

# OFDM通信方式

# 目次

1

## OFDMの仕組み・原理

— マルチキャリア通信, FDM, OFDM

2

## OFDMの実用化

— QAM(直行振幅位相変調), MIMO

3

## まとめ・余談

— OFDM (+ TDM, CDM, NOM)

# OFDMの仕組み・原理

# OFDMの仕組み・原理

## マルチキャリア通信方式について

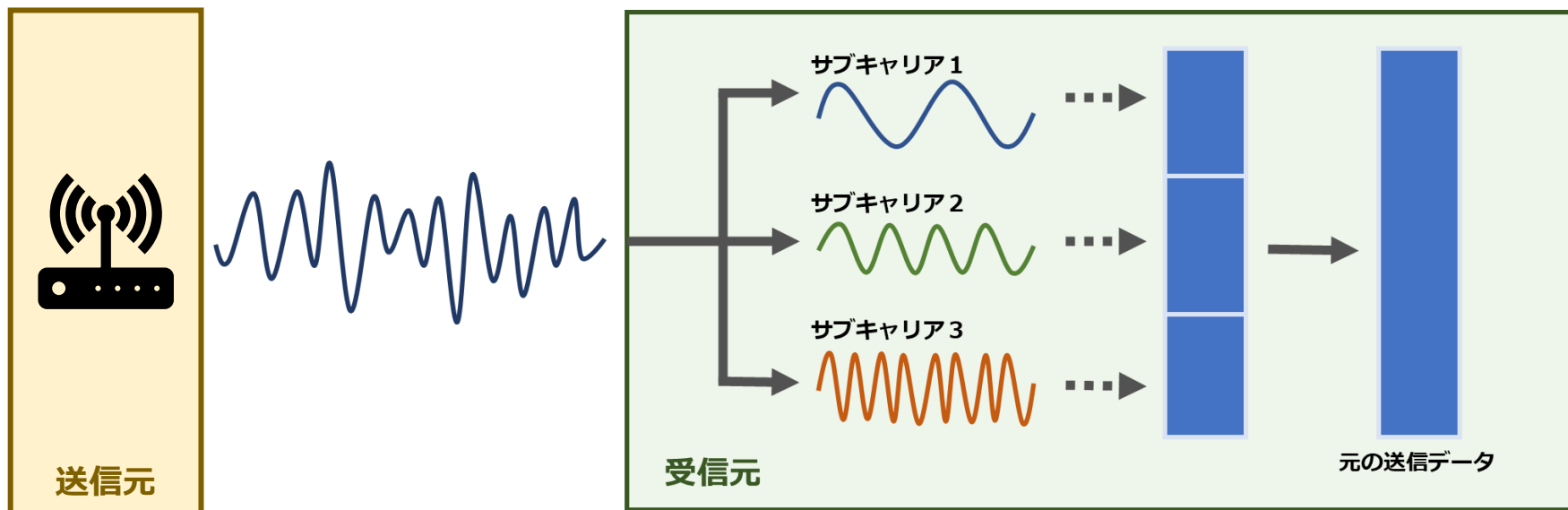
①

②

③

○マルチキャリア … **複数の搬送波(キャリア)を使用し**, 同時に複数データを送る技術

- 利点 : 特定の周波数に影響する電波障害に強い
- 欠点 : **周波数の占有帯域が大きくなってしまう**問題



