



東北大学

講義スライド

通信工学

第5回

SN比・雑音指数

東北大学 大学院工学研究科 准教授

能勢 隆

tnose@m.tohoku.ac.jp

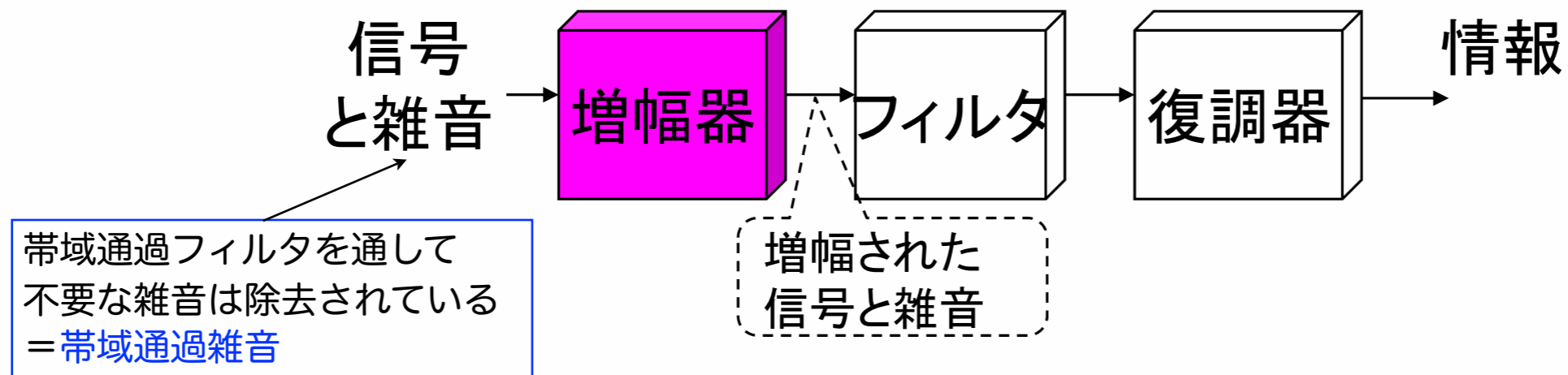
講義スライド <http://www.spcom.ecei.tohoku.ac.jp/nose/>

Twitter <https://twitter.com/vmpmember>

通信システムと熱雑音

熱雑音

- ・ 抵抗体内の自由電子は熱エネルギーで運動
- ・ 自由電子の運動行程は結晶格子との衝突によりランダムでジグザグ → 熱雑音が発生
- ・ 通信システムで最も支配的な雑音



復調の過程

復調における増幅器の役割

- ・ 送信信号は通信路により減衰するので、復調しやすい電力値まで受信信号を増幅する増幅器が必要

信号対雑音電力比 (S/N)

信号伝送の良さ

- ・ 信号電力が雑音電力に比べて大きいほど良い
 - ・ 信号電力：送信信号の平均電力
 - ・ 雑音電力：雑音の平均電力

信号対雑音電力比(Signal-to-noise ratio, SN比 or S/N)

$$S/N = \frac{\text{信号電力}}{\text{雑音電力}} \quad \rightarrow \text{演習5.1, 5.2}$$

- ・ S/Nが大きいほど信号に比べて雑音が小さい → 良い

S/Nのデシベル(dB)表示

$$S/N_{\text{dB}} = 10 \log_{10} S/N$$

$$S/N = 10^{\frac{S/N_{\text{dB}}}{10}}$$

雑音指数

増幅器の良さ

- ・ 増幅器内部では熱雑音が発生するため入力に比べ出力のS/Nは下がる(=悪化)
- ・ S/Nの悪化率(減少率)が低いほど良い → 雑音指数で評価

雑音指数(Noise figure, NF)

$$F = \frac{\text{入力のS/N}}{\text{出力のS/N}}$$

→ 小さいほど良い (最小は1)

