

# 地上デジタル放送ミニミニ講座

## 第一章

### 「ISDB-T伝送方式について」

フロードネッツ株式会社

原 善 男

# 1セグ 伝送パラメータ

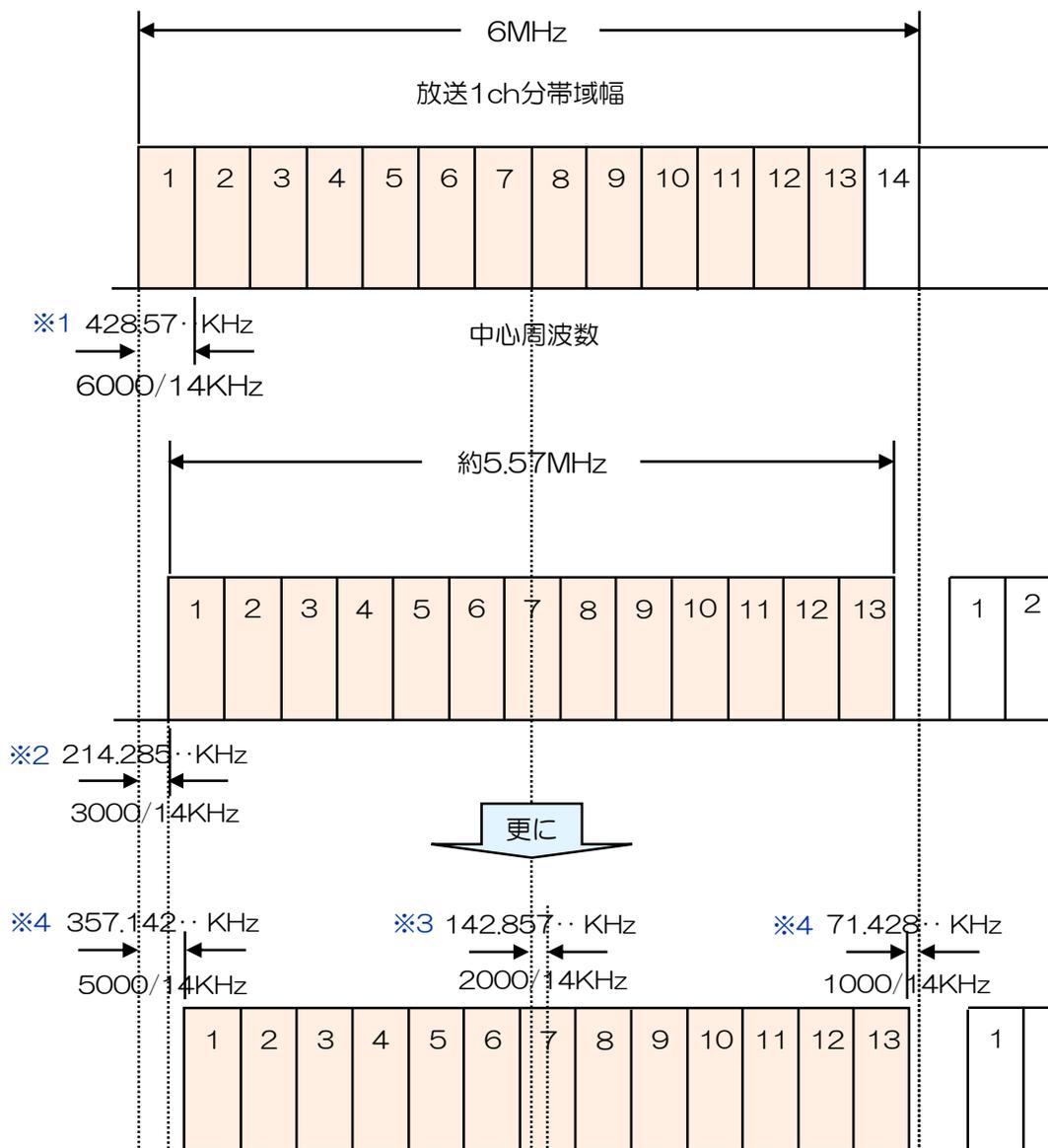
Broadnets

モード		MODE 1		MODE 2		MODE 3	
帯域幅		6000/14=3000/7=428.57・・・kHz					
キャリア間隔		3000/7/108= 250/63=3.9683・・・kHz		3000/7/216= 125/63=1.9841・・・kHz		3000/7/432= 125/126=0.99206・・・kHz	
キャリア数	総数	108	108	216	216	432	432
	データ	96	96	192	192	384	384
	SP*1	9	0	18	0	36	0
	CP*1	0	1	0	1	0	1
	TMCC*2	1	5	2	10	4	20
	AC1*3	2	2	4	4	8	8
	AC2*3	0	4	0	9	0	19
キャリア変調方式		16QAM、64QAM、 QPSK	DQPSK	16QAM、64QAM、 QPSK	DQPSK	16QAM、64QAM、 QPSK	DQPSK
シンボル数/フレーム		204					
有効シンボル長		252 μs		504 μs		1008 μs	
ガードインターバル長		63 μs(1/4)、31.5 μs(1/8)、 15.75 μs(1/16)、 7.875 μs(1/32)		126 μs(1/4)、63 μs(1/8)、 31.5 μs(1/16)、15.75 μs(1/32)		252 μs(1/4)、126 μs(1/8)、 63 μs(1/16)、31.5 μs(1/32)	
フレーム長		64.26ms(1/4)、57.834ms(1/8)、 54.621ms(1/16)、 53.0145ms(1/32)		128.52ms(1/4)、115.668ms(1/8)、 109.242ms(1/16)、 106.029ms(1/32)		257.04ms(1/4)、231.336ms(1/8)、 218.464ms(1/16)、 212.058ms(1/32)	
FFTサンプル速度		512/63=8.12693・・・MHz					
内符号		畳み込み符号(1/2、2/3、3/4、5/6、7/8)					
外符号		RS(204、188)					

# 13セグ 伝送パラメータ

モード		MODE 1	MODE 2	MODE 3
OFDMセグメント数 $N_s$		13セグメント		
帯域幅		$3000/7 \times N_s + 250/63 = 5.5754 \dots \text{MHz}$	$3000/7 \times N_s + 125/63 = 5.5734 \dots \text{MHz}$	$3000/7 \times N_s + 125/126 = 5.5724 \dots \text{MHz}$
差動変調部セグメント数		nd		
同期変調部セグメント数		ns(ns+nd= $N_s$ )		
キャリア間隔		$250/63 = 3.9683 \dots \text{kHz}$	$125/63 = 1.9841 \dots \text{kHz}$	$125/126 = 0.99206 \dots \text{kHz}$
キャリア数	総数	$108 \times N_s + 1 = 1405$	$216 \times N_s + 1 = 2809$	$432 \times N_s + 1 = 5617$
	データ	$96 \times N_s = 1248$	$192 \times N_s = 2496$	$384 \times N_s = 4992$
	SP	$9 \times ns$	$18 \times ns$	$36 \times ns$
	CP*1	nd+1	nd+1	nd+1
	TMCC	ns+5xnd	2xns+10xnd	4xns+20xnd
	AC1	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$8 \times N_s = 104$
	AC2	$4 \times nd$	$9 \times nd$	$19 \times nd$
キャリア変調方式		QPSK、16QAM、64QAM、DQPSK		
シンボル数/フレーム		204		
有効シンボル長		$252 \mu\text{s}$	$504 \mu\text{s}$	$1008 \mu\text{s}$
ガードインターバル長		$63 \mu\text{s}(1/4)$ 、 $31.5 \mu\text{s}(1/8)$ 、 $15.75 \mu\text{s}(1/16)$ 、 $7.875 \mu\text{s}(1/32)$	$126 \mu\text{s}(1/4)$ 、 $63 \mu\text{s}(1/8)$ 、 $31.5 \mu\text{s}(1/16)$ 、 $15.75 \mu\text{s}(1/32)$	$252 \mu\text{s}(1/4)$ 、 $126 \mu\text{s}(1/8)$ 、 $63 \mu\text{s}(1/16)$ 、 $31.5 \mu\text{s}(1/32)$
フレーム長		$64.26\text{ms}(1/4)$ 、 $57.834\text{ms}(1/8)$ 、 $54.621\text{ms}(1/16)$ 、 $53.0145\text{ms}(1/32)$	$128.52\text{ms}(1/4)$ 、 $115.668\text{ms}(1/8)$ 、 $109.242\text{ms}(1/16)$ 、 $106.029\text{ms}(1/32)$	$257.04\text{ms}(1/4)$ 、 $231.336\text{ms}(1/8)$ 、 、 $218.464\text{ms}(1/16)$ 、 $212.058\text{ms}(1/32)$
内符号		畳み込み符号(1/2、2/3、3/4、5/6、7/8)		
外符号		RS(204、188)		

