

任意の屈折率層からなる光学多層膜フィルタの最適設計

2002年5月30日

中野武雄、前田 真、馬場 茂

発表の流れ

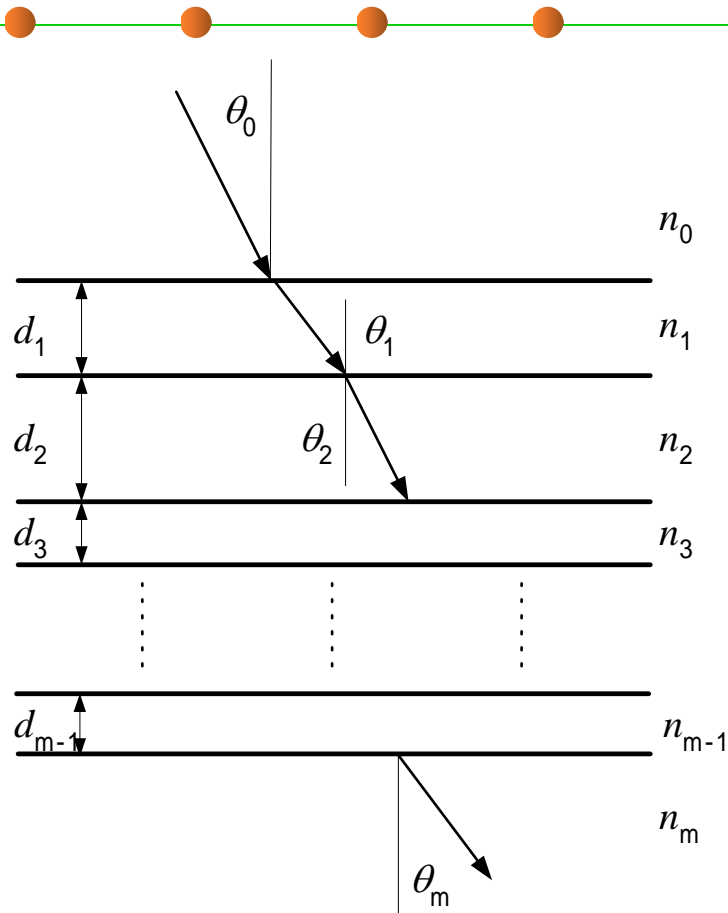
- 背景
- 多層膜フィルタの透過率
- 最適化の方法
- 初期値の置き方
- 結果
- 考察とまとめ

背景

- 波長多重化光通信 (Wavelength Division Multiplexing: WDM) のさらなる高密度化に伴い、波長をよりシャープにカットできるフィルタが望まれている。
- スパッタ技術の進歩によって、二種類の物質を混合させ、精度の良い任意の屈折率を持った膜が作成できるようになってきた。

多層薄膜フィルタにおいて、各層の屈折率を任意に選べるとし、透過特性が最適となるような解を求めるプログラムを開発した。

多層膜の透過率



$$\begin{bmatrix} E_0 \\ H_0 \end{bmatrix} = \prod_{r=1}^{m-1} M_r \begin{bmatrix} E_m \\ H_m \end{bmatrix}$$

$$M_r = \begin{pmatrix} \cos \delta_r & \frac{i}{\eta_r} \sin \delta_r \\ i \eta_r \sin \delta_r & \cos \delta_r \end{pmatrix}$$

$$\delta_r = \frac{2\pi n_r d_r \cos \theta_r}{\lambda}$$

$$\eta_r = \begin{cases} \frac{n_r}{c\mu_0} \cos \theta_r & (s \text{ 偏光}) \\ \frac{n_r}{c\mu_0 \cos \theta_r} & (p \text{ 偏光}) \end{cases}$$

