



# ビーム結合と開口能率の 再定式化

● 永井誠, 今田 大皓  
(筑波大学)

第16回ミリ波サブミリ波ワークショップ@電気通信大学, 2016年3月8日





- ◆ 開口能率の高い電波望遠鏡を作りたい。
- ◆ 次世代電波望遠鏡の開発

- 多ビーム化

- 広視野化

- 高周波数化

- 大口径化

- 広帯域化

従来の望遠鏡からの飛躍

既存の望遠鏡にとらわれない  
開口能率の普遍的な定式化



# 開口能率とは

Kraus, "Antenna" 1950.

The aperture efficiency  $\epsilon_{ap}$  may then be expressed as

Balanis, "Antenna Theory". 2005.

The aperture efficiency is generally the product of the

1. fraction of the total power that is radiated by the feed, intercepted by the reflecting surface (generally known as *spillover efficiency*  $\epsilon_s$ )
2. uniformity of the amplitude distribution of the feed pattern over the reflector (generally known as *taper efficiency*  $\epsilon_t$ )
3. phase uniformity of the field over the aperture plane (generally *efficiency*  $\epsilon_p$ )
4. polarization uniformity of the field over the aperture plane (generally *polarization efficiency*  $\epsilon_x$ )
5. *blockage efficiency*  $\epsilon_b$
6. *random error efficiency*  $\epsilon_r$ , over the reflector surface

Thus in general

$$\epsilon_{ap} = \epsilon_s \epsilon_t \epsilon_p \epsilon_x \epsilon_b \epsilon_r$$

etc.

Baars, "The Paraboloidal Reflector Antenna". 2006.

number of phenomena and hence it can be seen as the product of a number of separate "efficiency components". Following, for instance, Kraus (1966, Ch. 6.25b), we can write the aperture efficiency as the product of a number of individual components:

$$\eta_A = \eta_i \eta_s \eta_r \eta_p \eta_e \eta_f \eta_b, \quad (4.2)$$

where  $\eta_i$  = illumination efficiency of the aperture by the feed function ("taper")

$\eta_s$  = spillover efficiency of the feed (and subreflector, if present)

$\eta_r$  = radiation efficiency of the reflector surface (ohmic loss)

$\eta_p$  = polarisation efficiency of the feed-reflector combination

$\eta_e$  = surface error efficiency ("Ruze loss"), also called scattering efficiency

$\eta_f$  = focus error efficiency (both lateral and axial defocus)

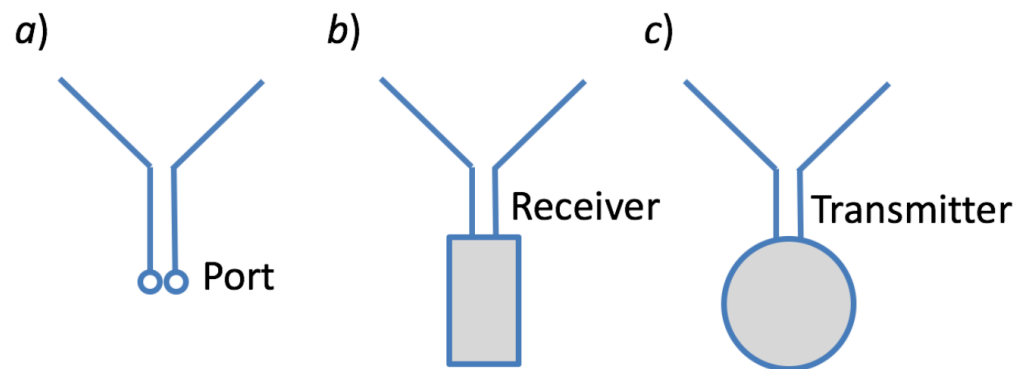
$\eta_b$  = blocking efficiency due to quadripod, subreflector, other obstruction.

