

ミリ波領域における Hidden Photon WISP Dark Matter 探索

桶作愛嬉, 山崎高幸^A, Stefan Knirck^B

稲田聡明^A, 浅井祥仁, 出原敏孝^C

東大理, 東大素セ^A,

ITP, Heidelberg University^B, 福井大遠赤セ^C

Hidden Photon Dark Matter(HPDM)

- Hidden Photon:標準模型を超えた物理で予言されるextra U(1) gauge boson

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - J^\mu A_\mu$$

標準模型

拡張項

**ミリ波領域の技術を用いて,
 $m_{\gamma'} \sim \text{meV}$ のHPDMを探索!**

場の強さ

HP質量

HP場

Kinetic mixing

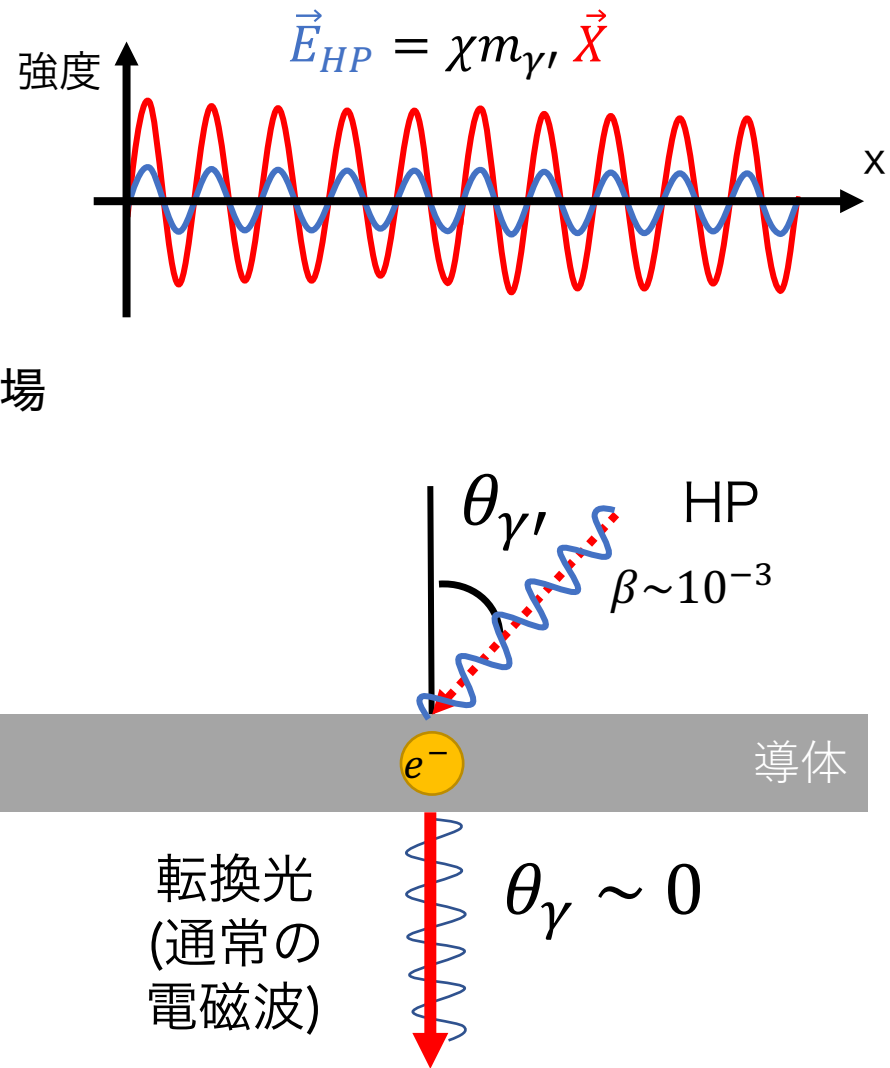
普通の電磁場と混ざり合う

χ : mixing parameter

**misalignment機構によって,
Cold Dark Matter(CDM)になりうる!**

探索手法①

- Dish Antenna Method
(JCAP 04, 016 (2013))
- kinatec mixingにより HP
HPは $\vec{E}_{HP} = \chi m_{\gamma'} \vec{X}$ ← vector場
という普通の電磁場も持つ
- \vec{E}_{HP} が導体中の自由電子を
揺らし、その電子によって、
転換光が放出
- 導体表面での境界条件から
転換光は(ほぼ)垂直方向に
放出
- エネルギー保存より、
転換光のエネルギー=HPの質量