# —デジタル放送チャンネルの帯域幅—



※1 デジタルでは、6MHzの帯域幅を14分割し、その内の13セグメントを使用。

- 1セグメント幅（セグメント単位）： $6000/14=428.57 \dots$  KHz
- セグメント当たりの適正伝送容量を得る。
- 上下隣接波との影響を避けるために、隣接チャンネルとの間を1セグメント分空ける。

※2 13セグメント全体を2分の1セグメント分移動し、帯域の中心に位置させる。

- 2分の1セグメント分： $6000/14/2=3000/14=214.285 \dots$  KHz

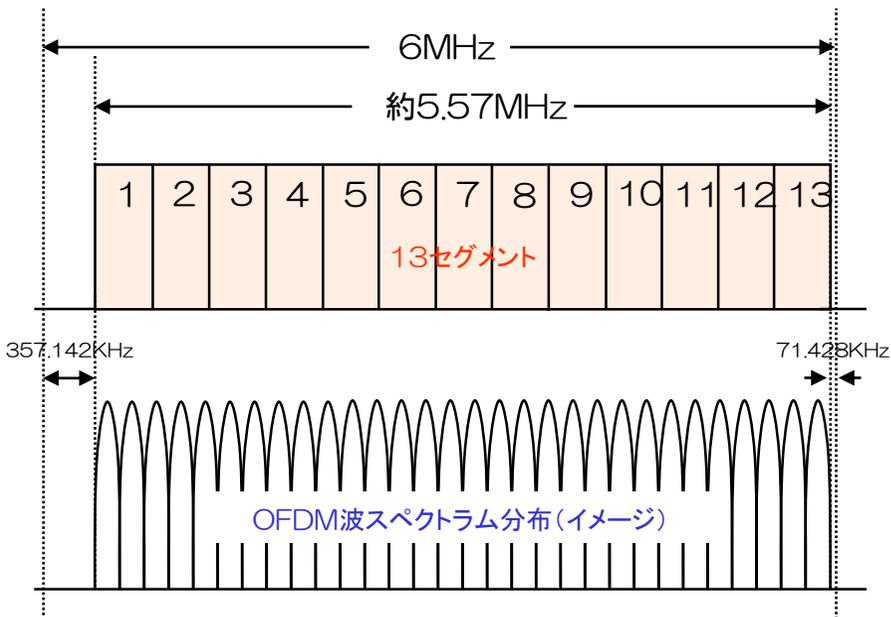
※3 更に、図※3より、3分の1セグメント分中心周波数をずらす。

- 3分の1セグメント分： $6000/14/3=142.857 \dots$  KHz
- 下隣接アナログchへの影響軽減⇒オフセット周波数

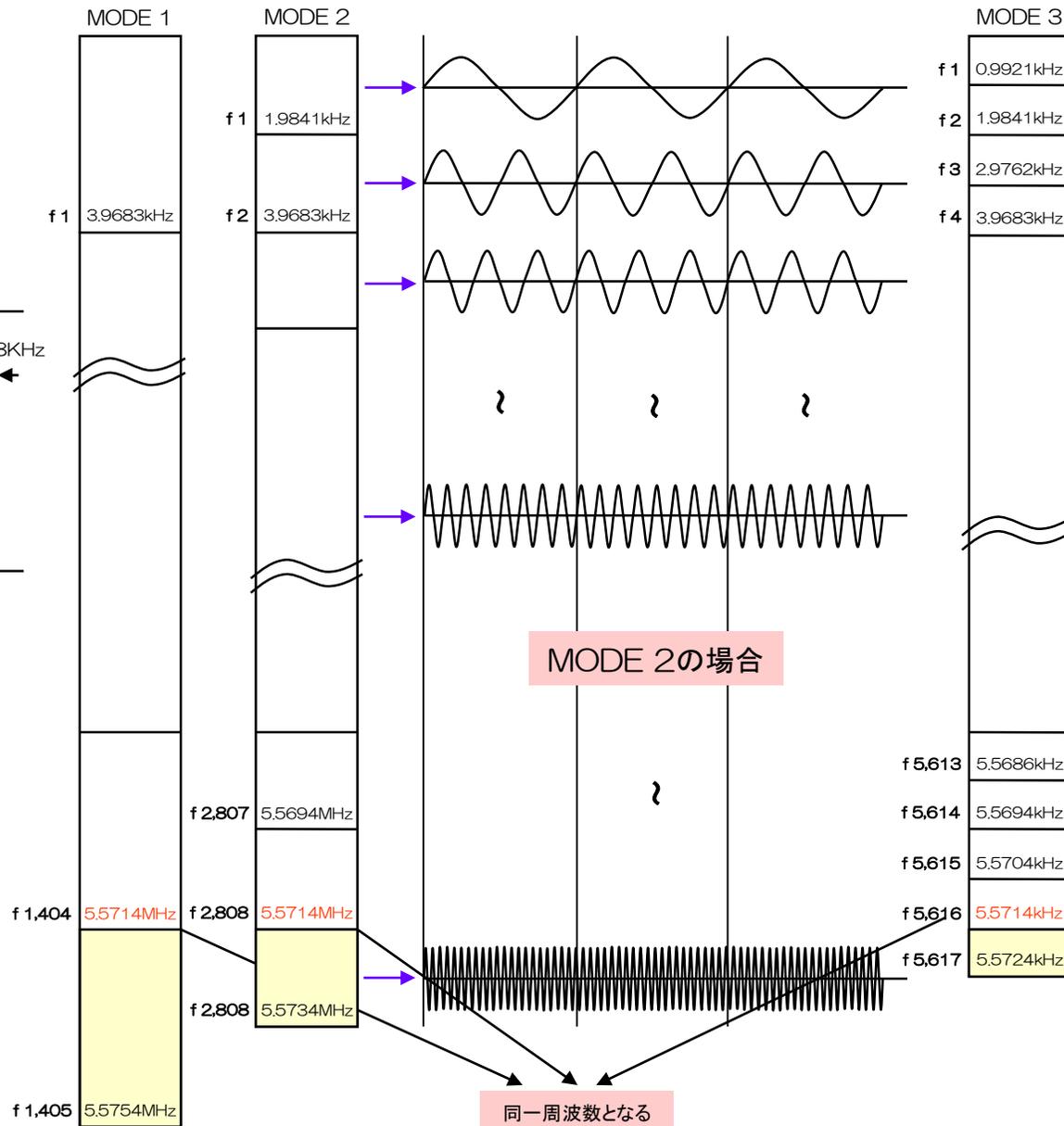
※4 よってシフト量は、

- 下隣接側： $(3000/14+2000/14)=5000/14=357.142 \dots$  KHz
- 上隣接側： $(6000/14-5000/14)=1000/14=71.428 \dots$  KHz

# —OFDM波のキャリア間隔/キャリア周波数—



		MODE 1	MODE 2	MODE 3
①	1セグ キャリア総数	108	216	432
②	キャリア間隔 (基本周波数)	3.9683kHz	1.9841kHz	0.9924kHz
③	13セグ キャリア総数	1,405	2,809	5,617
④	13セグメント 帯域幅 ②×③	5,5754MHz	5,5734MHz	5,5714MHz