熱雑音の電力スペクトル密度

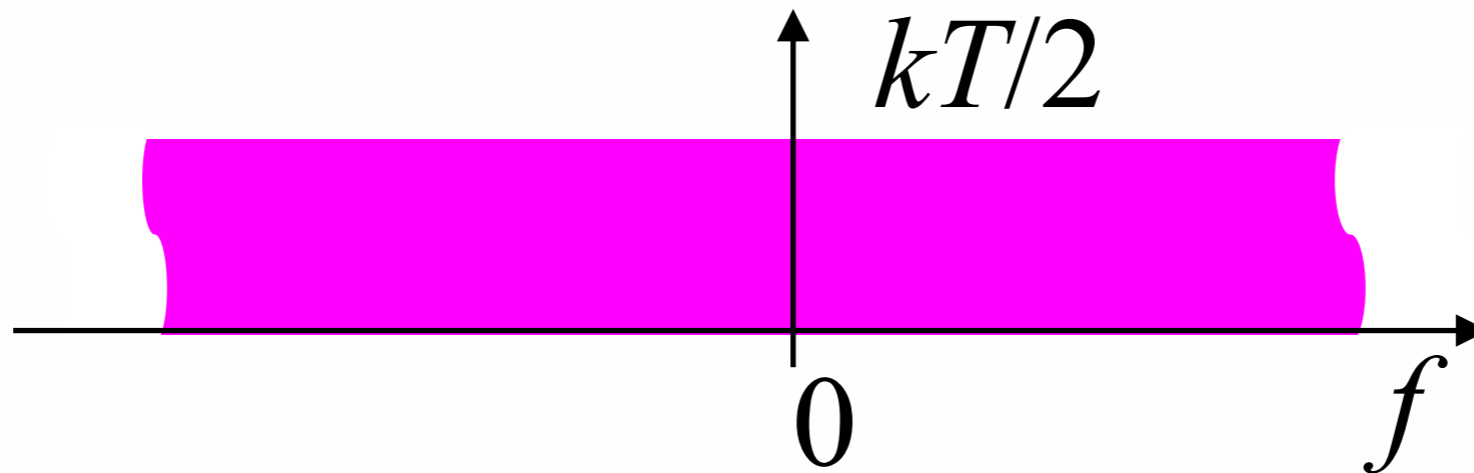
熱雑音の電力スペクトル密度

$$P_n(f) = \frac{kT}{2} \rightarrow \text{白色雑音}$$

以前は N_0 として登場
→ 要は温度に比例して
雑音が大きくなる

k : ボルツマン定数、 1.38×10^{-23} (J/K)

T : 絶対温度 (K)