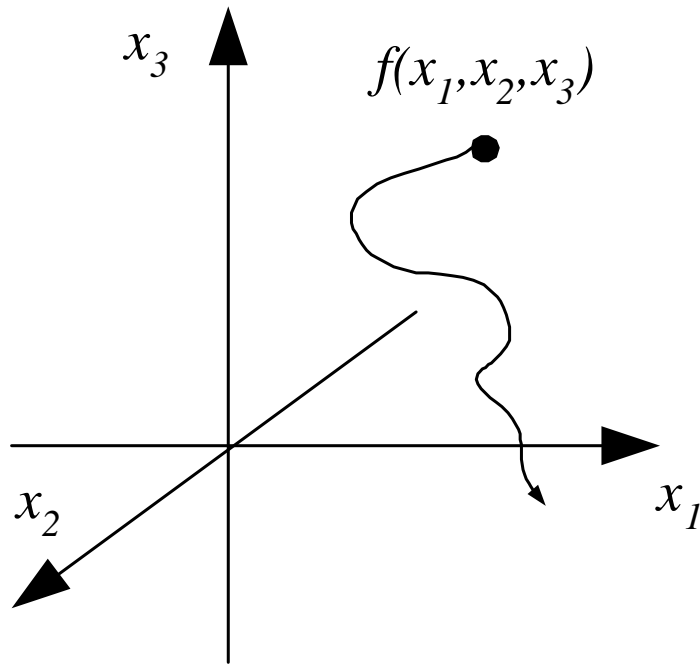
多層膜の透過率 (続き)

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \prod_{r=1}^{m-1} M_r \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_m \end{bmatrix}$$

$$T = \frac{4\eta_0 \eta_m}{|\eta_0 B + C|^2}$$

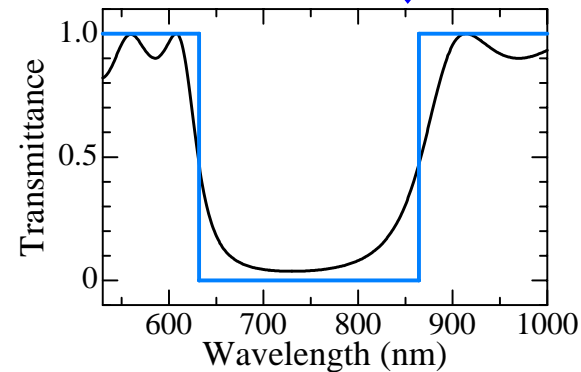
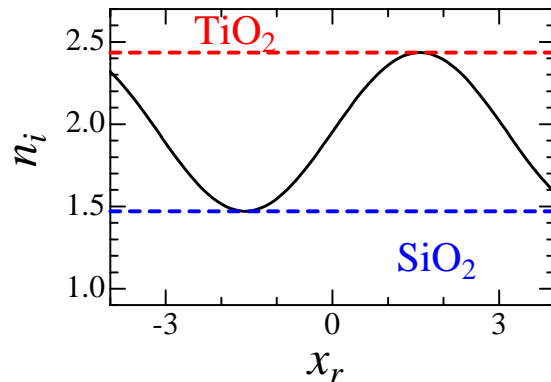
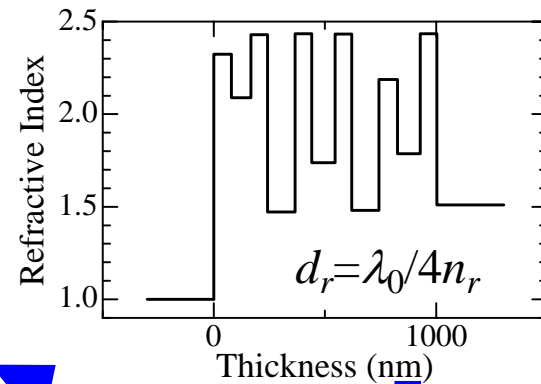
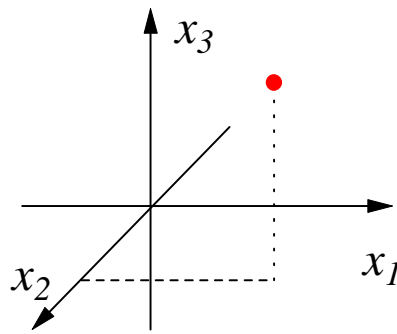
参考: H. A. Macleod "Thin Film Optical Filters, 3rd ed." IoP Publishing (2001) chap. 2

