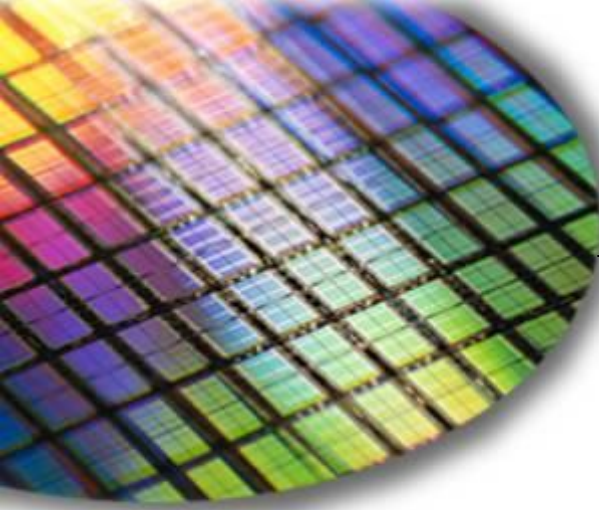




The World Leader in High Performance Signal Processing Solutions



高速アナログ回路技術の 基本を正しく理解して正しく設計する (前編)

アナログ・デバイセズ株式会社
石井 聡



アジェンダ

【前編】

1. イントロダクション
2. 「大きさ」を表すデシベル(dB)とdBmの考え方
3. dBmをちょっと基本クイズで考える
4. dBに関連して出てくる用語
5. 電圧と電流は伝送線路内を波として伝わっていく

【後編】

6. 伝送線路と特性インピーダンス
7. 電圧と電流が反射する「反射係数」
8. 低雑音設計で重要なNF(ノイズ・フィギア)の理解
9. 実際のデータシートを引用した用語の意味合い



その2【後編】も
是非ご覧ください



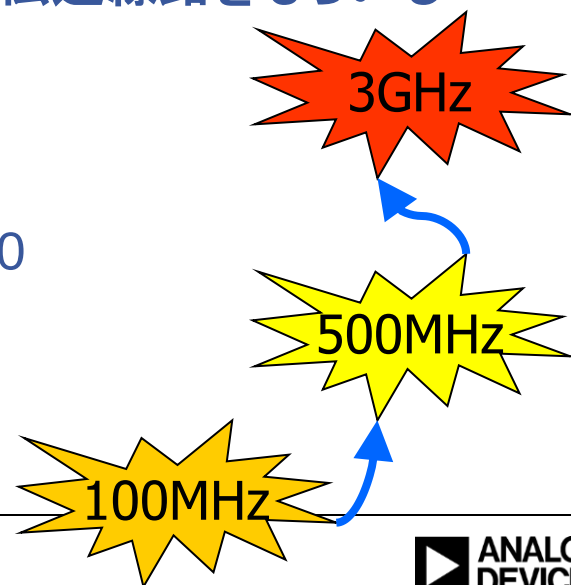
このセッションでのゴール

- ◆ アナログ信号もデジタル信号も周波数が**高速化**
 - 高周波回路技術的な要素が必要になってくる
- ◆ アナログ・デバイセズの高速アナログ製品をどのように活用するか
- ◆ 顧客／同僚／発注先の**高周波回路的**な要求／話題／仕様をどのように理解するか
- ◆ 高周波回路で用いられる用語、技術を理解できます
 - 実際の設計業務に使える内容
 - 高速アナログ・デジタル信号の基板上の振る舞いも理解
 - 高速回路が初めての方でも理解できるように説明します！

なぜ高速アナログ回路のセミナーなのか

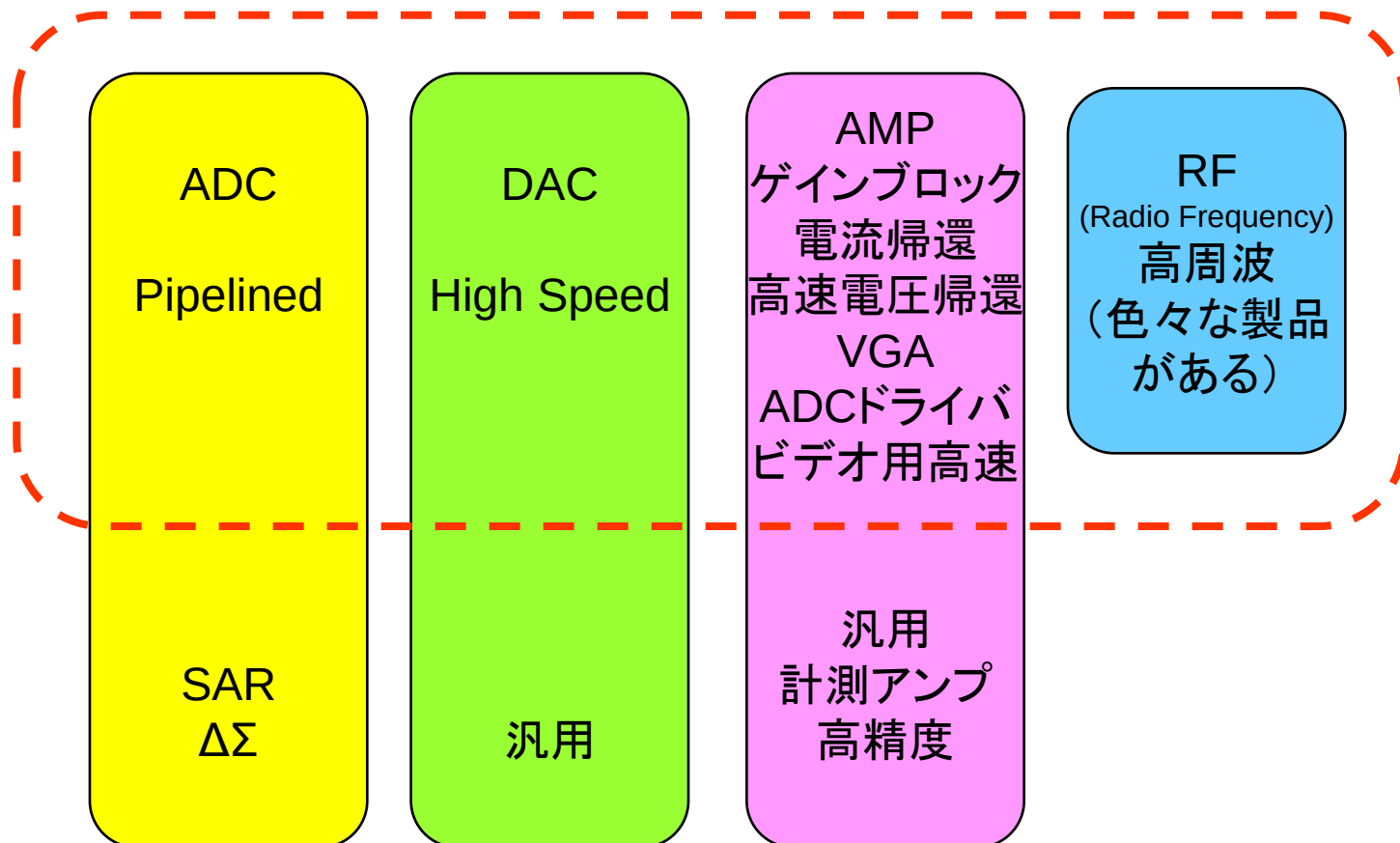
- ◆ 回路設計・仕様がどんどん**ハイスピード**化している
 - 数10MHz～100MHzを超えたあたりが**ハイスピード回路の入り口**
 - 高周波回路技術や用語が多用される(知識として知っておく必要あり)

- ◆ 特性インピーダンスや伝送線路(同軸ケーブル、プリント基板)など、高周波回路的な振る舞いが回路の**動作上見えてくる**
 - **高周波**回路は当然ながら同軸ケーブルなどの伝送線路をもちいる
 - 高周波回路のスミスチャートやSパラメータといった**聞きなれない用語**が出てくる
 - **高速デジタル**回路も...
 - ◆ LVDS, シリアルATA, IEEE-1394, USB 2.0
 - ◆ CPUバスラインなどなど
 - ...プリント基板上やリード線内の電圧や電流のうごきを伝送線路として考える必要あり



ADIの高速アナログ製品のカテゴリ(一部の例)

高速アナログ製品として取り扱うもの



一番基本的な用語

RF (Radio Frequency; 高周波)

IF (Intermediate Frequency; 回路内部で処理するための中間周波数)