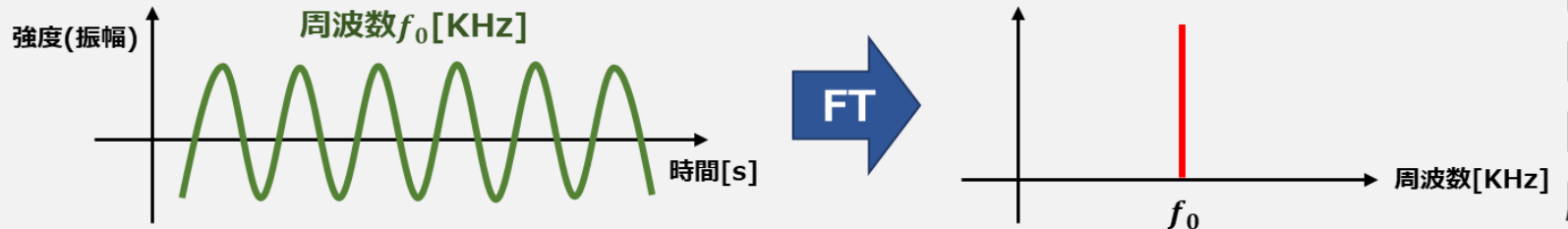
# OFDMの仕組み・原理

## マルチキャリア通信の原理

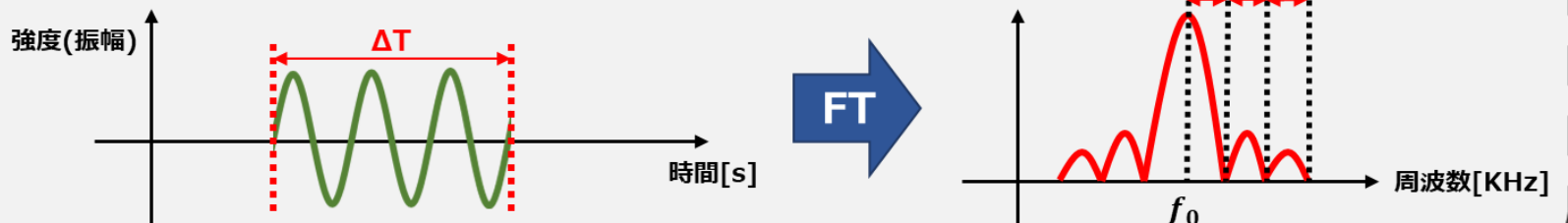
① ② ③

○サブキャリア … 搬送波(キャリア)を性質の異なる波に分割した副搬送波のこと

— 理想：区間 $\infty$ について、周波数成分を抽出



— 現実：区間 $\Delta T$ について、周波数成分を抽出



# OFDMの仕組み・原理

## FDM (*F*requency *D*ivision *M*ultiplexing)

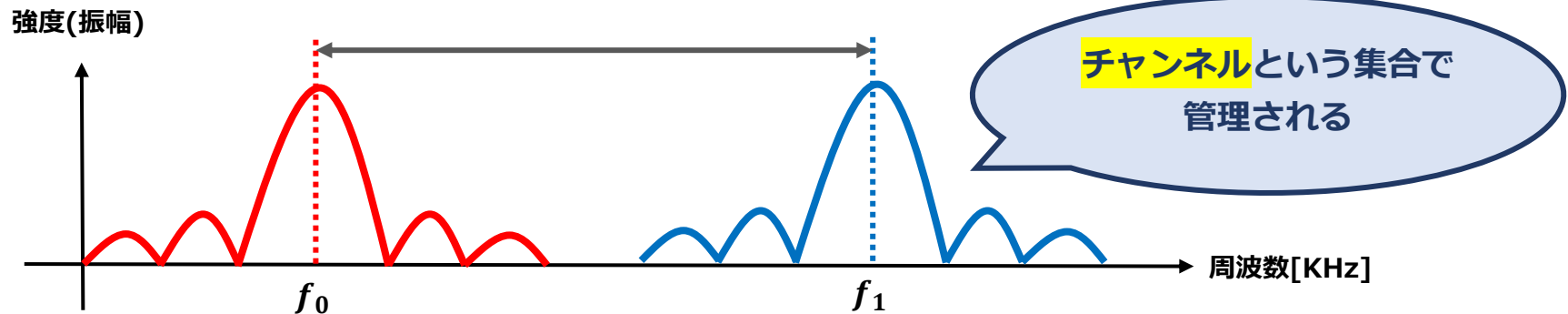
①

②

③