最適化計算

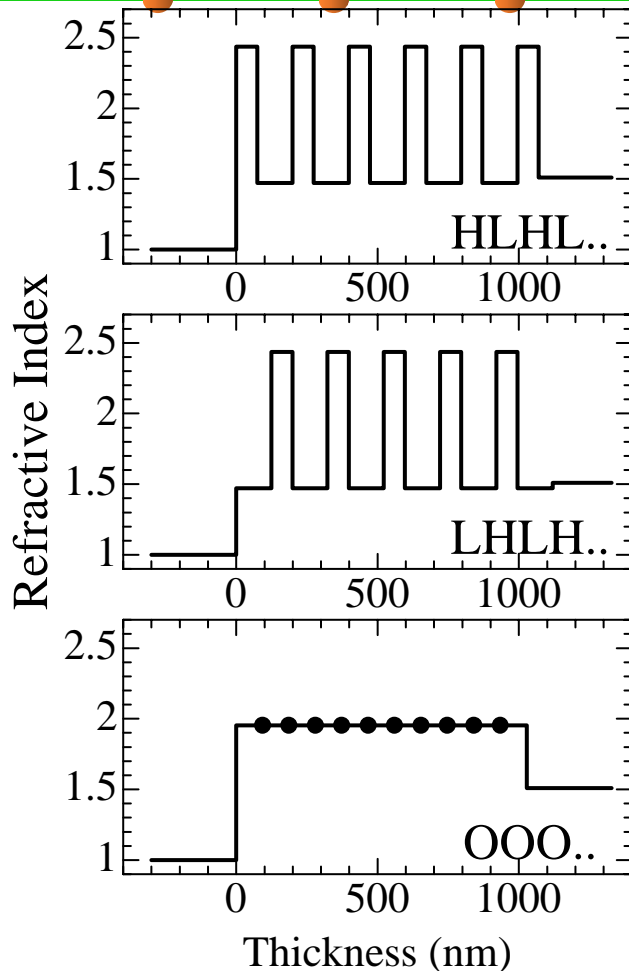


- $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$ の空間で定義されている一価の関数 (評価関数) を考える
- 点を動かして、評価関数が最小になる座標を探す。

N次元空間から評価関数へ

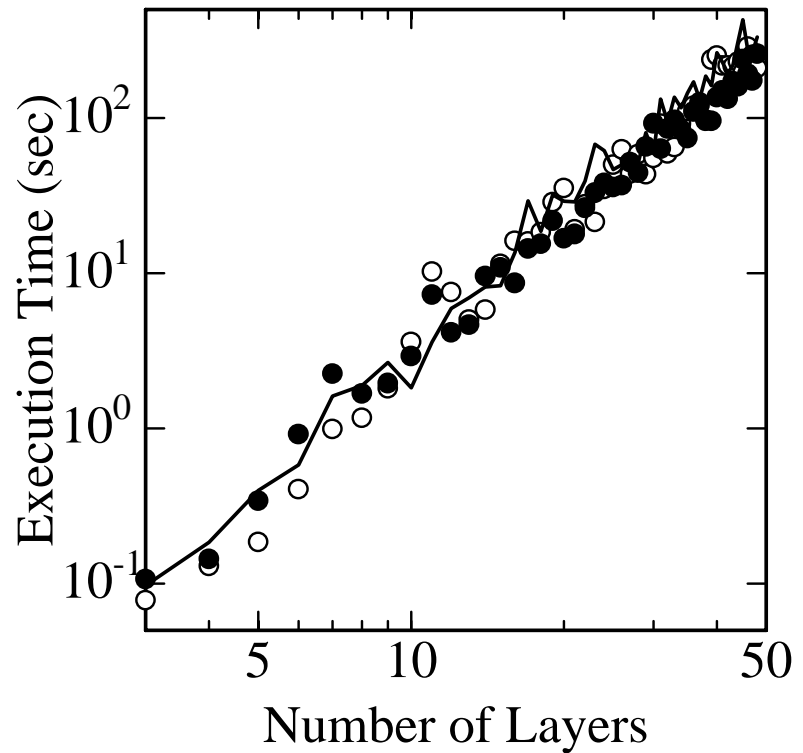
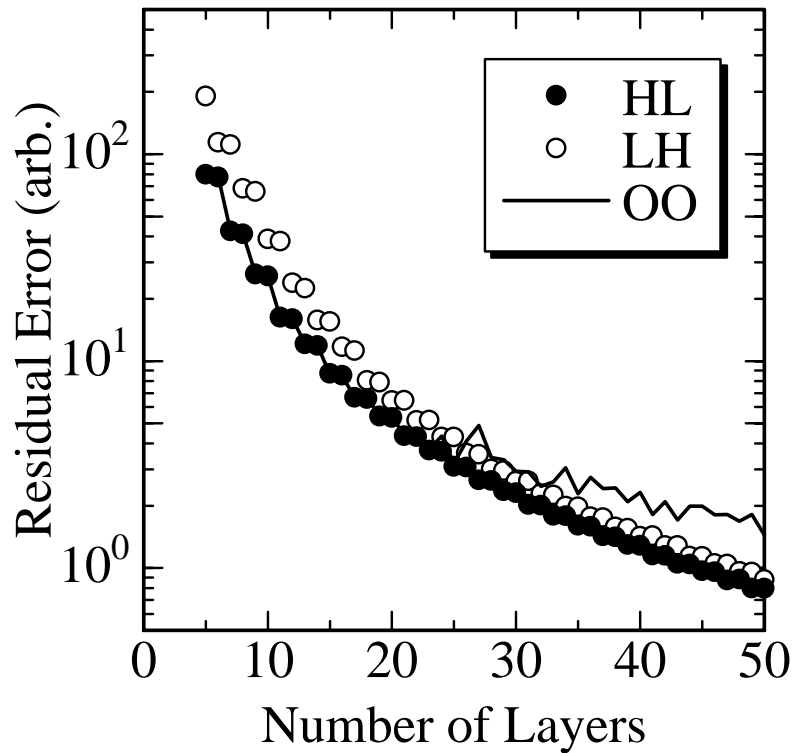