2. 「大きさ」を表すデシベル(dB)とdBmの考え方

dBとdBmは高周波的な回路設計をするときに、必ず出てくる「**大きさ**」を表す**単位**です。実際の大きさとどのような意味的違いがあるかをぜひ知ってください

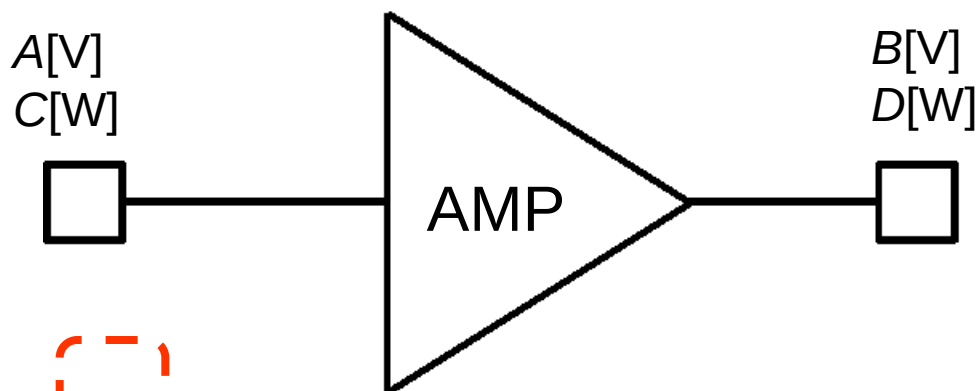
「xxdBmって何V?」・・・「デシベルでしゃべる高周波回路屋さん」とご自身の電圧レベルでの理解との間を橋渡しでき、**他者との意思疎通がスムーズ**になります

dB, dBmはハイスピード・デザインでは必須の用語

高周波回路や高速アナログ回路では
対数で考えるもの(一部例外もあり)

このあたりは覚えて
おいていただくと良
いです

黄色はとくに重要



dB値	電圧比	電力比
-20	0.1	0.01
-10	0.3	0.1
-5	$1/\sqrt{3}$	0.3
-3	$1/\sqrt{2}$	0.5 (1/2)
0	1	1
3	$\sqrt{2}$	2
5	$\sqrt{3}$	3
10	3	10
20	10	100

電圧増幅率

$$\frac{B}{A}$$

$$20 \times \log_{10} \frac{B}{A}$$

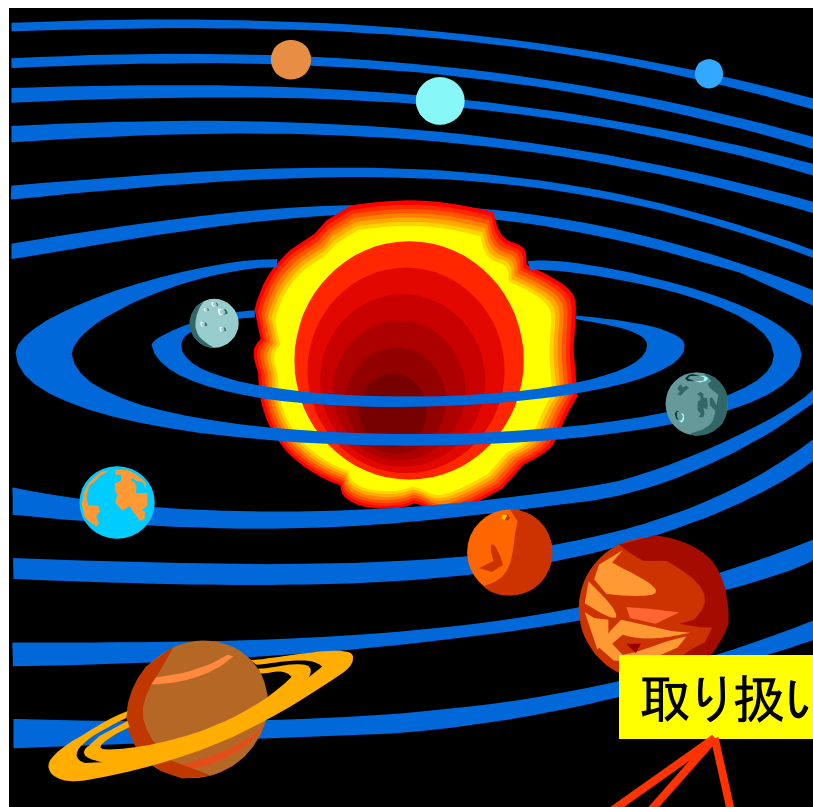
電力増幅率

$$\frac{D}{C}$$

$$10 \times \log_{10} \frac{D}{C}$$

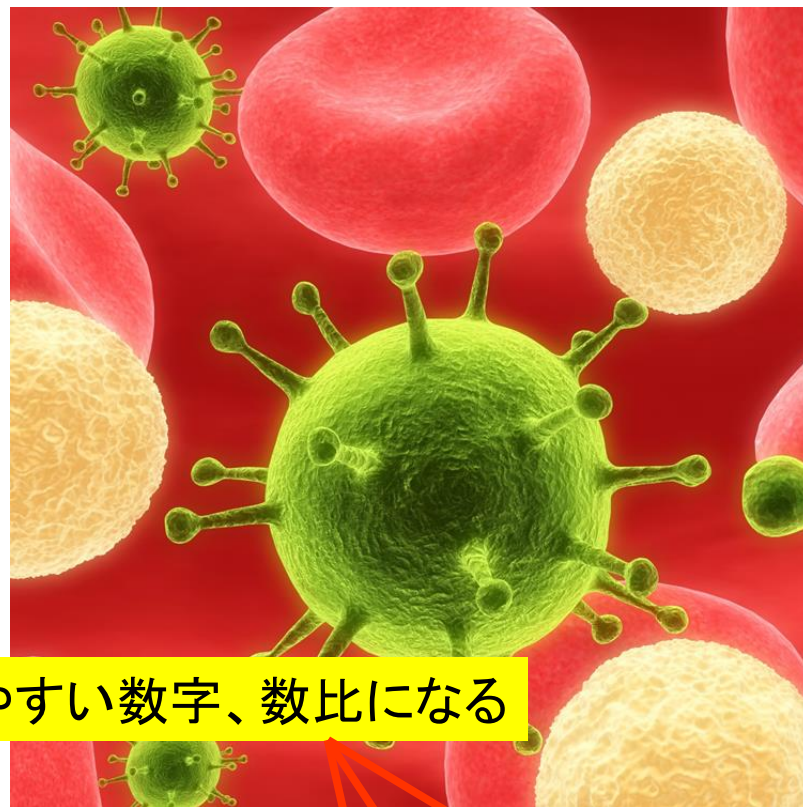
- 電圧でも電力でも(抵抗が同じなら)dB値は同じになる $P = I^2 R = V^2 / R$ だから
- dBがマイナスになるからと言って比率自体がマイナスになるのではありません

log, 対数の考え方を日常生活でイメージ



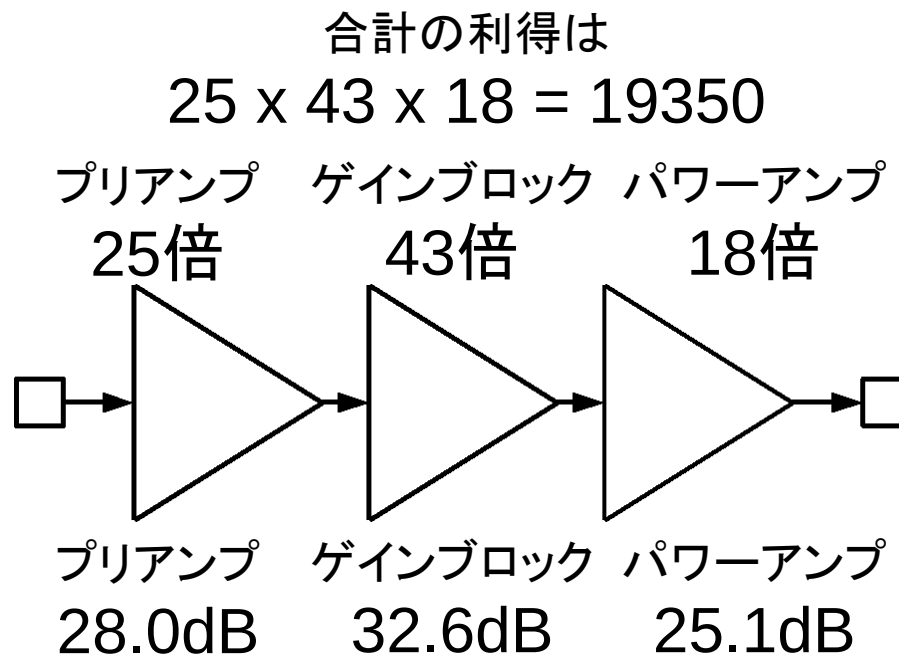
取り扱いしやすい数字、数比になる

木星周回半径 778,412,010,000m
 土星周回半径 1,426,725,400,000m
 比率が約2倍
 dB相当だと、119と122、その差は3dB



白血球半径 0.000,01m
 ウイルス 0.000,02m
 比率が2倍
 dB相当だと、-50と-47、その差は3dB

dBだと複数接続されたアンプの利得が足し算でOK!



