

第43回天文学に関する技術シンポジウム
2024年1月19日13：00-13:15

金属3D プリンタで製作した 広帯域デジタル水蒸気ラジオメータ用 FSS

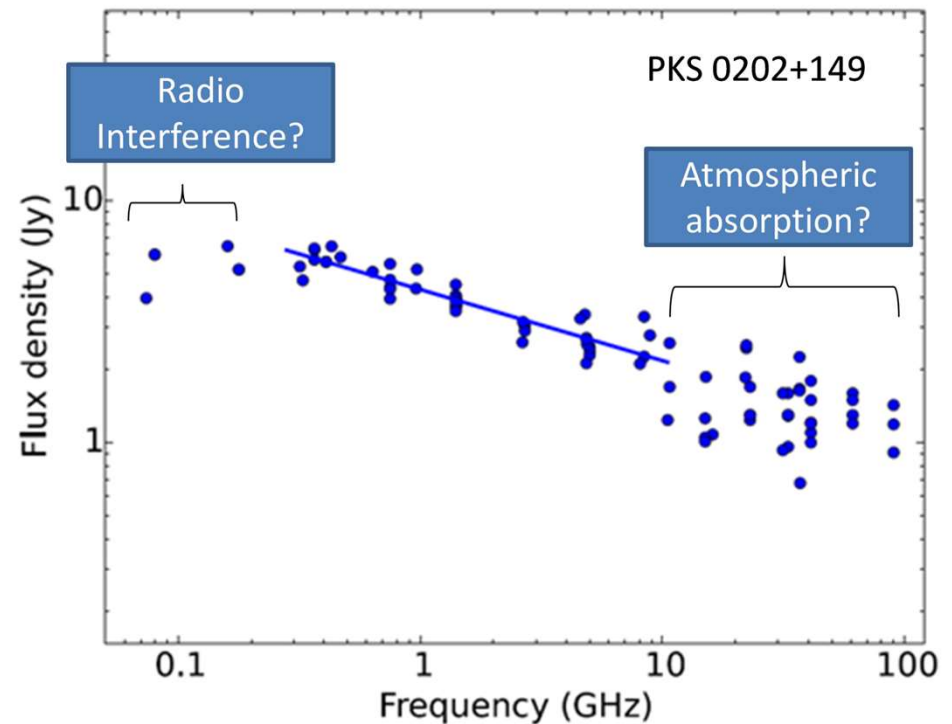
川口則幸（国立天文台名誉教授）

実験・シミュレーション協力：杉谷朱泉（元エレクトクス工業）、
藤井慎人、原田健一（エレクトクス工業）

製作協力：三井健司、神澤富雄、金子慶子（先端技術センター）

研究の背景

- 大気中の水蒸気・雨滴による電波吸収は天体の絶対光度を正しく知るうえで重要（右図）。
 - 低周波側はRFIの影響？
 - 高周波側は水蒸気・水滴による吸収の影響？
 - スペクトルインデックスの計測で低・高周波領域のデータが有効利用されていない。
- VLBIなどの電波干渉計において水蒸気による位相変動は大きな相関損失をもたらす。
 - 相関強度の低下
 - 星位置の変動
- 電波望遠鏡の感度校正にとって重要