初期値



- HLHL...: 第一層が High (=TiO₂)、その後交互に続く。
- LHLH...: 第一層が Low (=SiO₂)、その後交互に続く。
- OOO...: 全部の層が $(\text{High} + \text{Low})/2$

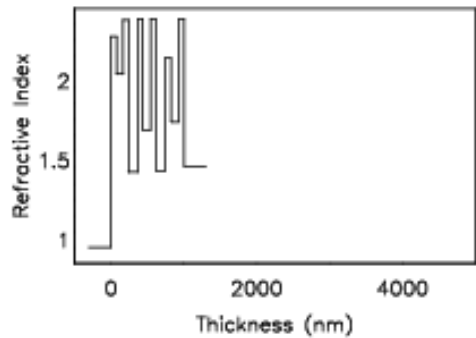
層数と残差・計算時間



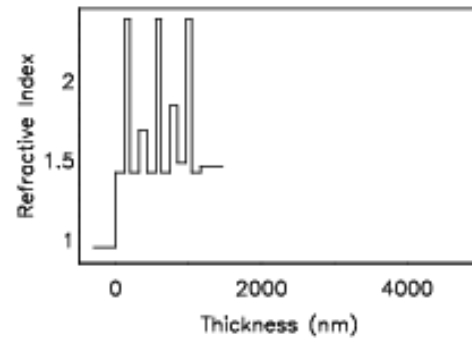
結果：11層

NL: 13

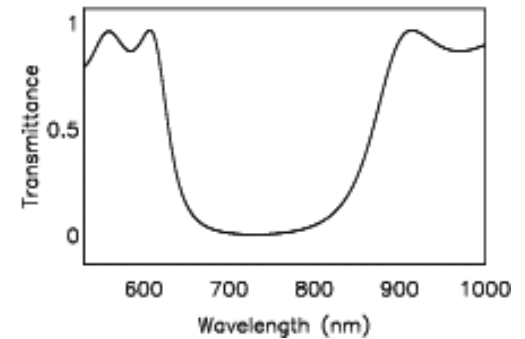
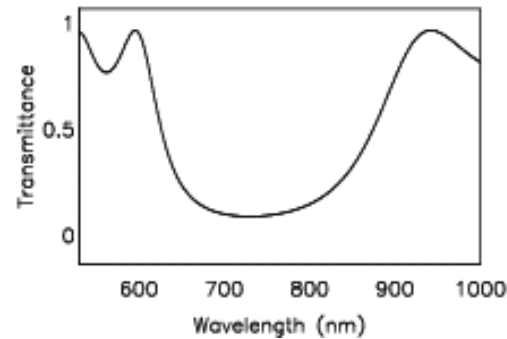
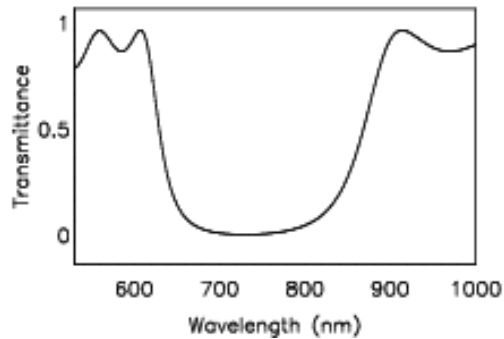
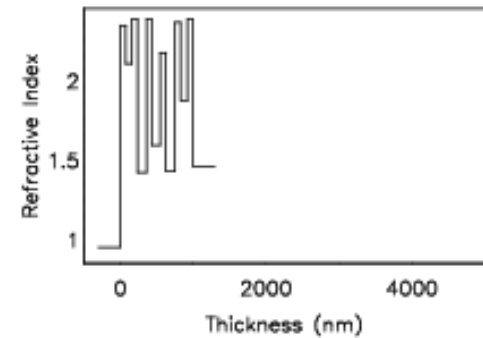
HLHL..