合計の利得は

$$28.0 + 32.6 + 25.1 = 85.7\text{dB}$$

dBだと足し算で計算できるので見積もりがしやすい



dBm(ディービーエム)の意味合い

普通に「マイナス90」
とかいうが、驚異的
小ささ！

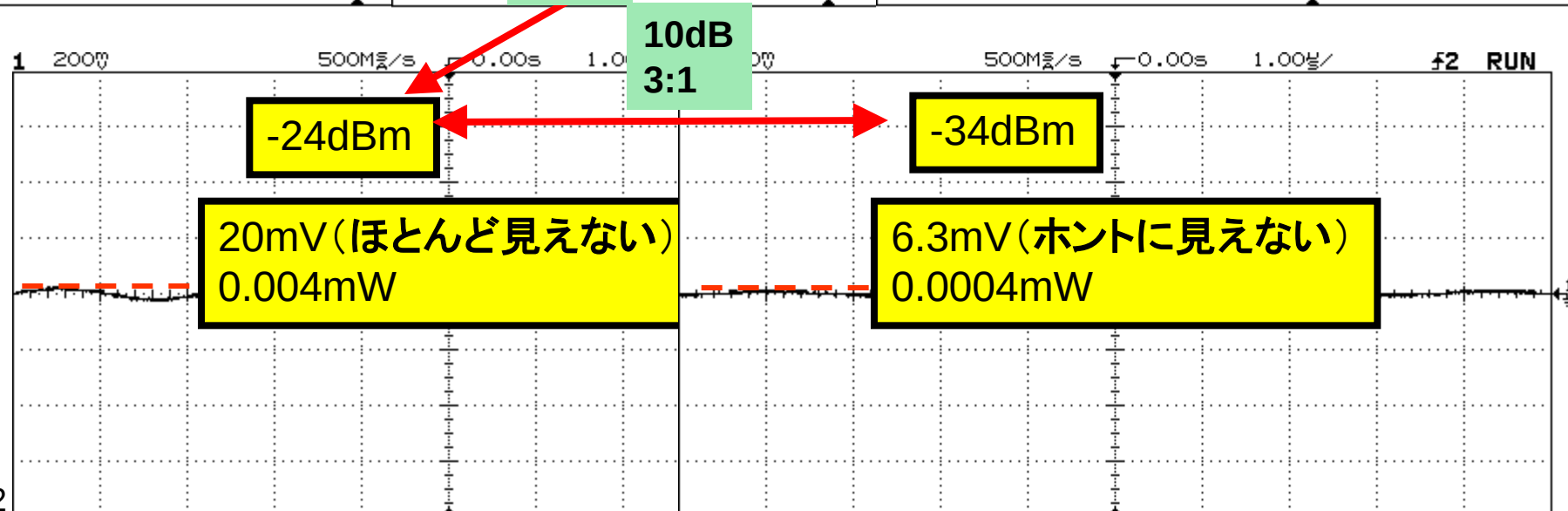
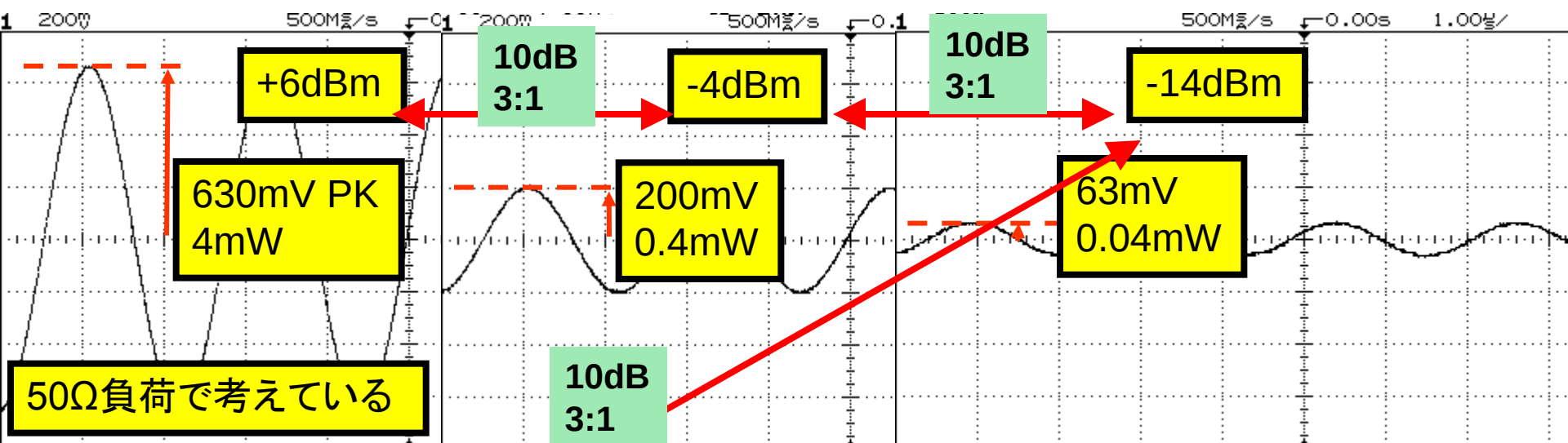
dBは「相対値」だが、dBmは
1mWを基準とした絶対値

$$10 \times \log_{10} \frac{P}{1\text{mW}} [\text{dBm}]$$

真値(実際の電力)	dBm
0.000000001mW	-90dBm
0.000001mW (1nW)	-60dBm
0.001mW (1μW)	-30dBm
0.1mW	-10dBm
1mW	0dBm
10mW	+10dBm
1000mW (1W)	+30dBm
100W	+50dBm

dBmが+10になれば実際の電力
は10倍になる(1mW, 10mW, 100mW)
-10になれば実際の電力は1/10

実際の波形で感じをつかむ。10dBは電圧だと3:1





2. まとめ

- ◆ dB(デシベル)、dBm(ディービーエム)は普通の数値(真数)から、大きさ(比)に応じて縮尺を変えたもの
- ◆ dBmは1mWを基準にしている
- ◆ dBで+40とか、-60とかいうちょっとした大きさでも、実際の波形の大きさはかなり異なる
 - dBで+10になれば電力が $\times 10$, dBが-10になれば電力が $\div 10$



