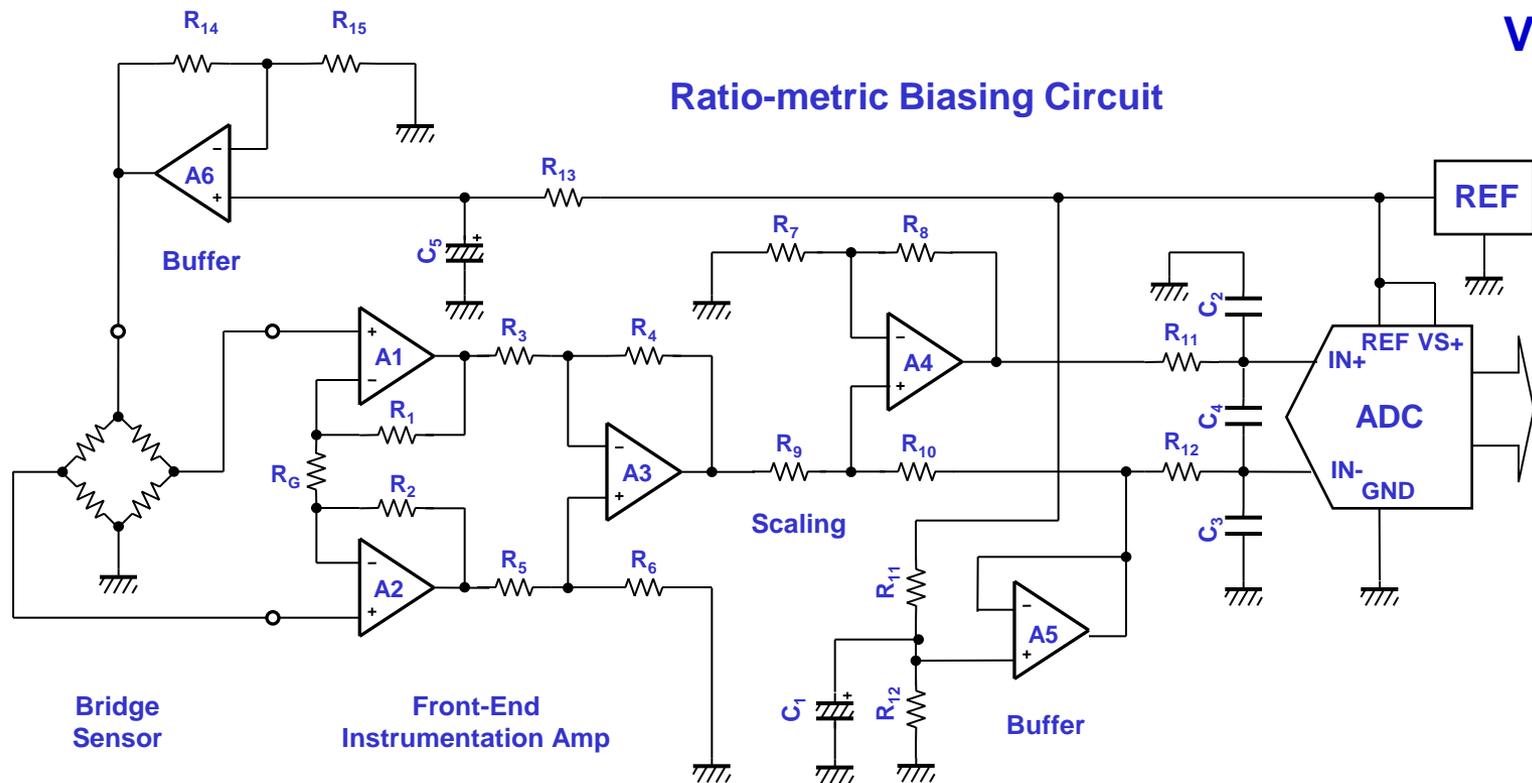


# Let's learn Signal Chain

## 実際の回路におけるトラブル原因と対策(前半)

Ver.-2.1



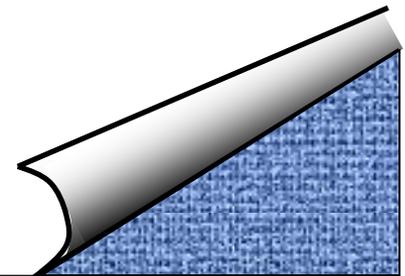
# セッション・インデックス(前半)

