T_{DFT} : IDFT/DFT区間

T_{GI} : GI区間, T_{GI2} : ダブルGI区間, T_{GIS} : ショートGI区間

T_{SYML} : ロングGIシンボル区間, T_{SYMS} : ショートGIシンボル区間

$N_{service}$: SERVICEフィールドのビット数

N_{tail} : BCC符号化器のテイルビット数

| Parameter | Value |
|-------------|-----------------------------------|
| Δ_F | 312.5 kHz |
| T_{DFT} | 3.2 μ s |
| T_{GI} | 0.8 μ s = $T_{DFT}/4$ |
| T_{GI2} | 1.6 μ s |
| T_{GIS} | 0.4 μ s = $T_{DFT}/8$ |
| T_{SYML} | 4 μ s = $T_{DFT} + T_{GI}$ |
| T_{SYMS} | 3.6 μ s = $T_{DFT} + T_{GIS}$ |
| T_{L-STF} | 8 μ s = $10 \times T_{DFT}/4$ |

| Parameter | Value |
|-----------------|--|
| T_{L-LTF} | 8 μ s = $2 \times T_{DFT} + T_{GI2}$ |
| T_{L-SIG} | 4 μ s = T_{SYML} |
| $T_{VHT-SIG-A}$ | 8 μ s = $2T_{SYML}$ |
| $T_{VHT-STF}$ | 4 μ s = T_{SYML} |
| $T_{VHF-LTF}$ | 4 μ s = T_{SYML} |
| $T_{VHT-SIG-B}$ | 4 μ s = T_{SYML} |
| $N_{service}$ | 16 |
| N_{tail} | 6 |

サブキャリア構成

• 記号の説明

- N_{SD} : 周波数セグメント内のデータサブキャリア数
- N_{SP} : 周波数セグメント内のパイロットサブキャリア数
- N_{ST} : 周波数セグメント内の総サブキャリア数
- N_{SR} : 周波数セグメント内の最大データサブキャリアインデックス
- N_{Seg} : 周波数セグメント数

| Parameter | CBW20 | CBW40 | CBW80 | CBW80+80 | CBW160 |
|-----------|-------|-------|-------|----------|--------|
| N_{SD} | 52 | 108 | 234 | 234 | 468 |
| N_{SP} | 4 | 6 | 8 | 8 | 16 |
| N_{ST} | 56 | 114 | 242 | 242 | 484 |
| N_{SR} | 28 | 58 | 122 | 122 | 250 |
| N_{Seg} | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |

VHT-MCS

• 記号の説明

➤ R : 符号化率

➤ N_{BPSCS} : 各空間ストリームに対する符号化ビット数/サブキャリア

| VHT-MCS index | Modulation | R | N_{BPSCS} |
|---------------|------------|-----|-------------|
| 0 | BPSK | 1/2 | 1 |
| 1 | QPSK | 1/2 | 2 |
| 2 | QPSK | 3/4 | 2 |
| 3 | 16-QAM | 1/2 | 4 |
| 4 | 16-QAM | 3/4 | 4 |
| 5 | 64-QAM | 2/3 | 6 |
| 6 | 64-QAM | 3/4 | 6 |
| 7 | 64-QAM | 5/6 | 6 |
| 8 | 256-QAM | 3/4 | 8 |
| 9 | 256-QAM | 5/6 | 8 |

Non-HT MCS

• パラメータ

- 帯域幅 20 MHz (複数チャネル ⇒ Non-HT duplicate format)
- データサブキャリア数 $N_{SD} = 48$
- パイロットサブキャリア数 $N_{SP} = 4$
- 総サブキャリア数 $N_{ST} = N_{SD} + N_{SP} = 52$

| Modulation | R | N_{BPSC} | N_{CBPS} | N_{DBPS} | Data rate (Mb/s) |
|------------|-----|------------|------------|------------|------------------|
| BPSK | 1/2 | 1 | 48 | 24 | 6 |
| BPSK | 3/4 | 1 | 48 | 36 | 9 |
| QPSK | 1/2 | 2 | 96 | 48 | 12 |
| QPSK | 3/4 | 2 | 96 | 72 | 18 |
| 16-QAM | 1/2 | 4 | 192 | 96 | 24 |
| 16-QAM | 3/4 | 4 | 192 | 144 | 36 |
| 64-QAM | 2/3 | 6 | 288 | 192 | 48 |
| 64-QAM | 3/4 | 6 | 288 | 216 | 54 |

N_{BPSC} : 符号化ビット数/サブキャリア

N_{CBPS} : 符号化ビット数/OFDMシンボル, N_{DBPS} : データビット数/OFDMシンボル

RTS, CTS, ACKフレーム時間

- Non-HT PPDU with non-HT MCS

➤ プリアンブル時間 $T_{NHP} = T_{L-STF} + T_{L-LTF} + T_{L-SIG} = 20 \mu\text{s}$

- RTSフレーム時間 $D_{RTS} = 20 \text{ byte}$

$$T_{RTS} = T_{NHP} + T_{SYML} \times \left[\frac{N_{service} + D_{RTS} + N_{tail}}{N_{DBPS}} \right]$$

