

# NANTEN2 マルチビーム受信機 開発の現状

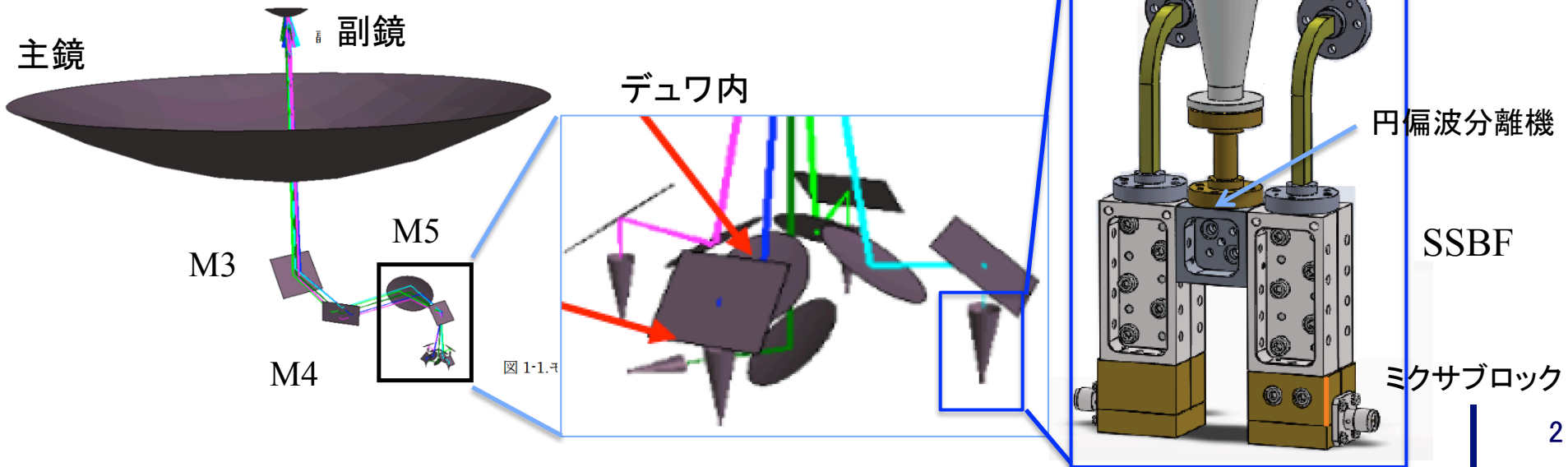
2016/03/08

名古屋大学(理) 大浜 晶生

# マルチビーム受信機の仕様

## ● マルチビーム受信機の仕様

ビーム数	: 115GHz 4ビーム、230GHz 1ビーム
ミラー	: 常温と冷却ミラー
115GHz	: RFフィルターを用いた両偏波SSB
230GHz	: RFフィルターを用いた片偏波2SB、(可能であれば、両偏波2SB)
システム雑音温度	: 200K(115GHzと230GHzともに)(SSB換算)
分光計	: XFFTS(SMARTのもの併用)
速度分解能	: 0.238 km/s(115GHz)、0.128 km/s(230GHz)
周波数帯域	: 2 GHz
輝線輝線	: 12CO、13CO、C18O(J=2-1, 1-0)



# 標高4800mという特殊な環境

我々は、アタカマ高地での10年以上の運用から様々な苦労を経験

- ・ 計算能力や記憶力の低下
- ・ 筋力や視力の低下
- ・ 限られたサイト滞在時間と作業者
- ・ 自家発電による電力の不安定さ

多少、受信機の性能を落としてでも

- ・ 調整機構の少ない
- ・ リモートでチューニングできる

受信機を開発することを目標にした



## 開発目標

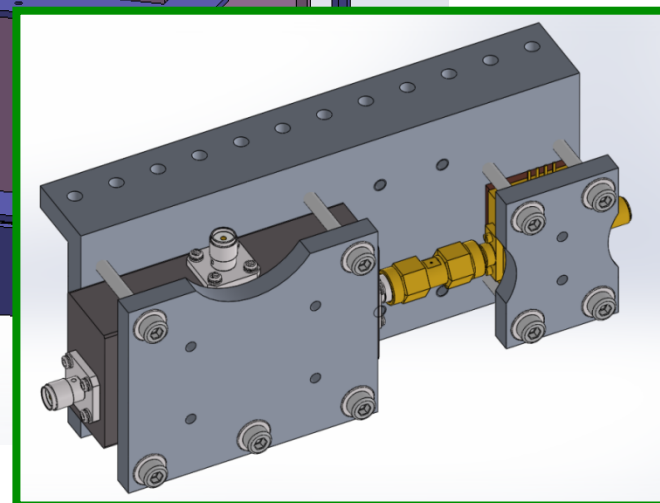
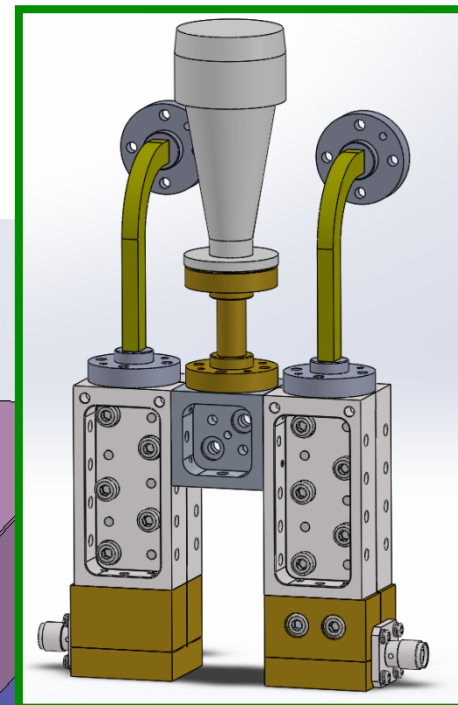
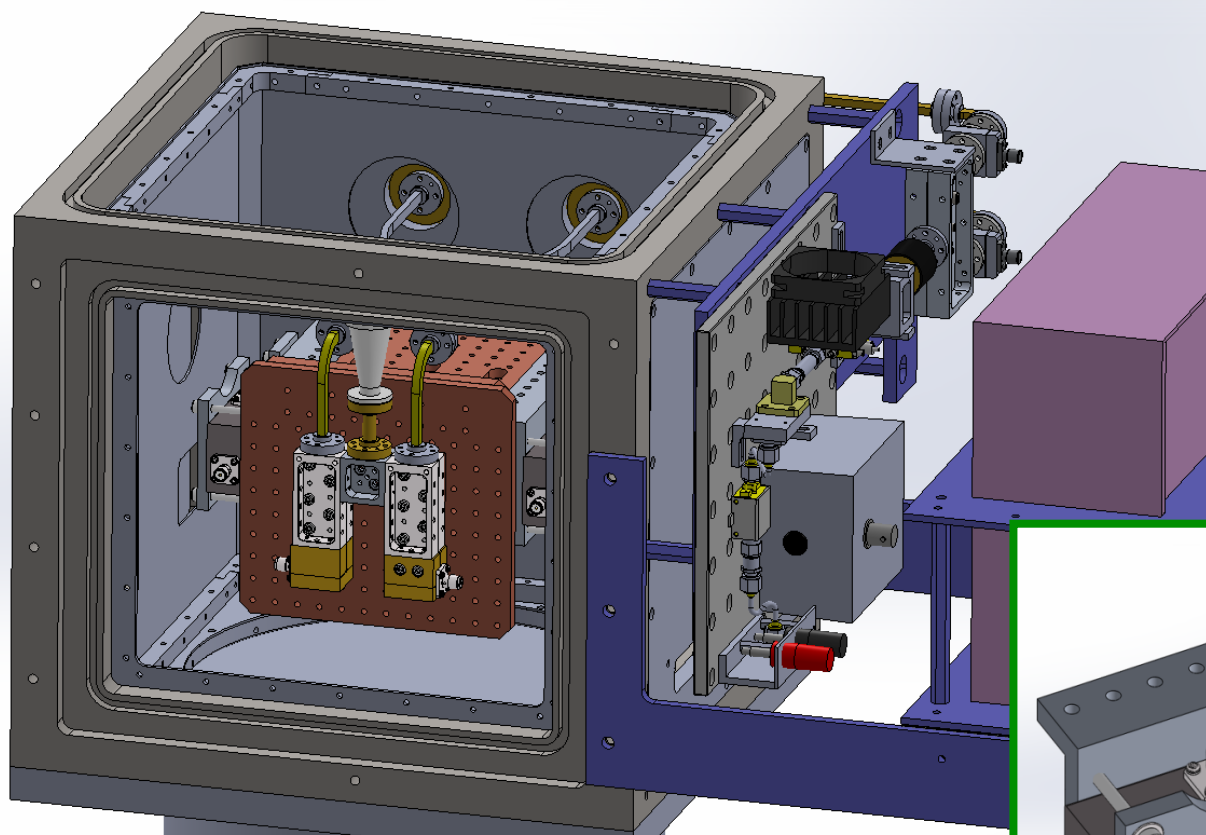
- ・ リモートで受信機をチューニングできるシステムにすること
- ・ 高地で極力調整しない機構にすること
- ・ コンパクトな機器の選定による省スペース化
- ・ ミラーやホルダー、デュワの軽量化