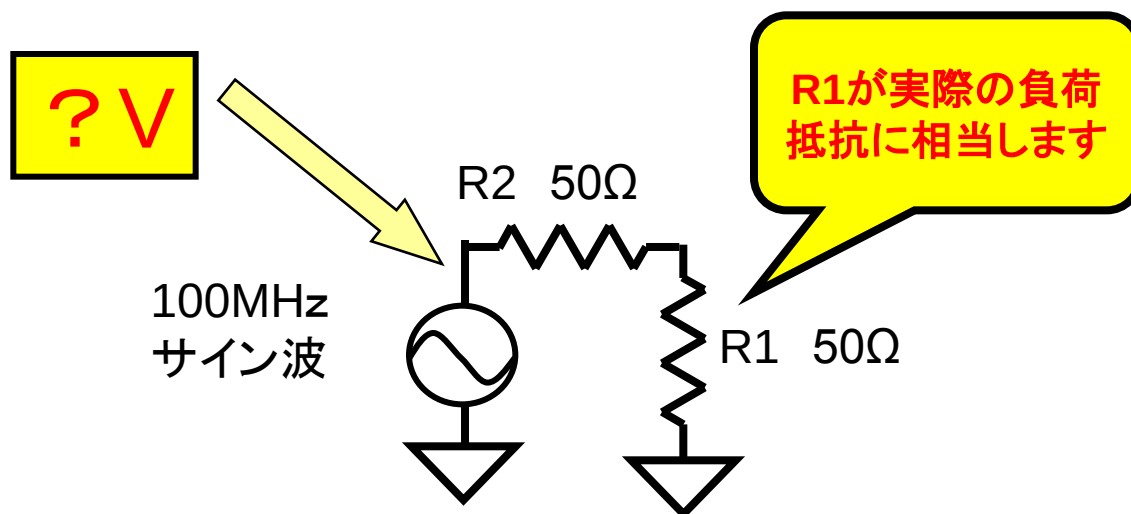
3. ちょっとここで基本クイズ

この計算は実はちょっとポイントがあります。意味合いを良くご理解いただければと思います

dBmで表された数値と**実際のアンプの信号振幅の関係**を見ていくことで、アンプに**求めるべき要求**（電源電圧・振幅範囲）が理解できると思います

問題

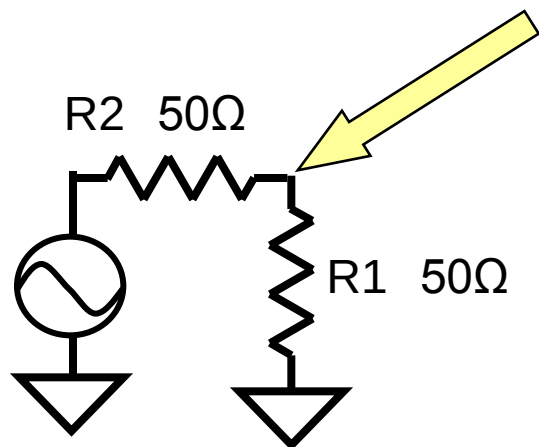
高周波回路でよく用いる「dBm」という単位は、電力を現すものです。0dBmは1mWです



R1に10dBmの信号電力がかかっているとき
この信号源の振幅(ピーク値)は何V?

R1に10dBmが・・・というところがポイント

R1に10dBmの信号電力



1. 10dBmとは

$$10[\text{dBm}] = 10 \times \log_{10} \frac{X[\text{mW}]}{1[\text{mW}]}$$
$$\frac{X[\text{mW}]}{1[\text{mW}]} = 10^{10[\text{dBm}]/10}$$

という計算により10mWが得られますが、ややこしいので、スライド10のような表で求めたほうが簡単です

2. R1に発生する10mWとは

$$P = IV = \frac{V^2}{R}, \quad V^2 = PR = 0.01 * 50 = 0.5$$
$$V = \sqrt{0.5} = 0.71[\text{V}]$$

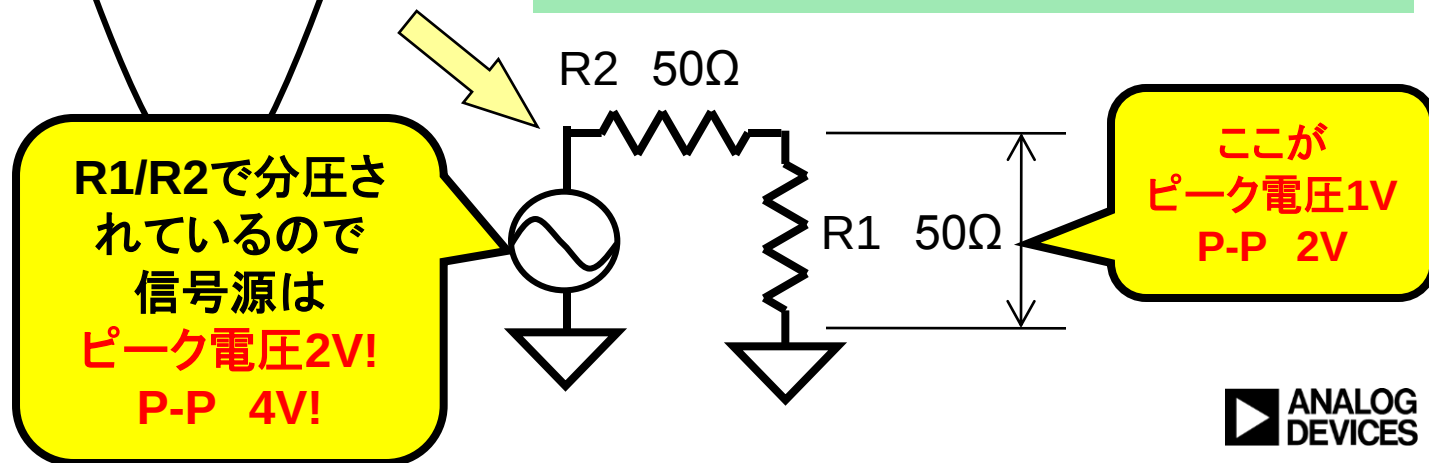
オームの法則で求められます。しかしこの0.71Vは**実効値であり**・・・(続く)