◆ 定義ははっきりしているが、現実には難しい。。。

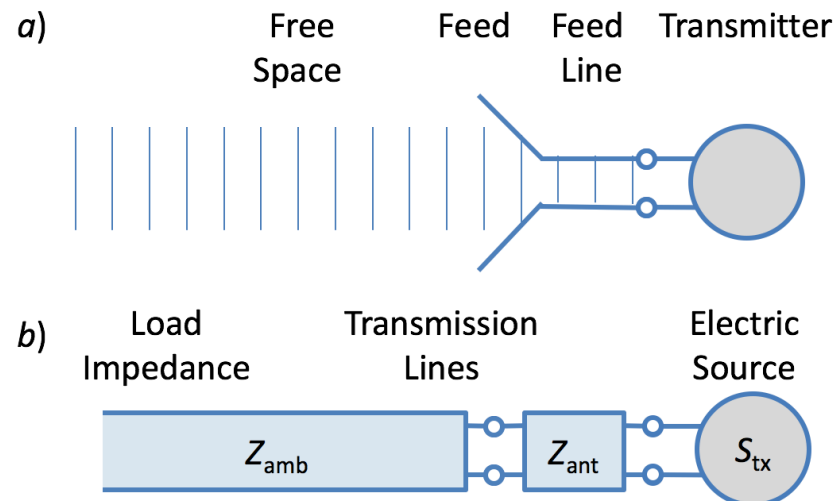
→ 普遍的で、完全で、単純な定式化が望まれる。

# アンテナとその等価回路

● アンテナ = 給電部 + 給電線



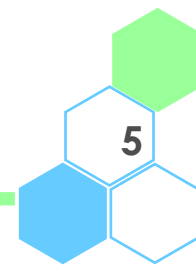
● アンテナ  $\approx$  2端子対回路片



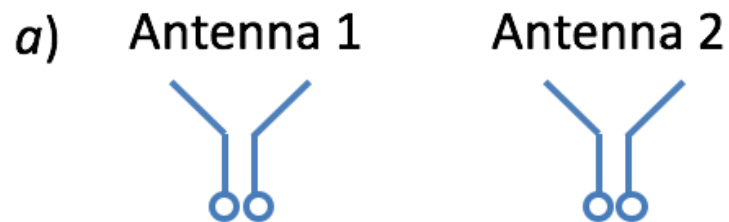
等価伝送線路の特性

- 受動性
- 線形性
- 相反性
- 損失の有無

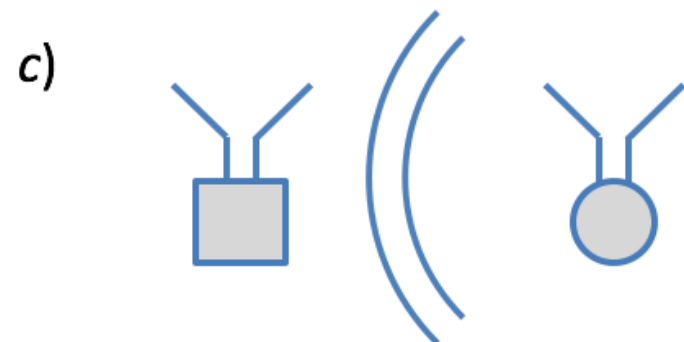
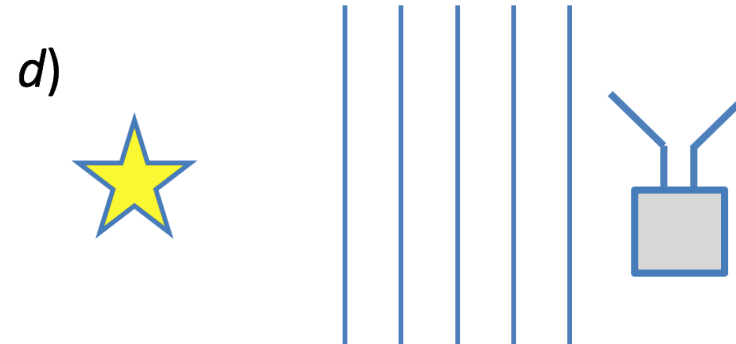
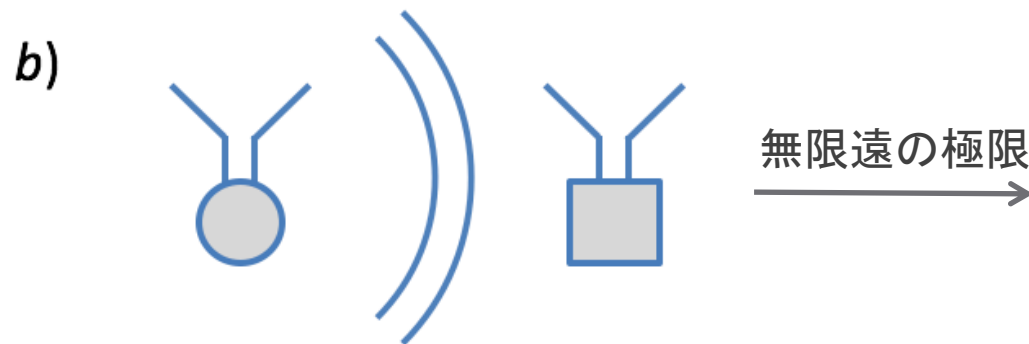
# 空中線とビーム結合