# —MODEM別キャリア間隔/キャリア周波数—

1. MODE1、MODE2、MODE3ともシンボル数は共通  
204

2. MODE1→MODE3 基本周波数(キャリア間隔)が低くなる。

$$\text{MODE1} : 3,000/7/108=6,000/1,512=250/63=3.9683 \dots (\text{kHz})$$

$$\text{MODE2} : 3,000/7/216=6,000/3,024=125/63=1.9841 \dots (\text{kHz})$$

$$\text{MODE3} : 3,000/7/432=6,000/6,048=125/126=0.9920 \dots (\text{kHz})$$

3. MODE1→MODE3 キャリア間隔が狭くなる。



4. MODE1→MODE3 帯域内キャリア数が増える。

1フレーム(ワンセグ)で考えると

$$\text{MODE1} : 108 (96)$$

$$\text{MODE2} : 216(192)$$

$$\text{MODE3} : 432(384) \quad \text{但し、( )内は、データキャリア数}$$

5. MODE1→MODE3 有効シンボル長が長くなる。

1秒間のシンボル数(OFDMフレーム構成参照)は、MODE1 : 3,174.6032...、MODE2 : 1,587.3016...、MODE3 : 793.65079... と減少するが、前記4のとおりキャリア数が増加するので、総キャリア数(シンボルレート)、ビットレートとも同数となる。

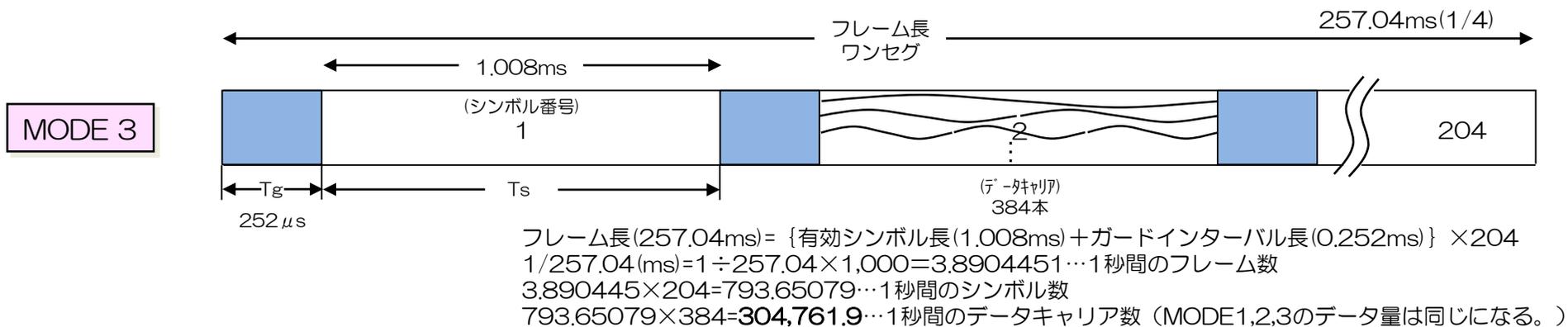
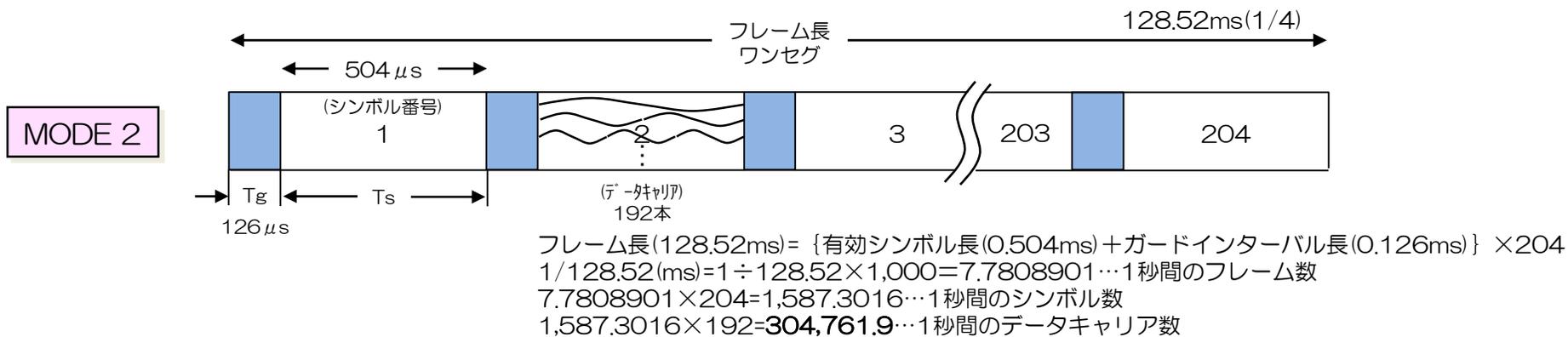
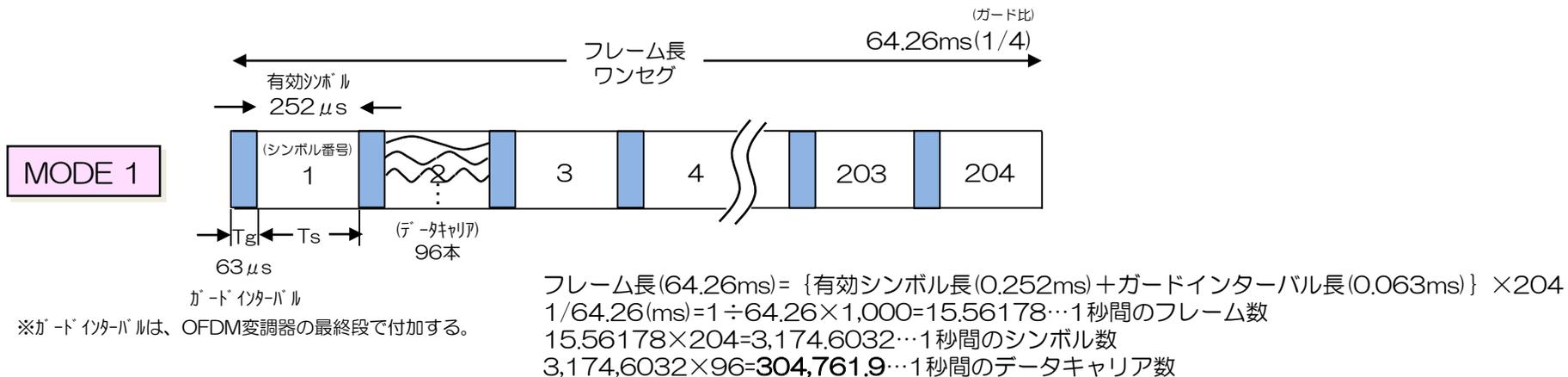
また、同じ比率(1/4、1/8、1/16、1/32)でガードインターバルを設定すると、ガードインターバルも長くなり、遅延波への耐干渉能力が向上する。