# 115GHz帯マルチビーム受信機の1カートリッジの開発

1. 円偏波分離機的设计と評価
2. SSBフィルターの評価
3. SIS素子評価

# 試作機の配置設計

## 試作機の3D CAD図

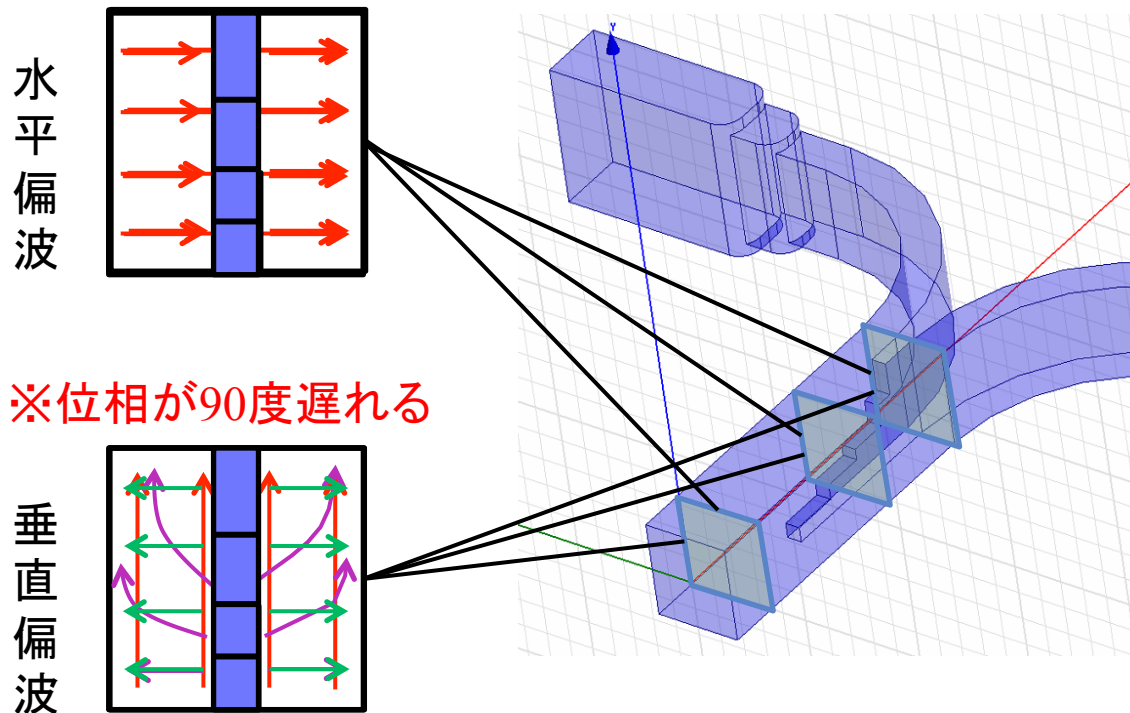


受信器とIF系のユニット化  
→ 取り付け、取り外しが容易に

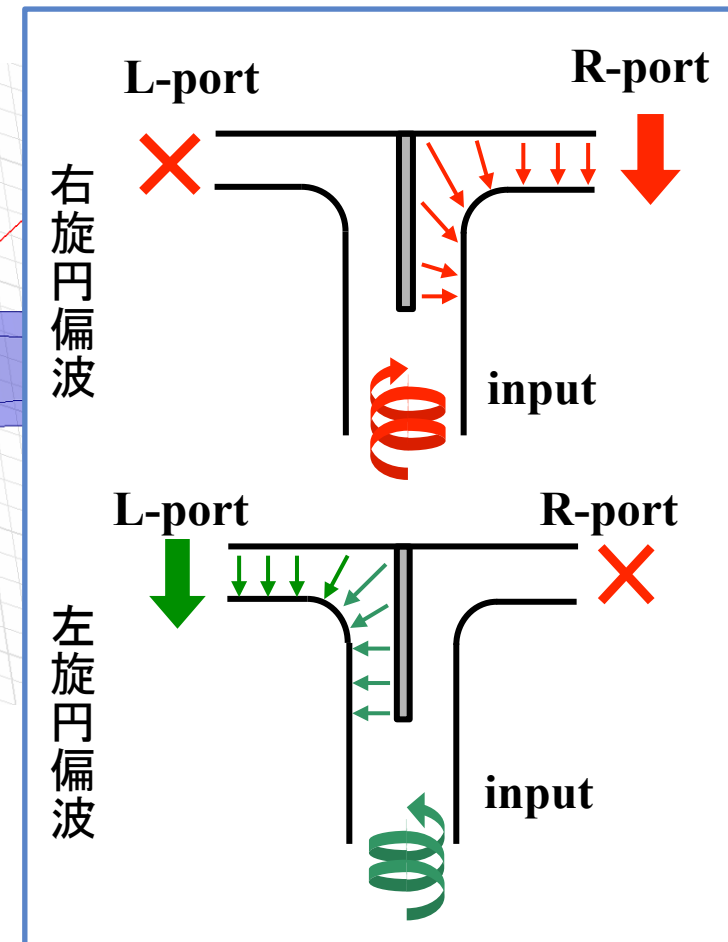
# 115GHz帯 導波管型円偏波分離器

## 円偏波分離器の原理

導波管中央にある階段状の障壁(セプタム構造)で  