## ● 空中線: 送受信するアンテナ対

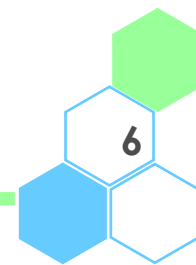


任意の形状のビームを受信する  
状況を扱える(普遍的)。

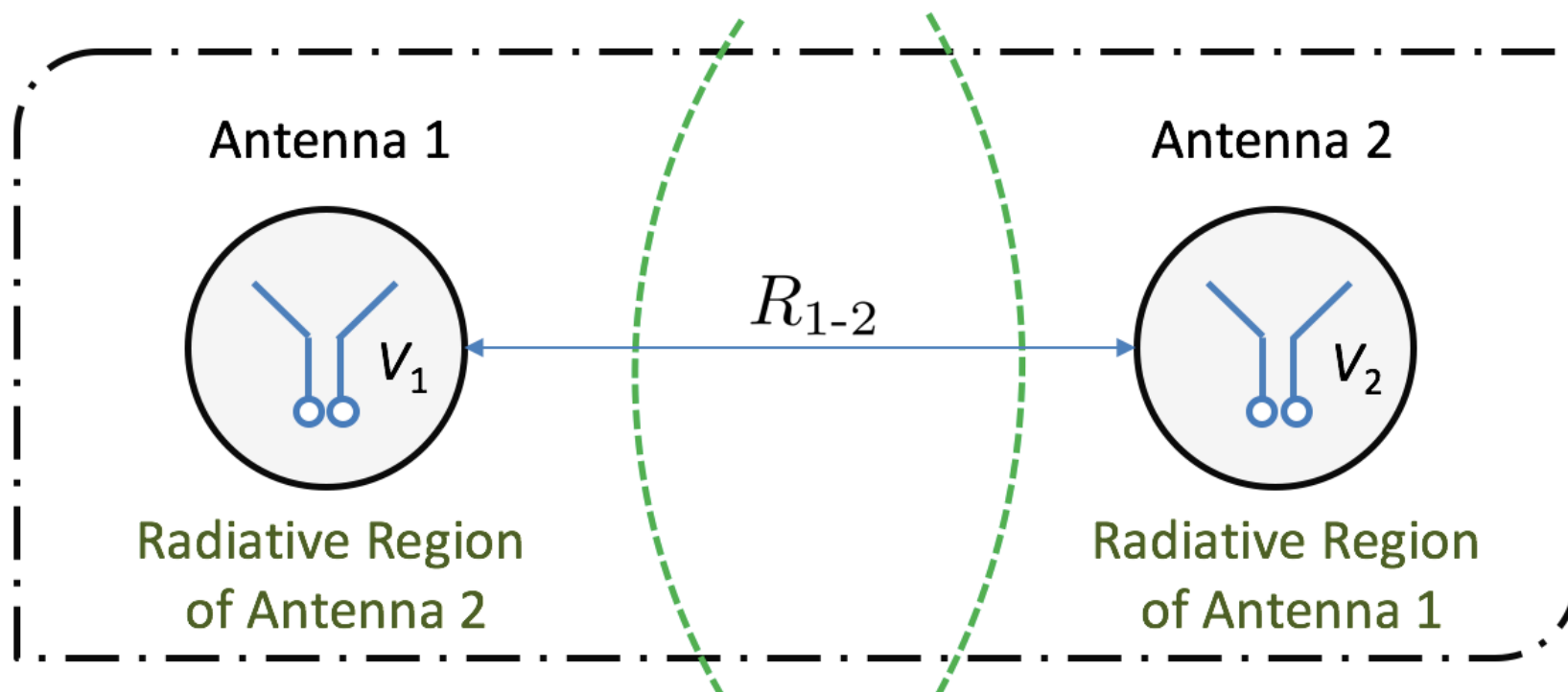


特殊な場合として  
平面波を受信する状況を含む。

# 前提



- 異なる構成要素は互いの放射領域に在る。
- 受動的