探索手法②

- 転換光をパラボラアンテナを用いて集光し、パワースペクトルを測定
- 集光される変換光のパワー

$$P_{center} \sim \chi^2 A_{dish} \rho_{DM}$$

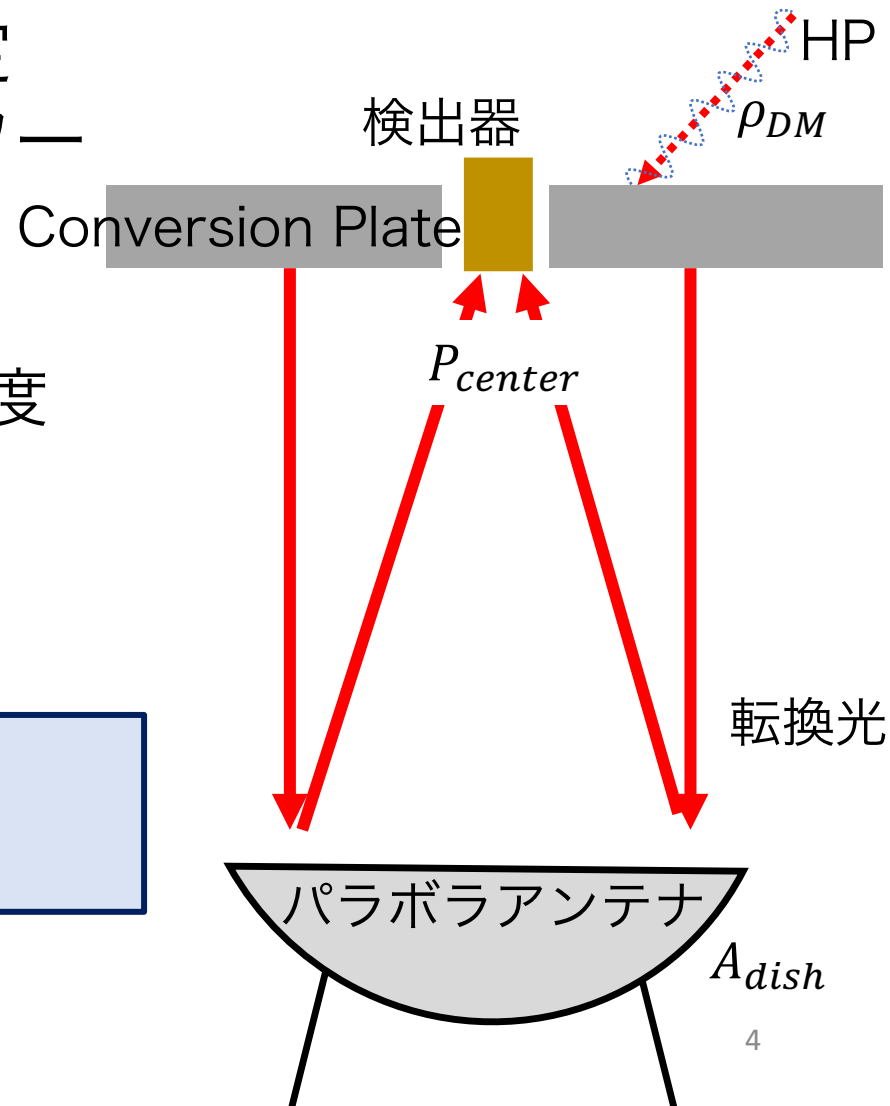
A_{dish} : プレートの有効面積

ρ_{DM} : HPDMエネルギー密度

HPDMによるピーク探し

ピークの周波数 $\rightarrow m_{\gamma'}$

ピークの高さ $\rightarrow \chi$



実験セットアップ①