### ○ 周波数帯域の間を十分に空けたサブキャリアの配置

— サブキャリア同士のノイズが届かない間隔でサブキャリアを配置する



— 通信世代としては, **1G**にあたる基本的な多重方式

— 欠点: 占有周波数帯域が大きい



# OFDMの仕組み・原理

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

①

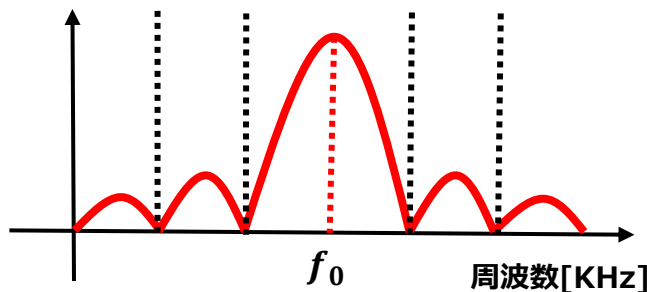
②

③

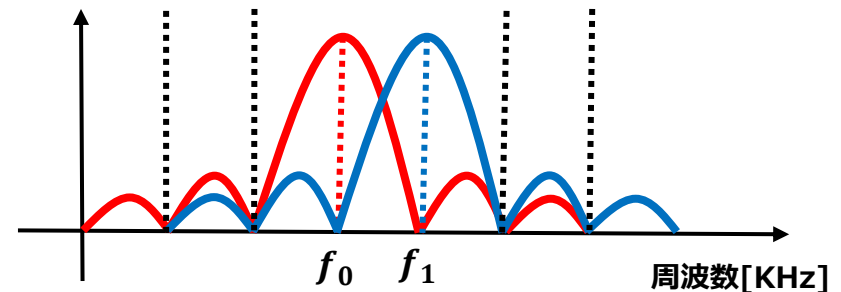
## ○ ベクトルの直交性を利用したサブキャリアの配置

- 直交した波で構成された合成波は分解が容易であることを利用
- 隣のサブキャリアの周波数成分が0になる位置にピークが来るように配置

強度(振幅)



強度(振幅)