R1の端子電圧が0.71Vというのは

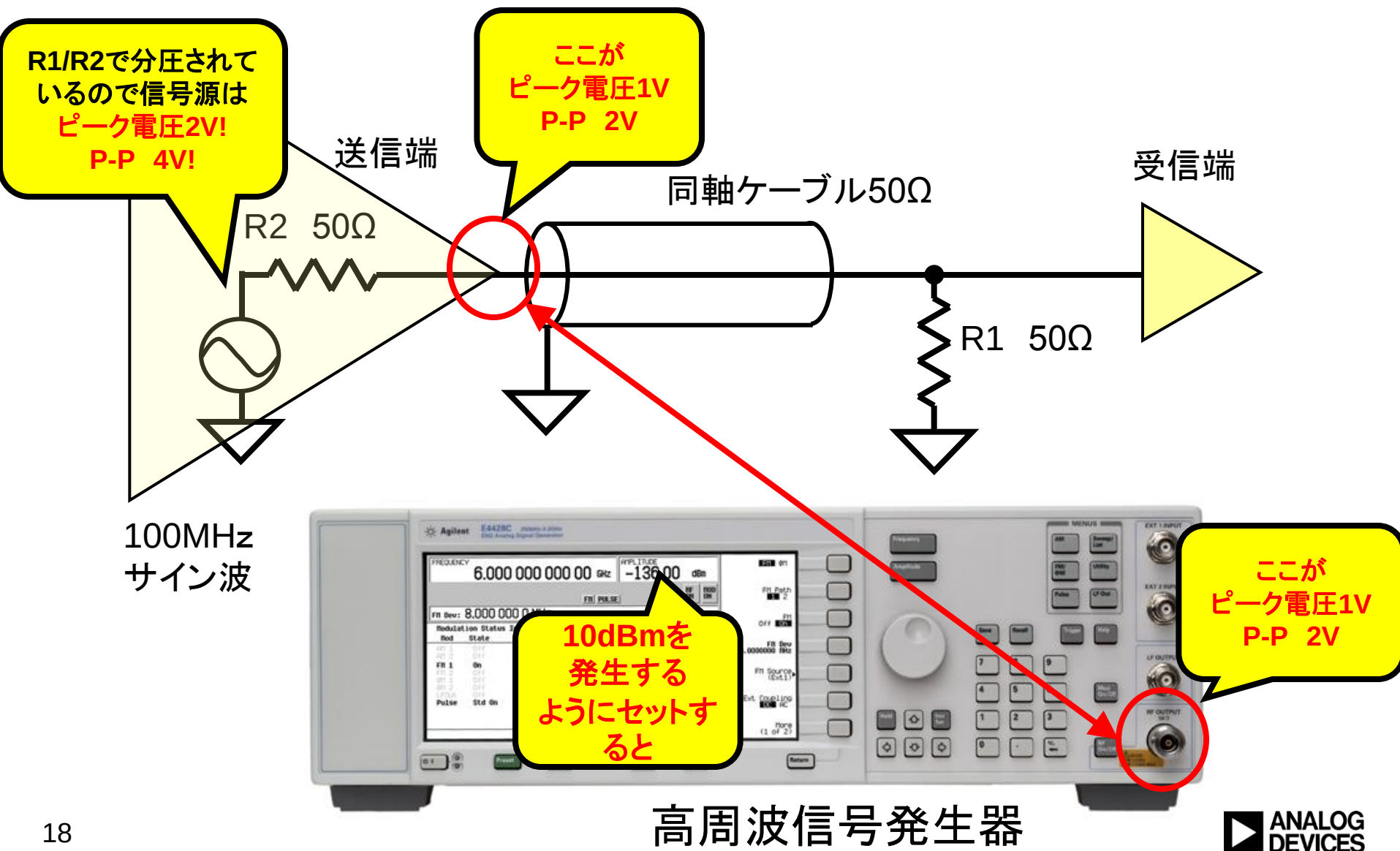
3. R1の端子電圧が実効値0.71Vとは



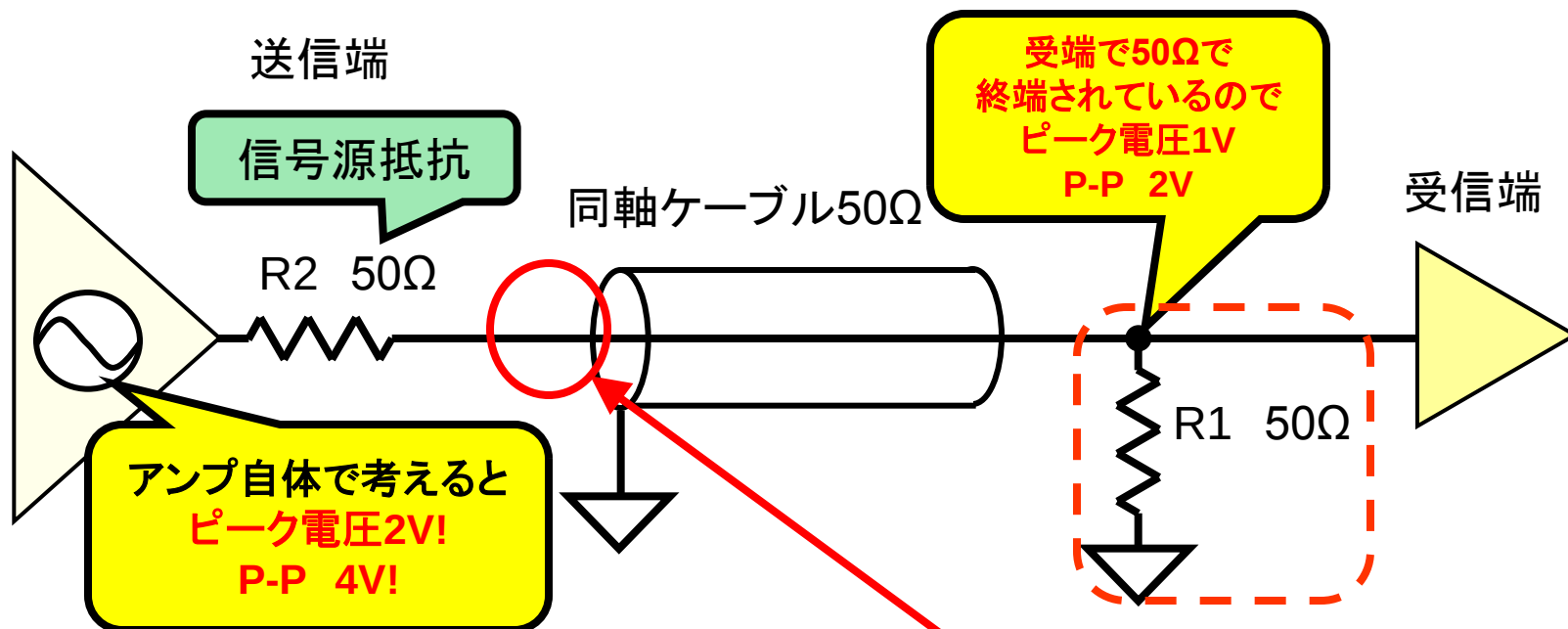
4. ところがさらにR2があるので



実際の振幅はだいぶ大きい



50Ωで終端(ターミネート)しているのが



つまり10dBm(10mW)出すにはP-P 4Vをアンプが出力できないといけない

10dBmを発生するようにセットすると

R1がついていない(オープンのまま)状態だとピーク電圧2V P-P 4V



高周波信号発生器



3. まとめ

- ◆ dBmから普通の数値(真数)に戻して考える
- ◆ dBmは負荷抵抗に加わる電力
- ◆ 普通の数値に戻した電圧(電流も同じ)は実効値になる
 - ピーク値はその $\sqrt{2}$ 倍。ピーク to ピークはさらにその2倍
- ◆ 信号源抵抗があるので、アンプに要求される振幅はさらにその2倍！
- ◆ アンプに求められる要求(電源電圧・振幅範囲)をこれで算出する



4. dBに関連して出てくる用語

高周波的な回路設計をするときに、dBを使った関連した用語が複数あります。それぞれの意味合いだけでも覚えていただければと思います



dBに関連して出てくる用語 ①

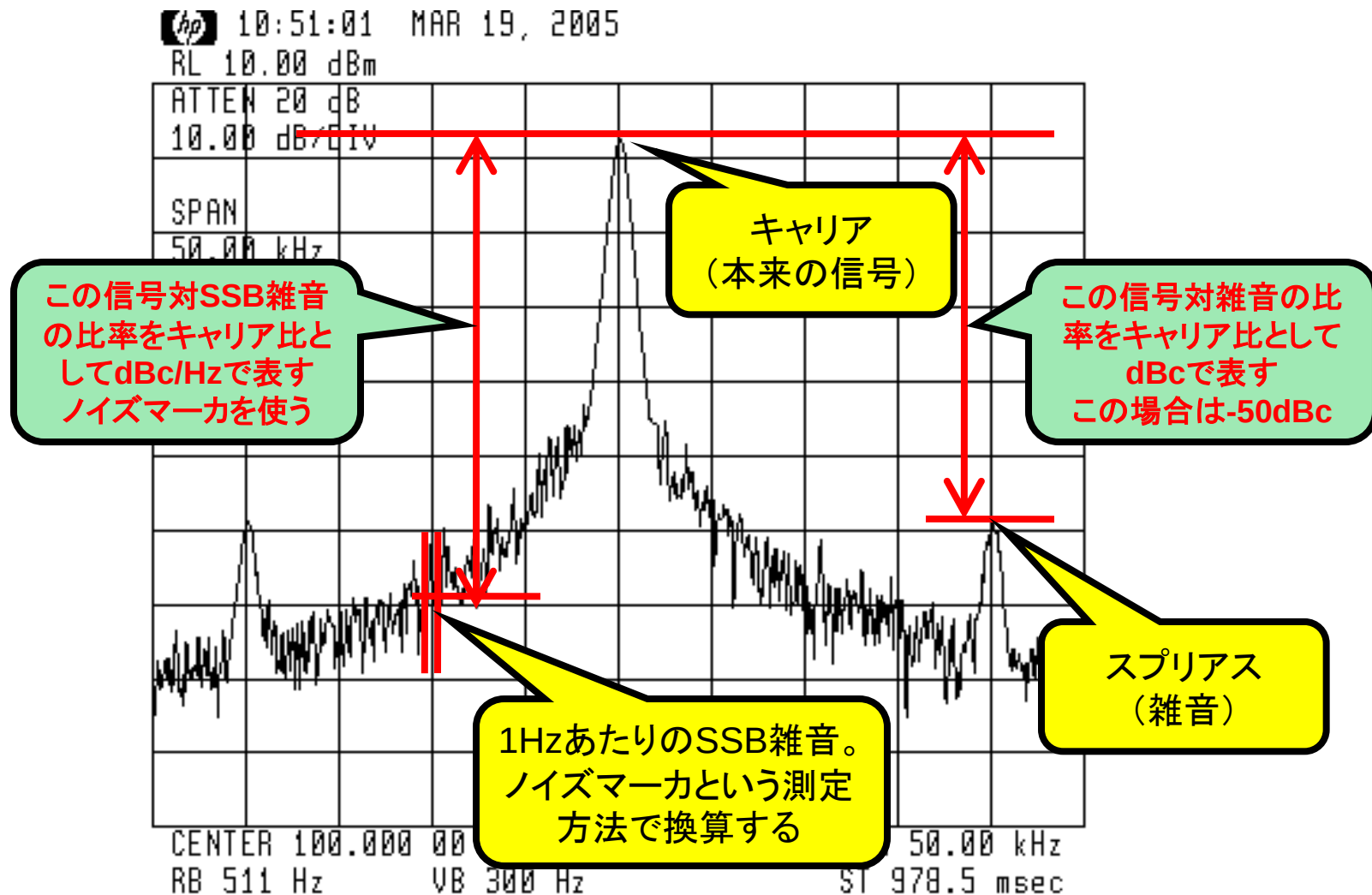
◆ 電力を表すもの

- dBm さきほど説明。1mWを基準にした大きさ
- dBm/Hz(MHz) 1Hzや1MHzあたりの密度電力
- その他にも dBuV, dBVなど電圧を表すものもあり