ショットキーバリア
ダイオードミキサ(SBD)
155~220GHz帯

Conversion Plate
600*600mm四方, Al製

HP

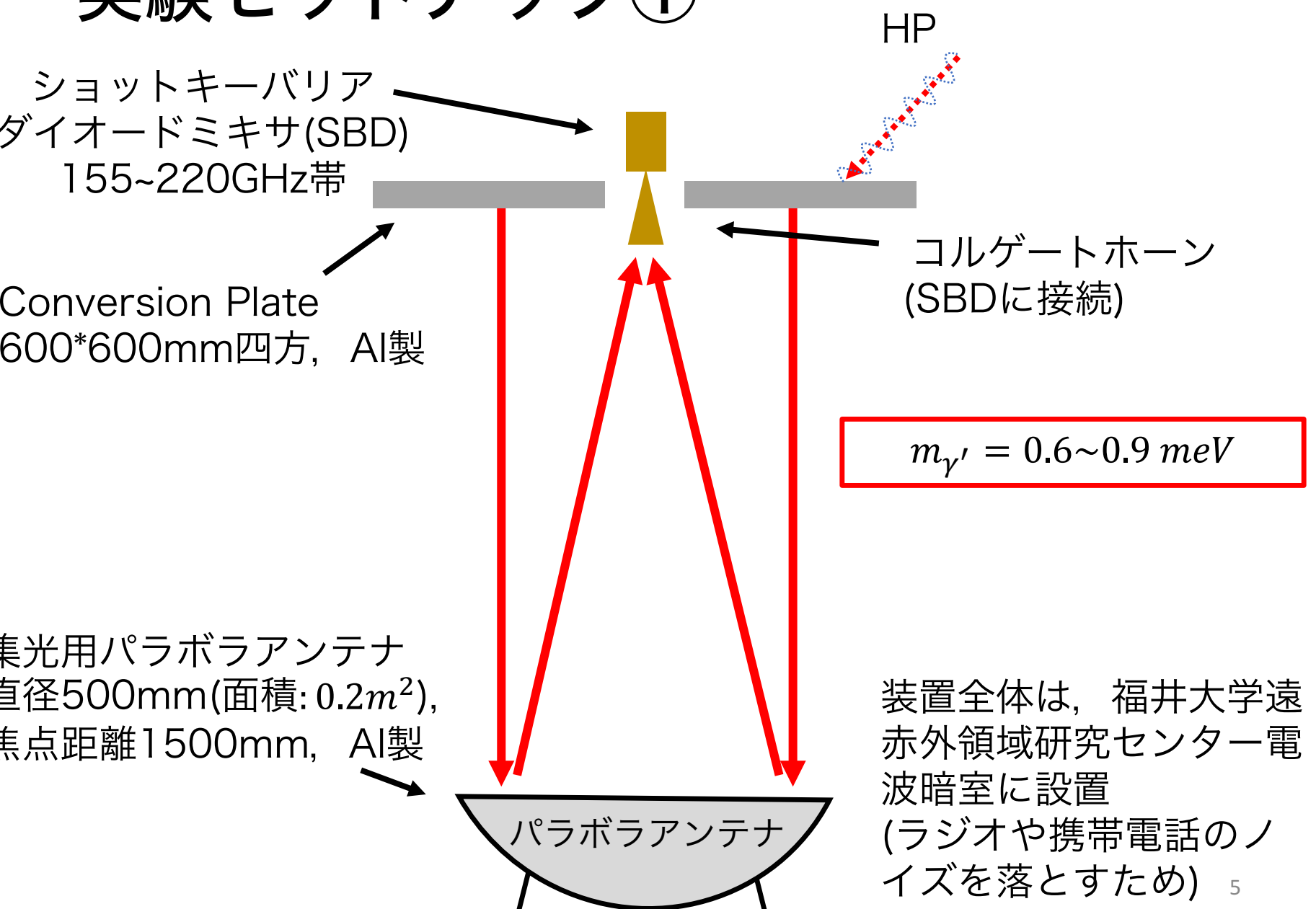
コルゲートホーン
(SBDに接続)

$$m_{\gamma'} = 0.6 \sim 0.9 \text{ meV}$$

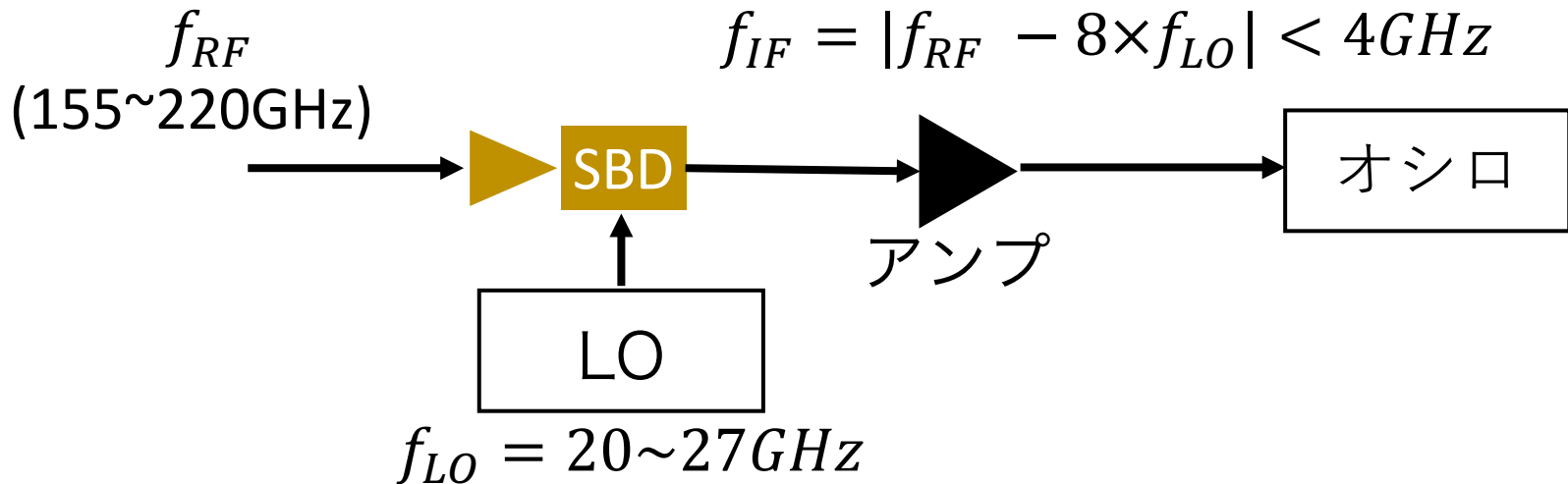
集光用パラボラアンテナ
直径500mm(面積: 0.2m^2),
焦点距離1500mm, Al製