垂直偏波の伝送方向を変更し、位相を遅らせる

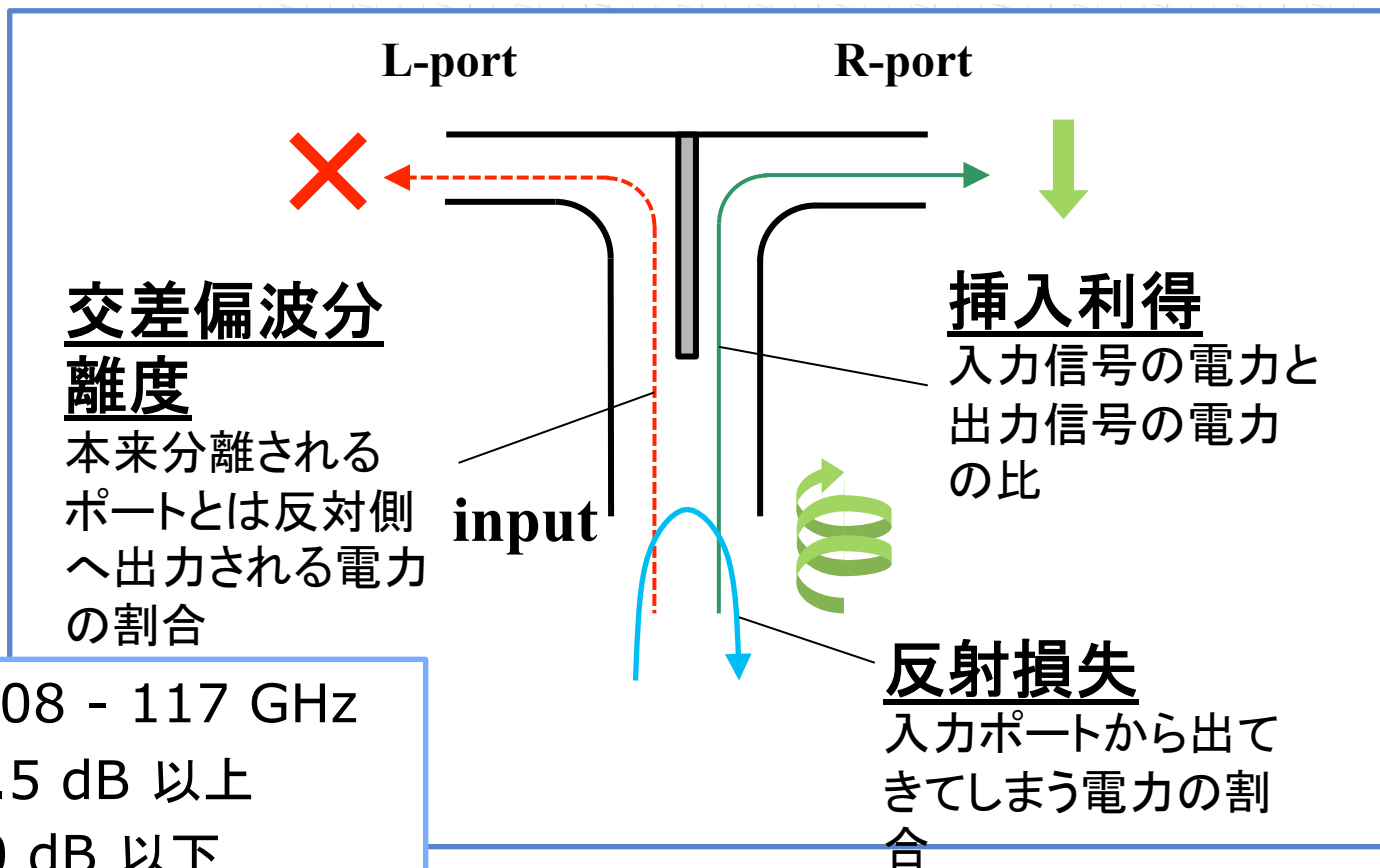


各円偏波を出力ポートで分離できる



# 円偏波分離器の開発

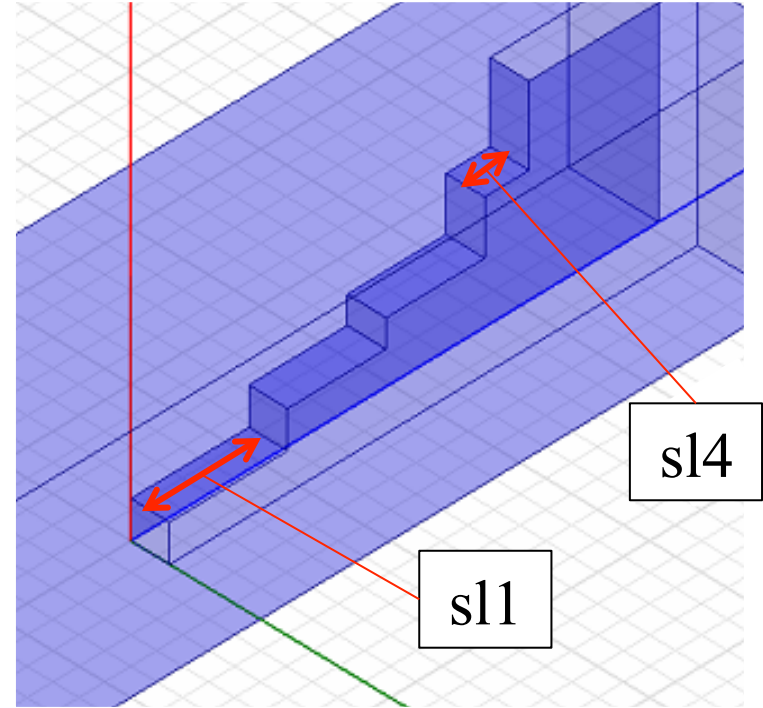
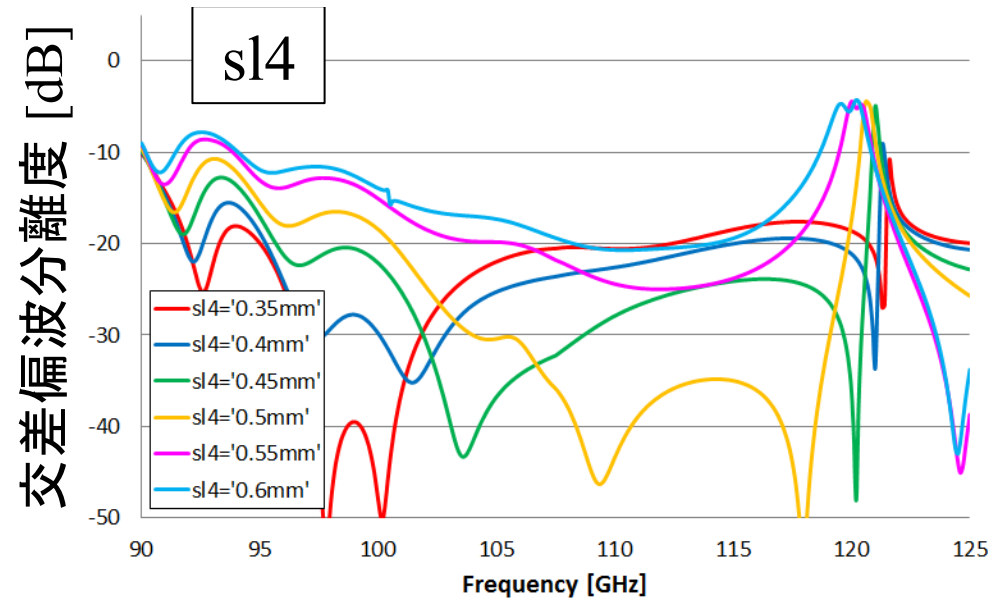
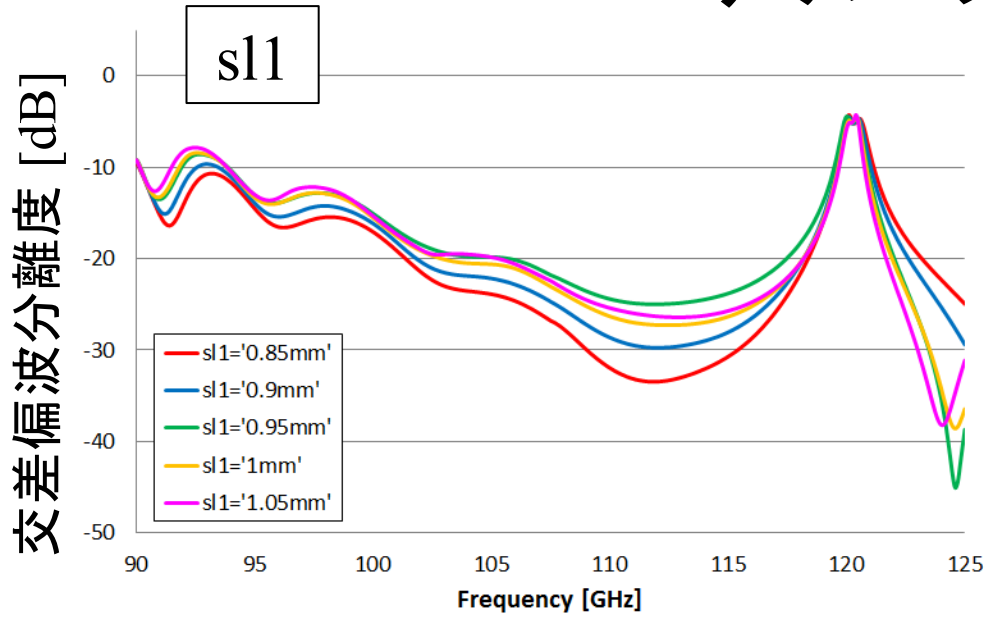
- Ansoft社の3次元電磁解析シミュレータ「HFSS」を使用