- ・ 周波数占有帯域を抑えた, マルチキャリア通信が可能
- ・ QAM(後述)などで変調し, 1つのキャリアで複数ビットを扱うことも可能

# OFDMの実用化



# OFDMの実用化

## QAM (*Q*uadrature *A*mplitude *M*odulation)

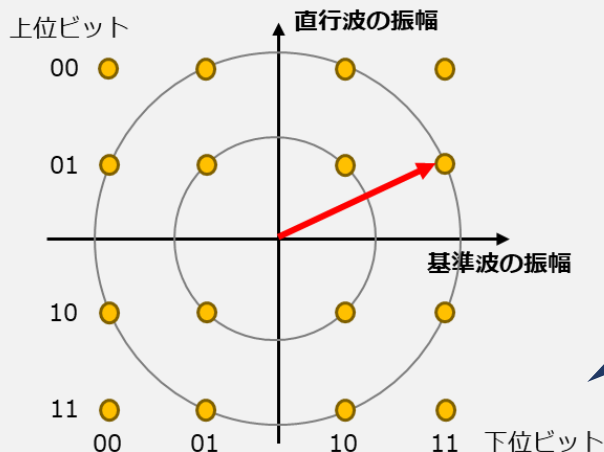
① ② ③

### ○ 直交位相振幅変調

- 位相と振幅を細分化することで1つの電波に複数のビット情報を持たせる変調技術
- 基準波と直交波(基準波に直行する電波)を合成し, 変調波とする

参考URL「<https://ascii.jp/elem/>

#### 例) 位相と振幅を4つずつ細分化する



同じ周波数で,  
複数のビットを表現可能

位相を  $n$  段階, 振幅を  $m$  段階で細分化する時  
 $\log_2(n \times m)$  ビット表現可能

# OFDMの実用化

## MIMO (Multi Inter Multi Output)

①

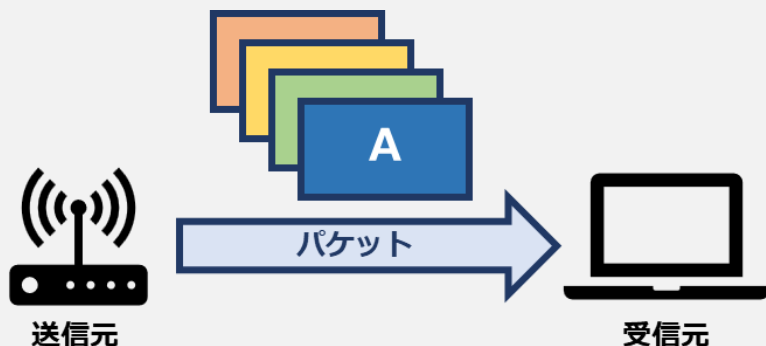
②

③

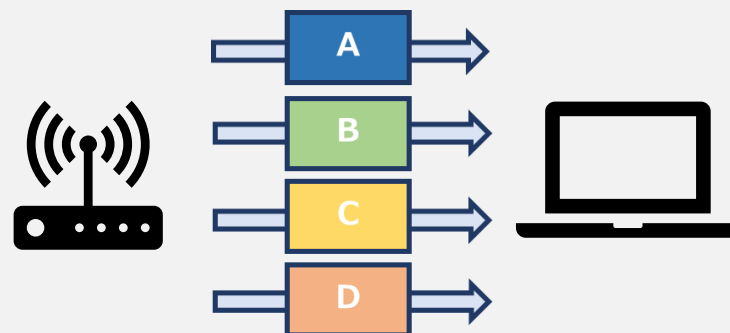
### ○ 複数のアンテナを用いて通信を行う技術

- 同じ周波数で異なる信号を送受信が可能
- IEEE 802.11n規格から初めて採用された通信方式
- 従来の規格に比べて「**高速・安定性・広範囲**」という利点を持つ

#### MIMO非対応の場合



#### MIMO対応の場合



# まとめ・余談

# まとめ

## OFDM (直交周波数分割多重方式)

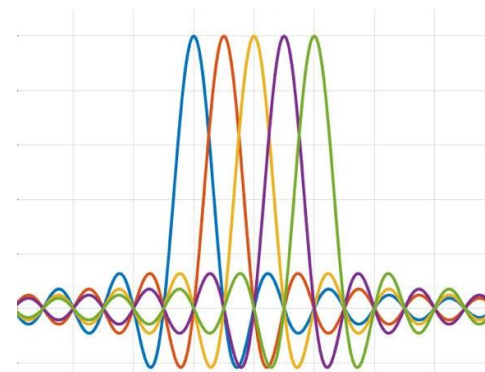
①

②

③

### ○ OFDMの仕組み・原理

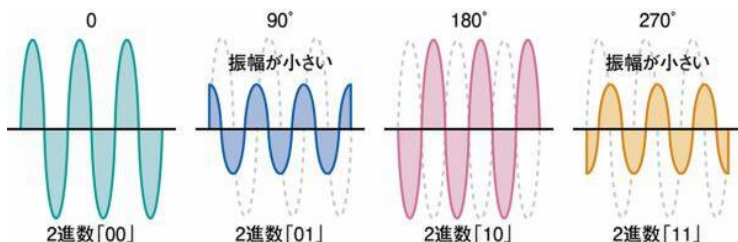
- 周波数成分が直交するようにサブキャリアを配置する
- 占有周波数帯域を抑えつつ, 効率的な通信を実現
- 通信世代としては, 4Gにあたる多重方式