パラボラアンテナ

装置全体は, 福井大学遠
赤外領域研究センター電
波暗室に設置
(ラジオや携帯電話のノ
イズを落とすため) 5



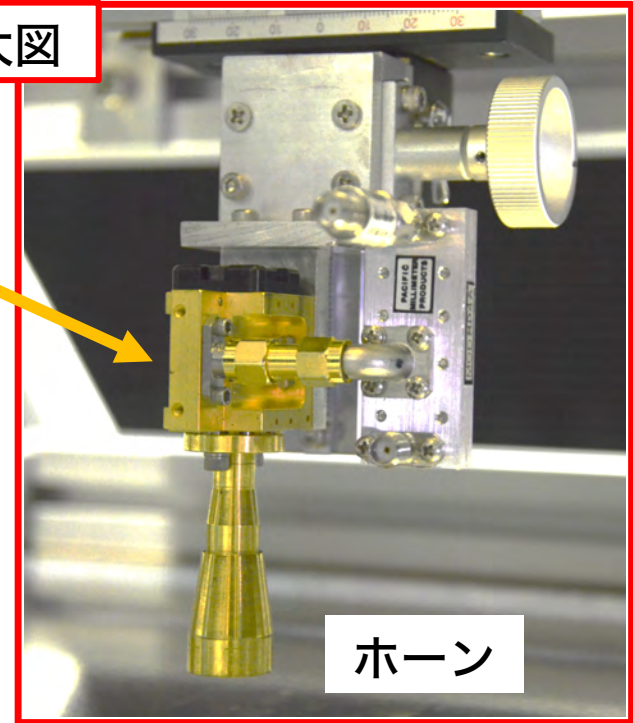
実験セットアップ②



- コルゲートホーン
(集光されたシグナルとのカップリング ~ -2dB)
- SBDで、局所発信器(LO)のシグナル f_{LO} とミリ波 f_{RF} をミキシング、 f_{IF} へダウンコンバート (変換損失: ~ -40dB)
- SBDの出力を増幅(~36dBアンプ2個, total gain: ~ 72dB)
- 増幅後、オシロスコープでFFT(帯域: 0~4GHz)