## ✦ S9.1 前置増幅での各種雑音源と対策

- (1) 外来雑音の除去
- (2) 熱電対効果
- (3) オペアンプ回路雑音
- (4) 電源雑音の除去

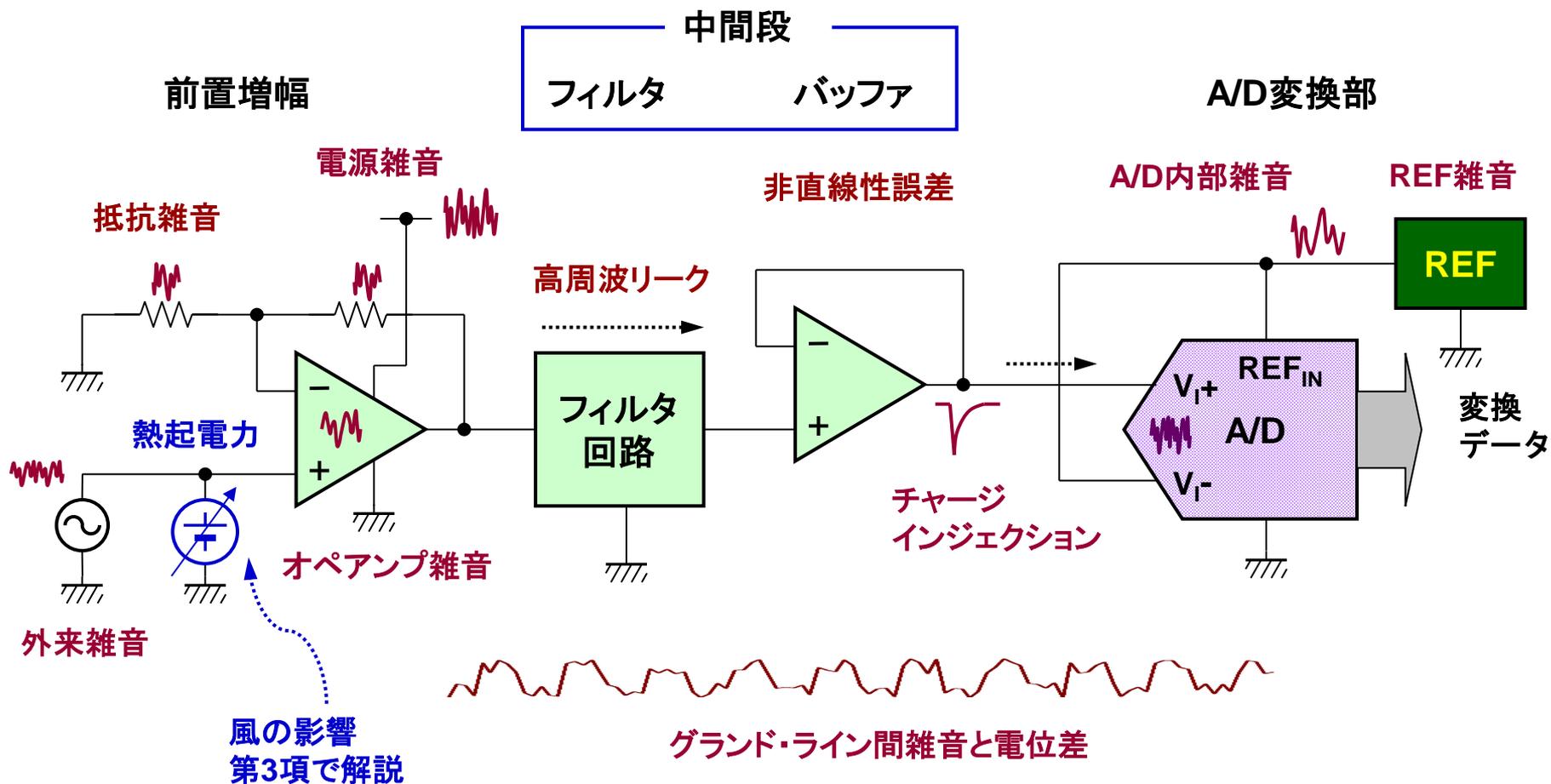
## ✦ S9.2 前置フィルタの必要性和高周波リーク対策

- (1) 前置フィルタの必要性
- (2) フィルタの原理
- (3) アクティブ・フィルタの構成



# 信号処理精度を悪化させる雑音や誤差源

適切なオペアンプと回路方式の選択により高精度な信号処理が達成可能。

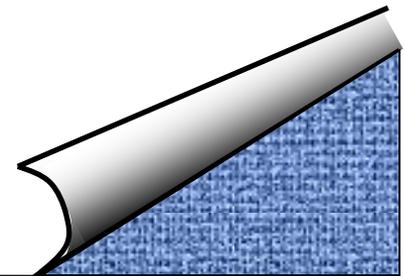


## S9.1 前置増幅での各種雑音源と対策

- (1) 外来雑音の除去
- (2) 熱電対効果
- (3) オペアンプ回路雑音
- (4) 電源雑音の除去

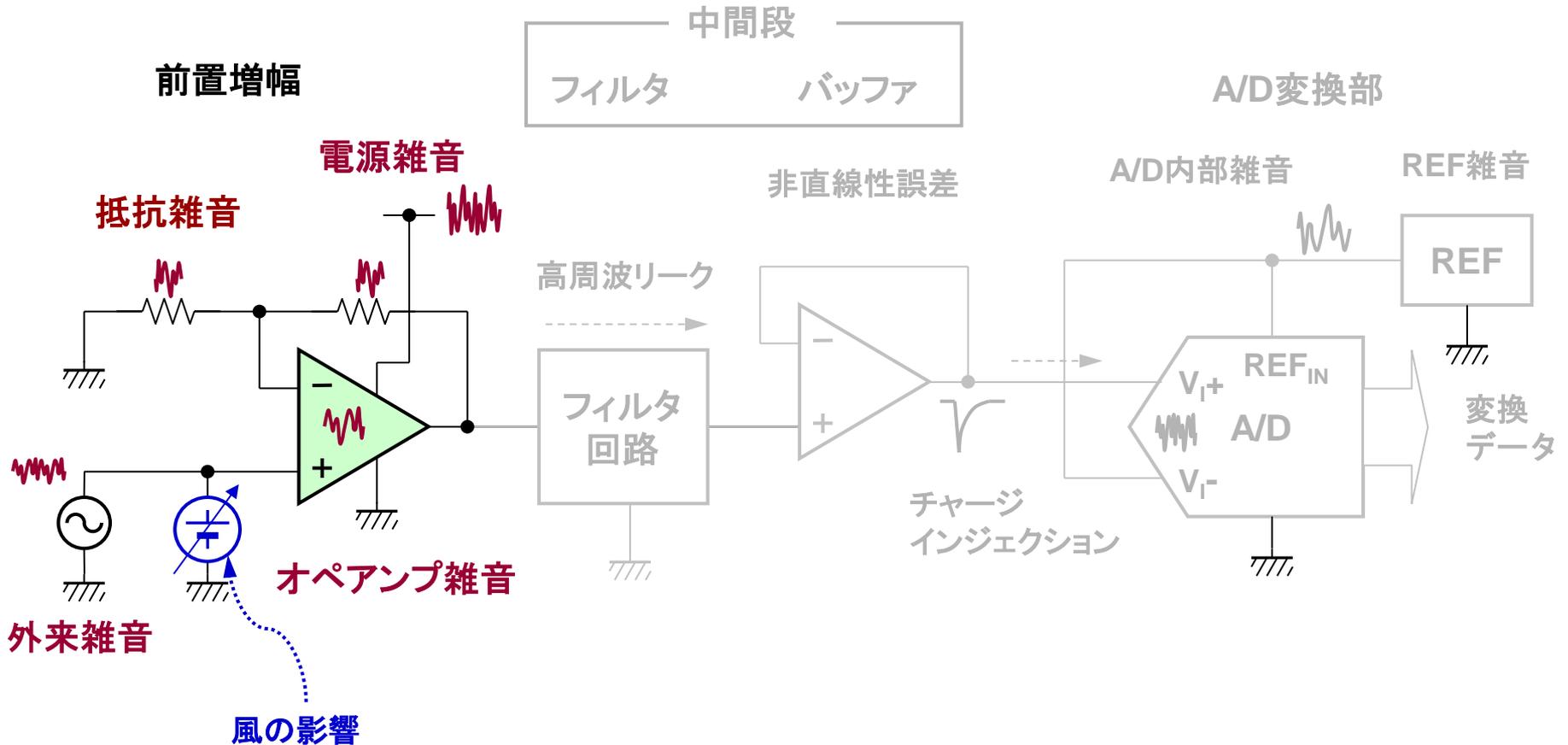
## S9.2 前置フィルタの必要性和高周波リーク対策

- (1) 前置フィルタの必要性
- (2) フィルタの原理
- (3) アクティブ・フィルタの構成



# 前置増幅での各種雑音源と対策

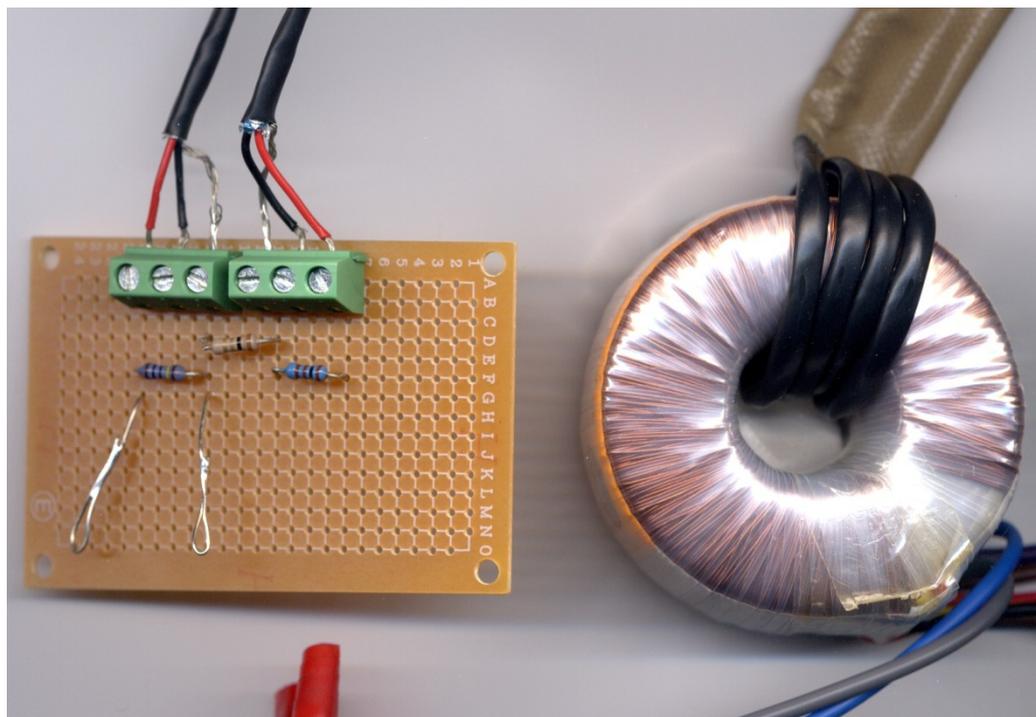
前置増幅／信号変換ではアンプ、抵抗、電源などの雑音が問題となる。



# 外来雑音の除去:シールド線の端末処理とシールド効果の比較

## 実験に使用した機材.

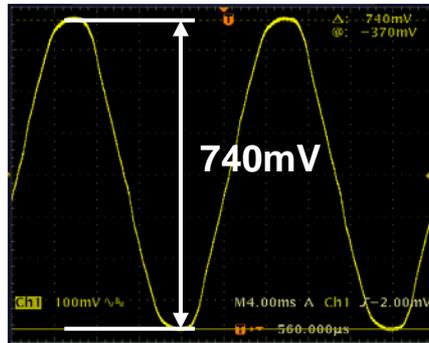
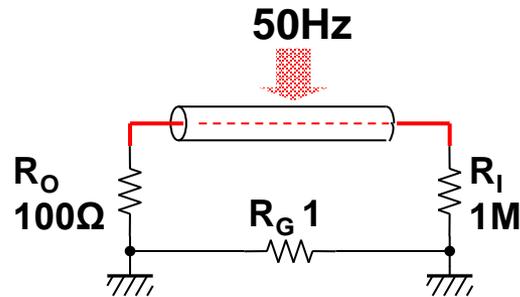
シールド線をトロイダル・コアのトランス(AC100V用)に巻きつけて磁束を注入



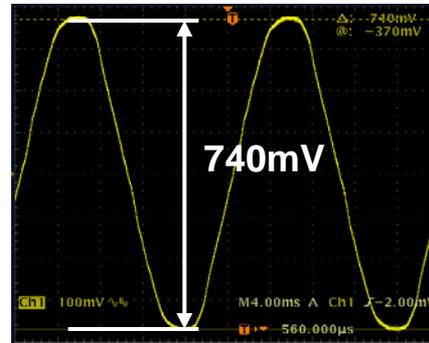
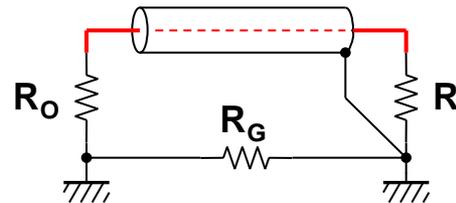
# 外来雑音の除去: 1芯シールド線の端末処理

## 1芯シールド線の端末処理と効果の違い.

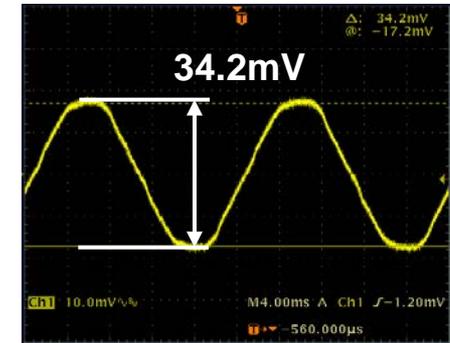
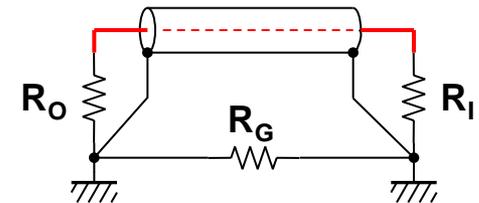
(a) 基準用



(b) 片側のみ接地



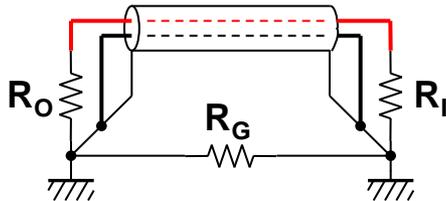
(c) 両方接地



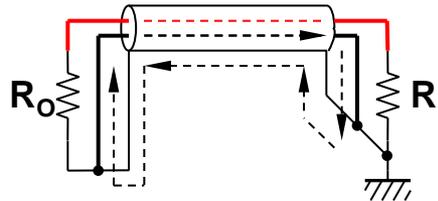
# 外来雑音の除去: 2芯シールド線の端末処理

## 2芯シールド線の端末処理と効果の違い.

(d) 2芯で両方接地

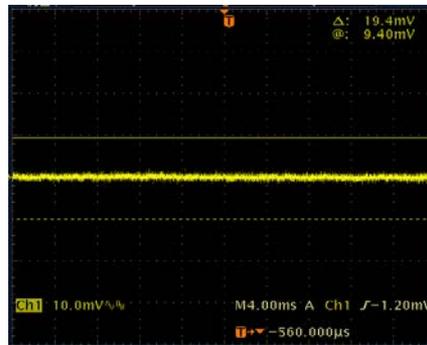
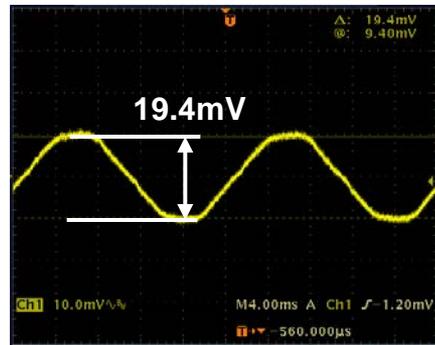


(e) 信号源側をフローティング



### シールド効果の原理

外皮と芯線の流れが逆.  
よって、ハムは形成された  
ループで消費される.

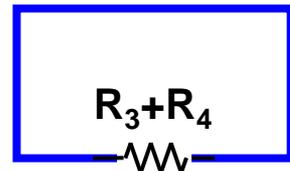
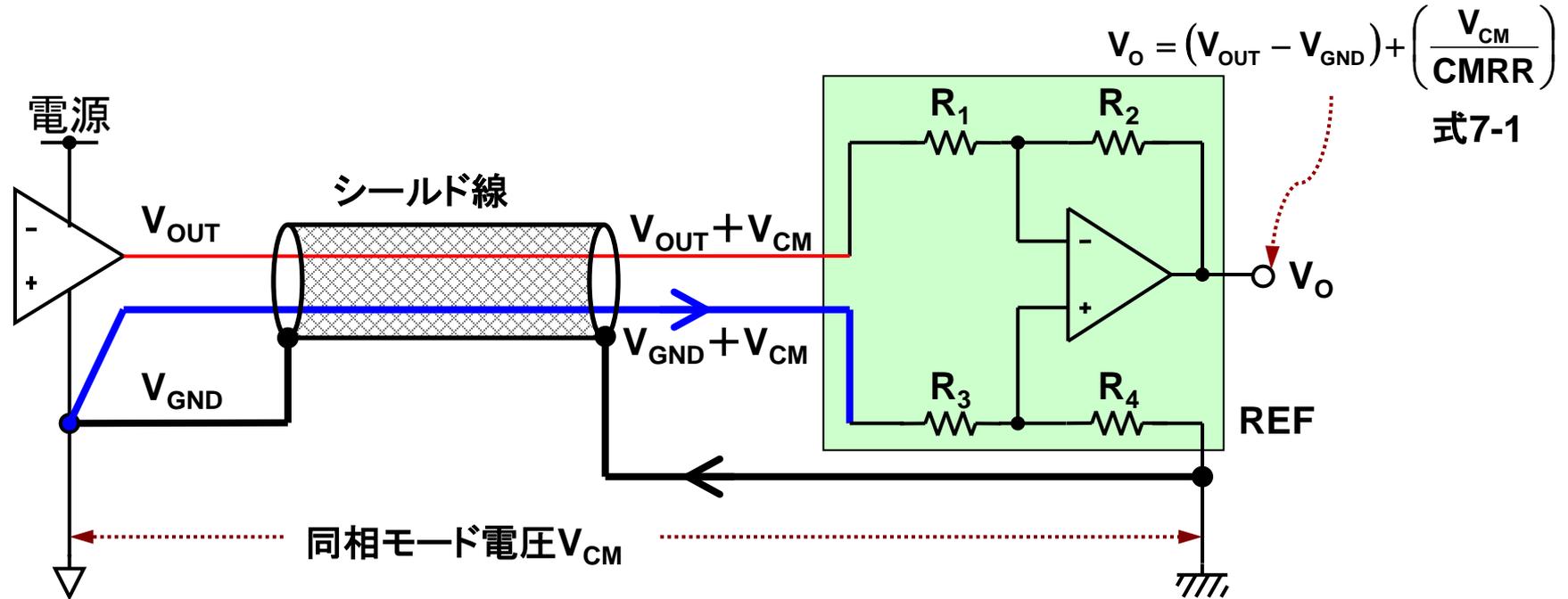


### DMMで計測した実効値と減衰率

	DMMの読み		減衰率	
(a)	267.283	mV(rms)	---	dB
(b)	267.283	mV(rms)	0	dB
(c)	11.153	mV(rms)	-27.5916	dB
(d)	5.833	mV(rms)	-33.2216	dB
(e)	0.053	mV(rms)	-74.0539	dB

# 外来雑音の除去: 信号源をフローティングできない場合

差動アンプで受けると, 同相モード電圧の除去とループ電流の低減が可能.



直列抵抗によりループ電流が減少  
代わりに $V_{CM}$ が増大

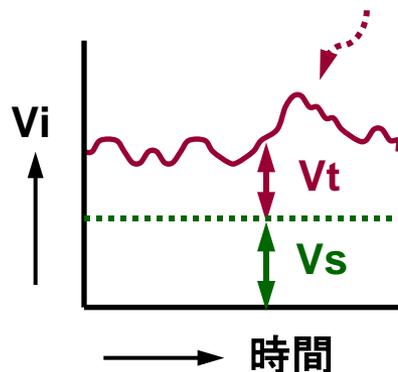
差動アンプ  
INA133 ( $G=1$ ,  $CMRR=80dB$ 最小) など