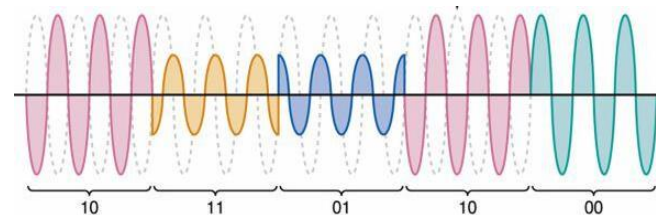
### ○ OFDMの実用化

- QAMなどの変調技術を用いて, 1つのサブキャリアに複数の情報を持たせる

「QAMで変調するビット数」 × 「サブキャリアの総数」 = 「OFDMで扱えるビット数」



「10 11 01 10 00」  
を送る時

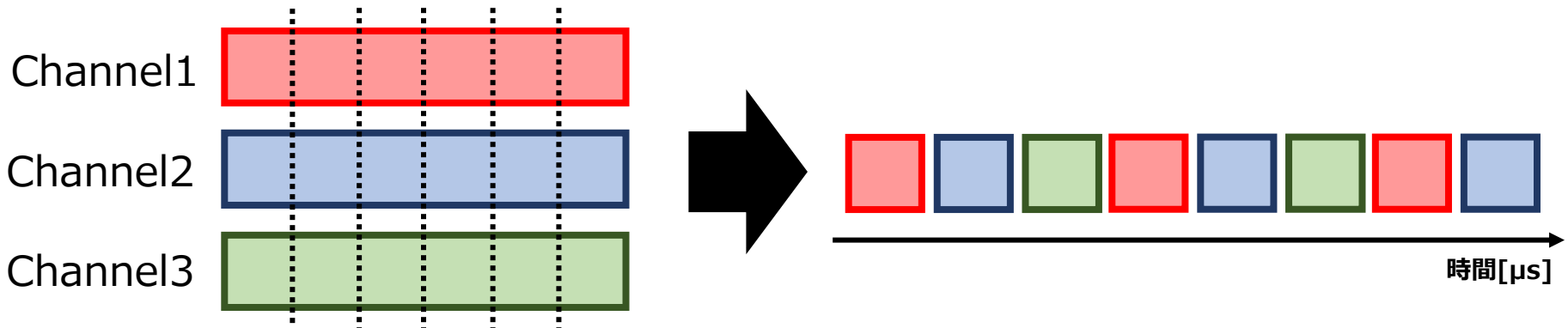


## TDM (Time Division Multiplexing)

① ② ③

### ○ 時間軸を利用して分割し, サブキャリアを配置する

- 周波数成分でチャンネルを作成するのはFDMと変わらない
- 通信世代としては, **2G**にあたる多重化方式



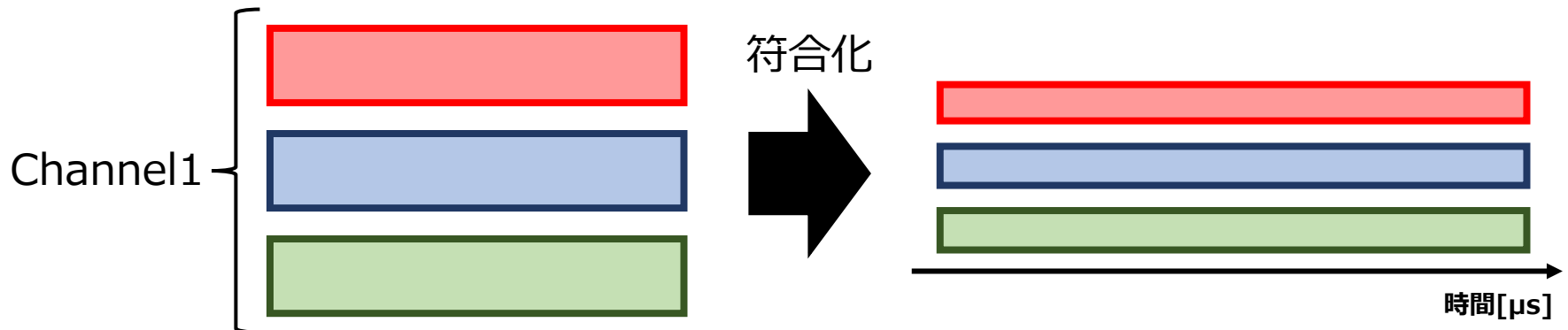
- FDM方式と比べて, 効率の良い通信を実現
  - ・ デジタル化の際に生じる, **デジタル信号間の空白の時間を埋めることが可能**