- 線形
- 相反



# ビーム結合：電力による記述



- 電力の伝送比率を勘定する。

Backward Radiation

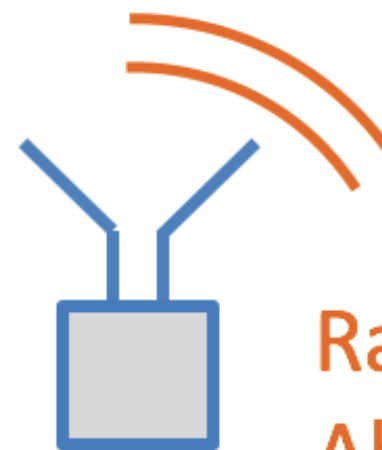


$P_{tx}$

Scattered Radiation



$P_{rad,1}$



Radiation  
Absorbed

$P_{abs,2} P_{rx}$

$\times \eta_{tx,1}$

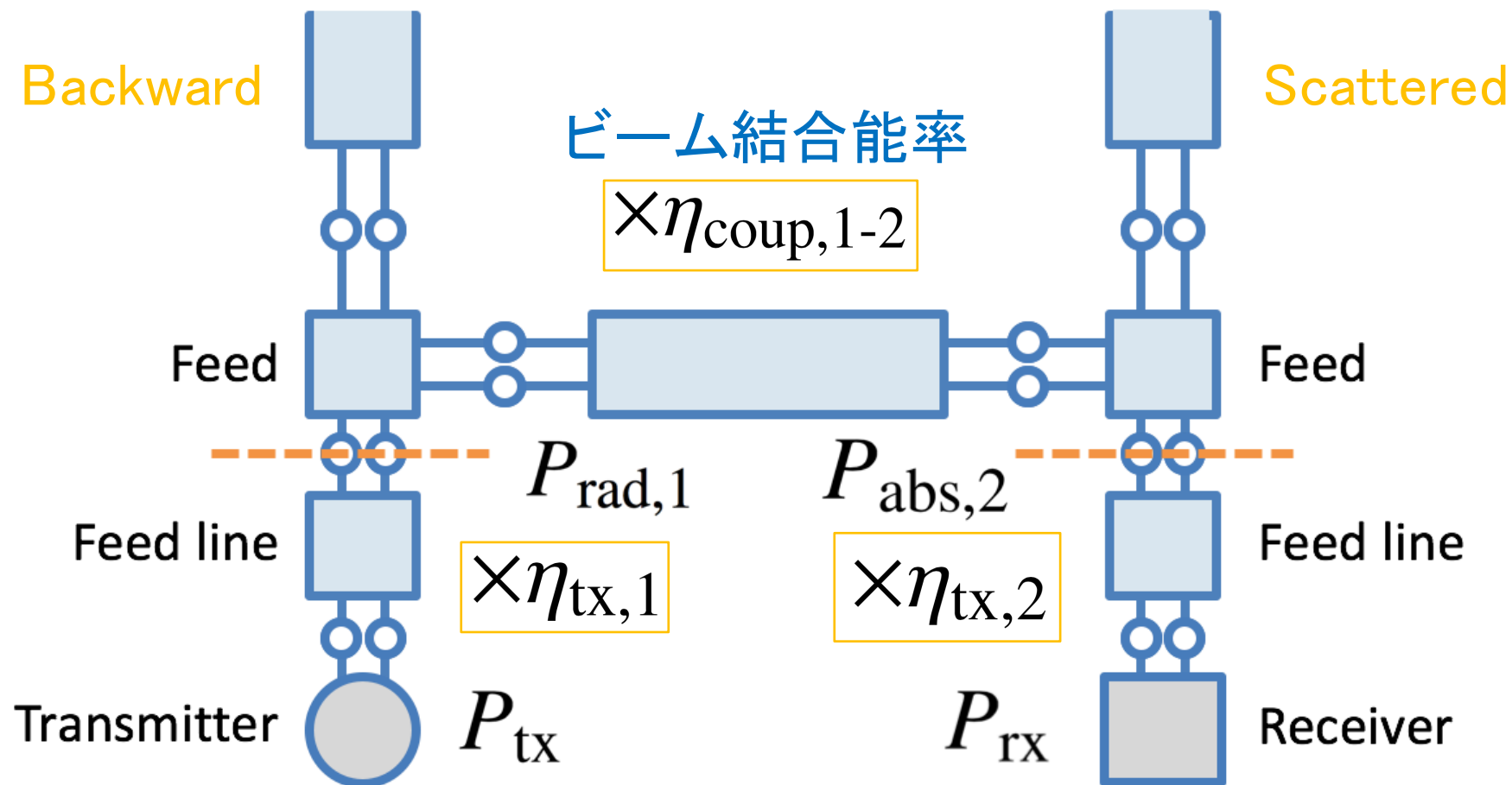
$\times \eta_{coup,1-2}$

$\times \eta_{tx,2}$

# ビーム結合：等価回路

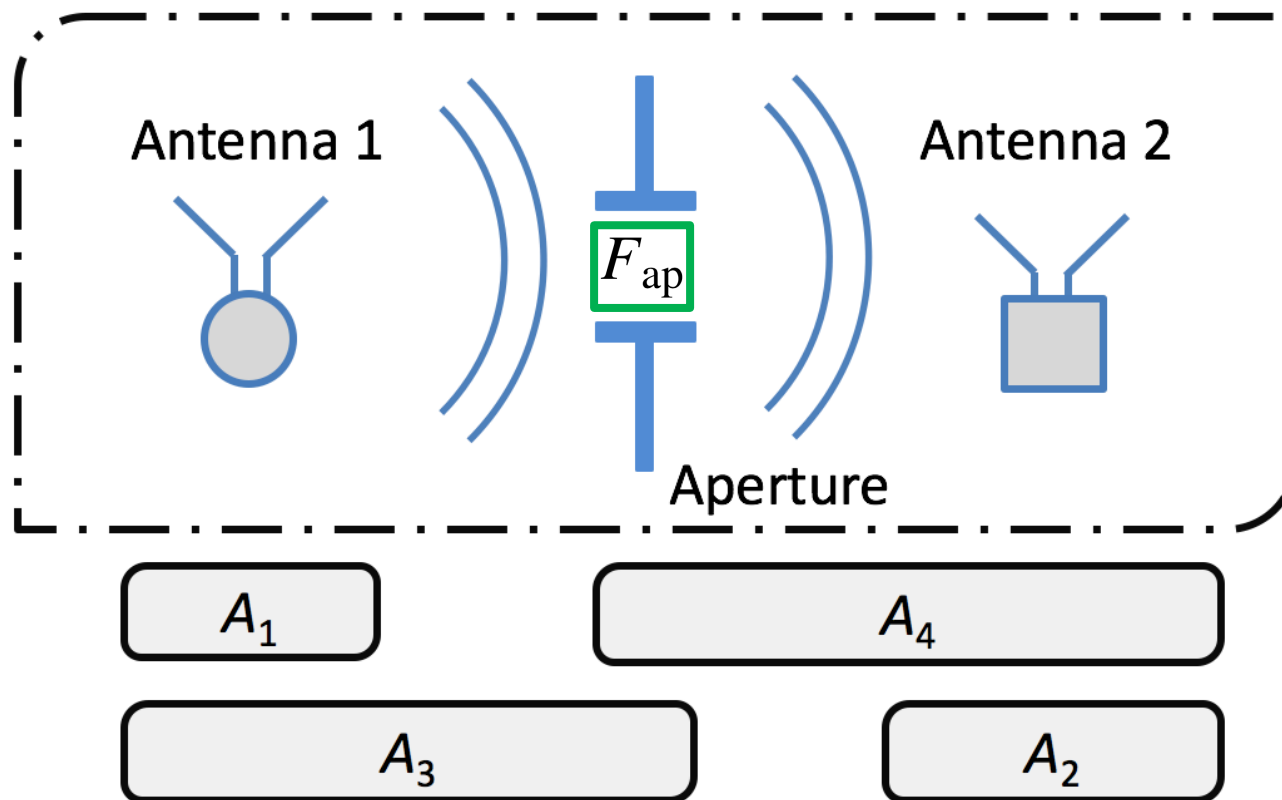


$$\eta_{\text{pair}} = \frac{P_{\text{tx