◆ 中心周波数(キャリア)からの低減率で考えるもの(次のスライド)

- dBc キャリアと比較したスプリアス(雑音)の大きさ
- dBc/Hz 上記の1Hzあたりの大きさ(密度電力)

dBcとdBc/Hzについて:特にPLLとかCLKで出てくる



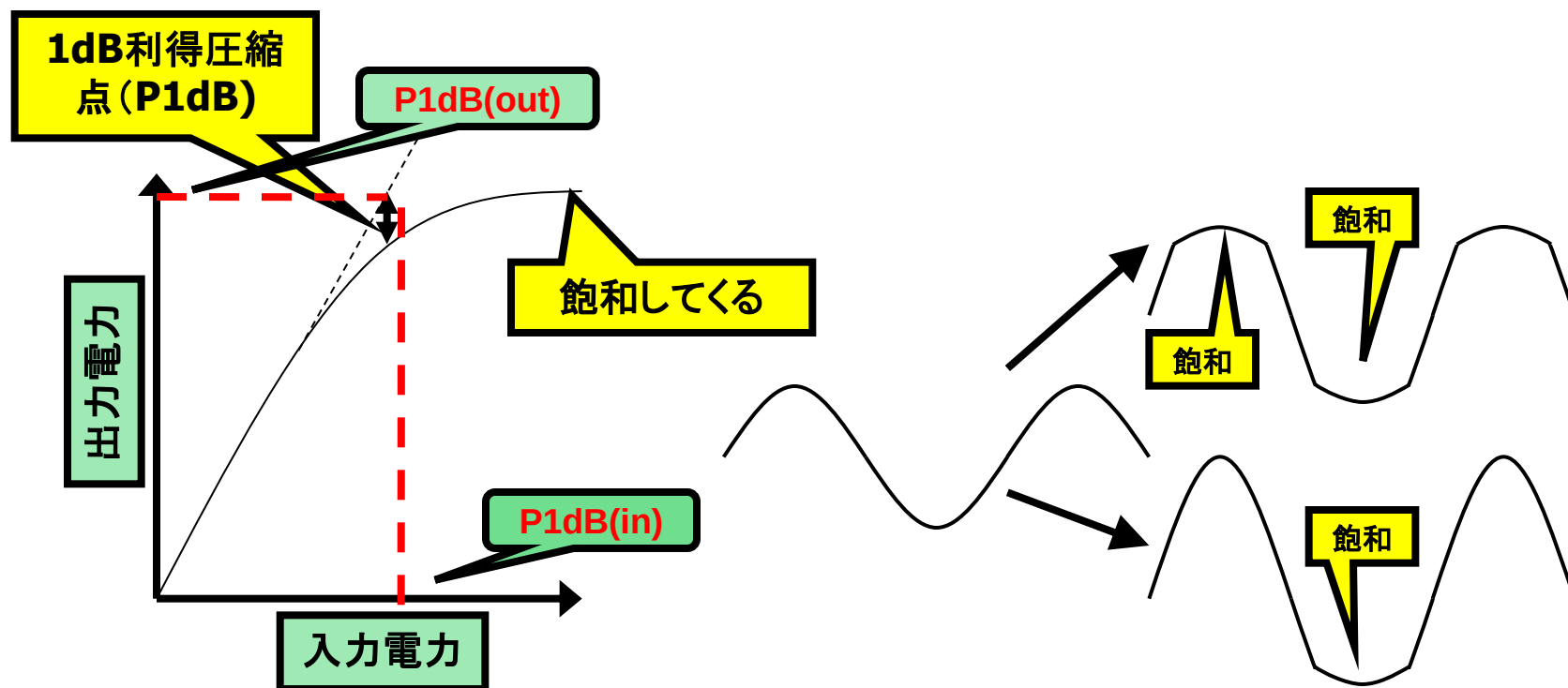
SSB: Single Side Band、片側側波帯

dBに関連して出てくる用語 ②

- ◆ 増幅器の特性を評価するときに用いるもの (次のスライド)
 - P1dB アンプの増幅率が入力レベルを上げていくと1dB低下するところ
 - IP3 アンプのひずみ特性を評価するもの
 - 3dBポイント 増幅率が周波数を上げていくと3dB低下するところ

- ◆ アンテナなどの利得で用いるもの (ADI製品とはあまり関係ありませんが)
 - dBd ダイポールアンテナを基準にしたアンテナ相対利得
 - dBi 全方向均一アンテナを基準にしたアンテナ相対利得
 - なお、 $0\text{dBd} = 2.14\text{dBi}$