## CDM (Code Division Multiplexing)

① ② ③

### ○ 符号を用いることでサブキャリアを識別する

- 広い周波数帯域を1つのチャンネルとして扱う
- 通信世代としては, **3G**にあたる多重化方式



- FDMと比べて, **ノイズに強く, 秘匿性の高い通信**を実現
  - ・ 電波を混ぜ込んで多重化するため, 外部からの復元が困難
  - ・ 符合により, ノイズとの区別が容易

## NOM (Non-Orthogonal Multiplexing)

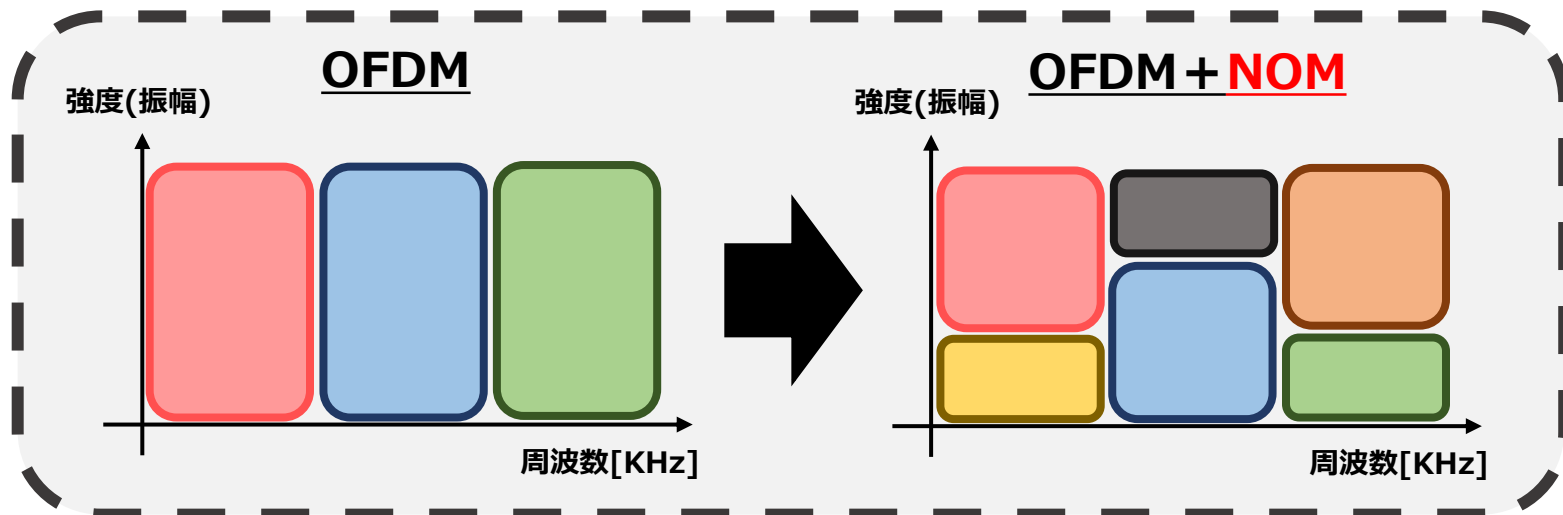
①

②

③

### ○ データの直行を行わずに多重化する方式

- 電波の干渉を許容した通信 (通信世代は**5G**にあたる)
- 周波数だけでなく、振幅成分にも分割したサブキャリアを配置



- 干渉した電波は**受信側で復調処理**する

# 付録



# 付録

## LTE (Long Term Evolution)

### ○ モバイルデバイス専用の通信規格

- 通信世代としては, **3.9G ( ≒ 4G )** にあたる
- 「**MIMO, OFDM, 64QAM**」を組み合わせた通信方式



4Gという通信世代に  
包含される通信規格  
として位置している

# 付録

## 通信規格：IEEE 802.11

世代	新名称	規格名	最大通信速度 [Mbps]	周波数帯域 [GHz]	仕様略称
第1世代 (1997年)	—	IEEE 802.11	2	2.4	—
第2世代 (1999年)	—	IEEE 802.11a	54	5	—
	—	IEEE 802.11b	11	2.4	HR (High Rate)
第3世代 (2003年)	—	IEEE 802.11g	54	2.4	ER (Extended Rate)
第4世代 (2009年)	Wi-Fi4	IEEE 802.11n	600	2.4 / 5	HT (High Throughput)
第5世代 (2013年)	Wi-Fi5	IEEE 802.11ac	6900	5	VHT (Very High Throughput)
第6世代 (2019年)	Wi-Fi6	IEEE 802.11ax	9600	2.4 / 5	HE (High Efficiency)