- 各パラメータを振り、要求精度に対して最適なモデルを作成



## 要求精度

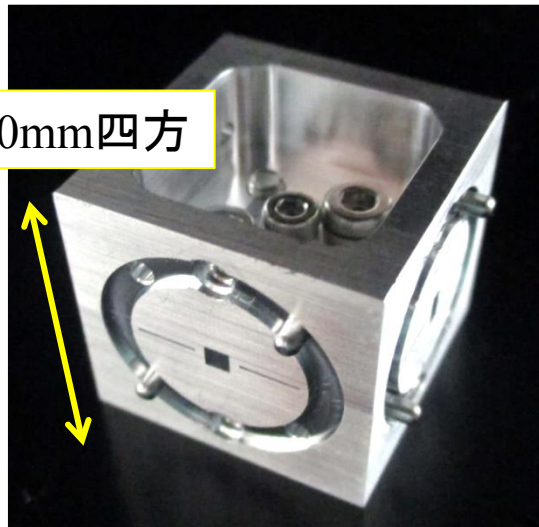
- 周波数帯域: 108 - 117 GHz
- 挿入利得: - 0.5 dB 以上
- 反射損失: -20 dB 以下
- 交差偏波分離度: -20 dB 以下

# モデルの解析

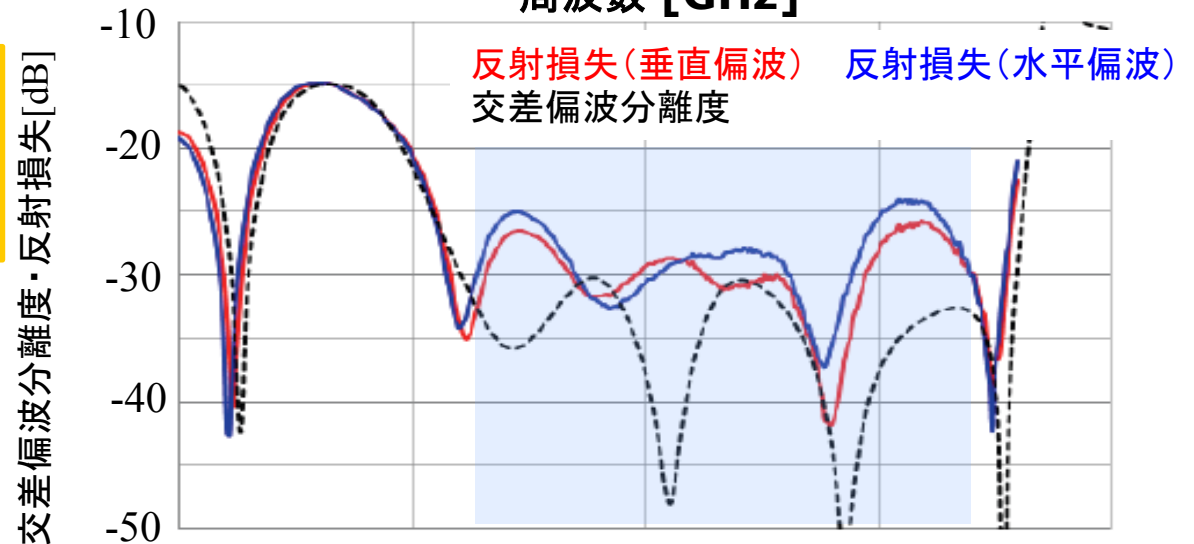
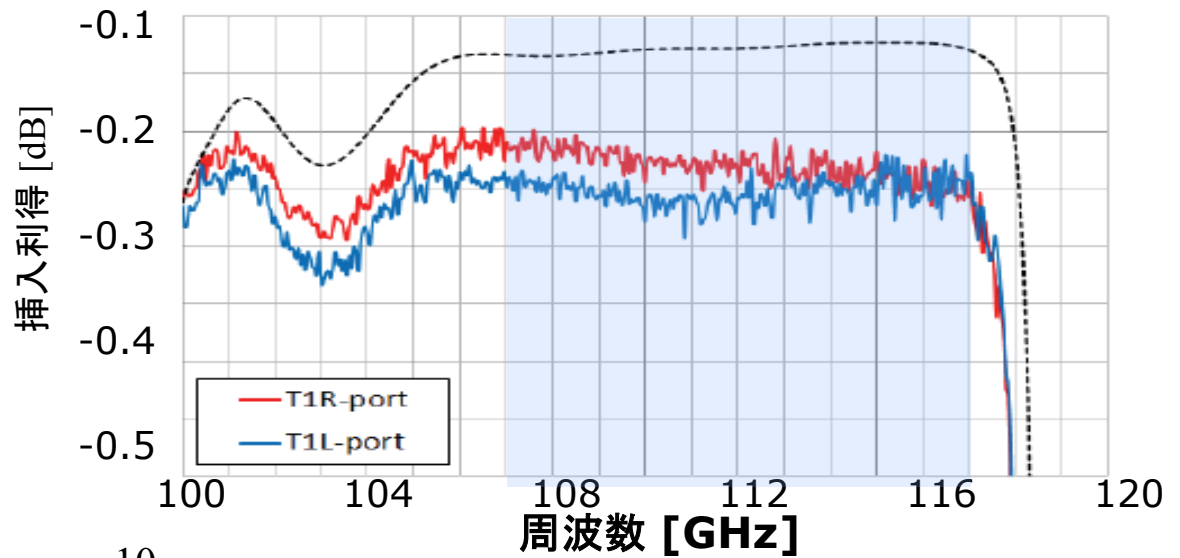