}}}{P_{\text{rx}}} = \eta_{\text{tx},1} \cdot \eta_{\text{coup},1-2} \cdot \eta_{\text{rx},2}$$





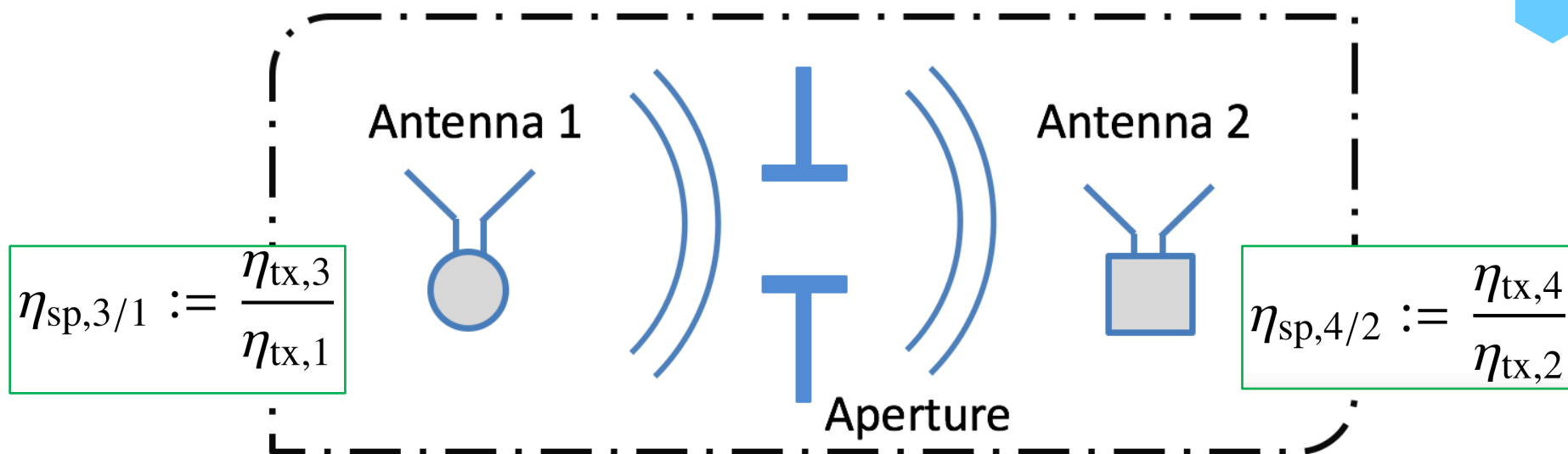
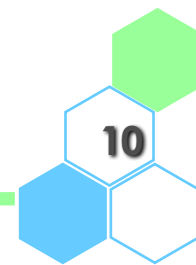
# 一般化された実効開口面積の定義