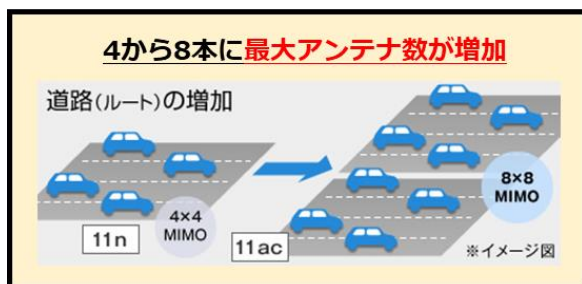
# 付録

## VHT (Very High Throughput)

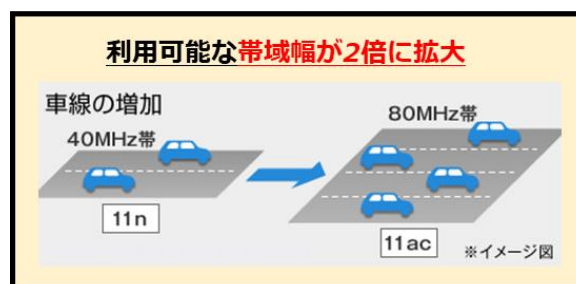
### ○ IEEE 802.11acの仕様の略称として使用

— 1世代前のIEEE 802.11nと比べて高速なデータ通信を実現

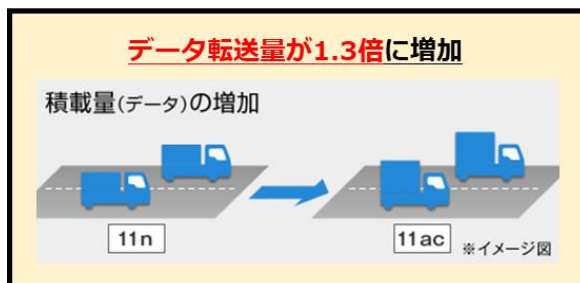
MU-MIMOに対応



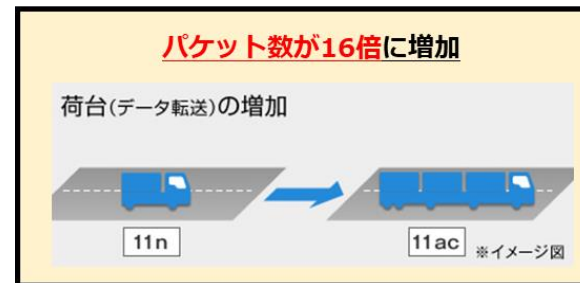
周波数帯域の拡張



変調方式の改善



フレームの多重化



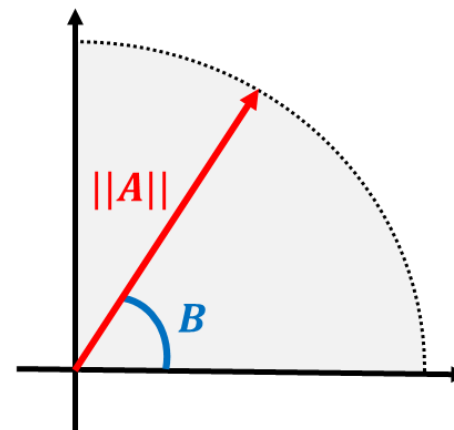
# 付録

## CSI (Channel State Information)

### ○ Wi-Fiチャネル状態情報 … Wi-Fi送受信機器から取得可能

- IEEE 802.11n規格で定義される
- 複素数の絶対値と偏角を用いて表現される