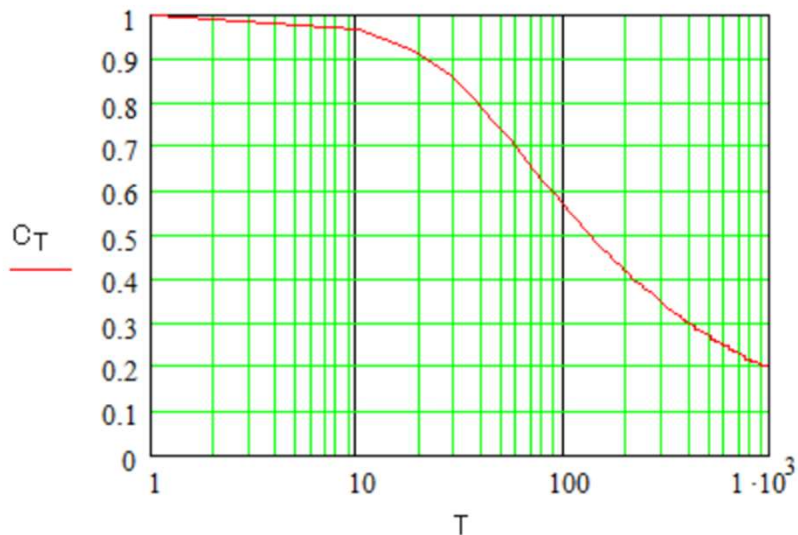


<https://arxiv.org/pdf/1605.08488v2.pdf>

大気の揺らぎによる影響

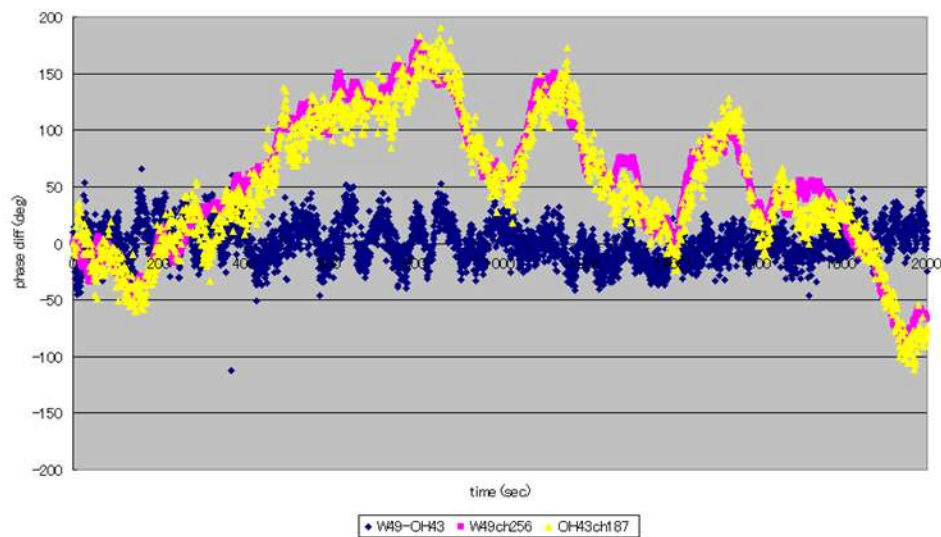
相関損失

Flicker 2×10^{-13}
Flicker to White transition 80sec
Frequency 43GHz



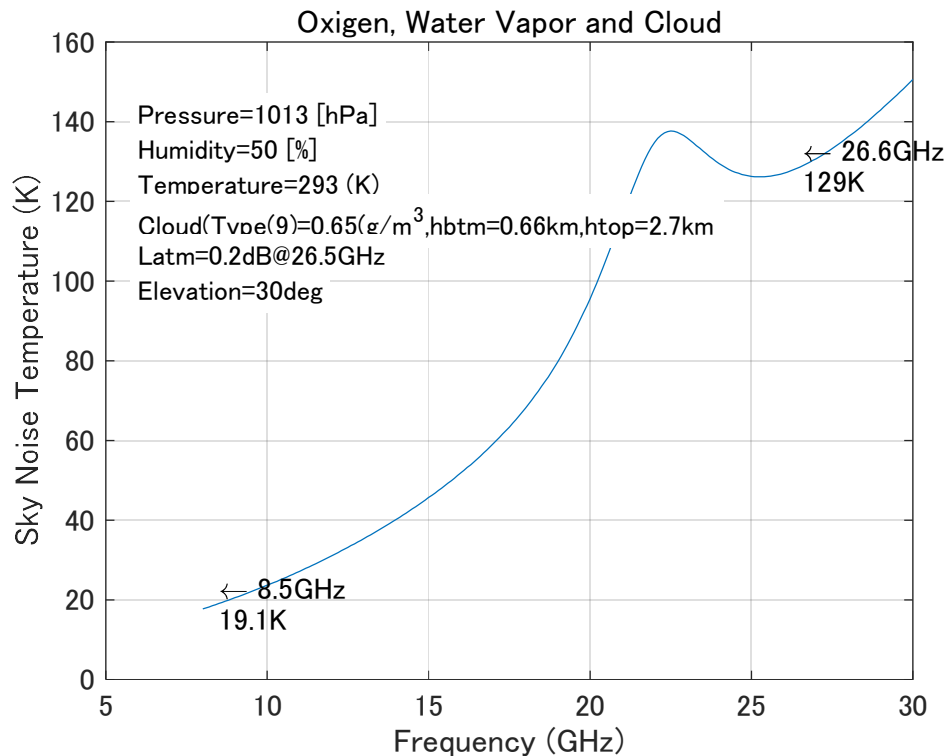
コヒーレンス係数が0.5まで積分可能

星位置変動とVERA2ビーム



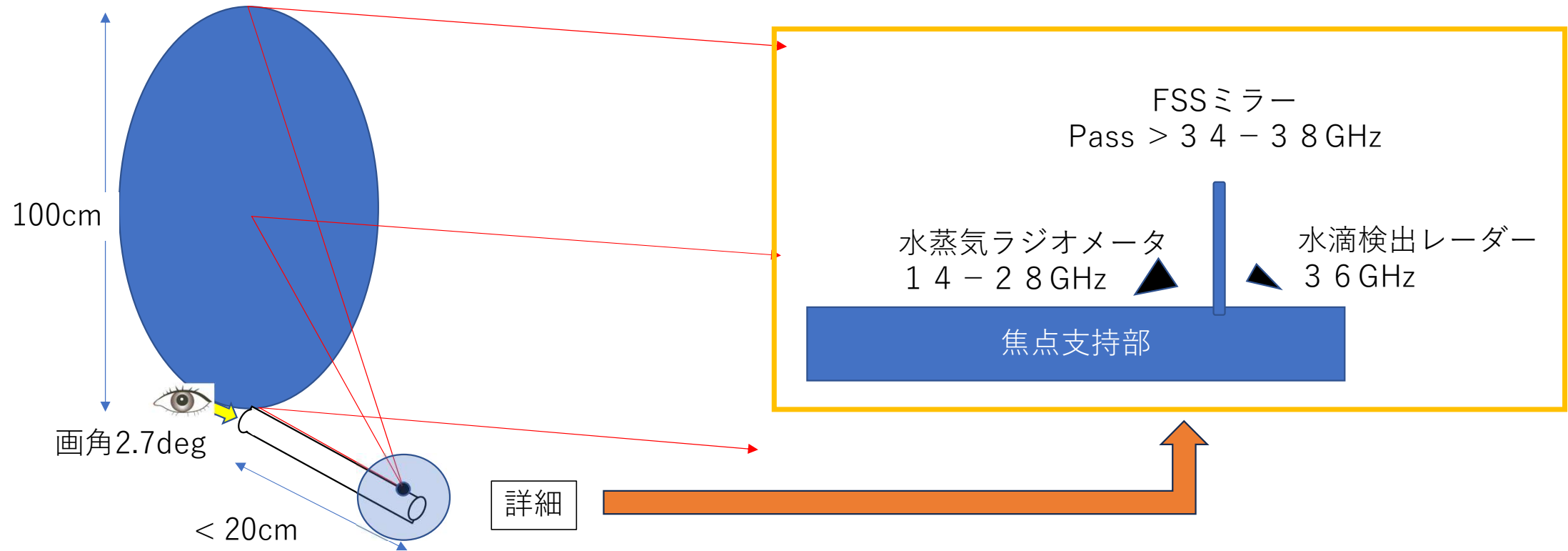
黄色：W49の遅延変動（位置変動）
桃色：OH443の遅延変動（位置変動）
青色：W49-OH443の相対変動