# ミリ波アナライザ評価(常温測定)



交差偏波分離度・反射損失  
要求精度 (< -20 dB)  
を満たす



常温において円偏波分離器の仕様を満たす

# SSBフィルターの設計（府大長谷川方式）

## 1. SSBフィルタの原理

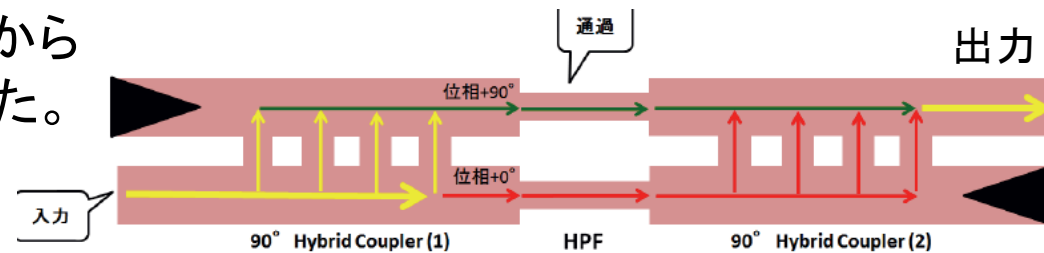
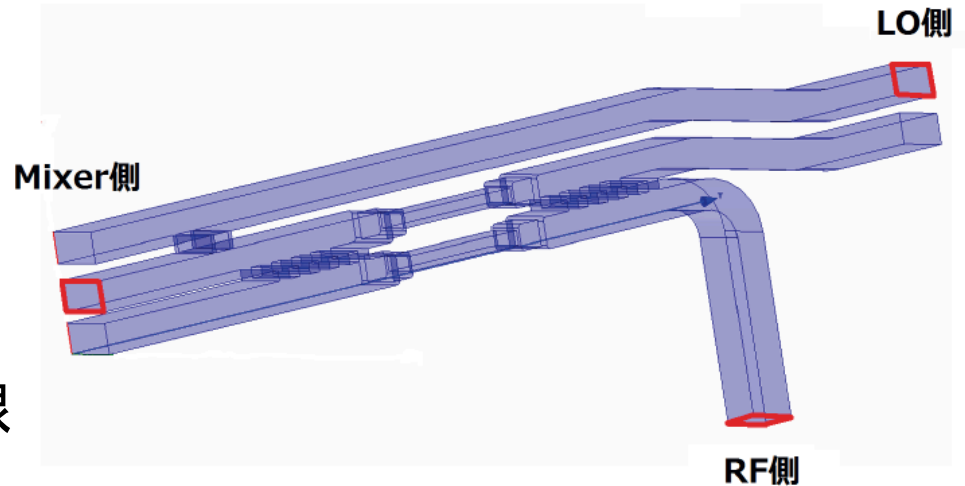
90度ハイブリットカップラとハイパスフィルタHPFを組み合わせ、特定の周波数のみを通過させる。

2.  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}$ 輝線  
NASCO計画では、CO輝線を観測することに特化しており、周波数106GHzから116GHzまで使用できるように設計した。