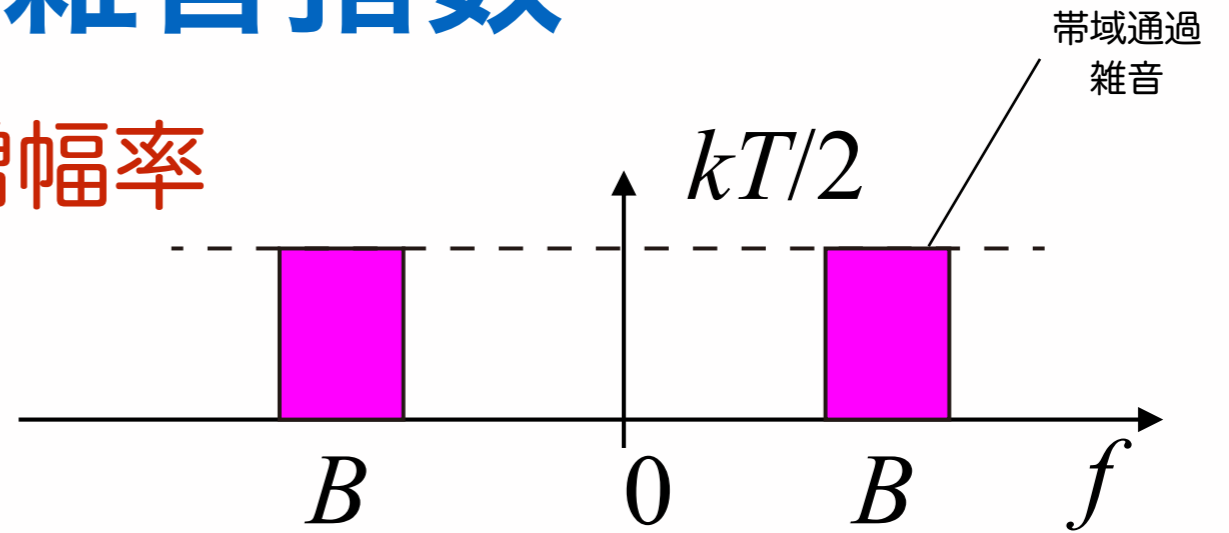
熱雑音の電力スペクトル密度

増幅器の雑音指数

増幅器における信号(電力)の増幅率

$$G = \frac{S_{out}}{S_{in}}$$

— 入力電力
dB表示の場合は10logXで計算



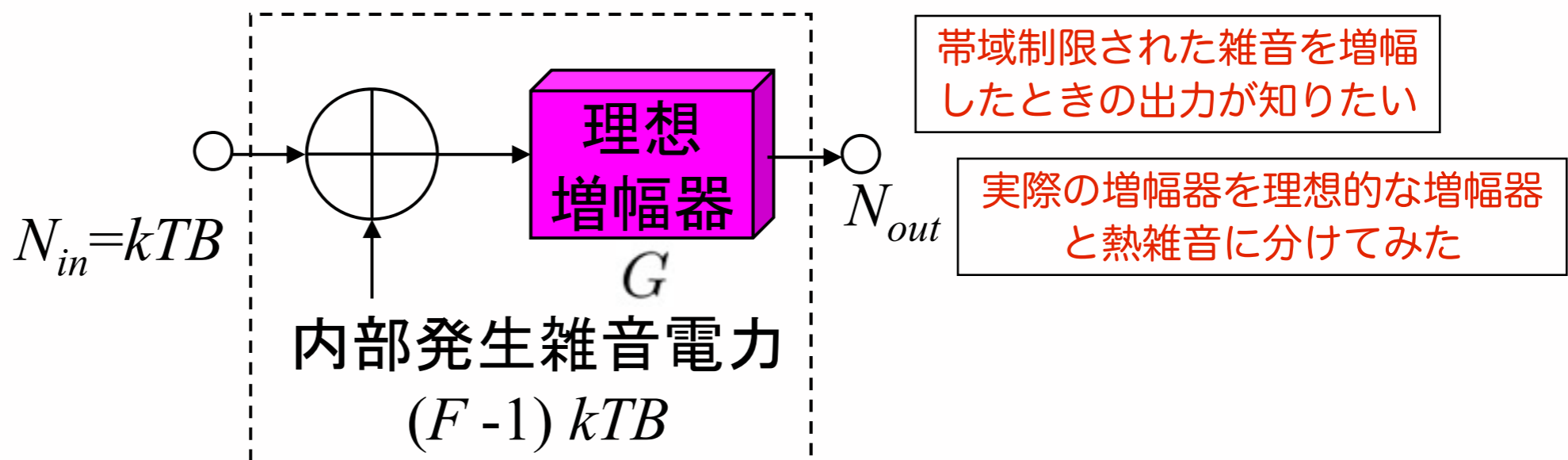
増幅器の入力雑音電力スペクトル密度

雑音指数の式を変形

$$F = \frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}} = \frac{S_{in}}{N_{in}} \cdot \frac{N_{out}}{S_{out}} = \frac{S_{in}}{S_{out}} \cdot \frac{N_{out}}{N_{in}} = \frac{1}{G} \cdot \frac{N_{out}}{N_{in}}$$

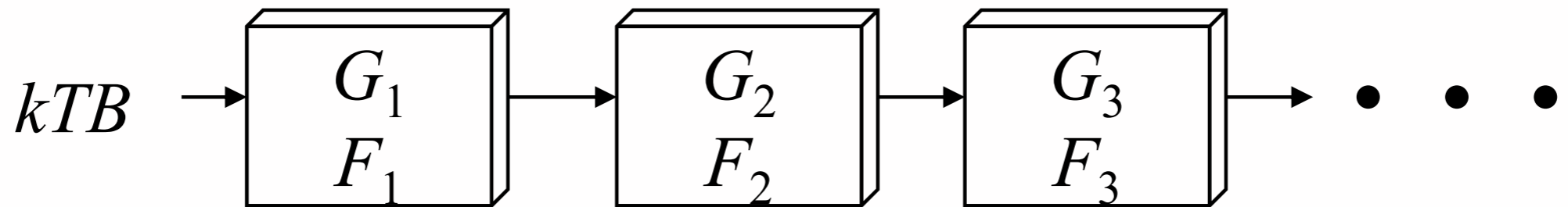
増幅器の入力雑音電力は $N_{in} = kTB$ であるから → 上図の電力スペクトル密度を積分 (面積)

$$N_{out} = G \cdot F \cdot N_{in} = G \cdot F \cdot kTB = G [1 + (F - 1)] \cdot kTB$$



増幅器を縦続接続したときの雑音指数 (1/2) ⁷

J個の増幅器を縦続接続したときの雑音指数



入力雑音による出力雑音電力 $= (kTB) G_1 G_2 G_3 \cdots = \left(\prod_{j=1}^J G_j \right) kTB$

第1段目の増幅器内部で発生する熱雑音による出力雑音電力

$$= (kTB) (F_1 - 1) G_1 G_2 G_3 \cdots = \left(\prod_{j=1}^J G_j \right) (F_1 - 1) kTB$$

第2段目の増幅器内部で発生する熱雑音による出力雑音電力

$$= (kTB) (F_2 - 1) G_2 G_3 \cdots = \left(\prod_{j=2}^J G_j \right) (F_2 - 1) kTB$$

増幅器を縦続接続したときの雑音指数 (2/2) ⁸

増幅器を縦続接続したときの出力雑音電力

$$\begin{aligned} N_{total} &= \left(\prod_{j=1}^J G_j \right) \left[1 + (F_1 - 1) + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \cdots + \frac{F_J - 1}{G_1 G_2 \cdots G_{J-1}} \right] kTB \\ &= \left(\prod_{j=1}^J G_j \right) \cdot F_{total} \cdot kTB \end{aligned}$$

総合雑音指数

演習5.3

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \cdots + \frac{F_J - 1}{G_1 G_2 \cdots G_{J-1}}$$

→ 初段の増幅器の雑音指数の影響が支配的

まとめ

信号対雑音電力比 (S/N)

$$S/N = \frac{\text{信号電力}}{\text{雑音電力}}$$

雑音指数 (NF)

$$F = \frac{\text{入力のS/N}}{\text{出力のS/N}}$$

縦続接続増幅器の総合雑音指数

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_J - 1}{G_1 G_2 \dots G_{J-1}}$$