6. MODE3、ガードインターバル $126 \mu\text{s}$ (ガード比1/8)では、通路差37.8kmの遅延波まで干渉対応能力が発揮できる。

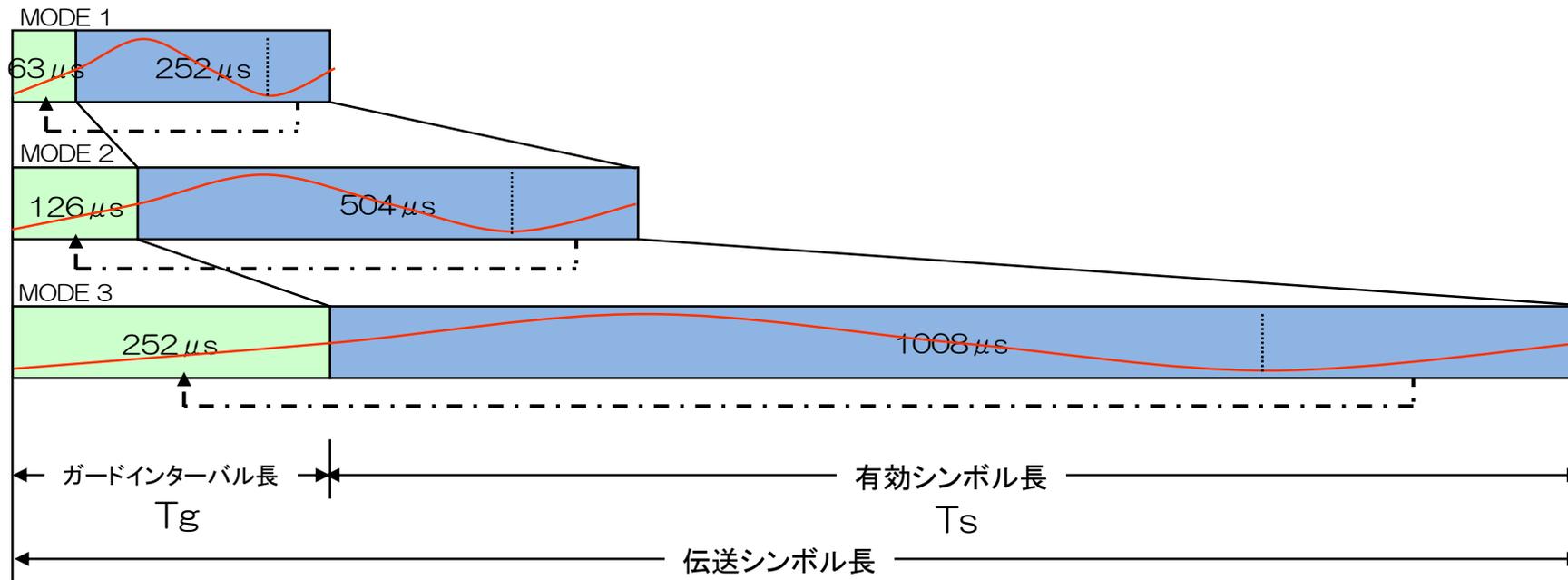


	2	109	432.5397	217	430.5556	433	429.5635
						434	430.5556
				218	432.5397	435	431.5476
						436	432.5397
		§					
		216	857.1429	431	855.1587	861	854.1667
						862	855.1587
				432	857.1429	863	856.1508
						864	857.1429
	3						
		§					
	12						
6000/14×1 5571.4286 (kHz)	13	1,297	5146.8254	2,593	5144.8413	5,185	5143.8492
						5,186	5144.8413
				2,594	5146.8254	5,187	5145.8333
						5,188	5146.8254
		§					
		1,404	5571.4286	2,807	5569.4444	5,613	5568.4524
						5,614	5569.4444
				2,808	5571.4286	5,615	5570.4365
						5,616	5571.428571
6000/14×13+チャリ間隔=		1,405	5575.3968	2,809	5573.4127	5,617	5572.4206

# MODMフレーム構成



# —MODMシンボル構成（ガードインターバルの付加）—



	有効シンボル長( $T_s$ )	ガードインターバル長( $T_g$ )			
		ガード比			
		1/4	1/8	1/16	1/32
MODE 1	252 $\mu s$	63 $\mu s$	31.5 $\mu s$	15.75 $\mu s$	7.875 $\mu s$
MODE 2	504 $\mu s$	126 $\mu s$	63 $\mu s$	31.5 $\mu s$	15.75 $\mu s$
MODE 3	1.008ms	252 $\mu s$	126 $\mu s$	63 $\mu s$	31.5 $\mu s$

## —MODE別伝送パラメータ—

MODE伝送パラメータは、固定受信、携帯受信、移動受信などの放送形態に対応するため、キャリア数の異なる3種類のモード（MODE1、MODE2、MODE3）が用意されている。

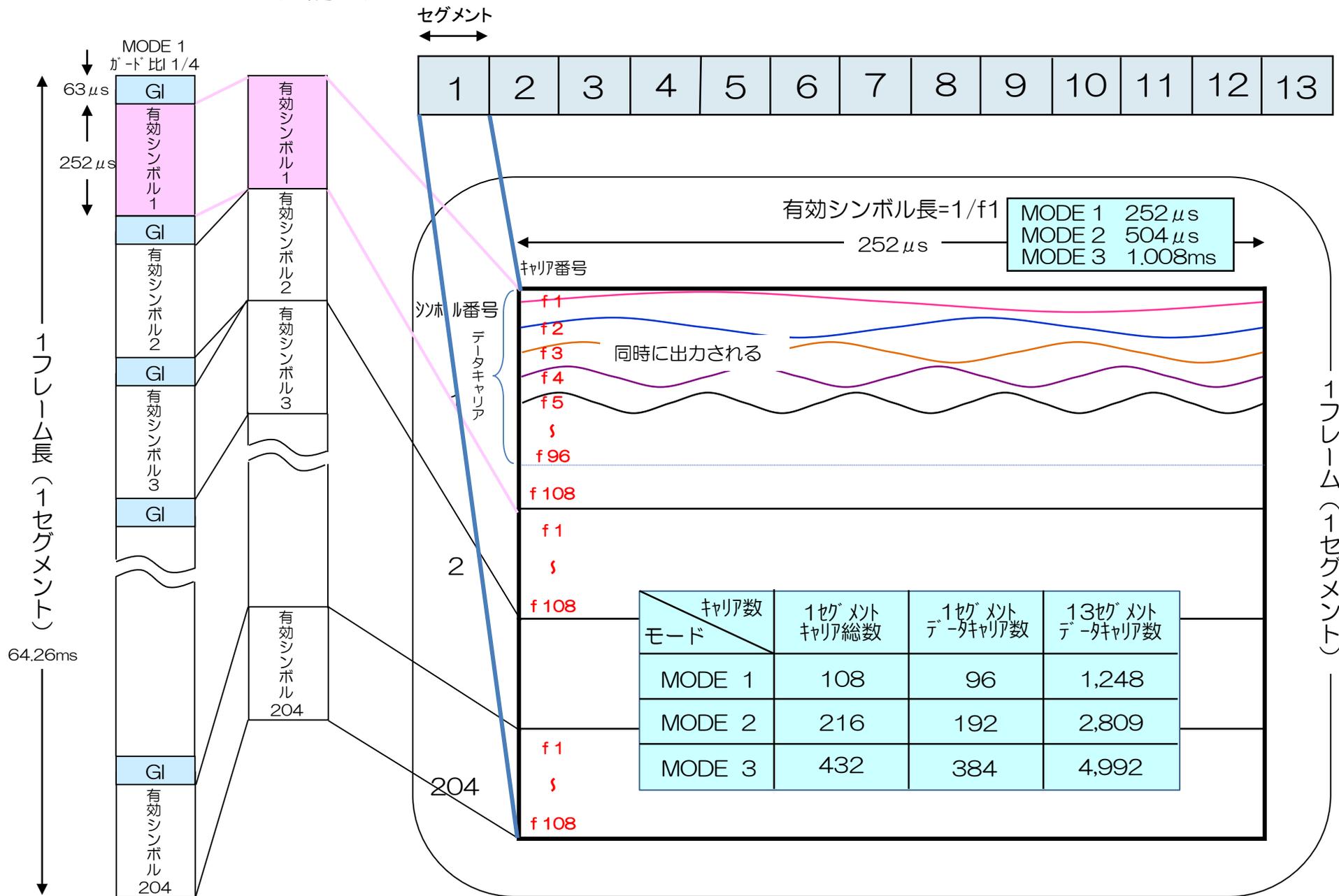
### MODE別伝送パラメータ

主要パラメータ	MODE 1	MODE 2	MODE 3
総キャリア数(1セグ/13セグ)	108/1,405	216/2,809	432/5,617
データキャリア数(1セグ/13セグ)	96/1,248	192/2,496	384/4,992
キャリア間隔	約 3.968 kHz	約 1.984 kHz	約 0.992 kHz
有効シンボル長	252 $\mu$ s	504 $\mu$ s	1,008 $\mu$ s
シンボル数	204		
ガードインターバル長	63 $\mu$ s(1/4) 31.5 $\mu$ s(1/8) 15.75 $\mu$ s(1/16) 7. 875 $\mu$ s(1/32)	126 $\mu$ s(1/4) 63 $\mu$ s(1/8) 31.5 $\mu$ s(1/16) 15.75 $\mu$ s(1/32)	252 $\mu$ s(1/4) 126 $\mu$ s(1/8) 63 $\mu$ s(1/16) 31.5 $\mu$ s(1/32)
最大ガードインターバル長	63 $\mu$ s	126 $\mu$ s	252 $\mu$ s
最大耐干渉能力	18.9 km	37.8 km	75.6 km