開口を通る電力:  $P_{ap} = \langle F_{ap} \rangle |A_{ap}|$

受信される電力:  $P_{rx} = \langle F_{ap} \rangle |A_{eff}|$  与えられたビームに対する実効開口面積を定義

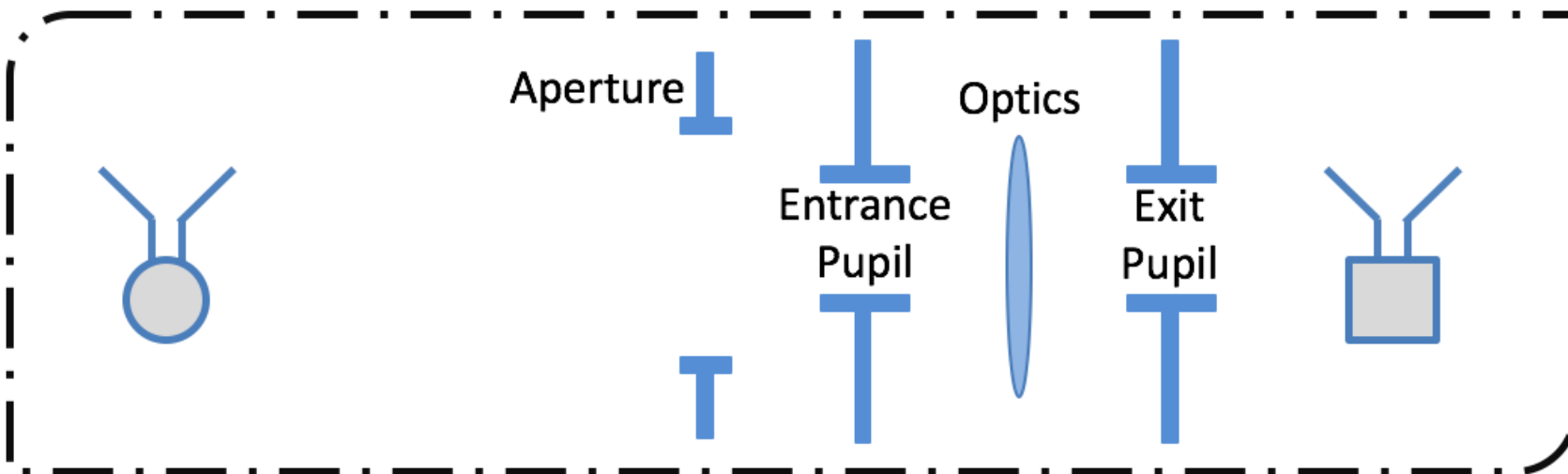
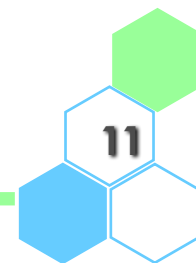
# 開口能率



$$\eta_{pair} = \frac{P_{rx}}{P_{tx}} = \eta_{tx,1} \eta_{sp,3/1} \eta_{coup} \eta_{sp,4/2} \eta_{rx,2}$$