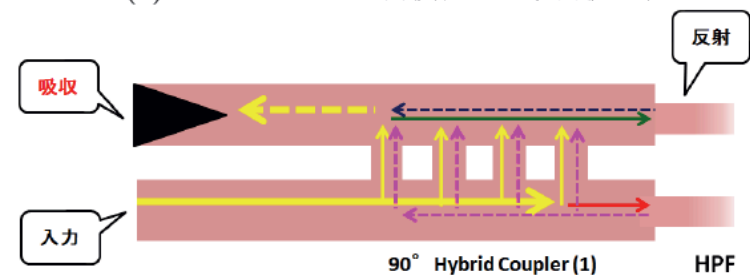
## 3. VNAを用いたSSBFの評価

挿入損失：-0.5dB以上

反射損失：-20dB以下



(a) HPF のカットオフ周波数よりも高周波信号



(b) HPF のカットオフ周波数よりも低周波信号

# SSBフィルターの評価（府大長谷川方式）

## 1. SSBフィルタの原理

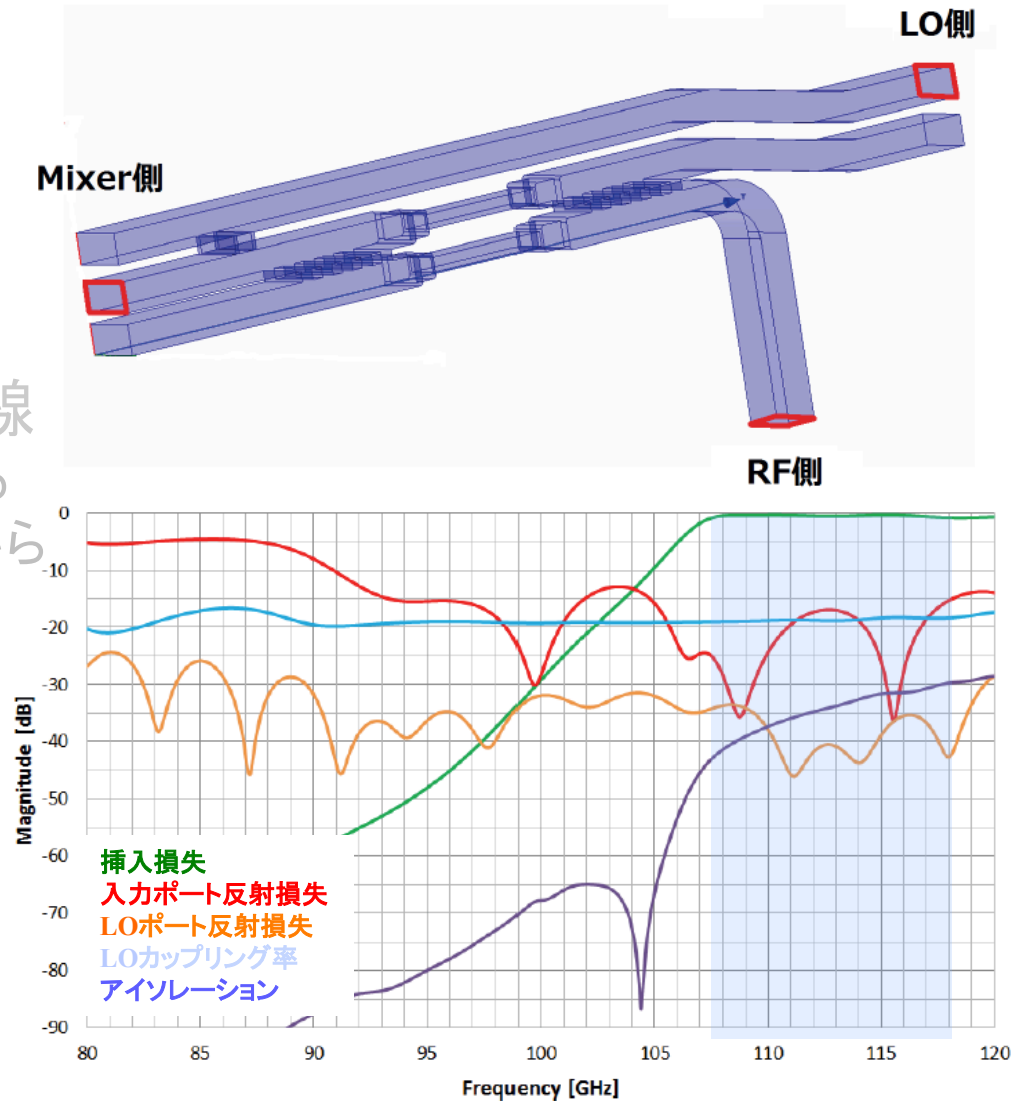
90度ハイブリットカップラとハイパスフィルタHPFを組み合わせ、特定の周波数のみを通過させる。

2.  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}$ 輝線  
NASCO計画では、CO輝線を観測することに特化しており、周波数106GHzから116GHzまで使用できるように設計した。