$$1\text{s} : 30\text{万km} = 126\ \mu\text{s} : x$$

$$X = (300 \times 10^6) \times (126 \times 10^{-6}) = 37,800 = 37.8\text{km}$$

—MODMセグメント構成—

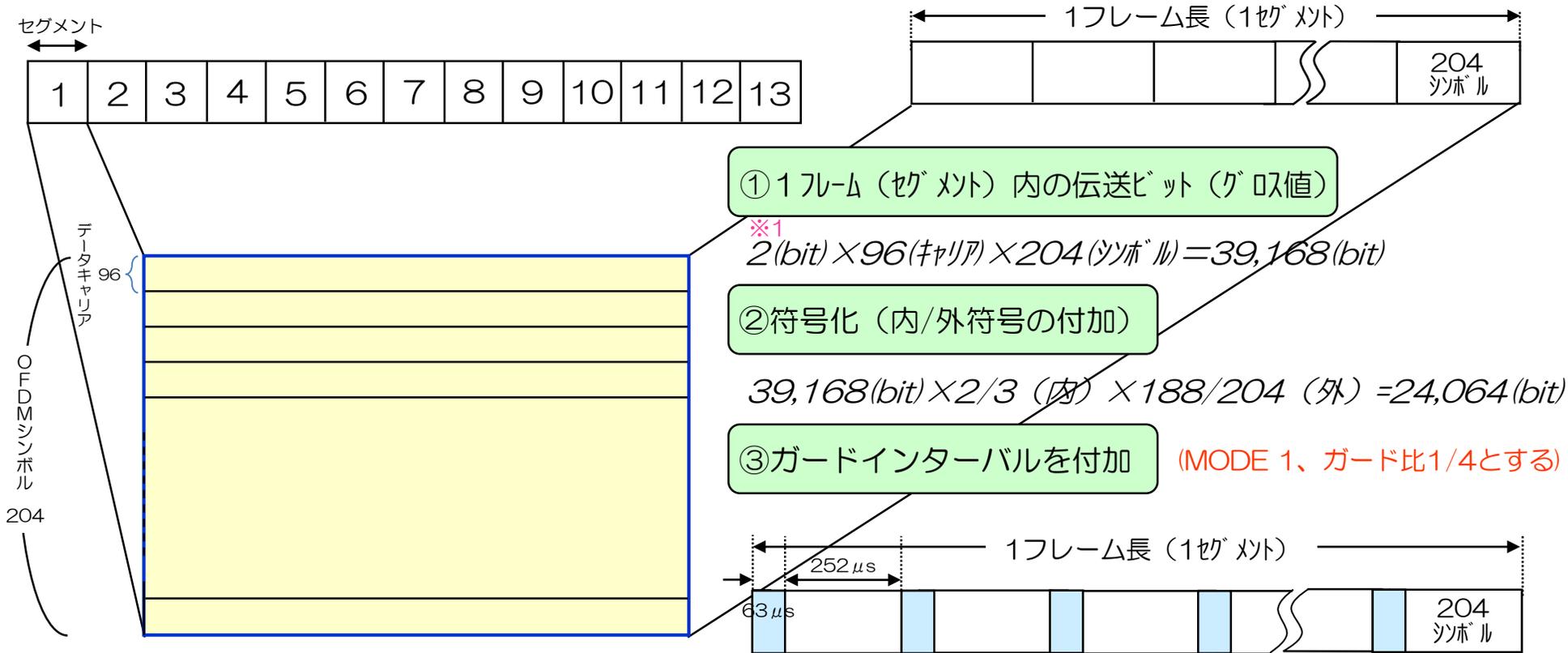


—変調方式の分類—

	BPSK (2相PSK)  Binary Phase Shift Keying  (位相偏移変調)	QPSK (4相PSK)  Quadrature Phase Shift Keying  (位相偏移変調)		16QAM  16 Quadrature Amplitude Modulation  (直交振幅変調)		64QAM  64 Quadrature Amplitude Modulation  (直交振幅変調)
bit	1	2	3	4	5	6
値	$2^1 = 2$	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	$2^4 = 16$	$2^5 = 32$	$2^6 = 64$
状態	0 1	00 01 10 11	000 001 010 011 100 101 110 111	0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 ∫ 1111	00000 00001 00010 00011 00100 00101 00110 00111 ∫ 11111	000000 000001 000010 000011 000100 000101 000110 000111 ∫ 111111

# —OFDM 1セグ送信ビットレートの算出—

◇送信パラメータ (MODE 1、ガード比1/4、DQPSK)