深宇宙探査望遠鏡の感度校正

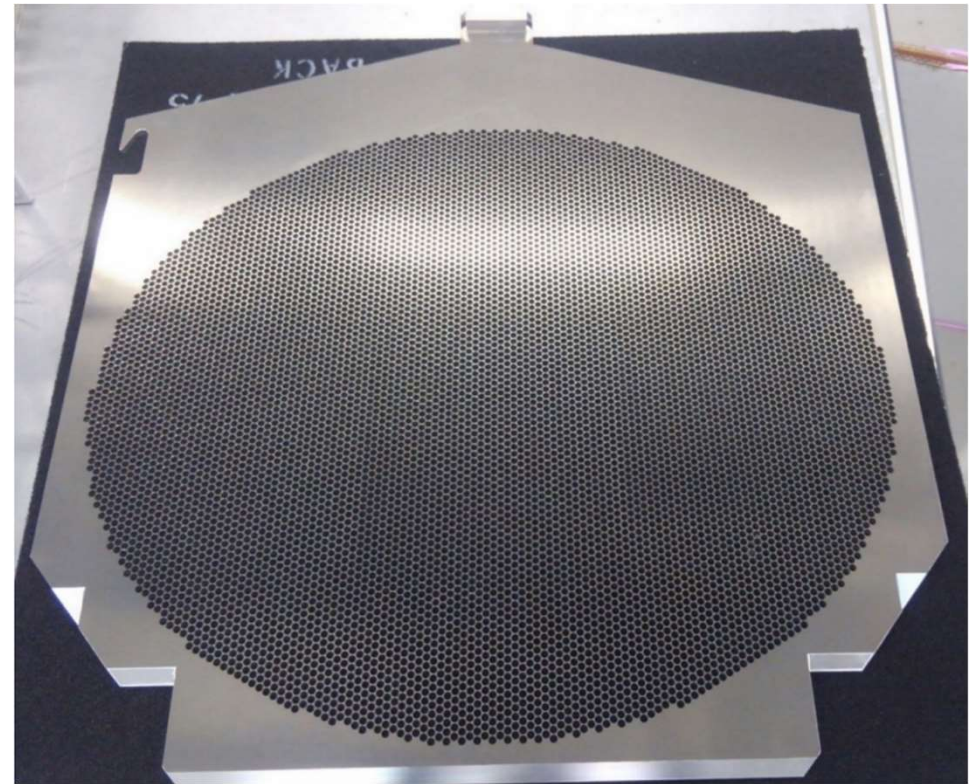
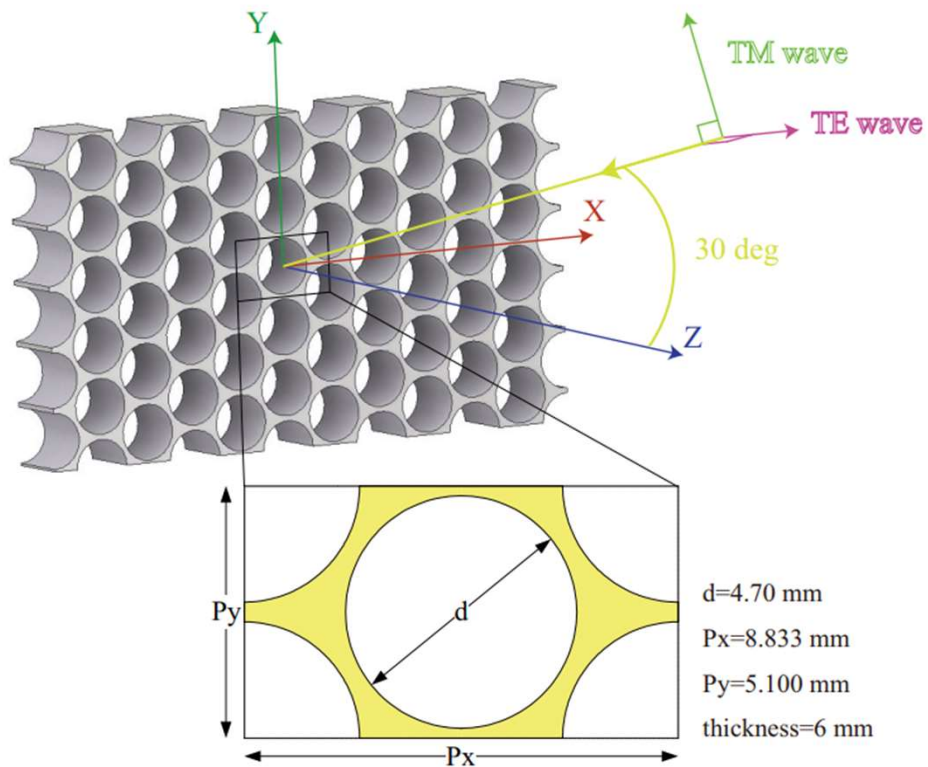


- 左図は大気中の酸素、水蒸気、雲（水滴）による吸収損失と天空雑音温度のスペクトル
- 観測仰角は30度
- 酸素量は地上の気圧計で計測可
- 水蒸気は地上の水蒸気量（気温20°C、相対湿度50%からモデル計算
- 雲は雲低高0.66km、雲頂高2.7km、水密度0.66g/m³を仮定
- 月面探査計画に使用される深宇宙通信周波数帯を想定