$$\begin{aligned} Y &= ||A|| (\cos \angle B + i \sin \angle B) \\ &= ||A|| e^{i\angle B} \end{aligned}$$



- 各サブキャリアごとの振幅と位相の変位を収集

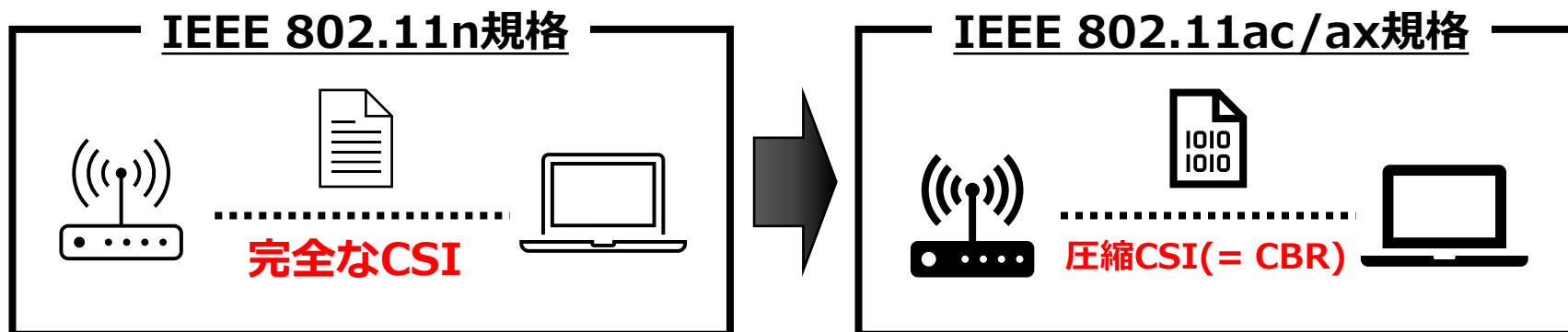
$$\text{CSIデータ数} = \text{時間} \times \text{送受信アンテナ} \times \text{サブキャリア}$$

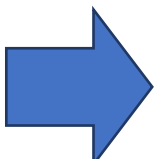
# 付録

## CBR (Compressed Beaming Report)

### ○ IEEE 802.11ac/ax におけるCSIのデフォルト形式

- 完全なCSIと比べて、ハードウェア・ソフトウェアの制限が小さい
- CSIを固有空間に変換し、2値に量子化（CSIの圧縮）



- 
- ・バイナリデータからCBRを再構築可能なツール開発
  - ・CBRからセンシングを可能にする手法の開発