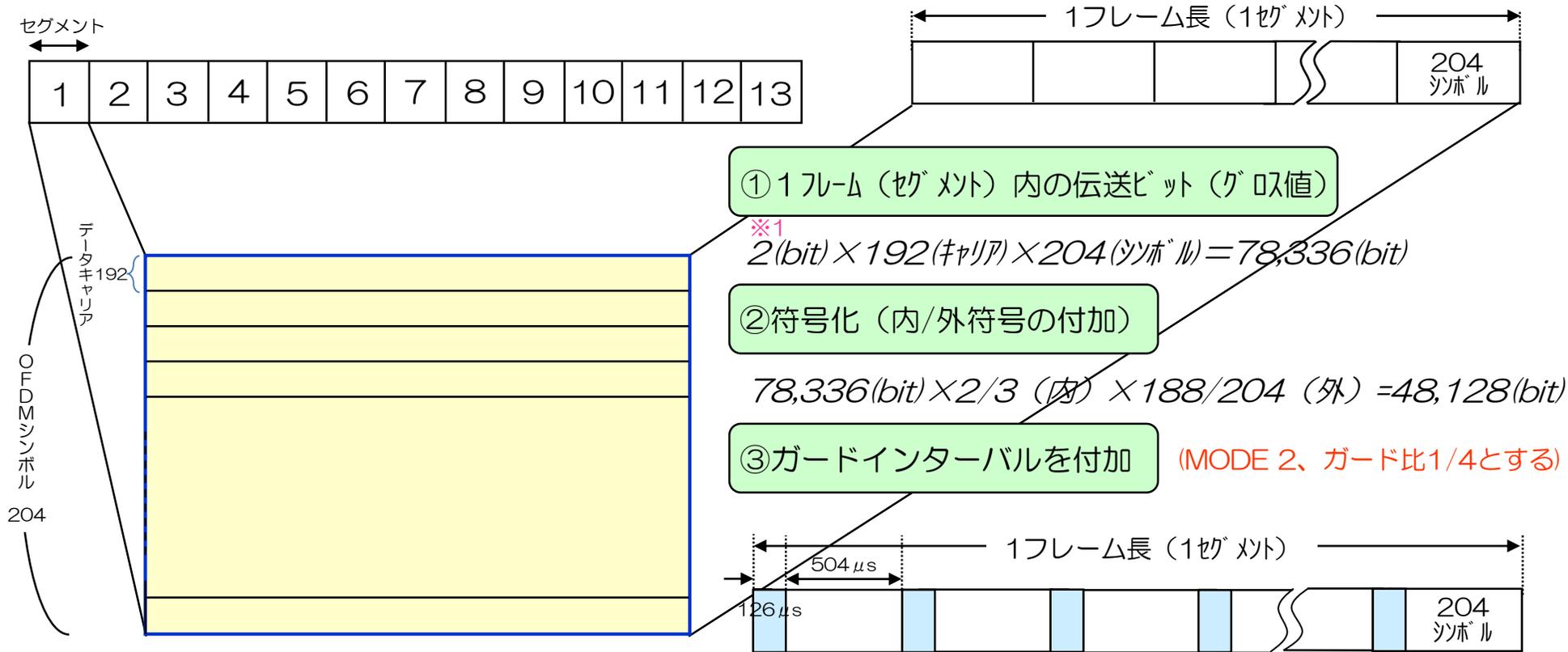


※1 変調方式による1キャリア当たりの送信ビット数

変調方式	ビット数
QPSK/DQPSK	2
16AM	4
64QAM	6

# —OFDM 1セグ送信ビットレートの算出—

◇送信パラメータ (MODE 2、ガード比1/4、DQPSK)



① 1フレーム (セグメント) 内の送信ビット (ビット値)

※1  
 $2(\text{bit}) \times 192(\text{キャリア}) \times 204(\text{シンボル}) = 78,336(\text{bit})$

② 符号化 (内/外符号の付加)

$78,336(\text{bit}) \times 2/3(\text{内}) \times 188/204(\text{外}) = 48,128(\text{bit})$

③ ガードインターバルを付加 (MODE 2、ガード比1/4とする)



④ フレーム時間長  $504(\mu s) + 126(\mu s) = 630(\mu s)$

$630(\mu s) \times 204(\text{シンボル}) = 0.12852(\text{s})$

⑤ 1秒当たりのビットレートに直すと

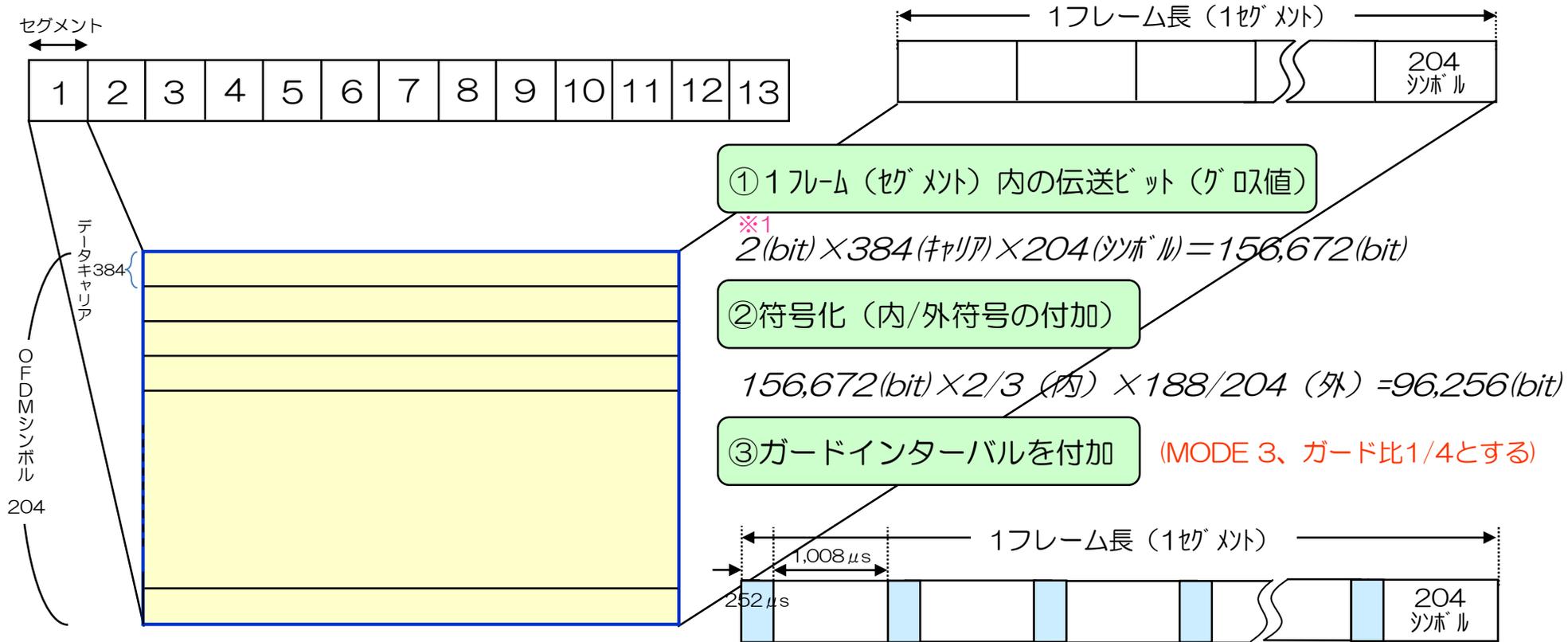
$② / ④ = 48,128(\text{kbit}) \div 0.12852(\text{s}) = 374.479(\text{kbps})$

※1 変調方式による1キャリア当りの送信ビット数

変調方式	ビット数
QPSK/DQPSK	2
16AM	4
64QAM	6

# —OFDM 1セグ送信ビットレートの算出—

◇送信パラメータ (MODE 3、ガード比1/4、DQPSK)



※1 変調方式による1キャリア当たりの送信ビット数

変調方式	ビット数
QPSK/DQPSK	2
16AM	4
64QAM	6

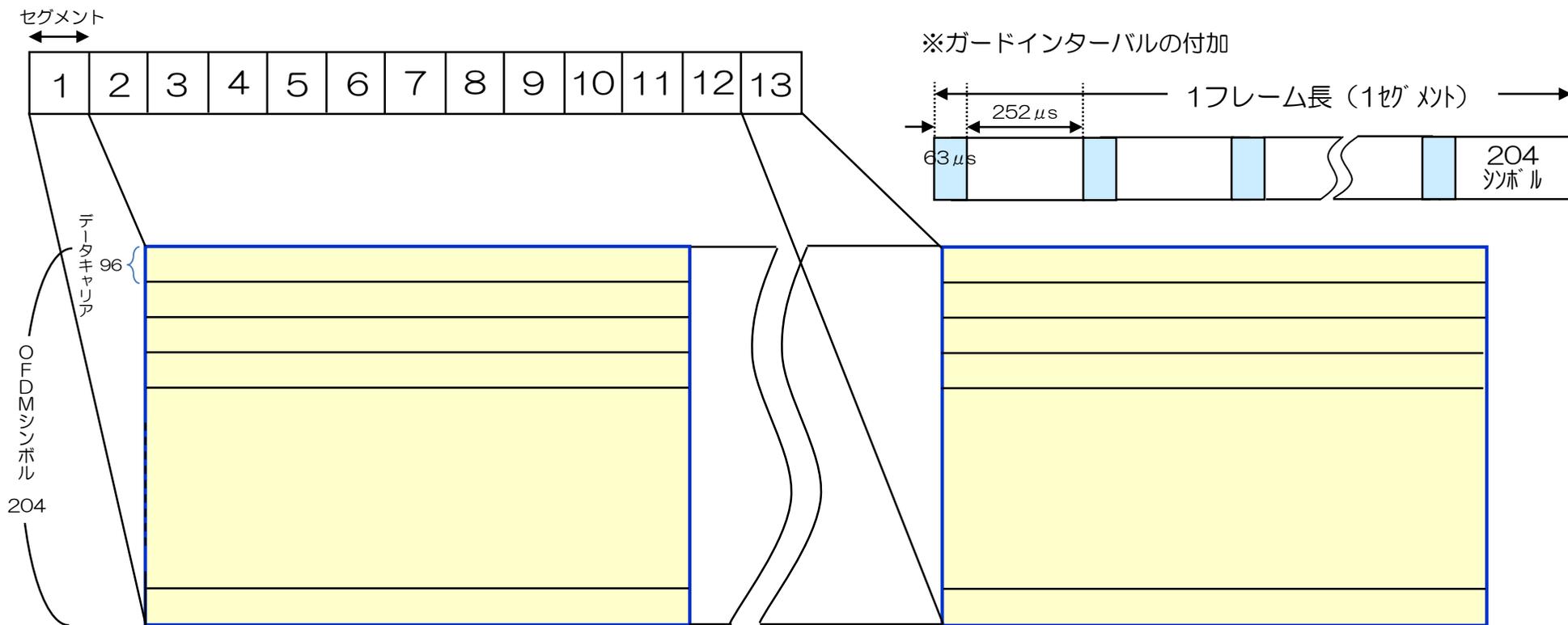
# 1セグ 伝送ビットレート (データ分)