実験装置@電波暗室

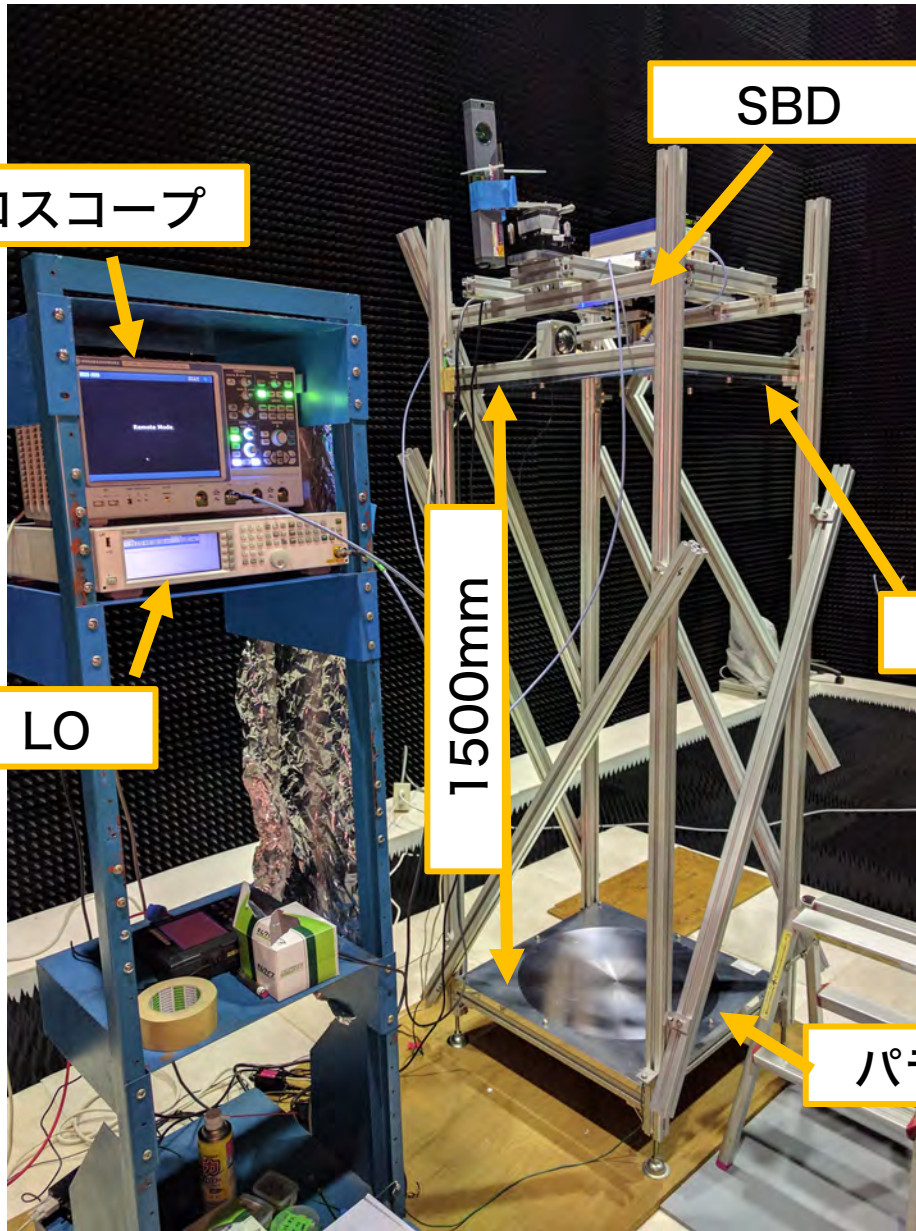
SBD拡大図



ホーン

Al conversion plate

パラボラアンテナ



オシロスコープ

LO

1500mm

SBD

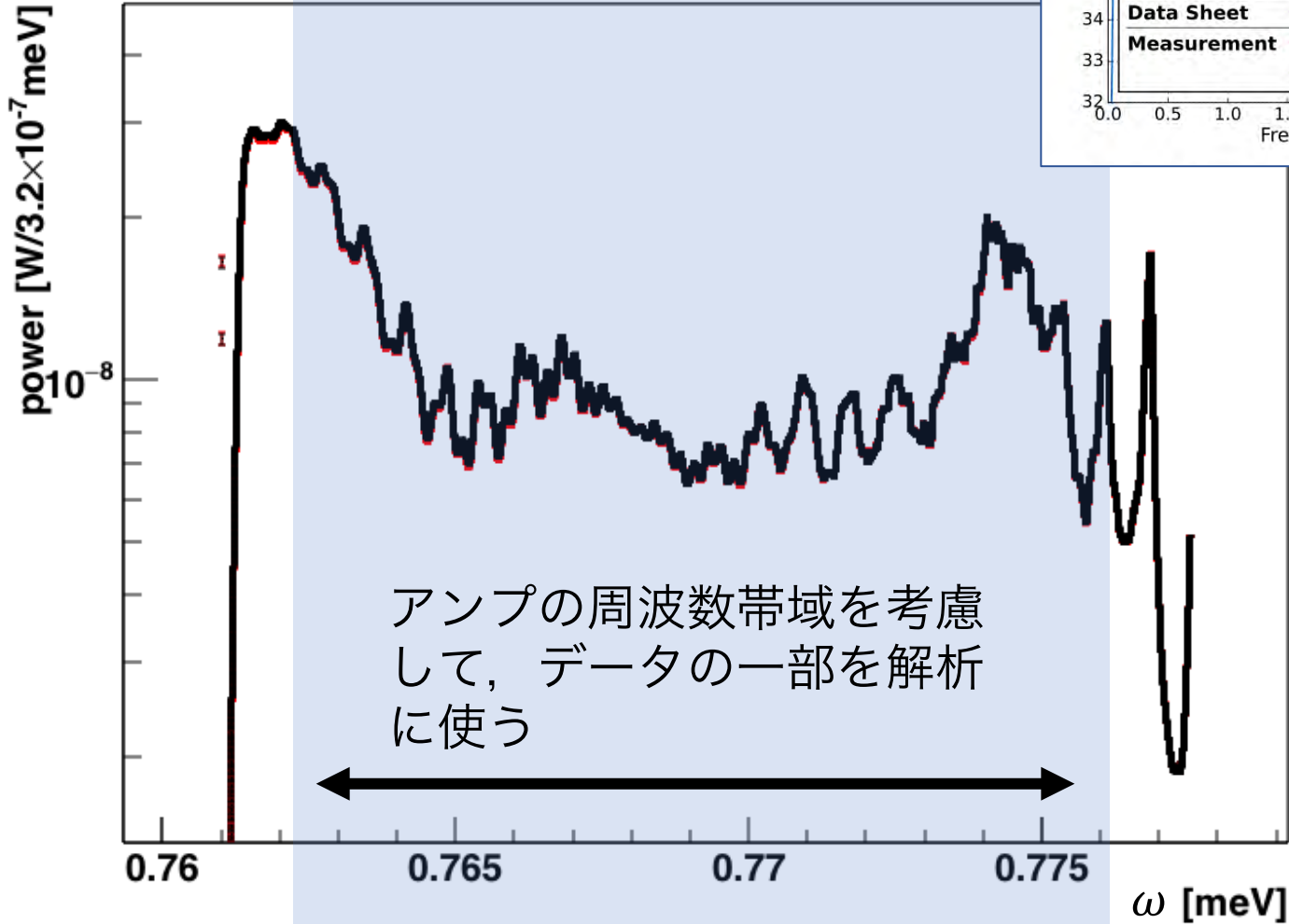
データ取得状況

- 2016年12月末から物理データ取得を開始し、3ヶ月分のデータを取得中
 - LOの周波数を20.00GHz, 20.25GHz, 21.00GHz,...27.25GHzと変更
 - 155~220GHzでの測定
 - SBDの位置を、アンテナの焦点/非焦点に交互に移動させる
 - HPDM signalとBGの測定
- 取得したデータを、現在解析中

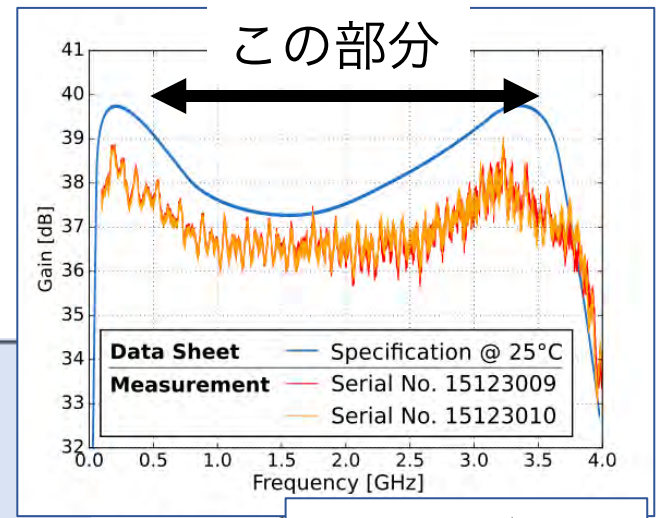
データ例

LO=23GHz \rightarrow f_{RF} =184~188GHz

赤:焦点位置 黒:非焦点位置



アンプの周波数帯域を考慮して、データの一部を解析に使う



アンプゲイン

SBDの熱雑音をアンプで増幅したものがBG

Peak Search

- HPDMによるシグナルは，HPDMの速度分布(Maxwell-Boltzman分布)を反映したものになるため，

$$F(\omega) =$$

$$P_0 \theta(\omega - m_{\gamma'}) \times 2 \sqrt{\frac{\omega - m_{\gamma'}}{\pi}} \omega_0^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{\omega - m_{\gamma'}}{\omega_0}\right) + a\omega^2 + b\omega + y_0$$