研究目的：雲中の水蒸気/水滴量の計測



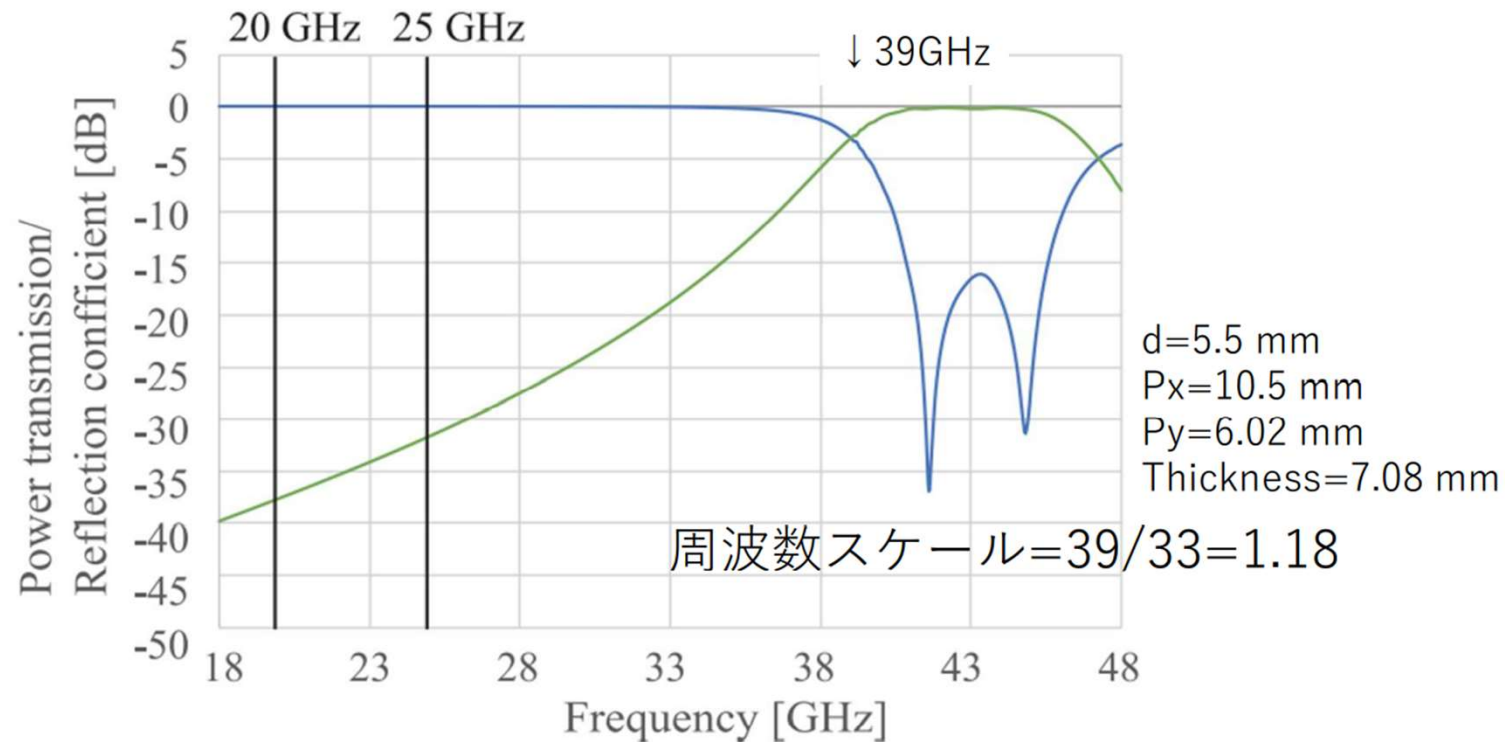
野辺山 45 m の FSS



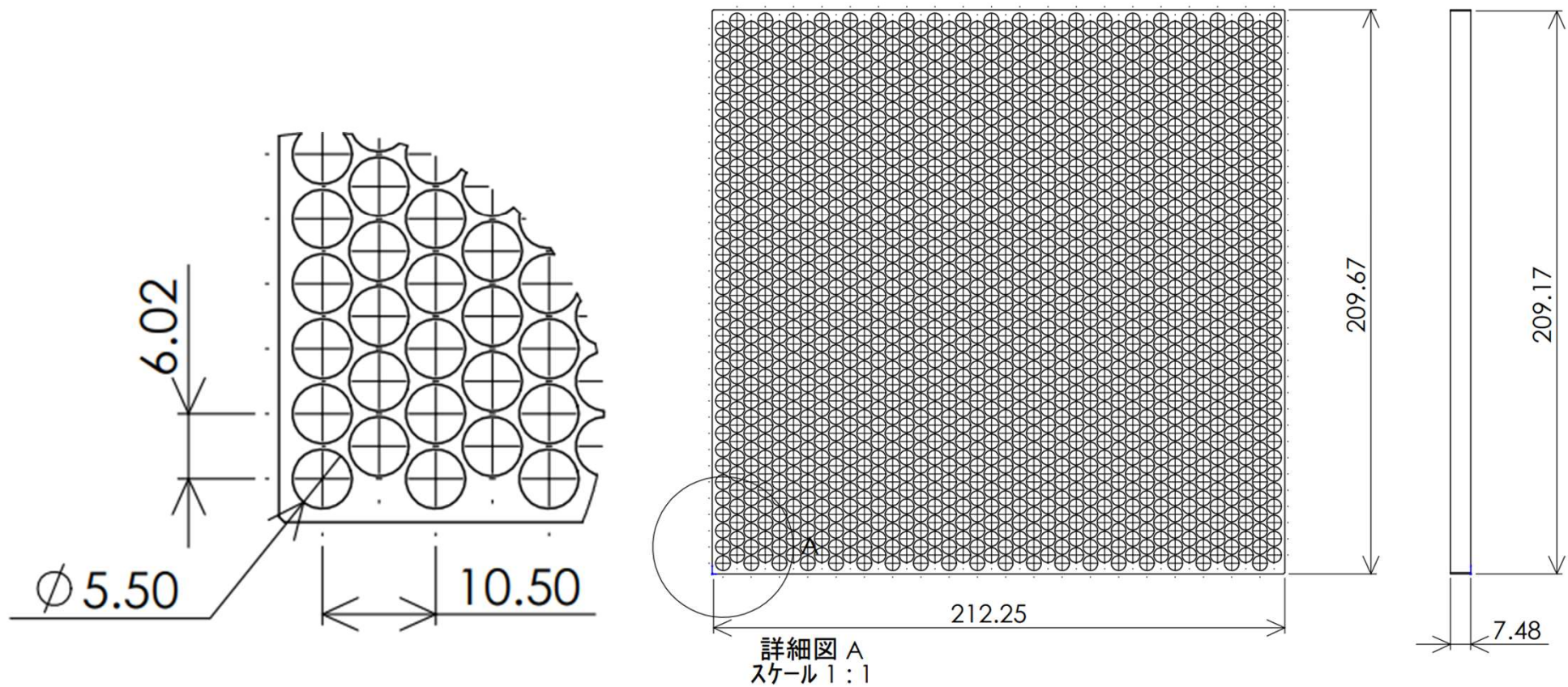
Nozomi Okada, Development of 22_43-GHz-band simultaneous observation system of the Nobeyama 45m, PASJ, 2020, Vol. 72, No. 1