$$\eta_{ap} = \frac{P_{rx}}{P_{ap}} = \eta_{coup} \eta_{sp,4/2} \eta_{rx,2}$$

# 一般の望遠鏡の開口能率



$$\eta_{ap} = \eta_{coup} \eta_{sp,en} \eta_{opt} \eta_{sp,ex} \eta_{rx,2}$$

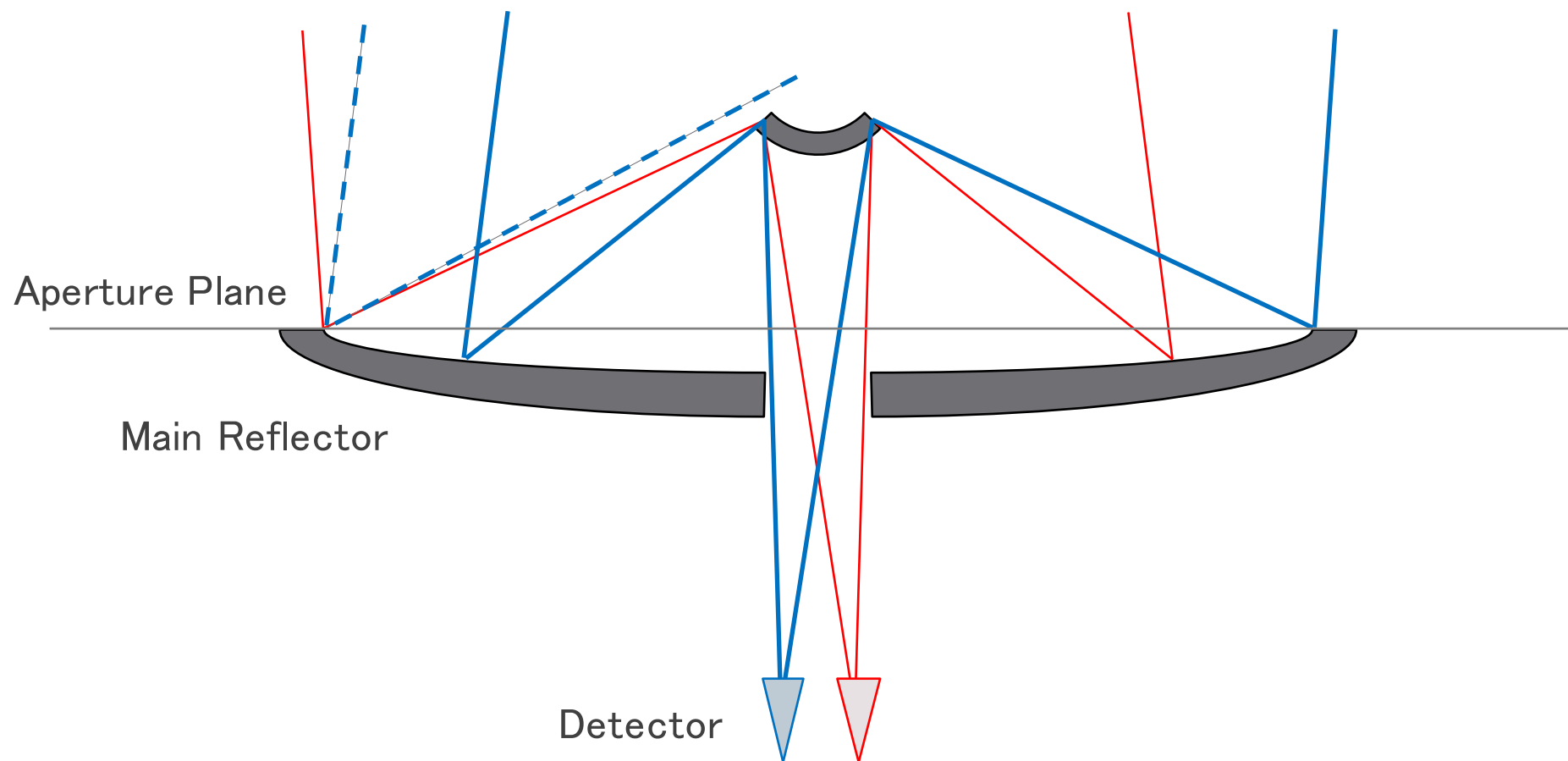
- $\eta_{coup}$  : ビーム結合能率
- $\eta_{sp,en}$  : 入射瞳スピルオーバー
- $\eta_{opt}$  : 光学系損失
- $\eta_{sp,ex}$  : 射出瞳スピルオーバー
- $\eta_{rx,2}$  : 給電部損失

# 入射瞳スピルオーバーの解釈

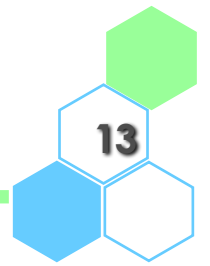


例

- 副鏡がビーム規定する多ビーム・カセグレン光学系



# まとめ



- 空中線のビーム結合を電力により定式化した。
  - 等価な伝送線路の構成
  - ビーム結合能率の定義
- 開口を持つ空中線に対して電力ビーム結合を考えることにより開口能率を定式化した。
  - 平面波に限らない一般のビームに対する実効開口の定義
  - 構成要素毎の損失による因子分解
- 従来は明確でなかった**入射瞳スピルオーバー**の存在を示した。

$$\eta_{ap} = \eta_{coup} \eta_{sp,en} \eta_{opt} \eta_{sp,ex} \eta_{rx,2}$$