$V_{CM}$ が 1/10,000 に

# 熱電対効果:ゼーベック効果による寄生熱電対の影響

信号に重畳する熱起電力の揺らぎが低周波ノイズとなる。

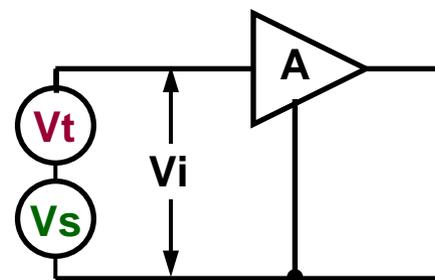
温度の揺らぎによる熱起電力の変化



$V_i$  = アンプ入力電圧

$V_s$  = 信号

$V_t$  = 熱起電力



$$V_t = K(t)$$

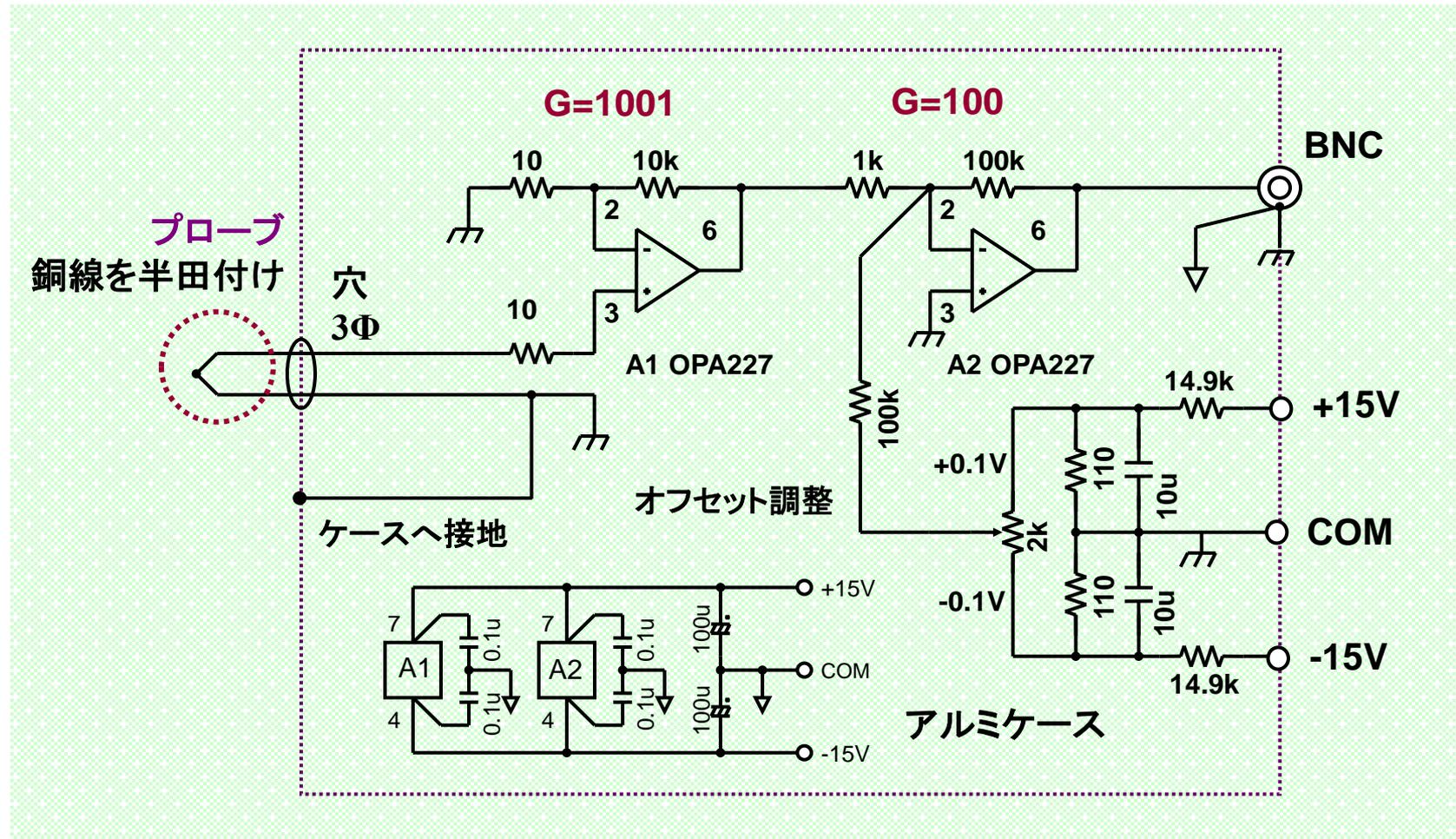
ここで、

$K$  = ゼーベック係数

$T$  = 絶対温度

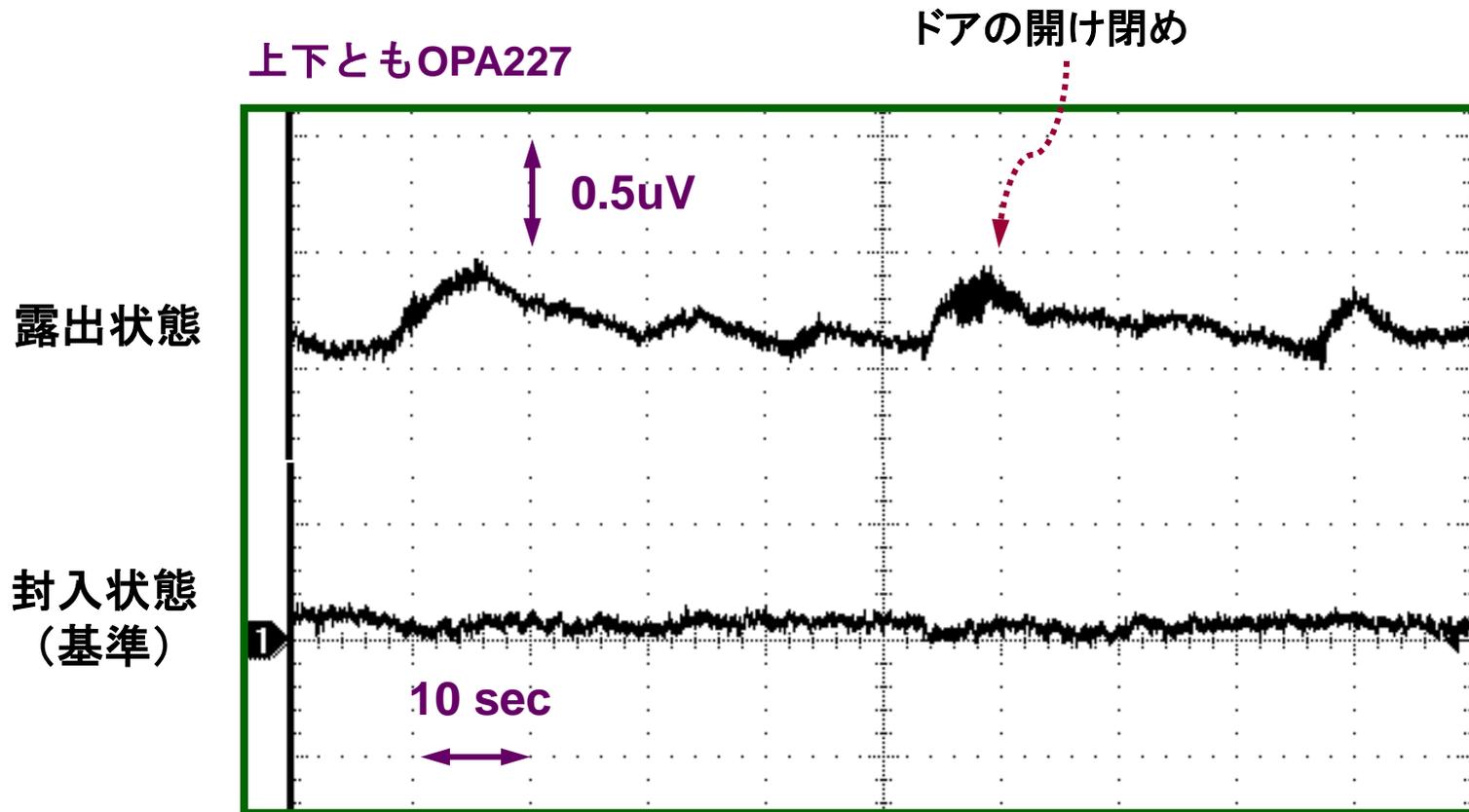
# 熱電対効果：寄生熱電対の影響を調査した回路

## 寄生熱電対の影響を評価した回路(ゲイン10万倍)



# 熱電対効果：ゼーベック効果によるノイズの増加

プローブをケース外へ露出した場合と、内部へ封入したときの比較.

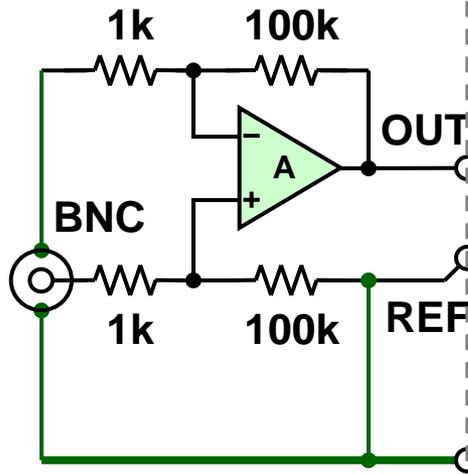


記事: ユーザがオペアンプの温度ドリフトと誤解するケースが多い.