野辺山FSSの周波数特性と波長スケーリング

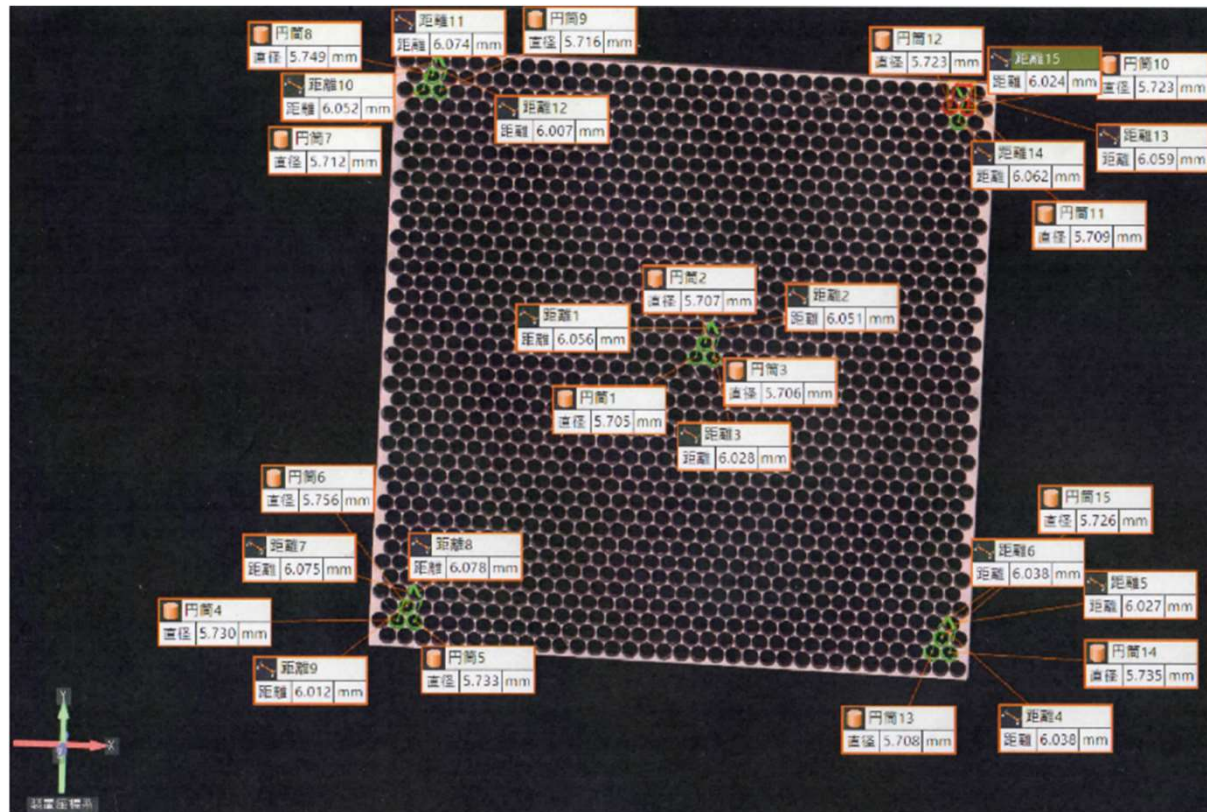
14-28GHzは反射、36GHzで透過が目標



3Dプリンタ形成設計図



円筒形成結果



Sample % Dia (mm)

1	5.705
2	5.707
3	5.706
4	5.73
5	5.733
6	5.756
7	5.712
8	5.749
9	5.716
10	5.723
11	5.709
12	5.723
13	5.708
14	5.735
15	5.726