LHLH..



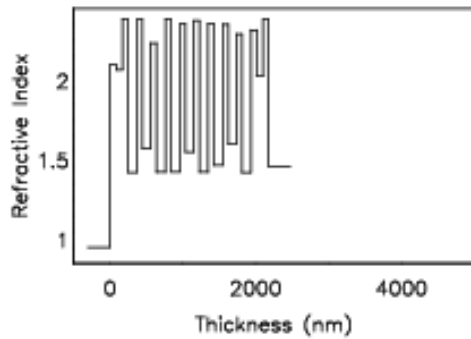
000...



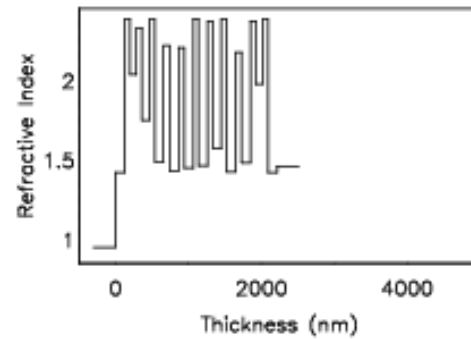
結果：23層

NL: 25

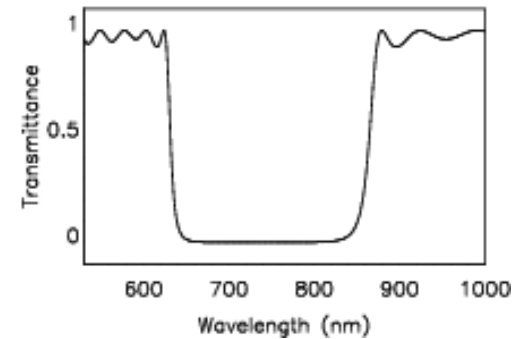
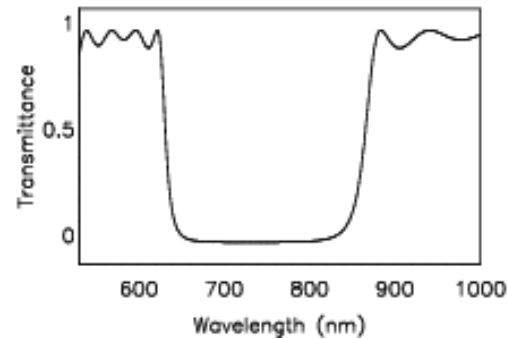
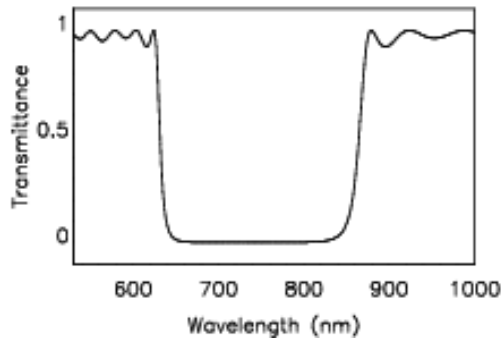
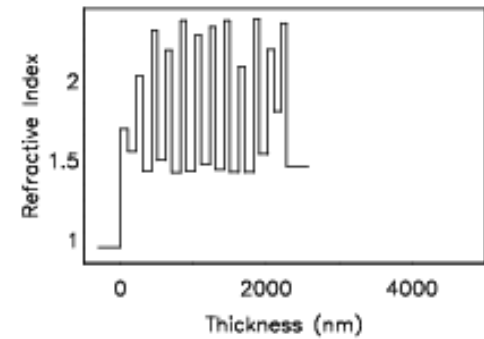
HLHL..