# オペアンプ回路雑音: オペアンプの入力雑音電圧, 測定回路

## 前置アンプ基板

DUT (被試験デバイス)  
OPA211  
OPA627  
OPA365  
RC4558



ゲイン=100倍  
入力範囲=±25mV  
分解能=1.8nV/LSB

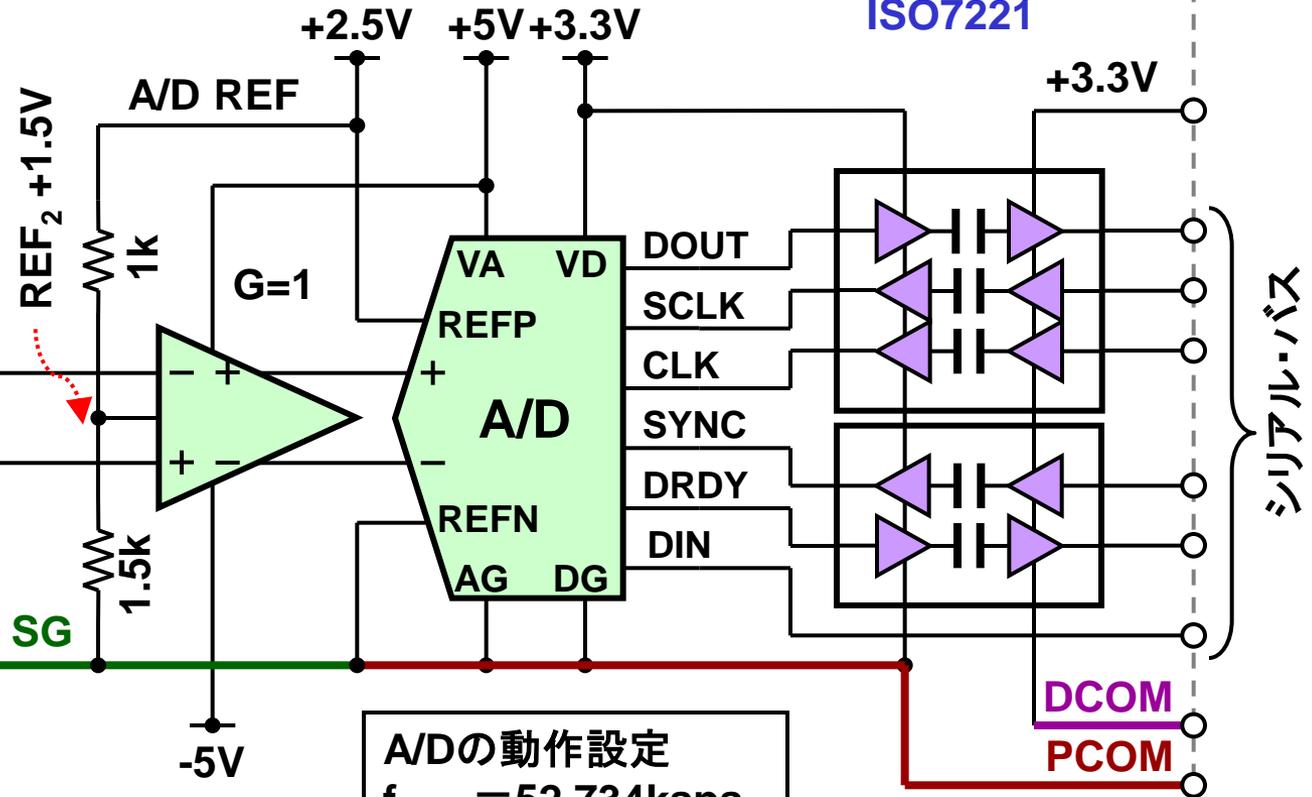
## A/D変換基板

OPA1632

ADS1271

ISO7231

ISO7221

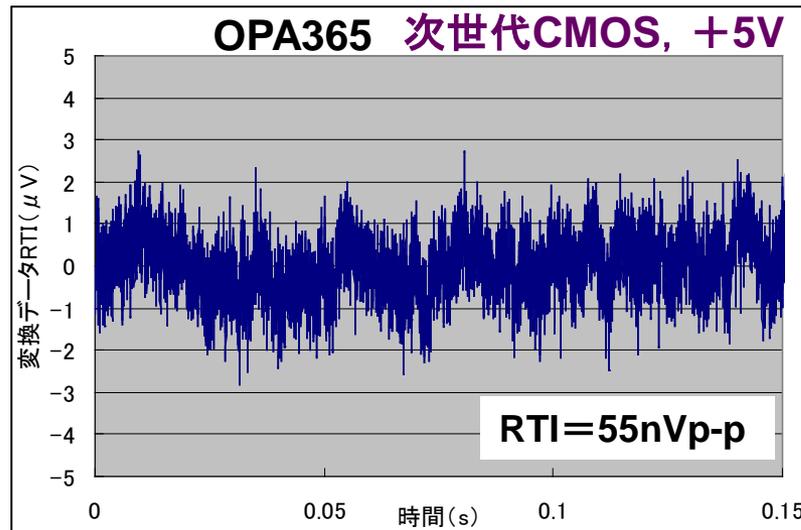
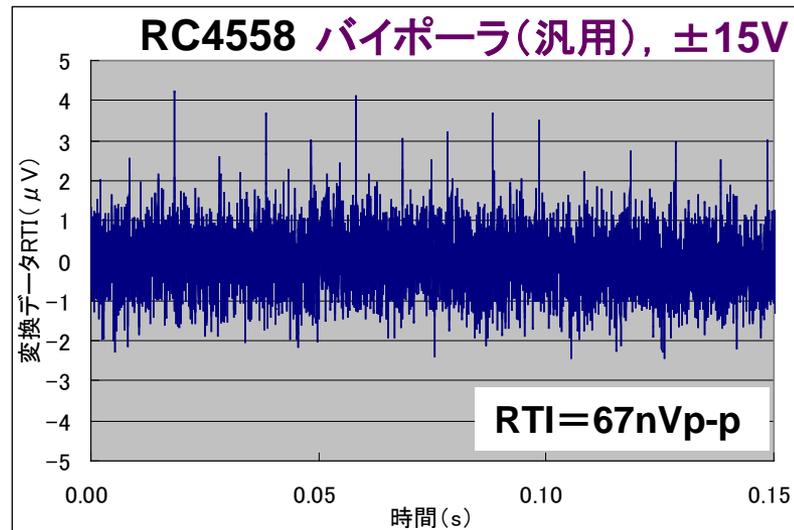
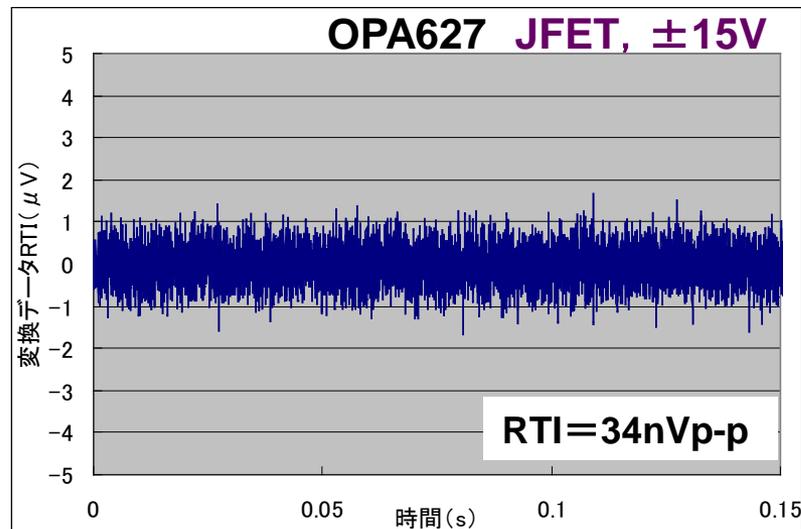
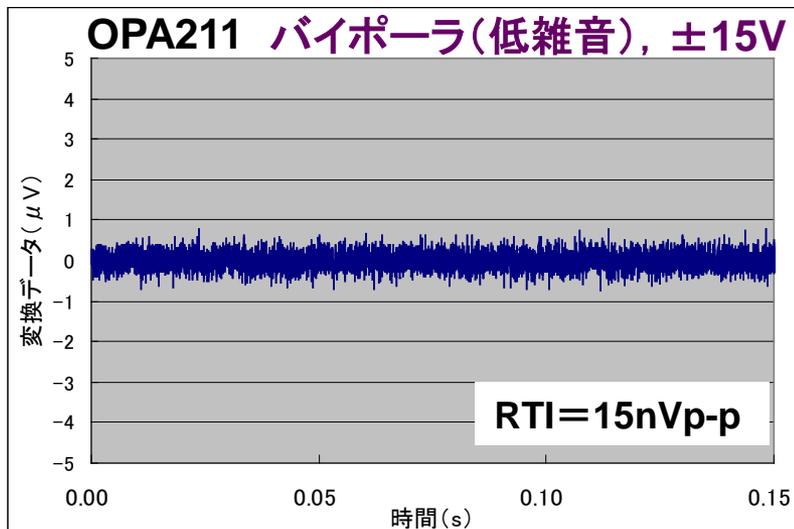


A/Dの動作設定  
 $f_{DATA} = 52.734\text{ksp/s}$   
-3dB BW = 25kHz

シリアルバス

# オペアンプ回路雑音: オペアンプの入力雑音電圧, 測定結果

(測定帯域幅 25kHz)



# オペアンプ回路雑音: 抵抗雑音, 取り付け位置と影響度合い

## 抵抗の熱雑音とアンプの組み合わせ.

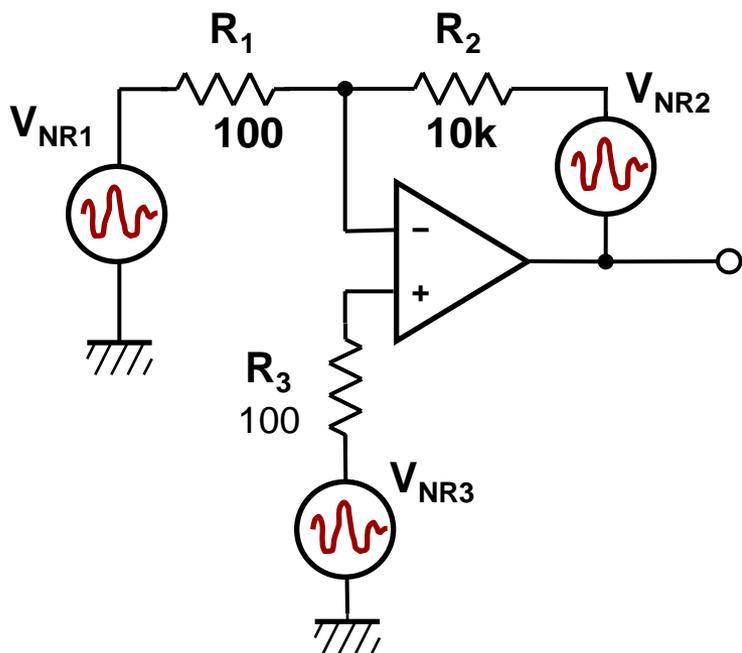
抵抗雑音  $V_{NR}$  は前出の式2-1より

$$V_{NR} = \sqrt{4KTRB} \quad (V_{rms})$$

ここで,

$K$  = ボルツマン定数 =  $1.38 \times 10^{-23} (J/^{\circ}K)$

$T$  = 絶対温度,  $R$  = 抵抗値,  $B$  = 影響帯域幅



周囲温度を25°Cとすれば

$$V_{NR} = 1.28 \times 10^{-10} \sqrt{R} \quad (\sqrt{Hz}) \quad \text{----- 式7-2}$$

アンプによる抵抗雑音の増幅率を表すと

$$V_{NR1} = 1.28 \times 10^{-10} \left( \frac{R_2}{R_1} \right) \sqrt{R_1} \quad \text{----- 式7-3}$$

$$V_{NR2} = 1.28 \times 10^{-10} \sqrt{R_2} \quad \text{----- 式7-4}$$

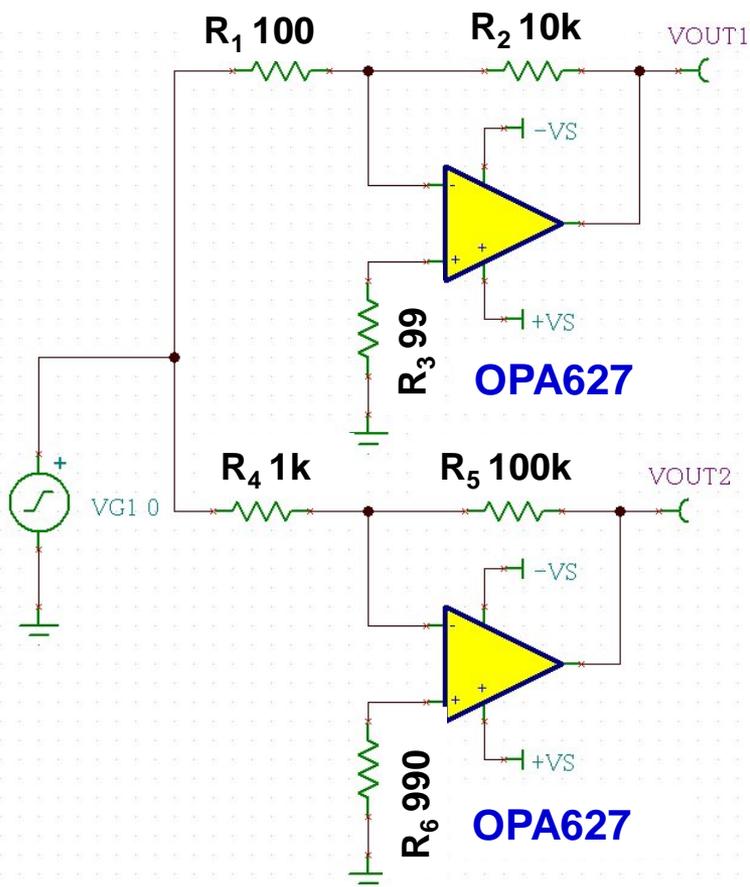
$$V_{NR3} = 1.28 \times 10^{-10} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \sqrt{R_3} \quad \text{----- 式7-5}$$

帰還抵抗の雑音は増幅されない

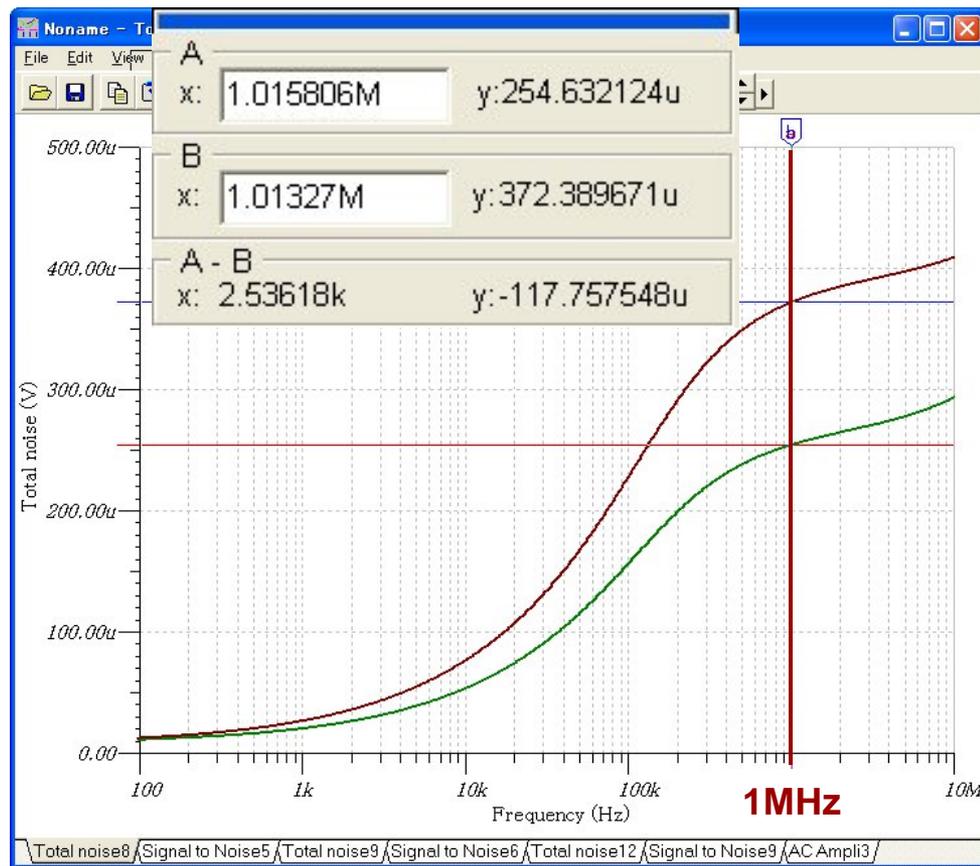
# オペアンプ回路雑音：抵抗雑音，抵抗値と雑音レベルの差

ゲイン設定抵抗が1桁異なる場合の雑音の差。

G=100倍



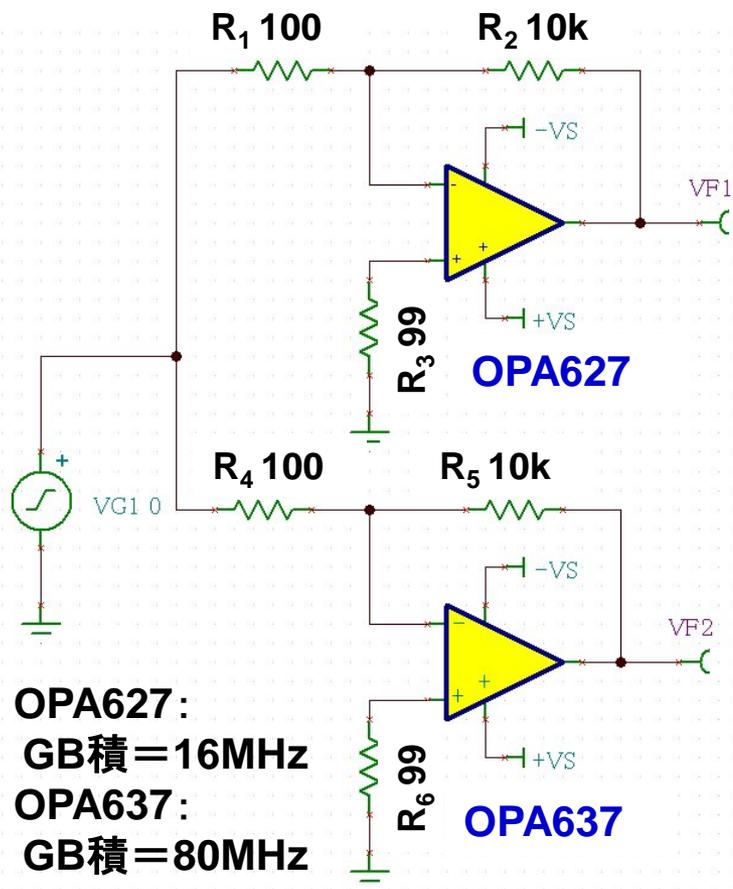
255 $\mu$ V (10k/100) 対 372 $\mu$ V (100k/1k), BW=1MHz