AVG 5.722533

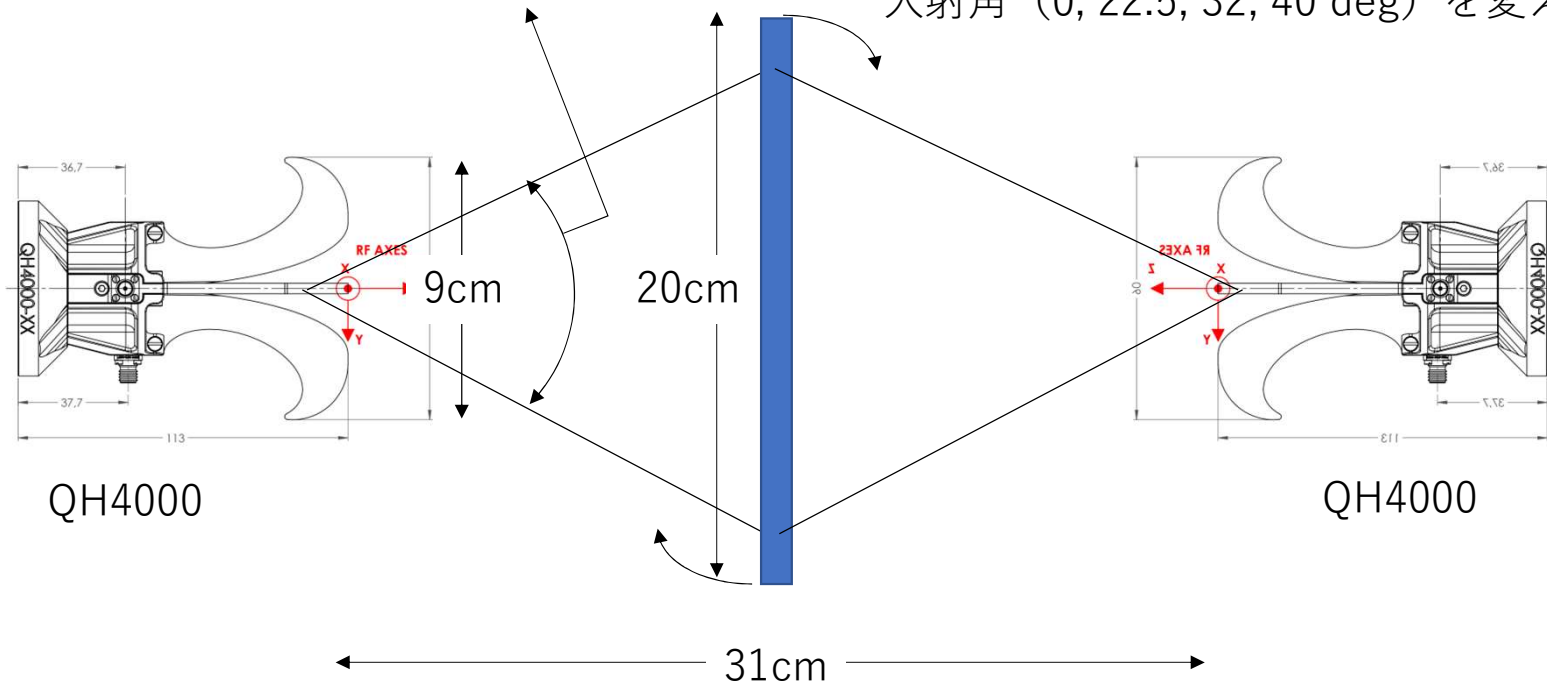
STD 0.015865

反射特性計測

メインビーム立体角からビーム幅は全角で52°

FSSなしのホーン対向S21→G0 (dB)
FSS有りのホーン対向S21→Gf (dB)
反射率 (dB) = G0-Gf

入射角 (0, 22.5, 32, 40 deg) を変えて計測

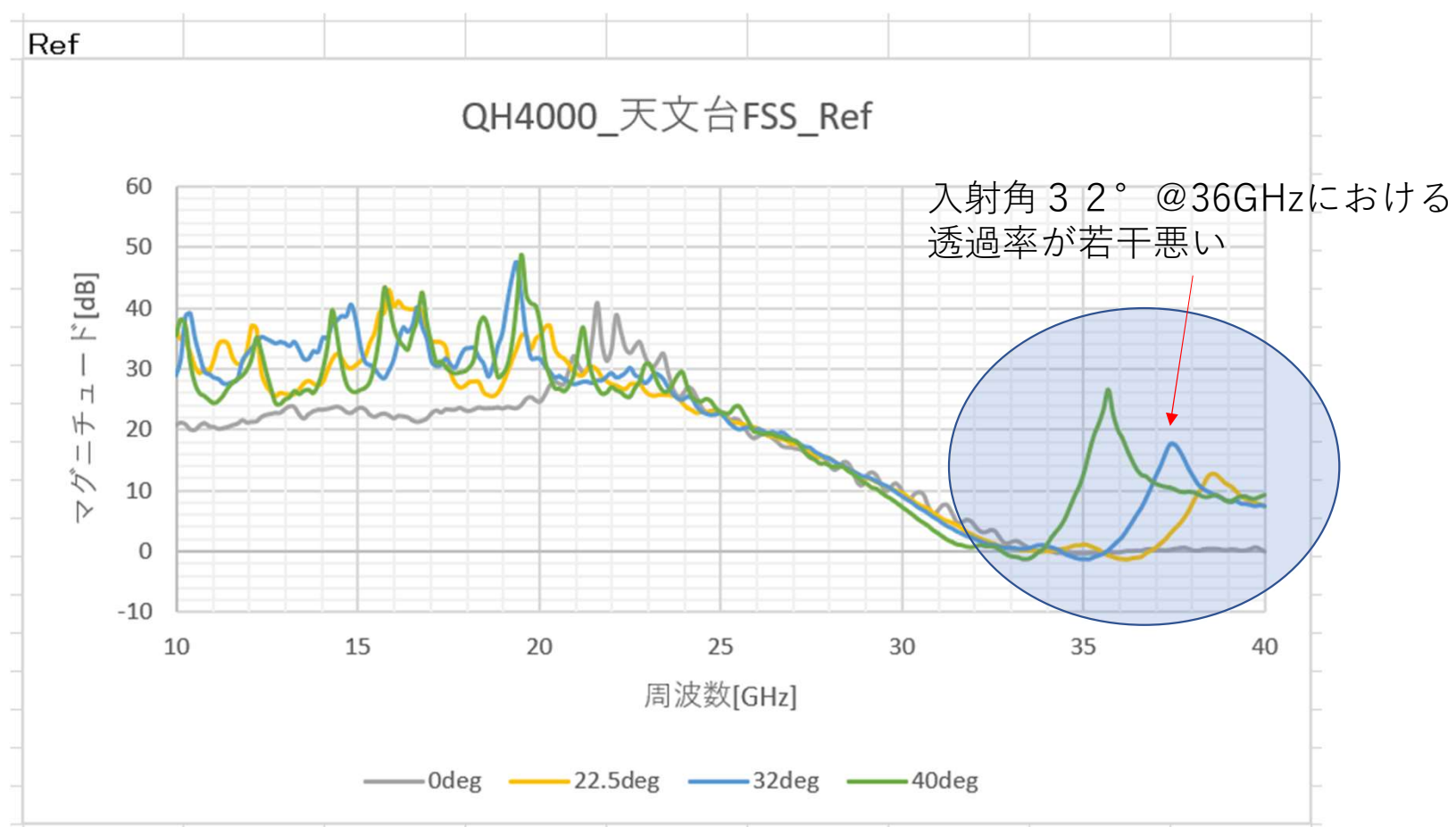


計測風景



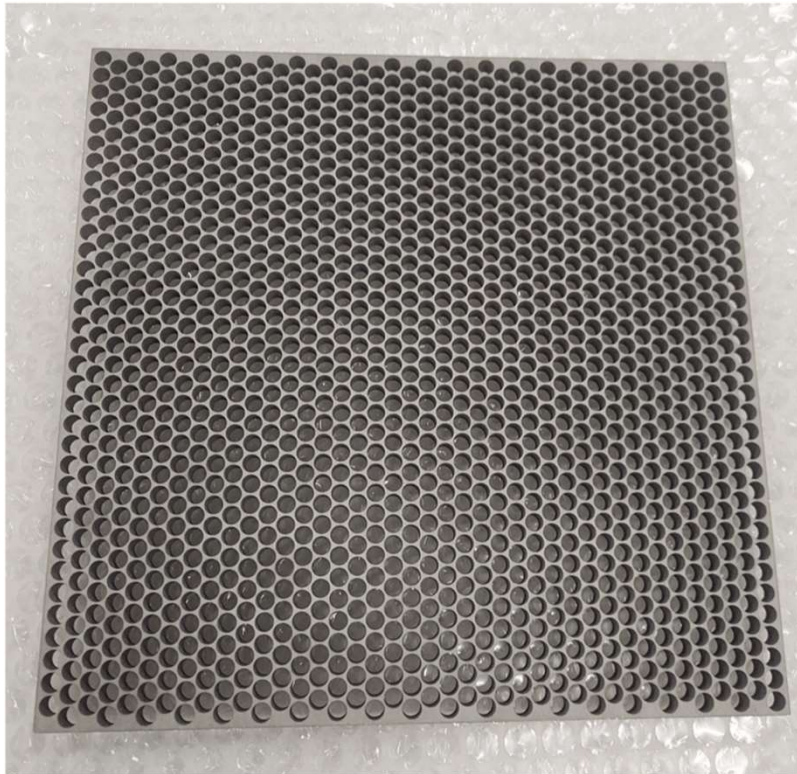
鹿児島大学出身の
杉谷朱泉さん

斜め入射反射特性計測結果



試作2号機

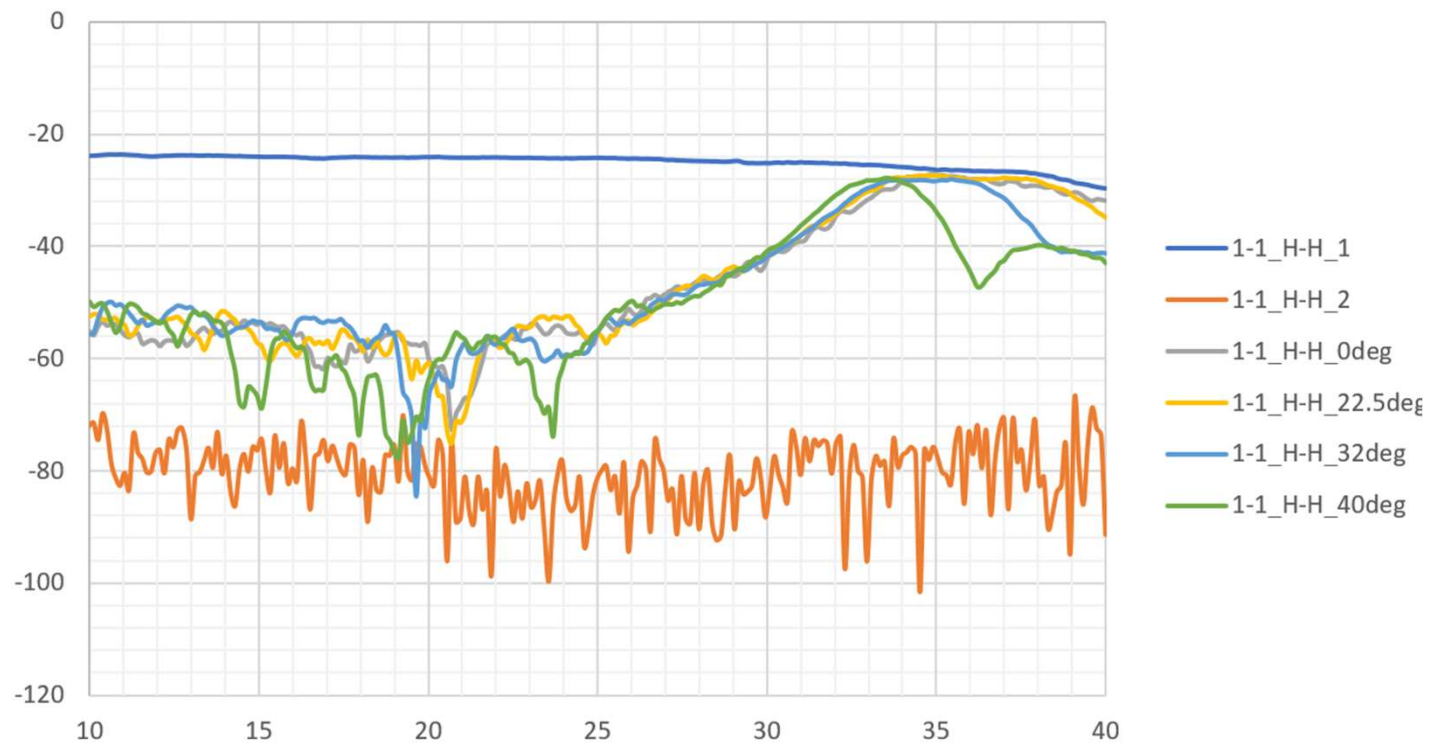
円筒穴の直径が小さくなった。
厚みが7 mmから8 mmに厚くなった。



Dia #1(mm)	Dia #2(mm)	
5.705	5.566	