LHLH..



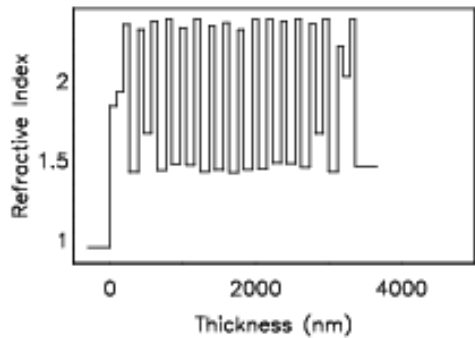
000...



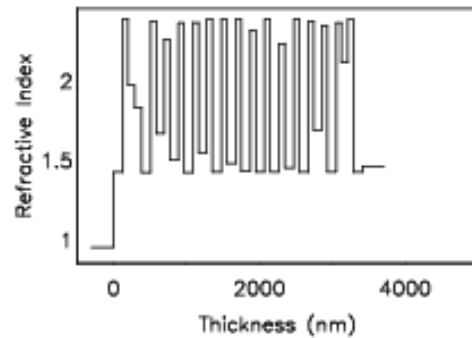
結果：35層

NL: 37

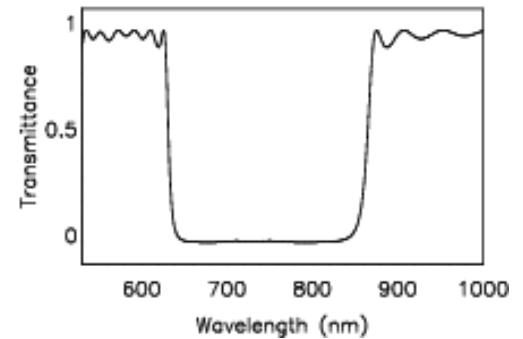
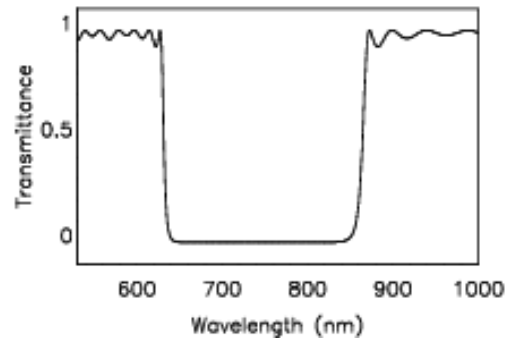
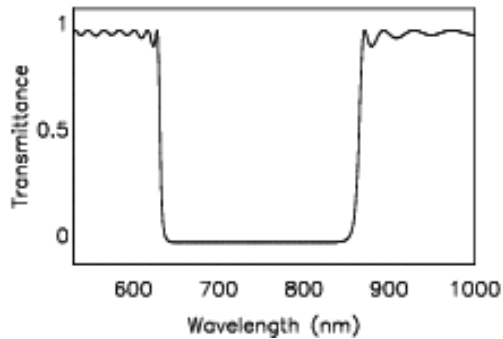
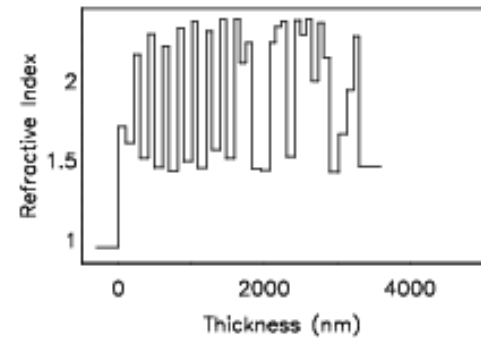
HLHL..



LHLH..



000...



考察とまとめ

- 初期値依存性が存在する。特に層数が多くなると顕著になる。
- 残差の減少は20層程度までが急激で、その後は層数の等比級数的に減っていく。
- Air・Glassに接する層がHであるような初期構造を置くと成績が良い
- 層数が多くなると、000の成績が悪くなる (HLHL)という、本来のフィルタ構造の威力