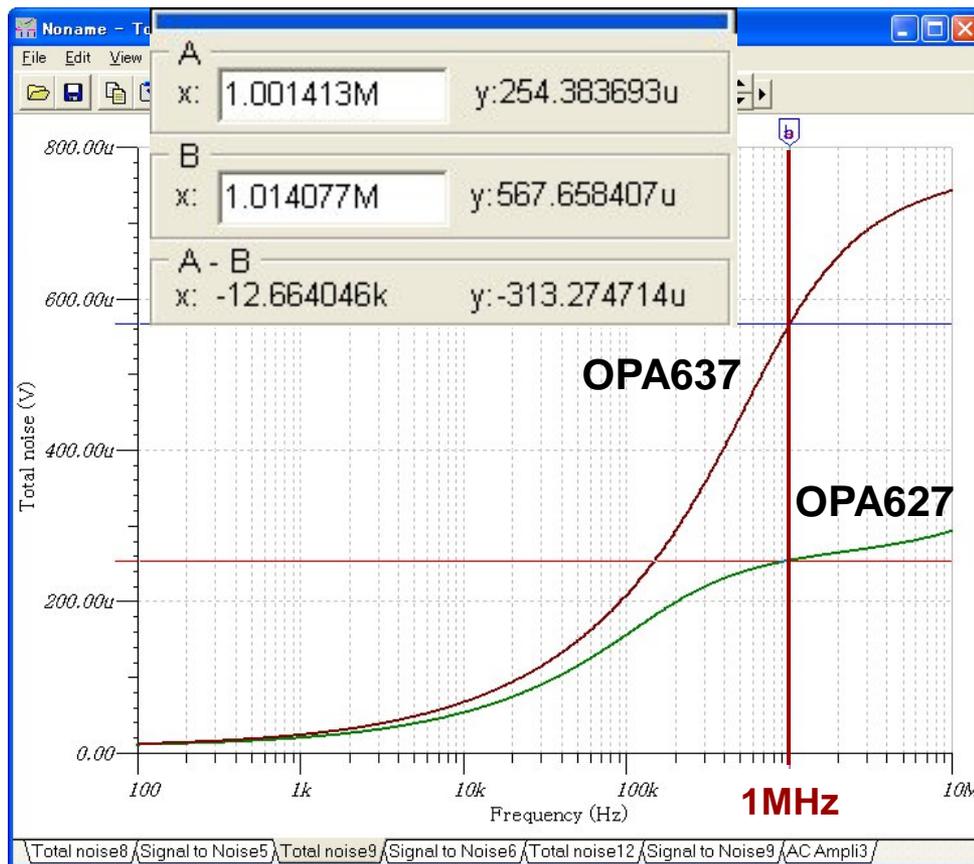
# オペアンプ回路雑音：総合雑音，オペアンプのGB積と雑音レベル

同じ値のゲイン設定抵抗では，雑音・レベルはGB積に依存する。

254 $\mu$ V (OPA627) 対 568 $\mu$ V (OPA637), BW=1MHz



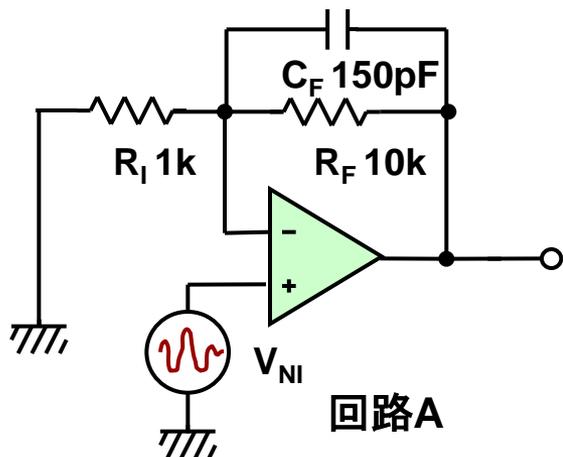
- OPA627:  
GB積 = 16MHz
- OPA637:  
GB積 = 80MHz



# オペアンプ回路雑音: 総合雑音, 低ゲインにおける帯域幅制限

オペアンプの雑音ゲインは+1.

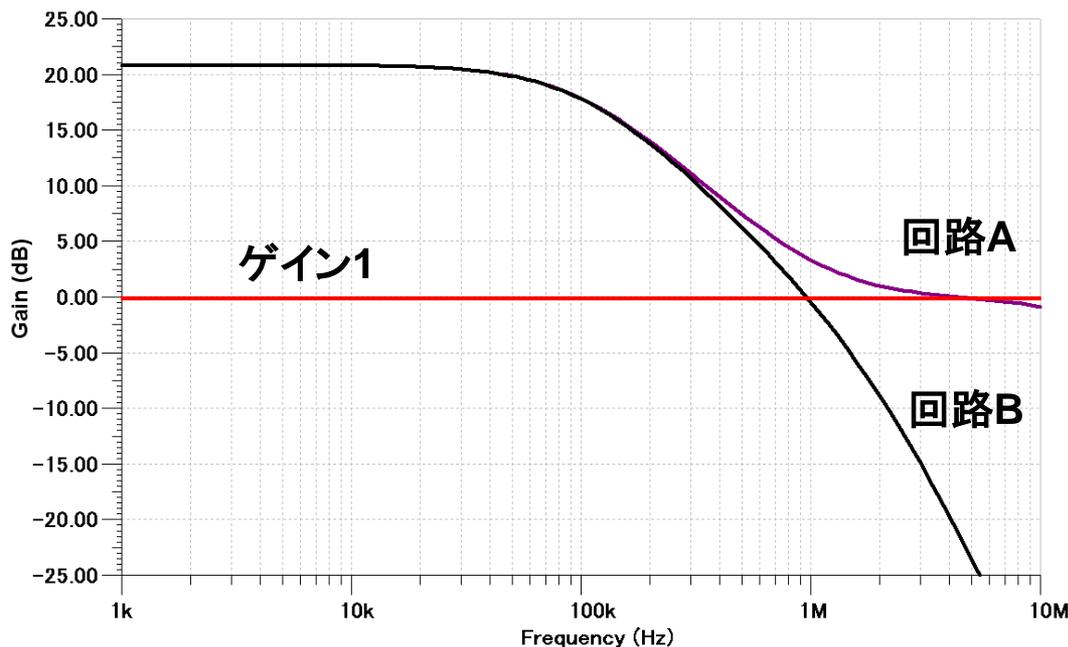
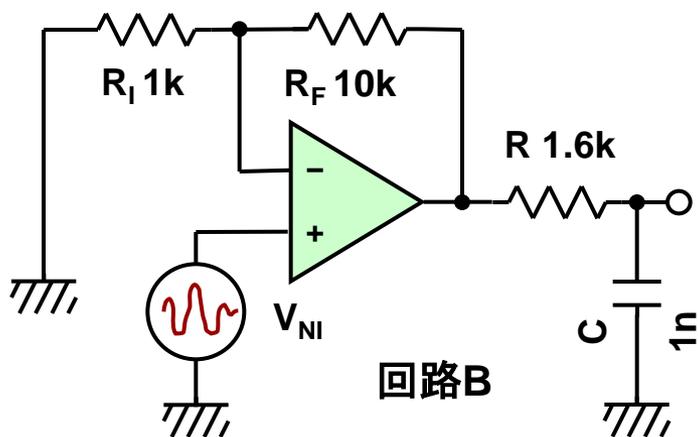
入力雑音電圧は非反転入力へ注入されるので, 回路Aの対策では雑音に対するゲインは1以下にならない.



雑音ゲイン  $G_N = 1 + \frac{R_F}{R_I}$  ..... 式7-6

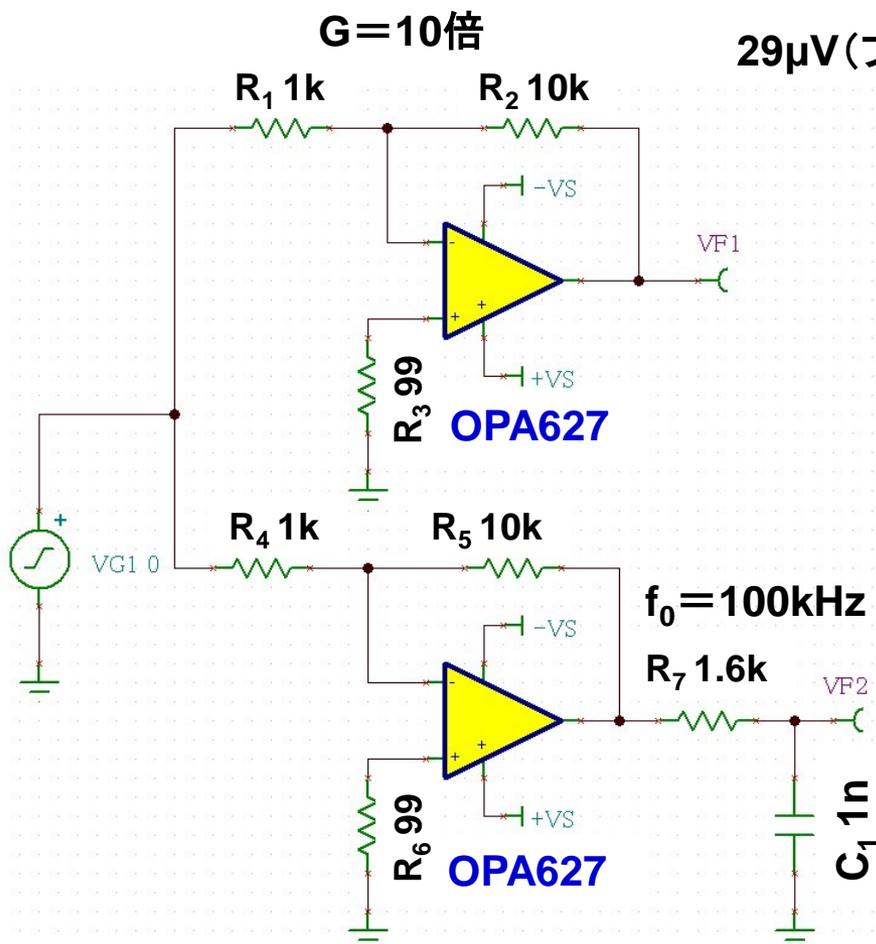
ゲインが1以下にならない理由

回路AとBの, 入力電圧雑音に対する減衰率の比較

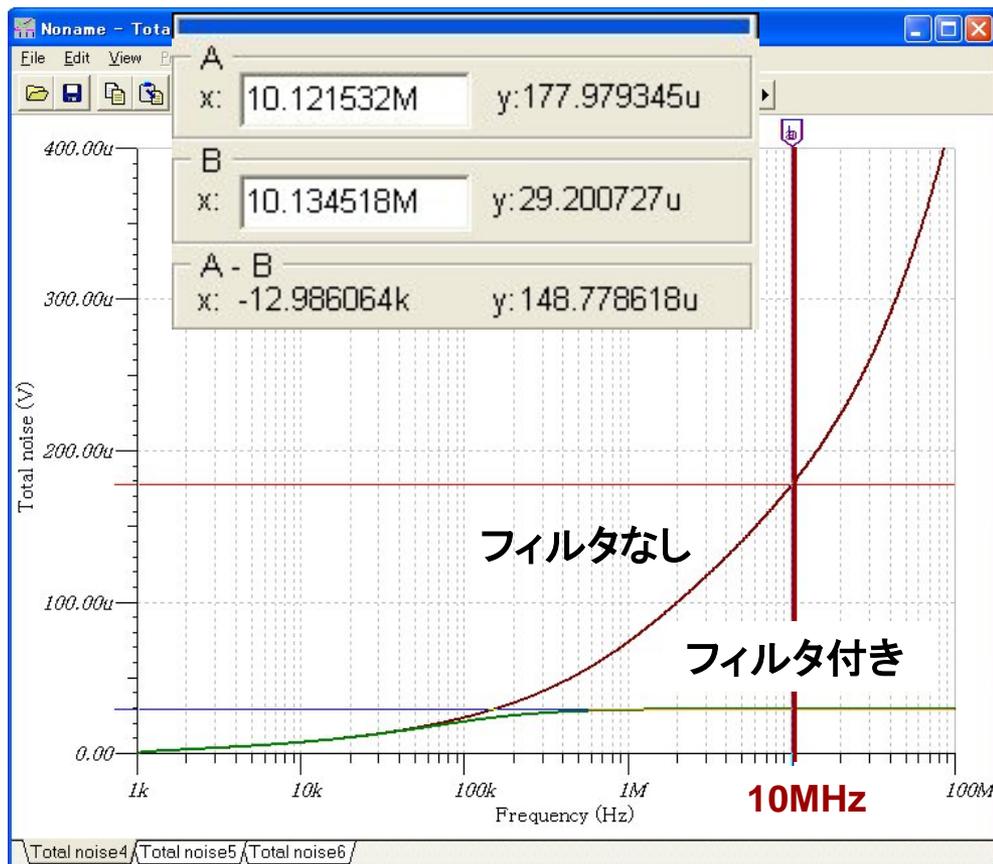


# オペアンプ回路雑音：総合雑音，帯域幅制限の有無と雑音レベル

帯域幅制限は1次のフィルタでも効果は歴然(ゲインが低いと差が広がる).