5.707	5.565	
5.706	5.568	
5.73	5.565	
5.733	5.552	
5.756	5.604	
5.712	5.564	
5.749	5.544	
5.716	5.54	
5.723	5.583	
5.709	5.564	
5.723	5.576	
5.708	5.571	
5.735	5.567	
5.726	5.578	
	5.568	
5.722533333	5.567266667	
0.014849242	0.015475634	
	5.48 ミットヨ顕微鏡	

測定結果

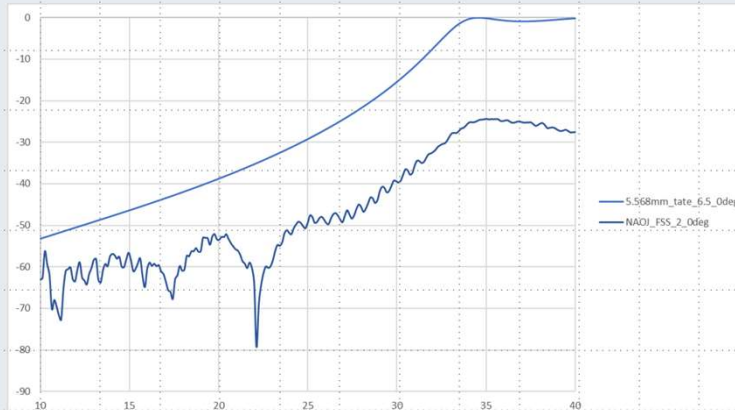
入射角35度まで36GHzを透過することが分かりました。



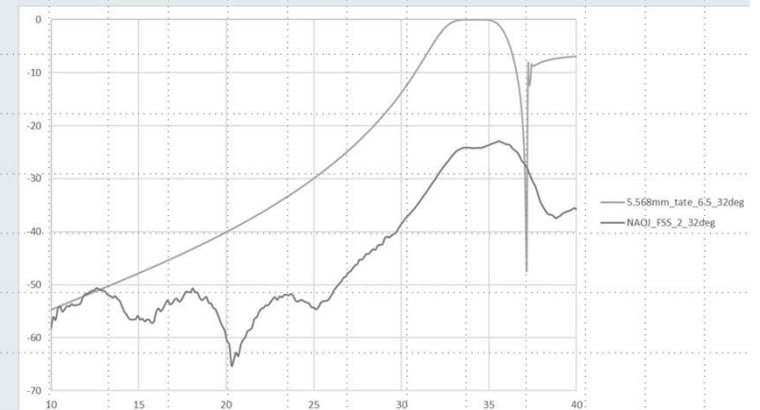
透過特性の実測とシミュレーション結果

- エレックス工業の杉谷朱泉さんによる
- 入射角0度の時、実測とシミュレーションは良く一致し、36GHzで十分な透過率が得られる。
- 入射角32度では36GHzの透過率はギリギリ使用可能？
- 入射角40度では36GHzでは完全に使用不可

➤ 円孔の直径が5.568mm、間隔が6.5mmのとき
0degの場合



➤ 円孔の直径が5.568mm、間隔が6.5mmのとき
32degの場合



まとめ

- 国立天文台先端技術センターのご協力で3D金属プリンタでFSSの試作を行った。
- エレックス工業（株）のご協力で透過・反射特性の計測・シミュレーションを行った。
- 2次試作ではシミュレーション結果と良く一致する結果が得られ、十分実用に耐える性能が得られた。
- 現在開発検討中の超広帯域デジタル水蒸気ラジオメータで計測される水蒸気量と水滴の分離性能を確認していきたい。
- 水蒸気・水滴による電波吸収を正確に校正して高周波領域における観測精度を向上させたい。
- 水蒸気による遅延変動を補正して高い周波数（40 GHz以上）でも長時間の積分を可能にしたい。