1dB利得圧縮点:P1dBについて:パワー系アンプ、ゲインブロックで出てくる

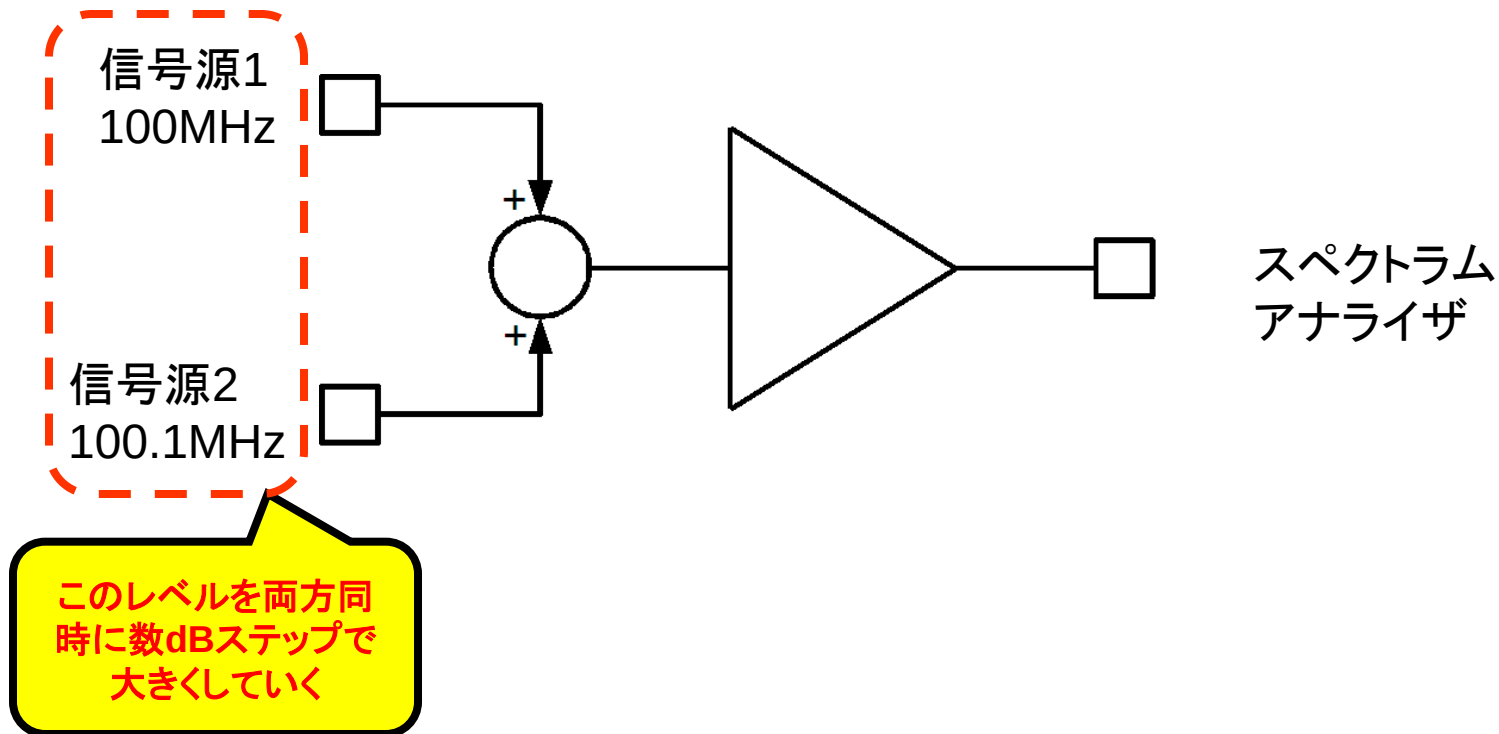


P1dBが大きければ**リニアリティが高い、高出力**アンプ。しかし消費電流も大きい(バイアス自動制御というアンプもあるが)です

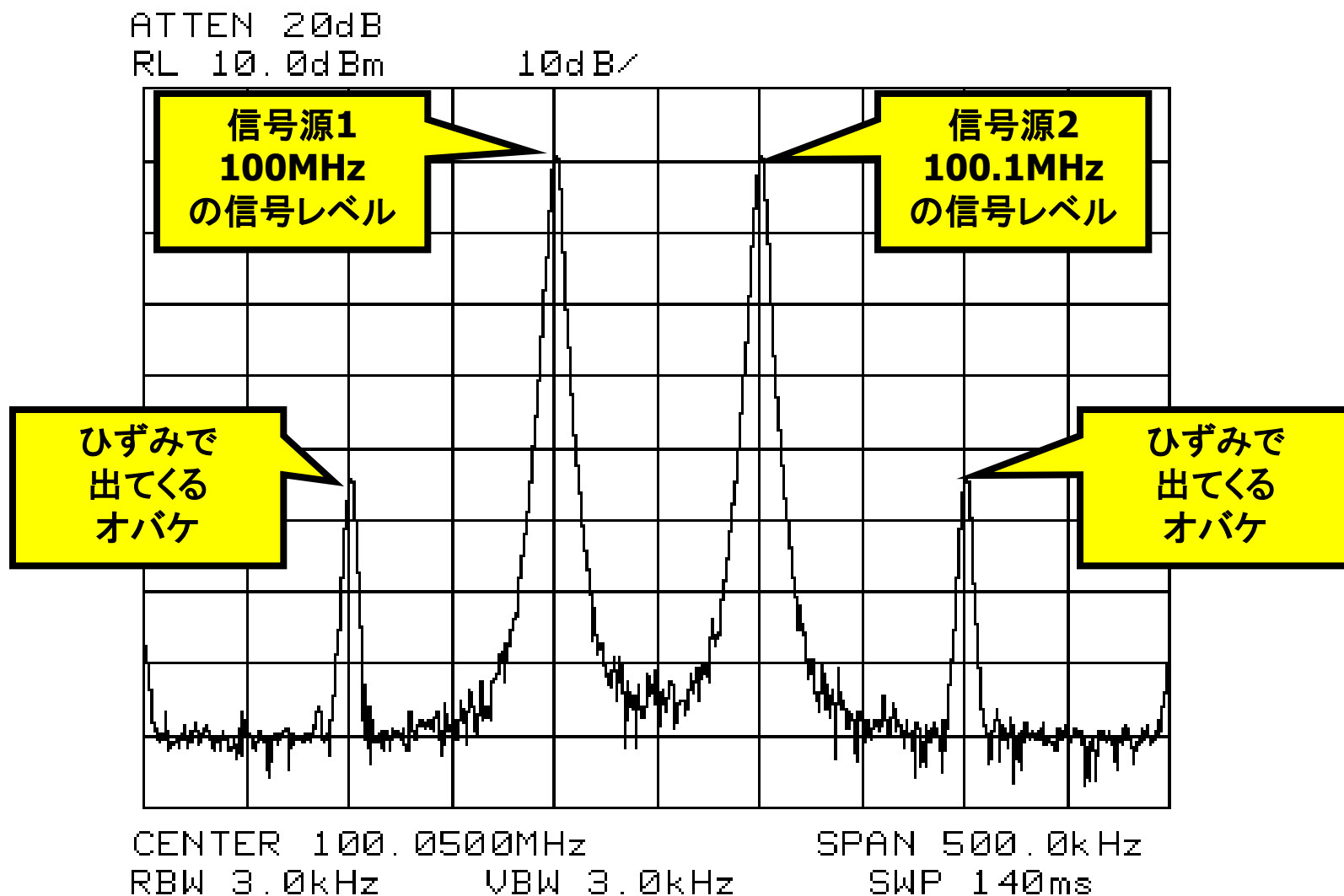
P1dBはアンプの入力側で規定している場合と出力側での場合があるので良く注意してください