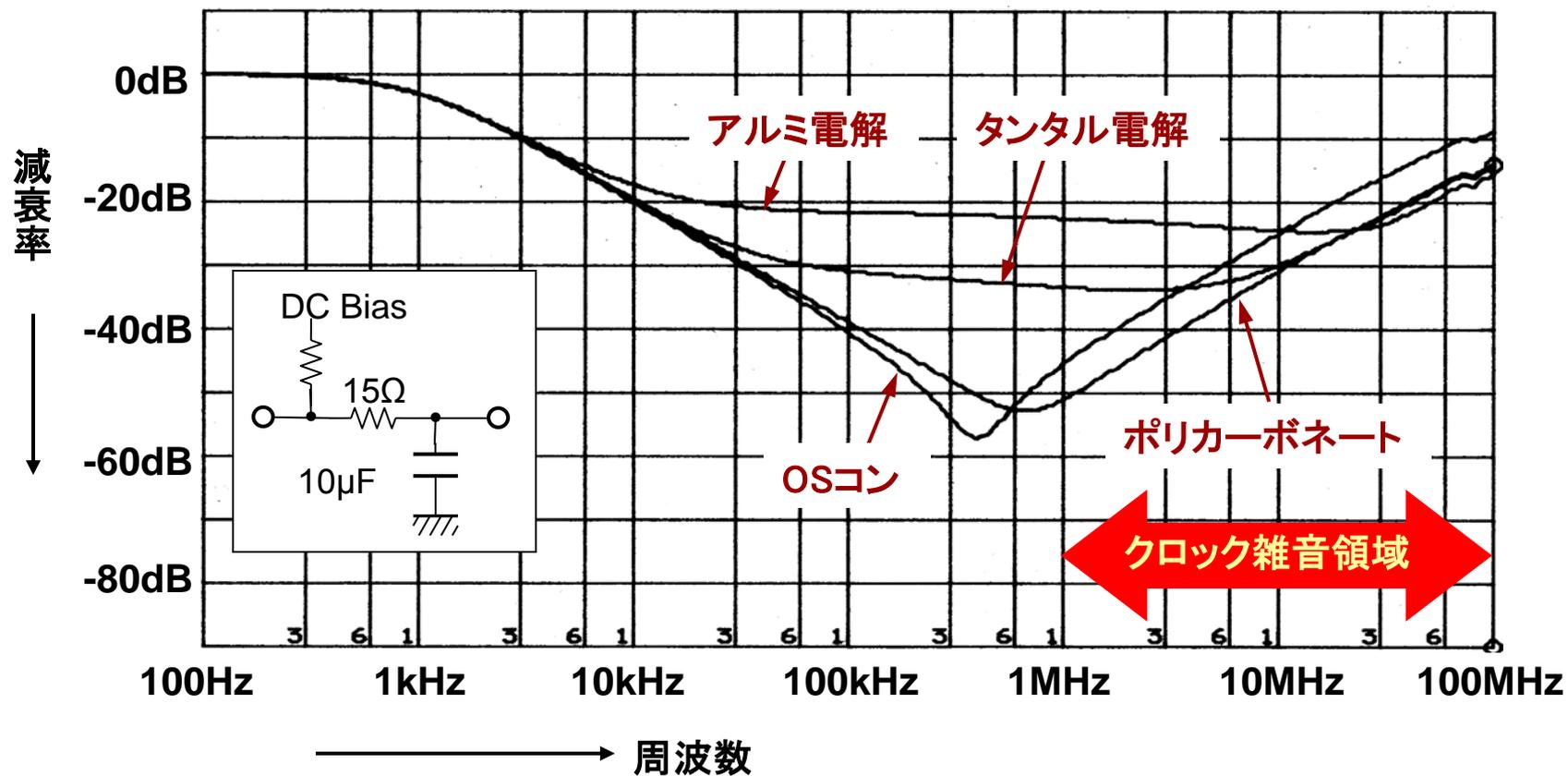
29 $\mu$ V(フィルタあり) 対 178 $\mu$ V(フィルタなし), BW=10MHz



# 電源雑音の除去: 各種コンデンサの周波数特性

コンデンサーはどこまでコンデンサーか？高周波領域で示されるESLの影響。

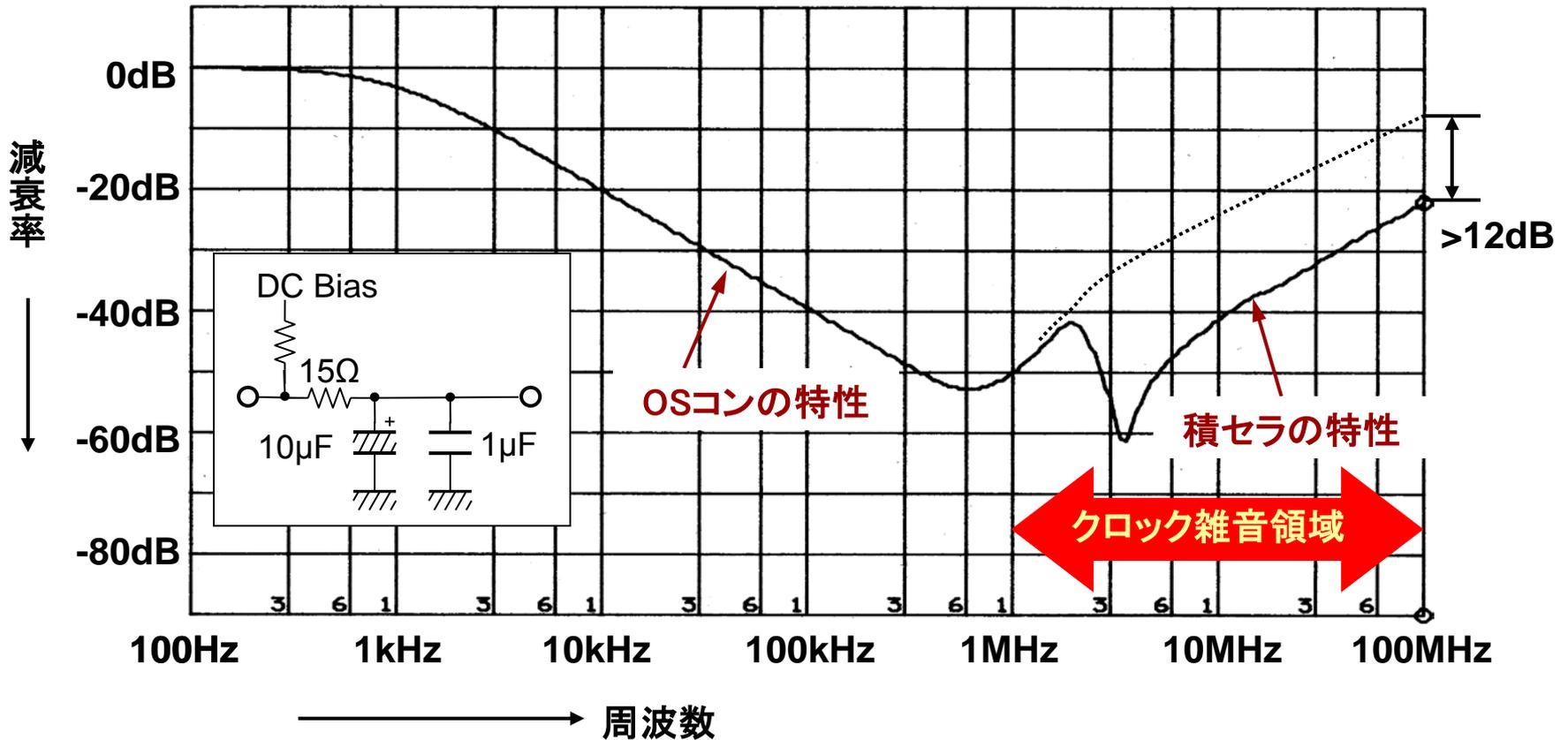
単一コンデンサの特性



# 電源雑音の除去: 高周波用電解コンと積セラの組み合わせ

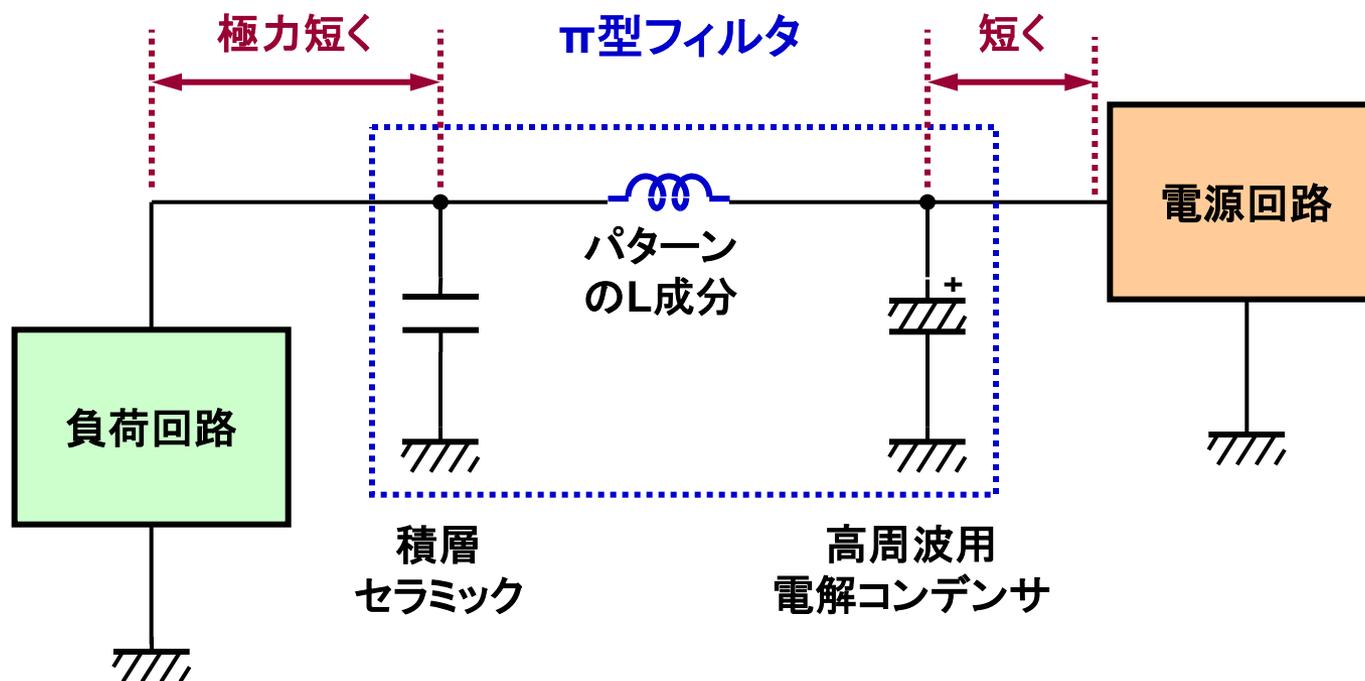
コンデンサー（OSコン10 $\mu$ F+積セラ1 $\mu$ F）で複合した場合  
それぞれの特性が活かされ、より理想に近づく。

並列接続の特性



# 電源雑音の除去: デカップリング・コンデンサの挿入方法

材質の異なるデカップリング・コンデンサを複数個使用する.



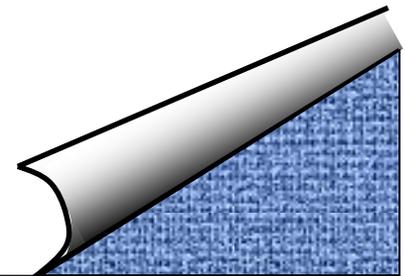
記事: パターンのL成分により $\pi$ 型フィルタが形成され,  
高周波雑音に対してより効果的に作用する.