Broadnets

キャリア変調	畳み込み符号	伝送容量 (kbps)			
		ガード比 1/4	ガード比 1/8	ガード比 1/16	ガード比 1/32
DQPSK QPSK	1/2	280.85	312.06	330.42	340.43
	2/3	374.47	416.08	440.56	453.91
	3/4	421.28	468.09	495.63	510.65
	5/6	468.09	520.10	550.70	567.39
	7/8	491.50	546.11	578.23	595.76
16QAM	1/2	561.71	624.13	660.84	680.87
	2/3	748.95	832.17	881.12	907.82
	3/4	842.57	936.19	991.26	1021.30
	5/6	936.19	1040.21	1101.40	1134.78
	7/8	983.00	1092.22	1156.47	1191.52
64QAM	1/2	842.57	936.19	991.26	1021.30
	2/3	1123.43	1248.26	1321.68	1361.74
	3/4	1263.86	1404.29	1486.90	1531.95
	5/6	1404.29	1560.32	1652.11	1702.17
	7/8	1474.50	1638.34	1734.71	1787.28

# —OFDM 13セグ伝送ビットレートの算出—

◇伝送パラメータ (MODE 1、ガード比1/4、64QAM)



※1 変調方式による1キャリア当りの伝送ビット数

変調方式	ビット数
QPSK/DQPSK	2
16AM	4
64QAM	6

①  $6(\text{bit}) \times 96(\text{キャリア}) \times 204(\text{シンボル}) \times 13(\text{セグ}) = 1,527,552(\text{bit})$

②  $1,527,552(\text{bit}) \times 3/4(\text{内}) \times 188/204(\text{外}) = 1,055,808(\text{bit})$

③ ガードインターバルを付加(ガード比1/4)

$252(\mu\text{s}) + 63(\mu\text{s}) = 315(\mu\text{s})$

④ フレーム時間長

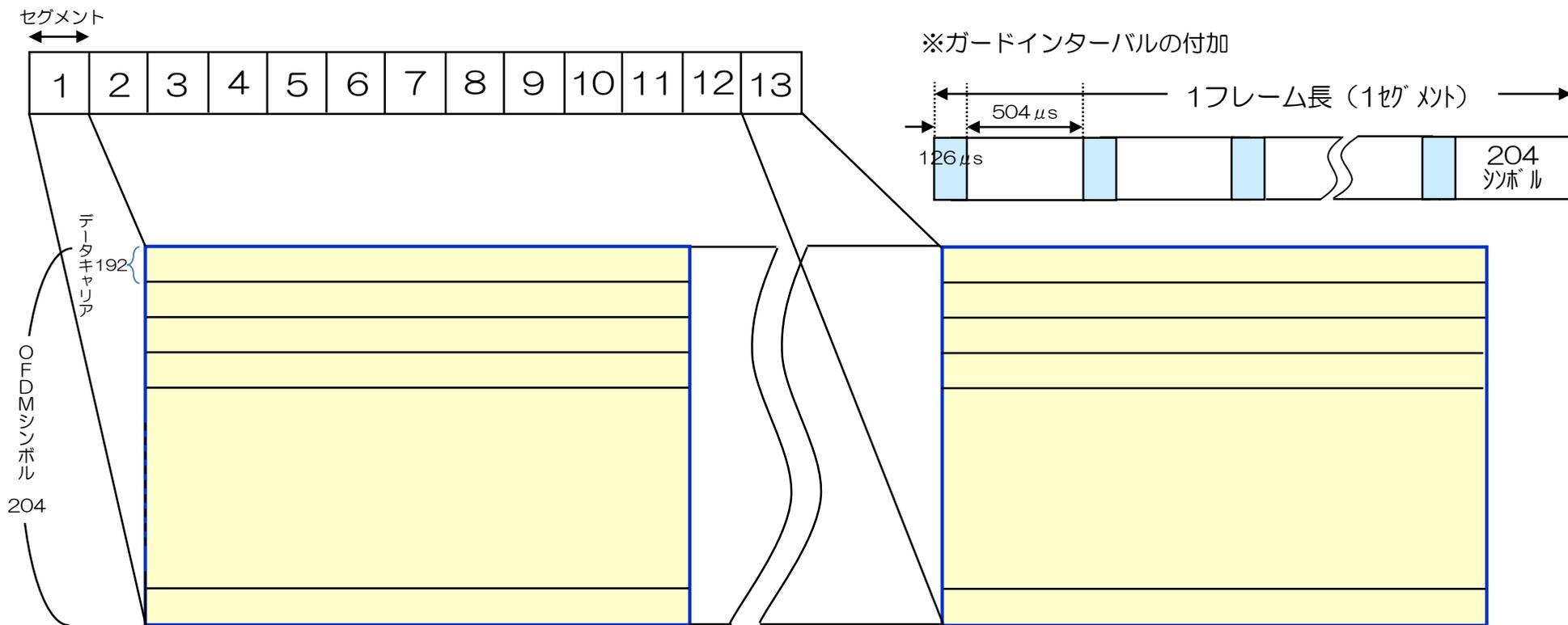
$315(\mu\text{s}) \times 204(\text{シンボル}) = 0.06426(\text{s})$

⑤ 1秒当たりのビット数

$② / ④ = 1,055.808(\text{kbit}) \div 0.06426(\text{s}) = 16.430(\text{Mbps})$

# —OFDM 13セグ伝送ビットレートの算出—

◇伝送パラメータ (MODE 2、ガード比1/4、64QAM)



※1 変調方式による1キャリア当りの伝送ビット数

変調方式	ビット数
QPSK/DQPSK	2
16AM	4
64QAM	6

①  $6(\text{bit}) \times 192(\text{キャリア}) \times 204(\text{シンボル}) \times 13(\text{セグ}) = 3,055,104(\text{bit})$

②  $3,055,104(\text{bit}) \times 3/4(\text{内}) \times 188/204(\text{外}) = 2,111,616(\text{bit})$

③ ガードインターバルを付加(ガード比1/4)