P_0 : HPDMのsignalパワー,

θ : 階段関数,

ω_0 : 分散定数 = $m_{\gamma'} \times 4.2 \times 10^{-7}$

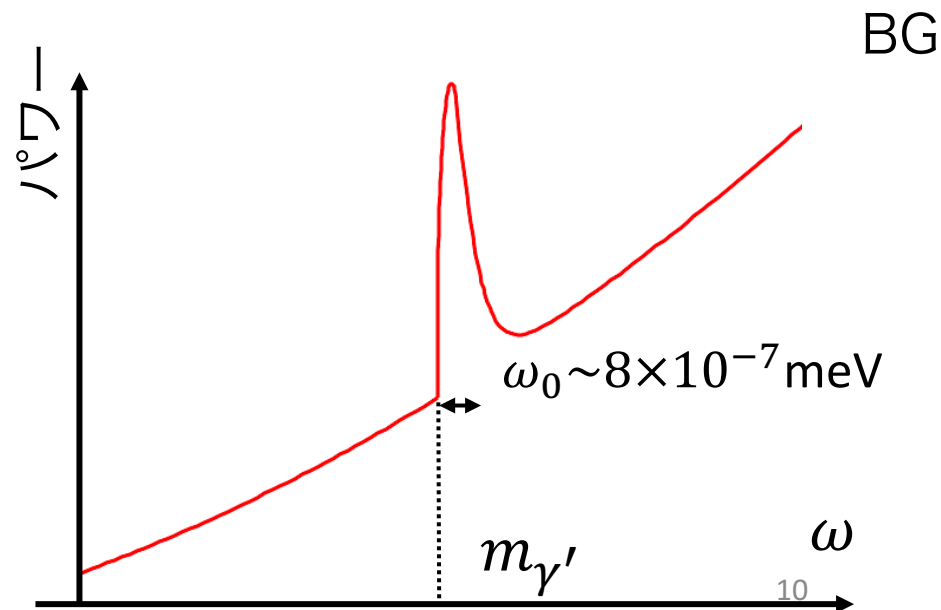
(標準的ハローモデルのHPDM
速度分散から計算)

$m_{\gamma'}$: HPDM質量

を使い，各 $m_{\gamma'}$ に対し

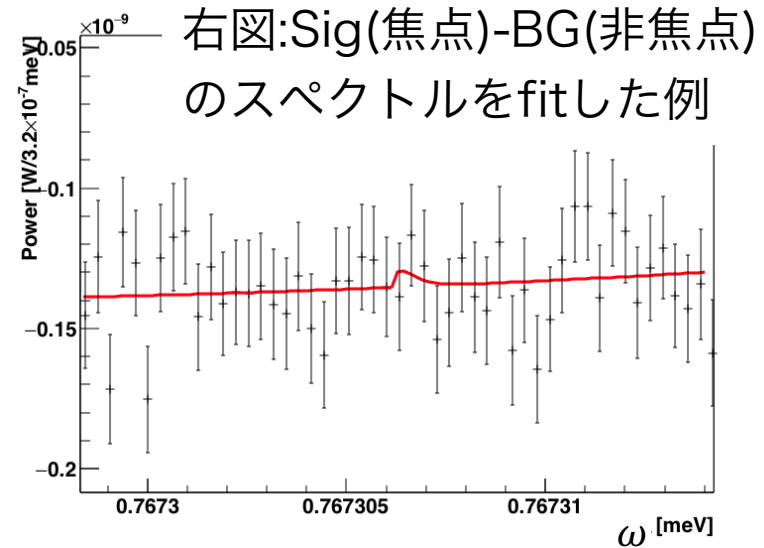
ピークサーチをする

(P_0, a, b, y_0 がフィットパラメタ)



χ への焼き直し

- 得られる P_0 はオシロでの検出パワー。
実際にConversion plateから放出された
転換光のパワー P_{hp} に直す



(SBDの変換損失, アンプgainは実測, カップリングは予想集光ビーム形状から計算)

$$P_{hp} \pm \Delta P_{hp} = \frac{P_0 \pm \Delta P_0}{\text{変換損失} \times \text{gain} \times \text{カップリング}}$$