## S9.1 前置増幅での各種雑音源と対策

- (1) 外来雑音の除去
- (2) 熱電対効果
- (3) オペアンプ回路雑音
- (4) 電源雑音の除去

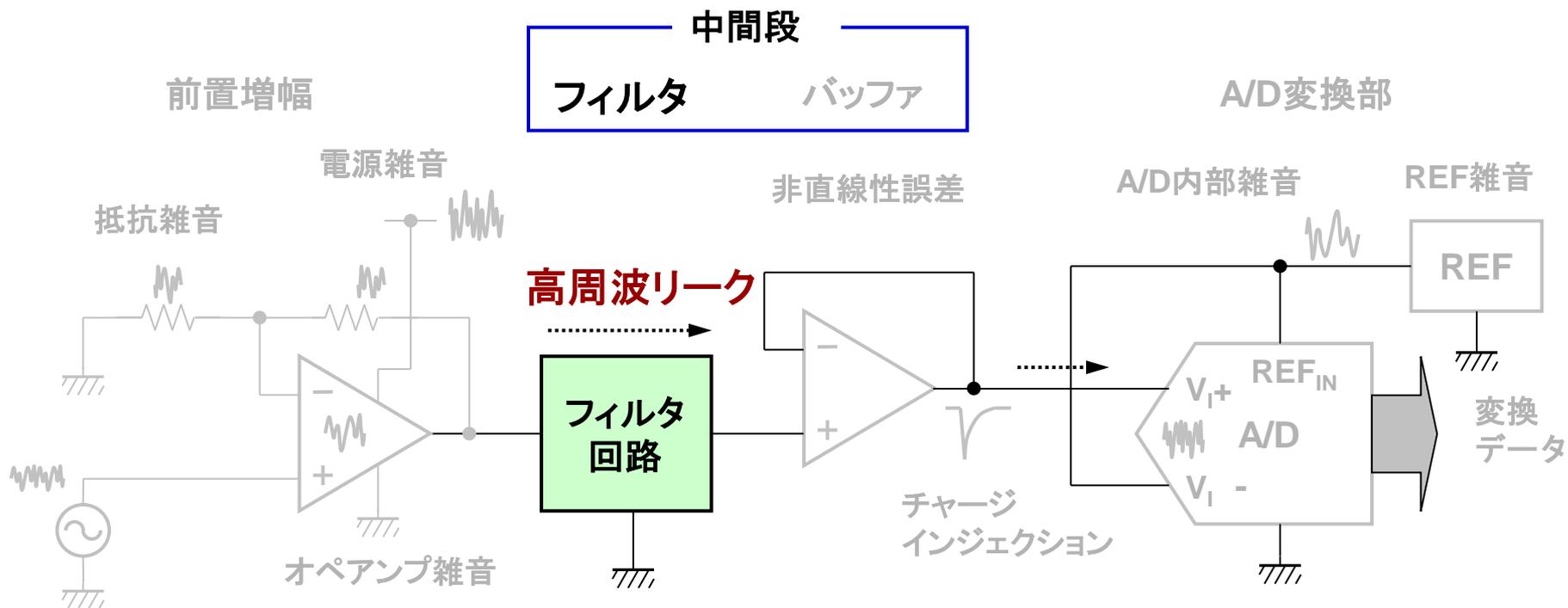
## S9.2 前置フィルタの必要性和高周波リーク対策

- (1) 前置フィルタの必要性
- (2) フィルタの原理
- (3) アクティブ・フィルタの構成



# 前置フィルタの必要性と高周波リーク対策

アクティブ・フィルタの正常動作周波数はオペアンプの帯域幅に依存する。

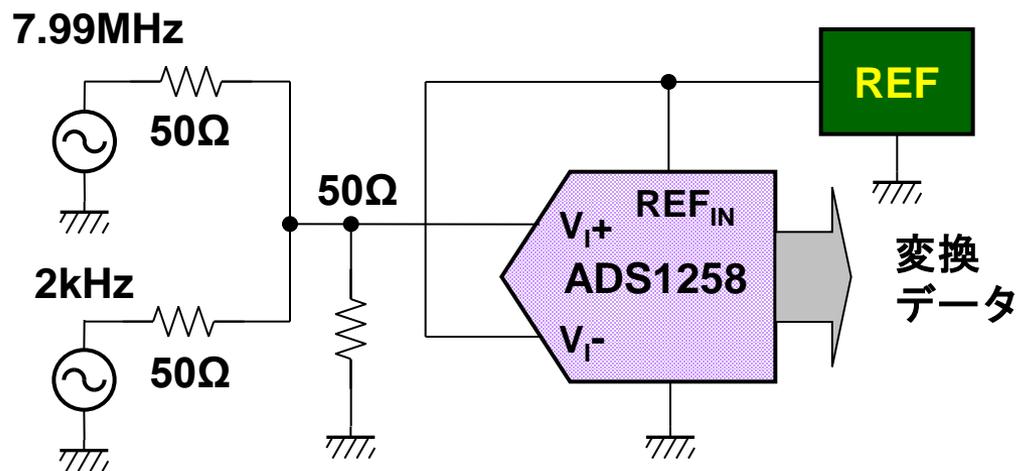
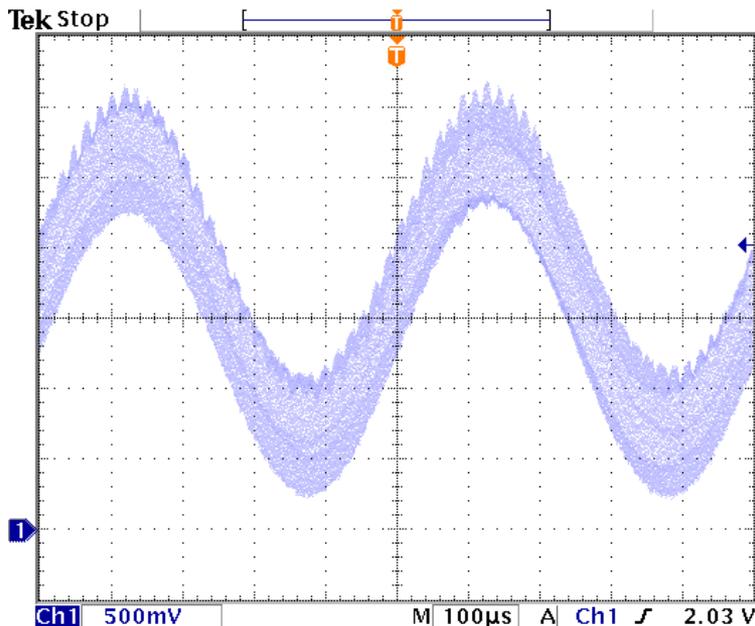


オペアンプの正常動作周波数より高い周波数の雑音は入力から出力へリークする。リークの少ない回路構成の採用が解決策。

# 前置フィルタの必要性: $\Delta\Sigma$ 型A/Dの内部フィルタを評価する

2kHzと8MHzの混合波形をADS1258(125ksps)に加え, 内蔵のデジタル・フィルタの限界を探る.

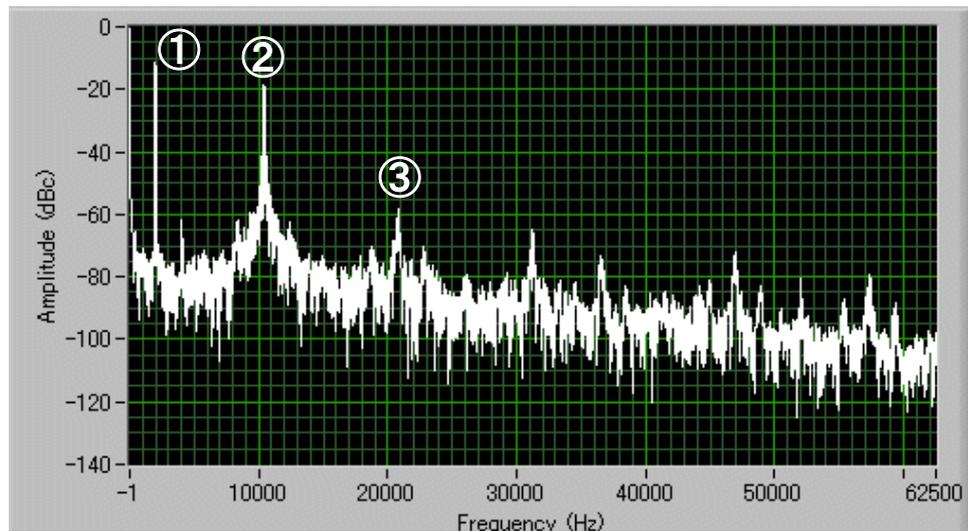
2kHzと8MHzの混合波形(4:1)



# 前置フィルタの必要性: 混合波の変換データ分析

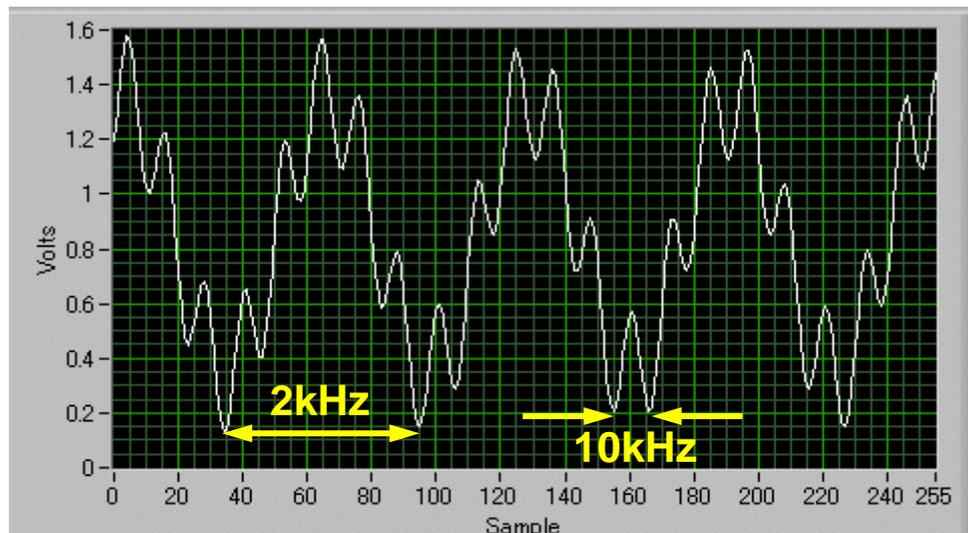
## FFTによるスペクトラム

- ① 2kHzの入力信号
- ② 7.99MHzのエイリアス(10kHz)
- ③ エイリアスの高調波歪



## タイム・ドメインによる波形

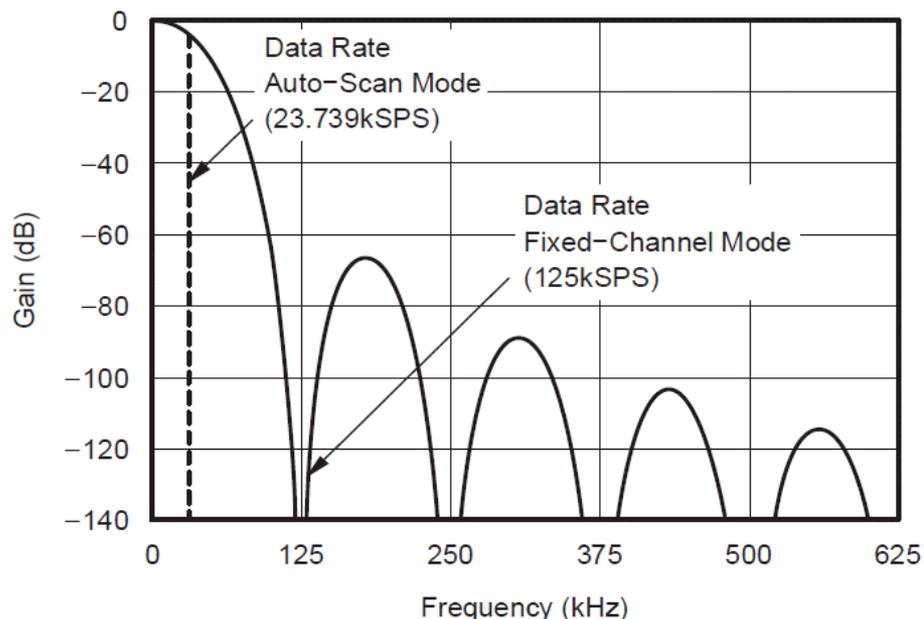
- 10kHzの正体は8MHz (125ksps × 64) と 7.99MHzとのビート.
  - 2kHzと10kHzの比は約4:1
- すなわち, **フィルタの減衰率0dB**



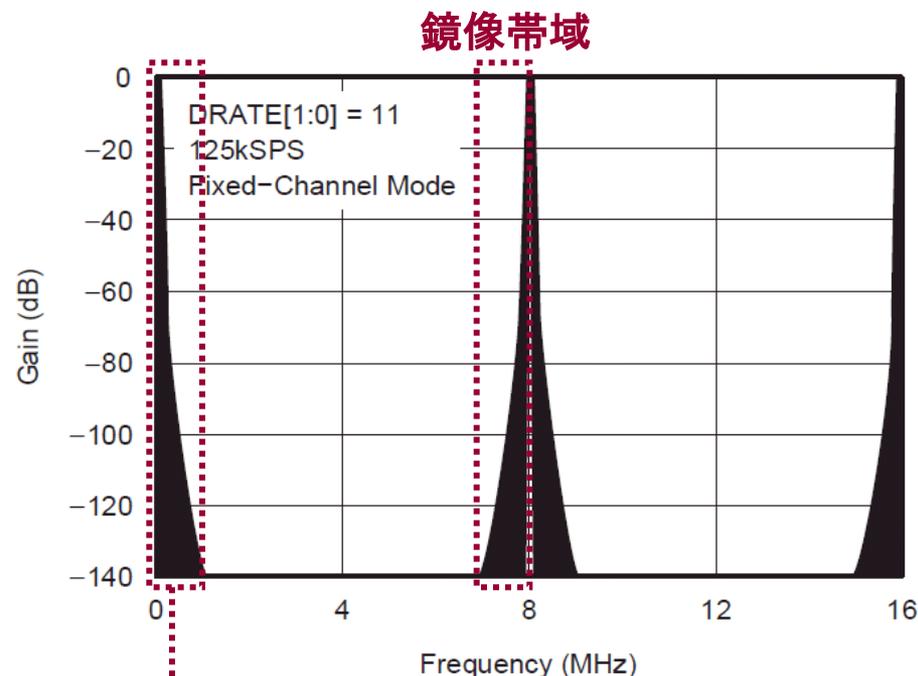
# 前置フィルタの必要性:内蔵フィルタの減衰率は鏡像帯域で0dB

デジタル・フィルタはアナログ・フィルタと異なり  
計算アルゴリズムの関係から鏡像帯域が発生.