アンプのひずみ特性: IP3 3次インターセプトポイント。パワー系アンプやゲインブロック、ミキサで出てくる

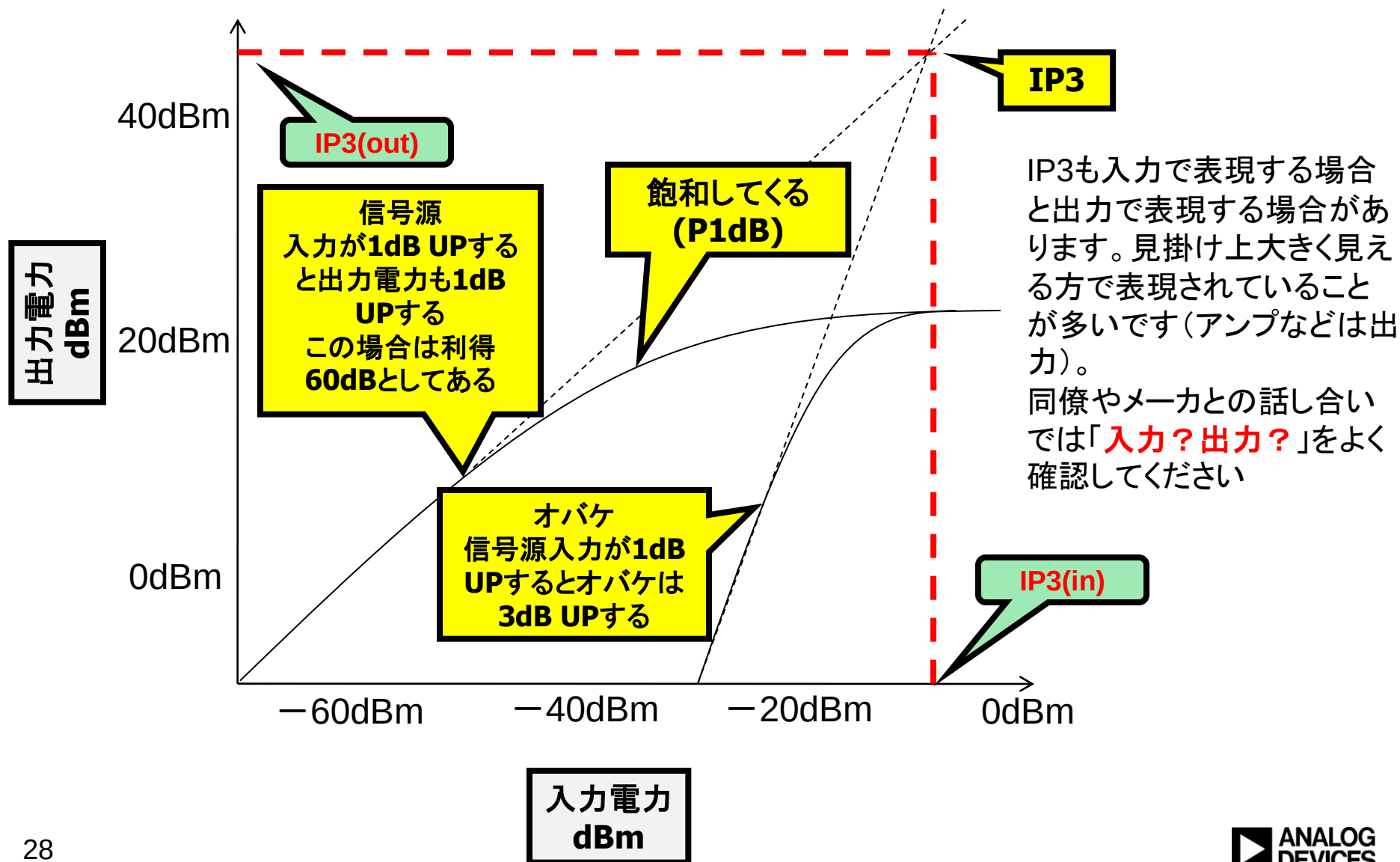
- ◆ P1dBとも関係している
- ◆ アンプのひずみ特性を示す数値



アンプのひずみ特性:IP3 3次インターセプトポイント



アンプのひずみ特性:IP3 3次インターセプトポイント

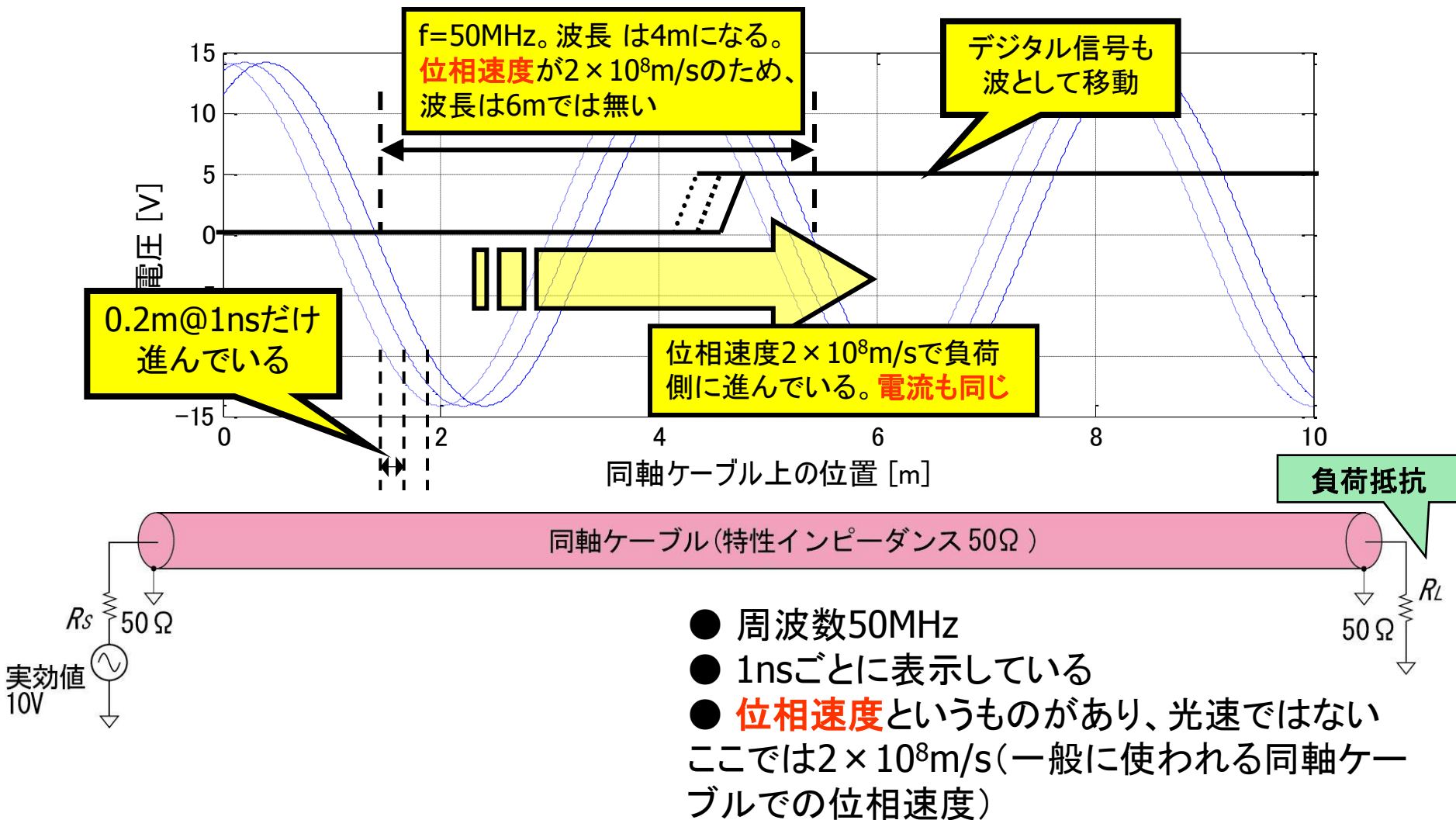




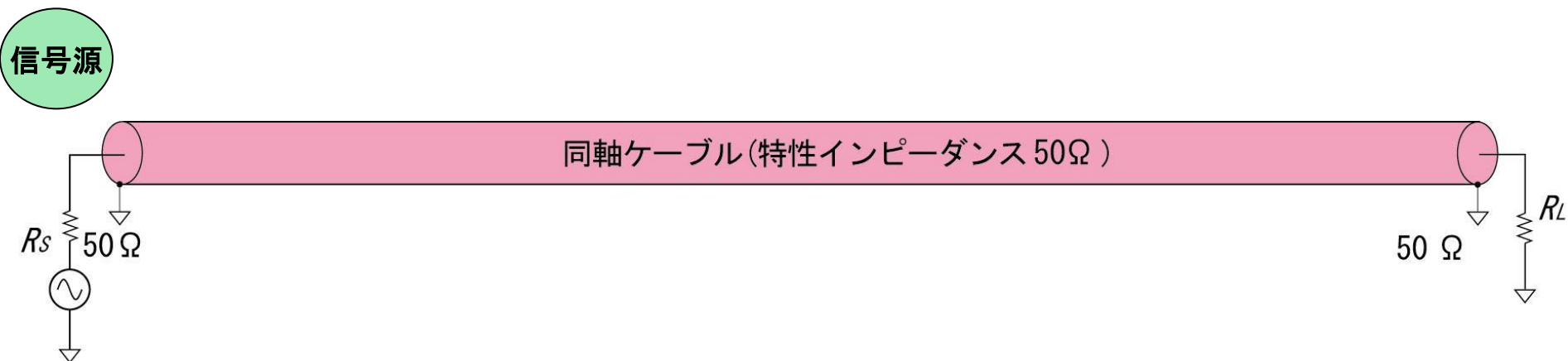
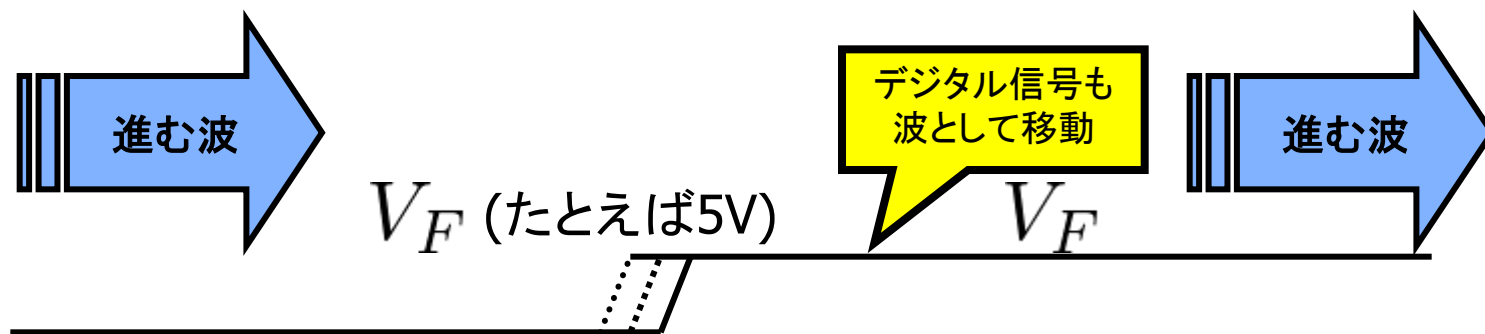
5. 電圧と電流は伝送線路内を波として伝わっていく

高周波信号は信号の変動(周波数)に対して、信号が伝わった経路(ケーブルやパターン; **伝送線路**)の**長さが無視できなくなります**。そのため経路上で信号を**波として考える**必要があります。

電圧や電流は伝送線路内を波として移動していく



デジタル信号が伝わるようすも同様



信号が伝わるのはロープ上を波が伝わるのと同じ

イメージ実験をしてみましょう

7.の反射係数の様子もわかります

- ① ロープを**繰り返し振り**、波が伝わるようす(連続波)を確認します
- ② ロープを**ひと振り**して波が伝わるようす(パルス・デジタル信号)を確認します
- ③ ①および②から電気信号の伝わるようすを思い描いてみてください



前編全体のまとめ

- ◆ dBという概念はダイナミックレンジの広い信号／回路を取り扱うときに便利な数字
- ◆ dBmは信号源抵抗と、負荷抵抗の両方を考える必要がある
 - ◆ 負荷抵抗に現れる電力を考えるのが一般的
 - ◆ 正しく理解して、正しく設計することが肝要
- ◆ 基本となる用語や意味合いが「そのイメージで」わかるだけでも、開発業務がスムーズ
- ◆ 信号が伝わるようすは「波」
- ◆ 後編では、特性インピーダンスや信号の反射に言及