- CTSフレーム時間 $D_{CTS} = 14 \text{ byte}$

$$T_{CTS} = T_{NHP} + T_{SYML} \times \left[\frac{N_{service} + D_{CTS} + N_{tail}}{N_{DBPS}} \right]$$

- ACKフレーム時間 $D_{ACK} = 14 \text{ byte}$

$$T_{ACK} = T_{NHP} + T_{SYML} \times \left[\frac{N_{service} + D_{ACK} + N_{tail}}{N_{DBPS}} \right]$$

ブロックACKフレーム時間

- Non-HT PPDU with non-HT MCS

➤ プリアンブル時間 $T_{NHP} = T_{L-STF} + T_{L-LTF} + T_{L-SIG} = 20 \mu\text{s}$

- 基本ブロックACKフレーム時間 $D_{BBACK} = 152 \text{ byte}$

$$T_{BBACK} = T_{NHP} + T_{SYML} \times \left[\frac{N_{service} + D_{BBACK} + N_{tail}}{N_{DBPS}} \right]$$

- 圧縮ブロックACKフレーム時間 $D_{CBACK} = 32 \text{ byte}$

$$T_{CBACK} = T_{NHP} + T_{SYML} \times \left[\frac{N_{service} + D_{CBACK} + N_{tail}}{N_{DBPS}} \right]$$

RTS, CTS, ACK, BlockACKフレーム時間表

| Data rate [Mb/s] | RTS [μ s] | CTS [μ s] | ACK [μ s] | BBACK [μ s] | CBACK [μ s] |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 6 | 52 | 44 | 44 | 228 | 68 |
| 9 | 44 | 36 | 36 | 160 | 52 |
| 12 | 36 | 32 | 32 | 124 | 44 |
| 18 | 32 | 28 | 28 | 92 | 36 |
| 24 | 28 | 28 | 28 | 72 | 32 |
| 36 | 28 | 24 | 24 | 56 | 28 |
| 48 | 24 | 24 | 24 | 48 | 28 |
| 54 | 24 | 24 | 24 | 44 | 28 |

計算例1

• DATA VHT PPDU

➤ 3 spatial streams ($N_{SS} = 3$), 80 MHz ($N_{SD} = 234$), Short GI ($T_{SYMS} = 3.6 \mu\text{s}$)

➤ VHT-MCS index: 9 ($N_{BPSCS} = 8, R = 5/6$), LDPC code ($N_{tail} = 0$)

➤ PHY rate
$$R_{PHY} = \frac{N_{SS} \cdot N_{SD} \cdot N_{BPSCS} \cdot R}{T_{SYMS}} = \frac{N_{DBPS}}{T_{SYMS}} = 1300 \text{ Mb/s}$$

➤ MSDU size: $D_{MSDU} = 1500$ byte (including LLC header)

➤ Number of A-MSDU subframes: $N_{A-MSDU} = 5$

➤ A-MSDU subframe size: $14 + 1500 + 2 = 1516$ byte

➤ MPDU size: $30 + 5 \times 1516 + 4 = 7614$ byte

➤ Number of A-MPDU subframes: $N_{A-MPDU} = 10$

➤ A-MPDU subframe size: $4 + 7614 + 2 = 7620$ byte

➤ PSDU size: $7620 \times 10 = 76200$ byte

➤ Preamble time: $T_{VHP} = 32 \mu\text{s} + N_{VHT-LTF} \times T_{VHT-LTF} + 4 \mu\text{s} = 52 \mu\text{s}$

➤ DATA frame time
$$T_{DATA} = T_{VHP} + T_{SYMS} \times \left\lceil \frac{N_{service} + D_{PSDU}}{N_{DBPS}} \right\rceil = 523.6 \mu\text{s}$$

➤ MAX STA throughput ($T_{DIFS} = 34 \mu\text{s}, T_{SIFS} = 16 \mu\text{s}, CW_{\min} = 15$)

$$S_{\max} = \frac{N_{A-MSDU} \times N_{A-MPDU} \times D_{MSDU}}{T_{DIFS} + T_{slot} \times CW_{\min}/2 + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{CBACK}} = 896.73 \text{ Mb/s}$$

計算例2

• DATA VHT PPDU

➤ 3 spatial streams ($N_{SS} = 3$), 80 MHz ($N_{SD} = 234$), Long GI ($T_{SYML} = 4 \mu\text{s}$)

➤ VHT-MCS index: 9 ($N_{BPSCS} = 8, R = 5/6$), LDPC code ($N_{tail} = 0$)

➤ PHY rate
$$R_{PHY} = \frac{N_{SS} \cdot N_{SD} \cdot N_{BPSCS} \cdot R}{T_{SYML}} = \frac{N_{DBPS}}{T_{SYML}} = 1170 \text{ Mb/s}$$

➤ MSDU size: $D_{MSDU} = 1500$ byte (including LLC header)