### デジタル・フィルタの低域特性



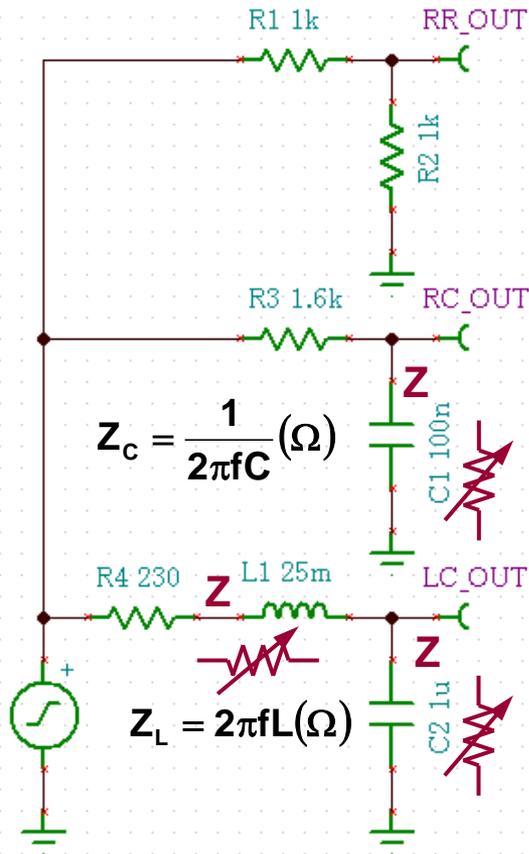
### デジタル・フィルタの広域特性



拡大波形

# フィルタの原理: R・C・Lで構成したアッテネータの周波数応答

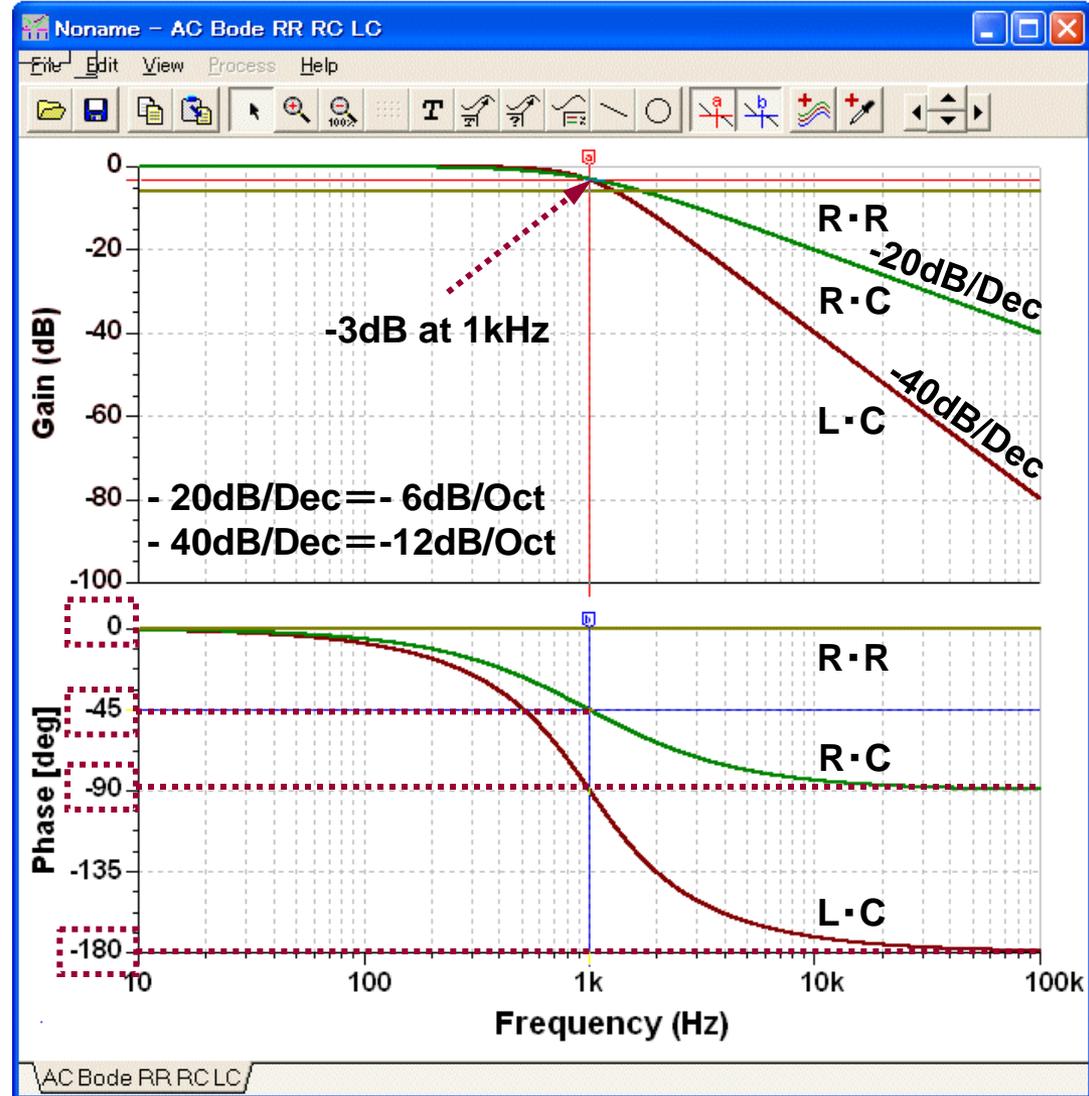
交流に対する抵抗成分をインピーダンスと呼び、量記号は“Z”で単位は“Ω”。



RのZは周波数の増減に対し一定。

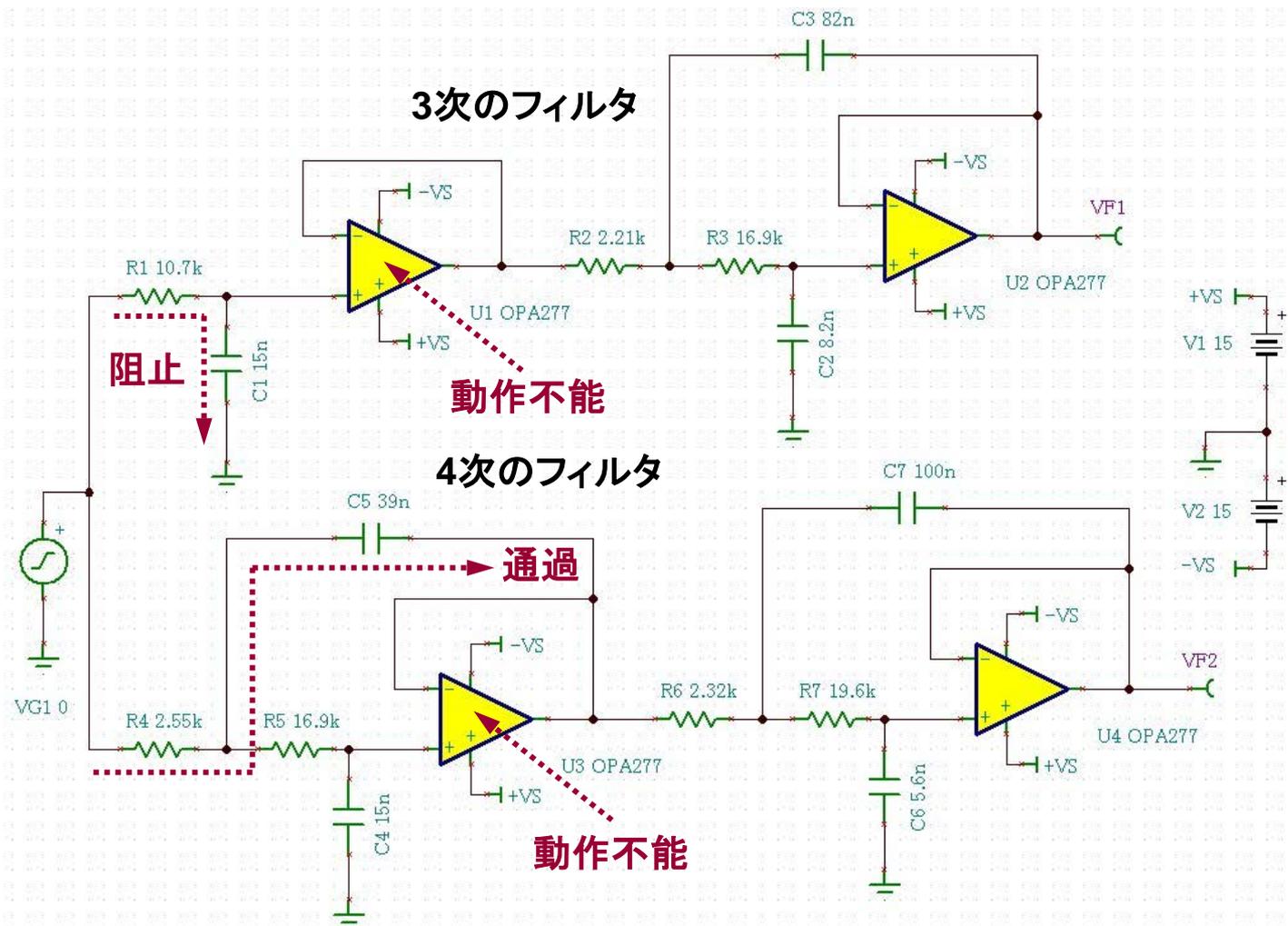
CのZは周波数に比例して減少。

LのZは周波数に比例して増大。



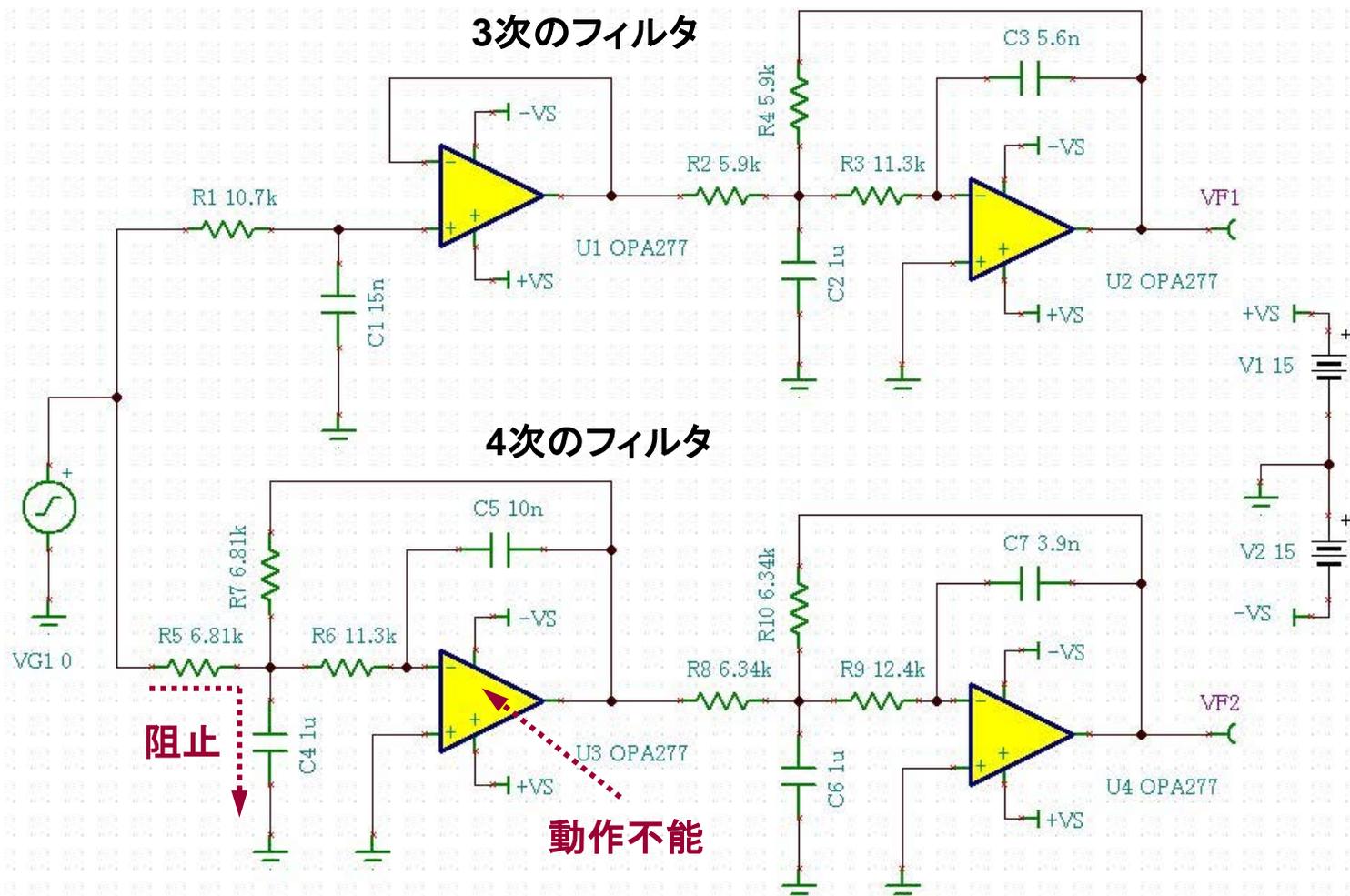
# アクティブ・フィルタの構成: Sallen-key型フィルタの問題点

アクティブ・フィルタの高周波リーク対策は奇数次フィルタが有効.



# アクティブ・フィルタの構成: 偶数次が必要ならMFBフィルタが有効

MFB(マルチ・フィードバック)フィルタはコンデンサのダイレクト・パスが無い。



# アクティブ・フィルタの構成: Sallen-keyとMFBの比較

オペアンプの動作帯域外におけるアクティブ・フィルタの応答. バターワース  
 $f_c = 1\text{kHz}$