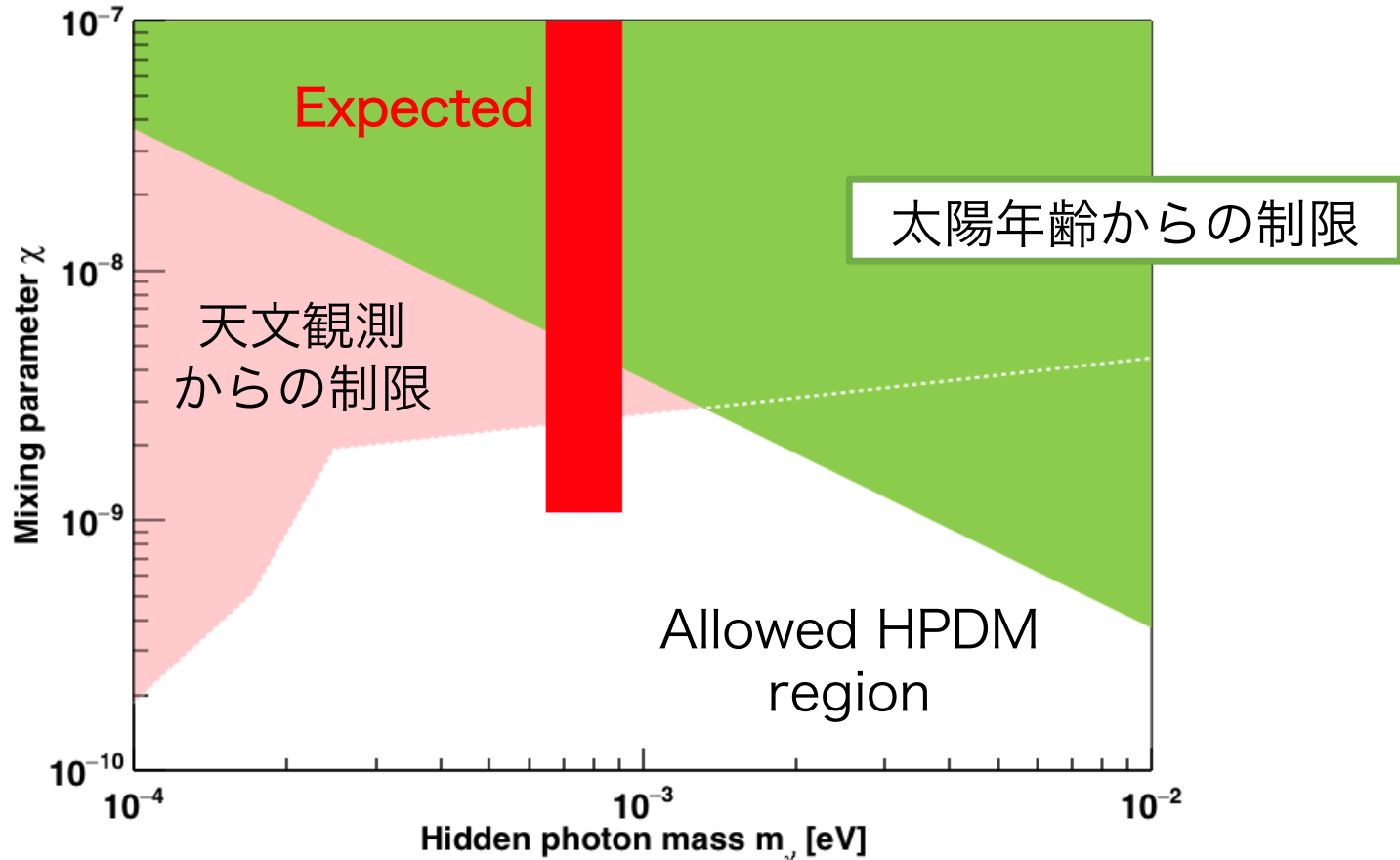
- $P_{hp} \pm \Delta P_{hp}$ より, P_{hp} の上限値(95%C.L.)を計算
- $\chi_{95\%CL} =$

$$4.5 \times 10^{-14} \left(\frac{P_{hp95\%}}{10^{-23} \text{ W}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{A_{\text{dish}}} \times \frac{0.3 \text{ GeV/cm}^3}{\rho_{\text{DM}}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

= 1

到達予想感度

- 2017年4月までデータ取得した時の到達感度を計算(赤)
- 0.6~0.9meVの質量を持つHPDMに対し世界最高感度で探索可能



- SBDの変換損失・熱雑音で制限されている. 超伝導検出器を用いて, 将来的にはさらに高感度な探索を行いたい

まとめ

1. 標準模型を超えた理論で予言されるHidden Photon Dark Matterの探索実験
2. Dish antenna methodを用い、 $m_{\gamma'} = 0.6 \sim 0.9 \text{ meV}$ のHPDMをミリ波の技術を用いて探索
3. 2016/12からデータ取得開始. 2017年4月ごろまで継続することで、 $m_{\gamma'} = 0.6 \sim 0.9 \text{ meV}$ のHPDMに対し世界最高感度で探索可能
4. 将来的には、変換ロスが少なく低ノイズな検出器(SISミキサなど)を用いることで、さらに高感度の探索を行いたい