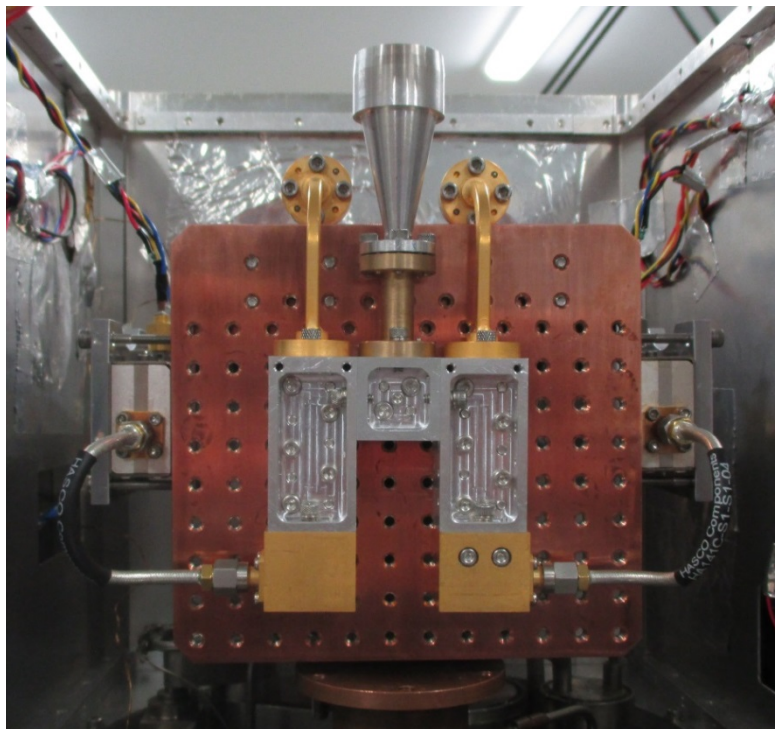
## 3. VNAを用いたSSBFの評価

挿入損失：-0.5dB以上

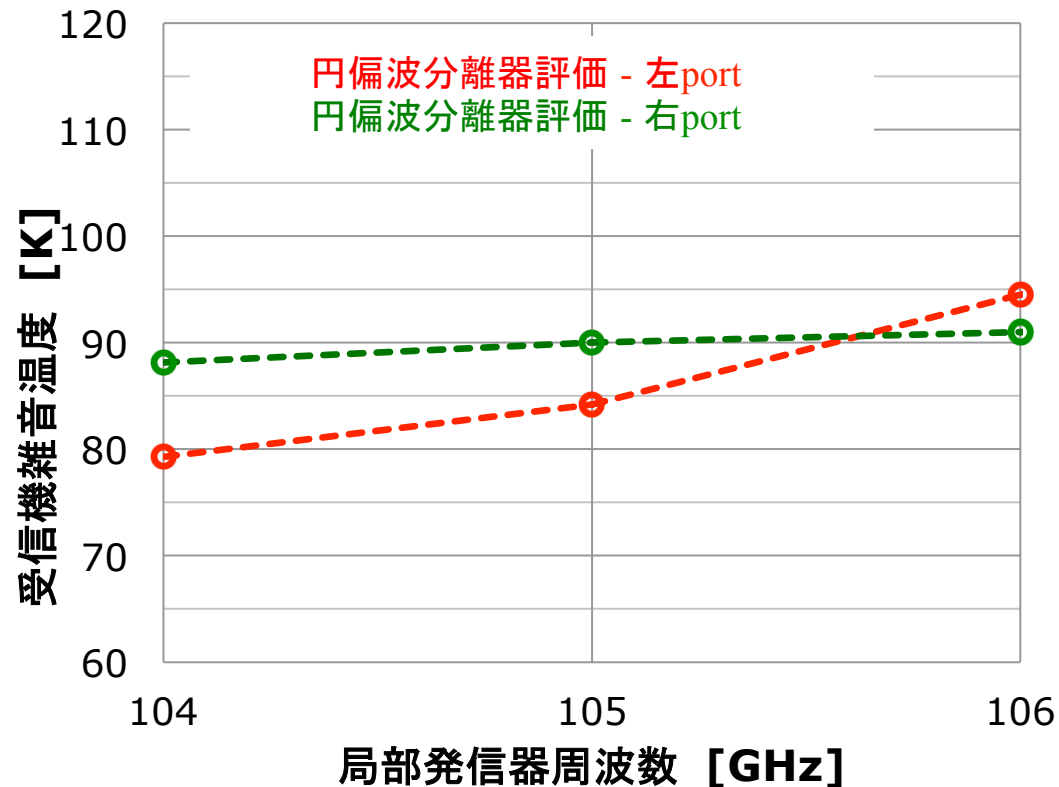
反射損失：-20dB以下



# 試作機の冷却試験



実験室での試作機搭載の様子



試験機の雑音温度測定結果

測定結果を再現(80 - 90 K)  
試作機の冷却試験に成功した

# 115GHz帯マルチビーム受信機の光学系設計

1. GRASPによるモデル解析
2. ミラー設計

# マルチビーム受信機の光学系

## 1. コンセプト

光軸に230GHzのビームを置き、  
その周辺に4つの115GHzのビームを配置した

## 2. 冷却ミラーの採用

各ビーム間の距離を狭くするため、  
冷却ミラーを用いた。

## 3. 各ボームの開口能率

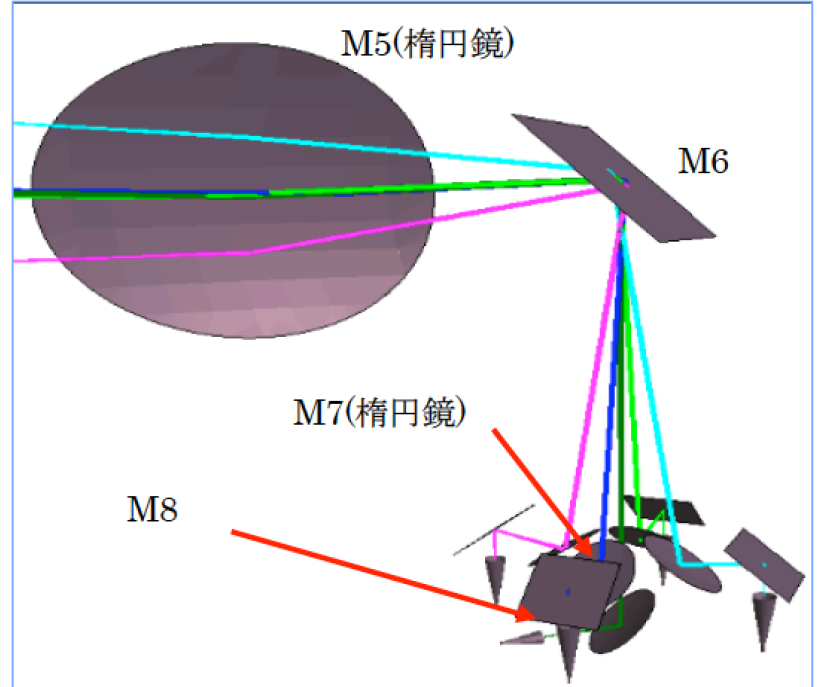
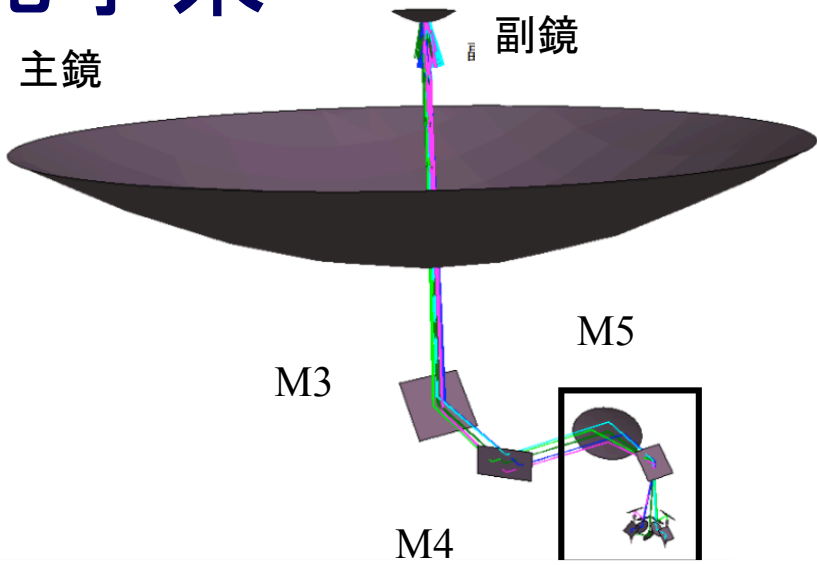
230GHz : 0.72