➤ Number of A-MSDU subframes: $N_{A-MSDU} = 5$

➤ A-MSDU subframe size: $14 + 1500 + 2 = 1516$ byte

➤ MPDU size: $30 + 5 \times 1516 + 4 = 7614$ byte

➤ Number of A-MPDU subframes: $N_{A-MPDU} = 10$

➤ A-MPDU subframe size: $4 + 7614 + 2 = 7620$ byte

➤ PSDU size: $7620 \times 10 = 76200$ byte

➤ Preamble time: $T_{VHP} = 32 \mu\text{s} + N_{VHT-LTF} \times T_{VHT-LTF} + 4 \mu\text{s} = 52 \mu\text{s}$

➤ DATA frame time
$$T_{DATA} = T_{VHP} + T_{SYML} \times \left\lceil \frac{N_{service} + D_{PSDU}}{N_{DBPS}} \right\rceil = 576 \mu\text{s}$$

➤ MAX STA throughput ($T_{DIFS} = 34 \mu\text{s}, T_{SIFS} = 16 \mu\text{s}, CW_{\min} = 15$)

$$S_{\max} = \frac{N_{A-MSDU} \times N_{A-MPDU} \times D_{MSDU}}{T_{DIFS} + T_{slot} \times CW_{\min}/2 + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{CBACK}} = 831.60 \text{ Mb/s}$$

計算例3

• DATA VHT PPDU

- 2 spatial streams ($N_{SS} = 2$), 40 MHz ($N_{SD} = 108$), Short GI ($T_{SYMS} = 3.6 \mu\text{s}$)
- VHT-MCS index: 7 ($N_{BPSCS} = 6, R = 5/6$), LDPC code ($N_{tail} = 0$)
- PHY rate

$$R_{PHY} = \frac{N_{SS} \cdot N_{SD} \cdot N_{BPSCS} \cdot R}{T_{SYMS}} = \frac{N_{DBPS}}{T_{SYMS}} = 300 \text{ Mb/s}$$
- MSDU size: $D_{MSDU} = 1500$ byte (including LLC header)
- Number of A-MSDU subframes: $N_{A-MSDU} = 1$
- MPDU size: $30 + 1500 + 4 = 1534$ byte
- Number of A-MPDU subframes: $N_{A-MPDU} = 10$
- A-MPDU subframe size: $4 + 1534 + 2 = 1540$ byte
- PSDU size: $1540 \times 10 = 15400$ byte
- Preamble time: $T_{VHP} = 32 \mu\text{s} + N_{VHT-LTF} \times T_{VHT-LTF} + 4 \mu\text{s} = 44 \mu\text{s}$
- DATA frame time

$$T_{DATA} = T_{VHP} + T_{SYMS} \times \left\lceil \frac{N_{service} + D_{PSDU}}{N_{DBPS}} \right\rceil = 458 \mu\text{s}$$
- MAX STA throughput ($T_{DIFS} = 34 \mu\text{s}, T_{SIFS} = 16 \mu\text{s}, CW_{\min} = 15$)

$$S_{\max} = \frac{N_{A-MPDU} \times D_{MSDU}}{T_{DIFS} + T_{slot} \times CW_{\min}/2 + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{CBACK}} = 198.84 \text{ Mb/s}$$

計算例4

• DATA VHT PPDU

➤ 2 spatial streams ($N_{SS} = 2$), 40 MHz ($N_{SD} = 108$), Short GI ($T_{SYMS} = 3.6 \mu\text{s}$)

➤ VHT-MCS index: 3 ($N_{BPSCS} = 4, R = 1/2$), LDPC code ($N_{tail} = 0$)

➤ PHY rate
$$R_{PHY} = \frac{N_{SS} \cdot N_{SD} \cdot N_{BPSCS} \cdot R}{T_{SYMS}} = \frac{N_{DBPS}}{T_{SYMS}} = 120 \text{ Mb/s}$$

➤ MSDU size: $D_{MSDU} = 1500$ byte (including LLC header)

➤ Number of A-MSDU subframes: $N_{A-MSDU} = 1$

➤ MPDU size: $30 + 1500 + 4 = 1534$ byte

➤ Number of A-MPDU subframes: $N_{A-MPDU} = 10$

➤ A-MPDU subframe size: $4 + 1534 + 2 = 1540$ byte

➤ PSDU size: $1540 \times 10 = 15400$ byte

➤ Preamble time: $T_{VHP} = 32 \mu\text{s} + N_{VHT-LTF} \times T_{VHT-LTF} + 4 \mu\text{s} = 44 \mu\text{s}$

➤ DATA frame time
$$T_{DATA} = T_{VHP} + T_{SYMS} \times \left\lceil \frac{N_{service} + D_{PSDU}}{N_{DBPS}} \right\rceil = 1073.6 \mu\text{s}$$

➤ MAX STA throughput ($T_{DIFS} = 34 \mu\text{s}, T_{SIFS} = 16 \mu\text{s}, CW_{\min} = 15$)

$$S_{\max} = \frac{N_{A-MPDU} \times D_{MSDU}}{T_{DIFS} + T_{slot} \times CW_{\min}/2 + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{CBACK}} = 98.11 \text{ Mb/s}$$