$504(\mu\text{s}) + 126(\mu\text{s}) = 630(\mu\text{s})$

④ フレーム時間長

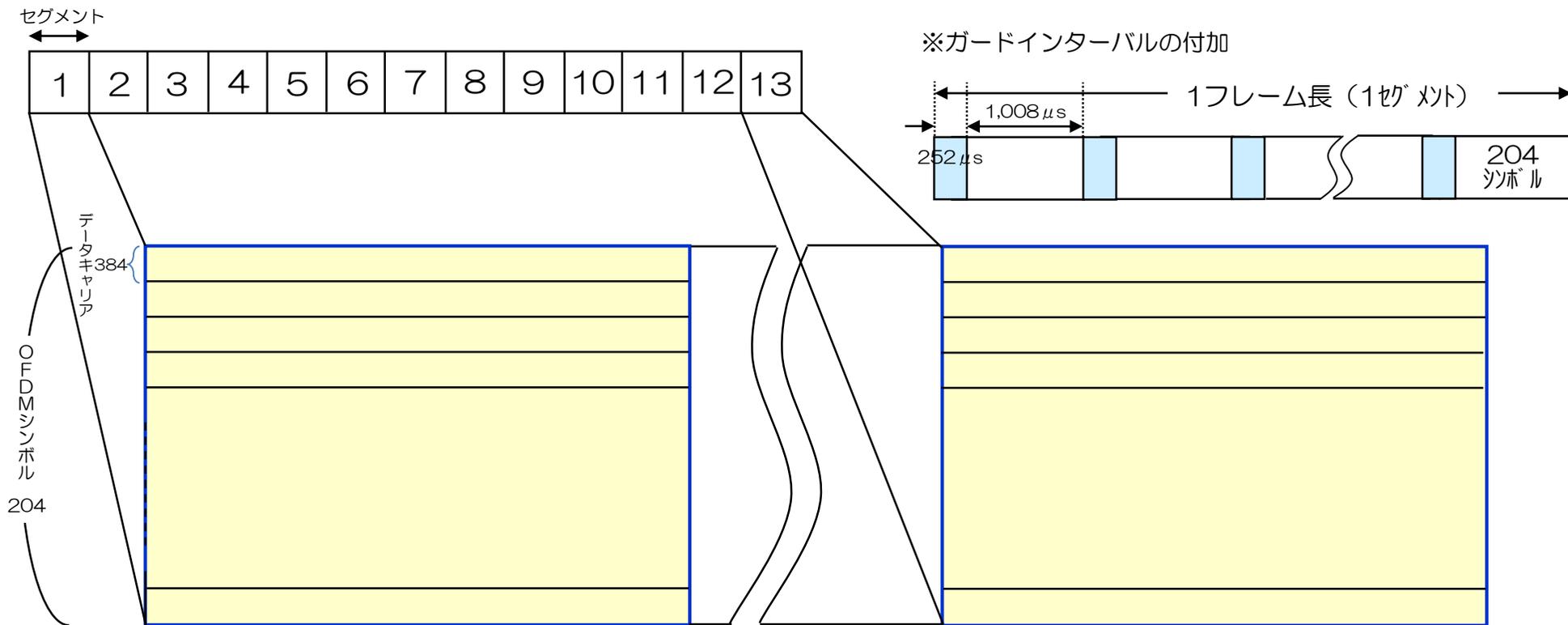
$630(\mu\text{s}) \times 204(\text{シンボル}) = 0.12852(\text{s})$

⑤ 1秒当たりのビット数

$2,111,616(\text{kbit}) \div 0.12852(\text{s}) = 16.430(\text{Mbps})$

# —OFDM 13セグ伝送ビットレートの算出—

◇伝送パラメータ (MODE 3、ガード比1/4、64QAM)



※1 変調方式による1キャリア当りの伝送ビット数

変調方式	ビット数
QPSK/DQPSK	2
16AM	4
64QAM	6

- ①  $6(\text{bit}) \times 384(\text{キャリア}) \times 204(\text{シンボル}) \times 13(\text{セグ}) = 6,110,208(\text{bit})$
- ②  $6,110,208(\text{bit}) \times 3/4(\text{内}) \times 188/204(\text{外}) = 4,223,232(\text{bit})$
- ③ ガードインターバルを付加(ガード比1/4)  
 $1,008(\mu\text{s}) + 252(\mu\text{s}) = 1,260(\mu\text{s})$
- ④ フレーム時間長  
 $1,260(\mu\text{s}) \times 204(\text{シンボル}) = 0.25704(\text{s})$
- ⑤ 1秒当たりのビット数  
 $② / ④ = 4,223.232(\text{kbit}) \div 0.25704(\text{s}) = 16.430(\text{Mbps})$

# 13セグ 伝送ビットレート (データ分)

Broadnets

キャリア変調	畳み込み符号	伝送容量 (Mbps)			
		ガード比 1/4	ガード比 1/8	ガード比 1/16	ガード比 1/32
DQPSK QPSK	1/2	3.651	4.056	4.295	4.425
	2/3	4.868	5.409	5.727	5.900
	3/4	5.476	6.085	6.443	6.638
	5/6	6.085	6.761	7.159	7.376
	7/8	6.389	7.099	7.517	7.744
16QAM	1/2	7.302	8.113	8.590	8.851
	2/3	9.736	10.818	11.454	11.801
	3/4	10.953	12.170	12.886	13.276
	5/6	12.170	13.522	14.318	14.752
	7/8	12.779	14.198	15.034	15.489
64QAM	1/2	10.953	12.170	12.886	13.276
	2/3	14.604	16.227	17.181	17.702
	3/4	16.430	18.255	19.329	19.915
	5/6	18.255	20.284	21.477	22.128
	7/8	19.168	21.298	22.551	23.234

# 実際の運用パラメータ

Broadnets

ISDB-Tパラメータ	固定受信 (12セグ)	携帯受信 (ワンセグ)
MODE	MODE 3	
全帯域幅	$6,000(\text{kHz})/14 \times 13 + 125/126$ $= 5,571.4286 + 0.992 = 5,572.4207 = 5,572 \cdot \cdot \text{MHz}$	
キャリア間隔	$125/126 = 0.992 \cdot \cdot \text{kHz}$	
キャリア総数	$6,000(\text{kHz})/14 = 428.57143(\text{kHz})$ $428.57143(\text{kHz})/125/126 = 432$ $432 \times 13 + 1 = 5,617$	
有効シンボル長	1,008 $\mu\text{s}$	
ガードインターバル比	1/8	
ガードインターバル長	126 $\mu\text{s}$	
OFDMセグメント数	12	1
セグメント帯域幅	$6,000(\text{kHz})/14 \times 12$ $= 5.142 \cdot \cdot \text{MHz}$	$6,000(\text{kHz})/14$ $= 428.57 \cdot \cdot \text{kHz}$
キャリア数(データキャリア数)	$432 \times 12 + 1 = 5,185(4,608)$	432(384)
キャリア変調方式	64QAM	QPSK
内符号の符号化率(畳み込み符号)	3/4	2/3
時間インターリーブ長	約215ms	約430ms
外符号(リードソロモン符号)	188/204	
情報レート(データ分)	16.851Mbps	416Kbps

## ー 12セグ 伝送ビットレート（データ分）

## パラメータ

- MODE3
- 有効シンボル長  $1,008 \mu\text{s}$
- ガードインターバル  $1/8 (126 \mu\text{s})$
- データキャリア数  $4,608 (384 \times 12)$
- 変調方式 64QAM
- 1シンボルで送ることのできるbit数 6bit
- 内符号  $3/4$
- 外符号  $188/204$

- ① 1フレームのデータ伝送容量は  
 $6 (1\text{シンボルで送ることのできるbit数}) \times 4,608 (\text{キャリア}) \times 204 (\text{シンボル}) = 5,640,192 (\text{bit})$
- ② 符号化（誤り訂正符号の付加）  
 $5,640,192 (\text{bit}) \times 3/4 (\text{内符号}) \times 188/204 (\text{外符号}) = 3,898,368 (\text{bit})$
- ③ ガードインターバルの付加  
 $1,008 (\mu\text{s}) + 126 (\mu\text{s}) = 1,134 (\mu\text{s})$
- ④ フレーム時間  
 $1,134 (\mu\text{s}) \times 204 (\text{シンボル}) = 231.336 (\text{ms}) = 0.231336 (\text{s})$
- ⑤ 1秒当たりの伝送容量  
 $0.231336 (\text{s}) : 4,223.232 (\text{kbit}) = 1 : X$   
 $X = 3,898.368 (\text{kbit}) \div 0.231336 (\text{s}) = \underline{16.255 (\text{Mbps})}$
- ⑥ 12セグメントの伝送容量は、以下のとおり⑤と同数となる。  
 $18,255.836 (\text{kbps}) \times 12 \div 13 = \underline{16.851 (\text{Mbps})}$