115GHz : 0.69

ビームパターンは右の図の通り

## 4. デュワを回したときのビーム指向特性

デュワを90度回したとき、各ビームは円周上にほぼのっており、開口能率は0.69から0.65まで下がる程度である



# マルチビーム受信機の光学系 評価

## 1. コンセプト

光軸に230GHzのビームを置き、  
その周辺に4つの115GHzのビームを配置した

## 2. 冷却ミラーの採用

各ビーム間の距離を狭くするため、  
冷却ミラーを用いた。

## 3. 各ボームの開口能率

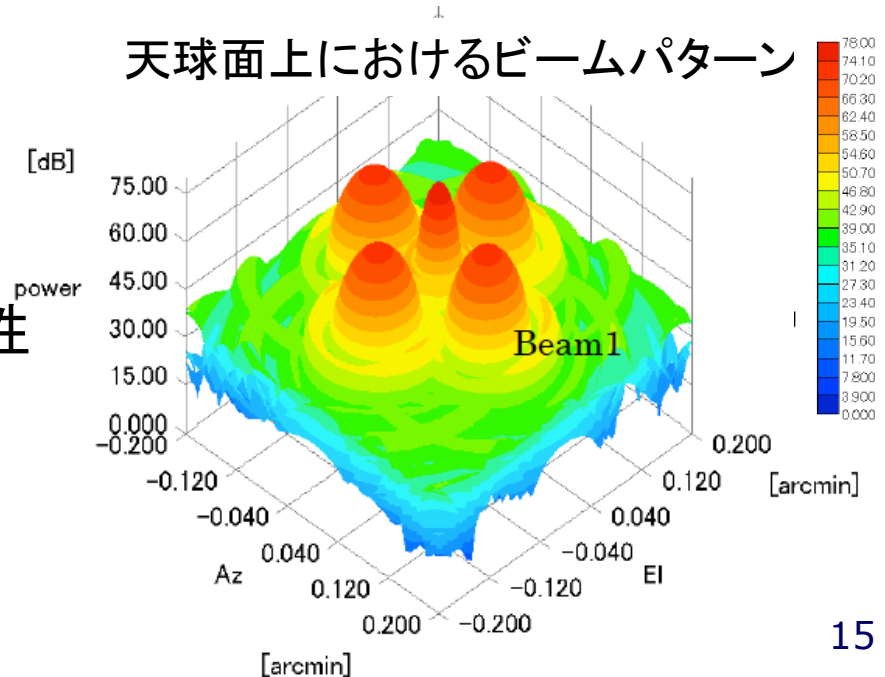
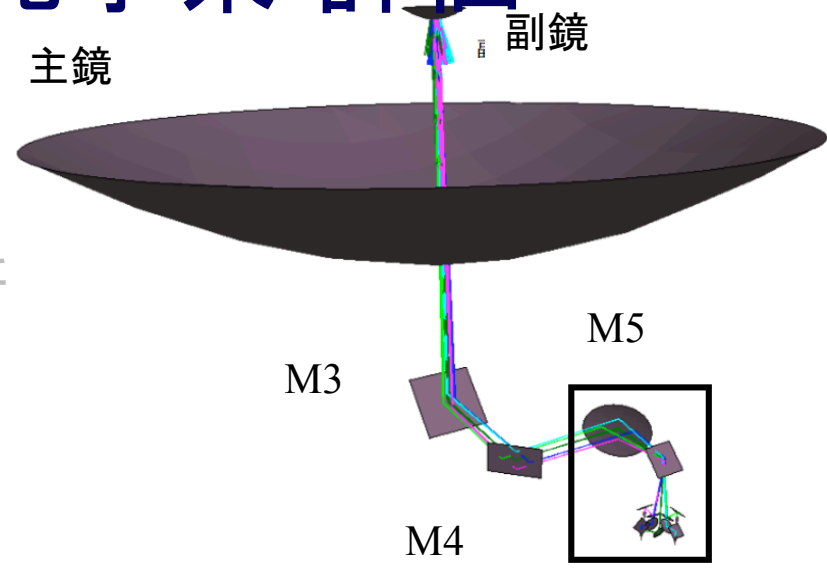
230GHz : 0.72

115GHz : 0.69

ビームパターンは右の図の通り

## 4. デュワを回したときのビーム指向特性

デュワを90度回したとき、各ビームは円周  
上にほぼのっており、開口能率は  
0.69から0.65まで下がる程度である



# 冷却ミラーの設計と 各コンポーネントの配置

## 1. 冷却ミラーの利点

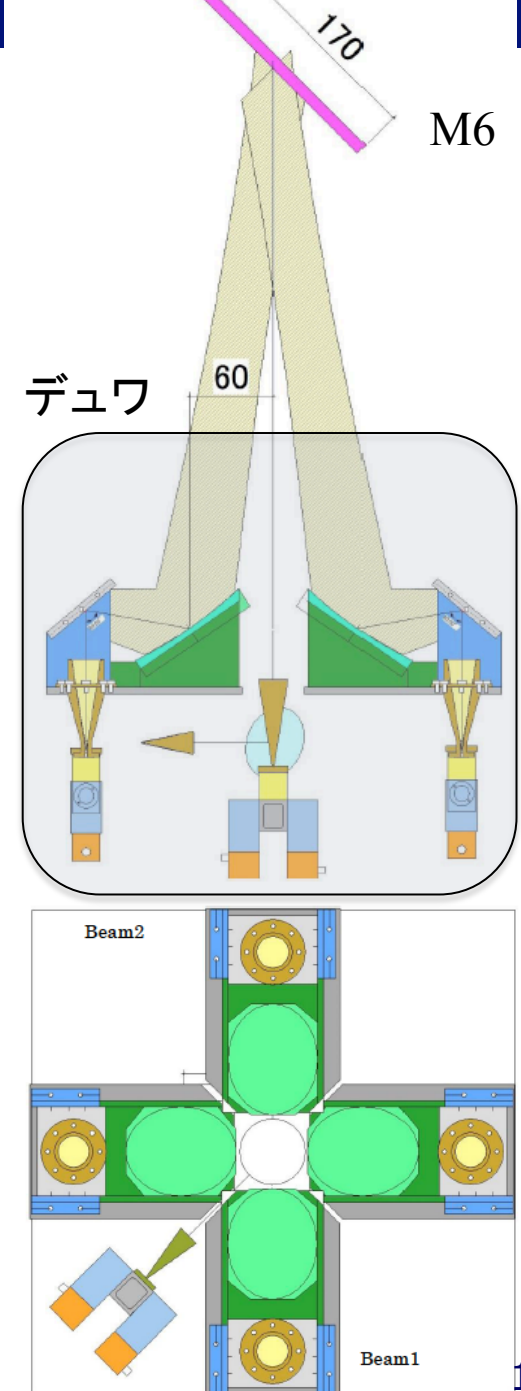
鏡面からビームが漏れても、システム雑音温度の上昇が抑えられ、ミラーを小型化することができるため、ミラーを4Kに冷やす

## 2. 冷却ミラーの設計

M7を楕円鏡にすることで電波窓を小さくする。これは、熱流入をおさえるためである。また、デュワ内の調整を容易にするため、M8を平面鏡にした

## 3. 各コンポーネントの配置

ホーンのアライメントを容易にするため、ノックピンとネジで冷却ミラーとホーンを固定する構造にする。ホーンからHEMTまで一体化のユニットにする。230GHzのコンポーネントが光軸の中心に置き、冷却ミラーとホーン等の2段ステージにする





# 今後のマルチビーム受信機開発

2016/04~

## 光学系

- ・ミラー設計と製作(加藤、稲葉)
- ・冷却ミラーの設計

## 受信機

- ・デュワの設計と製作(名大技術職員)
- ・**ホーンからHEMTまでのユニット化**
- ・リモート制御(漆原)
  - ※ **HEMTバイアスボックスの製作**
  - ※ SISバイアスボックスの製作
  - ※ LO ATTの制御
- ・SIS素子の評価(栗田、新四年生)

## IF系

- ・IF系の製作(横山、栗田、新四年生)

## 分光計

- ・分光計XFFTSの制御(漆原、NRO西村)

2017/09~

## チリの現地作業

- ・NANTEN2に受信機を搭載
- ・ビームのアライメント
- ・ビームの位置出し
- ・高地での冷却と真空引きのテスト
- ・SIS素子のリモートチューニング
- ・IF系の搭載
- ・XFFTSの制御
- ・各値のモニター
- ・ファーストライト

~2018/03

# まとめ

- ・115GHz帯マルチビーム受信機の1カートリッジの開発
  - 円偏波分離機的设计と評価
  - SSBフィルターの評価
  - SIS素子評価
- ・115GHz帯マルチビーム受信機の光学系設計
  - GRASPによるモデル解析
  - 各ミラーの設計
  - 望遠鏡の仰角EIIに対する光学系の評価
  - デュワを回したときのビーム指向特性
  - デュワ内の配置
- ・今後のマルチビーム受信機の開発
  - デュワの設計
  - ミラーの製作
  - ホーンからHEMTのユニット化
  - 各機器のリモート制御化
  - IF系の製作
  - XFFTSの制御